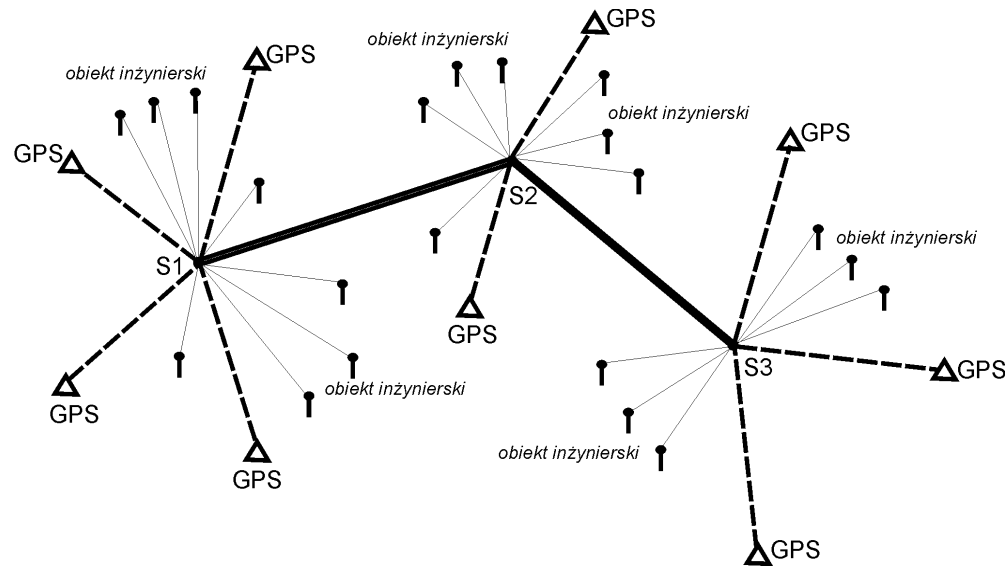




Koncepcja pomiaru i wyrównania przestrzennych ciągów tachimetrycznych w zastosowaniach geodezji zintegrowanej

Krzysztof Karsznia

Leica Geosystems Polska

XX Jesienna Szkoła Geodezji im Jacka Rejmana, Polanica Zdrój 2007

- when it has to be **right**

Leica
Geosystems



Zadania inżynierskie

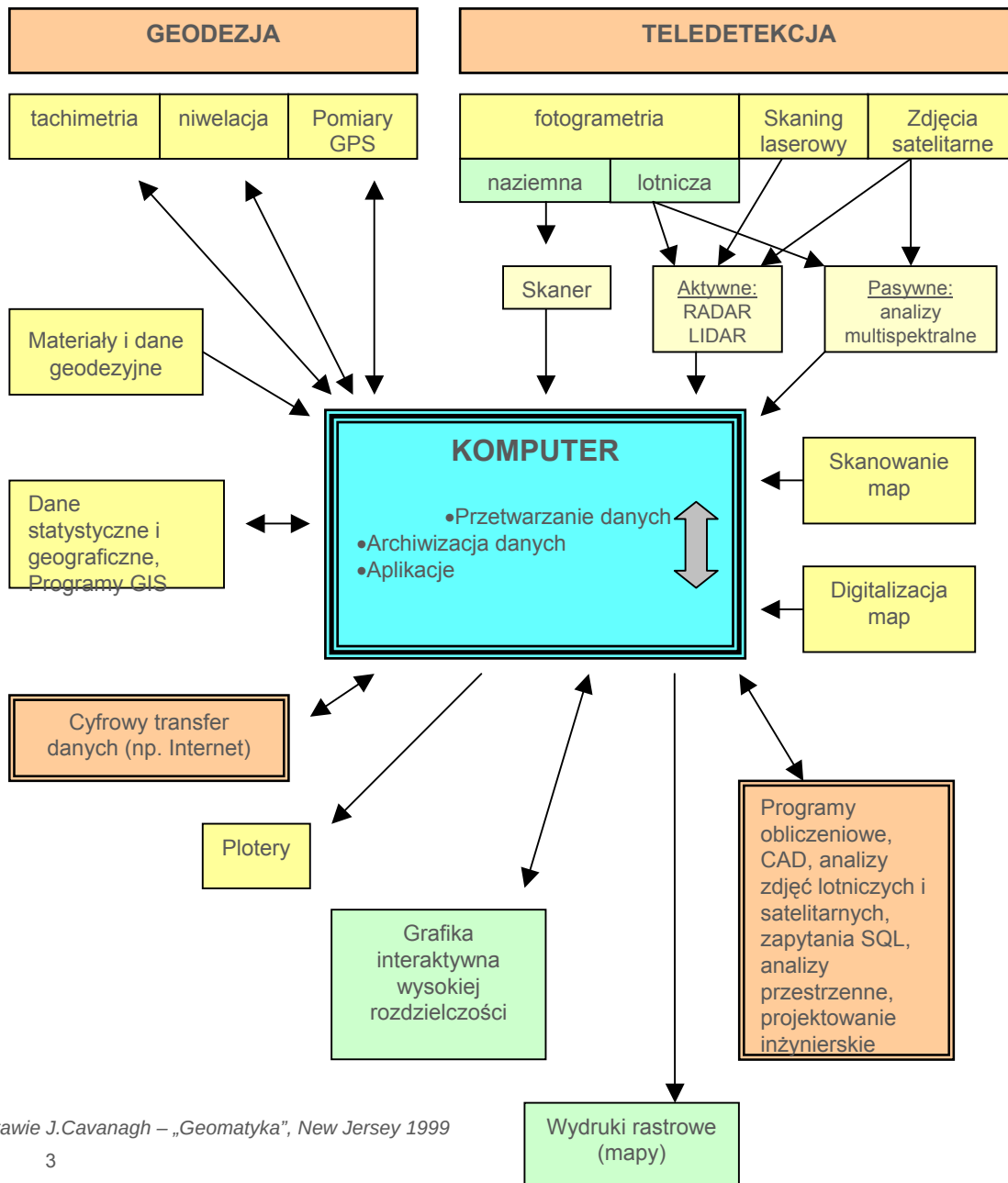
Geodezja zintegrowana

- Wyznaczanie kształtu obiektów oraz ich stanu
- Badanie zmian geometrii obiektów – modele dynamiczne
- Wyznaczanie parametrów deformacji terenu
- Prace realizacyjne





Geomatyka



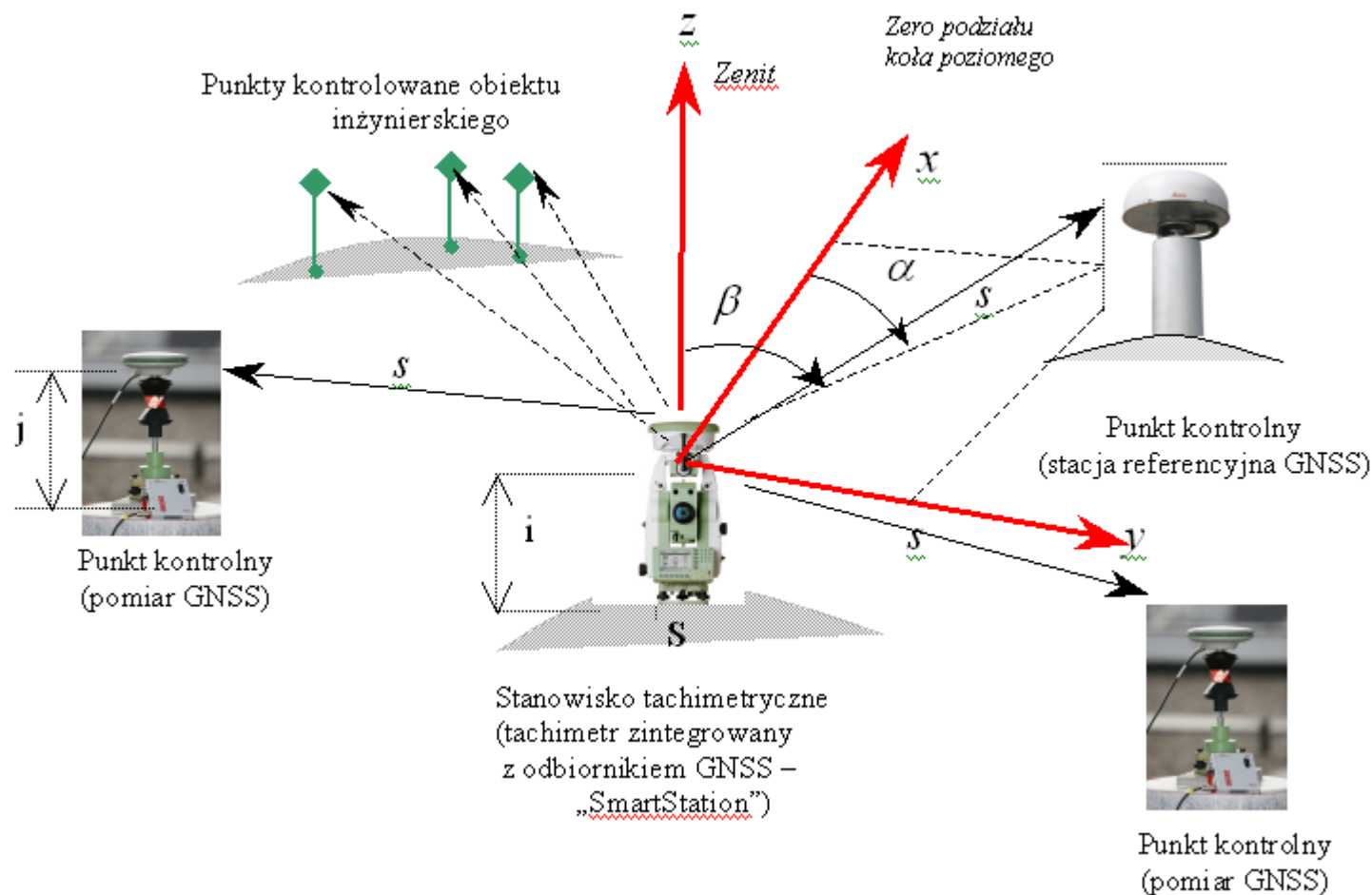
Zespół procesów pozyskiwania, rejestracji, modelowania i analizowania danych przestrzennych.

Prawidłowe (jak najwierniejsze) pozyskanie danych przestrzennych oraz określenie zachodzących między nimi relacji stanowią podstawę do podejmowania właściwych decyzji.

Wiarygodna informacja!!!



Stanowisko tachimetryczne



Stanowisko tachimetryczne

Formuły obliczeniowe



**Współrzędne topocentryczne
punktów**

$$x = s \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

$$y = s \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

$$z = s \cdot \cos \beta - j$$

Macierze transformacji

$$R_1(B, L) = \begin{pmatrix} -\sin(B) \cdot \cos(L) & -\sin(B) \cdot \sin(L) & \cos(B) \\ -\sin(L) & \cos(L) & 0 \\ \cos(B) \cdot \cos(L) & \cos(B) \cdot \sin(L) & \sin(B) \end{pmatrix}$$

$$R_2(\xi, \eta, B) = \begin{pmatrix} 1 & -\eta \cdot \tan(B) & -\xi \\ \eta \cdot \tan(B) & 1 & -\eta \\ \xi & \eta & 1 \end{pmatrix}$$

$$R_3(\Sigma) = \begin{pmatrix} \cos(\Sigma) & \sin(\Sigma) & 0 \\ -\sin(\Sigma) & \cos(\Sigma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

gdzie B, L – współrzędne WGS84
stanowiska, Σ - azymut Hz0

ξ, η - składowe odchylenia linii pionu
w punkcie (B, L) – Model Geoidy
Niwelacyjnej 2001

Współrzędne „tachimetryczne”

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = R_3(\Sigma) \cdot R_2(\xi, \eta, B) \cdot R_1(B, L) \cdot \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

Stanowisko tachimetryczne

Rozwiązanie układu



Dzięki rozwiązaniu układu uzyskamy:

- parametry orientacji układu topocentrycznego ξ, η, Σ
- przeliczone współrzędne z układu topocentrycznego x, y, z na współrzędne geocentryczne X, Y, Z – na podstawie wyznaczonych parametrów ξ, η, Σ
- przybliżone współrzędne pomierzonych punktów w układzie topocentrycznym x, y, z , a następnie przybliżone wartości obserwacji tachimetrycznych s, α, β

Pojedyncze stanowisko tachimetryczne

Współrzędne przestrzenne punktów



Współrzędne geocentryczne
kartezyjskie punktów
kontrolowanych obiektu

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix} + (R_3(\Sigma) \cdot R_2(\xi, \eta, B_s) \cdot R_1(B_s, L_s))^T \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

Współrzędne przybliżone
stanowiska tachimetrycznego



Dokładność
±2-3 cm

Zintegrowana stacja TPS+GPS „SmartStation”

Pojedyncze stanowisko tachimetryczne

Rozwiązanie układu



Metoda Najmniejszych Kwadratów: $v^T P v = \min$

Równania poprawek: $v = A x - l$

Macierz wag: $P = C_l^{-1}$

Rozwiązanie: $x = (A^T P A)^{-1} A^T P l$

Wagi:

- Błędy wyznaczenia współrzędnych punktów z wyrównania sieci GPS.
- Błędy kątów, kierunków i odległości tachimetrycznych.
- Błędy wyznaczenia parametrów odchylenia linii pionu ξ i η (przyjęty model Geoidy Niwelacyjnej 2001)

Pojedyncze stanowisko tachimetryczne

Rozwiązanie układu



Równanie transformacji

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = R_3(\Sigma) \cdot R_2(\xi, \eta, B) \cdot R_1(B, L) \cdot \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

Rozwiązanie metodą numeryczną (Mathcad)

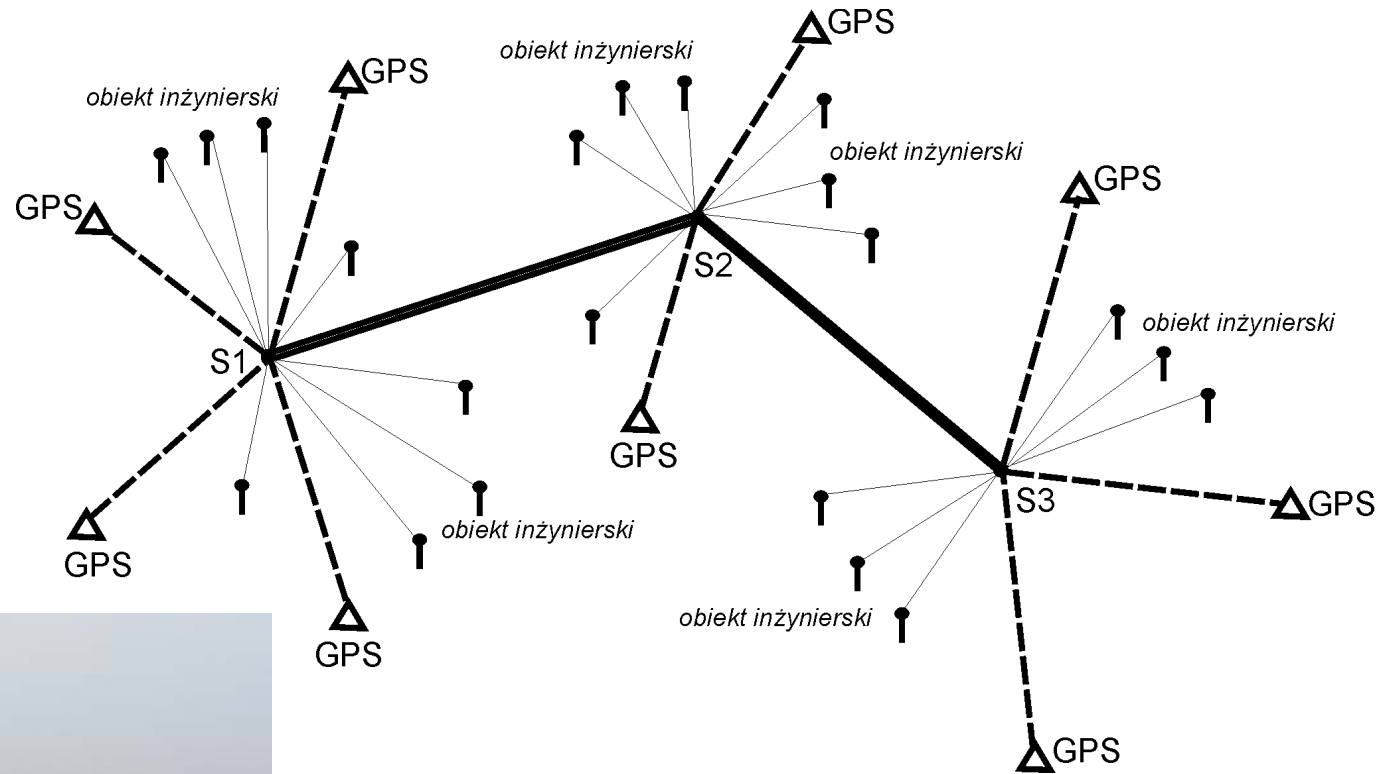
$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \Sigma \\ B_s \\ L_s \\ h_s \end{pmatrix} = \text{Minerr}(\xi, \eta, \Sigma, B_s, L_s, h_s)$$

Wnioski:

- W wyniku prowadzonych obliczeń, otrzymujemy dokładne współrzędne geocentryczne elipsoidalne stanowiska tachimetru oraz wartości parametrów orientacji układu lokalnego.
- Po przejściu ze współrzędnych elipsoidalnych na kartezjańskie X, Y, Z możliwe jest wyznaczenie współrzędnych wszystkich pomierzonych punktów kontrolnych.
- Wykonanie do nich pomiarów powtarzalnych pozwoli zatem określić parametry przemieszczeń i deformacji badanego obiektu.



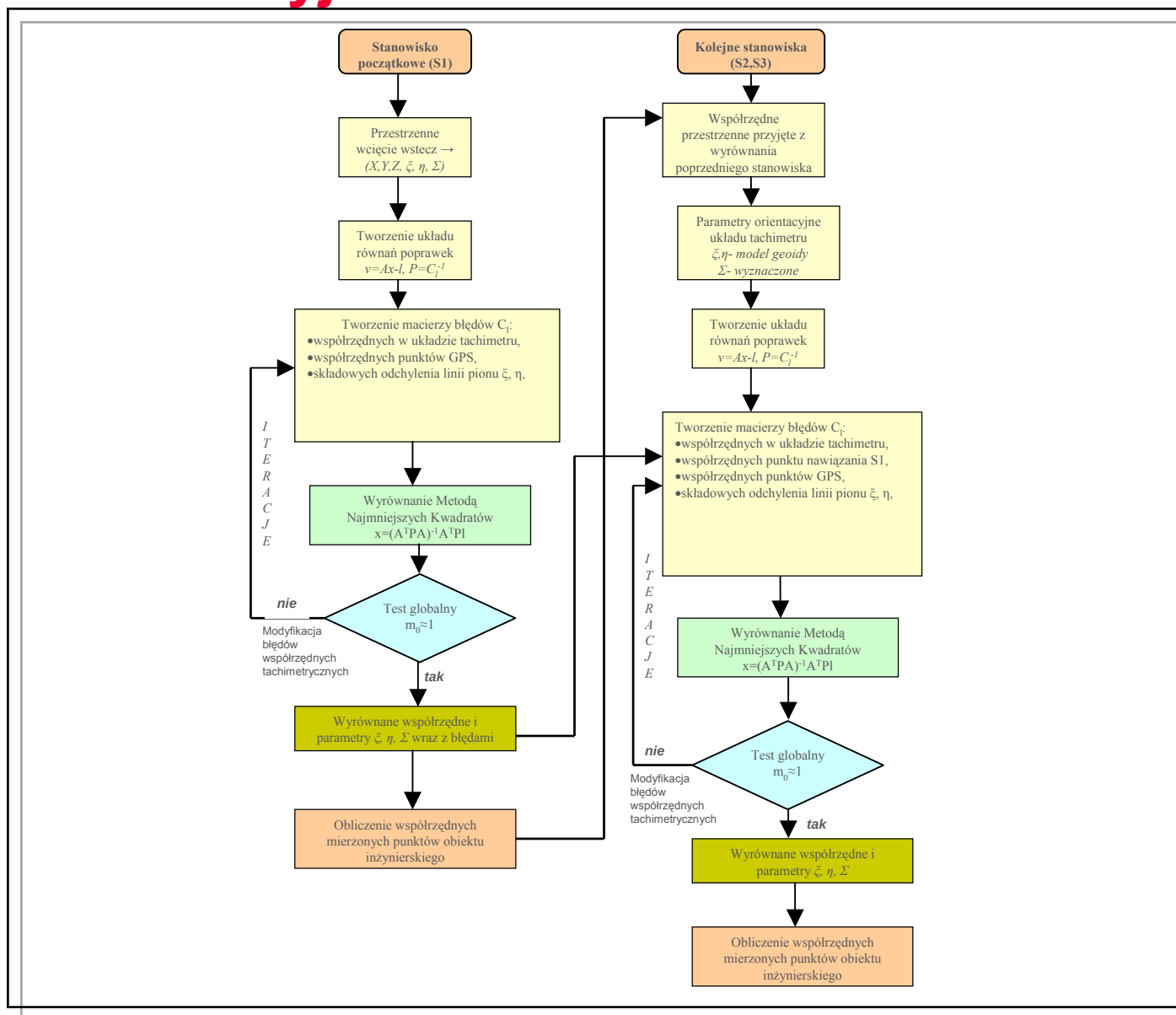
Ciąg tachimetryczny złożony z kolejnych stanowisk



- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

Metoda rekurencyjna

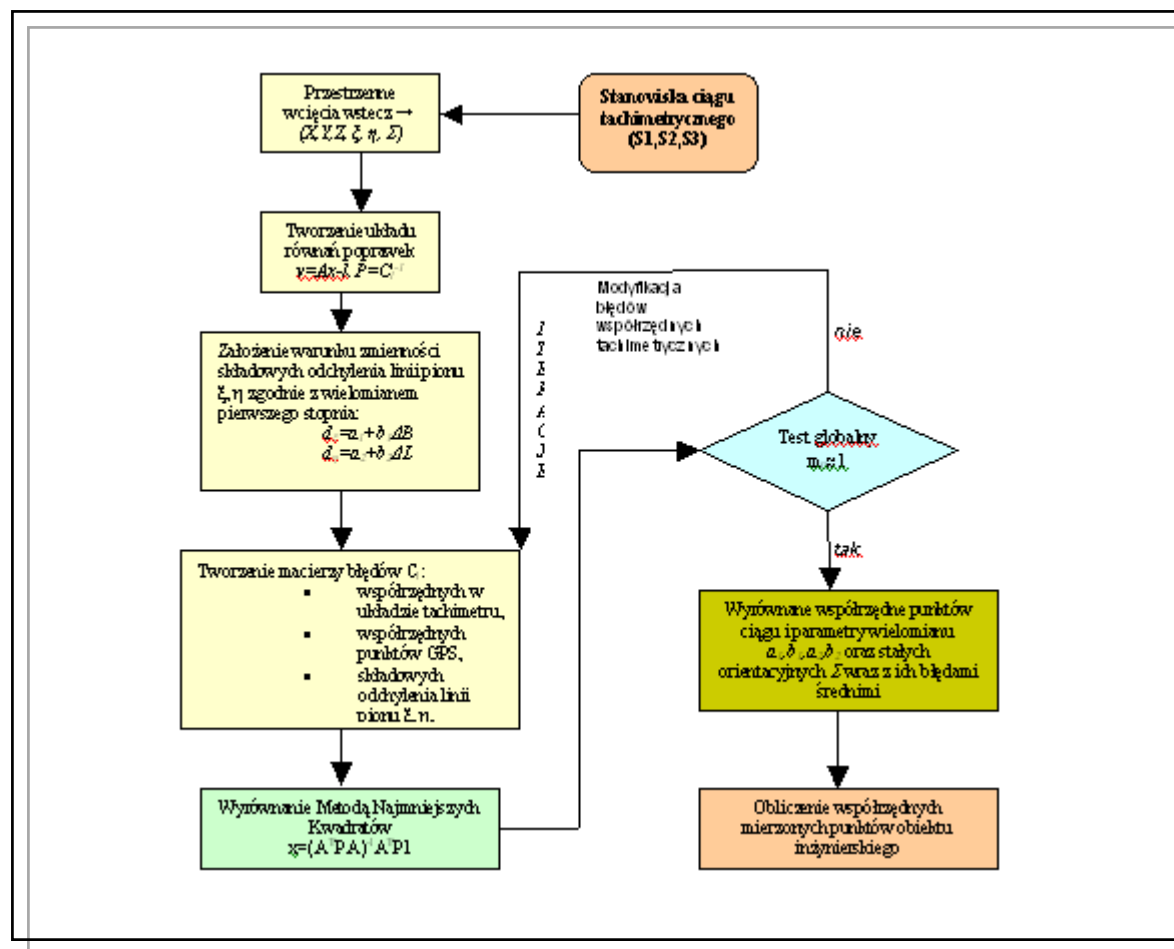


Metoda warunkowa



$$\xi_n = \xi_p + a_1 + b_1 \Delta B_{n-p}$$

$$\eta_n = \eta_p + a_2 + b_2 \Delta L_{n-p}$$



Wyznaczenie współrzędnych punktów w przestrzennym ciągu tachimetrycznym



Dokładność pozycjonowania osiągnięta na podstawie przyjętych modeli:

- **± 12 mm dla rozwiązania numerycznego**
- **± 12 mm dla modelu rekurencyjnego**
- **± 16 mm dla modelu warunkowego**



Uwagi

- Wpływ błędów osobowych można zminimalizować przez zwiększenie liczby obserwacji lub zastosowanie rozwiązań technologicznych - np. przez użycie zmotoryzowanych stacji tachimetrycznych z automatycznym rozpoznawaniem celu („Automated Target Recognition” – ATR)
- Zaprezentowane algorytmy można oprogramować w środowisku GeoC++ Development Kit (Leica Geosystems), a następnie w postaci aplikacji pomiarowej zainstalować w zintegrowanej stacji „SmartStation”.

Przestrzenne ciągi tachimetryczne

Przykłady zastosowań



Stanowisko
tachimetru
elektronicznego



Antena
odbiornika
GPS/GNSS

Stanowisko
tachimetru
elektronicznego



- Badanie deformacji terenów
- Prace realizacyjne i inwentaryzacyjne
- Badanie geometrii oraz stanu obiektu inżynierskiego
- Wyznaczanie parametrów krótkookresowych zmian stanu obiektu

- when it has to be **right**

Leica
Geosystems



Przestrzenne ciągi tachimetryczne

Przykłady zastosowań

- Analiza 3D przemieszczeń skarp oraz kontrola stabilności obiektów
- Deformacje terenów





Krzysztof Karsznia

Dziękuję za uwagę

Krzysztof.Karsznia@leica-geosystems.com

- when it has to be **right**

Leica
Geosystems