



## II Konferencja Użytkowników ASG-EUPOS

Katowice, 20-21 listopad 2012

### Problematyka wykorzystania serwisów postprocessingu ASG-EUPOS do zakładania precyzyjnych sieci hybrydowych (zintegrowanych)

Roman Kadaj

W praktyce geodezyjnej pojawia się wiele konkretnych pytań dotyczących **algorytmów i procedur** jakie powinny się stosować w procesie pomiarowo-obliczeniowym precyzyjnych, trójwymiarowych **sieci hybrydowych** (zintegrowanych), czyli będących połączeniem obserwacji GNSS i klasycznych.

Dotyczy to przede wszystkim sieci konstruowanych z wykorzystaniem serwisów postprocessingu systemu ASG-EUPOS.

Referat będzie próbą odpowiedzi na szczegółowe pytania, ilustrowany przykładami obliczeń.

**WARIANTY ALGORYTMÓW PRZY OBLICZANIU SIECI GNSS I ZINTEGROWANYCH**

Nawiązania:	Rodzaj obserwacji	
	GNSS statyczne <b>1</b>	GNSS + obs. klasyczne (zintegrowane) <b>2</b>
<b>ASG-EUPOS</b> <b>Serwis</b> <b>POZGEO-D</b>  <b>A</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Wyrównanie 3D (tylko nawiązania do stacji)</li> <li>2) Transformacje do układów kartograficznych</li> </ol> <hr/> Dla sieci precyzyjnej (2D+1D): <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Rzutowanie wektorów na elipsoidę</li> <li>2) Wyrównanie na elipsoidzie</li> <li>3) Wyrównanie niwelacji satelitarnej</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Etap przygotowania danych               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wyr. GNSS 3D (stałe stacje)</li> <li>- Wyr. sieci klasycznej</li> <li>- Integracja danych w układzie BL na elipsoidzie GRS-80 lub 2000 (rzutowanie wektorów)</li> </ul> </li> <li>2) Etap finalny (2D+1D)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wyr. sieci na elipsoidzie GRS-80 lub w „2000” (stałe tylko stacje)</li> <li>[- Transformacje BL -&gt; xy2000]</li> <li>- Wyrównanie niwelacji satelit.</li> </ul> </li> </ol>
Inne: <b>POLREF</b> <b>KLASA I + II</b>  <b>B</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Wyr. pseudoswobodne 3D (nawiązanie do 1 punktu)</li> <li>2) Przeliczenie XYZ -&gt; xy2000e</li> <li>3) Transformacja Helmerta xy2000e -&gt; xy2000 (na osnowę)</li> <li>4) Wyr. niwelacji satelitarnej</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Etap przygotowania danych               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wyr. pseudoswobodne 3D</li> <li>- Wyr. sieci klasycznej</li> <li>- Integracja danych w BL lub „2000”</li> </ul> </li> <li>2) Etap finalny (2D+1D)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wyrównanie sieci zintegrowanej (BL lub „2000”) (naw. osnowa)</li> <li>- Wyr. niwelacji satelitarnej</li> </ul> </li> </ol>

**ETAPY NUMERYCZNEGO OPRACOWANIA PRECYZYJNYCH SIECI ZINTEGROWANYCH  
Z WYKORZYSTANIEM STACJI ASG-EUPOS, NA PRZYKŁADACH SIECI REALIZACYJNYCH  
DLA TRAS KOMUNIKACYJNYCH**

(Wariant podstawowy A2)

### **Opracowanie wstępne**

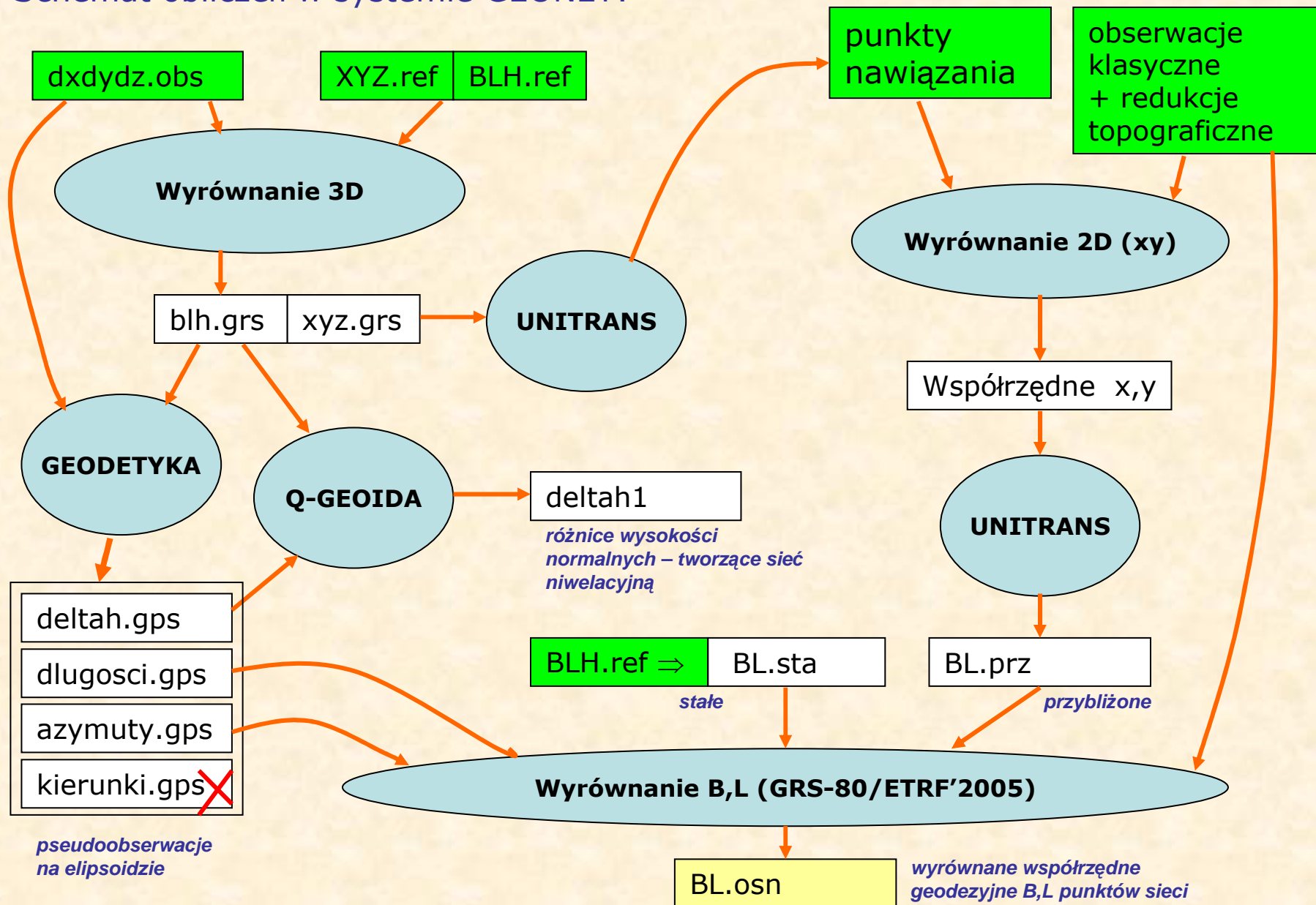
**[wyznaczenie współrzędnych przybliżonych, redukcje i kontrole]**

- **Wyrównanie trójwymiarowej sieci wektorowej GPS w układzie kartezjańskim w nawiązaniu do stacji referencyjnych**
- **Przekształcenie wyników na elipsoidę odniesienia GRS-80 oraz PUW1992**
  - **Transformacja współrzędnych BL na współrzędne płaskie xy92 (xy2000),**
  - **Rzutowanie wektorów GPS na elipsoidę – utworzenie wektorów linii geodezyjnych oraz zbioru różnic wysokości elipsoidalnych**
- **Przekształcenie różnic wysokości elipsoidalnych na odpowiadające różnice wysokości normalnych Kronstadt'86 (użycie modelu quasigeoidy)**
- **Kontrolne wyrównanie sieci klasycznej w układzie PUW1992, przy założeniu stałości punktów sieci GPS. Przeliczenie wyników na elipsoidę (współrzędne B,L jako przybliżone do etapu finalnego).**

### **Opracowanie finalne**

- **Wyrównanie sieci zintegrowanej na elipsoidzie GRS-80 (nawiązanie tylko do stacji)**
- **Przeliczenie wyników do układu kartograficznego, np. 2000, 1992, 65 lub lokalny**
- **Wyrównanie niwelacji satelitarnej**

Schemat obliczeń w systemie GEONET:



# Używane programy obliczeniowe pakietu GEONET

**Wyrównanie sieci wektorowej GPS - podprogram gps3.exe - wersja 5.41**

GEONET - system geodezyjny (c)ALGORES-SOFT Rzeszów www.geonet.net.pl

**Wyrównanie sieci wektorowej GPS**  
[max.: 10 000 punktów, 30 000 wektorów]

2012-11-12

**Zbiory wejściowe:**

DXDYDZ.obs    BLH.ref    BL.ref  
DXDZDZ\_q.obs    XYZ.ref    H.ref

alternatywne zbiory obserwacyjne    zbiory współrzędnych punktów referencyjnych

**Zbiory wynikowe:**

WY.gps    MAPA.gps  
protokół główny    mapa sieci GPS

zweryfikowane zbiory obserwacyjne

dxdydz\_ok    dxdydz\_er

XYZ.grs    BLH.grs  
el. GRS-80/WGS-84 (układ ETRF'89)

XYZ.kra    BLH.kra  
el. Krasowskiego (układ Pułkows'42)

**OBLICZAJ**    **ZAMKNIJ**

Folder roboczy = c:\GEONET\Obiekty\030

**Wyrównanie ściśle sieci poziomej - program osn3.exe (WSG) wersja 5.9b**

GEONET system geodezyjny (c)ALGORES-SOFT Rzeszów, tel./fax (0-17) 86-42-455 www.geonet.net.pl

**WYRÓWNANIE ŚCIŚLE SIECI POZIOMEJ**  
Integracja pomiarów klasycznych z wektorami GPS  
Maksymalna liczba punktów sieci: 20 000

2012-11-12

**Zbiory wejściowe:**

XY.sta    H.prz    KIERUNKI    AZYMUTY.gps  
XYH.sta    redukcje    AZYMUTY    DLUGOSCI    KATY    KIERUNKI.mod    KIERUNKI.gps  
XY.prz    Dalmierz    Limbus    DLUGOSCI.b    KATY.b    KIERUNKI.ort    DLUGOSCI.gps

**Wybierz opcje:**

Układ XY, strefa  
Lokalny (bez redukcji)

Zasada wyrównania  
STANDARD MNK

Tryb obliczeń  
PELNY [standard]

Liczba iteracji 4

przyspiesz analizę dokładności  
 standard     turbo

**INICJUJ PROGRAM**    **OBLICZAJ**    **ZAMKNIJ**

Folder roboczy = c:\GEONET\Obiekty\030

**Rzutowanie wektorów na elipsoidę - RWE wersja 5.4**

GEONET - system geodezyjny (c)ALGORES-SOFT Rzeszów www.geonet.net.pl

**Rzutowanie wektorów GPS na elipsoidę**  
utworzenie pseudoobserwacji długości, kierunków, azymutów geodezyjnych i różnic wysokości elipsoidalnych  
[max. 100 000 punktów, dowolna ilość wektorów]

**Zbiory wejściowe:**

DXDYDZ.obs    BLH.grs    DLUGOSCI.pln  
DXDZDZ\_q.obs    BLH.kra    AZYMUTY.pln  
Elips.ini    BLH.def    KIERUNKI.pln

**Zbiory pośrednie:**

**Zbiory wynikowe:**

DLUGOSCI.gps  
AZYMUTY.gps  
KIERUNKI.gps  
DELTAH.gps  
Obs\_net.ktr

**? Opcje obliczeń:**

ELIPSOIDA ..... GRS-80 (WGS-84)

RODZAJE PSEUDOBSERWACJI:  
NIETYRÓWNANE/WYRÓWNANE... PSEUDOBS.NIETYRÓWNANE

Określ błąd średni centrowania anteny w poziomie ..... 0.005  
Określ błąd średni pomiaru wysokości anteny ..... 0.005  
Empiryczny współczynnik błędów, śr. jednostk. Mo ..... 1.000

Twórz automatycznie plany pseudoobserwacji (\*.pln)

**OBLICZAJ**    **ZAMKNIJ**

Folder roboczy = c:\GEONET\Obiekty\030

**Wyrównanie ściśle sieci na elipsoidzie - program gps7.exe (WSGE) wersja 5.6w**

GEONET system geodezyjny (c)ALGORES-SOFT Rzeszów, tel./fax (0-17) 86-42-455 www.geonet.net.pl

**WYRÓWNANIE SIECI NA ELIPSOIDZIE**  
Integracja pomiarów klasycznych z wektorami GPS  
Maksymalna liczba punktów sieci: 20 000

2012-11-12

**Zbiory wejściowe:**

BL.sta    H.prz    KIERUNKI    AZYMUTY.gps  
BLH.sta    redukcje    Dalmierz    DLUGOSCI    KATY    KIERUNKI.mod    KIERUNKI.gps  
BL.prz    Limbus    DLUGOSCI.b    KATY.b    KIERUNKI.ort    DLUGOSCI.gps

**Wybierz opcje:**

Elipsoida  
GRS-80 (WGS-84)

Zasada wyrównania  
STANDARD MNK

Tryb obliczeń  
PELNY [standard]

Format współrzędnych B, L  
dd dd.dd.dddd... [s m sek]

Liczba iteracji 4

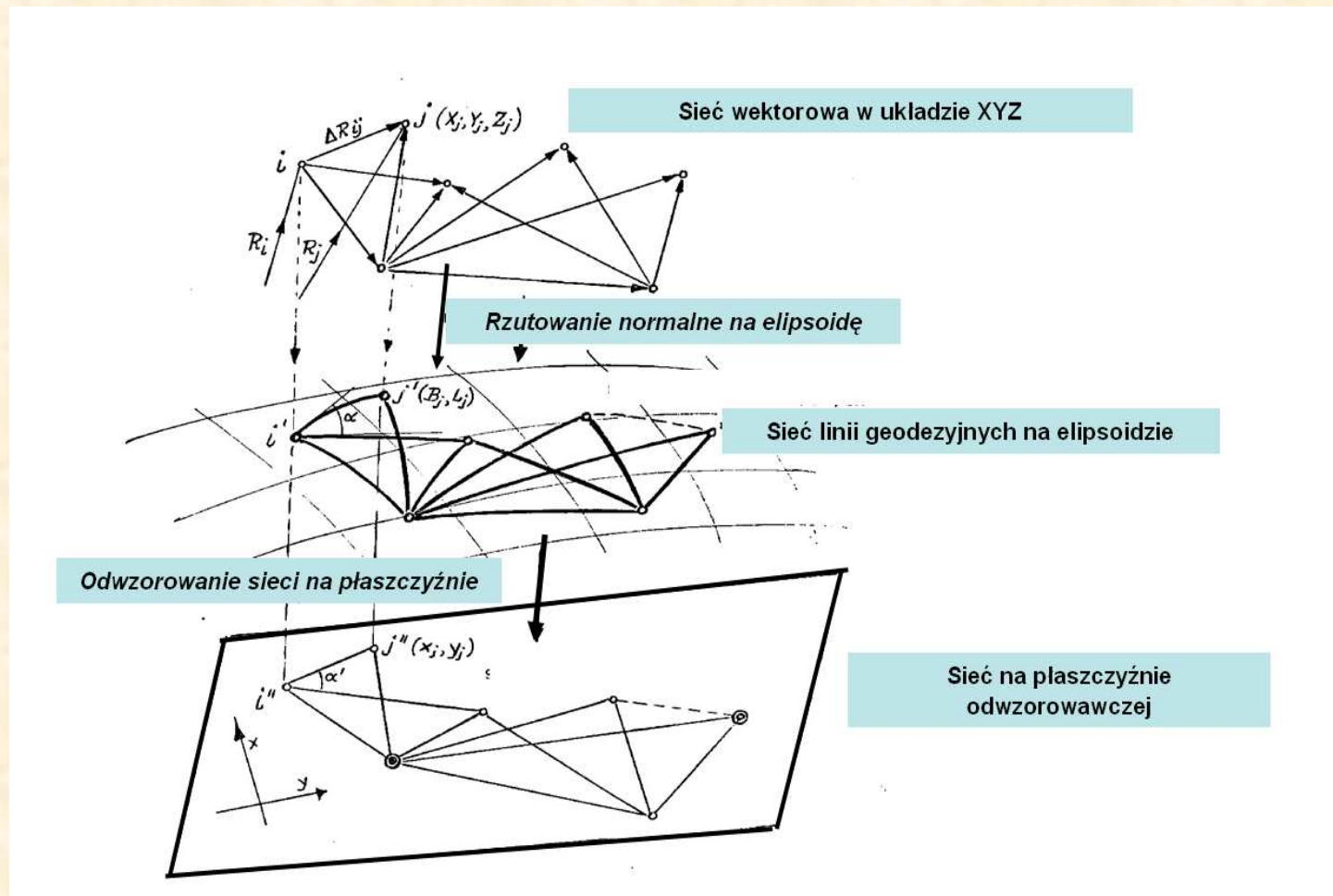
przyspiesz analizę dokładności  
 standard     turbo

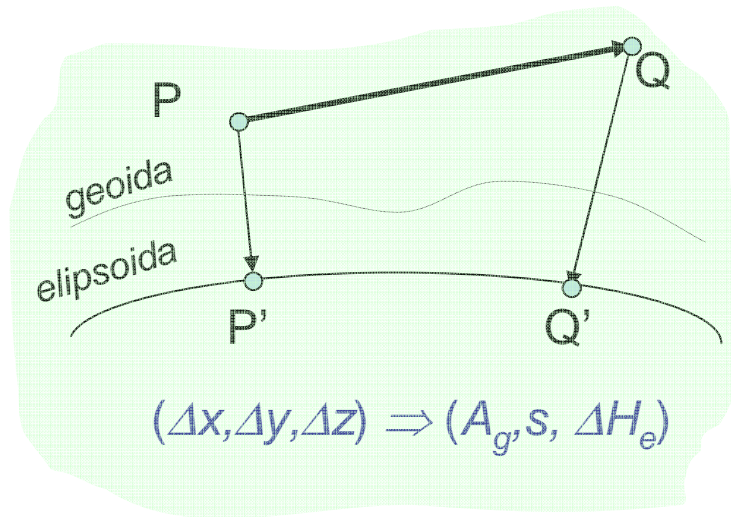
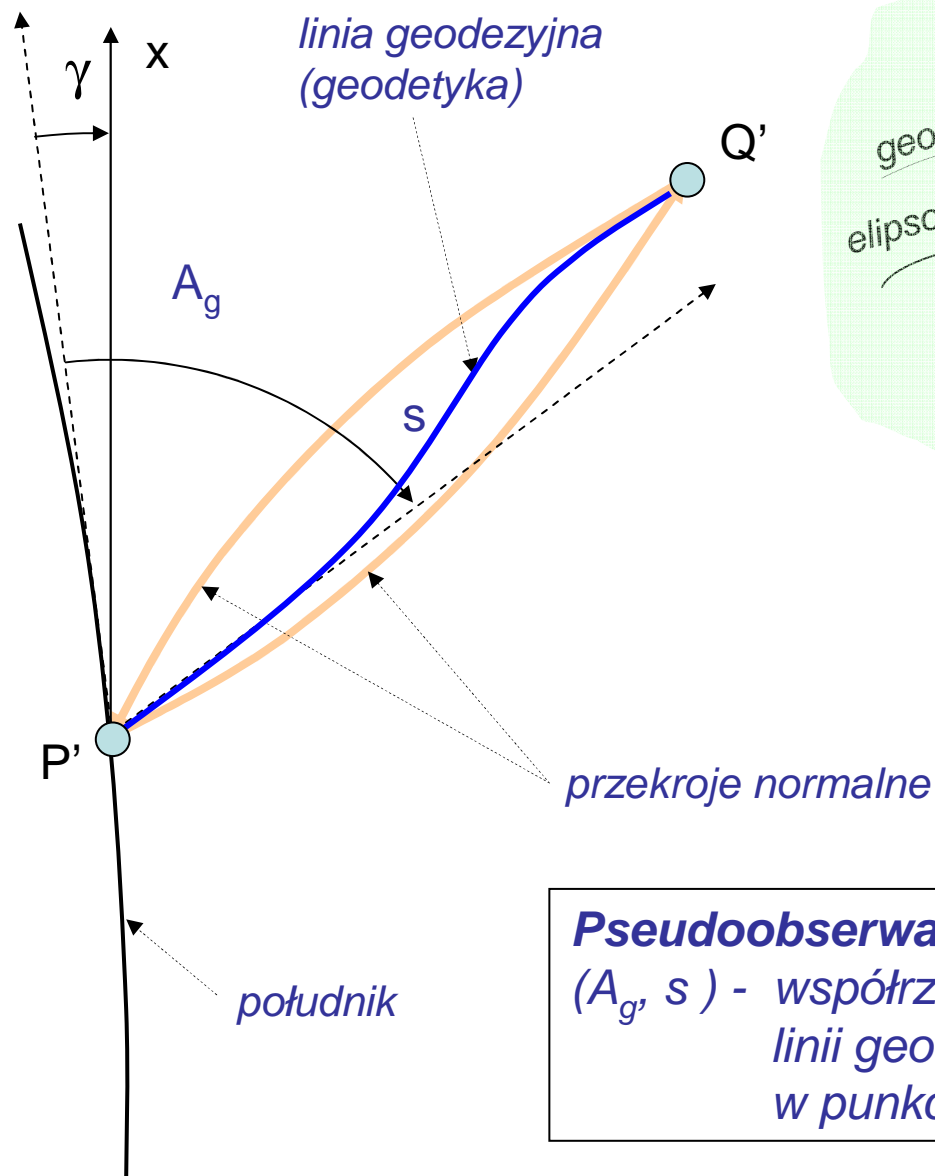
**INICJUJ PROGRAM**    **OBLICZAJ**    **ZAMKNIJ**

Folder roboczy = c:\GEONET\Obiekty\030



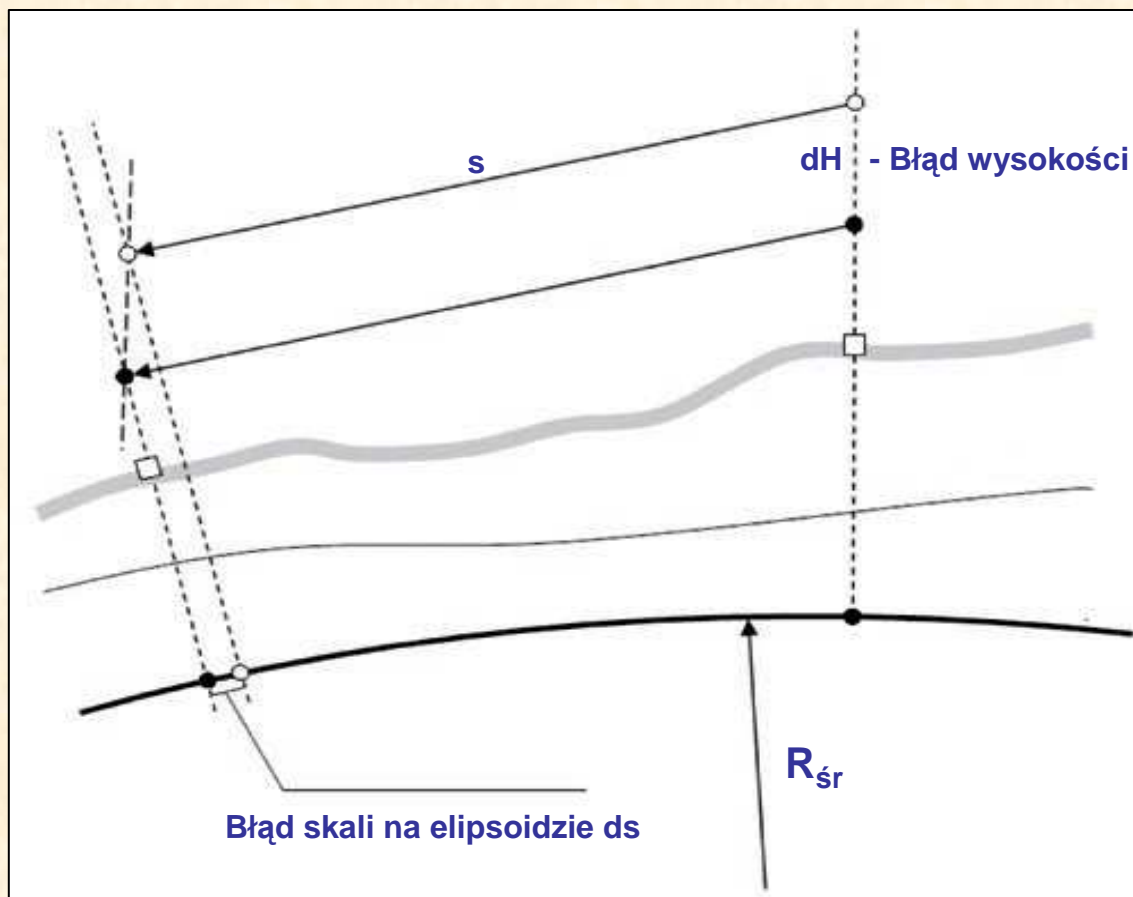
## Rzutowanie wektorów na elipsoidę – wariantach A-2 i B-2





**Pseudoobserwacje GNSS na elipsoidzie**  
 $(A_g, s)$  - współrzędne biegunowe linii geodezyjnej o początku w punkcie  $P'$

## WPLYW BŁĘDU WYSOKOŚCI WEKTORA GPS NA SKALĘ SIECI



Przybliżone oszacowanie wpływu pionowego przesunięcia wektora na długość linii geodezyjnej

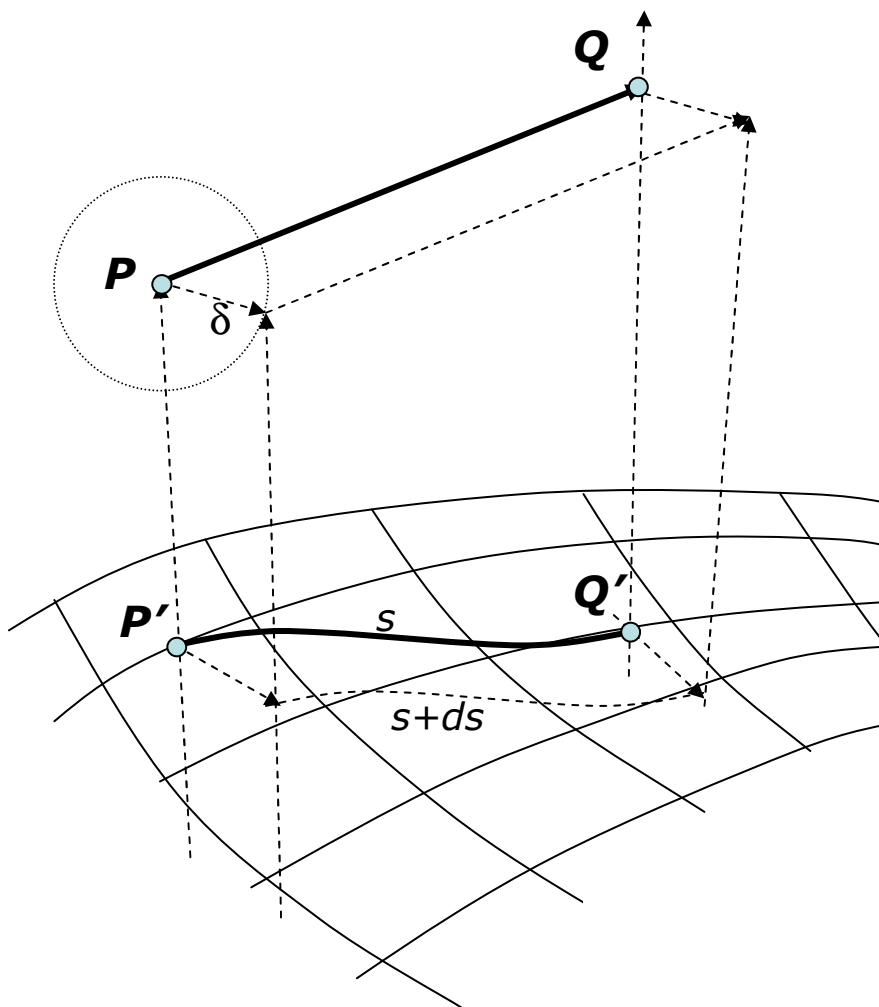
$$ds = dH * s / R_{sr}$$

### Przykłady

$s$	$dH$	$ds$
10 km	100m	~16 cm
100 km	10m	~16 cm



## WPŁYW BŁĘDU PRZESUNIĘCIA POZIOMEGO WEKTORA GPS



Przybliżone (empiryczne) oszacowanie wpływu poziomego przesunięcia wektora na długość linii geodezyjnej:

$$ds = 0.00000868 \cdot \delta \cdot s^2 \text{ [mm]}.$$

$\delta$  - błąd położenia poziomego  
w metrach

$s$  - długość linii w km

$ds$  - zmiana długości linii geodezyjnej

Przykład:

dla  $\delta = 10\text{m} \cdot k$ :

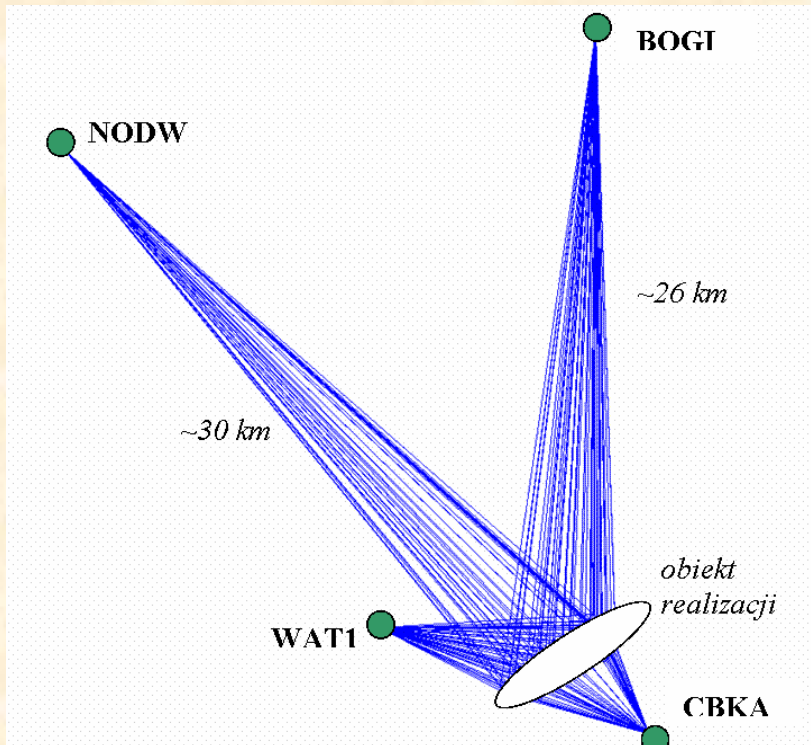
$$s = 10 \text{ km} \quad ds = 0.009 \text{ mm} \cdot k$$

$$s = 50 \text{ km} \quad ds = 0.217 \text{ mm} \cdot k$$

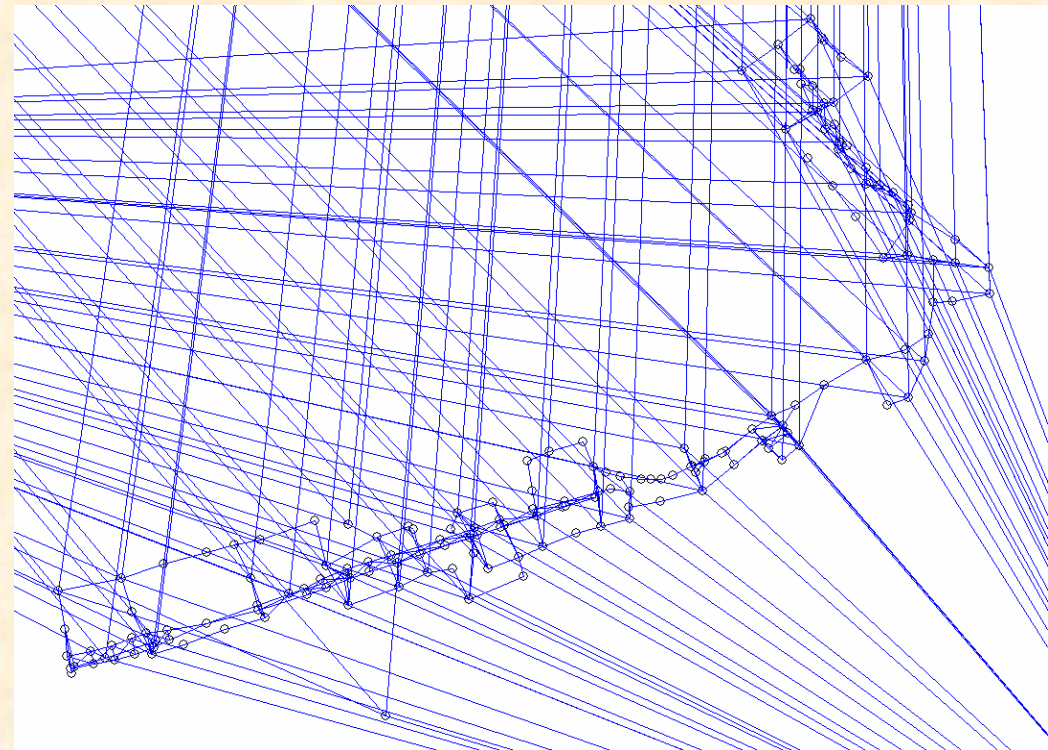
$$s = 100 \text{ km} \quad ds = 0.868 \text{ mm} \cdot k$$

$$s = 500 \text{ km} \quad ds = 21.7 \text{ mm} \cdot k$$

**Przykład zintegrowanej sieci realizacyjnej dla budowy II linii metra warszawskiego**



układ stacji referencyjnych, wykorzystanych do pomiaru podstawowej sieci realizacyjnej dla budowy II linii metra warszawskiego



struktura sieci zagęszczającej (klasycznej) I rzędu

### *Podstawowa osnowa realizacyjna II linii metra warszawskiego*

#### **Parametry wyrównania na elipsoidzie GRS-80 (ETRF'89)**

Liczba wszystkich punktów sieci	lp =	46
Liczba stałych punktów nawiazania	ls =	4
Liczba punktów wyznaczanych	lr =	42
Liczba azymutów geodezyjnych (GPS)	lazg =	348
Liczba dlugosci GPS	ldg =	348
Nadwymiarowosc ukkladu obserwacyjnego	m-n =	612
GLOBALNY WSKAZNIK NIEZAWODNOSCI:	z = 0.8793	z% = 87.9%

Przecietny blad polozenia (w luku)  $M_p(sr) = 0.0042$  m  
Maksymalny blad polozenia (w luku)  $M_p(max) = 0.0075$  m

Bład Średni jednostkowy  $M_o = 0.9232$  (w. niemianowana)

Estymaty cząstkowe  $M_o$  i liczby stopni swobody:

- dla dlugosci  $M_o(1) = 1.0019$   $f_1 = 306.0$   
- dla azymutów  $M_o(4) = 0.8370$   $f_4 = 306.0$

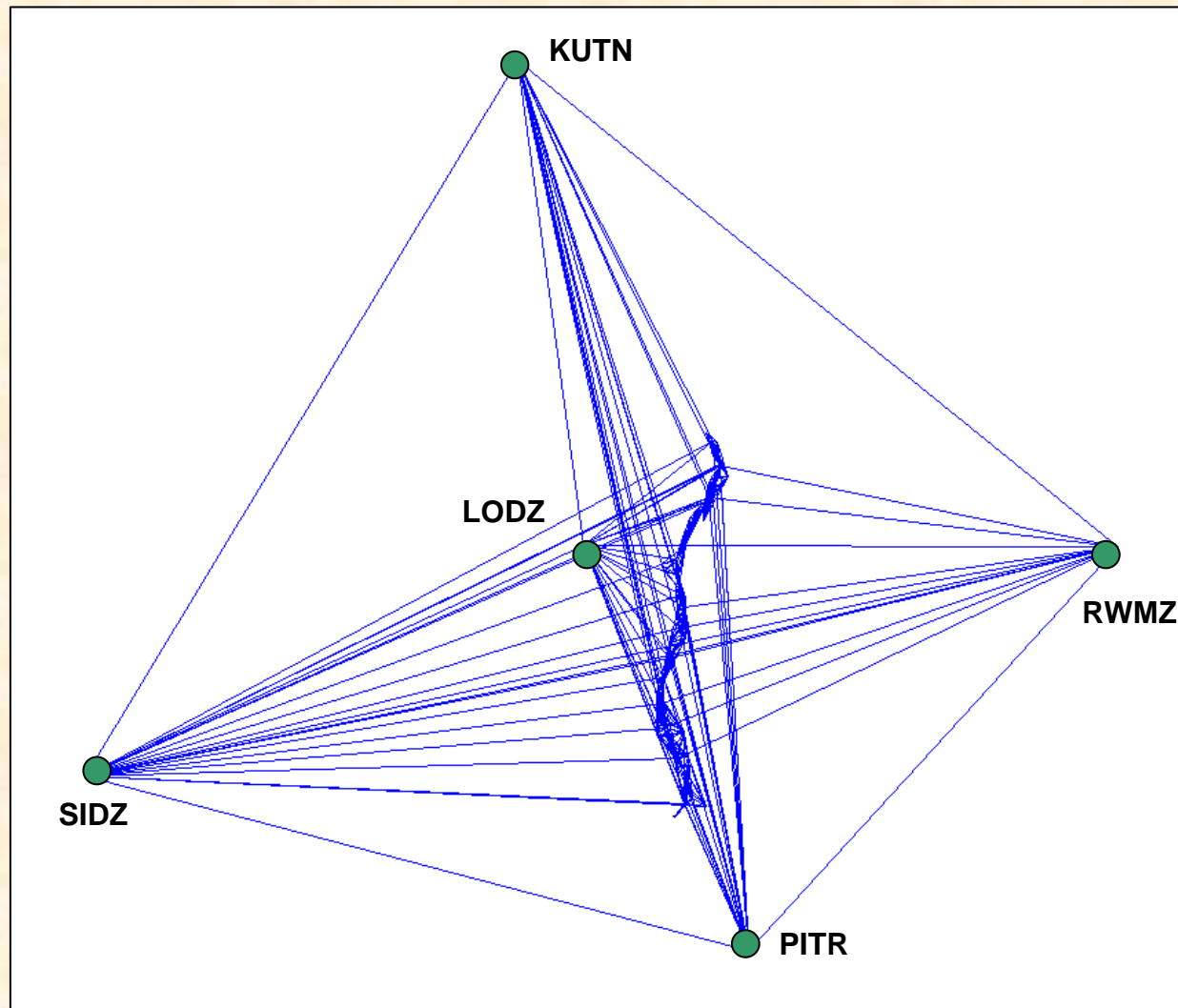
Odchyłka maksymalna dlugosci linii geodezyjnej:  $vD(max.) = -0.0294$

#### **Parametry wyrównania w układzie geocentrycznym XYZ (ETRF'89)**

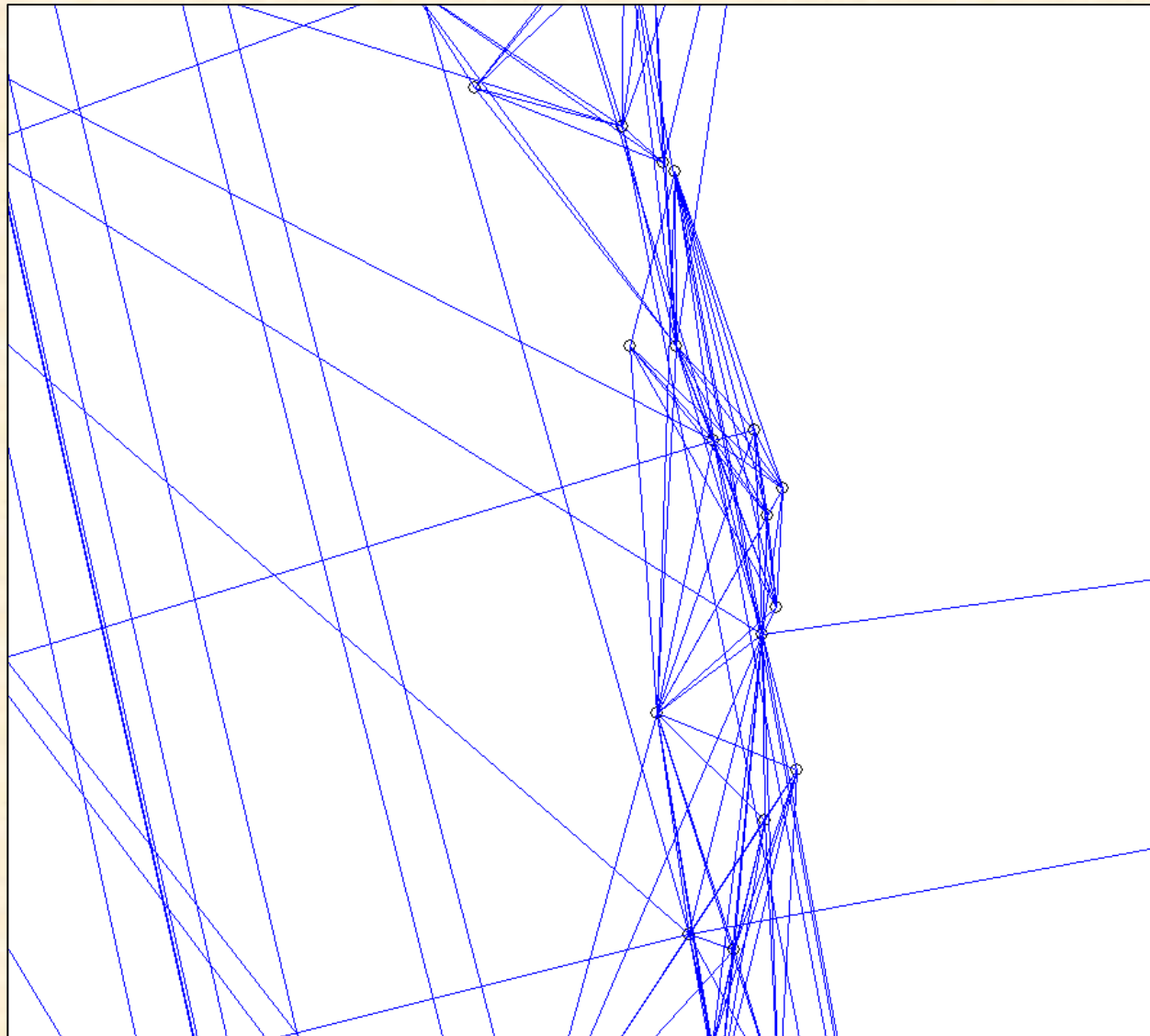
Bład sredni jednostkowy  $M_o = 2.4261$

Odchyłka maksymalna dlugosci wektora:  $vD(max.) = 0.1211$

**Sieć realizacyjna A1 na odcinku: STRYKÓW – TUSZYN  
nawiązana do 5 stacji ASG-EUPOS**



***Sieć realizacyjna A1 na odcinku: STRYKÓW – TUSZYN  
struktura geometryczna sieci***



## Sieć realizacyjna A1 na odcinku: STRYKÓW – TUSZYN - parametry

### PARAMETRY CAŁKOWITOLICZBOWE SIECI

Liczba wszystkich punktów sieci	lp =	88
Liczba stałych punktów nawiązania	ls =	5
Liczba punktów wyznaczanych	lr =	83
Liczba obserwacji kątowych	lka =	2
Liczba azymutów geodezyjnych (GPS)	lazg =	570
Liczba długości klasycznych	ldk =	3
Liczba długości GPS	ldg =	570
Nadwymiarowość układu obserwacyjnego	m-n =	979
GLOBALNY WSKAŹNIK NIEZAWODNOŚCI: z = 0.8550 z% = 85.5%		

---

#### Wyrównanie na elipsoidzie GRS-80 w układzie ETRF'89

Przeciętny błąd położenia	Mp(sr) =	0.0049 m
Maksymalny błąd położenia	Mp(max)=	0.0107 m
Mo =		0.94496

---

#### Wyrównanie w układzie „2000/18”

Przeciętny błąd położenia	Mp(sr) =	0.0080 m
Maksymalny błąd położenia	Mp(max)=	0.0174 m
Mo =		1.54673

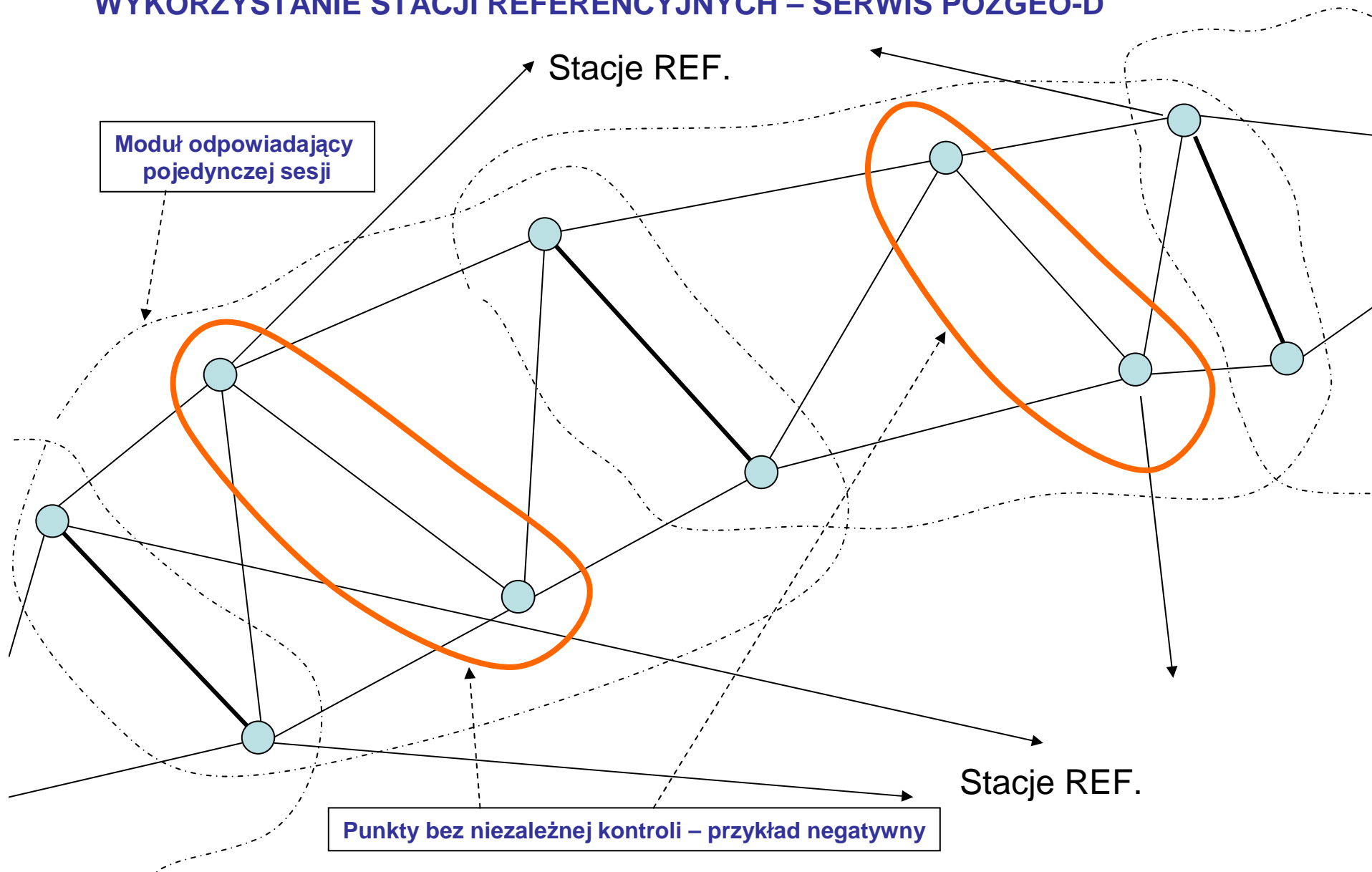
---

#### Wyrównanie w układzie 1992

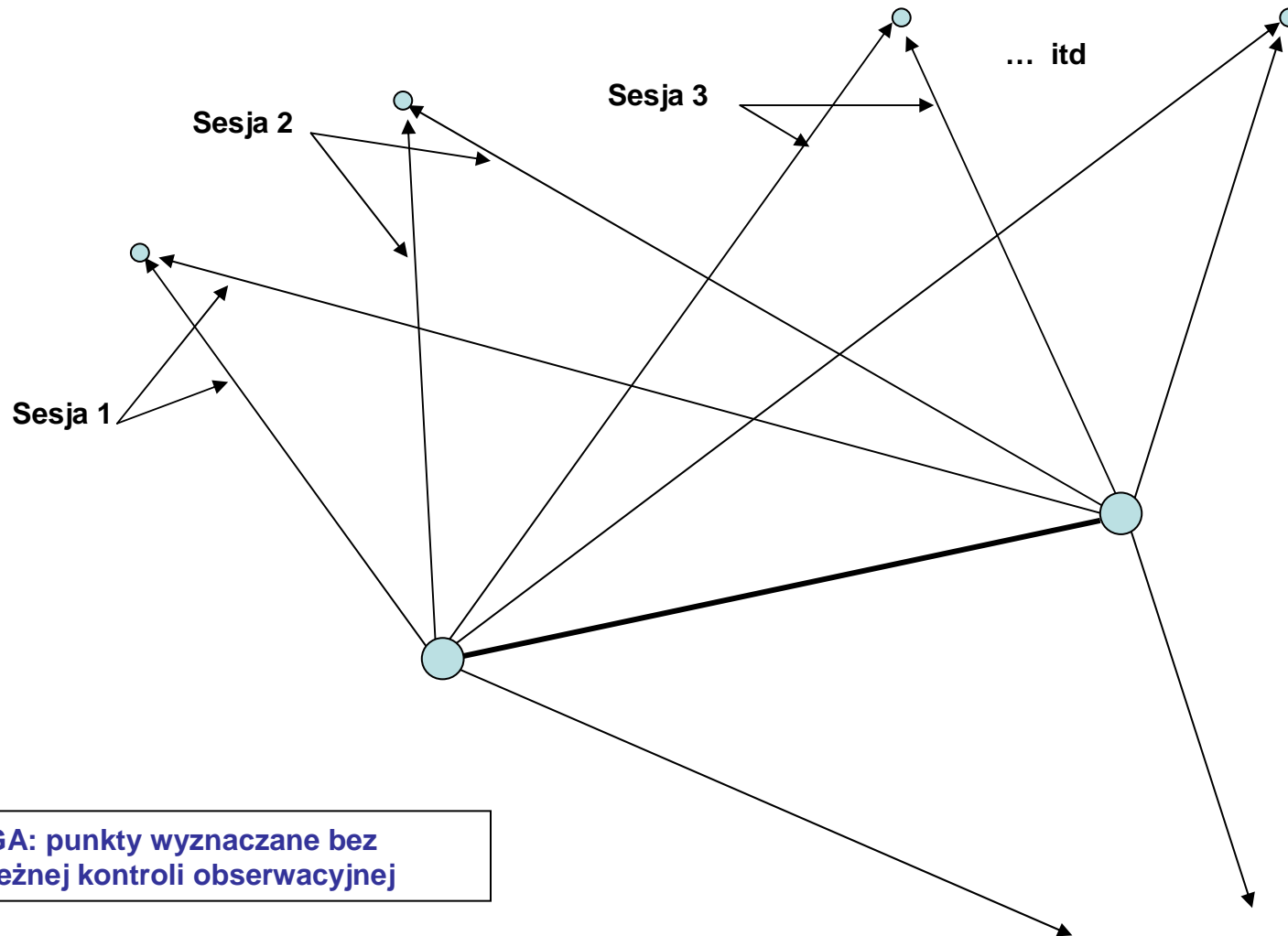
Przeciętny błąd położenia	Mp(sr) =	0.0097 m
Maksymalny błąd położenia	Mp(max)=	0.0211 m
Mo =		1.87394



## SIEĆ MODULARNA GPS (np. dla realizacji trasy komunikacyjnej) WYKORZYSTANIE STACJI REFERENCYJNYCH – SERWIS POZGEO-D



**PROBLEM NIEZAWODNOŚCI W POMIARACH STATYCZNYCH GPS  
(przykład negatywny: wyznaczenie punktu z wektorów tylko jednej sesji obserwacyjnej)**



**UWAGA: punkty wyznaczone bez  
niezależnej kontroli obserwacyjnej**



[www.asgeupos.pl](http://www.asgeupos.pl)

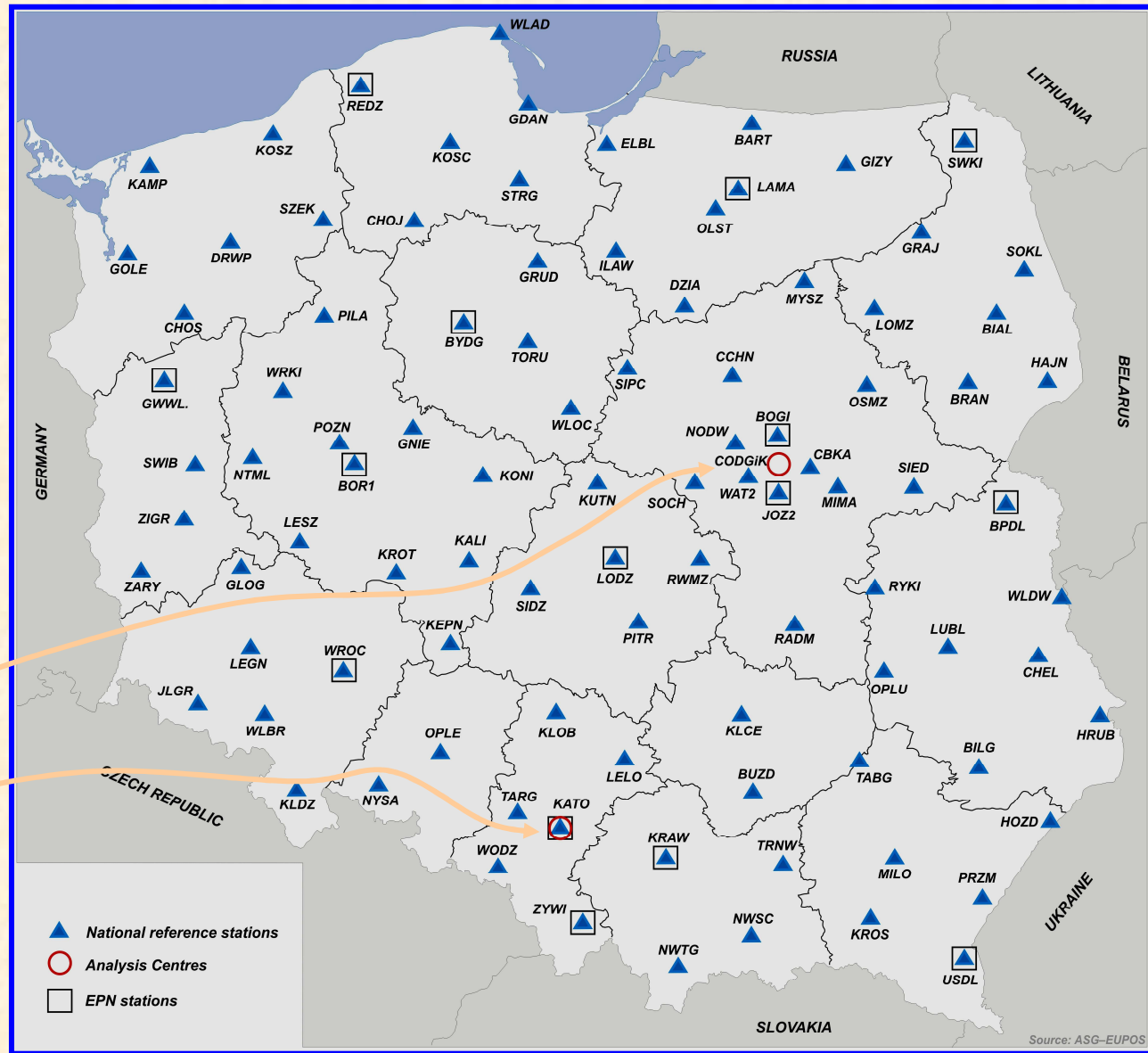
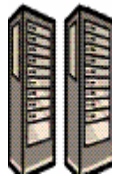
## AKTYWNA SIĘĆ GEODEZYJNA

101 Stacji , w tym  
15 - EPN

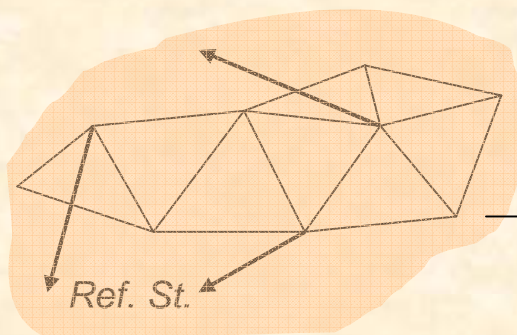
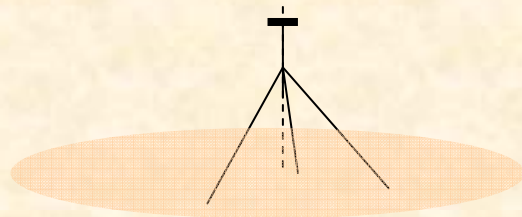
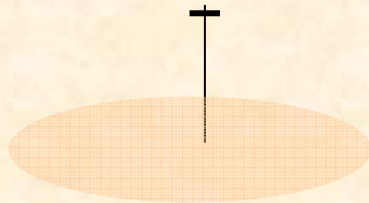
+  
22 stacje zagraniczne  
(SAPOS, CZEPOS,  
SKPOS, LITPOS)

Centrum zarządzania  
w Warszawie

Centrum zarządzania  
w Katowicach



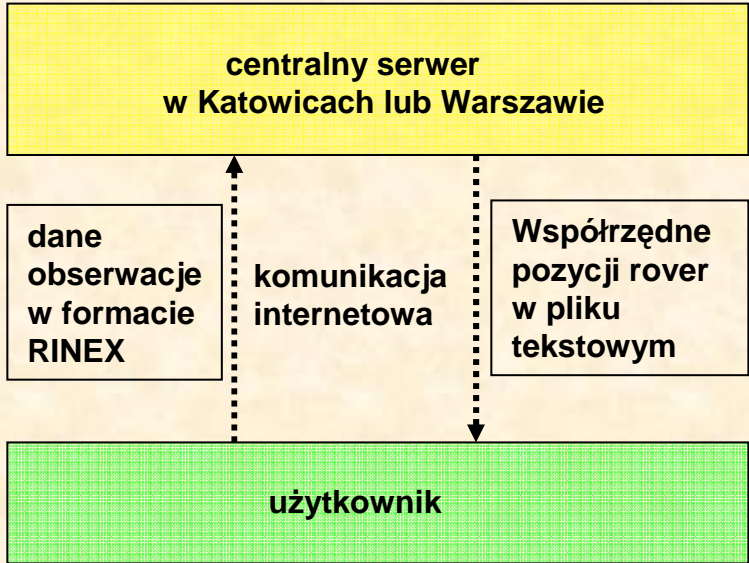
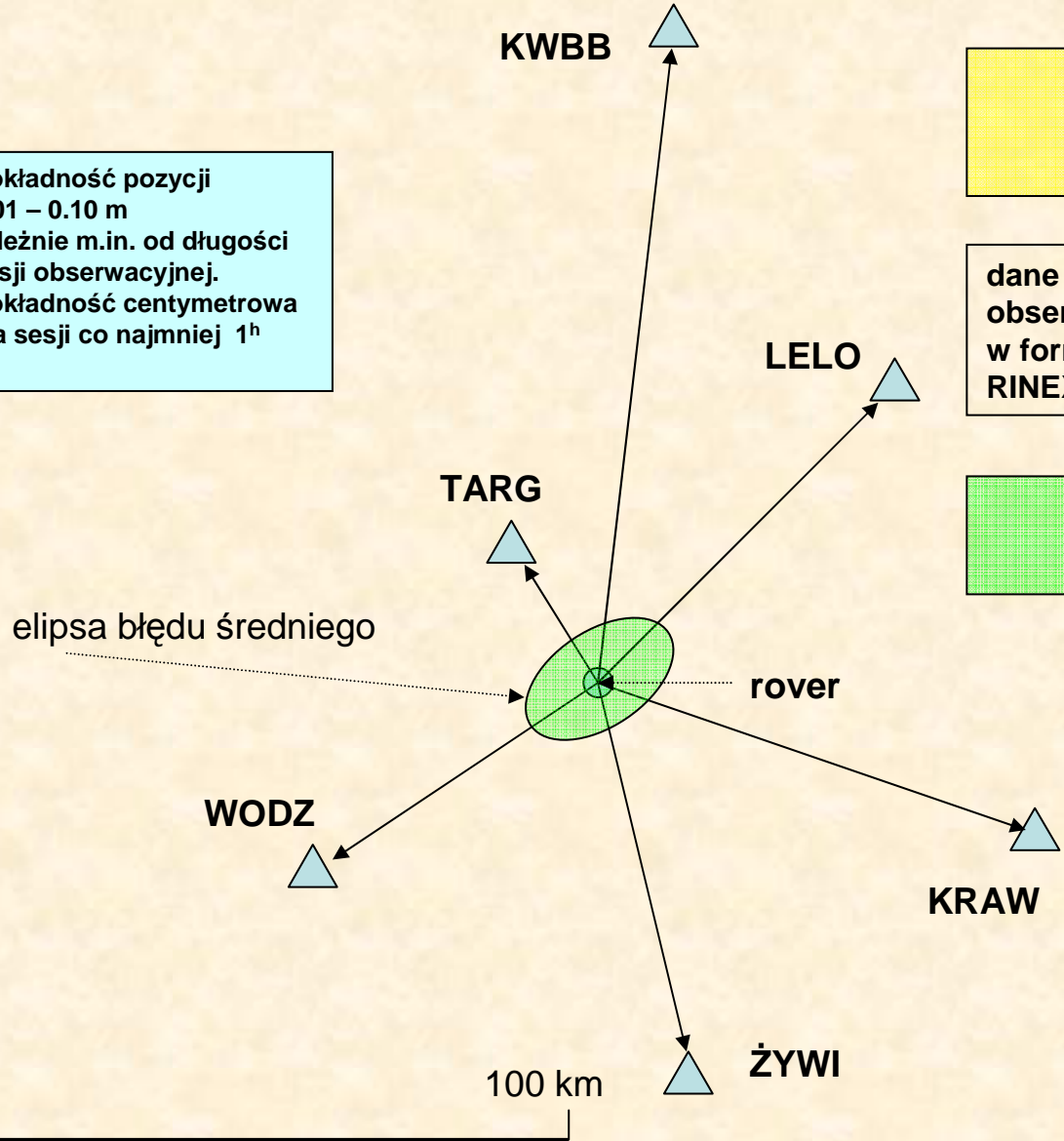
## Serwisy systemu ASG-EUPOS



Nazwa Serwisu	Błąd standardowy
<b>Serwisy czasu rzeczywistego</b>	
<b>NAVGIS</b>	1.0 m
<b>KODGIS</b>	0.25 m
<b>NAVGeo (RTK Modul)</b>	0.03 – 0.05 m ( w poziomie ) 0.06 m ( w wysokości )
<b>Serwisy postprocessingu</b>	
<b>POZGeo</b> <b>Z modułem APPS</b> (Automatic Postprocessing Software) <b>oraz Modul Manualny</b>	0.01 – 0.03 m dla odbiorników dwuczęstotliwościowych: L1, L2 – sygnały 40' Minimalny czas sesji < 0.01 m dla > 2-3h sesji obs.
<b>POZGeo-D</b> (RINEX – File ze stacji referencyjnych + VRS)	Według odrębnych parametrów technicznych kampanii pomiarowych. Software użytkownika.

## ZASADA WYZNACZENIA POZYCJI W SERWISIE POZGEO

Dokładność pozycji  
0.01 – 0.10 m  
zależnie m.in. od długości  
sesji obserwacyjnej.  
Dokładność centymetrowa  
dla sesji co najmniej 1<sup>h</sup>

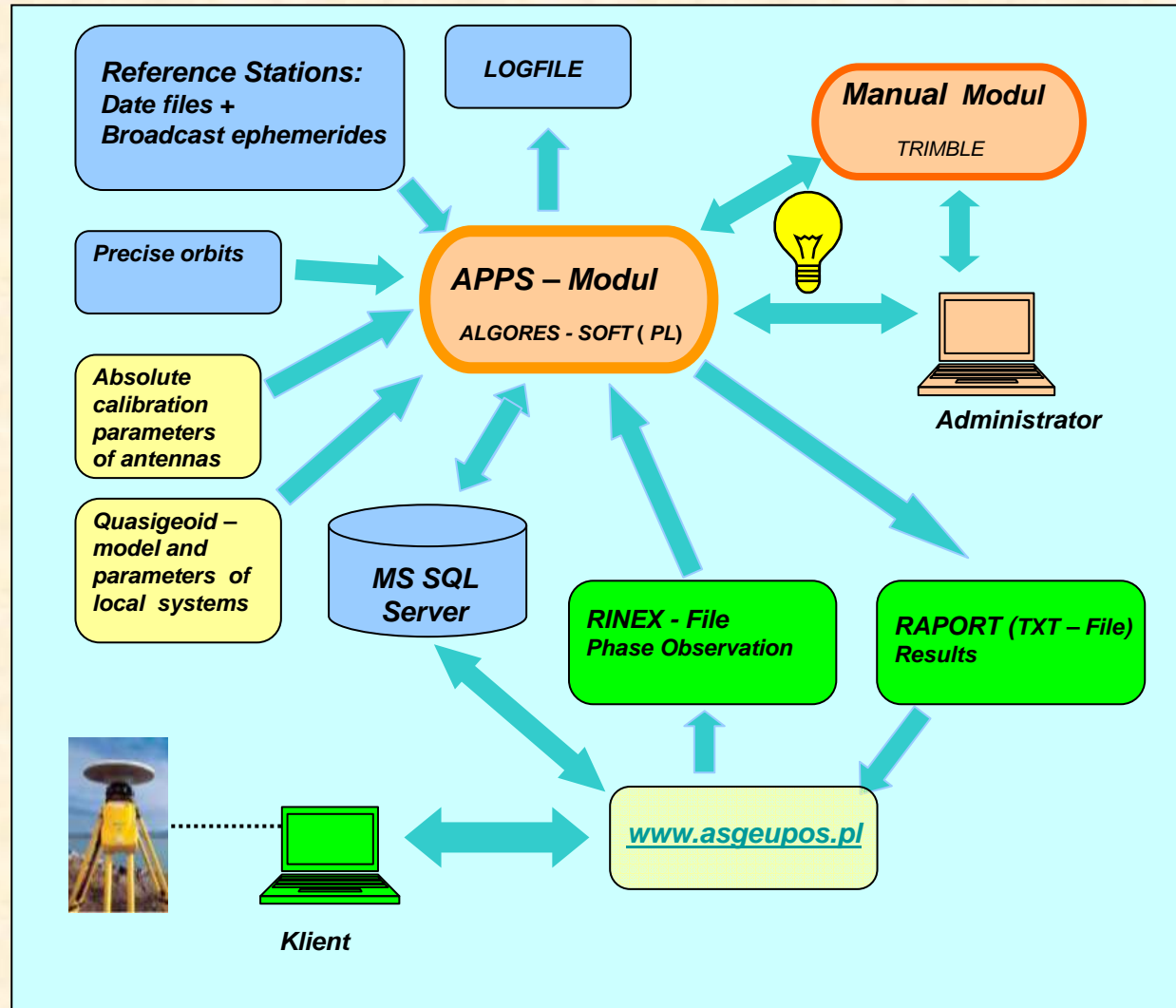


Współrzędne pozycji wyznacza się w tzw. automatycznym postprocessingu z wektorów GPS do sześciu najbliższych stacji systemu, w układach:  
BLH (współrzędne elipsoidalne)  
„1992” (układ jednostrefowy)  
„2000” (w jednej z 4 stref)  
„1965” (w jednej z 5 stref)  
H’86 (układ wysokości)

## SERWIS POZGEO - STRUKTURA ZEWNĘTRZNA

### APPS – Ogólne założenia

- Czas Sesji: od 30' - 40' do 24h
- Max. Liczba epok: 3600 (jeśli więcej – nastąpi automatyczne „rozrzedzenie”)
- Interwał: 1 – 60 sek.
- Min. 5 Satelitów
- Liczba stacji: 3 – 6
- Kalibracje absolutne anten
- Sygnały fazowe L1, L2 (iono-free L3)
- Min. Elewacja 10°
- Model troposfery GMF (Niell, 2000) z Modified Hopfield refrakcją zenitalną





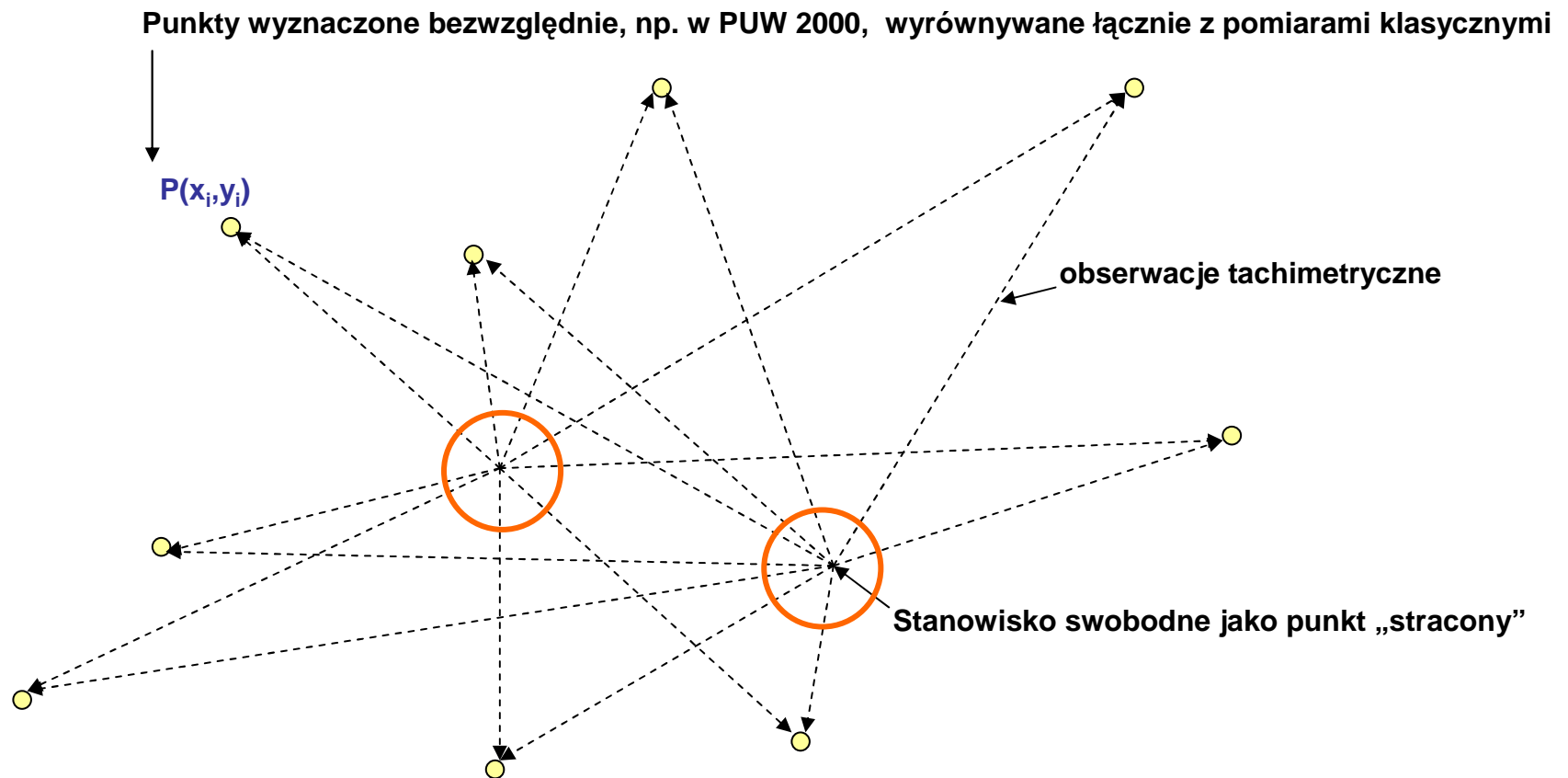
## Integracja pomiarów RTK (w serwisie NAWGEO systemu ASG-EUPOS) lub POZGEO z pomiarami klasycznymi (kontrolnymi)

**DANE:** Współrzędne  $\{ (x, y) \}$  wyznaczone metodą RTK lub POZGEO  
Klasyczne pomiary kontrolne  
- długości  
- kąty, kierunki

### **ALGORYTM WYRÓWNANIA ŁĄCZNEGO Z POMIARAMI KLASYCZNYMI:**

- Z obserwacji klasycznych tworzymy zbiory do wyrównania poziomej sieci geodezyjnej, np. w układzie „2000”, przyporządkowując obserwacjom odpowiednie błędy średnie.
- Ze współrzędnych z pomiarów RTK tworzymy zbiór współrzędnych punktów nawiązania z błędnościami (w typowych sytuacjach zakładamy  $m_x = m_y = 0.03$  m)
- Wykonujemy program wyrównania sieci poziomej, w wyniku czego punkty pomierzone RTK otrzymują poprawione (wyrównane) współrzędne wraz punktowymi parametrami dokładności (błędami położenia).

## POZYCJONOWANIE RTK LUB POZGEO w integracji z pomiarami klasycznymi Przykład zastosowania metody „swobodnego” stanowiska



Seć hybrydowa złożona z punktów wyznaczonych metodami RTK lub POZGEO o założonych błędnościach współrzędnych  $m_x = m_y = 0.03$  m i obserwacji tachymetrycznych ze stanowisk swobodnych.

Wyrównania sieci w systemie GEONET oznacza wyrównanie z odrzuceniem bezbłędności współrzędnych punktów nawiązania przy czym tutaj wszystkie punkty sieci, za wyjątkiem stanowisk tachymetrycznych, pełnią taką funkcję.

## ELEMENTY NIEZAWODNOŚCI W POMIARACH GPS

### **METODA STATYCZNA Z EWENTUALNYM WYKORZYSTANIEM SERWISU POZGEO-D**

1. Wyznaczenia punktów przez wektory uzyskane w niezależnych sesjach obserwacyjnych
2. Niezależny pomiar przy wykorzystaniu serwisu RTK (NAWGEO)
3. Kontrolne pomiary klasyczne

### **METODA RTK Z WYKORZYSTANIEM RTK (NAWGEO)**

1. Powtórne wyznaczenia przy innej inicjalizacji odbiornika
2. Włączenie do pomiaru punktów osnowy, co stanowi kontrolę rzeczywistego układu odniesienia
3. Kontrolne pomiary klasyczne

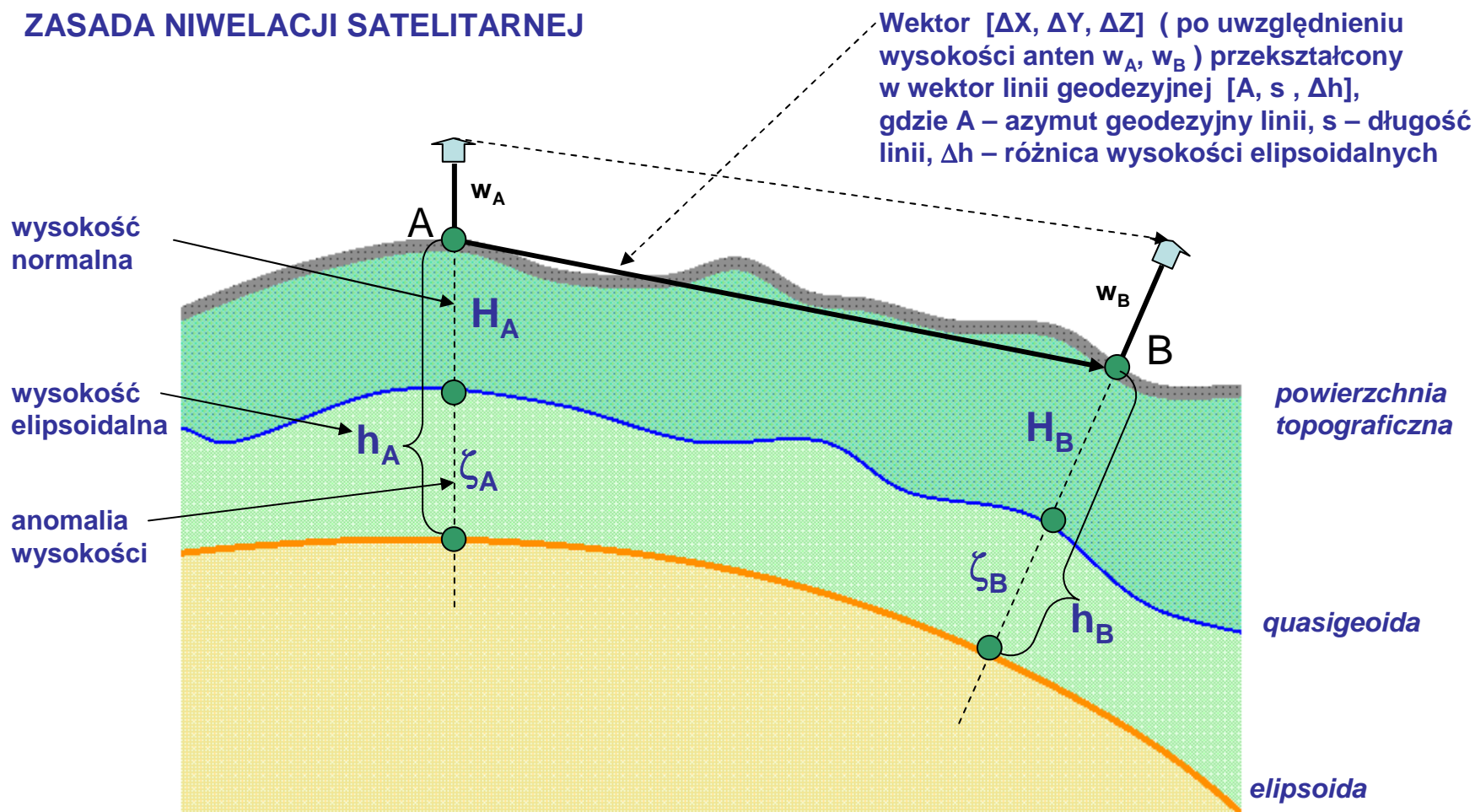
### **SERWIS AUTOMATYCZNEGO POSTPROCESSINGU (POZGEO)**

1. Powtórne niezależne wyznaczenie punktu (w odrębnej sesji obserwacyjnej)
2. Kontrolne pomiary klasyczne lub statyczne GPS z nawiązaniem do osnów.

### **DOKUMENTACJA KONTROLNA:**

1. W SENSIE BEZWZGLĘDNYM (wyrównania sieci lub transformacje oparte na punktach osnowy jako elementach nawiązania, dostosowania lub kontroli)
2. W SENSIE WZGLĘDNYM (wykazy różnic współrzędnych niezależnych wyznaczeń lub odchyłek miar kontrolnych)

## ZASADA NIWELACJI SATELITARNEJ



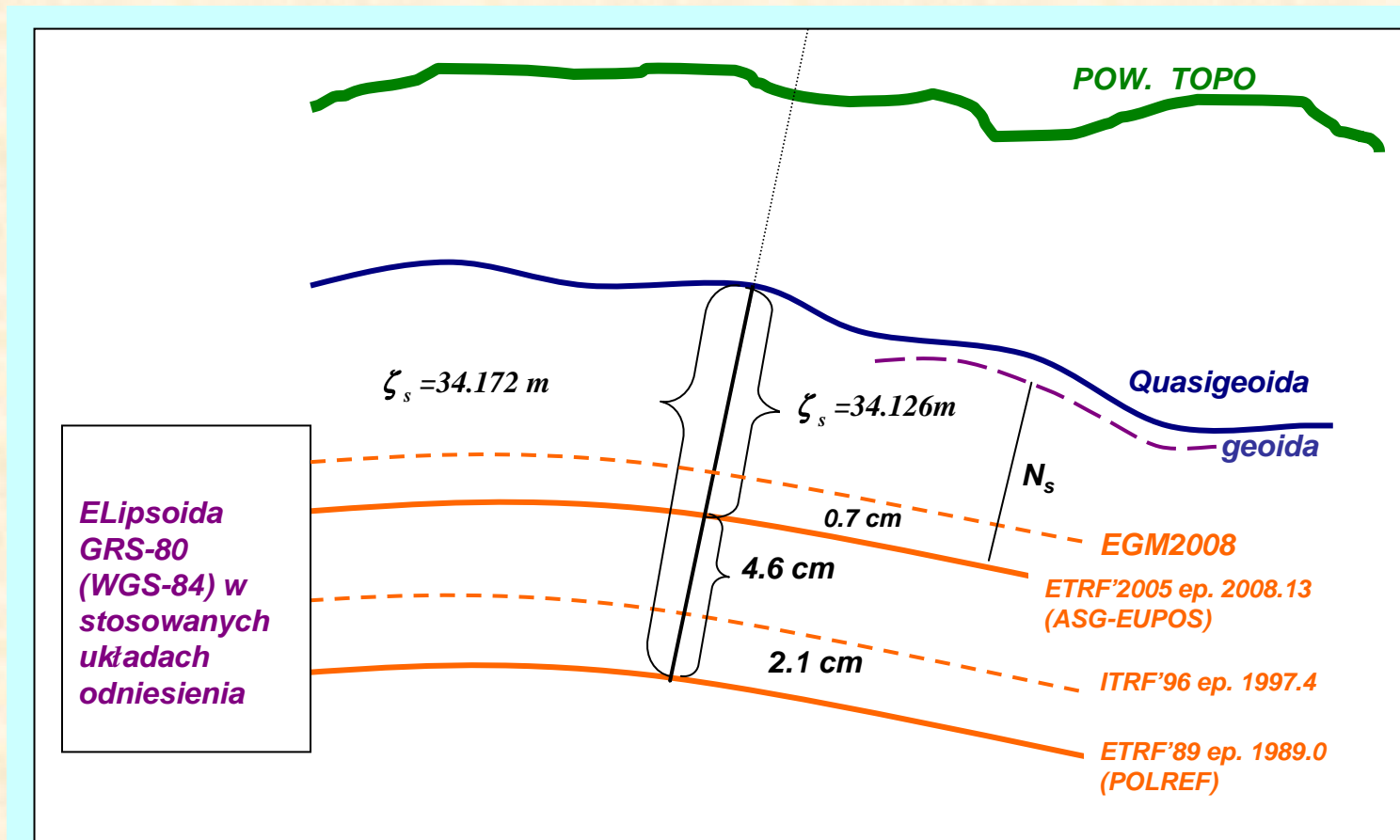
$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = (h_B - \zeta_B) - (h_A - \zeta_A) = (h_B - h_A) - (\zeta_B - \zeta_A) = \Delta h_{AB} - \Delta \zeta_{AB}$$

więc

$$\Delta H_{AB} = \Delta h_{AB} - \Delta \zeta_{AB},$$

gdzie  $\Delta h_{AB}$  – różnica wysokości elipsoidalnych z pomiarów satelitarnych  
 $\Delta \zeta_{AB}$  – z numerycznego modelu quasigeoidy (zob. następny rys.)

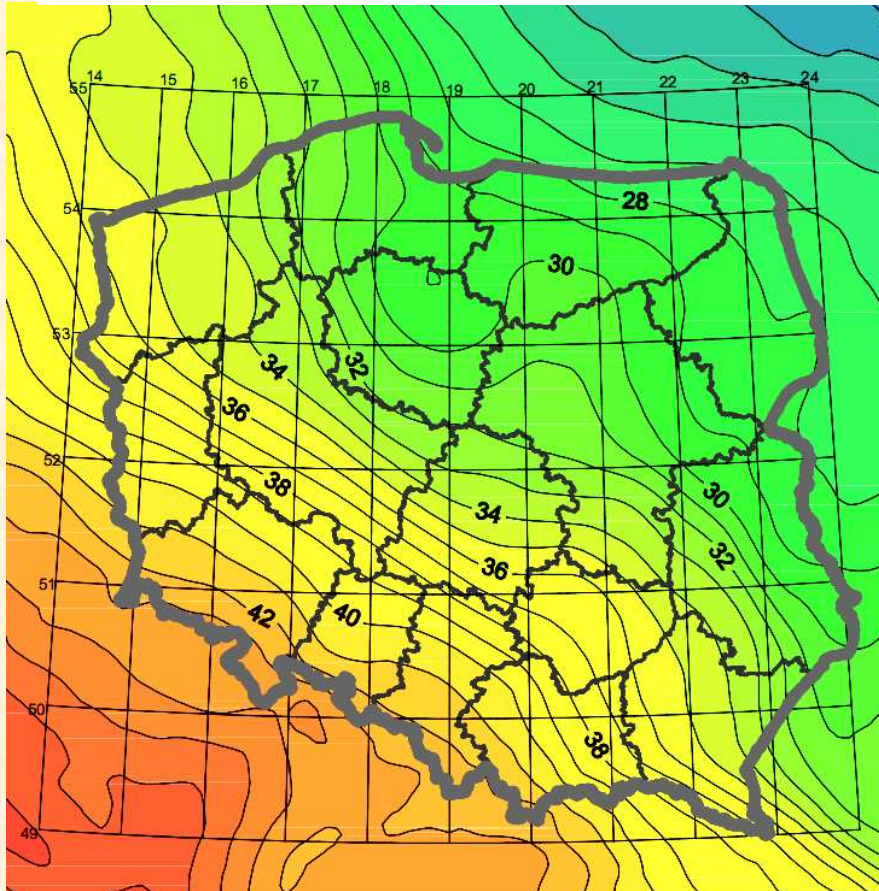
## Problematyka wyznaczeń wysokości normalnych metodą niwelacji satelitarnej, w szczególności w serwisie POZGEO – kalibracje i transformacje modeli



**Komentarz:** teoretycznie powinna zachodzić równość potencjałów normalnego na elipsoidzie i rzeczywistego na geoidzie ( $U_o = W_o$ ). W praktyce, system wysokościowy nie ma związku z przyjmowanymi (w latach późniejszych) układami odniesienia 3D (ETRF).



**Quasigeoida GEOIDPOL-2008C utworzona na bazie modelu EGM2008 (*Pavlis i in.* NGA [ [http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08\\_wgs84.html](http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html) ]) poprzez jego kalibrację na zbiorze empirycznych anomalii wysokości punktów geodezyjnych: ASG-EUPOS i sieci EUVN.**



**Izolinie anomalii wysokości [m]**

**Sieć odniesienia** (satelitarno-niwelacyjna) do kalibracji quasigeoidy: 141 punktów w tym:  
101 stacji **ASG\_EUPOS**  
40 punktów sieci **EUVN** (z kampanii 2010/11)

### Etapy tworzenia GEOIDPOL-2008 A (C)

#### I. Wygenerowanie z modelu **EGM2008**

anomalii wysokości  $\zeta$  dla

- siatki geograficznej o „oczku”  $0.01^\circ$   
w zakresie: B:  $48^\circ$ - $56^\circ$ , L:  $13^\circ$  –  $25^\circ$  (962001pkt)
- punktów **ASG-EUPOS** i **EUVN** i przeliczenie:

$$(BL \zeta)_{EGM08} \Rightarrow (XYZ)_{EGM08} \text{ (grid + osnowa)}$$

#### II. Utworzenie zbioru empirycznych (pomiarowych) anomalii wysokości dla punktów **ASG-EUPOS** i sieci **EUVN** oraz przeliczenie:

$$\zeta = H(\text{ETRF}'2000 \text{ ep.2011}) - H_n(\text{Kronstadt '86})$$

$$(BL \zeta)_{ETRF'00} \Rightarrow (XYZ)_{ETRF'00} \text{ (osnowa)}$$

#### III. 3D – TRANS z korektami *Hausbrandta*:

$$(XYZ)_{EGM08} \text{ (grid+osnowa)}$$

$$(XYZ)_{ETRF'00} \text{ (osnowa)}$$



$$(XYZ)_{ETRF'00} \text{ (grid)}$$



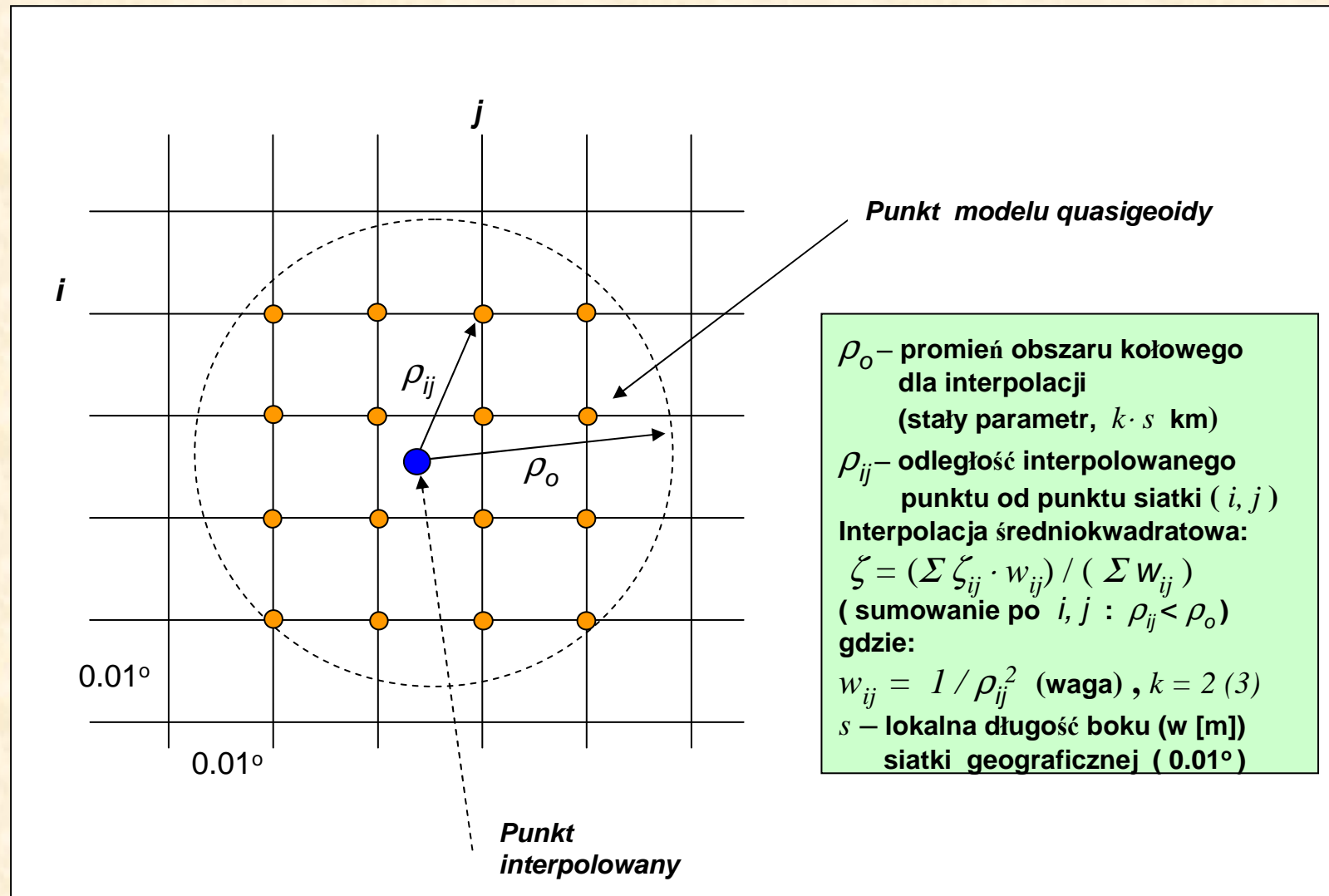
#### IV. Przekształcenie finalne:

Model GEOIDPOL\_2008A(C):

$$(BL \zeta)_{ETRF'00} \text{ (grid)}$$



## Średniokwadratowa interpolacja quasigeoidy



**SYNTEZA:****Sieci hybrydowe (zintegrowane) zakładane z użyciem serwisu POZGEO-D**

- Ze względu na znaczne odległości punktów od stacji referencyjnych wyrównanie sieci zintegrowanej nie powinno być realizowane w układzie odwzorowawczym (na płaszczyźnie) lecz na elipsoidzie (we współrzędnych B, L), po przekształceniu wektorów kartezjańskich ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) w wektory linii geodezyjnych ( $A^g, s, \Delta H^e$ ). Wyrównanie sieci w układzie „2000” lub „1992” może być obarczone błędem numerycznym, wynikającym z uproszczonej postaci wzorów na poprawki odwzorowawcze do obserwacji, nie uwzględniające znacznych długości linii geodezyjnych. Przejście z przestrzeni trójwymiarowej na powierzchnię elipsoidy powoduje równocześnie eliminację ewentualnych błędów pomiarowych GNSS o kierunku wertykalnym (w parametrach kalibracyjnych lub w pomiarze wysokości anten).
- Obserwacje klasyczne w integracji z wektorami GNSS do wyrównania na elipsoidzie powinny być zredukowane do miar elementów geometrycznych (linii geodezyjnych) na elipsoidzie.
- Dla sieci precyzyjnych punktami nawiązania powinny być wyłącznie stacje referencyjne. Stacje ASG-EUPOS reprezentują obecnie układ odniesienia ETRF'2005 na epokę 2008.13, natomiast osnowy naziemne są wyznaczone w układzie ETRF'89 (PL). Przeciętna różnica współrzędnych poziomych (np. xy2000) pomiędzy tymi układami wynosi ok. 2 cm.
- Poprawna niezawodność zewnętrzna samej sieci wektorowej GNSS wymaga aby obserwacje na każdym punkcie tej sieci były wykonane przynajmniej w dwóch sesjach obserwacyjnych, w różnych warunkach zewnętrznych. Najlepszym (fizycznie niezależnym) sposobem na uzyskanie poprawnej niezawodności zewnętrznej jest integracja pomiarów GNSS z pomiarami klasycznymi.

## SYNTEZA (c.d.):

### Dokładność i niezawodność pozycjonowania z użyciem serwisów POZGEO lub POZGEO-D

- Krótkie (< 30' ) sesje w POZGEO lub POZGEO-D nie wykluczają wprowadzenia wysokiej precyzji ale są ryzykowne ze względu na niską niezawodność wewnętrzną pozycjonowania.
- Najwyższe (milimetrowe) precyzje i dobre niezawodności wewnętrzne pozycjonowania dla wektorów o długościach (50 – 500 km) uzyskuje się metodą TD – BETA w sesjach dłuższych niż 2<sup>h</sup>.

### Pozycjonowanie POZGEO lub RTK w integracji z pomiarami klasycznymi

- Punkty wyznaczone w serwisie POZGEO lub RTK w układzie płaskim, np. PUW2000 mogą być poddane łącznemu wyrównaniu z obserwacjami klasycznymi. Współrzędne punktów traktowane są wtedy jako pseudoobserwacje z sugerowaną błędnością  $m_x = m_y = 0.03\text{m}$ . Przykładem efektywnych kontrolnych pomiarów naziemnych może być tachimetria ze stanowisk swobodnych.

### Niwelacja satelitarna

- W celu praktycznego stosowania niwelacji satelitarnej w serwisach ASG-EUPOS proponuje się wykorzystanie modelu quasigeoidy opartym na najnowszym i najdokładniejszym modelu geopotencjalnym EGM2008, skalibrowanym na polskie sieci satelitarno-niwelacyjne do układu Kronsztad'86.
- Model skalibrowany pod nazwą GEOIDPOL\_2008C w formie gotowego programu udostępniony na stronie [www.geonet.net.pl](http://www.geonet.net.pl). W kalibracji wykorzystano 141 punktów o największej wiarygodności w zakresie wyznaczeń wysokości normalnych (101 stacji ASG-EUPOS + 40 punktów sieci EUVN z najnowszych kampanii pomiarowych). Testy statystyczne wykazują błąd przeciętny quasigeoidy < 2 cm (dane z 393 punktów kontrolnych).

Dziękuję za uwagę

Roman J. Kadaj  
[geonet@geonet.net.pl](mailto:geonet@geonet.net.pl)  
Politechnika Rzeszowska  
Katedra Geodezji *im. K. Weigla*