



Seminarium

Realizacja osnów geodezyjnych a problemy geodynamiki

KG PAN i Wydział Geodezji i Kartografii PW, Grybów, 25-27 września 2014

Algorytm opracowania modelu PL-geoid-2011

Roman Kadaj

- **Dane źródłowe dotyczące modelowych i empirycznych anomalii wysokości (EGM2008, osnowy satelitarno-niwelacyjne). Problem jakości danych pomiarowych.**
- **Dwuetapowe zadanie kalibracji fragmentu (PL) modelu globalnego quasi-geoidy do układów odniesienia, w których są określone empiryczne anomalie wysokości (PL-KRON86-NH i PL-ETRF2000).**
- **Oceny jakościowe modelu PL-geoid-2011**

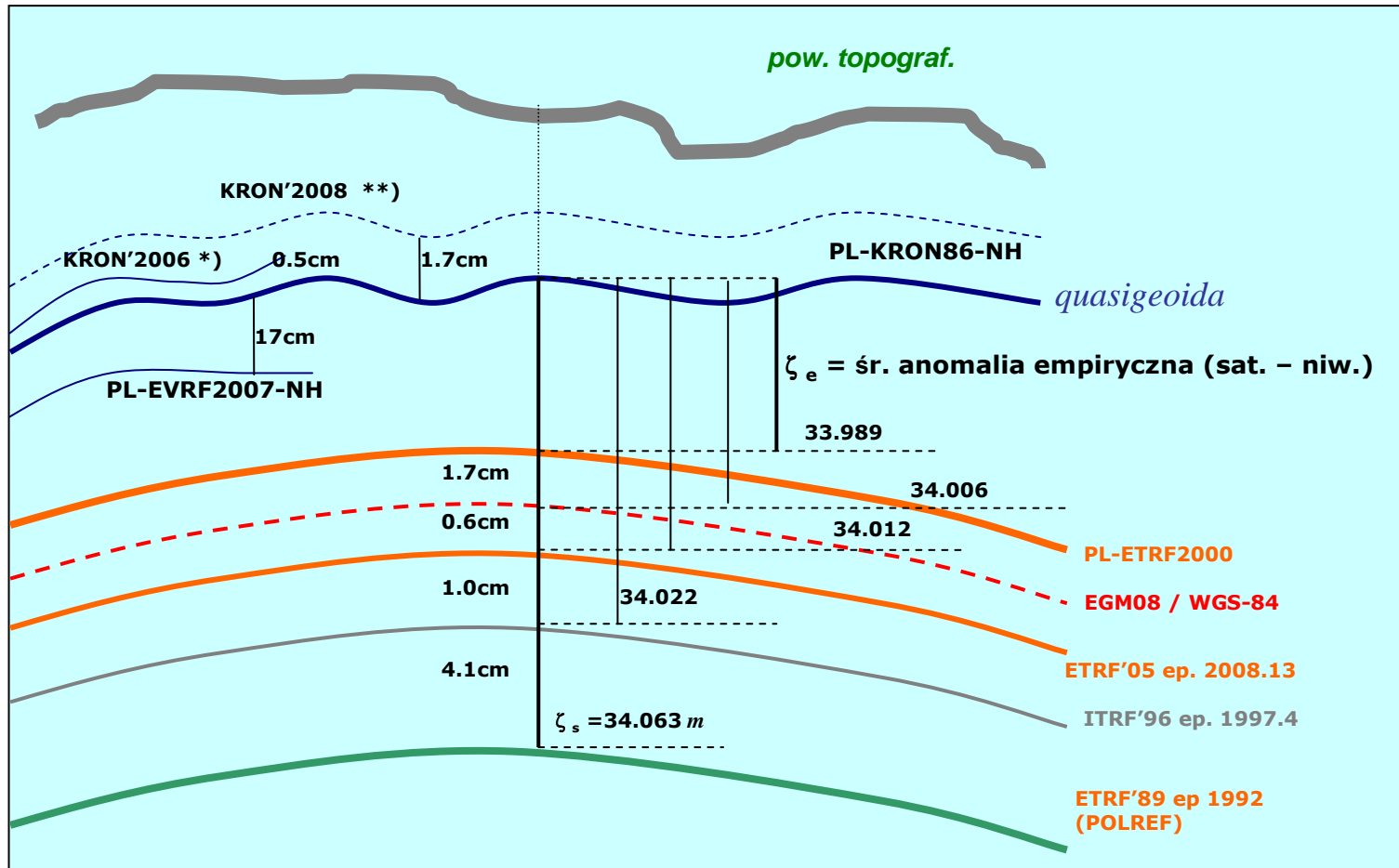
Komentarz wstępny:

Nowy model polskiej quasi-geoidy o nazwie PL-geoid-2011 został utworzony poprzez kalibrację (wpasowanie) quasi-geoidy modelu geopotencjalnego EGM2008 (*Pavlis i in., 2008*) do układu reprezentowanego przez zbiór 570 punktów satelitarno – niwelacyjnych. Dla wyróżnionych punktów określono empiryczne anomalie wysokości, czyli różnice pomiędzy wysokościami elipsoidalnymi i normalnymi wyznaczonymi w odpowiednich państwowych układach odniesienia: PL-ETRF2000, PL-KRON86-NH.

Jak wiadomo, model EGM2008 cechuje się wysoką rozdzielczością ($n=m=2160$) i dokładnością względną (wewnętrzna), nie ustępującą jakościowo dotychczas stosowanym modelom grawimetrycznym. Jest to zapewne efekt wykorzystania przez twórców globalnego modelu zbioru naziemnych danych grawimetrycznych. Wobec powyższego, aplikację modelu globalnego ograniczono jedynie do jego dostosowania do polskich układów odniesienia reprezentowanych przez punkty satelitarno – niwelacyjne (stacje i ekscentry ASG-EUPOS, sieci EUREF- POL +POLREF+EUVN) .

Zadanie to zrealizowano dwuetapowo. W etapie I dokonano przemieszczenia modelu globalnego stosując konforemną transformację trójwymiarową (3D). Taka operacja jest uzasadniona tym, że układ WGS-84, w którym opracowano model nie ma wiadomego powiązania z przyjętym w Polsce układem PL-ETRF2000. Ponadto, globalna geoida niekoniecznie odpowiada poziomowi zerowemu PL-KRON86-NH przyjętemu w Polsce. Etap II kalibracji stanowi dodatkowe, precyzyjne dopasowanie przebiegu quasi-geoidy do anomalii empirycznych, przez zastosowanie tzw. korekt lokalnych. Optymalna formuła korekt pozostaje nadal przedmiotem badań i dyskusji.

RÓŻNE UKŁADY ODNIESIENIA A MODELOWANIE QUASIGEOIDY



*) KRON'2006 (Gajderowicz, 2005) ;

***) w układzie ETRF2000 będzie odpowiadać anomalii wysokości EGM08 ($W_o=U_o$)

Komentarz do slajdu poprzedzającego.

Na rysunku przedstawiono symbolicznie pozycje pionowe elipsoid w różnych geometrycznych układach odniesienia względem pewnego przebiegu quasi-geoidy (geoidy) w układzie PL-KRON86-NH. Podane miary wzajemnych przesunięć pionowych w różnych układach określono jako średnie dla 570 punktów satelitarno – niwelacyjnych, które użyto obecnie do kalibracji nowej quasi-geoidy. Przykładowo, pomiędzy układem PL - ETRF89, w którym wyznaczono ongiś sieć POLREF a układem nowym PL-ETRF2000, reprezentowanym przez stacje referencyjne, średnie przesunięcie pionowe wynosi ok. 7,5 cm. Średnie przesunięcie pionowe elipsoid jest tylko przybliżonym wyrażeniem zależności przestrzennej między różnymi układami. Ściślej biorąc, zależności te określa 7 parametrów trójwymiarowej transformacji konforemnej (transformacji 3D).

Wobec powyższego, chcąc porównywać ze sobą różne modele geoidy (quasi-geoidy) potrzeba najpierw sprowadzić te modele do wspólnego układu odniesienia wysokości geometrycznych. W przeciwnym razie takie porównanie może być obarczone istotnym błędem systematycznym. Niestety, spotyka się publikacje, w których geoidy wyrażone w różnych układach są ze sobą bezpośrednio porównywane bez uwzględnienia przemieszczenia systematycznego między układami. Sprowadzanie do wspólnego układu realizuje przede wszystkim transformacja konforemna 3D. Tę metodę stosujemy również w pierwszej kolejności w celu kalibracji modelu globalnego do układu reprezentowanego przez określone dane empiryczne (anomalie wysokości wyznaczone z danych niwelacyjnych i obserwacji GNSS).

Generowanie modelowych anomalii wysokości EGM2008

Plik: EGM2008_to2190_TideFree

{ n , m , \bar{C}_{nm} , \bar{S}_{nm} , $\text{sigma}(\bar{C}_{nm})$, $\text{sigma}(\bar{S}_{nm})$ }

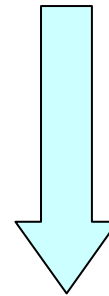
Plik: Zeta-to-N_to2160_egm2008

INPUT.dat

{(B_{ij} , L_{ij}): $B_{ij} = 48^\circ + i \cdot 0.01^\circ$; $L_{ij} = 13^\circ + j \cdot 0.01^\circ$; $i = 0,1,\dots, 800$; $j = 0,1, \dots,1200$ }
(siatka interpolacyjna quasigeoidy zawierająca 962001 węzłów)

{(B_k , L_k): $k := 1,2, \dots 570$ } (punkty satelitarno – niwelacyjne: 101 stacji ASG - EUPOS,
110 ekscentrów, 359 punktów sieci EUREF – POL + POLREF + EUVN)

HARMONIC_SYNTH_WGS84
Program w j. FORTRAN
(*Pavlis i in. 2008*)



OUTPUT.dat

{(B_{ij} , L_{ij} , ζ_{ij}): $B_{ij} = 48^\circ + i \cdot 0.01^\circ$; $L_{ij} = 13^\circ + j \cdot 0.01^\circ$; $i = 0,1,\dots, 800$; $j = 0,1, \dots,1200$ }
(siatka interpolacyjna quasigeoidy zawierająca 962001 węzłów)

{(B_k , L_k , ζ_k): $k := 1,2, \dots 570$ } (punkty satelitarno – niwelacyjne: 101 stacji ASG -EUPOS,
110 ekscentrów, 359 punktów sieci EUREF-POL+POLREF+EUVN)

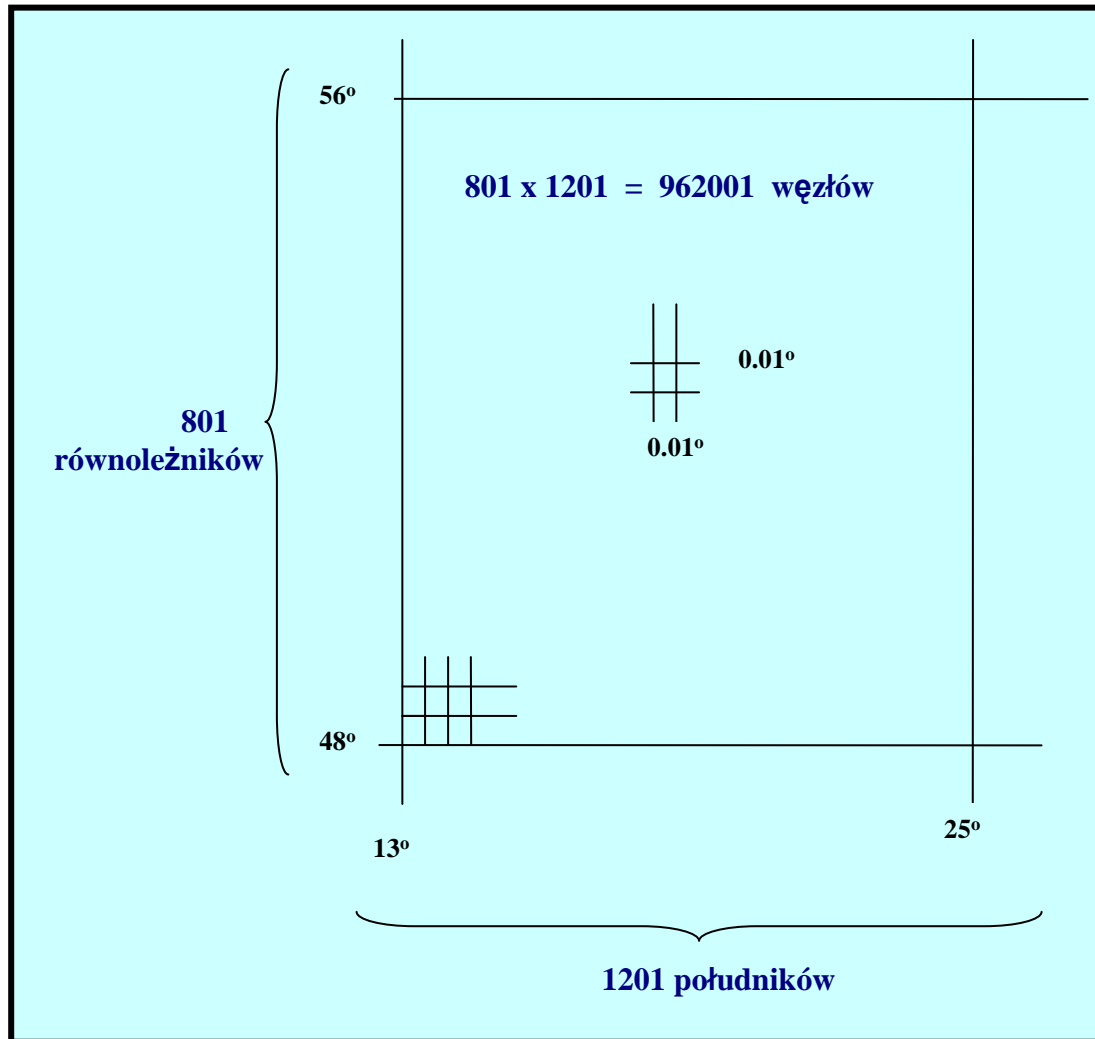
Komentarz do slajdu poprzedzającego.

Autorzy modelu EGM2008 (*Pavlis i in., 2008*) udostępnili program o nazwie HARMONIC_SYNTH_WGS84, zapisany w j. FORTRAN lub w wersji wykonawczej, hsynth.exe, pozwalający na wygenerowanie modelowych (EGM2008) anomalii wysokości dla dowolnego zbioru punktów o zadanych współrzędnych geodezyjnych (B, L). Oryginalny program korzysta z dwóch plików stałych (w schemacie na żółto). Oba pliki zawierają po ponad 2 mln rekordów. Pierwszy zawiera współczynniki harmonik geopotencjału EGM2008, w oparciu o który wyznacza się potencjał zakłócający (anomalny) na powierzchni Ziemi, a stąd odpowiedni zbiór anomalii wysokości (ζ). Drugi plik stały zawiera współczynniki szeregu harmonik, definiującego przekształcenie zbioru anomalii wysokości (ζ) na odpowiadający zbiór undulacji geoidy (N). Chcąc aby zbiór wynikowy zawierał tylko anomalie wysokości, wystarczy w drugim pliku wyzerować wartości wszystkich współczynników.

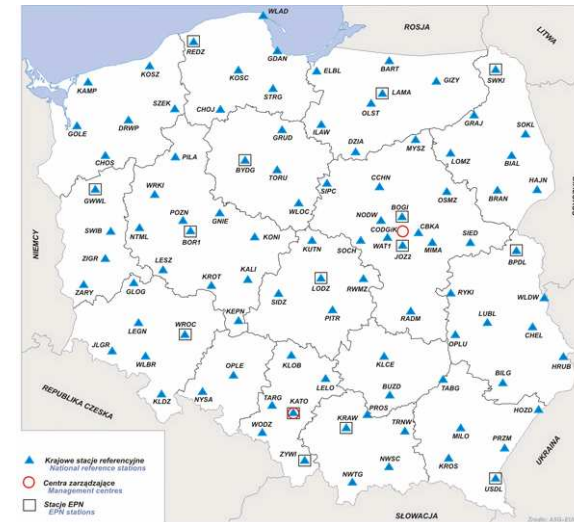
Zgodnie z pokazanym schematem, wygenerowano modelowe anomalie wysokości dla dwóch zasadniczych zbiorów:

- siatka modelu o oczku $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ w zakresie B: $13^\circ - 25^\circ$, L: $48^\circ - 56^\circ$ zawierająca 962001 węzłów
- 570 punktów satelitarno-niwelacyjnych

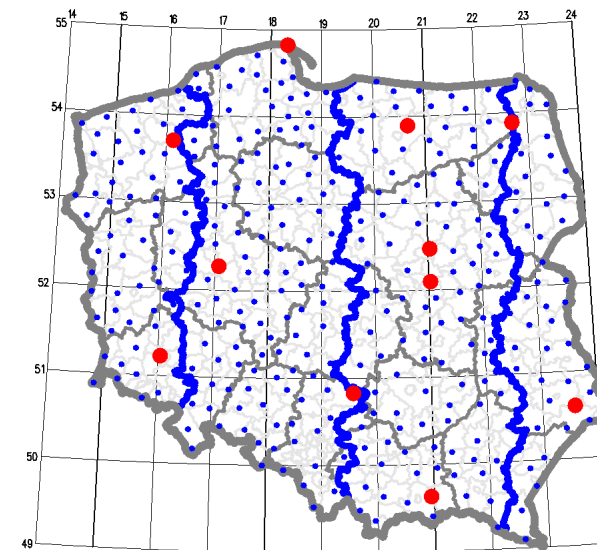
Zakres i rozdzielczość siatki bazowej dla numerycznego modelu quasi-geoidy



ASG-EUPOS



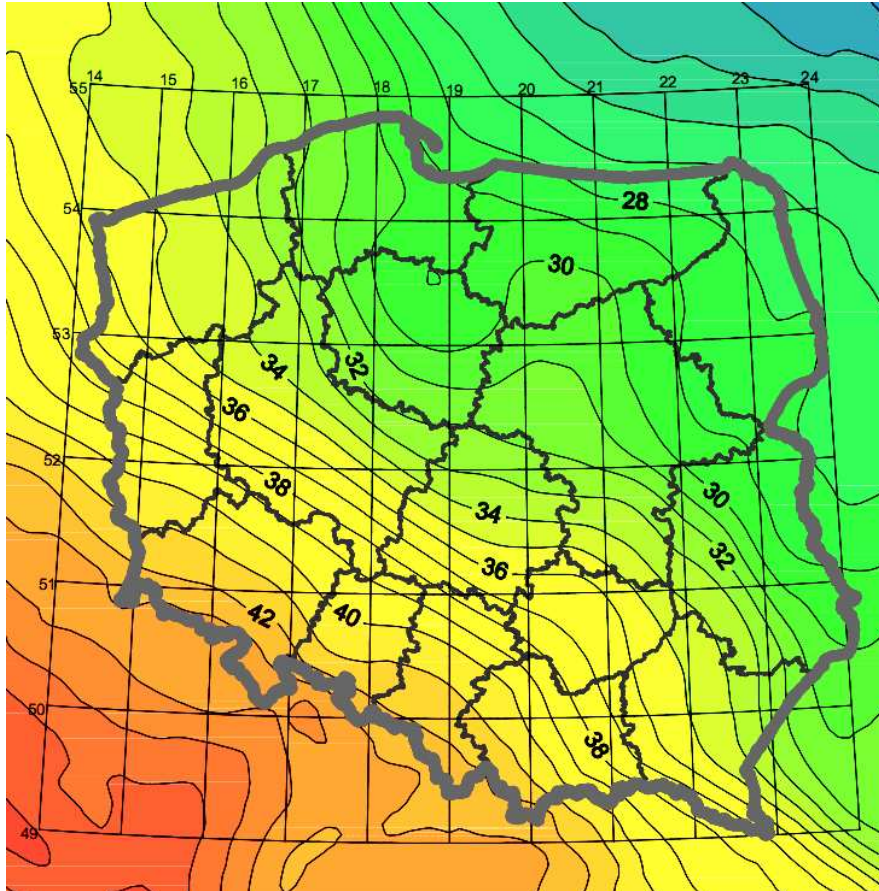
EUREF-POL+POLREF



Komentarz do slajdu poprzedzającego.

Jak widać, wygenerowana siatka zawiera w sumie 962001 węzłów, obejmując swym zasięgiem obszar wykraczający istotnie poza obszar Polski. Taki wariant siatki przyjęto w pierwotnej wersji modelu PL-geoid-2011 o nazwie GEOIDPOL-2008CN. Model ten, wraz z odpowiednim programem aplikacyjnym jest opublikowany na stronie www.geonet.net.pl. Model PL-geoid-2011 co do wartości anomalii wysokości jest identyczny z modelem pierwotnym GEOIDPOL-2008CN. Różnica polega jedynie na tym, że model PL-geoid-2011 został ograniczony do obszaru Polski z niewielkim 5-kilometrowym pasem zewnętrznym. Aktualny model PL-geoid-2011 został zaimplementowany w nowej wersji programu TRANSPOL 2.06, który jest dostępny np. na stronie www.asgeupos.pl.

Kalibracja modelu EGM08 na zbiorze empirycznych anomalii wysokości (dla punktów geodezyjnych) - model „GEOIDPOL-2008CN” identyczny z modelem PL-geoid-2011



Izolinie anomalii wysokości [m]

Sieć odniesienia (satelitarno-niwelacyjna) do kalibracji quasigeoidy: **570** punktów w tym:
 101 stacji ASG_EUPOS + 110 ekscentrów +
 + 359 punktów sieci EUVN, EUREF-POL, POLREF

Algorytm kalibracji quasigeoidy:

I. Wygenerowanie z modelu EGM08

anomalii wysokości ζ dla

- siatki geograficznej o „oczku” 0.01° w zakresie: B: 48° - 56° , L: 13° – 25° (962001pkt)
- punktów satelitarno - niwelacyjnych oraz przeliczenie:

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

II. Utworzenie zbioru empirycznych anomalii

wysokości dla punktów sieci satelitarno-niwel.:

$$\zeta = h(\text{PL-ETRF2000}) - H_n(\text{PL-KRON86-NH})$$

oraz przeliczenie:

$$(BL \zeta)_{\text{PL-ETRF2000}} \Rightarrow (XYZ)_{\text{PL-ETRF2000}} \text{ (osnowa)}$$

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

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

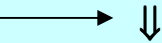
$$(XYZ)_{\text{PL-ETRF2000}} \text{ (osnowa)}$$



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

IV. Przekształcenie finalne:

Model GEOIDPOL_2008CN
 oraz PL-geoid-2011



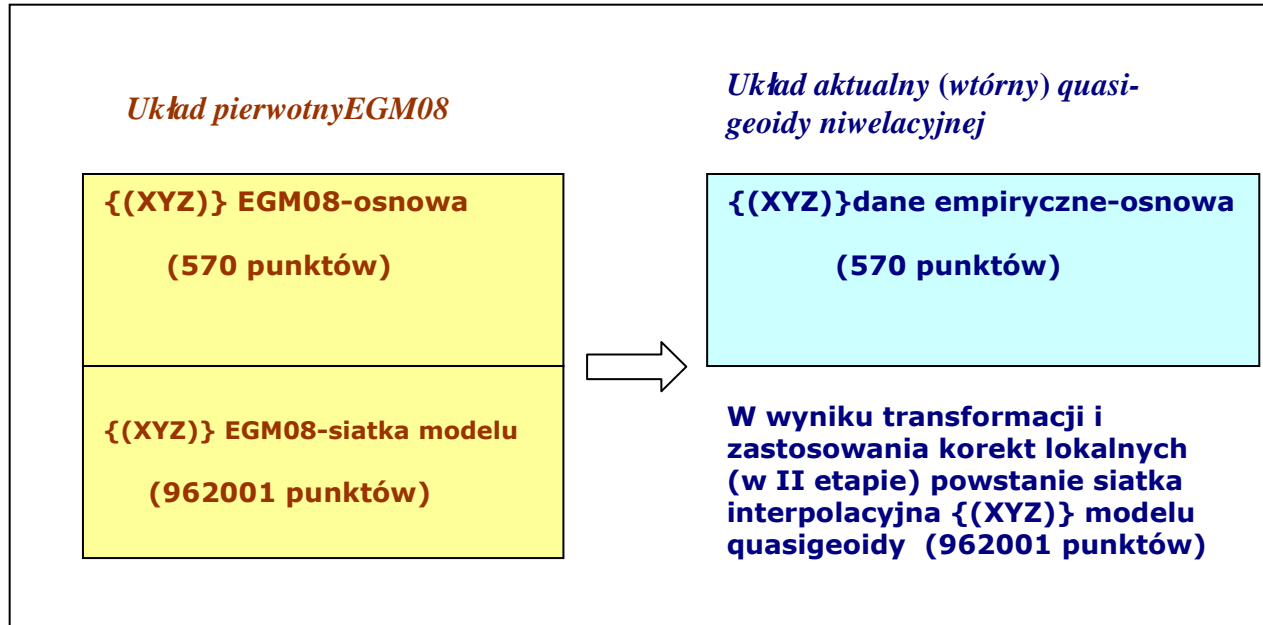
$$(BL \zeta)_{\text{ETRF'00}} \text{ (grid)}$$

Komentarz do slajdu poprzedzającego.

Przedstawiono symbolicznie kolejne etapy algorytmu, realizującego kalibrację quasi-geoidy modelu EGM2008 w obszarze Polski do postaci PL-geoid-2011. Transformację 3D wykonano na zbiorach współrzędnych kartezjańskich geocentrycznych reprezentujących quasi-geoidy, zarówno w układzie modelowym (WGS-84) (pierwotnym), jak też w układzie docelowym modelu PL-geoid-2011 (wtórnym). Istotnym elementem tej operacji jest transformacja węzłów siatki modelu, natomiast etapem finalnym - wprowadzenie wspomnianych już korekt (poprawek) do wartości anomalii wysokości z tytułu odchyłek transformacji na punktach dostosowania, czyli na 570 punktach osnowy satelitarno-niwelacyjnej. Przetransformowane współrzędne kartezjańskie węzłów siatki przekształca się ostatecznie na współrzędne geodezyjne, gdzie wysokość geometryczna stanowi finalną postać anomalii wysokości dla węzła siatki.

Schemat nie pokazuje jeszcze jednego, szczególnego etapu kalibracji, o charakterze lokalnym, który jest opisany w algorytmie opracowania modelu GEOIDPOL-2008CN (www.geonet.net.pl). Dotyczy to lokalnego wpasowania modelu do 17 punktów poligonu geodynamicznego TATRY. Sieć ta miała zawsze szczególny status kontrolny w badaniach przebiegu geoidy.

SCHEMAT TRANSFORMACJI 3D (I etap kalibracji modelu EGM08)



Punkty satelitarno-niwelacyjne do kalibracji quasigeoidy:
101 stacji ASG_EUPOS
110 ekscentrów stacji ASG-EUPOS
359 punktów sieci EUVN, EUREF-POL, POLREF
(w sumie 570 punktów)

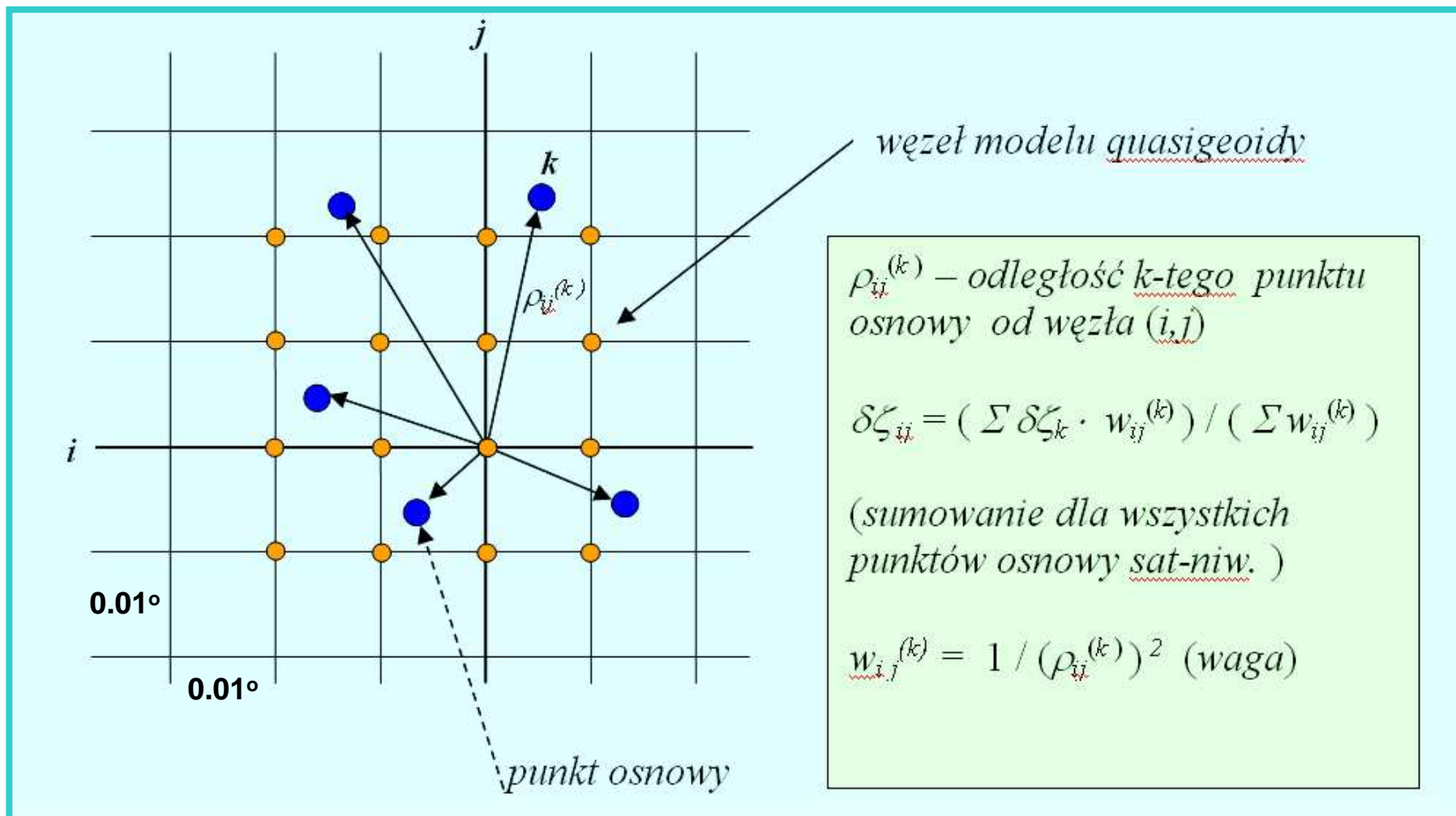
Obliczenia wykonano programem TRANS_3D w systemie GEONET_2006 © ALGOIRES-SOFT

Komentarz do slajdu poprzedzającego.

Przedstawiono w formie symbolicznych bloków zbiory danych biorące udział w transformacji 3D. „Silnikiem” transformacji jest 570 punktów dostosowania, zaś przedmiotem przekształcenia - siatka modelu.

Wszystkie punkty dostosowania posiadają wysokości elipsoidalne wyznaczone w jednolitej sieci GNSS w ramach kampanii pomiarowej (2008-2012) integrującej stacje ASG-EUPOS z osnowami podstawowymi. Problemem są jednak niepewne dokładnościowo wysokości normalne. W ramach wspomnianej kampanii pomiarowej wyznaczono wysokości normalne stacji ASG-EUPOS i ich ekscentrów w nawiązaniu do punktów podstawowej osnowy wysokościowej, ale (niestety) przy przyjęciu nie najnowszych danych dotyczących wysokości punktów nawiązania. W roku 2013 wykonano już nowe opracowanie podstawowych osnów wysokościowych, które może i powinno być wykorzystane dla ponownego wyznaczenia wysokości normalnych wszystkich punktów satelitaro-niwelacyjnych biorących udział w kalibracji quasi-geoidy. Bardziej problematyczny może być status wysokości normalnych punktów sieci POLREF, EUREF-POL i EUVN, ponieważ wysokości te wyznaczono jeszcze w latach 90 – tych, a więc ok. 20 lat wcześniej niż stacje ASG-EUPOS. Z powodu ewentualnego osiadania znaków układy odniesienia wysokości wymienionych podsięci mogą być obecnie niespójne z ASG-EUPOS. .

Dystrybucja odchyłek (residuów) anomalii wysokości na węzły siatki modelu (korekta lokalna siatki)



Komentarz do slajdu poprzedzającego.

Rysunek przedstawia ideę korekty lokalnej wykonywanej po transformacji 3D. Do każdego węzła siatki modelu wprowadza się poprawkę anomalii wysokości, która jest średnią ważoną poprawek z wszystkich punktów dostosowania. Zgodnie ze znaną regułą Hausbrandta, waga jest określona jako odwrotność kwadratu odległości węzła siatki od danego punktu dostosowania. Tak sformułowana postać wagi jest jednak krytykowana z uwagi na możliwe zbyt „silne” jej działanie w pobliżu punktu dostosowania. Ten efekt może być istotny w przypadku bliskich sobie punktów dostosowania, pochodzących z różnych epok i dających istotnie różne wartości empirycznych anomalii wysokości (np. punkt POLREF i stacja ASG-EUPOS). W związku z powyższym podnosi się jeszcze raz kwestia weryfikacji i ponownego wyznaczenia wysokości normalnych dla rozważanego zbioru 570 punktów satelitarno-niwelacyjnych. Ponadto, trzeba przetestować także inne formuły funkcji wagowej dla korekty lokalnej, by sprawić bardziej równomierną dystrybucję odchyłek transformacji. Przykładowo, zamiast odwrotności kwadratu odległości, przyjąć odwrotność odległości w potęgze 1 lub $\frac{1}{2}$.

FORMUŁA TRANSFORMACJI

(wskaźnik 1 oznacza układ pierwotny, 2 – układ aktualny):

$$\begin{aligned} [X_1, Y_1, Z_1] &\Rightarrow [X_2, Y_2, Z_2] \\ [B_1, L_1, \zeta_1^{\text{EGM2008}}] & [B_2, L_2, \zeta_2^{\text{ETRF'2000}}] \end{aligned}$$

Wyznaczone parametry transformacji trójwymiarowej:

$$\begin{aligned} X_2 &= X_1 + (-0.0120) + (-0.00000000231) * DX + (0.00000003021) * DY + (-0.00000003216) * DZ \\ Y_2 &= Y_1 + (-0.0032) + (-0.00000003021) * DX + (-0.00000000231) * DY + (-0.00000005575) * DZ \\ Z_2 &= Z_1 + (-0.0156) + (0.00000003216) * DX + (0.00000005575) * DY + (-0.00000000231) * DZ \\ DX &= X_1 - X_{S1} \quad DY = Y_1 - Y_{S1} \quad DZ = Z_1 - Z_{S1} \\ X_{S1} &:= 3697532.9111 \quad Y_{S1} := 1305458.3130 \quad Z_{S1} := 5008174.4748 \end{aligned}$$

Średniokwadratowe odchyłki współrzędnych:

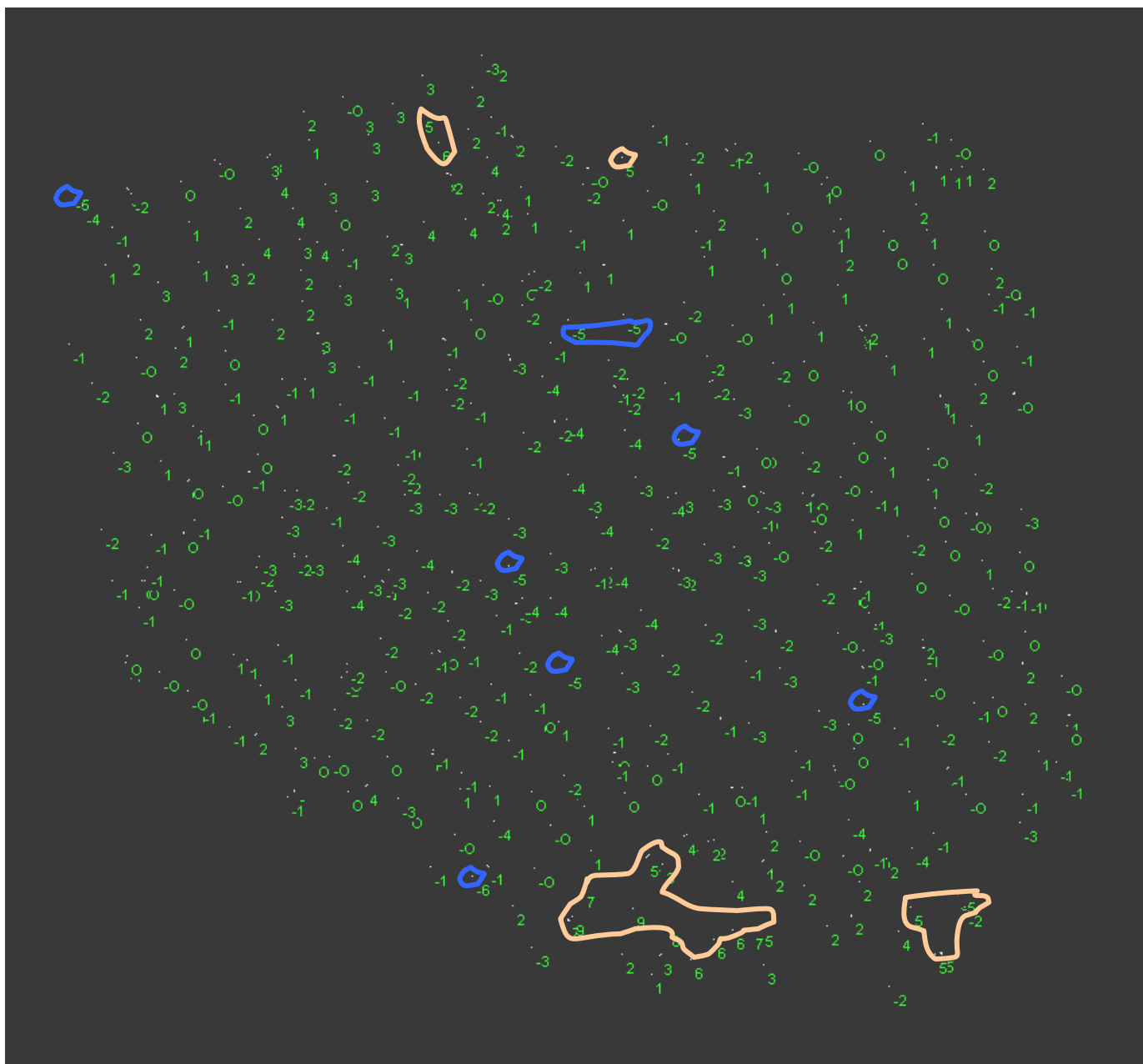
$$S_x = 0.0138 \quad S_y = 0.0049 \quad S_z = 0.0181$$

Poprawki do modelu EGM2008

o wartościach bezwzględnych > 4 cm (3,5% punktów):

	dX	dY	dZ		
NWSC	0.0387	0.0143	0.0480	***	ASG-EUPOS
NWS8	0.0368	0.0133	0.0445	***	ASG-EUPOS EXC
PRZM	-0.0265	-0.0131	-0.0394	***	ASG-EUPOS *)
PRZ8	-0.0264	-0.0111	-0.0360	***	ASG-EUPOS EXC *)
ZYWI	0.0460	0.0149	0.0564	***	ASG-EUPOS
ZYW8	0.0477	0.0145	0.0570	***	ASG-EUPOS EXC
ZYW9	0.0433	0.0131	0.0521	***	ASG-EUPOS EXC
GRYB	0.0482	0.0144	0.0557	***	EUVN GRYBÓW H=513m)
NOWY	0.0349	0.0142	0.0447	***	EUVN NOWY TARG(H=565m)
PL06	-0.0297	-0.0062	-0.0425	***	EUVN ŚWINOUJŚCIE(H=6m)
0402	-0.0362	-0.0129	-0.0452	***	POLREF ZABETKOW (H=200m)
0501	0.0530	0.0184	0.0668	***	POLREF KOSKOWA (H=867m)
0503	0.0441	0.0148	0.0546	***	POLREF WIEPRZ (H=343m)
0504	0.0526	0.0175	0.0658	***	POLREF ZYWIEC (H=423m)
0602	0.0510	0.0179	0.0633	***	POLREF SPYRKOWA (H=711m)
0603	0.0366	0.0125	0.0462	***	POLREF OLSZANA (H=412m)
0804	0.0304	0.0141	0.0411	***	POLREF USTIANOWA (H=506m)
4504	-0.0311	-0.0111	-0.0436	***	POLREF ZALESIE (H=165m)
5303	0.0301	0.0101	0.0428	***	POLREF MASZEWO (H=160m)
5305	0.0336	0.0117	0.0489	***	POLREF TUCHLINO (H=251m)

Wyniki I etapu kalibracji quasigeoidy EGM08: trans 3D do układu PL-ETRF2000



I ETAP:

Odchylenie średnio-
kwadratowe w 3D:

sX sY sZ
1.4 0.5 1.8 [cm]

Residua d ζ anomalii:

d ζ min = - 5.9 cm
d ζ max = 8.7 cm
średnia = 0.0 cm
śr. mod. = 1.8 cm
RMS = 2.3 cm

[podobne miary dla
360 punktów satelitarno
- niwelacyjnych
w układzie EUREF-89,
4-parametrowym
modelem wpasowania
EGM08 otrzymał
Łyszkowicz, 2009]

II ETAP:

Redystrybucja odchyłek
rozszerzoną metodą
Hausbrandta -
model podlega
„uelastycznieniu”
i wpasowaniu na punkty
geodezyjne

(+) (-)

Komentarz do slajdu poprzedzającego.

Obraz odchyłek pionowych po pierwszym etapie kalibracji (transformacja 3D).

Odchyłka standardowa obliczona w zbiorze 570 punktów wynosi 2,3 cm.

Wyróżniono obszary odchyłek o wartościach bezwzględnych przekraczających 4 cm.

Interpretacja i ewentualne modyfikacje modelu będą możliwe dopiero po dokonaniu wspomnianej już weryfikacji danych niwelacyjnych.

TEST PORÓWNAWCZY TRZECH QUASIGEOID SKALIBROWANYCH NA TE SAME PUNKTY SATELITARNO-NIWELACYJNE – CHARAKTERYSTYKA ODCHYLEK ANOMALII WYSOKOŚCI

Residuum $\delta\zeta$ [m] anomalii wysokości na 570 punktach satelitarno - niwelacyjnych			
Parametr	PL-geoid -2011 (1)	Grawimetr. (~2001) (2)	Grawimetr. modyfik. (3)
$\delta\zeta_MIN.$	= -0.0872	-0.1573	-0.0603
$\delta\zeta_MAX.$	= 0.0594	0.1020	0.0703
$ \delta\zeta _PRZEC.$	= 0.0176	0.0235	0.0153
$ \delta\zeta _RMS.$	= 0.0232	0.0302	0.0198

Objaśnienia:

- (1) - EGM2008 skalibrowana do PL-geoid-2011 (GEOIDPOL-2008CN)
- (2) - geoida grawimetryczna użyta do tworzenia modeli zintegrowanych
- (3) - geoida grawimetryczna skalibrowana wielomianowo m.in. na POLREF

Powyższe charakterystyki nie uwzględniają korekt lokalnych, których efektem powinno być zmniejszenie błędu modelu.

Komentarz do slajdu poprzedzającego.

W wariancie 3 użyto na wejściu już raz skalibrowanej (w roku 2001) geoidy grawimetrycznej, a dokładniej rzecz ujmując – dopasowanej do punktów geodezyjnych (EUREF-POL, POLREF, EUVN, TATRY, WSSG) wielomianem stopnia 9. Był to model o nazwie GEOIDPOL-2001, zastosowany m.in. w serwisie POZGEO systemu ASG-EUPOS. Wprawdzie po ponownej kalibracji z wykorzystaniem obecnych założeń uzyskano najlepsze wyniki dopasowania, ale takie podejście, związane nie tylko z przekształceniem przez podobieństwo, ale generalną deformacją kształtu modelu pierwotnego, nie jest w pełni uzasadnione przyczynowo (odpowiada jedynie na skutki porównania z danymi empirycznymi).

Badanie stabilności i wewnętrznej dokładności modelu quasigeoidy GEOIDPOL-2008CN

[generalną zasadę badania stabilności modelu quasigeoidy, polegającą na odrzuceniu pewnej liczby losowo wybranych punktów niwelacyjnych i sprawdzeniu odchyłek na tych punktach przy użyciu modelu uproszczonego]

Odrzucono stacje ASG-EUPOS 101 / 570 (ok. 20% punktów)

Średnia odchyłka $SUM(d\zeta)/n = -0.001$ Przedział odchyłek: od -0.008 do 0.006

Przeciętna mod. $SUM(|d\zeta|)/n = 0.002$

Średniokwadratowa $s = 0.003$ (w zbiorze danych pozostały ekscentry stacji !)

Odrzucono sieć EUREF-POL+POLREF 317 / 570 (ok. 56% punktów)

Średnia odchyłka $SUM(d\zeta)/n = 0.006$ Przedział odchyłek: od -0.054 do 0.066

Przeciętna mod. $SUM(|d\zeta|)/n = 0.013$

Średniokwadratowa $s = 0.017$

Odrzucono sieć EUVN 42 / 570 (ok. 7% punktów)

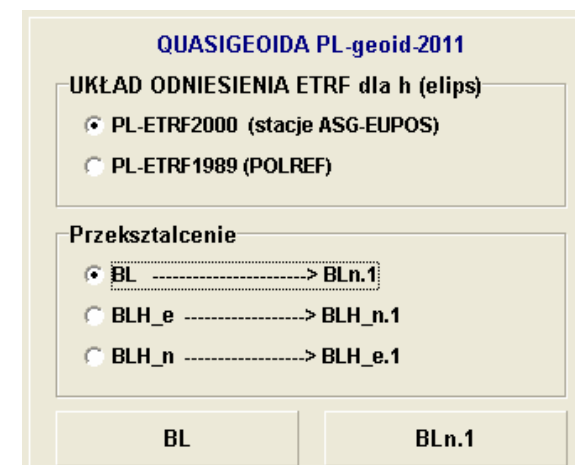
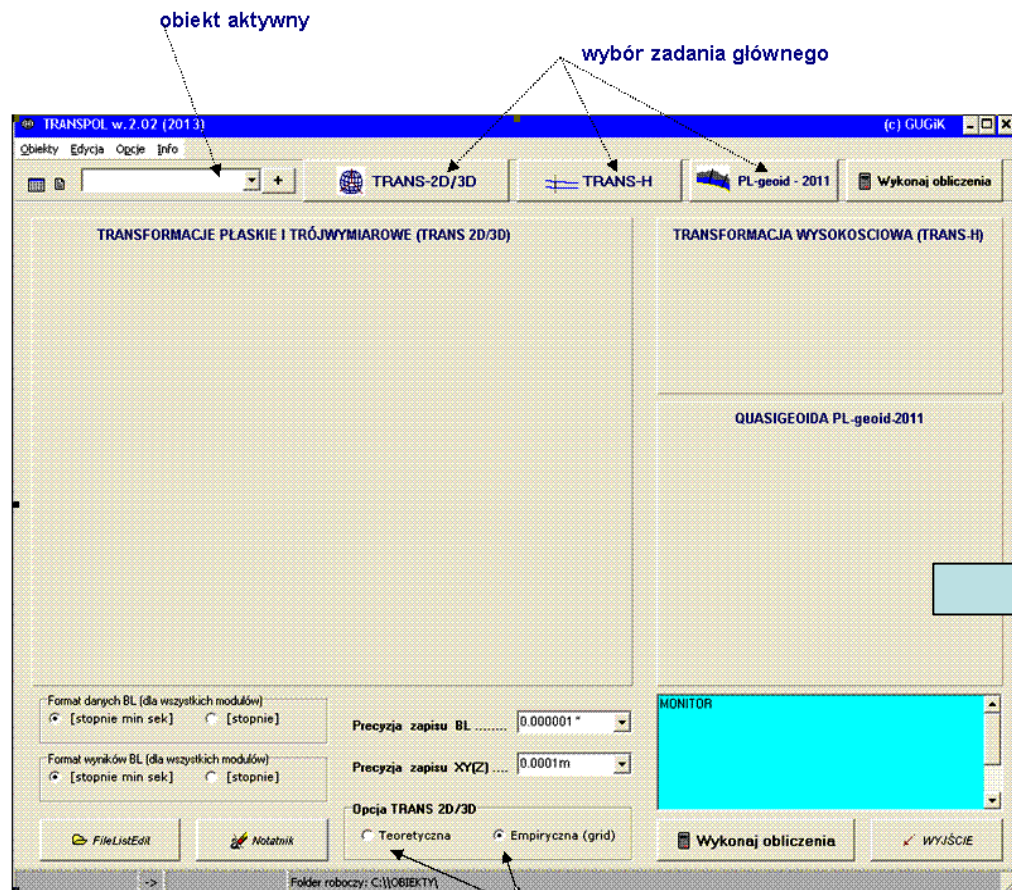
Średnia odchyłka $SUM(d\zeta)/n = 0.002$ Przedział odchyłek: od -0.032 do 0.035

Przeciętna mod. $SUM(|d\zeta|)/n = 0.011$

Średniokwadratowa $s = 0.014$

Dwa ostatnie testy są podstawą do twierdzenia, że szacowany błąd standardowy modelu PL-geoid-2011 oscyluje w pobliżu wartości 1.5 cm

Okno główne programu TRANSPOL 2.06



Opcje modułu quasigeoidy

Program jest dostępny na stronie
www.asgeupos.pl

Okno programu GEOIDPOL_2008CN

wybór układu odniesienia dla wysokości elipsoidalnych

obliczenie anomalii wysokości
przeliczenie wysokości elipsoidalnych na normalne

przeliczenie wysokości normalnych na elipsoidalne

przeliczenie różnic wysokości elipsoidalnych na odpowiadające różnice wysokości normalnych (zadanie niwelacji satelitarnej)

Folder roboczy = c:\0_0_PORZADEK\GEOIDY_MODELE_CA\GEOIDPOL_2008CN

Program (wraz z plikiem binarnym [geoidpol_2008CN.bin](#)) dostępny na stronie www.geonet.net.pl

Model PL-geoid-2011 powstał przez ograniczenie obszaru zastosowania do granic Polski z dodaniem pasa zewnętrznego o szerokości ok. 5 km

Komentarz do slajdu poprzedzającego:

Program geoidpol_2008cn.exe, podobnie jak wcześniej ilustrowany program TRANSPOL_2.06, dopuszcza dwa istniejące geometryczne układy odniesienia dla wysokości elipsoidalnych: PL-ETRF2000 i PL-ETRF89. Zasadniczy model PL-geoid-2011 jest tworzony w układzie PL-ETRF2000 ale w przypadku użycia drugiego układu zostają automatycznie zastosowane procedury transformacji między układami, dokładnie takie jakie są podane na następnym slajdzie.

TRANS PL-ETRF89 ⇒ PL-ETRF2000/ep2011.0
(stary) (nowy)

330 punktów dostosowania
sieci POLREF

```
procedure xyz89_xyz2000 (var x1, y1, z1, x2, y2, z2: extended);
var DX,DY,DZ,XS1,YS1,ZS1: extended;
begin
  //środek ciężkości w układzie pierwotnym:
  XS1:= 3696570.6591; YS1:= 1297521.5905; ZS1:= 5011111.1273;
  //różnice w układzie pierwotnym:
  DX := X1-XS1; DY:= Y1-YS1; DZ:= Z1-ZS1;
  //FORMUŁA RÓŻNICOWA TRANSFORMACJI 7-parametrowej:
  X2 := X1 + (-0.0322)+(-0.00000005102)*DX+(-0.00000000746)*DY+( 0.00000004804)*DZ;
  Y2 := Y1 + (-0.0347)+( 0.00000000746)*DX+(-0.00000005102)*DY+( 0.00000006152)*DZ;
  Z2 := Z1 + (-0.0507)+(-0.00000004804)*DX+(-0.00000006152)*DY+(-0.00000005102)*DZ;
  // zmiana skali wynosi dm = - 0.051 mm /km
end; [podobna zmiana skali (0.05 mm/km) w: Jaworski, 2011]
```

FORMUŁA DLA TRANSFORMACJI GLOBALNYCH (*Bursy-Wolfa*):

$$\begin{aligned} X2 &= X1 + (-0.0747)+(-0.00000005102)*X1+(-0.00000000746)*Y1+(0.00000004804)*Z1 \\ Y2 &= Y1 + (-0.3044)+(0.00000000746)*X1+(-0.00000005102)*Y1+(0.00000006152)*Z1 \\ Z2 &= Z1 + (0.4624)+(-0.00000004804)*X1+(-0.00000006152)*Y1+(-0.00000005102)*Z1 \end{aligned}$$

TRANS PL-ETRF2000/ep2011 ⇒ PL-ETRF89
(nowy) (stary)

```
procedure xyz2000_xyz89(var x1,y1,z1,x2,y2,z2: extended);
var DX,DY,DZ,XS1,YS1,ZS1: extended;
begin
  //środek ciężkości w układzie pierwotnym
  XS1:= 3696570.6268; YS1:= 1297521.5559; ZS1:= 5011111.0767;
  //różnice w układzie pierwotnym
  DX := X1-XS1; DY := Y1-YS1; DZ := Z1-ZS1;
  // FORMUŁA RÓŻNICOWA TRANSFORMACJI 7- parametrowej
  X2 := X1 + ( 0.0322)+( 0.00000005102)*DX+( 0.00000000746)*DY+(-0.00000004804)*DZ;
  Y2 := Y1 + ( 0.0347)+(-0.00000000746)*DX+( 0.00000005102)*DY+(-0.00000006152)*DZ;
  Z2 := Z1 + ( 0.0507)+( 0.00000004804)*DX+( 0.00000006152)*DY+( 0.00000005102)*DZ;
  // zmiana skali wynosi dm = + 0.051 mm / km
end;
```

TRANSFORMACJA 3D
7-parametrowa
(metoda
„teoretyczna”)

Analiza odchyłek:

Średniokwadratowe:

sX	sY	sZ
0.011	0.008	0.013

Wypadkowa

0.019 m

Rozkład wartości
wypadkowych:

Przedział I. punktów

< 0 - 1 cm >	106
(1 - 2 cm >	140
(2 - 3 cm >	56
(3 - 4 cm >	19
(4 - 5 cm >	3
(5 - 6 cm >	5
6,6 cm	1

Bardziej optymistyczne
oszacowania
dokładności sieci
POLREF w stanie
pierwotnym (lata 90-te)
(1cm - 1.5 cm w wys.)
w [Zieliński i in. 1997]

Algorytm opracowania modelu PL-geoid-2011

Streszczenie

Model quasigeoidy **PL-geoid-2011** został utworzony w oparciu o globalny model geopotencjalny **EGM08** oraz krajowe osnowy satelitarno-niwelacyjne, w tym przede wszystkim stacje **ASG-EUPOS** i skojarzone z nimi punkty ekscentryczne. Istotnym elementem algorytmu był proces kalibracji (wpasowania) modelu globalnego do polskich układów odniesienia, czyli **PL-ETRF2000** w zakresie wysokości geometrycznych oraz **PL-KRON86-NH** w zakresie wysokości normalnych. Zadanie to wykonano przy zastosowaniu transformacji 3D oraz wyrównawczych korekt lokalnych mierzących propagacje odchyłek transformacji (punktów dostosowania) na węzły siatki modelu. Układ **PL-ETRF2000** był reprezentowany przez punkty wyznaczone w ramach kampanii pomiarowej 2009-2012 (stacje + ekscentry **ASG-EUPOS** oraz zachowane punkty sieci **EUVN, EUREF-POL, POLREF**). Niestety, wykorzystane wysokości normalne punktów mogą budzić pewne wątpliwości, gdyż były pozyskane w nawiązaniu do nieaktualnych już danych wysokościowych. Może to mieć istotny wpływ na dokładność określanych anomalii wysokości i wykonywanych niwelacji satelitarnych. Pilnym zadaniem w tym temacie powinno być ponowne obliczenie wysokości normalnych stacji **ASG-EUPOS**, w oparciu o dane z najnowszych wyrównań podstawowych osnów wysokościowych (wykonano takowe w roku 2013). Oczywiście, może to skutkować koniecznością odpowiedniej modyfikacji modelu. Aktualnie model **PL-geoid-2011** (z afiliacją **GUGiK**) jest stosowany powszechnie w odbiornikach GNSS, do wyznaczania wysokości normalnych na obszarze Polski. W najbliższym czasie powinien być również zaimplementowany w oprogramowaniu **POZGEO** - w serwisie **ASG-EUPOS**. Model jest udostępniony funkcjonalnie w nowej wersji (2.06) programu **TRANSPOL (c) GUGiK**, a także z pewnym rozszerzeniem obszarowym poza granice Polski pod nazwą **GEOIDPOL_2008CN** (dostępny bez ograniczeń na stronie www.geonet.net.pl).

Dziękuję za uwagę

Roman J. Kadaj
geonet@geonet.net.pl
Politechnika Rzeszowska
Katedra Geodezji *im. K. Weigla*