



Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu Instytut Geodezji i Geoinformatyki



Zastosowanie techniki GPS w badaniu troposfery

Witold Rohm

witold.rohm@kgf.ar.wroc.pl



XX JUBILEUSZOWA JESIENNA SZKOŁA GEODEZJI im. Jacka Rejmana
WSPÓŁCZESNE METODY POZYSKIWANIA I MODELOWANIA GEODANYCH
Polanica Zdrój, 16-18 września 2007 r.



Techniki badania troposfery



- pomiary naziemne
- sondaże balonowe
- systemy radarowe
- satelitarne pomiary teledetekcyjne
- obserwacje sodarowe i RASS
- higrometry mikrofalowe
- system GPS
 - wielkość Integrated Water Vapour
 - rozkład wilgotności przy pomocy tomografii



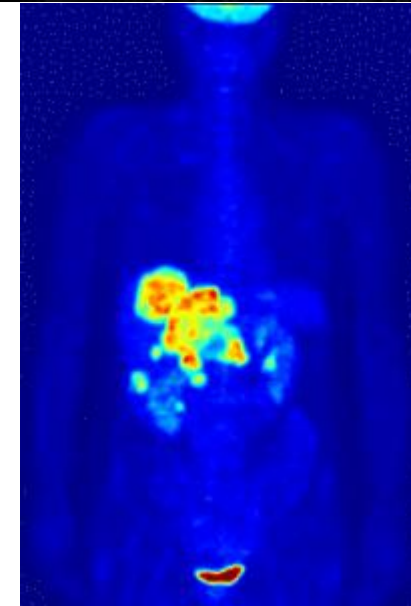
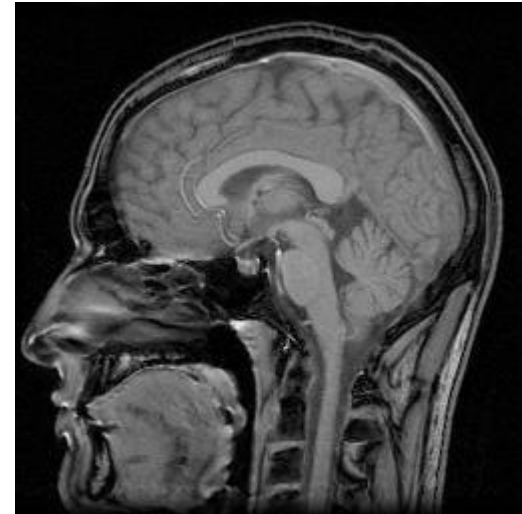
XX JUBILEUSZOWA JESIENNA SZKOŁA GEODEZJI im. Jacka Rejmana
WSPÓŁCZESNE METODY POZYSKIWANIA I MODELOWANIA GEODANYCH
Polanica Zdrój, 16-18 września 2007 r.

Twórca matematycznych podstaw:
Johann Radon profesor
Uniwersytetu Wrocławskiego w
latach 1928 – 1945

Twórca pierwszego tomografu:
Godfrey Newbold Hounsfield
(Nobel 1979 - medycyna)

(CT, PET, MRI) Używana w
medycynie do:

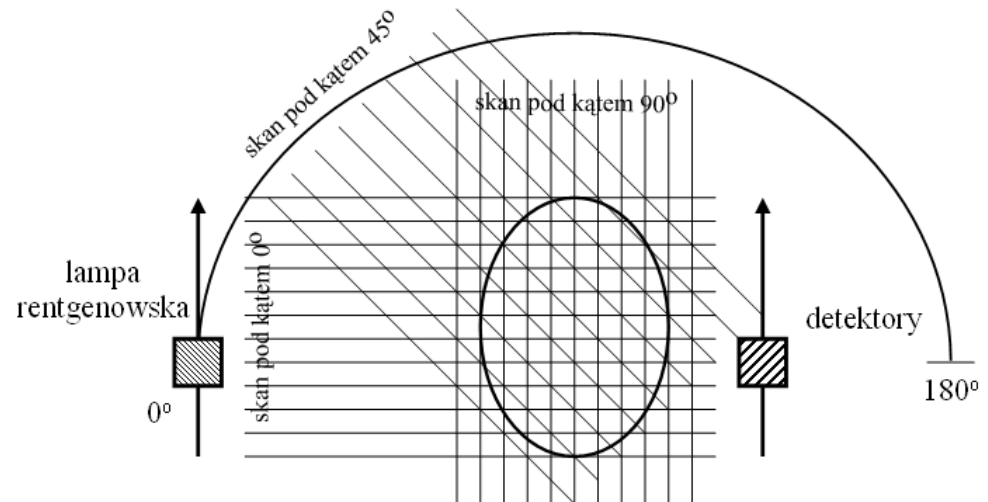
- badania mózgu
- serca
- stanów zapalnych niejasnego pochodzenia
- nowotworów



Tomografia: Zasady

„Pomierzone wielkości parametrów i informacje a priori o badanym obiekcie oraz fizyczne korelacje pomiędzy nimi można opisać przy pomocy gęstości prawdopodobieństw” (Tarantola 2005)

parametry: ilość pochłoniętego promieniowania przez głowę pacjenta
informacje a priori: rozkład gęstości
fizyczne korelacje: ilość pochłoniętego promieniowania jest wprost proporcjonalna do rozkładu gęstości.



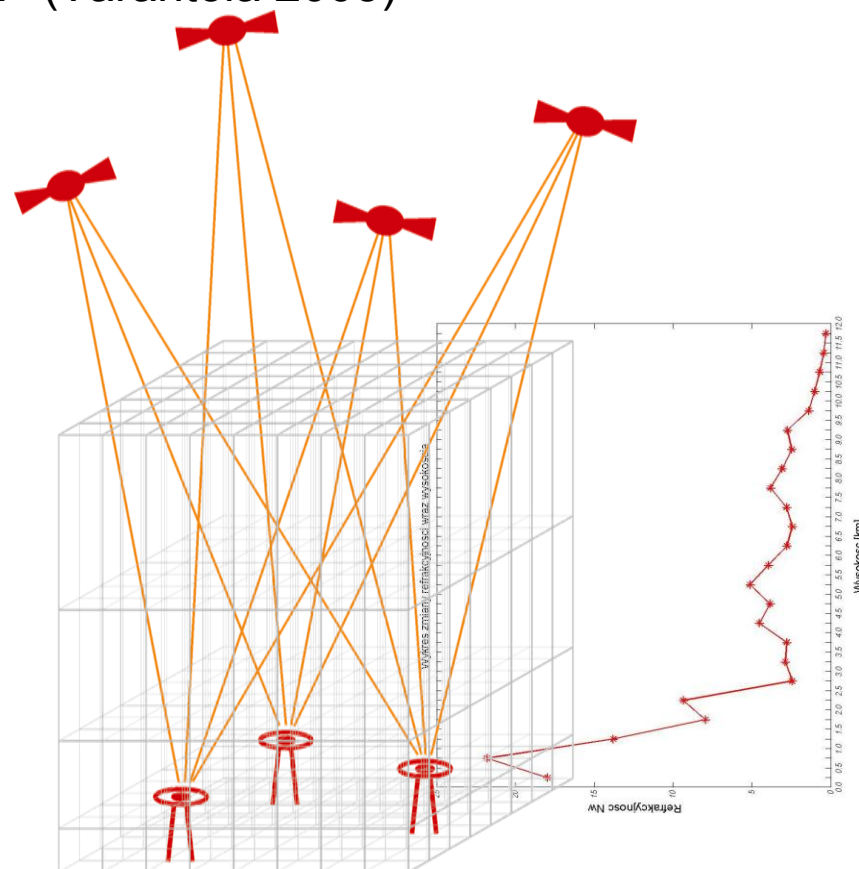
Tomografia: Zasady

„Pomierzone wielkości parametrów i informacje a priori o badanym obiekcie oraz fizyczne korelacje pomiędzy nimi można opisać przy pomocy gęstości prawdopodobieństw” (Tarantola 2005)

parametry: temperatura, ciśnienie, lokalny gradient temperatury, lokalny gradient ciśnienia, wielkość opóźnienia troposferycznego na kierunku do satelity (STD),

informacje a priori: średni gradient temperatury, średni gradient ciśnienia, brak wilgotności w górnych partiach troposfery

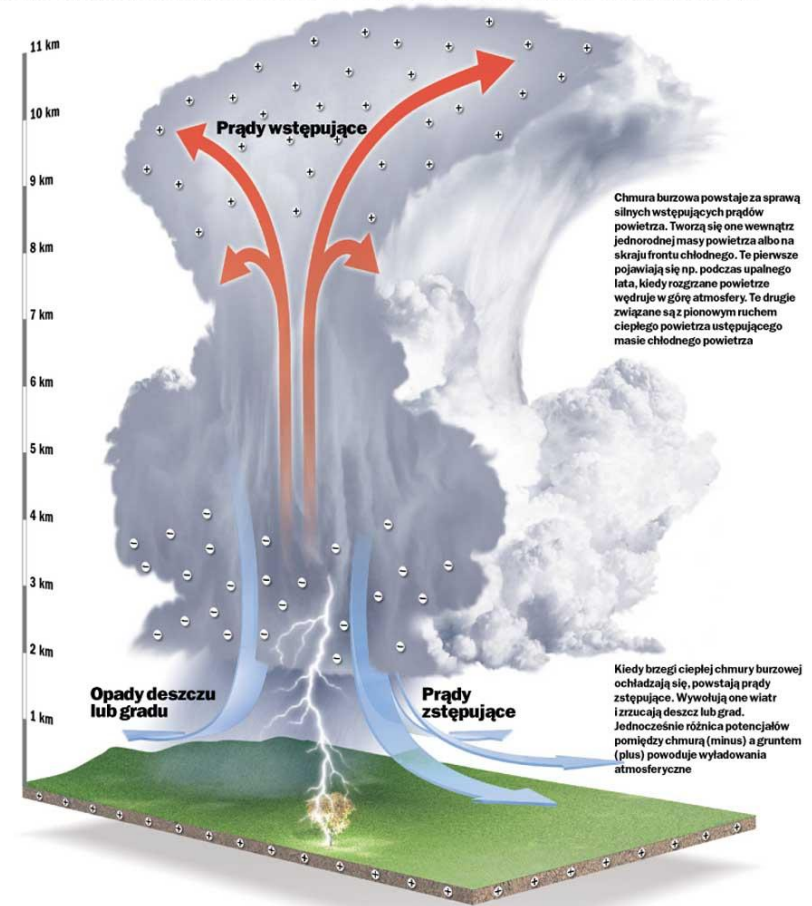
fizyczne korelacje: wielkość opóźnienia troposferycznego jest zależna od rozkładu parametrów meteorologicznych w troposferze



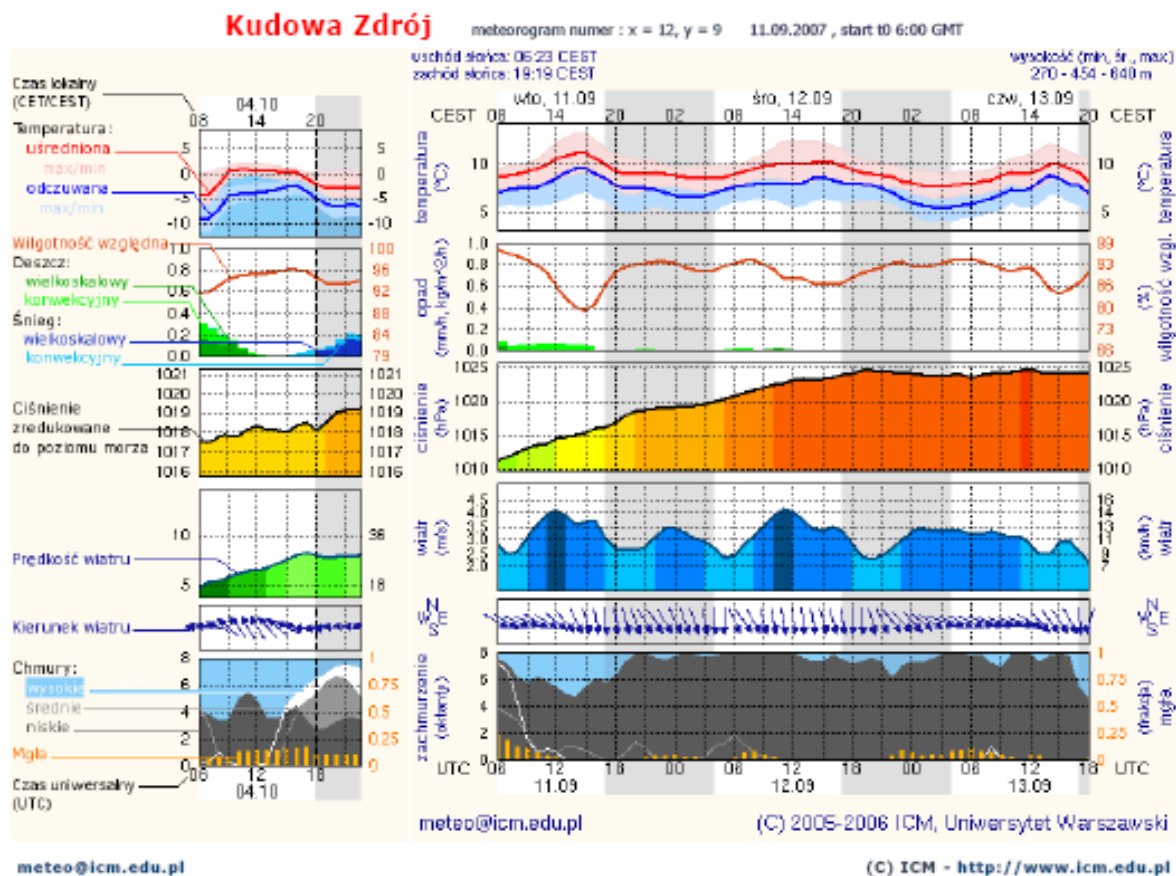
- Najbardziej przypowierzchniowa warstwa atmosfery
- Wydzielona na podstawie spadku temperatury wraz z wysokością
- Przestrzeń gdzie występuje większość zjawisk pogodowych
- Stan troposfery definiowany trzema parametrami: ciśnienie (p), temperatura (T), wilgotność (h)

Wygląda jak kowadło i zwiastuje burzę

To chmura kłębiasto-deszczowa, czyli *Cumulonimbus*. Przynosi obfite opady deszczu i gradu, porywisty wiatr oraz wyładowania atmosferyczne, które mogą trwać od kilku minut do kilku godzin



temperatura, wilgotność, ciśnienie



Parametry: Opóźnienie troposferyczne sygnału GPS

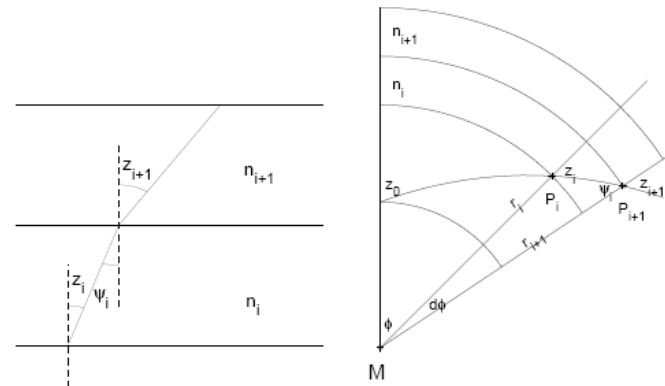
Opóźnienie troposferyczne – efekt zmiany współczynnika załamania n w troposferze na drodze sygnału pomiędzy satelitą a odbiornikiem.

$$N = (n - 1) \cdot 10^6$$

$$N = N_d + N_v$$

N_d - refrakcyjność suchego powietrza [-];

N_v - refrakcyjność pary wodnej [-].





Parametry: Opóźnienie troposferyczne sygnału GPS



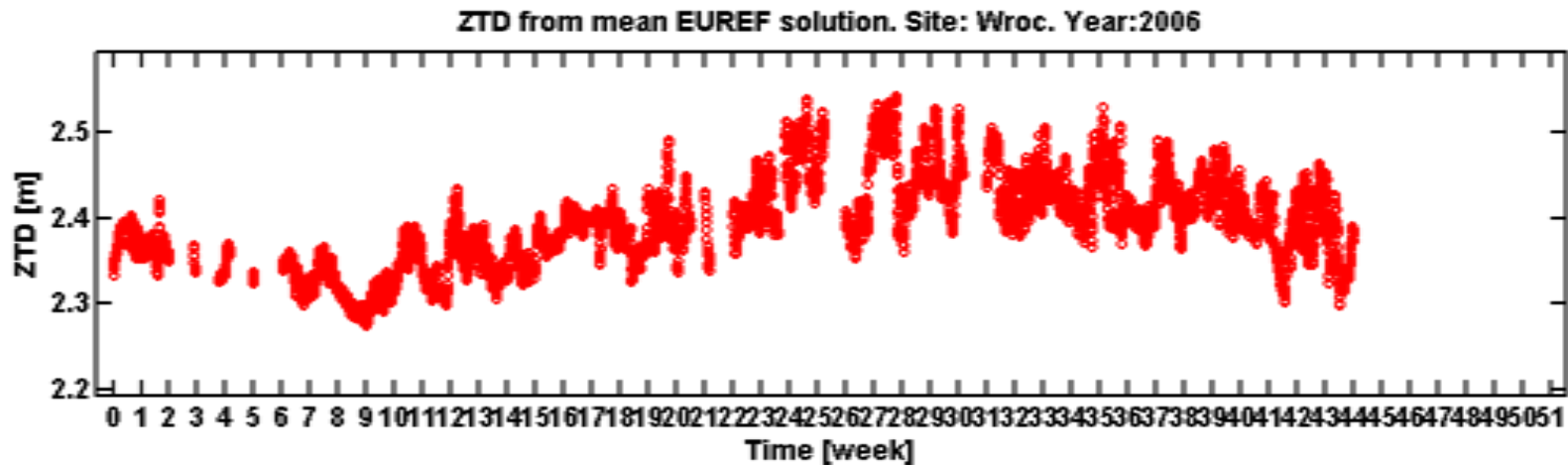
W kierunku do satelity:

$$STD = 10^{-6} \cdot \int N \cdot ds = 10^{-6} \int N_d \cdot ds + 10^{-6} \int N_v \cdot ds$$

W kierunku zenitalnym:

$$ZTD = 10^{-6} \cdot \int N_{d,0} \cdot dz + 10^{-6} \cdot \int N_{v,0} \cdot dz$$

Jeden z produktów rozwiązania sieci EUREF – ZTD:



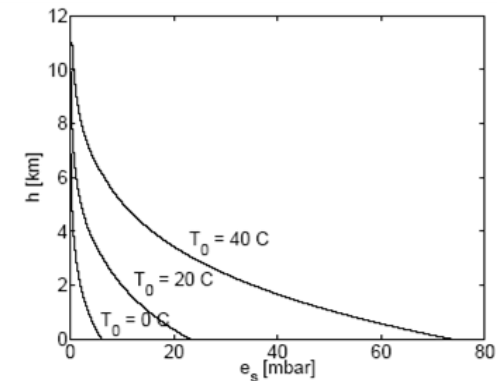
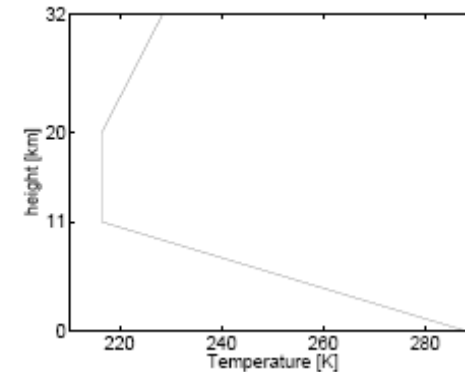
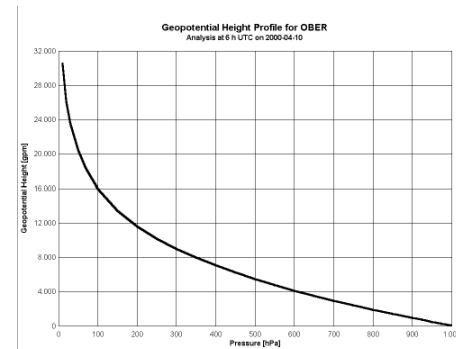
XX JUBILEUSZOWA JESIENNA SZKOŁA GEODEZJI im. Jacka Rejmana
WSPÓŁCZESNE METODY POZYSKIWANIA I MODELOWANIA GEODANYCH
Polanica Zdrój, 16-18 września 2007 r.



Informacje a priori



- Pionowy gradient ciśnienia
- Pionowy gradient temperatury
- Silny spadek wilgotności wraz z wysokością, powyżej 10 km $h \approx 0 \%$



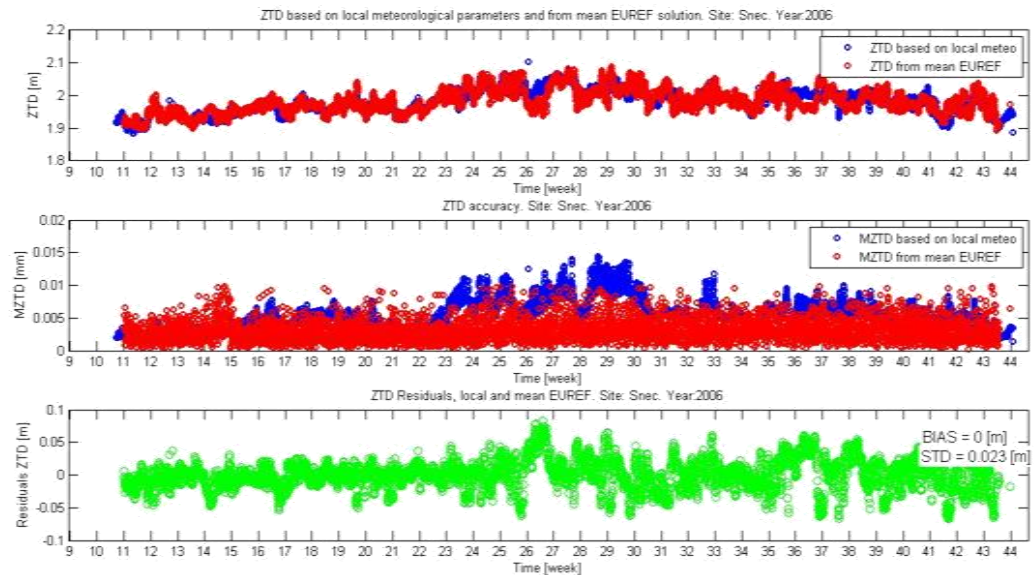
Fizyczne korelacje

Zmiana parametrów meteorologicznych, powoduje zmiany refrakcyjności

$$N_d = k_1 \cdot \frac{P_d}{T} \cdot Z_d^{-1}$$

$$N_v = \left(k_2 \cdot \frac{e}{T} + k_3 \cdot \frac{e}{T^2} \right) \cdot Z_v^{-1}$$

Station	ZTD residuals		
	bias [m]	error [m]	correlation coefficient
WROC	0.01	0.03	0.89
GOPE	-0.05	0.03	0.83
SNEC	0.01	0.04	0.81
BISK	0.16	0.04	0.88



Tomografia troposfery w Karkonoszach

Grant Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego:

„Lokalny przestrzenno-czasowy model tomograficzny troposfery oparty o obserwacje satelitarne GPS i parametry meteorologiczne”

pod kierunkiem dr hab. inż. Jarosława Bosego

naziemne pomiary meteorologiczne



sondaże balonowe



punkty epokowych pomiarów GPS



stacje permanentne GPS





Tomografia troposfery w Karkonoszach, parametry: zmienne meteorologiczne



Sieć stacji dostarczające danych
w zakresie p, t, h:

- IMGW
Śnieżka, Jelenia Góra,
Zgorzelec, Wałbrzych, Kłodzko
- WIOŚ
Cieplice, Czarniawa, Śnieżne
Kotły, Nowa Ruda, Dzierżoniów
- ZMiK UWr wraz z PWr
Szrenica
- KPN
Szklarska Poręba
- Rejestratory przenośne
Jarkowice, Stara Kamienica,
Radomierz



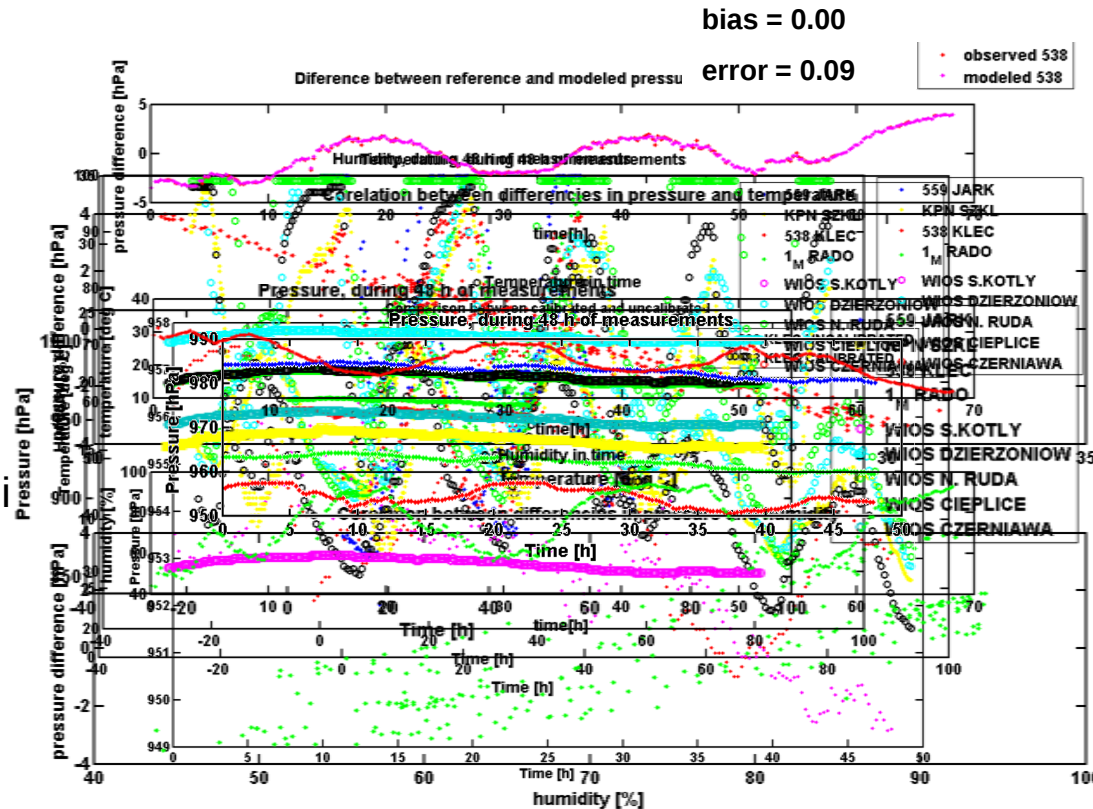
XX JUBILEUSZOWA JESIENNA SZKOŁA GEODEZJI im. Jacka Rejmana
WSPÓŁCZESNE METODY POZYSKIWANIA I MODELOWANIA GEODANYCH
Polanica Zdrój, 16-18 września 2007 r.

Tomografia troposfery w Karkonoszach: parametry: zmienne meteorologiczne

Sprawdzenie i kalibracja danych meteorologicznych:

- WIOŚ i IMGW oraz ZMiK:
 - dane z okresu pomiaru +/- 2 dni
 - dane z lipca sierpnia września 2006
- Karkonoski Park Narodowy:
 - dane z okresu pomiaru +/-2 dni
- Rejestratory ręczne:
 - kalibracja w ZMiK

Przeliczenie wartości punktowych obserwacji meteorologicznych do postaci powierzchniowej





Tomografia troposfery w Karkonoszach, parametry: sondáže balonowe

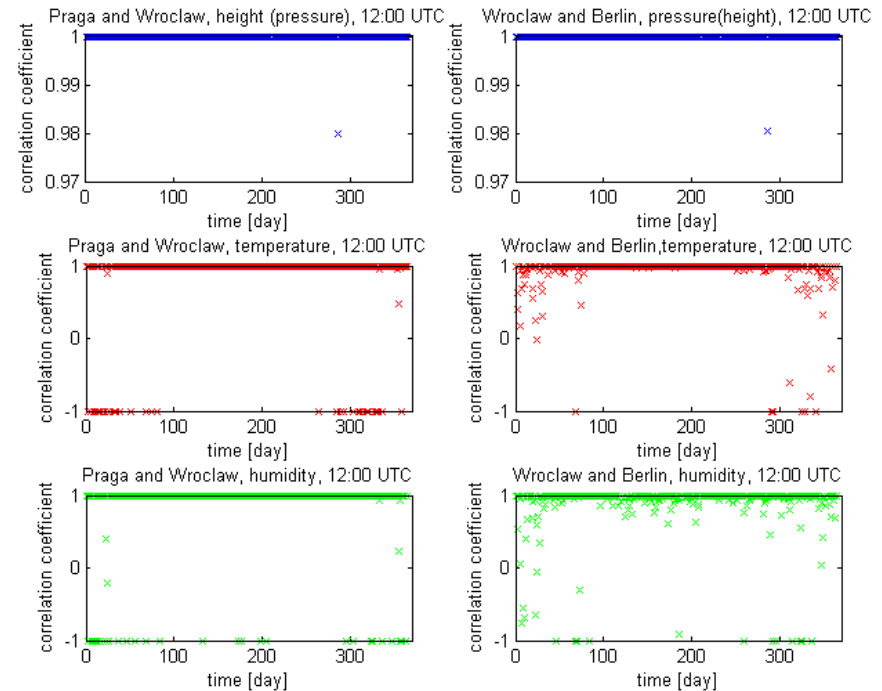


Wyznaczenie lokalnego gradientu
ciśnienia i temperatury:

stacje

- WROCLAW II (lotnisko)
- BERLIN
- PRAGA

potwierdzone korelacje między profilami
w przebiegu rocznym (dla
obowiązkowych poziomów
izobarycznych) w strefie do 1500
m.n.p.m



XX JUBILEUSZOWA JESIENNA SZKOŁA GEODEZJI im. Jacka Rejmana
WSPÓŁCZESNE METODY POZYSKIWANIA I MODELOWANIA GEODANYCH
Polanica Zdrój, 16-18 września 2007 r.

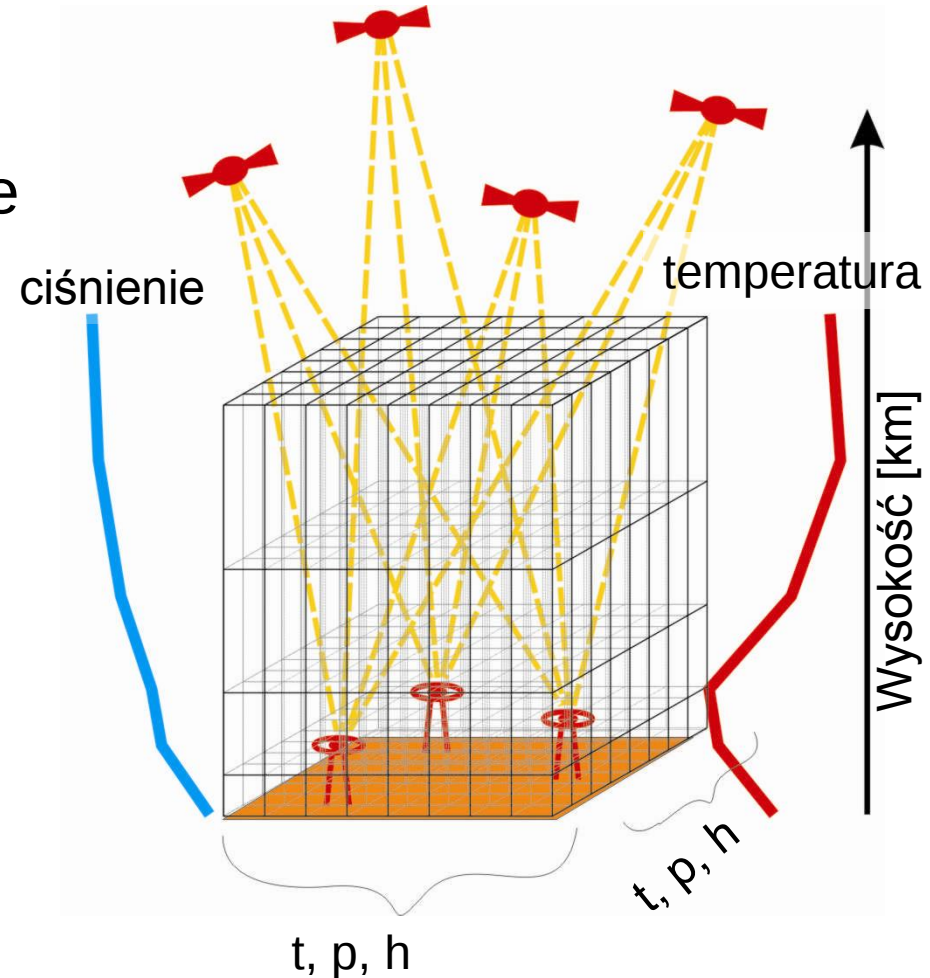
Tomografia troposfery w Karkonoszach, parametry: pomiary GPS

- sieć „Karkonosze”:
SNEC, SZRE, JARK, KLEC,
SKAM, RADO
- obserwacje 48 h 24 – 27
sierpień 2007
- stały zestaw odbiorników i
anten
- produkt opracowania:
 - precyzyjne współrzędne
 - wielkości opóźnienia
troposferycznego ZTD

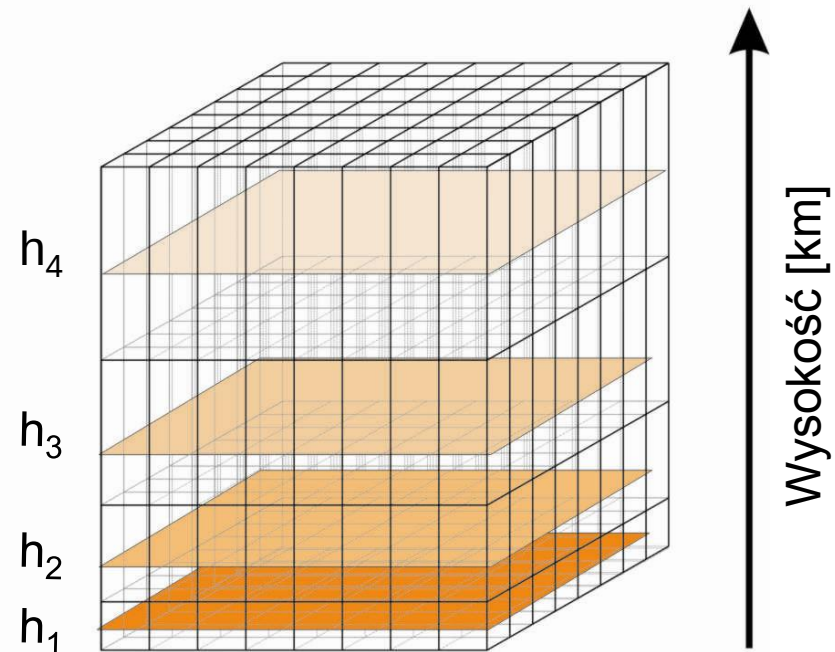


Tomografia troposfery w Karkonoszach: dane wejściowe

- parametry meteorologiczne odniesione do powierzchni
- wielkości opóźnienia na kierunku do satelity STD
- gradienty temperatury i ciśnienia na terenie Karkonoszy z sondaży balonowych



- rozkład pary wodnej w czasie i przestrzeni
- procedury umożliwiające zaadaptowanie pomiarów ze stacji permanentnych do badania rozkładu wilgotności
- weryfikacja istniejących modeli pogody (COAMPS, ALLADIN, UM)





Tomografia troposfery w Karkonoszach: weryfikacja



- Dopasowanie modelu tomograficznego do numerycznego prognozowania pogody
 - wielkości parametrów meteorologicznych wyrażone w zmiennych modelu (u, v, w, T, q, z)
 - zbieżny sposób podziału obszaru badań w pionie
 - podobna rozdzielczość pozioma modelu





Podsumowanie



Działania do chwili obecnej:

- sprawdzono przydatność pomiarów GPS do wyznaczania parametrów meteorologicznych
- przeprowadzono pomiary GPS na sieci Karkonosze
- przeprowadzono pomiary meteorologiczne na sieci Karkonosze
- sprawdzono jakość posiadanych parametrów meteorologicznych z rejestratorów ręcznych
- dokonano wstępnej analizy danych meteorologicznych z pomiarów naziemnych
- oceniono przydatność sondaży balonowych do wyznaczenia gradientu ciśnienia i temperatury



XX JUBILEUSZOWA JESIENNA SZKOŁA GEODEZJI im. Jacka Rejmana
WSPÓŁCZESNE METODY POZYSKIWANIA I MODELOWANIA GEODANYCH
Polanica Zdrój, 16-18 września 2007 r.



Tomografia troposfery



Dziękuję za uwagę

witold.rohm@kgf.ar.wroc.pl



XX JUBILEUSZOWA JESIENNA SZKOŁA GEODEZJI im. Jacka Rejmana
WSPÓŁCZESNE METODY POZYSKIWANIA I MODELOWANIA GEODANYCH
Polanica Zdrój, 16-18 września 2007 r.