Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
w Bydgoszczy
Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki
Instytut Inżynierii Elektrycznej
Zakład Elektroenergetyki

Korelacyjne właściwości szeregów czasowych obciążenia elektroenergetycznego wybranych systemów lokalnych i krajowych

Włodzimierz Bieliński, Marcin Drechny

bielin@utp.edu.pl, mardrech@utp.edu.pl

Referat na

XXII Konferencję Naukowo-Techniczną

„Rynek Energii Elektrycznej - REE 2016”

Kazimierz Dolny, 25-27 kwietnia 2016 r.

Plan wystąpienia

- Wprowadzenie
- Obciążenia elektroenergetyczne jako proces losowy
- Przygotowanie danych do badań zmienności obciążenia krajowego systemu elektroenergetycznego
- Wstępne wyniki analiz
- Podsumowanie

MODEL PLOS (1)

Proces losowy $x(t)$ (np. zmieniające się w czasie zapotrzebowanie mocy przez wybranego odbiorcę) nazywamy niestacjonarnym okresowo skorelowanym (PNOS), jeżeli jego charakterystyki takie jak wartość oczekiwana $m_x(t)$ i funkcja autokorelacji $K_x(t, u)$ wykazują dla wszystkich t periodyczność z okresem T.

MODEL PNOS (2)

Można to zapisać w następującej postaci

$$m_x(t) = E\left\{x(t)\right\} = m_x(t + nT) \qquad (1)$$

$$K_x(t,u) = E\left\{x^\circ(t)\,x^\circ(t+u)\right\} = K_x(t + nT, u) \qquad (2)$$

gdzie: $x^\circ(t) = x(t) - m_x(t)$ oznacza centrowanie procesu,

$E\{\ \}$ – operator wartości oczekiwanej,

u – przesunięcie w dziedzinie czasu,

n – liczba naturalna.

MODEL PNOS (3)

Przy $u=0$ funkcja (2) jest równoważna wariancji procesu $V_x(t)=K_x(t, 0)$, która również posiada cechę periodyczności, co można zapisać

$$V_x(t) = V_x(t + nT) \tag{3}$$

Zatem wszystkie wymienione funkcje $m_x(t)$, $V_x(t)$, $K_x(t, u)$ zmieniają się okresowo w czasie z okresem T, nazwanym okresem skorelowania.

MODEL PNOS (4)

Wartość oczekiwana $m_x(t)$ określa składową regularną zmian procesu $x(t)$ i pozwala wyznaczyć średni powtarzający się profil np. dobowy czy tygodniowy, nazywany również przebiegiem uśrednionym. Charakteryzuje on regularne zmiany zapotrzebowania mocy przez danego odbiorcę.

MODEL PNOS (5)

Wariancja $V_x(t)$ charakteryzuje średniokwadratowe odchylenie procesu $x(t)$ od $m_x(t)$ i opisuje fluktuacje poszczególnych profili od profilu uśrednionego (charakterystycznego). Jednoczesna analiza przebiegów funkcji $m_x(t)$ i $V_x(t)$ stwarza możliwość określenia typu zmian procesu zapotrzebowania mocy przez danego odbiorcę.

MODEL PNOS (6)

W przypadku koherencji zmian obu przebiegów mają one cechy modulacji amplitudowej, tzn. zachodzi cykliczne osłabianie lub wzmacnianie intensywności czynników wywołujących zmiany dobowe, tygodniowe czy sezonowe, natomiast w przypadku braku koherencji – mamy do czynienia z oddziaływaniem nieregularnym (fluktuacyjnym) mającym cechy modulacji częstotliwościowo-fazowej.

Postać funkcji $K_x(t,u)$ charakteryzuje stopień powiązań korelacyjnych procesu $x(t)$ w zadanych chwilach t_1 i t_2, przesuniętych względem siebie o u jednostek czasu.

MODEL PNOS (7)

Ponieważ funkcje (1), (2) i (3) zmieniają się okresowo w czasie, mogą być więc rozwinięte w szeregi Fouriera:

$$m_x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} m_k \exp\left(j\,k \frac{2\pi}{T} t \right), \qquad (4)$$

$$K_x(t,u) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} k_k(u) \exp\left(j\,k \frac{2\pi}{T} t \right), \qquad (5)$$

$$V_x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} V_k \exp\left(j\,k \frac{2\pi}{T} t \right), \qquad (6)$$

gdzie: j – jednostka zespolona; m_k, $k_k(u)$ i V_k składniki (komponenty) Fouriera odpowiednich funkcji (amplitudy zespolone).

MODEL PNOS (8)

Dysponując realizacjami procesu $x(t)$ można wyznaczyć estymatory funkcji $m_x(t)$, $K_x(t, u)$ oraz $V_x(t)$ a komponenty m_k, $k_k(u)$ oraz V_k można wykorzystać do uogólnienia wyników analiz danych empirycznych.

MODEL PNOS (9)

Estymatory funkcji $m_x(t)$, $V_x(t)$ i $K_x(t, u)$ wyznaczone na podstawie odczytów, wziętych z realizacji procesu w kolejnych N okresach skorelowania T, mają postać

$$\hat{m}_x(t) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x(t+nT), \tag{7}$$

$$\hat{V}_x(t) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\left[x^{\circ}(t+nT)\right]^2 = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\left[x(t+nT) - \hat{m}(t+nT)\right]^2, \tag{8}$$

$$\hat{K}_x(t,u) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\left[x^{\circ}(t+nT)\, x^{\circ}(t+u+nT)\right]. \tag{9}$$

MODEL PNOS (10)

Model PNOS dobowej, tygodniowej lub sezonowej zmienności przebiegów zapotrzebowania mocy odbiorców pozwala zatem poddać analizie następujące charakterystyki probabilistyczne:

1. wartość oczekiwaną $m_x(t)$;
2. wariancję $V_x(t)$ w zadanym okresie;
3. składniki m_k, V_k – stanowiące wynik rozłożenia funkcji $m_x(t)$ i $V_x(t)$ w szereg Fouriera;
4. funkcję korelacji $K_x(t, u)$ dla różnych odcinków procesu;
5. komponenty korelacyjne $k_k(u)$ uzyskane w wyniku rozłożenia funkcji $K_x(t, u)$ w szereg Fouriera.

Definicje nowych miar zmienności

$$\alpha_m = \frac{2\sum_{k=1}^{K_1} |m_k|^2}{m_0^{\ 2}} \; ; \qquad \alpha_V = \frac{2\sum_{k=1}^{K_2} |V_k|}{V_0} \; ; \qquad \alpha_{fl} = \frac{2\sum_{k=1}^{K_1} |m_k|^2}{V_0} \; .$$

Oznaczenia: m_0 - komponent (składnik) zerowy rozłożenia w szereg Fouriera uśrednionego profilu dobowego,

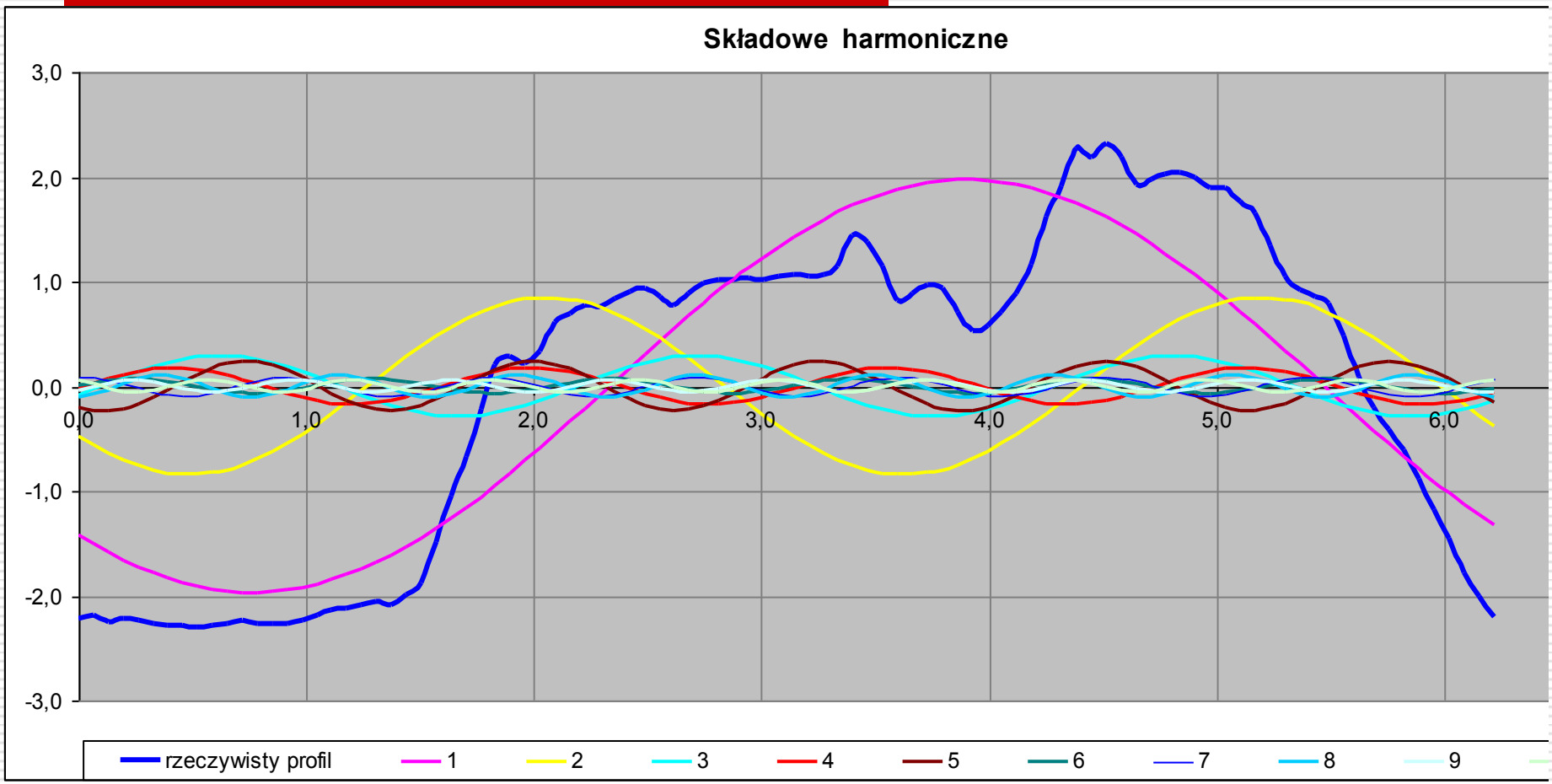
m_k - komponent k-ty rozłożenia w szereg Fouriera uśrednionego profilu dobowego,

V_0 - komponent zerowy rozłożenia w szereg Fouriera profilu wariancji kolejnych profili w badanym okresie wokół profilu uśrednionego,

V_k - komponent k-ty rozłożenia jak wyżej.

Uzupełnienia miar klasycznych!

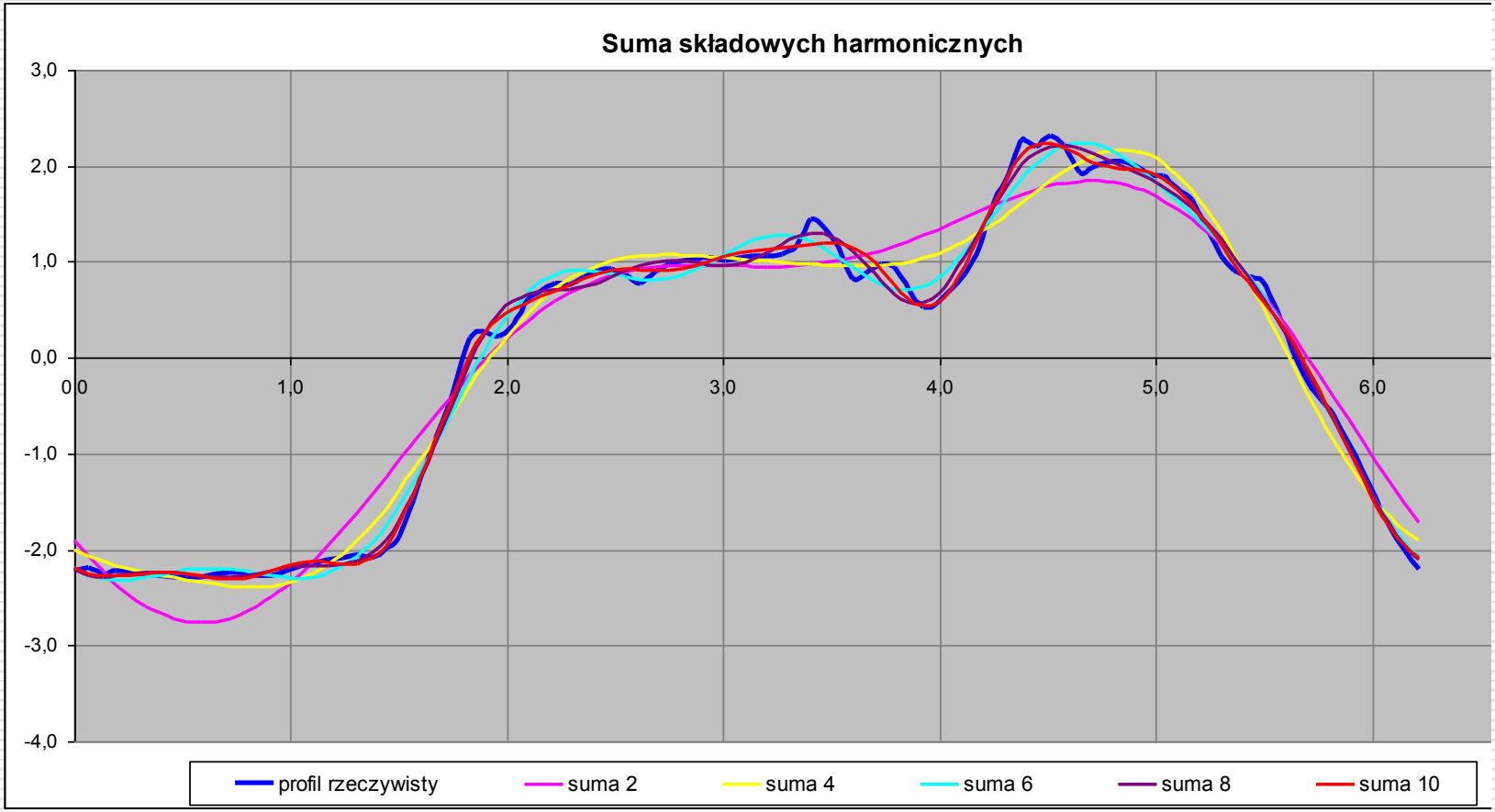
Profil rzeczywisty i harmoniczne



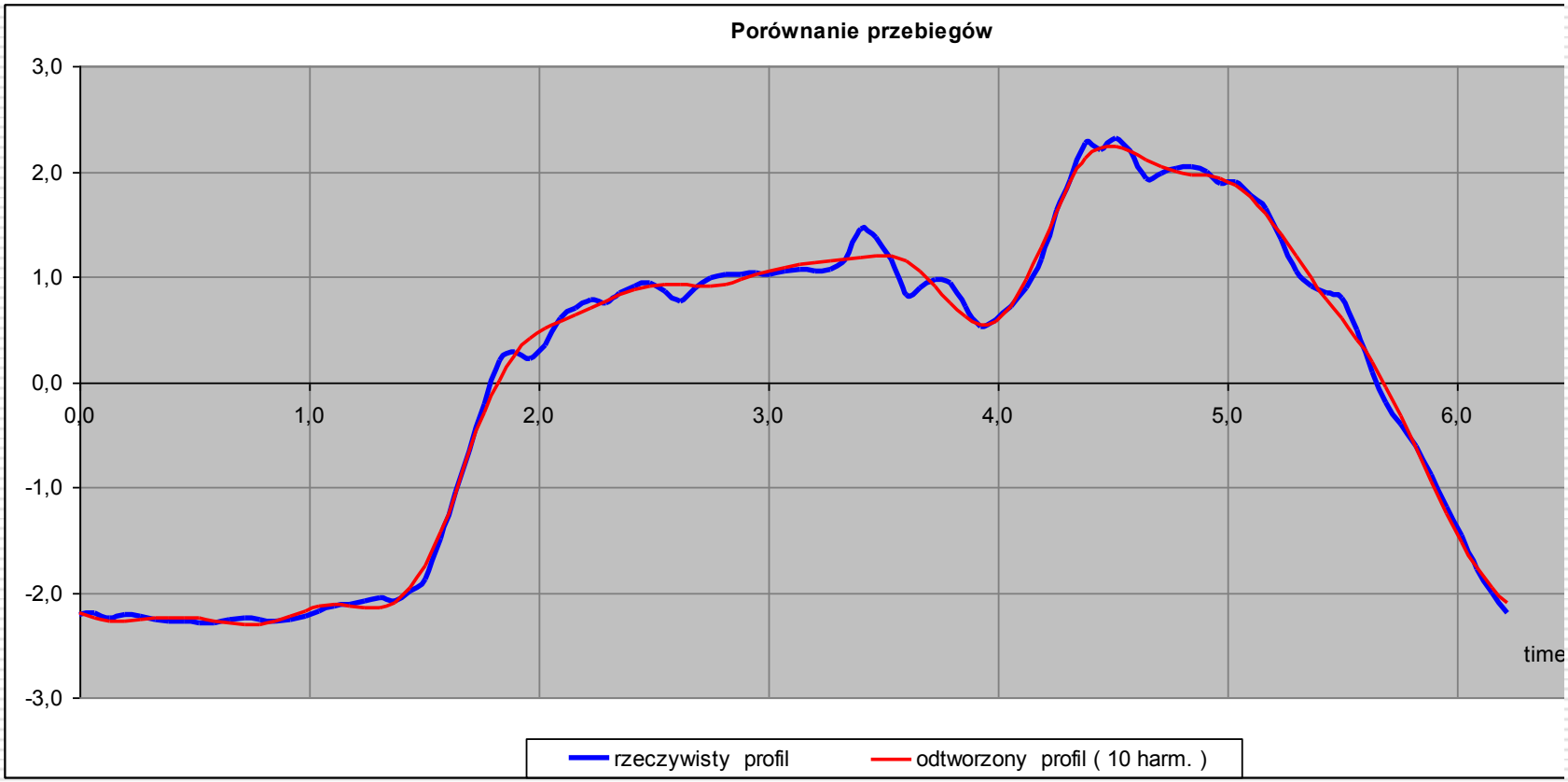
Proces centrowany!

Można także dokonywać redukcji, normalizacji, standaryzcji wartości analizowanych procesów

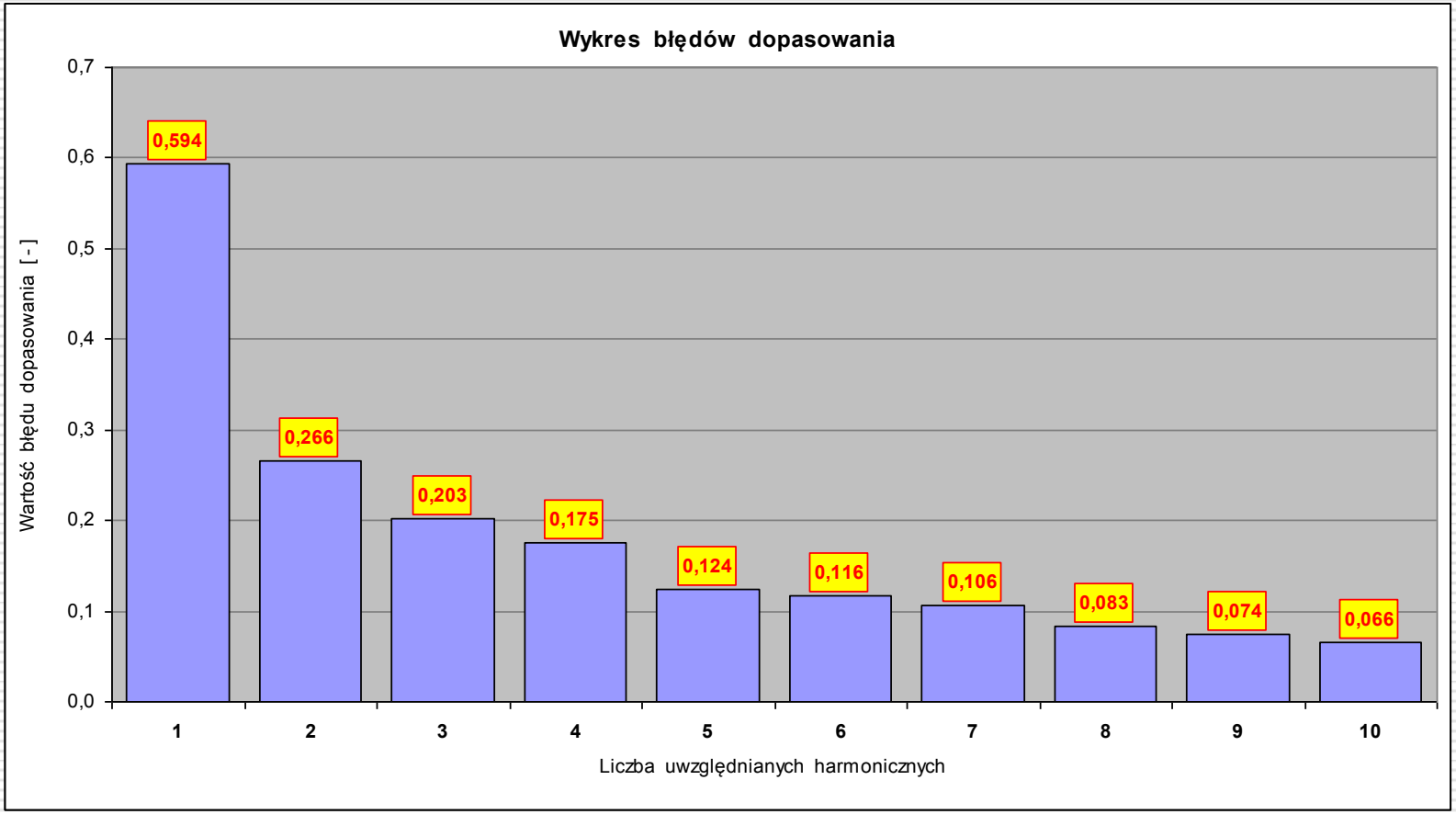
Prezentacja dokładności dopasowania



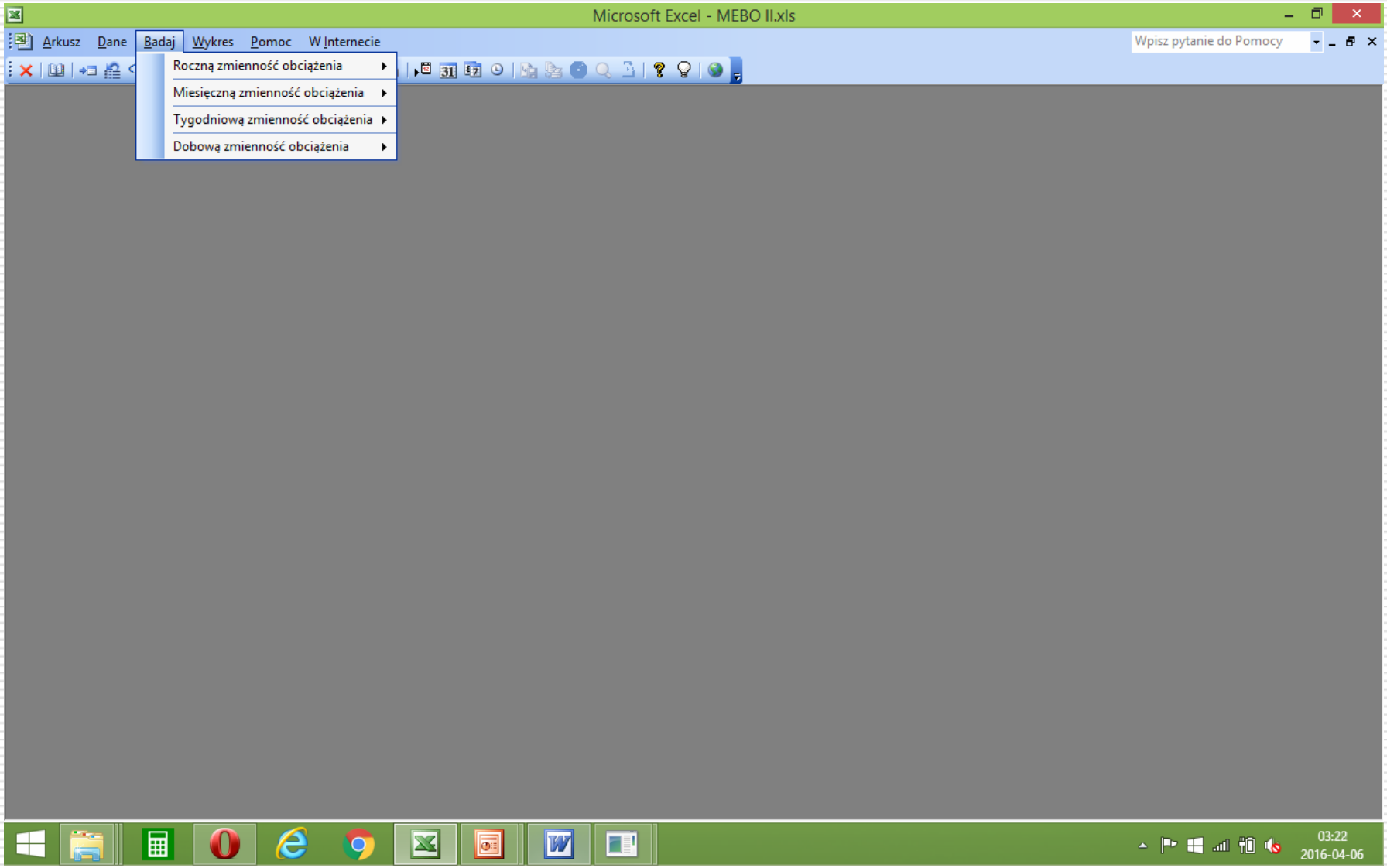
Prezentacja dokładności dopasowania



Zależność dokładności dopasowania od liczby uwzględnianych harmonicznych



Program MEBO II



Microsoft Excel - MEBO II.xls

Arkusz Dane Badaj Wykres Pomoc W Internecie

Wpisz pytanie do Pomocy

MEBO II - Roczna zmienność obciążenia

Obliczenia | Wykresy

Filtrowanie

Dni tygodnia

- [x] PN
- [x] WT
- [x] SR
- [x] CZ
- [x] PT
- [x] SB
- [x] ND

Dni roku

- [ ] Dni świąteczne
- [ ] Dni robocze
- [ ] Niedziele bez świąt
- [ ] Soboty bez świąt

Rodzaj wykresu

- (•) Chronologiczny
- ( ) Uporządkowany
- ( ) Kolumnowy

Wyświetlane wartości

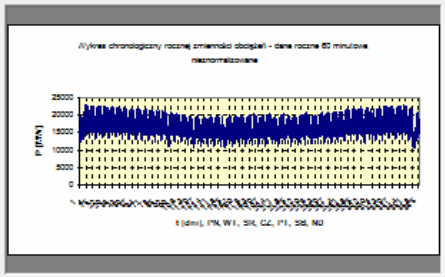
- (•) Wejściowe
- ( ) 24 h

Normalizowanie

- ( ) Standaryzacja
- ( ) Przekształcenie liniowe
- ( ) Redukcja

- [x] Dane nieznormalizowane

Wykres

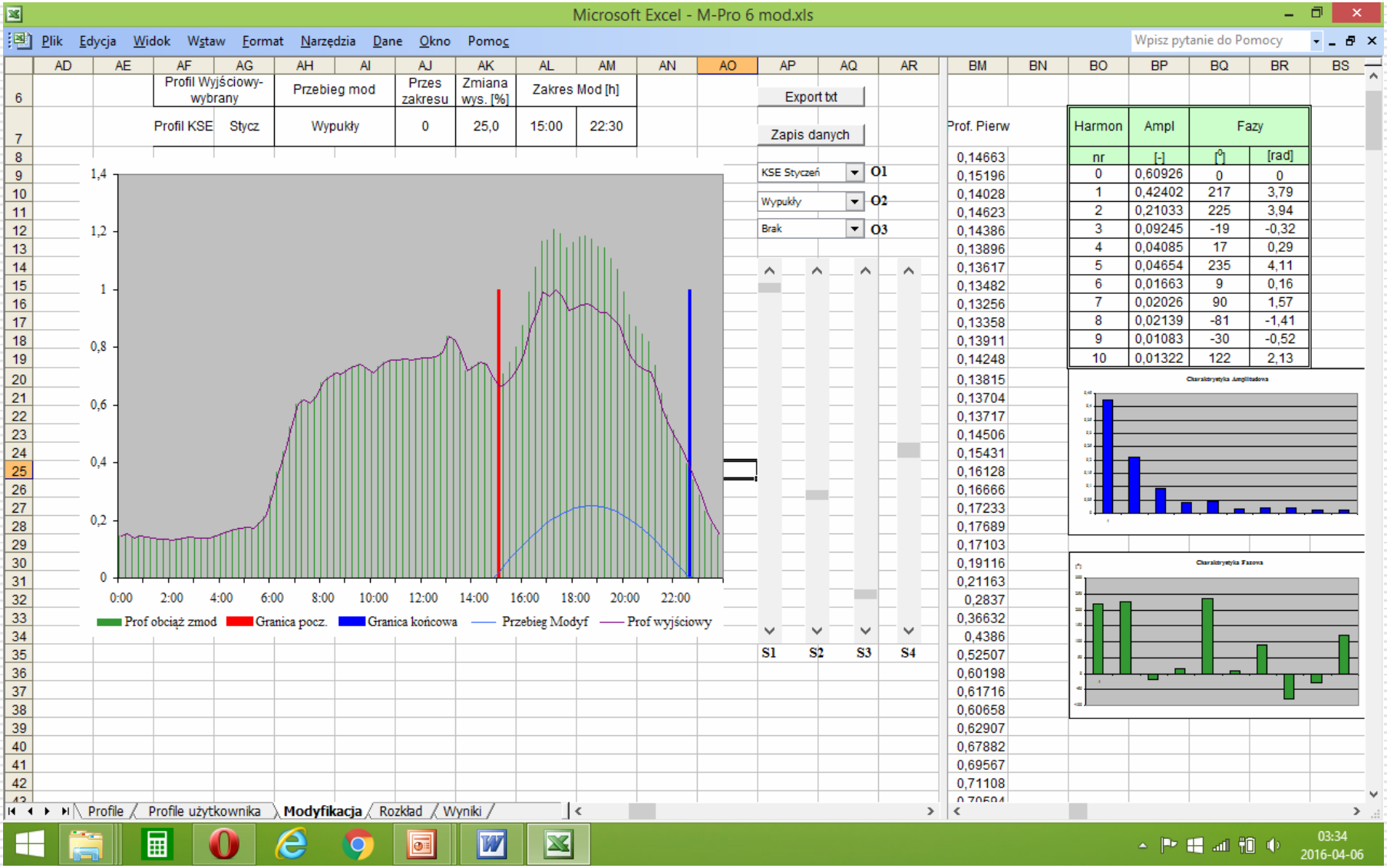


Kliknij na wykres aby zobaczyć powiększenie

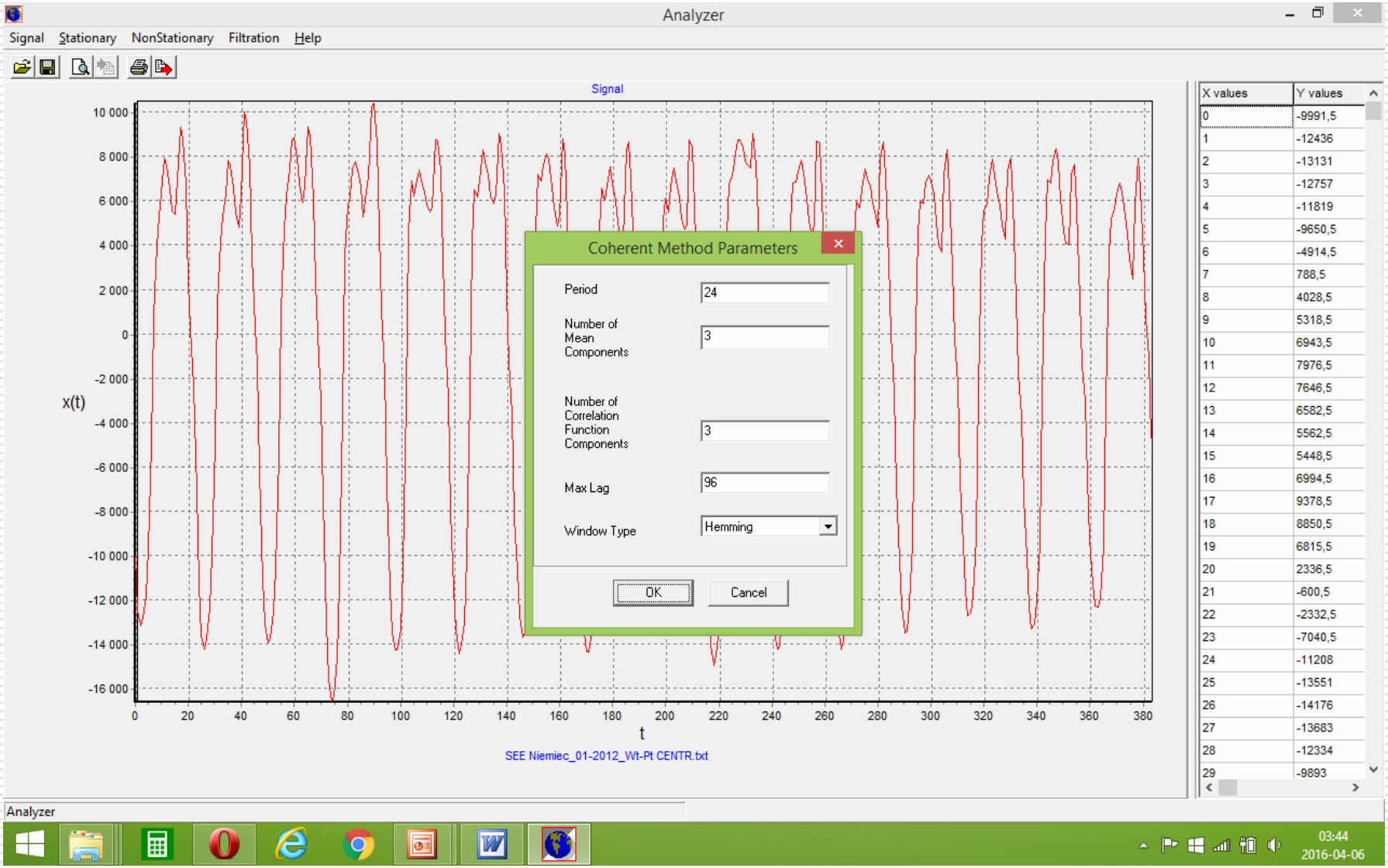
Anuluj | Wykreśl

03:25
2016-04-06

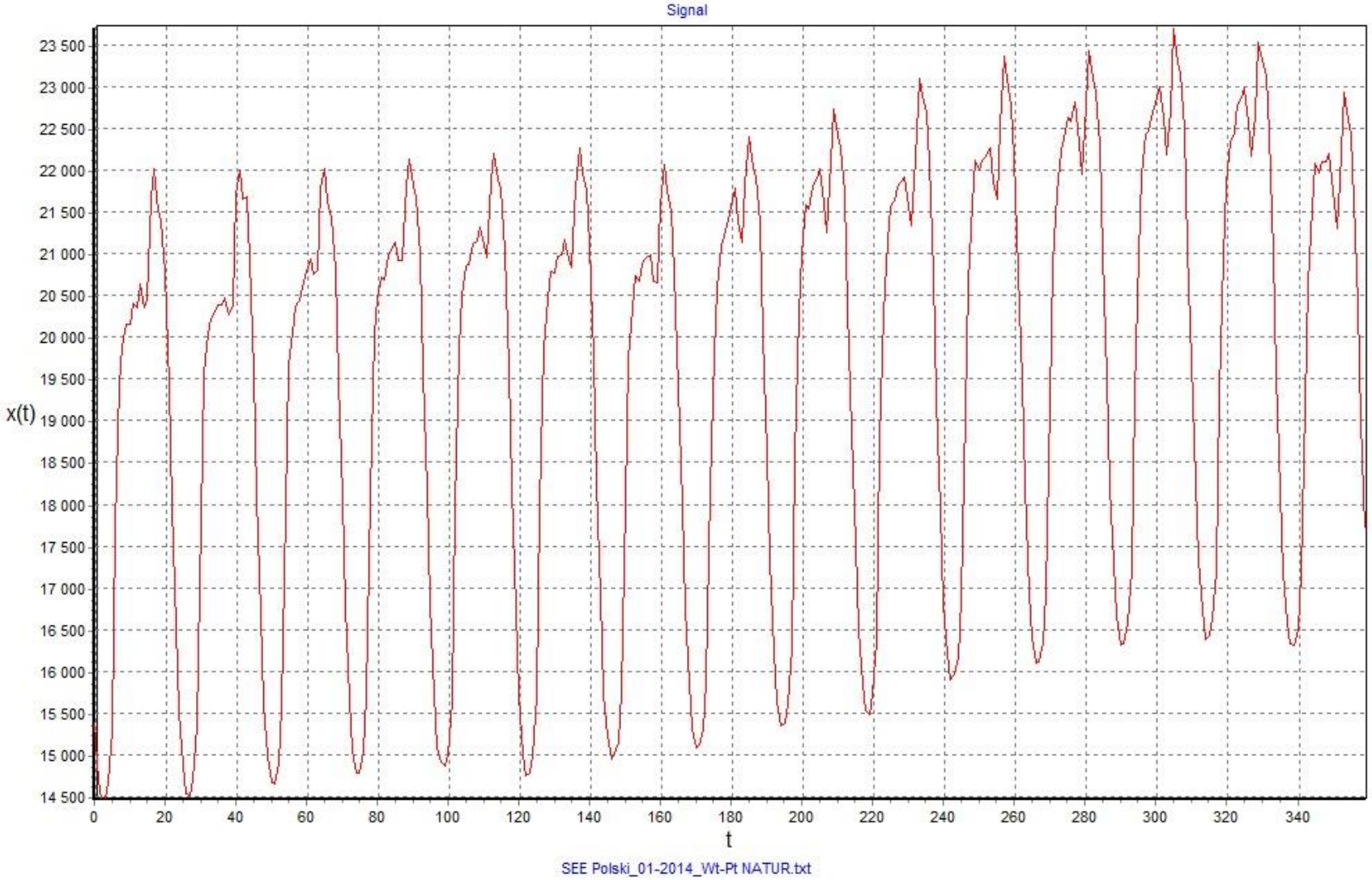
Program M-Pro 6



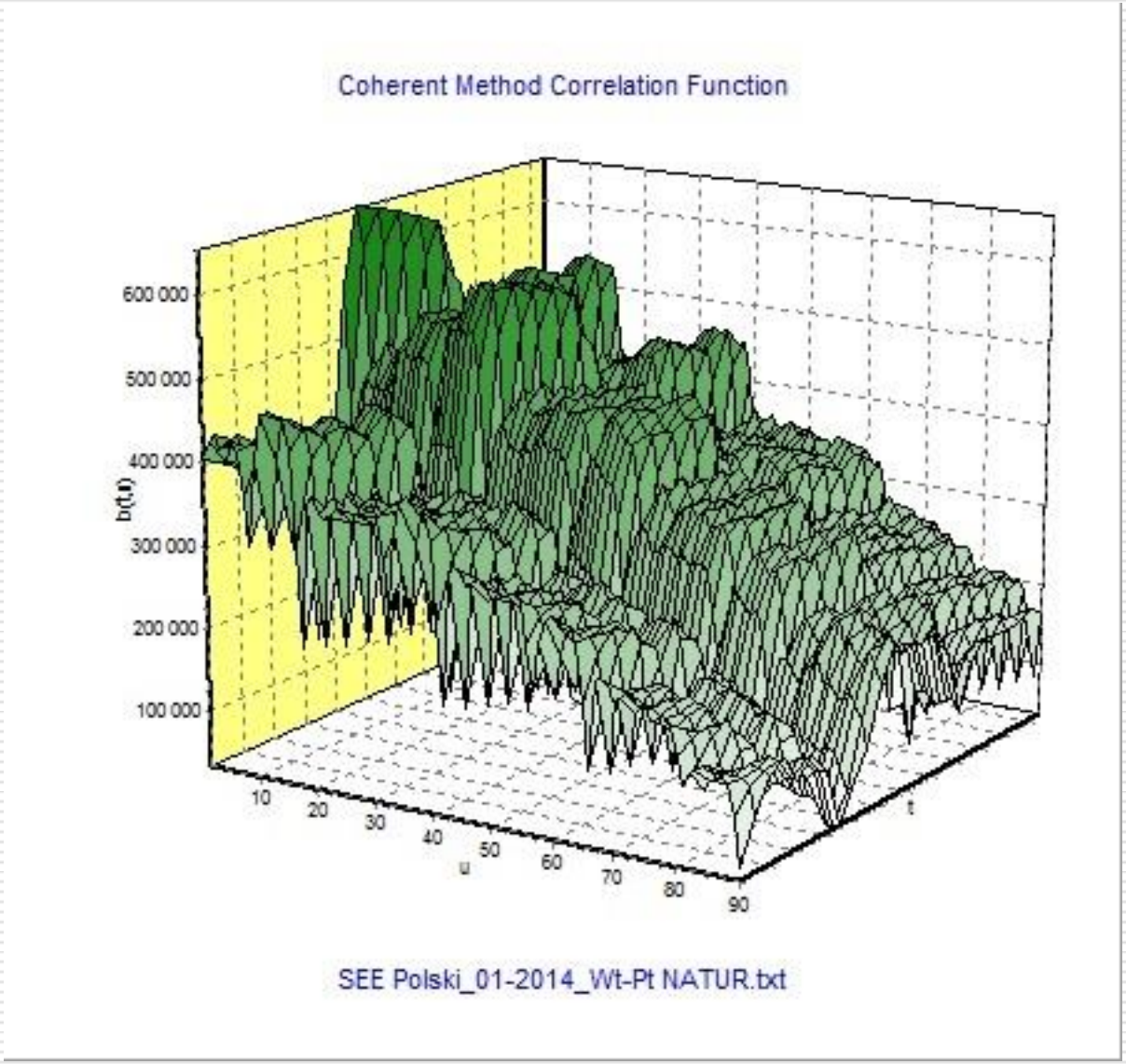
Program Signal Analyzer 2.5



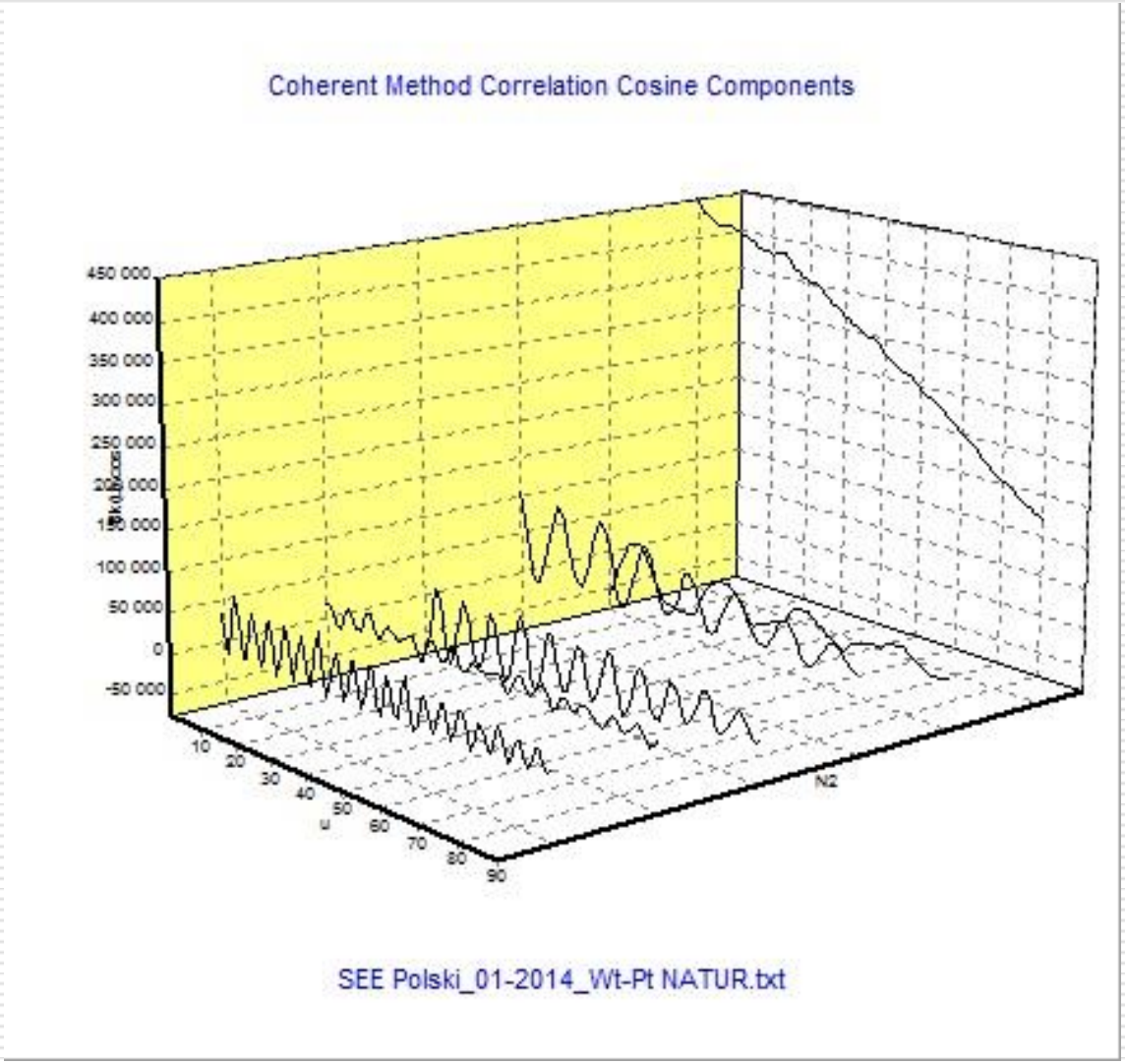
Przygotowanie danych



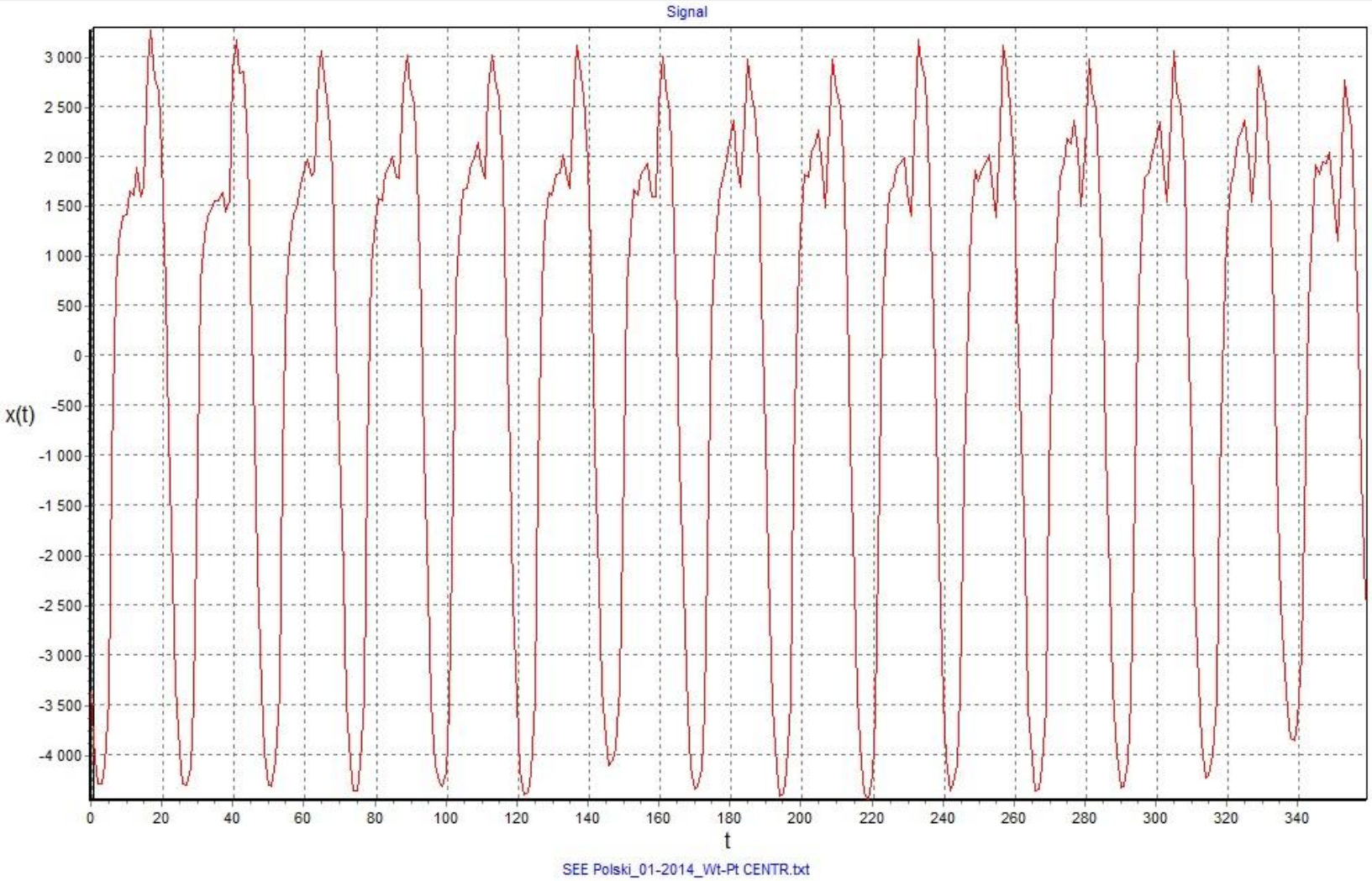
Wyniki


Coherent Method Correlation Function
600 000
500 000
400 000
300 000
200 000
100 000
b(t,u)
10
20
30
40
50
60
70
80
90
u
t
SEE Polski_01-2014_Wt-Pt NATUR.txt

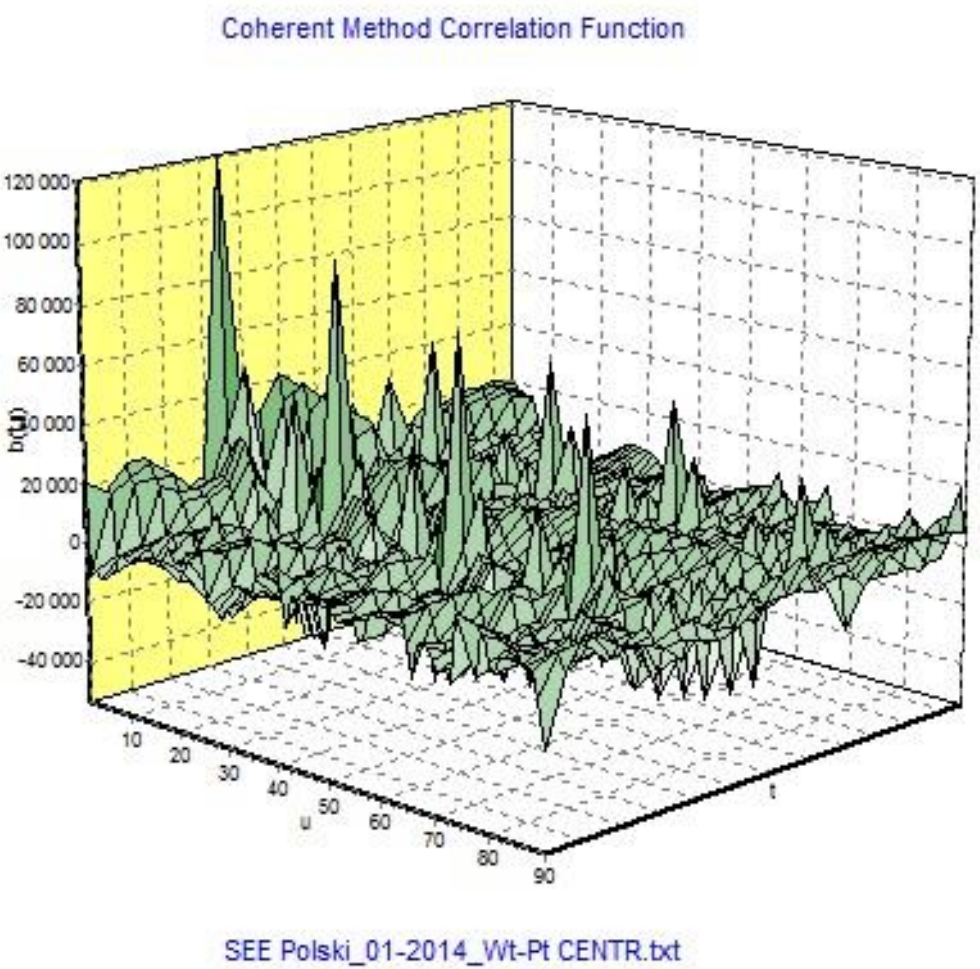
Wyniki


Coherent Method Correlation Cosine Components
450 000
400 000
350 000
300 000
250 000
200 000
150 000
100 000
50 000
0
-50 000
10
20
30
40
50
60
70
80
90
u
N2
SEE Polski_01-2014_Wt-Pt NATUR.txt

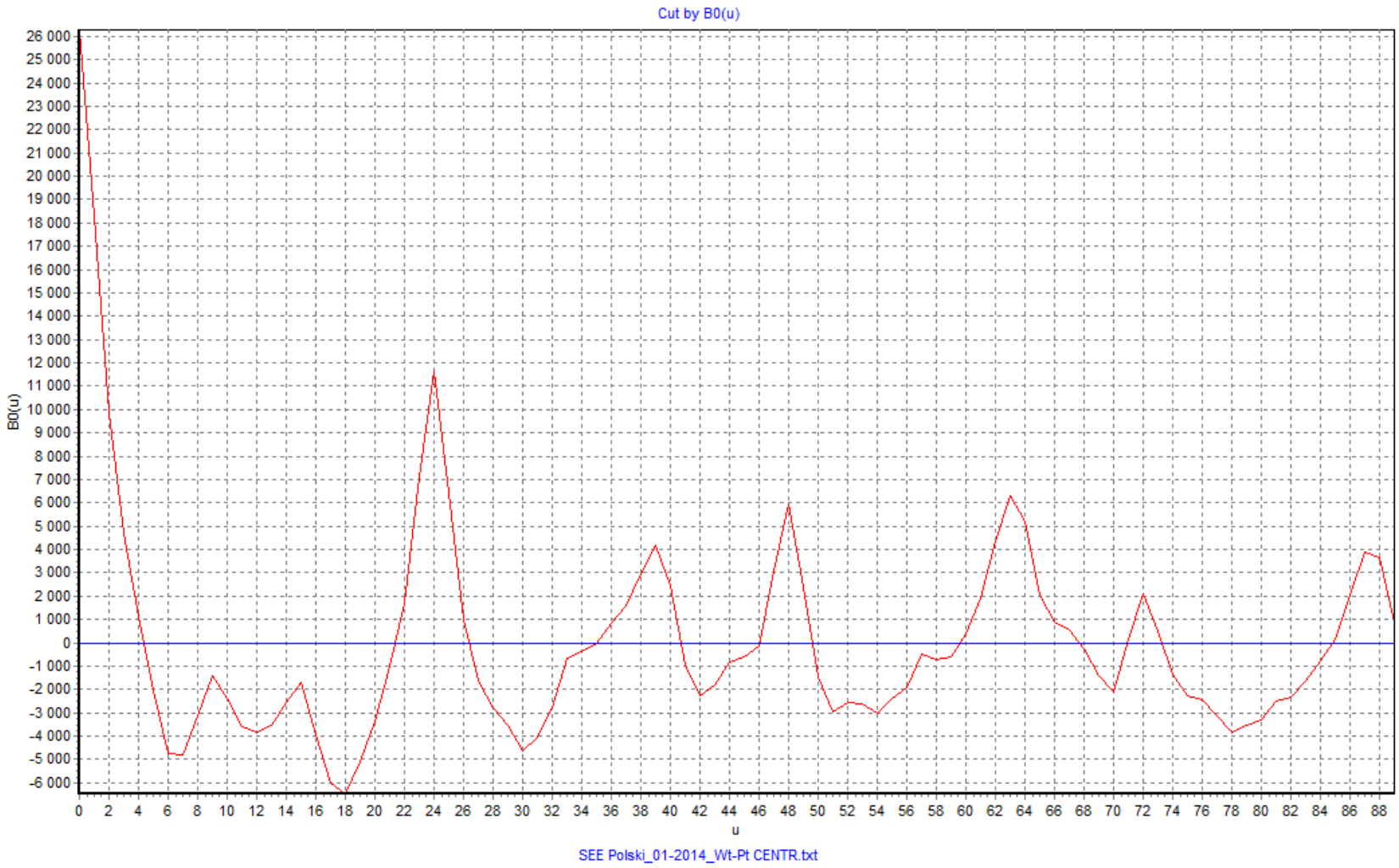
Przygotowanie danych



Wyniki


Coherent Method Correlation Function
120 000
100 000
80 000
60 000
40 000
20 000
0
-20 000
-40 000
10
20
30
40
50
60
70
80
90
u
t
SEE Polski_01-2014_Wt-Pt CENTR.txt

Wyniki



Podsumowanie

- Jak pokazano są liczne dane (informacje) na temat zmienności obciążeń KSE – trzeba wydobyć z nich wiedzę;
- No to do roboty!

Dziękuję za uwagę

Włodzimierz Bieliński

tel. (52) 340-85-86
e-mail: bielin@utp.edu.pl