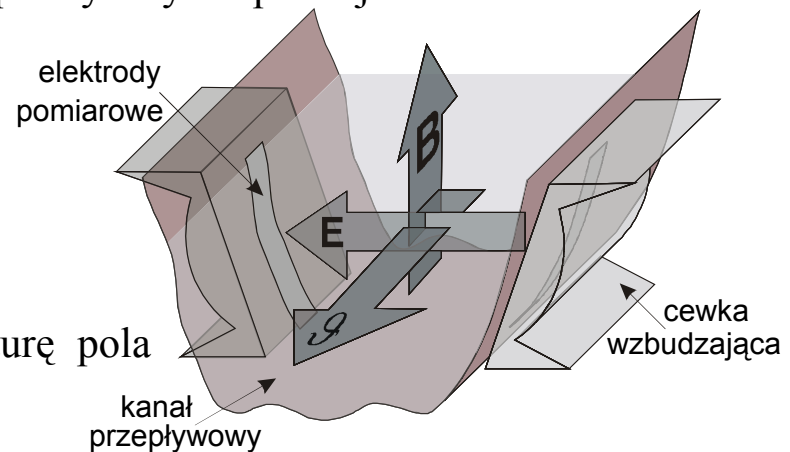


Zalety metody elektromagnetycznej pomiaru przepływu.

Metoda elektromagnetyczna nie jest uniwersalną ani najtańszą metodą pomiaru przepływu. Jednak jej bezsprzeczne zalety przyczyniają się do ciągłego jej rozwoju zarówno w aspekcie teoretycznym jak i praktycznych aplikacji.

Główne zalety metody to:

- możliwość pomiarów ciągłych niezależnie od zwrotu wektora prędkości,
- możliwość pomiarów w profilach o dowolnym kształcie,
- zdolność pomiaru w kanałach zarośniętych o mulistym i ruchomym dnie
- prawidłowy pomiar w przypadku zarówno przepływu laminarnego jak i turbulentnego, również w kanałach bardzo płytkich
- brak w kanale przepływowym urządzeń zakłócających naturalną strukturę pola przepływowego
- odporność na działanie środowisk agresywnych



Obecnie prowadzone prace skupiają się nad optymalizacją konstrukcji przetwornika pierwotnego i poprawą dokładności pomiaru.

Charakterystyka sygnału i opis stanowiska pomiarowego.

Zasada działania przepływomierza elektromagnetycznego oparta jest na prawie Faraday'a. Potencjał elektryczny indukowany w strefie pomiarowej zależy od wektora prędkości v poruszającego się medium i wektora indukcji pola magnetycznego B . Zależność tą opisuje równanie Poissona w którym γ jest konduktywnością środowiska w którym dokonywany jest pomiar.

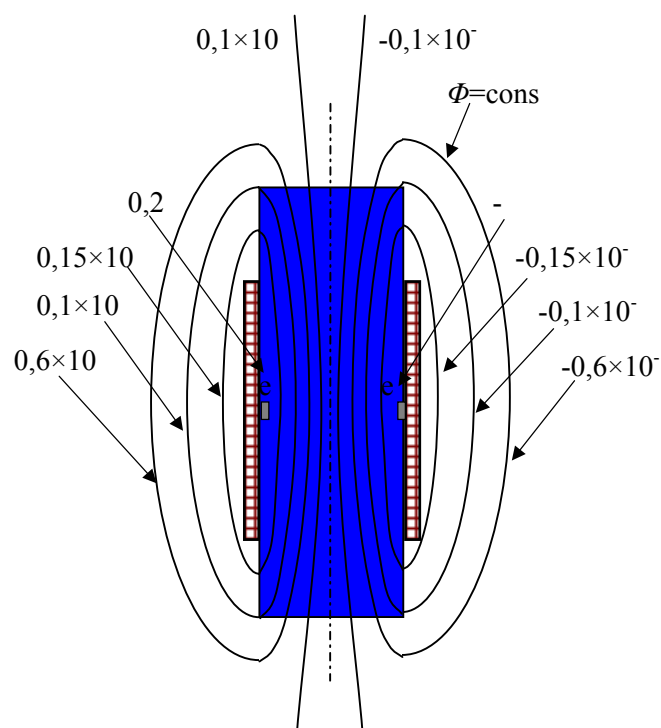
$$\text{div}(\gamma \text{grad} \varphi) = \text{div} \gamma (\vec{g} \times \vec{B})$$

Rozwiązanie powyższego równania w postaci ogólnej może być przedstawione zależnością opisującą różnicę potencjałów U_{ER} między elektrodami e_1 i e_2 :

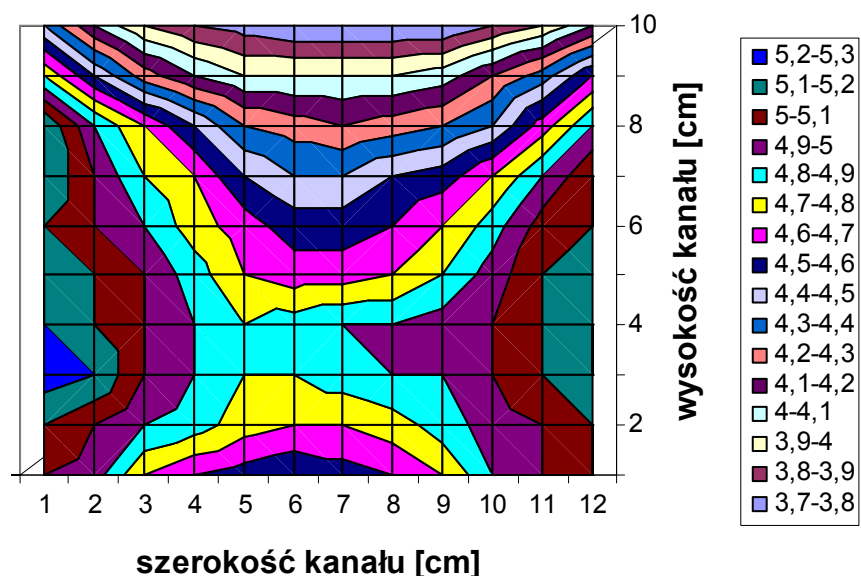
$$U_{ER} = \varphi_{e_1} - \varphi_{e_2} = \int_V \vec{g} \cdot (\vec{B} \times \vec{J}) dv$$

gdzie V jest objętością strefy pomiarowej a J wirtualnym wektorem gęstości prądu.

Na poniższych rysunkach przedstawiono przykładowy rozkład potencjału elektrycznego w korycie pomiarowym oraz rozkład składowej normalnej (prostopadła do wektora prędkości) wektora indukcji pola magnetycznego w strefie pomiarowej.

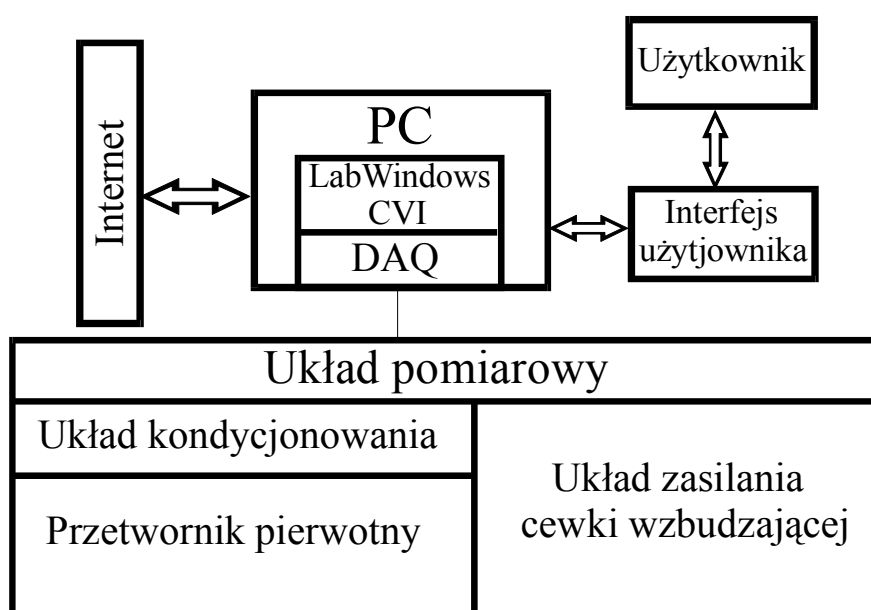


Rys.1. Rozkład potencjału elektrycznego w korycie pomiarowym.



Rys.2. Rozkład wektora indukcji pola magnetycznego w strefie pomiarowej.

Rysunki 3 i 4 przedstawiają schemat i widok stanowiska laboratoryjnego prototypu przepływomierza elektromagnetycznego.



Rys.3. Schemat stanowiska laboratoryjnego przepływomierza elektromagnetycznego.

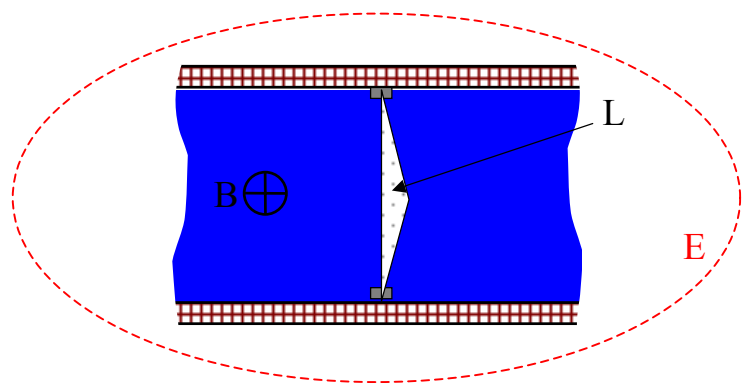


Rys.4. Widok stanowiska laboratoryjnego przepływomierza elektromagnetycznego

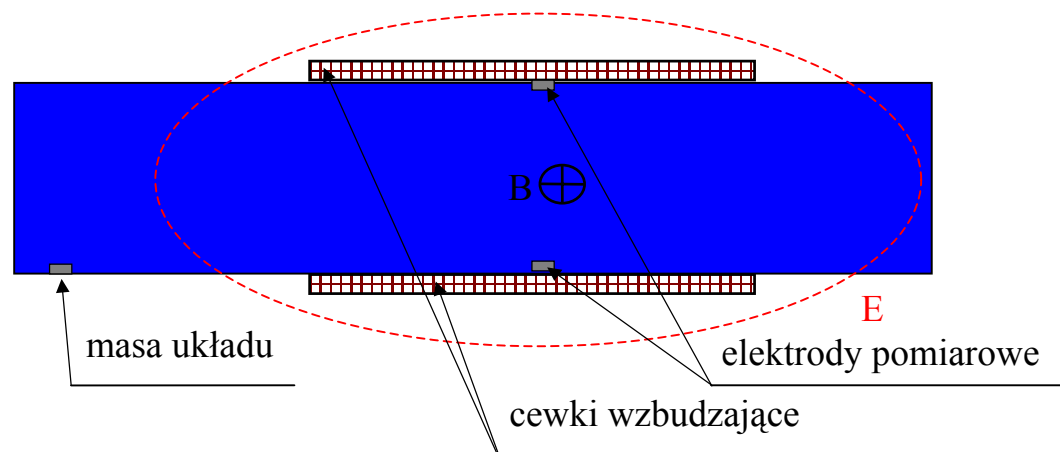
Kondycjonowanie sygnału pomiarowego.

Kondycjonowanie szczególnie w fazie wstępnej procedury pomiarowej pozwala dostosować postać przetworzonego sygnału do wymogów toru pomiarowego. W ramach wstępnego kondycjonowania sygnału rozważa się: dobór sposobu instalacji elektrod pomiarowych i przewodów łączących elektrody z przedwzmacniaczem oraz usytuowanie „zera” układu pomiarowego w stosunku do lokalizacji strefy pomiarowej. Szczególnie istotny jest to problem w przypadku sztucznych kanałów przepływowych z izolowanym korytem.

Minimalizacja napięć zakłócających indukowanych na przewodach sygnałowych sprowadza się do takiego prowadzenia przewodów, aby rzut utworzonej w ten sposób powierzchni L (ograniczonej przewodami) na płaszczyznę prostopadłą do wektora indukcji był minimalny rys.5.



Rys. 5. Rysunek obrazujący wpływ ułożenia elektrod i przewodów na wyniki pomiarów.



Rys.6. Rysunek obrazujący wpływ odległości masy układu od strefy pomiarowej na wyniki pomiarów.

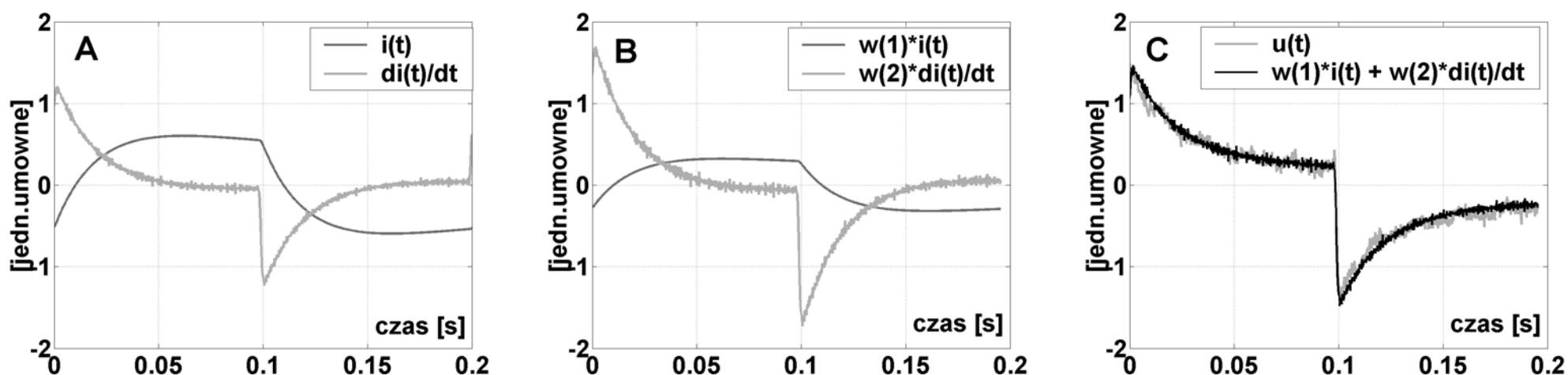
Rys. 6. obrazuje możliwe usytuowanie punktu „masy” układu pomiarowego w stosunku do strefy pomiarowej. Masa układu powinna być umieszczona w takiej odległości od strefy pomiarowej żeby wpływ indukowanego w kanale przepływowym pola elektrycznego na potencjał „masy” był znikomy.

Model matematyczny sygnału pomiarowego.

Poniżej przedstawiono model matematyczny sygnału indukowanego na elektrodach pomiarowych, zawierający informację jednocześnie o bieżącej wartości pola magnetycznego oraz o szybkości jego zmian. Przy pominięciu występujących w indukowanym sygnale zakłóceń można go opisać następującym równaniem:

$$u(t) = a \cdot v \cdot i(t) + b \cdot h \cdot \frac{di(t)}{dt} = w(1) \cdot i(t) + w(2) \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad (3)$$

Parametry a i b są stałymi dla danego urządzenia i zależą od konstrukcji cewki, położenia oraz odległości pomiędzy elektrodami itd., natomiast v oraz h są odpowiednio - prędkością cieczy i wysokością napełnienia kanału. Wielkość $i(t)$ opisuje przebieg czasowy prądu odpowiedzialnego za wytworzenie pola magnetycznego. Dokonując rejestracji indukowanego napięcia $u(t)$ oraz odpowiadającego mu przebiegu prądu $i(t)$, można zażądać spełnienia równania (3) przez wszystkie uzyskane próbki. Uzyskuje się tym sposobem nadokreślony układ równań liniowych ze względu na $w(1)$ i $w(2)$. Jego rozwiązanie prowadzi do dekompozycji rejestrowanego sygnału na dwa składniki: na składnik proporcjonalny do prądu i i na składnik proporcjonalny do pochodnej prądu. Amplitudy tych składników reprezentują kolejno: prędkość przepływu cieczy oraz wysokość napełnienia kanału, natomiast ich iloczyn zawiera informację o przepływie objętościowym.



Rys. 7. Przykład dekompozycji (B) i syntezy (C) rzeczywistego sygnału przepływu na podstawie równania (3).

Rys. 7 przedstawia przykład dekompozycji (3) wykonanej dla sygnału rzeczywistego zarejestrowanego w warunkach minimalnych zakłóceń, potwierdzającej poprawność przyjętego modelu. Minimalizacja zakłóceń została w tym przypadku uzyskana dzięki zastosowaniu dodatkowych stabilizatorów turbulencji przepływu oraz nakładek na elektrody wykonanych z materiału porowatego, przeznaczonych do stabilizacji warstwy Helmholtza na powierzchni ich styku z cieczą.

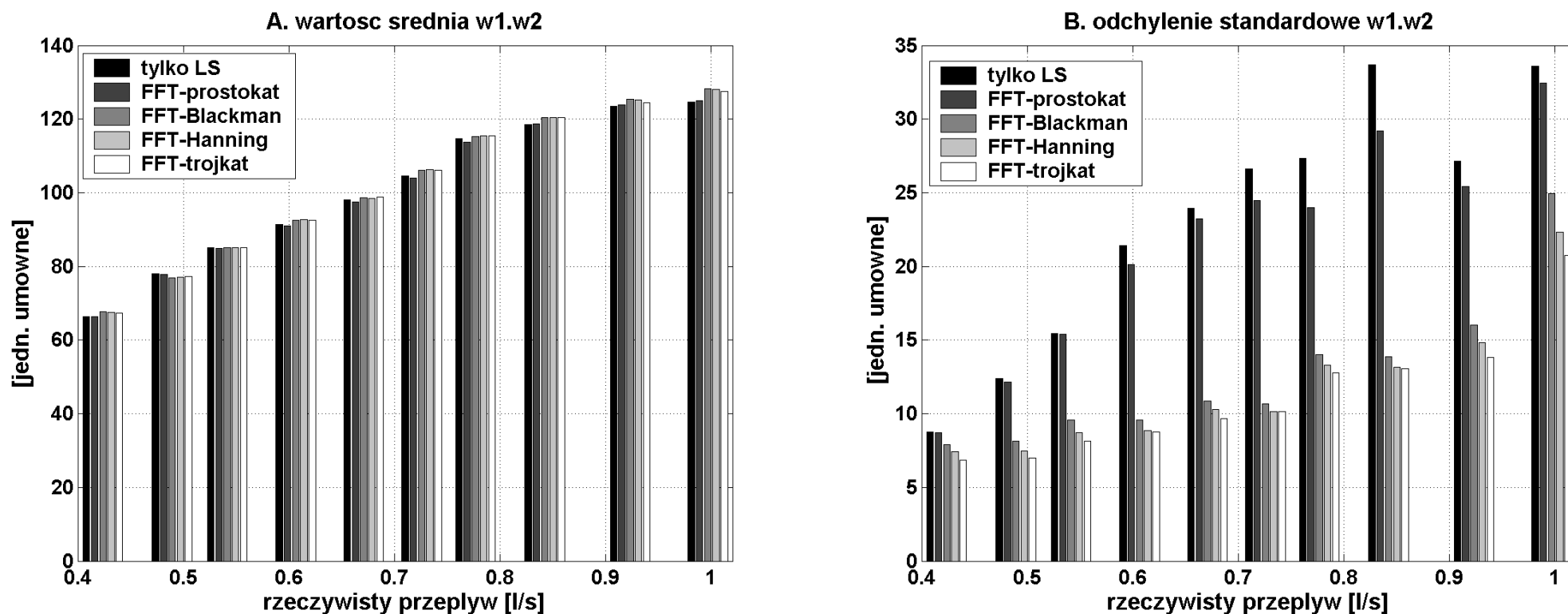
Metody eliminacji zakłóceń w sygnale z przepływomierza elektromagnetycznego (głównie składowej wolnozmiennej).

Właściwości fizyczne zastosowanych elektrod, cieczy, środowiska oraz turbulencja samego przepływu sprawiają, że zakłócenia te mają charakter losowej addytywnej składowej wolnozmiennej o nieokreślonym i zmiennym składzie widmowym, której poziom przy realnych wartościach wytwarzanej nawet sztucznie indukcji magnetycznej, może znacznie przekraczać poziom sygnału użytecznego. Będąc ich wynikiem napięcie może osiągać poziomy o kilka dekad przekraczające poziom sygnału niosącego informację o przepływie, uniemożliwiając przy wytworzonym stałym polu magnetycznym B utrzymanie stabilnego zera.

Do eliminacji zakłóceń postanowiono wykorzystać:

- a) metodę związaną z FFT
- b) metodę aproksymacji wielomianowej

Główną ideą pierwszego proponowanego podejścia eliminacji zakłócenia, jest wyzerowanie uzyskanego na drodze FFT widma w zakresie częstotliwości nie zajętych przez sygnał użyteczny i zastosowanie transformaty odwrotnej.

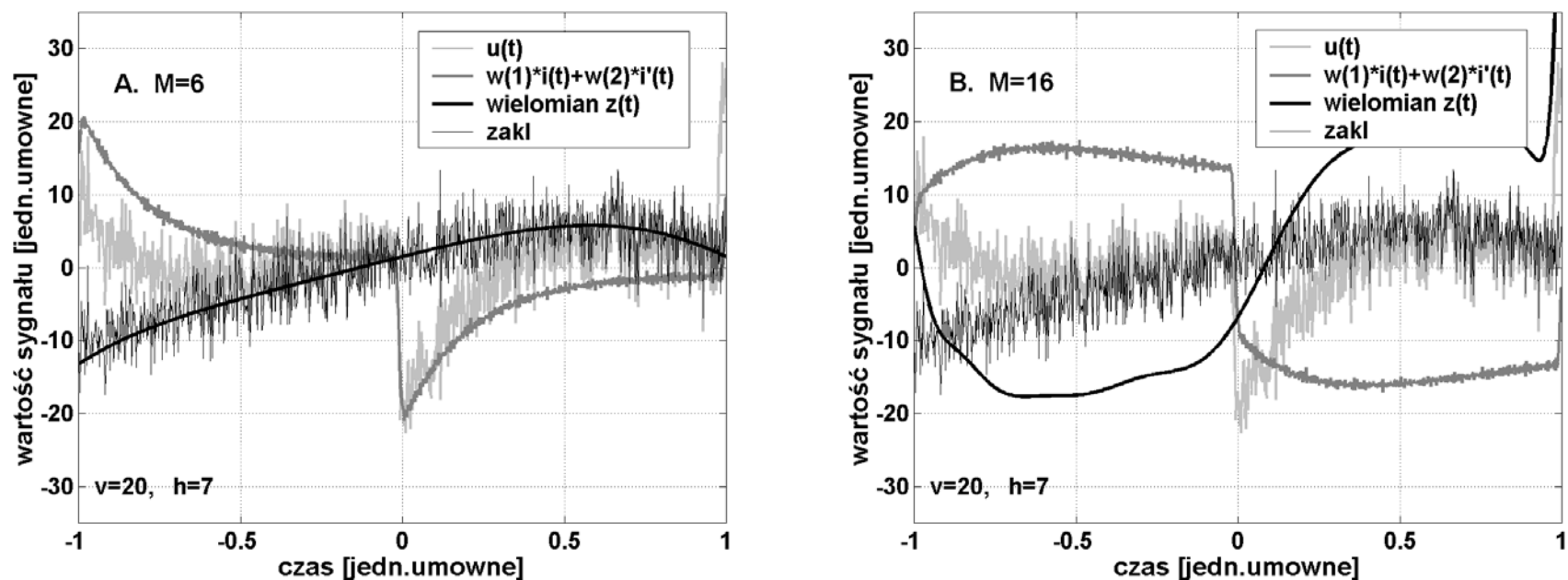


Rys. 8. Charakterystyki przetwarzania modelu przepływomierza uzyskane z wykorzystaniem FFT dla wybranych okien wagowych.

Bez zmiany ogólności rozważań, do modelu sygnału (1) można wprowadzić dodatkowy przebieg $z(t)$ reprezentujący zakłócenie:

$$u(t) = w(1) \cdot i(t) + w(2) \cdot \frac{di(t)}{dt} + z(t), \quad (4)$$

postulując opis jego zachowania za pomocą wielomianu. Zgodnie z równaniem (4) każde odchylenie rejestrowanego przebiegu od ważonej sumy przebiegów $i(t)$ oraz $di(t)/dt$ generuje niezerowe współczynniki wielomianu aproksymującego, który przejmuje dzięki temu rolę występującego zakłócenia. Przyjęty stopień wielomianu nie może być jednak dowolny. Zbyt mały nie zapewnia dostatecznej minimalizacji wpływu zakłóceń na rozwiązanie, zbyt duży generuje błędy związane z możliwością przejmowania przez $z(t)$ energii sygnału użytecznego.



Rys. 9. Przykłady aproksymacji zakłócenia $z(t)$ dla dwu skrajnych stopni M wielomianu Czebyszewa.