

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF VIRTUAL MODELS OF AGRICULTURAL MACHINES ON THE EXAMPLE OF SLURRY TANKER CONSTRUCTION

Summary

In the paper presented is the method being used in PIMR for verification of experimental virtual models of agricultural machines. In the process of experimental verification determined are dynamic stresses in the nodal points of the construction and checked is if they are consistent with the analyses results obtained on the virtual models.

WERYFIKACJA EKSPERYMENTALNA WIRTUALNYCH MODELI MASZYN ROLNICZYCH NA PRZYKŁADZIE KONSTRUKCJI WOZU ASENIZACYJNEGO

Streszczenie

W artykule przedstawiono stosowaną w PIMR metodę weryfikacji eksperymentalnych wirtualnych modeli maszyn rolniczych. W trakcie weryfikacji eksperymentalnej wyznacza się naprężenia dynamiczne w węzłowych punktach konstrukcji i sprawdza czy są one zgodne z wynikami analiz uzyskanych na modelach wirtualnych.

Wprowadzenie

Prowadzenie badań eksperymentalnych prototypów i urządzeń jest istotnym etapem przygotowania ich do produkcji. Badania takie stanowią końcowy etap procesu projektowania. Pozwalają na sprawdzenia poprawności komputerowych analiz wytrzymałościowych oraz identyfikację słabych ogniw konstrukcji. Są także ich uzupełnieniem, szczególnie w zakresie identyfikacji zachodzących procesów dynamicznych.

W procesie weryfikacji modeli komputerowych, wykorzystywanych w badaniach symulacyjnych, wykonuje się zazwyczaj pomiary z zastosowaniem czujników tensometrycznych, jak również z zastosowaniem czujników przyspieszeń drgań. Wyniki pomiarów uzyskane z czujników tensometrycznych służą do oceny poprawności modelu obliczeniowego w zakresie naprężeń uzyskanych w elementach konstrukcyjnych. Natomiast pomiary przy zastosowaniu czujników przyspieszeń drgań służą do uzyskania informacji o wymuszeniach i przemieszczeniach konstrukcji. Otrzymane wyniki pomiarów odnoszą się wyłącznie do wymuszeń zarejestrowanych w trakcie pomiarów i tylko do wybranych punktów, przy określonym stanie obciążenia konstrukcji.

1. Metodyka badań eksperymentalnych wozu asenizacyjnego

Założony program badań eksperymentalnych obejmował:

- pomiar sygnałów pomiarowych z czujników tensometrycznych,
- pomiar sygnałów pomiarowych z czujników przyspieszeń,
- pomiar siły uciągu.

1.1. Aparatura pomiarowa

Do rejestracji i przetwarzania sygnałów pomiarowych zastosowano zestaw akwizycji danych pomiarowych oparty na aparaturze pomiarowej i oprogramowaniu firmy Hottinger.



Rys. 1. Ekologiczny wóz asenizacyjny do głębokiego dozowania gnojowicy podczas badań polowych

Fig.1. Ecological slurry tanker for the deep dosage of the liquid muck during the field testing

Do pomiaru odkształceń zastosowano czujniki tensometryczne Hottinger. Do pomiarów przyspieszeń zastosowano czujniki trójosiowe firmy Analog Devices

Sygnały pomiarowe z wymienionych czujników zostały zarejestrowane przy pomocy urządzenia Spider-8 w konfiguracji obejmującej 32 kanały pomiarowe oraz za pomocą oprogramowania Catman-32.

Dalsze przetwarzanie danych dokonywane było za pomocą procedur obliczeniowych działających w środowisku Matlab.

1.2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych

Kierując się możliwościami aparaturowymi oraz znaczeniem sygnałów ustalono, że dla konstrukcji naczepty pomiaru naprężeń zostaną przeprowadzone w sześciu punktach. W pięciu punktach nakleiono rozety tensometryczne składające się z trzech tensometrów każda.

Czujniki tensometryczne zamocowano w punktach, w których w wyniku symulacji komputerowej uzyskano największe wartości wyciężenia oraz w innych punktach charakterystycznych konstrukcji. Były to punkty położone na:

- spodniej części dyszla za uskokiem,
- krawędzi przedniego wieka zbiornika,
- środku podłużnicy nad uchwytem resoru pierwszej osi,
- belce mocowania redlic,
- tylnym wieku zbiornika przy kołnierzu,
- górnej krawędzi redlicy zewnętrznej.

Czujniki przyspieszeń drgań umieszczono w następujących punktach pomiarowych:

- na osi, przednie prawe koło,
- na ramie ponad przednim prawym kołem,
- na dyszlu,
- na osi, tylne prawe koło (oś trzecia),
- na ramie ponad tylnym prawym kołem (oś trzecia),
- na ramie ponad środkowym lewym kołem (oś druga).

1.3. Warunki pomiaru

Pomiary wykonano w warunkach polowych podczas pracy wozu na polu. Wykonano także pomiary podczas przejazdu wozu pełnego i pustego po nierównościach (nierówności na polu, kostka brukowa, asfalt).

1.4. Wielkości wyznaczone w czasie badań eksperymentalnych

W czasie badań naprężeń wyznacza się składowe odkształcenia ε_x , ε_y oraz kąt odkształcenia postaciowego γ_{xy} . Przyjmując założenie o istnieniu płaskiego stanu naprężeń, po odpowiednich przekształceniach, otrzymuje się zależności na naprężenia występujące w badanych punktach pomiarowych:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x)$$

$$\tau_{xy} = \gamma_{xy} G$$

gdzie:

σ_x – naprężenie w kierunku x,

σ_y – naprężenie w kierunku y,

τ_{xy} – naprężenie styczne,

ν – współczynnik Poissona,

E – moduł Younga,

G – współczynnik sprężystości poprzecznej.

Na podstawie otrzymanych naprężeń wyznacza się naprężenia zredukowane σ_{zr} wg hipotezy Hubera, która dla płaskiego stanu naprężenia przedstawia się następująco:

$$\sigma_{zr} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

oraz naprężenia główne $\sigma_{1,2}$ według zależności:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

W czasie analizy wyników badań naprężeń wyznaczono naprężenia: σ_x , σ_y , naprężenia ścinające τ_{xy} , naprężenia główne σ_1 , σ_2 , oraz naprężenia zredukowane σ_{zr} .

W czasie analizy wyników badań drgań mechanicznych przeprowadzono analizę częstotliwościową przyspieszeń drgań mechanicznych poprzez wyznaczenie gęstości widmowej mocy sygnału (PSD – Power Spectral Density). Uzyskano widma gęstości mocy sygnału w zakresie częstotliwości od 0 do 150 Hz.

Do wyznaczenia gęstości widmowych mocy sygnałów przyspieszeń drgań zastosowano metodę nieparametryczną, zmodyfikowanego periodogramu, opartą o algorytm Welch.

Następnie wyznaczono przebiegi czasowe sygnałów przyspieszeń, prędkości i przemieszczeń drgań mechanicznych metodami całkowania numerycznego.

Przed całkowaniem sygnał był filtrowany cyfrowo. Zamodelowano odpowiedni filtr cyfrowy pozwalający na wyeliminowanie niskich częstotliwości. Do filtracji sygnału zastosowano filtr górno przepustowy Czebyszewa I typu.

Na rys. 2 zamieszczono charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową filtru.

Filtr ten eliminuje niskie częstotliwości (poniżej 0.4 Hz) i dzięki temu minimalizowane są błędy powstałe w czasie całkowania.

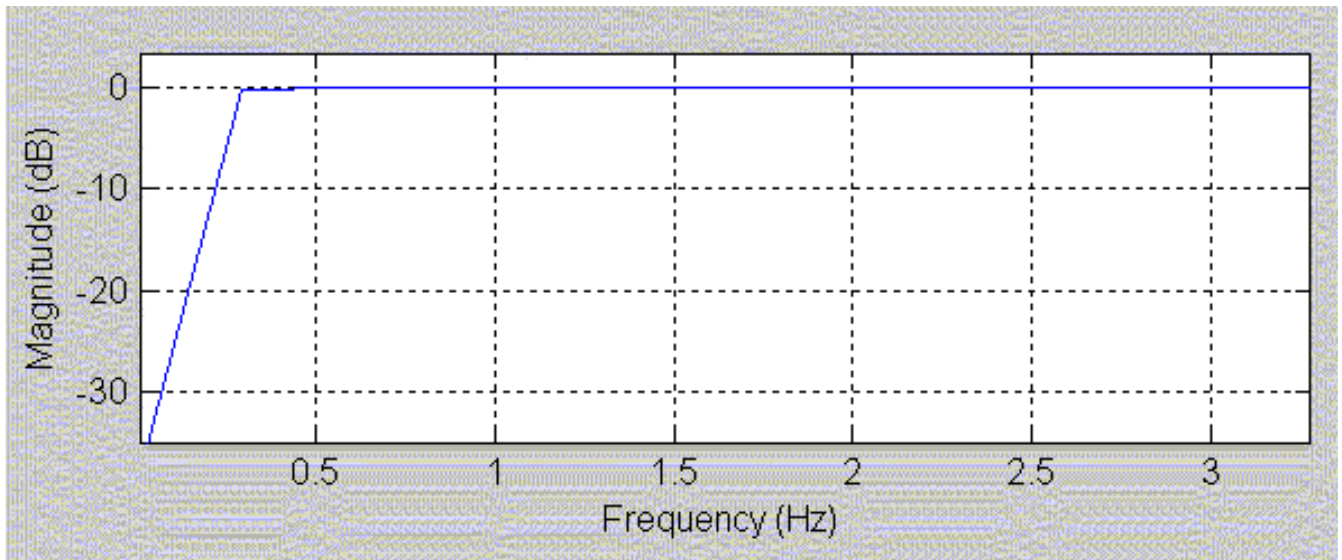
2. Wyniki badań eksperymentalnych wozu asenizacyjnego

Wykresy naprężeń, zmierzonych za pomocą czujników tensometrycznych, przedstawiono w postaci graficznej. Dla każdego punktu pomiarowego wyniki przedstawiono za pomocą trzech diagramów. Pierwszy z nich przedstawia wykresy naprężeń σ_x , σ_y oraz naprężenia ścinające τ_{xy} . Na drugim znajdują się wykresy naprężeń głównych σ_1 i σ_2 . Na trzecim przedstawiono wykres naprężeń zredukowanych. Na wszystkich wykresach jednostką naprężenia jest MPa.

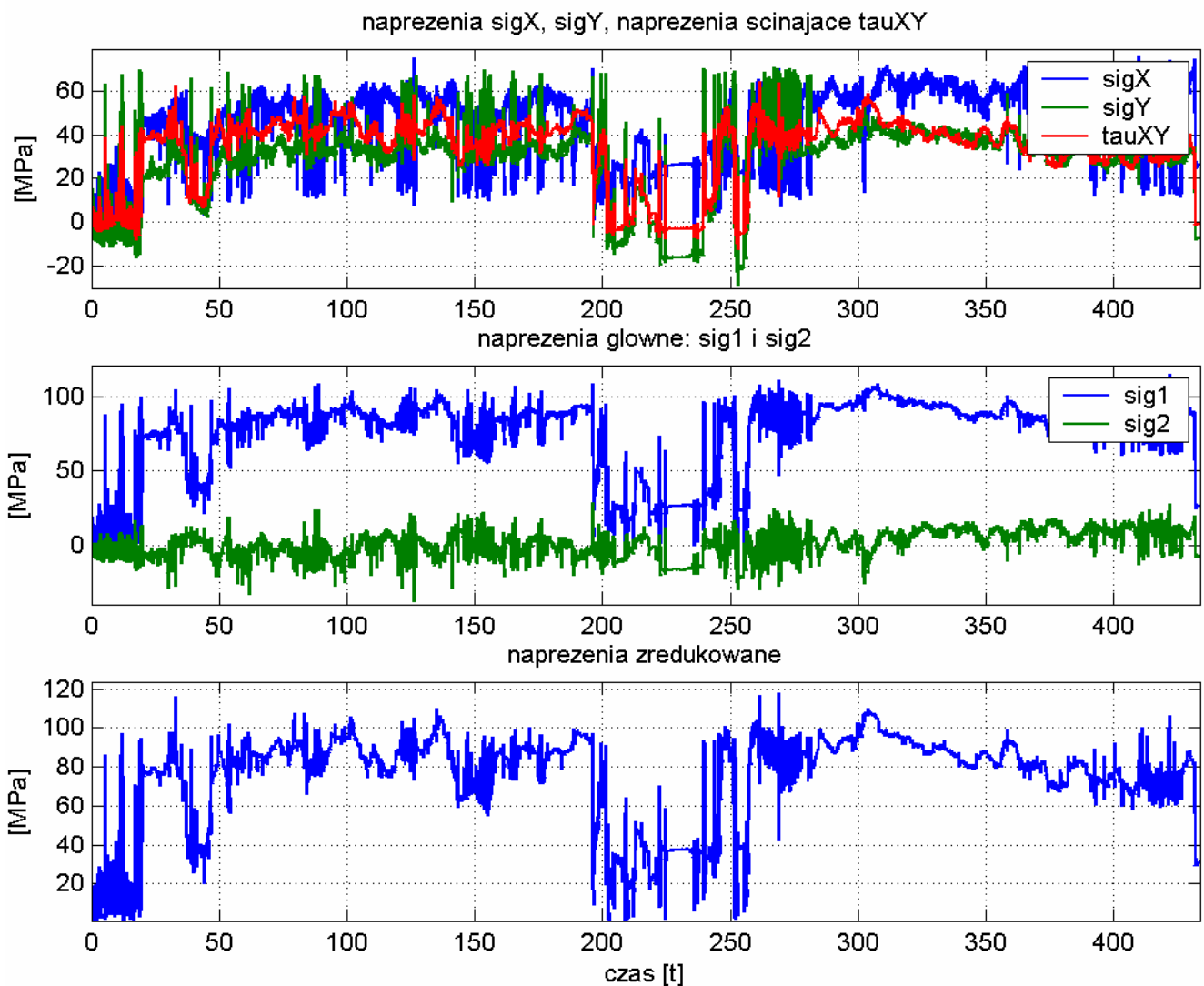
Jako przykład na rys. 3 zamieszczono przebiegi naprężeń uzyskane podczas pracy wozu na polu (rozlewanie całego zbiornika) na belce mocowania redlic. Naprężenia dynamiczne w tym punkcie są niewielkie i wynoszą do 120 MPa. W trakcie nawrotu na polu (200-250 s) naprężenia maleją do zera (redlice wyciągnięte).

Na rys. 4 zamieszczono przebiegi przyspieszeń, prędkości i przemieszczeń drgań mechanicznych na osi tylnego koła prawego (oś trzecia) podczas rozlewania całego zbiornika. W trakcie nawrotu na polu (200-250 s) drgania mechaniczne maleją. Przemieszczenia drgań osiągają wartości około 40 mm.

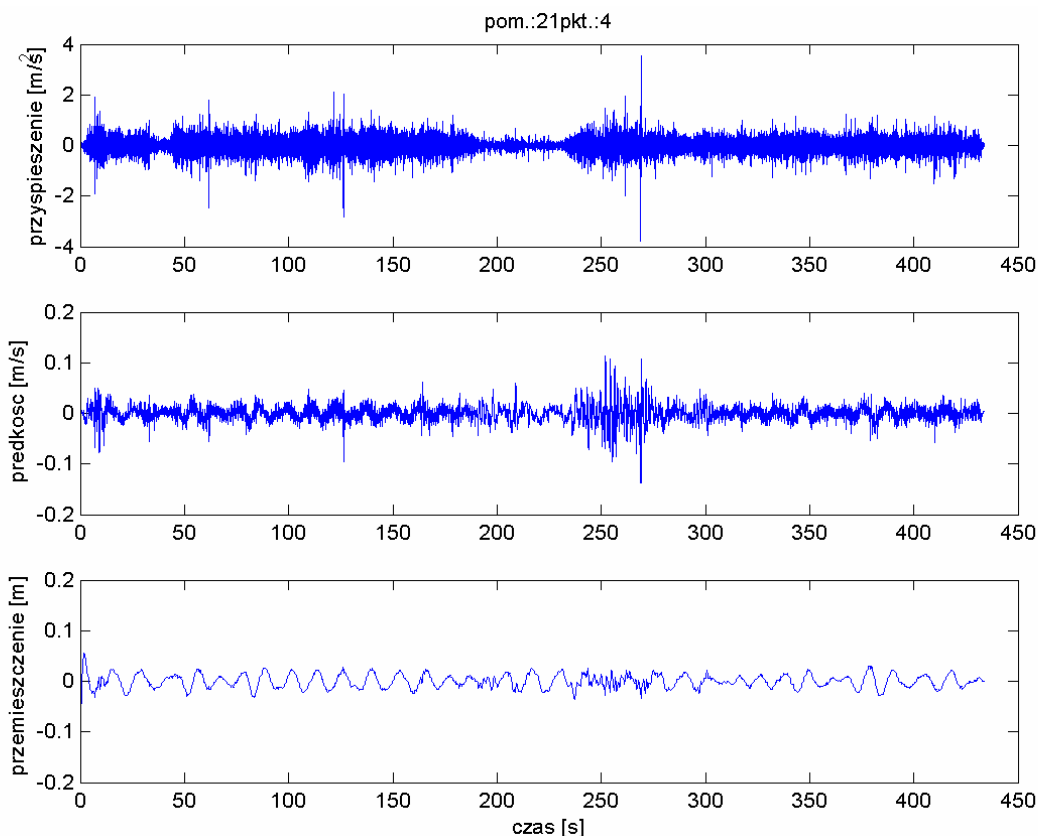
Na podstawie analizy funkcji gęstości widmowej mocy sygnału możliwa jest identyfikacja składowych harmonicznych wymuszeń, a w przypadku wymuszeń o charakterze szerokopasmowym także częstotliwości rezonansowych układu. Z analizy drgań konstrukcji wozu asenizacyjnego zarejestrowanych w czasie badań wynika, że w widmach gęstości widmowej mocy przyspieszeń drgań mechanicznych występują częstotliwości odpowiadające wymuszeniom od zespołów roboczych, takich jak WOM (540 obr/min – 9 Hz).



Rys. 2. Charakterystyka widmowa zastosowanego filtra Czebyszewa
 Fig.2. The spectral characteristic of the used Tshebyshev filter

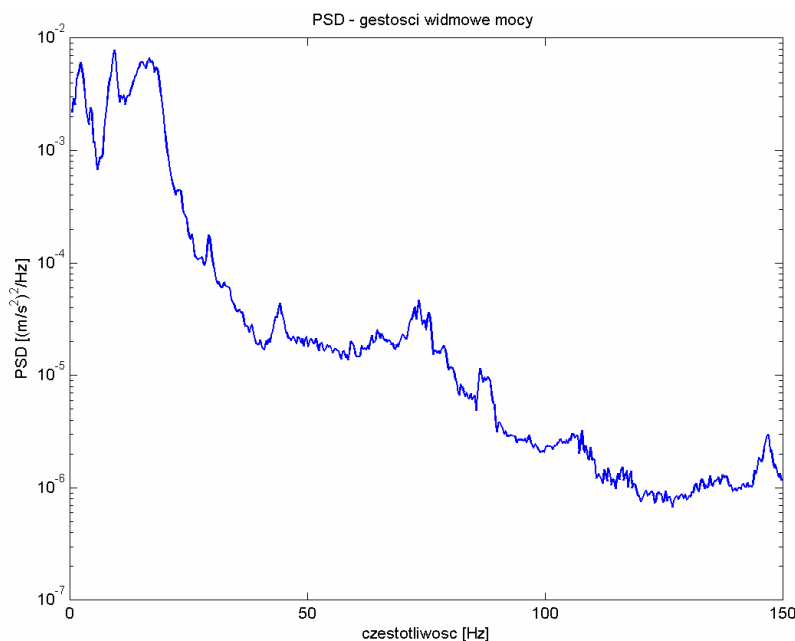


Rys. 3. Naprężenia na belce mocowania redlic występujące podczas rozlewania
 Fig.3. The stresses on the fertilizer coultter beam during the liquid fertilizer distribution



Rys. 4. Sygnały przyspieszeń, prędkości i przemieszczeń drgań mechanicznych na osi tylnego koła prawego (oś trzecia) podczas rozlewania

Fig.4. The signals of acceleration, speed and vibrations displacements on the axle of right rear wheel (on the third axle) during liquid fertilizer distribution



Rys. 5. Gęstość widmowa mocy przyspieszeń drgań mechanicznych na osi tylnego koła prawego (oś trzecia) podczas rozlewania

Fig.5. Spectral concentration of acceleration power of mechanical vibrations on the axle of right rear wheel (on the third axle) during liquid fertilizer distribution

3. Podsumowanie

Wyniki badań eksperymentalnych stanowią ważny element identyfikacji obciążeń w procesie modelowania i symulacji zachowań dynamicznych projektowanych konstrukcji.

Naprężenia dynamiczne konstrukcji nośnej wozu są niskie (do 30% wartości dopuszczalnych) dla materiałów konstrukcyjnych zastosowanych do budowy prototypu wozu asenizacyjnego i są zgodne z wynikami analiz modeli wirtualnych.