

*Jerzy Czmochowski**

NUMERYCZNO-DOŚWIADCZALNA ANALIZA DRGAŃ WYSIĘGNICY KOPARKI WIELOCZERPAKOWEJ KOŁOWEJ

1. Wprowadzenie

Przedmiotem analiz jest koparka wieloczepakowa kołowa o typowej strukturze, tzw. pełnej geometrii, w skład której wchodzi: wysięgnik koła czepakowego, wysięgnica, maszty i wysięgnik przeciwwagi (rys. 1).



Rys. 1. Widok koparki wieloczepakowej kołowej

* Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska, Wrocław

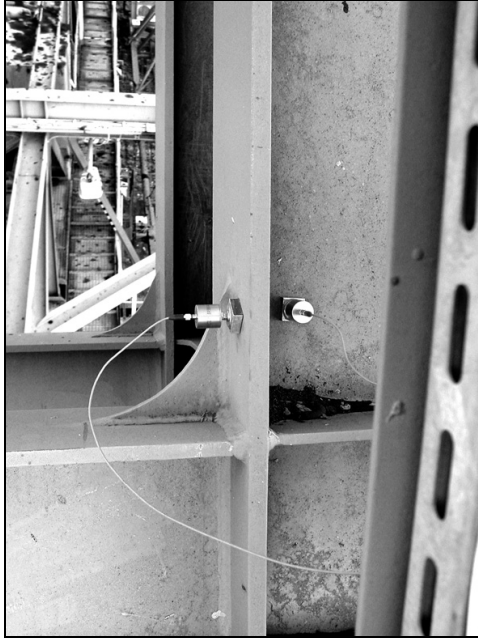
W układzie tym wysięgnica połączona jest z masztem i wysięgnikiem przeciwwagi za pomocą pojedynczych cięgien kratowych. Koparka ta była przedmiotem wielu prac, gdzie analizowano drgania na podstawie pomiarów tensometrycznych, akcelerometrycznych [1] i symulacji komputerowych metodą elementów skończonych [2] w aspekcie minimalizacji drgań rezonansowych. Przedmiotem analiz dynamicznych były również analizy drgań kabiny operatora koparki [4]. Innym ważnym problemem jest dynamika procesu urabiania i jej wpływ na elementy układu napędowego rozpatrywane w pracy [6]. Problem, który jest tutaj rozważany, wynikał z obserwacji znacznych wychyleń bocznych wysięgnicy. Wpierw wychylenia te pojawiały się podczas urabiania utworów trudnourabialnych, a później również podczas przejazdów maszyny. Drgania te nasilają się przy określonych położeniach wysięgnicy, zarówno w stosunku do kierunku jazdy, jak i kąta zwodzenia. Szczególnie duże amplitudy drgań pojawiają się, kiedy wysięgnik koła czerpakowego jest ustawiony prostopadłe do kierunku jazdy i w przypadku kiedy wysięgnik koła jest w górnym położeniu. W celu zbadania intensywności tych drgań opracowano specjalny układ pomiarowy z czujnikami akcelerometrycznymi rozmieszczonymi na wysięgnicy. Ponadto w systemie komputerowym zdefiniowano odpowiedni model do obliczeń metodą elementów skończonych [3, 7].

2. Badania eksperymentalne

W celu przeprowadzenia pomiarów drgań przygotowano układ pomiarowy złożony z czujników akcelerometrycznych (rys. 2), rejestratora i przenośnego komputera w roli analizatora drgań (rys. 3). Zastosowano wielokanałowy rejestrator model LX-10 firmy TEAC, który umożliwia prowadzenie pomiarów sygnałów napięciowych z czujników typu ICP. Do badań zastosowano czujniki sejsmiczne o zakresie pomiaru od 0,06 do 450 Hz. Podczas pomiarów rejestrowano sygnały z 16 czujników rozmieszczonych na wysięgnicy i kontrolnie na wysięgniku koła czerpakowego (rys. 4). W określonych miejscach zastosowano czujniki zbierające drgania w kierunku normalnym do płaszczyzny wysięgnicy i w kierunku drgań bocznych. Dzięki temu możliwe było zbadanie drgań od wychyleń bocznych i drgań skrętnych wysięgnicy.

Istotna z punktu widzenia celu pracy była analiza wychyleń bocznych wysięgnicy. Szukano odpowiedzi na pytanie, jakie są maksymalne przyspieszenia boczne i jakie skutki mogą one powodować w ustroju nośnym samej wysięgnicy oraz w miejscach mocowania jej do platformy nadwozia.

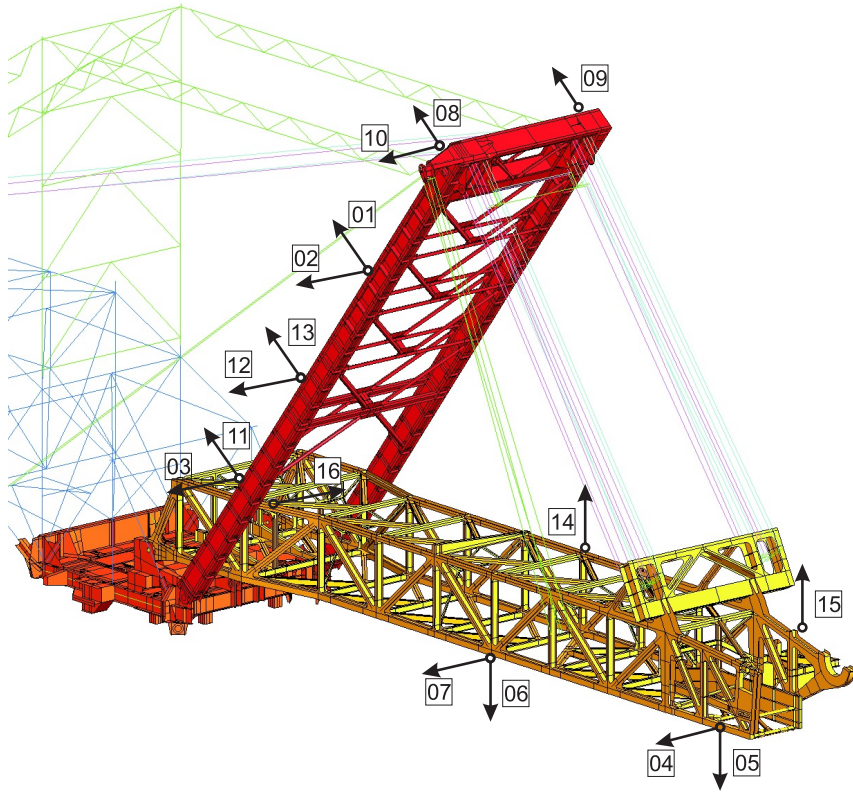
Na rysunku 5 pokazano przykładowy przebieg drgań przyspieszeń w punkcie 10 i 12 zarejestrowany podczas jazdy, kiedy wysięgnik koła czerpakowego był ustawiony prostopadłe do kierunku jazdy. Podobne przebiegi otrzymywano podczas urabiania, ale wtedy amplituda tych drgań była mniejsza. Przebiegi te poddano analizie częstotliwościowej, których obraz pokazano na rysunku 6 dla przypadku urabiania i jazdy. Wyraźnie widać na nich charakterystyczną częstość podstawową na poziomie $f=0,89$ Hz podczas urabiania i $f=0,94$ Hz podczas jazdy.



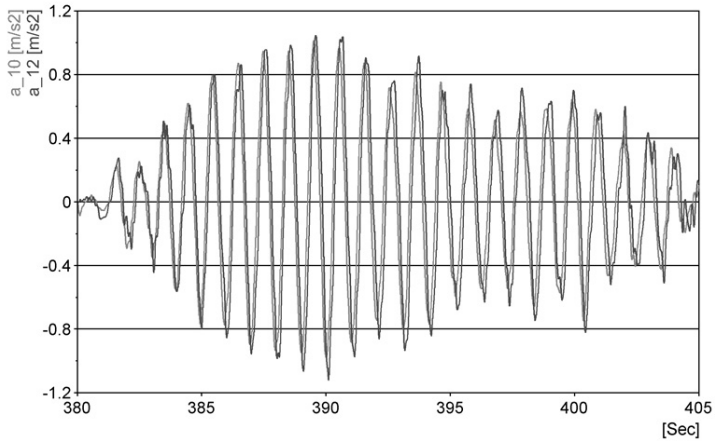
Rys. 2. Czujniki akcelerometryczne na konstrukcji stalowej wysięgnicy



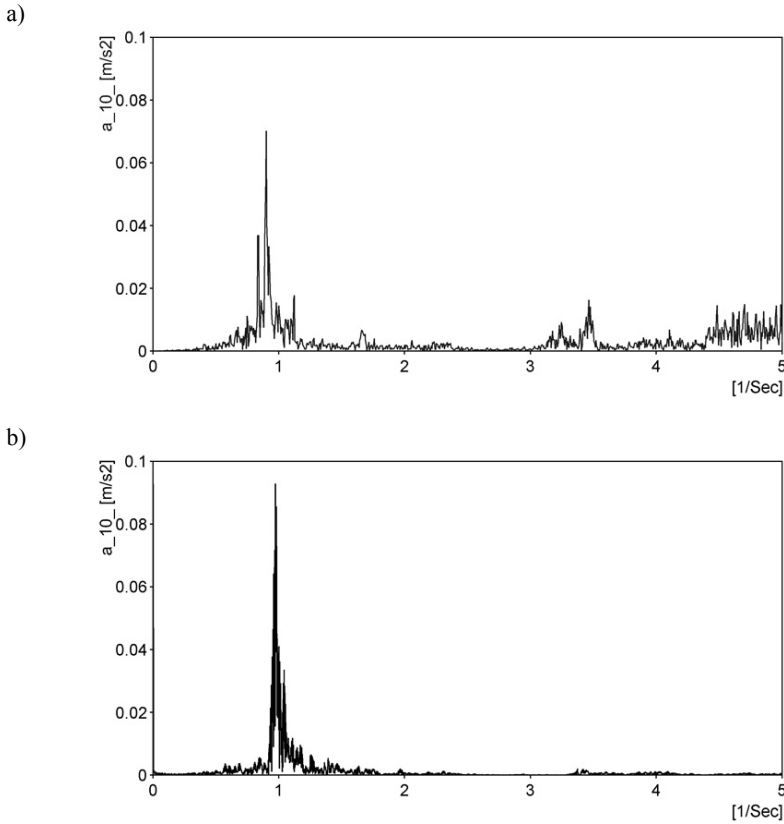
Rys. 3. Widok rejestratora z analizatorem drgań



Rys. 4. Położenie czujników akcelerometrycznych podczas pomiaru drgań wysięgnicy



Rys. 5. Przebieg drgań przyspieszeń wysięgnicy podczas jazdy w górnym punkcie (kanał 10) i w środkowym punkcie (kanał 12)

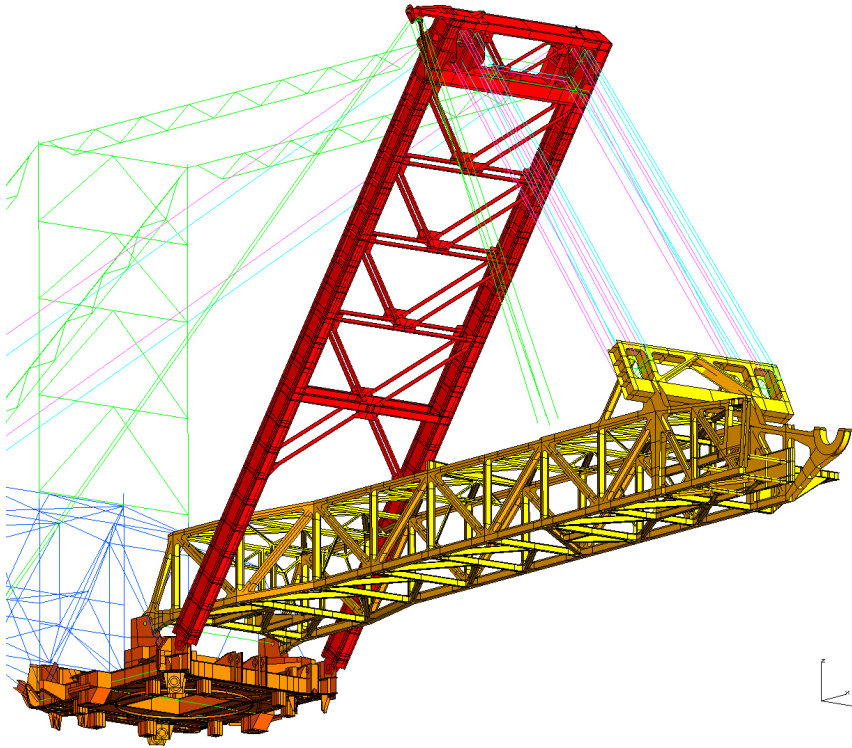


Rys. 6. Charakterystyka częstotliwościowa drgań wysięgnicy:
a) podczas urabiania; b) podczas jazdy

Pomiary drgań na obiekcie były podstawą do tzw. dostrojenia modelu MES [5], czyli dopasowania częstości, postaci drgań i współczynników tłumienia. Ogólnie rzecz ujmując, chodzi o dopasowanie modelu modalnego otrzymanego z pomiarów do modelu modalnego otrzymanego z obliczeń MES.

3. Analiza numeryczna metodą elementów skończonych

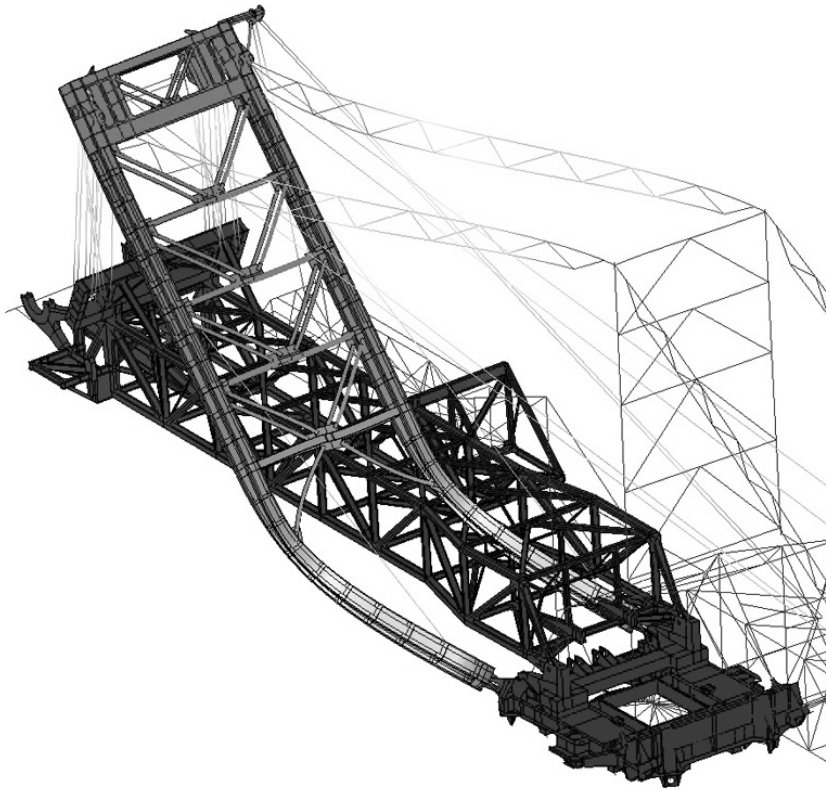
Do identyfikacji skutków nadmiernych wychyleń wysięgnicy podczas przejazdów, i podczas procesu urabiania opracowano model powłokowy MES ustroju nośnego wysięgnicy, wysięgnika koła czerpakowego i platformy nadwozia (rys. 7). Szczegółowość modelu wynika z potrzeby analizy stanu naprężeń od obciążeń dynamicznych. Podczas znacznych wychyleń wysięgnicy odkształceniu podlegają ucha w platformie nadwozia. W przeszłości element ten, z uwagi na pojawiające się tam pęknięcia, był kilkakrotnie poprawiany i wzmacniany.



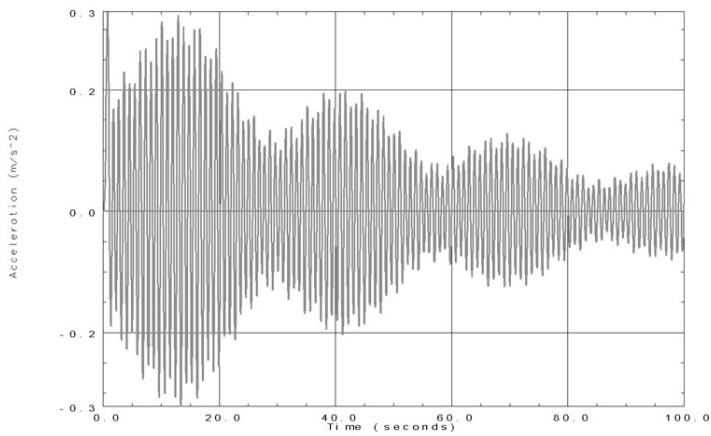
Rys. 7. Model dyskretny, powłokowy wysięgnicy z wysięgnikiem koła czepakowego

Analizę dynamiczną drgań wysięgnicy wraz z innymi zespołami przeprowadzono metodą modalną. Pierwszym krokiem tej analizy są obliczenia częstości i postaci drgań własnych. Na rysunku 8 pokazano jedną z postaci drgań, w której wychyleniu bocznemu podlega wysięgnica. Z uwagi na wierne odtworzenie modelu, częstości drgań otrzymane z obliczeń niewiele różniły się od tych zmierzonych. Przeprowadzono korekcję sztywności i mas w celu dopasowania tych częstości.

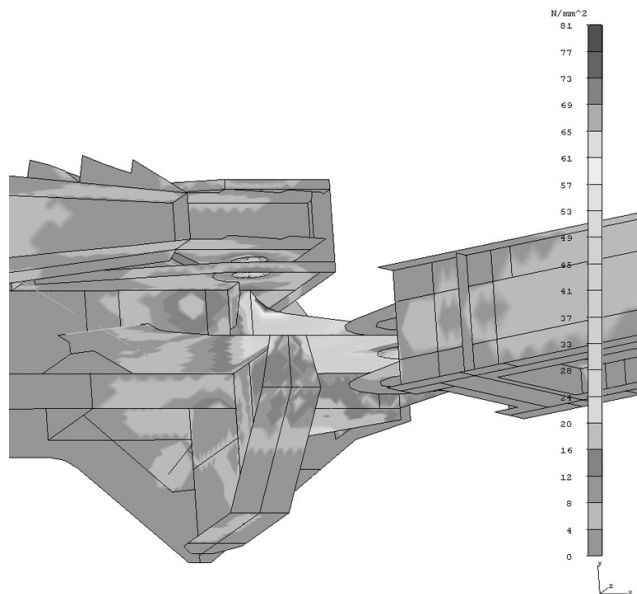
W drugim kroku przeprowadzono analizę odpowiedzi układu od wymuszenia przyspieszenia przy podporze nadwozia, symulując w ten sposób rozruch jazdy koparki. Dobrano takie wartości i postaci tego wymuszenia, aby uzyskać podobne przebiegi przyspieszeń jak te, które otrzymano podczas badań. Na rysunku 9 pokazano przebieg przyspieszeń bocznych w górnym punkcie wysięgnicy. Mając w ten sposób określone przebiegi przyspieszeń, można w programie MES otrzymać przebiegi przemieszczeń, prędkości i naprężeń w dowolnym miejscu modelu. Dla wartości ekstremalnych od wymuszeń dynamicznych np. podczas rozruchu jazdy wyznaczano rozkłady naprężeń w newralgicznych miejscach struktury nośnej platformy nadwozia. Na rysunku 10 pokazano rozkład naprężeń od obciążeń pojawiających się podczas rozruchu jazdy, kiedy wysięgnik koła czepakowego jest ustawiony prostopadle do kierunku jazdy.



Rys. 8. Postać drgań własnych



Rys. 9. Przyspieszenia w kierunku osi y punktu 10 na wysięgnicy podczas rozruchu jazdy w kierunku w poprzek wysięgnika koła czerpakowego



Rys. 10. Rozkład naprężeń zredukowanych według Hubera–Misesa w okolicy ucha mocowania wysięgnicy do platformy nadwozia

4. Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono metodykę numeryczno-eksperymentalną stosowaną przy analizie stanu wyężenia ustroju nośnego koparki wieloczerpakowej kołowej, poddanego obciążeniom dynamicznym występującym podczas eksploatacji. Skupiono się szczególnie na wysięgnicy, w której podczas eksploatacji sygnalizowano niepokojące wychylenia boczne. Pomiarzy na obiekcie ani symulacje komputerowe nie wykazały przekroczenia dopuszczalnych naprężeń i przemieszczeń. Wcześniejsze naprawy ucha platformy nadwozia oraz wzmocnienia wysięgnicy okazały się dostatecznie skuteczne.

LITERATURA

- [1] *Czmochoowski J., Moczko P.*: Analiza drgań nadwozia koparki kołowej wieloczerpakowej. 8 Konferencja Computer Aided Engineering. Polanica Zdrój, 21–24 czerwca 2006. Górnictwo Odkrywkowe, r. 48, nr 5/6, 2006, 97–100
- [2] *Czmochoowski J.*: Numeryczno-doświadczalna identyfikacja modelu modalnego wysięgnika koła czerpakowego koparki. *Transport Przemysłowy*, nr 2, 2006, 44–47
- [3] *Rusiński E., Czmochoowski J., Smolnicki T.*: Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000
- [4] *Rusiński E., Dudek D., Czmochoowski J. i in.*: Numeryczna analiza drgań kabiny operatora koparki KWK 1200M/K-14. Raporty Inst. Konstr. Ekspł. Masz. P. Wroc., 1999, Ser. SPR nr 45, 55
- [5] *Uhl T.*: Komputerowo wspomagana identyfikacja modeli konstrukcji mechanicznych, WNT, Warszawa 1997
- [6] *Wocka N.*: Dynamika procesu urabiania i jej wpływ na obciążalność elementów zespołu urabiania przy kopalniach kołowych pracujących w utworach trudno urabialnych, *Węgiel Brunatny*, 3/2001
- [7] *Zienkiewicz O.C., Taylor R.L.*: The finite element method. Vol. 1–2. McGraw-Hill Book Company, London 1991