

DOŚWIADCZALNA ANALIZA OBCIĄŻENIA DŹWIGARA PIERŚCIENIOWEGO POD ŁOŻYSKIEM WIEŃCOWYM MASĄ NADWOZIA ŁADOWARKO-ZWAŁOWARKI

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF RING GIRDER LOAD UNDER RIM BEARING WITH A MASS OF STACKER-RECLAIMER BODY

Dionizy Dudek , Krzysztof Dudek – Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wroclawska

Przedstawiono doświadczalno-obliczeniową metodę szacowania wartości obciążenia elementów dźwigara pierścieniowego na obwodzie łoża kulowego ciężarem obrotowego i wychylnego nadwozia ładowarko-zwałowarki. Wyniki pomiarów odkształceń w wybranych punktach dźwigara oraz w elementach podwozia skorelowane z chwilowym położeniem środka ciężkości nadwozia umożliwiają budowę diagnostycznego modelu obciążenia łożyska. W analizie sygnałów pomiarowych do aproksymacji nieliniowej funkcji wykorzystano sztuczną sieć neuronową.

Experimental calculation method of ring girder load assessment on a circumference of a ball bearing with the weight of rotary body of stacker-reclaimer has been presented. Results of deformation measurements in selected points of a girder and in elements of a chassis correlated with temporary localization of body gravity center enables construction of diagnostic model of bearing load. Artificial neural net have been utilized for analysis of measurement signals for nonlinear function approximation.

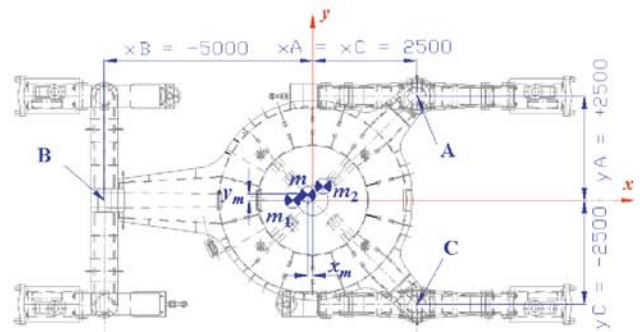
Koszt wielkogabarytowych łożysk tocznych, powszechnie stosowanych w węzłach obrotu nadwozi maszyn roboczych stanowi od kilku dziesiątych do kilku procent wartości nowej maszyny [4]. Ewentualne awarie i koszty związane z długotrwałym postojem maszyny (łożyska te produkowane są jednostkowo, na zamówienie) zmuszają do poszukiwania metod diagnozowania ich stanu technicznego i prognozowania trwałości użytkowej. Obliczenie nośności łożyska jest utrudnione ze względu na brak możliwości uwzględnienia w nich podatności podparcia łożyska, tzn. przewidzenia odkształceń konstrukcji wsporczych [3]. Czas eksploatacji węzła obrotu zależy od wielu czynników, spośród których jednym z ważniejszych jest sztywność podzespołów wsporczych – tzn. dźwigara pierścieniowego, do którego łożysko jest mocowane.

Nierównomiernie rozmieszczona sztywność na obwodzie dźwigara pierścieniowego wynika z założonej przez projektanta geometrii oraz występowania imperfekcji technologicznych węzła obrotowego. Mimośrodowe obciążenie łożyska wypadkową ciężaru mas nadwozia oraz sił wynikających z eksploatacji maszyny winno być uwzględniane w symulacjach numerycznych, np. metodą elementów skończonych. Wymaga to jednak sprecyzowania warunków brzegowych oraz weryfikacji obliczeń na drodze doświadczalnej.

W wyniku przeprowadzonych badań eksploatacyjnych ładowarko-zwałowarki LZKS 500.29,5 eksploatowanej w KWB „Konin” wyznaczono doświadczalnie położenie chwilowego środka ciężkości nadwozia m_2 w funkcji jego kątów: obrotu φ i pochylenia względem podwozia δ . Korzystając z warunków równowagi momentów siły wypadkowej od ciężaru nadwozia i reakcji w punktach A, B i C zmierzonych na wahaczach podwozia (rys. 1) zaproponowano model matematyczny [1] opisujący chwilowe położenie środka ciężkości całej maszyny m (1) i (2) oraz nadwozia m_2 (3).

Doświadczalna analiza stanu wyłączenia elementów dźwigara pierścieniowego na obwodzie łoża kulowego od ciężaru nadwozia maszyny polegała na zainstalowaniu sześciu

$$\begin{aligned} x_m &= -182,2 - 36,29 \cdot \delta - 1,107 \cdot \varphi + 1,2382 \cdot \delta^2 + 0,02368 \cdot \varphi^2, & R^2 &= 0,898, & (1) \\ y_m &= -85,9 + 2,44 \cdot \varphi + 0,0107 \cdot \varphi^2, & R^2 &= 0,830. & (2) \\ x_{m_2} &= 1,21 \cdot x_m - 100,6; \\ y_{m_2} &= 1,21 \cdot y_m. & & & (3) \end{aligned}$$

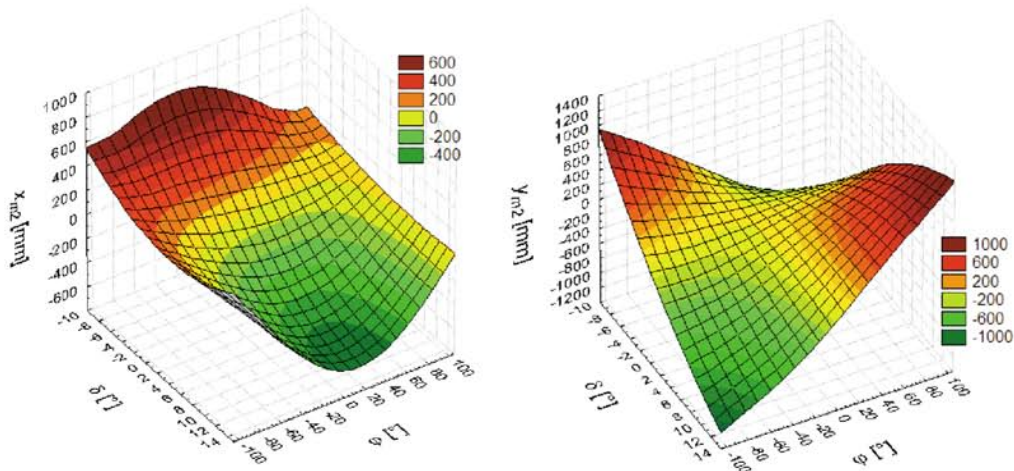


Rys. 1. Schemat obliczeniowy do wyznaczenia położenia środka ciężkości maszyny i współrzędnych reakcji

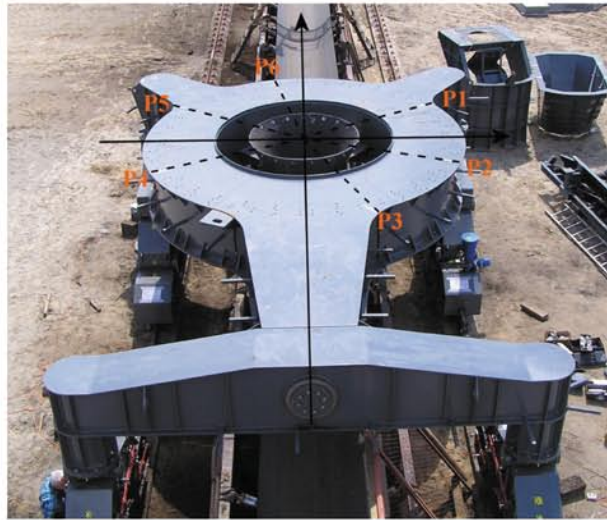
Fig. 1. Calculation scheme for machine gravity center localization and coordinates of reaction

układów tensometrycznych (rys. 3) do pomiaru odkształceń na zewnętrznych pionowych pasach dźwigara (trzy w tzw. punktach „miękkich” – tzn. pomiędzy punktami podparcia i trzy w punktach „twardych” – nad podporami) oraz rejestracji odkształceń podczas obrotów nadwozia maszyny ($-95^\circ < \varphi < +95^\circ$) przy różnych jego pochyleniach ($-12^\circ < \delta < +12^\circ$).

Analiza wyników pomiarów (przebiegów czasowych odkształceń rejestrowanych w punktach P1 – P6) wykazała powtarzalny ale trudny do interpretacji kształt (rys. 4). Jednak z uwagi na bezpośrednie sąsiedztwo z łożyskiem wieńcowym ewentualne zmiany odkształceń mierzone w tych punktach niosą więcej informacji o obciążeniu łożyska niż pomiar reakcji w punktach A, B i C. W związku z silnie nieliniowym charakterem zależności między danymi wejściowymi (odkształcenia) i wyjściowymi (współrzędne chwilowego środka ciężkości nadwozia) do budowy modelu wykorzystano pakiet *Neural Network* dostępny w środowisku *STATISTICA* (rys. 5).



Rys. 2. Współrzędne położenia środka ciężkości nadwozia m_2 LZKS 500.29,5 w funkcji kąta obrotu φ i kąta pochylenia δ
 Fig. 2. Coordinates of body gravity center m_2 LZKS 500.29,5 in the function of rotation angle φ and inclination δ

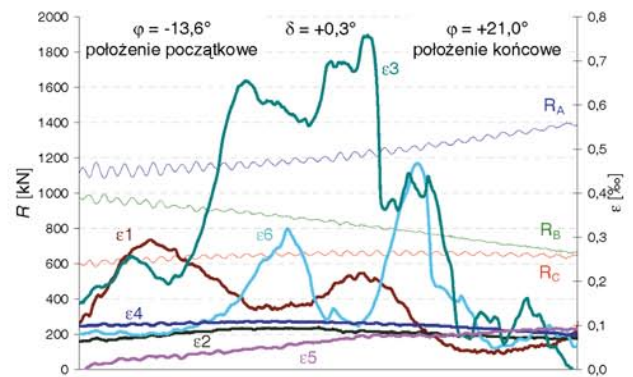


Rys. 3. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na obwodzie dźwigara pierścieniowego ładowarko-zwałowarki LZKS 500.29,5
 Fig. 3. Localization of measurement points on the circumference of LZKS 500.29,5 stacker-reclaimer ring girder

Wykorzystując moduł automatycznego projektanta sieci oraz zgromadzone wyniki pomiarów odkształceń w punktach P1 ÷ P6, a także wyniki pomiaru reakcji R_A , R_B i R_C (na podstawie których wyznaczono współrzędne środka ciężkości nadwozia - traktowane jako rozwiązania prawidłowe - zbiór uczący) zbudowano kilkanaście różnych sieci różniących się architekturą (m.in. MLP i RBF), liczbą neuronów w warstwie ukrytej i różnymi funkcjami aktywacji. Każda sieć oceniana była pod względem błędu (sumy kwadratów odchylek między wartościami wyliczonymi przez sieć i wartościami poprawnymi) oraz jego stabilności w zbiorach: uczącym, testowym i walidacyjnym. Ze względu na małą złożoność budowanego modelu (tylko 6 zmiennych objaśniających) wystarczyło zastosować jedną warstwę ukrytą z ilością neuronów nie przekraczającą ilości zmiennych wejściowych. Najlepszą charakterystykę miała sieć typu perceptron trójwarstwowy (MLP) o 5 neuronach w warstwie ukrytej z funkcją aktywacji tangens hiperboliczny w warstwie ukrytej i funkcją identyczności w warstwie wyjściowej (rys. 5).

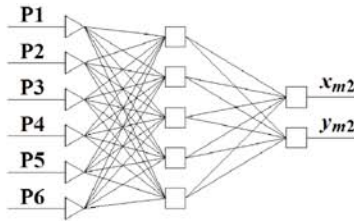
Przeprowadzona analiza wrażliwości zmiennych modelu wykazała, że najważniejszymi zmiennymi (w kolejność malejącego ilorazu błędu) w zbiorze uczącym były odkształcenia w punktach P5, P3, P6, P4, P2 i P1.

Zaproponowany model neuronowy pozwala wyznaczać współrzędne położenia chwilowego środka ciężkości nadwozia w oparciu o odkształcenia względne mierzone w punktach

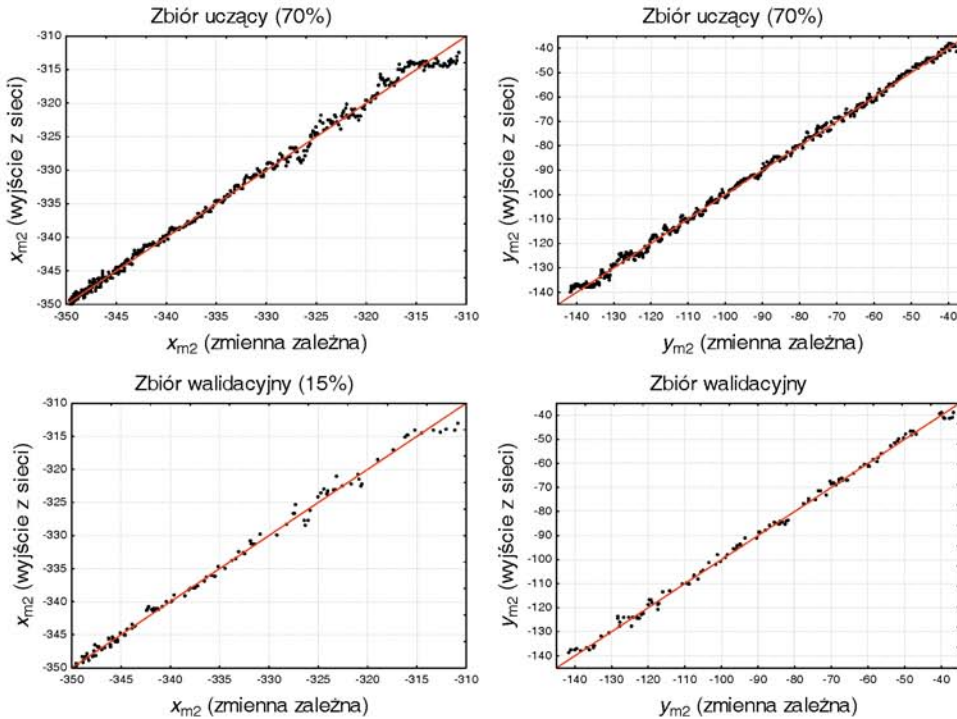


Rys. 4. Przykładowy przebieg czasowy sił i odkształceń w punktach pomiarowych na obwodzie dźwigara pierścieniowego (P1 ÷ P6) oraz na wahaczach podwozia (R_A , R_B i R_C) podczas obrotu nadwozia
 Fig. 4. Example of time course of forces and deformations in measurement points on the circumference ring girder (P1÷P6) and on the chassis rocker arm (R_A , R_B i R_C) during body rotation

dźwigara pierścieniowego usytuowanych w bezpośrednim sąsiedztwie łożyska wieńcowego. Ewentualne różnice jakie mogą pojawić się podczas długotrwałej eksploatacji maszyny pomiędzy trajektoriami wyznaczonymi na podstawie informacji z dwóch niezależnych źródeł: położenia nadwozia względem podwozia (kąty φ i δ) oraz odkształceń dźwigara (ϵ_{p1} ÷ ϵ_{p6}), będą świadczą o lokalnych zmianach obciążenia łożyska wywoła-



Jakość			Błąd			Algorytm uczenia	Funkcja aktywacji warstwy	
uczenia	testowania	walidacji	uczenia	testowania	walidacji		ukrytej	wyjściowej
0,9984	0,9983	0,9980	0,0003	0,0003	0,0003	BFGS	tanh	identyczność



Rys. 5. Schemat sztucznej sieci neuronowej MPL 6-5-2 za pomocą której uzyskano najlepsze oszacowanie współrzędnych środka ciężkości i przykładowy wynik jej działania

Fig. 5. Scheme of artificial neural net MPL 6-5-2 which enabled better assessment of gravity center coordinates and examples of its operation results

nych albo zmianami rozłożenia mas nadwozia (np. na skutek prac naprawczych) albo trwałymi zmianami geometrii konstrukcji wsporczej. Algorytm z programu *STATISTICA Neural Networks PL* może być wbudowany w niezależną aplikację uruchamianą na pulpicie operatora maszyny. Problem wyznaczenia dopuszczalnej różnicy między współrzędnymi środka ciężkości wyznaczonymi obiema metodami (miarą tej różnicy może być np. odległość euklidesowa) można rozwiązać wykorzystując analizę krzywych ROC. W tym celu niezbędne jest jednak

posiadanie tzw. „złotego standardu”, czyli np. opinii ekspertów o stanie łożyska wydanych po naprawach głównych.

Realizacja przedstawionej koncepcji systemu równoległego, ciągłego monitorowania położenia środka ciężkości nadwozia na podstawie danych z dwóch niezależnych źródeł, z wykorzystaniem urządzenia komputerowego umożliwiającego operatorowi maszyny bieżącą ocenę napływających danych (z wbudowanym wspomagającym układem decyzyjnym), powinna istotnie wpłynąć zarówno na bezpieczeństwo pracy jak i na trwałość węzła obrotowego.

Literatura

- [1] Augustynowicz J., Dudek K., Figiel A., Huss W., Woźniak Z., *Doświadczalne wyznaczenie położenia środka ciężkości obrotowego nadwozia zwalowarko-ladowarki*. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 7, 2009, s. 45-52
- [2] Dudek D., Dudek K., *Degradacja wielkogabarytowych węzłów obrotu nadwozi maszyn roboczych*. *Problemy Maszyn Roboczych*. 1996, vol. 7, z. 7, s. 115-124
- [3] Kania L., Krynke M., Mazanek E., *Wpływ deformacji pierścieni na nośność łożyska wieńcowego walczkowego krzyżowego*. *Przegląd Mechaniczny*. 2009, z. 5, s. 21-27
- [4] Smolnicki T., Stańco M., *Wybrane aspekty eksploatacji wielkogabarytowych łożysk tocznych*. *Eksploatacja i Niezawodność*. 2009, nr 2, s. 25-30
- [5] Tadeusiewicz R., Wójtowicz P., *Sieci neuronowe, Materiały Kursowe*. StatSoft Polska, 2010

Artykuł recenzowali prof. dr hab. inż. Eugeniusz Rusiński
dr inż. Józef Augustynowicz

Rękopis otrzymano 11.08.2011 r. *2233



NATIONAL AGENCY OF NATURAL RESOURCES

EXECUTIVE DIRECTOR

Tirana on 15.07.2011N^o 344/Prot

Poltegor-Institute
ul. Parkowa 25
51-616 Wrocław
Poland

Subject: International partnership letter of introduction & request

Dear Sir/Madam,

We are honoured to seek an opportunity of collaborating with your prestigious organization. To further explore the possibility, I would like to give a brief description of our Agency's activity.

The National Agency of Natural Resources (AKBN) is a public institution, headquartered in Tirana (Albania). Its main objectives are the development, supervision and rational exploitation of domestic natural resources, in accordance to the governmental politics and also the monitoring of their post-exploitation process in mining, hydrocarbons and energetic fields.

We are particularly interested in exploring the possibility of promoting Albanian natural resources.

Considering the fact that Albania is rich in mineral resources AKBN is very much interested to collaborate with every interested investor and/or company interesting to invest in Albanian mining resources.

We are however impressed of our ability and credentials to assist international companies in facilitating the procedures to study all the data regarding to the interested area for investment and also to apply for Mining Licences.

We are kindly hoping to have cooperation on the terms of technical and specialized assistance for the Albanian Legal Framework to comply with Acquis communautaire. The Agency's operation guarantees high professional and credential levels.

We look forward to a mutually beneficial relationship, as we can help reap the benefits of a successful partnership in our activity.

Please accept our request of collaboration.

Regards,

Besjan Dreshaj
Executive Director



Agjencia Kombetare e Burimeve Natyrore – Blloku "Vasil Shanto", Tiranë, Shqipëri.
 Tel: +355 (0) 4 225 7117, Fax +355 (0) 4 225 7382 Web: www.akbn.gov.al

Narodowa Agencja Zasobów Naturalnych jest organizacją publiczną z siedzibą w Tiranie, w Albanii. Jej główne zadanie obejmują rozwój, nadzór i racjonalną eksploatację zasobów naturalnych w zgodności z polityką rządu, a także monitorowanie procesów poeksploatacyjnych w górnictwie, w odniesieniu do węglowodorów i dziedzin energetycznych.

Agencja jest zainteresowana współpracą z każdym potencjalnym inwestorem lub/i przedsiębiorstwem zainteresowanym inwestowaniem w albańskie złoża mineralne.

Podkreślamy nasze umiejętności i możliwości, by pomóc międzynarodowym przedsiębiorstwom, udostępniając procedury studiowania i uzyskiwania danych dotyczących interesujących obszarów pod inwestycje, jak również ubiegania się o koncesje.

Zgłaszamy chęć współpracy i oferujemy wszelką pomoc.