

Antoni JOHN
Bogna MRÓWCZYŃSKA

OPTYMALNY ROZKŁAD OBCIĄŻEŃ OBRĘCZY KOŁA ZE WZGLĘDU NA PRZEMIESZCZENIA WIEŃCA KOŁA

Streszczenie. W pracy sformułowano matematyczne podstawy problemu optymalizacji rozkładu obciążeń na obręcz koła kolejowego zestawu kołowego i wyznaczono zbiór rozwiązań dopuszczalnych. Weryfikację numeryczną uzyskanych wyników przeprowadzono przy zastosowaniu programu metody elementów skończonych KOŁO_PC.

OPTIMALIZATION OF LOAD DISTRIBUTION OF WHEEL BAND DEPENDENT ON THE DISPLACEMENT OF WHEEL RIM

Summary. The paper presents the numerical analysis of displacement of the wheel rim. The displacement depends on the point of application of force to wheel bend. In the numerical solution FEM was applied

WSTĘP

W trakcie eksploatacji kolejowych zestawów kołowych zaobserwowano, że rozstaw kół w zestawie, mierzony na wewnętrznym obwodzie wieńca, zależy od położenia punktu przyłożenia siły skupionej na obręczy koła i jej wartości. W poprzednich pracach [1, 2, 3] przeprowadzono analizę wpływu położenia miejsca przyłożenia siły na styku koła z szyną na wartość przemieszczeń osiowych kół w zestawach kołowych.

Zagadnienie to jest istotne ze względu na dopuszczalne odchyłki rozstawu od wartości normowych i bezpieczeństwo ruchu kolejowego. Zestaw kołowy jest jednym z ważniejszych elementów układu biegowego pojazdu szynowego i ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ruchu kolejowego. Dlatego oś koła oraz zestaw kołowy jako całość muszą mieć zapewnioną dostateczną wytrzymałość i sztywność w wymaganym okresie eksploatacyjnym. W projektowaniu wykorzystuje się doświadczenia eksploatacyjne i technologiczne, a w ostatnim okresie także wyniki analiz numerycznych.

W obecnej pracy, przy użyciu aparatu matematycznego, przeprowadzono wstępną optymalizację rozkładu obciążeń na styku koła z szyną, dla zestawu pozostającego w spoczynku. Nie analizowano zmian rozstawu kół w trakcie ruchu.

Rozpatrywane zagadnienie jest istotne dla zakładów naprawczych taboru kolejowego, w których dopuszcza się zestawy kołowe po remoncie do ruchu

2. ZAŁOŻENIA

Analizie numerycznej poddano zestaw kołowy ORE920 o kołach monoblokowych ze zmodyfikowanym kształtem tarczy koła.

Analizę numeryczną zagadnienia przeprowadzono przy użyciu pakietu programów metody elementów skończonych KOŁO_PC. W programie zastosowano izoparametryczne osiowosymetryczne elementy skończone z liniowymi funkcjami kształtu.

Przy wyznaczeniu naprężeń roboczych uwzględniać można następujące zagadnienia:

- naprężenia montażowe (pochodzące od wcisku),
- obciążenia eksploatacyjne (siły skupione pochodzące od ciężaru wagonu i ładunku - również siły poprzeczne powstające w trakcie jazdy po łuku),
- naprężenia cieplne powstające podczas hamowania.

Naprężenia eksploatacyjne wyznaczane są dla sił skupionych modelowanych szeregami Fouriera.

Po wyznaczeniu naprężeń pochodzących od wyżej wymienionych oddziaływań, wliczane są naprężenia wypadkowe metodą superpozycji, a następnie naprężenia redukowane według hipotezy energii odkształcenia postaciowego Hubera-Misesa-Hencky'ego [4].

W rozważanym zagadnieniu naprężenia montażowe i cieplne ulegają zmianie. Analizą objęto jedynie obciążenia eksploatacyjne (bez uwzględnienia nadwyżek dynamicznych i sił poprzecznych), gdyż mają one bezpośredni wpływ na zmianę przemieszczeń w stanie spoczynku. Pominięcie pozostałych składowych obciążenia nie umniejsza ogólności rozważań. Przyjęto, że obciążenia działają na styku koła z szyną, a podparta jest oś zestawu.

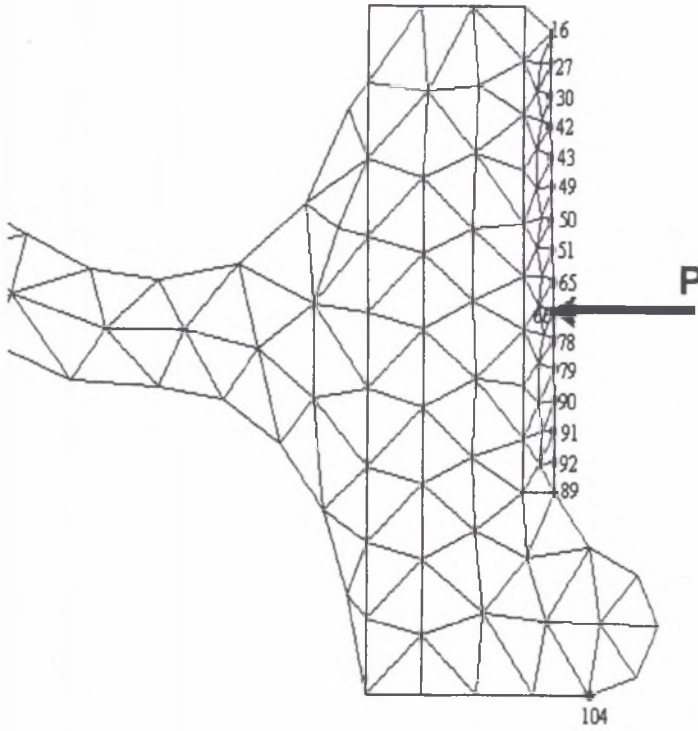
3. ROZWIĄZANIE ZAGADNIENIA

Odcinek styku koła z szyną podzielono na 15 elementów skończonych i do ich 16 węzłów leżących na brzegach tarczy koła kolejno przykładano siłę skupioną $P = 100$ kN (rys.1).

Przemieszczenia w kierunku $-z$ odczytywano w węźle 104. Otrzymane wyniki zestawiono w tabeli 1.

Numeryczna analiza zagadnienia wykazała, że przemieszczenie osiowe węzła 104 zaznaczonego na rys.1 w istotny sposób zależy od punktu przyłożenia siły P .

Punkt przyłożenia siły P odpowiada punktowi styku koła z szyną. W rzeczywistości styk koła z szyną występuje na pewnym odcinku (w ujęciu osiowosymetrycznym), co odpowiada przyłożeniu obciążenia ciągłego, którego intensywność można zamodelować np. wg rozkładu sinusoidalnego lub Gaussa. W programie odpowiada to przyłożeniu obciążeń o odpowiednich wartościach, wynikających z zastosowanego rozkładu, w kilku węzłach.



Rys.1. Schemat podziału na elementy skończone z przykładowym obciążeniem
 Fig.1. The scheme of FEM mesh

Tabela 1

Zestawienie przemieszczeń węzła 104 w kierunku -z-

Nr węzła	z [mm]	Nr węzła	z [mm]	Nr węzła	z [mm]	Nr węzła	z [mm]
16	-0,1115	43	-0,0160	65	0,0793	90	0,1740
27	-0,0878	49	0,0081	66	0,1031	91	0,1995
30	-0,0637	50	0,0318	78	0,1270	92	0,2234
42	-0,0397	51	0,0560	79	0,1509	89	0,2473

Przyjęto funkcję rozkładu obciążenia w postaci wielomianu:

$$w(x) = ax(x-90)(x^2+bx+c) \quad (1)$$

dla $x \in [0,90]$, z warunkami brzegowymi:

$$w(0) = 0 \text{ oraz } w(90) = 0 \quad (2)$$

gdzie: $w(x)$ - wartość obciążenia, a, b, c - parametry optymalizacji, przy czym

$$b^2 - 4c \leq 0 \quad (3)$$

x - współrzędna Z punktów brzegu obręczy na styku z szyną, dla której wyznaczamy wartość obciążenia y . Początek osi OX przyjęto w punkcie X_1

Współczynnik a, b i c wyznaczono z następującego układu równań:

$$\sum_{i=1}^{16} u_i \int_{x_i}^{x_{i+1}} w(x) dx = 0 \quad (4)$$

gdzie u_i - przemieszczenie węzła 104 wywołane siłą skupioną przyłożoną w i -tym węźle,

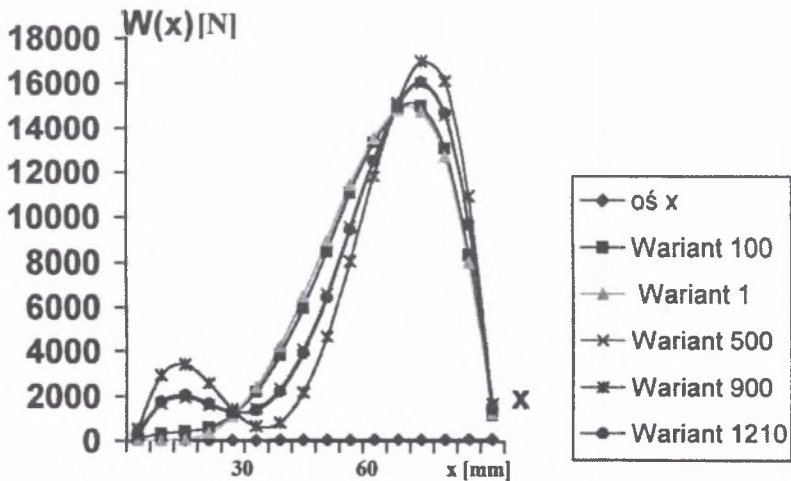
$$\int_{x_1}^{x_{16}} w(x) dx = F \quad (5)$$

gdzie F jest całkowitą siłą przyłożoną do obręczy. W obliczeniach przyjęto $F = 100$ kN. Warunek (3) wynika z założenia zerowania się przemieszczenia w węźle 104.

Funkcje:

$$P_i = \int_{x_i}^{x_{i+1}} w(x) dx \quad (6)$$

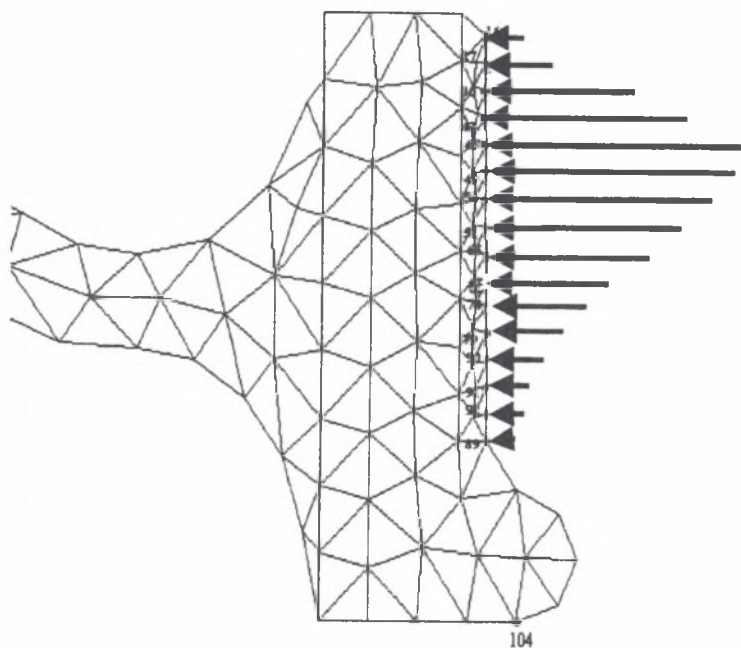
wyrażają siły skupione w i -tym węźle, gdzie $i = 1, 2, \dots, 16$ są kolejnymi numerami węzłów.



Rys.2. Rozkład obciążeń dla wybranych wariantów rozwiązania
Fig.2. Load distribution of selected solutions

W wyniku przeprowadzonych obliczeń znaleziono 1210 rozwiązań spełniających warunki (3) - (5). Otrzymana funkcja (1) ma rozkłady jak na wykresie (rys.2). Wybrany rozkład obciążenia przedstawia rys.3.

Optymalizację zweryfikowano przeprowadzając ponowne obliczenia zestawu kołowego ORE20 obciążonego wyznaczonymi siłami. Obliczenia przeprowadzono metodą elementów skończonych za pomocą programu KOLO_PC. Otrzymane przemieszczenia pokazano na rys. 4 i 5.

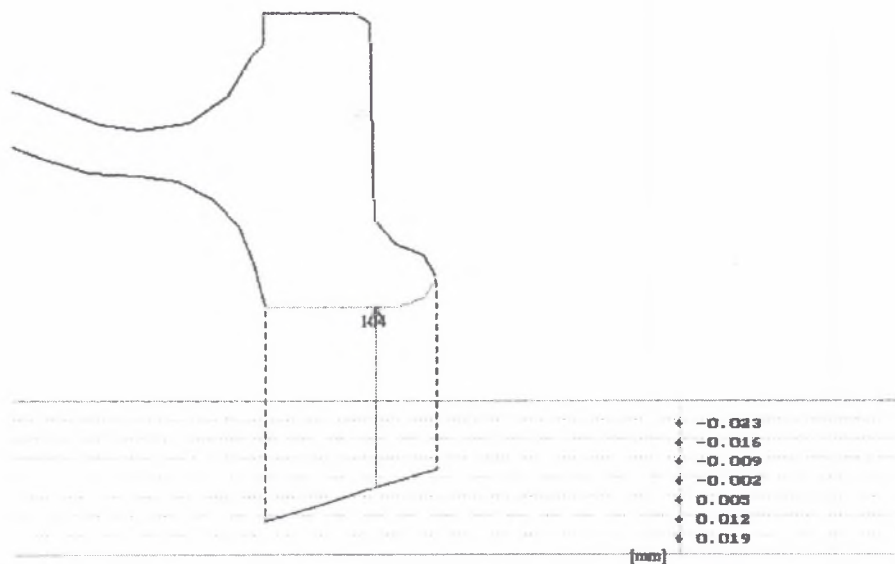


Rys.3. Schemat rozkładu wyznaczonego obciążenia

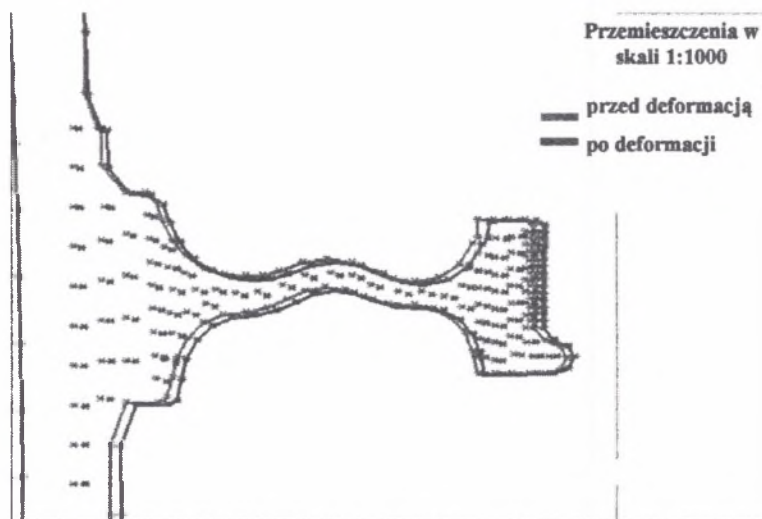
Fig.3. Load distribution for the selected solution

4. WNIOSKI

Wyniki analizy numerycznej pozwoliły określić wpływ rozkładu obciążenia na styku koła z szyną na wartość przemieszczeń osiowych zestawu. Zastosowanie metody elementów skończonych umożliwiło efektywne przeprowadzenie weryfikacji numerycznej przedstawionego zagadnienia.



Rys.4. Wykres przemieszczeń dla wybranych punktów brzegowych wieńca
 Fig4. Diagram of displacement of selected boundary nodes



Rys.5. Obraz deformacji koła w skali 1 : 1000
 Fig.5. Deformation diagram in 1 : 1000 scale

LITERATURA

1. John A., Mrówczyńska B.: Analiza wrażliwości przemieszczeń osiowych kół zestawów kołowych ze względu na miejsce przyłożenia siły do obręczy koła. Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Stosowanej, z.3, Gliwice 1997, s.61-66.
2. John A., Mrówczyńska B.: Minimalizacja przemieszczeń wieńca koła ze względu na rozkład obciążenia na obręczy koła. Materiały Konferencyjne Międzynarodowej Konferencji i Specjalistycznej Wystawy: Rozwój Infrastruktury Transportowej Śląska i Północnych Moraw - Część Środkowoeuropejskiego Systemu Transportowego Ostrawa - Katowice, 29.04-06.05.1997, t.1, s.257-262.
3. John A., Mrówczyńska B.: Optymalizacja rozkładu obciążenia na obręczy koła ze względu na minimalizację przemieszczeń wieńca koła. XXXVII Sympozjum Modelowanie w Mechanice, Wisła'98, Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Stosowanej, z.6, Gliwice 1998.
4. John A., Mrówczyńska B., Sitarz M.: Numeryczna ocena wyężenia kolejowych zestawów kołowych dla kół o różnym kształcie tarczy. Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Technicznej, z.2, Gliwice 1996.

Recenzent: Dr hab.inż. Paweł Piec

Abstract

During working of wheel set of the railway car we can observe that the distance between the wheels, measuring on the outer perimeter of wheel rim, depend on load distribution on wheel band. This problem is important because only the short deviations are allowed and railway traffic safety depend on it. In this paper the optimization of load distribution on wheel band dependent on minimization of the displacement of wheel rim is done.

The mathematical equations of solving problem for given shape function of load distribution are presented. Some permissible results are obtained. The numerical verification of results is done using finite element method program KOLO_PC.