

Tomasz KUMINEK, Aleksander ŚLADKOWSKI

MODELOWANIE DYNAMIKI JAZDY ORAZ ZUŻYCIA KÓŁ KOLEJOWYCH LOKOMOTYWY SPALINOWEJ SERII SM42 W PROGRAMIE UM

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę sił działających na koło oraz określono intensywność zużycia profili tocznych kół lokomotywy serii SM42 w zależności od stopnia ich zużycia za pomocą programu UM (Universal Mechanism). Wyznaczone w programie UM siły działające na koło posłużyły do poprawnego zadania warunków brzegowych w programie MSC.MARC.

MODELLING OF THE DRININGS DYNAMICS AND THE RAIL WHEELS WEAR OF COMBUSTION LOCOMOTIVE SERIES SM42 IN UM SOFTWARE

Summary. Article focuses on the analysis of the forces influencing on the wheel. Also the intensity of rolling profile of the locomotive wheels series SM42 depending on the level of their wear by means of UM Software (Universal Mechanism). Specifying of the forces influencing on wheels defined the correct determination of the boundary condition in MSC.MARC Software.

1. WSTĘP

Z przeprowadzonych badań eksploatacyjnych przeprowadzonych na torach należących do Huty Katowice wynika, że zużycie profilu tocznego występuje głównie na obrzeżu koła. Jest to tak zwane podcinanie obrzeża. Oznacza to, że zestawy są reprofilowane ze względu na przekroczenie tylko jednego parametru - wartości dopuszczalnej grubości obrzeża. Z tego powodu przebiegi pomiędzy poszczególnymi obtoczkami kół tych lokomotyw wahają się w granicach od 7 do 20 tysięcy kilometrów. Spowodowane jest to charakterem pracy tych lokomotyw, które pracują pod dużym obciążeniem, jak również samą geometrią torowiska, gdzie dominują ciasne łuki. Duże tarcie obrzeża koła o boczną powierzchnię główki szyny pogarsza wpisywanie się zestawów kołowych w łuk oraz zwiększa opory ruchu pojazdów w łukach i na prostej.

W artykule przedstawiono analizę sił działających na koło oraz określono współczynnik intensywności zużycia profili tocznych kół lokomotywy serii SM42 w zależności od ich stopnia zużycia za pomocą programu UM (Universal Mechanism).

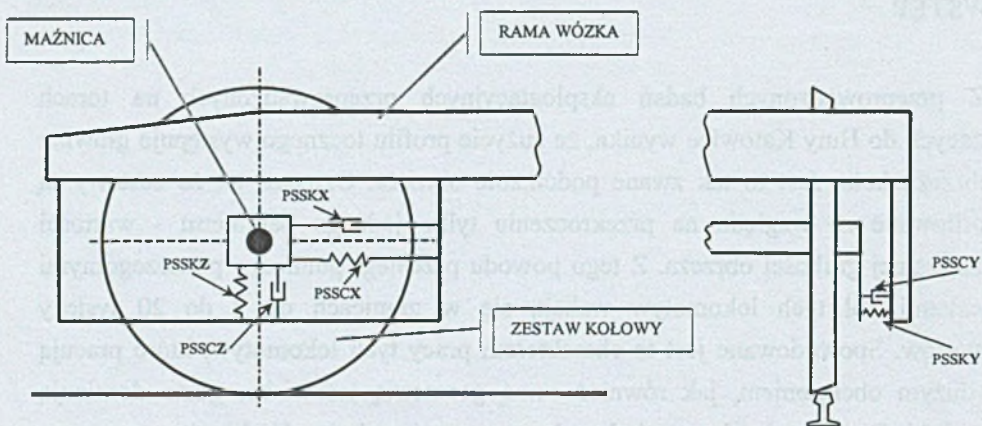
2. MODEL DYNAMICZNY

Aby dokonać analizy należy rozważyć cały wózek i przeanalizować siły działające na poszczególne koła. Rozwiązywanie tego zagadnienia z punktu widzenia jednego koła czy nawet jednego zestawu jest niepoprawne, gdyż np. koło wewnętrzne (w łuku) ma bardzo duży wpływ na siły działające na koło zewnętrzne.

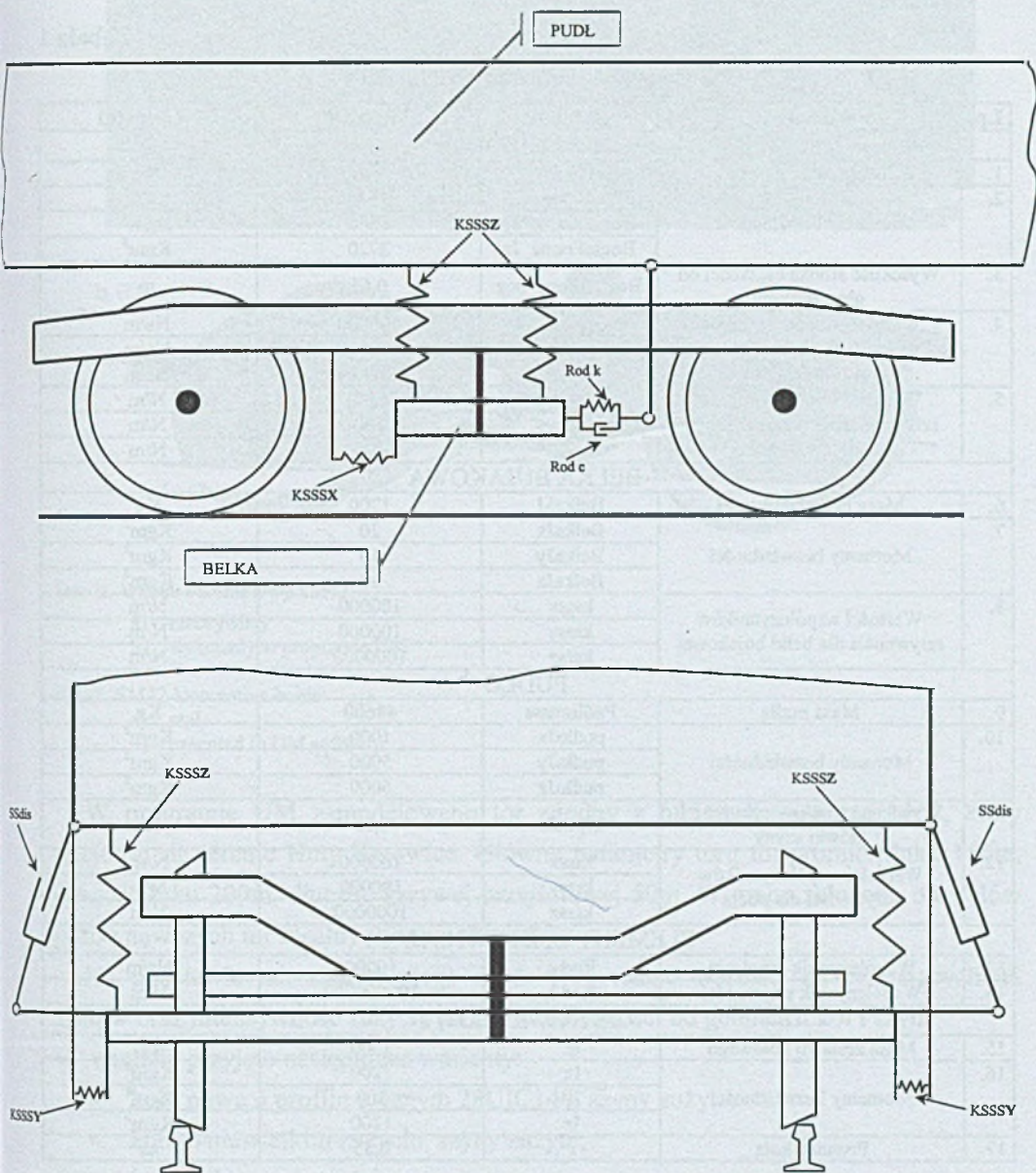
W tym celu został stworzony model dynamiczny badanej lokomotywy spalinowej serii SM42. Model powstał w Programie Universal Mechanism (UM), w którym badano wpływ poszczególnych czynników na zmniejszenie zużycia profili tocznych kół.

W pierwszym etapie narysowano schemat kinematyczny badanej lokomotywy, na podstawie którego później zbudowano model w UM. Schemat kinematyczny lokomotywy SM42 przedstawia rys. 1.

PIERWSZY STOPIEŃ



DRUGI STOPIEŃ



Rys. 1. Uproszczony schemat kinematyczny lokomotywy SM42

Fig. 1. Simplified kinematical scheme of SM42 locomotive

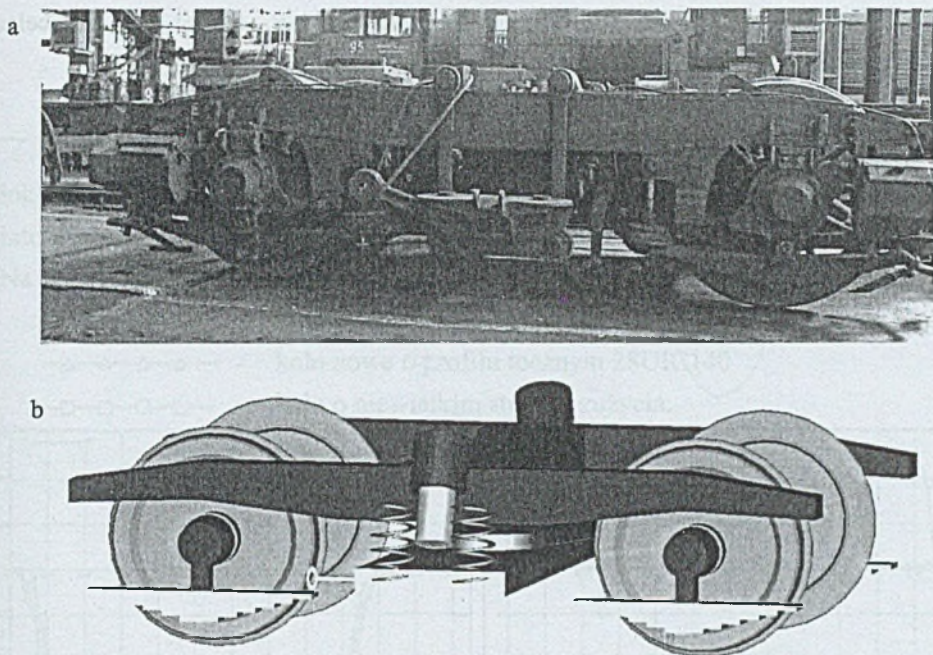
Na podstawie dostępnych danych przyjęto w modelu następujące wartości (tab.1) i wykonano model w programie UM:

Tabela 1

Podstawowe parametry modelu

Lp.	Parametr	Symbol	Wartość	Jednostki
RAMA WOZKA				
1.	Masa ramy wózka	BogieFrame mass	10700	Kg
2.	Momenty bezwładności	BogieFrame Jx	1540	Kgm ²
		BogieFrame Jy	1540	Kgm ²
		BogieFrame Jz	2720	Kem ²
3.	Wysokość środka ciężkości od główki szyny	BogieFrame_hcg	0,65	m
4.	Wartości współczynników tłumienia dla węzła I stopnia usprężynowania	psskx	500000	Ns/m
		pssky	500000	Ns/m
		psskz	7000000	Ns/m
5.	Wartości współczynników sztywności dla węzła I stopnia usprężynowania	psscx	500	N/m
		psscxy	500	N/m
		psscz	700	N/m
BELKA BUJAKOWA				
6.	Masa belki bujkowej	BelkaM	1700	Kg
7.	Momenty bezwładności	BelkaJx	20	Kgm ²
		BelkaJy	10	Kgm ²
		BelkaJz	50	Kgm ²
8.	Wartości współczynników sztywności dla belki bujkowej	ksssx	100000	N/m
		ksssy	100000	N/m
		ksssz	1000000	N/m
PUDLÓ				
9.	Masa pudła	Pudlomass	44600	Kg
10.	Momenty bezwładności	pudloJx	1000	Kem ²
		pudloJy	5000	Kgm ²
		pudloJz	5000	Kgm ²
11.	Wysokość środka ciężkości od główki szyny	hcpudlo	1,25	m
12.	Wartości współczynników sztywności dla pudła	ksssx	100000	N/m
		ksssy	100000	N/m
		ksssz	1000000	N/m
ELEMENT USZTYWNIAJĄCY				
13.	Współczynnik tłumienia	Rod c	10000	Ns/m
14.	Współczynnik sztywności	Rod k	100000000	N/m
ZESTAW KOŁOWY				
15.	Masa zestawu kołowego	m	1500	kg
16.	Momenty bezwładności	Ix	1200	Kgm ²
		Iy	300	Kgm ²
		Iz	1200	Kgm ²
17.	Promień koła	r	0,55	m

Na rysunku 3 przedstawiono wózek 1LN lokomotywy spalinowej SM42 rzeczywisty oraz zbudowany w programie UM.



Rys. 2. Wózek lokomotywy SM42:

- a) rzeczywisty
- b) wykonany w programie UM

Fig. 2. SM42 locomotive bogie:

- a) real
- b) executed in UM software

W programie UM zamodelowano tor zgodny z łukiem o numerze 1102, który znajduje się terenie Huty Katowice. Główne parametry toru to: promień łuku 150m, długość łuku 200m, długość krzywej przejściowej 50m. W pracy założono dla celów porównawczych tor idealny (bez nierówności).

Na podstawie tak zbudowanego modelu określano wartości sił działających na zestaw oraz intensywność zużycia profili w zależności od geometrii kół i szyn.

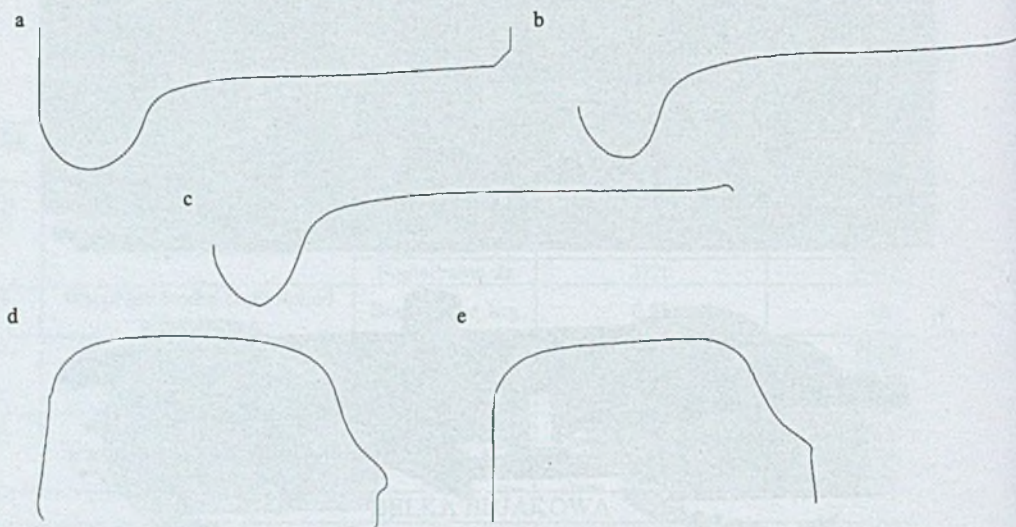
W analizie przyjęto następujące warianty:

- koło nowe o profilu tocznym 28UIC140, szyny zużyte;
- koło o niewielkim zużyciu, szyny zużyte;
- koło o dużym zużyciu, szyny zużyte.

Na rysunku 3 przedstawiono wykorzystane do analizy dynamicznej profile kół i szyn.

Na rysunkach 3d oraz 3e przedstawiono profil szyn zużytych pochodzących z łuku o promieniu 150 m, przy czym profil przedstawiony na rys. 3e jest profilem szyny

wewnętrznej w łuku. Jej dziwny kształt wynika z faktu, że w celach oszczędnościowych została ona obrócona na torze.



Rys. 3. Profile kół i szyn wykorzystane do analizy:

- a) Profil koła nowego 28UIC140
- b) Profil koła o niewielkim stopniu zużycia zużytego
- c) Profil koła o dużym stopniu zużycia
- d) Profil szyny zużytej zewnętrznej w łuku
- e) Profil szyny zużytej wewnętrznej w łuku

Fig. 3. Wheels and tracks profile take advantage for analysis:

- a) New rolling profile 28UIC140
- b) Rolling profile about small degree of wear
- c) Rolling profile about big degree of wear
- d) Profile worn on curve track, external side
- e) Profile worn on curve track, internal side

Profile kół i szyn zużyte otrzymano z przeprowadzonych badań eksploatacyjnych za pomocą profilomierzy do kół i szyn.

3. WYNIKI ANALIZY DYNAMICZNEJ

Analizę wykonano dla szyn zużytych typu S49 przedstawionych na rys. 3d i 3e (z badań eksploatacyjnych toru 1102). Analizę przeprowadzono dla prędkości jazdy lokomotywy wynoszącej 8m/s. Przyjęto następujące parametry toru wynikające z badań eksploatacyjnych:

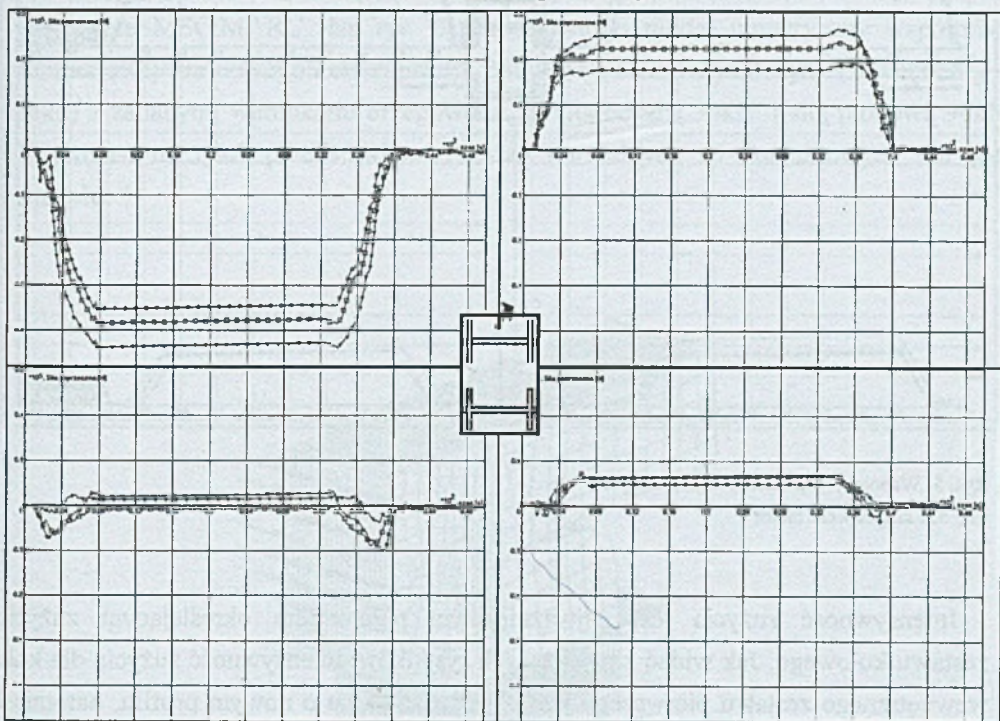
- promień łuku $R1=150m$
- długość łuku $S1=200m$

- długość krzywej przejściowej $P11=50\text{m}$
- poszerzenie toru w łuku $dY1=0,025\text{m}$
- przechyłka toru na łuku $H1=0,02\text{m}$.

Na rysunku 4 przedstawiono zależność sił działających na poszczególne koła lokomotywy, natomiast na rys. 5 przedstawiono zależność współczynnika intensywności zużycia poszczególnych kół od czasu.

Na wykresach dla wszystkich przypadków przyjęto następujące oznaczenia:

- - koło o dużym stopniu zużycia
- △—△—△—△— - koło nowe o profilu tocznym 28UIC140
- - koło o niewielkim stopniu zużycia.

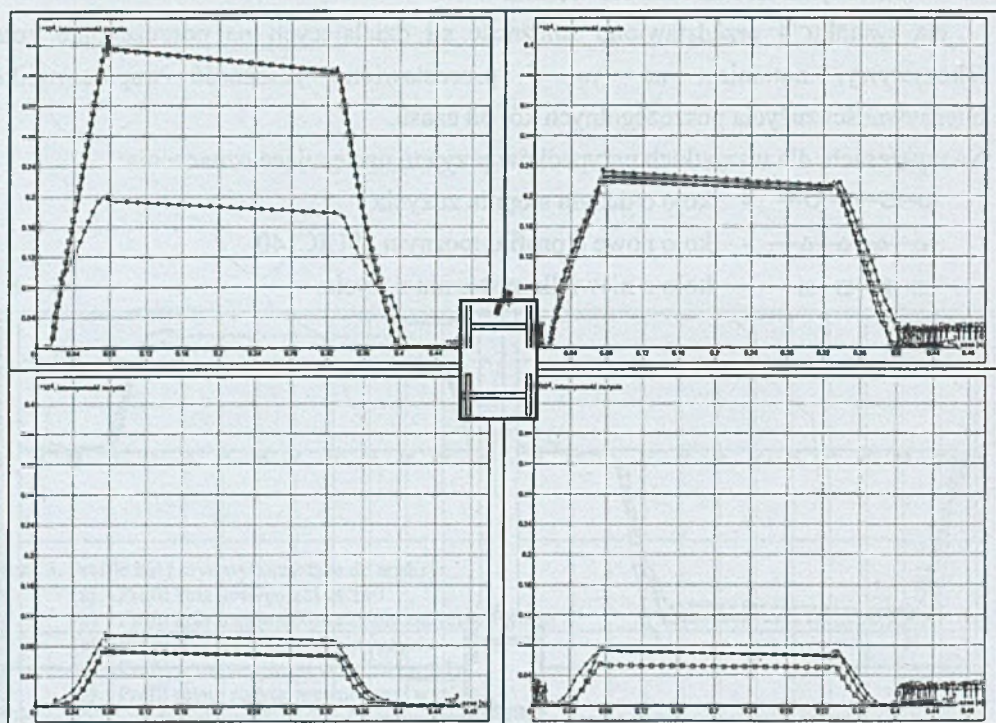


Rys. 4. Siły poprzeczne działające na koło

Fig. 4. Lateral total forces acting on the wheel

Jak wynika z przedstawionych wykresów, w zależności od stopnia zużycia profili tocznych kół zmieniają się wartości sił poprzecznych działających na koło. Największa siła poprzeczna działa na koło nowe, natomiast najmniejsza na koło maksymalnie zużyte. Maksymalna siła boczna działa na koło lewe, zewnątrz w łuku na pierwszym (prowadzącym) zestawie i wynosi ponad 40 kN, natomiast najmniejsza

wartość siły poprzecznej występuje na kole lewym zewnętrznym w łuku na drugim zestawie i jest bliska zero.



Rys. 5. Współczynnik intensywności zużycia

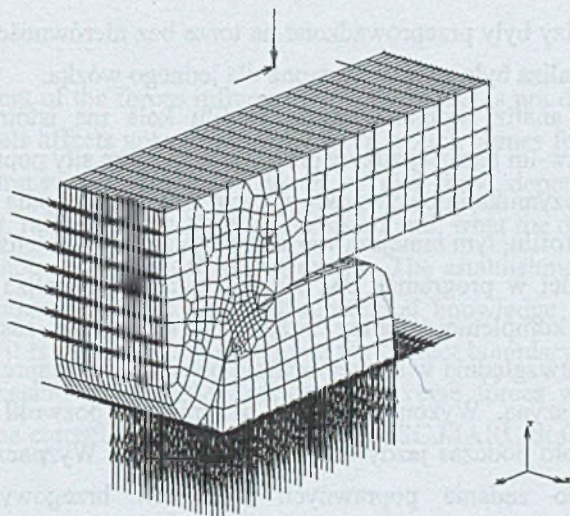
Fig. 5. Flanges wear factor

Intensywność zużycia jest najważniejszym parametrem określającym zużycie zestawu kołowego. Jak widać z powyższych rysunków, intensywność zużycia dla koła wewnętrznego zestawu pierwszego jest większa dla koła o nowym profilu, natomiast najmniejsza w kole prawym tylnym wózka. Dla koła o maksymalnie zużytych profilu współczynnik intensywności zużycia dla koła lewego przedniego jest w porównaniu do innych badanych profili najmniejszy. Spowodowane jest to tym, że dla tego profilu występują już dwa punkty kontaktu, a współczynnik intensywności zużycia jest wyznaczany na rys. 5 jest tylko dla jednego punktu kontaktu.

Wartość współczynnika intensywności zużycia zależy od stopnia zużycia profilu im - większe zużycie profilu, tym mniejsza wartość współczynnika intensywności zużycia.

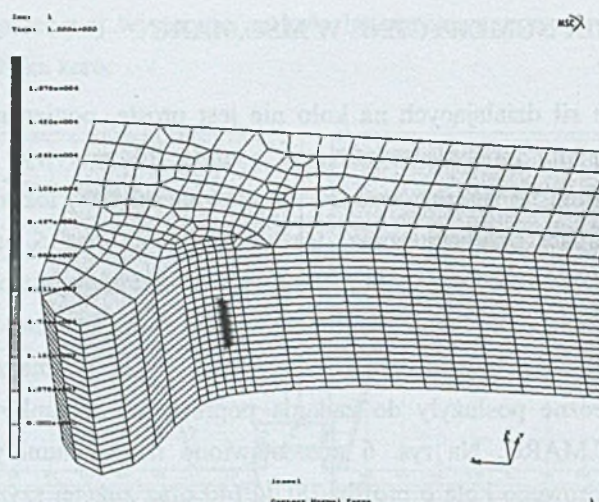
4. OBLICZENIA NUMERYCZNE W MSC.MARC

Wyznaczenie sił działających na koło nie jest proste, ponieważ w łuku na koła działa nie tylko siła pionowa wynikająca z masy lokomotywy, lecz również siła poprzeczna. Wartość tej siły jest uzależniona głównie od masy lokomotywy, geometrii torowiska, prędkości przejazdu oraz, jak pokazano na rys. 5, od kształtu profilu tocznego koła. Wyznaczenie tej siły metodą eksperymentalną jest bardzo trudne. Bez znajomości wartości sił działających na zestaw nie jesteśmy w stanie zadać poprawnych warunków brzegowych w programach MES. Wyznaczone w programie UM siły poprzeczne posłużyły do zadania poprawnych warunków brzegowych w programie MSC.MARC. Na rys. 6 przedstawiono model numeryczny współpracy kontaktowej dla nowego koła o profilu 28UIC140 oraz zużytej szyny (zewnętrznej w łuku) z zadanymi warunkami brzegowymi, tj. siłą boczną 36kN i siłą pionową 90kN. Natomiast na rys.7 przedstawiono rozkład normalnych sił kontaktowych dla ww. modelu.



Rys. 6. Model numeryczny kontaktu koła i szyny

Fig. 6. Numerical model of wheel – rail contact



Rys. 7. Rozkład normalnych sił węzłowych dla koła o dużym stopniu zużycia i nowej szyny z siłą boczną 36 kN
 Fig. 7. The contact normal force both for wear wheel and new rail with tangent load 36 kN

5. WNIOSKI

Wszystkie analizy były przeprowadzone na torze bez nierówności i miały charakter porównawczy. Analiza była przeprowadzona dla jednego wózka.

Jak wynika z analiz, stopień zużycia profilu koła ma istotny wpływ na siły działające na zestaw – im bardziej zużyty profil, tym mniejsze siły poprzeczne.

Wartość współczynnika intensywności zużycia zależy od stopnia zużycia profilu – im większe zużycie profilu, tym mniejsza wartość współczynnika intensywności zużycia.

Wykonany model w programie UM i przeprowadzona analiza nie wystarczą do przeprowadzenia kompletnej analizy zużywania się profili zestawów kołowych. Program UM nie uwzględnia w swojej analizie odkształceń i naprężeń występujących na styku koła z szyną. Wykonany model dynamiczny pozwolił na określenie sił działających na koło podczas jazdy lokomotywy po łuku. Wyznaczone w ten sposób siły posłużyły do zadania poprawnych warunków brzegowych w programie MSC.MARC.

Literatura

1. Yessaulov V., Kozlovsky A., Sladkovsky A., etc.: Studies into Contact Interactions of Elastic Bodies for Improvement of Wheels and Rails // Contact Mechanics IV.- Southampton, Boston: WIT Press, 1999. - P.463-472.
2. Пономарев С.Д., Бидерман В.Л., Лихарев К.К., etc.: Расчеты на прочность в машиностроении. Машгиз: Москва. 1958. – Т.2. – 974 с.
3. Śladowski A. Wojdyła T.: Simplified model of vertical vibrations for passenger car during its moving on irregular track. Scientific proceedings of Riga Technical University, Riga 2003, ss 28 – 36.
4. Wojdyła T.: Porównanie modeli testowych pojazdu szynowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport z. 44, Gliwice s.163-168. [6].

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Paweł Piec

Abstract

The establishment of the forces influencing on the wheel is not easy, because in the curve, on the wheels affects not only vertical force, which comes from the locomotive weight but also transverse force. The value of this force depends mainly on the locomotive weight, rail geometry, the vehicle speed and, what the draft no. 5 presents, depends on the shape of the wheel rolling profile. The establishment of this force by experimental method is difficult. Without substantial knowledge of the force value influencing on set it is impossible to determine the correct boundary condition in MES Softwares. The established in UM Software transverse forces were useful by the determination of the correct boundary condition in MSC.MARC Software.

Praca wykonana w ramach BW-443/RT4/2004.