

Tomasz KUMINEK

OBLICZENIA NUMERYCZNE I POMIARY ZUŻYCIA KÓŁ KOLEJOWYCH ZESTAWÓW KOŁOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono badania zużycia powierzchni tocznej koła kolejowego. Dokonano na podstawie analitycznych wzorów oceny zużycia obrzeża koła. Zaprojektowano nowy profil powierzchni tocznej koła, którego zadaniem jest zmniejszenie intensywności zużycia jego obrzeża, co wydłuży czas pomiędzy kolejnymi korektami profilu. W programie UM wykonano symulację przejazdu pojazdu po torze zakrzywionym wyznaczając wartości sił działających na układ koło-szyna.

NUMERICAL CALCULATION AND MEASUREMENTS OF WEARING RAILWAY WHEELSETS

Summary. In this article were introduced testing of wear of rolling surface railway wheel. On the base on analytical examples was obtained valuation of wheel rim wearing. New profile of rolling surface was designed, which decrease intensity of wearing his rim, which will lengthen among next correction of profile time. In UM programme was made the simulation of ride of vehicle on the curved track, marking in this way value of strength affecting on wheel – rail system.

1. WSTĘP

Tarcie zachodzące pomiędzy kołem a szyną jest gwarancją prawidłowej pracy wszystkich urządzeń tego typu złączy ciernych, do których zaliczamy:

- koleje wszystkich odmian;
- tramwaje;
- dźwignice w zakładach przemysłowych;
- kolejki przemysłowe i inne.

Bez tarcia, a właściwie szepienia koła z szyną, nie byłoby możliwe ruszenie pociągu z miejsca. Równocześnie z praktyki inżynierskiej wiadomo, że to głównie tarcie powoduje zużycie nie tylko szyn, ale i obręczy kół jezdnych pojazdów szynowych, będąc niekiedy przyczyną awarii oraz wzrostu kosztów eksploatacji tych elementów, ze względu na niewystarczającą ich trwałość.

Do najbardziej zużywających się elementów pojazdów szynowych podczas eksploatacji należą zestawy kołowe. Głównymi przyczynami intensywnego zużycia zestawów kołowych są [1]:

- naprężenia kontaktowe występujące w miejscu styku koła z szyną i związane z nimi deformacje plastyczne;

- poślizgi podczas ruchu pojazdów w łuku torowym;
- mikropoślizgi, wywoływane sprężystym odkształceniem materiałów koła i szyny;
- obciążenia dynamiczne działające na koło w czasie ruchu pojazdu szynowego;
- ścieranie materiału kół podczas hamowania klockami.

Ponadto intensywność zużywania się kół zależy również od warunków eksploatacji. Skutki zużycia kół mają dwójaki charakter. Z jednej strony, wobec zmiany profilu tocznego kół, pogarszają się właściwości biegowe pojazdu, z drugiej strony, ubytki materiału powodują konieczność reprofilowania lub wymianę kół. Szczególnie duże są zużycia kół lokomotyw eksploatowanych na liniach krętych. Na terenach podgórskich oraz tam, gdzie na trasie dominują ciasne łuki, zużycie występuje głównie na obrzeżu koła (podcięcie obrzeża). W celu zmniejszenia zużywania się obrzeży kół pojazdów szynowych, a tym samym zwiększenia bezpieczeństwa ruchu, stosuje się między innymi następujące środki zapobiegawcze [1]:

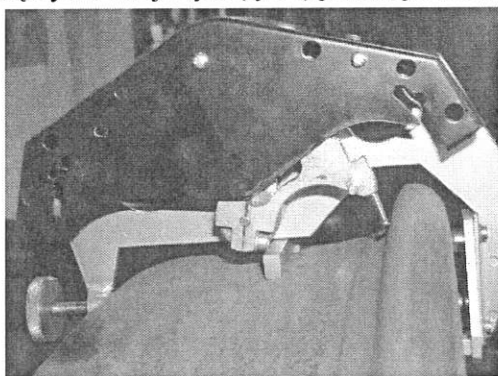
- sprzęg międzywózkowy w celu zmniejszenia sił poprzecznych występujących między obrzeżem koła a boczną powierzchnią główki szyny;
- urządzenia do smarowania obrzeży, montowane na lokomotywach.

Uważa się też, że zmniejszenie zużycia obrzeży, a tym samym wydłużenie przebiegu między kolejnymi korektami profilu, może być osiągnięte poprzez zmianę profilu tocznego koła.

2. BADANIA ŻUŻYCIA POWIERZCHNI TOCZNEJ KOŁA KOLEJOWEGO

Badania eksploatacyjne powierzchni tocznej koła przeprowadzono dla lokomotyw pracujących na terenie ISPAT POLSKA STAL S.A. Oddział w Dąbrowie Górniczej (Huta Katowice). Do badań wytypowano, dwie lokomotywy spalinowe serii SM42 o numerach inwentarzowych 44 oraz 63.

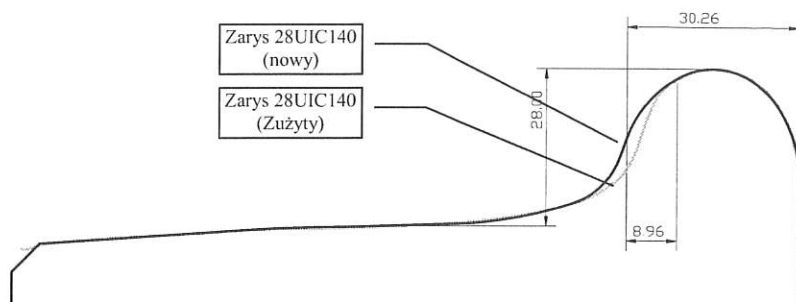
Do pomiarów zużycia powierzchni tocznej kół kolejowych wykorzystywano laserowy profilomierz A-B do obręczy kół kolejowych (rys. 1) produkcji P.T.U. GRAW z Gliwic.



Rys. 1. Profilomierz laserowy A-B

Fig. 1. Wheel A-B Profile Measurement Gauge

Profilomierz ten ma możliwość ciągłego odwzorowania profilu poprzecznego obręczy koła z tym, że jego rozdzielczość wynosi 0,01 mm, a dokładność jak podaje producent, wynosi mniej niż 0,1 mm. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy wynik pomiarów osiągniętych za pomocą profilomierza A-B.



Rys. 2. Zużycie profilu tocznego koła kolejowego
Fig. 2. The process of wearing of the rolling profile

Jak wynika z badań eksploatacyjnych, profile toczne zestawów kołowych badanych lokomotyw serii SM42 ulegają zużyciu głównie poprzez podcięcie obrzeża. Charakter tego zużycia jest efektem jazdy po ciasnych łukach z dużym obciążeniem. Średni przebieg lokomotywy między kolejnymi reprofilacjami obręczy wynosi zaledwie kilka tysięcy kilometrów, co daje czas około kilku miesięcy.

3. ANALITYCZNE METODY WYZNACZANIA ZUŻYCIA KÓŁ KOLEJOWYCH

Proces zużywania się ciała stałego jest to proces oddzielania się materiału z powierzchni tego ciała lub narastania jego trwałych deformacji na skutek oddziaływań zewnętrznych, np. mechanicznych, chemicznych, elektrochemicznych, elektrycznych [1,2,5]. Proces ten przejawia się jako stopniowa zmiana wymiarów lub kształtu ciała.

W przypadku pary koło-szylna występują następujące rodzaje zużycia:

- zużycie adhezyjne;
- zużycie ściernie;
- zużycie zmęczeniowe.

Dominującym rodzajem zużycia kół i szyn jest zużycie adhezyjne. Ten rodzaj zużycia powstaje w wyniku tworzenia się mikrospoin, a następnie ich zrywania. Duże naciski miejscowe umożliwiają tworzenie się mikrospoin. Zerwanie takiej mikrospoiny może powodować oddzielenie się materiału od jednego lub obu współpracujących powierzchni.

W pracach [1,2] przedstawiono wzór na stopień intensywności zużywania się obrzeży kół, oznaczony współczynnikiem Z (wzór Heumanna) (1):

$$Z = \frac{P \cdot \alpha}{r} \cdot \frac{\mu}{\sin \gamma \cdot \cos \gamma} \quad (1)$$

gdzie:

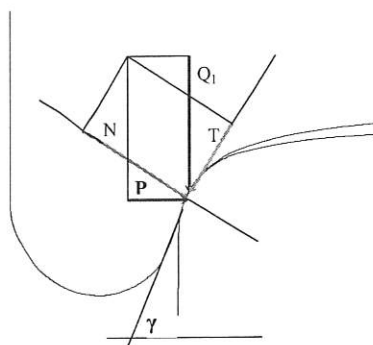
P - siła kierująca (rys. 3) [N];

α - kąt nabiegania koła na szynę [°];

r - promień koła [m];

μ - współczynnik tarcia między obrzeżem koła nabiegającego a szyną;

γ - kąt pochylenia obrzeża [°].



Rys. 3. Rozkład sił między obrzeżem a główka szyny
Fig. 3. Distribution of force lateral rim and rail head

Z przytoczonego powyżej wzoru (1) wynika, że dla danego koła intensywność zużycia zmienia się wprost proporcjonalnie do siły kierującej P , kąta nabiegania α i współczynnika tarcia μ .

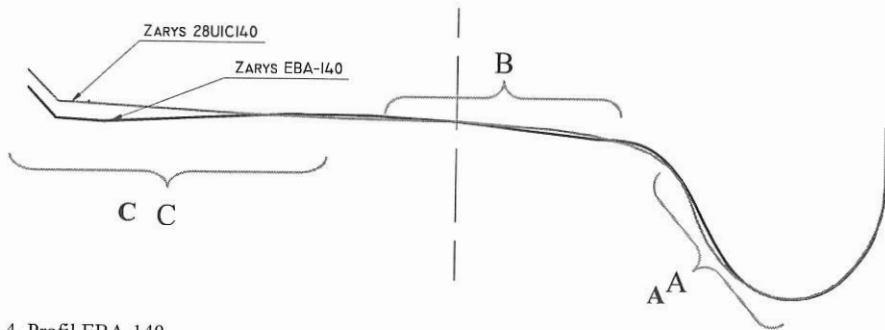
Do oceny stopnia intensywności zużycia profilu tocznego koła a głównie podcięcia obrzeża, można posłużyć się przedstawionym wzorem (1). Zmniejszając siłę prowadzącą można zmniejszyć wartość naprężeń kontaktowych występujących na styku koła z szyną. Jednak w analizie należy uwzględnić również wielkości poślizgów wzdłużnych i poprzecznych, przeanalizować rozkład naprężeń kontaktowych w miejscu styku oraz odpowiadające im deformacje plastyczne, które zależne są nie tylko od siły, ale również od kształtu stykających się ciał. Dokonać tego można poprzez analizę zjawiska kontaktu koła z szyną w programach wykorzystujących MES. Analizując wzór 1, można wywnioskować, że zużycie obrzeża koła kolejowego można zmniejszyć poprzez zmianę geometrii profilu tocznego koła. W prowadzonych w innych ośrodkach pracach, w celu zmniejszenia zużycia profili tocznych kół ograniczano głównie poślizgi uważając, że jest to czynnik dominujący. Jednak zużycie nie zależy jedynie od poślizgów, lecz również od sił działających na układ koło-szyna.

4. ZAŁOŻENIA I PROPOZYCJA NOWEGO PROFILU POWIERZCHNI TOCZNEJ KÓŁ

W programie UM istnieje możliwość zadawania różnego rodzaju profili kół i szyn. Do tego celu służy aplikacja *curve editor*, w której na podstawie współrzędnych punktów, połączonych krzywymi, można zadać geometrię profilu koła lub szyny.

Analizując siłę boczną działającą na koło, która występuje podczas przejazdu lokomotywy po łuku torowym, opracowano specjalny profil oznaczony symbolem EBA-140, zaprojektowany z myślą o odciążeniu obrzeża kół, poprzez zastosowanie odpowiedniego kształtu powierzchni tocznej. Istotą nowego profilu jest przeniesienie zużycia w inne miejsce (poza obrzeże koła) oraz zmniejszenie siły bocznej działającej na koło. Wzorując się na kole konstrukcji rosyjskiej wg GOST 9036 [4], postanowiono zastosować profil toczny koła, który charakteryzuje się dwoma wyraźnymi strefami kontaktu: jedną na obrzeżu, a drugą w okolicach średnicy tocznej. Taki profil ma za zadanie odciążenie obrzeża koła. W nowo

Na rys. 4 przedstawiono profil zaprojektowanego profilu EBA-140 na tle dotychczas stosowanego profilu 28UIC140.



Rys. 4. Profil EBA-140
Fig. 4. Rolling profile EBA-140

Zasadnicza różnica pomiędzy analizowanymi profilami polega na zmianie w strefie C profilu (rys 4). W profilu 28UIC140 strefa ta jest ścięta tak, aby zapewnić lepszy stosunek różnic średnic tocznych w czasie pokonywania przez pojazd łuku. Jednak takie ścięcie powoduje zwiększenie siły bocznej działającej na koło. W profilu EBA-140 strefa C jest pochylona w odwrotną stronę, co powoduje zmniejszenie siły bocznej. Dodatkowo zastosowane w strefie B większe pochylenie również powoduje zmniejszenie tej siły. Pomimo zastosowania przeciwnego ścięcia w strefie C profil ma dostateczną różnicę średnic tocznych do pokonywania łuków o małym promieniu. Wynika to z przeniesienia strefy kontaktu bliżej w stronę falki profilu.

Dla opracowanego w pracy [3] modelu przeprowadzono symulację przejazdu lokomotywy po torze zakrzywionym dla różnych profili tocznych kół oraz szyn. W programie UM (Uniwersalny Mechanizm) wyznaczano siły poprzeczne działające na koła w czasie symulacji przejazdu pojazdu po łuku torowym.

- profil nowy 28UIC140;
- profil zużyty 28UIC140 pochodzący z badanej eksploatacyjnie lokomotywy serii SM42 o numerze 44;
- profil nowej konstrukcji rosyjskiej wg GOST 9036 [4];
- oraz profil zaprojektowany oznaczony symbolem EBA-140.

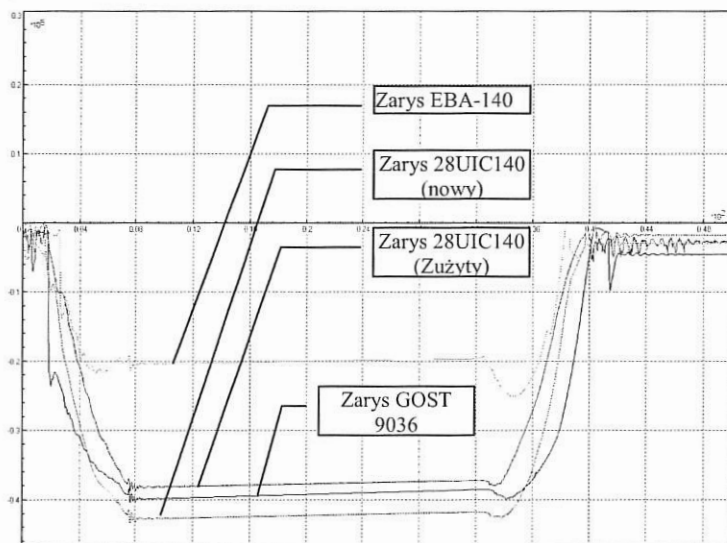
Wszystkie profile toczne kół testowano dla toru idealnego (bez nierówności) z zużytymi i nowymi profilami szyn S49 dla prędkości pojazdu wynoszącej 8 [m/s].

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowy wykres zależności siły poprzecznej działającej na koło zewnętrzne w łuku, pierwszego (prowadzącego) zestawu.

Wartość siły poprzecznej, jak podaje wzór 1, odgrywa znaczącą rolę w procesie zużycia profilu. W profilu EBA-140 wartość tej siły działającej na koło zewnętrzne pierwszego zestawu jest wyraźnie najmniejsza i sięga 50% siły, jaka występuje dla pozostałych badanych profili. Pomimo zastosowania przeciwnego ścięcia w strefie C profilu EBA-140 (rys. 4.) wartość siły poprzecznej działającej na koło wewnętrzne nie zwiększyła się – wręcz przeciwnie, uległa zmniejszeniu.

W celu sprawdzenia zachowania się badanych profili na torach nowych wykonano taką samą symulację obejmującą te same parametry: promień łuku 150 m, prędkość 8 m/s z uwzględnieniem nowych profili szyn typu S49.

W wyniku zastosowania w analizie nowych profili tocznych szyn, wartość wszystkich badanych parametrów nie uległa zmianie w porównaniu do przeprowadzonej analizy z profilami szyn zużytych.



Rys. 5. Siła poprzeczna dla koła zewnętrznego, pierwszego zestawu (łuk o promieniu 150 m)

Fig. 5. Lateral total force acting on the wheel

6. WYNIKI BADAŃ

Z przeprowadzonych symulacji przejazdu lokomotywy przez łuki torowe można wywnioskować, że zmiana profilu koła ze standardowych na profil EBA-140 wpłynęła korzystnie na zachowanie się pojazdu podczas jazdy po łuku. Założenia stawiane nowemu profilowi sprawdziły się zarówno dla łuku o promieniu 150 jak i 300 m.

W profilu typu EBA-140 siła boczna działająca na koło 1 (lewe zestawu pierwszego) została rozłożona na pozostałe koła wózka. Dla koła lewego pierwszego zestawu, w porównaniu do profilu normowego 28UIC140, siła ta jest w łuku o promieniu 150 m o ok. 50% a w łuku o promieniu 300 m o około 40% mniejsza, zarówno dla szyn nowych, jak i

zużytych. Również wartość poślizgów wzdłużnych dla kół zewnętrznych jest mniejsza w porównaniu do innych badanych profili, natomiast dla kół wewnętrznych jest porównywalna, zarówno dla szyn zużytych jak i nowych. Wyniki przeprowadzonej symulacji dla szyn o nowych i zużytych profilach tocznych są zbliżone do siebie i nie wykazują istotnych różnic. Można zatem stwierdzić, że zużycie, a głównie podcięcie obrzeża dla koła z profilem tocznym EBA-140 będzie mniejsze w porównaniu do obecnie stosowanego profilu.

Literatura

1. Piec P.: Zjawiska kontaktowe w elementach pojazdów szynowych. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii i Eksploatacji. Kraków 1999.
2. Witaszek M.: Trwałość powierzchni tocznej kół kolejowych zestawów kołowych. Praca magisterska. Katowice 1994.
3. Kuminek T., Ślaskowski A.: Modelowanie dynamiki jazdy oraz zużycia kół kolejowych lokomotywy spalinowej serii SM42 w programie UM. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej serii Transport z.56, Gliwice 2004, s.255-261.
4. ГОСТ 9036-88. Колеса цельнокатаные. Конструкция и размеры. – М: Изд-во стандартов, 1988. – 15 с.
5. Ślaskowski A., Sitarz M.: Analysis of Wheel-Rail Interaction Using FE Software. Wear. – 2005. – № 258. s. 1217 – 1223.

Recenzent: Dr hab. Inż. Paweł Piec
Profesor Politechniki Krakowskiej

Praca wykonana w ramach badań własnych: BW 427/RT4/2005