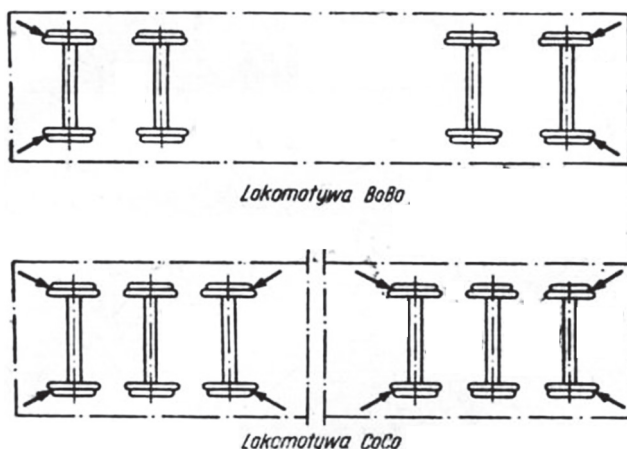


Andrzej Wójtowicz i Henryk Bąkowski

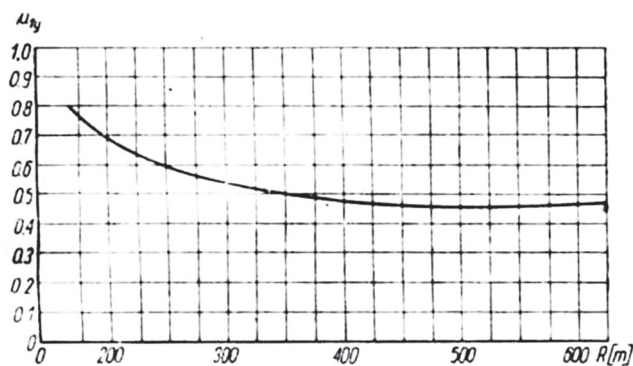
Oszczędności wynikające ze smarowania obrzeży kół w łukach o różnym promieniu

W rzeczywistych warunkach pracy zestawu koło-szyna w miejscu kontaktu występują naprężenia oraz poślizgi wpływające na procesy zachodzące w tym ważnym miejscu. Powierzchnia kontaktu ulega ciągłej zmianie w zależności od wielu czynników zarówno konstrukcyjnych, jak i eksploatacyjnych. W wyniku nakładania się tych czynników problem trwałości warstwy wierzchniej, szczególnie powierzchni tocznej szyn kolejowych, pozostaje nadal nie rozwiązany [1, 2].

Dla poprawienia warunków współpracy koła z szyną, szczególnie w czasie jazdy taboru kolejowego po łukach o małym promieniu (poślizgi poprzeczne), stosuje się smarowanie miejsc najbardziej narażonych na zużycie ścierne. Przyczynami tego zużycia są naprężenia styczne i normalne występujące w miejscu styku koła z szyną. Naprężenia te osiągają największe wartości w pojazdach trakcyjnych (pociągowych). Z tego powodu urządzenia smarujące instaluje się w lokomotywach i wagonach silnikowych. Zawsze są smarowane skrajne zestawy pojazdu (pierwszy i ostatni), a w przypadku lokomotyw o układzie osi CoCo skrajne zestawy



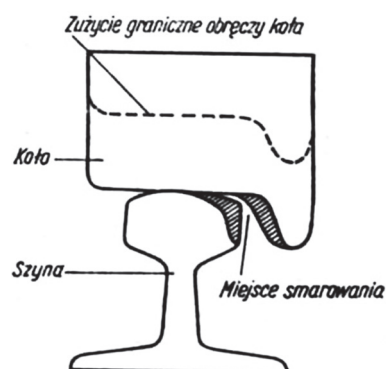
Rys. 1. Miejsce smarowania obrzeży w lokomotywach zależnie od układu osi [2]



Rys. 2. Zależność współczynnika tarcia μ_{tj} od promieniem łuku R [2]

obu wózków (rys. 1). Lokomotywa (BoBo) ma 2 wózki dwuosiowe (B) i każda z osi ma napęd indywidualny (o), natomiast lokomotywa (CoCo) ma 2 wózki trzyosiowe (C) z indywidualnym napędem każdej z osi (o). Smarowanie pozwala na obniżenie współczynnika tarcia i zmniejszenia intensywności zużycia kół [2]. Na rysunku 2 przedstawiono współczynnik tarcia uzyskany dla szyny suchej oraz dla statycznego obciążenia osi na szynę 75 kN (wagon).

Smarowanie stosuje się tylko w miejscu bocznego styku obrzeża koła z wewnętrzną powierzchnią główki szyny (rys. 3), a sposób doprowadzenia środka smarnego zabezpiecza przed przedostaniem się jego na powierzchnię toczną kół i szyn. Ma to istotne znaczenie, aby nie spowodować zmniejszenia przyczepności kół i szyn na powierzchniach, na których jest rozwijana siła pociągowa i siła tarcia przy hamowaniu (poślizgi wzdłużne) [3].



Rys. 3. Obszary smarowania i dopuszczalnego zużycia koła kolejowego [2]

W zależności od profilu linii kolejowej intensywność zużycia obrzeża kół w lokomotywach jest różna. Badania prowadzone przez różne zarządy kolejowe wykazały, że lokomotywy bez urządzeń smarujących obsługujące linie o trudnym profilu mają przebiegi między reprofilacjami obrzeży od 8000 do 35000 km. Po wprowadzeniu w tych lokomotywach urządzeń do smarowania uzyskano w tych samych warunkach eksploatacji 2-3-krotne zwiększenie przebiegu między reprofilacjami zestawów kół. Użytko zatem trzykrotnie większą trwałość obrzeży. Dodatkowym zyskiem ze stosowania smarowania jest zmniejszenie zużycia szyn – na liniach z dużą liczbą łuków o małych promieniach stwierdzono nawet dwukrotnie większą ich trwałość [4].

Do nowej generacji urządzeń smarujących należy urządzenie typu Railjet firmy Delimon. Jest ono bardzo rozpowszechnione na kolejach europejskich.

Dzięki stosowaniu smarowania tylko w niektórych lokomotywach kursujących na danej linii poprawiają się w zauważalnym stopniu przebiegi między reprofilowaniami obrzeży również w innych lokomotywach (bez urządzeń smarujących) eksploatowanych w tych samych warunkach. Jest to spowodowane smarowaniem pośrednim przez smar pozostawiony na powierzchniach bocznych szyn przez lokomotywy z urządzeniami smarującymi.

Typ urządzenia smarującego ma zasadniczy wpływ na zmniejszenie intensywności zużycia obrzeży [2].

Czynnikiem smarującym jest specjalny środek smarny, charakteryzujący się małą lepkością w momencie rozpylenia z wtryskiwacza oraz dużą przyczepnością do natryśniętej powierzchni i wytrzymałością na duże naciski, a przede wszystkim odpornego na niskie temperatury.

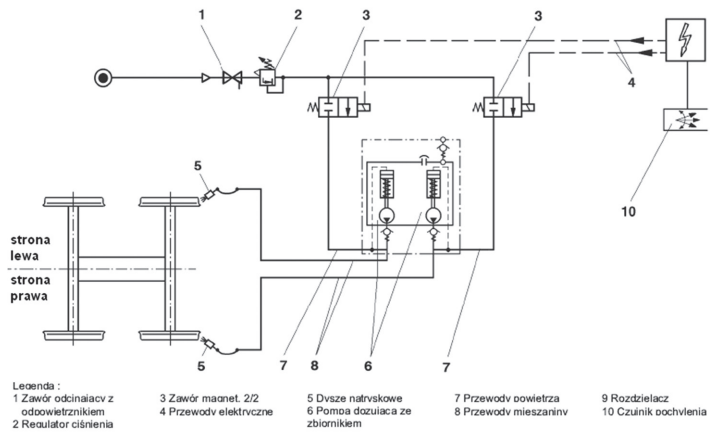
Układ smarowania obrzeży kół Railjet składa się zasadniczo z następujących części (rys. 4): urządzenia sterującego, jednostki zawierającej zbiornik i pneumatyczną pompę dozującą, rozdzielacza oraz dysz natryskowych. Środek smarny znajdujący się w zbiorniku jest pobierany przez pompę dozującą. Do sterowania pneumatycznego pompy dozującej służy zawór elektromagnetyczny 2/2. Jego otwarcie po podaniu odpowiedniego sygnału z urządzenia sterującego powoduje uruchomienie pompy i podanie określonej ilości środka smarnego ze zbiornika do instalacji. Następnie podana ilość środka smarnego jest transportowana przez sprężone powietrze do dysz natryskowych (bezpośrednio lub poprzez rozdzielacz ilościowy). Z dysz następuje natrysk mieszanki powietrza ze środkiem smarnym na odpowiednie obrzeża kół. [6].

Zaletami urządzeń do smarowania obrzeży kół w lokomotywach są [2, 6]:

- oszczędność wysokogatunkowych stali obręczy (nawet do 80%) i szyn;
- zmniejszenie pracochłonności przy utrzymaniu zestawów kołowych (rzadsze reprofilowanie);
- zmniejszenie przestojów pojazdów trakcyjnych w lokomotywniach i zakładach naprawczych dla przetaczania i wymiany obręczy;
- oszczędność energii napędzania od 5% do 15%;
- obniżenie oporów ruchu, skąd wypływa oszczędność energii elektrycznej bądź paliwa;
- dbanie o środowisko naturalne poprzez zmniejszenie hałasu;
- stosowanie środków biodegradowalnych;
- mała masa własna urządzeń;
- inteligentne elektroniczne sterowanie ułatwiające dopasowanie do różnych potrzeb;
- zmniejszenie kosztów utrzymania nawierzchni (wymiany szyn);
- ograniczenie czasów zamknięć torowych dla wymiany szyn;
- podniesienie bezpieczeństwa przed wykojeniem.

Materiał i warunki badań

Badania stanowiskowe przeprowadzono w styku toczno-ślizgowym w warunkach tarcia suchego. Stanowisko Amslera to urządzenie z węzłem tarcia typu rolka-rolka, w którym zarówno próbka (stal szynowa o strukturze perlitycznej), jak i przeciwpróbka (stal łożyskowa) są rolkami. Badania przeprowadzono zgodnie z normą PN-82/H-04332 (Badania zużycia na stanowisku Amsle-



Rys. 4. Urządzenie smarujące obrzeża kół Railjet® [6]

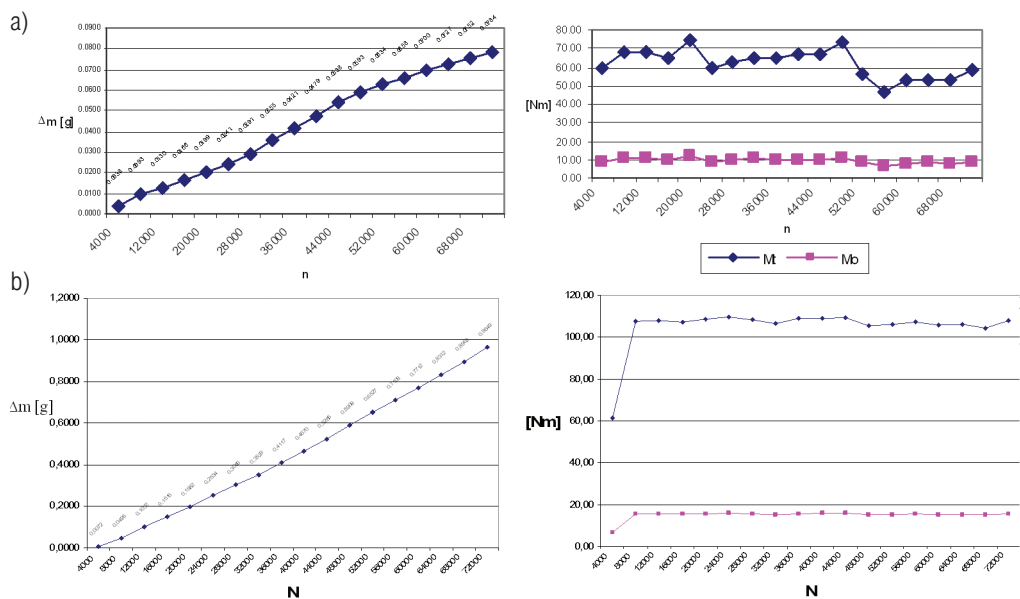
Tablica 1

Zestawienie wartości naprężeń w zależności od rodzaju układu

Obciążenie w warunkach		Naprężenie	
rzeczywistych	laboratoryjnych	w skojarzeniu koło-szlina*	w układzie rolka-rolka*
100 kN/koło	2000 N	836 MPa	875 MPa

* Wartości naprężeń obliczone z wzorów Herta.

ra). W wyniku ruchu obrotowego rolek mających wspólny obszar styku można obserwować zjawisko zmęczenia powierzchniowego lub zużycia ścierno-adhezyjnego materiału (w zależności od wartości poślizgu). Warunki współpracy zostały dobrane tak, aby odzwierciedlały rzeczywiste naciski, poślizgi oraz prędkości w styku koło-szlina na wybranym odcinku toru na Śląsku. Rozpatrywano styk suchy i mokry (smarowany wodą). Przeprowadzono badania stal szynowej o strukturze perlitycznej bez obróbki cieplnej i o twardości 280 HB. Porównując naprężenia ściskające, powstające w strefie styku przy tarcu toczno-ślizgowym dwóch współpracujących ze sobą elementów zarówno w obiekcie rzeczywistym, jak i laboratoryjnym można odwzorować z dużym przybliżeniem warunki panujące w obydwu strefach tarcia (tab. 1). Wartość poślizgu przyjęto z literatury i wynosiła 5%.



Rys. 5. Zależność ubytku masy (Δm) i momentu tarcia (M_t) w skojarzeniu toczno-ślizgowym po teście tribologicznym odpowiadającemu przejazdowi pociągu w tuku

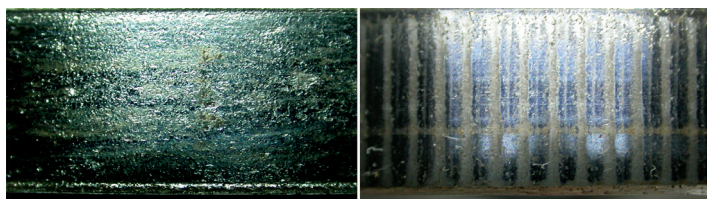
a) w styku suchym, b) w styku mokrym (smarowanym) próbki szyny bez obróbki cieplnej

Wyniki badań

Podczas badań mierzono zużycie (Δm), moment tarcia (Mt). Graficzną interpretację wyników badań tribologicznych zamieszczono na rysunku 5.

Analizując wpływ poślizgu w styku suchym, zużycie zwiększa się i wynosi 964 mg, natomiast zmniejsza się w styku mokrym ponad 10-krotnie (0,076 mg). Wynika to ze zmniejszania się momentu tarcia (115–65 Nm).

Warstwa powierzchniowa stanowi źródło informacji, gdyż jej zmiany są uwarunkowane procesami fizycznymi i chemicznymi, zachodzącymi na powierzchni i tuż pod nią, w porównaniu do materiału rdzenia. Przeprowadzono badania metalograficzne ukazujące znaczące różnice w mechanizmie i intensywności zużycia (rys. 6).



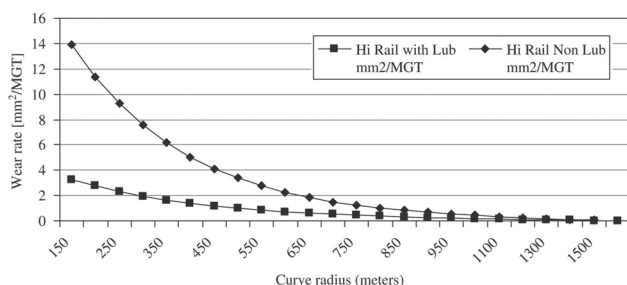
Rys. 6. Powierzchnia tarcia rolki ze stali szynowej odpowiadająca przejazdowi pociągu w łuku w styku suchym i mokrym

Powierzchnia tarcia rolki w styku suchym wykazywała objawy zużycia ścierno-adhezyjnego, natomiast w styku mokrym pojawiały się prążki świadczące o odmiennym rodzaju zużycia.

Oszczędności związane z wydłużeniem interwałów reprofilacji możliwe do uzyskania dzięki zastosowaniu urządzenia do smarowania obrzeży kół

Zużycie obrzeża koła następuje na skutek wystąpienia sił pionowych i bocznych. Obciążenia poziome boczne mogą być wywołane przez siłę boczną. Kierunek działania tej siły jest zwrócony prostopadle do kierunku jazdy. Obciążenie to może być wywołane kilkoma czynnikami [5]:

- działaniem wiatru przez powierzchnię boczną;
- różnicą prędkości kątowych prawego i lewego koła, wywołaną różnymi promieniami krzywizn obu szyn na łuku;
- drganiami wywołanymi odkształcalnością zestawów kołowych i szyn;
- naprężeniami własnymi.



Rys. 7. Wpływ użycia środka smarowego na zużycie przekroju porzecznego szyny [6]

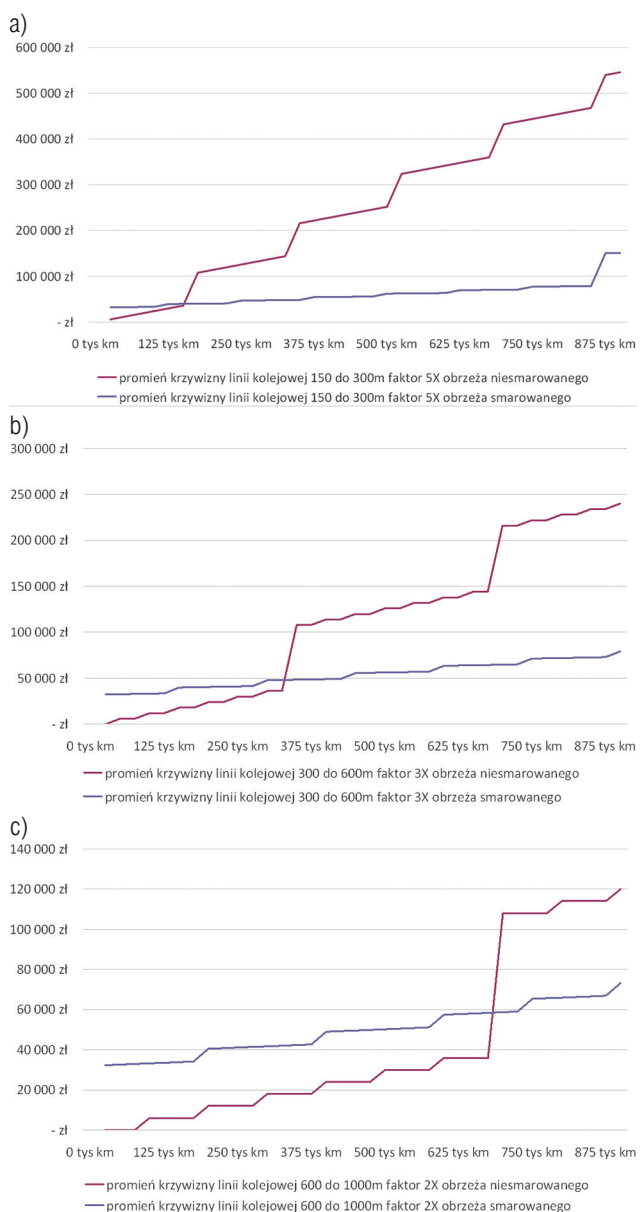
Na rysunku 7 przedstawiono wykres określający zużycie przekroju poprzecznego szyn w zależności od natężenia ruchu oraz promienia krzywizny toru, który możemy poprzez analogię wykorzystać do określenia zależności intensywności zużycia obrzeży koła od promienia krzywizny toru.

Chcąc przybliżyć przewidywane efekty ekonomiczne musimy poczynić założenia określające wielokrotność podniesienia trwałości obrzeża koła smarowanego w stosunku do niesmarowanego, zaproponowano więc dla przedziału promienia krzywizny toru między:

- 150 a 300 m – krotność (faktor) 5,
- 300 a 600 m – krotność 3,
- 600 a 1000 m – krotność 2.

W analizie sporządzonej dla zestawu EN57 przyjęto następujące założenia:

- koszt reprofilowania obrzeży kół jednej osi – 500 zł,
- koszt wymiany obrzeży dwóch kół 2×3000 zł = 6000 zł,
- koszt środka smarowego – 312 zł/25 tys. przejechanych kilometrów,
- koszt instalacji smarującej – 32 000 zł,
- po sześciokrotnym reprofilowaniu następuje wymiana obrzeży koła (użytkownicy określają tę wartość między 2–4).



Rys. 8. Przewidywana zależność kosztów eksploatacyjnych smarowanych i niesmarowanych obrzeży kół zestawu EN57 w funkcji przebiegu dla wartości promienia krzywizny a) 150–300 m, b) 300–600 m, c) 600–1000 m

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy sformułowano następujące wnioski końcowe:

- smarowanie styku toczno-ślizgowego w łukach powoduje znaczne zmniejszenie zużycia współczynnika tarcia par ze sobą współpracujących;
- zastosowanie odpowiedniego urządzenia smarującego umożliwia zmniejszenie kosztów utrzymania układu koło–szyna;
- nakłady poniesione na instalację i eksploatację urządzenia do smarowania obrzeży kół dla pojazdu EN57 zwracają się po przejechaniu około:
 - 150 tys. km dla promienia krzywizny toru od 150 m do 300 m,
 - 330 tys. km dla promienia krzywizny toru od 300 m do 600 m,
 - 650–700 tys. km dla promienia krzywizny toru od 600 do 1000 m (rys. 8).



Literatura

[1] Bąkowski H.: *Ocena właściwości tribologicznych skojarzenia koło–szyna w określonych warunkach eksploatacji*. Rozprawa doktorska. Wydział Transportu Politechniki Śląskiej, 2006 r.

- [2] <http://zeus.krb.com.pl/?wspolpraca-kola-lokomotyw-z-szyna-w-lukach-o-malych-promieniach>, 151.
- [3] Romaniszyn Z.: *Podwozia wózkowe pojazdów szynowych*. Wydawnictwo Instytutu Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej. Kraków, 2010 r.
- [4] Reddy V. and others: *Modelling and analysis of rail maintenance cost* *Int. J. Production Economics* 105 (2007) 475–482.
- [5] Konowrocki R.: *Oddziaływanie koła z drogi z uwzględnieniem poślizgów bocznych*. Rozprawa doktorska. Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, 2007 r.
- [6] Materiały informacyjne firmy Delimon. *Smarowanie obrzeży kół w pojazdach szynowych Railjet®*.

Andrzej Wójtowicz
 Biuro Handlowe BEST
 26-400 Przysucha, ul. Dembińskich 28
 e-mail: andrzej.wojtowicz@bhbest.pl

Henryk Bąkowski
 Politechnika Śląska, Wydział Transportu
 Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych
 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8
 e-mail: henryk.bakowski@polsl.pl