

Józef MARCINIAK

Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa
Warszawa

BADANIE ŻUŻYCIA OBREČZY ZESTAWÓW KOŁOWYCH WYBRANYCH SERII KOLEJOWYCH POJAZDÓW SZYNOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań zużycia profilu obrečzy lokomotyw ET22, EU07 elektrycznych zespołów trakcyjnych EN57 i wagonów towarowych.

1. WPROWADZENIE

Bezpieczeństwo ruchu kolejowego w dużej mierze zależy od stanu technicznego zestawów kołowych. Stan ten zależy od wielkości zużycia i ewentualnych wad materiałowych i uszkodzeń zewnętrznych. Na proces zużycia zestawów kołowych ma wpływ jakość produkcji (poprawność konstrukcji, rodzaj stali, stosowana technologia) oraz układ naprężeń jakie powstają w zestawie pod wpływem działających obciążeń.

Zestawy kołowe poddawane są zewnętrznym zmiennym dynamicznym obciążeniom pionowym, poziomym i bocznym. Zasadniczą siłą oddziaływującą na koło zestawu jest składowa pionowa pochodząca od masy przewożonego ładunku i masy brutto wagonu. Statyczny nacisk pionowy na oś zestawu wynosi średnio 180-220 kN (18-20 t). Przy wpisywaniu się zestawu w łuk na koła oddziałują siły boczne działające na obrzeża zestawu kołowego a wartość tych sił osiąga ok. 50 kN. Do wartości tej siły dodaje się jeszcze wartość sił pochodzących od parcia wiatru na prostopadłą płaszczyznę boczną pojazdu - wartość tych sił wynosi ok. 500 N/m² pojazdu. W rezultacie ruchu pojazdu po szynie pojawia się siła pozioma (w punkcie styku koło-szyna), pochodząca od sił tarcia - wartość tej siły, np. dla wagonu 4 osiowego, ładownej węglarki o masie 60 t jadącej z prędkością 60-80 km/h - wynosi ok. 50 kN.

Istotne są także siły występujące podczas hamowania pojazdu - siła tarcia pomiędzy obrečzą zestawu kołowego a wstawką hamulcową wynosi od 20-60 kN i powoduje powstanie momentu, starającego się obrócić koło na osi zestawu. przy zablokowaniu koła podczas hamowania, następuje poślizg koła po szynie powodujący miejscowe wytarcie obrečzy i powstanie tzw. "płaskiego miejsca", które może dochodzić do 2 mm i więcej, wartość siły z jaką koło w tym czasie oddziałuje na szynę, wynosi ok. 45 kN. Podczas ślizgania się koła po

szynie występują intensywne zjawiska cieplne, które mogą doprowadzić do miejscowego nagrzania obręczy osiagającego temperaturę do 600°C. Istotny wpływ na warunki pracy zestawów kołowych wywiera także wzrost prędkości jazdy pociągu.

Układ sił - pionowych, poziomych, bocznych oraz pochodzących od hamowania, a oddziaływujących na zestaw kołowy, powoduje powstawanie złożonych naprężeń w osi i kołach zestawu. Na wielkość tych naprężeń nakładają się jeszcze naprężenia zależne od technologii wykonania zestawu kołowego a przede wszystkim od naprasowania koła bosego na oś.

Istnienie tych naprężeń jest źródłem powstawania defektów zestawu kołowego a przede wszystkim zewnętrznych i wewnętrznych pęknięć obręczy lub osi zestawu.

Intensywne nagrzewanie koła podczas hamowania oraz szybkie jego ochładzanie przy wychodzeniu ze strefy hamowania, prowadzi do zmian strukturalnych metalu na powierzchni tocznej obręczy. Normalne i miejscowe ścieranie obręczy zestawu kołowego, obciążenia cieplne oraz zmiany strukturalne, którym podlega powierzchnia toczna koła, powodują jej intensywne zużycie, powstawanie deformacji plastycznych i różnego rodzaju miejscowych defektów. Narastanie tych defektów oraz szybkość zużycia profilu zestawu kołowego zależy od wielu czynników, jak np.: warunków eksploatacji, składu chemicznego stali, właściwości mechanicznych wózka, twardości szyn i wstawek hamulcowych, rozmiarów zestawu kołowego, jakości technologii produkcji i naprawy zestawu kołowego, pory roku i warunków klimatycznych.

W CNTK prowadzono badania zużycia profilu obręczy zestawów, wybranych serii pojazdów - poniżej przedstawiono uzyskane rezultaty z badań zużycia profilu obręczy niektórych serii pojazdów szynowych.

2. WYNIKI BADANIA ZUŻYCIA OBRĘCZY ZESTAWÓW KOŁOWYCH LOKOMOTYW ELEKTRYCZNYCH EU07 i ET22

Badania zużycia profilu obręczy zestawów kołowych lokomotyw elektrycznych zrealizowano w latach 1976-1980 [1]. Lokomotywa ET22 posiada jak wiadomo układ osi CoCo i nie posiada czopa skreću a podatność wózka przy wchodzeniu w łuki zapewniona jest przez elastyczne wstawki gumowe.

W czasie badań stwierdzono bardzo intensywne procesy zużycia profilu obręczy a szczególnie podcinanie obrzeża na zestawie 2 i 5 lokomotyw ET22. Wspomniany proces podcinania obrzeża występuje przy wchodzeniu pojazdu w łuki - głównie na liniach górskich.

W badaniach warunków pracy zestawu kołowego uwzględniano czynniki, które w zasadniczy sposób wpływają na rodzaj i szybkość zużycia obręczy - do czynników tych zalicza się:

- naprężenie kontaktowe, które osiagają wartości ok. 12 MPa,
- temperaturę w miejscu współpracy obręczy z szyną i wstawką hamulcową, która może dochodzić do 300°C a nawet lokalnie do 1000°C,

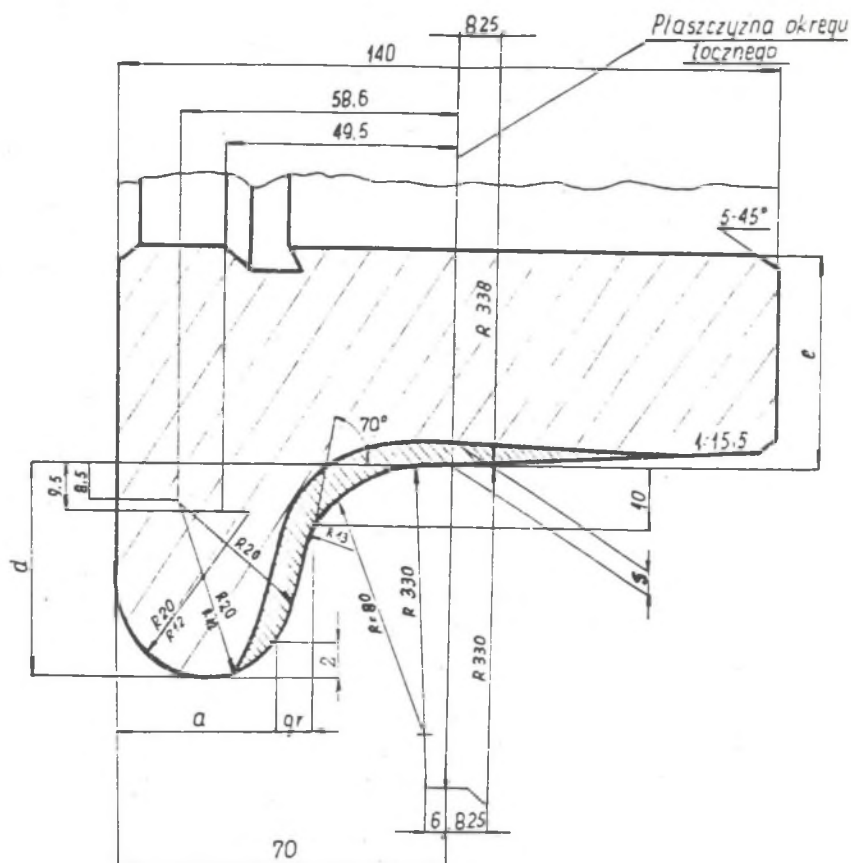
- prędkość liniową obręczy osiągającą wartość do 120 km/h,
- profil szlaku, na którym eksploatowany jest dany pojazd.

Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono następujące rodzaje zużycia obwódki zestawów kołowych lokomotyw elektrycznych:

- zużycie ściernie powierzchni tocznej obręczy,
- zużycie ściernie obrzeża obręczy,
- zużycie plastyczne powierzchni tocznej.

Istotnym uszkodzeniem obręczy podczas eksploatacji jest także jej poluzowanie na kole bosym.

Jako wartości dopuszczalne zużycia obręczy można przyjąć niżej wymienione wartości - zgodnie z rys. 1.



Rys. 1. Profil obręczy zestawu kołowego

$$a_{\min} = 22 \text{ mm}, q_r = c = 0,0 \text{ mm}, d = 25\text{-}36 \text{ mm}, e_{\min} = 40 \text{ mm}, s_{\max} = 5 \text{ mm}$$

Fig. 1. Tyre profile of wheelset

1. Największe miejscowe wytarcie na powierzchni tocznej mierzone w płaszczyźnie okręgu tocznego nie może przekraczać 2 mm.
2. Największe zużycie obręczy na powierzchni tocznej mierzone w płaszczyźnie okręgu tocznego po promieniu największego zużycia (wymiar "s" na rys. 1) nie może przekraczać 5 mm.
3. Największa dozwolona grubość obręczy w płaszczyźnie okręgu tocznego po promieniu największego zużycia (wymiar "e" na rys. 1) nie może przekraczać 40 mm (dla pojazdów kursujących z prędkością $v = 160 \text{ km/h}$, $e_{\min} \geq 50 \text{ mm}$).
4. Podcięcie obrzeża mierzone 10 mm powyżej okręgu tocznego koła (wymiar q_r na rys. 1) nie może przekraczać 9 mm, a suma podcięć obu obrzeży kół tego samego zestawu nie może przekraczać 15 mm.
5. Grubość obrzeża obręczy, mierzona na obwodzie zakreślonym promieniem o 10 mm większym od promienia okręgu tocznego nie może być mniejsza niż 22 mm, a suma grubości obu obrzeży powinna wynosić co najmniej 48 mm.
6. Dopuszczalna wysokość obrzeża, mierzona od okręgu tocznego w miejscu największego zużycia powierzchni tocznej powinna być nie mniejsza niż 25 mm, a nie większa niż 36 mm.
7. Dopuszczalna odchyłka w średnicach okręgów tocznych kół jezdnych zestawu może wynosić 0,5 mm na każde 1000 mm średnicy kół.

Odpowiednie pomiary zużycia obręczy wykonano w ZNLE Gliwice i lokomotywni Kraków-Prokocim oraz lokomotywni Dębica, na specjalnie przygotowanych kartach pomiarowych [1].

W czasie wykonywania pomiarów rejestrowano wszystkie uszkodzenia zestawu kołowego. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 1. Z zestawienia w tabeli 1 wynika, że rozwalcowanie obręczy stanowi podstawowy problem skracający trwałość obręczy. Celem zlikwidowania tego stanu rzeczy niezbędne były odpowiednie badania dotyczące poprawności doboru materiału na obręcz.

Tabela 1

Wartości zużycia obręczy

Lokomotywa	EU07		ET22	
	szt.	%	szt.	%
Liczba badanych obręczy	160	100	108	100
Rozwalcowanie obręczy	$15' + 66'' = 81$	49,7	$5' + 28'' = 33$	30,6
Poluzowanie obręczy	$7' + 6'' = 13$	8,1	$2' + 4'' = 6$	5,6
Płaskie miejsca	1 = 1	0,6	-	-

' - oznacza jedną obręcz zestawu,

" - oznacza drugą obręcz zestawu.

Poluzowanie obręczy chociaż stanowiło mały procent zdarzeń, to jednak ze względu na bezpieczeństwo jazdy było niepokojącym czynnikiem. Przyczyną tego zjawiska był niewłaściwy dobór kojarzonych ze sobą obręczy i koła bo-

sego ze względu na wymiary średnic. Przemawia za tym także fakt, że 50% omawianych uszkodzeń występuje tylko przy jednej obręczy danych zestawów, mimo że cały zestaw posiada te same warunki pracy.

Podczas badań mierzono parametry wymienione niżej:

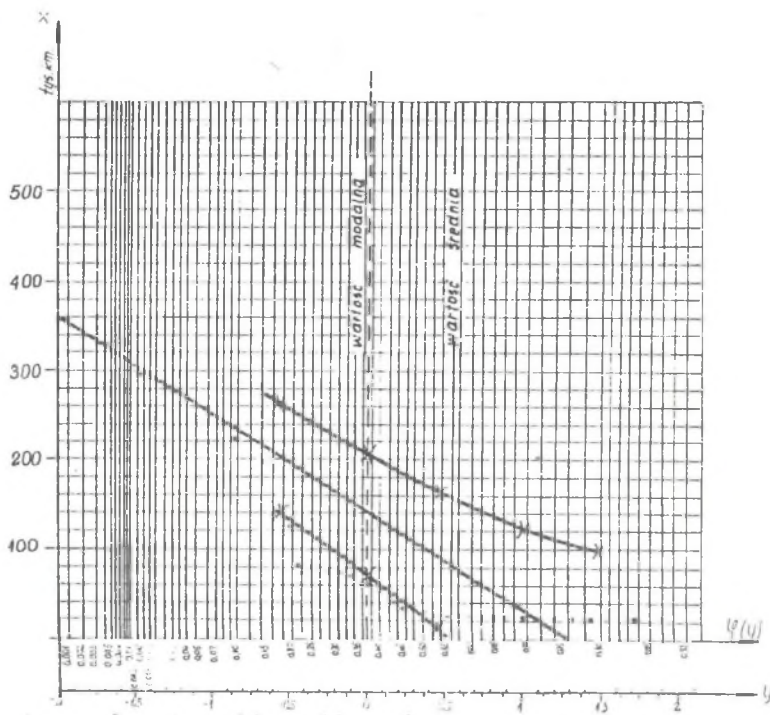
dla lokomotywy EU07:

- a - zużycie powierzchni tocznej obręczy, wymiar s na rys. 1,
b - podcięcie obrzeża obręczy, wymiar q_r rys. 1 - trasy nizinne,
c - podcięcie obrzeża obręczy, wymiar q_r rys. 1 - trasy górskie,

dla lokomotywy ET22:

- a - zużycie powierzchni tocznej obręczy, wymiar s rys. 1,
b - podcięcie obrzeża, wymiar q_r rys. 1.

Na podstawie dokonanych pomiarów zużycia profilu obręczy wyznaczono wartości średnie i odchylenia standardowe przebiegu międzynaprawczego liczonego w tys. km. tabela 2.



Rys. 2. Prawdopodobieństwo rozkładu trwałości dla zestawów kołowych - podcięcie obrzeża, EU07, Kraków, trasy górskie

Fig. 2. Probability of life distribution for wheelset - EU007 Kraków - mountain railways

Tabela 2

Wartości przebiegu lokomotyw limitowane wielkością zużycia
profilu obręczy zestawów kołowych

Seria lokomotyw	Wartość parametru określającego wielkość przebiegu międzynaprawczego lokomotywy	Średnia wartość przebiegu [km]	Odchylenie standardowe przebiegu [km]
EU07	Dopuszczalne zużycie powierzchni tocznej $s = 5 \text{ mm}$	211337	57770
	Podcięcie obrzeża trasy nizinne $q_r = 6,5 \text{ mm}$	363251	133873
	Podcięcie obrzeża trasy górskie $q_r = 6,5$	86027	119214
ET22	Dopuszczalne zużycie powierzchni tocznej $s = 5 \text{ mm}$	242545	89941
	podcięcie obrzeża $q_r = 6,5$	275081	129899

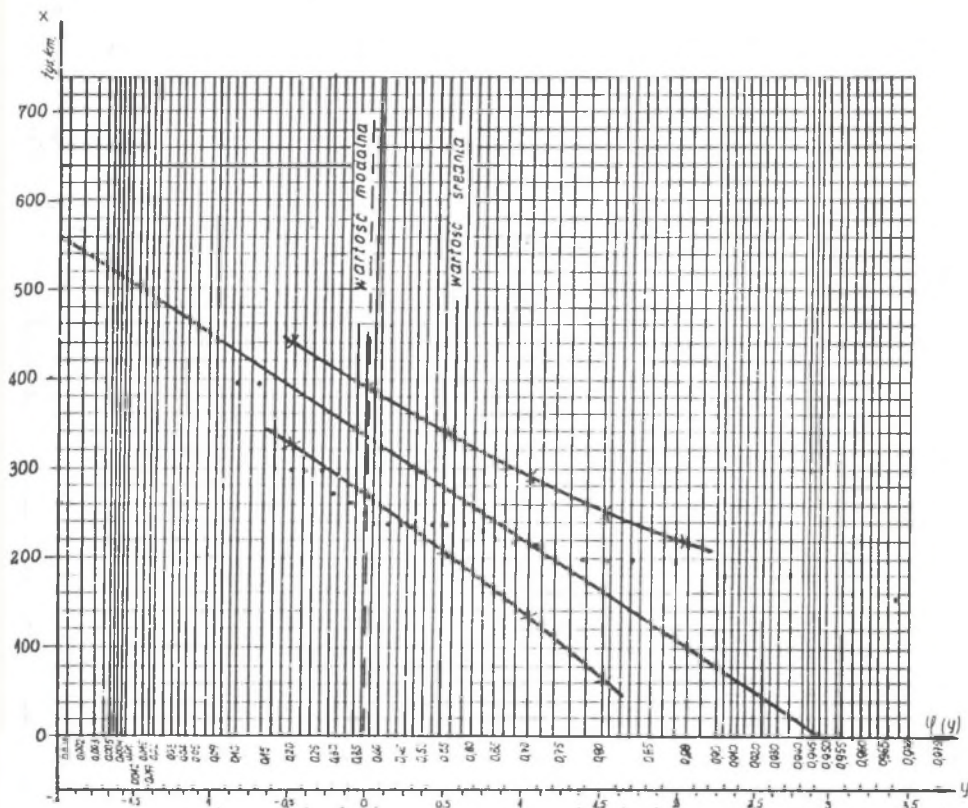
Wyznaczony w apracy [1] rozkład trwałości dla zestawu kołowego lokomotywy EU07 ze względu na podcięcie obręczy zestawu przedstawiono na siatce Gumbela - rys. 2, a dla lokomotywy ET22 na rys. 3. Analiza ww. rysunków wskazuje, że wielkość q_r ogranicza przebieg międzynaprawczy pojazdu, a kąt pochylenia prostej wskazuje zakres zmiany przebiegu pojazdu liczony w tys. km. Wprowadzenie smarowania obręczy kół powinno przynieść istotną poprawę w zużyciu obrzeża zestawu. Zbyt duże jest również zużycie powierzchni tocznej obręczy. Wprowadzenie nowoczesnych materiałów z odpowiednimi dodatkami stopowymi powinno przynieść istotną poprawę - tzn. zmniejszyć intensywność zużycia.

3. WYNIKI BADANIA ZUŻYCIA OBRĘCZY ZESTAWÓW KOŁOWYCH ezł EN57

Badania dotyczące oceny stopnia zużycia części i podzespołów elektrycznych zespołów trakcyjnych EN57 dla określenia optymalnej struktury cyklu naprawczego, prowadzono w latach 1976-1983 [2, 3].

Podczas realizacji pracy badano m.in. zużycie profilu obręczy zestawów kołowych - podcięcie obrzeża (q_r) i zużycia obręczy w płaszczyźnie koła tocznego (s) - rys. 1.

Badania prowadzono w dwóch etapach: etap I obejmował pomiary zużycia części i podzespołów w okresie użytkowania elektrycznych zespołów trakcyjnych EN57



Rys. 3. Prawdopodobieństwo rozkładu trwałości dla zestawów kołowych - podcięcie obrzeża obręczy ET22. Dębica

Fig. 3. Probability of life distribution for wheelset - ET22 Dębica

od wyprodukowania pojazdu do pierwszej naprawy rewizyjnej - dla nominalnego przebiegu pojazdu 135 tys. km oraz etap II, który obejmował pomiary zużycia części i podzespołów ezt EN 57 w okresie użytkowania od pierwszej naprawy rewizyjnej do drugiej naprawy rewizyjnej - dla nominalnego przebiegu 150 tys. km [3].

Rzeczywiście uzyskane przebiegi ezt EN57 w I etapie zawierały się w przedziałach 94850 - 166076 km, przy średniej wartości przebiegu 132081 km. W II etapie przebieg ezt wynosił od 102992 - 169384 a wartość średnia przebiegu wynosiła 145460 km.

Osiągnięcie wymiaru granicznego zużycia profilu obręczy, tj. podcięcia obrzeża $q_r = 6,5$ mm oraz grubości obręczy $s = 5$ mm, traktowano jako 100% zużycia /zasobu - resursu), a przypadki kilkakrotnego przekroczenia dopuszczalnego zużycia (nie dotyczyło to profilu obręczy) traktowano jako źródło zawodności konstrukcji. W czasie badań zużycia profilu obręczy ezt mierzono w ZNTK wartości q_r i s posługując się specjalnie skonstruowaną suwmiarką.

Przestrzegano zasady aby grubość obręczy spełniała warunek $e \geq 40$ mm. Ze-stawienie zużycia profilu obręczy - średnio z trzech pomiarów wartości q_r i s przedstawiono w tabeli 3. Rozwalcowania obręczy nie stwierdzono [5].

Tabela 3

Wartości zużycia q_r i s

Etap badań	Wartość q_r [mm]	q_r wart. śred. [mm]	σ - od- chylenie standar- dowe	Wartość s [mm]	s wart. śred. [mm]	σ_s [mm]
I	7; 10; 9; 6; 6; 7; 9; 9,5; 5; 8,2; 8,7; 9,2; 9,2; 12; 9; 9,5; 8,3; 10; 9,2; 7,7; 7; 9; 8,7; 9; 9,1; 8; 8,3; 8,9; 9; 9; 9,5; 10; 10; 8; 8,2; 8,2; 9; 9; 7,2; 7,5; 8; 12; 12,2; 9; 9,7; 9,6; 9; 8,5; 8,3; 8; 9; 10; 10; 11,1; 11,9; 11,5; 11,7; 11,6; 10,2; 9,3; 9,1; 9,8; 8,7; 8,4; 9,2; 9,7; 9,16; 7,61; 8,1; 8,3; 9,5; 9,4; 8; 9,1; 9,8; 10; 10,2; 11; 11; 11,7;	9,2	1,38	2,1; 2,5; 3,5; 3,8; 1,8; 1,9; 2,2; 2,9; 3,1; 4,8; 4,2; 4,5; 4; 3,8; 2,9; 2,9; 2,9; 3,1; 3,2; 3,1; 3,3; 3,6; 3,7; 4; 4,17; 4,9; 4,8; 4,7; 4,9; 4,8; 4,7; 4,4; 3,7; 3,5; 3,13; 4,5; 4,4; 4,3; 2,9; 3,15; 3,8; 3,9; 3,1; 4,6; 4,5; 4,4; 4,1; 4,1; 3,6; 3,6; 3,6; 3,9; 2,11 2,9; 2,8; 3,3; 2,6; 2,5; 4,8; 3,9; 3,7; 3,1; 4,2; 4; 4,9; 4,8; 3,9; 3,9; 3,6; 4,1	3,6	0,8
II	6,5; 7,9; 8,1; 7,3; 9,1; 9,2; 7,2; 7,4; 7,9; 8,1; 9,2; 8,3; 9,3; 10,9; 10,1; 4,8; 5,5; 10,3; 9,4; 9,7; 10,3; 9,1; 10,5; 10,2; 9,7; 7,1; 7; 9,9; 9,3; 8,9; 9,3; 9,1; 9,3; 8,5; 8,4; 8,6; 8,7; 7,6; 7,2; 9,2; 9,5; 9,1; 8,3; 8,6; 8,8; 9,6; 9,6; 8,6; 8,2; 9,2; 11; 7,5; 10; 8,6; 8,1; 10,5; 8,7; 9,5; 8,3; 10; 9; 7,9; 8,3; 8,7; 9,6; 9,9; 9,1; 8,5; 10,8; 7,4; 6,5; 9,9; 9; 8,6; 7,2; 7,6; 9,5	8,7	1,7	2,5; 4,3; 5,1; 4,3; 4; 3,8 3,2; 2,8; 2; 2,3; 2,5; 2,9; 3,3; 3,8; 3,2; 3,4 3,9; 3; 2,1; 2,7; 3,2; 3,4; 3,6; 4,2; 5; 4,1; 2,1; 3; 1,9; 2; 2,1; 3; 3,7; 3,5; 4; 4,1; 3,1; 4,1; 4,6; 4,2; 4,1; 5; 4,8; 3,1; 3,8; 3,5; 4,2; 4,6; 3,5; 3,4; 3,7; 2,7; 2,9; 2,1; 2,5; 5; 3,2; 3,1; 3; 5; 3,7; 3,1; 2,7; 4,4; 4,5; 4,3; 1,9; 2,1; 5,2; 5,3; 3,8; 3,9; 3,7; 4; 4,5; 5; 3,7	3,5	0,9

W I etapie badania stwierdzono 3 przypadki, tzw. "płaskich miejsc" a w II etapie badań odnotowano 5 przypadków tego typu. Z analizy danych zawartych w tabeli 3 wynika, że przy nominalnym przebiegu ezł występuje znaczne przekroczenie podcięcia obrzeża obręczy.

4. BADANIE ZUŻYCIA OBRĘCZY WAGONÓW TOWAROWYCH

Analizy zużycia profilu obręczy wagonów towarowych 4-osiowych dokonano na podstawie przeprowadzonych badań w ZNTK Gdańsk, ZNTK Stargard i ZNTK Ostrów Wielkopolski. Badaniami objęto 180 szt. wagonów typu 401Zb; 401 Wb i 401 Ka [4]. W czasie badań rejestrowano zużycie: obrzeża q_r i obręczy s - rys. 1. Uzyskane wyniki badań zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Wyniki badań zużycia profilu obręczy

Rodzaj parametru	Typ wagonu	Liczba pomiarów	Dopuszczalne zużycie [mm]	Średnia wartość zużycia [mm]	Wskaźnik zużycia [mm/rok]	Trwałość [lat]	Błąd względny [%]
q_r - podcięcie obrzeża	401 K	q_r 348	7,0	1,29	0,43	16,3	8,8
		s 348	7,0	1,50	0,5	12,0	7,5
s - zużycie okręgu tocznego	401 Z	q_r 478	7,0	2,03	0,88	10,3	5,2
		s 477	7,0	3,24	1,08	5,6	4,0
	401 W	q_r 474	7,0	2,55	0,85	8,2	9,1
		s 478	7,0	3,05	1,02	5,9	7,1

Wskaźnik zużycia obrzeża obręczy zestawów kołowych dla poszczególnych typów wagonów wynosił:

wagon 401 Ka - 0,43 mm/rok,
wagon 401 Zb - 0,88 mm/rok,
wagon 401 Wb - 0,85 mm/rok.

Nieco większe wartości zużycia otrzymano na okręgu tocznym:

dla 402 Ka - 0,5 mm/rok,
dla 401 Zb - 1,08 mm/rok,
dla 401 Wb - 1,02 mm/rok.

Dla wartości kresowej wymiaru q_r równego 7 mm, okres pracy obręczy dla tych wagonów wynosi:

- dla wagonów krytych - 12 lat,
- dla węglarko-platform - 5,6 roku,
- dla węglarek - 5,9 lat.

Z powyższego wynika, że w przypadku normalnego zużycia, obręcz może być użytkowana od 4-5 lat. Konieczność wcześniejszej naprawy obręczy występuje w przypadku, tzw. "płaskich miejsc" lub miejscowych narostów - "nalepów", które powstają w wyniku wad materiału obręczy lub niesprawności układu hamulcowego.

Wymiar graniczny zużycia $s = 2$ mm, obręcze uzyskują znacznie wcześniej: wagony kryte po 3,4 latach, wagony-platformy i węglarki po 1,6 roku. Można zatem powiedzieć, że parametry s i q_r ograniczają przebieg wagonów towarowych.

5. ZAKOŃCZENIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawione wyniki badań zużycia profilu obręczy zestawów kołowych nie wyczerpują całości zagadnienia. Intensywne zużycie profilu obręczy występuje przede wszystkim na taborze użytkowanym na liniach górskich. Dla przeciwdziałania temu niekorzystnemu zjawisku wprowadza się urządzenia do smarowania obrzeży obręczy zestawów kołowych pojazdów trakcyjnych.

Reasumując można wysnuć następujące wnioski:

1. Nadmierne zużycie profilu obręczy stwierdza się we wszystkich seriach taboru a szczególnie w pojazdach trakcyjnych.
2. Szczególnie duże podcięcia obrzeża zestawów kołowych występują na 2 i 5 zestawie lokomotywy Et 22.
3. W związku z wprowadzeniem hartowania szyn, należy ustalić nominalną (optymalną) wartość twardości obręczy zestawów kołowych.
4. Proces zużycia profilu obręczy zestawów kołowych podstawowych serii taboru powinien być śledzony w sposób ciągły.

LITERATURA

- [1] Z. Lisowski i in.: Określenie trwałości i niezawodności lokomotyw elektrycznych EU 07 i ET 22. PK Kraków 1978.
- [2] J. Marciniak: Ocena stopnia zużycia części i podzespołów elektrycznego zespołu trakcyjnego EN 57 dla określenia optymalnej struktury cyklu naprawczego, COBiRTK, Warszawa 1976.
- [3] J. Marciniak: Ocena stopnia zużycia części i podzespołów elektrycznego zespołu trakcyjnego EN 57, Przegląd Kolejowy Mechaniczny 11-12/1976.
- [4] A. Snarski: Badania zużycia wagonów towarowych 4-osioowych z zastosowaniem ETO, COBiRTK, Warszawa 1975.
- [5] M. Zaorski: Analiza serii EN 57 wykonanych w ZNTK Mińsk Maz. COBiRTK, Warszawa 1983.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan Broś

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЕС
ИЗБРАННЫХ СЕРИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Р е з ю м е

В работе представляются результаты исследований износа профиля поверхности катания колес электрических локомотивов ET 21 ЕУ 07 электросекции ЕН 57 и грузовых вагонов.

BOGIE TYRES WEAR RESEARCH OF THE SELECTED
RAILWAYS VEHICLES SERIES

S u m m a r y

This paper presents results wheelset tyre profile wearing of electric locomotives EO 07, ET 22, electric units EN 57, and chosen classes freight - cars.