

Koło obręczowane – szczególne zdarzenie wypadkowe

Ireneusz MIKŁASZEWICZ¹

Streszczenie

W artykule przedstawiono szczególny przypadek zdarzenia wypadkowego, którego przyczyną była obręcz koła bosego i koło bosc. W wyniku dokładnej analizy zdarzenia oraz wykonanych badań wytrzymałościowych i metaloznawczych stwierdzono, że bezpośrednią przyczyną zdarzenia wypadkowego była poluzowana obręcz koła bosego, która podczas przejazdu przez rozjazd uległa przemieszczeniu powodując wykolejenie wagonu towarowego. Analizę zdarzenia wykonano na podstawie dokumentacji powypadkowej, natomiast badania przeprowadzono zgodnie z normą PN-84/H-84027/06 i Kartą UIC 810-1:200.

Słowa kluczowe: zdarzenie wypadkowe, rozjazd kolejowy, obręcz, koło obręczowane

1. Wstęp

Elementy jezdne wagonu, a w szczególności zestawy kołowe obręczowane, w głównej mierze decydują o bezpieczeństwie jazdy pociągu. Dlatego jakość tych elementów powinna być podstawowym czynnikiem dbałości o wykonawstwo oraz utrzymanie w wymaganej sprawności technicznej zestawów kołowych pojazdów kolejowych.

Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji Instytutu Kolejnictwa wykonuje ekspertyzy oraz prace związane z wyjaśnieniem okoliczności kolejowych zdarzeń wypadkowych. W 2018 roku na linii kolejowej nr 355, zaistniało zdarzenie wypadkowe pociągu towarowego z kołami obręczowanymi. Pociąg składał się z 44 wagonów wyładowanych tłuczniem kamiennym. Wykolejenie pojedynczego wagonu nastąpiło w środku składu pociągu, powodując jego rozerwanie i wykolejenie innych wagonów. W konsekwencji bardzo poważnemu uszkodzeniu uległo 11 wagonów (rys. 1 i 2).

Celem ustalenia przyczyny wypadku przeprowadzono analizę dokumentacji powypadkowej zdarzenia oraz wykonano badanie wytrzymałościowe i metaloznawcze obręczy koła bosego uszkodzonego zestawu kołowego wagonu towarowego. Na tej podstawie ustalono przyczyny przemieszczenia się obręczy koła, którego skutkiem było wykolejenie wagonu. Poza zniszczeniem wagonów, zdarzenie to pociągnęło za sobą duże straty w postaci znacznego uszkodzenia nawierzchni kolejowej torów i rozjazdów, z okresowym wyłączeniem ich z eksploatacji.



Rys. 1. Wykolejony wagon po zdarzeniu wypadkowym
[fot. I. Mikłaszewicz]

2. Materiał do badań

Materiałem do wyjaśnienia zdarzenia wypadkowego była dokumentacja powypadkowa, jak również dokumenty z wcześniej przeprowadzonych rewizji i napraw uszkodzonych wagonów. Dostarczono także uszkodzone zestawy kołowe wagonu, który jako pierwszy wykoleił się. Na rysunku 3 pokazano koło bosc z poluzowaną i przemieszczoną obręczą o około 30 stopni, natomiast na rysunku 4 pokazano miejsce

¹ Mgr; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; e-mail: imiklaszewicz@ikolej.pl.

ścięcia pierścienia zaciskowego. Z obręczy wykonano próbki do badań wytrzymałościowych i metalograficznych.



Rys. 2. Wykolejony wagon po zdarzeniu wypadkowym [fot. I. Mikłaszewicz]



Rys. 3. Koło bosc z poluzowaną obręczą [fot. I. Mikłaszewicz]



Rys. 4. Miejsce ścięcia pierścienia zaciskowego [fot. I. Mikłaszewicz]

3. Wyniki badań

3.1. Analiza dokumentacji powypadkowej

Z analizy dokumentacji wynika, że wszystkie pojazdy biorące udział w zdarzeniu wypadkowym miały pozytywne protokoły sprawności technicznej, były sprawne technicznie i łącznie z lokomotywą dopuszczone do ruchu.

Analiza kart pomiarowych zestawów kołowych wykolejonych wagonów wskazuje, że podczas napraw w zakładach naprawczych wykonano przegląd zestawów z pomiarem parametrów zestawów, a także na wybranych zestawach dokonano przetoczenia zarysu obręczy. Wszystkie osie zestawów kołowych były badane ultradźwiękowo. Na analizowanych kartach pomiarowych zestawów kołowych nie znaleziono wpisu dotyczącego znaków malowania farbą na zewnętrznej powierzchni wieńców kół obręczowanych.

Przed wyprawieniem pociągu na szlak, wykonano próbę hamowania pociągu. Wyniki zamieszczono w karcie próby hamulca i urządzeń pneumatycznych, z której wynikało, że przy wymaganej masie hamującej 1198 t, masa rzeczywista wynosiła 1231 t. Rzeczywisty procent masy hamującej wynosił 49%, przy wymaganych 48%. Według dokumentacji, w składzie pociągu znajdowały się trzy wagony z nieczynnym hamulcem.

3.2. Badania wytrzymałościowe

Badaną obręcz wykonano ze stali gatunku P55A według polskiej normy PN-84/H-84027/06:1984 [2]. Skład chemiczny obręczy odpowiadał także gatunkowi B2 według Karty UIC 810-1:2003 [1]. W związku z tym skład chemiczny badanej obręczy zakwalifikowano jako gatunek P55A oraz jako gatunek B2.

Z uszkodzonej obręczy wykonano badania wytrzymałościowe (tabl. 1), na podstawie normy PN-EN ISO 6892-1:2010 [3]. Uzyskane wyniki granicy plastyczności są niezgodne z wymaganiami normy PN-84/H-84027/06, która zaleca dla gatunku P55A w stanie normalizowanym odpowiednio $Re = \min 430,0 \text{ MPa}$ oraz $Rm = (800-920) \text{ MPa}$, natomiast właściwości wytrzymałościowe materiału obręczy według Karty UIC 810-1:2003 mieszczą się w zakresie, tj. $Rm = (700-820) \text{ MPa}$.

Tablica 1

Właściwości wytrzymałościowe badanej obręczy

Badana wielkość	Nr próbki	NP95 [%]	Właściwości mechaniczne
	A		
Re [MPa]	401,9	±2,3	401,9±9,2
Rm [MPa]	736,1	±2,1	736,1±15,5
A ₅ [%]	20,2	±3,4	20,2±0,7
Z [%]	36,7	±3,3	36,7±1,2

[Opracowanie własne].

Badanie udarności przeprowadzono na próbkach wzdłużnych i poprzecznych wyciętych z uszkodzonej obręczy (tabl. 2). Otrzymano średnie wartości udarności na próbkach wzdłużnych obręczy $KCU = (34,5 \pm 1,9) \text{ J/cm}^2$ i próbkach poprzecznych $KCU = (20,9 \pm 1,1) \text{ J/cm}^2$. Wartości udarności spełniają wymagania zawarte w normie PN-84/H-84027/06 oraz w Karcie UIC 810-1. Wymagana wartość udarności dla gatunku P55A dla stanu normalizowanego wynosi min. $20,0 \text{ J/cm}^2$.

Tablica 2

Właściwości udarności badanej obręczy

Nr obręczy A	Kierunek badania	Udarność KCU [J/cm^2]			NP95 [%]	Wartość średnia
		1	2	3		
A1	wzdłużny	34,5	35,6	33,5	5,5	$34,5 \pm 1,9$
A2	poprzeczny	21,6	15,7	25,4	5,5	$20,9 \pm 1,1$

[Opracowanie własne].

Badanie twardości sposobem Brinella HBW wykonano na powierzchni tocznej obręczy oraz na przekroju poprzecznym, a także na przekroju poprzecznym ściętego pierścienia zaciskowego (tabl. 3). Twardość obręczy HBW mierzona kulką o średnicy 10 mm, wynosiła średnio $(211 \pm 6,3)$ jednostek twardości Brinella, zaś twardość HBW pierścienia zaciskowego $(128 \pm 3,9)$ jednostek. Zgodnie z normą PN-84/H-84027/06, dla gatunku P55A w stanie normalizowanym, twardość HBW winna wynosić minimum 201 HBW, a więc twardość badanej obręczy była zgodna z normą. Natomiast pierścień zaciskowy wykonano ze stali niskowęglowej o niskiej twardości i małej wytrzymałości.

Tablica 3

Wyniki twardości HBW uszkodzonej obręczy

Nr próbki – miejsce HBW	Twardość Brinella [HBW]	
	Powierzchnia badana	Wartość średnia
Powierzchnia toczna obręczy	216, 215, 222, 213, 202	$211 \pm 6,3$
Przekrój poprzeczny pierścienia zaciskowego	128	$128 \pm 3,9$
NP95 [%]	$\pm 3\%$	

[Opracowanie własne].

3.3. Badania metalograficzne

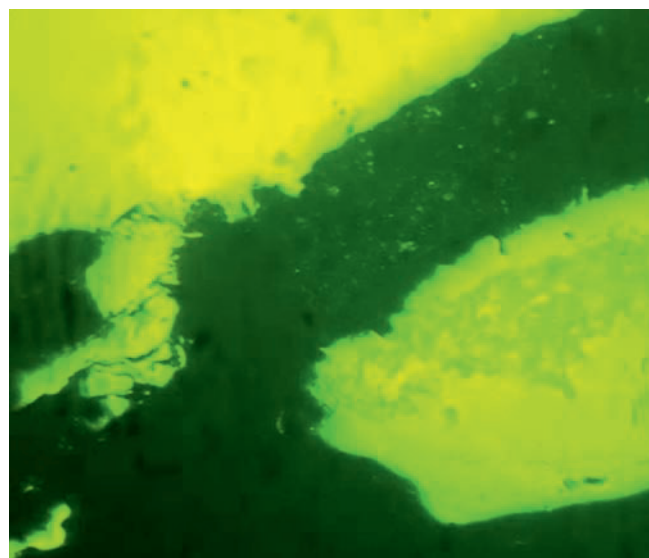
Badanie makrostruktury przeprowadzono za pomocą próby Baumanna na próbce wyciętej poprzecznie

z badanej obręczy. Na odbitce Baumanna (rys. 5) nie ujawniono wad w postaci nieciągłości i dużych wtrąceń niemetalicznych. Rozkład siarki na przekroju jest w miarę równomierny, z niewielką segregacją siarki na obrzeżach obręczy. Na odbitce widoczne jest także osadzenie pierścienia zaciskowego w rowku obręczy z całkowitym ścięciem części mocującej w kole bosym.

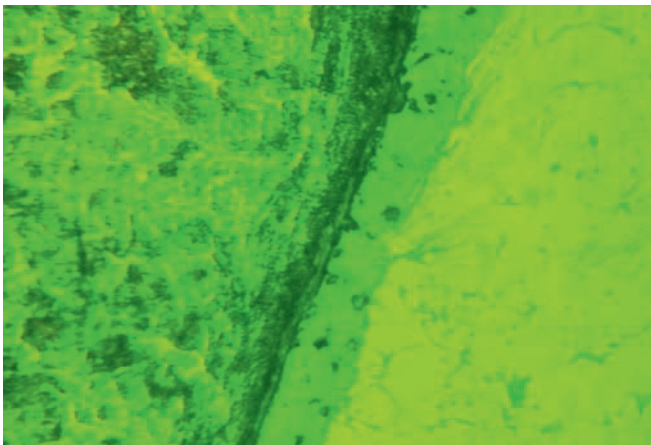


Rys. 5. Odbitka Baumanna obręczy z widocznym ścięciem pierścienia zaciskowego [fot. I. Mikłaszewicz]

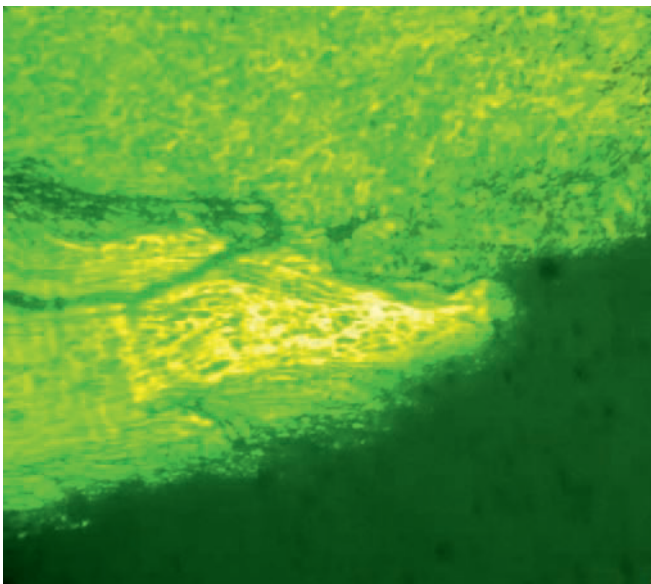
Badanie mikrostruktury wykonano na próbkach pobranych z uszkodzonej obręczy. Na rysunkach 6, 7, 8, pod powiększeniem 400x, pokazano stan osadzenia pierścienia zaciskowego w obręczy. Na rysunku 6 widoczne jest wyjście ściętego pierścienia zaciskowego z rowka mocującego obręczy, natomiast na rysunku 7 pokazano powierzchnie styku pierścienia zaciskowego i obręczy pokryte warstwą korozji. Na rysunku 8 widoczne jest również wyjście pierścienia zaciskowego obręczy z widocznym efektem ścinania w postaci silnego zniekształcenia materiału.



Rys. 6. Fragment wyjścia pierścienia zaciskowego z rowka obręczy [opracowanie własne]



Rys. 7. Powierzchnia styku pierścienia i rowka mocującego obręczy [opracowanie własne]



Rys. 8. Miejsce ścięcia pierścienia zaciskowego obręczy [opracowanie własne]

3.4. Badanie geometrii uszkodzonego koła

Wyniki pomiarów uszkodzonego koła bosego pokazały dużą różnicę wymiaru średnicy, mierzoną w czterech punktach, na wieńcu koła bosego o kształcie parabolicznym. Średnica w krańcowych punktach pomiarowych, tj. w dwóch punktach różniła się o 18,8 mm. Świadczy to o ścinaniu się powierzchni wieńca koła bosego w wyniku tarcia powierzchniowego na skutek hamowania i obracania się obręczy z mniejszą prędkością liniową niż koło bose.

Pomiary geometrii obręczy potwierdziły dużą różnicę średnicy wewnętrznej wynoszącą 11,6 mm. Jest to potwierdzeniem zjawiska tarcia obręczy oraz koła bosego. Poza tym powierzchnia toczna uszkodzonej obręczy wykazała brak prawidłowego profilu wieńca.

4. Prawdopodobne przyczyny zdarzenia wypadkowego

Przed miejscem zdarzenia wypadkowego wagony musiały przejechać trzy rozjazdy. Na pierwszym rozjeździe, prawdopodobnie za krzyżownicą, nastąpiło wykolejenie zestawu kołowego wagonu na prawą stronę. W stanie wykolejonym wagon przejechał jednym zestawem kołowym do drugiego rozjazdu, na którym wykoleił się, o czym świadczyły ślady na podkładach. Na tych rozjazdach wykoleiło się łącznie 11 wagonów.

Należy przypuszczać, że wagon z poluzowaną obręczą wjechał prawym kołem na krzyżownicę rozjazdu i następnie wykoleił się jedną osią na prawą stronę. W dalszej kolejności, na krzyżownicy rozjazdu drugiego, wykoleił się zestaw kołowy następnego wagonu, spowodowany ściąganiem wagonu z rozjazdu przez wykolejony wagon. Na skutek oporów jazdy wagonów (po podkładach i systemie przytwierdzeń) przez zniszczone rozjazdy, nastąpiło rozzerwanie się składu pociągu z dalszymi konsekwencjami, w postaci przewrócenia się wagonów i zablokowania torów. Dodatkowo, przewożony ładunek (w postaci tłucznia kamiennego) ulegał przemieszczeniu, przyczyniając się do przewrócenia wagonów w czasie wykolejenia.

Wydaje się, że najbardziej prawdopodobną oraz bezpośrednią przyczyną zdarzenia wypadkowego było przemieszczenie się obręczy na kole bosym zestawu kołowego wagonu na skutek przejazdu przez rozjazdy. W wyniku długoletniej eksploatacji, obręcz na kole uległa poluzowaniu. W początkowym stadium, hamowanie powodowało niewielkie przesuwanie się obręczy na kole bosym. W miarę dalszej eksploatacji, przesunięcia obręczy na kole bosym powiększyły się na skutek tarcia powierzchni wewnętrznej obręczy i wieńca koła bosego, powodując uszkodzenia pierścienia zaciskowego. Obracanie się koła bosego z jednoczesnym hamowaniem luźnej obręczy, spowodowało ścięcie części pierścienia zaciskowego zabezpieczającego obręcz przed spadnięciem z koła bosego. Dalsza eksploatacja powodowała całkowite starcie pierścienia zaciskowego, przyczyniając się do powstania znacznego luzu obręczy na kole bosym.

Powodem luzowania się obręczy na kole bosym, który również był brany pod uwagę, była możliwość, że producent osadził obręcz na kole bosym z minimalnymi odchyłkami.

5. Wnioski

1. Stwierdzono, że bezpośrednią przyczyną zdarzenia wypadkowego była najprawdopodobniej przemieszczona obręcz na kole bosym zestawu kołowego. Uniemożliwiło to właściwe prowadzenie wagonu po torze przez rozjazdy, co w konsekwencji przyczyniło się do wykolejenia wagonu towarowego.
2. Luzowanie się obręczy w czasie jazdy wagonu i występujące tarcie powierzchni wewnętrznej obręczy, a także wieńca

koła bosego, spowodowało ścięcie pierścienia mocującego obręcz na kole bosym oraz powstanie luzu między tymi powierzchniami. Również nie należy wykluczyć zbyt małej tolerancji wymiarowej przy montażu obręczy na koło bosc, co mogło przyczynić się do powstania „luźnej” obręczy w początkowym okresie eksploatacji wagonu.

3. Jednocześnie stwierdzono, że właściwości wytrzymałościowe badanych elementów kolejowych nie miały wpływu na zaistnienie powyższego zdarzenia wypadkowego.

Bibliografia

1. Karta UIC 810-1:2003: Technical specification for the supply of rough rolled non-alloy steel tyres for tractive and trailing stock.
2. PN-84/H-84027/06: Stal dla kolejnictwa – Obręcze do kół pojazdów szynowych – Gatunki.
3. PN-EN ISO 6892-1:2010: Metale – Próba rozciągania – Część I: Metoda badania w temperaturze pokojowej.

Opracowano na podstawie pracy pt. „Badanie obręczy koła zestawu kołowego wagonu po zdarzeniu na stacji Sośnie Ostrowskie”; autorzy: Ireneusz Mikłaszewicz, Dariusz Kowalczyk; Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji Instytutu Kolejnictwa, styczeń 2017.