

prof. dr hab. inż. Jerzy Kwaśnikowski
prof. dr hab. inż. Leszek Maldziński
dr inż. Jacek Borowski
mgr inż. Bartosz Firlik
mgr inż. Grzegorz Gramza
Politechnika Poznańska

Analiza przyczyn przyspieszonego zużycia powierzchni tocznych kół autobusu szynowego SA 108 (215M)

Wstępna analiza przyczyn niepokojąco szybkiego zużycia (z wyluszczeniami) powierzchni tocznych kół monoblokowych zestawów kołowych lekkiego pojazdu szynowego serii SA 108 z hamulcami tarczowymi. Wykonano badania metalograficzne i wytrzymałościowe najbardziej zużytego wieńca, oraz dokonano analizy sposobu eksploatacji pojazdu. Przypuszczalnymi przyczynami były: za mała zawartość węgla w stali, brak ulepszenia cieplnego wieńców kół oraz zbyt intensywne hamowania eksploatacyjne.

1. Wstęp

W autobusach szynowych serii SA 108 eksploatowanych na terenie Województwa Wielkopolskiego przez lokalny Zakład Przewozów Regionalnych PKP wystąpiło zjawisko zbyt intensywnego, przedwczesnego zużycia powierzchni tocznych kół monoblokowych, zarówno napędnych jak i tocznych. Zużycie wystąpiło nie tylko w postaci normalnego, równomiernego starcia powierzchni tocznej, ale też w postaci głębokich lokalnych ubytków (wżerów), wymuszających wcześniejsze niż deklarowane przez producenta wycofanie z eksploatacji zestawów kołowych celem przetoczenia kół.

Zjawisko to zaniepokoiło poważnie zarówno właściciela pojazdów (władze samorządowe), użytkownika, jak i producenta. Badania wstępne możliwych przyczyn tego zjawiska wykonano w Politechnice Poznańskiej [1], na wycofanych z eksploatacji najmocniej zużytych kołach autobusu szynowego SA 108-004. Dotychczas ZNTK Poznań S.A. wykonały partię 10 sztuk autobusów SA 108.

Przeprowadzono studium literaturowe problemu i stwierdzono, że rodzaje zużycia podobne do powstałych na kołach badanego autobusu nie są na świecie rzadkością; powstawały i są opisywane w fachowej literaturze angielskiej, amerykańskiej, japońskiej, jak również w polskiej i wielu innych. Dokonano więc opisu najczęściej występujących uszkodzeń powierzchni tocznych kół.

Dokumentację konstrukcyjną wózka i układu biegowego opracował dr inż. Ryszard Suwalski, natomiast obliczenia konstrukcyjne nadwozia wykonane zostały przez firmę Energocontrol sp. z o.o. w Krakowie. Badany autobus, oznaczony przez Wielkopolski Zakład Przewozów Regionalnych PKP numerem SA 108-004, jest autobusem typu 215M (oznaczenie konstrukcyjne ZNTK Poznań S.A.).

2. Opis obiektu badań

Przedmiotem ekspertyzy był autobus szynowy SA 108-004, wyprodukowany przez ZNTK Poznań S.A. dla Urzędu Marszałkowskiego Województwa Wielkopolskiego. Pojazd został wyprodukowany w roku 2003 i przekazany w użytkowanie do Wielkopolskiego Zakładu Przewozów Regionalnych PKP.



Rys. 1. Autobus szynowy serii SA 108 [10]

Autobus serii SA 108 jest pojazdem dwuczłonowym (rys. 1), człony połączone są ze sobą przegubowo, każdy człon oparty jest na dwóch wózkach jednoosiowych – napędnym i tocznym. Wózki napędne znajdują się na krańcach składu, a wózki toczne w środku. Wszystkie zestawy kołowe wyposażone są w hamulec tarczowy i nie mają hamulców klockowych. Zestawy kołowe są wyposażone w koła monoblokowe i miały być zgodnie z dokumentacją wykonane ze stali R7T przez hutę *BONATRANS a.s.* w Bohuminie (Czechy). Całkowita masa pojazdu wynosi 54 t, a jego prędkość maksymalna 110 km/h. Autobus podjął eksploatację dnia 09.01.2004 r., w początkowym okresie obsługując trasę Poznań – Wągrowiec

– Gołańcz – Poznań, a od stycznia 2006 trasę Krzyż – Chojnice.

3. Przebiegi między kolejnymi przetoczeniami i opis zużycia powierzchni tocznych kół

Do pierwszego przetoczenia kół pojazd został wycofany w dniu 27.05.2004, z przebiegiem 41 878 km, z powodu płaskich miejsc na powierzchni tocznej. Podczas reprofilacji na kołach zebrano warstwę materiału o grubości 13÷17 mm. Drugie przetoczenie odbyło się po przebiegu 99 500 km od pierwszego przetoczenia, z powodu płaskich miejsc i wykruszeń na powierzchni tocznej, określonych jako „rakowiny”. Stoczono wówczas 23÷30 mm warstwy materiału i przekazano pojazd do dalszej eksploatacji. Kolejne przetoczenie miało miejsce po przebiegu 85 947 km (od ostatniego przetoczenia), również z powodu płaskich miejsc i rakowin – zebrana warstwa materiału zawierała się między 22÷25 mm. Dnia 21.01.2006 autobus został ponownie przekazany do serwisu producenta z powodu wżerów i płaskich miejsc na kołach członów A i B, jednak z uwagi na starcie kół poniżej dopuszczalnej minimalnej średnicy, kolejna reprofilacja kół nie była możliwa.

Po demontażu zużytych kół, na pojeździe zostały zamontowane zestawy kołowe z nowymi kołami monoblokowymi produkcji *Lucchini Sidermeccanica S.p.A.*

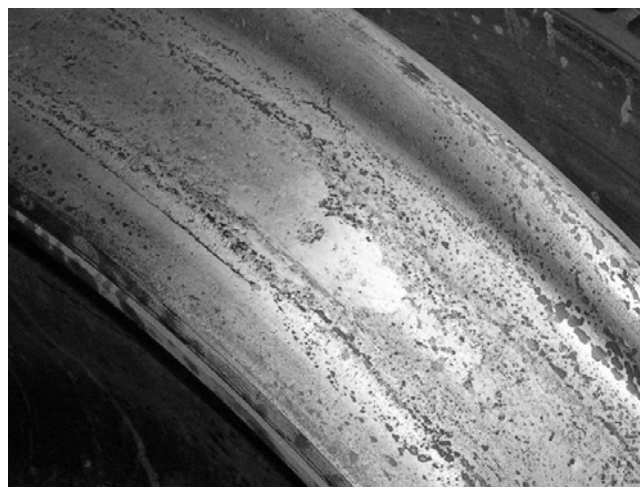
Zdemontowane z pojazdu zużyte koła poddano szczegółowej analizie w celu wyjaśnienia przyczyn tak szybkiego zużycia powierzchni tocznej (producent autobusu gwarantował przebiegi rzędu 150 000 km między kolejnymi przetoczeniami). Na wszystkich zestawach kołowych autobusu zaobserwowano silne zużycie z widocznymi złuszczeniami oraz wykruszeniami materiału.



Rys. 2. Pojedyncze wykruszenia na powierzchni tocznej zestawu kołowego nr 2

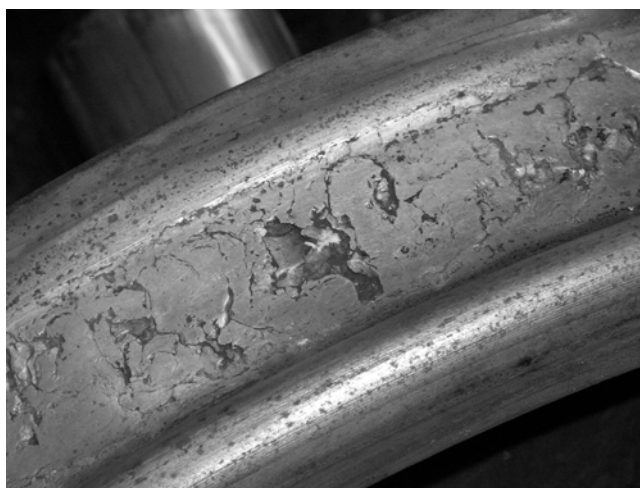
Zestawy kołowe napędne nr 1 i 4 oraz zestaw kołowy toczny nr 2 miały optycznie porównywalne

zużycie na powierzchni tocznej. Widoczne były pojedyncze wykruszenia (rys. 2) i złuszczenia struktury, płaskie miejsca, jak również nieliczne wyblyszczania (jasne obszary mające postać plam – rys. 3).



Rys. 3. Wyblyszczania na powierzchni tocznej zestawu kołowego nr 1

Zestaw kołowy nr 3 wykazywał największe uszkodzenia powierzchni tocznej, dlatego poddany został bardziej szczegółowej analizie. Na całym obwodzie występowały silne wykruszenia i liczne pęknięcia powierzchniowe, jak również niewielkie wyblyszczania. Poprzeczne pęknięcia znajdują się w pobliżu lub na krawędziach wykruszeń (rys. 4).



Rys. 4. Uszkodzenia na powierzchni tocznej zestawu kołowego nr 3

Pęknięcia przebiegały nieregularnie i były ograniczone do obszaru powierzchni tocznej (rys. 5). Głębokość wykruszeń była zróżnicowana i wynosiła od kilku dziesiątych milimetra do kilku milimetrów. Nie zaobserwowano zużycia zmęczeniowego obrzeża zestawu kołowego.

Zestaw kołowy nr 3 wykazuje też silne, niesymetryczne zużycie ściernie powierzchni tocznych obu kół - powierzchnia toczna koła prawego (rys. 6) jest dużo bardziej zużyta niż powierzchnia toczna koła lewego (rys. 7).



Rys. 5. Nieregularne pęknięcia i głębokie wykruszenia na powierzchni tocznej zestawu kołowego nr 3



Rys. 6. Zużycie powierzchni tocznej koła prawego zestawu kołowego nr 3

Na rysunku widać też płynięcie materiału na skutek rozwalcowywania powierzchni tocznej podczas jazdy.



Rys. 7. Zużycie powierzchni tocznej koła lewego zestawu kołowego nr 3

Ze względu na nadmierne zużycie, zestaw kołowy nr 3 został zakwalifikowany do dalszych badań.

4. Opis rodzajów zużycia na podstawie studium literaturowego

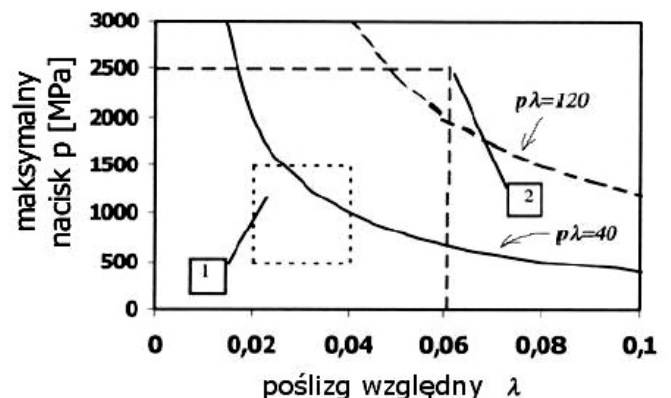
4.1. Oddziaływania na styku koła i szyny

Styk koła i szyny odbywa się na pewnej powierzchni o kształcie owalnym. Wielkość tej powierzchni zależy od sprężystości materiału koła i szyny, oraz od promienia koła i nacisku koła na szynę (obciążenia koła). Jeżeli na koło nie działa żaden moment obrotowy, to koło toczy się po szynie bez poślizgu – a więc między kołem i szyną zachodzi tarcie toczne .

Jeżeli na koło działa jakikolwiek moment obrotowy (napędowy lub hamujący), to na części powierzchni styku (określanej jako powierzchnia przylegania) koła i szyny pojawia się poślizg, podczas gdy jej pozostała część zachowuje przyczepność. Miarą takiego poślizgu jest tzw. poślizg względny λ , definiowany jako iloraz różnicy prędkości punktu na obwodzie koła i prędkości środka koła (prędkości jazdy całego pojazdu) do prędkości jazdy. Jeżeli na części powierzchni styku istnieje strefa przyczepności, zjawisko to nazywamy mikropoślizgiem – w tym przypadku poślizg względny ma wartość na ogół poniżej 10%. Jeżeli strefa przyczepności znika całkowicie, wówczas koło wpada w poślizg pełny – poślizg względny rośnie do wartości równej 100%, jeśli koło zostanie zablokowane (np. podczas hamowania).

4.2. Pojęcie zużycia kół

Zużycie kół rozpatrywać można jako proporcjonalne do energii dysypowanej przy pokonywaniu oporów toczenia kół po szynach. Jest ono określane przez poślizg względny λ i naciski p w strefie przylegania, których przebiegi $p\lambda = const$ przedstawione są na rys. 8. Widoczne są obszary z różnymi rodzajami normalnego i nieprawidłowego przebiegu zużycia konwencjonalnych szyn i kół ze stali węglowych o początkowej twardości do 300 HB.



Rys. 8. Rodzaje zużycia kół i szyn stalowych: 1 – obszar normalnego przebiegu zużycia, 2 – granica nienormalnego przebiegu zużycia [8]

Krzywa $p \lambda = 40$ jest granicą pomiędzy normalnym i intensywnym rodzajem zużycia, podczas gdy $p \lambda = 120$ jest granicą pomiędzy intensywnym a krytycznym rodzajem zużycia [8].

4.3. Zdarzenia i czynniki wpływające na zużycie

Na wielkość zużycia wpływają wartości nacisków i względnego poślizgu w obszarze styku, które zależą od następujących parametrów i zjawisk:

- obciążenia kół (wielkość zużycia koła i szyny rośnie wraz ze wzrostem obciążenia)
- prześwitu toru (mniejszy prześwit toru powoduje większe zużycie obrzeża)
- twardości materiału (wzrost twardości koła jest uważany za jeden z ważniejszych czynników zwiększających odporność na zużycie)
- struktury materiału (odporność na zużycie stali perlitycznych rośnie wraz z zawartością węgla, co może być wyjaśnione przez wyższą twardość powierzchni tocznych, oraz rozdrobienie mikrostruktury warstwy wierzchniej w procesie utwardzania przez zgniot)
- obróbki cieplnej (normalizowanie, ulepszenie cieplne).

Ponadto współpracujące powierzchnie koła i szyny mogą zostać utwardzone przez wielokrotne kontakty (stykanie się) podczas eksploatacji. Proces ten określa się jako utwardzanie przez zgniot. Grubość warstwy utwardzonej wynosi tylko kilka dziesiątych milimetra i nie przekracza 0,5 mm podczas obrotu kół, dlatego kontrolowanie tego procesu jest utrudnione.

4.4. Najczęstsze typy uszkodzeń powierzchni tocznej koła

Do najważniejszych rodzajów zużycia i uszkodzenia zestawów kołowych można zaliczyć:

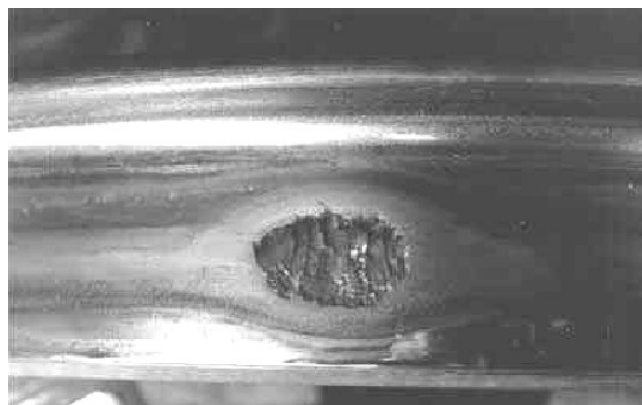
- wykruszenia zmęczeniowe na powierzchni tocznej („*shelling*”)
- pęknięcia zmęczeniowe na powierzchni tocznej („*spalling*”)
- płaskie miejsca („*wheel flat*”).

4.4.1. Zmęczeniowe wykruszenia na powierzchni tocznej („*shelling*”)

Zużycie koła typu „*shelling*” charakteryzuje się utratą niewielkiego skrawka powierzchni tocznej koła wskutek działania naprężeń kontaktowych RCF (*Rolling Contact Fatigue*) – co pokazano na rys. 9.

Uszkodzenia typu „*shelling*” tworzą się najczęściej w następstwie płaskich miejsc lub pęknięć termicznych. Na powierzchni zahartowanego martenzytu pęknięcia termiczne łączą się ze sobą – co

może powodować lokalne ubytki materiału o głębokości ok. 1 mm. Pęknięcia tego typu łatwo propagują do wnętrza (w głąb) koła. Zmęczenie powierzchni tocznej w tych miejscach zwiększa się, prowadząc do cienkiego i płytkiego łuszczenia materiału, które tworzy się na obwodzie koła, osiągając szerokość do 10 mm. Koła o takim zużyciu mogą powodować dynamiczne przeciążenie toru, co z kolei prowadzić może do pęknięcia szyn.



Rys. 9. Początki zjawiska typu „*shelling*” na powierzchni tocznej koła [8]

Główną przyczyną uszkodzeń typu „*shelling*” są zwiększone naprężenia kontaktowe spowodowane niewłaściwą geometrią obrzeża jak również zwiększona przyczepność związana z niewłaściwym prowadzeniem zestawu kołowego.

Zwiększone naprężenia kontaktowe mogą być również spowodowane niekonforemnymi profilami koła i szyny, przeciążeniem dynamicznym wynikającym z nierównomiernie rozłożonego ładunku, uderzeń od płaskich miejsc lub nierówności toru.

Wg literatury, do zapobiegania i kontrolowania zużycia typu „*shelling*” proponuje się najczęściej następujące rozwiązania:

- zastosowanie na koła stali o mniejszej ilości zanieczyszczeń
- zastosowanie konforemnych profili koła i szyny
- wycofanie z eksploatacji kół, na których pojawiają się wygarbienia lub odkształcenia profilu na powierzchni tocznej koła
- częstsze, lekkie przetaczanie kół, w celu usunięcia powierzchniowych uszkodzeń
- stosowanie wózków samoprowadzących.

4.4.2. Zmęczeniowe uszkodzenia powierzchni tocznej („*spalling*”)

Zużycie koła typu „*spalling*” jest to ubytek niewielkiego skrawka powierzchni tocznej koła spowodowany powstaniem martenzytu podczas chwilowego nagrzania się koła wskutek tarcia podczas poślizgu (rys. 10).

Podczas poślizgu koła po szynie, energia tarcia może doprowadzić do gwałtownego wzrostu temperatury powierzchni tocznej, powyżej granicy austenitu (720 °C). Następnie podczas ochłodzenia z austenitu tworzy się martenzyt. Jest to twarda, krucha faza stali, łatwo oddzielająca się od materiału wieńca koła podczas obciążeń, inicjująca pęknięcia powierzchniowe, doprowadzając w końcu do uszkodzeń typu „*spalling*” [8].

Uszkodzenia typu „*spalling*” są na tyle podobne do uszkodzeń typu „*shelling*”, że nie można ich jednoznacznie rozróżnić poprzez oględziny wzrokowe. Jedynym nieniszczącym sposobem jest wytrawienie powierzchni tocznej. Jeśli nie będzie zmian w wyglądzie, to uszkodzenie jest typu „*shell*”. Jeśli obszar wokół uszkodzenia jest koloru szarego, to jest ono typu „*spall*”.

Według literatury [5 i 6], wielkość zużycia typu „*spalling*” jest odwrotnie proporcjonalna do masy pojazdu. Im masa pojazdu była mniejsza, tym wielkość zużycia była większa i tym więcej kół zostało wycofanych z eksploatacji z powodu tego zjawiska. Jest to szczególnie istotna uwaga, gdyż badany autobus szynowy jest pojazdem lekkim, a więc zgodnie z powyższym stwierdzeniem bardziej narażonym na tego typu uszkodzenia.



Rys. 10. Początki zjawiska typu „*spalling*” na powierzchni tocznej koła [9]

Poślizg koła, w wyniku którego wytwarza się struktura martenzytyczna początkująca „*spalling*”, może mieć kilka przyczyn:

- intensywne hamowanie pojazdów o małej masie lub hamowanie nagłe (awaryjne)
- niska przyczepność koła do szyny
- nierówności na powierzchni toru, np. falistość
- poślizg koła na łukach o małym promieniu.

Najczęściej polecanym w literaturze sposobem zapobiegania i kontrolowania zużycia typu „*spalling*”

jest podwyższenie temperatury początku austenizowania materiału koła (np. przez dodanie chromu w trakcie produkcji) oraz zapewnienie odpowiedniej siły hamującej koło poprzez właściwy dobór układu hamulcowego, szczególnie dla pojazdów o małej masie.

4.4.3. Płaskie miejsca i narosty

Pod pojęciem płaskiego miejsca rozumie się płaski obszar na powierzchni tocznej koła, spowodowany jego poślizgiem po szynie. Płaskie miejsca wynikają przeważnie z błędów obsługi w procesie jazdy lub hamowania, jak również nieprawidłowego funkcjonowania układu hamulcowego [4]. Przyczyna poślizgu może wynikać też z uszkodzenia lub zamarznięcia hamulców, przyłożenia zbyt dużej siły hamującej lub też nieprawidłowego kontaktu klocków hamulcowych z powierzchnią toczną koła.

Występowanie płaskich miejsc może generować duże obciążenia uderzeniowe szyny, jak również prowadzić do owalizacji koła. Wysoka temperatura wieńca koła podczas poślizgu, a następnie szybkie chłodzenie, gdy koło ponownie zaczyna się obracać, mogą powodować powstawanie struktury martenzytycznej w miejscu spłaszczenia, która jako bardziej podatna na pęknięcia i wykruszenia powoduje ich szybsze rozprzestrzenianie się w głąb materiału.

Płaskie miejsca można sklasyfikować następująco:

- pojedyncze spłaszczenie w postaci owalnego obszaru uszkodzenia, spowodowane zablokowaniem koła w jadącym pojeździe – obserwowane często na kołach tocznych
- plamkowe spłaszczenie, jako zbiór pojedynczych spłaszczeń
- spłaszczenie ciągłe – długie i wąskie, powstaje gdy koło zestawu ślizga się wzdłuż szyny bez blokady kół; spłaszczenia tego typu (często z plastycznym płynięciem materiału) występują przeważnie na kołach napędnych.

Do zapobiegania powstawaniu płaskich miejsc na powierzchni tocznej proponuje się w literaturze następujące rozwiązania:

- unikanie nagłego i gwałtownego hamowania
- bieżąca kontrola urządzeń przestawczych próżny/ladowny
- wycofywanie do przetoczeń kół przekraczających wartości graniczne zużycia
- wprowadzenie urządzeń badających obciążenia uderzeniowe kół, oraz korygowanie granicznych wartości nieokrągłości kół w oparciu o kryteria obciążeń uderzeniowych
- dokładne usuwanie warstwy martenzytycznej (oraz kilkumilimetrowej warstwy pod nią) podczas reprofiliacji zużytych kół.

4.5. Sposoby zapobiegania zużyciu kół i szyn

W celu zmniejszenia zużycia koła i szyny, przemysł kolejowy wciąż poszukuje nowych środków zaradczych i technik utrzymania. Do najbardziej powszechnych metod należą:

- zwiększenie twardości stali perlitycznych przez zwiększenie zawartości węgla, rozdrobnienie mikrostruktury, jak również termiczne utwardzanie kół (hartowanie plazmowe i elektrołukowe)
- odpowiednie smarowanie na styku koła i szyny oraz zmniejszanie poślizgu względnego poprzez zmniejszanie kąta nabiegania koła na szynę
- stosowanie różnych rodzajów profili szyn na łukach i odcinkach prostych
- kontrola i utrzymanie optymalnego prześwietu toru, zwłaszcza na łukach
- systematyczna reprofilacja kół w celu usunięcia nieprawidłowości powierzchni i płynięcia metalu
- w przypadku zjawiska „spallingu” najbardziej efektywnym i sterowalnym sposobem zapobiegania jest zapewnienie odpowiedniej siły hamującej koło, poprzez udoskonalenie i odpowiednie utrzymanie układu hamulcowego pojazdu
- w celu zapobiegania zjawisku płaskich miejsc proponuje się przede wszystkim unikanie nagłego hamowania, bieżącą kontrolę urządzeń przestawczych, wycofywanie z eksploatacji kół przekraczających wartości graniczne zużycia oraz wspomniane usuwanie warstwy martenzytycznej (i kilkumilimetrowej warstwy pod nią) podczas reprofilacji kół.

5. Analiza sposobu eksploatacji autobusu

5.1. Zapisy z przeglądów kontrolnych

W każdym pojeździe prowadzona jest książka pokładowa, w której maszyniści i pracownicy serwisu zapisują swoje uwagi i spostrzeżenia oraz zdarzenia. Serwis prowadzony jest przez producenta. W ramach serwisu prowadzone są przeglądy kontrolne (PK) co jeden, dwa lub trzy dni. Przeglądy okresowe (PO), dokładniejsze, wykonywane są jeden raz w miesiącu.

Wielkopolski Zakład Przewozów Regionalnych w Poznaniu dostarczył kopię książki pokładowej pojazdu. Dokonano analizy wpisów zawartych w książce pod kątem znalezienia ewentualnych spostrzeżeń maszynistów i pracowników serwisu dotyczących zużycia kół.

Książka wykazuje szereg nieprawidłowości dotyczących sposobu wykonywania przeglądów kontrolnych. Poniżej przytoczono przykładowo charakterystyczne fragmenty tej książki, dotyczące obserwowanego,

postępującego zjawiska zużycia kół:

W dniu 4.01.2006 (godz. 12³⁰) widnieje zapis maszynisty, zdającego pojazd na stacji Poznań Główny, o treści: „*Stuki na osiach pod członem A*”. Wpis zostaje potwierdzony o godz. 20¹¹ na stacji Piła. O godz. 22⁵⁷ autobus zostaje przyjęty na stacji Chojnice, a w książce maszynista umieszcza wpis o treści: „*Stuki na osiach pod członem A i B*”. Pod wpisem o usterce nie ma pieczętki serwisu ZNTK Poznań S.A., a zatem można przypuszczać, że nie została ona wtedy usunięta. Najbliższy przegląd kontrolny (PK) wykonany został dnia 7.01. o godz. 0⁴⁵ z adnotacją „*Szynobus sprawny*”. Pod tym wpisem widnieje pieczętko serwisu ZNTK Poznań S.A.

Dnia 8.01.2006 o godz. 22⁵⁷ na stacji Chojnice maszynista dokonał wpisu o treści: „*Zestawy kołowe b/z, stuki opisano poprzednio*”. Niecałe dwie godziny później (0¹⁵), na przeglądzie kontrolnym 9.01.2006 stwierdzono „*Wżery na kołach osi tocznej człon A*”, Wżerów tych nie opisano na przeglądzie z 7.01.2006, **a więc zaledwie dwa dni wcześniej (!)**.

Pojazd nie zostaje wycofany do reprofilacji, natomiast na przeglądach kontrolnych z dnia 11.01.2006 (godz. 0²⁰), 13.01.2006 (godz. 1⁰⁰), 15.01.2006 (godz. 0²⁵), oraz 17.01.2006 (godz. 4⁰⁰) nie ma **żadnej** adnotacji dotyczącej stanu kół, a jedynie wpis „*Szynobus sprawny*” i pieczętko serwisu ZNTK Poznań S.A.

Dnia 18.01.2006 (godz. 15¹⁵) na stacji Krzyż stwierdzono: „*Brak sworzni na II osi człon A prawy*”. Pojazd kontynuował jazdę do stacji Piła, gdzie o godz. 22⁴⁰ stwierdzono „*Brak dwóch sworzni na drugiej osi*”. Wydano polecenie dyspozytorskie ograniczenia prędkości do 30 km/h, co potwierdzone zostało podczas analizy plików zapisu jazd z elektronicznych kości pamięci. Pojazd dojechał do stacji Chojnice, gdzie o godz. 2⁴⁰ potwierdzono: „*Brak sworzni na 2-giej osi z prawej strony kabiny A*”. Sworznie zostały założone podczas przeglądu kontrolnego 19.01.2006 o godz. 4⁰⁰, co znajduje potwierdzenie w książce pokładowej – natomiast nie widnieje tam **żaden (!)** wpis o stanie powierzchni tocznych kół.

Autobus kontynuuje pracę dnia 19.01.2006, wykonując jeszcze dwa kursy Chojnice – Krzyż – Chojnice. Ostatni wpis w książce pokładowej z dnia 19.01.2006 (godz. 23⁰⁰) brzmi następująco (pisownia zgodna z oryginałem):

„*Ze względu na głębokie wżery na kołach osi toczna czł. A; płaskie miejsca osi pędna czł. B, powodujące wypadanie sworzni i śrub mocujących cylindry szynobus wycofano z eksploatacji. Autobus odstawić do ZNTK POZNAŃ na obtoczenie zestawów kołowych*”

Autobus szynowy SA 108-004 zostaje wycofany z eksploatacji i dnia 21.01.2006 przekazany do ZNTK Poznań S.A. celem reprofilacji kół.

5.2. Zapisy jazd autobusu szynowego

Autobusy szynowe serii SA 108 wyposażone są w tachografy kolejowe T-130P, przy użyciu których możliwa jest rejestracja: prędkości pojazdu szynowego, bieżącego czasu i drogi jaką przebywa pojazd. Ponadto zbierane są sygnały wejściowe pochodzące od SHP, czuwaka i hamulca. Informacje te są rejestrowane w sposób ciągły i po przetworzeniu następuje ich zapis w elektronicznych kartach pamięci (EKP). Odczyt informacji następuje przy użyciu komputera z zainstalowanym programem komputerowym „TACHOXGRAF”. Oprogramowanie to pozwala na odtworzenie na monitorze komputera całości lub fragmentu przejazdu w dowolnie wybranej skali. Przy odpowiednim powiększeniu możliwe jest ustalenie chwili czasowej i współrzędnej drogi, od której rozpoczęto hamowanie pojazdu, a dzięki dodatkowo znacznikowi łatwo można ustalić prędkość pojazdu w danej chwili. Informacje te pozwalają na wyznaczenie opóźnień w trakcie hamowania.

Dane dostarczone przez Zakłady Taboru w Gdyni i Szczecinie w postaci plików z zapisami przejazdów autobusu szynowego SA 108-004 zarejestrowanymi przez tachograf w EKP dotyczyły okresu 06.01.2006 ÷ 19.01.2006. Analizie poddano pociągi o numerach 58721, 58723, 85722, 85728, relacji Krzyż – Chojnice, które obsługiwane były przez ww. autobus szynowy. Na skutek wynikłych w trakcie analizy trudności i niejasności związanych z odczytem i brakiem pewnych danych, opisanych szerzej w raporcie [1],

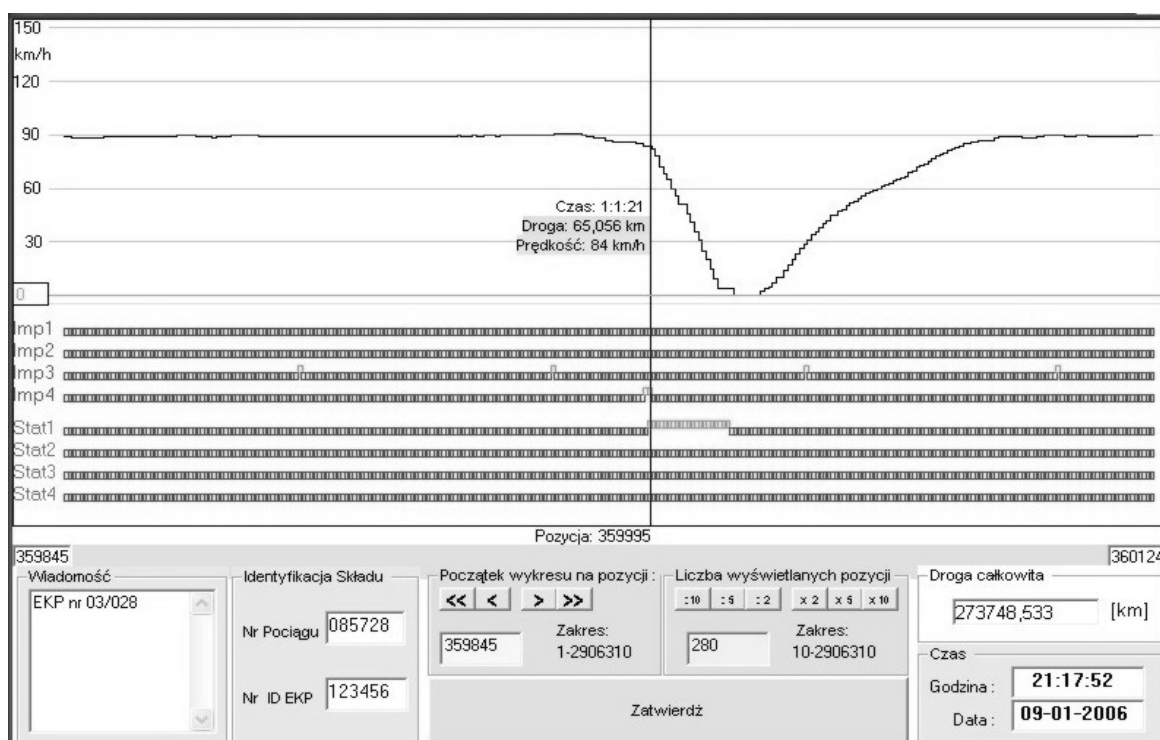
szczegółowa analiza ostatecznie ograniczyła się do wspomnianego wyżej okresu od 06.01.2006 ÷ 19.01.2006. Wybrane przejazdy z tego okresu były sprawdzane pod kątem zaobserwowania miejsc dużych spadków prędkości w czasie, sugerujących wystąpienie dużych wartości opóźnień w trakcie hamowania pojazdu. Przykładowy wykres uzyskany w programie „TACHOXGRAF” przedstawiono na rys. 11. Zaobserwować można duży spadek prędkości na krótkim odcinku drogi i w krótkim czasie, co świadczy o wystąpieniu dużego opóźnienia hamowania.

Po odczytaniu czasów i prędkości na początku i końcu manewru hamowania przeprowadzono obliczenia. Wyniki tych obliczeń z ustalonymi wartościami opóźnień hamowania służbowego w trakcie przejazdów przedstawiono w tabeli 1.

Wg konstruktora układu hamulcowego autobusów szynowych typu 215M, opóźnienia hamowania tych pojazdów nie powinny przekraczać wartości:

- 0,60 m/s² dla hamowania służbowego
- 0,91 m/s² dla hamowania awaryjnego.

Szczegółowa analiza trajektorii prędkości z zapisów przejazdów autobusu szynowego SA 108-004 zarejestrowanych na EKP wykazuje, że w wielu przypadkach dochodziło do przekroczenia dopuszczalnych wartości opóźnień dla hamowania służbowego, a w kilku miejscach wykroczały one nawet powyżej wartości dopuszczalnej dla hamowania awaryjnego.



Rys. 11. Wykres uzyskany w programie „TACHOX RAF” z zapisów na EKP dotyczących jazd autobusu szynowego SA 108-004

Lp.	Nr pociągu	Data	Czas początkowy t_p [hh:mm:ss]	Prędkość początkowa v_p [km/h]	Droga początkowa s_p [km]	Czas końcowy t_k [hh:mm:ss]	Prędkość końcowa v_k [km/h]	Droga końcowa s_k [km]	Opóźnienie hamowania służbowego [m/s ²]	Maszynista
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	85722	06.01.06	10:44:59	76	12,171	10:45:26	3	12,452	-0,75	A
2.	85722	06.01.06	11:10:40	43	41,647	11:10:55	4	41,731	-0,72	A
3.	85722	08.01.06	10:37:41	75	3,232	10:38:10	0	3,508	-0,72	B
4.	85722	08.01.06	10:44:19	95	12,031	10:44:49	3	12,434	-0,85	B
5.	85728	09.01.06	20:36:14	97	12,115	20:36:40	6	12,435	-0,97	C
6.	85728	09.01.06	21:17:52	84	65,056	21:18:13	4	65,277	-1,06	C
7.	85722	12.01.06	11:09:34	58	41,574	11:09:56	2	41,743	-0,71	D
8.	85722	12.01.06	11:30:37	47	65,205	11:30:54	2	65,297	-0,74	D
9.	58721	13.01.06	06:26:15	56	82,924	06:26:35	0	83,054	-0,78	D
10.	85722	13.01.06	10:49:20	62	18,030	10:49:45	4	18,228	-0,64	D
11.	58721	14.01.06	05:53:30	85	12,653	05:54:06	0	13,036	-0,66	E / F ¹⁾
12.	58721	14.01.06	06:14:44	63	36,379	06:15:02	2	36,530	-0,94	E / F ¹⁾
13.	85728	15.01.06	21:14:05	85	65,028	21:14:32	3	65,328	-0,84	C
14.	85728	15.01.06	21:23:41	87	76,031	21:24:10	3	76,349	-0,80	C
15.	58721	16.01.06	06:21:15	78	73,756	06:21:52	0	74,104	-0,59	G
16.	58721	16.01.06	06:28:01	76	82,670	06:28:40	0	83,029	-0,54	G
17.	58723	18.01.06	13:11:08	97	65,672	13:11:43	3	66,197	-0,75	B
18.	58723	18.01.06	13:22:19	76	80,545	13:22:54	0	80,921	-0,60	B
19.	85722	19.01.06	10:44:37	91	12,095	10:45:06	0	12,459	-0,87	F
20.	85722	19.01.06	11:40:00	76	76,003	11:40:31	0	76,314	-0,68	F

¹⁾ niekompletne dane otrzymane od przewoźnika nie pozwalają na jednoznaczne określenie kierującego pojazdem

5.3. Drużyny trakcyjne

Poznańskie Zakłady Naprawcze Taboru Kolejowego S.A. przeszkoliły ogółem 157 maszynistów, uprawionych do prowadzenia autobusów szynowych typu 213M i 215M. Kurs trwał 16 godzin i obejmował zarówno zagadnienia teoretyczne z budowy, obsługi i eksploatacji, jak również jazdę na szlaku pod okiem doświadczonych maszynistów ZNTK. Z rejonu Krzyża i Chojnic (rejon pracy autobusu szynowego SA 108-004) wyszkolono ogółem 38 maszynistów.

Zakład Taboru PKP Cargo S.A. w Szczecinie dostarczył imienne zestawienie obsad drużyn trakcyjnych, które w okresie 11.2005 ÷ 01.2006 wykonywały pracę na autobusie SA 108-004. Spis zawiera 18 nazwisk, spośród których zaledwie 9 osób było uczestnikami szkolenia i otrzymało certyfikaty z ZNTK Poznań S.A.

Z Zakładu Taboru PKP Cargo S.A. w Gdyni otrzymano zestawienie maszynistów prowadzących wszystkie pojazdy serii SA 108 w okresie 01.11.2005

do 21.01.2006 r. Spośród 24 maszynistów, 23 osoby były uczestnikami szkolenia i otrzymało certyfikaty z ZNTK Poznań S.A.

6. Badania materiałowe kół wybranego zestawu kołowego

Koła wszystkich zestawów kołowych są monoblokowe i powinny być wg dokumentacji technicznej wykonane ze stali R7T przez hutę *BONATRANS a.s.* w Bohuminie (Czechy). Do badań szczegółowych wybrano najbardziej zużyte podczas oględzin wieńce kół zestawu kołowego nr 3 (tocznego) pojazdu. Zakres badań był uwarunkowany krótkim oczekiwanym czasem do ustalenia przyczyn przedwczesnego zużycia oraz niewielkim funduszem na opłacenie bardziej szczegółowych badań.

Na obydwu kołach wyznaczono po dwa, naprzeciwległe wycinki, które zostały oznaczone jak na rys. 12.



Rys. 12. Wycinki nr 1 i 2 do badań koła prawego (większe zużycie)

Analogiczne wycinki wyznaczono na przeciwnym kole zestawu nr 3. Wybrane fragmenty kół zostały wycięte przez ZNTK Poznań S.A. zgodnie z zaznaczonymi wcześniej zarysami, a następnie przekazane do badań.

6.1. Analiza chemiczna

Karta UIC 812-3 [2] określa maksymalne wartości pierwiastków dla poszczególnych gatunków stali, jak również rodzaj i sposób obróbki cieplnej. Zgodnie z tym, dla stali R7T wieniec koła powinien być w całości zahartowany i wysoko odpuszczony, czyli ulepszony cieplnie – natomiast materiał powinien mieć skład chemiczny wg tabeli 2.

Wartości te odnoszą się do analizy wyrobu. Dla analizy wytopu wartości maksymalne należy zmniejszyć o dopuszczalne odchyłki, również zawarte w karcie UIC 812-3. Koła autobusu SA 108-004 pochodzą z trzech różnych wytopów (10169, 10227 i 26778), których skład chemiczny przedstawiono w tabeli 3.

Z porównania powyższych wartości z granicznymi, zawartymi w karcie UIC 812-3 wynika, że procentowa zawartość żadnego z pierwiastków nie przekracza dopuszczalnej zawartości, a często jest od niej znacząco niższa.

Wykonano zatem badania składu chemicznego metodami spektrometrycznymi w dwóch niezależnych laboratoriach – Odlewni Żeliwa „Śrem” S.A. oraz MAROTTI w Zielonej Górze. Skład chemiczny zbadanych próbek przedstawia tabela 4.

Różnice między wartościami wynikają z zastosowania różnej klasy spektrometrów, jak również z faktu, że próbki do badań nie były pobrane z tego samego miejsca. Ilość węgla nie przekracza wartości maksymalnej, zawartej w karcie UIC 812-3, jest jednak na tyle niska, że skład stali **jest bliższy składowi stali R6T** (o dopuszczalnej, maksymalnej zawartości węgla 0,48%). Zbadany skład chemiczny jest zgodny z atestem przesłanym przez producenta.

Skład chemiczny stali stosowanych na koła [2]

Tabela 2

Gatunek Stali	Skład chemiczny (zawartość max. w %) dla wyrobu										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+Mo+Ni
R6T	0,48	0,40	0,75	0,035	0,035	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,50
R7T	0,52	0,40	0,80	0,035	0,035	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,50
R8T	0,56	0,40	0,80	0,035	0,035	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,50

Skład chemiczny wytopów kół autobusu SA 108-004

Tabela 3

Numer wytopu	Skład chemiczny (zawartość max. w %) dla wyrobu										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+Mo+Ni
10169	0,49	0,32	0,70	0,012	0,009	0,17	0,11	0,01	0,05	0,00	0,23
10227	0,48	0,28	0,70	0,016	0,013	0,21	0,06	0,01	0,03	0,00	0,25
26778	b.d.*	b.d.*	b.d.*	b.d.*	b.d.*	b.d.*	b.d.*	b.d.*	b.d.*	b.d.*	b.d.*

* producent nie dostarczył kopii atestu dla wytopu nr 26778, dlatego brak danych dla tego wytopu.

Wyniki badań składu chemicznego dla wybranych wycinków kół

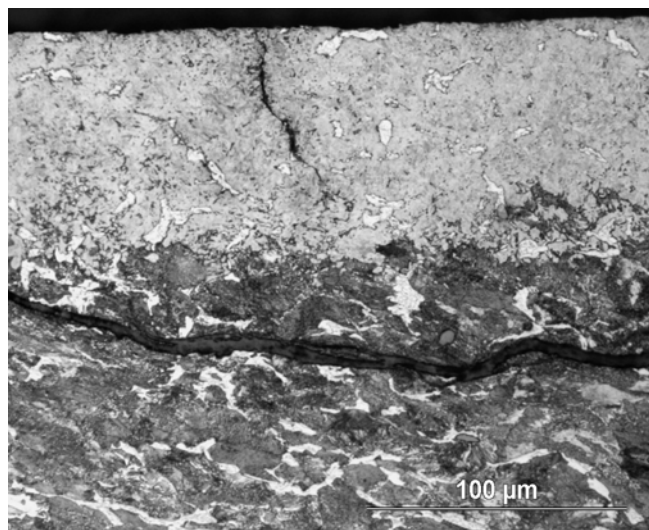
Tabela 4

Numer próbki	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Cu %	Al %
Śrem	0,450	0,704	0,300	0,017	0,009	0,186	0,022	0,006	0,058	0,040
Z. Góra	0,479	0,709	0,280	0,021	0,012	0,190	0,025	0,006	0,059	0,032

6.2. Badania mikroskopowe

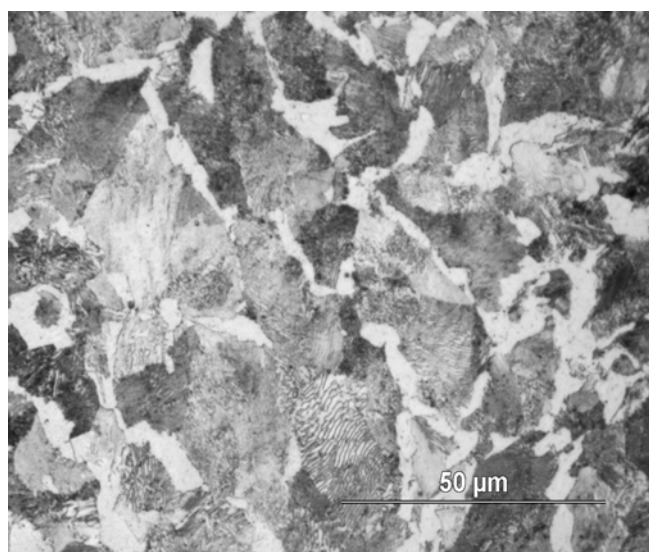
Badania mikroskopowe oraz pomiary twardości wykonano w Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu za pomocą mikroskopu świetlnego ECLIPSE L150 (Nikon). Próbki trawiono 3 procentowym nital-em.

Do badań dostarczono 4 fragmenty, pobrane z wieńców obydwu kół zestawu tocznego nr 3. Z dostarczonych fragmentów kół zostały pobrane próbki z miejsc charakteryzujących się największym zużyciem powierzchni. Strukturę próbek pokazano na rys. 13 i 14.



Rys. 13. Utwardzona struktura drobnoiglastego martenzytu na powierzchni tocznej

Na powierzchni tocznej koła zauważono między innymi widoczną na rys. 13 strefę utwardzoną o strukturze drobnoiglastego martenzytu, oraz wyraźne pęknięcia w strefie i pod tą strefą.

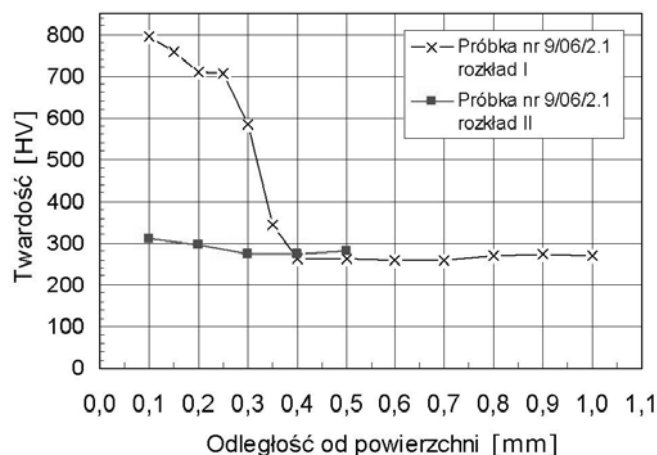


Rys. 14. Obszar w pobliżu powierzchni tocznej (widoczna siatka ferrytu na granicach ścisłego perlitu)

Na podstawie badań stwierdzono, że wieńce kół wykonane są ze stali perlityczno-ferrytycznej do ulepszenia cieplnego. W strukturze tej stali (rys. 14) występuje ferryt w postaci siatki na granicach ziaren drobnopłytkowego perlitu. W warstwie wierzchniej wieńców kół zaobserwowano obszary z nieciągłą strefą utwardzoną o różnej grubości. Pęknięcia występują: w strefie utwardzonej, w obszarach na granicy silnie zgniecionego materiału, oraz w warstwie przypowierzchniowej bez strefy utwardzonej.

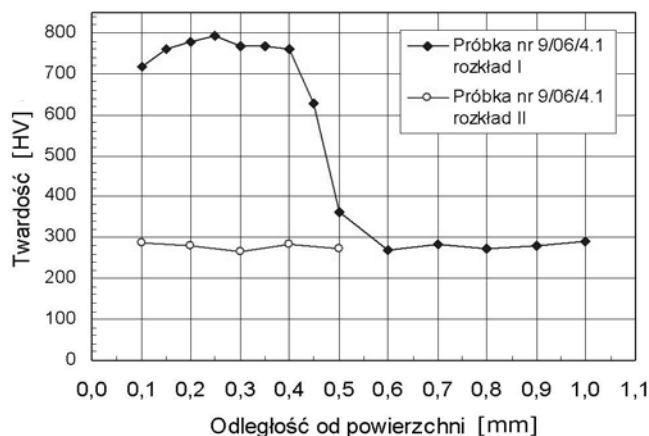
6.3. Pomiary twardości

Pomiary twardości metodą Vickersa przy sile obciążającej 4,9 N (symbol twardości HV 0,5) wykonano wg normy PN-EN ISO 6507-1:1999 [11] za pomocą twardościomierza MICROMET 2104 na próbkach pobranych wzdłużnie z wieńca obydwu kół zużytego zestawu kołowego nr 3. Pomiary HV 0,5 prowadzono od powierzchni w głąb próbek, w obszarach ze strefą utwardzoną (rozkład I), bez strefy utwardzonej (rozkład II) oraz w środku każdej z próbek. Rozkłady twardości pokazano na rys. 15 i 16.



Rys. 15. Rozkłady twardości w próbce nr 9/06/2.1

Wartości twardości w środku próbki nr 9/06/2.1 wynosiły odpowiednio 238, 234 i 218 HV, a wartość średnia 230 HV.

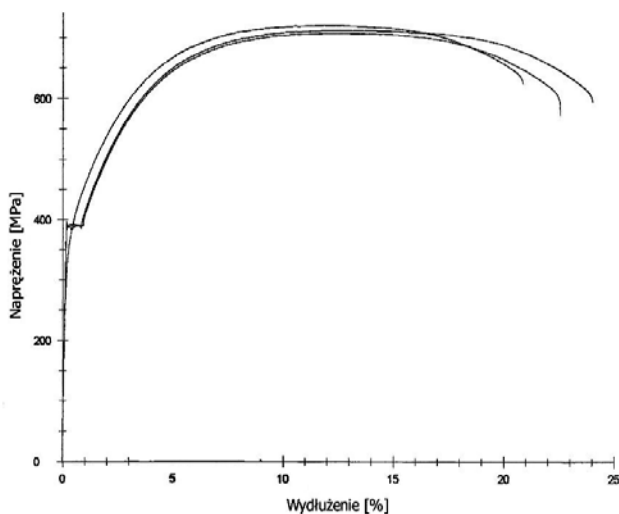


Rys. 16. Rozkłady twardości w próbce nr 9/06/4.1

Wartości twardości w środku próbki nr 9/06/4.1 wynosiły odpowiednio 235, 229 i 223 HV, a wartość średnia 229 HV.

6.4. Badania wytrzymałościowe

Badania wytrzymałościowe próbek pobranych z kół autobusu szynowego SA 108-004 wykonano w Laboratorium Wytrzymałości Materiałów w Instytucie Mechaniki Stosowanej Politechniki Poznańskiej. Próbie rozciągania i udarności poddano próbki z obydwu kół zestawu kołowego nr 3, zgodnie z normą [2]. Uzyskane wyniki pomiarów (rys.17) porównano z normami: UIC 812-3 [2] oraz EN 13262:2004 (E) [3].



Rys. 17. Wyniki prób rozciągania dla trzech różnych próbek pobranych z wieńców koła zestawu nr 3

Udarność wyznaczono na próbkach z karbem o głębokości 5 mm, wykonując próbę udarności sposobem Charpy'ego wg normy [12], na młocie Charpy'ego o energii maksymalnej 300 J. Wyniki próby udarności przedstawiono w tabeli 5.

Z badań wytrzymałościowych wynika, że próbki z obu kół spełniają normy odnośnie do wytrzymałości na rozciąganie R_m , wydłużenia procentowego przy zerwaniu A i górnej granicy plastyczności R_{eH} . Próby udarności KCU nie wykazały odchyłek od obowiązującej normy [2].

7. Analiza przyczyn przedwczesnego zużycia kół

7.1. Przypuszczalne przyczyny materiałowe

Na podstawie wyników badań mikroskopowych oraz rozkładów twardości HV 0,5 w obszarach ze strefą utwardzoną i bez strefy utwardzonej stwierdzono, że wieńce kół **nie zostały ulepszone cieplnie**, natomiast wykruszenia są najprawdopodobniej następstwem pęknięć powstałych wskutek miejscowego nagrzania bieżni wieńca, jego plastycznego odkształcenia lub występowania miejscowych utwardzeń, spowodowanych przez zmiany strukturalne podczas eksploatacji.

Należy jednak przypomnieć, że koła, z których pobrano wycinki do badań były już po III przetoczeniu, a więc o średnicy kręgu tocznego bliskiej wartości minimalnej (770 mm). Zasadnym wydaje się więc zbadanie głębokości ulepszenia wieńca nowego koła, a więc o średnicy nominalnej kręgu tocznego (842 mm).

Karta UIC 812-3 [2], określająca warunki techniczne dostawy dla kół bezobrzęcowych, nie podaje minimalnej zawartości pierwiastków chemicznych dla poszczególnych rodzajów stali. Wg atestów kół do autobusów szynowych, zakupionych przez producenta pojazdu w hucie *BONATRANS a.s.* w Bohuminie (Czechy) jako kół ze stali R7T, ilości kilku pierwiastków są często wielokrotnie niższe od maksymalnej granicy. Mniejsza zawartość pierwiastków o nominalnych śladowych ilościach nie powinna wpływać znacząco na pogorszenie własności stali, natomiast mniejsza zawartość węgla (ok. 0,48% przy maksymalnie dopuszczalnej 0,52%) zmienia twardość stali sprawiając, że ma ona własności bliższe stali R6T (o mniejszej zawartości węgla, a więc i mniejszej twardości!). Zasadnym wydaje się utrzymanie zawartości węgla w pobliżu maksymalnej dopuszczalnej granicy, a nawet przejście na koła ze stali R8T – które to rozwiązanie jest obecnie zalecane na kolejach brytyjskich [7].

Według kształtu uszkodzeń należy przyjąć, że większość tych uszkodzeń jest typu „*spalling*”. Można zauważyć wyraźne podobieństwo uszkodzeń wg rys. 10 i obrazów uszkodzeń z szynobusu.

Wyniki próby udarności

Tabela 5

Symbol próbki	Szerokość próbki a [mm]	Wymiar pod karbem h [mm]	Praca łamania KU [J]	Udarność KCU [J/cm ²]
4.1	10.01	5.05	22,6	44,7
5.1	10.00	5.09	24,5	48,1
6.1	10.01	5.05	22,6	44,7
średnio			23,2	45,8
4.2	10.01	5.04	23,5	46,6
5.2	10.00	5.02	23,5	46,8
6.2	10.00	5.02	22,6	45,0
średnio			23,2	46,1

7.2. Przypuszczalne przyczyny eksploatacyjne

Jedną z najważniejszych przyczyn powodujących przyspieszone zużycie kół pojazdów szynowych zaobserwowanego typu jest poślizg na powierzchni styku kół i szyn. Najczęściej jest on wynikiem nieprawidłowego przebiegu procesu hamowania pojazdu. Powstały w ten sposób poślizg powoduje miejscowe nagrzewanie małego fragmentu powierzchni tocznej koła powyżej temperatury przemiany austenitycznej i wskutek szybkiego chłodzenia powstaje struktura martenzytyczna, bardziej podatna na pęknięcia i wykruszenia.

Szczegółowe analizy zapisów jazd z EKP (elektronicznych kości pamięci) wykazały szereg nieprawidłowości w procesie hamowania autobusu szynowego SA 108-004. Wyznaczone wartości opóźnień hamowania są znacząco wyższe od określonych przez konstruktora. Tak intensywny przebieg procesu hamowania może prowadzić do zablokowania kół, zwłaszcza kół tocznych, co nie zostanie zapisane na kościach EKP, gdyż czujniki prędkości znajdują się na osiach napędnych.

Autobusy szynowe typu 213M i 215M (w tym badany autobus) wyposażone są w układy przeciwoślizgowe systemu SAB WABCO, z czujnikami poślizgu umieszczonymi na każdym zestawie kołowym. Działanie systemu antypoślizgowego jest monitorowane i rejestrowane w pamięci układu. Istnieje możliwość odczytu tych danych i określenia, czy podczas eksploatacji układ był sprawny oraz czy na kołach którejkolwiek osi występowały poślizgi przekraczające granicę poślizgu pełnego (makropoślizgu). Dostęp do danych (program dekodujący i analizujący) jest obecnie tylko w posiadaniu serwisu SAB WABCO, który w razie potrzeby wzywa się do odczytu. Celowe byłoby zalecenie, aby usterki układu przeciwoślizgowego oraz dane o pełnych poślizgach były regularnie odczytywane przez serwis szynobusu i weryfikowane pod kątem występowania nieprawidłowości. Tymczasem od początku eksploatacji autobusów szynowych typu 215M odczyty te były, na zapotrzebowanie ZNTK Poznań S.A., wykonane tylko kilkakrotnie.

Istotny jest też fakt, że w notatkach z przeglądów kontrolnych w książce pokładowej brak zapisów o szczegółowym sprawdzaniu stanu powierzchni tocznych kół, nawet pomimo sygnalizowania przez maszynistów stuków i drgań. Pozwala to przypuszczać, że stan kół nie jest na bieżąco kontrolowany. Wskutek tego pojazd może być nadal eksploatowany, a dalsza praca zestawu kołowego z pierwszymi oznakami nieprawidłowego zużycia powodować mogła powstawanie dalszych uszkodzeń (pęknięcia pogłębiały się i przenikały w głąb materiału).

Autobus szynowy jest pojazdem lekkim, o małym nacisku kół na szyny, wymaga odmiennego od tradycyjnej lokomotywy sposobu prowadzenia przez maszynistę. Dlatego ZNTK Poznań S.A. przeprowadziło szereg kursów dla maszynistów mających prowadzić te pojazdy. Tymczasem stwierdzono, że nazwisk kilku maszynistów obsługujących autobus szynowy SA 108-004 nie ma na listach osób wyszkolonych przez ZNTK Poznań S.A.

Hamowanie z dużą intensywnością prowadzić może do powstawania znacznych lokalnych mikropoślizgów między kołem a szyną, nie będących poślizgami pełnymi, a więc nie powodującymi zadziałania układu przeciwoślizgowego.

7.3. Inne możliwe przyczyny

Biorąc pod uwagę fakt, że koła wszystkich autobusów szynowych serii SA 108 ulegają przyspieszonemu zużyciu, należałoby sprawdzić wężykowanie zestawów kołowych podczas jazdy. Autobus nie posiada klasycznych wózków dwuosiowych, a więc jego baza jest większa (rozstaw osi 9 000 mm). Jeśli w czasie jazdy występuje wężykowanie zestawów kołowych, to z uwagi na większą bazę pojazdu częstotliwość wężykowania będzie mniejsza, a przez to mniej odczuwalna (mogła nie być sygnalizowana przez drużynę trakcyjną). Tymczasem ciągła jazda z niewielkim nawet wężykowaniem o ustalonej amplitudzie zestawów kołowych może wzmagać ich zużycie.

8. Podsumowanie

Szczegółowej analizie składu chemicznego, struktury krystalograficznej oraz badaniom wytrzymałościowym poddano wyłącznie koła najbardziej zużytego zestawu kół przedmiotowego autobusu szynowego. Analiza zapisów w książce pokładowej oraz zapisów pochodzących z elektronicznych kości pamięci (EKP) dotyczyła również wyłącznie jednego autobusu, a zatem wnioskowanie dotyczy tylko analizowanego przypadku. Na szczegółową analizę całej populacji uszkodzonych kół trzeba by przeznaczyć więcej czasu, a przede wszystkim więcej środków, które pozwoliłyby na wykonanie obszerniejszych analiz materiałowych i metalograficznych oraz analizy zapisów z tachografu i systemu przeciwoślizgowego dla większego zbioru kół i pojazdów. Konieczna wydaje się też realizacja jazd obserwowanych.

W odniesieniu do przedmiotu badań można ustalić następujące przypuszczalne przyczyny nadmiernego zużycia zmęczeniowego:

- nieulepszone cieplnie wieńce kół oraz nieco za niska zawartość węgla, a tym samym za niska twardość materiału

- mikroślizgi na powierzchniach styku podczas hamowania, szczególnie podczas wielokrotnie powtarzanych, intensywnych hamowaniach, powodujące lokalne przegrzania i złuszczenia materiału
- niestaranne przeglądy kontrolne, pozostawianie w użytkowaniu kół z rozpoczętym procesem złuszczenia („spalling”), którego dalsza propagacja mogła powodować konieczność zbierania znacznie grubszej, niż zazwyczaj, warstwy materiału podczas reprofilacji
- brak dokładnej analizy zapisów jazd z tachografu oraz jakiegokolwiek analizy z układu przeciwoślizgowego
- prowadzenie autobusu przez maszynistów, którzy nie byli uczestnikami szkolenia dotyczącego sposobu jazdy autobusem szynowym (innego niż tradycyjną lokomotywą).

Literatura

- [1] *Przyczyny nadmiernego, przyspieszonego zużycia powierzchni tocznych kół monoblokowych w autobusie szynowym serii SA 108-004 produkcji Poznańskich Zakładów Naprawczych Taboru Kolejowego S.A. w Poznaniu. Raport wewnętrzny PP nr 52-967/2006, kier. tematu Jerzy Kwaśnikowski.*
- [2] *Karta UIC 812-3, Warunki techniczne dostawy dla kół bezobrotowych z walcowanej stali nie-stopowej dla pojazdów napędnych i wagonów, Wyd. 5 z 01.01.1984 ze zmianą z 01.01.1996. Karta anulowana 01.08.2006 i zastąpiona normą europejską EN 13262:2004.*
- [3] *Norma europejska EN 13262:2004, Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Koła. Wymagania dotyczące wyrobu.*
- [4] *Piec P.: Zjawiska kontaktowe w elementach pojazdów szynowych, Kraków, wyd. ITeE Radom, 1999.*
- [5] *Zakharov S.: Wheel/Rail Performance, in Guidelines to Best Practices for Heavy Haul Railway Operations: Wheel and Rail Interfaces Issues. International Heavy Haul Association: Virginia Beach.*
- [6] *Stone D.H.: TTCI Leads Research to Cut Premature Wheel Scrapping. Railway Gazette International, 09/2000.*
- [7] *Rail Safety & Standards Board (RSSB), Safety Critical Supply Chain Safety Management (SCSM). Wheelsets Procurement Test Case, Final Report by ATKINS, 2004.*
- [8] *Vu T.: Wheel Deterioration, The University of Birmingham and Manchester Metropolitan University 2003.*
- [9] <http://www.railway-technical.com/train-maint.html> (Railway Technical Web).
- [10] <http://autobusy.murowana.pl/index.php> (Galeria autobusów z Wielkopolski)
- [11] *Norma PN-EN ISO 6507-1:1999, Metale. Pomiar twardości sposobem Vickersa. Metoda badań.*
- [12] *Norma PN-EN 10045-2:1996, Metale. Próba uderzeniowa sposobem Charpy'ego. Metoda badania.*