

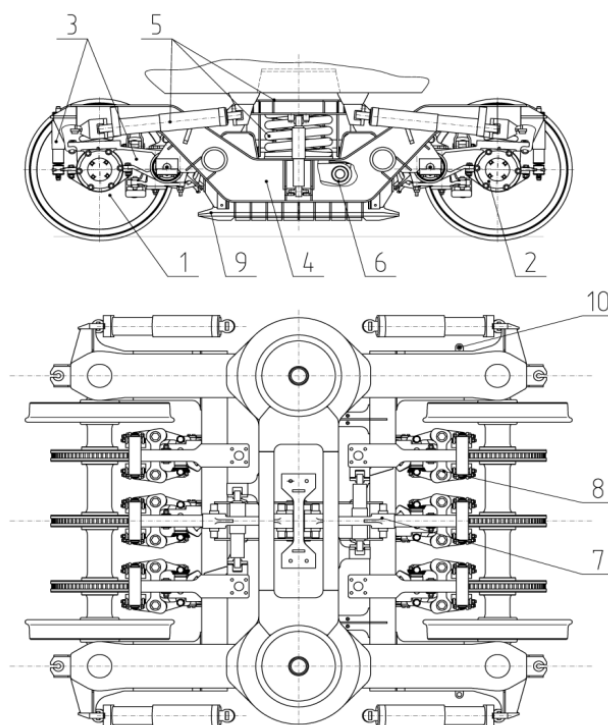
Badania wytrzymałościowe wózka 11 ANc

W artykule przedstawiono program badań wytrzymałościowych ramy wózka 11ANc, jako podstawowego ustroju nośnego. Opisano ramę jako obiekt do badań, strukturę stanowiskowych badań wytrzymałościowych, specyfikację sił działających na ramę oraz kryteria oceny wyników badań. Artykuł powstał w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R10 041 02, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego ze środków budżetowych na naukę na lata 2007÷2009 pt., „Wózek pasażerskiego pojazdu kolejowego typu Z o prędkości 250 km/h i możliwości modyfikacji do prędkości 300 km/h”.

1. Wstęp

Wózki toczne dla wagonów osobowych, przystosowane do wysokich prędkości powyżej 250 km/h muszą spełniać szereg wymagań przepisów międzynarodowych, zawartych w kartach UIC, normach europejskich EN, opracowanych przez Europejski Komitet Normalizacyjny (fr. „Comité Européen de Normalisation”, ang. European Committee for Standardization, niem. Europeisches Komitee für Normung). Istotny wkład w zakres przepisów obowiązujących dla poszczególnych komponentów wózka wnosi norma prPN-EN 15827:2008 [28]. Jednym z najważniejszych badań komponentów wózka jest badanie ramy jako podstawowego i najbardziej złożonego ustroju nośnego układu biegowego pod względem budowy. Problem ten nabiera szczególnego znaczenia dla układów biegowych dla wagonów osobowych zwłaszcza, że wózek jest przeznaczony do wysokich prędkości tzn. do 250 km/h, z możliwością modyfikacji do 300 km/h. Takie komponenty jak rama wózka, sprężyny zawieszenia pierwszego i drugiego stopnia, wahacz i zestaw kołowy, podlegające obciążeniom dynamicznym powinny wykazać się dużym stopniem niezawodności i wykazywać dostateczną wytrzymałość zmęczeniową [3÷5]. Badania te są badaniami stanowiskowymi, które przeprowadza się na prototypie ramy wózka. Decyzja o podjęciu badań stanowiskowych powinna być poprzedzona obliczeniami metodą elementów skończonych wg licencjonowanego programu z uwzględnieniem wszystkich sił działających na ramę wózka. Celem badań stanowiskowych jest udowodnienie poprawności rozwiązań konstrukcyjnych oraz zastosowanej technologii producenta, zwłaszcza technologii spawania, która mimo istotnego postępu w zakładach produkujących musi być weryfikowana nie tylko przez kontrolę jakości producenta przy zastosowaniu tradycyjnych metod badań spoin, do jakich należy zaliczyć badania wizualne, nowoczesne metody ultradźwiękowe, rentgenograficzne (badania stosowane przez kontrolę jakości producenta). W przypadku zmiany producenta, badania stanowiskowe należy powtórzyć.

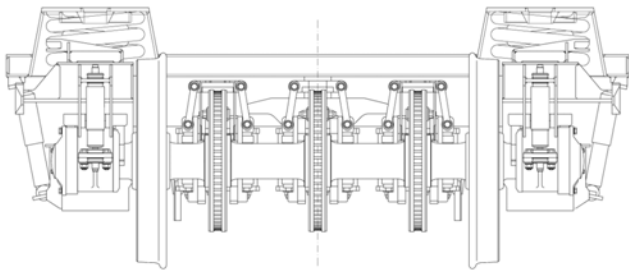
Badania stanowiskowe należy przeprowadzić na jednej ramie prototypowej, która po badaniach wytrzymałościowych musi być złomowana. W związku z powyższym, koszty stanowiskowych badań wytrzymałościowych są bardzo duże. Aby uniknąć ich powtórzenia należy przedsięwziąć kwalifikację obiektu do badań przez zastosowanie badań metodą proszków magnetycznych spoin wózka przez akredytowane laboratorium badawcze. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości można podjąć decyzję o ewentualnej naprawie spoin przez producenta, których jakość budzi wątpliwość i może mieć wpływ na negatywny wynik badań.



Rys.1. Wózek 11ANc przystosowany do wysokich prędkości (widok z boku i z góry). Oznaczenia użyte na rys.1:
1- zestaw kołowy z maźnicami i z trzema tarczami hamulcowymi
2- maźnice

- 3- układ usprężynowania pierwszego stopnia i prowadzenie maźnicy
- 4- rama wózka wraz ze wspornikami jako częściami przyspawanymi
- 5- belka nadwózkowa, usprężynowanie drugiego stopnia, tłumiki wężykowania
- 6- fragment stabilizatora przechylenia
- 7- urządzenie pociągowe
- 8- mechanizm zaciskowy hamulca tarczowego
- 9- elektromagnetyczny hamulec szynowy
- 10- ogranicznik przesuwu i skrętu wózka.

Widok wózka 11 ANc ze strony czołowej przedstawiono na rys.2.



Rys.2. Wózek 11ANc przystosowany do wysokich prędkości (widok od strony czołowej)

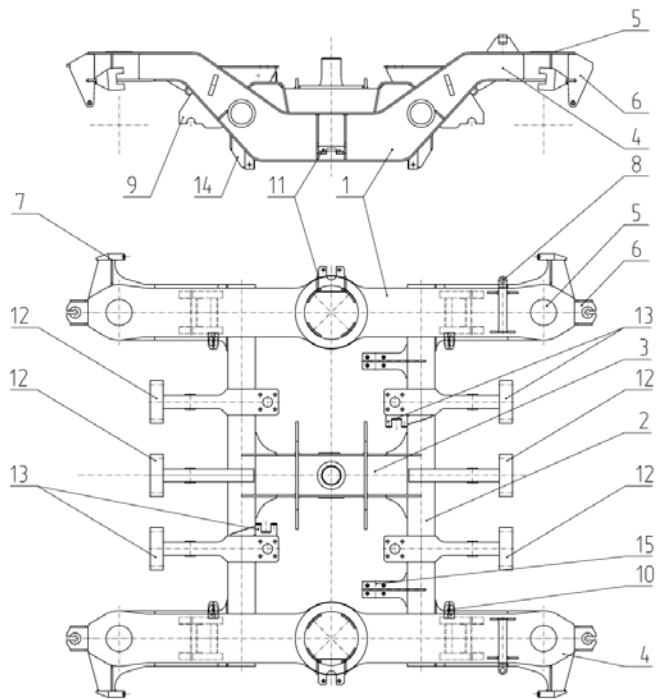
2. Obiekt do badań

2.1. Opis ogólny

Obiektem do stanowiskowych badań wytrzymałościowych jest prototypowa rama wózka 11ANc, który jest przeznaczony do wagonów osobowych typu Z wg karty UIC 567-2 [13] przystosowanych do wysokich prędkości zgodnie z wymaganiami karty UIC 660 [14] przez zastosowanie środków konstrukcyjnych w pudle określonych w [7,8]. Konstrukcja wózka z podziałem na grupy konstrukcyjne została szczegółowo omówiona i przedstawiona w [4]. Widok ogólny wózka 11ANc jest przedstawiony na rys.1 i 2.

Wózek spełnia wymagania skrajni kinematycznej wg karty UIC 505-1 [9], natomiast jego podstawowe komponenty jak koła, osie i spełniają wymagania odpowiednio karty UIC 510-2 [10] i PN-EN 13715:2006 [20] (zarys zewnętrzny wieńca koła), PN-EN 13262:2007 [19] (wymagania konstrukcyjne koła) oraz PN-EN 13103:2003 [17] (wytrzymałość osi) i PN-EN 13261:2004 [18].

Rama wózka jest konstrukcją spawaną, składającą się z dwóch ostojnic o zamkniętej konstrukcji skrzynkowej, połączonych dwoma rurami do mocowania mechanizmów zaciskowych hamulca tarczowego. Rury są połączone wzdłużną belką centralną do przeniesienia siły pociągowej wózek-pudło wagonu osobowego. Na ramę wózka użyto półwyrobów (blach i kształtowników) ze stali S355 wg PN-EN 10025-2:2007 [16], posiadającej granicę plastyczności $R_e=355$ MPa oraz doraźną granicę na rozciąganie $R_m=520$ MPa. Konstrukcja ramy wózka jest przedstawiona na rys.3.



Rys.3. Rama wózka 11ANc. Oznaczenia na rys.3:

- 1- ostojnica
- 2- poprzecznicę w kształcie rury
- 3- wzdłużną belką centralną do przeniesienia siły pociągowej
- 4- gniazda sprężyn
- 5- płyty bazowe służące do podpory ramy podczas obróbki mechanicznej
- 6- wspornik amortyzatora usprężynowania pierwszego stopnia
- 7- wspornik amortyzatora wężykowania
- 8- wspornik ogranicznika przesuwu poprzecznego
- 9- wspornik do mocowania wahaczy maźniczych, wykonanych ze stali wg PN-ISO 3755:1994 [29]
- 10- wsporniki transportowe na ściankach bocznych
- 11- wspornik amortyzatora pionowego
- 12- wspornik przeznaczone do zawieszenia hamulca tarczowego i szynowego
- 13- wspornik do zamocowania amortyzatora poziomo-poprzecznego i do zawieszenia hamulca tarczowego i szynowego
- 14- wspornik do zamocowania prowadzenia płóc elektromagnetycznych hamulca szynowego
- 15- wspornik do zamocowania podpór stabilizatora przechylenia.

Konstrukcja ramy wózka jest przystosowana do przenoszenia wszystkich sił pojawiających się w eksploatacji tzn. sił pionowych, sił poprzecznych, sił wchrowatości toru, sił hamulcowych i pochodzących od nabiegania, zdefiniowanych w PN-EN 13749:2008 [21], które pojawiają się jako statyczne siły nadzwyczajne oraz obciążenia cykliczne, wywołujące stopniowe zmęczenie struktury nośnej, które nie powinno prowadzić do pęknięć lub uszkodzeń struktury nośnej w zakładanym okresie użytkowania wagonu osobowego. Dla ustabilizowania wymiarów wózka po spawaniu przewidziano usunięcie głównych naprężeń spawalniczych poprzez poddanie działaniu odpowiedniego obciążenia stabilizującego lub poprzez odprężanie wibracyjne. Odprężanie wibracyjne jest metodą coraz bardziej preferowaną i wyżej ocenianą pod względem skuteczności usuwania naprężeń spawalniczych (szczątkowych) w ramach wózków.

2.2. Kwalifikacja i wymagany stan obiektu do badań

Rama przeznaczona do badań powinna być wyposażona we wszystkie przyspawane wsporniki zgodnie z dokumentacją konstrukcyjną. Rama po odbiorach przez Dział Kontroli Jakości oraz przedstawiciela użytkownika-klienta powinna być dostarczona do badań w stanie zagruntowanym. Spoiny powinny być wykonane zgodnie z wymaganiami karty UIC 897-13 [15] lub pakietu norm PN-EN 15085 część 1÷5 [23÷27].

Kwalifikacja obiektu do badań stanowiskowych przez laboratorium badawcze polega na:

- sprawdzeniu przez laboratorium badawcze kompletności dostarczonych dokumentów odbiorczych dostarczonych przez producenta
- przeprowadzeniu oględzin obiektu okiem nieuzbrojonym
- sprawdzeniu zgodności obiektu z dokumentacją konstrukcyjną i kompletności przyspawanych wsporników, ciągłość spoin
- ocenie jakości spoin metodą wizualną VT, metodą magnetyczno-proszkową MT lub metodą penetrującą PT przez pracownika lub instytucję zewnętrzną, posiadającą uprawnienia i wystawienie protokołu z przeprowadzonych badań.

3. Stanowiskowe badania wytrzymałościowe

3.1. Cel badań stanowiskowych

Zgodnie z normą EN 13749:2008[21] wózek 11ANc należy zakwalifikować do kategorii B-I, która obejmuje wózki z przeznaczeniem do eksploatacji na głównych liniach kolejowych oraz wózki do pojazdów szynowych do przewozów pasażerskich, wliczając pojazdy szynowe dostosowane do wysokich prędkości, napędne lub toczne. Stanowiskowe badanie wytrzymałościowe należy przeprowadzić zgodnie z programem badań, który jest opracowany w oparciu o wytyczne normy europejskiej EN 13749:2008 [18], karty UIC 515-4 [9], raportów ORE/ERRI B12 Rp.17 [32] i ORE/ERRI B12 Rp.60 [33]. W związku ze wzrostem znaczenia przepisów TSI (ang. Technical Specification for Interoperability”, niem. „Technische Spezifikation der Interoperabilität”) zasadniczym dokumentem, który należy uwzględnić przy opracowaniu programu stanowiskowych badań wytrzymałościowych jest norma europejska EN13749:2008 [21].

Celem stanowiskowych badań wytrzymałościowych jest:

- symulacja przypadków obciążeń, które mogą wystąpić w eksploatacji
- ustalenie wartości i rozkładu naprężeń w ramie dla zadanych obciążeń przy pomocy tensometrów
- sprawdzenie wytrzymałości zmęczeniowej ramy
- określenie fragmentów ramy, którym należy poświęcić szczególną uwagę przy produkcji, kontroli i przeglądach okresowych (naprawach taboru)

- sprawdzenie, czy technologia stosowana przez producenta w procesie produkcji ramy wózka spełnia wymagania konstrukcyjne.

3.2. Struktura stanowiskowych badań wytrzymałościowych

Próby wytrzymałościowe ramy wózka należy przeprowadzić w dwóch niezależnych etapach badawczych:

- badania statyczne z obciążeniami nadzwyczajnymi, występującymi w eksploatacji
- badania statyczne z obciążeniami eksploatacyjnymi
- badania zmęczeniowe z obciążeniami eksploatacyjnymi.

Warunkiem realizacji kolejnego etapu badawczego jest pozytywny wynik etapu poprzedniego. Wyniki każdego z etapów należy oceniać w oparciu o obowiązujące kryteria, które zostaną przedstawione w dalszej części opracowania.

Obydwie próby należy przeprowadzić przy użyciu tensometrów.

Tensometry należy rozmieścić w tych rejonach ramy, w których:

- występują naprężenia o dużej wartości na podstawie obliczeń wykonanych metodą elementów skończonych, które są przedstawione w dokumencie OR-9257 [1] oraz usytuować na
- jednej połowie ramy, natomiast na drugiej powinny być umieszczone tensometry kontrolne, celem zweryfikowania wyników pomiarów.

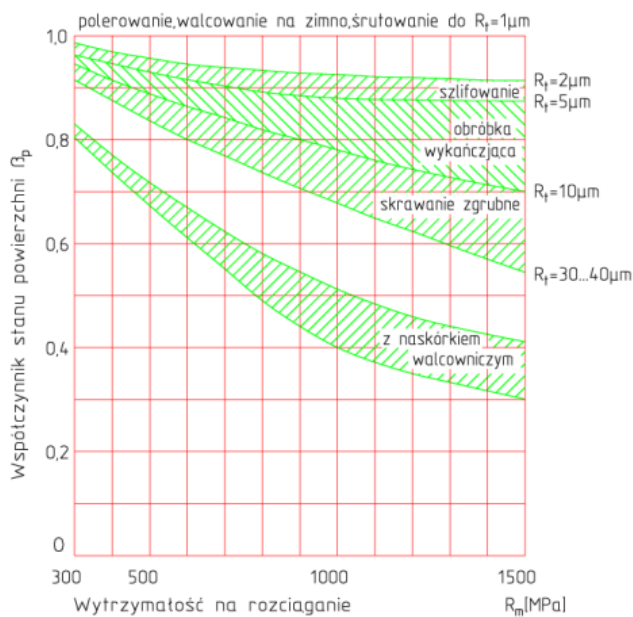
Tensometry o długości pomiarowej 10 mm (bazie pomiarowej) należy umieścić w taki sposób, aby nie wpłynęły na wyniki badań zmęczeniowych. Powyższy wymóg jest uzasadniony tym, że miejsca pod tensometry muszą być dokładnie oszlifowane przed ich naklejeniem, natomiast wytrzymałość zmęczeniowa jest zależna od chropowatości powierzchni. Zależność ta jest przedstawiona jako funkcja współczynnika stanu powierzchni β_p od rodzaju obróbki powierzchniowej na rys.4.

W miejscach, w których główny kierunek naprężeń jest trudny do określenia należy użyć rozety tensometrycznej. Usytuowanie tensometrów w rejonie korbów musi być zgodne z wytycznymi raportu ORE/ERRI B12 Rp.60 [33].

3.3. Etapy badawcze, wyznaczenie sił badawczych, przebieg badań oraz kryteria oceny

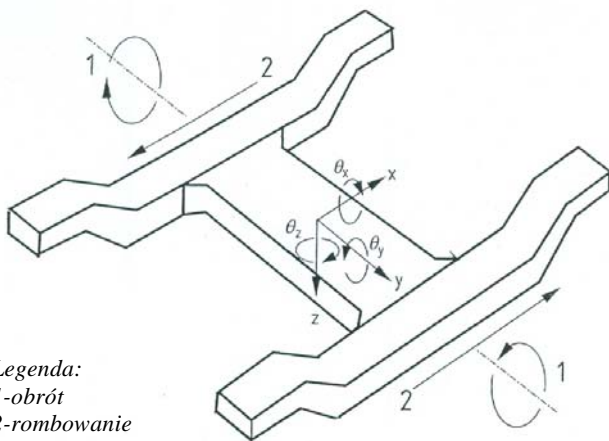
3.3.1. Uwagi ogólne

W celu określenia sił działających w poszczególnych etapach badawczych przyjęto układ współrzędnych zgodnie z PN-EN 13749:2008 [21], który jest przedstawiony na rys.5.



Legenda: R_t - średnia wysokość nierówności

Rys.4. Zależność współczynnika stanu powierzchni β_p od rodzaju obróbki powierzchniowej i doraźnej wytrzymałości na rozciąganie R_m wg [6]



Legenda:
1-obrót
2-rombowanie

Rys.5. Układ współrzędnych przyjęty do określenia sił w poszczególnych próbach statycznych oraz zmęczeniowych ramy prototypowej wózka 11ANc wg EN 13749:2008[21]

Oznaczenia użyte na rys.5, opisujące układ współrzędnych są przedstawione w tabeli 1.

Oznaczenia użyte w określeniu układu współrzędnych przyjęte do wyznaczania sił działających w próbach statycznych oraz zmęczeniowych Tabela 1

L.p.	Kierunek	Symbol	Opis
1.	wzdłużny	x	liniowy w kierunku toru (jazdy)
2.	poprzeczny	y	liniowy, równoległy do poziomu toru, prostopadły do kierunku ruchu
3.	pionowy	z	liniowy
4.	toczenie	Θ_x	obrót wokół osi wzdłużnej x
5.	pochylenie	Θ_y	obrót wokół osi poprzecznej y
6.	odchylenie od kierunku	Θ_z	obrót wokół osi pionowej z
7.	skręt	-	moment w płaszczyźnie (x-y) wynikający ze względnego obrotu ostojnic
8.	rombowanie	-	ściananie z uwagi na względny ruch ostojnic

3.3.2. Wartości liczbowe parametrów, służących do ustalania sił w poszczególnych etapach badań statycznych i zmęczeniowych

Dane techniczne wagonu osobowego 150 C, wyposażonego w dwa prototypowe wózki „11ANc” uwzględnione do wyznaczenia sił użytych podczas badań statycznych i zmęczeniowych ramy wózka wg OR-9257 [1]:

- ⇒ masa wagonu M_v49 200 kg
- ⇒ masa wózka (m^+).....7700 kg
- ⇒ masa kompletnego zestawu z prowadnicami.....1740 kg
- ⇒ masa obciążenia nadzwyczajnego (P_1)... 14 800 kg
- ⇒ ilość miejsc siedzących.....80
- ⇒ masa obciążenia eksploatacyjnego (P_2)....10600 kg
- ⇒ powierzchnia korytarzy.....17,3 m²
- ⇒ sztywność usprężynowania I-go stopnia.....1013 N/mm
- ⇒ sztywność usprężynowania II-go stopnia....460,08 N/mm
- ⇒ baza wózka (2a).....2 600 mm
- ⇒ rozstaw sprężyn (2b).....2 000 mm
- ⇒ rozstaw kręgów tocznych (2s).....1 500 mm

3.3.3. Badania statyczne ramy wózka z obciążeniami nadzwyczajnymi

3.3.3.1. Siły podczas badań

Podczas prób z siłami nadzwyczajnymi należy realizować następujące przypadki obciążeń:

- ⇒ nadzwyczajne obciążenie pionowe F_{z1max}
- ⇒ nadzwyczajne obciążenia pionowe F_{z1max} i poprzeczne F_{y1max}
- ⇒ nadzwyczajne obciążenie pionowe i poprzeczne oraz od wichrowatości toru $\pm 10^0/00$
- ⇒ obciążenie nadzwyczajne pionowe i od nabiegania
- ⇒ wykolejenie wózka (wichrowatość) przy obciążeniu pionowym wagonu w stanie próżnym
- ⇒ obciążenia hamowania.

Pionowe obciążenia nadzwyczajne przyłożone do każdej ostojnicy wynosi odpowiednio:

$$F_{Z1max} = \frac{1,4 \cdot g \cdot (M_V + P_1 - 2m^+)}{4} \quad (1)$$

Po wstawieniu wartości liczbowych $g=9,81 \text{ m/s}^2$, $M_V=49200 \text{ kg}$, $P_1=14\ 800 \text{ kg}$, $m^+=7700 \text{ kg}$ do wzoru (1), pionowe obciążenie eksploatacyjne wynosi odpowiednio:

$$F_{Z1max} = F_{Z2max} = \frac{F_{zmax}}{2} = \frac{1,4 \cdot 9,81 \cdot (49200 + 14800 - 2 \cdot 7700)}{4} = 166868,1 \text{ N} \quad (2)$$

Poprzeczne obciążenie działające na zestaw kołowy:

$$F_{y1max} = F_{y2max} = \frac{F_{ymax}}{2} = 10^4 + \frac{(M_V + P_1) \cdot g}{12} \quad (3)$$

Po wstawieniu wartości liczbowych $g=9,81 \text{ m/s}^2$, $M_V=49200 \text{ kg}$ oraz $m^+=7\ 700 \text{ kg}$ do wzoru (3) otrzymuje się:

$$F_{x1max} = 10^4 + \frac{(49200 + 14800) \cdot 9,81}{12} = 62320 \text{ N} \quad (4)$$

Siły działające na wózek wynikające z przyspieszenia $5g=49,05 \text{ m/s}^2$, powstające przy nabieganiu wagonu mają charakter sił działających w kierunku wzdłużnym.

Wzdłużne siły działające na wózek określa się ze wzoru:

$$F_{x1max} = 0,1 \cdot (F_{zmax} + m^+ \cdot g) \quad (5)$$

Po wstawieniu wartości liczbowych $F_{zmax}=166\ 868,1 \text{ N}$, $m^+=7700 \text{ kg}$ i $g=9,81 \text{ m/s}^2$ do wzoru (5) otrzymuje się:

$$F_{x1max} = 0,1 \cdot (2 \cdot 166868,1 + 7700 \cdot 9,81) = 40927,32 \text{ N} \quad (6)$$

Siły, spowodowane przejazdem wagonu przez tor o wichrowatości 10 ‰ wynikają z wymuszenie kinematycznego działającego na koło, które wyznaczono wg wzoru:

$$\Delta w_m = \frac{z \cdot 2a}{4} \cdot \frac{b}{s} \quad (7)$$

gdzie:

-z-wichrowatość toru [‰]

-2a- baza wózka [mm]

-2b-rozstaw sprężyn I-go stopnia [mm]

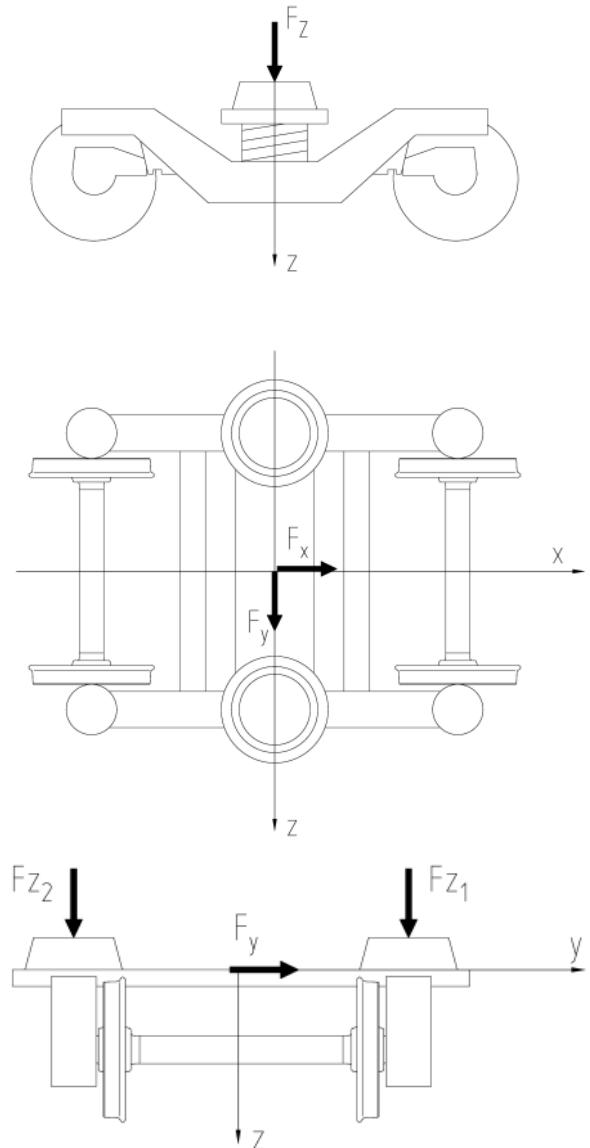
-2s-rozstaw płaszczyzn okręgów toczyń [mm].

Ponieważ wykolejenie odbywa się przy małej prędkości można założyć, że dla wagonu w stanie próżnym jedno koło wózka jest całkowicie odciążone a inne przemieszczone na wysokość główki szyny.

Po wstawieniu wartości liczbowych $z=0,01$, $2a=2600 \text{ mm}$, $b=1000 \text{ mm}$, $s=750 \text{ mm}$ do wzoru (7) otrzymuje się:

$$\Delta w_m = \frac{0,01 \cdot 2600}{4} \cdot \frac{1000}{750} = 8,666 \text{ mm} \quad (8)$$

Schemat obciążeń wózka przedstawiono na rys.6.



Rys.6. Schemat obciążenia ramy wózka podczas badań statycznych z obciążeniami nadzwyczajnymi i obciążeniami eksploatacyjnymi

3.3.3.2. Przebieg badań

Każdy przypadek obciążenia należy zrealizować przynajmniej dwukrotnie, zwiększając wartość obciążenia następująco:

$$0 \rightarrow P/2 \rightarrow P \rightarrow 0$$

W przypadku obciążenia bocznego lub od wichrowatości toru należy zrealizować wszystkie możliwe kombinacje obciążeń, wynikające ze zwrotu danego obciążenia. Przy realizacji obciążeń toru należy dodatkowo określić sztywność skrętną ramy. Wartość sztywności skrętnej, wyznaczoną eksperymentalnie wykorzystuje się do weryfikacji obliczeń bezpieczeństwa przed wykolejeniem w warunkach quasi-statycznych.

Typ stali	Grubość elementu	R _e [MPa]	R _m [MPa]
S355J2	<16 mm	355	490÷630

3.3.3.3. Kryteria oceny

Przy badaniu z siłami i wartościami maksymalnych wymienionych we wzorach od (1) do (8) nie mogą wystąpić przekroczenia granicy plastyczności. Po odciążeniu rama wózka nie może wykazywać żadnych odkształceń trwałych. Rama wózka jest wykonana ze stali S355J2 posiadającej minimalną granicę plastyczności R_{eH}=355 MPa wg PN-EN 10025:2007 [16]. Własności wytrzymałościowe stali S355J2 są przedstawione w tabeli 2.

3.3.4. Obciążenia statyczne ramy z obciążeniami eksploatacyjnymi

3.3.4.1. Siły podczas badań

Podczas badań statycznych z symulacją sił występujących w eksploatacji, ramę wózka realizuje się różne przypadki obciążeń wynikających z kombinacji działania sił wymienionych poniżej.

Pionowe obciążenia eksploatacyjne wyznaczono ze

wzoru:

$$F_{z1} = \frac{(M_V + 1,2P_2 - 2m^+) \cdot g}{4} \quad (9)$$

Po wstawieniu wartości liczbowych M_V=49200 kg, P₂=10 600 kg, m⁺=7700 kg i g=9,81 m/s² otrzymuje się:

$$F_{z1} = \frac{(49200 + 1,2 \cdot 10600 - 2 \cdot 7700) \cdot 9,81}{4} = 114090,3 \text{ N} \quad (10)$$

Poprzeczne obciążenia eksploatacyjne wyznaczono ze wzoru:

$$F_{y1} = \frac{F_z + m^+ \cdot g}{8} \quad (11)$$

Po wstawieniu wartości liczbowych F_z=2F_{z1}=2·114090,3 N, m⁺=7700 kg i g=9,81 m/s² do wzoru (11) otrzymuje się:

$$F_{y1} = \frac{2 \cdot 114090,3 + 7700 \cdot 9,81}{8} = 37964,7 \text{ N} \quad (12)$$

Wzdłużne siły skośne eksploatacyjne wyznaczono ze wzoru:

$$F_{x1\max} = 0,05(F_z + m^+ \cdot g) \quad (13)$$

Po wstawieniu wartości liczbowych F_z=2F_{z1}=2·114090,3 N, m⁺=7700 kg i g=9,81 m/s² do wzoru (13) otrzymuje się:

$$F_{x1\max} = 0,05(2 \cdot 114090,3 + 7700 \cdot 9,81) = 15185,88 \text{ N} \quad (14)$$

Siły, spowodowane przejazdem wagonu przez tor o wchrowatości 5 ‰, wynikają z wymuszenia kinematycznego działającego na koło i które wyznaczono ze wzoru (7):

$$\Delta w_m = \frac{0,005 \cdot 2600}{4} \cdot \frac{1000}{750} = 4,333 \text{ mm} \quad (15)$$

3.3.4.2. Przebieg badań

Różne przypadki obciążeń, które należy uwzględnić w statycznych badaniach wytrzymałościowych są przedstawione w tabeli 3.

3.3.4.3. Kryteria oceny wyników badań

Dla każdego punktu pomiarowego (tensometru) należy z trzynastu przypadków obciążeń (tabela 3) wybrać minimalną wartość ó_{MIN} i wartość maksymalną zmierzonych naprężeń ó_{MAX}. Na ich podstawie należy wyznaczyć:

⇒ średnią wartość naprężeń ó_M:

$$\sigma_M = \frac{\sigma_{\text{MIN}} + \sigma_{\text{MAX}}}{2} \quad (16)$$

⇒ amplitudę naprężeń Δó:

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma_{\text{MAX}} - \sigma_{\text{MIN}}}{2} \quad (17)$$

W oparciu o wykresy Goodmana-Smitha zamieszczone w ERRI B12Rp.17 [32] należy określić naprężenia dopuszczalne ó_{dop}. W tych punktach pomiarowych, w których kierunek naprężeń głównych nie pokrywa się z kierunkiem tensometru, należy uwzględnić wyniki pomiarów dla rozet tensometrycznych, przy których można znaleźć naprężenia główne w danym miejscu pomiarowym. Przy wyznaczaniu średniej wartości naprężeń i amplitudy naprężeń należy stosować metodykę postępowania, przedstawioną w ERRI B12Rp.17 [32]. Na ograniczonej liczbie miejsc pomiarowych dopuszczalne jest przekroczenie naprężeń dopuszczalnych o maksymalnie 20% pod warunkiem, że w trakcie badań zmęczeniowych 1-go stopnia i 2-giego stopnia nie pojawią się jakiegokolwiek pęknięcia a w trzecim stopniu mogą się pojawić tylko takie, które nie wymagają natychmiastowej naprawy. Zapis o dopuszczalnym przekroczeniu naprężeń podczas badań statycznych nie występuje w normie PN-EN 13749:2008 [21], ale jest zamieszczony w przepisach TSI [31] i w karcie UIC 515-4 [11]. Jak pokazuje dotychczasowa

Przypadki obciążeń dla cyklu kombinacji sił pionowych i poprzecznych oraz wynikających z wichrowatości toru dla statycznych prób wytrzymałościowych z obciążeniami eksploatacyjnymi

Tabela 3

Przypadek obciążenia	Siła pionowa [N]	Siła pionowa [N]	Siła poprzeczna [N]	Wichrowatość [‰]
1	$F_{z1}=0,5F_z$	$F_{z2}=0,5F_z$	0	
	114 090	114 090	0	
2	$(1+\alpha-\beta)F_{z1}=0,9F_{z1}$	$(1-\alpha-\beta)F_{z2}=0,7F_{z2}$	0	
	102 681	79 863	0	
3	$(1+\alpha-\beta)F_{z1}=0,9F_{z1}$	$(1-\alpha-\beta)F_{z2}=0,7F_{z2}$	F_y	
	102 681	102 681	37 964,7	
4	$(1+\alpha+\beta)F_{z1}=1,3F_{z1}$	$(1-\alpha+\beta)F_{z2}=1,1F_{z2}$	0	
	148 317	125 499	0	
5	$(1+\alpha+\beta)F_{z1}=1,3F_{z1}$	$(1-\alpha+\beta)F_{z2}=1,1F_{z2}$	F_y	
	148 317	125 499	37 964,7	
6	$(1-\alpha-\beta)F_{z1}=0,7F_{z1}$	$(1+\alpha-\beta)F_{z2}=0,9F_{z2}$	0	
	79 863	102 681	0	
7	$(1-\alpha-\beta)F_{z1}=0,7F_{z1}$	$(1+\alpha-\beta)F_{z2}=0,9F_{z2}$	$-F_y$	
	79 863	102 681	-37 964,7	
8	$(1-\alpha+\beta)F_{z1}=1,1F_{z1}$	$(1+\alpha+\beta)F_{z2}=1,3F_{z2}$	0	
	125 499	148 317	0	
9	$(1-\alpha+\beta)F_{z1}=1,1F_{z1}$	$(1+\alpha+\beta)F_{z2}=1,3F_{z2}$	$-F_y$	
	125 499	148 317	-37 964,7	
10	$(1+\alpha-\beta)F_{z1}=0,9F_{z1}$	$(1-\alpha-\beta)F_{z2}=0,7F_z$	F_y	± 5 ‰
	102 681	79 863	37 964,7	
11	$(1+\alpha+\beta)F_{z1}=1,3F_{z1}$	$(1-\alpha+\beta)F_{z2}=1,1F_{z2}$	F_y	± 5 ‰
	148 317	125 499	37 964,7	
12	$(1-\alpha-\beta)F_{z1}=0,7F_{z1}$	$(1+\alpha-\beta)F_{z2}=0,9F_{z2}$	F_y	± 5 ‰
	79 863	102 681	37 964,7	
13	$(1-\alpha+\beta)F_{z1}=1,1F_{z1}$	$(1+\alpha+\beta)F_{z2}=1,3F_{z2}$	F_y	± 5 ‰
	125 499	148 317	37 964,7	

Oznaczenia użyte w tabeli 3

$-\alpha=0,1$: współczynnik wynikający z efektu kołysania wagonu osobowego w stosunku do nacisku pionowego

$-\beta=0,2$: współczynnik wynikający z efektu podskakiwania wagonu osobowego w stosunku do nacisku pionowego.

praktyka badawcza takie przekroczenia naprężeń w ramach podczas badań statycznych występowały, natomiast rama wózka przy poprawnym wykonaniu spoin przechodziła badania zmęczeniowe z wynikiem pozytywnym.

Przypadki obciążeń dla cyklu kombinacji sił pionowych i wzdłużnych podczas prób nabiegania są przedstawione w tabeli 4.

Przypadek obciążenia	Siła pionowa [N]	Siła pionowa [N]	Siła wzdłużna [N]
1	F_{z1}	F_{z2}	
	114 090	114 090	0
2	F_{z1}	F_{z2}	F_{x1}
	114 090	114 090	15186
3	F_{z1}	F_{z2}	$-F_{x1}$
	114090	114090	-15186

3.3.4.3. Kryteria oceny wyników badań

Dla każdego punktu pomiarowego (tensometru) należy z trzynastu przypadków obciążeń (tabela 3) wybrać minimalną wartość σ_{MIN} i wartość maksymalną zmierzonych naprężeń σ_{MAX} . Na ich podstawie należy wyznaczyć:

⇒ średnią wartość naprężeń σ_M :

$$\sigma_M = \frac{\sigma_{\text{MIN}} + \sigma_{\text{MAX}}}{2} \quad (16)$$

⇒ amplitudę naprężeń $\Delta\sigma$:

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma_{\text{MAX}} - \sigma_{\text{MIN}}}{2} \quad (17)$$

W oparciu o wykresy Goodmana-Smitha zamieszczone w ERRI B12Rp.17 [32] należy określić naprężenia dopuszczalne σ_{dop} . W tych punktach pomiarowych, w których kierunek naprężeń głównych nie pokrywa się z kierunkiem tensometru, należy uwzględnić wyniki pomiarów dla rozet tensometrycznych, przy których można znaleźć naprężenia główne w danym miejscu pomiarowym. Przy wyznaczaniu średniej wartości naprężeń i amplitudy naprężeń należy stosować metodykę postępowania, przedstawioną w ERRI B12Rp.17 [32]. Na ograniczonej liczbie miejsc pomiarowych dopuszczalne jest przekroczenie naprężeń dopuszczalnych o maksymalnie 20% pod warunkiem, że w trakcie badań zmęczeniowych 1-go stopnia i 2-giego stopnia nie pojawią się jakiegokolwiek pęknięcia a w trzecim stopniu mogą się pojawić tylko takie, które nie wymagają natychmiastowej naprawy. Zapis o dopuszczalnym przekroczeniu naprężeń podczas badań statycznych nie występuje w normie PN-EN 13749:2008 [21], ale jest zamieszczony w przepisach TSI [31] i w karcie UIC 515-4 [11]. Jak pokazuje dotychczasowa praktyka badawcza takie przekroczenia naprężeń w ramach podczas badań statycznych występowały, natomiast rama wózka przy poprawnym wykonaniu spin przechodziła badania zmęczeniowe z wynikiem pozytywnym.

3.3.5. Obciążenia podczas badań zmęczeniowych

3.3.5.1. Siły podczas badań

W trakcie badań zmęczeniowych rama wózka poddawana jest działaniu obciążenia pionowego, boczno-go i od wichrowatości toru $\pm 5 \text{ }^{\circ}/_{00}$. Wartość całkowita siły pionowej lub bocznej (przy uwzględnieniu $F_z=114090,3\text{N}$, $\alpha=0,1$, $\beta=0,2$, $m^+=7700\text{ kg}$ oraz $g=9,81\text{ m/s}^2$) jest efektem nakładania się następujących składowych sił pionowych z podziałem na:

⇒ udział statyczny: $F_{z1}=F_{z2}=0,5F_z=114090,3\text{ N}$

⇒ udział quasi-statyczny: $F_{zqs1}=F_{zqs2}=\pm 0,5\alpha F_z = \pm 11409\text{ N}$

⇒ udział dynamiczny: $F_{zd1}=F_{zd2}=\pm 0,5\beta F_z = \pm 22818\text{ N}$ oraz sił bocznych z podziałem na:

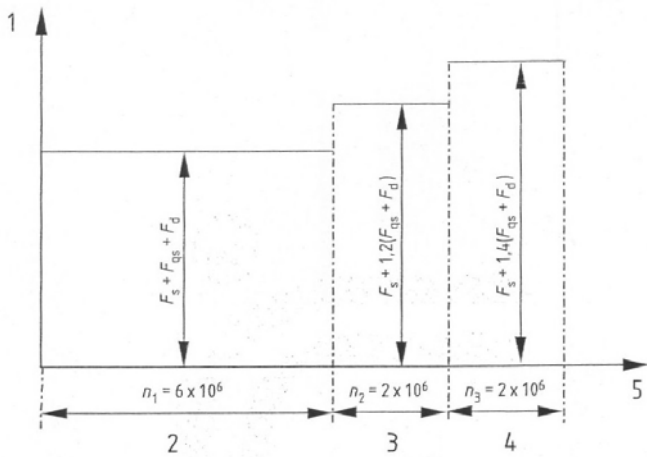
⇒ udział quasi-statyczny: $F_{yqs1}=F_{yqs2}=\pm 0,05(F_z+m^+g)=15\ 185,88\text{N}$

⇒ udział dynamiczny: $F_{yd1}=F_{yd2}=\pm 0,05(F_z+m^+g)=15\ 185,88\text{ N}$.

Zmiany obciążeń dynamicznych pionowych oraz bocznych muszą zachodzić przy zachowaniu równej częstotliwości i bez przesunięcia fazowego. Siła quasi-statyczna pionowa i boczna symulują jazdę w łuku toru, na zmianę w lewym i prawym i są ze sobą zsynchronizowane.

3.3.5.2. Przebieg badań

Cały cykl badań jest podzielony na trzy stopnie obciążenia. Łączna liczba cykli obciążeń dynamicznych w pierwszym stopniu wynosi 6×10^6 cykli. W drugim stopniu obciążenia wartość sił quasi-statycznych pozostaje niezmienną, natomiast wartość sił dynamicznych zwiększa się 1,2 razy. Ilość cykli w drugim stopniu obciążenia wynosi 2×10^6 . W trzecim stopniu obciążenia wartość sił quasi-statycznych pozostaje niezmienną, natomiast wartość sił dynamicznych zwiększa się 1,4 razy. Poszczególne cykle badawcze są przedstawione na rys. 7.

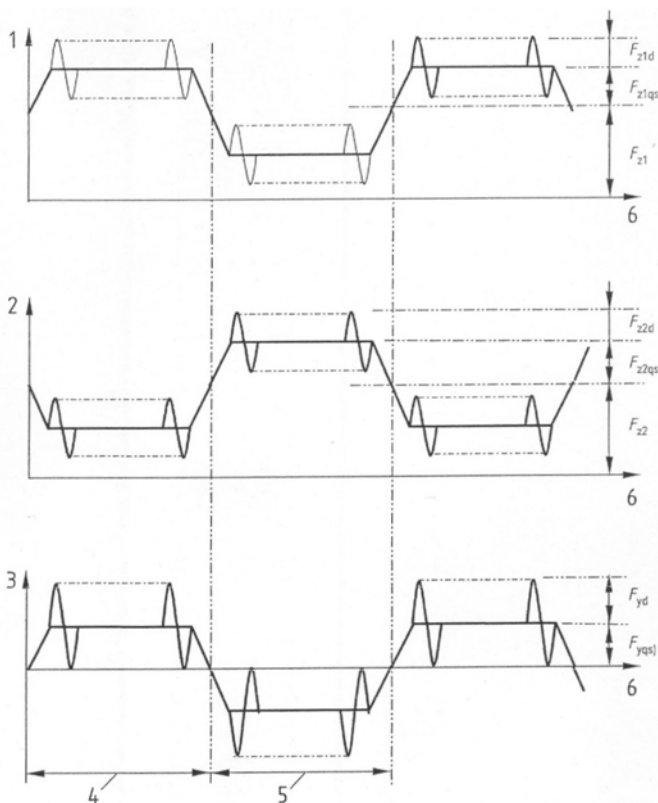


Legenda:

- 1- wartość siły
- 2- zakres badań zmęczeniowych (stopień obciążenia) I
- 3- zakres badań zmęczeniowych (stopień obciążenia) II
- 4- zakres badań zmęczeniowych (stopień obciążenia) III
- 5- ilość cykli badawczych

Rys.7. Podział badań zmęczeniowych ramy wózka na trzy zakresy badawcze

Przebieg sił pionowych i bocznych w zależności od ilości cykli przedstawiono na rys. 8.



Rys.8 Przebieg sił pionowych i poprzecznych obciążających ramę w funkcji czasu

Opis oznaczeń użytych na rys.8:

- 1- siła pionowa przyłożona do pierwszej ostojnicy F_{z1}
- 2- siła pionowa przyłożona do drugiej ostojnicy F_{z2}
- 3- siła poprzeczna F_y
- 4- n cykli łuków prawych
- 5- n cykli łuków lewych
- 6- ilość cykli badawczych
- F_{z1d} - siła dynamiczna przyłożona do ostojnicy 1
- F_{z2d} - siła dynamiczna przyłożona do ostojnicy 2

- F_{x1qs} - siła quasi-statyczna przyłożona do ostojnicy 1
- F_{x2qs} - siła quasi-statyczna przyłożona do ostojnicy 2
- F_{yqs} - statyczna siła poprzeczna
- F_{yd} - statyczna siła dynamiczna.

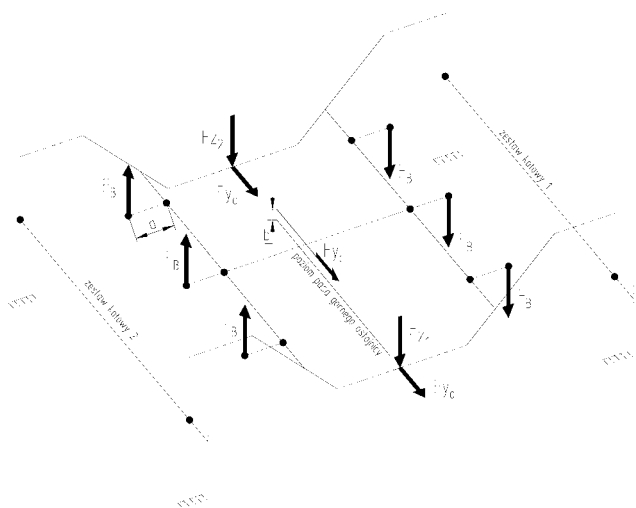
W każdym stopniu obciążenia I, II oraz III równocześnie z siłami pionowymi oraz poprzecznymi powinny być wprowadzone obciążenia od zwichrowania toru 5⁰/₀₀. Obciążenie od wichrowatości toru należy wprowadzić w następujący sposób:

- ⇒ w stopniu obciążenia I należy wprowadzić 6×10^5 cykli, podzielonych na 10 grup i powtarzanych w równomiernych odstępach przez cały czas realizacji tego stopnia
- ⇒ w 2-gim i 3-cim stopniu obciążenia należy wprowadzić 2×10^5 cykli w sposób analogiczny jak powyżej.

Badania zmęczeniowe należy przeprowadzić w sposób ciągły, ograniczając do minimum ilość ewentualnych przerw w realizacji poszczególnych stopni obciążeń. Podczas „każdej przerwy badawczej” następuje umocnienie materiału, które wpływa korzystnie na własności wytrzymałościowe. Badania zmęczeniowe muszą być przeprowadzone w taki sposób, aby zagwarantować powtarzalność uzyskanych wyników badań i wyeliminować zjawiska przypadkowe, mające wpływ na uzyskane wyniki.

Jeśli na podstawie wyników statycznych badań wytrzymałościowych stwierdzono, że naprężenia wywołane skręcaniem ramy od wichrowatości toru pojawiają się w tych samych miejscach co naprężenia od obciążenia pionowego i boczno oraz są znacząco małe w stosunku do nich, wówczas wszystkie te obciążenia muszą być wprowadzone z jednakową częstotliwością i bez przesunięcia fazowego. W przypadku, gdy naprężenia te występują w różnych miejscach, wówczas obciążenie skrętne można wprowadzić w sposób niezwiązany z pozostałymi. Jeśli z wyników badań statycznych wynika, że poziom naprężeń wywołany skręcaniem ramy jest mały w porównaniu z naprężeniami pochodzącymi od pozostałych obciążeń to w badaniach zmęczeniowych można pominąć obciążenia wywołane wichrowatością toru. Przed rozpoczęciem prób należy pomierzyć wartości naprężeń w tensometrach, dla dowolnego przypadku obciążenia wg tabeli 3 z kombinacją sił: pionowej, bocznej i od wichrowatości toru następnie porównać je z odpowiednimi wynikami pomiarów z badań statycznych z siłami nadzwyczajnymi i siłami eksploatacyjnymi. Należy w ten sposób przeprowadzić ocenę poprawności obciążenia ramy w badaniach dynamicznych i w przypadku rozbieżności dokonać korekty w wartościach sił obciążających ramę (np. wymiar 163,5mm na rys.6) lub w punktach jej przyłożenia tak, aby w odpowiednich sobie punktach tensometrycznych uzyskać podobne wartości naprężeń. Siłę pionową F_z należy przykładać do ostojnicy poprzez okrągłą podkładkę o średnicy zewnętrznej 442 mm i wewnętrznej 330 mm imitującą

pośrednictwo sprężyny głównej w drugim stopniu usprężynowania. Rama wózka w miejscu działania usprężynowania I-go stopnia powinna być podparta na tulei o średnicy zewnętrznej ok. 250 mm. W czasie badań mierzy się naprężenia maksymalne w sposób statyczny w celu kontroli niezmienności obciążeń oraz w celu wykrycia fragmentów ramy, które tracą nośność na wskutek uszkodzenia nie wykrytego innym sposobem. Sposób obciążenia ramy do badań zmęczeniowych jest przedstawiony na rys.9.



Legenda: wymiary a i b określa się na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej wózka 11ANc
Rys.9. Schemat obciążenia ramy siłami pionowymi, poprzecznymi i siłami hamulcowymi wózka podczas badań zmęczeniowych

Udział sił hamulcowych podczas badań zmęczeniowych można pominąć zgodnie z przepisami karty UIC 515-4 [11] oraz PN-EN 13749:2008 [21], o ile ich udział w wyęzieniu materiału w poszczególnych punktach pomiarowych jest mały w porównaniu z innymi siłami. Oceny tej należy dokonać po badaniach statycznych z obciążeniami nadzwyczajnymi oraz z obciążeniami eksploatacyjnymi.

3.3.5.3. Kryteria oceny

Wynik badań zmęczeniowych ramy wózka 11ANc uważa się za pozytywny, jeśli spełnione zostały następujące warunki:

- ⇒ nie wystąpiły żadne pęknięcia po zakończeniu I i II zakresu badań (stopni obciążenia)
- ⇒ w trakcie trzeciego stopnia wystąpiły nieznaczne pęknięcia zmęczeniowe, które nie wymagają natychmiastowej naprawy podczas eksploatacji.

Kryterium oceny sformułowane na podstawie karty UIC 515-4 [11] oraz PN-EN 13749:2008 [21] i obowiązujące dla III-go stopnia badań nie jest jednoznaczne. Pojęcie to bez szczegółowego zdefiniowania daje rozległą możliwość jego interpretacji dla laboratoriów badawczych i to nie zawsze w sposób prawidłowy. Zagadnienie to nabiera jeszcze większego zna-

czenia dla układów biegowych dla taboru napędowego oraz tocznego, przystosowanego do wysokich prędkości, gdzie bezpieczeństwo eksploatacyjne nabiera szczególnego znaczenia. Z praktyki badawczej wynika, że występowały rami (jako prototypowe obiekty dostarczone do badań) które przeszły wszystkie trzy zakresy badawcze (stopnie obciążeń). Charakteryzowały się one bardzo dobrą technologią wykonania, zwłaszcza w zakresie techniki spawalniczej. Występujące pęknięcia w III stopniu mają charakter poznawczy i na ich podstawie działy konstrukcyjno, technologiczne i kontroli jakości producenta powinny zwrócić szczególną uwagę na „słabe miejsca w konstrukcji”. Powtarzanie badań w tym przypadku nie jest konieczne. Kontrolę spoin, w celu wykrycia ewentualnych spoin należy wykonać co 10^5 metodą wizualną VT oraz co 10^6 cykli metodą penetracyjną PT. Metoda penetracyjna opiera się na wykorzystaniu zjawiska włoskowatości, który polega na wnikanii cieczy do wąskich przestrzeni i wznoszenia się w kierunku przeciwnym do działania siły ciężkości. Na odpowiednio przygotowaną powierzchnię, czyli suchą i odtłuszczoną nanosi się penetrant, czyli drobnocząsteczkową zawiesinę o kolorze czerwonym lub niebieskim. Zawiesina ta wnika w szczeliny i po czasie penetracji jest usuwana wyłącznie z powierzchni. Po czasie wywoływania 5÷60 minut środek penetrujący dyfunduje do szczelin i zabarwi lokalnie wywołując wskazując jednocześnie miejsca wystąpienia ewentualnych nieciągłości materiału (pęknięć).

4. Wnioski

Badania ramy wózka 11ANc są jednymi z podstawowych, warunkujących badania dynamiczne na trasie wg karty UIC 518 [12] oraz PN-EN 14363:2005 [22] przy założeniu ekwiwalentnej stożkowości wg [2], tym bardziej że wagon będzie badany z prędkością 250 km/h. Zgodnie z ww. dokumentami prędkość badawcza może przekraczać o 10% ww. prędkość konstrukcyjną, co sprowadza się do jazdy wagonu jako obiektu badawczego z prędkością 275 km/h. W związku z tym należy zabezpieczyć maksymalną niezawodność poszczególnych komponentów w tym i rami jako podstawowego ustroju nośnego. Ostatnie tendencje w rozwoju wózków pojazdów szynowych zmierzają w kierunku uwzględniania większej ilości sił, działających na ramę, aby poznać również lokalną odporność konstrukcji np. w rejonie przyspawanych wsporników do mocowania mechanizmów zaciskowych, tłumików hydraulicznych, stabilizatorów pochylania itd. Wówczas konstrukcja ramy jest przebadana w sposób kompleksowy. Wymaga to jednak znacznie większej ilości siłowników oraz bardziej skomplikowanego oprzyrządowania, co znacznie zwiększa koszty badań. Tendencje te są uzasadnione również tym, że trudno jest utrzymać wysoki poziom

spawania na całym badanej ramie, co potwierdzają dotychczasowe doświadczenia zdobyte w laboratoriach badawczych. Zwiększone wymagania dotyczące pojazdów wysokich prędkości są podyktowane spełnieniem wymagań TSI oraz RIC [30], dotyczących komunikacji międzynarodowych. Stanowiskowe badania wytrzymałościowe należy powtórzyć w następujących przypadkach:

- w przypadku negatywnego wyniku badań na pierwszym prototypowym egzemplarzu ramy (np. pęknięcia w I i II stopniu obciążeń lub utratę nośności ramy wózka w III stopniu)
- w przypadku wprowadzenia istotnych zmian konstrukcyjnych, które wpływają w sposób znaczący na wytrzymałość statyczną i zmęczeniową
- w przypadku zmiany technologii u tego samego producenta
- w przypadku zmiany producenta.

Stanowiskowe badania wytrzymałościowe ram wózków nowej generacji mają poważny wpływ na bezpieczeństwo eksploatowanego taboru i wymaga wnikliwej analizy przy opracowaniu programu badawczego przez działy konstrukcyjne oraz dużego doświadczenia laboratoriów badawczych, odpowiedzialnych za przeprowadzenie badań.

Literatura

- [1] Handkiewicz J.: Obliczenia wytrzymałościowe ramy wózka 11ANc. 09-12.2007.OR-9257(dokument przechowywany w archiwum IPS „Tabor” Poznań).
- [2] Sobaś M.: Ekwiwalentna stożkowatość styku koło-szyna i jej znaczenie we współczesnej analizie własności dynamicznych pojazdu szynowego. *Pojazdy Szynowe Nr 1/2005*.
- [3] Sobaś M.: Rozwiązania konstrukcyjne układów biegowych wagonów osobowych przystosowanych do wysokich prędkości. *Pojazdy Szynowe Nr 4/2008*.
- [4] Sobaś M.: Tendencje rozwojowe, wytyczne dla projektowania i kryteria oceny układów biegowych wagonów osobowych przeznaczonych do wysokich prędkości. *Pojazdy Szynowe nr 1/2009*.
- [5] Sobaś M.: Wózek 11ANc dla wagonu osobowego przeznaczonego do wysokich prędkości. *Pojazdy Szynowe nr 3/2009*.
- [6] Tauscher H.: *Dauerfestigkeit von Stahl und Gusseisen. 4-te neu aufbereitete Auflage, Leipzig 1982*.
- [7] Wittenbeck L., Sobaś M.: Analiza modalna bezprzedziałowego wagonu osobowego 150A w celu przystosowania jego struktury nośnej do wózków wysokich prędkości typu 11ANc. *Pojazdy Szynowe nr 2/2009*
- [8] Wittenbeck L., Sobaś M.: Analiza modalna bezprzedziałowego wagonu osobowego. XVIII Konferencja Pojazdów Szynowych. Materiały konferencyjne Politechniki Śląskiej. Katowice-Ustroń 17-19.09.2008
- [9] Karta UIC 505-1: Pojazdy kolejowe. Skrajnia pojazdów. 10-te wydanie z maja 2006
- [10] Karta UIC 510-2: Pojazdy doczepne. Warunki dla stosowania kół o różnych średnicach w układach biegowych różnego typu. 4-te wydanie, kwiecień 2002.
- [11] Karta UIC 515-4: Pojazdy kolejowe dla transportu pasażerów. Wózki toczne. Układy biegowe. Badania wytrzymałościowe ram wózków. 1-sze wydanie z dnia 1.01.1993.
- [12] Karta UIC 518: Badania i homologacja pojazdów szynowych z punktu widzenia właściwości dynamicznych, bezpieczeństwa jazdy, obciążenia toru i parametrów biegowych. 3-cie wydanie, październik 2005.
- [13] Karta UIC 567-2: Zunifikowane wagony pasażerskie typu Z dopuszczone do ruchu międzynarodowego. Charakterystyki. 4-te wydanie z 1.07.1991 ze zmianą 1.07.1995.
- [14] Karta UIC 660: Przepisy dotyczące zapewnienia technicznej kompatybilności dla pociągów dostosowanych do wysokich prędkości. Wydanie 2, sierpień 2002.
- [15] Karta UIC 897-13: Warunki techniczne dla kontroli jakości złącz spawanych części pojazdów ze stali. 2-gie wydanie z 1.01.1992.
- [16] PN-EN 10025-2:2007: Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych-Część 2: Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych.
- [17] PN-EN 13103: 2003: Zestawy kołowe i wózki. Osie zestawów kołowych tocznych. Zasady konstrukcji.
- [18] PN-EN 13261:2004: Kolejnictwo-Zestawy kołowe i wózki. Osie. Wymagania dotyczące wyrobu.
- [19] PN-EN 13262:2007: Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Koła. Wymagania dotyczące wyrobu.
- [20] PN-EN 13715: 2006: Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Koła. Zarys zewnętrzny koła
- [21] PN-EN 13749:2008: Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Metody określania wymagań konstrukcyjnych dla ram wózków.
- [22] PN-EN 14363:2005: Kolejnictwo. Badania własności dynamicznych przed dopuszczeniem pojazdów szynowych. Badania własności biegowych i próby stacjonarne.
- [23] PN-EN 15085-1:2007:Kolejnictwo. Spawanie pojazdów szynowych i ich części składowych. Część 1: Postanowienia ogólne.
- [24] PN-EN 15085-2:Kolejnictwo. Spawanie pojazdów szynowych i ich części składowych. Część 2: Wymagania dotyczące jakości i certyfikacja zakładów spawalniczych.
- [25] PN-EN 15085-3:Kolejnictwo. Spawanie pojazdów szynowych i ich części składowych. Część 3: Wymagania konstrukcyjne.
- [26] PN-EN 15085-4:Kolejnictwo. Spawanie pojazdów szynowych i ich części składowych. Część 4: Wymagania produkcyjne.
- [27] PN-EN 15085-5: Kolejnictwo. Spawanie pojazdów szynowych i ich części składowych. Część 5: Kontrola, badania i dokumentacja
- [28] prEN 15827: Kolejnictwo. Wózki i układy biegowe.
- [29] PN-ISO 3755:1994: Staliwo konstrukcyjne ogólnego przeznaczenia.
- [30] Przepisy RIC: Umowa o wymianie i użytkowaniu wagonów pasażerskich w komunikacji międzynarodowej. Ważna od 1 stycznia 2001.
- [31] Przepisy TSI: Decyzja komisji dotycząca specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „tabor kolejowy-wagony towarowe” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych z dnia 26 lipca 2006. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej.
- [32] Raport ORE/ERRI B12/Rp.17 wydanie 8: Program prób i badań dla wagonów towarowych z podwoziem i strukturą wagonu ze stali (które nadają się do zabudowy sprzęgu automatycznego pracującego na rozciąganie i ściskanie) i których wózki mają ramę stalową. Utrecht, kwiecień 1997.
- [33] Raport ORE/ERRI B12/Rp.60: Badania wytrzymałościowe pojazdów szynowych. Przepisy dotyczące badań wytrzymałościowych pojazdów szynowych. Przepisy dotyczące realizacji i dopuszczalnych naprężeń. Utrecht, 06.1995.