

Ocena bezpieczeństwa przeciwykolejeniego wagonów w warunkach quasistatycznych, metodą obliczeniową i pomiarowo-obliczeniową.

W artykule przedstawiono ocenę bezpieczeństwa jazdy po wichrowatym torze wagonów Metra Warszawa oraz wagonów serii Sggmrs/ss 90' i 140'.

1. WSTĘP

W praktyce eksploatacji nowych lub zmodernizowanych pojazdów szynowych wprowadzono obowiązkową ocenę bezpieczeństwa jazdy po wichrowatym torze. Pojazd szynowy nie ulegnie wykolejeniu gdy stosunek rzeczywiście działających sił między kołem nabiegającym a szyną jest mniejszy od jego wartości dopuszczalnej

$$\left(\frac{Y_a}{Q_a} \right)_{r2} \leq \left(\frac{Y_a}{Q_a} \right)_{\lim}$$

gdzie: Y_a – poprzeczna siła prowadząca na kole nabiegającym
 Q_a – rzeczywisty pionowy nacisk koła na szynę

Dla profilu koła o kącie pochylenia obrzeża 70° i przeciętnego współczynnika tarcia 0,36 wartość $\left(\frac{Y_a}{Q_a} \right)_{\lim}$ wynosi 1,2.

Szczególną podatność do zejścia koła z szyny wykazują pojazdy szynowe lekkie poruszające się z małą prędkością. Zgodnie z ustaleniami zawartymi w [1] wielkości Y, Q można określić wiarygodnymi metodami pomiarowymi, obliczeniowymi lub pomiarowo-obliczeniowymi. Ostatnie dwie metody wykorzystano do oceny bezpieczeństwa przed wykolejeniem wagonów Metra Warszawskiego oraz platform serii Sggmrs/ss 90' i 104'.

2. OCENA BEZPIECZEŃSTWA JAZDY WAGONÓW METRA PO WICHROWATYM TORZE.

2.1 Cel obliczeń i pomiarów.

W celu oceny bezpieczeństwa przed wykolejeniem wagonów Metra Warszawskiego (tocznego TC i silnikowego M1 f-my ALSTOM) konieczna jest znajomość sił poprzecznych występujących pomiędzy pojazdem i torem (sił Y prowadzących koła w torze) oraz nacisków pionowych kół na szyny podczas przejazdu przez wichrowaty tor na

łuku o promieniu $R = 150$ m, bez przechyłki z małą prędkością.

2.2. Dane techniczne wagonów.

Podstawowe parametry mechaniczne wagonów w stanie próbnym są następujące:

	TC	M1
- typ wagonu		
- baza wagonu 2a*	12,6 m	
- baza wózka 2a ⁺	2,0 m	
- poprzeczny rozstaw kół zestawów kołowych 2s (2b _a)	1,5 m	
- średnica kół jezdnych	0,86 m	
- aparat pociagowy wózka	sprężyna gumowa	
- ilość hydraulicznych tłumików pionowych na wózek	2 szt.	
- ilość hydraulicznych tłumików poprzecznych na wózek	1 szt.	
- ciężar usprężynowany przez II-gi stopień wagonu	178 kN	165 kN
- ciężar usprężynowany przez I-wszy stopień wagonu	226 kN	251 kN
- ciężar całkowity wagonu (na kołach)	278 kN	300 kN
- masa omażnicowanego zestawu kołowego	1304 kN	1358 kN
- masa ramy wózka wraz z wyposażeniem	~2476 kg	~4177 kg
- strzałka ugięcia pionowego usprężynowania II-go stopnia	100 mm	93 mm
- strzałka ugięcia pionowego usprężynowania I-go stopnia	20 mm	23 mm

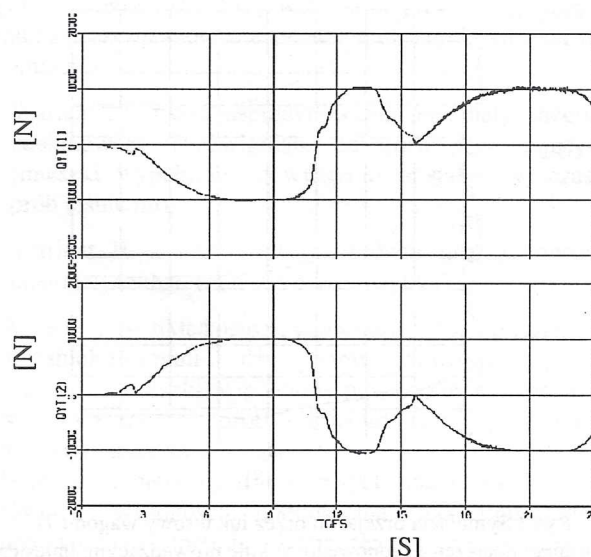
Wózki łączą się z nadwoziem poprzez mieszki sprężyn pneumatycznych, gumową sprężyną aparatu pociagowego oraz hydrauliczne tłumiki pionowe i poprzeczne. Na wsporniku aparatu pociagowego zamocowano gumowy ogranicznik przesuwu nadwozia względem wózka, który posiada 15 mm luzu swobodnego. Sprężyny pneumatyczne na wypadek utraty ciśnienia oparte zostały na sztywnej stożkowej sprężynie gumowej, która pełni wtedy rolę sprężyny II-go stopnia. Górna powierzchnia tej sprężyny zaopatrzona jest w poziomą płytę pełniącą rolę ślizgu na

skręty wózka względem nadwozia. Wagony ze względu na dużą sztywność pionową II-go stopnia nie zostały wyposażone w stabilizatory kołysania. Rama wózka opiera się na korpusach maźnic zestawów kołowych poprzez stożkowe sprężyny gumowe, które jednocześnie pełnią rolę prowadzenia zestawów. Na wózku napędzonym silniki są przykręcone do ramy wózka i poprzez elastyczne sprzęgła napędzają koła przekładni trakcyjnej.

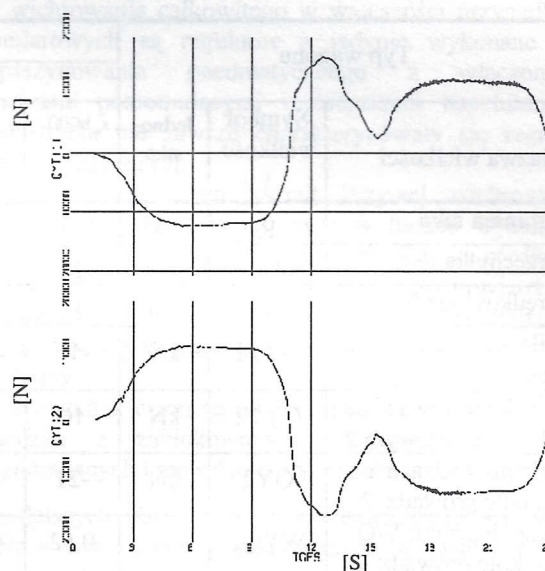
2.3. Metoda obliczeniowa.

Wielkości Y, Q określono metodą obliczeniową wykorzystując to, że znane są budowa i nominalne parametry zawiesznień oraz konstrukcji. Budowa i nominalne parametry zawiesznień i konstrukcji wyżej wymienionych wagonów są znane. Natomiast odchyłki tych parametrów są bliżej nieokreślone, a mają znaczny wpływ na naciski pionowe kół na szynę oraz niewielki wpływ na siły poprzeczne w torze. W metodzie tej w pierwszej kolejności wykonano modele fizyczno-matematyczne wagonu tocznego (TC) i silnikowego (M1) dla dwóch poniżej przedstawionych wariantów usprężynowania II-go stopnia. [2] Wariant I - układ usprężynowania pneumatycznego bez uwzględnienia pracy pneumatycznych zaworów poziomujących

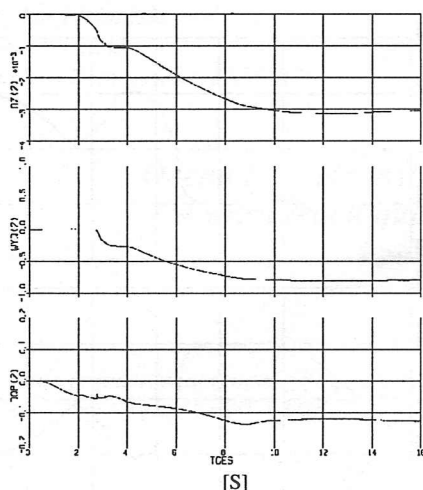
Wariant II - stan awaryjny usprężynowania pneumatycznego (mieszki bez powietrza). Modele uwzględniały wszystkie nominalne charakterystyki techniczne podane przez producenta wagonów w tym profile współpracy koła i szyny. Wykorzystując modele fizyczno-matematyczne wagonów wykonano komputerowe obliczenia symulacyjne przy pomocy programu ACSLV.11.00. W pierwszej kolejności wykonano obliczenia testowe umożliwiające weryfikację założonych modeli, a następnie obliczenia związane z przejazdem wagonów przez łuki torowe ze zrównoważoną przechyłką toru (siła odśrodkowa $F_{odśr.} = 0$). Otrzymane z obliczeń wyniki przedstawiono na rysunkach oraz w tabelach opracowania [2], a kilka z nich przytoczono poniżej. Z rysunków przedstawiających przebiegi czasowe wartości sił, przemieszczeń koła prowadzącego i współczynników $(Y/Q)_a$ dotyczących oddziaływania wózków na tor odczytano ustalone wartości na regularnej części łuku torowego. Na Rys. 1,2,3,4 przedstawiono przebiegi sił łożyskowych poprzecznych $[QYT(1), QYT(2)]$, współczynnika $(Y/Q)_a$ $[WYQ(2)]$, obciążenia pionowego na kole prowadzącym $[DQP(2)]$ oraz uniesienie nad główką szyny koła prowadzącego $[DZ(2)]$ podczas przejazdu przez łuk standardowy o promieniu 150 m wagonu M1. Odczytane wartości powyższych parametrów dla wagonu silnikowego (M1) i wagonu tocznego (TC) zamieszczono w tabeli 1.



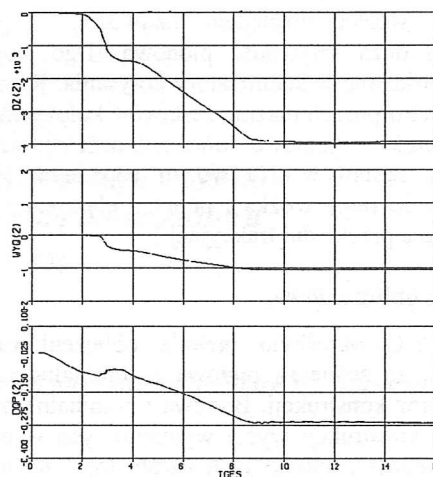
Rys.1 Symulacja przejazdu przez łuk torowy wagonu TC. Przebiegi sił łożyskowych poprzecznych H na zestawach kołowych nr 1 i 2 wózka przedniego (wykres nr s_b000 – Tabela 1).



Rys. 2 Symulacja przejazdu przez łuk torowy wagonu TC. Przebiegi sił łożyskowych poprzecznych H na zestawach kołowych nr 1 i 2 wózka przedniego (wykres nr s_b010 – Tabela 1).



Rys.3 Symulacja przejazdu przez łuk torowy wagonu TC. Przebiegi odciążenia pionowego na kole prowadzącym, uniesienia koła oraz współczynnika $(Y/Q)_a$ (wykres nr s_brq1 – Tabela 1).



Rys.4 Symulacja przejazdu przez łuk torowy wagonu TC. Przebiegi sił łożyskowych odciążenia pionowego na kole prowadzącym, uniesienia koła oraz współczynnika $(Y/Q)_a$ (wykres nr s_brq2 – Tabela 1).

Tabela 1.

Wyniki symulacji przejazdu wagonu TC (toczego) oraz M1 (silnikowego) przez łuki torowe.

Typ wagonu			TC					M1			
			Nazwa pliku								
Nazwa wielkości	Symbol wielkości i	Jednostka	s_b000	s_b010 *)	s_b011 *)	s_byq1 **)	s_byq2 *) **)	s_b100	s_b110 *)	s_byq3 **)	s_byq4 *) **)
Promień łuku	R	m	150	150	250	150	150	150	150	150	150
Przechyłka toru	Ue	mm	25	25	150	0	0	25	25	0	0
Prędkość jazdy	V	kmh	18	18	73	9	9	18	18	9	9
Siła łożyskowa H na zestawie kołowym 1	QYT1	kN	-10	-12.5	-11.5	-10	-10	-10.5	-12.0	-10.5	-10.3
Siła łożyskowa H na zestawie kołowym 2	QYT2	kN	10	12.5	11.5	10	-10	10.5	12.0	10.5	-10.3
Siła prowadząca Y na kole prowadz. 2	QY2	kN	-21	-22.5	-17.5	-	-	-21.8	-22.0	-	-
Współczynnik Y/Q na kole prowadz. 2	WYQ2	-	0.52	0.55	0.40	0.80	1.05	0.50	0.53	0.78	1.00
Odciążenie pionowe na kole prowadzącym 2	DQP2	%	-	-	-	12	26	-	-	11.5	25
Uniesienie nad szynę koła prowadzącego 2	DZ2	mm	-	-	-	3.1	3.9	-	-	3.05	3.8
Kąt nabiegania zestawu kołowego prowadzącego 1	DFR1	mrاد	-13.5	-14.0	-5.0	-	-	-	-	-	-

*) Nadwozie wagonu oparte na sprężynach awaryjnych.

**) Przejazd po łuku wichrowatym według ERRI B55 Rp.8 [1]

Oznaczenie kół 11,12,21,22 według Rys.1 Zał. nr 01 RP-0061 [3].

koło 1 ↔ koło 11

koło 3 ↔ koło 21

koło 2 ↔ koło 12

koło 4 ↔ koło 22

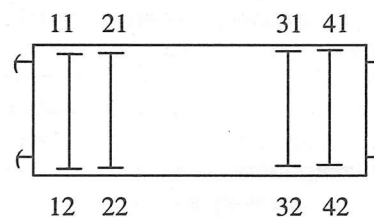


Tabela 1 przedstawia wstępną ocenę współczynników $(Y/Q)_a$ na łukach torowych z wichrowatością według ERRI B55 Rp.8 [1]. Symulacja przejazdu przez łuk o promieniu $R = 150$ m (łuk standardowy) bez przechyłki i z wichrowatością według [1] wykonano dla prędkości $v = 9$ km/h (2,5 m/s).

Uzyskane z symulacji wartości współczynników $(Y/Q)_a$ na łuku odpowiednio wynoszą:

wagon TC (toczny)	wariant I 0,80
	wariant II 1,05
wagon M1 (silnikowy)	wariant I 0,78
	wariant II 1,00

2.4. Metoda pomiarowo – obliczeniowa.

Ocenę końcową współczynników $(Y/Q)_a$ dokonano metodą mieszaną, pomiarowo obliczeniową. Wykorzystano w niej przedstawione w tabeli 1 wartości sił łożyskowych poprzecznych uzyskane z symulacji oraz wyniki pomiarów nacisków kół na szynę, które uwzględniają również odchyłki wykonawcze układów biegowych. Stanowisko badawcze (elektro-mechaniczne) w Fabryce Pojazdów Szynowych. H.Cegielski umożliwiło pomiar nacisków kół w funkcji różnych wysokości podnoszenia i opuszczania a więc wyznaczenie pętli histerezy. Metoda „łączna” (całkowita) wykonywania prób wichrowania przedstawiona w tabelach zawartych w [1] podaje kolejność i sposób wichrowania poszczególnych kół w zależności od badanego (ocenianego) koła i sposobu pomiaru (ruch, bezruch).

$$\text{Dla wichrowatości } g^* = \frac{15}{2a^*} + 2 = \frac{15}{12,6} + 2 = 3,19 [\%]$$

na bazie czopów skreću $2a^*$ maksymalne pionowe przemieszczenie kół wynosi:

$$t_{(2a^*)} = g^* \cdot 2a^* = 3,19 \cdot 12,6 \approx 40,2 [\text{mm}]$$

Przy wichrowaniu na bazie wózka $2a^+$ podnoszono i opuszczano koła do wysokości 10 mm co odpowiada wichrowatości 10‰.

$$\text{Dla wichrowatości } g^* = 7 - \frac{5}{2a^+} = 7 - \frac{5}{2} = 4,5 [\%]$$

przemieszczenie kół wynosi:

$$t_{(2a^+)} = \frac{1}{2} g^+ \cdot 2a^+ = 4,5 [\text{mm}]$$

Pomiary i obliczenia parametrów związanych z oceną bezpieczeństwa jazdy po wichrowatym torze dla dwóch

wagonów Metra (TC, M1) wykonano przy następujących wariantach usprężynowania pneumatycznego o których już wspomniano

- Wariant I – układ usprężynowania pneumatycznego z zablokowanymi dźwigniami zaworów poziomujących (mieszki wypełnione powietrzem o stałym w czasie prób ciśnieniu),
- Wariant II – stan awaryjny układu usprężynowania pneumatycznego (mieszki bez powietrza),
- Wariant I' – układ usprężynowania pneumatycznego z niezablokowanymi dźwigniami zaworów poziomujących (mieszki wypełnione powietrzem o zmiennym w czasie trwania prób ciśnieniu; pomiary w ograniczonym zakresie).

Wartości zmierzonych pionowych nacisków kół dla różnych wysokości podnoszenia lub opuszczania przetworzono metodą komputerową przez własny program

„SZTSKR-OBRS” który powstał w oparciu o metodykę zawartą w ERRI B55Rp.8 [1]. Umożliwia on obliczenie podstawowych parametrów związanych z oceną bezpieczeństwa jazdy po wichrowatym torze oraz sporządzenie wykresów wichrowania. Opracowane wykresy wichrowania całkowitego w większości przypadków pomiarowych są regularne a jedynie wykonane dla usprężynowania pneumatycznego z włączonymi zaworami poziomującymi i mieszkami napełnionymi powietrzem nie zawsze charakteryzowały się regularnymi kształtami [3].

W tych przypadkach kształt krzywej wichrowania (przebieg nacisku koła na szynę w funkcji wysokości podnoszenia i opuszczania koła) zależał od prędkości odczytu nacisku koła oraz zmian ciśnienia powietrza w mieszkach. Odczyt nacisków kół na szynę zmieniających się w czasie jest niejednoznaczny a tym samym mniej dokładny.

W związku z czym zasadnicze pomiary wykonano dla wariantu z zablokowanymi dźwigniami zaworów poziomujących i mieszkami wypełnionymi powietrzem.

Do dalszych obliczeń bezpieczeństwa przed wykolejeniem wykorzystano uzyskane metodą symulacji komputerowej siły łożyskowe poprzeczne na łuku $R = 150$ m, średni nacisk badanego zestawu kołowego oraz zmiany nacisków na zwichrowanym torze oraz te wynikające z błędów wykonania pojazdu. Dla wagonów TC i M1 i trzech wariantów pracy układu sprężynowania określono ilorazy (Y/Q) i przedstawiono je w tabeli 2.

Tabela 2

Zestawienie wartości parametrów związanych z oceną bezpieczeństwa przed wykolejeniem podczas jazdy po wichrowatym torze. Wagon TC (toczny) nr 2007. Wariant II.

Określenie ilorazu Y/Q na łuku wg. ERRI B55 dla wagonu METRO-WARSZAWA. Wagon toczny TC 2007							
Wariant II - stan awaryjny układu usprężynowania pneumatycznego.							
Mieszki bez powietrza							
				koło 11/12	koło 21/22	koło 31/32	koło 41/42
Określenie wielkości	Symbol	Zależności - Formuły	Jedn.	Wartość	Wartość	Wartość	Wartość
Średnica toczna kół jezdnych	Dk	Zadane >>	m	0,86	0,86	0,86	0,86
Poprzeczny rozstaw kół zestawu	2s	Zadane >>	m	1,50	1,50	1,50	1,50
Współczynnik tarcia koło/szyna	amiy	Zadane wg. ERRI B55 Rp8 >>	-	0,36	0,36	0,36	0,36
Siły łożyskowe poprzeczne na łuku R=150m - wartość quasi-statyczna	H=Fy	Obliczone metodą symulacji komputerowej (Tabela 1)	kN	12,50	12,50	12,50	12,50
Naciski kół - wartości quasi-statyczne							
Średni nacisk dla badanego zestawu kołowego	Qj	Odczytane z tabel 9 i 10 przedstawionych w raporcie RP-0061 Zał. 03 z badań na wadze [3]	kN	33,18	33,55	35,87	36,00
Zmiana nacisku na poziomym i zwichrowanym torze dla siły Fy=0	DQ		kN	12,24	12,85	13,16	12,40
Zmiana nacisku spowodowana działaniem siły łożyskowej Fy	DQFy	Fy*Dk/(2*2s)	kN	3,58	3,58	3,58	3,58
Nacisk pionowy koła nabiegającego	Qa	Qj-DQ+DQFy	kN	24,52	24,28	26,29	27,18
Nacisk pionowy koła towarzyszącego	Qi	Qj+DQ-DQFy	kN	41,84	42,82	45,45	44,82
Siły prowadzące - wartości quasi-statyczne							
Siła prowadząca na kole towarzyszącym	Yi	amiy*Qi	kN	15,06	15,41	16,36	16,13
Siła prowadząca na kole nabiegającym	Ya	Fy+Yi	kN	27,56	27,91	28,86	28,63
Współczynnik bezpieczeństwa przed wykolejeniem Y/Q							
Iloraz siły prowadzącej do nacisku pionowego koła nabiegającego	(Y/Q)a	Ya/Qa	-	1,12	1,15	1,10	1,05
Kryterium bezpieczeństwa wg. ERRI B55	(Y/Q)lim	Zadane (Y/Q)a<(Y/Q)lim >>	-	1,20	1,20	1,20	1,20

Największe wartości współczynnika $(Y/Q)_a$ określone na podstawie pomiarów i obliczeń dla wagonów TC i M1 wynoszą:

		Wagon	
		TC	M1
Wariant I	(układ usprężynowania pneumatycznego z zablokowanymi dźwigniami zaworów poziomujących w pozycji poziomej; mieszki napełnione powietrzem)	0,92 (zestaw z kołami 21, 22)	0,83 (zestaw z kołami 41, 42)
Wariant II	(stan awaryjny układu pneumatycznego; mieszki bez powietrza)	1,15 (zestaw z kołami 21, 22)	1,02 (zestaw z kołami 41, 42)
Wariant I'	(układ usprężynowania pneumatycznego z włączonymi zaworami poziomującymi; mieszki napełnione powietrzem o zmiennym ciśnieniu)	1,08 (zestaw z kołami 11, 12)	0,92 (zestaw z kołami 41 i 42)

2.5. Ocena końcowa.

Wszystkie wartości $(Y/Q)_a$ są mniejsze od kryterium $(Y/Q)_a \leq 1,20$ zawartego w [1]. Współczynniki $(Y/Q)_a$ dla wagonów TC i M1 i wariantów (I,II) usprężynowania pneumatycznego wyznaczone metodą obliczeniową są mniejsze o około 10% od współczynników wyznaczonych metodą pomiarowo - obliczeniową. Z porównania wartości współczynników $(Y/Q)_a$ dla wariantów I i I' usprężynowania pneumatycznego wynika, że podczas pracy usprężynowania z włączonymi zaworami poziomującymi (mieszki napełnione powietrzem o zmiennym ciśnieniu) bezpieczeństwo przed wykolejeniem pogarsza się o kilkanaście procent dla wariantu I'.

3. OCENA BEZPIECZEŃSTWA JAZDY WAGONÓW SERII SGGMRS/SS 90' i 104' PO WICHROWATYM TORZE.

3.1. Cel obliczeń.

Celem wyjaśnienia wszystkich wątpliwości dotyczących bezpieczeństwa przed wykolejeniem wagonów przegubowych serii Sggmrs/ss 90' i 104' przeprowadzono obliczenia potwierdzające ocenę (wykonaną wcześniej) na bazie metody pomiarowej. Wątpliwości zrodziły się z powodu znacznej długości wagonu i nietypowej ich konstrukcji.

3.2. Dane techniczne wagonów.

Omawiane wagony o następujących parametrach są wyposażone w trzy wózki standardowe (na wózku środkowym opierały się dwie półplatformy).

- wagonu serii	Sggmrs/ss 104'	Sggmrs/ss 90'
- tara wagonu m	30,17t [6]	29,10t (po odjęciu masy kontenerów)
- średnie obciążenie na koło	Q	tabela 4
- rozstaw czopów skrzętu	2a	13970 mm
- rozstaw osi wóz	2a ⁺	1800 mm
- rozstaw okręgów bocznych kół	2b _A	1500 mm
- rozstaw sprężyn usprężynowania pudła w kierunku poprzecznym	2b _Z [*]	2000 mm
- rozstaw ślizgów bocznych w kierunku poprzecznym	2b _G	1700 mm
- promień koła	r	460 mm
- promień łuku toru zastosowany w obliczeniach	R	150 m
- sztywność skrzęta wózka Y25L (pkt. 3.6.2. UIC 530-2)	C _t ⁺	2•10 ¹⁰ kNmm ² /rad
- sztywność skrzęta pudła wagonu próżnego	C _t [*]	przyjęto 2,03•10 ¹⁰ kNmm ² /rad [7] pkt.1. OR-8292/1 [9] (wynik z badań)
- sztywność skrzęta pudła wagonu obciążonego próżnymi kontenerami 40'	C _t [*]	przyjęto 10•10 ¹⁰ kNmm ² /rad [7]
- sztywność usprężynowania pierwotnego stopień I	C _{ZI} ⁺	1,00 kN/mm
- sztywność ślizgu	C _{ZG}	0,57 kN/mm
- luz ślizgu	d _{ZG}	12 mm
- względna odchyłka nacisku koła na poziomym torze	Δq ₀	0,2

Pozostałe dane techniczne dotyczące wagonów i wózka zawarte są w tabelach 1,2,3,4 Zał. 04 [9].

3.3. Metoda pomiarowo - obliczeniowa.

W pierwszej kolejności opracowano program komputerowy do obliczenia odciążeń kół przy zwichrowaniu na bazie czopów skrzętu wagonów 2a*, gdzie wykorzystywano schemat usprężynowania wózków (Rys. 5) oraz następujące zależności geometryczne i siły w usprężynowaniu wózka podczas wichrowania wagonów.

Zależności geometryczne:

$$\Delta z_{1,2}^+ = Z_N \pm b_z \cdot (f_x R - f_x T) - \text{pionowe deformacje sprężyn I-go stopnia}$$

$$\Delta z_{1,2}^+ = \pm b_g \cdot (f_x N - f_x R) - \text{pionowe deformacje sprężyn ślizgów}$$

Zależności siłowe:

- Siły pionowe w usprężynowaniu I-go stopnia:

$$P_{Z1,2}^+ = \begin{cases} P_{st}^+ + C_{Z1}^+ \cdot \Delta z_{1,2}^+ & \text{dla } \Delta z_{1,2}^+ \leq dz^+ \\ P_{st}^+ + C_{Z1}^+ \cdot dz^+ + C_{Z2}^+ \cdot (\Delta z_{1,2}^+ - dz^+) & \text{dla } \Delta z_{1,2}^+ > dz^+ \end{cases}$$

- Siły pionowe w usprężynowaniu II-go stopnia:

$$P_{Z1,2}^* = \begin{cases} Q_{s1} + C_{zg} \cdot \Delta z_{1,2}^* & \text{dla } \Delta z_{1,2}^* \leq dzg \\ Q_{s1} + C_{zg} \cdot dzg + C_{zgm} \cdot (\Delta z_{1,2}^* - dzg) & \text{dla } \Delta z_{1,2}^* > dzg \end{cases}$$

Równania równowagi:

- sił pionowych:

$$Q - P_{Z1}^+ - P_{Z2}^+ = 0$$

- momentów obracających względem osi x:
- ramę wózka:

$$Mx^+ - Mx^* = 0$$

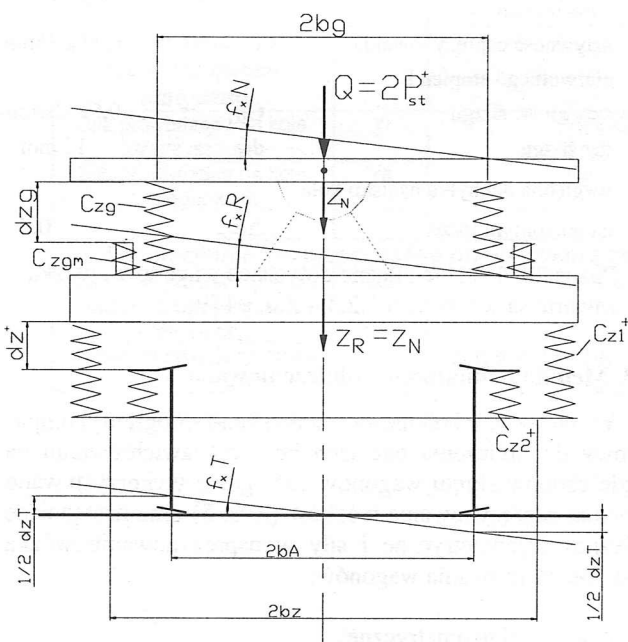
$$\text{gdzie: } Mx^+ = bz \cdot (P_{Z1}^+ - P_{Z2}^+)$$

$$Mx^* = bg \cdot (P_{Z1}^* - P_{Z2}^*)$$

- część nadwozia nad wózkiem:

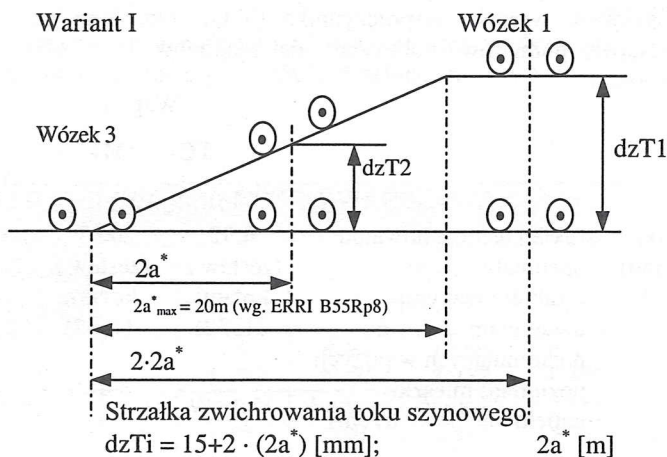
$$Mx^* - Ms^* = 0$$

$$\text{gdzie: } Ms^* = \begin{cases} Cfx^* \cdot (fxN1 - fxN2) - & \text{dla wózka 1} \\ Cfx^* \cdot (2fxN2 - fxN1 - fxN3) - & \text{dla wózka 2} \\ Cfx^* \cdot (fxN3 - fxN2) - & \text{dla wózka 3} \end{cases}$$



Rys. 5 Schemat usprężynowania wózka standardowego wagonów serii Sggmrs/ss 90' i 104'

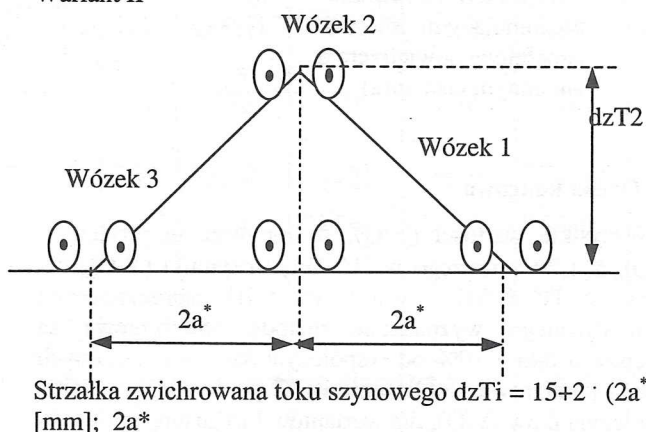
Wariant I



$$\begin{aligned} \text{Sggmrs/ss } 104' \quad 2a^* &= 13,97 \text{ m} \quad 2 \cdot 2a^* = 27,94 \text{ m} \\ dzT3 &= 0; dzT2 = 15+2 \cdot 13,97 \approx 43 \text{ mm}; \\ dzT1 &= 15+2 \cdot 20 = 55 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sggmrs/ss } 90' \quad 2a^* &= 12,025 \text{ m} \quad 2 \cdot 2a^* = 24,05 \text{ m} \\ dzT3 &= 0; dzT2 = 15+2 \cdot 12,025 \approx 39 \text{ mm}; \\ dzT1 &= 15+2 \cdot 20 = 55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Wariant II



$$\begin{aligned} \text{Sggmrs/ss } 104' \quad dzT3 &= 0 \quad dzT2 = 15+2 \cdot 13,97 \approx 43 \text{ mm}; \quad dzT1 = 0 \\ \text{Sggmrs/ss } 90' \quad dzT3 &= 0 \quad dzT2 = 15+2 \cdot 12,025 \approx 39 \text{ mm}; \quad dzT1 = 0 \end{aligned}$$

Rys.6 Schemat zwichrowania wagonów serii Sggmrs/ss 90' i 104' na bazie czopów skrzytu ($2a^*$).

Wariant I zakładał imitację najazdu wagonu na tor zwichrowany w taki sposób, że pod stroną wózka skrajnego zagłębienie wynosi: $\Delta Z_I = 2 \cdot (2 \cdot 2a^*_{(max)}) + 15$. Dla wagonów Sggmrs/s 90' i 104' ΔZ_I wynosi 55 mm.

Wariant II to podnoszenie i opuszczanie stron środkowego wózka na bazie $2a^* = 13,97 \text{ m}$ (wagon Sggmrs/ss 90') z jednoczesnym i rozłącznym wchrowaniem wózka na bazie $2a^+ = 1,8 \text{ m}$. Przypadek ten zakładał, że na łuku istnieje błąd ułożenia szyny imitujący nieckę na łuku wewnętrznym o głębokości $\Delta Z_{II} = 2 \cdot 2a^* + 15$ (43 mm dla Sggmrs/ss 104' i 39 mm dla Sggmrs/ss 90'). Drugi przypadek jest trudniejszy dla

2-2a* + 15 (43 mm dla Sggmrs/ss 104' i 39 mm dla Sggmrs/ss 90'). Drugi przypadek jest trudniejszy dla przejazdu wagonu przez zwichrowany łuk ze względu na działanie na wózek środkowy dwóch maksymalnych momentów skrętnych (pochodzących od wózków skrajnych). Wyniki wszystkich obliczeń zawarte są w tabelach 1, 2, 3, 4 opracowania [9] a w niniejszym artykule przedstawiono ich część (tabela 3) dla próżnego wagonu Sggmrs/ss.

Tabele przedstawione w opracowaniu [9] zawierają:

- dane dotyczące wagonu – platformy oraz wózka,

- parametry przeliczeniowe wagonu i wózka

- ♦ sztywność kątowa półplatformy
- ♦ kąt pochylenia nadwozia względem ramy wózka do wykasowania luzu pionowego na ślizgach bocznych
- ♦ maksymalne dociążenie sprężyny ślizgu bocznego

- ♦ odciążenie pionowe maźnicy w punkcie załamania charakterystyki
- ♦ obciążenie statyczne maźnicy wózka 1,2,3
- ♦ kąt pochylenia toru pod wózkiem 1,2,3

- przemieszczenie pionowe i kątowe nadwozia, ram wózków

- ♦ kąty pochylenia nadwozia nad wózkiem 1,2,3
- ♦ kąty pochylenia ram wózków 1,2,3
- ♦ przemieszczenie pionowe ram wózków 1,2,3

- deformacje pionowe sprężyn ślizgów bocznych i I-go stopnia wózka 1,2,3 po stronie lewej i prawej przyrosty obciążeń pionowych na sprężynach ślizgów bocznych i I-go stopnia wózka 1,2,3 po stronie lewej i prawej.

Tabela 3

Obliczone momenty obrotowe na nadwoziu platformy i wózkach oraz siły pionowe na wózkach dla próżnego wagonu serii Sggmrs/ss 104'.

Lp	Określenie wielkości	Symbol	Zależność	Jednostka	Wariant I	Wariant II
96	Moment obrotowy na nadwoziu platformy i wózkach oraz siły pionowe na wózkach					
97	Moment obrotowy od ślizgów:					
98	- nad wózkiem 1	$Mx*1$	$(Pz11*-Pz12*)*bg$	Nm	-5868	4909
99	- nad wózkiem 2	$Mx*2$	$(Pz21*-Pz22*)*bg$	Nm	-3533	-9822
100	- nad wózkiem 3	$Mx*3$	$(Pz31*-Pz32*)*bg$	Nm	9395	4909
101	Moment obrotowy od I-go stopnia					
102	- pod wózkiem 1	$Mx+1$	$(Pz11*-Pz12*)*bz$	Nm	-5871	4908
103	- pod wózkiem 2	$Mx+2$	$(Pz21*-Pz22*)*bz$	Nm	-3533	-9821
104	- pod wózkiem 3	$Mx+3$	$(Pz31*-Pz32*)*bz$	Nm	9397	4908
105	Moment obrotowy od skręcania półplatform					
106	- między wózkiem 1 i 2	$Mxt*12$	$(fxN1-fxN2)*Cfx*$	Nm	5864	-4908
107	- między wózkiem 2 i 3	$Mxt*23$	$(fxN2-fxN3)*Cfx*$	Nm	9397	4908
108						
109	Moment obrotowy całkowity na nadwoziu					
110	- nad wózkiem 1	$Mxc*1$	$Mx*1+Mxt*12 ==> 0$	kNm	0.0	0.0
111	- nad wózkiem 2	$Mxc*2$	$Mx*2+Mxt*23-Mxt*12 ==> 0$	kNm	0.0	0.0
112	- nad wózkiem 3	$Mxc*3$	$Mx*3-Mxt*23 ==> 0$	kNm	0.0	0.0
113	Moment obrotowy całkowity na wózku:					
114	- na wózku 1	$Mxc+1$	$Mx+1-Mx*1 ==> 0$	kNm	0.0	0.0
115	- na wózku 2	$Mxc+2$	$Mx+2-Mx*2 ==> 0$	kNm	0.0	0.0
116	- na wózku 3	$Mxc+3$	$Mx+3-Mx*3 ==> 0$	kNm	0.0	0.0
117	Przyrost siły pionowej na ramach wózków					
118	- na wózku 1	$Pz+1$	$Pz11++Pz12+-2*Q+1 ==> 0$	kN	0.0	0.0
119	- na wózku 2	$Pz+2$	$Pz21++Pz22+-2*Q+2 ==> 0$	kN	0.0	0.0
120	- na wózku 3	$Pz+3$	$Pz31++Pz32+-2*Q+3 ==> 0$	kN	0.0	0.0
121						
122	Funkcja celu (zerowe momenty i siły całkowite)	F_c	$(Mxc*1^2+Mxc*2^2+Mxc*3^2+Mxc+1^2+Mxc+2^2+Mxc+3^2+Pz+1^2+Pz+2^2+Pz+3^2)*0.5$	-	0	0

3.4. OBLICZENIA ILORAZU SIŁ Y i Q.

3.4.1. Zwichrowanie graniczne wagonu na bazie czopów skrętu ($2a^*$).

$$g^* = \frac{15}{2a^*} + 2 \quad [\text{‰}]$$

Dwa warianty zwichrowania wagonu serii Sggmrs/ss 90'i 104' przedstawiono na Rys. 6.

3.4.2. Zwichrowanie graniczne wózka na bazie rozstawu osi wózka ($2a^+$).

$$g^+ = 7 - \frac{5}{2a^+} = 7 - \frac{5}{1,8} = 4,222 \quad [\text{‰}]$$

3.4.3. Bezwzględna maksymalna odchyłka nacisku na kole wagonu próżnego.

$$\Delta Q_{fz} = \Delta q_0 \times Q_0 = 0,2 \times Q_0$$

3.4.4. Siła prowadząca na kole nabiegającym (zewnątrznym).

$$Y_a = 0,5319 \times Q_0 + 1,9062$$

3.4.5. Siła prowadząca na kole nienabiegającym (wewnętrznym).

$$Y_i = -0,4923 \times Q_0 - 0,1512 = [\text{kN}]$$

Siła wzajemnego oddziaływania między wałem osi oraz łożyskiem-mażnicą.

$$F_y = -(Y_a + Y_i) = [\text{kN}]$$

3.4.7. Bezwzględna zmiana (zmniejszenie) nacisku koła spowodowana działaniem siły F_y .

$$\Delta Q_{F_y} = F_y \times \left(\frac{r}{2b_A} \right) = F_y \times \left(\frac{460}{1500} \right) [\text{kN}]$$

3.4.8. Bezwzględna zmiana nacisku pionowego (zmniejszenie na-cisku) koła spowodowana wchrowatością g^+ .

$$\Delta Q_t^+ = g^+ \times C_{tA(2a^+)}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_{tA(2a^+)}} &= \frac{10^3 \times (2b_A)^2}{C_t^+} + \frac{10^3 \times (b_A)^2}{2a^+ \times (b_z^*)^2} \times C_E = \\ &= \frac{10^3 \times (1500)^2}{1 \times 10^{10}} + \frac{10^3 \times (750)^2}{1800 \times (1000)^2} \times \left(\frac{4}{1} \right) \end{aligned}$$

$$\frac{1}{C_{tA(2a^+)}} = 1,47 \text{ ‰/kN}$$

$$C_{tA(2a^+)} = 0,678 \text{ kN/‰}$$

$$\Delta Q_t^+ = 4,222 \times 0,678 = 2,863 \text{ kN}$$

3.4.9 Bezwzględne zmniejszenie graniczne obciążenia wskutek zwichrowania toru na bazie czopów skrętu ($2a^*$).

W oparciu o wyniki obliczeń, które zawarto w Zał. 04 (tabele 1,2,3,4) [9] obliczamy ΔQ_t^* .

$$\Delta Q_t^* = \frac{M_{x+1,2,3}}{2 \cdot 2b_A} = [\text{kN}]$$

($M_{x+1,2,3}$ – pozycja 101 z tabel 1,2,3,4) [9]

3.4.10. Bezwzględna zmiana (zmniejszenie) nacisku koła odpowiadająca wchrowatości łącznej $g^+ + g^*$.

$$\Delta Q_t^* = \text{zul} \Delta Q_t - \Delta Q_t^+$$

$$\text{zul} \Delta Q_t = \Delta Q_t^* + \Delta Q_t^+$$

$$\text{zul} \Delta Q_t = \Delta Q_t^* + 2,863 = [\text{kN}]$$

3.4.11. Bezwzględne, najwyższe zmniejszenie obciążenia wskutek zwichrowania toru.

$$\text{zul} \Delta Q_t = \lim \Delta Q - \Delta Q_{fz} - \Delta Q_{F_y}$$

$$\lim \Delta Q = \text{zul} \Delta Q_t + \Delta Q_{fz} + \Delta Q_{F_y}$$

3.5. KRYTERIUM BEZPIECZEŃSTWA PRZECIWNY-KOLEJENIOWEGO.

$$\left(\frac{Y}{Q} \right)_a = \frac{Y(R, Q)}{Q_0 - \lim \Delta Q}$$

$$\left(\frac{Y}{Q} \right)_a \leq \lim \left(\frac{Y}{Q} \right)_a = 1,2$$

Zestawienie parametrów związanych z obliczeniami bezpieczeństwa przeciwykolejzeniowego dla obu wagonów zawarto w tabeli 4.

Tabela 4

Zestawienie parametrów związanych z obliczeniami bezpieczeństwa przeciwykolejenowego dla wagonów
serii Sggmrs/ss 90' i 104'.

Parametr wg pkt. 4 „Obliczenia ilorazu sił Y i Q”	Wagon platforma serii Sggmrs/ss 104'						Wagon platforma serii Sggmrs/ss 90'					
	Bez kontenerów			Z kontenerami			Bez kontenerów			Z kontenerami		
	Wózek 1 I w. wicher.	Wózek 2 II w. wicher.	Wózek 3 I w. wicher.	Wózek 1 I w. wicher.	Wózek 2 II w. wicher.	Wózek 3 I w. wicher.	Wózek 1 I w. wicher.	Wózek 2 II w. wicher.	Wózek 3 I w. wicher.	Wózek 1 I w. wicher.	Wózek 2 II w. wicher.	Wózek 3 I w. wicher.
m [t] *	9,720	11,140	9,310	12,100	13,870	11,690	9,450	10,480	9,180	11,860	13,150	11,590
Q ₀ [kN]	23,838	27,321	22,833	29,675	34,016	28,670	23,176	25,702	22,514	29,087	32,250	28,424
ΔQ _{Fz} [kN]	4,768	5,464	4,567	5,935	6,803	5,734	4,635	5,140	4,503	5,817	6,450	5,685
Y _a [kN]	14,586	16,438	14,051	17,690	19,999	17,156	14,234	15,577	13,881	17,378	19,060	17,025
Y _i [kN]	-11,887	-13,601	-11,392	-14,760	-16,897	-14,265	-11,561	-12,804	-11,235	-14,471	-16,028	-14,144
F _y [kN]	-2,699	-2,837	-2,659	-2,930	-3,102	-2,891	-2,673	-2,773	-2,646	-2,907	-3,032	-2,881
ΔQ _{Fy} [kN]	-0,828	-0,870	-0,815	-0,899	-0,951	-0,887	-0,820	-0,850	-0,811	-0,891	-0,930	-0,884
M _x [kN·m]	5,871	9,821	9,397	8,115	11,339	12,450	6,615	9,068	9,285	9,608	10,226	11,667
ΔQ _t * [kN]	1,957	3,274	3,132	2,705	3,780	4,150	2,205	3,023	3,095	2,869	3,409	3,889
zul ΔQ _t [kN]	4,820	6,137	5,995	5,568	6,643	7,013	5,068	5,886	5,958	5,732	6,272	6,752
(ΔQ _{Fz} +ΔQ _{Fy}) [kN]	3,940	4,594	3,752	5,036	5,852	4,847	3,815	4,290	3,692	4,926	5,520	4,801
lim ΔQ [kN]	8,760	10,731	9,747	10,604	12,495	11,860	8,883	10,176	9,650	10,658	11,792	11,553
Y/Q	0,97	0,99	1,07	0,93	0,93	1,02	1,00	1,00	1,08	0,94	0,93	1,01

Objaśnienia:

$g^+ = 4,222 \text{ ‰}$ $C_{tA(2a+)} = 0,678 \text{ kN/‰}$ $\Delta Q_t^* = 2,863 \text{ kN}$

średnie obciążenie na koło (Q₀) w wózku przyjęto przy największej wartości momentu obrotowego od I stopnia (M_x pozycja 101 tabel 1,2,3,4 Zał. nr 04) [9]

*) m [t] masa wagonu przypadająca na wózek (pozycje 9,10,11 tabel 1,2,3,4 Zał. nr 04) [9]

I w. wicher., II w. wicher. – I,II wariant wichrowania według Rys. 6

wartości wytłuszczone – maksymalne wartości M_x i Y/Q dla poszczególnych wariantów obliczeń

3.6. OCENA KOŃCOWA.

Wyznaczone metodą obliczeniową stosunki sił Y/Q dla obu wagonów nie przekraczają wartości 1,08 [9] a metodą pomiarową - obliczeniową dla wagonu Sggrms/ss 104' wartości 1,09. [6]

3.7. PODSUMOWANIE.

Bezpieczeństwo przeciw wykolejeniu wagonów (jak widać z prezentowanych wyników) może być analizowane zarówno metodą obliczeniową jak i obliczeniowo- pomiarową (mieszana) ponieważ prowadzi do zbliżonych ocen.

4. LITERATURA.

- [1] *ERRI B55 Rp.8 Zapobieganie wykolejaniu się wagonów towarowych na wichrowatym torze. Utrecht.1983r.*
- [2] *OR-8291 Symulacja komputerowa wagonów tocznego napędzonego f-my ALSTOM dla Metra w Warszawie. IPS. Poznań, luty 2001r.*
- [3] *RP-0061 Wyznaczenie parametrów związanych z oceną bezpieczeństwa jazdy wagonów Metra po wichrowatym torze. IPS. Poznań, luty 2001r.*
- [4] *ERRI B12 Rp49 Podstawowe obliczenia do przygotowania wykresów zawartych w UIC 530-2. Utrecht. 1991r.*
- [5] *OR-8186/3a Program. Ocena bezpieczeństwa przed wykolejeniem platformy serii Sggrms/ss 104' podczas przejazdu przez wichrowaty tor oraz określenie sztywności skrajnej nadwozia Ct*. OBRPS. Poznań, kwiecień 2000r.*
- [6] *RP-0017 Wyznaczenie parametrów związanych z bezpieczeństwem jazdy wagonu przegubowego serii Sggrms 104' po wichrowatym torze oraz określenie sztywności skrajnej nadwozia Ct*. IPS. Poznań, sierpień 2000r.*
- [7] *RP-0031 Określenie sztywności skrajnej nadwozia Ct* wagonu przegubowego serii Sggrms/ss 90'. IPS. Poznań, listopad 2000r.*
- [8] *UIC 530-2 Wagony towarowe. Bezpieczeństwo biegu. 4 wydanie 1.07.1985r. Zmiany 1.07.1997r.*
- [9] *OR-8292/1 Bezpieczeństwo przeciw wykolejeniu w warunkach quasistatycznych wagonów serii Sggrms/ss 104'. IPS. Poznań, styczeń 2001r.*
- [10] *ERRI B12 Rp.17 wyd. 8 WAGONY TOWAROWE. Program badań wagonów towarowych z podwoziami i pudłami ze stali, nadających się do zabudowy automatycznego sprzęgu ciągnikowo-zderznika oraz wózków z ramą stalową.*