

## **Skrajnia kinematyczna i budowli pojazdów tramwajowych**

*Artykuł jest poświęcony aktualnemu stanowi wiedzy w zakresie skrajni kinematycznej oraz skrajni budowli dla pojazdów tramwajowych. Przedstawia techniczną analizę dotychczasowego stanu zebranego w oparciu o przepisy krajowe. Podano stan sieci tramwajowej i taboru tramwajowego w Polsce oraz metodę ustalania zarysu zewnętrznego pojazdów tramwajowych. Dokonano krytycznej oceny obowiązujących przepisów oraz podano wnioski i zalecenia zmierzające do aktualizacji tych przepisów.*

*Artykuł powstał w ramach projektu badawczego nr N 509 03531/2367 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego ze środków na naukę na lata 2006÷2009 pt.: „Metodyka wyznaczania kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni oraz luzów bezpieczeństwa dla pojazdów tramwajowych, celem ustalenia optymalnego zarysu pojazdu”.*

### **1. Wstęp**

Obecnie użytkowany tabor tramwajowy w miejskich przedsiębiorstwach komunikacyjnych w Polsce jest eksploatowany w oparciu o przepisy polskich norm, dotyczące skrajni kinematycznej. Sposób wyznaczania dopuszczalnego zarysu pojazdu jest podobny jak w przypadku pojazdów kolejowych. Istotną różnicą polega na tym, że przepisy dla pojazdów tramwajowych muszą uwzględniać dwie szerokości toru, występujące na sieciach tramwajowych miejskich przedsiębiorstw komunikacyjnych w kraju tzn. 1435 mm oraz 1000 mm, jak również mniejsze wielkości minimalnych promieni łuków toru na szlaku, które w przypadku pojazdów kolejowych wynoszą 150÷250 m, natomiast dla pojazdów tramwajowych 20÷25 m. W związku z powyższym istnieją dwa zarysy odniesienia skrajni kinematycznej (oraz odpowiadające im dwa zarysy odniesienia skrajni budowli), związane z wymienionymi wyżej szerokościami (prześwitami) toru. Od tych zarysów odniesienia odejmuje się wartości zwiężeń, celem określenia dopuszczalnego zarysu pojazdu. Dopuszczalny zarys pojazdu jest jednym z najistotniejszych parametrów, decydujących o walorach użytkowych, komforcie jazdy i efektywności przewozowej pojazdu ( ilość miejsc siedzących, ich wymiary i rozmieszczenie, ilość miejsc stojących przypadających na jeden metr kwadratowy, szerokość korytarzy przejściowych między miejscami siedzącymi, przestrzeń robocza dla motorniczego określająca ergonomię stanowiska pracy itp.), co w warunkach wzrastającej konkurencji na rynku przewozowym ma bardzo istotne znaczenie. Również konstrukcja pojazdu polegająca na optymalnym rozmieszczeniu urządzeń głównych, pomocniczych i zewnętrznych jest zależna od dopuszczalnego zarysu pojazdu.

Geometria pojazdu jest określona przez:

- zewnętrzny zarys pudła wagonu włącznie z wystającymi częściami, a dla tramwajów przegubowych zarys zewnętrzny każdego pudła
- geometryczne usytuowanie układów biegowych i wszystkich systemów usprężynowań i stabilizatorów kołysania na układach biegowych
- dla pojazdów przegubowych geometryczne położenie każdego przegubu
- inne szczegóły konstrukcyjne w zależności od typu pojazdu.

### **2. Stan sieci tramwajowej i taboru tramwajowego w Polsce**

#### **2.1. Sieć tramwajowa w Polsce**

Aktualnie obowiązujące normy PN-K-92008 [8] wraz z poprawką PN-K-92008/Ap1 [9], dotyczące skrajni kinematycznej wagonów tramwajowych oraz PN-K-92009 [10], dotycząca skrajni budowli odnoszą się do dwóch szerokości toru: 1000 mm oraz 1435 mm.

Dane dotyczące sieci tramwajowych w Polsce są przedstawione w tabeli 1 [2].

Jak wynika z tabeli 1 komunikacja tramwajowa występuje w 14-tu miastach, z czego 10 dysponuje siecią o prześwicie toru 1435 mm, natomiast w 4-ch występuje sieć o prześwicie 1000 mm ( Łódź, Bydgoszcz, Toruń i Grudziądz). We wszystkich miastach sieć tramwajowa znajduje się w rejonie ulic, z wyjątkiem Warszawy, która posiada sieć tramwajową wyodrębnioną z systemu komunikacji miejskiej.

**Zestawienie ogólnych danych dotyczących sieci tramwajowej w poszczególnych miastach wg [2]**

**Tabela 1**

L.p.	Miasto	Długość linii [km]	Prześwit toru [mm]	Rok budowy pierwszej linii	Ilość linii	Ilość pojazdów
1.	Katowice <sup>1)</sup>	207	1 435	1898	31	390
2.	Łódź <sup>2)</sup>	152	1 000	1898	18	515
3.	Warszawa	122	1 435	1908	31	860
4.	Wrocław	84	1 435	1893	26	410
5.	Kraków	83	1 435	1901	24	426
6.	Poznań	64	1 435	1898	16	320
7.	Gdańsk	50	1 435	1896	9	214
8.	Szczecin	47	1 435	1897	4	211
9.	Bydgoszcz	29	1 000	1896	5	114
10.	Toruń	22	1 000	1899	2	55
11.	Elbląg	15	1435	1895	1	37
12.	Gorzów Wlkp.	12	1435	1899	3	40
13.	Grudziądz	10	1000	1899	2	19
14.	Częstochowa	10	1435	1959	1	54

<sup>1)</sup> Oprócz Katowic do ogólnej długości linii tramwajowej wliczona jest sieć następujących 15-tu miast sąsiadujących tzn.: Będzina, Bytomia, Chorzowa, Czeladzi, Dąbrowy Górniczej, Gliwic, Mysłowic, Piekary Śląskie, Rudy Śląskie, Siemianowice Śląskie, Sosnowca, Świętochłowice, Wojkowice i Zabrze.

<sup>2)</sup> Oprócz Łodzi do ogólnej długości linii tramwajowej wliczona jest sieć następujących 5-ciu miast sąsiadujących tzn.: Aleksandrowa, Lutomińska, Ozorkowa, Pabianice i Zgierz.

Planowane są następne inwestycje w kolejnych miastach polskich związane z budową nowych sieci miejskich tzn. w Radomiu ( 3 linie) oraz w Kielcach ( 1 linia o długości 12 km).

**2.2. Przegląd taboru tramwajowego eksploatowanego w Polsce**

Rozwój konstrukcji pojazdów tramwajowych, zaprojektowanych i wyprodukowanych przez krajowy przemysł w Polsce został przedstawiony w tabeli 2 [3].

**Zestawienie tramwajów wyprodukowanych przez przemysł krajowy i eksploatowanych na liniach tramwajowych w Polsce [3]**

**Tabela 2**

L.p.	Typ tramwaju		Rok produkcji	Charakterystyka
	Tor o prześwicie 1435 mm	Tor o prześwicie 1000 mm		
1.	1N	2N	1947	Produkcja na istniejących podzespołach
2.	4N	5N	1950	Konstrukcja nowa, oparta na tramwajach niemieckich
3.	13N	-	1959	Pierwsza nowoczesna konstrukcja
4.	102 N	805N	1969	Pierwsza nowoczesna konstrukcja
5.	105Na	805Na	1974	Unowocześnienie konstrukcji i wznowienie produkcji tramwaju 13N
6.	106N		1979	Zmodernizowany w układzie elektrycznym tramwaj 105N
7.	107N			Tramwaj przyszłościowy

Typy tramwajów i podstawowe parametry techniczne tramwajów obecnie stosowanych na polskich sieciach tramwajowych przedstawiono w tabeli 3 [2].

Jak wynika z tabel 2 i 3 obecnie eksploatowane tramwaje można podzielić na trzy grupy:

➤ **Pierwszą grupę tramwajów liczącą około 80% taboru tramwajowego stanowią tramwaje typu 105N, które zostały zaprojektowane i wyprodukowane w Konstalu Chorzów (obecnie Alstom) do roku 2000, w ilości 3395 sztuk (w dwunastu odmianach).** Masowa produkcja tego typu tramwaju pozwoliła na stopniowe wycofywanie dwuosiowych tramwajów (typu N) na resorach piórowych, których rozwój i produkcja przypadła po drugiej wojnie światowej. Na koniec lat 80-tych ich produkcja wynosiła 200 sztuk rocznie. Biorąc pod uwagę, że najstarsze egzemplarze tego typu podlegają obecnie gruntownej modernizacji, tramwaje tego typu będą stanowiły jeszcze przez około 20 lat zasadniczy trzon polskiego taboru tramwajowego. Tramwaje typu 105 N przez długi czas swojego rozwoju należały do najnowocześniejszych w Europie. Wyposażenie ww. tramwajów w nowoczesne układy napędowe z falownikami wraz z ich sterowaniem, pozwoliło na redukcję kosztów utrzymania i zużycia prądu. Obecnie w eksploatacji jest około 200 tramwajów wyposażonych w falowniki.

**Zestawienie podstawowych parametrów technicznych tramwajów użytkowanych  
na sieciach tramwajowych w polskich miastach [2]**

**Tabela 3**

L.p.	Typ tramwaju	105N/805N*	102N/803N	RT-6N1	116N	Citadis 100NG d99	Citadis Katowice	NGT-6	Cityrunner	Combio
1.	Producent	Konstal	Konstal	CKD-HCP	Alstom-Konstal	Alstom Konstal	Alstom Konstal	Bombardier	Bombardier	Alstom
2.	Data dostawy	1974÷2000	1967÷1974	1998÷1999	2000	2000÷2001	2000÷2001	2000÷2003	2001÷2002	2003
3.	Ilość sztuk (stan 2003 rok)**	2974	160	10	29	4	17	26	15	15
4.	Wysokość podłogi	wysoka	wysoka	częściowo obniżona	częściowo obniżona	częściowo obniżona	częściowo obniżona	częściowo obniżona	obniżona	obniżona
5.	Długość [m]	13.5	19.3	26.3	24	26.6	24	26	29.5	29.5
6.	Ilość miejsc siedzących	20	32	48	38	49	45	82	58	59
7.	Całkowita ilość miejsc	125	185	263	193	229	208	249	151	172
8.	Masa w stanie próżnym [t]	17	25	32.8	24	30	28	31.6	34.2	34
9.	Moc [kW]	4×40 lub 4×46	4×41.5	4×102.5	4×75	4×120	4×120	4×125	4×100	4×100
10.	Prędkość maks. [km/h]	70	60	80	80	80	80	70	70	70
11.	Rejon zastosowania	wszystkie miasta	tylko niektóre miasta	Poznań	Warszawa	Gdańsk	Katowice	Kraków	Łódź	Poznań

\*] tramwaje typu 105/805N stosowane są zwykle jako pojazdy dwuwagonowe

\*\*] łącznie dla l.p.3 stan wynosi 3250 sztuk

- **Drugą** grupę tramwajów stanowią pojazdy, które były wyprodukowane przed więcej niż 30 laty. Ta grupa obejmuje obecnie 570 tramwajów, przeważnie przegubowych sześć- i ośmioosiowych, przejętych od użytkowników niemieckich, holenderskich i austriackich. Ww. grupa tramwajów charakteryzuje się małą wydajnością i wysokimi kosztami eksploatacji.
- **Trzecia** grupa tramwajów składa się z nowoczesnych pojazdów niskopodłogowych. Aktualnie eksploatuje się 118 takich tramwajów różnych typów wykonanych przez producentów: Alstom, Bombardier Transportation,

Siemens Transportation Systems i czeska Tatra.

Są one eksploatowane w czterech miastach: Warszawie, Łodzi, Krakowie i Poznaniu.

Struktura taboru tramwajowego ze względu na wiek jest przedstawiona w tabeli 4 [2].

Łączna ilość tramwajów, które są w eksploatacji w Polsce wynosi 3665 sztuk ( stan określony na rok 2004). Cechą charakterystyczną jest mały udział nowego taboru będącego w eksploatacji tzn. 5,10 % wyprodukowanego co najwyżej przed 5 laty oraz 8,78% przed 10 laty.

**Struktura wiekowa taboru tramwajowego eksploatowanego w Polsce**

**Tabela 4**

Wiek pojazdu w latach	1 do 5	2 6÷10	3 11÷15	4 16÷20	5 21 ÷25	6 26÷30	7 pow. 30
Ilość tramwajów szt.	187	135	460	1023	693	594	573
Udział procentowy	5,10%	3,68%	12,55%	27,91%	18,90%	16,2%	15,63%
	8,78 %		40,46%		50,73%		
	21,33%						
	49,24%						
	68,14%						
	84,34%						
	100%						

### 3. Analiza skrajni kinematycznej dla wagonów tramwajowych wg obowiązujących przepisów

#### 3.1. Dane wyjściowe

Pierwsze prace studialne dotyczące zasad ustalania dopuszczalnego zarysu pojazdu i zarysu odniesienia skrajni kinematycznej dla pojazdów tramwajowych zostały podjęte w Instytucie Pojazdów Szynowych w Poznaniu w 1987 roku [1]. Zostały one wykonane w oparciu o dane przesłane przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Łodzi. Na podstawie tych prac zostały opracowane normy BN-89/9396-05/01 [5], BN-89/9396-05/02 [6] oraz BN-89/9396-05/03 [7], które po aktualizacji zyskały status polskich norm odpowiednio PN-K-92008:1998 [8] wraz z poprawką PN-K-92008/Ap1 [9] oraz PN-K-92009:1998 [10]. Było to duże osiągnięcie, zwłaszcza że opracowanie takich norm wymagało bardzo dużej wiedzy z wielu dziedzin m.in. konstrukcji, kinematyki i dynamiki pojazdu oraz budowy i eksploatacji nawierzchni tramwajowej.

Aktualnie obowiązująca norma PN-K-92008:1998 [8] definiuje zarys odniesienia i podaje wzory na zwiężenia dla torów o nominalnym prześwicie 1000 mm i 1435 mm przy następujących warunkach ograniczających dla pojazdów (wagonów) i torów:

- rozstaw czopów skrzytu wagonu (osi zestawów kołowych w przypadku pojazdów dwuosiowych) nie przekracza 8 m
- asymetria liniowa pojazdu „e” jest nie większa niż 0,010 m
- asymetria katowa pojazdu nie przekracza 1°30'
- współczynnik pochylania „s” pojazdu nie przekracza 0,4
- wartość  $\left(\frac{S-d}{2}\right)$  wynosi maksymalnie 0,020 m a powiększona o luz przymaźniczny „q” i luz w belce bujawkowej „w” czyli  $\left(\frac{S-d}{2}\right) + q + w$  nie przekracza 0,070 m; wartość  $\left(\frac{S-d}{2}\right)$  jest ustalona dla maksymalnego prześwitu toru  $S=1,450$  m oraz dla minimalnej „długości prowadnej” zestawu kołowego  $d=1,410$  m dla torów o nominalnej szerokości 1,435 m oraz przy  $S=1,015$  m dla minimalnej „długości prowadnej” zestawu kołowego  $d=0,975$  m dla torów o nominalnej szerokości 1,000 m ( wyraz „d” w nomenklaturze kolejowej oznacza rozstaw zewnętrzny obrzeży kół)
- niezrównoważone przyspieszenie odśrodkowe na łuku nie przekracza  $1 \text{ m/s}^2$

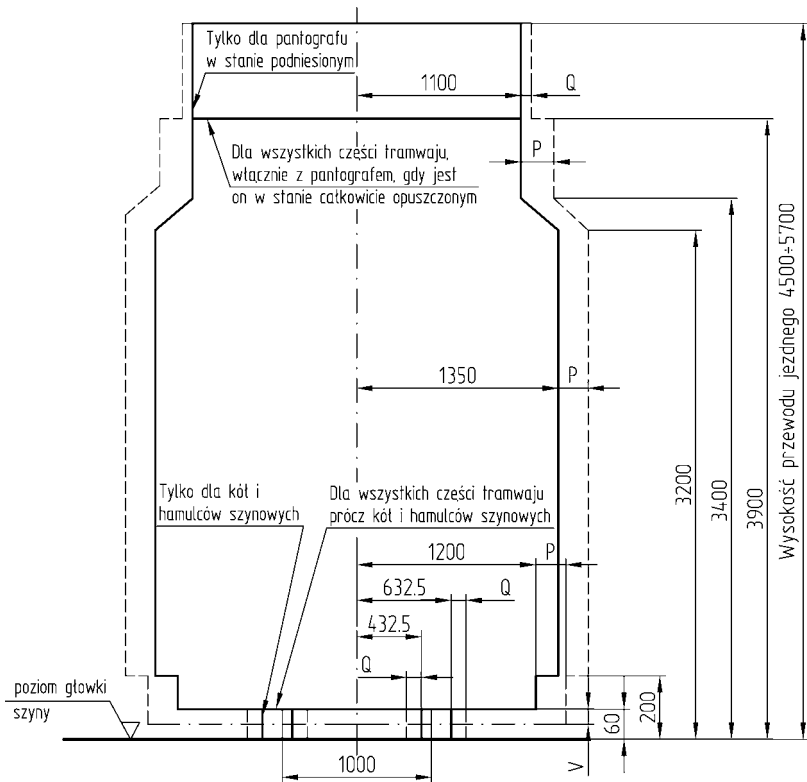
- prędkość jazdy wagonu na łukach torów jest zgodna z prędkością dopuszczalną dla tych łuków
- przekrój poprzeczny wagonu tramwajowego nie powinien żadną częścią wykraczać poza **dopuszczalny zarys (gabaryt) przekroju poprzecznego wagonu tramwajowego**, jeśli ten wagon spełnia następujące warunki:
  - jego koła są w stanie nowym
  - jest nieobciążony
  - wysokość sprzężyn jest zgodna z normami wyrobu
  - zestawy kołowe zajmują środkowe położenie w torze
  - rama wózka zajmuje środkowe położenie w ramach rzeczywistych luzów
  - tor jest prosty i poziomy.

#### 3.2. Metoda ustalania zarysu zewnętrznego pojazdów tramwajowych

Zasada ustalania dopuszczalnego zarysu pojazdu tramwajowego jest taka sama jak dla taboru kolejowego. Od ustalonego zarysu odniesienia skrajni kinematycznej odejmuje się zwiężenia pojazdu tzn.: „ $E_i$ ”- zwiężenia wewnętrzne ( dla przekrojów znajdujących się pomiędzy czopami skrzytu ) oraz „ $E_a$ ” – zwiężenia zewnętrzne ( dla przekrojów znajdujących się na zewnątrz czopów skrzytu ), aby otrzymać dopuszczalny zarys pojazdu. Przy ustalaniu zarysu pojazdu należy uwzględnić również jego przemieszczenia pionowe w dół. Przy ustalaniu wzorów na zwiężenia uwzględniono skrajnie niekorzystne ustawienie się pojazdu tramwajowego w torze. Zarys odniesienia skrajni kinematycznej dla pojazdów tramwajowych polskich przedsiębiorstw komunikacyjnych jest przedstawiony na rys.1.

**Zarys ( kontur) odniesienia skrajni kinematycznej-** zarys, poza którym nie powinna znaleźć się żadna część wagonu tramwajowego (oprócz lusterek bocznych i odgarniaczy) podczas jazdy z maksymalną dopuszczalną prędkością po idealnym torze we wszystkich możliwych warunkach eksploatacyjno-ruchowych.

Po odjęciu zwiężeń wewnętrznych  $E_i$  oraz zwiężeń zewnętrznych  $E_a$  od zarysu odniesienia skrajni kinematycznej otrzymuje się dopuszczalny gabaryt przekroju poprzecznego wagonu tramwajowego. Obliczenia zwiężeń wewnętrznych oraz zewnętrznych przeprowadza się dla łuków o najmniejszym promieniu, które w przypadku krajowych miejskich przedsiębiorstw komunikacyjnych wynoszą od  $R=20$  m do  $R=25$  m.



Zarys oznaczony linią ciągłą — jest zarysem odniesienia skrajni kinematycznej na torze prostym

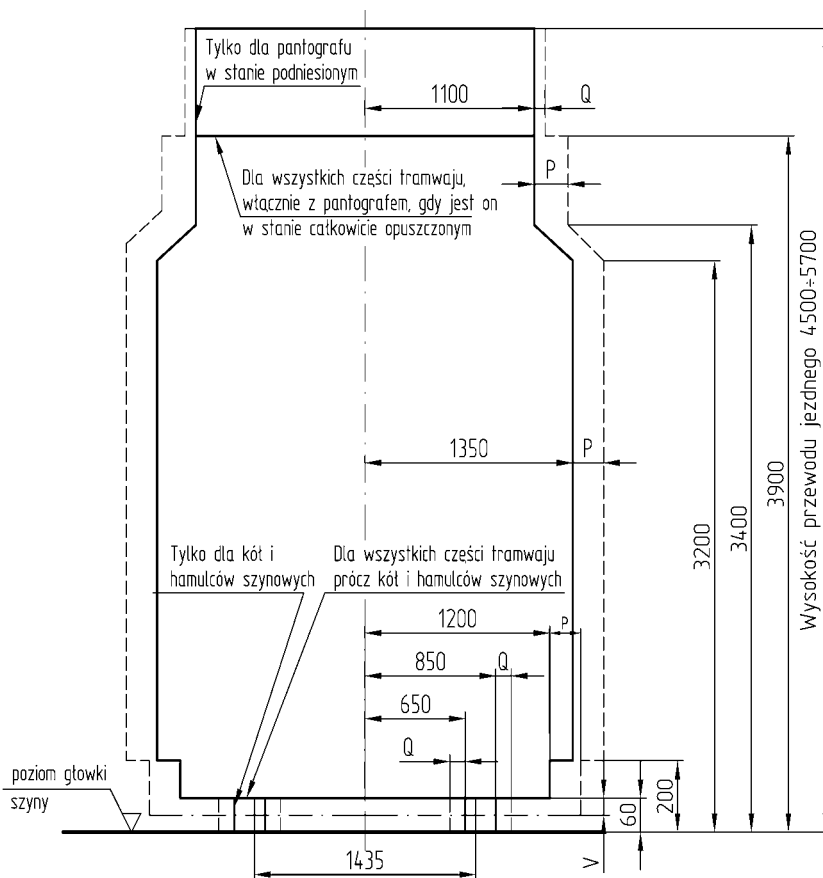
Zarys oznaczony linią przerywaną - - - - - jest zarysem poszerzonym na łuku poziomym toru, gdzie:

*P*- poszerzenie zarysu skrajni kinematycznej dla  $60\text{mm} \leq h \leq 3900\text{mm}$

*Q*- poszerzenie zarysu skrajni kinematycznej dla  $h < 60\text{mm}$  oraz  $h > 3900\text{mm}$

*V*- obniżenie zarysu odniesienia skrajni kinematycznej na łuku pionowym wklęsłym lub wypukłym

Rys.1. Zarys odniesienia skrajni kinematycznej dla pojazdów tramwajowych polskich przedsiębiorstw komunikacyjnych na trasach toru o prześwicie 1000 mm



Zarys oznaczony linią ciągłą — jest zarysem odniesienia skrajni kinematycznej na torze prostym

Zarys oznaczony linią przerywaną - - - - - jest zarysem poszerzonym na łuku poziomym toru, gdzie:

*P*- poszerzenie zarysu skrajni kinematycznej dla  $60\text{mm} \leq h \leq 3900\text{mm}$

*Q*- poszerzenie zarysu skrajni kinematycznej dla  $h < 60\text{mm}$  oraz  $h > 3900\text{mm}$

*V*- obniżenie zarysu odniesienia skrajni kinematycznej na łuku pionowym wklęsłym lub wypukłym

Rys.2. Zarys odniesienia skrajni kinematycznej dla pojazdów tramwajowych polskich przedsiębiorstw komunikacyjnych na trasach toru o prześwicie 1435 mm

**Dopuszczalny gabaryt przekroju poprzecznego wagonu tramwajowego** definiuje się jako zarys (kontur), w obrębie którego znajduje się każdy element przekroju poprzecznego wagonu tramwajowego poruszającego się z prędkością od 0 do maksymalnej dopuszczalnej, zapewniający mijanie bez kolizji wszystkich stałych obiektów znajdujących się na lub obok toru prostego lub łukowego oraz wykluczający możliwość kolizji z innym wagonem tramwajowym poruszającym się po równoległym torze prostym lub łukowym przejeżdżającym przez krzyżownice torów z prędkością od 0 do maksymalnej dopuszczalnej.

Z rys.1 oraz rys.2 można wyciągnąć następujące wnioski:

- zarys odniesienia skrajni kinematycznej dla pojazdów tramwajowych na torze o prześwicie 1000 mm i 1435 mm różni się tylko w strefie dolnej, co nie wpływa na kształt pudła tramwajowego a jedynie na konstrukcję układu biegowego
- zarys odniesienia skrajni kinematycznej dla pojazdów tramwajowych na łuku jest poszerzony w stosunku do obowiązującego o wielkość  $P$  lub  $Q$  w zależności od wysokości zarysu odniesienia od główki szyny: dla  $60\text{mm} \leq h \leq 3900\text{ mm}$  obowiązuje poszerzenie  $P_i$  lub  $P_a$ , natomiast dla  $h < 60\text{ mm}$  oraz  $h > 3900\text{ mm}$  obowiązuje poszerzenie  $Q_i$  lub  $Q_a$ ; wartość poszerzeń jest zależna od promienia łuku toru  $R$  oraz od strony łuku toru (strona wewnętrzna łuku toru: poszerzenie  $P_i$  i  $Q_i$ , natomiast strona zewnętrzna łuku toru: poszerzenie  $P_a$  lub  $Q_a$ ) zgodnie z normą PN-K-92008:1998 [8].

**Poszerzenia zarysu odniesienia skrajni kinematycznej po stronie wewnętrznej** łuku toru  $P_i$  wyznacza się ze wzoru:

$$P_i = \frac{5}{R} \quad (1)$$

gdzie:

$R$ - promień łuku toru [m].

**Poszerzenie zarysu odniesienia skrajni kinematycznej po stronie zewnętrznej** łuku toru  $P_a$  wyznacza się ze wzoru:

$$P_a = \frac{5}{R} + \left| \frac{25}{R} - 1 \right| \cdot \frac{168}{R^2} \quad (2)$$

Wartość wyrazu  $\left| \frac{25}{R} - 1 \right|_{>0}$  przyjmuje się obliczoną,

jeśli  $\frac{25}{R} - 1 > 0$ , natomiast jako wartość 0 jeśli

$$\frac{25}{R} - 1 < 0.$$

Poszerzenie zarysu odniesienia skrajni kinematycznej po wewnętrznej stronie łuku toru  $Q_i$  wyznacza się ze wzoru:

$$Q_i = \frac{0,5}{R} \quad (3)$$

Poszerzenie zarysu odniesienia skrajni kinematycznej po zewnętrznej stronie łuku toru  $Q_a$  przyjmuje się:

$$Q_a = 0 \quad (4)$$

**Obniżenie zarysu odniesienia skrajni kinematycznej w pionowym łuku** wypukłym i wklęsłym toru  $V$  oblicza się ze wzoru:

$$V = \frac{5}{R_v} \quad (5)$$

gdzie:

$R_v$  –promień pionowego łuku toru określany jako promień krzywizny pionowej główki szyn na wypukłości lub wklęsłości toru, wynoszący 1000 m.

Poszerzenia i obniżenia zarysu odniesienia skrajni kinematycznej na łuku zwiększają się wraz ze zmniejszaniem się promienia łuku toru, natomiast na torze prostym przyjmują wartości zerowe. Poszerzenia są świadczeniami infrastruktury na rzecz konstrukcji pojazdu i za ich utrzymanie ponoszą odpowiedzialność służby budowlane.

**Zwężenia wewnętrzne** pojazdów tramwajowych wyznacza się ze wzoru:

$$E_i = \left[ 1 + \frac{(a-2n)^2}{8R^2} \right] \cdot \left| \frac{n(a-n) + \frac{p^2}{4} - 10}{2R} \right|_{>0} - \frac{(a-2n)^2}{8R^2} \cdot W \Big|_{>0} + \frac{S-d}{2} + q + w + e + z \quad (6)$$

gdzie:

- a- baza wagonu [m]
- n- odległość rozpatrywanego przekroju poprzecznego od czopa skreću (pojazd wózkowy) lub od osi zestawu kołowego (pojazd dwuosioowy) [m]
- p- baza wózka (układu biegowego) określana jako odległość pomiędzy skrajnymi zestawami kołowymi [m]
- W- współrzędna szerokości rozpatrywanego punktu przekroju pojazdu szynowego [m]
- q- przesuw boczny wynikający z luzu przymaźnicznego [m]
- w- przesuw boczny wynikający z luzu belki bujawkowej względem ramy wózka [m]
- e- dopuszczalna asymetria liniowa (odchyłka położenia pudła wagonu tramwajowego wynikająca z dopuszczalnych tolerancji montażowych, określająca o jaką wartość wzdłużna płaszczyzna symetrii pudła wagonu tramwajowego może być odchylna w bok w stosunku do położenia nominalnego, gdy zestawy kołowe zajmują środkowe położenie w ramach dopuszczalnych luzów przymaźniczych [m]

z- przemieszczenie punktu przekroju pojazdu o współrzędnych  $n$ ,  $W$  i  $h$  w kierunku poprzecznym, prostopadłym do pionowej wzdłużnej płaszczyzny symetrii wagonu tramwajowego [m].

Przemieszczenia quasistatyczne „z” wyznacza się z zależności:

$$z = \left( \frac{S}{15} + tg\theta \right) \cdot |h - h_0| \quad (7)$$

gdzie:

- s- współczynnik pochylania pojazdu tramwajowego
- $\theta$ - odchyłka położenia wagonu tramwajowego, wynikająca z dopuszczalnych tolerancji montażowych a wyrażona wielkością kąta o jaki wzdłużna płaszczyzna symetrii pudła wagonu tramwajowego może być odchylna od pionu [°]
- h- współrzędna wysokości rozpatrywanego punktu przekroju poprzecznego wagonu tramwajowego względem główki szyny [m]
- $h_0$ - wysokość bieguna pochylania (bieguna kołysania) względem główki szyny [m].

W przypadku, gdy najmniejszy promień łuku toru  $R \geq 25$  m oraz gdy rozstaw czopów skreću wagonu tramwajowego  $a \leq 6$  m wzór (6) na zwężenia wewnętrzne  $E_i$  można uprościć do postaci:

$$E_i = \frac{\left| n(a-n) + \frac{p^2}{4} - 10 \right|_{>0}}{2R} + \frac{S-d}{2} + q + w + e + z \quad (8)$$

Zwężenie belki bujakowej wyznacza się z zależności:

$$E_{jw} = \frac{S-d}{2} + q + w + e_{rw} \quad (9)$$

gdzie:

$e_{rw}$ - asymetria liniowa ramy wózka, określana jako dopuszczalna odległość wzdłużnej płaszczyzny symetrii wózka od jej nominalnego położenia, gdy zestawy kołowe zajmują środkowe położenie na torze, a rama wózka zajmuje położenie środkowe w ramach luzów na zestawach kołowych.

Zwężenie ramy wózka w przekrojach znajdujących się między zestawami kołowymi:

$$E_{irw} = \frac{S-d}{2} + q + w + e_{rw} \quad (10)$$

Zwężenie maźnicy i zestawu kołowego:

$$E_{izk} = \frac{S-d}{2} \quad (11)$$

Zwężenie pantografu:

$$E_{pi} = \frac{S-d}{2} + q + w + z_p \quad (12)$$

gdzie:

$$z_p = 1,33 \sqrt{z_a^2 + z_b^2 + e^2 + r^2 + t^2} \quad (13)$$

gdzie:

$z_a$ - przemieszczenie ślizgacza pantografu wynikające z przechylenia pudła wagonu tramwajowego:

$$z_a = \frac{S}{15} \cdot (h - h_0) \quad (14)$$

$z_b$ - przemieszczenie wynikające z asymetrii pudła:

$$z_b = (h - h_0) \cdot tg\theta \quad (15)$$

- e- odchyłka położenia pudła wagonu tramwajowego wynikająca z dopuszczalnych tolerancji montażowych określająca o jaką wartość wzdłużna płaszczyzna symetrii może być odchylna w bok w stosunku do położenia nominalnego, gdy zestawy kołowe zajmują położenia w ramach dopuszczalnych luzów na maźnicach (dopuszczalna asymetria liniowa)
- r- odległość środka ślizgacza od wzdłużnej płaszczyzny symetrii pudła wagonu tramwajowego mierzona w kierunku poprzecznym do kierunku jazdy (asymetria liniowa pantografu)
- t- przemieszczenie ślizgacza w kierunku prostopadłym od wzdłużnej płaszczyzny symetrii pudła wagonu tramwajowego, wywołane przez siłę poziomą 250 N przyłożoną do ślizgacza ( podatność poprzeczna pantografu).

**Przy obliczeniu zwężeń wewnętrznych należy uwzględnić przemieszczenie pionowe** poszczególnych elementów pojazdu tramwajowego i tak:

- pudła pojazdu tramwajowego:

$$H_i = \frac{\left| n(a-n) - 10 \right|_{>0}}{2R_r} + z_k + f_{stw} + f_{dw} + f_{dp} + y \quad (16)$$

gdzie:

- $z_k$ - wielkość o jaką może zmniejszyć się promień okręgu tocznego koła w wyniku zużycia
- $f_{stw}$ - statyczne ugięcie usprężynowania wózka pod wpływem masy wynikającej z dopuszczalnej ilości pasażerów
- $f_{dw}$ - amplituda drgań sprężyn wózków obciążonych masą pudła wagonu tramwajowego z dopuszczalną ilością pasażerów
- $f_{dp}$ - amplituda drgań sprężyn pudła obciążonych masą pudła wagonu tramwajowego z dopuszczalną ilością pasażerów
- y- przemieszczenie pionowe pudła wagonu tramwajowego wynikające z jego pochylecia na usprężynowaniu

- belki bujakaowej:

$$H_{ibw} = z_k + f_{stw} + f_{stp} + f_{dw} + f_{dp} + y \quad (17)$$

- ramy wózka między zestawami kołowymi:

$$H_{imw} = z_k + f_{stw} + f_{dw} \quad (18)$$

- maźnicy i zestawu kołowego:

$$H_{izk} = z_k + f_{zk} \quad (19)$$

gdzie:

$f_{zk}$ - maksymalne ugięcie wkładek elastycznych koła.

Przemieszczenie pionowe „y” pudła wagonu tramwajowego we wzorze (17) wyraża się wzorem:

$$y = \left( \frac{s}{15} + tg\theta \right) \cdot |w - b_{odb}|_{>0} \quad (20)$$

gdzie:

w- przemieszczenie boczne pudła wagonu tramwajowego na wózkach od środkowego położenia

$b_{odb}$ - odległość pionowej osi symetrii odbijaka od wzdłużnej płaszczyzny symetrii wagonu tramwajowego.

Wielkość przemieszczeń pionowych jest traktowana w PN-K-92008:1998 [9] jako „podwyższenie dolnej krawędzi zarysu skrajni kinematycznej” o odpowiednie wartości:  $H_{ibw}$ ,  $H_{imw}$  i  $H_{izk}$ . Określenie to nie jest poprawne, ponieważ zarys odniesienia jest zawsze stały, natomiast jedynie pojazd zmienia swoją wysokość w trakcie eksploatacji w wyniku przemieszczeń pionowych i nie może być przekroczony zarys odniesienia skrajni kinematycznej przez żaden punkt pojazdu.

**Zwężenia zewnętrzne** pojazdów tramwajowych określa się ze wzoru:

$$E_a = \left[ 1 + \frac{(a+2n)^2}{8R^2} \right] \left\{ \frac{\left| n \cdot (a+n) - \frac{p^2}{4} - 10 \right|_{>0}}{2(R + |25-R|_{>0})} + \frac{|25-R|_{>0} \left| n \cdot (a+n) - \frac{p^2}{4} - 10 - \frac{8400}{R^2} \right|_{>0}}{50R} \right\} \cdot \frac{(a+2n)^2}{8R^2} \cdot W \Big|_{>0} + \frac{2n+a}{a} \cdot \left( \frac{S-d}{2} + q + w \right) + e + z \quad (21)$$

Gdy promień łuku toru  $R \geq 50$  m oraz gdy baza wagonu  $a \leq 6$  m wzór (21) można uproszczyć do postaci:

$$E_a = \frac{\left| n \cdot (a-n) - \frac{p^2}{4} - 10 \right|_{>0}}{2R} + \frac{2n+a}{a} \left( \frac{S-d}{2} + q + w \right) + e + z \quad (22)$$

Zwężenie belki bujakaowej  $E_{ajw}$  wyznacza się z zależności (9).

Zwężenie ramy wózka w rejonach znajdujących się na zewnątrz zestawów kołowych:

$$E_{arw} = \left( \frac{2n+p}{p} \right) \cdot \left( \frac{S-d}{2} + q \right) + e_{rw} \quad (23)$$

Zwężenie maźnicy i zestawu kołowego  $E_{azk}$  wyznacza się ze wzoru (11).

Zwężenie pantografu (jeżeli jest usytuowany na zewnątrz czopów skrzytu):

$$E_{pa} = \frac{2n+a}{a} \cdot \left( \frac{S-d}{2} + q + w \right) + z_p \quad (24)$$

**Przy obliczaniu zwężeń zewnętrznych należy uwzględnić przemieszczenie pionowe** poszczególnych elementów pojazdu tramwajowego i tak:

-pudła pojazdu tramwajowego:

$$H_a = \frac{\left| n \cdot (a-n) - 10 \right|_{>0}}{2R_p} + z_k + f_{stw} + \frac{2n+a}{a} (f_{dw} + f_{dp}) + y \quad (25)$$

-belki bujakaowej  $H_{abw}$  wg wzoru (17)

-ramy wózka znajdującej się na zewnątrz zestawów kołowych:

$$H_{arw} = z_k + f_{stw} + \frac{2n+p}{p} \cdot f_{dw} \quad (26)$$

- maźnicy i zestawu kołowego  $H_{azk}$  wg wzoru (19).

#### 4. Analiza skrajni budowli dla wagonów tramwajowych

Obowiązująca norma PN-K-92009:1998 [11] definiuje zarys odniesienia i podaje wzory na zwężenia pojazdu dla toru o nominalnym prześwicie 1000 mm i 1435 mm przy następujących warunkach ograniczających dla torów:

- przesunięcia poprzecznego toru w stosunku do położenia nominalnego o max. 25 mm
- nierównomierności zużycia boków szyn max.15 mm
- zygzakowatości toru max. 25 mm
- wielokątności łuku max. 25 mm
- osiadania łuku toru oraz zużycia pionowego główek szyn max.20 mm
- wichrowatości toru o szerokości 1435 mm: 30 mm
- wichrowatości toru o szerokości 1000 mm: 20 mm.



Zarys odniesienia skrajni budowli w stosunku do skrajni kinematycznej uwzględnia więc wszystkie ww. przemieszczenia eksploatacyjne toru i odpowiadają za to służby budowlane, zajmujące się utrzymaniem infrastruktury (okresowe przeglądy oraz prace konserwacyjne).

Skrajnia budowli dla tramwajów dzieli się na trzy kategorie:

- skrajnia koniecznej przestrzeni niezabudowanej
- skrajnie budowli ciągłych
- skrajnie budowli punktowych.

**Skrajnia koniecznej przestrzeni niezabudowanej**- przestrzeń, w której przekrój poprzeczny stanowi wielokąt o takich wymiarach i kształcie, że wewnątrz niego wagon tramwajowy może się poruszać z prędkością od zera do maksymalnej dopuszczalnej.

**Elementy budowli ciągłej** nie powinny wkraczać w głąb skrajni tych budowli. Dopuszcza się na obszarach staromiejskich wkraczanie w głąb skrajni budowli ciągłych aż do konturu koniecznej przestrzeni niezabudowanej, jeżeli miejsca przekroczeń są wyraźnie oznakowane. Na terenach zajezdni i na terenach nie eksploatowanych przez ruch pasażerski dopuszcza się wkraczanie budowli w głąb skrajni budowli ciągłych aż do zarysu odniesienia skrajni kinematycznej wg PN-K-92008:1998 [9], jeżeli miejsca tych przekroczeń są wyraźnie oznakowane, a prędkość poruszania się pojazdów tramwajowych ograniczona jest do 10 km/h.

**Elementy budowli punktowej** nie powinny wkraczać w zarys skrajni budowli. Dopuszcza się na obszarach staromiejskich wkraczanie budowli punktowych aż do zarysu przestrzeni niezabudowanej, jeżeli miejsca przekroczeń są wyraźnie oznakowane. Na terenach zajezdni i na terenach nie eksploatowanych przez ruch pasażerski dopuszcza się wkraczanie budowli punktowych aż do zarysu odniesienia skrajni kinematycznej wg PN-K-92008:1998 [8], jeżeli miejsca przekroczeń są wyraźnie oznakowane, a prędkość pojazdów tramwajowych ograniczona jest do 10 km/h.

**Norma dla skrajni budowli PN-K-92009:1998 [10] określa również rozstaw torów dla przypadków linii tramwajowych:**

- linie tramwajowe, które na międzytorzu nie mają budowli lub nie są przewidziane budowle, powinny posiadać odpowiednio normalny rozstaw torów  $A_i$ :

$$A_i = 2900 + 1000P_i + 1000P_a \quad (27)$$

oraz minimalny  $A_{\min}$ :

$$A_{\min} = 2740 + 1000P_i + 1000P_a \quad (28)$$

- linie tramwajowe, które na międzytorzu mają budowle powinny posiadać odpowiednio normalny rozstaw torów  $A_i$  :

$$A_i = 3400 + b + \Delta b + \Delta c + 2\Delta d \quad (29)$$

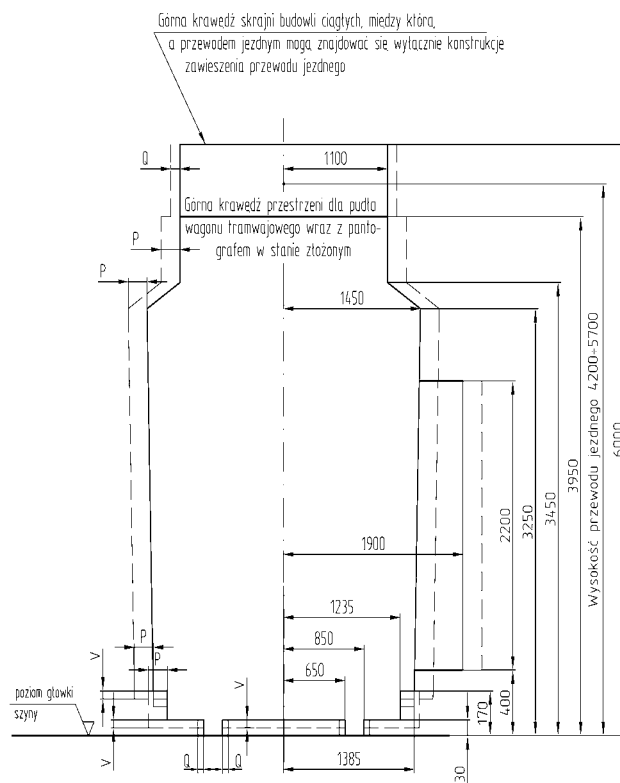
oraz minimalny  $A_{\min}$ :

$$A_{\min} = 2900 + b + \Delta b + \Delta c + 2\Delta d \quad (30)$$

gdzie:

- b- maksymalna szerokość obiektu stałego [mm]
- $\Delta b$ - maksymalna dodatnia odchyłka szerokości obiektu stałego [mm]
- $\Delta c$ - pole tolerancji usytuowania nowozabudowanego obiektu stałego [mm]
- $\Delta d$ - dopuszczalna deformacja eksploatacyjna obiektu stałego po długotrwałym użytkowaniu [mm].

Na rys. 3 i 4 pokazano zarys odniesienia skrajni budowli ciągłej dla taboru tramwajowego o prześwicie toru odpowiednio 1435 mm i 1000 mm.



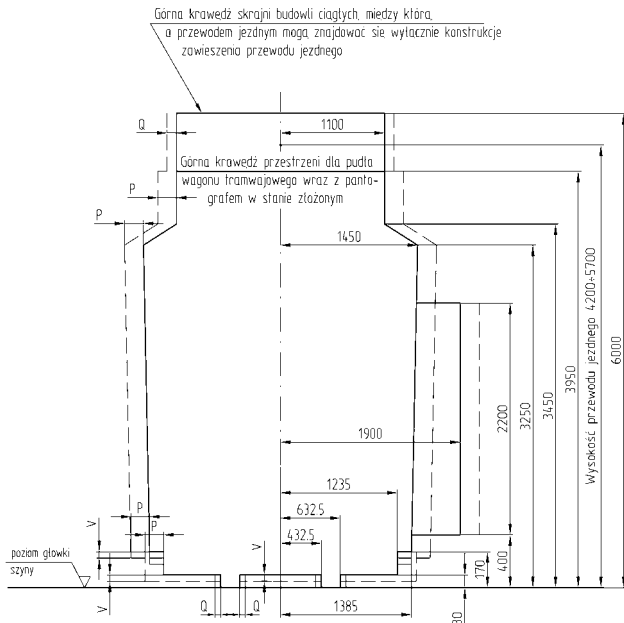
Zarys oznaczony linią ciągłą — jest zarysem odniesienia skrajni budowli na torze prostym  
Zarys oznaczony linią przerywaną - - - - - jest zarysem poszerzonym na łuku poziomym toru, gdzie:

P- poszerzenie zarysu odniesienia skrajni budowli dla  $30\text{mm} \leq h \leq 3950\text{mm}$

Q- poszerzenie zarysu odniesienia skrajni budowli dla  $h < 30\text{mm}$  oraz  $h > 3950\text{mm}$

V- obniżenie zarysu odniesienia skrajni budowli na łuku pionowym wklęsłym lub wypukłym

Rys.3. Zarys odniesienia skrajni budowli ciągłej dla taboru tramwajowego o prześwicie toru 1435 mm



Zarys oznaczony linią ciągłą — jest zarysem odniesienia skrajni kinematycznej na torze prostym  
 Zarys oznaczony linią przerywaną - - - - - jest zarysem poszerzonym na łuku poziomym toru, gdzie:

- P- poszerzenie zarysu odniesienia skrajni kinematycznej dla  $30\text{mm} \leq h \leq 3950\text{mm}$
- Q- poszerzenie zarysu odniesienia skrajni kinematycznej dla  $h < 30\text{mm}$  oraz  $h > 3950\text{mm}$
- V- obniżenie zarysu odniesienia skrajni kinematycznej na łuku pionowym wklęsłym lub wypukłym

Rys.4. Zarys odniesienia skrajni budowli ciągłej dla taboru tramwajowego o prześwicie toru 1000 mm

Jak wynika z rys.3 oraz rys.4 zarys odniesienia dla skrajni budowli dla torów o prześwicie 1000 mm i 1435 mm różni się tylko w strefie dolnej, co nie wpływa na kształt pudła tramwajowego a jedynie na konstrukcję układu biegowego.

## 5. Ocena obowiązujących przepisów dotyczących skrajni kinematycznej i budowli pojazdów tramwajowych

Analizując obowiązujące przepisy dotyczące skrajni kinematycznej można stwierdzić, że w przypadku wyznaczania zwężeń zarysu odniesienia wszystkie czynniki dodaje się algebraicznie, czyli wychodzi się z założenia, że mogą wystąpić jednocześnie wszystkie niekorzystne zjawiska. Zapewnia się tym samym maksymalne bezpieczeństwo pojazdu tramwajowego w eksploatacji z uwagi na uniknięcie wystąpienia kolizji z urządzeniami stałymi oraz przy mijaniu się tramwajów. Opracowanie przepisów odbyło się w czasie, kiedy w Europie Zachodniej pojawił się pierwszy „tramwaj niskopodłogowy” (niem.: Niederflurstrassenbahn) typu „20TFS2” w Grenoble w 1987 roku [4]. Tramwaje tego typu wymagają dużego zapotrzebowania przestrzeni, zwłaszcza w strefie dolnej.

Przywołane normy [8,9 i 10] uwzględniają stan techniki obowiązujący w danym czasie, obecnie z uwagi na rozwój niektórych pojęć, metod obliczeniowych i pomiarowych, należy przeprowadzić ich aktualizację gdyż:

- brak jest zasadniczego stwierdzenia w obydwu normach, w punkcie dotyczącym zakresu ich obowiązywania, że omawiane przepisy skrajni dotyczą tras już zbudowanych i od dawna eksploatowanych, czy również modernizowanych i nowobudowanych; uwaga ta dotyczy zarówno normy na skrajnię kinematyczną PN-K-92008:1998 [8] jak również na skrajnię budowli PN-K-92009: 1998 [10]
- obecnie obowiązujące przepisy nie określają w ogóle w jaki sposób można wyznaczyć wartość współczynnika pochylania „s”; norma przytacza jedynie ogólną definicję wartości współczynnika pochylania, która w pojazdach kolejowych może być wyznaczana na drodze analitycznej lub drodze doświadczalnej, lub obydwoma metodami jednocześnie; sprawa ta jest o tyle istotna, że z uwagi na duże wartości współczynników pochylania dla pojazdów tramwajowych „zwężenia quasistatyczne” mają znaczący udział w zwężeniach, zwłaszcza w górnych partiach tramwaju ( wzór (15)); aktualne przepisy dotyczące skrajni kinematycznej i budowli mają zastosowanie dla pojazdów o współczynniku pochylania mniejszym lub równym 0,4, natomiast nie określają metodyki postępowania dla pojazdów tramwajowych o większym współczynniku pochylania od wartości 0,4
- w przepisach nie ma podziału na czynniki wpływające na zwężenia na: czynniki „pewne” oraz „przypadkowe” (np. wiatr, przesunięcie poprzeczne toru, elastyczność toru i szyny); w związku z tym należy stwierdzić, że:
  - **czynniki pewne** (nie uwarunkowane przypadkiem) wynikają z eksploatacji, luzów i zakresów zużycia oraz ugięcia sprężyn wskutek obciążeń statycznych i obciążeń „quasistatycznych” np. niezrównoważonego przyspieszenia odśrodkowego; zakłada się w tym wypadku, że występują one równocześnie i działają w tym samym kierunku w pełnym zakresie; czynniki te wpływają na zwężenia skrajni w sposób liniowy ( są dodawane algebraicznie).

- **czynniki przypadkowe** (podlegające procesom stochastycznym) wynikają z budowy taboru, toru oraz ugięcia sprężyn, wywołanych obciążeniami dynamicznymi, np. przez boczny wiatr; należy przy tym założyć, że nie występują one oraz nie działają w tym samym kierunku jednocześnie i w pełnym zakresie; odpowiednie wartości czynników wpływających w sposób przypadkowy są dodawane geometrycznie (przy założeniu, że występowanie każdego z nich jest zgodne z rozkładem Gaussa).

Oznaczając poszczególne pojedyncze wartości czynników działających nieprzypadkowo  $y_{nz}$  oraz czynników przypadkowych przez  $y_z$  ogólne przemieszczenie pojazdu tramwajowego można wyznaczyć z zależności:

$$y = y_{nz1} + y_{nz2} + \dots + y_{nzi} + \sqrt{y_{z1}^2 + y_{z2}^2 + \dots + y_{zj}^2} \quad (31)$$

W metodyce podanej w normie [9] wszystkie czynniki wpływają na zwięźenia z jednakowym prawdopodobieństwem w sposób liniowy, zgodnie z zależnością:

$$y = \sum_{n=1}^{n=nzi} y_{nzi} + \sum_{n=1}^{n=zj} y_{zj} \quad (32)$$

- norma [8] nie uwzględnia pojazdów tramwajowych o budowie przegubowej (niem.: Gelenkstraßenbahnen); konsekwencją tego jest brak zdefiniowania bazy dla tego typu pojazdów oraz stwierdzenia, czy obecnie obowiązująca metodyka dla takich przypadków obowiązuje; takie pojazdy występują zarówno w kolejnictwie jak również w taborze tramwajowym i dla stosującego normę nie ma jednoznacznego stwierdzenia, czy dla pojazdów jednoosiowych można wykonać obliczenia zwiężeń przez podstawienie wartości  $p=0$  (baza wózka)
- brak jest definicji niektórych parametrów eksploatacyjnych toru i sposobów ich pomiaru jak np. zygzakowatość toru lub wielokątność łuku w normie PN-K-92009: 1998 [10]; pojęcia te były zdefiniowane w unieważnionej normie BN-89/9396-05/03 [7].

## 6. Wnioski

Jak wynika z przedstawionych analiz i oceny, przepisy skrajni kinematycznej oraz budowli dla pojazdów tramwajowych wymagają aktualizacji z uwagi na techniczny rozwój pojazdów oraz doskonalenie techniki pomiarowej infrastruktury.

Poważne wyzwanie pojawia się w przypadku zastosowania tramwajów wielkogabarytowych o dużych zdolnościach przewozowych i o niskim usytuowaniu podłogi względem główki szyny, ułatwiającym korzystanie z komunikacji miejskiej osobom w starszym wieku i niepełnosprawnym, podróżnym z bagażami itd. Z reguły takie pojazdy cechują się bardzo dużym komfortem jazdy, co wiąże się z zastosowaniem bardzo podatnego usprężynowania i prowadzi do współczynników pochylenia o dużych wartościach, przekraczających 0,4. Bardzo istotną sprawą jest precyzyjne obliczanie współczynników pochylenia oraz ich wyznaczanie na drodze doświadczalnej. Pozwalałoby to nie tylko na zweryfikowanie przyjętej metody obliczeniowej, ale również na dokładne określenie wychylenia pudła na maksymalnej przechyłce toru. Przyjęcie zbyt dużych wartości współczynnika pochylenia jest wprawdzie bezpieczne z punktu widzenia wystąpienia ewentualnych kolizji z budowlami punktowymi lub ciągłymi oraz pojazdów mijających się wzajemnie, ale ogranicza dopuszczalny zarys pojazdu i jednocześnie powoduje, że zasadniczy cel jakim jest komfort jazdy może nie zostać osiągnięty (np. odległość peronu od stopnia wejściowego jest wtedy zbyt duża, co utrudnia wsiadanie i wysiadanie z tramwaju).

W związku z powyższym konieczne jest wykonanie studium najniekorzystniejszych położzeń pojazdu tramwajowego w torze, które byłoby oparte na analizach geometrycznych i przedstawione w technice komputerowej przy użyciu oprogramowania CAD. Niezwykle ważną sprawą jest graficzne przedstawienie wyników obliczeń dopuszczalnego zarysu pojazdu tak, aby był on czytelny i możliwy dalej do zastosowania przez użytkownika podczas prac remontowych pojazdu oraz urządzeń stałych.

Należy również wziąć pod uwagę, że zwiężenia zewnętrzne  $E_a$  oraz wewnętrzne  $E_i$  na torze prostym oraz w łuku, niezależnie od promienia w umownym środku obrotu wózka (środku symetrii wózka), mogą przyjąć wartość równą zero. Jeśli przyjąć, że zestaw kołowy jest w stanie nowym, zredukowanie luzów poprzecznych przymażniczych „q” oraz belki bujawkowej „w” do zera oraz bardzo sztywne usprężynowanie (ograniczone przemieszczenia qustatyczne) to wówczas można zbudować pojazd pomiarowy do ustalania rzeczywistych odległości zarysu odniesienia od budowli stałych. Pojazd w środku obrotu wózka

może posiadać szablon o wymiarach zarysu odniesienia skrajni kinematycznej. Podczas jazd z małą prędkością można wykonać pomiary rzeczywistych odległości pomiędzy zarysem skrajni odniesienia oraz zarysem skrajni budowli jak również przeprowadzać odpowiednie naprawy profilaktyczne elementów infrastruktury tramwajowej ( np. nadmiernych przesunięć torów w kierunku poprzecznym podczas eksploatacji). Wprowadzenie takich pomiarów pozwoliłoby na ustalenie tzw. ciasnych miejsc (niem.: Engstellen) na sieci tramwajowej.

Należy również zwrócić uwagę na to, że modernizacja linii miejskich i ewentualne zwiększenie zarysu odniesienia skrajni kinematycznej w warunkach miejskich, łączy się z koniecznością poniesienia niezbędnych nakładów finansowych. Obecne tendencje rozwojowe modernizowanych i nowobudowanych linii tramwajowych zmierzają raczej w kierunku ich oddzielenia od dotychczasowych linii transportu miejskiego (np. sieć tramwajowa w Rostocku).

## Literatura

- [1] *Wyznaczenie zwięzonej skrajni kinematycznej tramwajów. Opracowanie nr OR-7130 ze zmianą 1 z października 1987 (praca niepublikowana) .Poznań 1987. Archiwum IPS w Poznaniu.*
- [2] *Raczyński J.: Strassenbahnen in Polen heute. Stadtverkehr Nr 3/2005.*
- [3] *Gąsowski W., Sobaś J., Pohl K.: Układy mechaniczne elektrycznych pojazdów trakcyjnych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Nr 1763. Poznań 1999.*
- [4] *Hondius H.: Entwicklung der Nieder- und- Mittelflurstrassen- und Stadtbahnen. Stadtverkehr Folge, Teil II. Stadtverkehr 1/2 2007.*
- [5] *BN-89/9336-05/01: Komunikacja miejska. Tor tramwajowy. Kontur odniesienia skrajni kinematycznej taboru tramwajowego. Unieważniona dnia 2.01.1998.*
- [6] *BN-89/9336-05/02: Komunikacja miejska. Skrajnia kinematyczna wagonu tramwajowego. Unieważniona dnia 2.01.1998.*
- [7] *BN-89/9336-05/03: Komunikacja miejska. Skrajnia budowli. Unieważniona 2.01.1998.*
- [8] *PN-K-92008:1998:Komunikacja miejska. Skrajnia kinematyczna wagonów tramwajowych.*
- [9] *PN-K-92008/Ap1: Poprawka do Polskiej Normy. Komunikacja miejska. Skrajnia kinematyczna wagonów tramwajowych. Sierpień 1999.*
- [10] *PN-K-92009:1998:Komunikacja miejska. Skrajnia budowli. Wymagania.*