

Luzy bezpieczeństwa pomiędzy skrajnią kinematyczną i skrajnią budowli dla pojazdów tramwajowych (1)

Artykuł jest poświęcony studium luzów bezpieczeństwa występujących pomiędzy zarysem odniesienia skrajni kinematycznej oraz zarysem odniesienia skrajni budowli. Wielkość luzów bezpieczeństwa jest przyjmowana indywidualnie w zależności od uznania miejskich przedsiębiorstw komunikacyjnych w oparciu o ich doświadczenia eksploatacyjne. Artykuł składa się z dwóch części. Część pierwsza (1) obejmuje wprowadzenie, kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni oraz wyznaczenie tego zapotrzebowania.

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. Wprowadzenie

Pomiędzy zarysem skrajni kinematycznej pojazdu tramwajowego oraz zarysem skrajni budowli występują odległości, które są nazywane luzami bezpieczeństwa (ang. „individual margins” albo „margin specific in order to take into account special situations”, niem. „Sicherheitsabstände”). Luzy bezpieczeństwa jako pojęcie nie jest zdefiniowane w przepisach krajowych dotyczących projektowania i utrzymania torów tramwajowych [19], czy też w normach określających skrajnię kinematyczną pojazdu tramwajowego PN-K-92008:1998 [12] i normie PN-K-92008/Ap1:1998 [13] oraz w normie określającej skrajnię budowli PN-K-92009:1998 [14]. Luzy bezpieczeństwa są zdefiniowane jako pojęcie w przepisach niemieckich BOStrab [18] i są określane jako odległość pomiędzy kinematycznym zapotrzebowaniem przestrzeni oraz zarysem odniesienia skrajni budowli. Podobna sytuacja pod względem formalno-prawnym występuje w krajowych przepisach kolejowych, gdzie luzy bezpieczeństwa nie są zdefiniowane w normie PN-70/K-02056 [15], określającej skrajnie statyczne pojazdu kolejowego oraz w normie PN-69/K-02057 [16] określającej skrajnie budowli jak również wybrane parametry dodatkowej przestrzeni przy budowie nowych normalnotorowych linii PKP lub przy gruntownej przebudowie linii już istniejących oraz przy wznoszeniu budowli i urządzeń na liniach już istniejących. Luzy bezpieczeństwa są natomiast zdefiniowane w międzynarodowych przepisach: w karcie UIC 505-1 [9], w karcie UIC 505-4 [10] oraz w karcie UIC 505-5 [11].

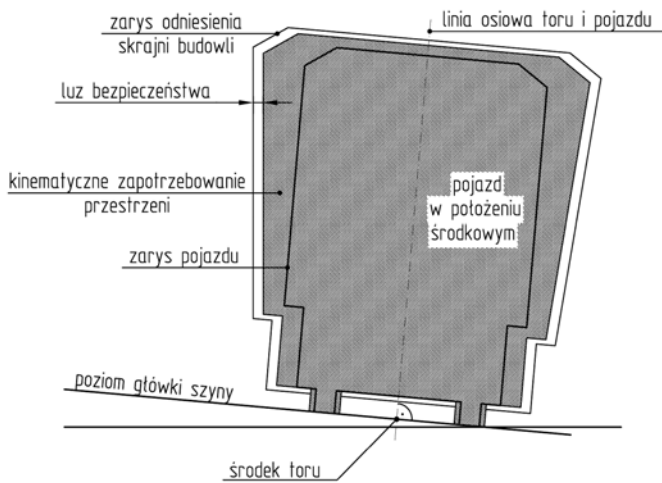
Luzy bezpieczeństwa dla pojazdów tramwajowych wynikają z doświadczeń poszczególnych przedsiębiorstw komunikacyjnych i są przez nie indywidualnie przyjmowane [1,2 i 8]. Analogiczny sposób

postępowania jest przyjęty przez poszczególne zarządy kolejowe i uznany przez Międzynarodowy Związek Kolejowy (UIC). Luzy bezpieczeństwa można najprościej zdefiniować jako odległość pomiędzy kinematycznym zapotrzebowaniem przestrzeni dla pojazdu tramwajowego (ang. „rolling stock kinematic gauge”, niem. „Lichtraumbedarf”) oraz zarysem odniesienia skrajni budowli (ang. „lineseide structure installation gauge”, niem. „Umgrenzung des lichten Raumes” lub „Lichtramumgrenzung”).

Zarys kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni przez pojazd definiuje się jako przestrzeń dla pojazdu przy uwzględnieniu ruchów wzdłużnych i poprzecznych, jak również wszystkich tolerancji i zużyć. Jeśli miejskie przedsiębiorstwo przewozowe lub zarząd kolejowy przyjmie luz bezpieczeństwa równy zero, to wówczas zarys kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni pokryje się z zarysem odniesienia skrajni budowli. Przyjęcie zerowej wartości luzu bezpieczeństwa może mieć miejsce o ile prace kontrolne i konserwacyjno-naprawcze odbywały się na tyle często, że gwarantują odtworzenie stanu wyjściowego infrastruktury. Zarys skrajni budowli wynika więc z kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni powiększonego o luz bezpieczeństwa.

Luzy bezpieczeństwa na tle zarysu kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdu tramwajowego oraz zarysu skrajni budowli są przedstawione na rys.1.

W metodyce przedstawionej w przepisach niemieckich BOStrab [18] kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni dla pojazdu tramwajowego jest całkowitym zapotrzebowaniem przestrzeni, które może określić konstruktor w oparciu o dokładną wiedzę w zakresie budowy pojazdu oraz infrastruktury tramwajowej.



Rys. 1. Luzy bezpieczeństwa jako odległość pomiędzy kinematycznym zapotrzebowaniem przestrzeni a zarysem odniesienia skrajni budowli wg przepisów BOStrab [18]

W metodyce przedstawionej w polskich przepisach dla pojazdów tramwajowych oraz ogólnej metodyce dla pojazdów kolejowych konstruktor nie jest zobowiązany do wyznaczania kinematycznego zapotrzebowania

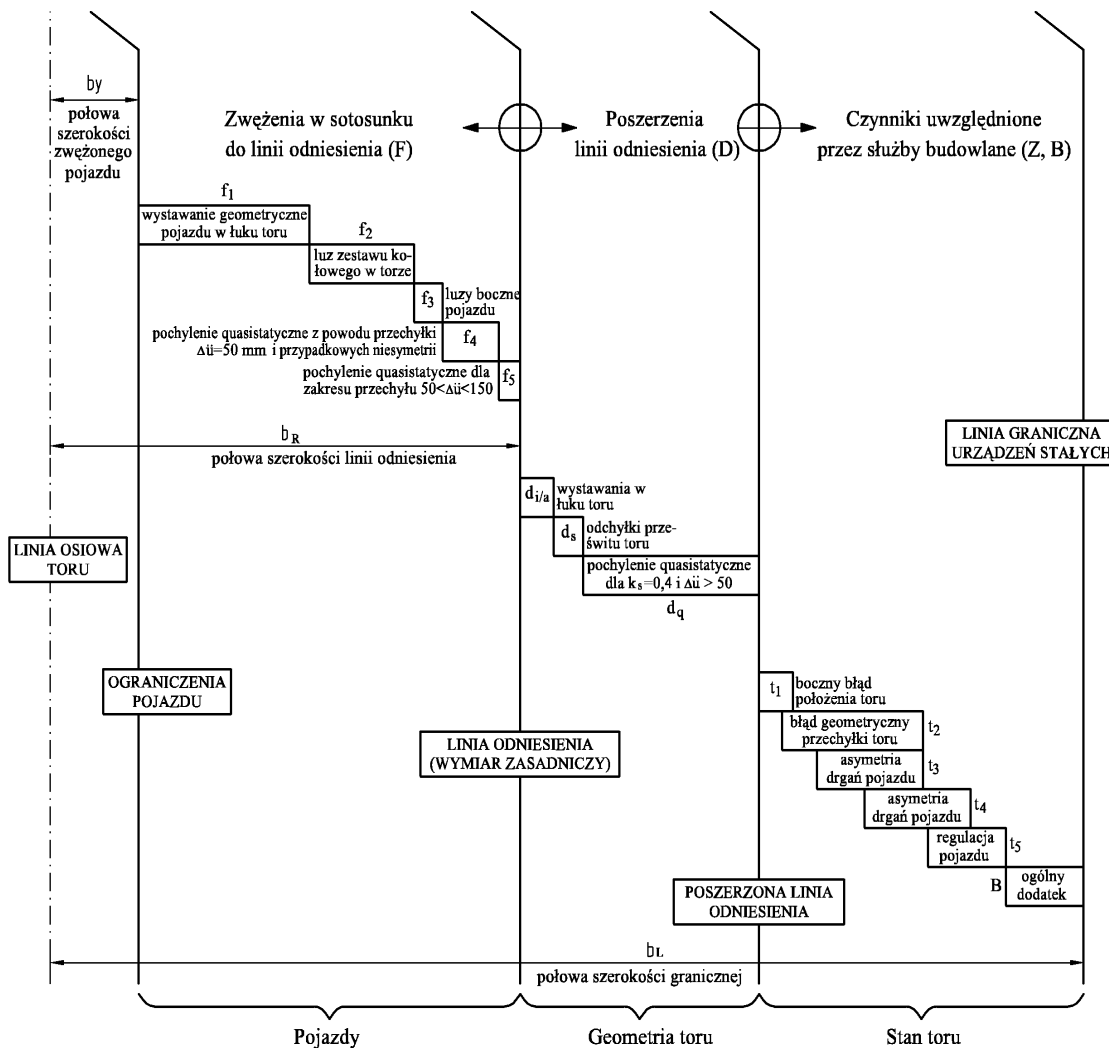
przestrzeni przez pojazd. Wynika to z podziału kompetencji za bezpieczną eksploatację pomiędzy konstruktora i służby budowlane.

Różnica w podejściu obydwu metodyk wynika z następujących czynników:

- infrastrukturę tramwajową jest łatwiej skodyfikować i skontrolować w przeciwieństwie do obszernej infrastruktury kolejowej, obejmującej nie tylko sieć krajową ale i zagraniczną (tabor kolejowy musi być przystosowany do ruchu międzynarodowego)
- odmiennej struktury organizacyjnej przedsiębiorstw kolejowych oraz tramwajowych (miejskie przedsiębiorstwo przewozowe odpowiada również za utrzymanie infrastruktury).

Opracowanie metodyki wyznaczania dopuszczalnego zarysu pojazdu tramwajowego wg PN-K-92008:1998 [12] odbyło się w oparciu o metodykę opracowaną w kolejniectwie.

Dla porównania luzy bezpieczeństwa na tle zarysu kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdu kolejowego oraz zarysu skrajni budowli przed-



Rys.2. Luzy bezpieczeństwa na tle zarysu kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdu kolejowego oraz na tle zarysu skrajni budowli wg [6]

Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni dla pojazdu kolejowego o szerokości „ $2b_y$ ” na rys.2 przedstawia poszerzona linia zarysu odniesienia (D), odległa od kinematycznej o przesunięcia wynikające z geometrii toru.

2. Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni dla pojazdu tramwajowego a luzy bezpieczeństwa

W przypadku pojazdów kolejowych luzy bezpieczeństwa posiadają inne znaczenie niż w przypadku pojazdów tramwajowych, choć w niektórych przypadkach można doszukać się analogii. W przypadku tych pierwszych przez luzy bezpieczeństwa rozumie się odległości, które obejmują czynniki działające na pojazd oraz tor w sposób przypadkowy (wiatr boczny działający na boczną stronę pojazdu, drgania pojazdu i toru, przemieszczenie ładunku podczas jazdy itp.) [1,2,6,8 i 9].

W przypadku pojazdów tramwajowych przy określaniu kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni uwzględnia się wszystkie czynniki, które mogą wystąpić podczas eksploatacji czyli „nieprzypadkowe” (dodawane do siebie algebraicznie) oraz „przypadkowe” (dodawane do siebie geometrycznie). W przypadku pojazdów kolejowych kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni określa się przez algebraiczną sumę połowy szerokości pojazdu, wystawień geometrycznych „D” oraz przesunięć poprzecznych „Q”. Zgodnie z przepisami BOStrab [18] jeśli kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni dla danego pojazdu tramwajowego zostało ustalone w oparciu o wszystkie znane czynniki oraz dopuszczalne stany eksploatacyjne (zwłaszcza przy przyjmowaniu przemieszczeń dynamicznych pojazdu, które nie zostaną przekroczone podczas eksploatacji komercyjnej), to wówczas można zrezygnować z uwzględniania luzów bezpieczeństwa. Rezygnacja z uwzględniania luzów bezpieczeństwa opiera się na założeniu, że podczas eksploatacji pojazdów tramwajowych będzie dokonywana regularna kontrola pojazdu i urządzeń stałych wraz z ewentualnymi pracami konserwacyjno-naprawczymi z taką częstotliwością, która odpowiadałaby postępującym procesom zużyciowym, występującym w pojeździe oraz w torze.

Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni dla pojazdu wyznacza się w dwóch kierunkach: poprzecznym (niem. „seitlicher Lichttraumbedarf”) oraz pionowym (niem. „vertikaler Lichttraumbedarf”). Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni w kierunku poprzecznym i pionowym wynika z przemieszczeń rozpatrywanych przekrojów pojazdu w kierunku poprzecznym (niem. „Querverschiebung”) oraz w pionowym (niem. „Vertikalverschiebung”). Jeśli obliczenia kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni w kierunku poprzecznym określonego punktu pojazdu odbywają się w oparciu o nieznane tolerancje konstrukcji pojazdu, usprężynowania i tolerancje budowy oraz własności sprężyste to-

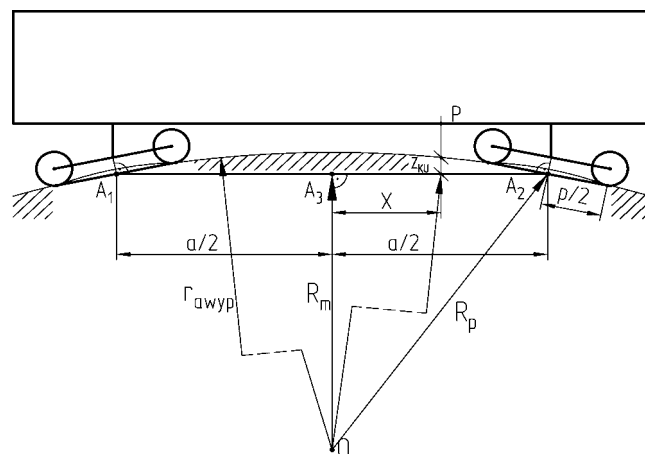
ru, wówczas należy przeprowadzić obliczenia szacunkowe (niem. „Überschlagsrechnung”), które oprócz wystawiania geometrycznego w łuku toru (niem. „bogeneometrische Ausragung”)- jako wynikającego z boczno przemieszczenia punktu pojazdu w stosunku do osi toru, spowodowanego wyłącznie geometrią łuku toru uwzględniają następujące wielkości:

- maksymalny luz zestawu kołowego w torze (niem. „maximales Spurspiel”)
- maksymalne przesunięcie toru (niem. „maximale Querverschiebung”)
- maksymalną odchyłkę wzajemnej wysokości szyn bez uwzględnienia wpływu przemieszczenia środka masy y_{HS}^* (niem. „maximale Abweichung der gegenseitigen Höhenlage der Schienen ohne Berücksichtigung des Einflusses der Schwerpunktverlagerung”).

W takim przypadku dla pojazdu wykazującego przeciętny komfort jazdy i przy uwzględnieniu normalnego stanu utrzymania i konserwacji pojazdu oraz toru do ustalonego kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni **należy dodać luzy bezpieczeństwa y_s** w zależności od wysokości badanego punktu pojazdu, o liniowym przebiegu, **wynoszący przynajmniej 60 mm w rejonie podłogi oraz 120 mm w rejonie dachu**. Jak widać z powyższego, luzy bezpieczeństwa jest czynnikiem zryczałtowanym pod względem wartości (niem. „Pauschalwert”), a jego wartość podana alternatywnie jest uzależniona od usytuowania rozpatrywanego punktu pojazdu.

Dla obliczenia kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni **w kierunku pionowym** określonego punktu pojazdu w odległości b od linii osiowej pojazdu uwzględnia się następujące wielkości:

- pionowe wystawianie geometryczne wynikające z zagłębienia wypukłego (niem. „vertikale geometrische Ausragung bei Kuppen”) lub wklęsłego (niem. „vertikale geometrische Ausragung bei Wannnen”) przedstawione odpowiednio na rys.3 i rys.4



Rys.3. Wystawianie geometryczne w kierunku pionowym wynikające z zagłębienia wypukłego

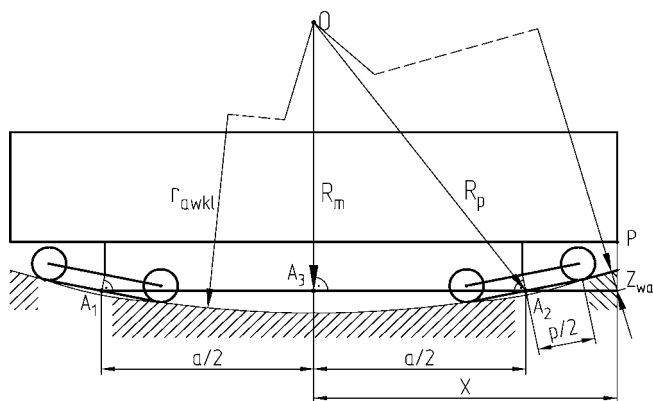
- pionowe przemieszczenie wynikające z czynników nieprzypadkowych
- maksymalne przemieszczenia wynikające z czynników przypadkowych.

Litery podane na rys.3 oznaczają:

- a- baza pojazdu tramwajowego (odległość pomiędzy umownymi środkami wózków)
- x - odległość rozpatrywanego punktu pojazdu od punktu oparcia pudła lub umownego środka wózka
- p - baza wózka (odległość pomiędzy zestawami kołowymi)
- z_{KU} - geometryczne wystawanie pojazdu w kierunku pionowym, wynikające z wjazdu na zagłębienie wypukłe
- r_{awyp} - promień zaokrąglenia wypukłego odcinka toru
- P - rozpatrywany punkt zarysu pojazdu
- O - punkt zaczepienia promienia krzywizny łuku toru r_{awyp} w kierunku pionowym
- R_m - odległość punktu O od punktu A_3 (środek cięciwy A_1A_2)
- R_p - odległość punktu O do punktu A_2 .

Wielkość z_{KU} można wyznaczyć ze wzoru:

$$z_{KU} = r_{awyp} - \sqrt{r_{awyp}^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p^2}{4} + x^2} \quad (1)$$



Rys.4. Wystawanie geometryczne w kierunku pionowym wynikające z zagłębienia wklęsłego

Litery podane na rys.4 oznaczają:

- z_{wa} - geometryczne wystawanie pojazdu w kierunku pionowym, wynikające z wjazdu na zagłębienie wklęsłe
 - $r_{awkł}$ - promień zaokrąglenia wklęsłego odcinka toru.
- Pozostałe litery jak na rys.3.
Wielkość z_{wa} można wyznaczyć ze wzoru:

$$z_{wa} = \sqrt{r_{awkł}^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p^2}{4} + x^2} - r_{awkł} \quad (2)$$

3. Wyznaczanie kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdów tramwajowych bez i z uwzględnieniem luzów bezpieczeństwa

3.1. Wyznaczenie kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdów tramwajowych bez uwzględnienia luzów bezpieczeństwa

Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni dla pojazdów tramwajowych w kierunku poprzecznym bez uwzględnienia luzów bezpieczeństwa wg wytycznych BOStrab [18] dla poszczególnych przypadków wyznacza się z ogólnego wzoru:

$$y = y_{nz1} + y_{nz2} + \dots + y_{nzi} + \sqrt{y_{z1}^2 + y_{z2}^2 + \dots + y_{zj}^2} \quad (3)$$

gdzie:

- $y_{nz1}, y_{nz2}, \dots, y_{nzi}$ - czynniki działające nieprzypadkowo w kierunku poprzecznym
- $y_{z1}, y_{z2}, \dots, y_{zj}$ - czynniki działające przypadkowo w kierunku poprzecznym.

Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni wyznacza się w oparciu o najbardziej niekorzystne ustawienia pojazdu szynowego w torze [3,4,7 i 17].

Czynniki nieprzypadkowe y_{nzi} oraz czynniki przypadkowe y_{zi} są zdefiniowane w tabeli 7 w opracowaniu [5].

Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni dla pojazdów tramwajowych w kierunku pionowym bez uwzględniania luzów bezpieczeństwa wg wytycznych BOStrab [18] wyznacza się z ogólnego wzoru:

$$z = z_{nz1} + z_{nz2} + \dots + z_{nzi} + \sqrt{z_{z1}^2 + z_{z2}^2 + \dots + z_{zj}^2} \quad (4)$$

Czynniki nieprzypadkowe z_{nzi} oraz czynniki przypadkowe z_{zi} są zdefiniowane w przepisach BOStrab [18]. Wyznaczanie czynników nieprzypadkowych poprzez dodawanie geometryczne opiera się na założeniu, że spełniają one zasady normalnego rozkładu częstości zdarzeń (rozkładu Gaussa).

3.2. Wyznaczenie kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdów tramwajowych z uwzględnieniem luzów bezpieczeństwa

Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni w kierunku poprzecznym dla pojazdów tramwajowych z uwzględnieniem luzów bezpieczeństwa obejmuje trzy zasadnicze przypadki:

- pojazd znajdujący się na trasie jednotorowej
- mijanie się pojazdów tramwajowych na dwóch sąsiadujących torach prostych
- mijanie się pojazdów tramwajowych na dwóch sąsiadujących łukach toru.

W związku z tym dla jednotorowej trasy kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni wynosi odpowiednio:

$$y_P = b_{a,i} + y_{SS} + \sqrt{y_{GV}^2 + y_{HS}^{*2}} + y_S \quad (5)$$

gdzie:

b_a - odległość punktu P pojazdu od środka toru w wyniku geometrycznego wystawiania w kierunku zewnętrznym łuku toru włącznie z połową szerokości pojazdu

b_i - odległość punktu P pojazdu od środka toru w wyniku geometrycznego wystawiania w kierunku wewnętrznym łuku toru włącznie z połową szerokości pojazdu

y_{SS} - przesunięcie punktu pojazdu z powodu luzu zestawu kołowego w torze

y_{GV} - przesunięcie poprzeczne toru

y_{HS}^* - przemieszczenie poprzeczne wynikające ze wzajemnej różnicy wysokości szyn (zakres odkształceń trwałych)

y_S - luz bezpieczeństwa w kierunku poprzecznym.

W przypadku mijania się dwóch pojazdów tramwajowych znajdujących się na **dwóch sąsiadujących torach prostych** kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni, będące bazą do odległości pomiędzy torami, wynosi odpowiednio:

$$y_{dp} = 2(b_a + y_{SS}) + \sqrt{y_{GV}^2 + 2y_{HS}^{*2}} + 2y_S \quad (6)$$

W przypadku mijania się dwóch pojazdów tramwajowych znajdujących się na **dwóch sąsiadujących łukach toru** kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni, będące bazą do odległości pomiędzy torami, wynosi odpowiednio:

$$y_{dL} = b_{aa} + b_{ib} + y_{SSb} + \sqrt{y_{GVb}^2 + y_{HSa}^{*2} + y_{HSb}^{*2}} + 2y_S \quad (7)$$

gdzie:

indeks a-dla pojazdu na zewnętrznym łuku toru
indeks b-dla pojazdu na wewnętrznym łuku toru.

W przypadku zapotrzebowania kinematycznego w kierunku pionowym zaleca się dokładne wykonanie obliczeń wg wzoru (4) zwłaszcza dla punktów krytycznych znajdujących się w rejonie podłogi, stopnia wejściowego oraz dachu. Przyjęcie zaproponowanych luzów bezpieczeństwa analogicznie jak dla przemieszczeń w kierunku poprzecznym może okazać się nie wystarczające.

Przedstawiona metodyka wyznaczania kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni jest zbliżona do nowoczesnego podejścia dla pojazdów kolejowych przedstawionego w [2].

Literatura

[1] Gąsowski W., Sobaś M.: Nowoczesna skrajnia pojazdów kolejowych. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Poznań 2005.

- [2] Gąsowski W., Sobaś M.: Wyznaczanie dopuszczalnego zarysu pojazdu w oparciu o skrajnie pojazdów szynowych i budowli. Pojazdy Szynowe Nr 3/2007.
- [3] Krugmann H.L.: Lauf der Schienenfahrzeuge im Gleis. Eine Einführung. R. Oldenbourg Verlag GmbH. München Wien 1982.
- [4] Sobaś M.: Skrajnia kinematyczna i budowli pojazdów tramwajowych. Pojazdy Szynowe Nr 3/2007.
- [5] Sobaś M.: Analiza przemieszczeń geometrycznych i kinematycznych krajowych pojazdów tramwajowych na torze prostym oraz na łuku o minimalnym promieniu. Pojazdy Szynowe Nr 4/2007.
- [6] Stier G.: Die kinematische Fahrzeug- und Lichtraum-Geometrie. Systematik und Auswirkungen im Bereich der deutschen Eisenbahnen auf der Grundlage der geänderten Eisenbahn-Bau- und Betriebs-Ordnungen bzw. Verordnungen. ZEV+DET Nr.7 Glassers Annalen 07/1992.
- [7] Pasemann B., Stüwig M., Theile F.: Beitrag zur Einschränkungsberechnung für Gelenkzüge. ZEV +DET Glasers Annalen 122. Nr. 4.
- [8] Tatara F., Sobaś J.: Analiza geometryczno-statyczna biegu pojazdów szynowych w łukach. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.04.1967. Nr 191.
- [9] Karta UIC 505-1: Pojazdy kolejowe. Skrajnia pojazdów. 10-te wydanie z 05.2006.
- [10] Karta UIC 505-4: Wpływ zastosowania skrajni kinematycznych, określonych w karcie UIC 505 na rozmieszczenie budowli w stosunku do torów i na tory między sobą. Wydanie 3 z dnia 01.01.1977 ze zmianą z dnia 01.01.1988.
- [11] Karta UIC 505-5: Wspólne warunki podstawowe dla kart 505-1 i 505-4. Komentarz o przygotowaniu tych kart i przepisy ich dotyczące. 2-gie wydanie z 1.01.1977z aktualną zmianą z 1.01.1993.
- [12] Norma PN-K-92008:1998: Komunikacja miejska. Skrajnia kinematyczna wagonów tramwajowych.
- [13] Norma PN-K-92008/Ap1:1998: Komunikacja miejska. Skrajnia kinematyczna wagonów tramwajowych.
- [14] Norma PN-K-92009:1998: Komunikacja miejska. Skrajnia budowli. Wymagania.
- [15] PN-70/K-02056: Tabor kolejowy normalnotorowy. Skrajnie statyczne.
- [16] PN-69/K-02057: Koleje normalnotorowe. Skrajnie budowli.
- [17] Raport ERRI B 176/DT 278: Wpływ przemieszczenia poprzecznego belki bujawkowej na profile pojazdów. (ang.: „Influence of lateral swing bolster play on vehicle profiles”). Utrecht, maj 1993.
- [18] Tymczasowe wytyczne dla określenia zapotrzebowania przestrzeni dla kolei miejskich wg zarządzenia dotyczącego budowy i eksploatacji tramwajów (niem. „Vorläufige Richtlinien für die Bemessung des lichten Raumes nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen(BOStrab-Lichtraum-Richtlinien”).12. 1996.
- [19] Wytyczne techniczne projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych. Ministerstwo Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska. Departament Komunikacji Miejskiej i Dróg. Warszawa 1983.

Luzy bezpieczeństwa pomiędzy skrajnią kinematyczną i skrajnią budowli dla pojazdów tramwajowych (2)

Artykuł jest poświęcony studium luzów bezpieczeństwa występujących pomiędzy zarysem odniesienia skrajni kinematycznej oraz zarysem odniesienia skrajni budowli. W części drugiej (2) przedstawiono przykład obliczeniowy dla kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni z i bez uwzględnienia luzów bezpieczeństwa oraz omówienie i wnioski.

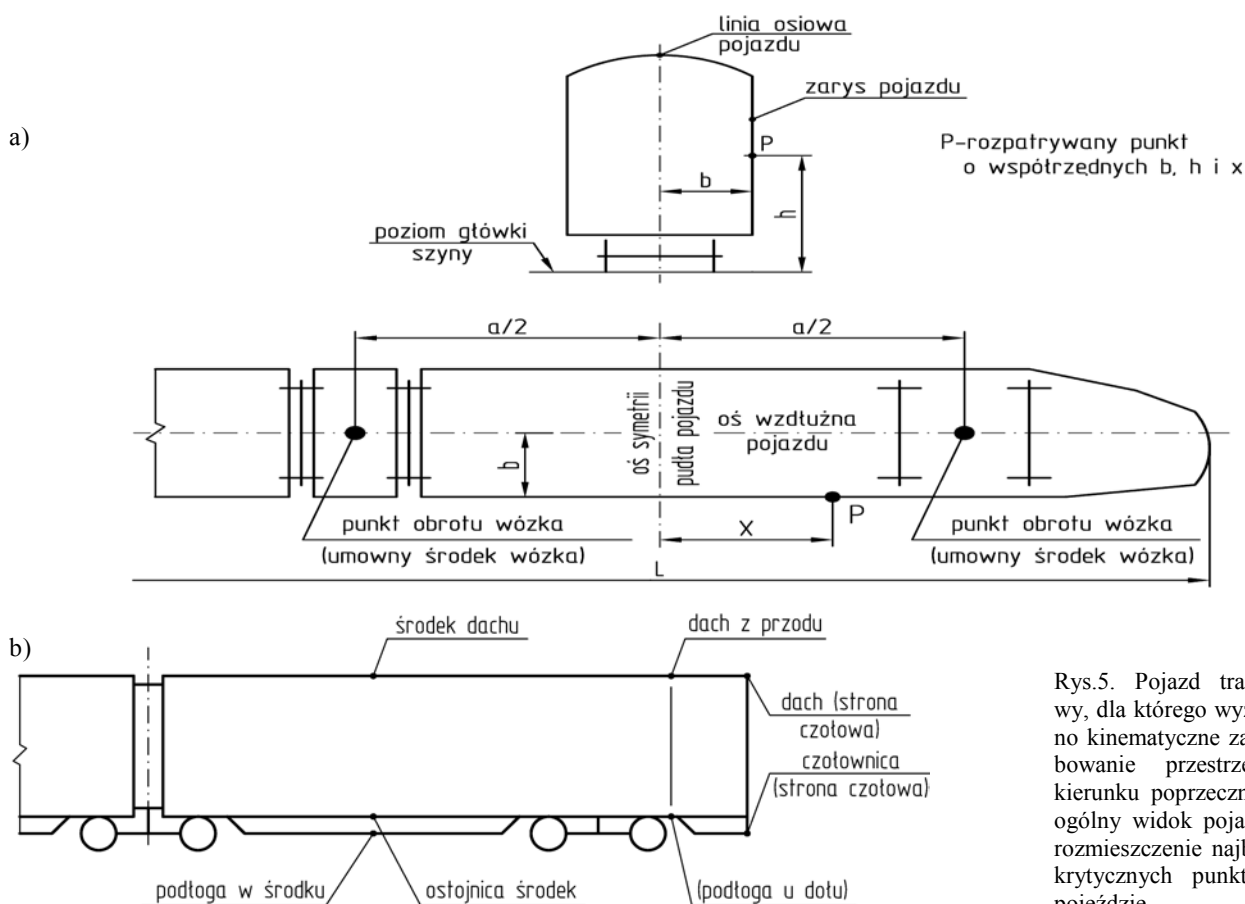
Artykuł powstał w ramach projektu badawczego nr N 509 03531/2367, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego ze środków na naukę na lata 2006÷2009, pt.: „Metodyka wyznaczania kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni oraz luzów bezpieczeństwa dla pojazdów tramwajowych, celem ustalenia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

4. Przykład obliczeniowy dla tramwaju z wysoką podłogą w stosunku do poziomu główki szyny (niem. „Hochflurstrassenbahnfahrzeug”)

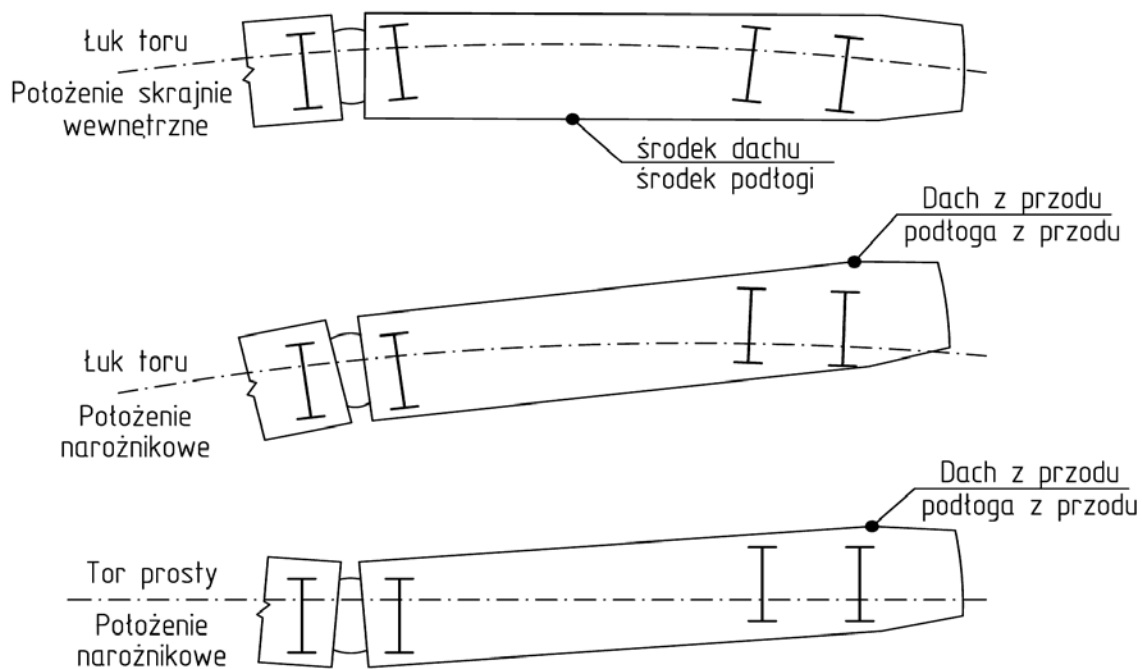
4.1. Parametry pojazdu

Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni w kierunku poprzecznym dla pojazdu tramwajowego z wysoko położoną podłogą (1000 mm w stanie próżnym oraz 943 mm w stanie ładownym od poziomu główki szyny) przedstawionego na rys.5, wyznaczono dla trzech skrajnych położenia pojazdu w torze, przedstawionych w zależności od rozpatrywanego przypadku odpowiednio na rys. 6, 7 i 8.

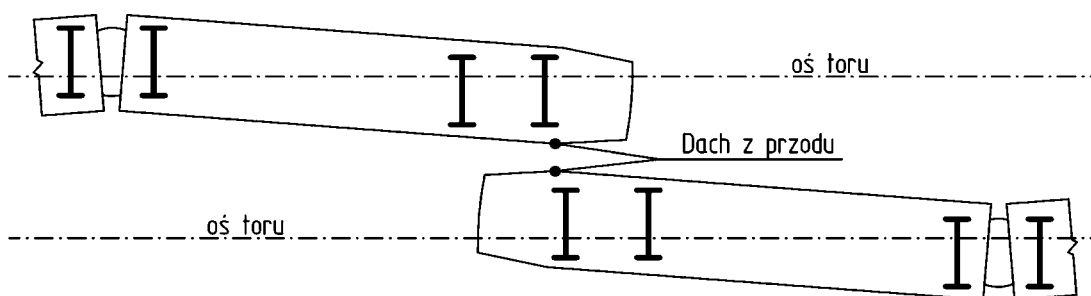
Wybrany pojazd tramwajowy ma charakter reprezentatywny dla już użytkowanego taboru tramwajowego w miejskich przedsiębiorstwach przewozowych Europy i odpowiada większości wyprodukowanych pojazdów również dla szybkiej kolei miejskiej (niem. „Stadtbahnfahrzeuge”) oraz zespołów trakcyjnych metra (niem. „U-Bahnwagen”). Na tej podstawie można wyciągać wnioski co do uniwersalności zastosowania metody podanej w [1] dla innych pojazdów oraz przyjęcia jej do określenia dopuszczalnego zarysu pojazdu tramwajowego w warunkach polskich przedsiębiorstw przewozowych.



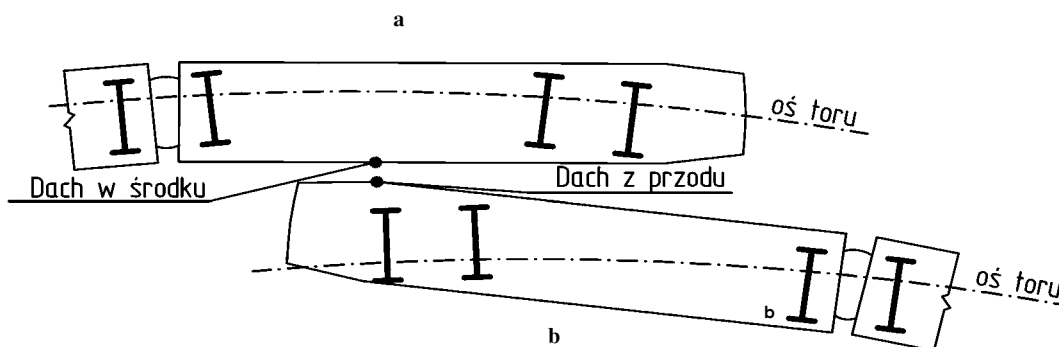
Rys.5. Pojazd tramwajowy, dla którego wyznaczono kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni w kierunku poprzecznym: **a**-ogólny widok pojazdu, **b**-rozmieszczenie najbardziej krytycznych punktów na pojeździe.



Rys.6. Ustawienia pojazdu w torze oraz punkty pojazdu, dla których wyznaczono kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni



Rys.7. Położenie pojazdów w torze prostym podczas mijania oraz punkty pojazdu, dla których wyznaczono kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni



Rys.8. Położenie pojazdów w torze na łuku podczas mijania: a- położenie skrajnie wewnętrzne (tor zewnętrzny), b- położenie narożnikowe (tor wewnętrzny)

Parametry pojazdu tramwajowego przedstawionego na rys.5, wytypowanego do obliczeń kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni, są podane w tabeli 1.

Parametry pojazdu tramwajowego, dla którego wyznaczono kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni
Tabela 1

L.p.	Opis parametru		Oznaczenie parametru pojazdu tramwajowego	Wartość parametru
1.	Całkowita długość pudła pojazdu		L	13 400 mm
2.	Baza pojazdu (odległość umownych środków wózków)		a	10 000 mm
Położenie badanych punktów pojazdu				
3.	Dach z przodu, odległość 1700 mm od czopa skrzytu, podłoga z przodu 1700 mm od czopa skrzytu		x_1	6 700 mm
4.	Dach w środku pomiędzy czopami skrzytu, podłoga w środku pomiędzy czopami skrzytu		x_2	0 mm
5.	Dach, strona czołowa, dolna krawędź podłogi, ściana czołowa		x_3	8400 mm
6.	Wysokość krawędzi dachu względem główki szyny	Stan próżny	h_d	3200 mm
		Stan ładowny		3143 mm
7.	Wysokość górnej krawędzi podłogi względem główki szyny	Stan próżny	h_p	1000 mm
		Stan ładowny		943 mm
8.	Szerokość pudła		2b	2650 mm
9.	Baza wózka pojazdu tramwajowego		p	2 100 mm
10.	Usprężynowana masa pojazdu	stan próżny	$m_{F, leer}$	9 t
		stan ładowny	$m_{F, voll}$	9 t+12 t=21 t
11.	Sztynność sprężyn	sztynność sprężyn zawieszenia pierwszego stopnia (na maźnicę)	C_p	1500 N/mm
		sztynność sprężyn zawieszenia drugiego stopnia (na stronę wózka)	C_s	900 N/mm
12.	Ugięcie statyczne sprężyn	sprężyn pierwszego stopnia	w_p	13 mm
		sprężyn drugiego stopnia	w_s	44 mm
13.	Wysokość środka masy względem główki szyny	w stanie próżnym ¹⁾	h_s	1150 mm
		w stanie ładownym ¹⁾		1450 mm
14.	Powierzchnia parcia wiatru		A_w	36 m ²
15.	Wysokość punktu parcia wiatru	w stanie próżnym ¹⁾	h_w	1900 mm
		w stanie ładownym ¹⁾	h_w	1843 mm
16.	Odległość pomiędzy sprężynami w kierunku poprzecznym	pierwszego stopnia	b_p	1850 mm
		drugiego stopnia	b_s	2000 mm
17.	Wysokość bieguna pochylenia pojazdu z usprężynowaniem I-go stopnia	w stanie próżnym	h_{CP}	460 mm
		w stanie ładownym		447 mm
18.	Wysokość bieguna pochylenia pojazdu z usprężynowaniem II-go stopnia	w stanie próżnym	h_{CS}	800 mm
		w stanie ładownym		743 mm

¹⁾ pojazd z pełną obsadą pasażerów

4.2. Przypadki, które uwzględnia się przy określaniu kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni

Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni w kierunku poprzecznym wyznaczono dla następujących przypadków położenia w torze i stanów załadowania pojazdu tramwajowego:

1. Prosty odcinek toru, położenie narożnikowe, pojazd w stanie próżnym
2. Prosty odcinek toru, położenie narożnikowe, pojazd w stanie ładownym
3. Łuk o promieniu 100 m, położenie narożnikowe, pojazd w stanie próżnym
4. Łuk o promieniu 100 m, położenie narożnikowe, pojazd w stanie ładownym
5. Łuk o promieniu 100 m, położenie skrajnie wewnętrzne, pojazd w stanie próżnym
6. Łuk o promieniu 100 m, położenie skrajnie wewnętrzne, pojazd w stanie ładownym
7. Mijanie się pojazdów na torach prostych sąsiadujących ze sobą, położenie narożnikowe, pojazdy w stanie ładownym

Wartości kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdu tramwajowego z uwzględnieniem połowy szerokości pojazdu i wystawianiem geometrycznym na torze prostym oraz w łuku toru, bez uwzględnienia luzów bezpieczeństwa

8. Mijanie się pojazdów na łukach o promieniu $R=100$ m, tory sąsiadujące ze sobą, położenie narożnikowe, pojazdy w stanie ładownym.

4.3. Wartości kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla przykładowego pojazdu tramwajowego

Wartości kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni w kierunku poprzecznym bez uwzględnienia luzów bezpieczeństwa wyznaczono w oparciu o wzór (4), przedstawiony w [1], natomiast z uwzględnieniem luzów bezpieczeństwa odpowiednio wg wzorów (5), (6) i (7), przedstawionych w [1]. Wartości kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdu tramwajowego na rys.5 z jego parametrami konstrukcyjnymi i infrastruktury (tor tramwajowy wyposażony w podkłady kolejowe oraz z nawierzchnią tłuczniową) przedstawionymi w BOStrab [18] z uwzględnieniem połowy szerokości zarysu pojazdu i wystawianiem geometrycznym na torze prostym oraz w łuku toru, bez uwzględnienia luzów bezpieczeństwa są przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2

L.p. ¹⁾	Przypadek	Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni z uwzględnieniem połowy szerokości pojazdu i wystawianiem geometrycznym [mm]			
		Dach z przodu ²⁾	Podłoga z przodu ²⁾	Dach w środku ²⁾	Podłoga w środku ²⁾
1.	Tor prosty, ustawienie narożnikowe, pojazd bez pasażerów	1422	1416		
2.	Tor prosty, ustawienie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów	1444	1416		
3.	Łuk o promieniu 100 m, ustawienie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów	1547	1519		
4.	Łuk o promieniu 100m, ustawienie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów	1566	1521		
5.	Łuk o promieniu 100m, położenie skrajnie wewnętrzne, pojazd z kompletem pasażerów			1567	1540
6.	Łuk o promieniu 100m, położenie skrajnie wewnętrzne pojazd z kompletem pasażerów		-	1587	1542
	Wartość maksymalna	1566	1521	1587	1542
7.	Mijanie się dwóch pojazdów tramwajowych na torze prostym, położenie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów	Wymagana odległość pomiędzy torami odniesiona do dachu pojazdu 2583 mm			
8.	Mijanie się dwóch pojazdów tramwajowych na łuku toru o promieniu 100m, położenie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów,	Wymagana odległość pomiędzy torami odniesiona do dachu pojazdu 3113 mm			

¹⁾ kolejność przypadków odpowiada wymienionym w p.4.2

²⁾ rozpatrywane punkty pojazdu są przedstawione na rys.5.

Wartości kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdu tramwajowego przedstawionego na rys.5 bez uwzględnienia połowy szerokości zarysu pojazdu i wystawianiem geometrycznym na torze prostym oraz w łuku toru, bez uwzględnienia luzów bezpieczeństwa są przedstawione w tabeli 3.

Wartości kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdu tramwajowego przedstawionego na rys.5 z uwzględnieniem połowy szerokości zarysu pojazdu i wystawianiem geometrycznym na torze prostym oraz w łuku toru, z uwzględnieniem luzów bezpieczeństwa są przedstawione w tabeli 4.

Wartości kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdu tramwajowego przedstawionego na rys.5 bez uwzględnienia połowy szerokości zarysu pojazdu i wystawiania geometrycznego na torze prostym oraz w łuku toru, z uwzględnieniem luzów bezpieczeństwa są przedstawione w tabeli 5.

Z porównania wyników przedstawionych w tabelach 2÷5 wynika, że obliczenia kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni w kierunku poprzecznym przeprowadzone w oparciu o dokładną znajomość pojazdu i infrastruktury (tabele 2 i 3) dają zdecydowane korzyści przestrzenne niż w przypadku analogicznych obliczeń z uwzględnieniem luzów bezpieczeństwa (tabele 4 i 5). W przypadku braku wystarczającej wiedzy na temat pojazdu i infrastruktury rezultatem obliczeń jest „przewymiarowana przestrzeń kinematycznego zapotrzebowania” pojazdu tramwajowego, która prowadzi do większego bezpieczeństwa eksploatacyjnego, ale może utrudniać spełnianie podstawowych funkcji pojazdu do jakich można zaliczyć chociażby wsiadanie i wysiadanie z pojazdu. Jest to bardzo istotny parametr oceny pojazdu szynowego, decydujący również o jego przelotowości i czasie postoju na przystankach. Na rys.9 przedstawiono sytuację przy wsiadaniu pasażerów do tramwajów z obniżoną podłogą (niem. „Niederflurstraßenbahnfahrzeuge”) będących własnością francuskich przedsiębiorstw przewozowych w Nantes oraz w Grenoble.

Wartości kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdu tramwajowego bez uwzględnienia połowy szerokości pojazdu i wystawianiem geometrycznym na torze prostym i w łuku, bez uwzględnienia luzów bezpieczeństwa

Tabela 3

L.p. ¹⁾	Przypadek	Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni z uwzględnieniem połowy szerokości pojazdu i wystawianiem geometrycznym [mm]			
		Dach z przodu ²⁾	Podłoga z przodu ²⁾	Dach w środku ²⁾	Podłoga w środku ²⁾
1.	Tor prosty, ustawienie narożnikowe, pojazd bez pasażerów	117	91		
2.	Tor prosty, ustawienie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów	119	91		
3.	Łuk o promieniu 100 m, ustawienie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów	131	103		
4.	Łuk o promieniu 100m, ustawienie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów	150	105		
5.	Łuk o promieniu 100m, położenie skrajnie wewnętrzne, pojazd z kompletem pasażerów			111	84
6.	Łuk o promieniu 100m, położenie skrajnie wewnętrzne pojazd z kompletem pasażerów		-	131	86
	Wartość maksymalna	150	105	131	86
7.	Mijanie się dwóch pojazdów tramwajowych na torze prostym, położenie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów	Wymagana odległość pomiędzy torami odniesiona do dachu pojazdu 203 mm			
8.	Mijanie się dwóch pojazdów tramwajowych na łuku toru o promieniu 100m, położenie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów,	Wymagana odległość pomiędzy torami odniesiona do dachu pojazdu 241 mm			

¹⁾ kolejność przypadków odpowiada wymienionym w p.4.2

²⁾ rozpatrywane punkty pojazdu są przedstawione na rys.5

Wartości kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdu tramwajowego z uwzględnieniem połowy szerokości pojazdu i wystawianiem geometrycznym na torze prostym i w łuku z uwzględnieniem luzów bezpieczeństwa

Tabela 4

L.p.	Przypadek	Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni z uwzględnieniem połowy szerokości pojazdu i wystawianiem geometrycznym [mm]			
		Dach z przodu ²⁾	Podłoga z przodu ²⁾	Dach w środku ²⁾	Podłoga w środku ²⁾
1.	Tor prosty, ustawienie narożnikowe, pojazd bez pasażerów	1525	1441		
2.	Tor prosty, ustawienie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów				
3.	Łuk o promieniu 100m, ustawienie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów	1625	1545		
4.	Łuk o promieniu 100m, ustawienie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów				
5.	Łuk o promieniu 100m, położenie skrajnie wewnętrzne, pojazd z kompletem pasażerów			1656	1578
6.	Łuk o promieniu 100m, położenie skrajnie wewnętrzne pojazd z kompletem pasażerów				
	Wartość maksymalna	1625	1545	1656	1578
7.	Mijanie się dwóch pojazdów tramwajowych na torze prostym, położenie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów	Wymagana odległość pomiędzy torami odniesiona do dachu pojazdu 3022 mm			
8.	Mijanie się dwóch pojazdów tramwajowych na łuku toru o promieniu 100m, położenie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów,	Wymagana odległość pomiędzy torami odniesiona do dachu pojazdu 3245 mm			

¹⁾ kolejność przypadków odpowiada wymienionym w p.4.2

²⁾ rozpatrywane punkty pojazdu są przedstawione na rys.5

Wartości kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdu tramwajowego bez uwzględnienia połowy szerokości pojazdu i z wystawianiem geometrycznym na torze prostym i w łuku z uwzględnieniem luzów bezpieczeństwa

Tabela 5

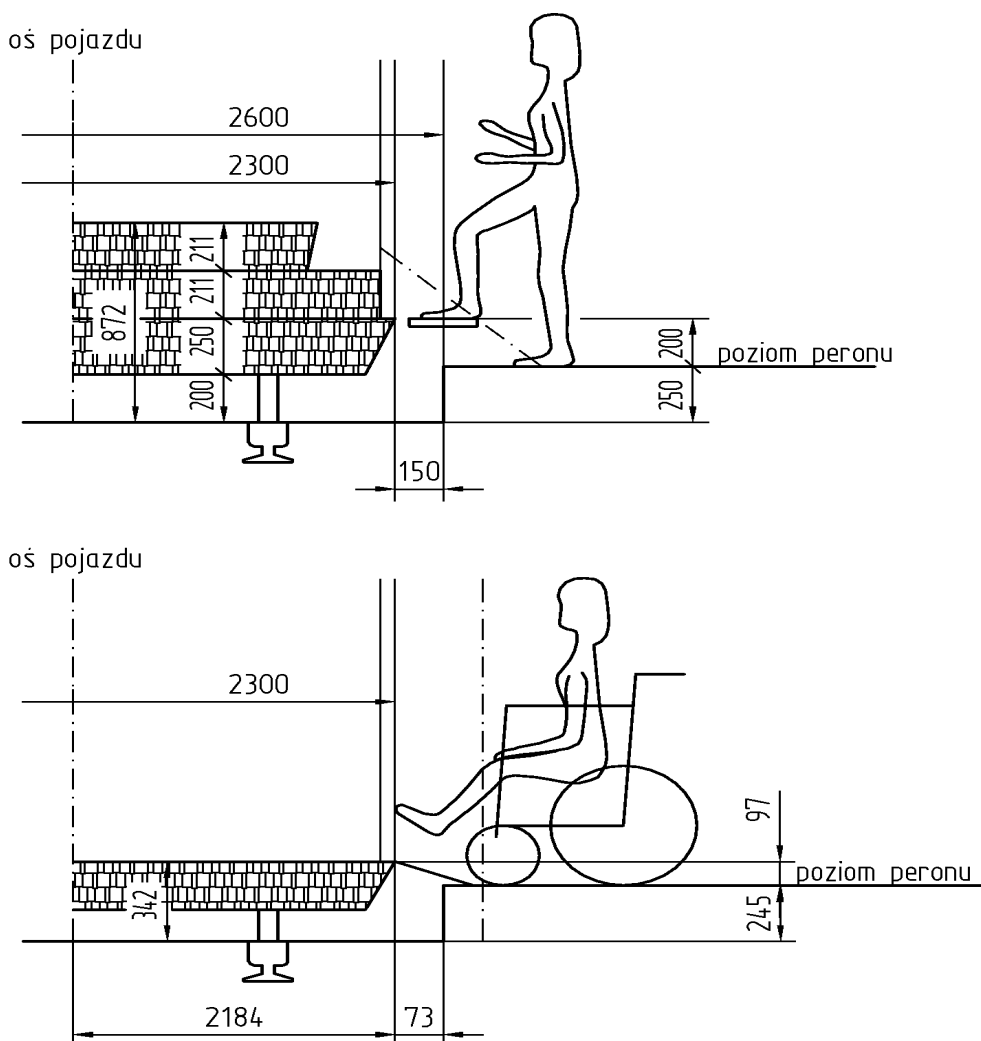
L.p.	Przypadek	Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni z uwzględnieniem połowy szerokości pojazdu i wystawianiem geometrycznym [mm]			
		Dach z przodu ²⁾	Podłoga z przodu ²⁾	Dach w środku ²⁾	Podłoga w środku ²⁾
1.	Tor prosty, ustawienie narożnikowe, pojazd bez pasażerów	200	116		
2.	Tor prosty, ustawienie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów				
3.	Łuk o promieniu 100 m, ustawienie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów	209	129		
4.	Łuk o promieniu 100m, ustawienie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów				

c.d. Tabeli 5

5.	Łuk o promieniu 100m, położenie skrajnie wewnętrzne, pojazd z kompletem pasażerów			200	122
6.	Łuk o promieniu 100m, położenie skrajnie wewnętrzne pojazd z kompletem pasażerów			200	122
	Wartość maksymalna	209	129	200	122
7.	Mijanie się dwóch pojazdów tramwajowych na torze prostym, położenie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów	Wymagana odległość pomiędzy torami odniesiona do dachu pojazdu 372 mm			
8.	Mijanie się dwóch pojazdów tramwajowych na łuku toru o promieniu 100m, położenie narożnikowe, pojazd z kompletem pasażerów,	Wymagana odległość pomiędzy torami odniesiona do dachu pojazdu 373 mm			

¹⁾ kolejność przypadków odpowiada wymienionym w p.4.2

²⁾ rozpatrywane punkty pojazdu są przedstawione na rys.5



Rys.9. Warunki dla pasażerów przy wsiadaniu do tramwajów niskopodłogowych: a) w Nantes b) w Grenoble

Ta komfortowa sytuacja przy wsiadaniu (niem. „Einstiegskomfort” lub „komfortable Einstiegssituation”), wypracowana dużym kosztem przedsięwzięć technicznych może się znacznie pogorszyć w przypadku tramwajów, których zapotrzebowanie przestrzeni jest wyliczone w oparciu o luz bezpieczeństwa. Pojazd o większym kinematycznym zapotrzebowaniu przestrzeni posiada większą odległość od peronu, co utrudnia wsiadanie i wysiadanie pasażerom i aby to ułatwić środki techniczne muszą posiadać większe wymiary geometryczne (dłuższe wysuwane podesty). Na tym przykładzie widoczne są zalety wyznaczania kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni w oparciu o metodę bez uwzględniania luzów bezpieczeństwa.

5. Omówienie i wnioski

Z analizy przedstawionej dla kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla pojazdu tramwajowego bez i z uwzględnieniem luzów bezpieczeństwa można zauważyć, że zastosowana metoda wyznaczania daje istotne korzyści przestrzenne dla pojazdu i infrastruktury w pierwszym przypadku tzn. bez uwzględnienia luzów bezpieczeństwa. Metoda bez uwzględnienia luzów bezpieczeństwa wymaga szczególnej wiedzy na temat budowy pojazdu, jego tolerancji oraz infrastruktury, na której ten pojazd jest eksploatowany. Może się okazać, że ten sam pojazd w innych warunkach oferowanych przez infrastrukturę innego przedsiębiorstwa przewozowego może wykazywać mniejsze lub większe kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni. Wyznaczanie kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni dla drugiego przypadku tzn. uwzględnieniem luzów bezpieczeństwa jest obliczane przy założeniu, że stosowanie pojazdu w eksploatacji komercyjnej jest „a priori” obciążone ryzykiem, które ma za zadanie zrekompensować luzy bezpieczeństwa. Jak wykazuje porównanie obliczeń kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni wg tabeli odpowiednio 2 i 4 oraz 3 i 5 metoda bez uwzględnienia luzów bezpieczeństwa wykazuje 59 mm zysk przestrzenny (po każdej stronie w kierunku poprzecznym), gwarantując jednocześnie bezpieczną eksploatację pojazdu tramwajowego. Zaletę tę można wykorzystać konstruując pojazd tramwajowy o większej szerokości, zapewniając tym samym większy komfort dla podróżnych.

W przypadku poszukiwania optymalnych konstrukcji o wysokich wskaźnikach przewozowych i o budowie wielkogabarytowej należy liczyć się z tym, że dokładne obliczenie kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni jest możliwe pod warunkiem dokładnego poznania budowy pojazdu i infrastruktury. Kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni jest pojęciem, które określa rzeczywistą przestrzeń, jaką zajmuje pojazd w określonych warunkach eksploatacyjnych. Może ono być zwiększone lub zmniejszone w

zależności od wymagań infrastruktury (przeglądy okresowe, ich dokładność oraz częstotliwość) jak również konstrukcji samego pojazdu (częstotliwości napraw). Wytyczne zapotrzebowania przestrzeni można zmniejszyć dla tego samego pojazdu poprzez dokonywanie zabiegów konstrukcyjnych, ograniczające tolerancje wykonawcze poszczególnych podzespołów, jakimi są układ biegowy oraz pudło. O celowości tego zabiegu decydują nie tylko możliwości technologiczne wytwórni, ale również ekonomiczne jakie powoduje zawężenie odchylek wykonawczych.

Istotnym parametrem ekonomiczno-konstrukcyjnym, świadczącym o konstrukcji jest parametr kosztowy wskazujący na cenę 1 m² powierzchni użytkowej tramwaju (cena pojazdu podzielona przez powierzchnię użytkową tramwaju). Przedstawiona metoda wyznaczania kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni ma walory rozwojowe, znosząc dotychczasowy podział kompetencji między służby budowlane i konstruktora pojazdu. Przyczynia się ona do poznania jakościowego i ilościowego udziału poszczególnych czynników, wpływających na przemieszczenia pojazdu i bardziej mobilizuje producenta i przedsiębiorstwo przewozowe do współpracy nad optymalnym rozwiązaniem wspólnego problemu jakim jest bezpieczna eksploatacja pojazdu tramwajowego, dopasowanego do wymagań rynkowych (optymalna ilość miejsc stojących oraz siedzących).

Metoda ta może być uznana przez polskie przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej jako jedna z bazowych do wyznaczania zarysu pojazdu i jego kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni, przy założeniu dopasowania jej do warunków krajowych miejskich przedsiębiorstw przewozowych. Nakłada ona na konstruktora pojazdu obowiązek dokładnego poznania infrastruktury, po której będzie poruszał się pojazd. O ile w przypadku infrastruktury kolejowej jest to trudne z uwagi na jej zasięg, to w przypadku miejskiego przedsiębiorstwa komunikacyjnego nie powinno przedstawiać większych trudności.

Literatura

- [1] Sobaś M.: *Luzy bezpieczeństwa między skrajnią kinematyczną i skrajnią budowli dla pojazdów tramwajowych (I). Pojazdy Szynowe Nr 1/2008.*