

## WYTYCZNE PROJEKTOWANIA TORÓW TRAMWAJOWYCH A OBECNIE UŻYWANY TABOR TRAMWAJOWY<sup>1</sup>

Jeremi RYCHLEWSKI<sup>\*</sup>, Bartosz FIRLIK<sup>\*\*</sup>, Wojciech STRASZEWSKI<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

<sup>\*\*</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu

Projektowanie tras tramwajowych w polskich miastach odbywa się na podstawie starych aktów prawnych, a nieliczne nowe zapisy w innych aktach prawnych nie uwzględniają wystarczająco specyfiki ruchu tramwajowego. Zmiany są potrzebne gdyż od czasu napisania szczegółowych wytycznych nastąpiła zdecydowana wymiana taboru tramwajowego, zmieniły się uwarunkowania społeczne i urbanistyczne. Tramwaje muszą być konkurencyjne wobec ruchu samochodowego, a jednocześnie spełniać zwiększone wymogi ekologiczne. Obecne nieaktualne przepisy prowadzą w najlepszym razie do podejmowania nieoptymalnych decyzji, w skrajnych zaś przypadkach były jedną z przyczyn wypadków tramwajowych. Konieczne jest więc opracowanie nowych szczegółowych wytycznych i systemowa weryfikacja aktów prawnych pod kątem uwzględniania specyfiki tras tramwajowych.

Słowa kluczowe: trasy tramwajowe, wytyczne projektowania, trasa w planie i w profilu, sterowanie ruchem tramwajowym.

### 1. OBECNY STAN PRAWNY

Projektowanie tras tramwajowych w polskich miastach odbywa się obecnie na podstawie aktów prawnych podlegających pod ustawę Prawo budowlane:

- Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie z 1999 r. [24],
- Wytycznych technicznych projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych z 1983 r. [38],
- Tymczasowych wytycznych do projektowania szybkiej komunikacji tramwajowej z 1981 r. [39],
- a w pewnym zakresie również na podstawie podlegających pod ustawę Prawo o ruchu drogowym szczegółowych warunków technicznych dla projektowania sygnalizacji świetlnej z 2003 r., z późniejszymi zmianami [35].

Są również warunki techniczne projektowania torowisk tramwajowo-autobusowych [20] z 1996 r., ale nie mają one umocowania w prawie państwowym – warunki te uzupełniają Wytyczne [38] bez zmieniania zawartych w nich zapisów.

---

<sup>1</sup> DOI 10.21008/j.1897-4007.2017.25.26

Najnowszy akt prawny [35] pochodzi więc z 2003 r. (z nowelizacją dotyczącą ruchu tramwajowego w 2015 r.), obejmuje on jednak pobocznie dla projektowania tras tramwajowych zagadnienie oznakowania drogowego i sygnalizacji świetlnej. Rozporządzenie z 1999 r. [24] jest pisane przede wszystkim dla ruchu samochodowego – przepisy dotyczące budowy tras tramwajowych stanowią 1% tekstu tego aktu prawnego. Problemem obu aktów jest pobocznie traktowanie tras tramwajowych, z pominięciem istotnych dla tych tras charakterystyk [29].

Szczegółowe zasady projektowania tras tramwajowych można uzyskać dopiero z wytycznych z 1983 r. [38] oraz bardzo podobnych do nich wytycznych dla szybkiego tramwaju z 1981 r. [39]. Wytyczne te były pisane 34 lata temu, czyli dla tramwajów w większości wycofanych już z ruchu (żywność tramwaju przyjmuje się na 25 – 30 lat, choć np. kursujące w Poznaniu tramwaje Duewag GT-8 mają już 50 lat), ponadto były to czasy komunistyczne, co wiązało się z ograniczeniami (przynajmniej finansowymi) dostępu do nowych technologii.

Do opisanego zjawisk fizycznych, jak też do analizy porównawczej, wykorzystano również przepisy projektowania dróg kolejowych [23] – charakterem zbliżonych do tras tramwajowych.

Nieaktualność przepisów może wynikać z różnych przyczyn, w tym:

- postępującej, coraz szybszej wymiany taboru przez polskie miasta, wynikającej z korzystnych funduszy unijnych (przepisy nie nadały za tymi zmianami),
- nowych technologii budowy torów [13,19,21],
- nowych wymogów ekologicznych, w tym konieczności ograniczania hałasu [19],
- nowych wymogów społecznych, w tym dostępności dla osób niepełnosprawnych [14,17,26],
- nowych wymogów urbanistycznych, w tym konieczności zapewnienia konkurencyjności tramwaju w stosunku do ruchu samochodowego [9,27,29,37].

Warto też dostosować przepisy do nietypowych, acz stosowanych w Europie rozwiązań w postaci tramwaju dwusystemowego [4,8,10] czy tramwaju towarowego [7]. Potrzebę dostosowania przepisów do nowych warunków prezentowano między innymi w pracach [6,21].

## 2. ZMIANY W TABORZE TRAMWAJOWYM

W roku publikacji wytycznych projektowania tras tramwajowych [38] (1983) po Poznaniu jeździły 3 główne typy tramwajów o zbliżonym udziale liczbowym (zestawienie własne na podstawie [5]):

- tramwaje typu N, jednoczłonowe oparte na pojedynczym wózku, łączone w składy dwu lub trójwagonowe;
- tramwaje typu 102N, dwuczłonowe oparte na trzech wózkach, kursujące pojedynczo;

- tramwaje typu 105N, jednoczłonowe oparte na dwóch wózkach, łączone w składy dwuwagonowe.

Podobny zestaw taborowy występował w innych polskich miastach. Wszystkie tramwaje były wysokopodłogowe. Szczyt liczebny taboru tramwajowego w Polsce przypadł na rok 1992, kiedy w użyciu było ponad 4000 wagonów. Od tego czasu, dzięki funduszom UE pojawiało się coraz więcej nowoczesnych tramwajów jedno-przestrzennych (zastępujących dotychczasowe składy dwuwagonowe). Polityka taborowa większości przedsiębiorstw komunikacji miejskiej w Polsce zakłada zakup nowych pojazdów niskopodłogowych. Mieści się to w założeniach Komisji Europejskiej o zapewnieniu dostępności wszystkim pasażerom, również tym o ograniczonej mobilności ruchowej.

Wybrane parametry starych i nowych tramwajów przedstawiono w tabeli 1. Wśród zmian parametrów taboru tramwajowego od roku 1983 warto wymienić:

- rezygnacje z pociągów łączonych z wagonów na rzecz pojazdów jednoprzestrzennych, w tym rezygnację z wagonów doczepnych (bez silnika);
- długość większości taboru około 30 m (choć np. Pesa produkuje też krótsze tramwaje 3-członowe oraz 45-metrowego Krakowiaka);

Tab. 1. Parametry wybranych tramwajów kursujących w Polsce

Tramwaj	Liczba członów	Długość [m]	Masa próżnego wagonu [t]	Liczba wózków	Masa na jeden wózek [t]	Wysokość podłogi [m]	Długość bazowa [m]	Prędkość maks. [km/h]
Tramwaje kursujące w 1983 r. w Polsce								
N	1	11,5	13,5	1	13,5	0,94	1,9	50
102N	3	19,7	26,0	3	8,7	0,94	5,8*	55
105N	1	13,5	16,8	2	8,4	0,91	6,0	72
Tramwaj kursujący w 1983 w Niemczech, kupiony lub uzyskany pod koniec XX w.								
Duewag GT8	4	21,6	25,4	4	6,7	0,88	6,0	70
Tramwaje kursujące w Polsce wyprodukowane po 1994 r.								
Tatra RT6N1	3	26,5	32,9	3	11,0	0,35	9,5*	80
Pesa P11	5	31,8	43,4	3	14,5	0,35	11,6*	70
Combino	5	29,2	32,4	3	10,8	0,30	8,0*	70
Tramino	5	32,0	42,5	3	14,2	0,35	10,9*	70
Moderus Beta	4	28,3	40,7	4	10,2	0,32	6,2	70
* w członach wózkowych tych wagonów długość bazowa wynosi 1,8-1,9 m. Dla tramwaju Combino rzeczywiście oddziałująca długość bazowa jest trudna do obliczenia ze względu na mechanizm kompensujący w wózku.								

- masę próżnego wagonu przypadająca na jeden wózek dochodząca nawet do 15 t (pod tym względem tramwaje typu 102N i 105N były łagodniejsze dla nawierzchni, pozytywnie odznaczają się też tramwaje Moderus Beta i Siemens Combino);
- zwiększenie prędkości maksymalnej do 70 km/h (80 km/h w przypadku Tatry RT6N1).

Wraz z pojawianiem się nowych tramwajów, wzrasta niestety różnorodność ich konstrukcji. Prawo zamówień publicznych wymusza konkurencyjność, co z kolei staje w sprzeczności z próbami ujednoczenia taboru w obrębie danego operatora, co zwiększa koszty obsługi, a tym samym koszty życia pojazdu. Nowoczesne tramwaje w Polsce różnią się obecnie przede wszystkim:

- rodzajem wózków (wózki nieobrotowe lub obrotowe);
- rodzajem osadzenia kół (klasyczne zestawy kołowe, koła swobodne, oś portallowa);
- rodzajem napędu (od dwóch do czterech silników na wózek);
- rodzajem usprężynowania (od klasycznych sprężyn śrubowych po miechy pneumatyczne).

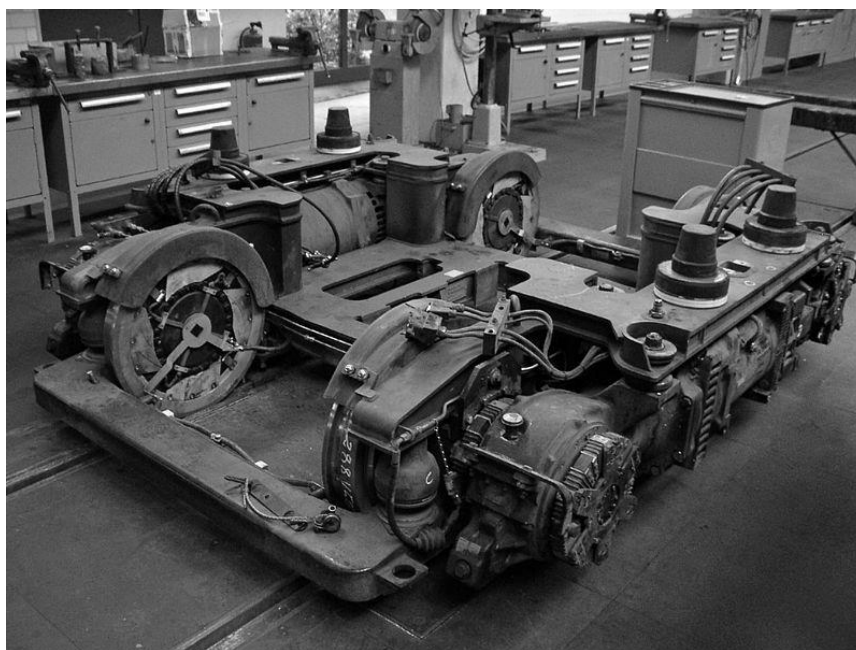
### 3. TRASA TRAMWAJOWA W PLANIE

#### 3.1. Łuki poziome, przechyłka i maksymalna prędkość

Możliwość przejazdu przez łuk o małym promieniu wynika przede wszystkim z kształtu koła (średnica, szerokość obręczy, profil poprzeczny) i szyny, rozstawu osi, a także ze sposobu prowadzenia koła w wózku. Nowoczesne tramwaje są przynajmniej w części swojej długości niskopodłogowe, co ogranicza stosowanie klasycznych wózków. Wyróżnić można kilka rozwiązań:

- Stosowanie niskiej podłogi tylko w przestrzeni między wózkami (np. Moderus Beta, a także człony skrajne tramwaju Tatra RT6N1), co pozwala na stosowanie wózków napędnych z klasycznymi zestawami kołowymi, z osią łączącą oba koła. Kształt tych wózków nie zmienił się znacząco przez rozważane 34 lata.
- Stosowanie wózków z klasycznymi zestawami kołowymi, ale przy minimalizacji odległości od wspomnianych osi do podłogi, np. przez zmniejszenie średnicy koła (Solaris Tramino) – takie rozwiązanie najczęściej wymaga lekkiego wzniosu podłogi w przestrzeni nad wózkiem.
- Stosowanie kół indywidualnych (bez osi łączącej z drugim kołem – z tzw. osią wirtualną) do konstrukcji wagonu (wózek toczny Tatry RT6N1). Rozwiązanie to jest niekorzystne w eksploatacji ze względu na brak centrowania wózka w torze po wychyleniu na skutek wymuszenia poprzecznego, lub też po wyjściu z łuku, co powoduje szybsze zużycie kół.
- Stosowanie wózków z konstrukcją właściwą dla niskiej podłogi, z osią wirtualną – takie rozwiązanie zastosowano w tramwajach Siemens Combino, (rys. 1)

w których dodatkowo zastosowano elektroniczną regulację prędkości dla każdego koła osobno. Obecne trendy w budowie nowoczesnych tramwajów nisko-podłogowych zmierzają w kierunku zastosowania odrębnego silnika dla każdego koła indywidualnego w tramwaju, z odpowiednim sterowaniem wymuszającym oś wirtualną na odcinku prostym (zapewniającą środkowe położenie wózka na torze), dostosowując tym samym prędkości obrotowe kół w łuku tak, aby minimalizować poślizg.

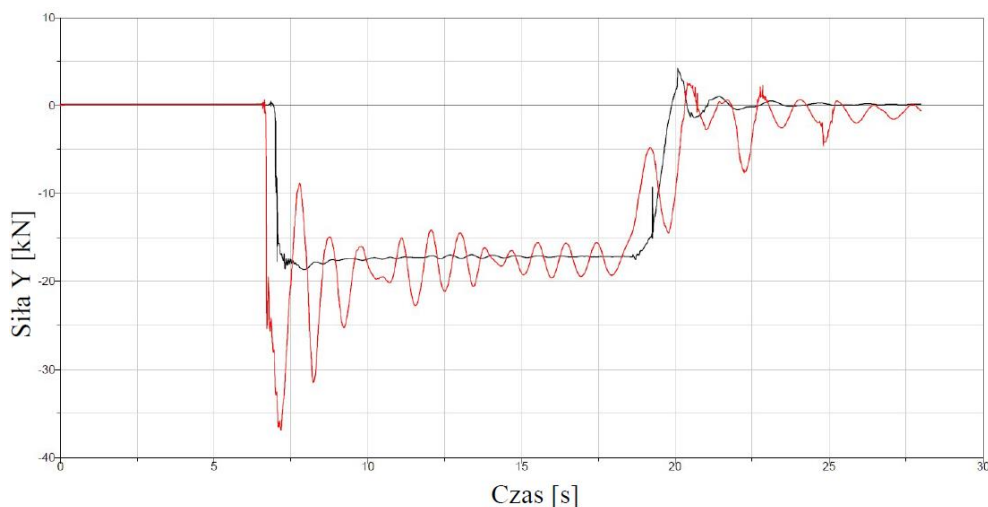


Rys. 1. Wózek tramwaju Siemens Combino, bez osi łączącej koła.  
[[www.en.wikipedia.org/wiki/File:Combino\\_tram\\_chassis.jpg](http://www.en.wikipedia.org/wiki/File:Combino_tram_chassis.jpg)]

Z opisanych wyżej względów, mimo podobnej bazy nowoczesnych wózków i wózków eksploatowanych w roku 1983, te pierwsze wpisują się w łuki zupełnie inaczej. Klasyczny zestaw kołowy z poprawną geometrią kontaktu (odpowiednia stożkowatość) będzie wykazywał co prawda tendencję do samocentrowania w torze, gdyż prawe i lewe koło mają taką samą prędkość obrotową. Analizy pokazują jednak, że klasyczny zestaw kołowy w łuku o promieniach rzędu 25 m traci swą samosterowność, ponieważ wymagana różnica średnic toczenia obu kół zestawu nie może już być osiągnięta nawet przy maksymalnym przemieszczeniu się zestawu od środka toru. Skutkiem takiego usytuowania zestawu jest powiększenie kąta nabiegania, a konsekwencją większe zużycie na profilu koła i na szynie. Brak klasycznych zestawów kołowych znacząco zwiększa możliwości sterowania poślizgiem kół, oczywiście przy poprawnym sterowaniu układem napędowym. Można wtedy, regulując

prędkość obrotową każdego z kół, doprowadzić do znaczącego zmniejszenia różnicy promieni toczyń w łuku toru, eliminując niekorzystny poślizg, zwiększający zużycie i powodujący nadmierny hałas. Niestety w wózkach toczyń koła indywidualne (niepołączone osią) nie wykazują takiego prowadzenia, co skutkować może nierównym prowadzeniem wózka na torze prostym, a w konsekwencji prowadzić do przyspieszonego zużycia kół i szyn.

Odrębną kwestią jest rodzaj zastosowanych w pojeździe wózków. Zaletą wózków obrotowych (skrętnych) jest to, że mają duży zakres obrotu w stosunku do pudła pojazdu. Dzięki temu mogą lepiej wpisać się w łuki o małych promieniach, skręcając się pod pojazdem wcześniej, podczas gdy obrót pudła w łuku jest łagodniejszy – obrót w pełni wynikający z promienia wymuszany jest dopiero później. Powoduje to mniejsze siły poprzeczne, a tym samym zmniejsza zużycie koła i szyny. Wózki sztywne natomiast, z uwagi na niewielką podatność skrętną, skręcają się w łuku prawie równocześnie z obrotem pudła, powodując występowanie większych sił poprzecznych. Ilustrowano to na rysunku 2, uzyskanym metodą symulacji komputerowej, przedstawiający siły poprzeczne  $Y$  między kołem nadbiegającym a szyną podczas wjazdu w łuk o promieniu 30 m. Kolor czarny przedstawia przebieg sił dla klasycznego tramwaju wysokopodłogowego, wyposażonego w wózki obrotowe, natomiast kolor czerwony przedstawia analogiczny przebieg dla nowoczesnego tramwaju niskopodłogowego, wyposażonego w wózki nieobrotowe.



Rys. 2. Siły poprzeczne między kołem nadbiegającym a szyną podczas wjazdu w łuk o promieniu 30 m

Opisane wyżej modyfikacje nie zmieniają minimalnego promienia łuku poziomego równego około 20 m, choć są na świecie przykłady stosowania mniejszych

promieni tramwajowych łuków poziomych przy szerokości toru 1435 mm (np. około 10 m w Bostonie czy Newark w USA).

Promień łuku poziomego  $R$  zależy też od prędkości projektowej  $V$  (we wzorze w km/h), funkcji przechyłki  $h$  (we wzorze w mm) i niezrównoważonego przyspieszenia bocznego  $a$ , zgodnie z wzorem:

$$R = \frac{11,8 \cdot V^2}{h \pm 153 \cdot a} \quad (1)$$

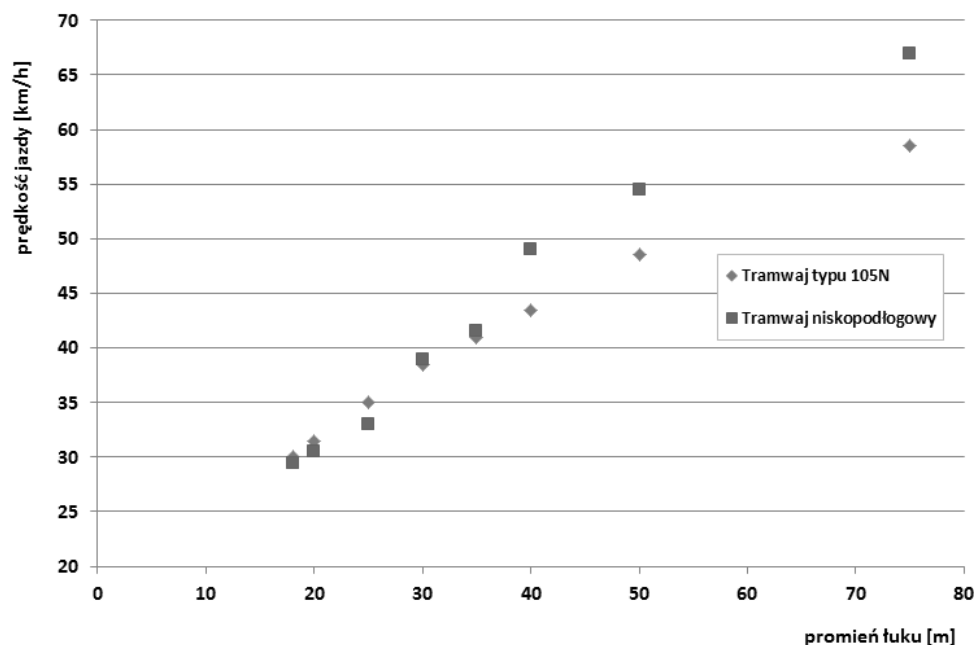
Według Wytycznych wartość przechyłki powinna być dobierana z tabeli w zależności od prędkości, promienia łuku i warunków – rozróżnia się bowiem stosowanie przechyłki normalnej i przechyłki dopuszczalnej w trudnych warunkach. Wartość przechyłki dla warunków normalnych oraz dla projektowania szybkiego tramwaju obliczono w Wytycznych [38,39], ze wzoru:

$$h = \frac{8 \cdot V_{max}^2}{R} \quad (2)$$

gdzie  $V_{max}$  oznacza maksymalną prędkość na danym łuku. Przy takim wzorze siła odśrodkowa i dośrodkowa są równoważone dla prędkości tramwaju równej 82% prędkości maksymalnej, a na tramwaj jadący z prędkością maksymalną działa wypadkowe przyspieszenie boczne nie większe niż  $0,45 \text{ m/s}^2$ . Przy zastosowaniu przechyłki dopuszczalnej na tramwaj jadący z prędkością maksymalną działa wypadkowe przyspieszenie boczne nie większe niż  $1,0 \text{ m/s}^2$ . Dla prędkości 10 – 15 km/h wartości tych przyspieszeń są znacząco mniejsze. Maksymalną przechyłką jest 150 mm, czyli w razie zatrzymania tramwaju przyspieszenie boczne nie przekroczy  $1,0 \text{ m/s}^2$ .

Na rozjazdach tramwajowych nie ma warunków do stosowania przechyłki. Prędkość tramwajów na rozjazdach z wielu przyczyn jest ograniczona do 10 – 15 km/h [12]. Prędkości te według tabeli z omawianych wytycznych wymagają promieni łuku poziomego o minimalnej wartości odpowiednio 25 i 35 m. Badania prędkości na łukach rozjazdów tramwajowych w Poznaniu wykazały jednak, że rzeczywista prędkość wynosiła, poza rozjazdami w złym stanie technicznym, 13,4 – 18,8 km/h [2,30]. Dla tych prędkości przy promieniu łuku poziomego 25 m uzyskuje się przyspieszenie boczne  $0,55 – 1,09 \text{ m/s}^2$ .

Zaletą nowoczesnych tramwajów jest mniejsza szansa na wykolejenie [11]. Na rysunku nr 3 przedstawiono zależność granicznej prędkości jazdy tramwaju od promienia łuku w aspekcie wykolejenia pojazdu, uzyskaną na drodze symulacji komputerowej dla dwóch różnych typów pojazdów. Wykres pokazuje prędkości, przy których dla danego łuku następowało wykolejenie w łuku bez przechyłki, ale z odpowiednią krzywą przejściową. Widać wyraźnie przewagę nowoczesnych tramwajów niskopodłogowych.



Rys. 3. Zależność granicznej prędkości jazdy tramwaju od promienia łuku w aspekcie wykolejenia pojazdu [11]

Cechą ruchu tramwajowego jest duża jednorodność. Czas przejazdu między przystankami tylko w niewielkim stopniu zależy od taboru (w przeciwieństwie do np. lat 70-tych XX wieku), a przy przystankach zatrzymują się praktycznie wszystkie tramwaje – udział tramwajów gospodarczych jest bowiem pomijalny. Na większości sieci tramwajowej rzeczywista prędkość jazdy będzie w danym miejscu wielkością stałą (z uwzględnieniem niewielkich odchyleń) – niezależną od kursującego taboru.

Warto więc rozważyć następującą zmianę zasad projektowania przechylek:

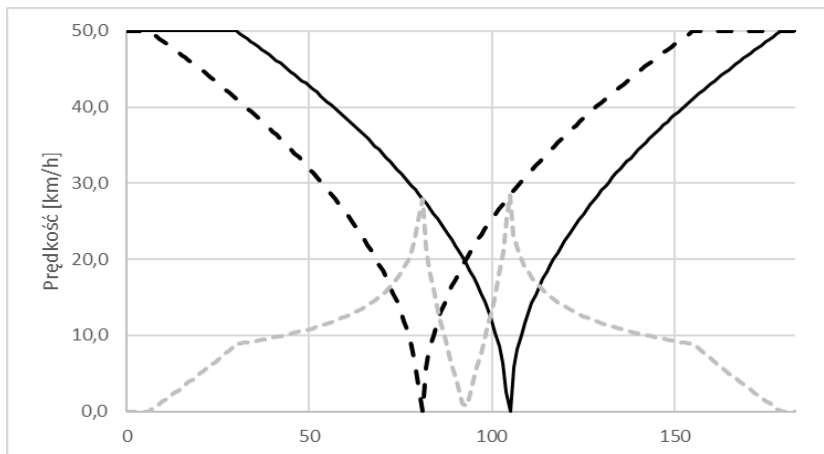
- Wykorzystanie do projektowania wzoru 1 zamiast wzoru 2, z zaleceniem aby przy prędkości projektowej wypadkowe przyspieszenie boczne  $a$  było równe 0 ( $a = 0$ ). W ten sposób uzyska się zarówno komfort pasażerów, jak i równomierne obciążenie obu toków szynowych, przedłużające żywotność toru.
- Określenie prędkości projektowej jako oczekiwanej średniej prędkości tramwajów w ruchu liniowym, z uwzględnieniem hamowania i rozpędu tych tramwajów wynikającego z innych przyczyn niż ograniczenia infrastruktury torowej – w rejonie przystanków i skrzyżowań.
- Uwzględnienie przy wyznaczaniu prędkości projektowej odcinków o nietypowej strukturze ruchu, np. prowadzących przejazdy techniczne o dużej intensywności ruchu między zajezdniami czy wykorzystywanych przez tramwaj towarowy.



- Dostosowanie wartości dopuszczalnych przechyłki do analiz zachowania nowoczesnego taboru niskopodłogowego (czyli mającego środek ciężkości wyżej niż wysokopodłogowe tramwaje – ze względu na umieszczenie części urządzeń na dachu tramwaju) w łuku.
- Zalecenie aby w razie niemożności zastosowania zalecanych wartości przechyłki stosować wartości najbliższe zalecanym, z możliwością ustalenia skoku dyskretnej wartości przechyłki.

Wykorzystana wyżej zasada stałej prędkości tramwajów jest naruszana w miejscu hamowania i rozpędu tramwajów, a więc w miejscach zmiany dopuszczalnej prędkości, przy skrzyżowaniach i przejściach dla pieszych (za wyjątkiem miejsc z pełnym priorytetem tramwajowym) oraz w rejonie peronów przystankowych. W tych miejscach prędkość przejazdu przez dany punkt trasy przodu i tyłu tramwaju hamującego lub przyspieszającego mogą się istotnie różnić, co pokazuje rysunek 4. Różnice prędkości zależą od długości tramwaju i wartości przyspieszenia, co pokazuje tabela 2. W odniesieniu do przystanków warto zauważyć, że największa różnica prędkości występuje w miejscach gdzie przód lub tył tramwaju zatrzymuje się, czyli przy peronach. Tory obok peronów powinny być proste, więc przy przystankach problem różnicy prędkości na łukach jest mniejszy.

W opisanej powyżej sytuacji należałoby dążyć do przyjmowania przechyłki średniej wobec obu prędkości.



Rys. 4. Wykres prędkości przedniego (linia ciągła) i tylnego (linia przerywana) wózka tramwaju podczas dojazdu do miejsca zatrzymania i ruszania z niego. Szarą przerywaną linią zaznaczono różnicę prędkości przejazdu obu wózków przez dany punkt. Wykres sporządzono dla tramwaju długości 30 m i przyspieszenia  $1,3 \text{ m/s}^2$

Tab. 2. Różnica prędkości [km/h] przedniego i tylnego wózka 30-metrowego tramwaju podczas hamowania i rozpędu w zależności od wartości przyspieszenia

Przyspieszenie	1,0 m/s <sup>2</sup>	1,1 m/s <sup>2</sup>	1,2 m/s <sup>2</sup>	1,3 m/s <sup>2</sup>	1,4 m/s <sup>2</sup>
Na całej długości	24,9	26,0	27,0	28,4	29,4
Poza obszarem 30-metrowego peronu	15,7	16,4	17,3	18,1	18,3

Pewnym brakiem w wytycznych tramwajowych jest brak określenia maksymalnego zalecanego promienia łuku poziomego. Łuki o bardzo dużych promieniach można stosować na trasach wymagających zwrotu o kilka stopni – przy tak małym kącie zwrotu trasy występuje duża swoboda wyboru promienia. Łuk poziomy jest zawsze trudniejszy w wykonaniu od prostej, a przy odpowiednio dużej wartości promienia zużycie nawierzchni i kół jest porównywalne do jazdy po odcinku prostym [1]. Warto więc oznaczyć minimalną wartość promienia łuku poziomego eksploatacyjnie odpowiadającą jeździe po torze prostym.

### 3.2. Krzywe przejściowe, krzywe koszarowe i rampy przechyłkowe

Przejście z prostej w łuk poziomy wiąże się zazwyczaj z pojawieniem się przyspieszenia bocznego, a jeżeli na łuku jest stosowana przechyłka – również z podniesieniem koła. Wartość przyspieszenia bocznego  $\psi$  powinna się zmieniać stopniowo na długości krzywej przejściowej zgodnie ze wzorem [23]:

$$\psi = \frac{V_{max}^3}{R \cdot L} < \psi_{max} \quad (3)$$

gdzie  $V_{max}$  to maksymalna prędkość tramwaju,  $R$  – promień łuku poziomego a  $L$  – długość krzywej przejściowej. W torach tramwajowych krzywe przejściowe w postaci klotoidy (tylko w wytycznych dla tramwaju szybkiego [39]), paraboli trzeciego stopnia, bądź z wykorzystaniem krzywych koszarowych wymaga się jedynie przy promieniach łuku  $R < 100$  m (z wyjątkiem linii szybkiego tramwaju TS-2,90) [38,39]. Przy braku krzywej przejściowej wzór 3 przyjmuje postać:

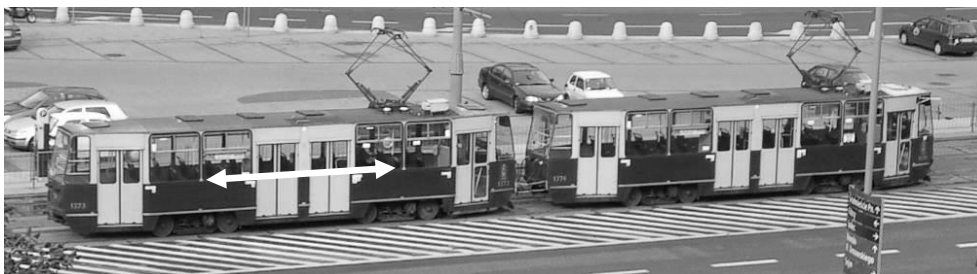
$$\psi = \frac{V_{max}^3}{R \cdot b} < \psi_{max} \quad (4)$$

gdzie  $b$  – długość bazowa wagonu [23]. Wartości długości bazowej dla tramwajów zestawiono w tabeli 1. Ze względu na brak danych o dopuszczalnej szybkości zmiany przyspieszenia w ruchu tramwajowych do analiz przyjęto wartość  $0,5 \text{ m/s}^3$ , zapisaną w przepisach kolejowych [23]. Wartość ta w ruchu tramwajowym mogłaby być nieco większa, gdyż pasażerowie są zobowiązani do trzymania się poręczy.

Ograniczeniem dla szybkości zmiany przyspieszenia jest komfort pasażerów, stąd wartość długości bazowej wagonu liczy się dla nadwozia tramwaju (tab. 3, rys. 5 i 6). Dla promienia  $R = 100$  m, czyli najmniejszego dla którego nie wymaga się stosowania krzywej przejściowej, przy braku przechyłki maksymalna prędkość na

takim łuku w warunkach normalnych wynosi 15 km/h, a w warunkach dopuszczalnych – 25 km/h. Dla tych danych:

- niezrównoważone przyspieszenie boczne wynosi odpowiednio 0,17 i 0,48  $m/s^2$ ;
- prędkość zmiany przyspieszenia  $\psi$  dla tramwajów o długości bazowej  $b = 1,9$  m wynosi odpowiednio 0,38  $m/s^3$  i 1,76  $m/s^3$  (w wytycznych [34,35] używane jest słowo „szybkość”);
- prędkość zmiany przyspieszenia  $\psi$  dla tramwajów o długości bazowej  $b = 6,0$  m wynosi odpowiednio 0,12  $m/s^3$  i 0,56  $m/s^3$ ;
- prędkość zmiany przyspieszenia  $\psi$  dla tramwajów o długości bazowej  $b = 9,5$  m wynosi odpowiednio 0,08  $m/s^3$  i 0,35  $m/s^3$ .



Rys. 5. Długość bazowa wagonu 105N (podobnie dla tramwaju Moderus Beta)



Rys. 6. Długości bazowe dla członu wózkowego (krótszy) i członu wiszącego (dłuższy) tramwaju Solaris Tramino (podobnie dla większości tramwajów Pesa czy dla tramwaju Moderus Gamma)

Dla tramwajów typu N, ale również dla nowoczesnych tramwajów w ich wózkowych członach, wartość  $\psi$  w warunkach normalnych jest właściwa, ale w warunkach dopuszczalnych wyraźnie przekracza przyjętą wartość graniczną. Dla tramwajów typu 102N (nie licząc krótkiego członu środkowego), 105N czy Moderus Beta wartość  $\psi$  można uznać za właściwą w obu warunkach. Jeszcze lepsze parametry uzyskać można w członach krańcowych tramwaju Tatra RT6N1 i w członach wiszących tramwajów Pesa, Siemens czy Solaris.

Wytyczne [38,39] były pisane w okresie, w którym tramwaje typu N, mając swój znaczący udział w taborze, były przewidziane do stopniowej eliminacji. Podobny los miał czekać tramwaje typu 102N, tyle że później. Można więc założyć, że przepisy były pisane pod tramwaje typu 105N, dla których wartości szybkości zmiany przyspieszenia są w sensownych granicach. Nowoczesne tramwaje mają jednak człony posiadające wózki sztywne, nieobrotowe, zachowujące się w łukach podobnie jak tramwaje typu N – przy czym te ostatnie miały oczywiście dużą większą bazę wózka, a więc gorsze wpisywanie się w łuki o bardzo małych promieniach. Wskazane byłoby więc zmodyfikowanie przepisów, aby uwzględnić inne parametry nowoczesnego taboru. Potrzeba też ustalenia wartości granicznej szybkości zmiany przyspieszenia i zastosowania wzorów stosowanych w kolejnictwie [21,23].

Na przejściu z prostej w łuk kołowy o małym promieniu można zastosować krzywą przejściową w postaci paraboli trzeciego stopnia, opisaną wzorem:

$$y = \frac{x^3}{6 \cdot C} \quad (5)$$

gdzie C przyjmuje się w zakresie 250–1000. Stosowanie większych wartości parametru C pozwala uzyskać korzystne wartości szybkości zmiany przyspieszenia  $\psi$ , ale dla  $C = 250$  wartość  $\psi$  może osiągnąć nawet  $1,34 \text{ m/s}^3$ . Przydałoby się więc sprecyzować sposób przyjmowania wartości parametru C, inny niż dopasowanie do długości rampy przechyłkowej.

Istotnym elementem w konstrukcji nowoczesnych tramwajów niskopodłogowych jest ich coraz większa masa (tab. 1). Wynika ona przede wszystkim z panującego jeszcze do niedawna trendu zamawiania tramwajów pięciocłonowych na trzech wózkach (stąd dopuszczalne naciski na oś dochodzące do 100 kN). Obecnie trend ten ulega odwróceniu, przedsiębiorstwa zauważają gwałtowną degradację torowisk i zaczynają zamawiać pojazdy na czterech wózkach, często obrotowych. Liczba wózków nie jest jednak jedyną przyczyną zwiększającej się masy pojazdu. Wynika ona również z innych zapisów specyfikacji technicznej w przetargach, takich jak zwiększone wymagania wytrzymałościowe, wymagania komfortu jazdy (klimatyzacja w przestrzeni pasażerskiej) czy też systemy rekuperacji energii. Nowoczesne tramwaje są zatem znacznie cięższe od tramwajów 102N i 105N (których nacisk maksymalny na oś wynosił ok. 70 kN), co przekłada się na szybsze zużywanie torowisk. Szczególnie niekorzystne są szybkie zmiany wartości przyspieszenia, ale tym razem w miejscu kontaktu koła z szyną. Może się więc zdarzyć że z punktu widzenia pasażera szybkość zmiany przyspieszenia jest właściwa, ale z punktu widzenia zużycia nawierzchni jest ona niekorzystna. Jest to argument za usunięciem z wytycznych krzywych kosztowych (ewentualnie zostawienie ich jako niezalecane dopuszczalne), których stosowanie powoduje nagłą zmianę przyspieszenia na kontakcie koła z szyną.

#### 4. TRASA TRAMWAJOWA W PROFILU

Według Rozporządzenia [24] maksymalne pochylenie podłużne torów tramwajowych wynosi:

- 5% na szlaku, o ile kursujące tramwaje mają odpowiednie własności trakcyjne;
- 3% na dojazdach do wiaduktu lub estakady;
- 2,5% przy peronach tramwajowych i na rozjazdach.

Podobne ograniczenia stawiały Wytyczne [38,39], ograniczając dodatkowo pochylenie na szlaku do:

- 4% dla składów dwuwagonowych (domyślnie – z jednym pojazdem silnikowymi i jednym doczeptym);
- 2% dla składów trójwagonowych (domyślnie – z jednym pojazdem silnikowym i dwoma wagonami doczeptymi).

Starsze przepisy dopuszczały większe pochylenia [25,34]:

- 8% dla składów jednowagonowych;
- 6% dla składów dwuwagonowych;
- 4% dla składów trójwagonowych.

Na świecie pochylenia tras tramwajowych dochodzą do 13%, np. w pokazanej na rysunku 7 Lizbonie. W Sheffield uruchamiany w 1994 r. od podstaw tramwaj miał za zadanie pokonywać pochylenia do 10 % [25,35]. Siemens w specyfikacji swojego tramwaju dla Hagi wskazuje maksymalne pochylenie trasy tramwajowej 8% [32]. W Poznaniu od roku 1911 tramwaje jeżdżą po ulicy Podgórznej (rys. 8) mającej pochylenie 6% (z ograniczeniem prędkości dla tramwajów jadących w dół) – w przetargach taborowych warunek możliwości jazdy po takim pochyleniu jest spełniany przez wszystkich oferentów. Z drugiej strony brak piasecznic wyeliminował tramwaje typu 105N z gdańskiej linii na Chełm o pochyleniu dochodzącym do 5%.

Zasadne wydaje się więc pytanie jakie pochylenie jest rzeczywiście bezpieczne dla nowoczesnych tramwajów, albo przynajmniej niektórych z nich. Firmy dostosowują się do warunków przetargowych, dlatego oferowane w Polsce tramwaje mogą jeździć po pochyleniu 6%, ale nikt nie starał się o homologację na większe pochylenie. Pokonywanie większych pochyłeń jest technicznie możliwe, o ile napęd byłby przenoszony na wszystkie osie (np. Tatra RT6N1 napędne ma tylko skrajne wózki kołowe) i zapewnione byłyby odpowiednie parametry rozruchu i hamowania (również przy nagłym wyłączeniu sieci elektrycznej). Wskazane byłoby więc zadanie pytań o:

- maksymalne pochylenie w normalnych warunkach na prostej,
- maksymalne pochylenie w normalnych warunkach na łuku,
- maksymalne pochylenie dopuszczalne dla konkretnych tramwajów na prostej i na łuku,
- maksymalne dopuszczalne pochylenie pod warunkiem spełnienia dodatkowych wymagań, np. ograniczenia prędkości bądź wpuszczania na dany odcinek tylko jednego pojazdu.



Rys. 7. Tramwaj w Lizbonie na pochyleniu ok. 13%



Rys. 8. Na ulicy Podgórznej w Poznaniu tramwaje jeżdżą po pochyleniu 6%

Dopuszczenie większych pochyłości rozwiązałyby dużo problemów z budową nowych tras tramwajowych, w tym w terenie pagórkowatym (warto w tym kontekście wymienić takie „nizinne” miasta jak Bydgoszcz czy Poznań) oraz dla przekraczania linii kolejowych. Warto nadmienić, że w Poznaniu 6 na 15 pętli (40%) zlokalizowanych jest przy liniach kolejowych – przekroczenie tych linii okazywało się zbyt trudne lub kosztowne.

Osobnym problemem jest ruch tramwajów na krzywoliniowych odcinkach trasy w planie zlokalizowanych na pochyleniach większych od 1%. Wytyczne [38,39] wymagają:

- dla pochylenia 1–2% łuków poziomych o promieniu minimum 200 m,
- dla pochylenia 2–3% łuków poziomych o promieniu minimum 300 m,
- dla pochylenia 3–4% łuków poziomych o promieniu minimum 400 m,
- dla pochylenia 4–5% łuków poziomych o promieniu minimum 500 m,
- w miejscu łuku pionowego łuków poziomych o promieniu minimum 200 m.

Wymagania te okazały się niemożliwe do spełnienia na ul. 28 Czerwca 1956 r. w Poznaniu (rys. 9), co jednak nie powoduje usunięcia tramwaju z tej ulicy, a jedynie ograniczenia jego prędkości [36]. Warto więc rozdzielić wymogi wytycznych na wartości zalecane (dla nowych osiedli i tras bez znaczących ograniczeń terenowych) oraz na wartości dopuszczalne w gęstej historycznej zabudowie. Jednocześnie można rozważyć, czy wszystkie tramwaje powinny korzystać z takiej substardardowej infrastruktury, czy też należy tam eksploatować tylko tabor lepiej wpisujący się w trudny teren. Przykładowo analizy prowadzone w Poznaniu zalecają aby [28,36]:

- tramwaje typu Solaris Tramino obsługiwały trasy o dużej wymianie pasażerów i dużych promieniach łuków (np. trasę Poznańskiego Szybkiego Tramwaju),
- tramwaje typu Siemens Combino czy Moderus Beta obsługiwały trasy o mniejszej liczbie pasażerów, z możliwością wjeżdżania na odcinki substardardowe (np. na ul. 28 Czerwca 1956 r.).



Rys. 9. Na ulicy 28 Czerwca 1956 r. nie można spełnić wymagań łącznie opisujących minimalne promienie łuków poziomych i pochylenie podłużne trasy [36]

Miasta posiadające tramwaje posiadają też tabor niedostosowany do większych pochyłeń, ewentualnie niehomologowany na większe pochylenia. Budowa trasy na którą mogą wjeżdżać tylko nowe pojazdy stanowiłaby w tych miastach pewne ogra-

niczenie. Przykład Olsztyna pokazuje jednak, że mogą pojawić się zupełnie nowe sieci tramwajowe dla wyłącznie nowego taboru – jest to kolejny argument za rozważeniem dopuszczenia większych pochyleń.

## 5. PRĘDKOŚĆ

Nowoczesny tabor może osiągać prędkość w ruchu liniowym do 70 – 80 km/h (według deklaracji producentów). Wytyczne w zakresie kształtowania układu geometrycznego toru zostały do tego zagadnienia dostosowane, wymagając jednocześnie wydzielenia trasy takiego tramwaju. W obecnych warunkach potrzebne jest zapewnienie tramwajom jak największej prędkości przy zachowaniu bezpieczeństwa ruchu. W związku z tym należy odpowiedzieć na pytania o [29]:

- zasady kształtowania otoczenia trasy tramwajowej, a także przejść dla pieszych i przejazdów tramwajowo-samochodowych przy prędkości tramwajów większej od 50 km/h;
- zasady kształtowania przekroju tras tramwajowych na ulicach pozbawionych ruchu samochodowego (poza lokalnym), ale z dopuszczoną penetracją pieszych, w tym wymogi dla prędkości 50 i 30 km/h [3,27];
- zasady kształtowania tras tramwajowych na deptakach, włącznie z określeniem dopuszczalnej prędkości tramwajów [16,31];
- zasady zabezpieczenia ruchu tramwajów w tunelach.

Ważną kwestią jest też potrzeba dostosowania przepisów związanych z projektowaniem sygnalizacji świetlnej [35] do potrzeb ruchu tramwajowego, w szczególności do jego prędkości w różnych warunkach, co opisano we wstępie artykułu.

## 6. PRZYSTANKI TRAMWAJOWE

Nowoczesne tramwaje są przynajmniej w części niskopodłogowe, co umożliwia bądź ułatwia dostęp osobom z niepełnosprawnością ruchową, w tym dzieciom w wózkach dziecięcych. Brak stopni wpływa też na czas wymiany pasażerów [28], a czasami również na wybór drzwi wejścia do wagonu. Szybsza wymiana pasażerów oraz pojawienie się na peronach wózków wymagają ponownego przejrzania zasad kształtowania przestrzeni peronów, w szczególności ich szerokości i ochrony tej szerokości przed dodatkową infrastrukturą (słupy, kosze na śmieci) [15,26].

Problem konieczności dostosowania krawędzi peronów do nowoczesnego niskopodłogowego taboru, zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa przed otarciem drzwi tramwaju o peron, jak również dla wykorzystania zalet niskiej podłogi, opisano w [14,26]. Przestrzeń między podłogą pojazdu i peronem powinna być jak najmniejsza, ale z drugiej strony uwzględniać możliwą zmianę położenia tramwaju przy peronie wskutek zużycia koła i szyny, a także obciążenia pasażerami. Zbliżenie tramwaju do krawędzi peronu wymaga lokalizacji peronu na odcinku prostym:



wzdłuż peronu wydłużonego o 6 m z każdej strony nie powinno się przewidywać rozjazdów lub łuków. Takich zapisów w Wytycznych [38,39] brak, co może skutkować otarciem burty tramwaju. Z drugiej strony dostosowanie oryginalnego tramwaju Solaris Tramino do kształtu skrajni taboru tramwajowego skutkowało odsunięciem podłogi od peronu, zaś modyfikacja kształtu zrealizowana dla Poznania (proste burty pojazdu w dolnej części członów) poprawiła jakość wsiadania, szczególnie niepełnosprawnym pasażerom (rys. 10). Kilkuletnie obserwacje zmodyfikowanego kształtu nie wykazują problemów związanych z przekroczeniem obowiązującej skrajni.



Rys. 10. Oryginalny (po lewej) i zmodyfikowany (po prawej) kształt nadwozia tramwaju Solaris Tramino. Modyfikacja kształtu pozwoliła zbliżyć podłogę pojazdu do peronu

Obecnie każde miasto wypracowało swoje standardy dotyczące wysokości wyspek przystankowych oraz ich odległości od osi toru [14]. Pojawia się więc pytanie o konieczność normalizacji tych wymiarów. Tramwaj z założenia nie podlega przepisom interoperacyjności i porusza się tylko w obrębie jednej infrastruktury torowej (choć wypożyczenia tramwajów nie są też rzadkością). Zapisy normatywne powinny więc podawać zależności dotyczące wpisywania się pojazdu w łuk oraz w obszar przystanku w funkcji konstrukcji pojazdu, jego wymiarów geometrycznych i prędkości jazdy, tak aby każdy producent mógł z łatwością obliczyć zapotrzebowanie skrajni dla nowego pojazdu i konkretnej infrastruktury torowej.

Koszt nowoczesnych tramwajów skłania do dbałości o ich jak najlepszą konkurencyjność. Jednym z elementów powinno być ułatwienie dojścia na perony przystanków tramwajowych – dojścia te powinny być lokalizowane z obu końców i z obu stron peronu [18,26]. Projektowanie takich dojść wymaga to jednak zmian w zapisach Rozporządzenia [24] (a tymczasowo – wnioski o odstępstwa).

## 7. WNIOSKI

Obecnie obowiązujące wytyczne projektowania tras tramwajowych są stare i wymagają dostosowania do nowoczesnego taboru. Zmiany powinny mieć na względzie poprawę konkurencyjności tramwaju i umożliwienie kształtowania tras tramwajowych w trudnych warunkach przy zachowaniu bezpieczeństwa ruchu. Wskazane jest zapisanie dla poszczególnych parametrów tras tramwajowych wartości zalecanych, wartości dopuszczalnych oraz wartości dopuszczalnych warunkowo.

Nowoczesny tabor pod pewnymi względami (np. możliwości trakcyjne) jest lepszy od taboru eksploatowanego w 1983 r., ale niektóre parametry może mieć gorsze (np. długość bazowa, ciężar). Twierdzenie że nowoczesny tabor zawsze ułatwi projektowanie tras tramwajowych jest więc nieuzasadnione.

W rozporządzeniach ministerialnych infrastruktura tramwajowa bywa traktowana nazbyt lekko. Wskazane są modyfikacje przepisów [24,35] uwzględniające w większym stopniu potrzeby i specyfikę ruchu tramwajowego.

Potrzeba nowych przepisów regulujących kształtowanie tras tramwajowych w przestrzeni ulicy. Brakuje też zasad prowadzenia ruchu tramwajowego z prędkościami większymi niż 50 km/h i w tunelach.

## LITERATURA

- [1] Bałuch H., Bałuch M., Układy geometryczne toru i ich deformacje, WKiŁ, Warszawa 2010.
- [2] Baumgart Ł., Ocena czasu przejazdu tramwajów przez węzły tramwajowe, praca inżynierska, Politechnika Poznańska, Poznań 2013.
- [3] Beim M., Trzy szkoły planowania tramwajów, <http://www.transport-publiczny.pl>.
- [4] Czyczuła W., Warunki techniczne jakim powinna odpowiadać infrastruktura ze względu na ruch pojazdów dwusystemowych, Technika Transportu Szynowego 2000, 1-2, s. 47-50.
- [5] Dutkiewicz P., Tramwaje w Poznaniu, Kolpress, Poznań 2005.
- [6] Gisterek I., Popiołek A., Propozycja nowelizacji tramwajowych przepisów budowlanych, Przegląd Komunikacyjny 2015, 8, s. 115-125.
- [7] Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Historia i perspektywy rozwoju systemu tramwaju towarowego, Logistyka nauka 2014, 3, s. 3276-3289.
- [8] Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Transport dwusystemowy – moda, czy trend rozwojowy aglomeracyjnego transportu szynowego, Logistyka nauka 2015, 4, s. 4247-4254.
- [9] Kruszyna M., Rychlewski J., Możliwości zastosowania tramwaju dwukierunkowego w Polskich miastach, Materiały V Konferencji Naukowo - Technicznej "Transport a rozwój zrównoważony", Poznań 2005, s. 141-150.
- [10] Krych A., Rychlewski J., Rozwiązania tramperowe w aglomeracji poznańskiej – idea, studia i problemy aplikacji, Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej "Zintegrowany system miejskiego transportu szynowego", Wrocław 2003, s. 67-76.
- [11] Krzysztofek B. S., Analiza zachowania pojazdu tramwajowego w łuku w aspekcie dopuszczalnych prędkości przejazdu, praca inżynierska, Politechnika Poznańska, Poznań 2013.
- [12] Kupś R., Majchrzycki A., Rychlewski J., Wpływ rozjazdów na jakość ruchu tramwajowego, Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej 2007, 3, s. 277-284.

- [13] Makuch J., Problemy utrzymania torów tramwajowych w warunkach sukcesywnego wprowadzania nowoczesnego taboru niskopodłogowego, Materiały II Konferencji Naukowo-Technicznej Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym Infraszyn 2009, Zakopane 2009, s. 241-256.
- [14] Makuch J., Udostępnianie komunikacji tramwajowej osobom niepełnosprawnym, Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Nowoczesne rozwiązania techniczne w komunikacji tramwajowej”, Wrocław 2000, s. 159-168.
- [15] Makuch J., Korycki T., Przystanki tramwajowe z wąskimi peronami, Przegląd Komunikacyjny 2015, 10, s. 29-32.
- [16] Molecki A., Trasy tramwajowe wbudowane w deptaki atrakcyjną formą urbanistyczną, Transport Miejski i Regionalny 2006, 6.
- [17] Molecki B., Bezpieczeństwo i wygoda pieszych w drodze na przystanki komunikacji zbiorowej, Transport miejski 2000, 11, s. 9-14.
- [18] Molecki B., Czas dostępu jako miara efektywności przebudowy węzłów komunikacji miejskiej – na przykładzie Placu Grunwaldzkiego we Wrocławiu, w: Woch J., Janecki R., Sierpiński G., Współczesne systemy transportowe – wybrane problemy teorii i praktyki, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
- [19] Oleksiewicz W., Nowoczesne konstrukcje torowisk tramwajowych – kierunki rozwoju, Materiały konferencji naukowo-technicznej „Miejski transport szynowy – stan obecny i perspektywy dla komunikacji tramwajowej”, Warszawa 2006.
- [20] Oleksiewicz W., Warunki techniczne projektowania i budowy wydzielonych torowisk tramwajowych przystosowanych do wspólnej eksploatacji z autobusami, Transpcomp na zlecenie MPK Poznań, Warszawa 1996.
- [21] Oleksiewicz W., Kraśkiewicz C., Rozwój konstrukcji i układu geometrycznego torowisk tramwajowych, jako istotny element postępu w miejskim transporcie szynowym, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, 2013, 3 (102), s. 307-324.
- [22] Podoski J., Transport w miastach, WKiŁ, Warszawa 1985.
- [23] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie, Dz.U. 151 poz. 987, z uwzględnieniem nowelizacji z dnia 5 czerwca 2014.
- [24] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, 1999, Dz.U. 43 poz. 430.
- [25] Russell J. H., Horton J., Planning of the South Yorkshire Supertram, Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport 1995, 2.
- [26] Rychlewski J., Accessibility of Public Transport Stops on the Example of the City of Poznań, w: „The Development of Transportation Systems” pod red. R. Janecki, G. Sierpiński, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010, s. 341-350.
- [27] Rychlewski J., Planowanie tras tramwajowych w miejskiej sieci ulic, Przegląd Komunikacyjny 2015, 8, s. 63-67.
- [28] Rychlewski J., Przepustowość sieci tramwajowej na przykładzie EURO2012. W: Kaczmarek M., Krych A., Skuteczne zmniejszanie zatłoczenia miast, SITK, Poznań 2009, s. 322-335.
- [29] Rychlewski J., Street network design for a sustainable mobility system, Transport Research Procedia 2016, 14, s. 528-537.

- [30] Rychlewski J., Kosicki D., Sterowanie ruchem na węzłach tramwajowych, Krych A., „Polskie inwestycje transportowe – doświadczenia, badania i przyszłość”, *Annały inżynierii ruchu i planowania transportu* 2017, tom 1, SITK, Poznań 2017, s.405-418.
- [31] Schmidt M., *Straßenbahnen in Fußgängerzonen*, Imove, TU Kaiserslautern, 2008.
- [32] <https://www.siemens.com/global/en/home/products/mobility/rail-solutions/rolling-stock/trams-and-light-rail.html>
- [33] Sobolewski E., Nowiński J., Sikorski A., *Miejska komunikacja szynowa*, WKiŁ 1971.
- [34] *South Yorkshire Supertram Information*, South Yorkshire Passenger Transport Authority, Sheffield 1995.
- [35] Szczegółowe warunki techniczne dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunki ich umieszczania. Załączniki 1-4 do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 z późniejszymi poprawkami, 2003, Dz.U. 220 poz. 2181.
- [36] Szczukiewicz K., *Analiza możliwości poprawy geometrii trasy tramwajowej na ul. 28 Czerwca 1956 r. w Poznaniu na odcinku między Rynkiem Wildeckim i ul. Hetmańska*, praca inżynierska, Politechnika Poznańska, Poznań 2017.
- [37] Wesołowski J., *Miasto w ruchu*, Instytut Spraw Obywatelskich, Łódź 2008.
- [38] *Wytyczne techniczne projektowania budowy i utrzymania torów tramwajowych*, MAGTiOŚ, Warszawa 1983.
- [39] *Tymczasowe wytyczne do projektowania szybkiej komunikacji tramwajowej*, MAGTiOŚ, Warszawa 1981.

## TRAM TRACKS DESIGN CODES AND CONTEMPORARY TRAMS

### Summary

Design of tram tracks in Polish cities is based on old regulations, with some new codes failing to include a specific character of tram traffic. New regulations are necessary, because from the time the old regulations were written, the rolling stock has changed significantly. Social, urban and environmental requirements have also changed, and the tram is now required to be competitive to car traffic. Using old codes in this new situation results at best in choosing non-optimal solutions, at worst causing tram crashes. There is therefore a need for writing new detailed rules for designing tram tracks and for a verification of the legal system how it includes the specific character of tram traffic.

Keywords: tram lines, design codes, tram track in horizontal and vertical plane, tram traffic control.

Dane autorów:

Dr inż. Jeremi Rychlewski

Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych

e-mail: jeremi.rychlewski@put.poznan.pl

telefon: +48 61 647 5816

Dr inż. Bartosz Firlik  
Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu  
Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Zakład Pojazdów Szynowych  
e-mail: bartosz.firlik@put.poznan.pl  
telefon: +48 61 665 2012

Mgr inż. Wojciech Straszewski  
Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych  
e-mail: wojciech.straszewski@put.poznan.pl  
telefon: +48 61 665 2485