

JAKA JEST BEZPIECZNA PRĘDKOŚĆ TRAMWAJU?

dr inż. Jeremi Rychlewski
Politechnika Poznańska
Centrum Analiz Klubu Jagiellońskiego
Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP
Polski Klub Ekologiczny

KONGRES MOBILNOŚCI 2023

Kraków, 4-6 października

VIII SYGNALIZACJA ŚWIETLNA 2023

V INNOWACYJNY TRAMWAJ 2023

IV BUSPASY 2023

PARKOWANIE 2023

www.konferencjespecjalistyczne.pl

BEZPIECZEŃSTWO I KOMFORT

- Bezpieczeństwo:
 - Utrzymanie toru jazdy – łuki, rozjazdy, stan toru itp.;
 - Hamowanie przed stałą przeszkodą;
 - Hamowanie przed pojawiającą się przeszkodą; 
 - Zauważenie przez innych uczestników. 
- Komfort jazdy – dla dwóch pierwszych warunków bezpieczeństwa ostrzejszy wymóg:
 - Boczne przyspieszenie 0,3-0,8 m/s², dopuszcz. 1,0 m/s²;
 - Szybkość zmiany boczego przyspieszenia
0,5 m/s², dopuszczalne 1,0 m/s²;
 - Opóźnienie hamowania 1,0-1,4 m/s², awaryjne 2,5 m/s².
- **Kto odpowiada za bezpieczeństwo ruchu tramwaju?**

ANALOGIA 1

- Motorniczy ma być w stanie zareagować na wejście pieszego tak jak kierowca, pomimo czasu reakcji:
 - Samochód $3,5 \text{ m/s}^2$;
 - Tramwaj awaryjnie $2,5 \text{ m/s}^2$;
 - Tramwaj normalnie $1,3 \text{ m/s}^2$;
 - Tramwaj bezpiecznie $1,0 \text{ m/s}^2$.

Bezpieczna prędkość tramwaju [km/h]						
Samochód $3,5 \text{ m/s}^2$	20	30	40	50	60	70
Tramwaj $2,5 \text{ m/s}^2$	17	25	34	42	51	59
Tramwaj $1,3 \text{ m/s}^2$	12	18	24	30	37	43
Tramwaj $1,0 \text{ m/s}^2$	11	16	21	27	32	37

ANALOGIA 1 – przejście dla pieszych

- Jaka prędkość w zależności od odległości chodnika?
 - 1 m – droga piesza przy jezdni;
 - 2 m – dawny wymóg dla ulicy G;
 - 4 m – tor tram. oddzielony od krawężnika pasem ruchu;
 - 5 m – dawny wymóg dla ulicy GP;
 - + widoczność z odległości 10 m.

Odległość	1	2	4	5	1+	2+	4+	5+
Samochód 3,5 m/s ²	9	18	36	45	31	35	47	54
Tramwaj 2,5 m/s ²	6	13	26	32	26	29	36	41
Tramwaj 1,3 m/s ²	3	7	13	17	19	20	23	25
Tramwaj 1,0 m/s ²	3	5	10	13	16	17	19	21

ANALOGIA 1 – PRĘDKOŚĆ

- Tramwaj w strefie zamieszkania:
 - około 20 km/h;
 - zgodnie z badaniami z Niemczech;
 - warunek dobrej widoczności (przewidywalności zachowań) pieszego.
- Przejścia dla pieszych przez torowiska:
 - na sygnalizacji;
 - przy rozjazdach (10-15 km/h);
 - przy „ciasnych” łukach;
 - za peronami (w okolicy peronów).
- Poza nimi przejścia sugerowane.

Odległość	1	2	4	5	1+	2+	4+	5+
Samochód 3,5 m/s ²	9	18	36	45	31	35	47	54
Tramwaj 2,5 m/s ²	6	13	26	32	26	29	36	41
Tramwaj 1,3 m/s ²	3	7	13	17	19	20	23	25
Tramwaj 1,0 m/s ²	3	5	10	13	16	17	19	21

ANALOGIA 1 - PRZEJŚCIA

- Tramwaj ruszający z przystanku – pełna możliwość hamowania.
- Tramwaj dojeżdżający na przystanek:
 - peron długości 45m, przejście 4,0m, hamowanie $1,0\text{m/s}^2$,
 - wjeżdża na przejście z prędkością **37 km/h**,
 - jeżeli przez przejście pojedzie 19 km/h straci tylko 4 s.
- Hamowanie ($a = 1 \text{ m/s}^2$) przed przejściem dla pieszych do 20 km/h i potem rozpęd to strata:
 - przy 50 km/h – 14 s,
 - przy 40 km/h – 11 s,
 - Przy 30 km/h – 8 s.

ANALOGIA 1 – WĘZEŁ tramwajowy

- Przebudowa, brak sygnalizacji.
- Bardzo duże natężenia pieszych, duże rowerzystów i tramwajów.
- Przebudowa skrzyżowania – bałagan, dyskomfort.
- Prędkość realna 5-15 km/h.
- **ŻADNEGO
ODNOTOWANEGO
ZDARZENIA**



ANALOGIA 2 – ULICA 50 KM/H

- Czy ulica 50 km/h bez przejść dla pieszych jest bezpieczna?
- Jeżeli tak to tramwaj może jechać 50 km/h bo:
 - co prawda tramwaj wolniej hamuje, ale ...
 - to pieszy musi uważać na tramwaj tak jak na samochód,
 - tramwaj jest większy – łatwiej zauważyć,
 - tramwaj rzadziej jeździ.



ANALOGIA 2 – ULICA 50 KM/H

- **Bezpieczna ulica:**
 - Łańcuchy warto zdjąć,
 - Wysoki krawężnik i słupki warto zachować, aby pieszy wiedział że wchodzi w obszar niebezpieczny.



ANALOGIA 3 - POCIĄGI

- Przejście w poziomie przez tory kolejowe:
 - Niedopuszczalne – $V \geq 200$ km/h;
 - Wymaga aktywnego zabezpieczenia (barierki, sygnalizacja):
 - co najmniej 4 tory,
 - brak widoczności,
 - kiedyś było: $V \geq 140$ km/h,
 - iloczyn ruchu,
 - inne nieistotne dla analogii;
 - Zalecane – przez 1 tor przy $V \leq 80$ km/h,
z zastosowaniem labiryntu;
- Tramwaje jeżdżą po 2 torach, częściej niż pociągi z prędkością do 70 km/h (80 km/h), w razie czego lepiej hamują.

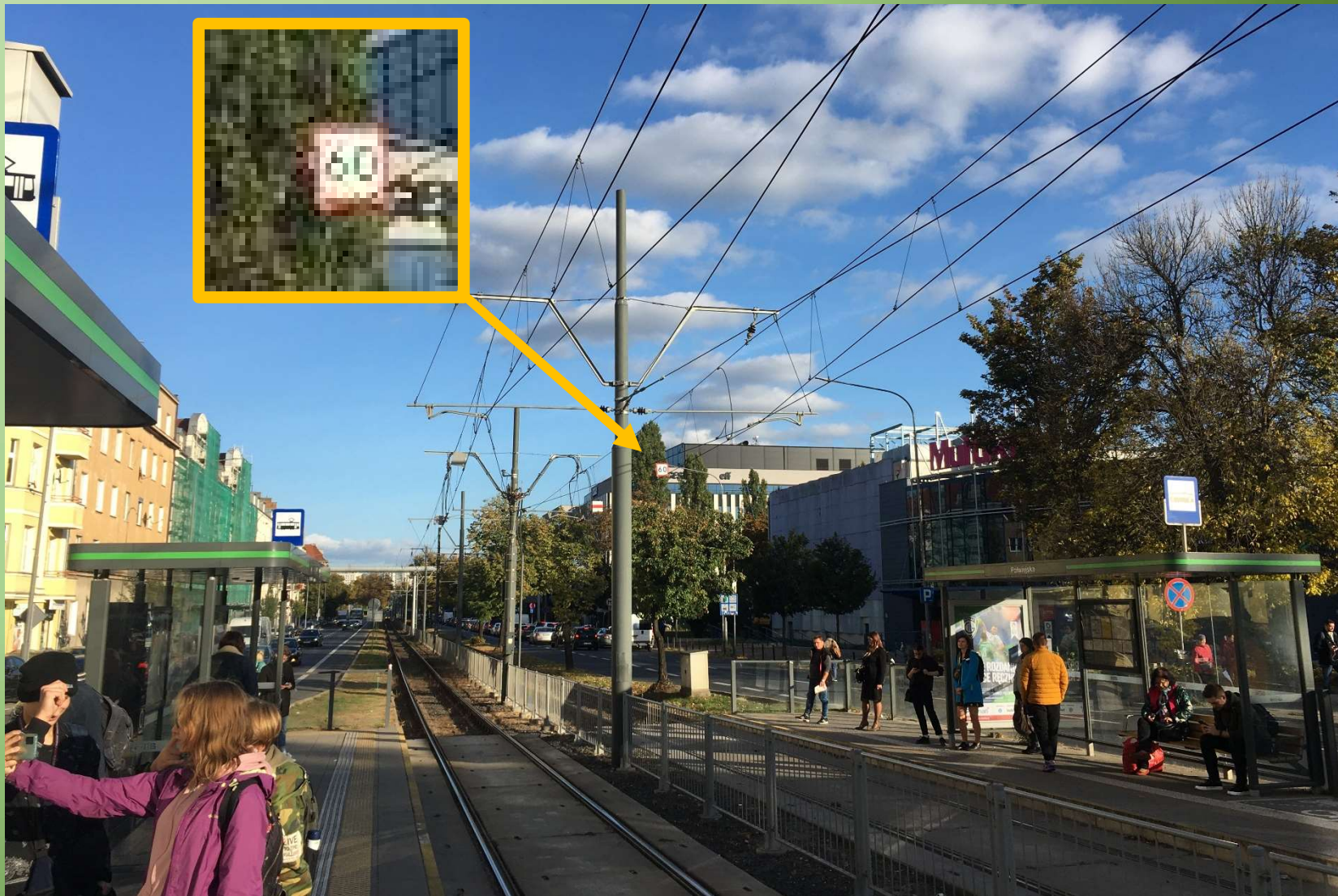


ANALOGIA 3 - SZOSY

- Dopuszczalna prędkość 90 km/h, brak przejść dla pieszych.
- Wymóg – niezbyt duże natężenie ruchu, pieszy ma poczekać aż samochód przejedzie.
- Tramwaje:
 - W analogii 1 prędkości samochodu 90 km/h odpowiada prędkość tramwaju 76 / 55 / 48 km/h;
 - Tramwaje jeżdżą rzadziej niż samochody (przeciętnie) na drogach powiatowych – łatwiej pieszemu poczekać;
 - Tor jazdy tramwaju jest przewidywalny.



Vtramwaj > Vsamochód



TRAMWAJ W TUNELU

Dodatkowe zagrożenia	Metody zapobiegania
Gorsza widoczność (o ile tor nie prowadzi na wprost).	System samoczynnej blokady liniowej – o ile potrzebny.
Możliwość uderzenia w konstrukcję.	Bariery minimalizujące kąt uderzenia, Eliminacja możliwości uderzenia frontalnego.
Łatwość rozprzestrzeniania się pożaru.	Systemy przeciwpożarowe.
Utrudniona akcja ratownicza.	

Dodatkowe bezpieczeństwo	
Brak pieszych.	Tramwaj nie stoczy się z nasypu.
Brak innych pojazdów.	Tramwaj nie spadnie z wiaduktu.

TRAMWAJ W TUNELU

- Tunele tramwajowe powinny być wyposażone w:
 - Systemy przeciwpożarowe uwzględniające szansę zapalenia się tramwaju i zagrożenie pożarem w tunelu;
 - System sterowania regulujący odstęp między tramwajami – chyba że jest dobra widoczność;
 - Konstrukcję ścian lub bariery zapobiegające czołowemu uderzeniu w konstrukcję.
- Przy spełnieniu tych warunków tunel nie powinien być powodem ograniczenia prędkości.
- Dodatkowe rozważania mogą być potrzebne dla rozjazdów w tunelach (np. w Poznaniu), obecne ograniczenia prędkości na rozjazdach eliminują to zagadnienie.

PRĘDKOŚĆ A PRZYSTANKI

Przy małej odległości międzyprzystankowej nie ma potrzeby projektowania trasy dla większych prędkości

Prędkość [km/h]	R + H $a = 1,0 \text{ m/s}^2$	R + H $a = 1,3 \text{ m/s}^2$	R + J + H $a = 1,0 \text{ m/s}^2$	R + J + H $a = 1,3 \text{ m/s}^2$
25			72	56
30	69	53	104	80
35	95	73	142	109
40	123	95	185	143
50	193	148	289	223
60	278	214	417	321
70	378	291	567	436
80	494	380	741	570

WNIOSKI 1/2

- Bezpieczeństwo ruchu tramwajów w kontekście możliwej kolizji z innym nietramwajowym uczestnikiem ruchu dotyczy głównie:
 - widoczności,
 - pieszych.
- Ze względu na pieszych prędkość tramwajów:
 - ≤ 20 km/h jest właściwa dla deptaków, stref zamieszkania, przejść dla pieszych przez torowiska.
 - ≤ 30 km/h umożliwia lokalizację przejść dla pieszych przez jezdnię z torowiskiem wbudowanym w jezdnię.
 - 20 - 50 km/h powinna ograniczać przejścia do sugerowanych bądź na sygnalizacji świetlnej.
 - ≥ 60 km/h powinna skłaniać do rozwiązań kolejowych.

- m

WNIOSKI 2/2

- Przejścia dla pieszych powinno się lokalizować:
 - przy peronach przystanków tramwajowych,
 - przy rozjazdach tramwajowych,
 - przy zastosowaniu sygnalizacji świetlnej,
 - w miejscach łuków o małych promieniach (konkretna wartość zależy od przechyłki) i innych ograniczeniach prędkości do 10-20 km/h.
- Tunel tramwajowy, o ile jest dobrze wyposażony, nie powinien ograniczać prędkości tramwajów.
- W ruchu miejskim tramwaje mogą mieć wyższe ograniczenie prędkości niż samochody.
- Pochylenia $> 5 \%$ mogą ograniczać prędkość tramwajów – wskazane byłyby badania.

Dziękuję za uwagę

dr inż. Jeremi Rychlewski

Politechnika Poznańska

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP

Centrum Analiz Klubu Jagiellońskiego

Polski Klub Ekologiczny

IV KRAKOWSKIE DNI BEZPIECZEŃSTWA W MIASTACH 2022

Kraków, 12-14 października 2022 r.

INNOWACYJNY TRAMWAJ 2022

SYGNALIZACJA ŚWIETLNA 2022

BUSPASY 2022

www.konferencjespecjalistyczne.pl