

SPIS TREŚCI

Spis treści	3
Wstęp	6
1. Zagadnienia bezpieczeństwa, eksploatacji i pomiarów w odniesieniu do lekkich pojazdów szynowych (LRV)	9
1.1. Specyfika konstrukcji lekkich pojazdów szynowych	9
1.1.1. Wstęp	9
1.1.2. Różnice w porównaniu do ciężkich pojazdów szynowych	11
1.2. Normy dotyczące bezpieczeństwa LRV	13
1.3. Specyfika kontaktu koła z szyną w lekkich pojazdach szynowych	15
1.3.1. Wstęp	15
1.3.2. Koła tramwajowe	16
1.3.3. Tory tramwajowe i rodzaje szyn	18
1.3.4. Współpraca koła tramwajowego z szyną rowkową i szyną kolejową	18
1.4. Pomiar profili oraz geometrii koła i szyny	28
1.4.1. Wstęp	28
1.4.2. Parametry geometryczne toru	29
1.4.3. Zasady wykonywania pomiarów	32
1.4.4. Sprzęt pomiarowy	33
1.5. Kryteria oceny stanu utrzymania toru	43
1.5.1. Wstęp	43
1.5.2. Wskaźniki jakości toru	44
1.6. Kryteria oceny bezpieczeństwa i spokojności biegu pojazdów szynowych	47
1.6.1. Wstęp	47
1.6.2. Kryterium bezpieczeństwa przed wykołaceniem	50
1.6.3. Kryterium torowe (Prud'homme'a)	55
1.6.4. Kryterium stateczności	56
1.6.5. Kryterium spokojności biegu	58
1.6.6. Kryterium komfortu jazdy	59
1.7. Przegląd literatury w zakresie planowanych prac	59
2. Cel i teza pracy	62
2.1. Cel pracy	62
2.2. Teza pracy	63
2.3. Uzasadnienie podjęcia tematu	64
3. Ocena istniejącego stanu na przykładzie MPK Poznań	67
3.1. Wstęp	67
3.2. Dopuszczalne zużycie szyn	67
3.3. Dopuszczalne wymiary obręczy kół	68
3.4. Maksymalna prędkość jazdy	70
3.5. Dopuszczalne przyspieszenia podczas jazdy	70
3.6. Stan toru w sieci tramwajowej miasta Poznania	71
3.7. Podsumowanie	74
4. Obiekt badań – tramwaj typu 105N	76
4.1. Charakterystyka ogólna	76
4.2. Pudło tramwaju	77
4.3. Wózek tramwaju	78
4.4. Przeniesienie napędu	79
5. Numeryczny model symulacyjny tramwaju 105N	80
5.1. Model matematyczny pojazdu	80
5.1.1. Podstawy modelowania	80
5.1.2. Założenia modelowe	80
5.1.3. Model fizyczny	81
5.1.4. Walidacja modelu fizycznego	82
5.1.5. Model matematyczny	85

5.2. Model matematyczny i fizyczny toru	89
5.3. Model symulacyjny pojazdu.....	91
5.3.1. Opis środowiska symulacyjnego - program Universal Mechanism	91
5.3.2. Model fizyczny przyjęty w modelu symulacyjnym.....	92
6. Kryteria bezpieczeństwa jazdy lekkiego pojazdu szynowego na torze zużytym	100
6.1. Wstęp.....	100
6.2. Kryterium Nadala (stosunek sił Y/Q) w odniesieniu do lekkich pojazdów szynowych.....	102
6.3. Kryterium niestabilności dla lekkich pojazdów szynowych.....	109
6.3.1. Maksymalne przyspieszenie ramy wózka $y_{\max, \lim}^+$	110
6.3.2. Maksymalne przyspieszenia pudła pojazdu $\ddot{y}_{\max}^+, \ddot{z}_{\max}^+$	112
6.3.3. Maksymalne przyspieszenie zestawu kołowego $\ddot{y}_{\max, \lim}^0$	114
6.4. Wytyczne dotyczące obróbki sygnałów pomiarowych.....	115
6.5. Inne propozycje kryteriów bezpieczeństwa ruchu dla lekkich pojazdów szynowych.....	124
6.5.1. Kryterium stosunku sił łożyskowych	124
6.5.2. Kryterium stosunku przyspieszeń drgań.....	126
6.6. Kryterium jakościowe zużycia toru tramwajowego	126
7. Analiza teoretyczna wpływu geometrii toru na bezpieczeństwo jazdy lekkiego pojazdu szynowego	128
7.1. Wstęp.....	128
7.2. Przechyłka toru.....	128
7.3. Maksymalna prędkość jazdy tramwaju w łuku.....	131
7.3.1. Wstęp i klasyfikacja prędkości	131
7.3.2. Prędkość równowagi poprzecznej	132
7.3.3. Prędkość bezpieczna.....	134
7.3.4. Wartości nierównowagi przechyłki	135
7.4. Zmiana pochylenia szyn	136
7.5. Zmiana szerokości toru.....	137
7.5.1. Wstęp.....	137
7.5.2. Szerokości toru stosowane w eksploatacji lekkich pojazdów szynowych.....	137
7.5.3. Zmiany szerokości toru na etapie jego projektowania i eksploatacji.....	138
7.5.4. Metoda Filkinsa-Whartona wyznaczania szerokości toru	139
8. Program badań symulacyjnych.....	141
8.1. Cel i zakres badań.....	141
8.2. Koncepcja badań	141
8.3. Struktura programu symulacyjnego.....	142
8.4. Program badań symulacyjnych.....	142
9. Analiza wyników badań symulacyjnych.....	145
9.1. Analiza bezpieczeństwa jazdy na torze prostym	145
9.1.1. Tor prosty o niewielkim stopniu zużycia.....	145
9.1.2. Tor prosty o dużym stopniu zużycia.....	153
9.1.3. Wpływ rodzaju szyny na jazdę po torze prostym	162
9.1.4. Wpływ obciążenia pojazdu na wyniki symulacyjne jazdy na torze prostym	164
9.2. Analiza bezpieczeństwa jazdy w łuku i podczas wjazdu w łuk	167
9.2.1. Jazda w łuku o niewielkim stopniu zużycia toru	167
9.2.2. Jazda w łuku o dużym stopniu zużycia toru	174
9.2.3. Wpływ obciążenia pojazdu na wyniki symulacyjne jazdy w łuku	179
9.2.4. Wjazd w łuk o krytycznym (ponadnormatywnym) stopniu zużycia	182
9.2.5. Wpływ współczynnika tarcia na bezpieczeństwo jazdy w łuku	185
10. System pomiarowy do badania właściwości dynamicznych układu wózek-tor	190
10.1. Wstęp.....	190
10.2. Założenia konstrukcyjne przyrządu pomiarowego	190
10.3. Opis konstrukcji przyrządu pomiarowego.....	193
10.3.1. Wybór odpowiedniego wózka jako bazy przyrządu.....	193
10.3.2. Przygotowanie wózka do pomiarów	196
10.3.3. Charakterystyka sprzętu pomiarowego	196
10.3.4. Rozmieszczenie czujników i sprzętu pomiarowego na wózku.....	197
10.3.5. System akwizycji i analizy danych.....	198
10.3.6. Program badań poligonowych.....	198

11. Analiza wyników badań poligonowych.....	201
11.1. Analiza zachowania pojazdu na torze o niewielkim stopniu zużycia	201
11.2. Analiza zachowania pojazdu na torze o średnim stopniu zużycia	206
11.3. Analiza zachowania pojazdu na torze o dużym stopniu zużycia	211
11.4. Analiza zachowania pojazdu podczas przejazdu trasą PST (z dużymi prędkościami jazdy).....	215
12. Porównanie wyników analiz symulacyjnych z badaniami poligonowymi	222
12.1. Wprowadzenie	222
12.2. Jazda po prostym odcinku toru	222
12.3. Jazda w łuku	223
13. Podsumowanie	225
13.1. Uwagi ogólne	225
13.1.1. Bezpieczeństwo tramwaju na torze zużytym.....	225
13.1.2. Zasadność wyboru zaproponowanych kryteriów bezpieczeństwa	229
13.1.3. Zróżnicowanie nierówności toru w sieci tramwajowej miasta Poznania	229
13.1.4. Przydatność sygnału drganiowego do oceny bezpieczeństwa jazdy	231
14. Wnioski	232
Literatura	236