

Propagacja drgań w nawierzchniach torów tramwajowych

Andrzej Piotrowski

W referacie omówiono zagadnienia związane z propagacją drgań w nawierzchni torów tramwajowych. Nawierzchnia drogi szynowej, w tym przypadku nawierzchnia tramwajowa, jako konstrukcja przenosząca naciski z taboru tramwajowego poddawana jest cyklicznym obciążeniom dynamicznym. Ze względu na dynamiczny charakter obciążeń, istotną rolę w pracy nawierzchni spełniają czynniki dotyczące charakterystyki dynamicznej jej konstrukcji. Ustalenie związków zachodzących między rodzajem konstrukcji toru a jej charakterystyką dynamiczną możliwe jest na drodze pomiarów, pozwalających określić parametry konieczne dla wyznaczenia przebiegu drgań w badanej nawierzchni.

Artykuł jest zmodyfikowaną wersją referatu z konferencji „Zintegrowany system transportu miejskiego z 27 i 28 maja 2010 roku.

Metodyka i zakres przeprowadzonych badań

W celu stwierdzenia możliwości określenia jakości konstrukcji nawierzchni z punktu widzenia jej pracy dynamicznej przeprowadzono pomiary rozchodzenia się drgań w różnych konstrukcjach torów tramwajowych. Sposób wzbudzenia drgań wymuszonych w badanej konstrukcji ma znaczenie jedynie jako czynnik stały, służący do analizy porównawczej różnych rozwiązań.

Zadanie określenia parametrów drgań sprowadza się do oznaczenia amplitud przemieszczeń, prędkości lub przyspieszeń, a także częstości.

Pomiary przeprowadzono wymuszając ruch drgający:

- symulowanym obciążeniem harmonicznym,
- symulowanym obciążeniem impulsem siły,
- obciążeniem przejazdem taboru.

Zastosowanie trzech rodzajów źródeł obciążenia dynamicznego pozwala na zbadanie korelacji między czynnikami pomiarów. Z uwagi na znaczenie większe, w porównaniu z siłami poziomymi, obciążenia pionowe występujące podczas jazdy pojazdów szynowych, a także na wyłączenie pionowe przyłożenie obciążenia harmonicznego i impulsowego, w trakcie pomiarów rejestrowano przebiegi drgań pionowych bezpośrednio na szynie.

Wykonano następujące rodzaje pomiarów:

- drgania pionowe szyny przy wzbudzeniu periodycznym,
- drgania pionowe szyny przy wzbudzeniu impulsowym,
- drgania pionowe szyny w czasie przejazdu wagonu tramwajowego.

Powyższe pomiary wykonano w eksploatowanych nawierzchniach linii tramwajowych na torowisku wydzielonym. Wszystkie rodzaje pomiarów w wybranych typach nawierzchni przeprowadzono w takich samych miejscach pomiarowych. Punkty pomiarowe były każdorazowo ustalane dla danego rodzaju pomiaru. Rozmieszczenie punktów pomiarowych uzależnione było od rodzaju oraz wielkości impulsu wywołującego ruch drgający.

Ze względu na duży wpływ warunków wilgotnościowych na pracę dynamiczną nawierzchni wszystkie pomiary przeprowadzono w podob-

nych warunkach atmosferycznych. Powyższe ustalenia pozwalają na porównawczą analizę wyników uzyskanych dla różnych konstrukcji tramwajowych.

Rodzaje badanych konstrukcji nawierzchni

Nawierzchnia A: szyny S49 (49E1) ułożone na podkładach drewnianych w rozstawie 0,75 cm i podsypce tłuczniowej o grubości warstwy 15-25 cm. Szyny przymocowane do podkładów przytwierdzeniami typu „K”.

Nawierzchnia B: szyny S49 (49E1) ułożone na żelbetowych podkładach betonowych w rozstawie 0,75 cm i podsypce tłuczniowej o grubości warstwy 20 cm. Szyny przymocowane do podkładów przytwierdzeniem typu „K”.

Technika wzbudzenia drgań

Drgania elementów konstrukcyjnych toru wywołane ruchomym obciążeniem mają charakter stochastyczny. Przypadkowość czynników zakłócających pomiary drgań toru obciążonego przejeżdżającym taboru powoduje pewne trudności w opracowaniu i analizie wyników. Należy dążyć, aby podczas pomiaru sposób obciążenia dynamicznego był czynnikiem sterowalnym (np. w przypadku obciążenia przejeżdżającym taboru znany jest typ pojazdu oraz prędkość jazdy).

Metodą pozwalającą w pewnym zakresie na sterowanie amplitudą i częstością drgań jest symulowanie obciążenia harmonicznego. Wzbudzenie drgań pojedynczym impulsem siły może być również w pewnym stopniu sterowane poprzez odpowiedni dobór wielkości impulsu.

W badaniach zastosowano trzy rodzaje wzbudzenia drgań:

- obciążenie harmoniczne, ciągłe, z możliwością kontrolowania i sterowania amplitud przemieszczeń i częstości drgań;
- wzbudzenie impulsowe, krótkotrwałe, kontrolowane i częściowo sterowane poprzez ustalenie wielkości impulsu;
- obciążenie przejeżdżającym wagonem tramwajowym z możliwością sterowania prędkością jazdy.

Sposób opracowania wyników

W czasie pomiarów każdorazowo rejestrowano:

- przemieszczenia drgań punktów pomiarowych,
- przyspieszenia drgań w punktach pomiarowych.

Amplitudy mierzonych parametrów wyznaczono w stosunku do linii zerowej, odpowiadającej stanowi nieobciążonemu toru. W opracowaniu wyników nie analizowano charakterystyki poszczególnych przebiegów drgań ograniczając się do wyznaczenia ekstremalnych wartości ich charakterystycznych parametrów.

Dla ustalonych punktów pomiarowych określono:

- amplitudy pionowych przemieszczeń – A [mm],
- amplitudy przyspieszeń – a [m/s^2],
- okres drgań wymuszonych – T [s],
- okres drgań własnych (wzbudzenie impulsowe) – Th [s],
- częstość drgań – f [Hz].

Wyniki pomiarów

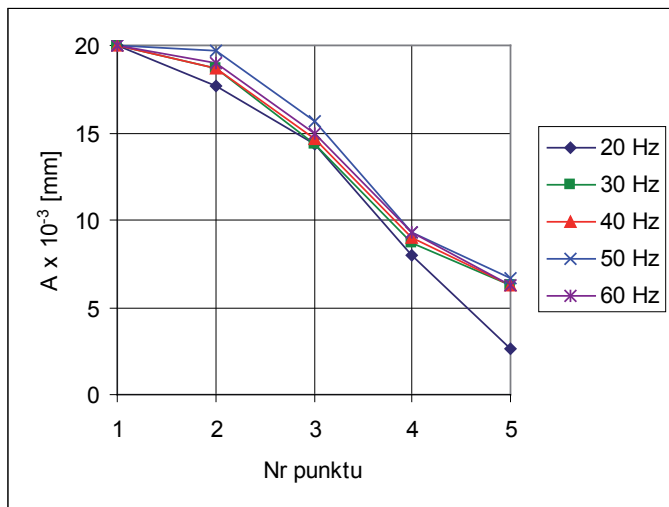
W poniższych tabelach zestawiono niektóre wyniki przeprowadzonych pomiarów przy wzbudzeniu harmonicznym. Punkty pomiarowe były zlokalizowane w następujących odległościach od miejsca wzbudzenia drgań: nr 1 – 0,00 m; nr 2 – 0,35 m; nr 3 – 0,75 m; nr 4 – 1,50 m; nr 5 – 3,00 m.

W początkowym okresie wzbudzenia drgań ciągłych harmonicznych występuje zjawisko wyrównywania się wartości częstości drgań wymuszających i wymuszanych. Po upływie czasu $t = 5s$, częstości są zgodne. Zmiany amplitud przemieszczeń drgań z odległości od ich źródła mają charakter malejący i zależą od częstości drgań. Mniejszym wartościom częstości drgań odpowiadają mniejsze wartości amplitud przemieszczeń. Różnice wartości amplitud przy zróżnicowanych wartościach częstości widoczne są wyraźnie w punktach pomiarowych odległych o $l = 3,0$ m od miejsca źródła drgań.

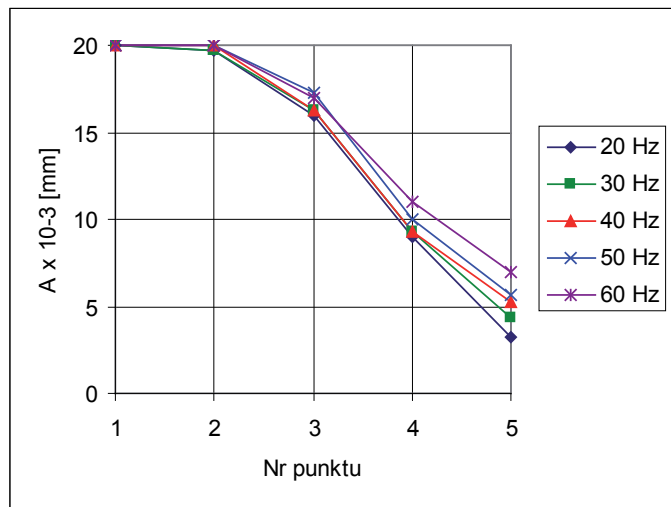
Również w przypadku amplitud przyspieszeń stwierdza się tendencję do zmniejszania się ich wartości wraz z odległością. Dla drgań

Tab. 1. Wartości średnie amplitud przemieszczeń drgań przy wzbudzeniu harmonicznym

		A - (mm) - podkłady drewniane				
f[Hz]		20	30	40	50	60
Nr punktu						
1		0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200
2		0,0177	0,0187	0,0187	0,0197	0,0190
3		0,0143	0,0143	0,0146	0,0157	0,0150
4		0,0080	0,0087	0,0090	0,0093	0,0093
5		0,0026	0,0040	0,0063	0,0067	0,0063
		A - (mm) - podkłady betonowe				
1		0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200
2		0,0197	0,0197	0,0200	0,0200	0,0200
3		0,0160	0,0163	0,0163	0,0173	0,0170
4		0,0090	0,0093	0,0093	0,0100	0,0110
5		0,0032	0,0043	0,0053	0,0057	0,0070



1. Zależność amplitudy przemieszczenia od odległości źródła drgań – podkłady drewniane



2. Zależność amplitudy przemieszczenia od odległości źródła drgań – podkłady betonowe

Tab. 2. Wartości średnie amplitud przyspieszeń drgań (A) przy wzbudzeniu harmonicznym

		A - (m/s ²) - podkłady drewniane				
f[Hz]		20	30	40	50	60
Nr punktu						
1		1,78	2,23	1,78	2,47	4,00
2		1,50	2,15	1,68	2,33	3,80
3		1,39	1,90	1,55	2,03	3,47
4		0,70	1,13	1,05	1,40	2,33
5		0,27	0,57	0,57	0,83	1,68
		A - (m/s ²) - podkłady betonowe				
1		1,53	1,70	1,33	1,87	2,87
2		1,33	1,50	1,27	1,83	2,67
3		1,27	1,43	1,13	1,70	2,57
4		0,65	0,88	0,43	1,03	1,53
5		0,18	0,36	0,13	0,37	0,83

o częstościach poniżej 50 Hz wartości amplitud przyspieszeń zmieniają się nieznacznie przy zmianie częstości. Istotny wzrost wartości amplitud przyspieszenia obserwuje się przy częstości $f=60$ Hz. Zjawisko to występuje zarówno dla torów z podkładami drewnianymi i betonowymi.

Podsumowanie

• Znajomość związków zachodzących między rodzajem konstrukcji toru tramwajowego a charakterystyką dynamiczną jest ważna z uwagi na kompleksowe rozpoznanie pracy nawierzchni toru.

- Parametry konieczne do ustalenia powyższych związków uzyskać można na drodze badań doświadczalnych.
- Zjawisko rozchodzenia się drgań ma charakter falowy i zależy od konstrukcji nawierzchni.
- Wielkości parametrów pracy dynamicznej nawierzchni istotnie się różnią dla różnych typów konstrukcji.
- Wartość parametrów drgań ma istotny wpływ na ich tłumienie i absorpcję w konstrukcji układu szyny – podkłady.
- Stwierdzono zgodność jakościową czynników uzyskanych w efekcie trzech różnych sposobów wzbudzania drgań. ◀

Literatura:

- [1]. Bendat J.S., Piersal A.G., Metody analiz i pomiaru sygnałów losowych, PWN Warszawa 1976 r.
- [2]. Greń J., Statystyka matematyczna. Modele i zadania. PWN Warszawa 1974 r.
- [3]. Hagel R., Miernictwo dynamiczne, WN-T
- [4]. Kaliski S., Drgania i fale, PWN Warszawa
- [5]. Ziembra S., Analiza drgań, PWN Warszawa

dr inż. Andrzej Piotrowski
Politechnika Wrocławska,
Zakład Infrastruktury Transportu
Szynowego, Instytut Inżynierii Lądowej

Informacje SITK O/Wrocław

Oddział SITK we Wrocławiu swoją statutową działalnością obejmuje byłe województwa wrocławskie i jeleniogórskie. Posiada osobowość prawną i należy do jednych z największych Oddziałów w kraju. Liczy około 600 członków zwyczajnych skupionych w 18 kołach zakładowych i terenowych.

Podstawową formą działalności Oddziału, jako organizacji naukowo-technicznej, jest działalność na rzecz transportu oraz na rzecz dobra swoich członków.

Statutowe cele działalności Zarządu Oddziału SITK obejmują:

- działalność naukowo-techniczną,
- informacyjno-edukacyjną,
- kulturową, na rzecz rozwoju transportu oraz na rzecz ochrony zabytków transportu.

Działalność na rzecz dobra swoich członków polega na wypracowywaniu i utrzymaniu wysokiej rangi inżynierów i techników, pomocy członkom w aktualizacji wiedzy technicznej, ochronie interesów członków oraz popularyzacji twórców techniki.

Cele gospodarcze Zarząd realizuje poprzez Ośrodek Rzeczoznawstwa i Usług Techniczno-Ekonomicznych działający przy Zarządzie, do zadań którego należy:

- opracowanie ocen i ekspertyz techniczno-ekonomicznych branży komunikacyjnej,
- opracowanie projektów technicznych w zakresie: kolejnictwa, dróg i mostów oraz układów komunikacji miejskiej,
- pełnienie nadzorów autorskich i inwestorskich na robotach komunikacyjnych,
- organizowanie i prowadzenie szkoleń,
- organizowanie wystaw i konferencji naukowo-technicznych,
- dokonywanie ocen stanu technicznego maszyn drogowych i kolejowych,
- opracowywanie metryki dróg, ulic i mostów drogowych,
- szkolenia BHP i inne specjalistyczne,
- opracowywanie regulaminów pracy bocznic kolejowych.

Stosujemy korzystne formy rozliczeń, każdorazowo negocjujemy z partnerami ceny opracowań, jesteśmy płatnikami VAT.

Gwarantujemy, że przyjmowane zobowiązania będą wykonane przez wysokiej klasy rzeczoznawców i specjalistów SITK.

Wszystkie opracowania wykonane przez Ośrodek Rzeczoznawstwa i Usług Techniczno-Ekonomicznych podlegają sprawdzeniu przez Radę Ośrodka, powołaną przez Prezydium Zarządu Oddziału SITK RP, do której obowiązków należy dokonanie oceny opracowań i wydanie odnośnej opinii.

STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
KOMUNIKACJI RZECZPOSPOLITEJ POLSKIEJ
członek Wrocławskiej Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych
Naczelnej Organizacji Technicznej
Zarząd Oddziału
50-520 Wrocław
ul. Marszałka Józefa Piłsudskiego 74, pok.216
Sekretariat Oddziału: tel. 71 343 18 74
NIP: 896-10-05-014

Konto bankowe:
Bank Zachodni WBK S.A. Wrocław
59 1090 1522 0000 0000 5202 0097

Biuro czynne:
poniedziałek - środa, godz. 9:00 - 16:00

Kierownik Ośrodka RZiUT-EK:
tel. 603 938 975