

Zygmunt STRZYŻAKOWSKI¹

ZJAWISKA PROPAGACJI DRGAŃ WYWOŁANYCH EKSPLOATACJĄ METRA

W artykule przedstawiono zagadnienia modelowe badania zjawisk propagacji drgań w przyjętym układzie transportowym metra. Założone zadania mogą być realizowane poprzez wykonanie badań eksploatacyjnych bądź teoretycznych.

Przedstawiono proces modelowania dynamiki obiektu oraz kierunki badań w zakresie zmniejszenia szkodliwego oddziaływania drgań na obiekty inżynierskie.

THE VIBRATION PROPAGATION PHENOMENA IN UNDERGROUND TRANSPORT

The paper presents model issues of vibration propagation phenomena studies in a given underground transport scheme. The established tasks have been accomplished by means of experimental research works and theoretical analysis.

Moreover, the article presents the process of mathematical modelling of objects dynamic as well as directions of studies in the realm of decreasing harmful impact of vibrations on engineering objects.

1. WSTĘP

Badania drgań występujących w czasie eksploatacji metra płytkiego związane jest z problemami technicznymi i ergonomicznymi. Pierwsza linia metra oraz planowana druga linia przebiegać będzie przez centrum, przez zwartą zabudowę miejską.

Taki sposób prowadzenia linii związany jest z następującymi problemami, do których można zaliczyć:

- a) Wpływ eksploatacji metra na drgania budowli sąsiadujących i występujący w nich hałas, jak również na ludzi w nich znajdujących się,
- b) Trwałość i niezawodność układu pojazd-nawierzchnia-obudowa,
- c) Wpływ drgań na człowieka znajdującego się w pojeździe metra określony przez komfort i bezpieczeństwo jazdy.

Projektowana druga linia metra w Warszawie przebiegać będzie w centrum miasta o zwartej zabudowie, gdzie odległości budynków wzdłuż projektowanej trasy są znacznie mniejsze od 40 m (wartości traktowanej jako minimalnej dla budynków mieszkalnych).

¹ Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.
tel: + 48 48 361-77-15, Fax: + 48 48 361-77-42, e-mail: z.strzyzakowski@pr.radom.pl

Zagadnienie wpływu eksploatacji projektowanych linii transportu miejskiego (koleje, metro, tramwaje) na sąsiadujące obiekty wiąże się z propagacją szkodliwych oddziaływań dynamicznych głównie w formie drgań materiałowych.

Celem identyfikacji istotnych źródeł drgań i tras ich przenoszenia koniecznym jest przeprowadzenie badań tych zjawisk w warunkach rzeczywistych.

W procesie eksploatacji systemu metra a w szczególności w przypadku metra „płytkiego” występują zjawiska dynamiczne wywołane przez poruszające się pojazdy w tunelu metra.

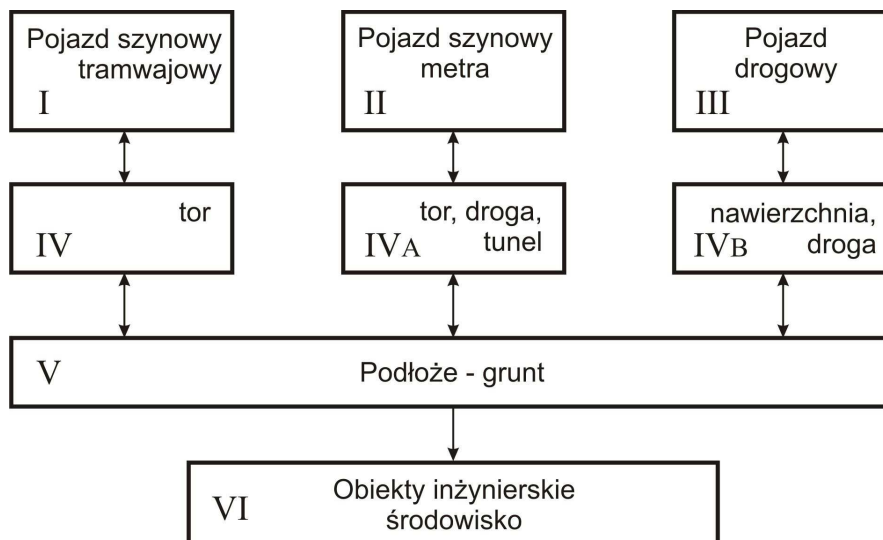
Rozpatrując zagadnienie to bardziej ogólnie należy uwzględnić oddziaływania dynamiczne od innych pojazdów jak tramwaje oraz pojazdy drogowe znajdujące się w pobliżu trasy metra.

Charakter tych drgań przekazywanych do otoczenia ma w ogólnym przypadku cechy losowe w zakresach częstotliwości określanych jako infradźwięki oraz częstotliwości akustyczne.

Określenie parametrów tych drgań, parametrów fizycznych źródeł ich generowania służyć może do opracowań wytycznych konstrukcyjnych, których celem jest eliminowanie lub minimalizowanie drgań o parametrach szczególnie szkodliwych przekazywanych przez otoczenie.

2. MODEL DYNAMIKI PRZYJĘTEGO UKŁADU STRUKTURY TRANSPORTOWEJ

Celem przeprowadzenia analizy teoretycznej oraz przyjęcia metodyki badań eksperymentalnych proponuje się przyjąć do badań model całościowy systemu przedstawiony na rys. 1.



Rys.1. Schemat blokowy układu transportowego

Substruktury I, II i III (pojazd szynowy tramwajowy, pojazd szynowy metra, pojazd drogowy) są zwykle złożonymi układami mechanicznymi jako źródła dużych drgających obciążeń ruchomych i są modelowane układami dyskretno-ciągłymi w postaci sił skupionych lub oscylatorów o wielu stopniach swobody [1,2,3].

Struktura IV (tor, tunele, nawierzchnia dróg) stanowi ośrodek ciągły, odkształcalny sprężysty lub lepko-sprężysty.

Podczas ruchu pojazdu szynowego po geometrycznych nierównościach szyny i zmiennej sprężystości podparcia szyny (niejednorodności elementów sprężystych przytwierdzenia), powstają dynamiczne oddziaływania w układzie pojazd-tor.

Do źródeł tych drgań i hałasu w układzie pojazd-tor metra można zaliczyć:

- punkt styku koła i szyny,
- elementy układu napędowego pojazd-silniki, sprzężarki układu przenoszenia napędu,
- układ odbieraka prądu,
- hałas aerodynamiczny pudła pojazdu,
- dźwięki materiałowe układu podtorze-tunel.

Istotny poziom drgań w układzie zależny jest od:

- konstrukcji nawierzchni torowej – sposobu przytwierdzenia szyn,
- zużycia powierzchni tocznej szyn,
- konstrukcji tunelu (w tym jego masa),
- prędkości pojazdu,
- profilu i planu linii.

W ośrodkach takich mogą rozprzestrzeniać się fale jako mechaniczne zaburzenia, przemieszczenia lub ich pochodne.

Dzięki sprężystym własnościom ośrodka drgania są przekazywane sąsiednim cząstkom ośrodka (przenoszenie fal nie jest związane z przenoszeniem substancji). Częstotliwość tych fal zawarta jest przeważnie w szerokim zakresie częstotliwości od kilku do kilkuset Hz, bądź w przypadku nawierzchni torowej do kilku tysięcy Hz.

Struktury takie zwykle modelowane są układami dyskretnymi, skupionymi typu masa-sprężyna, pasmami, płytami i układami dyskretno-ciągłymi-belkami będącymi zwykle ośrodkami dwu bądź kilku warstwowymi [3].

Struktura V podłoże-grunt w otoczeniu toru, drogi lub tunelu, jako ośrodek ciągły niejednokrotnie niejednorodny i anizotropowy przenosi różnego rodzaju fale materiałowe i powierzchniowe od tych dróg, torów lub tuneli.

Zwykle strukturę tą opisuje się modelem półprzestrzeni sprężystej. Najczęściej propagują się fale powierzchniowe Rayleigha równoległe do powierzchni w postaci płaskich fal harmonicznym.

W kierunku prostopadłym do kierunku rozchodzenia się fal występują fale Love'a, które zanikają asymptotycznie wraz z głębokością podlegając zjawisku dyspersji.

W pracy [4] przedstawiono zagadnienia oddziaływania zaburzeń rozprzestrzeniających się w gruncie, które napotykając na przeszkody powierzchniowe rozpraszają się w nich.

Wykonano analizę parametrów technicznych ekranu i ich wpływ na wartość amplitud fal przenikających przez ekran. Propozycja zmiany intensywności fali powierzchniowej dotyczy osłony obiektów inżynierskich przed oddziaływaniem zaburzeń pochodzących od środków transportu.

Struktura VI jako obiekty inżynierskie – środowisko zwykle stanowi całą infrastrukturę na i pod powierzchnią, na którą oddziałują zaburzenia falowe akustyczne i materiałowe

rozprzestrzeniające się głównie w podłożu a oddziaływujące na obiekty inżynierskie – fundamenty budowli, mosty itp.

Pomiędzy wymienionymi substrukturami występują oddziaływania sprzęgające struktury. Najogólniej oddziaływania te mają charakter kontaktów mechanicznych przez przemieszczanie lub naprężania.

Struktury I, II i III z substrukturą IV związane są kontaktami pomiędzy kołami pojazdów i toru lub drogą.

Nierówności występujące na powierzchni szyny i obręczy koła są podstawowymi przyczynami wywołującymi ruch drgający pojazdów obciążających dynamicznie tor i stanowi źródło zaburzeń rozprzestrzeniających się w pozostałych substrukturach układu.

Oddziaływania tor – grunt należą do zasadniczych w dynamice całego układu określając ilość energii propagowanej do i od gruntu i należy do klasy oddziaływań układu dyskretnego (pojazd-tor) z układem ciągłym gruntu (połprzestrzeń).

Oddziaływania podłoże-obiekt inżynierski są identyczne do wcześniej omówionych tunel, droga-podłoże, dotyczą fal rozprzestrzeniających się w gruncie i oddziaływujących na obiekty inżynierskie umiejscowione na podłożu w otoczeniu środków transportu.

Badanie zjawisk propagacji drgań w przyjętym układzie transportowego ruchu można przeprowadzić metodą doświadczalną poprzez wykonanie eksperymentu lub teoretycznie. Badania doświadczalne w warunkach eksploatacyjnych na obiekcie lub w warunkach stworzonych przez eksperymentatora na modelu fizycznym spełniającym narzucone warunki podobieństwa dynamicznego.

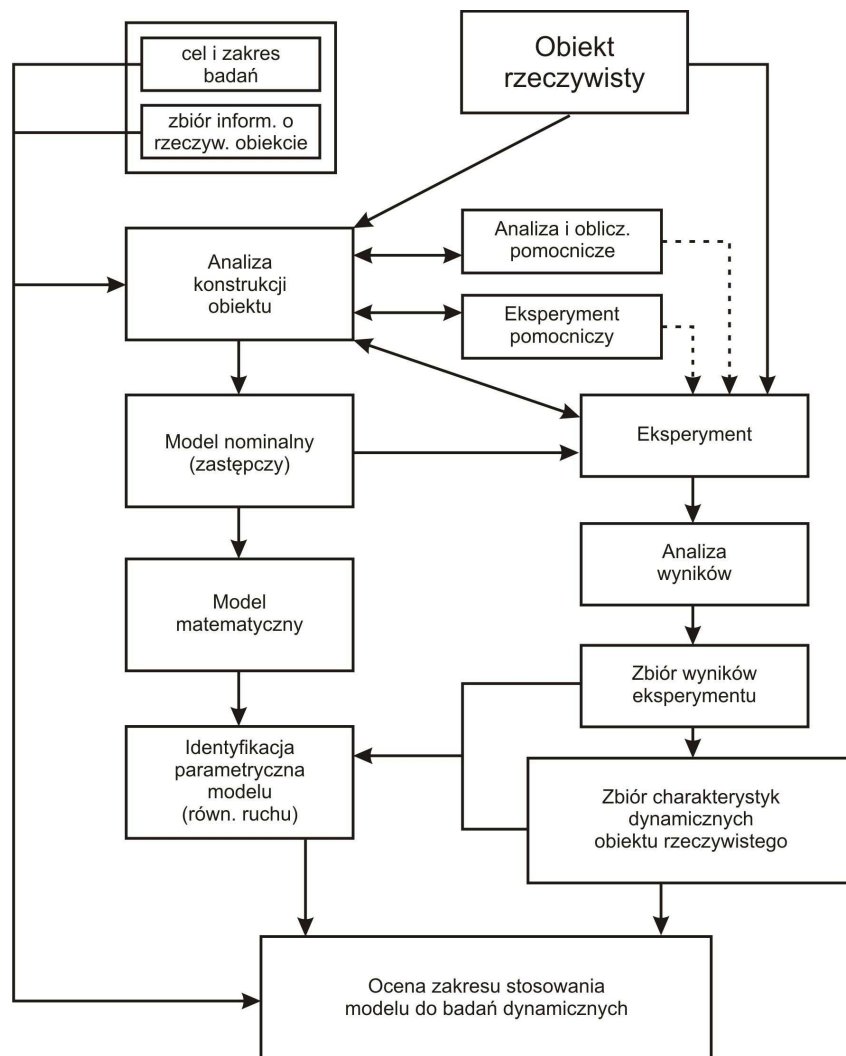
Badania teoretyczne wymagają stworzenia modelu nominalnego i jego opis matematyczny jako zbiór relacji i formuł, zbudowany z pojęć fizycznych dobranych na podstawie znanej struktury obiektu, własności jego poszczególnych elementów, znajomości oddziaływań zewnętrznych (wymuszeń) oraz znajomości praw fizycznych.

Najistotniejszym kryterium przy analizie i doborze modelu nominalnego, jest uwzględnienie tych cech układu rzeczywistego, które mają decydujący wpływ na analizowane zjawisko. W procesie budowy modelu matematycznego opisującego zjawiska dynamiczne układu mechanicznego należy uwzględnić rodzaj modelu: ciągły lub dyskretny, liniowy lub nieliniowy, stacjonarny lub niestacjonarny, zdeterminowany lub losowy.

Metodykę postępowania w procesie modelowania matematycznego dynamiki obiektu przedstawiono na rys. 2.

Można przedstawić poniżej następujące kierunki badań w zakresie zmniejszenia szkodliwego oddziaływania drgań i hałasów na obiekty inżynierskie oraz ludzi znajdujących się w bliskości linii metra:

- a) badania teoretyczne uproszczone w zakresie poszczególnych produktów systemu pojazd-tor-otoczenie,
- b) badania laboratoryjne jakościowe w zakresie stosowania częściowych modyfikacji konstrukcji podtorzy pod względem tłumienia drgań oraz dźwięków emitowanych z badanych produktów,
- c) badania laboratoryjne materiałowe elementów wibroizolacyjnych nawierzchni toru metra.



Rys.2. Proces modelowania matematycznego dynamiki obiektu

Z przeglądu badań oraz literatury [5] wynika, że najskuteczniejszą metodą zmniejszenia drgań przenoszonych do otoczenia jest zastosowanie odpowiedniej konstrukcji podtorza oraz nawierzchni toru.

Przyjęte konstrukcje niekonwencjonalne toru charakteryzują się:

- niskimi kosztami eksploatacyjnymi,
- minimalną wysokością warstwy konstrukcji, co wpływa zasadniczo na konstrukcję tunelu (obniżenie inwestycji budowy metra),
- łatwość konserwacji oraz wymiany,
- zapewnienie wymaganego komfortu jazdy,

- utrzymanie w czasie eksploatacji wymaganą dokładność i niezmiennosć geometrii toru (trwałość nawierzchni)

Zmniejszenie intensywności drgań przenoszonych od tunelu metra do gruntu poprzez:

- urządzenia-przeszkody w środowisku gruntu pochłaniające energię drgań – zmiana własności dynamicznych gruntu pomiędzy tunelem i budynkiem,
- architektoniczno-projektowe zabiegi racjonalnej zabudowy naziemnych przestrzeni w rejonie tras metra płytkiego – oddalenie budowli od linii metra (poniżej 40 m), zmiana masy metra,
- ochrona budowli środkami wibroizolacji – wibroizolacja fundamentu od konstrukcji nośnych – izolacja przeciwdrganiowa i przeciwakustyczna oddzielnych powierzchni w budynkach.

Praktycznie każda z przedstawionych grup środków może obniżyć poziom szumów i wibracji w domach mieszkalnych do wielkości określonych przez normy PN-B-02171:1988, jednakże dla właściwego wyboru należy projektować te rozwiązania, które okażą się ekonomicznie uzasadnione.

3. WNIOSKI

Z powyżej przedstawionych danych ustalić można istotne rozwiązania oraz metodykę postępowania w procesie modelowania dynamiki w układzie pojazd-tor-tunel-otoczenie celem zmniejszenia szkodliwego oddziaływania drgań i hałasów na obiekty inżynierskie oraz ludzi w nich znajdujących się.

W pracy przedstawiono proces modelowania matematycznego dynamiki kompleksowego układu transportowego z uwzględnieniem pojazdu szynowego metra, pojazdu szynowego tramwajowego poruszającego się w otoczeniu linii metra, pojazdu drogowego. Określenie parametrów drgań na podstawie tak ogólnie przyjętego modelu służy do opracowania wytycznych konstrukcyjnych obiektów inżynierskich celem minimalizowania drgań o parametrach szkodliwych przekazywanych do otoczenia.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Strzyżakowski Z.: *Interaction of discrete system and a visco-elastic half-space*, VIII Theoretical Foundations of Civil Engineering. Warsaw 2000
- [2] Strzyżakowski Z.: *Oddziaływanie zaburzeń środków transportu samochodowego na obiekty inżynierskie*, PTSK, Symulacja w badaniach i rozwoju, Kraków 2004
- [3] Strzyżakowski Z.: *Dynamika układu mechanicznego tor-pojazd-otoczenie modelowanego układem dyskretno-ciągłym*, Prace Instytutu Transportu Politechniki Warszawskiej, 1992
- [4] Strzyżakowski Z.: *Zmiana intensywności fali powierzchniowej w gruncie od środków transportu*, Międzynarodowa Konferencja Naukowa, TRANSPORT XXI WIEKU, Białowieża 2010
- [5] Strzyżakowski Z.: *Modelowanie zjawisk dynamicznych w układach transportowych*, Politechnika Radomska 2007