

TARGOSZ Jan¹
ADAMCZYK Jan²

Badania i ocena wibroaktywności konstrukcji torowisk tramwajowych stosowanych w Polsce

Wibroakustyka, torowiska tramwajowe

Streszczenie

W pracy przedstawiono badania wibroakustyczne prowadzone w latach 1990 – 2010 na różnego typu konstrukcjach torowisk tramwajowych stosowanych w Polsce w dużych aglomeracjach miejskich. Badano poziom emisji hałasu jak i drgań do środowiska a następnie porównano konstrukcję torowisk przyjmując jako wskaźnik ich wibroaktywność. Pracę wykonano w ramach projektu badawczego 4875/B/TO2/2010/38.

RESEARCH AND EVALUATION VIBROACTIVITY CONSTRUCTION OF TRAM TRACKS IN POLAND

Abstract

The paper presents a vibroacoustic tests carried out between 1990-2010 for various types of construction of tram tracks used in Poland in large urban areas. Were tested noise levels and vibration in the environment and compared the construction of railways as measured vibroactivity them. The results of work are within the confines of investigative project 4875/B/TO2/2010/38.

1. WSTĘP

Rozpoznawcze badania wibroakustyczne torowisk tramwajowymi prowadzono w latach 1990 – 2010, w dużych aglomeracjach miejskich takich jak Bydgoszcz, Katowice, Kraków, Wrocław i Łódź. Miały one na celu porównanie różnego typu konstrukcji torowisk z punktu widzenia własności wibroakustycznych. W oparciu o pracę [1], w której przedstawione zostały typy stosowanych konstrukcji torowisk oraz podano zestawienie ilościowe poszczególnych typów torowisk w Polsce wyeliminowano z oceny wibroakustycznej torowiska, które stosowane są bardzo rzadko lub ich długości eksploatacyjne są szacunkowe w skali kraju.

Należą do nich:

- tor wydzielony na podkładach w ziemi rodzimej - 4 km w kraju,
- tor wydzielony na ramie - 1 km w kraju,
- tor na płytach betonowych 2x4m. -14.73 km w kraju,
- tor w jezdni na podbudowie betonowej (HALPOL) - 0.4 km w kraju,
- tor na podkładach drewnianych (HALPOL) - 2.8 km,

Do oceny wytypowano torowiska, których długości eksploatacyjne są znaczne oraz torowiska o niewielkich długościach eksploatacyjnych, które rokują podwyższoną trwałość oraz korzystny wpływ na ochronę środowiska ze względu na hałas i drgania. Należą do nich:

- tor wydzielony na podkładach drewnianych z mocowaniem typu K z zasypaną główką szyny,
- tor wydzielony na podkładach drewnianych z mocowaniem typu K z zasypanymi podkładami,
- tor wydzielony na podkładach betonowych z mocowaniem typu K,
- tor wydzielony na podkładach betonowych z mocowaniem typu SB-3,
- tor w jezdni na podbudowie asfaltobetonowej zabudowany płytami,
- tor w jezdni na podbudowie asfaltobetonowej zabudowany płytami pokrytymi dywanikiem z asfaltu lanego,
- tor w jezdni na podbudowie betonowej zabudowany płytami,
- tor w jezdni na podbudowie betonowej zabudowany płytami pokrytymi dywanikiem z asfaltu lanego,
- tor w jezdni na podbudowie betonowej zabudowany kostką,
- tor w jezdni na podkładach drewnianych zabudowany płytami,
- tor w jezdni na podkładach betonowych zabudowany płytami,
- tor w jezdni - typu „Ptasznik”,

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki; 30-059 Kraków; Al. Mickiewicza 30. Tel: + 48 12 634-35-05, Fax: + 48 12 634-35-05, E-mail:jantargosz@interia.pl

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki; 30-059 Kraków; Al. Mickiewicza 30. Tel: + 48 12 617 30 55, Fax: + 48 12 634-35-05, E-mail:adamczyk@agh.edu.pl

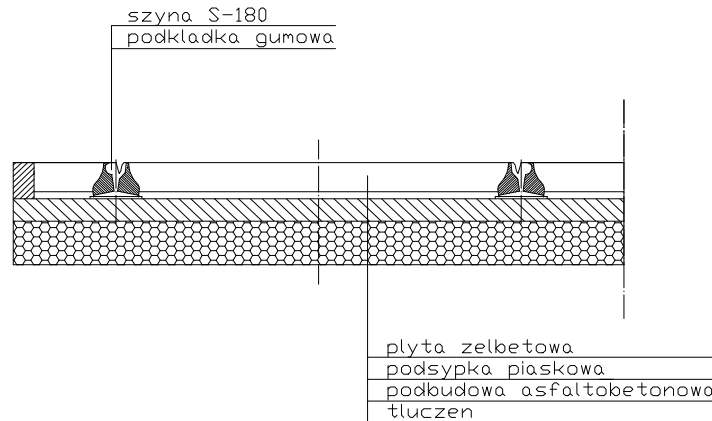
- tor w jezdni na podbudowie tłuczniem zabudowany płytami,
- tor w jezdni na podbudowie tłuczniem zabudowany płytami pokrytymi dywanikiem z asfaltu lanego,
- tor typu „węgierskiego”
- tor na podbudowie z asfaltobetonu zabudowany płytkami pokrytymi dywanikiem z asfaltu lanego posadowiony na wibroizolacji,

Ocenę wibroakustyczną torowisk przeprowadzono w oparciu o przekroje konstrukcji torowisk przedstawione na rysunkach 1 – 4 oraz badania wibroakustyczne prowadzone w latach 1990 –2010, wyniki których przedstawiono w tab.1.

2. TYP TOROWISKA

2.1 Tor wbudowany w jezdni na podbudowie asfaltobetonowej zabudowany płytami.

Na rys. 1 przedstawiono schemat konstrukcyjny torowiska w jezdni na podbudowie asfaltobetonowej zabudowany płytami. Torowisko takie składa się z podbudowy asfaltobetonowej na, której oparta jest stopa szyny.

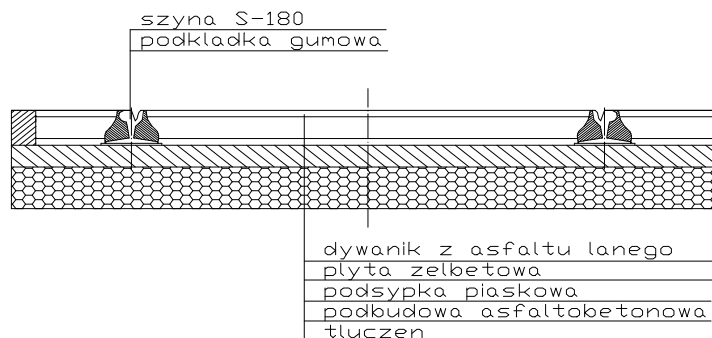


Rys. 1. Torowisko na podbudowie asfaltobetonowej zabudowane płytami

warstwy podsypki z piasku oraz płyt betonowych wkładanych pomiędzy szyny. Przestrzenie pomiędzy szynami zalewane są zaprawą piaskowo - cementową. Z punktu widzenia wibroakustycznego układ ten charakteryzuje się dobrymi parametrami tłumiącymi hałas jak również własnościami tłumiącymi dźwięki materiałowe ze względu na posadowienie szyn na elemencie elastycznym jakim jest asfaltobeton oraz brak bezpośredniego kontaktu pomiędzy szyną, a płytami betonowymi. Również to, że szyna jest zabudowana w torowisku znacznie poprawia jego własności wibroakustyczne. Nie charakteryzuje się jednak ten typ torowiska własnościami wibroizolacyjnymi w pełni skutecznymi i oddziaływania od przejazdu pojazdów tramwajowych przekazywane są w znacznym stopniu na budynki zlokalizowane przy jezdni. Badania przeprowadzone we Wrocławiu wykazały, że poziom emitowanego dźwięku L_{max} w trakcie przejazdu pojazdów tramwajowych wynosił 78,2 dB(A), a poziom drgań mierzonych w odległości 10 m wynosił 4.82 μm dla częstotliwości 8 Hz.

2.2 Tor wbudowany w jezdni na podbudowie asfaltobetonowej zabudowany płytami pokrytymi dywanikiem z asfaltu lanego.

Na rys. 2. przedstawiono schemat konstrukcyjny torowiska w jezdni na podbudowie asfaltobetonowej zabudowany płytami pokrytymi dywanikiem z asfaltu lanego. Torowisko takie składa się z podbudowy asfaltobetonowej, na której oparta jest stopa szyny, warstwy podsypki z piasku oraz płyt betonowych wkładanych pomiędzy szyny. Przestrzenie pomiędzy szynami zalewane są zaprawą piaskowo - cementową. Na płyty wylewany jest dywanik z asfaltu do wysokości główki szyny.

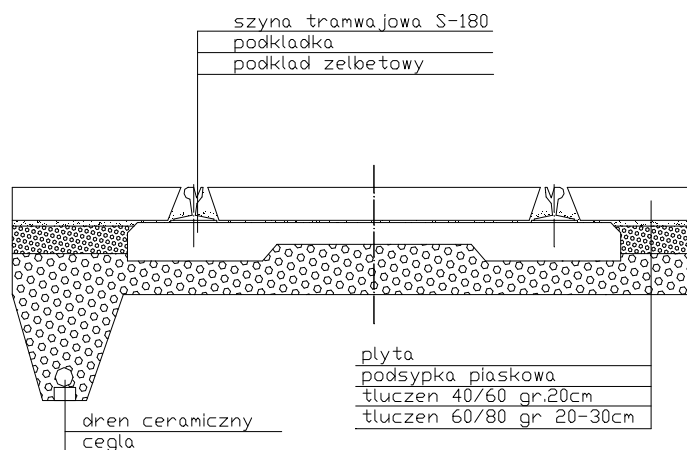


Rys. 2. Torowisko na podbudowie asfaltobetonowej zabudowane płytami pokrytymi dywanikiem z asfaltu lanego.

Z punktu widzenia wibroakustycznego układ ten charakteryzuje się dobrymi parametrami tłumiącymi hałas jak również własnościami tłumiącymi dźwięki materiałowe, ze względu na posadowienie szyny na elemencie elastycznym jakim jest asfaltobeton oraz brak bezpośredniego kontaktu pomiędzy szyną, a płytami betonowymi. Również to, że szyna jest zalana asfaltobetonem do wysokości główki w sposób zdecydowany poprawia jego własności akustyczne. Nie posiada jednakże podobnie jak poprzedni typ własności wibroizolacyjnych w pełni skutecznych i oddziaływania od przejazdu pojazdów tramwajowych przekazywane są w znacznym stopniu na budynki zlokalizowane przy jezdni. Badania tego typu torowiska przeprowadzono w Krakowie przy ul. Limanowskiego, w Łodzi przy ul. Kilińskiego oraz we Wrocławiu przy ul. Krupniczej. W tym ostatnim przypadku szyna jest umieszczona na podkładce gumowej. Poziom emitowanego dźwięku L_{max} w trakcie przejazdu pojazdów tramwajowych wynosił od 76.6 do 84.7 dB(A). Poziom drgań mierzonych w odległości 6 m wynosił $6.7\mu m$ dla częstotliwości 16Hz w Krakowie, $5.97\mu m$ dla częstotliwości 3 i 8Hz we Wrocławiu.

2.3 Tor wbudowany w jezdnię na podkładach betonowych zabudowany płytami.

Na rys. 3. przedstawiono schemat konstrukcyjny torowiska w jezdni na podbudowie betonowej zabudowany płytami. Torowisko takie składa się z podbudowy betonowej na, której oparta jest stopa szyny, warstwy podsypki lub tłucznia oraz płyt betonowych wkładanych pomiędzy szyny. Przestrzenie pomiędzy szynami zalewane są zaprawą piaskowo - cementową.



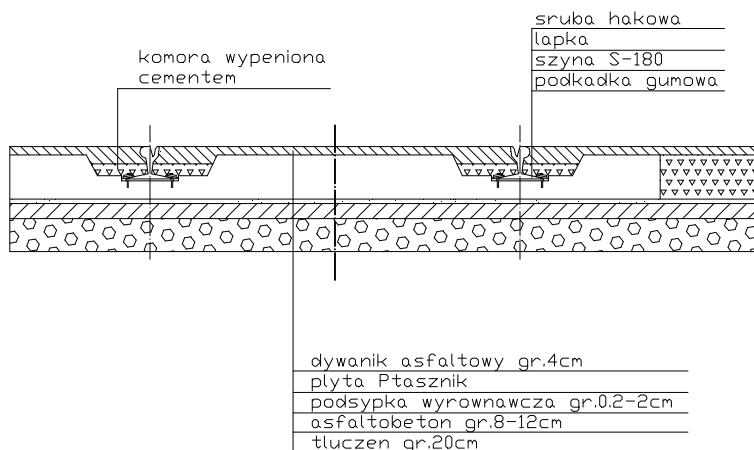
Rys. 3. Torowisko na podkładach betonowych zabudowane płytami.

Z punktu widzenia wibroakustycznego układ ten charakteryzuje się znacznie gorszymi parametrami tłumiącymi hałas z powodu bezpośredniego mocowania płyty do podkładu betonowego i identycznymi własnościami tłumiącymi dźwięki materiałowe ze względu na brak bezpośredniego kontaktu pomiędzy szyną, a płytami betonowymi, gdyż przestrzenie między szynami wypełnione są zaprawą cementowo - piaskową.

Nie posiada również podobnie jak poprzedni typ torowiska własności wibroizolacyjnych w pełni skutecznych i oddziaływania od przejazdu pojazdów tramwajowych przekazywane są w znacznym stopniu na budynki zlokalizowane przy jezdni. Badania tego typu torowiska przeprowadzono w Łodzi. Poziom emitowanego dźwięku L_{max} wynosił od 81 do 83 dB(A), a poziom drgań mierzony w odległości 8 m wynosił $6,0\mu m$ dla częstotliwości 3 Hz.

2.4 Tor w jezdni - typu „Ptasznik”.

Na rys. 4. przedstawiono schemat konstrukcyjny torowiska w jezdni składającego się z płyt betonowych typu „Ptasznik” z rowkami, w których przewidziane jest mocowanie płyt. Płyty posadowione są na podbudowie z uwałowanego tłucznia za pośrednictwem warstwy piasku.

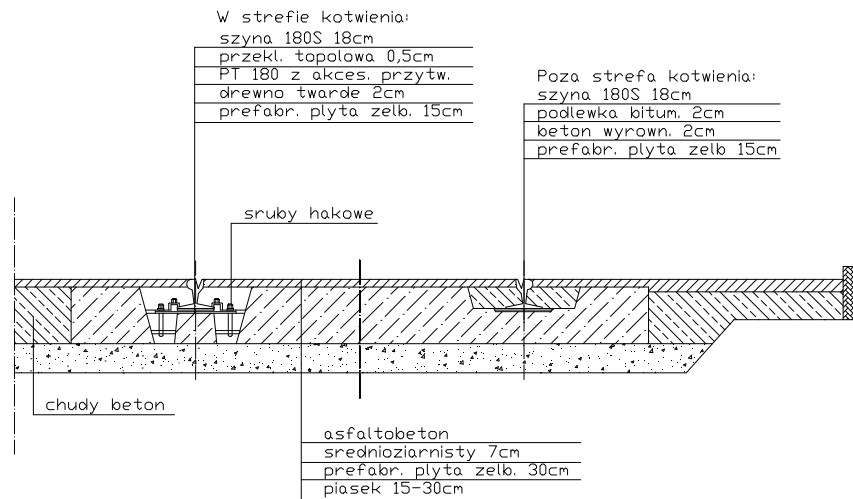


Rys. 4. Torowisko typu "Ptasznik".

Szyna może być mocowana bezpośrednio do płyty lub przy zastosowaniu podkładki z gumy. Następnie jest zalewana zaprawą cementowo - piaskową lub asfaltobetonem. Z punktu widzenia wibroakustycznego układ ten charakteryzuje się przeciętnymi własnościami tłumiącymi hałas oraz ze względu na swoją dużą sztywność oraz bardzo dobrymi własnościami tłumiącymi dźwięki materiałowe. Ten rodzaj torowiska nie wykazuje również dobrych własności wibroizolacyjnych. Poziom emitowanego dźwięku L_{max} w trakcie przejazdu pojazdów tramwajowych wynosił od 82 do 85 dB(A). Poziom drgań mierzonych w odległości 8 m wynosił $6.7\mu m$

2.5 Tor wbudowany w jezdnie na podbudowie betonowej zabudowany płytami pokrytymi dywanikiem z asfaltu lanego.

Na rys. 5. przedstawiono schemat konstrukcyjny torowiska w jezdni na podbudowie betonowej zabudowany płytami pokrytymi dywanikiem z asfaltu lanego. Torowisko takie składa się z podbudowy betonowej, na której oparta jest stopa szyny, warstwy podsypki z piasku oraz płyt betonowych wkładanych pomiędzy szyny.

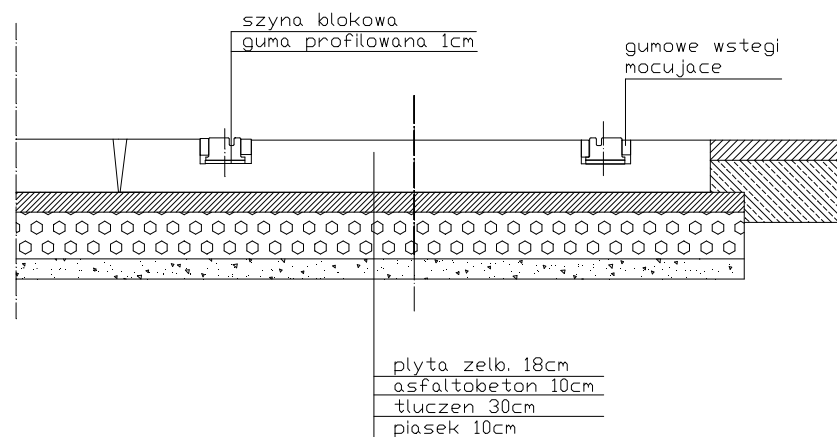


Rys. 5. Konstrukcja torowiska wbudowanego typu EPT

Przestrzenie pomiędzy szynami zalewane są zaprawą piaskowo-cementową. Na płyty wylewany jest dywanik z asfaltu do wysokości główki szyny. Z punktu widzenia wibroakustycznego układ ten charakteryzuje się przeciętnymi parametrami tłumiącymi hałas ze względu na dużą sztywność podbudowy oraz sztywne połączenie szyny z betonem - czasami pod stopę szyny stosuje się podkładkę z gumy. Konstrukcja ta wykazuje natomiast bardzo dobre własności tłumiące dźwięki materiałowe ze względu na zalanie lanym asfaltem do wysokości główki szyny co w sposób zdecydowany poprawia jej własności akustyczne. Nie posiada jednakże jak poprzedni typ torowiska własności wibroizolacyjnych w pełni skutecznych i oddziaływania od przejazdu pojazdów tramwajowych przekazywane są w znacznym stopniu na budynki zlokalizowane przy jezdni. Badania tego typu torowiska przeprowadzono w Łodzi przy ul. Narutowicza. Poziom emitowanego dźwięku L_{max} w trakcie przejazdu pojazdów tramwajowych wynosił od 81 do 82.3dB(A). Poziom drgań mierzonych w odległości 8 m wynosił $6.7\mu m$ dla częstotliwości 8Hz. Przy tej samej ulicy w przypadku gdy pod szyny podłożone były elementy gumowe poziom drgań obniżył się i wynosił $4.7\mu m$ dla częstotliwości 8Hz.

2.6 Tor wbudowany w jezdnie typu „węgierskiego”

Na rys. 6. przedstawiono schemat konstrukcyjny torowiska w jezdni składającego się z prefabrykowanych płyt betonowych z szynami blokowymi posadowionych na utwardzonym podłożu (asfaltobeton, płyta denka lub zwałowany tłuczeń).

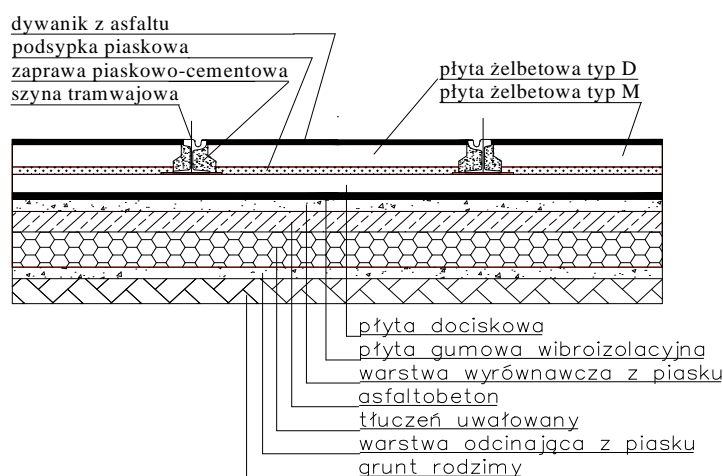


Rys. 6. Konstrukcja torowiska wbudowanego typu węgierskiego

Pomiędzy prefabrykowane płyty z szynami blokowymi naniesiona jest podsypka z piasku. Szyny posadowione są na taśmach gumowych o grubości około 8 mm, i blokowane w płycie za pomocą taśm gumowych. Szczeliny zalewane są bitumitem gumowym. Tego typu konstrukcja charakteryzuje się dobrymi własnościami z punktu widzenia wibroakustyki. Poziom emitowanego dźwięku L_{max} przy przejeździe pojazdów tramwajowych wynosił 76 do 78 dB(A). Poziom drgań mierzonych w odległości 6 m dla częstotliwości 9 Hz wynosił 6,7 – 9,0 μm , w zależności od podbudowy 9 (zwałowany tłuczeń, asfaltobeton).

2.7 Konstrukcja wbudowanego torowiska (tradycyjnego) z płytami na układzie wibroizolacji.

Na rys.7 przedstawiono schemat konstrukcyjny torowiska posadowionego na wibroizolacji. Badania tego typu przeprowadzono w Krakowie przy ul. Starowiślniej, Lubicz i Zwierzynieckiej.

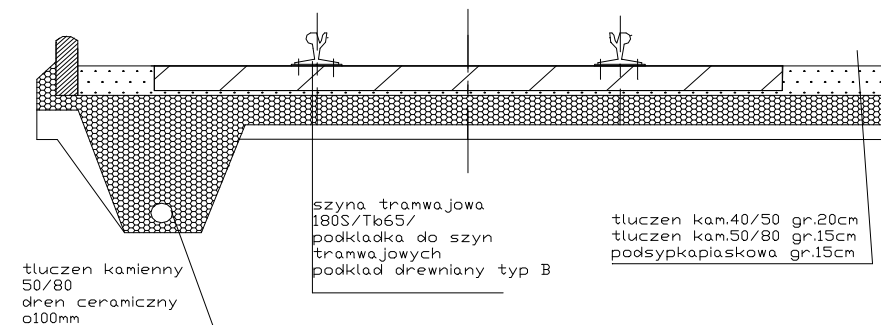


Rys.7. Konstrukcja torowiska tradycyjnego z płytami na układzie wibroizolacji.

Poziom emitowanego dźwięku L_{max} w trakcie przejazdu pojazdów tramwajowych wynosił 72 dB(A). Poziom drgań mierzonych w odległości 10 m wynosił 0.26 μm dla częstotliwości 2,5 Hz.

2.8 Tor wydzielony na podkładach drewnianych z mocowaniem typu K z zasypką główką szyny.

Na rys.8. przedstawiono schemat konstrukcyjny torowiska wydzielonego na podkładach drewnianych z mocowaniem typu K z zasypką główką szyny. Torowisko takie składa się z warstwy żwiru sięgającego poziomu główki szyny, szyny mocowanej do podkładu drewnianego za pośrednictwem podkładki żeliwnej. Samo mocowanie jest realizowane za pomocą systemu typu „K”. Podkłady drewniane spoczywają na warstwach tłucznia o zmiennej granulacji.

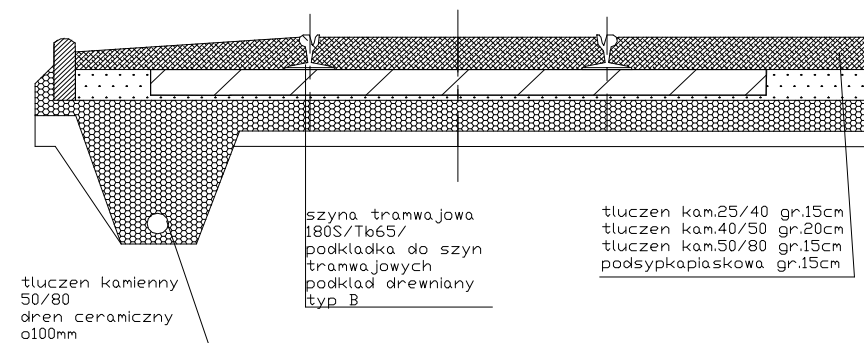


Rys. 8. Torowisko na podkładach drewnianych z mocowaniem typu K z zasypaną główką szyny.

Z punktu widzenia wibroakustycznego układ ten charakteryzuje się dobrymi własnościami tłumiącymi hałas oraz dźwięki materiałowe, wynika to z własności tłumiących zastosowanego drewna oraz tłucznia, aczkolwiek istnieje w tej konstrukcji węzeł, pomiędzy szyną oraz podkładką żeliwna o dużej aktywności akustycznej. Również sposób mocowania szyny do podkładu na sztywno za pomocą połączenia typu „K” stanowić może dodatkowe źródło hałasu i drgań. Z punktu widzenia drgań tego typu konstrukcja jest nieprawidłowa ze względu na znaczne wartości tłumienia tłucznia i drewna co powoduje, że siły przekazywane na podłoże od pojazdów szynowych nie są zredukowane w pełni. Badania tego typu torowiska przeprowadzono w Krakowie przy ul. Majakowskiego. Poziom emitowanego dźwięku L_{max} przy przejeździe pojazdów tramwajowych wynosił 80.9 do 87 dB(A). Poziom drgań mierzonych w odległości 10m. wynosił 4.23 μm dla częstotliwości 8Hz i 2.66 μm dla częstotliwości w zakresie 10-35 Hz.

2.9 Tor wydzielony na podkładach drewnianych z mocowaniem typu K z zasypanymi podkładami.

Na rys. 9. przedstawiono schemat konstrukcyjny torowiska wydzielonego na podkładach drewnianych z mocowaniem typu K z zasypanymi podkładami. Torowisko takie składa się z warstwy żwiru sięgającego poziomu podkładu, szyny mocowanej do podkładu drewnianego za pośrednictwem podkładki żeliwnej. Samo mocowanie jest realizowane za pomocą systemu typu „K”. Podkłady drewniane spoczywają na warstwach tłucznia o zmiennej granulacji.

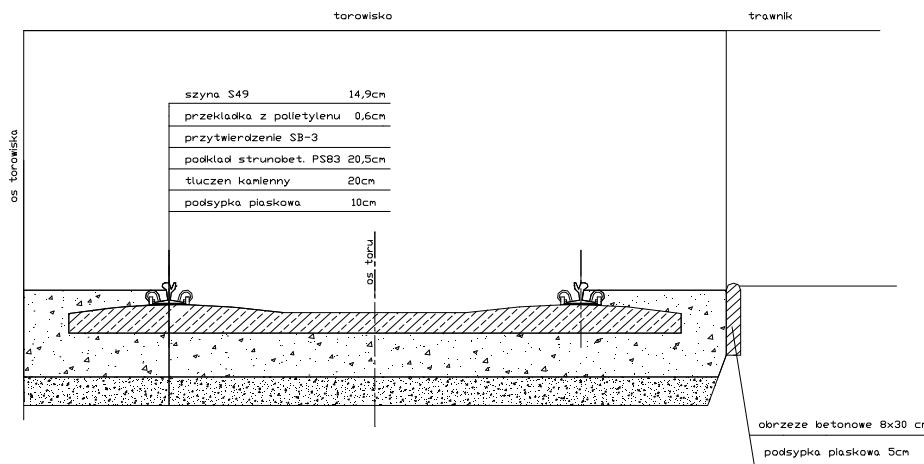


Rys.9. Torowisko na podkładach drewnianych z mocowaniem typu K z zasypanymi podkładami

Z punktu widzenia wibroakustycznego układ ten charakteryzuje się znacznie gorszymi własnościami tłumiącymi hałas oraz dźwięki materiałowe niż poprzedni typ torowiska, a powodem tego jest brak tłumienia dźwięków materiałowych emitowanych przez szynę. Aktywność węzłów akustycznych i drganiowych identycznych jak w poprzednim typie jest dodatkowo wzmocniona możliwością odrywania się podkładów od podłoża. Dlatego konstrukcja ta jest zupełnie nie prawidłowa z punktu widzenia wibroakustycznego, gdyż oprócz poprzednio wymienionych wad występuje możliwość dodatkowych drgań w wyniku odrywania się podkładów przy przejeździe wagonów pojazdów tramwajowych. Badania tego typu torowiska przeprowadzono we Wrocławiu przy trasie W-Z, w Łodzi przy ul. Wojska Polskiego oraz w Krakowie przy Al. Solidarności. Poziom emitowanego dźwięku L_{max} przy przejeździe pojazdów tramwajowych wynosił od 78.5 do 88 dB(A). Poziom drgań mierzonych w odległości 10m. wynosił 8.24 μm dla częstotliwości 6Hz we Wrocławiu oraz 6.78 μm dla częstotliwości 6Hz w Łodzi.

2.10 Tor wydzielony na podkładach betonowych z mocowaniem typu K.

Na rys. 10. przedstawiono schemat konstrukcyjny torowiska wydzielonego na podkładach betonowych z mocowaniem typu K. Torowisko takie składa się z warstwy żwiru sięgającego poziomu podkładu, szyny mocowanej do podkładu betonowego za pośrednictwem podkładki żeliwnej. Samo mocowanie jest realizowane za pomocą systemu typu „K”.

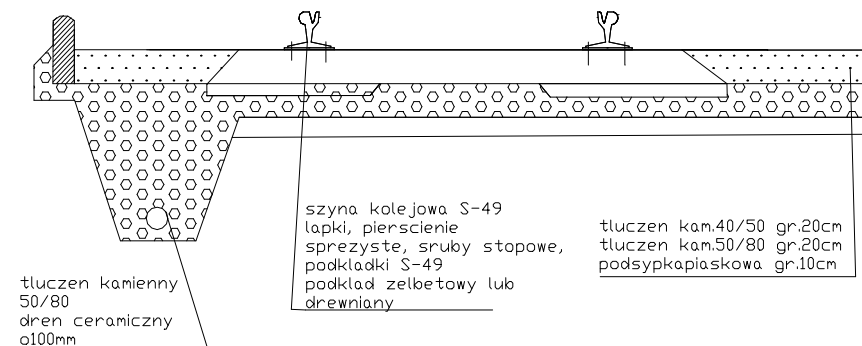


Rys. 10. Torowisko na podkładach betonowych z mocowaniem typu K.

Podkłady betonowe spoczywają na warstwach tłucznia o zmiennej granulacji. Z punktu widzenia wibroakustycznego układ ten charakteryzuje się identycznymi własnościami tłumiącymi hałas oraz znacznie gorszymi własnościami tłumiącymi dźwięki materiałowe ze względu na dużą sztywność podkładu. Aktywność węzłów akustycznych i drganiowych jest identyczna jak w poprzednim typie torowiska, z możliwością odrywania się podkładów od podłoża. Stąd też ta konstrukcja jest również nieprawidłowa z punktu widzenia wibroakustyki, gdyż oprócz wymienionych wad występuje możliwość dodatkowych drgań w wyniku odrywania się podkładów przy przejeździe wagonów tramwajowych. Badania tego typu torowiska przeprowadzono w Łodzi przy ul. Kopcińskiego oraz Kilińskiego. Poziom emitowanego dźwięku L_{max} w trakcie przejazdu pojazdów tramwajowych wynosił od 81.9 do 83.9dB(A). Poziom drgań mierzony w odległości 12 m wynosił 5.32 μm dla częstotliwości 6Hz.

2.11 Tor wydzielony na podkładach betonowych z mocowaniem typu SB-3.

Na rys. 11. przedstawiono schemat konstrukcyjny torowiska wydzielonego na podkładach betonowych z mocowaniem typu SB-3. Torowisko takie składa się z warstwy żwiru sięgającego poziomu podkładu, szyny mocowanej do podkładu betonowego za pośrednictwem podkładki elastycznej. Szyna mocowana jest do podkładu sprężyną SB-30c. Podkłady betonowe spoczywają na warstwach tłucznia o zmiennej granulacji. Z punktu widzenia wibroakustycznego układ ten charakteryzuje się znacznie poprawionymi parametrami tłumiącymi hałas jak również



Rys. 11. Konstrukcja torowiska wydzielonego z przytwierdzeniem sprężystym.

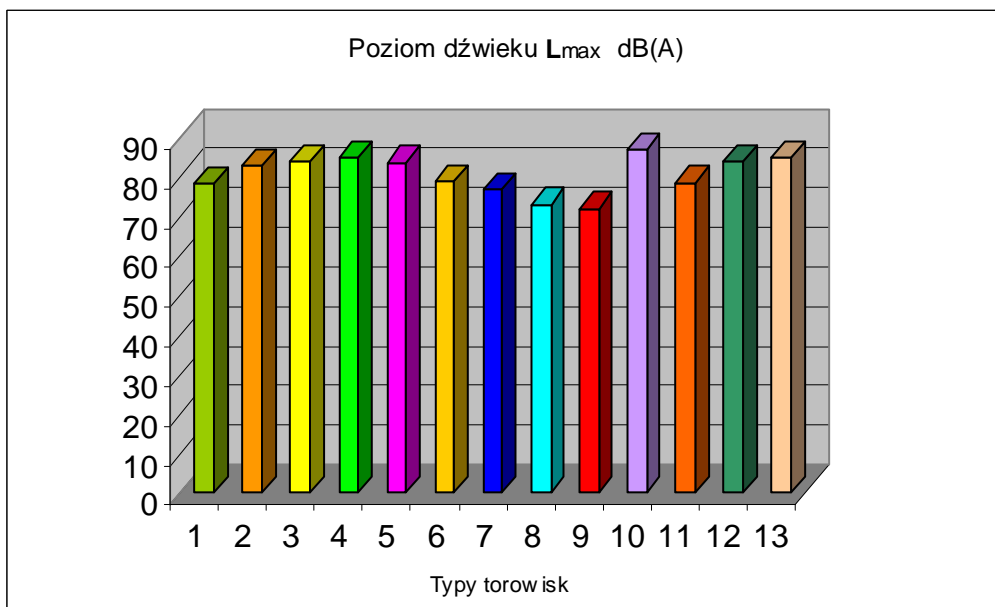
własnościami tłumiącymi dźwięki materiałowe ze względu na zastosowanie elementów elastycznych pomiędzy szyną, a podkładem oraz szyną i mocowaniem. Aktywność węzłów akustycznych jest ograniczona do emisji hałasu wynikającego z drgań materiałowych szyny. Niekorzystnym zjawiskiem, które może powstawać w trakcie eksploatacji torowiska jest

możliwość odrywania się podkładów od podłoża. Stąd też konstrukcja ta nie jest prawidłowa z punktu widzenia drgań, gdyż może być przyczyną nadmiernych oddziaływań dynamicznych na otoczenie. Badania tego typu przeprowadzono w Krakowie przy Al. Jana Pawła II. Poziom emitowanego dźwięku L_{max} w trakcie przejazdu pojazdów tramwajowych wynosił od 82.6 do 84.7dB(A). Poziom drgań mierzonych w odległości 10m. wynosił $4.37\mu m$. dla częstotliwości 8 Hz.

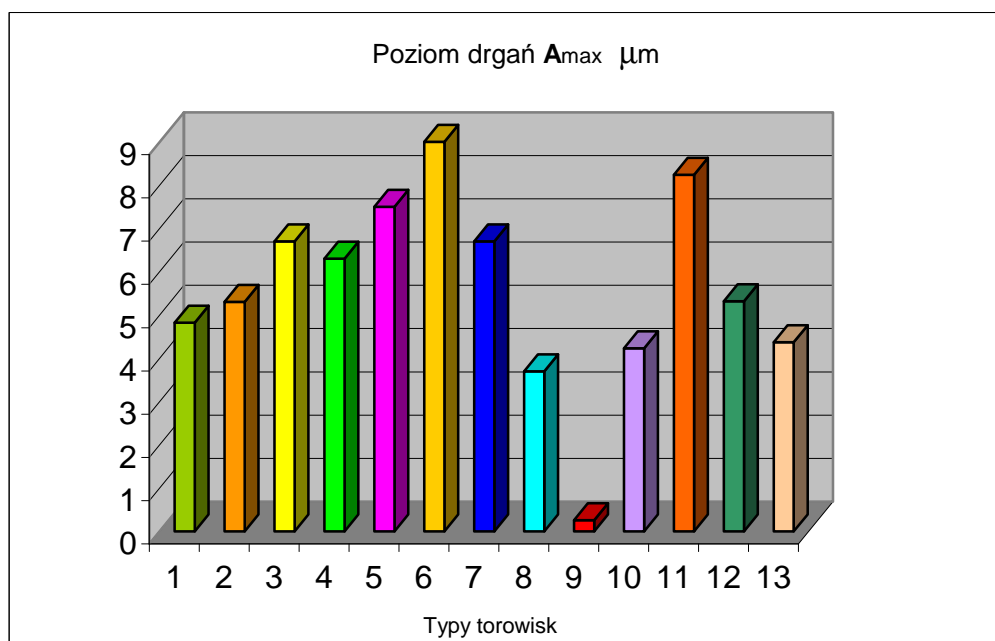
Wyniki pomiarów w oparciu o które przeprowadzono powyższą analizę, zestawiono w tab. 1 oraz w postaci wykresów na rys. 12 i 1.3. Pomiary były przeprowadzane w odległości 6 –12 m od skrajni torowiska.

Tab.1.

| Typ torowiska | Miejsce pomiarów | L_{max} dB(A) | A_{max} μm | Nr. rysunku |
|--|--|--------------------|----------------------|-------------|
| TOROWISKA WBUDOWANE W JEZDNIE | | | | |
| 1. Torowisko na podbudowie asfaltobetonowej zabudowane płytami typu EPT | Wrocław, ul. Sądowa | 78,2 | 4,82 | Rys.1 |
| 2. Torowisko na podbudowie betonowej zabudowane płytami typu EPT pokryte dywanikiem z asfaltu lanego | Łódź, ul. Narutowicza, | 83 | 5,3 | Rys.5 |
| 3. Torowisko na podbudowie asfaltobetonowej zabudowane płytami typu EPT pokryte dywanikiem z asfaltu lanego | Wrocław, ul. Krupnicza ul. Kilińskiego | 84 83 | 6,7 6,7 | Rys.2 |
| 4. Tor typu „Ptasznik” | Łódź, ul. Wojska Polskiego, ul. Limanowskiego | 84,7 82,4 | 6,3 6,0 | Rys.4 |
| 5. Tor typu „Ptasznik” | Wrocław, ul. Reymonta | 83,6 | 7,5 | Rys. 4 |
| 6. Tor typu „węgierskiego” | Kraków, ul. Kalwaryjska | 78,6 | 9,0 | Rys.6 |
| 7. Tor typu „węgierskiego” na podbudowie asfaltobetonowej | Kraków, ul. Limanowskiego | 76,6 | 6,7 | Rys. 6 |
| 8. Torowisko wibroizolowane na podbudowie asfaltobetonowej zabudowane płytami pokryte dywanikiem z asfaltu lanego | Kraków, ul. Starowiślna ul. Lubicz | 77,8 73 | 3,76 3,3 | Rys.7 |
| 9. Torowisko wibroizolowane na podbudowie asfaltobetonowej zabudowane kostką | Kraków ul. Zwierzyniecka | 72 | 0,26 | Rys. 7 |
| TOROWISKA WYDZIELONE | | | | |
| 10. Tor z zasypaną główką szyny i podkładami drewnianymi | Kraków, ul. Majakowskiego | 87 | 4,23 | Rys. 8 |
| 11. Tor z zasypanymi podkładami drewnianymi | Kraków, Al. Solidarności | 78,5 | 8,24 | Rys .9 |
| 12. Tor z zasypanymi podkładami betonowymi | Łódź, ul. Kopcińskiego | 83,9 | 5,32 | Rys. 10 |
| 13. Tor z zasypanymi podkładami betonowymi z przytwierdzeniem typu SB-3 | Kraków, Al. Jana Pawła II | 84,7 | 4,37 | Rys.11 |



Rys.12. Poziom dźwięku L_{max} dB(A) poszczególnych ocenianych typów torowisk.



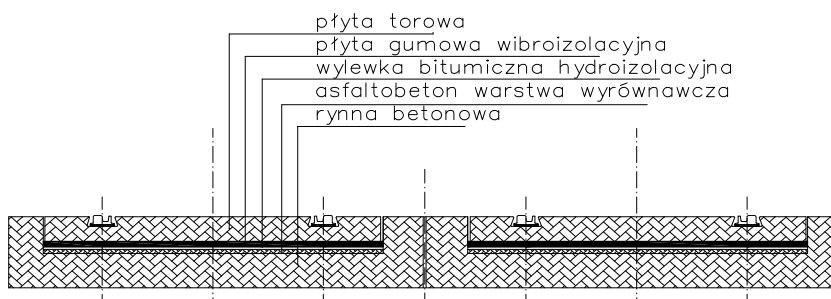
Rys.13. Poziom drgań A_{max} [μm] poszczególnych ocenianych typów torowisk.

Porównując wyniki badań przedstawione w tab.1. oraz na wykresach rys. 12 i 13 można stwierdzić, że idea torowiska posadowionego na wibroizolacji jest jak najbardziej słuszną, typ torowisk nr 8 i 9, gdyż widać wyraźnie że poziom emitowanego dźwięku a w szczególności amplitud przemieszczeń drgań jest znacznie niższy. Należy przy tym pamiętać, że torowisko nr 8 było remontowane na przełomie lat 1988/1989, a w 1994 roku kiedy wykonywano badania kontrolne powinno podlegać już remontowi średniemu. Stopień jego zużycia był jednak tak niewielki, że z powodzeniem mogło być eksploatowane w dalszym ciągu. Oznacza to, że w oparciu o tego typu konstrukcję należy poszukiwać przyszłościowego rozwiązania torowisk pojazdów szynowych przebiegających w aglomeracjach miejskich.

3. WNIOSKI

Prowadząc analizę konstrukcji kilkunastu typów torowisk stosowanych w kraju można stwierdzić, że brak jest konstrukcji idealnej, aczkolwiek bliskie ideału jest torowisko posadowione na układzie wibroizolacji z dywanikiem z lanego asfaltu. Koncepcje wibroizolowanych torowisk powstała w Instytucie Mechaniki i Wibroakustyki a były rozwijane w Katedrze Mechatroniki i Robotyki. Wszystkie inne rozwiązania są uciążliwe ze względu na hałas emitowany w trakcie przejazdu tramwaju lub drgania przekazywane do otoczenia. Ta ostatnia wada jest szczególnie uciążliwa w aglomeracjach miejskich gdzie w sąsiedztwie linii tramwajowej znajdują się budynki mieszkalne. Wadę tę skutecznie można

wyeliminować budując torowiska posadowione na wibroizolacji. Reasumując należy stwierdzić, że idealną konstrukcją byłoby torowisko będące kompilacją toru "węgierskiego" - skutecznie tłumi drgania materiałowe oraz toru na podbudowie z asfaltobetonu z układem wibroizolacji zapewniającego efektywną eliminację oddziaływań dynamicznych na ludzi i konstrukcje urbanistyczne przy zapewnieniu prawidłowej stabilizacji i hydroizolacji gruntu. Schemat konstrukcyjny takiego torowiska opracowana w oparciu koncepcje autora została przedstawiona na rys.14.



Rys.14. Schemat konstrukcyjny torowiska kompilacyjnego – pełna wersja.

Tego typu konstrukcje mają jeszcze tą zaletę, że mogą być stosowane jako jezdnia dla pojazdów samochodowych, np. wjazd na most Grunwaldzki w Krakowie stanowiący jednocześnie torowisko tramwajowe i drogę dla pojazdów samochodowych komunalnych, eliminując również w znacznej mierze emisję hałasu oraz drgań od tego rodzaju transportu. Zastosowanie każdego innego rozwiązania niesie za sobą możliwość emisji nadmiernego hałasu lub nadmiernych oddziaływań dynamicznych na otoczenie w trakcie przejazdu pojazdu tramwajowego lub samochodowego.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Targosz J.: *Układy wibroizolacji w transporcie szynowym i samochodowym.*, Kraków, UWN-D 2007.
- [2] Adamczyk J., Targosz J., i inni. *Patent RP nr.158439. Układ wibro i dźwiękoizolacji podtorzy szynowych oraz dróg jezdnych.* Warszawa 1993.
- [3] Targosz J., i inni., *Ocena możliwości stosowania zabezpieczeń wibroakustycznych torowisk tramwajowych i dróg jezdnych (ulic), dobór najkorzystniejszej konstrukcji z punktu widzenia ekonomicznego i ochrony środowiska.* MOŚiL, Warszawa 1993.
- [4] Tholen J. *Przedsięwzięcia przeciwdziałające drganiom wytwarzanym przez ruch drogowy- tłumaczenie ze szwedzkiego.* TRAVI -A, UPTEC 8143 R, Institut of Technology, Uppsala University 1981