

Ochrona podtorza w warunkach intensywnej zabudowy

Subgrade protection in urban environment



Igor Gisterek

dr inż.

Politechnika Wrocławska, Katedra Mostów i Kolei

igor.gisterek@pwr.edu.pl

Streszczenie: W artykule opisano zagadnienia ochrony podtorza w warunkach ograniczonej przestrzeni śródmiejskiej. Poruszono wybrane zagadnienia rozwoju miejskiego transportu szynowego. Opisano ogólne założenia ochrony antywibracyjnej. Krótko porównano nawierzchnie podsypkowe i bezpodsypkowe w zakresie emisji drgań. Przytoczono przykład realizacyjny z Bochum – Langendreer. Całość zakończono podsumowaniem i wnioskami.

Słowa kluczowe: *Wibroizolacja; Nawierzchnia bezpodsypkowa; Szynowy transport miejski*

Abstract: The paper deals with protection of subgrade in densely built areas. Chosen aspects of urban rail transport were described. General principles of vibration protection were highlighted. Short comparison on vibration properties of ballasted and slab track was presented. An example from Bochum – Langendreer was described. The paper ends with final conclusions and summary.

Keywords: *Vibroinsulation; Slab track; Urban rail transport*

Obserwowany obecnie trend rozbudowy połączeń komunikacyjnych dotyczy głównie terenów intensywnie zurbanizowanych. Ze względu na upadek planowania przestrzennego, niekontrolowane rozlewanie się zabudowy na tereny peryferyjne i podmiejskie oraz wieloletnie zaległości inwestycyjne, nowe trasy transportu zbiorowego powstają najczęściej jako przedłużenia linii istniejących. Występują również przypadki przełożenia istniejących tras ze względu na powstanie bardziej intensywnej zabudowy poza zasięgiem atrakcyjności od trasy istniejącej.

W wielu miejscach obserwuje się brak zachowania wystarczających rezerw terenowych dla potrzeb korytarza komunikacyjnego, co powoduje znaczne zbliżenie torowiska lub jezdnii do istniejącej zabudowy.

Poza specjalnymi konstrukcjami nawierzchni, w takich lokalizacjach konieczne jest stosowanie odpowiednich środków ochrony podłoża, aby zminimalizować negatywny

wpływ nowej trasy w postaci drgań i hałasu na otoczenie.

Środki ochrony przed drganiami

Do podstawowych środków ochrony w transporcie szynowym należą różnego rodzaju elementy o charakterystyce sprężysto – tłumiącej. Dłuższą tradycję mają elementy dedykowane konwencjonalnej nawierzchni podsypkowej, gdzie np. podszytowe przekładki topolowe były stosowane przez wiele dziesięcioleci, aż do rozpowszechnienia się tworzyw sztucznych o odpowiednio wysokich parametrach. Pomimo nieustannego rozwoju, nawierzchnia klasyczna napotyka na znaczne ograniczenia, które zmniejszają jej przydatność w zastosowaniach ekstremalnych, jak koleje dużych prędkości, koleje o bardzo dużych naciskach osiowych czy szynowy transport miejski. Ponieważ za większość wad takiego toru odpowiada warstwa tłuczni [9], od połowy XX wieku trwają intensywne

prace badawcze – rozwojowe nad nawierzchniami bezpodsypkowymi. Stosunkowo szybko okazało się, że i te systemy nie są pozbawione wad, między innymi dlatego, że wymagają bardzo wysokiej jakości wykonawczej, mają małą możliwość regulacji, a przede wszystkim charakteryzują się większą niż w nawierzchni klasycznej emisją drgań i hałasu. Wynika to z zastąpienia stosunkowo dobrze tłumiącej drgania podsypki tłuczniowej warstwą betonu. Dlatego też konieczne jest uzupełnianie nawierzchni bezpodsypkowych o co najmniej jeden rodzaj elementów wibroizolacyjnych, obecnie wytwarzanych z tworzyw sztucznych o odpowiednio dobranej charakterystyce materiałowej [1]. Należą do nich maty podtorowe, sprężyste podpory podkładów i przekładki podpodkładowe (elementy umieszczone między płytą przytwierdzenia, zasadniczo podkładką żebrową, a podkładem lub betonową płytą nawierzchni), jednak ich stosowanie w nowych projektach i realizacjach

nie jest jeszcze powszechne. Wiedza o stosowaniu takich środków w środowisku branżowym jest ciągle wyrywkowa i fragmentaryczna. Nieco lepszym podejściem jest stosowanie kompletnych rozwiązań systemowych, jednak i one charakteryzują się pewną zmiennością wynikającą z dostosowania do rozmaitych warunków. Tymczasem dla skutecznej pracy nawierzchni i podtorza kluczowy jest trafny, oparty na inżynierskich przesłankach, dobór odpowiednich produktów o wskazanych charakterystykach. Zaniedbanie podstawowych wymagań w tym zakresie może doprowadzić wręcz do pogorszenia wpływu toru na otoczenie w stosunku do konstrukcji eksploatowanej w tym samym miejscu przed remontem. Należy jednocześnie podkreślić, że dzięki zastosowaniu środków ochrony wibroakustycznej w konstrukcji nawierzchni szynowej redukcji ulegają drgania i hałas wtórny, co ma związek z utrudnieniem transmisji poprzez wprowadzenie elementów dyssypujących energię w pobliżu źródła emisji [2]. Jednocześnie wpływ takich środków na poziom hałasu pierwotnego pozostaje praktycznie niezauważalny, a pojęcia te niejednokrotnie są mylone, jak w [5]. Istotne zagrożenie kryje się w nieumiejętnym doborze technik wibroizolacji, ponieważ nadmierne podbicie pasm tercjowych najniższych częstości (około 5Hz) może doprowadzić do powstania zjawiska rezonansu z elementami jak ściany czy stropy budowli przyległych do torów i w wyniku tego spowodować przekroczenia wartości zapisanych w normach [6] i [7], a w skrajnych przypadkach pogorszyć sytuację w stosunku do tej przed remontem.

Przykład – Bochum Langendreer

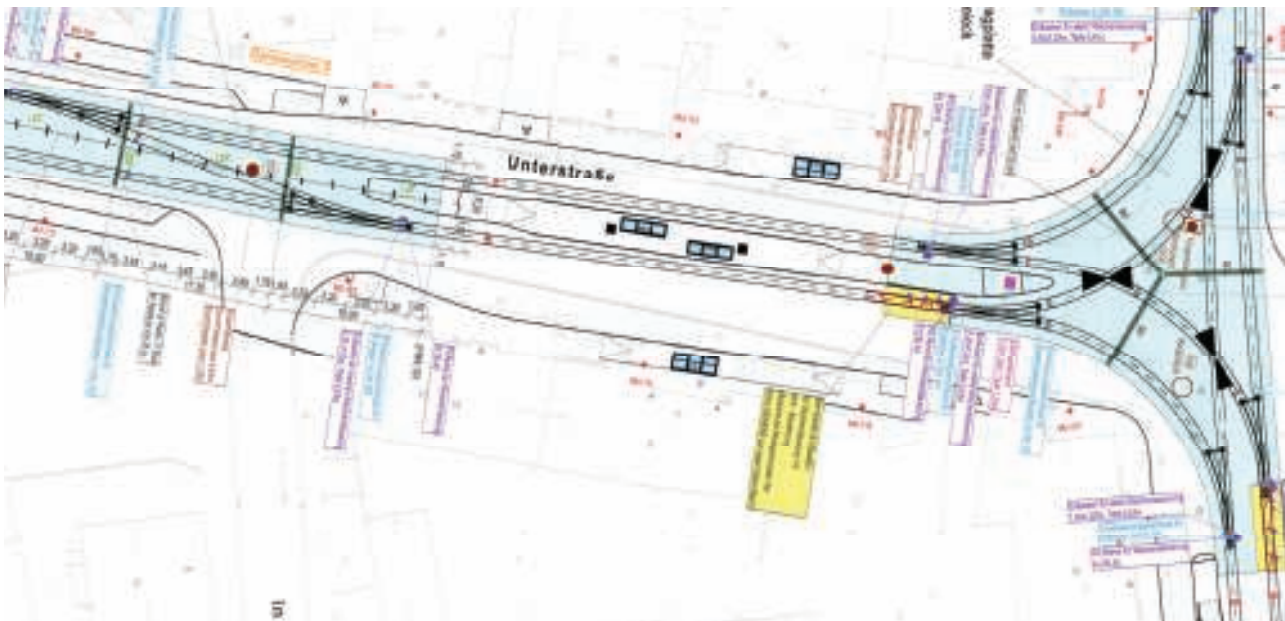
Linia tramwajowa 310 łączy położone w Zagłębiu Ruhry osiedla Höntrop i Witten, przebiegając w zasadzie równoleżnikowo. W latach 2009 – 2011 w celu lepszego powiązania poszczególnych elementów sieci transportowej regionu zdecydowano się na

częściową zmianę przebiegu tej linii. Obecnie od przystanku Unterstrasse na skrzyżowaniu ulic Unterstrasse i Universitätstrasse do przystanku Crengeldanz na obrzeżach Witten torry przebiegają głównie wzdłuż korytarza autostrady A44, stanowiącej jednocześnie skraj zabudowy. W wyniku wprowadzonych zmian na trasie pojawi się siedem nowych przystanków, a jej przebieg zostanie znacznie wydłużony w celu obsługi całego miasta Langendreer wzdłuż ulic Unterstrasse i Hauptstrasse. Decyzję taką podjęto z powodu spodziewanych znacznych potoków pasażerskich – mimo umiarkowanej liczby mieszkańców Langendreer wynoszącej około 25 tys., parametrem decydującym o przełożeniu trasy jest stosunkowo wysoka gęstość zaludnienia (2101 osób/km²), porównywalna np. z wrocławską (2160 osób/km²). Co istotne z punktu widzenia pewności prowadzenia ruchu, odcinek zasadniczo jednotorowy z krótką mijanką na wiadukcie nad autostradą zostanie zastąpiony trasą w pełni dwutorową. Elementem szczególnym, rzadko spotykanym w ciągu tras tramwajowych czy lekkich kolei, będzie obsługa pośredniej krańcówki położonej przy stacji kolejowej Bochum – Langendreer dla lepszego powiązania tramwaju i szybkiej kolei miejskiej (S-Bahn). Przejazd przez ten przystanek jest związany ze zmianą czoła pojazdu. Analiza tego rozwiązania prowadzi do wniosku, że uzasadnione jest wydłużanie tras dla obsługi znacznych generatorów ruchu, co znajduje liczne potwierdzenie np. w [3].

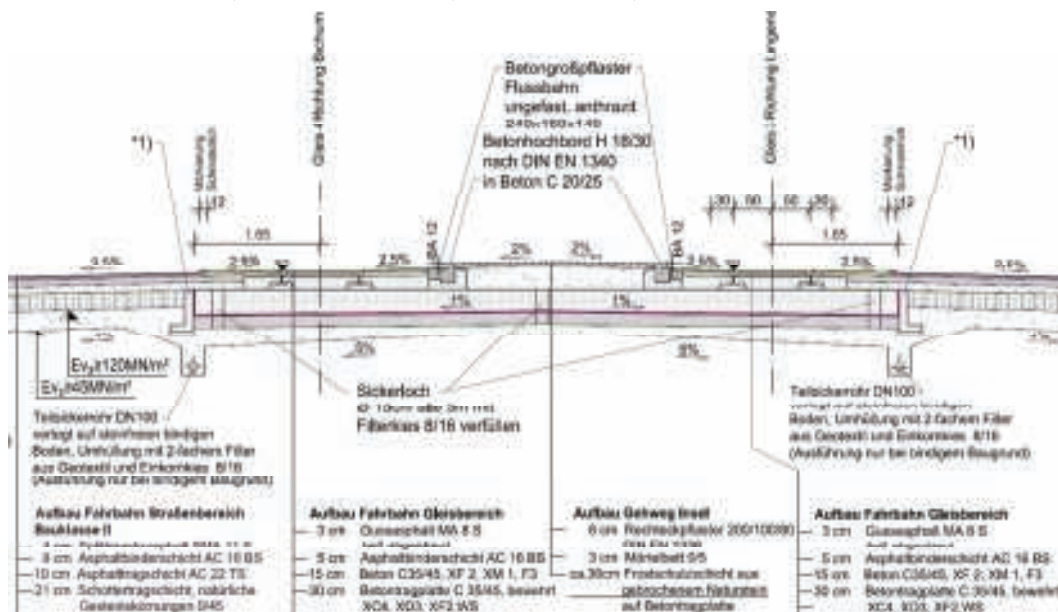
Dla powiązania odnogi trasy prowadzącej w kierunku północnym w stronę dworca Bochum – Langendreer z podstawowym przebiegiem trasy, zakręcającym z równoleżnikowej Unterstrasse w południkowo położoną Hauptstrasse, konieczne było skonstruowanie węzła rozjazdowego. Zdecydowano się na typowy dwutorowy układ w kształcie litery T, z dodatkowym połączeniem torowym (tzw. przejście półtrapezowe) poza peronami w obrębie Unterstrasse. W węźle ulokowano dwa zespoły

przystanków; w ciągu Unterstrasse znajduje się przystanek tramwajowy wyspowy oraz położone równolegle z nim dwa przystanki autobusowe wyodrębnione w chodnikach, natomiast w Hauptstrasse zlokalizowano zewnętrznie do torów dwa przystanki w postaci wysp jednokrawędziowych.

Ze względu na znaczne zbliżenie zabudowy do torów, miejscami nie przekraczające 4m, oraz charakter tej zabudowy (budynki mieszkalne i usługowe) konieczne było osiągnięcie niskiego oddziaływania na otoczenie. Obiektem szczególnej troski był dom o konstrukcji szachulcowej z roku 1812, położony najbliżej skrzyżowania. Według założeń opisanych w pracy [4], wpływ drgań na budynki oraz na ludzi w budynkach przy tak małych odległościach jest bardzo duży. Ocenia się, że dla ruchu pasażerskiego granice strefy oddziaływań rozciągają się na 35m w przypadku budynków i 65m uwzględniając ich odczuwalność przez człowieka, natomiast dla ruchu towarowego i mieszanego dystans ten wynosi odpowiednio 45 i 80m. Ze względu na minimalną odległość od budynków i związane z tym prognozowane znaczne oddziaływania, przeprowadzono bardzo szczegółową analizę [8], gdzie określone zostały podstawowe parametry jak pożądana grubość maty, jej sztywność statyczna oraz dynamiczna. Biorąc pod uwagę małą szerokość przekroju ulicznego, oczywista stała się konieczność umieszczenia wszystkich mediów, łącznie z kanalizacją grawitacyjną, pod płytą nośną systemu masowo – sprężystego. Ponieważ istniało ryzyko powstania uszkodzeń poszczególnych przewodów i przyłączy, zdecydowano się na zwiększenie grubości warstw podbudowy wykonanych z kruszyw przy jednoczesnym wydajnym drenażu w postaci 2 – 4 ciągów, zależnie od miejsca. Rozwiązaniami alternatywnymi mogły być w tym przypadku: system masowo – sprężysty podparty powierzchniowo, na podporach pasmowych, na podporach punktowych elastomerowych,



1. Fragment planu układu torowego z zaznaczeniem obszaru zastosowania systemu masowo-sprężystego (kolor błękitny). iproplan, Bogestra 2013



2. Fragment przekroju poprzecznego ulicy Unterstrasse z pokazaniem systemu masowo-sprężystego. iproplan, Bogestra 2013

na podporach punktowych stalowych oraz kombinowany, tj. na podporach stalowo - elastomerowych. Ze względu na fakt występowania licznych instalacji podziemnych zdecydowano się zastosować rozwiązanie o jak najmniejszej grubości konstrukcyjnej.

Zastosowany system masowo - sprężysty

W związku z ustaleniami zawartymi w pracy [8] obydwa obszary kluczowe, tj. węzeł rozjazdowy i półtrapez z ich zwrotnicami i krzyżownicami zdecydowano się wykonać w postaci lekkiego systemu masowo - spręży-

stego podpartego powierzchniowo. Płyty węzła oraz półtrapezu podzielono na trzy części, przy czym w węźle segmenty przyjęły kształt zbliżony do deltoidów spotykających się wierzchołkami, zaś w półtrapezie - prostokątów ułożonych szeregowo. Zostały one połączone ze sobą trzpieniami dylatacyjnymi w rozstawie 25 cm, co pokazano na ilustracji 1. W wybranych miejscach zastosowano również pełne otulenie szyn oraz poprzeczki torowych elementami elastycznymi w skład którego wchodzi otworowane profile gumowe.

Na podłożu betonowym oraz ściankach bocznych ułożono maty wi-

broizolacyjne, które posłużyły jednocześnie jako szalunek tracony do wykonania płyty nośnej torowiska (rys. 2). Zdecydowano się na dobór maty profilowanej USM 2020, która wymaga układania na równym i nośnym podłożu, ale dzięki rozmieszczonym regularnie na dolnej powierzchni elastycznym stożkom w pełni przewidywalny i liniowy sposób reaguje na zmianę obciążenia. Mniejsze elementy jak studnie obłożono matą dwustronnie gładką, wykonaną z granulatu gumowego. Dla uniknięcia dużej ilości docięć, matę układano z rolki podłużnie do przebiegu przyszłych torów (rys. 3, 4). Ponieważ na jednej krawędzi maty występu-



3. Widok ogólny montażu systemu masowo – sprężystego: etap rozkładania poziomych mat wibroizolacyjnych na przygotowanym podłożu. fot. Calenberg Ingenieure



4. Widok ogólny montażu systemu masowo – sprężystego: etap rozkładania pionowych mat wibroizolacyjnych oraz profili łączących. fot. Calenberg Ingenieure

je mankiet ochronny o szerokości 10 cm, nie było potrzeby układania na górnej powierzchni wibroizolacji dodatkowej geowłókniny zabezpieczającej. Dla ochrony przed przenikaniem mieszanki betonowej pomiędzy stożki, mankiet przymocowywano zszywaczem budowlanym do przyległej powierzchni. Prace budowlane zakończono w sierpniu 2015.

Dzięki zastosowaniu stosunkowo płytkiego systemu nie tylko uniknięto głębokiej ingerencji w instalacje podziemne. Ponieważ konstrukcja masowo – sprężysta została podparta powierzchniowo i posadowiona na jednolitej, nośnej warstwie betonu, w ten sposób zminimalizowano i wyrównano naciski na podłoże grunto-we pod konstrukcją toru i jezdni. W związku z tym podczas eksploatacji toru należy oczekiwać małych i rów-

nomiernych osiadań konstrukcji. Należy jednak zauważyć, że mimo powyższych zalet sam rozmiar całej płyty nośnej w powiązaniu z jej monolitycznym charakterem powoduje znaczne utrudnienia przy dostępie do instalacji podziemnych w razie konieczności ich wymiany lub naprawy.

Podsumowanie

W najbliższych latach polskie miasta będą prowadzić intensywne remonty i przebudowy infrastruktury transportu kolejowego i tramwajowego. W obydwu przypadkach liczne są lokalizacje, w których oddziaływania generowane w torze w znaczny sposób przekraczają dopuszczalne wymogi normowe. Samo zapisanie w projekcie konieczności wykonania zabezpieczeń wibroakustycznych nie

stanowi jeszcze rozwiązania problemu. Niebezpieczne jest również bezrefleksyjne przenoszenie na polski rynek rozwiązań stosowanych w krajach zachodnich, czy też kopiowanie projektów i wymogów odnośnie wibroizolacji dla różnych zadań inwestycyjnych. Istotny jest bowiem skuteczny, oparty na inżynierskich przesłankach i obliczeniach, a w trudniejszych przypadkach na modelowaniu komputerowym, dobór odpowiednich systemów, które zagwarantują odpowiednio duże obniżenie poziomu oddziaływań we wszystkich pasmach tercjowych. Dopiero takie rozwiązanie będzie oznaczać poprawę komfortu mieszkańców oraz zwiększenie trwałości konstrukcji. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Darr E., Fiebig W.: Feste Fahrbahn. Eurailpress 2006
- [2] Fendrich L.: Handbuch Eisenbahninfrastruktur. Springer 2013
- [3] Groneck Ch., Schwandl R.: Tram Atlas Frankreich. Robert Schwandl Verlag 2014
- [4] Pachla F., Radecki-Pawlik B., Stypuła K., Tataro T.: Badania zasięgu wpływu drgań kolejowych na sąsiednią zabudowę – wybrane wyniki pomiarów drgań in situ i obliczeń symulacyjnych. Wibroszyn 2016
- [5] Plik „Opracowanie dokumentacji dla zadania Modernizacja stacji Libiąż na linii kolejowej nr 93 Trzebinia – Zebrzydowice: projekt budowlany”. PKP PLK 2015
- [6] PN-85/B-02170: Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki
- [7] PN-80/B-03040: Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach
- [8] Technische Lieferbedingungen Masse-Feder-Systeme Straßenbahnlinie 310 Bochum – Witten. I.B.U. Ingenieurbüro für Schwingungs-, Schall- und Schienenverkehrstechnik GmbH 2013
- [9] Skrzyński E.: Podtorze kolejowe KOW 2010