

TOROWISKA TRAMWAJOWE - WCZORAJ I DZIŚ

Streszczenie

W referacie dokonano przeglądu konstrukcji i technologii wykonania torowisk tramwajowych stosowanych we Wrocławiu, w innych miastach Polski oraz na świecie - obecnie oraz w przeszłości.

1. Wstęp

Większość dużych miast rozwiniętych gospodarczo państw świata stoi obecnie na granicy utraty zdolności funkcjonowania, głównie z powodu problemów transportowych. Z tego względu lokalne społeczności coraz częściej opowiadają się za realizacją polityki zrównoważonego rozwoju, która w zakresie transportu przyznaje priorytet dla komunikacji zbiorowej. Klasyczny tramwaj, w porównaniu z rozwojem sieci metra i SKM, przeżywa obecnie swój wielki renesans. Ten uznawany do niedawna za przestarzały środek komunikacji zbiorowej stał się polem zastosowania najnowocześniejszych technologii zarówno w dziedzinie taboru jak i infrastruktury. Dzięki wprowadzaniu komunikacji tramwajowej do starówek miast i stref zamieszkania oraz stosowaniu ciągów pieszo-tramwajowych i pasów autobusowo-tramwajowych, nastąpił również powrót do stosowania zabudowanych torowisk tramwajowych.

Konstrukcje torowisk tramwajowych historycznie wywodzą się z rozwiązań kolejowych. W przypadku torowisk wydzielonych z jezdni oraz występujących na ich długości poprzecznych przejazdów drogowych przez torowisko stosuje się najczęściej rozwiązania identyczne jak na kolei. Inaczej jest w przypadku torowisk zabudowanych, gdzie oprócz rozwiązania klasycznego (szyn na poprzecznych podkładach i podsypce) opracowano szereg nowych, niekonwencjonalnych konstrukcji, u których w zakresie podparcia i zamocowania szyny nastąpiło odejście od klasycznego kolejowego rusztu (szyn na poprzecznych podkładach) i zastosowanie rozwiązań zaczerpniętych z innych dziedzin budownictwa (np. fundamenty pod maszyny, mocowanie szyn suwnic) albo też zupełnie nowych, niestosowanych dotąd pomysłów, natomiast w zakresie zabudowy, podbudowy i odwodnienia nastąpiło z kolei upodobnienie się do rozwiązań stosowanych w drogownictwie.

W miastach polskich posiadających trakcję tramwajową, do końca lat 80-tych działalnością naprawczą i utrzymaniową w zakresie torowisk tramwajowych zajmowały się miejskie przedsiębiorstwa komunikacji, głównie przy pomocy własnych zakładów torowych. Stosowały one wypracowane przez siebie i sprawdzone rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne, zaspokajając występujące potrzeby remontowe. Praktycznie każde z miast posiadało "własną" optymalną konstrukcję tramwajowego toru zabudowanego. Przedsiębiorstwa komunikacji w tej dziedzinie zdane były na

własne siły, gdyż w kraju żadna jednostka naukowo-badawcza nie zajmowała się tą problematyką w sposób kompleksowy.

U schyłku lat 80-tych zakres środków przeznaczanych na remonty torów z roku na rok ulegał ograniczeniu, w efekcie czego proces dekapitalizacji torowisk tramwajowych w większości miast polskich prześcignął tempo dokonywanych remontów. Pojawiła się pilna potrzeba opracowania i rozpoczęcia stosowania nowych, trwalszych rozwiązań. W poprzednim systemie gospodarczym jednostki zajmujące się naprawą i utrzymaniem infrastruktury tramwajowej nie były jednak zainteresowane wprowadzaniem nowych technologii. Zgodnie z obowiązującym wtedy sposobem myślenia zwiększenie trwałości wykonywanych przez siebie remontów oznaczało ograniczanie popytu na swe usługi, co wiązało się z pomniejszeniem swej roli w procesie gospodarczym. Klimat ustrojowy sprzyjał więc wykorzystaniu wyłącznie tradycyjnych rozwiązań konstrukcyjnych, technologii i materiałów.

Sytuacja ta uległa diametralnej zmianie w latach 90-tych, kiedy to w naszym kraju rozpoczęto wprowadzanie reformy ustrojowej, powodującej zmiany w modelu zarządzania komunikacją zbiorową. Ustawa "O samorządzie terytorialnym" z 1990 roku przeniosła zadania organizowania lokalnej komunikacji zbiorowej z władz centralnych (województwo) na samorząd terytorialny (gminy). Ustawa "O zamówieniach publicznych" z 1995 roku nałożyła na jednostki zarządzające infrastrukturą komunikacji tramwajowej obowiązek rozstrzygania wyboru projektanta i wykonawcy robót na zasadzie przetargu. Pojawiły się nowe cele nie brane dotąd pod uwagę, a istotne w gospodarce rynkowej oraz w demokratycznie rządzonym społeczeństwie:

- zwiększenie trwałości torowisk (racjonalne wydatkowanie gminnych pieniędzy),
- ochrona przed prądami błądzącymi (odszkodowania dla innych firm za niszczenie infrastruktury podziemnej),
- ograniczenie emisji drgań i hałasu (ekologia, naciski samorządu),
- skrócenie cyklu budowy ze względu na uciążliwość (ekologia, naciski samorządu),
- estetyka wyglądu ulic (nacisk konserwatorów miejskich i architektów na stosowanie zabudowanych, bezpodsytkowych torowisk),
- oszczędności w zużyciu drewna (ekologia).

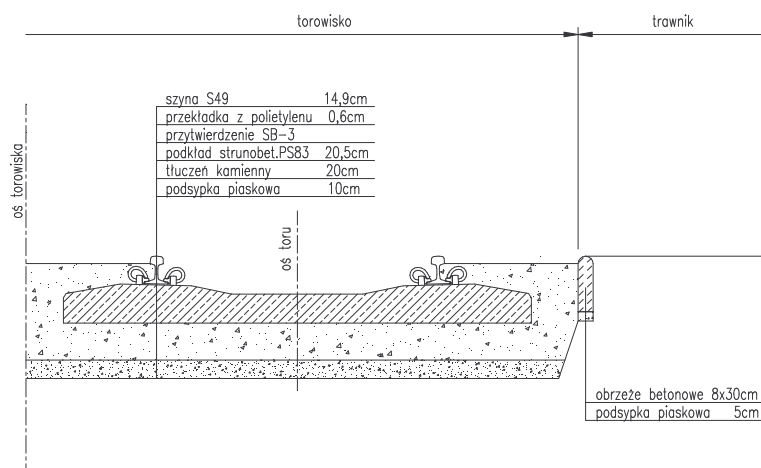
Dzięki wprowadzeniu zasad konkurencji nastąpiło podniesienie jakości świadczonych usług zarówno w projektowaniu jak i w wykonawstwie. Wprowadzenie gospodarki rynkowej zbliżyło cenowo nasze realia do realiów rozwiniętych państw, zagraniczne technologie stały się osiągalne na krajowym rynku. Nastąpił wzrost aktywności producentów z branży torowisk tramwajowych, zainteresowanych promocją i sprzedażą swych produktów i rozwiązań.

W efekcie tych przeobrażeń, w stosunku do często tylko jednego - tradycyjnego typu konstrukcji toru zabudowanego stosowanego w każdym z miast polskich przed początkiem lat 90-tych, po tym okresie nastąpiło rozpowszechnienie się wielu nowatorskich rozwiązań konstrukcji torów tramwajowych [1]. Proces ten jest szczególnie zauważalny w przypadku Wrocławia [2], gdzie wśród obecnie eksploatowanych typów torowisk zabudowanych możemy wyróżnić ponad 10 zupełnie odmiennych rozwiązań.

Przegląd konstrukcji tramwajowych torowisk przeprowadzono w niniejszym referacie z rozróżnieniem na rozwiązania stosowane we Wrocławiu, w innych miastach Polski oraz poza granicami naszego kraju, przy czym w dwu ostatnich przypadkach wzięto pod uwagę jedynie te typy konstrukcji, które jak dotąd nie znalazły zastosowania w przypadku torowisk wrocławskich.

2. Rozwiązania stosowane we Wrocławiu

W zakresie torowisk wydzielonych, w okresie powojennym standardem była nawierzchnia na podkładach drewnianych i warstwie podsypki grubości 20 cm. Warstwę filtracyjną stosowano jedynie w przypadkach nieprzepuszczalnego podłoża. Na podkładach z drewna sosnowego układano szyny S42 lub S49 za pośrednictwem kolejowego przytwierdzenia typu "K" albo tramwajowe 180W lub S bezpośrednio bez podkładek żebrowych, przytwierdzone do podkładów po obu stronach stopek szyn jedynie wkrętami. W 1965 roku po raz pierwszy zastosowano podkłady żelbetowe (belkowe i blokowe) jednak do czasu umieszczania w nich dybli drewnianych nie zyskały one popularności. Od momentu pojawienia się podkładów strunobetonowych były one stosowane (przeważnie INBK4 i PBS1) jednak na trasach położonych z dala od zabudowy mieszkaniowej. Dopiero rozpoczęcie stosowania przytwierdzenia sprężystego SB-3 spowodowało powszechne wykorzystanie podkładów strunobetonowych do budowy tramwajowych torowisk wydzielonych. Po raz pierwszy we Wrocławiu podkłady strunobetonowe z przytwierdzeniem SB-3 zastosowano w roku 1993 podczas budowy torowiska wzdłuż ul. Bałtyckiej (rys.1), gdzie ułożono szyny S49 na podkładach strunobetonowych PS83. Rozwiązanie to cechują następujące zalety: większa trwałość podkładów strunobetonowych w stosunku do drewnianych; ograniczenie emisji drgań i hałasu dzięki większej masie rusztu torowego oraz większej sprężystości węzła kotwiącego; mniejsza zawodność przytwierdzenia SB3 w stosunku do przytwierdzenia typu "K".



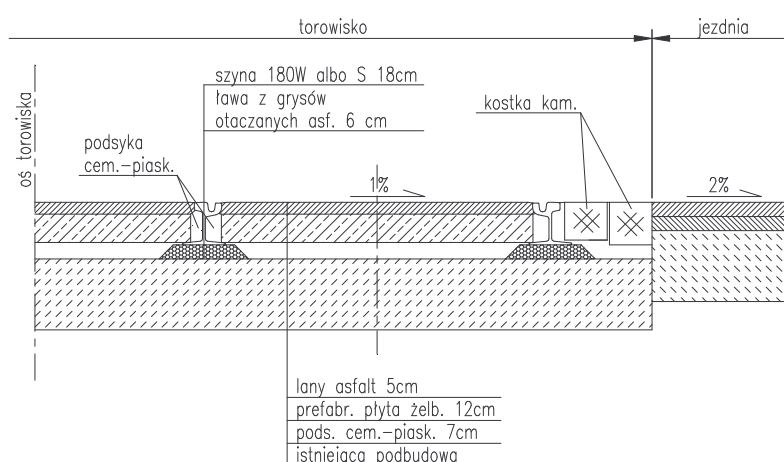
Rys.1 Przekrój konstrukcyjny toru zastosowanego na ul. Bałtyckiej

Przytwierdzenie SB3 do kotwienia szyny rowkowej wykorzystano po raz pierwszy przy remoncie torowiska w ul. Powstańców Śl. (1996) na odcinku od hotelu Wrocław do ul. Hallera, gdzie zastosowano strunobetonowe podkłady PST94 na warstwie tłucznia o grubości 30 cm oraz warstwie filtracyjnej z piasku o grubości min. 20 cm, wyścielonej od spodu geowłókniną w pochyleniu 4% do osi torowiska, wzdłuż którego na głębokości ok. 1,20 m umieszczono dren. Nie zrezygnowano jednak zupełnie ze stosowania nawierzchni tradycyjnej (szyny S49 na podkładach drewnianych z przytwierdzeniem klasycznym) czego przykładem były remonty torowisk w ul. Hallera (1993 i 1997) i pętla Leśnica (1996).

W zakresie torowisk zabudowanych, w drugiej połowie lat 60-tych wrocławskie MPK przy współpracy z Instytutem Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej opracowało optymalny model konstrukcji toru zabudowanego [3] przedstawiony na rys.2, który stał się podstawowym rozwiązaniem stosowanym we Wrocławiu w przypadku remontów torowisk wbudowanych w jezdnię ulic w latach 70 i 80-tych (np.:

ul. Sienkiewicza od mostu Szczytnickiego do ul. Wyszyńskiego - 1989, ul. Grodzka - 1989).

W rozwiązaniu tym podbudowę stanowiła płyta betonowa albo warstwa zagęszczonego tłucznia o grubości 20 - 30 cm, na której układano szyny 180W albo S i łączono poprzeczkami torowymi z płaskownika. Po geodezyjnym wyregulowaniu położenia szyn podpartych tymczasowo drewnianymi klinami wykonywano pod ich stopkami trapezowe ławy o grubości 6 cm z grysów otaczanych asfaltem. Szyn nie kotwiono do podbudowy. Zabudowę śródtorza i międzytorza stanowiły prefabrykowane płyty żelbetowe o wymiarach 132×107×12 cm spoczywające na podsypce cementowo-piaskowej, dolnymi krawędziami zaś na stopkach szyn, przykryte od góry warstwą lanego asfaltu o grubości 3 - 5 cm. Po zewnętrznych stronach torowiska wykonywano przy szynach rolkę z podwójnej kostki kamiennej, która graniczyła z asfaltobetonową lub kostkową nawierzchnią drogową.



Rys.2 Przekrój konstrukcyjny tradycyjnego toru wbudowanego w jezdnię stosowanego we Wrocławiu w latach 70 i 80-tych

W miejscach ograniczenia wysokości konstrukcyjnej nawierzchni do niezbędnego minimum (np. na mostach) asfaltobetonowe ławy podszynowe zastępowano niższymi podlewkami z mastyksu o grubości 3 - 5 cm. W miejscach torowisk wbudowanych, nie prowadzących ruchu kołowego żelbetowe płyty zabudowy układano na grubszej warstwie podsypki cementowo-piaskowej, doprowadzając ich górną powierzchnię do poziomu główki szyny (ul. Grabiszyńska od ul. Pereca do pl. Srebrnego - 1991).

Brak kotwienia szyn do podbudowy miał zapewnić korzystniejszy - ciągły, a nie punktowy model zamocowania szyny, stał się jednak w połączeniu z szybką degradacją ław asfaltobetonowych główną przyczyną niskiej trwałości torowiska, dlatego pod koniec lat 80-tych podszynowe ławy z asfaltobetonu zaczęto zastępować betonowymi (ul. Krakowska - 1989, ul. Osobowicka - 1990, ul. Pułaskiego - 1991), co spowodowało z kolei wzrost hałaśliwości konstrukcji.

Po raz ostatni opisywane rozwiązanie w przypadku remontu kapitalnego zastosowano w roku 1995 podczas przebudowy torowiska w ul. Ruskiej i Mikołaja. Zakres remontu był tym razem dużo większy, obejmował wykorytowanie wykopu do głębokości ok. 0,75 m, ułożenie nowej warstwy odcinającej z piasku (15 cm), następnie podbudowy dolnej z tłucznia (15 cm) oraz górnej z betonu B25 (25 cm). Pod szynami wykonano podlewkę z lanego asfaltu (3 cm). Zabudowę wykonano z betonu B15 (9 cm), a nawierzchnię z asfaltobetonu grubo i średnioziarnistego (5 cm + 4 cm).

torowisko

jezdnia

W strefie kotwienia:

Poza strefą kotwienia:

szyna 180S 18cm
przekł. topolowa 0,5cm
PT180 z akces. przytw.
drewno twarde 2cm
prefabr. płyta żelb. 15cm

chudy beton

chudy bet.

szyna 180S 18cm
podewka bitum. 2cm
beton wyrówn. 2cm
prefabr. płyta żelb. 15cm

1%

2%

oś torowiska

śruby hakowe

asfaltobeton średnioziarn. 7cm
prefabr. płyta żelb. 30cm
piasek 15-30cm

Metodą tą wykonano we Wrocławiu znaczną ilość remontów torowisk wbudowanych w jezdnię: ul. Curie-Skłodowskiej od pl. Grunwaldzkiego do mostu Zwierzynieckiego - 1988, Nowowiejska i Piastowska - 1989, Reymonta - 1990, Trzebnicka - 1991. Niestety dość szybko ujawniła ona swoje wady: lokalne zapadnięcia toków szynowych, wykruszanie się asfaltu w strefie przyszynowej, znaczny hałas. Mimo prefabrykacji była to metoda czasochłonna i pracochłonna oraz kosztowna.

- zbyt rzadki rozstaw przytwierdzeń szyny (1,5 m),
- niewłaściwy dobór materiału na przekładki (drewno - gnicie),
- niska trwałość mocowania podkładki żebrowej do płyty PPT śrubą hakową, w wyniku zastosowania połączenia na zasadzie przegubu (po pojawieniu się niewielkiego luzu np. z powodu nadgnicia przekładki drewnianej górny koniec śruby hakowej uzyskiwał swobodę przesunięć w planie przez co również możliwe były poziome przesunięcia podkładki żebrowej) oraz jedynie połowicznego podparcia

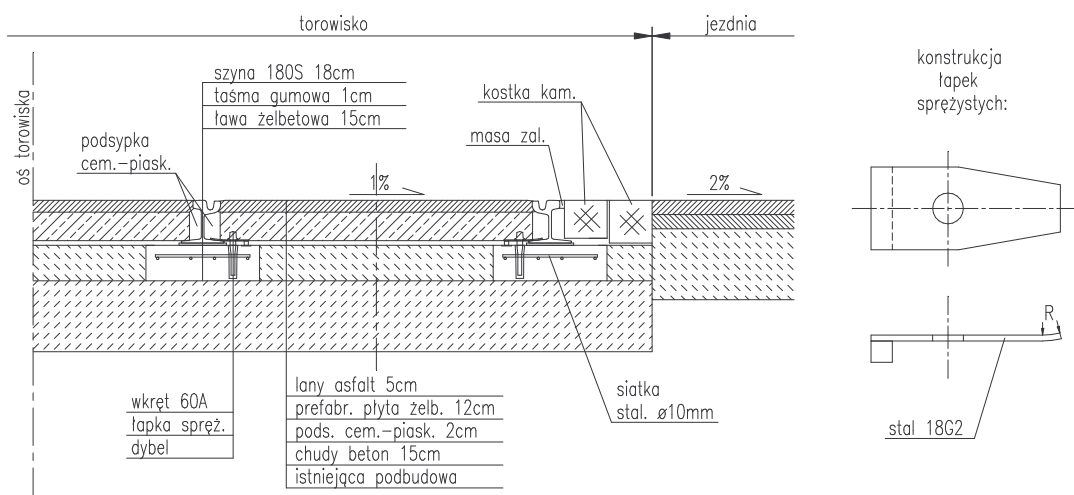
podkładki żebrowej płytą PPT (druga połowa znajdowała się nad otworami wypełnionym piaskiem),

- sztywna charakterystyka zastosowanych łapek (w stosunku do klamer sprężystych SB albo skl),
- brak poprzeczek torowych (mimo iż w przypadku płyt PPT istniała możliwość ich zastosowania),
- przyjęcie zbyt małej wysokości nawierzchni z asfaltobetonu, co powodowało przenoszenie się spękań ze styków płyt,
- opieranie płyt PPT bezpośrednio na warstwie piasku (zbyt duża różnica sztywności obu elementów - niewłaściwy rozkład naprężeń, klawiszowanie płyt).

Ostatnie zastosowanie torowiska wbudowanego w jezdnię z płyt PPT we Wrocławiu miało miejsce podczas remontu ul. Chrobrego w 1993 r. na odcinku od pl. Powstańców Włkp. do ul. Jagiellończyka, gdzie podkładki z drewna zastąpiono gumowymi, natomiast podlewki bitumiczne w strefach poza podporami - gumową taśmą podszynową grubości 2 cm.

Znacznie poważniejszą modyfikacją toru z płytami PPT był remont torowiska wzdłuż ul. Curie-Skłodowskiej, przeprowadzony w 1996 r., gdzie zastosowano rozwiązanie wzorowane na konstrukcji torowiska z Sheffield w Anglii. Szyny z komorami szynowymi zabudowanymi prefabrykowanymi bloczkami betonowymi, zalane żywicą poliuretanową w korytkach z blachy o grubości 3 mm ułożono w kanałach szynowych płyt PPT i zabetonowano. Korytka posiadały po bokach stalowe wąsy, do których przed zabetonowaniem przyspawano podłużne pręty (kotwienie korytek w betonie). Nawierzchnię stanowiła warstwa asfaltobetonu. W wyniku modernizacji nastąpiła zmiana modelu podparcia i zamocowania z punktowego na ciągły oraz całkowita eliminacja połączeń śrubowych. Pomimo zastosowanych zmian opisywane torowisko obecnie znajduje się w złym stanie, nie rozwiązano bowiem problemu braku stabilności podbudowy z płyt PPT posadowionych na warstwie piasku.

W roku 1992 podczas remontu ul. Sądowej zastosowano konstrukcję torowiska tramwajowego przedstawioną na rys.4.



Rys.4 Przekrój konstrukcyjny toru zastosowanego na ul. Sądowej

Nowymi elementami w zastosowanym rozwiązaniu były:

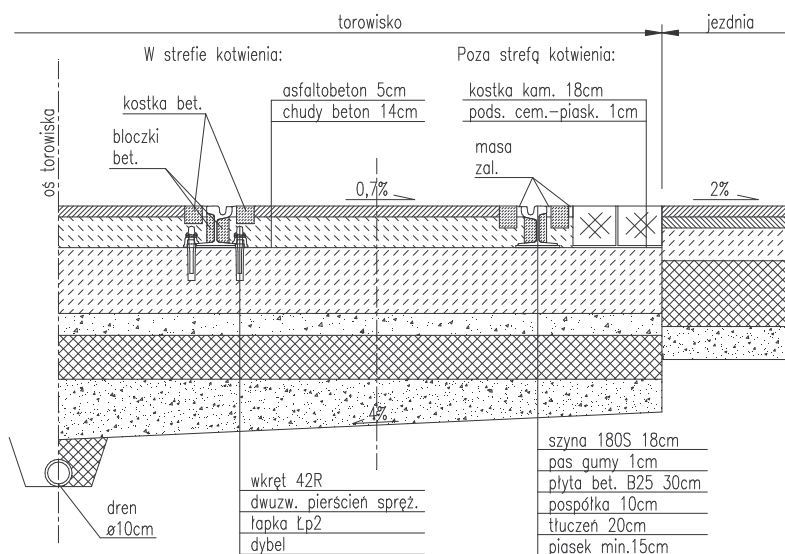
- ławy betonowe w strefie podszynowej, zbrojone siatką z prętów $\varnothing 10$, z umieszczonymi podczas betonowania dyblami z tworzywa sztucznego w rozstawie co 2,25 cm,

- łapki sprężyste specjalnej konstrukcji, opierające się z jednej strony na stopce szyny, z drugiej zaś na betonie ławy,
- gumowa ciągła taśma podszynowa, szerokości 20 cm i grubości 1 cm.

Konstrukcję tego typu zastosowano również przy remontach ul. Słowiańskiej - 1993 i Chrobrego od ul. Jagiełńczyka do Łokietka - 1994 oraz z modyfikacjami na ul. Piłsudskiego od pl. Legionów do ul. Świdnickiej - 1994, gdzie zrezygnowano z żelbetowej ławy podszykowej i ul. Jagiełły - 1995, gdzie zastosowano inne łapki przytwierdzeniowe o dużo prymitywniejszej konstrukcji, natomiast zbrojenie w postaci siatki umieszczano w warstwie podbudowy betonowej. W obu ostatnich przypadkach zabudowę wykonano z kostki kamiennej, z wypełnieniem strefy przyszynowej masą zalewową.

Po wieloletnim okresie eksploatacji torowisko na ul. Sądowej jest w dobrym stanie, nie pojawiają się zapadnięcia toków szynowych czy wykruszenia nawierzchni asfaltowej, kursujący tabor nie emituje nadmiernych drgań i hałasu, co świadczy o poprawności zastosowanego rozwiązania pod względem konstrukcyjnym i technologicznym. Gorzej sytuacja wygląda na ul. Piłsudskiego, gdzie już po roku eksploatacji pojawiły się punktowe zapadnięcia toków szynowych i ucieczka masy zalewowej w głąb torowiska. Obecnie konstrukcja torowiska tego typu nie jest stosowana.

W roku 1994 rozpoczęto remont ul. Grabiszyńskiej na odcinku od pl. Srebrnego do Hutmenu, a rok później dalszą część do skrzyżowania z ul. Klecińską, gdzie zastosowano typ konstrukcji torowiska przedstawiony na rys.5.



Rys.5 Przekrój konstrukcyjny toru zastosowanego na ul. Grabiszyńskiej

Na obu wymienionych odcinkach po raz pierwszy we Wrocławiu wykonano:

- drenaż odwadniający w przypadku torowiska wbudowanego w jezdnię,
- kotwienie szyny do podbudowy łapkami i wkrętami kolejowymi z pierścieniami sprężystymi, wkręcanymi poprzez dyble w wywiercone w betonowej podbudowie otwory (na zasadzie kołków rozporowych), w rozstawie co 2 m,
- zabudowę komór szynowych prefabrykowanymi blokami betonowymi,
- zabudowę strefy przyszynowej chodnikową kostką z betonu wibroprasowanego.

Jako wibroizolację zastosowano pasy gumy profilowanej grubości 1 cm i długości 50 cm z przerwami 30 cm. Zrezygnowano z łączenia szyn poprzeczkami torowymi. Rozwiązanie z ul. Grabiszyńskiej było później wykorzystywane wyłącznie przy remontach przejazdów, w nie zmienionej formie na skrzyżowaniu ul. Armii Krajowej i

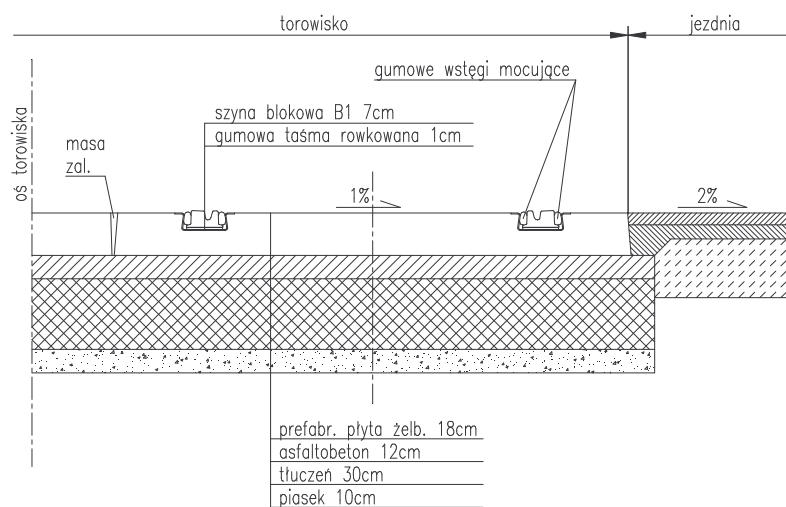
ul. Tarnogąjskiej - 1995, z zastąpieniem zabudowy z przyszynowych bloczków i dywanika asfaltobetonowego prefabrykowanymi płytami żelbetowymi ułożonymi na warstwie grysów otaczanych asfaltem na skrzyżowaniach ul. Kazimierza Wlk. i Widok - 1995, ul. Grabiszyńskiej i Zaporoskiej - 1995 i pl. Orłąt Lwowskich - 1995 oraz ponadto ze zrezygnowaniem z wypełniania komór szynowych prefabrykowanymi bloczkami betonowymi i zastosowania pierścieni sprężystych w przytwierdzeniu na skrzyżowaniach ul. Hallera i Al. Pracy - 1997 oraz ul. Dubois i Kurkowej - 1997.

Opisywane rozwiązanie zastosowane na ul. Grabiszyńskiej, ze względu na zbyt szybkie zużycie, stało się w roku 1999 przedmiotem ekspertyzy wykonanej przez Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej [7], w wyniku której odcinek z 1994 r. uzyskał ogólną ocenę niezadowalającą, natomiast z 1995 r. - dostatecznie dobrą. W ekspertyzie wskazano następujące przyczyny szybkiej degradacji nawierzchni:

- przekrzywianie się łapek oraz wykruszania betonu spod łapki w wyniku zastosowania niewłaściwego (uproszczonego) sposobu przytwierdzenia szyn do podbudowy (bez podkładki żebrowej),
- niska trwałość osadzenia wkrętów w betonie podbudowy na zasadzie kołka rozporowego,
- zbyt rzadki rozstaw przytwierdzeń (2 m),
- sztywna charakterystyka zastosowanych łapek (w stosunku do klamer sprężystych SB albo skl),
- niekorzystny - niejednorodny model podparcia szyny (pasy gumy z przerwami),
- brak poprzeczek torowych (niezgodny z wytycznymi projektowania torów tramwajowych),
- niska stabilność zbyt małych elementów obudowy szyn,
- przenoszenie się pęknięć skurczowych betonu podbudowy na nawierzchnię w wyniku zastosowania tylko jednej warstwy betonu asfaltowego zamiast dwóch (ścieralnej i wiążącej).

Obecnie konstrukcja torowiska tego typu nie jest stosowana.

W roku 1994 przeprowadzono remonty torowisk w ul. Łokietka i Poniatowskiego, gdzie po raz pierwszy we Wrocławiu zastosowano tor typu węgierskiego przedstawiony na rys.6, opracowany w latach 60-tych dla Budapesztu [8], rozpropagowany później w Czechach [9], skąd trafił do Polski [10, 11].



Rys.6 Przekrój konstrukcyjny toru zastosowanego na ul. Poniatowskiego

Podstawowym założeniem tego rozwiązania jest ciągle podparcie nietypowej (blokowej) szyny w prefabrykowanej żelbetowej płycie nawierzchni torowiska, za pośrednictwem gumowej rowkowanej taśmy podszykowej oraz ciągle przytwierdzenie szyny gumowymi wstęgami mocującymi o przekroju elipsy, wciśniętymi pomiędzy szynę a krawędzie koryta szynowego w żelbetowej płycie. Żelbetowe płyty nawierzchni torowiska układa się na asfaltobetonowej podbudowie górnej wykonanej drogowymi rozścielaczami mas bitumicznych (w trzech kolejnych warstwach), spoczywającej na podbudowie dolnej z tłucznia albo betonu cementowego. Szczeliny pomiędzy płytami wypełnia się masami zalewowymi na bazie bitumów lub polimerów.

Prefabrykowane żelbetowe płyt torowe posiadają wysokość 18 cm, szerokość 2,20 m, natomiast w zależności od krzywizny toru w planie i profilu stosuje się różne ich długości: 5,985 m; 2,9 m; 1,41 m i 0,665 m. Na międzytorzu układa się płyty bez koryt szynowych, o szerokości zależnej od rozstawu osiowego torów.

Mimo wyższych kosztów torowiska tego typu zdecydowano się na jego stosowanie z uwagi na niewątpliwe zalety:

- mała wysokość konstrukcyjna nawierzchni,
- mała pracochłonność i czasochłonność wbudowania dzięki prefabrykacji, prostocie konstrukcji i dużemu zakresowi mechanizacji robót,
- wysoka niezawodność dzięki wyeliminowaniu połączeń śrubowych,
- niski poziom emisji drgań i hałasu,
- dobra współpraca koła z szyną oraz właściwy rozkład naprężeń dzięki ciągłemu podparciu i zamocowaniu szyn,
- wyeliminowanie dodatkowych warstw nawierzchni,
- dobra izolacja elektryczna (ograniczenie upływu prądów błądzących),
- łatwość wymiany szyn (bez naruszania podbudowy, a nawet zabudowy),
- możliwość wykonania podbudowy bez warstw z betonu cementowego (skrócenie czasu inwestycji dzięki pominięciu okresu dojrzewania betonu).

Tor typu węgierskiego stał się jednym z najczęściej stosowanych torowisk wbudowanych w jezdnię ulic we Wrocławiu w drugiej połowie lat 90-tych. W stosunku do dwóch pierwszych opisanych zastosowań, we wszystkich następnych podbudowę tłuczniową zastąpiono betonową. Według tej technologii wykonano następujące remonty: ul. Traugutta od ul. Krasieńskiego do ul. Pułaskiego - 1996, ul. Wróblewskiego od ul. Mickiewicza do ul. Wystawowej - 1997, ul. Podwale od pl. Orląt Lwowskich do ul. Jagiełły - 1998, skrzyżowanie ul. Stawowej i Swobodnej - 1998, ul. Traugutta od ul. Kościuszki do ul. Pułaskiego - 1999, ul. Gliniana i Hubska - 1999, skrzyżowanie ul. Ślężnej i Armii Krajowej - 1999, przejazd w ul. Powstańców Śl. przy zajezdni tramwajowej - 1999, ul. Kołłątaja - 1999, skrzyżowanie ul. Legnickiej i Na Ostatnim Groszu oraz przejazd w ul. Lotniczej przy domu handlowym Astra - 2000, ul. Skargi - 2001. W przypadku remontów: ul. Św. Jadwigi - 1997 oraz ul. Piaskowej i Św. Katarzyny - 2000 ze względu na sąsiedztwo zabytkowej zabudowy zastosowano płyty o fakturze kostki kamiennej. Tor typu węgierskiego dzięki niewielkiej wysokości konstrukcyjnej okazał się bardzo korzystnym rozwiązaniem na mostach: Sikorskiego - 1998 i Trzebnickim - 1999, w przypadku których dolną podbudowę w konstrukcji toru stanowiła płyta pomostu.

Obecnie, po okresie kilkuletniej eksploatacji, dostrzegane są jednak pewne wady toru węgierskiego, w wyniku których podobnie jak w innych miastach Polski, następuje stopniowe odchodzenie od stosowania konstrukcji tego typu:

- utrudniony dostęp do infrastruktury podziemnej,
- utrudnione projektowanie w przypadku dużej liczby wjazdów i studzienek uzbrojenia podziemnego,
- brak możliwości stosowania w rozjazdach i urządzeniach wyrównawczych,

W stosunku do poprzedniego rozwiązania:

- zastosowano przekładki gumowe,
- zrezygnowano z epoksydobetonowych podpór oraz kostki betonowej w strefie przyszynowej,
- kotwienie podkładek żebrowych wykonano przy pomocy kolejowych wkrętów i dybli w rozstawie co 1 m,
- bitumiczną masą zalewową zaspoinowano jedynie przestrzenie przyszynowe.

oś torowiska

W strefie podpór:

Poza podporami:

jezdnia

szyna Ri60N 18cm
przekł. gum. 0,8cm
PT180 + skl12
przekł. gum. 0,8cm

blocki bet.

masa zal.

2%

opory bet.

dyble i wkręty

kostka kamienna 18cm
podsypka cem.-piask. 2,5cm
plyta bet. B25 25cm
tłuczeń 30cm
piasek 20cm

Rys.8 Przekrój konstrukcyjny toru zastosowanego na ul. Świdnickiej

Oba przedstawione powyżej rozwiązania przyjęto określać mianem toru na punktowych podporach. Rozwiązanie to stało się we Wrocławiu najpoważniejszym "konkurentem" toru typu węgierskiego. Według tej technologii wykonano następujące remonty: ul. Dubois od ul. Kurkowej do Pomorskiej - 1997, skrzyżowanie ul. Pomorskiej i Dubois - 1998, przejazdy w ul. Karkonoskiej - 1999, ul. Piłsudskiego od ul. Świdnickiej do węzła przed Dworcem Gł. wraz z ul. Stawową i Małachowskiego - 1999, ul. Nowy Świat - 1999, skrzyżowanie ul. Żmigrodzkiej i Broniewskiego - 1999, skrzyżowanie ul. Kołłątaja i Teatralnej - 1999, skrzyżowanie ul. Legnickiej i Wejherowskiej - 2000, ul. Wierzbowa - 2001, pl. Dominikański - 2001. W przypadku remontów przejazdów w ul. Powstańców Śl. - 1999 i w ul. Kwidzyńskiej - 2000 oraz remontu skrzyżowania ul. Grabiszyńskiej z ul. Pereca - 2000 zastosowano zabudowę z prefabrykowanych płyt żelbetowych EPT posadowionych na ławach z grysów otaczanych asfaltem. W ostatnim z wymienionych przypadków zastąpiono ponadto przekładki podpodkładowe

poliuretanowym podlewem. W przypadku remontu skrzyżowania ul. Piaskowej i Grodzkiej - 2000 zastosowano zabudowę asfaltobetonową zamiast kostkowej, natomiast w strefie przyszynowej - taśmy dylatacyjne bitumiczno-kauczukowe przyklejane do boku główki szyny, samowulkanizujące się podczas zagęszczania asfaltobetonu walcami.

O tak częstym stosowaniu toru na podporach punktowych zdecydowały niewątpliwie jego zalety:

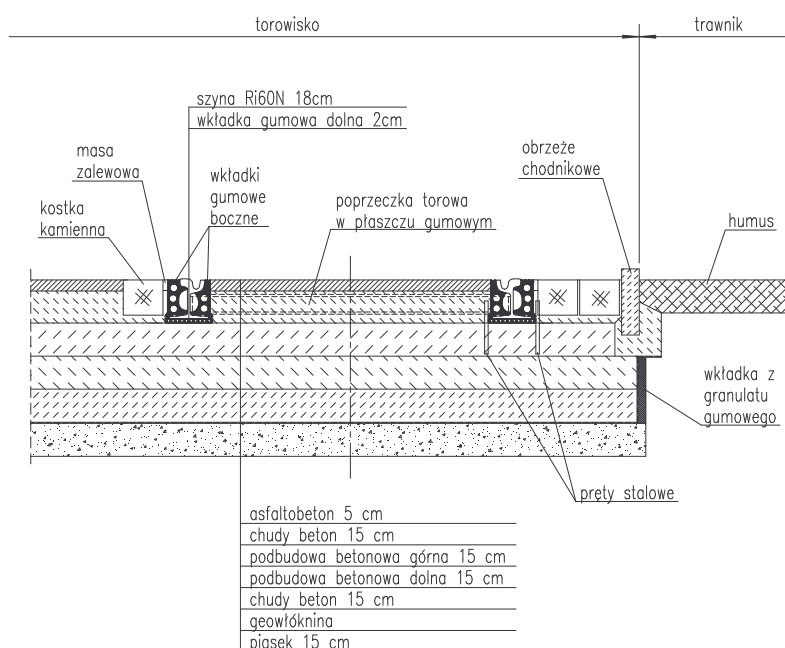
- sprężyste podparcie i zamocowanie szyn - ograniczenie emisji drgań i hałasu,
- możliwość stosowania w rozjazdach i urządzeniach wyrównawczych,
- wariantowa zabudowa (kostka, płyty EPT, asfaltobeton, trawnik),
- mniejsza niż w przypadku toru węgierskiego konieczność precyzyjnego wykonania najwyższej warstwy podbudowy,
- łatwiejszy niż w przypadku toru węgierskiego dostęp do infrastruktury podziemnej oraz mniej skomplikowane projektowanie i wykonanie w przypadku dużej liczby włazów i studzienek uzbrojenia podziemnego,
- łatwiejsza niż w przypadku toru węgierskiego naprawa pęknięć szyn.

Do wad toru tego typu należy natomiast zaliczyć:

- dużą wysokość konstrukcyjną,
- utrudnioną wymianę szyn (z naruszeniem zabudowy),
- konieczność wykonania podbudowy z betonu cementowego (wydłużenie czasu inwestycji z powodu okresu dojrzewania betonu),
- niski stopień prefabrykacji i mechanizacji.

Niedoskonałością wrocławskich zastosowań toru o omawianej konstrukcji jest również niestosowanie pierścieni sprężystych pod wkłady mocujące podkładki żebrowe do betonu podbudowy, w sytuacji gdy pomiędzy obu tymi elementami umieszcza się podatne przekładki (w momencie ugięcia podatnej przekładki wkręt przestaje dociskać podkładkę żebrową).

W roku 1999 przeprowadzony został remont torowiska tramwajowego w ul. Karkonoskiej. Na odcinku pomiędzy ulicami Letnią i Wiosenną po raz pierwszy i jak dotychczas jedyny we Wrocławiu zastosowano tor z szynami obłożonymi wkładkami gumowymi, przedstawiony na rys.9.



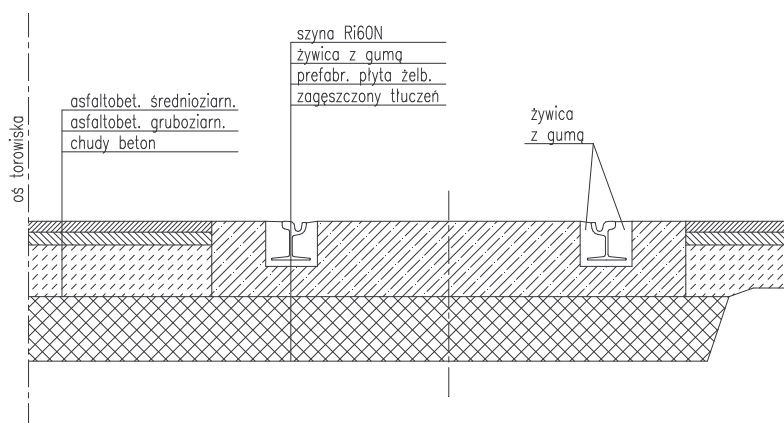
Rys.9 Przekrój konstrukcyjny toru zastosowanego na ul. Karkonoskiej

Szyna rowkowa jest otulona trzema wkładkami: dwoma bocznymi wypełniającymi komory szynowe i jedną od spodu, tak zwanym "butem". Wkładki są wykonane z jednorodnej gumy z pustkami powietrznymi. Wkładki boczne sięgają góry główki szyny i są jedynie włożone w komory szynowe i dociśnięte elementami zabudowy nawierzchni. Wkładka dolna przenosi i rozkłada obciążenia, wkładki boczne pełnią rolę pionowej dylatacji pomiędzy szyną a zabudową nawierzchni. Wszystkie wkładki tłumią drgania i stanowią izolację elektryczną. Oba toki szynowe posiadają połączenia poprzeczkami torowymi, które również są obłożone płaszczykami gumowymi. W podtorzu zastosowano geowłókninę pomiędzy warstwą piasku a chudego betonu oraz wkładki z granulatu gumowego sklejonego klejem poliuretanowym po bokach płyty podbudowy dolnej z betonu cementowego.

Zabudowa jest wykonana z asfaltobetonu na chudym betonie, z zastosowaniem rolek z kostki na zewnątrz szyn. Pomiedzy wkładkami gumowymi bocznymi a kostką kamienną występuje zalew z masy bitumicznej. Szyny nie są przytwierdzone do podbudowy, dlatego dla ustabilizowania rusztu torowego zastosowano pręty stalowe o średnicy 16 mm zabetonowane do połowy w górnej płycie podbudowy betonowej w rozstawie co 1,5 m w mijankę po obu stronach szyny obudowanej wkładkami gumowymi.

Opisywane rozwiązanie charakteryzuje się wysokim stopniem izolacji elektrycznej rusztu torowego (ograniczenie upływu prądów błądzących) oraz niskim poziomem emisji drgań i hałasu do otoczenia.

W roku 2000 podczas remontu przejazdu tramwajowego na skrzyżowaniu ulic Kosmonautów i Kamiennogórskiej zastosowano po raz pierwszy we Wrocławiu konstrukcję zabudowanego toru tramwajowego przedstawioną na rys.10, w postaci prefabrykowanej wielkowymiarowej płyty żelbetowej o długości 9 m, z osadzonymi w korytach płyty szynami rowkowymi w zalewie z żywicy z gumą.



Rys.10 Przekrój konstrukcyjny toru zastosowanego na skrzyżowaniu ul. Kosmonautów i Kamiennogórskiej

Prefabrykowane żelbetowe płyty torowe są układane na odpowiednio zagęszczonym i przygotowanym wysokościowo podłożu tłuczniowym. Zabudowę śródtorza pomiędzy płytami sąsiednich torów stanowi asfaltobetonowa nawierzchnia na podbudowie z kruszywa łamanego. Rozwiązanie tego typu wykorzystano również podczas remontu przejazdów tramwajowych w ul. Żmigrodzkiej na dojazdach do stacji CPN w roku

2001, gdzie oprócz płyt o fakturze gładkiej zastosowano płyty o fakturze nawierzchni kostkowej.

W kolejnych zastosowaniach omawianego rozwiązania wprowadzono modyfikację polegającą na zastąpieniu jednej płyty torowej dwoma blokami - osobnymi dla każdego toku szynowego, połączonymi poprzecznie stężeniami z rur stalowych natomiast podłużnie - blachami łukowymi, skręcanymi na śruby. Szyny kolejnych bloków wzdłuż toru spawa się ze sobą po czym zabudowuje przestrzeń wokół wykonanych styków. Zabudowę poprzeczną pomiędzy blokami stanowi asfaltobetonowa albo kostkowa nawierzchnia na podbudowie z kruszywa łamanego. Zastosowana modyfikacja znacznie ułatwia transport i wbudowanie elementów nawierzchni, może natomiast budzić obawy co do nierównego osiadania toków szynowych i kłopotów z zachowaniem prześwitu. Według opisanego rozwiązania wykonano remonty następujących przejazdów: skrzyżowanie ul. Ślężnej i Jaworowej - 2002, przejazd na pl. Grunwaldzkim przy budynkach politechniki - 2002, skrzyżowanie ul. Olszewskiego i Abramowskiego - 2002. Niestety w przypadku części z omawianych przejazdów, już po krótkim okresie eksploatacji pojawiły się odkształcenia drogowej zabudowy sródtorzy i międzytorzy.

W roku 2000 przeprowadzony został remont nawierzchni na moście Piaskowym, gdzie po raz pierwszy we Wrocławiu zastosowano w torowisku tramwajowym ciągły podlew pod stopką szyny z materiału poliuretanowego. Jako koryto dla wykonania podlewu posłużyły ceowniki zespolone z konstrukcją pomostu, ułożone ramionami do góry wzdłuż stopek szyn. Szyny połączone poprzeczkami torowymi nie zostały zakotwiczone do płyty pomostu, a jedynie obudowane nawierzchnią drogową z kostki kamiennej na podsypce cementowo-piaskowej. Pomiedzy górnymi krawędziami szyny a zabudową drogową wykonano dylatację w postaci zalewu z masy bitumicznej.

Oprócz wszystkich opisanych do tej pory rozwiązań konstrukcji torowisk tramwajowych zabudowanych stosowany jest we Wrocławiu również tor typu klasycznego - na podsypce i poprzecznych podkładach z zabudową nawierzchnią typu drogowego. Jego omówienie zostało pozostawione na koniec niniejszego rozdziału, gdyż dopiero od niedawna znajduje on szersze wykorzystanie. Przed rokiem 1999 jedynymi miejscami zastosowania konstrukcji tego typu były poprzeczne przejazdy samochodowe oraz przejścia piesze przez torowisko. Jako zabudowę stosowano:

- asfaltobeton albo asfalt lany na chudym betonie,
- kostkę kamienną albo betonową, płytki chodnikowe,
- żelbetowe płyty prefabrykowane tramwajowe lub kolejowe (przejazdowe).

Konstrukcję toru stanowiły:

- podkłady - drewniane, a od połowy lat 60-tych również strunobetonowe,
- szyny - rowkowe, ale również kolejowe (w przypadku zabudowy w postaci kolejowych płyt przejazdowych),
- przytwierdzenia - od bezpośredniego (wkretami do podkładów drewnianych) poprzez przytwierdzenie typu "K" z łapkami Łp, a od roku 1996 również skl12, po przytwierdzenie SB-3, którego pierwsze zastosowanie we wrocławskich torowiskach tramwajowych miało miejsce w roku 1993 podczas budowy ul. Bałtyckiej.

Od roku 1999 rozpoczęto we Wrocławiu stosowanie zabudowy torowisk tramwajowych wydzielonych wzdłuż przystanków, ze względu na znaczne ułatwienie procesu utrzymania ich czystości. Jako zabudowę stosuje się wypełnienie komór szynowych bloczkami betonowymi oraz wariantowo:

- chodnikową kostkę z betonu wibroprasowanego na podsypce z piasku lub kruszywa łamanego (skrzyżowanie ul. Hallera i Mieleckiej - 1999, skrzyżowanie ul. Grabiszyńskiej i Zaporoskiej - 2000, ul. Powstańców Śl. i Karkonoska - 1999, ul. Toruńska i Kwidzyńska - 2000),

- prefabrykowane płyty żelbetowe EPT albo PPTxW na podsypce z piasku lub kruszywa łamanego (skrzyżowanie ul. Ślężnej i Armii Krajowej - 1999).

W roku 2001 po raz pierwszy we Wrocławiu wykonano zabudowę wydzielonego torowiska tramwajowego wzdłuż pl. Grunwaldzkiego na odcinku od mostu Szczytnickiego do skrzyżowania z ul. Piastowską, w celu umożliwienia prowadzenia po nim ruchu autobusów miejskich. Jako materiały do wykonania zabudowy zastosowano bloczki betonowe do wypełnienia komór szynowych oraz prefabrykowane płyty żelbetowe EPT na grysach otaczanych asfaltem, z zaspoinowaniem szczelin pomiędzy płytami oraz płytami i szynami bitumiczną masą zalewową.

Ostatnią nowością w przypadku poprzecznych przejazdów przez torowisko o klasycznej konstrukcji toru jest natomiast zastosowanie w roku 2001 płyt betonowo-gumowych na skrzyżowaniu ul. Olszewskiego i Norblina.

Niedoskonałością wrocławskich zastosowań torów zabudowanych o opisanej w niniejszym rozdziale konstrukcji jest fakt, iż prefabrykowane bloczki betonowe stanowiące wypełnienie komór szynowych nie są do niej przyklejane materiałem gwarantującym trwałe zespolenie obu tych elementów (np. klejem na bazie poliuretanów). Niewykonanie tej czynności powoduje, że bloczki zamiast zwiększać masę szyn, a przez to obniżać ich podatność do wpadania w drgania od poruszającego się po torze taboru, stanowią osobny element drgający, a przez to emitujący dodatkowy hałas oraz powodujący rozszczelnienie nawierzchni.

3. Rozwiązania stosowane w innych miastach Polski

W przypadku większości pozostałych miast Polski, klasyczny tor na podsypce i poprzecznych podkładach zabudowany nawierzchnią typu drogowego, wykorzystywany we Wrocławiu do niedawna jedynie na poprzecznych przejazdach i przejściach przez torowisko, jest podstawowym rozwiązaniem stosowanym aż po dzień dzisiejszy, dla różnych rodzajów zastosowań toru zabudowanego, tak jak na przykład w Gdańsku, gdzie podczas remontu skrzyżowania ul. 3 Maja i Nowe Ogrody w roku 2000 zastosowano konstrukcję toru z szyn rowkowych na podkładach drewnianych i podsypce z zabudową asfaltobetonową.

Podstawową wadą toru klasycznego zabudowanego w jezdni ulic są różnice w osiadaniu nawierzchni torowej i drogowej pod obciążeniem eksploatacyjnym, powodujące szybką degradację zabudowy drogowej w strefie przyszynowej, co pociąga za sobą rozszczelnienie nawierzchni i w efekcie dalszą degradację poszczególnych jej elementów składowych. W celu zwiększenia trwałości opisywanego rozwiązania wprowadzane są pewne jego modyfikacje. W Warszawie, w konstrukcjach torów zabudowanych z szyn rowkowych na podkładach drewnianych albo strunobetonowych i podsypce, z zabudową asfaltobetonową albo żelbetowymi płytami prefabrykowanymi (EPT, PPTxW), od początku lat 90-tych stosowane są oprócz klasycznych kruszyw (tłucznia, kłінca) granulaty konsolidujące (o odpowiednio dobranych proporcjach klas uziarnieniu) reaktywne - aktywowane katalizatorami stałymi i ciekłymi (żelami i solami krzemianowymi) z mechanicznym ich zagęszczeniem [12, 13] (ul. Młynarska - 1991, skrzyżowanie Al. Jerozolimskich i ul. Chałubińskiego - 1991). W Sosnowcu podczas remontu torowiska z szyn rowkowych na podkładach strunobetonowych, wbudowanego w jezdnię ul. Małachowskiego w roku 1996 zastosowano w podtorzu geokompozytowe poduszki w postaci worków z geosyntetyku wypełnionych tłucznem, dzięki którym uzyskano wzrost modułu podłoża z około 40 MPa do ponad 120 MPa [14]. W Łodzi podczas remontów skrzyżowań: ul. Kopcińskiego i Narutowicza w roku 2001 oraz ul. Legionów i Zachodniej w roku 2002 zastosowano konstrukcję toru z szyn rowkowych na podkładach strunobetonowych, których nie obsypano podsypką tłuczniową lecz

zabetonowano aż do poziomu spodu główki szyny, pozostawiając miejsce jedynie na zabudowę asfaltobetonową.

W przypadku torów zabudowanych posadowionych na podbudowie w postaci prefabrykowanej płyty żelbetowej, tor tramwajowy z płytami PPT opracowano i po raz pierwszy zastosowano w Łodzi. Oprócz Wrocławia znalazł on szerokie zastosowanie w Poznaniu oraz na terenie aglomeracji górnośląskiej, gdzie jest wykorzystywany do dnia dzisiejszego (przejazdy poprzeczne na ul. Chorzowskiej w Katowicach - 2002).

Tor typu węgierskiego najwcześniej w Polsce pojawił się w Krakowie (ul. Kalwaryjska - 1984). Późniejsze zastosowania oprócz Wrocławia miały miejsce głównie w Łodzi, Warszawie, Szczecinie i Bydgoszczy. Torowiska tego typu nigdy jak dotąd nie zostały użyte w Poznaniu, Gdańsku oraz na terenie aglomeracji górnośląskiej. W Szczecinie podczas remontu torowiska na moście Długim w roku 2000 zastosowano rozwiązanie z szyną blokową toru węgierskiego, ale osadzoną w stalowym korycie wypełnionym żywicą poliuretanową.

W przypadku torów zabudowanych posadowionych na podbudowie w postaci wylewanej płyty betonowej ukształtowały się dwa odmienne sposoby jej wykonania:

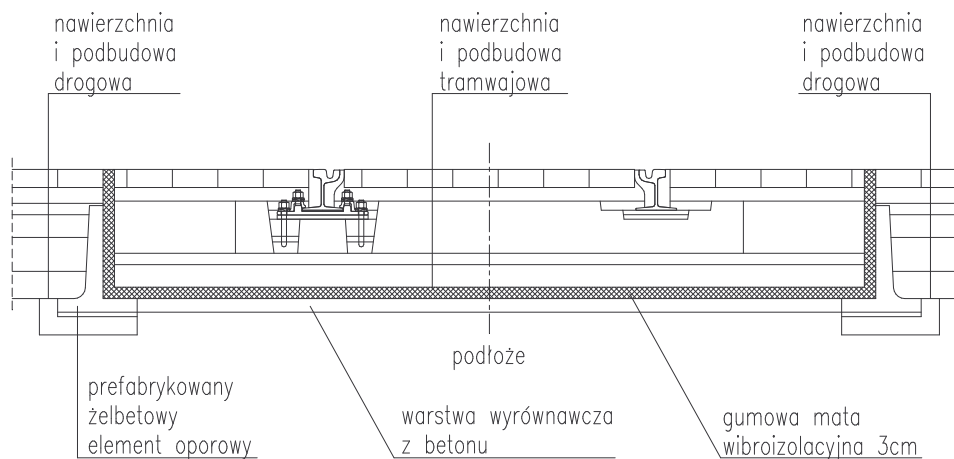
- bez zbrojenia - Wrocław,
- ze zbrojeniem - Poznań, Kraków, Łódź.

W Poznaniu po odejściu od stosowania toru z płytami PPT, zastąpiono go torem na punktowych podporach (most Teatralny - 1995, ul. Głogowska od Hetmańskiej do Ściegiennego - 1998), obecnie jednak preferowany jest tor o ciągłym modelu podparcia, z szyną obłożoną wkładkami gumowymi (ul. Podgórna - 2000). Stosowane wkładki są wykonane z gumy pełnej. Wkładki boczne sięgają 3 cm poniżej poziomu główki szyny w celu uzyskania miejsca na wykonanie przyszynowego zalewu z masy bitumicznej.

Podobnie w Krakowie po odejściu od stosowania toru węgierskiego, zastąpiono go torem na podporach punktowych (skrzyżowanie ul. Franciszkańskiej i Straszewskiego przy budynku filharmonii - 1997 [15], ul. Karmelicka przy teatrze Bagatela - 1997 [16]), obecnie jednak preferowane jest rozwiązanie z ciągłym podlewem żywicą poliuretanową pod stopką szyny do wysokości około 2 cm ponad jej dolną powierzchnię [17], z kotwieniem szyny do podbudowy śrubami z nakrętką i pierścieniem sprężystym, wklejanymi w otwory wywiercone w podbudowie betonowej na klej epoksydowy, poprzez łapki typu Łp opierające się jednym ramieniem na stopce szyny a drugim na przekładce blaszanej spoczywającej na betonie podbudowy, z zabudową chudym betonem i warstwą asfaltobetonu (ul. Westerplatte - 2000, ul. Długa i Kamienna - 2000, ul. Grzegórzecka - 2000, ul. Św. Gertrudy i Stradomska - 2001).

Zastosowanie w Łodzi analogicznej technologii w przypadku remontu torowiska w ul. Zgierskiej w roku 2002 wskazuje na zakończenie okresu stosowania toru węgierskiego w tym mieście, który z kolei był następcą toru z płytami PPT.

W torowiskach zabudowanych na terenie aglomeracji górnośląskiej, począwszy od roku 1995 komory szynowe wypełnia się wkładkami z granulatu gumowego spojonego klejem poliuretanowym [18]. W przypadkach szczególnej konieczności ograniczenia emisji drgań i hałasu elementy wibroizolacyjne stosuje się nie tylko w przytwierdzeniu i podparciu szyny, ale również w podbudowach torowisk - w postaci mat wibroizolacyjnych. Na rys.11 przedstawiono rozwiązanie zastosowane w roku 1995 podczas remontu torowiska tramwajowego położonego wzdłuż ciągu pieszo-tramwajowego w ul. Wolności w Chorzowie, dzięki któremu uzyskano 30 % redukcję emisji przyspieszeń drgań do otoczenia [19].



Rys.11 Przekrój konstrukcyjny toru z matą wibroizolacyjną

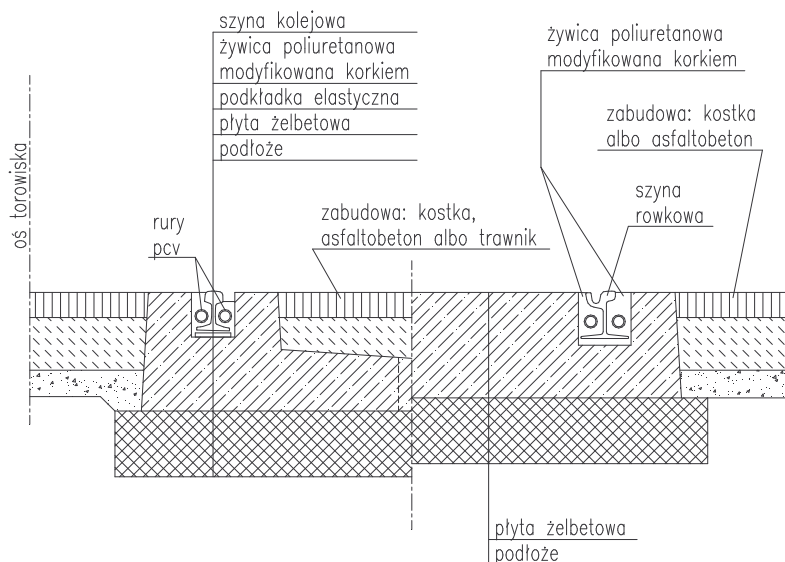
Matę z granulatu gumowego ułożono poziomo pod warstwą podbudowy betonowej i w pionie na granicach konstrukcji tramwajowej i drogowej tworząc "wibroizolacyjną wannę". Rozwiązanie takie nazywane również nawierzchnią lub płytą pływającą [20] zastosowano również w Zabrzu na ul. Wolności w roku 1998.

W Krakowie podczas remontu węzła rozjazdowego na skrzyżowaniu ulic Basztowej i Długiej w 2000 r. pod warstwą żelbetowej podbudowy umieszczono gumowe maty. Podczas remontu torowiska w ul. Bronowickiej na odcinku od ul. Rydla do Stańczyka w roku 2000 zastosowano poduszki z żywicy poliuretanowej wykonane pod strefą podszynową poprzecznych podkładów. Rozwiązanie to wybrano ze względu na sąsiedztwo budynków mieszkalnych. Dodatkowo w celu wytlumienia torowiska zastosowano jego zabudowę trawnikiem w postaci warstwy humusu obsianego trawą na geotkaninie. Taki sam typ zabudowy torowiska wykorzystano w Łodzi w roku 2001 na ul. Piłsudskiego w okolicy stadionu Widzew, tym razem w celu zapobiegnięcia aktom wandalizmu dokonywanym przez niektórych kibiców przy użyciu tłucznia.

4. Rozwiązania stosowane za granicą

Spośród konstrukcji zabudowanych torowisk tramwajowych stosowanych za granicą, które jak dotąd nie znalazły zastosowania w kraju, na omówienie zasługują dwa rozwiązania.

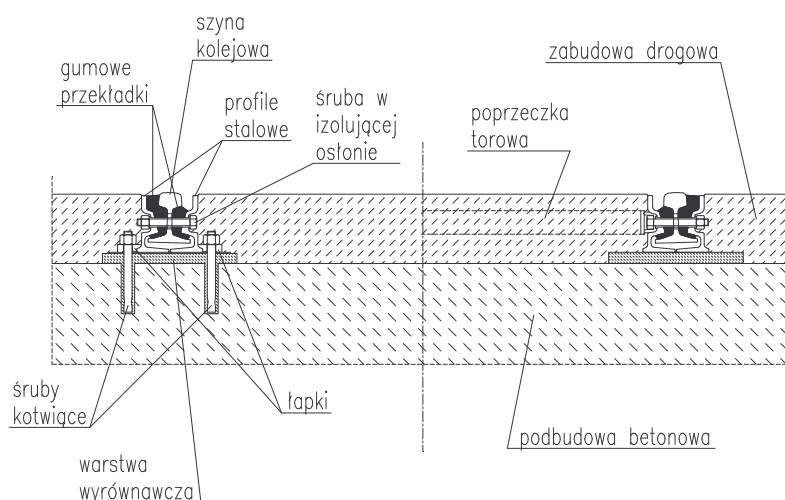
Pierwsze z nich to system torowy "infundo" [21], którego konstrukcję przedstawiono na rys.12.



Rys.12 Przekrój konstrukcyjny toru typu "infundo"

Podbudowę toru stanowi żelbetowa płyta posadowiona na odpowiednio zagęszczonym i wypoziomowanym podłożu, wykonywana specjalną maszyną do układania i zagęszczania betonu na zasadzie krocącego deskowania ślizgowego. Płyta posiada wykształcone koryta do osadzenia szyny kolejowej albo rowkowej w zalewie z żywicy poliuretanowej modyfikowanej korkiem. Żywica stanowi zarówno podparcie jak i przytwierdzenie szyny, izolację wibroakustyczną i elektryczną. W celu zmniejszenia jej zużycia komory szynowe wypełnia się wkładkami z tworzyw sztucznych. Możliwe jest wykonanie płyty o fakturze gładkiej powierzchni albo imitacji kostki, albo też wykształcenie koryt pod zabudowę kostką, asfaltobetonem albo trawnikiem. Ważniejsze realizacje torowiska tego typu miały miejsce w następujących miastach: Walencja - 1992, Sheffield - 1995, Budapeszt - 1995, Monachium - 1997.

Drugie z rozważanych rozwiązań to tak zwana "flüsterschiene", czyli w dosłownym tłumaczeniu "szeptająca szyna" [22], której konstrukcję przedstawiono na rys.13.



Rys.13 Przekrój konstrukcyjny toru typu "flüsterschiene"

Szyna typu kolejowego jest umieszczona w dwu zewnętrznych profilach stalowych, za pośrednictwem gumowych elastycznych przekładek. Stalowe profile w określonym rozstawie są połączone ze sobą śrubami w izolujących osłonach przechodzącymi przez otwory wywiercone w szycie szyny oraz przytwierdzone za pośrednictwem śrub kotwiących wklejonych w beton podbudowy z nakrętkami i łapkami specjalnej konstrukcji albo jedynie połączone ze sobą poprzeczkami torowymi i zabudowane nawierzchnią drogową. Pomiedzy stalowymi korytami a betonem podbudowy stosuje się warstwę wyrównawczą z cementowej masy niekurczliwej szybkowiążącej. Zabudowa drogowa z betonu, asfaltu albo kostki styka się ze stalowymi profilami obudowy szyn. Gumowe przekładki stanowią izolację wibroakustyczną i elektryczną. Dzięki zastosowaniu stalowych profili nie jest konieczne stosowanie szyny rowkowej dla uzyskania toru zabudowanego.

W analizowanym rozwiązaniu możliwe są ugięcia szyny do 10 mm. Wysoka elastyczność zapewnia tłumienie wstrząsów i wibracji wywołanych przejeżdżającym taborem do 90 %. Ważniejsze realizacje torowiska tego typu miały miejsce w następujących miastach: Karlsruhe - 1992, Kolonia - 1992 i 1998, Brunszwig - 1993, Ludwigshafen - 1995, Brema - 2002.

LITERATURA

- [1] Makuch J.: Zastosowanie tworzyw sztucznych w nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcji torowisk tramwajowych w Polsce. XLVII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Tom 4 - Inżynieria Komunikacyjna, Krynica 2001.
- [2] Makuch J.: Konstrukcje torowisk tramwajowych stosowanych we Wrocławiu od początku lat 90-tych. IX Konferencja Naukowa "Drogi Kolejowe", Kraków - Kościelisko 1997.
- [3] Szacfajer R.: Problemy modernizacji konstrukcji torów tramwajowych w Miejskim Przedsiębiorstwie Komunikacyjnym we Wrocławiu. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej 24, Seria: Konferencje 7, "Drogi szynowe - zagadnienia badawczo konstrukcyjne i eksploatacyjne", Wrocław 1978.
- [4] Nowa A., Porębski R.: Ocena budowy i wstępnej eksploatacji niekonwencjonalnej nawierzchni tramwajowej w Poznaniu. IV Konferencja Naukowa "Drogi Kolejowe", Warszawa - Jachranka 1987.
- [5] Zątek R.: Wielka płyta w torowisku tramwajowym. Transport Miejski 3/1988, str. 72 - 73.
- [6] Krużyński M., Szydło A., Piotrowski A., Makuch J., Mazurkiewicz R., Trupkiewicz R.: Ocena stanu technicznego torowiska tramwajowego w ciągu ulic Nowowiejskiej i Piastowskiej we Wrocławiu. Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Raport SPR 129/99, Wrocław 1999.
- [7] Krużyński M., Szydło A., Piotrowski A., Makuch J., Mazurkiewicz R., Trupkiewicz R.: Ocena stanu technicznego torowiska tramwajowego w ulicy Grabiszyńskiej we Wrocławiu. Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Raport SPR 130/99, Wrocław 1999.
- [8] Fraskerti S.: Nowoczesny kompleksowy system nadbudówki (podkładów wraz z szynami) torów kolei drogowej w budapeszteńskim przedsiębiorstwie komunikacyjnym. Tłumaczenie z języka węgierskiego - maszynopis.

- [9] Kaun M., Luxemburk F.: Torowiska tramwajowe z płyt z szynami blokowymi - praskie doświadczenia. *Transport Miejski* 1/1990, str. 7 - 9.
- [10] Chelmecki W.: Projektowanie toru tramwajowego konstrukcji węgierskiej w istniejących układach urbanistycznych. Sympozjum Naukowo - Techniczne "Racjonalne wykorzystanie infrastruktury szynowej", Kraków - Zakopane 1995.
- [11] Feil A.: Nowa konstrukcja toru tramwajowego. *Transport Miejski* 12/1992, str.: 18 - 20.
- [12] Jankowski Z.: Nowe technologie i konstrukcje torowe systemu Polmar - Halpol wprowadzone w 1990 r. na terenie Warszawy. *Transport Miejski* 1/1991, str. 5 - 7.
- [13] Zadecki W.: Systemy drogowo - torowe Polmar - Halpol. *Transport Miejski* 1/1991, str. 3 - 4.
- [14] Kłosek K.: Wzmocnienie słabo nośnych torowisk z wykorzystaniem geokompozytowych poduszek. Międzynarodowa Konferencja Naukowo - Techniczna "Nowoczesne rozwiązania techniczne w komunikacji tramwajowej", Wrocław 2000.
- [15] Nowa technologia budowy rozjazdu tramwajowego. Miejski Zakład Torów, Sieci i Podstacji Trakcyjnych, Kraków 1997.
- [16] Chelmecki W.: Modyfikacja konstrukcji toru tramwajowego w aspekcie rewaloryzacji zabytkowych ulic śródmiejskich. IX Konferencja Naukowa "Drogi Kolejowe", Kraków - Kościelisko 1997.
- [17] Oleksiewicz W.: Projekt ciągłego, sprężystego podparcia szyny na podbudowie betonowej w torze tramwajowym wspólnym z jezdnią. Transcomp, Warszawa 1997.
- [18] Polimer: Materiały do systemu wibroizolacji torów tramwajowych. Katalog, Katowice 1996.
- [19] Kłosek K.: Nowe rozwiązania nawierzchni tramwajowej w aglomeracji górnośląskiej. Sympozjum Naukowo - Techniczne "Racjonalne wykorzystanie infrastruktury szynowej", Kraków - Zakopane 1995.
- [20] Oleksiewicz W.: Kierunki modernizacji torów tramwajowych. Ogólnopolska Konferencja Naukowo - Techniczna "Kierunki rozwoju komunikacji tramwajowej w Polsce", Katowice 1998.
- [21] Schnellbörg G., Hoffman M., Reich K.: Infundo Feste Fahrbahn. Leonhard Weiss GMBH & Co.
- [22] Ortec: Die Flüsterschiene von Ortec.