

PODBUDOWY I NAWIERZCHNIE TRAMWAJOWE

Streszczenie

W referacie przedstawiono rozważania na temat znaczenia transportu tramwajowego dla aglomeracji miejskich i ewolucji rozwiązań konstrukcyjnych torowisk tramwajowych. Omówiono również stan torowisk eksploatowanych, warunki trwałości i niezawodności nawierzchni oraz problemy doboru sprężystości podparcia szyn.

1. Transport tramwajowy szansą dla zatłoczonych miast

W zaspokajaniu potrzeb transportu pasażerskiego w dużych miastach polskich podział przewozów pomiędzy różne środki transportu obecnie i w przyszłości stawia wysokie wymagania systemowi transportu tramwajowego. Głównymi przyczynami są:

- brak sprawnych układów transportu samochodowego, których ulepszenie wymaga olbrzymich nakładów, a niejednokrotnie gruntownej przebudowy układu urbanistycznego - niezwykle trudnej i kosztownej,
- brak motywacji i funduszy na budowę kolei podziemnej,
- małe zainteresowanie społeczne alternatywnymi środkami transportu oraz brak woli politycznej poszukiwania rozwiązań w tej dziedzinie.

Perspektywiczne plany rozwoju miast wymagają rozwoju kolei podmiejskich oraz publicznego transportu szynowego w samych aglomeracjach miejskich. Rozwój transportu tramwajowego wymaga natomiast wymiany taboru na sprawniejszy, częściowej przebudowy i rozbudowy sieci linii tramwajowych oraz trwałych i niezawodnych rozwiązań konstrukcyjnych torowisk, spełniających wymagania ochrony środowiska, szczególnie w zakresie walki z hałasem.

Jest rzeczą oczywistą, że aby miejski transport szynowy mógł przejąć choćby część pasażerów od transportu samochodowego musi być szybszy i zapewnić punktualność kursowania składów. Te warunki z powodzeniem spełnia szybka kolej miejska, dzięki bezkolizyjnemu układowi linii kolejowych na terenach zurbanizowanych. Jednak sieć kolejowa w miastach nie jest na tyle gęsta, aby zaspokoić potrzeby przewozowe ludności. Znacznie bardziej zagęszczona jest sieć linii tramwajowych. Jej układ jest jednak kolizyjny z powodu położenia w poziomie sieci ulic, a w obszarach śródmiejskich w obrębie jezdni przeznaczonych do ruchu samochodowego.

Obecne tendencje modernizacyjne transportu tramwajowego uwzględniają te problemy i zmierzają w kierunku wydzielenia jak najdłuższych odcinków torów z jezdni ulicznych, sterowania ruchem na skrzyżowaniach w ten sposób, aby zapewnić priorytet tramwaju, wyłączania torowisk tramwajowych z ruchu samochodów, wykorzystując je ewentualnie do ruchu autobusów miejskich, aż po budowę wielopoziomowych skrzyżowań bezkolizyjnych. Kompleksowe zastosowanie przytoczonych rozwiązań sprowadza się do budowy "szybkiego tramwaju", który pozwala na istotne zwiększenie prędkości i punktualności kursowania tramwajów.

Zwiększenie prędkości tramwajów wymaga ponadto odpowiedniego trasowania linii oraz dobrego ich stanu technicznego. Zmiany układu geometrycznego polegające głównie na zwiększeniu promieni łuków i zastosowaniu krzywych przejściowych w połączeniu z wydzieleniem torowiska tramwajowego z ruchu samochodów w gęstej zabudowie śródmiejskiej jest niezwykle trudne, nie w każdym przypadku możliwe. Poprawa zaś stanu technicznego wymaga najczęściej kosztownej i czasochłonnej przebudowy konstrukcji torów i podtorza. W warunkach bardzo intensywnego ruchu samochodów i dużych potrzeb przewozowych transportu tramwajowego, żądanie to jest niezwykle trudne do realizacji i uciążliwe dla ludności. Głównie z tego powodu, pomijając aspekt nakładów, dąży się do ulepszenia konstrukcji torów i takiego wzmocnienia podtorza aby trwałość nowych rozwiązań była nie mniejsza niż kilkanaście lat, a w zasadzie powinna przekraczać okres 20 lat. W ponad 98% tego okresu czasu tor tramwajowy powinien posiadać pełną zdolność eksploatacyjną, a w pozostałych 2% - ograniczoną, z powodu wykonywania napraw bieżących.

2. Stan torowisk eksploatowanych

2.1. Stan torowisk wbudowanych w jezdnię

Jako typowe rozwiązania w obrębie zwartej zabudowy śródmiejskiej, od początku budowy linii tramwajowych, stosowane są konstrukcje wbudowane w jezdnię uliczne. Konstrukcje te są bardzo zróżnicowane, ponieważ różne przedsiębiorstwa komunikacyjne realizowały własne konstrukcje, dostosowane do chwilowych potrzeb i możliwości wykonawczych. Wprowadzano też eksperymentalnie modyfikacje stosowanych wcześniej rozwiązań w poszukiwaniu rozwiązań optymalnych zarówno ze względu na trwałość jak i na łatwość wykonywania napraw. Ten drugi aspekt był przedmiotem badań prowadzonych w Zakładzie Kolei na Politechnice Wrocławskiej [1]. Zasadnicze różnice pomiędzy stosowanymi w ubiegłych dziesięcioleciach konstrukcjami polegały na różnych sposobach podparcia i mocowania szyny i zabudowy torów, stanowiących część jezdni ulicznej. Wszystkie te rozwiązania charakteryzują się jednak niską trwałością, która we Wrocławiu wynosi 3-6 lat, mimo niewielkiego zużycia szyn. Przyczynami tego stanu w głównej mierze są:

- nieciągłe podparcie stopki szyny i niewłaściwe jej mocowanie, prowadzące po krótkim okresie eksploatacji do zniszczenia mas podlewowych,
- szczelność obudowy szyn wynikająca zarówno z wadliwości rozwiązań konstrukcyjnych, jak i ze stosowania zbyt kruchych mas zalewowych,
- niejednorodne posadowienie zabudowy torów o niewystarczającej nośności powodujące nadmierne deformacje,
- brak skutecznego odwodnienia.

W efekcie, już po kilkuletnim okresie eksploatacji dochodziło do wykruszania się elementów obudowy szyn i nawierzchni między szynami i na międzytorzu, lawinowego pęknięcia szyn i utraty wymaganych parametrów geometrycznych torów.

2.2. Stan torowisk wydzielonych z jezdni

W odróżnieniu od torowisk wbudowanych w jezdnię uliczną, torowiska wydzielone charakteryzują się stosunkowo łatwym dostępem do elementów konstrukcyjnych torowiska. Ich zły stan techniczny wynika w głównej mierze z braku jakichkolwiek prac utrzymaniowych, czy napraw bieżących (poza usuwaniem pęknięć szyn) w wieloletnim okresie eksploatacji. Tradycyjna konstrukcja nawierzchni wydzielonych jest najczęściej typu kolejowego i składa się z szyn kolejowych ułożonych na podkładach poprzecznych i na warstwie podsypki tłuczniowej. Okres eksploatacji tych nawierzchni między kolejnymi naprawami głównymi jest znacznie dłuższy, niż to ma miejsce w nawierzchniach wbudowanych i sięga kilkunastu lat. Niestety brak napraw bieżących, korekt parametrów geometrycznych, dbałości o odwodnienie oraz stan podsypki sprawiają, że w wielu przypadkach eksploatacja, nawet z ograniczoną prędkością jest niebezpieczna. Do głównych przyczyn złego stanu torowisk wydzielonych można zaliczyć:

- brak sprawnego odwodnienia powodujący przyspieszone zanieczyszczanie się podsypki między innymi gruntami podtorza,
- brak podbicia i zagęszczenia podsypki,
- brak odpowiednich warstw filtracyjnych i ochronnych w torowisku.

Zanieczyszczona, zmieszana z gruntem podtorza podsypka z jednej strony powoduje dodatkowe deformacje torów, a z drugiej zatrzymuje wodę i przyspiesza niszczenie podkładów (przyspieszona korozja biologiczna podkładów drewnianych na skutek zawilgocenia i pękanie podkładów betonowych na skutek niewłaściwego podparcia).

Efektom takiego stanu rzeczy są deformacje torów w pionie i poziomie przekraczające wszelkie dopuszczalne normy. Inwentaryzując eksploatowane przez dłuższy okres czasu nawierzchnie stwierdza się z reguły:

- nierównomierne zużycie szyn wynikające z nadmiernych deformacji toru,
- niesprawne przytwierdzenia (luźne wkręty, brak elementów przytwierdzeń),
- skorodowane podkłady drewniane lub spękane betonowe,
- zanieczyszczona podsypka, a w zasadzie brak podsypki,
- liczne wylapy zatapiające podkłady w wyciskanym gruncie.

3. Warunki trwałości i niezawodności torowisk tramwajowych

3.1. Torowiska wbudowane w jezdnię

Zwiększenie trwałości i niezawodności torowisk tramwajowych wbudowanych w jezdnię można uzyskać spełniając pewne podstawowe warunki do których należą:

- stabilne podłoże betonowe lub z gruntów stabilizowanych,
- podłoże dobrze odwodnione - wymagany drenaż wgłębny,
- nawierzchnia bezpodsytkowa,
- sprężyste podparcie i przytwierdzenie szyn,
- elastyczna obudowa szyn - szczelnie wypełniająca przestrzeń między szynami a nawierzchnią ulicy,
- optymalna sprężystość podparcia szyny: niezbyt sztywna z uwagi na oddziaływania dynamiczne i hałas oraz niezbyt podatna z uwagi na szczelność.

3.2. Torowiska wydzielone z jezdni

W torowiskach wydzielonych z jezdni wymagane są:

- stabilne, wielowarstwowe podtorze spełniające warunki: odporności na działanie wody, dobrej zagęszczalności (nie ulegające rozluźnieniu pod wpływem drgań - wskaźnik różnoziarnistości $U \geq 5$), odporności na działanie mrozu, stabilności mechanicznej na stykach warstw,
- dobrze odwodnione - wymagany drenaż wgłębny w podtorzu oraz szczelność lub dostateczna wodoprzepuszczalność warstw $k_{10} \geq 10^{-4}$ m/s; przy zastosowaniu szczelnej warstwy ochronnej powierzchnia jej powinna być wyprofilowana ze spadkiem 4-5 % w kierunku drenażu,
- o dostatecznej nośności, tak aby obciążenia eksploatacyjne nie powodowały przekroczenia naprężeń dopuszczalnych dla wbudowanych gruntów,
- nawierzchnie typu kolejowego z podsypką tłuczniovą, lub bezpodsytkowe, oddzielone od jezdni drogowych, chodników, trawników itp. krawężnikami; ze sprężystym przytwierdzeniem szyn do podkładów poprzecznych, podłużnych lub płyt betonowych.

4. Dobór sprężystości podparcia szyn w nawierzchniach tramwajowych

W nawierzchniach tramwajowych problem podparcia szyn jest szerszy niż w kolejowych. Jeżeli chodzi o nawierzchnie wydzielone z jezdni to zagadnienia sprężystości podparcia szyn można traktować analogicznie jak w nawierzchniach kolejowych. Jednak w przypadku nawierzchni wbudowanych w jezdnię oraz wszystkich konstrukcji bezpodsytkowych problem doboru sprężystości pionowego podparcia szyn dotyczy podparcia ciągłego, a nie punktowego. Występuje tu również problem podparcia poziomego w sposób sprężysty, pozwalający na złagodzenie wpływów dynamicznych na sąsiadujące z szynami elementy jezdni. Dobór sprężystości podparcia pionowego uznano za kluczowy i przyjęto, że podparcie poziome nie powinno być sztywniejsze niż pionowe. W przepisach normatywnych [2, 3] istnieje zapis, że ugięcia szyn przy obciążeniu taboru powinny być na tyle małe, aby nie były dostrzegalne wizualnie. Wymaganie to jest wprawdzie nieprecyzyjne, ale pozwala na przyjęcie przedziału wartości dopuszczalnych ugięć szyn: $0 \leq y \leq 0,5$ mm. Ograniczenie natomiast dynamicznych oddziaływań na podłoże szyn wymaga wyboru wartości maksymalnych z podanego przedziału, wobec czego można przyjąć, że maksymalne ugięcia szyn w bezpodsytkowym torze tramwajowym powinny być zbliżone do wartości $y = 0,5$ mm. Ograniczenie to można uznać za aktualne również dla torów na podsypce, wydzielonych z jezdni.

4.1. Dobór sprężystości podparcia szyn w nawierzchniach wydzielonych

Przyjmując, że maksymalne ugięcie szyny może osiągać wartość $y = 0,5$ mm można określić parametry podszynowej podkładki sprężystej dla nawierzchni składającej się z szyn S49 i kolejowych podkładów strunobetonowych nowej generacji z przytwierdzeniem sprężystym.

Ugięcia podkładek sprężystych na podporach przy obciążeniu przejeżdżającym kołem pojazdu można obliczyć z prostej zależności:

$$y = p/c \quad (1)$$

gdzie: p [kN] - maksymalny nacisk na podporę wywierany przez znajdujące się nad nią koło pojazdu szynowego,
 c [kN/mm] - sztywność podkładki.

Nacisk p określa zależność:

$$p = 0,5 P_d k l \quad (2)$$

gdzie P_d [kN] - nacisk dynamiczny koła na szynę,

k [m^{-1}] - współczynnik względnej sztywności podłoża i szyny,

l [m] - rozstaw podpór (0,6 mm)

Nacisk dynamiczny P_d można określić według [4] z zależności:

$$P_d = P_s [1 + 1,5 \times 10^{-5} (3v^2 - 0,01v^3)] \quad (3)$$

gdzie P_s [kN] - statyczny nacisk koła, v [km/h] - prędkość maksymalna.

Przyjmując $P_s = 75 / 2 = 37,5$ kN i $v = 60$ km/h otrzymuje się: $P_d = 42,36$ kN. Z uwagi na imperfekcje dopuszczalne w wykonawstwie i eksploatacji nacisk ten należy zwiększyć o 15 %. Ostatecznie otrzymuje się: $P_d = 48,7$ kN. Współczynnik k można określić z zależności:

$$k = 4 \sqrt{\frac{U}{E \cdot J \cdot 4}}$$

gdzie: U [MPa] - moduł sztywności podłoża szyny,

E [Mpa] - moduł sprężystości stali szynowej ($E = 2,1 \times 10^5$ MPa)

J [m^4] - moduł bezwładności przekroju szyny (dla S49 $J = 1,815 \times 10^{-5} m^4$)

W nawierzchniach kolejowych typu ciężkiego dąży się do uzyskania sztywności podparcia szyny poniżej $c = 20$ kN/mm. Odpowiadający tej wartości moduł sztywności toru [5] wynosi $U = 14,2$ MPa, natomiast $k = 1 m^{-1}$, co odpowiada w przybliżeniu współczynnikowi k_{min} uzyskanemu podczas pomiarów dla nawierzchni szyn S49 na podkładach drewnianych [6]. Ostatecznie $p = 0,5 \times 48,7 \times 1 \times 0,6 = 14,6$ kN. Przyjmując maksymalne ugięcie szyny $y = 0,5$ mm i maksymalny nacisk $p = 14,6$ kN otrzymujemy: $c = p / y = 14,6 / 0,5 = 29,2$ kN/mm. Współczynnik ten określa sztywność podkładek podszynowych potrzebnej dla uzyskania wystarczającej amortyzacji wpływów dynamicznych pochodzących od pojazdów szynowych. Ogólnie można więc stwierdzić, że sztywność podkładek podszynowych w nawierzchniach tramwajowych wydzielonych z jezdni zbudowanych z szyn S49, podkładów strunobetonowych i podsypki tłuczniowej powinna być zbliżona do wartości $c = 30$ kN/mm. W przypadku zastosowania szyn rowkowych wartość ta może być obniżona z uwagi na zwiększoną wartość modułu bezwładności. Przyjęte maksymalne ugięcia szyn $y = 0,5$ mm nie powodują ani zbytniego zmniejszenia docisku łapek sprężystych, ani powstawania nadmiernych naprężeń pochodzących od zginania w szynach, co zostało niejednokrotnie sprawdzone w nawierzchniach kolejowych.

4.2. Dobór sprężystości podparcia szyn w nawierzchniach wbudowanych

Określenie dla nawierzchni wbudowanej sprężystości podkładki podszynowej dającej w efekcie rezultaty analogiczne do nawierzchni wydzielonych wymaga uwzględnienia różnic konstrukcyjnych. Do najważniejszych należą:

- punktowe lub strefowe podparcie szyny, z reguły zamieniane jest na podparcie ciągłe, ponieważ pozostawienie wolnych przestrzeni pod szyną obniża trwałość nawierzchni,
- szyna jest obudowana co powoduje jej usztywnienie.

Podparcie ciągłe w stosunku do strefowego zmienia wielkość ugięć szyny, ponieważ przy $y_{max} = 0,5$ mm ugięcie w odległości 0,3 m wynosi $y_1 = 0,9 y_{max}$, a w odległości 0,6 m, czyli w przekroju, w którym w torze wydzielonym z jezdni istnieje podpora, wynosi $y_2 = 0,7 y_{max}$. Wynika to z linii ugięcia szyny podpartej na sprężystym podłożu. W efekcie należy przyjąć, że dla uzyskania podobnych ugięć w obydwu analizowanych rozwiązaniach sztywność podparcia szyny należy zmniejszyć o około 20 % w stosunku do nawierzchni niewbudowanej.

Trudniejszy do określenia jest wpływ obudowy szyny na jej ugięcia. Brak informacji w literaturze i brak danych z badań zmusza do oszacowania tego wpływu. Tworzywo wypełniające przestrzeń między szyną i wypełnieniem komór szynowych, a konstrukcją nawierzchni drogowej ma duży przekrój czynny, w którym materiał pracuje na ścinanie. Przyjmując, że przy ścinaniu odkształcenia tworzyw polimerowych są w przybliżeniu dwukrotnie większe niż przy ścisnieniu można oszacować, że obudowa szyny może zwiększyć sztywność nawierzchni nawet o 30 %.

Przyjmując ograniczenia ugięcia o łącznie 50 % w stosunku do nawierzchni typu kolejowego można określić, że sztywność podkładek podszynowej ciągłej w nawierzchni wbudowanej należy zmniejszyć o około 50 % w stosunku do sztywności podkładek stosowanych w nawierzchniach niewbudowanych, co w rezultacie daje sztywność pożądaną: $c = 15$ kN/mm. Przyjęcie takiej sztywności pozwala oczekiwać, że maksymalne ugięcia szyn w nawierzchni wbudowanej osiągną wymaganą wartość $y = 0,5$ mm, a zastosowanie polimerowych mas wypełniających przestrzeń między szyną a konstrukcją nawierzchni drogowej pozwoli, dzięki dużemu zakresowi ich odkształcalności sprężystej na zachowanie szczelności torowiska, uniemożliwiając penetrację wody w głąb jego konstrukcji.

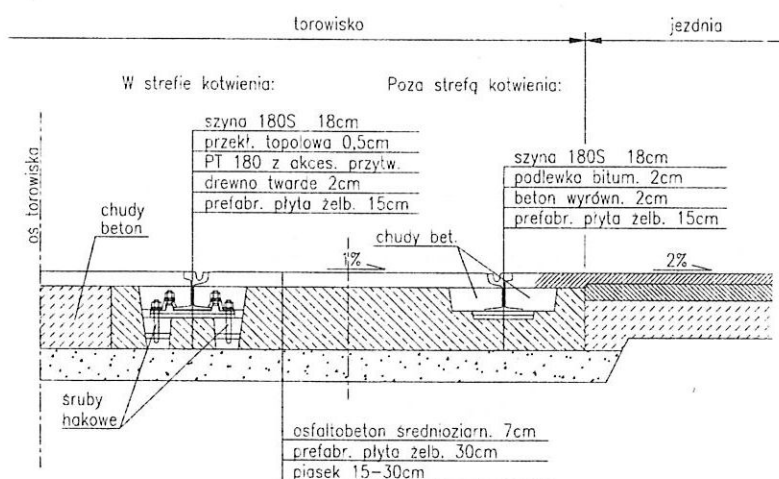
5. Podbudowy i nawierzchnie tramwajowe wbudowane w jezdnię

Jak już wspomniano w punkcie 2.1. przedsiębiorstwa komunikacyjne stosowały różne rozwiązania konstrukcyjne torowisk wbudowanych w jezdnię dostosowane do swoich potrzeb i możliwości wykonawczych. We Wrocławiu jako podbudowę torowisk wbudowanych stosowano najczęściej płytę betonową o grubości 20 - 30 cm, układaną na wyprofilowanym i zagęszczonym podłożu. Nie stosowano drenażu wgłębnego. Nawierzchnię w postaci szyn rowkowych połączonych poprzeczkami torowymi z płaskownika posadawiano na podbudowie za pośrednictwem podłużnych podszytowych ław bitumicznych o grubości 3 - 6 cm (lany asfalt albo grysy otaczane asfaltem). Nie stosowano przytwierdzenia szyn do podbudowy. Zabudowę torowiska wykonywano z kostki kamiennej albo prefabrykowanych płyt żelbetowych, które układano na podsypce cementowo-piaskowej. Szczeliny między kostką kamienną i płytami spoinowano zaprawą cementową. W przypadku odbywania się po torowisku ruchu samochodów płyty żelbetowe przykrywano dywanikiem asfaltowym. W strefie przyszynowej nie stosowano mas zalewowych ani wypełniania komór szynowych elementami prefabrykowanymi. Przedstawiona konstrukcja posiadała szereg wad ujawniających się następującymi objawami:

- lokalne zapadnięcia toków szynowych, utrata geometrii,
- pękanie szyn, wykruszanie się obudowy szyn,
- utrata szczelności, przenikanie wody wgłąb torowiska, destrukcja podtorza (wychłapy, wysadziny),
- wysoki poziom emisji hałasu i drgań.

Ze względu na te niedogodności rozpoczęto poszukiwanie nowych rozwiązań.

W roku 1987 w ramach remontu torowiska w **ul. Jedności Narodowej** zastosowano po raz pierwszy we Wrocławiu konstrukcję torowiska z płyt PPT, przedstawioną na rys.1.



Rys.1. Konstrukcja torowiska wbudowanego typu PPT

Rozwiązanie to było polskim odpowiednikiem metody węgierskiej, która z powodu wysokich kosztów wynikających z ochrony patentowej i konieczności zakupu licencji nie cieszyła się w tym czasie dużym zainteresowaniem. Projektując płyty PPT, z metody węgierskiej wzięto jedynie ideę wielkowymiarowej żelbetowej płyty, rezygnując z wszystkich pozostałych zalet zagranicznego rozwiązania, takich jak:

- ciągłe podparcie i zamocowanie szyn,
- mała wysokość konstrukcyjna (dzięki zastosowaniu szyny blokowej),
- wyeliminowanie połączeń śrubowych,
- wyeliminowanie dodatkowych warstw nawierzchni (płyta pełni jej funkcję).

Poza brakiem wyżej wymienionych zalet rozwiązanie torowisk z płyt PPT posiadało następujące wady:

- rozstaw przytwierdzeń wynoszący 1,5 m był zbyt rzadki (dla porównania w przypadku toru wydzielonego z przytwierdzeniem szyn do podkładów rozstaw ten wynosi maksymalnie 0,75 m),
- śruby hakowe przytwierdzające podkładkę żebrową do płyty PPT nie tkwiły w niej sztywno (tak jak wkręt lub kotwa w podkładzie albo śruba w epoksydobetonowej podporze) lecz były przymocowane na zasadzie przegubu (zahaczone o pręt zbrojenia płyty w jamie wypełnionej piaskiem); po pojawieniu się niewielkiego luzu górny koniec śruby hakowej uzyskiwał swobodę przesunąć w planie przez co również możliwe były poziome przesunięcia podkładki żebrowej,

- podkładki z drewna twardego i przekładki topolowe ulegały szybkiej degradacji,
- podkładka żebrowa i z drewna twardego - były podparte płytą PPT jedynie na połowie swej powierzchni (środkowe 20 cm), druga połowa powierzchni (po 10 cm z obu końców) przypadała nad jamą wypełnioną piaskiem, przez co nie wykorzystywano w pełni możliwości równomiernego rozłożenia naprężeń jakie dawało zastosowanie podkładki żebrowej,
- łapki typu Łp zastosowane w przytwierdzeniu cechował brak sprężystości (obecnie na kolei w przytwierdzeniach typu „K” odchodzi się od sztywnych łapek Łp na rzecz łapek sprężystych, np. skl12),
- pozostawienie jedynie 7 cm na warstwę nawierzchni z asfaltobetonu powodowało przenoszenie się spękań ze styków płyt na nawierzchnię.

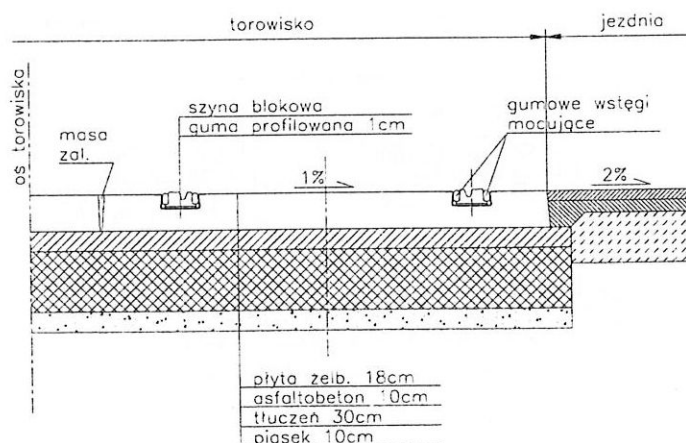
O ile drewniane podkładki i przekładki można było zastąpić gumowymi lub z elastomerów, a sztywne łapki - sprężystymi, pozostałe z wyżej wymienionych wad nie dawały się wyeliminować bez konstrukcyjnych przeprojektowań torowisk z płyt PPT.

Również podtorze (w postaci warstwy piasku posadowionej na gruncie rodzimym bez odwodnienia) z punktu widzenia poprawności konstrukcji posiadało następujące wady:

- sztywna płyta żelbetowa PPT powodowała wypieranie słabego podłoża z piasku, szczególnie w strefach przykrawędziowych,
- brak odwodnienia nie gwarantował niezmienności parametrów wytrzymałościowych podtorza.

Bardziej odpowiednim sposobem podparcia płyt PPT byłby model podłoża kilkuwarstwowego o sztywności warstw stopniowo malejącej. Takie rozwiązanie zapewniłoby właściwe rozłożenie nacisków i tłumienie drgań oraz wysoką nośność.

Ostatni raz konstrukcję torowiska z płyt PPT zastosowano we Wrocławiu w roku 1994. W roku 1994 w ramach remontu torowiska w **ul. Poniatowskiego** po raz pierwszy we Wrocławiu wykonano torowisko według technologii węgierskiej, przedstawione na rys.2.



Rys.2 Konstrukcja torowiska wbudowanego typu węgierskiego

Rozpowszechnienie tej metody stało się możliwe głównie dzięki wygaśnięciu okresu ochrony patentowej oraz rozpoczęciu produkcji podstawowych elementów tej metody w kraju.

Technologia ta posiada następujące zalety:

- ciągłe podparcie i zamocowanie szyn - właściwy rozkład naprężeń,
- sprężyste podparcie i zamocowanie szyn - ograniczenie emisji drgań i hałasu,
- mała wysokość konstrukcyjna (szyny blokowe),
- wyeliminowanie połączeń śrubowych,
- wyeliminowanie dodatkowych warstw nawierzchni (płyta pełni jej funkcję),
- wysoki stopień prefabrykacji i mechanizacji,
- dobra izolacja elektryczna (ograniczenie upływu prądów błądzących),
- duża szczelność nawierzchni w przypadku zastosowania mas zalewowych na bazie poliuretanów lub elastomerów,
- 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).

Wady:

- konieczność uzyskania wysokiej precyzji wykonania najwyższej warstwy podbudowy z asfaltobetonu,

Technologia węgierska nie wyparła jednak w zupełności rozwiązania klasycznego (z szynami rowkowymi). Jej konkurentem, dzięki zapożyczeniu z systemów metra technologii epoksydobetonowych podpór szyn, pozostaje tor z szyn rowkowych na poduszkach wibroizolacyjnych z podbudową z betonu cementowego.

Diagram illustrating the cross-section of a road pavement structure, showing two types of supports: **W strefie podpór** (in the support zone) and **Poza podporami** (outside supports).

W strefie podpór:

- torowisko
- 180S elastomer 6mm
- PT180 z SKL12
- elastomer 7mm
- epoksydobeton 4cm
- bloczki bet.
- śruby kotw.

Poza podporami:

- 180S lany asfalt 7cm
- masa zal.
- opory bet.
- kostka kamienna 18cm
- chudy beton 7cm
- płyta bet. B35 30cm
- piasek 10cm

The diagram also shows a **jezdni** (road surface) and a **torowisko** (road edge) with a **1%** slope indicated.

Rozwiązanie to posiada następujące zalety:

- sprężyste podparcie i zamocowanie szyn - ograniczenie emisji drgań i hałasu,
- możliwość stosowania w rozjazdach i ciasnych łukach,
- wariantowa zabudowa (kostka kamienna, płyty EPT, asfaltobeton, trawnik),
- dobra izolacja elektryczna (ograniczenie upływu prądów błądzących),
- duża szczelność nawierzchni w przypadku zastosowania mas zalewowych albo taśm dylatacyjnych na bazie poliuretanów lub elastomerów,
- mniejsza niż w metodzie węgierskiej konieczność precyzyjnego wykonania najwyższej warstwy podbudowy,
- łatwiejszy niż w metodzie węgierskiej dostęp do infrastruktury podziemnej oraz łatwiejsze projektowanie i wykonanie w przypadku dużej ilości włączów i studzienek uzbrojenia podziemnego,
- łatwiejsza niż w metodzie węgierskiej naprawa pęknięć szyn.

- duża wysokość konstrukcyjna,
- utrudniona wymiana szyn (z naruszeniem zabudowy),
- konieczność wykonania podbudowy z betonu cementowego (wydłużenie czasu inwestycji z powodu okresu dojrzewania betonu),
- niski stopień prefabrykacji i mechanizacji.

Wraz z rozpoczęciem stosowania technologii węgierskiej i epoksydobetonowych podpór wprowadzono łączenie szyn przy pomocy spawania termitowego.

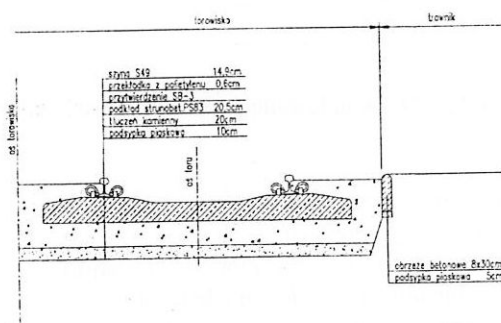
6. Podbudowy i nawierzchnie tramwajowe wydzielone z jezdni

W przypadku torowisk wydzielonych stosowano rozwiązania analogiczne jak w torach kolejowych linii niższych kategorii. We Wrocławiu standardem była nawierzchnia na podkładach drewnianych i warstwie podsypki o grubości 20 cm. Warstwę filtracyjną z drenem podłużnym stosowano jedynie w przypadkach nieprzepuszczalnego podłoża. Na podkładach 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. Od początku lat 90-tych przekładki topolowe zaczęto zastępować gumowymi lub z polietylenu, zaczęto również stosować podkładki żebrowe PT180 pod szyny rowkowe. W roku 1997 po raz pierwszy w przytwierdzeniach typu „K” łapki sztywne zastąpiono sprężystymi skl12.

Podkłady żelbetowe (belkowe i blokowe) zastosowano po raz pierwszy w roku 1965, jednak do czasu umieszczania w nich dybli drewnianych nie zyskały one popularności. Podkłady strunobetonowe (przeważnie INBK4 i PBS1) były stosowane jedynie na trasach położonych z dala od zabudowy mieszkaniowej, gdyż niesłusznie uważano, że nawierzchnie tego typu są głośniejsze od nawierzchni na podkładach drewnianych. Jak się później okazało nie była to wina samych podkładów lecz przytwierdzeń.

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**. Torowisko tego typu przedstawiono na rys. 4.

Przytwierdzenie SB-3 do kotwienia szyny rowkowej wykorzystano po raz pierwszy w roku 1996 przy remoncie torowiska w **ul. Powstańców Śl.** 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.



Rys.4 Konstrukcja torowiska wydzielonego z przytwierdzeniem sprężystym.

Konstrukcję torowiska na podkładach strunobetonowych z przytwierdzeniem sprężystym 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 SB-3 w stosunku do przytwierdzenia typu „K”.
- Wraz z rozpoczęciem stosowania konstrukcji torowiska tego typu wprowadzono:
- łączenie szyn przy pomocy spawania termitowego,
 - stosowanie specjalistycznych maszyn do podbijania i regulacji toru oraz zagęszczenia podsypki (Plasser),
 - stosowanie drenażu w głębszego w podtorzu.

Literatura:

- [1] Problemy modernizacji konstrukcji nawierzchni tramwajowych, Prace naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Seria: Studia i Materiały, Wrocław 1976.
- [2] Wytyczne techniczne projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych, MAGTiOŚ 1983.
- [3] PN-K-92011 Torowiska tramwajowe. Wymagania i badania.
- [4] Bałuch H.: Wspomaganie decyzji w drogach kolejowych, KOW, Warszawa 1994.
- [5] Raymond G. P.: Railroad wood tie design and behaviour, Transp. Eng. J. ASCE, Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. 1977, nr 4.
- [6] Bałuch H.: Sposoby wyznaczania charakterystyk podłoża kolejowego, Problemy Kolejnictwa 1967, nr 39.