KOLEJE-PODSTAWY WYKŁAD

Tramwaj

dr inż. Jarosław Zwolski

Tramwaj klasyczny

DEFINICJA:
pojazd szynowy służący do transportu miejskiego, poruszający się po naziemnym torowisku wbudowanym w jezdnię, wydzielonym albo niezależnym.







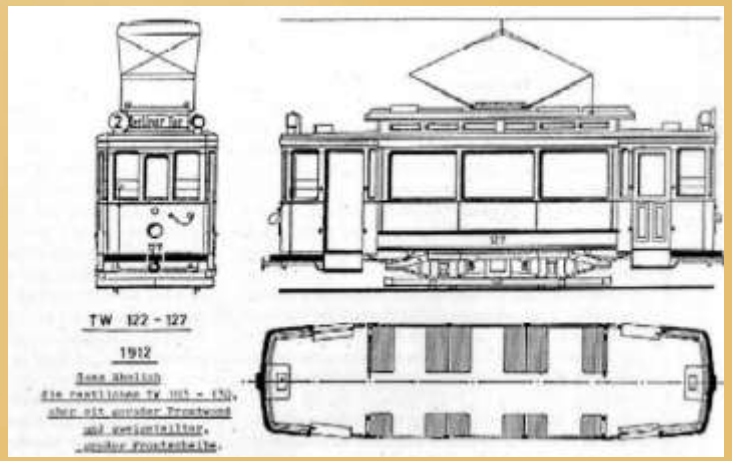
Historia tramwaju - świat

- 1832 – pierwszy tramwaj konny, Nowy York.
- 1855 – tramwaj konny w Paryżu (pierwszy w Europie).
- do 1892 – powstają tramwaje we wszystkich ważniejszych europejskich stolicach.
- 1873 – tramwaj linowy w San Francisco, potem w Edynburgu.
- 1875 – powstaje tramwaj na sprężone powietrze (Ludwik Mękarski) – Francja, Szwajcaria, Stany Zjednoczone.
- lata 70. XIX w – pierwsze tramwaje parowe.
- do 1894 – powstają tramwaje parowe w dużych miastach Europy.
- przełom XIX i XX w. – próby stosowania napędu spalinowego (Daimler) i gazowego do napędu tramwajów.
- 1879 – pierwszy tramwaj elektryczny Wernera Siemensa, Berlin.
- do końca XIX w. – testowanie różnych systemów zasilania elektrycznego.
- początek XX w. – rozkwit tramwaju elektrycznego (nawet w małych miastach).
- lata 20. – 70. – zanik sieci tramwajowych w wielu dużych i prawie wszystkich małych miastach z powodu wzrastającego udziału ruchu samochodowego.
- po 1974 – ponowny rozwój sieci tramwajowych po kryzysie paliwowym.
- po 1985 – nowoczesne tramwaje niskopodłogowe.

Polski tramwaj - rozwój

- 1866 – pierwszy tramwaj w Warszawie.
- 1873 – pierwsza linia tramwajowa w Gdańsku.
- 1877 – pierwsza linia tramwajowa we Wrocławiu.
- 1879 – pierwsza linia tramwajowa w Szczecinie.
- 1880 – pierwsza linia tramwajowa w Poznaniu.
- 1882 – pierwsza linia tramwajowa w Krakowie.
- 1883 – tramwaj elektryczny we Wrocławiu.
- 1884 – pierwsza linia tramwajowa w Sopocie.
- Do II wojny światowej linie tramwajowe działały w 31 miastach.





Polski tramwaj - rozwój

źródło:
Wojcieszak J., Dzieje komunikacji tramwajowej na świecie, Technika Transportu Szynowego, nr 1, 1996.



Historia tramwaju - zanik

- Po II wojnie światowej zlikwidowano większość systemów tramwajowych w USA i w Europie zachodniej (Niemcy, Austria, Dania, Wlk. Brytania, Francja, Szwecja, Hiszpania, Włochy).
- Część mniejszych miast polskich również pozbyła się tramwajów (Bielsko-Biała, Inowrocław, Jelenia Góra, Legnica, Olsztyn, Słupsk i Wałbrzych).

Powody likwidacji tramwajów:

1. Większa dostępność samochodów osobowych.
2. Twierdzenie, że powolny i długi tramwaj blokuje ruch i zajmuje za dużo miejsca.
3. Twierdzenie, że tramwaj to przeżytek.
4. Działania monopolistyczne General Motors (USA), wykupywanie linii tramwajowych i zastępowanie ich autobusami.
5. Odgórne zarządzenia PZPR likwidujące linie w małych miastach i ograniczające zasięg w dużych (Polska).

Historia tramwaju - modernizacja

- Po I wojnie światowej we wielu miastach przeprowadzono modernizację infrastruktury (przebudowa torów z rozstawu 1000 mm na 1435 mm, elektryfikacja).
- Po II wojnie światowej wymieniano również tabor na nowocześniejszy, oparty na pomyśle amerykańskiego PCC.



Oryginalny PCC
ang. *Presidents' Conference Committee*



Tatra T1
(1952-1958)

Konstal 13N
(1959-1969)



Tramwaj w Polsce

Wrocław



Warszawa



Poznań



GOP



Kraków



Bydgoszcz



Gdańsk



Łódź



Elbląg



Grudziądz



Gorzów Wlkp.



Szczecin



Toruń



Tramwaj dziś

Główne trendy w projektowaniu tramwajów i linii tramwajowych:

- Tramwaj niskopodłogowy na całej długości wagonu (oraz peronu przystanku) z dogodnym dostępem dla osób starszych, niepełnosprawnych i niedowidzących.
- Rozstaw szyn: 1435 mm dla łatwiejszego łączenia linii tramwajowych z kolejowymi, jeżeli zachodzi taka konieczność.
- Energooszczędność, rekuperacja energii przy hamowaniu.
- Dostęp do informacji on-line na przystankach i w tramwajach.
- Lokalizacja przystanków łącznie z innymi środkami transportu dla ułatwienia przesiadek (węzły przesiadkowe, P+R).
- Wyciszenie oraz ograniczenie drgań mechanicznych generowanych przez tabor i torowisko.
- Torowiska tramwajowe wydzielone, ewentualnie wspólne z autobusem.
- Sygnalizacja uliczna preferująca tramwaj (samowzbudna).
- Automatyczne śledzenie położenia i punktualności tramwajów na trasie.

Zalety (1)

- Linie tramwajowe mogą przebiegać niezależnie od systemu ulic, co stwarza warunki do płynnej jazdy i w tych warunkach tramwaje nie stoją w korkach ulicznych.
- Pas ruchu zajmowany przez tramwaj jest węższy od pasa ruchu dla autobusu. Dzięki wózkom skrętnym prowadzenie tramwaju w łuku jest doskonałe, zminimalizowane jest niebezpieczeństwo najechania pojazdów na sąsiednich pasach ruchu lub przechodniów na chodniku.
- Tramwaj jest pojazdem długowiecznym, trwałym, co powoduje mniejszy udział kosztów jego amortyzacji.
- Tramwaj jest w większości warunków tańszy w eksploatacji niż autobus. Mając mniejsze opory toczenia może łatwo wykorzystać jazdę z wybiegu, hamując może zwracać energię do sieci (rekuperacja), mniejsze jest zużycie energii w przeliczeniu na pasażera, łączenie wagonów w pociągi ogranicza koszty zatrudnienia.

Zalety (2)

- Tramwaj praktycznie nie emituje zanieczyszczeń – przez to przyczynia się do poprawy warunków ekologicznych w mieście.
- Tramwaj (łączony w pociągi) ma większą pojemność przewozową od autobusu (ponad 200 pasażerów).
- Tramwaj jest mniej wrażliwy na niekorzystne warunki atmosferyczne (gołoledź, opady) dzięki prowadzeniu po szynach i urządzeniom poprawiającym rozruch i hamowanie (m.in. hamulec szynowy, piasecznica).
- Praca silników elektrycznych jest znacznie cichsza od spalinowych, co daje większy komfort akustyczny wnętrza.
- Silnik elektryczny łatwo znosi przeciążenia, jest prostszy konstrukcyjnie, co sprowadza się do mniejszego udziału czynności konserwacyjno-naprawczych niż w przypadku autobusu.
- Coraz szerzej stosowane w nowych tramwajach silniki prądu przemiennego przyczyniają się do doskonałych parametrów rozruchu, zwłaszcza na suchej nawierzchni toru.

Zalety (3)

- Tramwaj jest pojazdem bardzo bezpiecznym, dzięki zastosowaniu czuwaka i hamulców bezpieczeństwa dostępnych dla pasażerów.
- Tramwaj ma krótszą drogę hamowania niż kolej (można częściej lokalizować przystanki).
- Tramwaj rozwija średnie prędkości, dostosowane do warunków miejskich (prędkość chwilowa do 70 km/h).
- Sieć tramwajowa wymaga infrastruktury (tory, sieć trakcyjna, przystanki, krańcówki lub pętle), ale budowa jest tańsza niż kolei pod- lub nadziemnej.
- Konstrukcja taboru umożliwia pokonywanie ciasnych łuków (min. 25 m), co pozwala na łatwą penetrację miasta nawet w ścisłym centrum,
- Tramwaj jest łatwiej dostępny dla osób niepełnosprawnych niż metro (tabor niskopodłogowy, dojście do przystanku w jednym poziomie).

Wady (1)

- Trakcja elektryczna i szynowa wymagają budowy kosztownej infrastruktury, jednak jej efektywność jest znacznie wyższa niż (również kosztowna) budowa wydzielonych pasów dla autobusów.
- Koszt jednostkowy nowego pojazdu jest stosunkowo wysoki, ale amortyzacja przewidziana jest na wielokrotnie dłuższy okres niż w przypadku autobusu.
- W razie zablokowania toru, awarii, wykolejenia lub wypadku z udziałem tramwaju przejściowemu zatrzymaniu ulegają kolejne pociągi na tej samej linii.
- Organizacja objazdu przy pracach torowych/drogowych na słabo rozwiniętych sieciach tramwajowych jest trudna i wymagać może wprowadzenia komunikacji zastępczej autobusami. Wadę tę w pewnym stopniu można wyeliminować wprowadzając do eksploatacji tramwaje dwukierunkowe.
- Budowa i utrzymanie linii tramwajowych ma ekonomiczny sens jedynie tam, gdzie istnieją odpowiednio duże i skupione potoki pasażerskie.

Wady (2)

- Przejazdowi tramwajów towarzyszy hałas, który można zminimalizować dzięki starannemu utrzymaniu infrastruktury i technologiom wyciszającym torowiska (elastyczne wkładki pomiędzy torowiskiem a podłożem).
- Szyny rowkowe wbudowane w jezdnię są zagrożeniem dla użytkowników rowerów i motorowerów. Problem ten jest eliminowany za pomocą gumowej wkładki poddającej się naciskowi obrzeża koła tramwaju, jednak wytrzymującej nacisk koła roweru.

Torowisko

Pod względem funkcjonalnym wyróżnia się dwa rodzaje torowiska:

- wydzielone – przeznaczone zasadniczo tylko dla prowadzenia pojazdów szynowych,
- wspólne z jezdnią – przeznaczone do prowadzenia pojazdów szynowych i samochodowych.

Przykłady torowiska wydzielonego

asfaltowe



betonowe



trawiaste



podsypkowe



Torowisko

Pod względem funkcjonalnym wyróżnia się dwa rodzaje torowiska:

- wydzielone – przeznaczone zasadniczo tylko dla prowadzenia pojazdów szynowych,
- wspólne z jezdnią – przeznaczone do prowadzenia pojazdów szynowych i samochodowych.

Przykłady torowiska wspólnego



kamienne



asfaltowo-betonowe



asfaltowe

Wydzielenie pasa tramwajowego

oznakowanie malowane



inny rodzaj nawierzchni
+ 3 cm wysokości



inny rodzaj nawierzchni
+krawężnik i opaska



elementy w nawierzchni



Wydzielenie pasa komunikacji zbiorowej

oznakowanie malowane



inny kolor nawierzchni



słupek na wjeździe



nawierzchnia odstraszająca



Wydzielenie pasa komunikacji zbiorowej

specjalna nawierzchnia



szlaban na wjeździe



osobna jezdnia

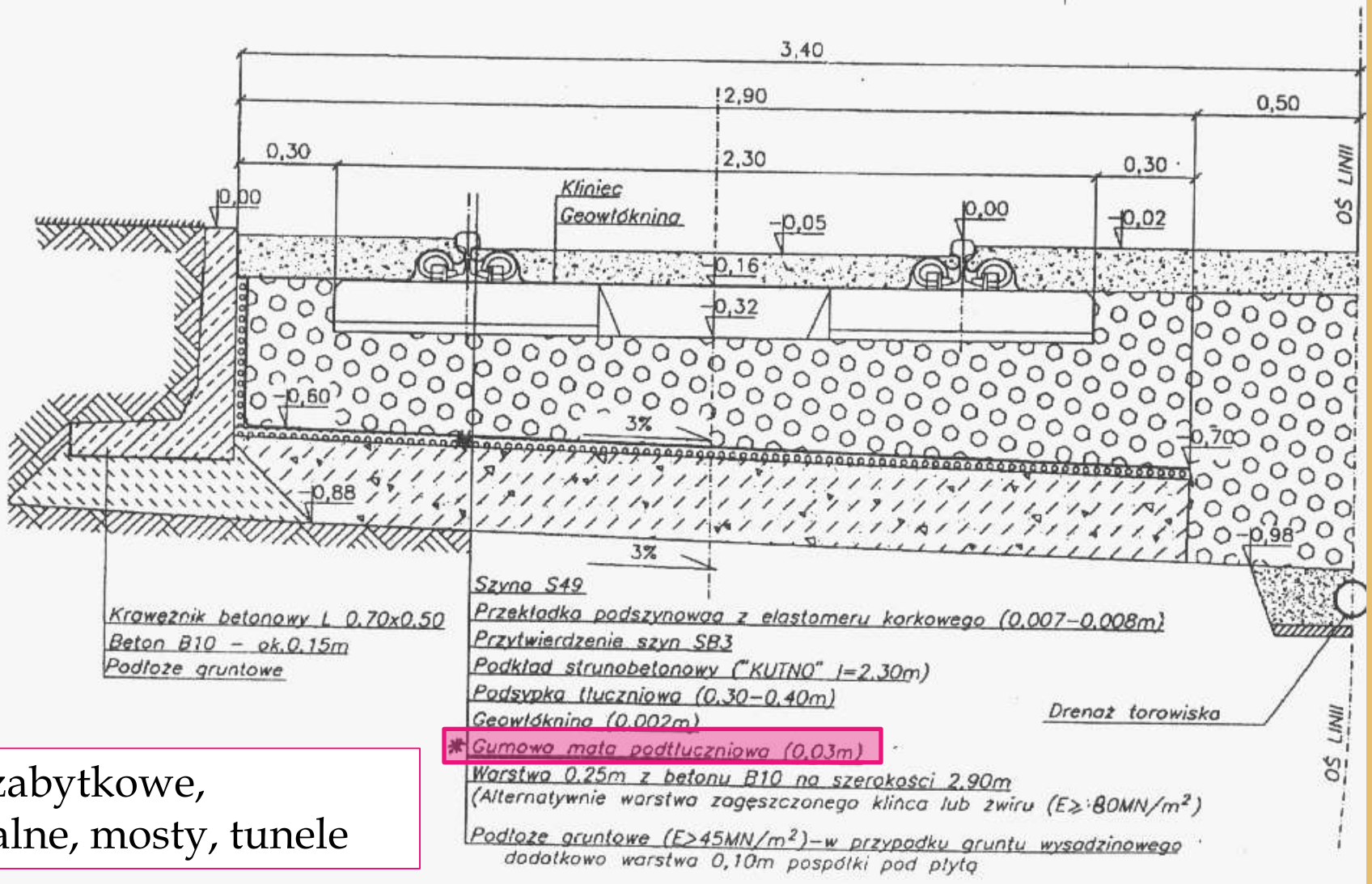


pas autobusowo-tramwajowy



Torowisko wydzielone na podsypce

Rys. 1. Przykład konstrukcji podsypkowej toru tramwajowego o zwiększonej wibroizolacji z matą podłuczniową.



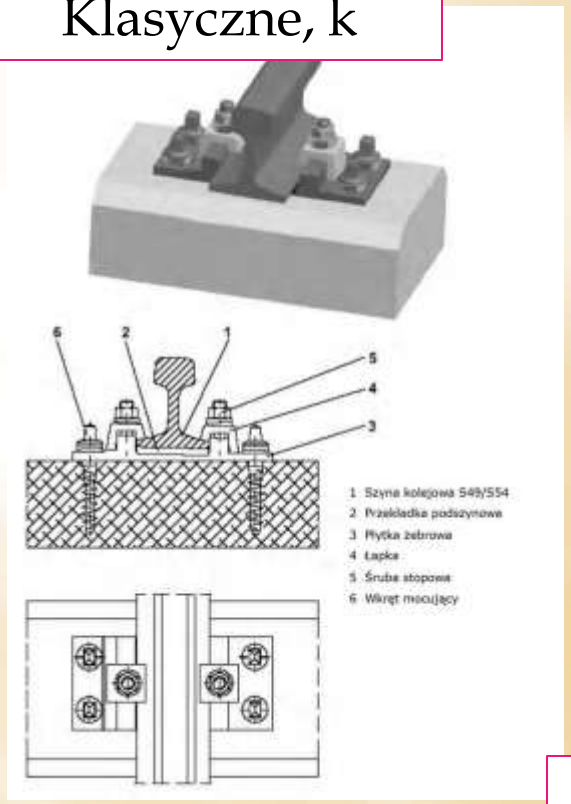
tereny zabytkowe, mieszkalne, mosty, tunele

Torowisko na podsypce - uwagi

- Coraz częściej stosuje się szyny Vignolesa (np. S49) bez rowka aby ograniczyć hałas, którego źródłem w szynie jest szyjka.
- Przytwierdzenie szyn najczęściej jest stosowane typu sprężystego (Skl, Nabla, Pandroll, SB3) – zapewnia stały docisk szyny do podkładu bez konieczności dokręcania.
- Podkładki podszynowe – najlepiej z elastomeru korkowego, gumy lub tworzyw na bazie poliuretanu, a nie polipropylenowe (te nie chronią podkładu betonowego przed mikropęknięciami).
- Podkłady – najlepiej betonowe, przystosowane do przytwierdzeń sprężystych (charakteryzują się podobną emisją hałasu co drewniane, a są dużo od nich trwalsze).
- Podsypka tłuczniowa – powinna zawierać ziarna 30/60 mm, ze skał o wytrzymałości 100 MPa, przy czym powinna być ułożona na dobrze zagęszczonym podłożu (E > 50 MPa), oddzielona od sąsiadującego gruntu ścianką oporową, a całość powinna być odpowiednio odwodniona.

Rodzaje przymocowań szyny

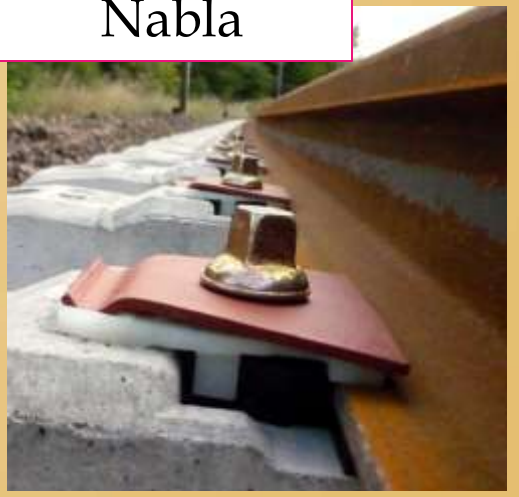
Klasyczne, k



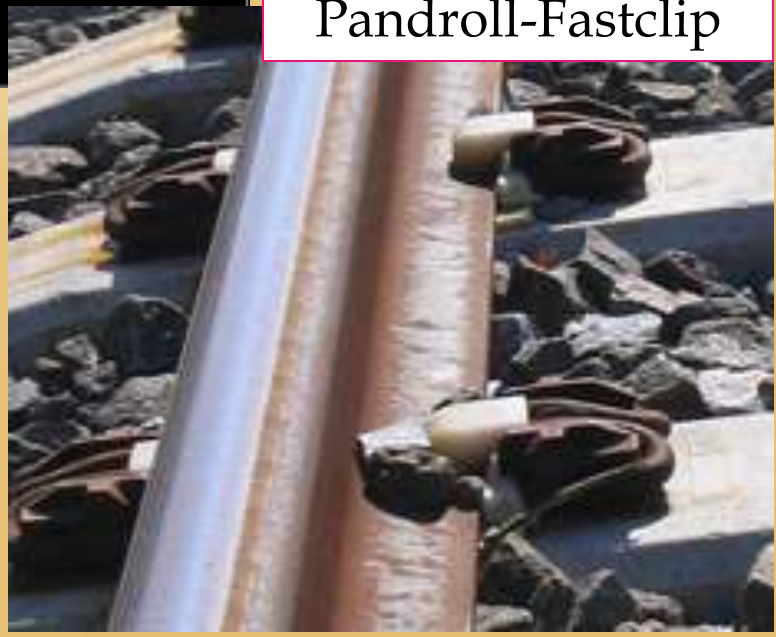
Skl



Nabla



Pandroll-Fastclip

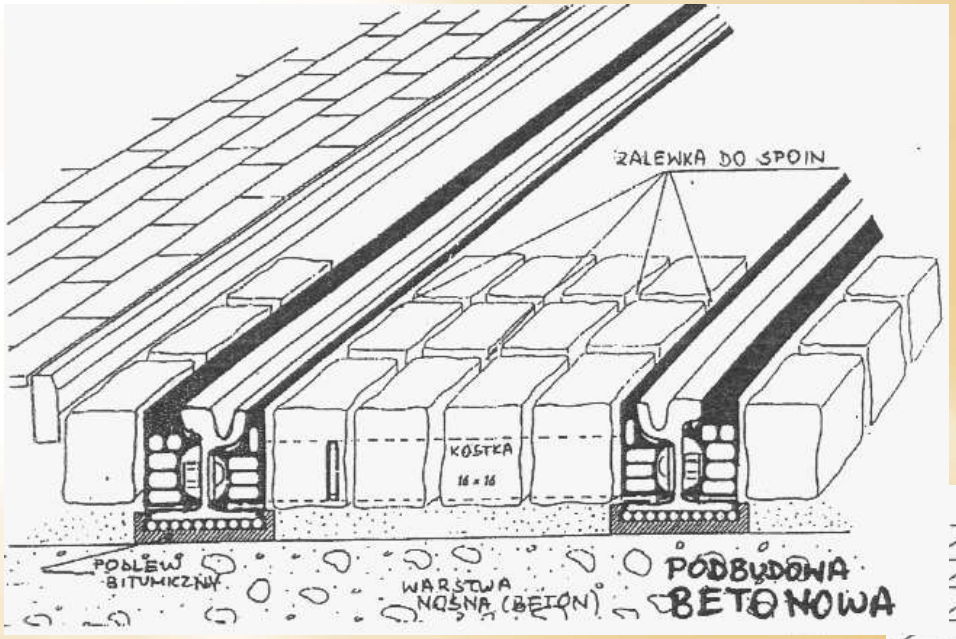


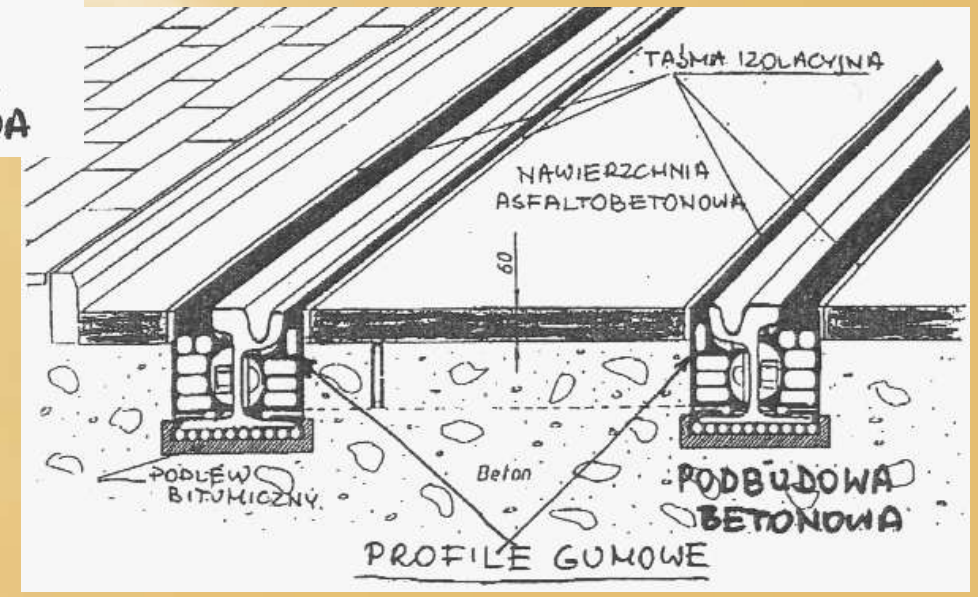
Sprężyste SB





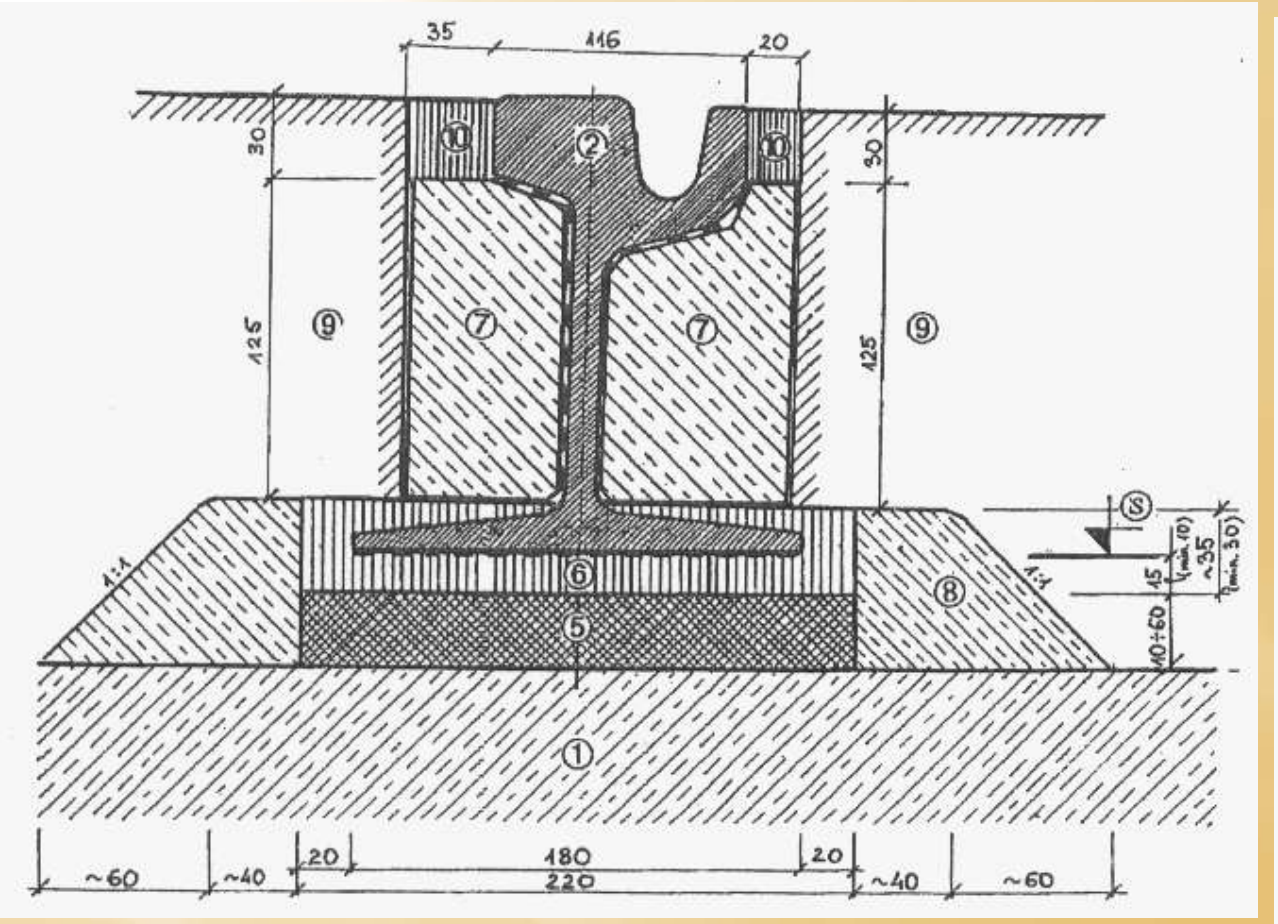
Torowisko wydzielone betonowe





Przykład konstrukcji bezpodsypkowej toru tramwajowego na podbudowie betonowej z ciągłym, sprężystym podparciem i oddzieleniem szyn od nawierzchni wykonanym z profili gumowych

Torowisko wspólne



OZNACZENIA:
(w kolejności wykonywania)

① - podbudowa betonowa (B35), płyta nośna (według oddzielnego projektu konstrukcji torowiska),

② - szyna rowkowa typu 180S (dolna powierzchnia stopki pokryta warstwą rozdzielającą od żywicy poliuretanowej),

⑤ - warstwa wyrównawcza z betonu epoksydowego o grubości w przedziale 10-60 mm,

⑥ - sprężysta warstwa wibroizolacyjna z żywicy poliuretanowej o grubości 15 mm (min. 10 mm) pod szyną nadlewana również na stopkę szyny,

⑦ - wypełnienie komór łubkowych szyny na odcinku międzywęzłowym wykonane z prefabrykowanych kształtek betonowych długości 0,50 m wklejanych klejem lateksowym,

⑧ - ookoliki z betonu B20 stabilizujące warstwę ⑥ w kierunku bocznym,

⑨ - konstrukcja nawierzchni drogowej (według oddzielnego projektu pokrycia torowiska), alternatywnie: kostka betonowa, asfaltobeton, płyty betonowe prefabrykowane itp.,

⑩ - zalewka przyszynowa o trwałej elastyczności (np. z żywicy poliuretanowej stosowanej na warstwę wibroizolacyjną),

Ⓢ - poziom spodu stopki szyny

Przykład konstrukcji bezpodsypkowej toru tramwajowego na podbudowie betonowej z ciągłym, sprężystym podparciem i przytwierdzeniem szyn wykonanym z żywicy o trwałej elastyczności

Torowisko na betonie - uwagi

- Podbudowa betonowa ma za zadanie ograniczyć nierównomierne osiadanie toru.
- Podbudowa betonowa występuje w postaci płyty na całej szerokości toru lub w postaci dwóch pasów pod szynami. Obie konstrukcje mogą być zrealizowane na budowie „na mokro” lub z prefabrykatów.
- Wypełnienie między szynami do poziomu 20 mm poniżej główki szyny (trawa lub utwardzone dla przejazdu karetek) – korzystne ze względu na hałas.
- Nawierzchnia powinna być wodoszczelna (podlewy z żywic o trwałej sprężystości, z modyfikowanych mas bitumicznych lub profile gumowe).
- Wibroizolacyjność oraz niska emisja hałasu jest uzyskiwana przez konstrukcje tzw. „pływającej płyty” – płyta podbudowy wylewana jest na warstwie maty gumowej.

Przystanki



przystanek bez peronu

przystanek z peronem





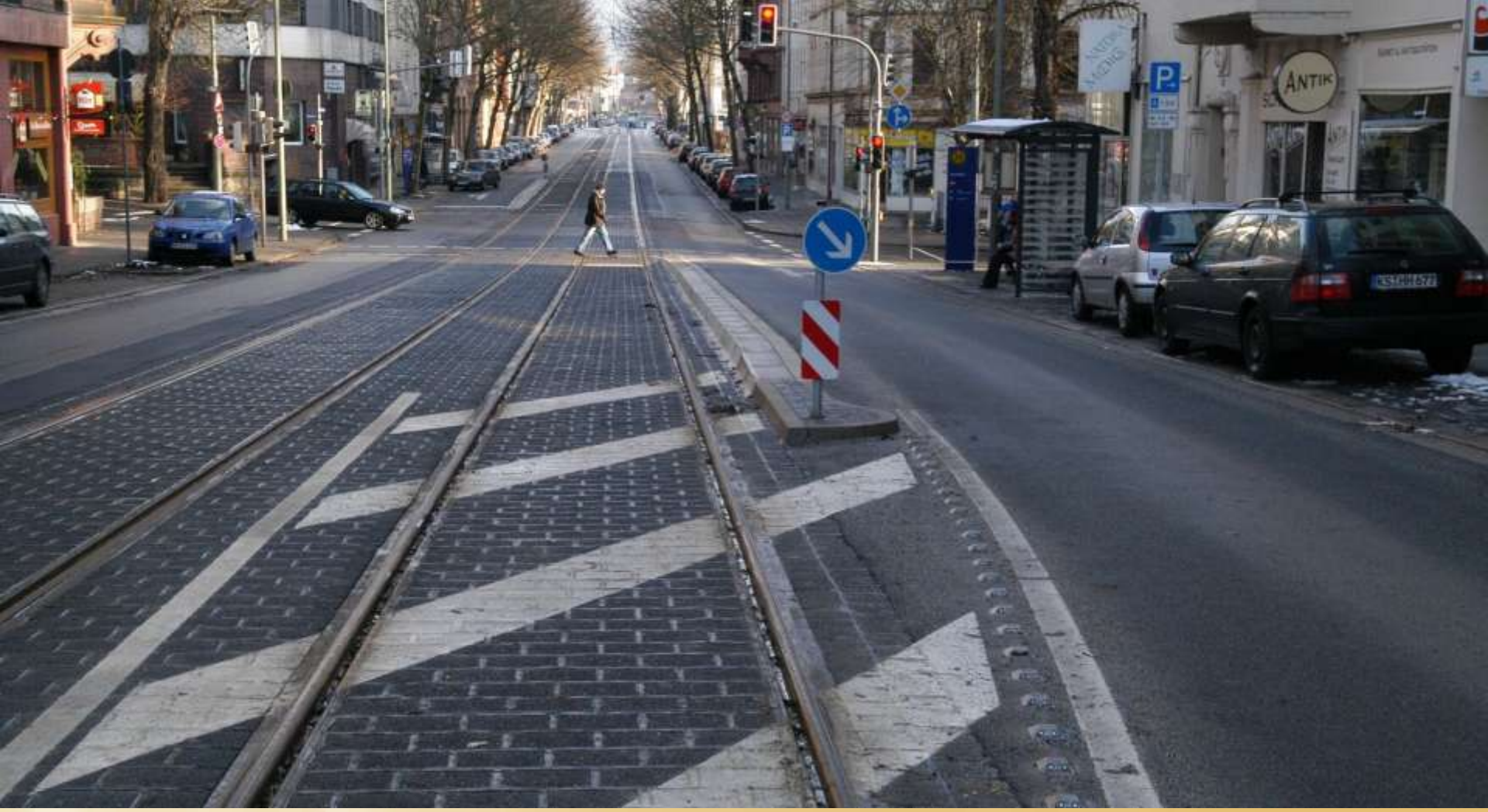
Kraków - przystanek wiedeński

fot.: Ireneusz Hyra



Kraków - przystanek wiedeński

fot.: Ireneusz Hyra



Kassel - przystanek wiedeński

http://cs.wikipedia.org/wiki/Zast%C3%A1vka_v%C3%ADde%C5%88sk%C3%A9ho_typu



Praga - przystanek przylądkowy

http://cs.wikipedia.org/wiki/Zast%C3%A1vkov%C3%BD_mys



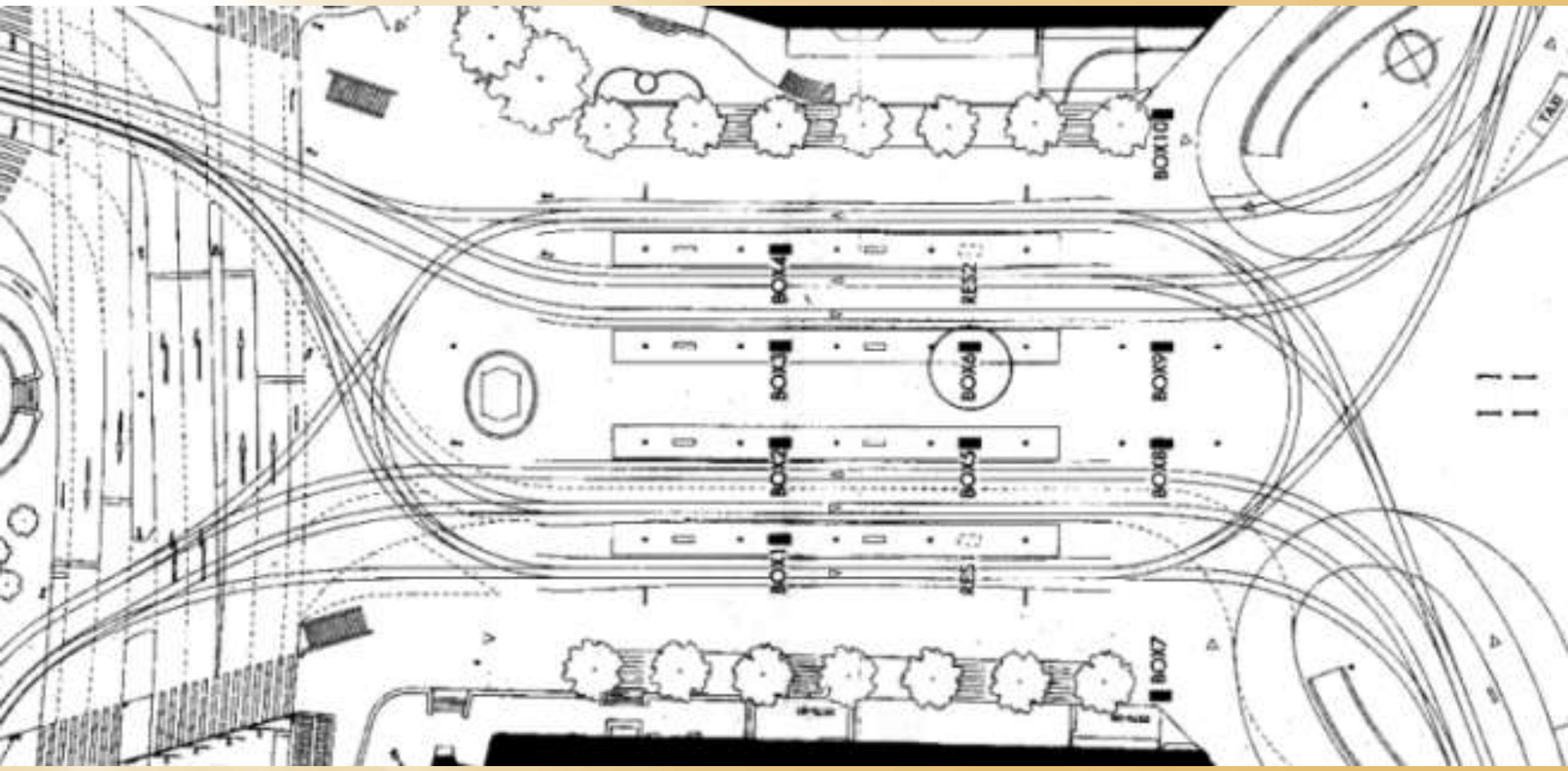
Brno - przystanek z wyspą czopującą ruch

źródło: Stranky o mestske hromadne doprave



Grenoble - przystanek w strefie ruchu uspokojonego

fot.: Jacek Wesołowski



Bazylea - przystanki w układzie stacji kolejowej

źródło: Technika Transportu Szynowego 7-8/2002



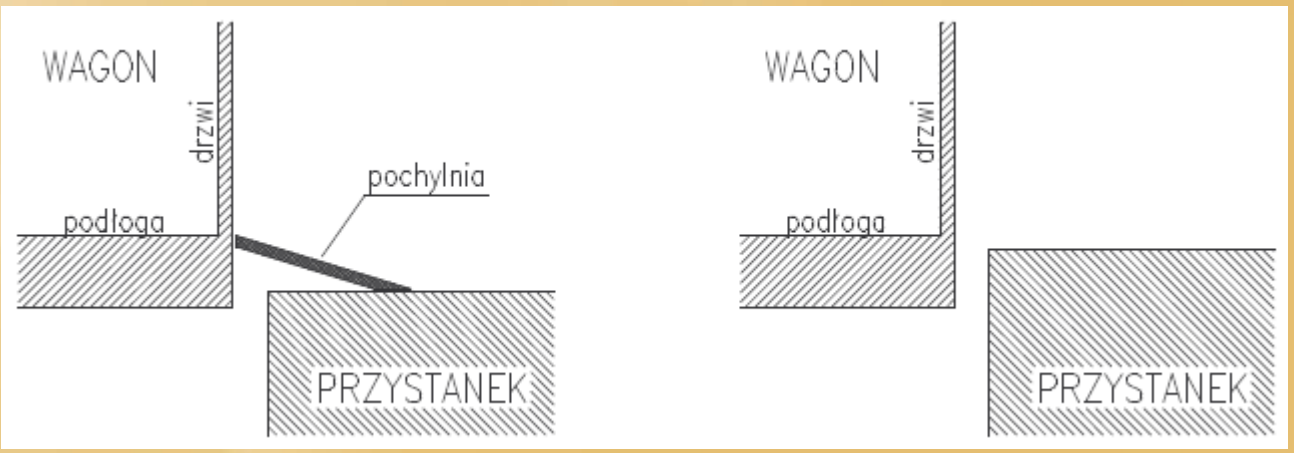
Rondo Reagana, Wrocław - przystanki w układzie stacji kolejowej

Wysokość peronu

Pod względem wysokości podłogi tabor dzielimy na normalny i niskopodłogowy. Do obsługi tego typu taboru potrzebne są perony o właściwej wysokości. Tabor niskopodłogowy stosuje się, ponieważ:



- ułatwia to podróż wszystkim pasażerom (szczególnie niepełnosprawnym), zachęca do korzystania z komunikacji miejskiej,
- zwiększa zdolność przewozową (krótki czas wsiadania i wysiadania),
- zmniejsza ilość wypadków przy wymianie pasażerów.



źródło: J. Makuch



Jeżeli popełni się błąd wygląda to tak:

przystanek na ul. Szewskiej bez normatywnej krawędzi - pochylnia dla wózków inwalidzkich wisi w powietrzu
(analogiczny błąd popełniono na nowym rondzie Reagana)
fot.: Tomasz Sielicki

Na końcu peronu projektuje się pochylnię umożliwiającą pokonanie różnicy wysokości



TRAMWAJE W BORDEAUX

PRZYKŁAD ROZWOJU SIECI TRAMWAJOWEJ

Prezentację opracowano na podstawie strony internetowej Jacka Wesołowskiego:

http://historia.arch.p.lodz.pl/jw37/urbtr/trsh-bordeaux.html

uzupełnionej o informacje oraz ilustracje z innych stron:

http://infotram.pl/text.php?id=18195

http://fr.wikipedia.org/wiki/Tramway_de_Bordeaux

http://www.railfaneurope.net/pix_frameset.html



Bordeaux w przeszłości posiadało rozległą sieć tramwajową liczącą 38 linii oraz przeszło 200 km torów. W 1947 roku merem miasta został Jacques Chaban-Delmas reprezentujący silne lobby pro-motoryzacyjne, co doprowadziło do szybkiego zamykania linii tramwajowych będących w dobrym stanie technicznym i zdolnych do dalszej eksploatacji. Likwidacja trwała do 1958 roku.

Błąd obranej polityki zauważono już w latach 70-tych, kiedy to miasto z powodu korków ulicznych nie potrafiło poprawnie funkcjonować.

Rządzący jeszcze Chaban nie brał pod uwagę możliwości powrotu tramwajów do miasta. Jako plan poprawy warunków podróżowania zaproponował budowę w pełni automatycznego podziemnego metra (VAL).

Pomysł budowy VAL jednak upadł z powodu warunków geologicznych pod miastem (piaski niezdatne do prowadzenia podziemnych budów).

Dopiero zmiana władzy politycznej w 1995 roku, kiedy funkcję mera objął Alain Juppé, umożliwiła zmianę stanowiska odnośnie wyglądu przyszłej komunikacji publicznej w mieście. Nowy mer zlecił opracowanie studium rozwoju komunikacji publicznej, które zasugerowało konieczność odbudowy systemu tramwajowego.

Bordeaux liczy obecnie nieco ponad 200 tyś. mieszkańców, jednak wraz z okolicznymi miastami tworzy 600 tysięczną aglomerację. Z racji wielkości budowa systemu metra mija się z celem, natomiast linie tramwajowe mogą być z powodzeniem eksploatowane na kilku głównych trasach. Taki też system postanowiono zrealizować.

Od samego początku budowano jednocześnie trzy linie, z czego linia **A** biegnie w relacji wschód - zachód, natomiast linie **B** i **C** - w relacji północ - południe. Wszystkie trzy linie spotykają się w centrum miasta, co umożliwia dokonanie przesiadki.



Pierwszy odcinek linii **A** uruchomiono 21.12.2003 roku, linii **C** - 24.04.2004, a linii **B** - 15.05.2004.

Ostatecznie system będzie miał 43,3 km tras i 84 przystanki.





Niestety negatywny duch poprzedniego mera nadal był obecny w mieście. Jednym z argumentów przeciw tramwajom stała się sieć trakcyjna, która miałaby niszczyć widok zabytkowej części miasta. Z tej przyczyny opracowano nowy system zasilania za pomocą trzeciej szyny umieszczonej w jezdni (APS). To rozwiązanie z racji kosztów zostało zastosowane jedynie w centrum starego miasta na odcinkach o łącznej długości 11 km.

Pozostała część sieci posiada tradycyjne zasilanie za pomocą sieci napowietrznej.



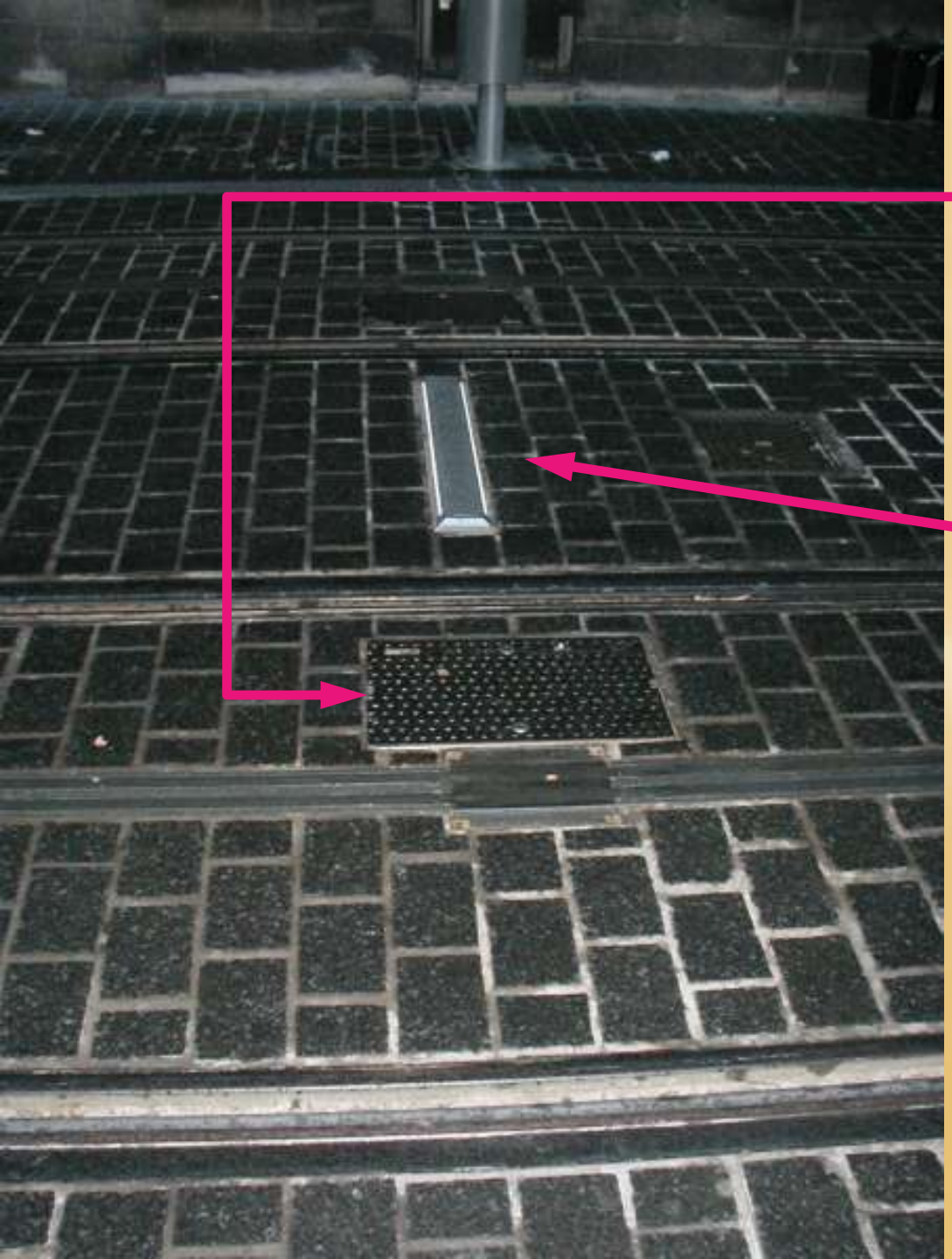
Trzecia szyna jest pod napięciem jedynie w czasie przejazdu tramwaju i jedynie na krótkim odcinku znajdującym się pod tramwajem. Szyna napięciowa jest umieszczona pośrodku toru i jest podzielona elektrycznie na ośmiometrowe sekcje.



Każdy tramwaj ma dwa dolne odbieraki prądu obok których znajduje się antena nadająca sygnały o aktualnej pozycji tramwaju. Na podstawie tych danych załączane są poszczególne sekcje znajdujące się bezpośrednio pod tramwajem.



Place de Stalingrad, fragment torowiska w budowie - miejsce przejścia z zasilania górnego na dolne; jest to pierwszy system tramwajowy z zasilaniem dolnym na ulicach od czasu zamknięcia tramwajów waszyngtońskich w 1962 r.



Receptor sygnału włączania i wyłączania napięcia, wysyłanego przez przejeżdżający tramwaj, wyłącznik (oba w prostokątnej puszce), izolowany fragment szyny zasilającej oraz świecąca beleczka pomiędzy torami



Place Pey-Berland - skrzyżowanie nie jest pod zasilaniem



Rozjazd na Cours d'Alsace et Lorraine



Cours d'Alsace et Lorraine - design przystanku tramwajowego; podświetlane beleczki są zagęszczone na długości peronów



Typowa krawędź peronu



Cours d'Alsace et Lorraine - „umeblowanie” uspokojenia ruchu w strefie skrzyżowania; sygnalizacja jest wzbudzana przez tramwaj



Place des Quinconces



Infrastruktura tramwajowa widziana z wieży katedralnej



Rue Vital Carles - prawdopodobnie najwęższa ulica z torowiskiem tramwaju, tutaj perony przystanku (Gambetta) są rozsunięte, tramwaj linii B zmierza do Quinconces; w oddali katedra



Pont de Pierre - tramwaj linii A



Rue Bonnier w centrum administracyjnym z lat 70-tych - inżynierowie komunikacji z przeszłości prawdopodobnie nigdy nie przypuszczali, że cenne pasy jezdni zostaną kiedyś przeznaczone dla tramwaju



Mérignac-Centre - krańcówka linii A



Pessac-Centre - krańcówka linii B