



UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU



Infrastruktura w transporcie szynowym

Propozycja miejskiej linii tramwaju dwusystemowego dla Wrocławia. Dopasowanie krawędzi peronowych do taboru w istniejących systemach tramwajowych na przykładzie Wrocławia. Badanie przepustowości linii kolejowej przy wykorzystaniu nowoczesnych programów mikrosymulacyjnych. Podstawy metodyczne komparatywnej analizy efektywności ekonomicznej modernizacji taboru kolejowego. Zastosowanie odcinków nieliniowej krzywizny w torze zwrotnym rozjazdu kolejowego. Technologia budowy linii kolei jednoszynowej.

Podstawowe informacje dla Autorów artykułów

„Przegląd Komunikacyjny” publikuje artykuły związane z szeroko rozumianym transportem oraz infrastrukturą transportu. Obejmuje to zagadnienia techniczne, ekonomiczne i prawne. Akceptowane są także materiały związane z geografią, historią i socjologią transportu.

Artykuły publikowane w „Przeglądzie Komunikacyjnym” dzieli się na: „wnoszące wkład naukowy w dziedzinę transportu i infrastruktury transportu” oraz „pozostałe”. Prosimy Autorów o deklarację (w zgłoszeniu), do której grupy zaliczyć ich prace.

Materiały do publikacji: zgłoszenie, artykuł oraz oświadczenie Autora, należy przesyłać w formie elektronicznej na adres redakcji:

artykuly@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

W zgłoszeniu należy podać: imię i nazwisko autora, adres mailowy oraz adres do tradycyjnej korespondencji, miejsce zatrudnienia, zdjęcie, tytuł artykułu oraz streszczenie (po polsku i po angielsku) i słowa kluczowe (po polsku i po angielsku). Szczegóły przygotowania materiałów oraz wzory załączników dostępne są na stronie:

www.przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

W celu usprawnienia i przyspieszenia procesu publikacji prosimy o zastosowanie się do poniższych wymagań dotyczących nadsyłanego materiału:

1. Tekst artykułu powinien być napisany w jednym z ogólnodostępnych programów (np. Microsoft Word). Wzory i opisy wzorów powinny być wkomponowane w tekst. Tabele należy zestawić po zakończeniu tekstu. Ilustracje (rysunki, fotografie, wykresy) najlepiej dołączyć jako oddzielne pliki. Można je także wstawić do pliku z tekstem po zakończeniu tekstu. Możliwe jest oznaczenie miejsc w tekście, w których autor sugeruje wstawienie stosownej ilustracji lub tabeli. Obowiązuje odrębna numeracja ilustracji (bez rozróżniania na rysunki, fotografie itp.) oraz tabel.
2. Całość materiału nie powinna przekraczać 12 stron w formacie Word (zalecane jest 8 stron). Do limitu stron wlicza się ilustracje załączane w odrębnych plikach (przy założeniu że 1 ilustracja = ½ strony).
3. Format tekstu powinien być jak najprostszy (nie stosować zróżnicowanych stylów, wcięć, podwójnych i wielokrotnych spacji itp.). Dopuszczalne jest pogrubienie, podkreślenie i oznaczenie kursywą istotnych części tekstu, a także indeksy górne i dolne. **Nie stosować przypisów.**
4. Nawiązania do pozycji zewnętrznych - cytaty (dotyczy również podpisów ilustracji i tabel) oznacza się numeracją w nawiasach kwadratowych [...]. Numerację należy zestawić na końcu artykułu (jako „Materiały źródłowe”). Zestawienie powinno być ułożone alfabetycznie.
5. Jeżeli Autor wykorzystuje materiały objęte nie swoim prawem autorskim, powinien uzyskać pisemną zgodę właściciela tych praw do publikacji (niezależnie od podania źródła). Kopie takiej zgody należy przesłać Redakcji.

Artykuły wnoszące wkład naukowy podlegają procedurom recenzji merytorycznych zgodnie z wytycznymi MNiSW, co pozwala zaliczyć je, po opublikowaniu, do dorobku naukowego (z punktacją przyznawaną w toku oceny czasopism naukowych – aktualnie jest to **8 punktów**).

Do oceny każdej publikacji powołuje się co najmniej dwóch niezależnych recenzentów spoza jednostki. Zasady kwalifikowania lub odrzucenia publikacji i ewentualny formularz recenzencki są podane do publicznej wiadomości na stronie internetowej czasopisma lub w każdym numerze czasopisma. Nazwiska recenzentów poszczególnych publikacji/numerów nie są ujawniane; raz w roku (w ostatnim numerze oraz na stronie internetowej) czasopismo podaje do publicznej wiadomości listę recenzentów współpracujących.

Przygotowany materiał powinien obrazować własny wkład badawczy autora. Redakcja wdrożyła procedurę zapobiegania zjawisku Ghostwriting (z „ghostwriting” mamy do czynienia wówczas, gdy ktoś wniósł istotny wkład w powstanie publikacji, bez ujawnienia swojego udziału jako jeden z autorów lub bez wymienienia jego roli w podziękowaniach zamieszczonych w publikacji). Tekst i ilustracje muszą być oryginalne i niepublikowane w innych miejscach (w tym w internecie). Możliwe jest zamieszczanie artykułów, które ukazały się w materiałach konferencyjnych i podobnych (na prawach rękopisu) z zaznaczeniem tego faktu i po przystosowaniu do wymogów publikacyjnych „Przeglądu Komunikacyjnego”.

Korespondencję inną niż artykuły do recenzji prosimy kierować na adres: **listy@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl**

Redakcja pisma oferuje objęcie patronatem medialnym konferencji, debat, seminariów itp. Szczegóły na: <http://przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl/patron.html>
Ceny są negocjowane indywidualnie w zależności od zakresu zlecenia. Możliwe są atrakcyjne upusty. Patronat obejmuje:

- ogłaszanie przedmiotowych inicjatyw na łamach pisma,
- zamieszczanie wybranych referatów / wystąpień po dostosowaniu ich do wymogów redakcyjnych,
- publikację informacji końcowych (podsumowania, apele, wnioski),
- kolportaż powyższych informacji do wskazanych adresatów.

www.przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

Ramowa oferta dla „Sponsora strategicznego” czasopisma Przegląd Komunikacyjny

Sponsor strategiczny zawiera umowę z wydawcą czasopisma na okres roku kalendarzowego z możliwością przedłużenia na kolejne lata. Uprawnienia wydawcy do zawierania umów posiada SITK O. Wrocław.

Przegląd Komunikacyjny oferuje dla sponsora strategicznego następujące świadczenia:

- zamieszczenie logo sponsora w każdym numerze,
- zamieszczenie reklamy sponsora w jednym, kilku lub we wszystkich numerach,
- publikacja jednego lub kilku artykułów sponsorowanych,
- publikacja innych materiałów dotyczących sponsora,
- zniżki przy zamówieniu prenumeraty czasopisma.

Możliwe jest także zamieszczenie materiałów od sponsora na stronie internetowej czasopisma.

Przegląd Komunikacyjny ukazuje się jako miesięcznik.

Szczegółowy zakres świadczeń oraz detale techniczne (formaty, sposób i terminy przekazania) są uzgadniane indywidualnie z Pełnomocnikiem ZO Wrocław SITK.

Prosimy o kontakt z: dr hab. inż. Maciej Kruszyna na adres mailowy: **redakcja@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl**

Cena za świadczenia na rzecz sponsora uzależniana jest od uzgodnionych szczegółów współpracy. Zapłata może być dokonana jednorazowo lub w kilku ratach (na przykład kwartalnych). Część zapłaty może być w formie zamówienia określonej liczby prenumerat czasopisma.





Na okładce: *Ekologiczny punkt mycia pojazdów kolejowych*, Fot. BFL Lauchhammer; Piotr Kazimierowski

Szanowni P.T. Czytelnicy

Oddajemy w Wasze ręce kolejny numer Przeglądu Komunikacyjnego. Jest on poświęcony prawie w całości publicznemu szynowemu transportowi zbiorowemu oraz projektowaniu jego infrastruktury. W pierwszym artykule Autor prezentuje problemy komunikacji zbiorowej z wykorzystaniem tramwaju dwusystemowego. Systemy te od lat funkcjonują w Europie. Autor proponuje wdrożenie linii tramwaju dwusystemowego (tramwaj-kolej) na wybranych przykładach we Wrocławiu. W drugim artykule Autor rozważa problem dopasowania krawędzi peronu do progu pojazdu. Omawia różne systemy. Bardzo interesujący jest kolejny artykuł w którym Autorka omawia zagadnienia przepustowości linii kolejowych przy wykorzystaniu programów mikrosymulacyjnych. Jest to problematyka interesująca w związku z modernizacją i rozbudową infrastruktury kolejowej w kraju. W następnym artykule Autor omawia efektywność ekonomiczną modernizacji taboru kolejowego. Autor prezentuje różne warianty modernizacji taboru i analizuje ich opłacalność. Interesujący jest artykuł przedstawiający analityczne metody kształtowania toru zwrotnego rozjazdu kolejowego posiadający na swojej długości odcinki nieliniowej krzywizny. Jest to problem ważny z punktu widzenia bezpieczeństwa i eksploatacji rozjazdów. Ostatni artykuł poświęcony jest kolejom jednoszynowym. Autor omawia zagadnienia kształtowania prefabrykacji dźwigarów estakady oraz etapy budowy linii jednoszynowych.

Życzę naszym droгим Czytelnikom dobrej lektury

Redaktor Naczelny
Prof. Antoni Szydło

W numerze

Propozycja miejskiej linii tramwaju dwusystemowego dla Wrocławia Jacek Makuch	2
Dopasowanie krawędzi peronowych do taboru w istniejących systemach tramwajowych na przykładzie Wrocławia Igor Gisterek	10
Badanie przepustowości linii kolejowej przy wykorzystaniu nowoczesnych programów mikrosymulacyjnych Marta Rogowska	17
Podstawy metodyczne komparatywnej analizy efektywności ekonomicznej modernizacji taboru kolejowego Juliusz Engelhardt	23
Zastosowanie odcinków nieliniowej krzywizny w torze zwrotnym rozjazdu kolejowego Władysław Koc	27
Technologia budowy linii kolei jednoszynowej Dominik Bednarek	32

Wydawca:

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników
Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej
00-043 Warszawa, ul. Czackiego 3/5
www.sitk-rp.org.pl

Redaktor Naczelny:

Antoni Szydło

Redakcja:

Krzysztof Gasz, Igor Gisterek, Bartłomiej Krawczyk,
Maciej Kruszyna (Z-ca Redaktora Naczelnego),
Agnieszka Kuniczuk - Trzciniowicz (Redaktor językowy),
Piotr Mackiewicz (Sekretarz), Wojciech Puła (Redaktor
statystyczny), Wiesław Spuziak, Robert Wardęga,
Czesław Wolek

Adres redakcji do korespondencji:

Poczta elektroniczna:
redakcja@przeгляд.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

Poczta „tradycyjna”:

Piotr Mackiewicz, Maciej Kruszyna
Politechnika Wrocławska,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Faks: 71 320 45 39

Rada naukowa:

Marek Ciesielski (Poznań), Antanas Klibavičius (Wilno),
Jozef Komačka (Žilina), Elżbieta Marciszewska (Warszawa),
Bohuslav Novotny (Praga), Andrzej S. Nowak (Lincoln,
Nebraska), Tomasz Nowakowski (Wrocław), Victor V. Rybkin
(Dniepropietrowsk), Marek Sitarz (Katowice), Wiesław Starowicz
(Kraków), Hans-Christoph Thiel (Cottbus), Krystyna
Wojewódzka-Król (Gdańsk), Elżbieta Załoga (Szczecin),
Andrea Zuzulova (Bratysława)

Rada programowa:

Mirosław Antonowicz, Dominik Borowski, Leszek
Krawczyk, Marek Krużyński, Leszek W. Mindur, Andrzej
Zurkowski

Deklaracja o wersji pierwotnej czasopisma

Główną wersją czasopisma jest wersja papierowa. Na
stronie internetowej czasopisma dostępne są pełne
wersje artykułów oraz streszczenia w języku polskim (od
2010) i angielskim (od 2016).

Czasopismo jest umieszczone na liście Ministerstwa Nauki
i Szkolnictwa Wyższego (8 pkt. za artykuł recenzowany).

Redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania zmian w
materiałach nie podlegających recenzji.

Artykuły opublikowane w „Przeglądzie Komunikacyjnym”
są dostępne w bazach danych 20 bibliotek technicznych
oraz są indeksowane w bazach:
BAZTECH: <http://baztech.icm.edu.pl>
Index Copernicus: <http://indexcopernicus.com>

Prenumerata:

Szczegóły i formularz zamówienia na stronie:

www.przeгляд.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

Obecna Redakcja dysponuje numerami archiwalnymi
począwszy od 4/2010.

Numerzy archiwalne z lat 2004-2009 można zamawiać
w Oddziale krakowskim SITK,
ul. Siostrzana 11, 30-804 Kraków,
tel./faks 12 658 93 74, mrowinska@sitk.org.pl

Druk:

Drukarnia A-Zet, 52-131 Wrocław, ul. Buforowa 34a
Przemysław Wołczuk, przemo@dodo.pl

Reklama:

Dział Marketingu: sitk.baza@gmail.com

Nakład: 800 egz.

Propozycja miejskiej linii tramwaju dwusystemowego dla Wrocławia

Proposal of city tram-train line for Wrocław



Jacek Makuch

dr inż.

Politechnika Wroclawska, Wydział
Budownictwa Lądowego i
Wodnego; Katedra Mostów i Kolei

jacek.makuch@pwr.edu.pl

Streszczenie: W artykule przeprowadzono krótki przegląd różnych typów rozwiązań tramwaju dwusystemowego występujących obecnie na świecie. Przeanalizowano opracowane dotychczas propozycje linii tramwaju dwusystemowego dla Wrocławia. Przedstawiono propozycję nowej trasy tramwaju dwusystemowego dla Wrocławia, łączącej istniejące pętle tramwajowe Poświętne i Kromera, z wykorzystaniem linii kolejowej nr 292 na odcinku pomiędzy stacjami Wrocław Sołtysowice i Wrocław Osobowice, obsługującej osiedla Poświętne i Karłowice, z możliwością odgałęzienia do Sołtysowic.

Słowa kluczowe: Tramwaj dwusystemowy; Infrastruktura; Model Kassel

Abstract: In article short review of different types of present tram-train solutions working on world was made. Worked out till now proposals of tram-train lines for Wrocław were analysed. Proposal of new city tram-train line for Wrocław, connecting existing tram-loops Poświętne and Kromera, with utilization of railway line number 292 on section among stations Wrocław Sołtysowice and Wrocław Osobowice, serving housing estates Poświętne and Karłowice, with possible branch to Sołtysowice was presented.

Keywords: Tram-train; Infrastructure; Kassel model

We Wrocławiu, w latach 2003 - 07 nastąpił spadek przewozów transportem publicznym z 255 do 193 milionów osób rocznie, czyli o prawie 1/4 - w przeciągu tylko czterech lat! Z kolei w latach 2007 - 12 nastąpił wzrost wskaźnika motoryzacji z 441 do 540 samochodów na tysiąc mieszkańców, czyli o około 1/5 - na przestrzeni tylko pięciu lat! Skutkiem tego są występujące obecnie problemy transportowe, w postaci utraty przepustowości układu drogowego, w okresach szczytów komunikacyjnych.

Obsługa potoków podróży realizowana jest obecnie tramwajami i autobusami. Kolej, pomimo rozwiniętej infrastruktury, odgrywa marginalną rolę. Poszukuje się nowych rozwiązań. Od wielu lat opracowywane są kolejne koncepcje bazujące na transporcie szynowym: kolei miejskiej, aglomeracyjnej, regionalnej, szybkiego tramwaju, a nawet metra (co prawda niedawno zarzuconego, z powodu wyniku miejskiego referendum). Pewne idee

doczekały się wdrożenia (tramwaj plus), pozostałe nadal czekają na realizację - w tym tramwaj dwusystemowy.

Na świecie funkcjonuje szereg różnorodnych rozwiązań bazujących na tym pomysle. Dotychczas nie wszystkie z nich próbowano zaadaptować do warunków wrocławskich. Niniejszy artykuł zawiera propozycję nowego sposobu wykorzystania jednej ze znanych form tramwaju dwusystemowego, w nowej - dotychczas nierozpatrywanej lokalizacji.

Geneza pomysłu

Jednym z elementów Wrocławskiego Węzła Kolejowego jest drugorzędna linia kolejowa o numerze 292 (według instrukcji Id-12), w relacji Jelcz Miłoszyce - Wrocław Osobowice. Końcowym jej odcinkiem, o charakterze łącznicy spinającej linię 143 do Oleśnicy i 271 do Poznania, jest ponad siedmiokilometry szlak łączący stacje Wr. Sołtysowice i Wr. Osobowice (fot.1) - jed-

notorowy, ze zdemontowaną siecią trakcyjną, którym sporadycznie odbywają się przejazdy pociągów towarowych.

W sąsiedztwie przecięcia analizowanego odcinka linii kolejowej z ul. Żmigrodzką (nieopodal centrum handlowego Marino) znajduje się pętla tramwajowa „Poświętne”, na której kończą trasę linie tramwajowe: 1, 7 i 15. Z kolei w pewnym oddaleniu od przecięcia analizowanego odcinka linii kolejowej z ul. Sołtysowicką znajduje się pośrednia pętla tramwajowa „Kromera”, na której kończą trasę linie tramwajowe: 11 i 23, natomiast linia 6 kursuje dalej do Kowal. Od pętli „Kromera” w stronę Karłowic prowadzi ul. Boya-Żeleńskiego, nad którą wiaduktem przeprowadzona jest linia kolejowa 143 do Oleśnicy. Wiadukt ten stanowi „wąskie gardło”, gdyż pod torami kolejowymi prowadzi tylko jeden pas ruchu kołowego (jest tam zainstalowana wahadłowa sygnalizacja świetlna), a kursuje tamtędy aż 6 linii autobusowych (A,



1. Linia kolejowa nr 292 na odcinku pomiędzy stacjami Wr. Sołtysowice i Wr. Osobowice

105, 116, 118, 130, 305). Na początku 2015 r. PKP PLK ogłosiło, że przystępuje do modernizacji linii kolejowej Wrocław - Oleśnica, w ramach której przebudowany zostanie wiadukt nad ul. Boya-Żeleńskiego. Pojawiła się więc możliwość nie tylko zlikwidowania wspomnianego „wąskiego gardła”, ale i uzyskania czegoś więcej, a mianowicie zbudowania nowego wiaduktu w taki sposób, aby pod spodem zmieściła się również linia tramwajowa.

Miasto od wielu lat planuje nową linię tramwajową wzdłuż ul. Kamieńskiego, od skrzyżowania z ul. Żmigrodzka, do skrzyżowania z ul. Kątową. Niestety niecałe 10 lat temu dokonano gruntownej modernizacji tej ulicy, ale bez nowego torowiska tramwajowego, a nawet bez pozostawienia rezerwy na ten cel, nie należy się więc spodziewać rychłego powstania wspomnianej linii. Niekorzystny jest również fakt, iż wraz z modernizacją ul. Kamieńskiego wybudowano nową pętlę autobusową dla linii K i 144, ale wcześniej niż zakończenie planowanej linii tramwajowej - przy skrzyżowaniu z ul. Torową, podczas gdy dwa przystanki dalej (gdzie dojeżdża tylko jedna, znacznie rzadziej kursująca linia autobusowa 130) od kilkunastu lat budowane są nowe wielorodzinne budynki mieszkalne.

W przypadku obu rozważanych pętli tramwajowych: Poświętne i Kromera, w obecnym układzie linii komunikacji zbiorowej, mamy do czynienia z niewykorzystaniem ich potencjału. O ile 30 lat temu wszystkie linie autobusowe dojeżdżające do pętli tramwajowej Kromera od strony Psiego Pola (102, 104, 130) i Kowal (118) - kończyły tam trasę, przez co zapewniały dopływ

pasażerów do linii tramwajowych już na ich starcie, dziś żadna linia autobusowa z tych kierunków nie kończy tam trasy, a niektóre zmierzają do centrum (N, 128, 904, 914), dublując trasę linii tramwajowych. W przypadku pętli tramwajowej „Poświętne”, co prawda nigdy żadne linie autobusowe przejeżdżające z dalej położonych przedmieść nie kończyły tam trasy (dowożąc w ten sposób pasażerów do tramwajów), faktem jest jednak, że są takie linie (129, 308 i 908) i że dwie z nich zmierzają w stronę centrum, dublując trasę linii tramwajowych. Wskazane jest więc, aby linie tramwajowe kończące trasy na obu tych pętlach zostały wydłużone i obsłużyły nowe, wygenerowane na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat cele podróży, a jest ich kilka:

- nowe osiedla budownictwa wielorodzinnego powstałe na terenach dawnych ogródków działkowych albo jednostek wojskowych przy ul. Pleszewskiej, Kątowej, Falzmana, Czartoryskiego, Koszarowej,
- rozbudowane lub nowe obiekty Uniwersytetu Wrocławskiego na pl. Daniłowskiego i przy ul. Koszarowej,
- szpital przy ul. Koszarowej,
- instytucje (między innymi Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki) w „powojennych” obiektach przy ul. Sołtysowickiej,
- wciąż rozbudowujące się osiedle Sołtysowice.

Przedstawione dotychczas rozważania skłoniły autora niniejszego artykułu do zaproponowania wybudowania nowej linii tramwajowej łączącej istniejące pętle: Poświętne i Kromera, z wykorzystaniem linii kolejowej nr 292 na odcin-

ku pomiędzy przejazdami kolejowymi na ul. Żmigrodzkiej i Sołtysowickiej, obsługującej osiedla: Poświętne i Karłowice, z możliwością odgałęzienia do Sołtysowice.

Tramwaje dwusystemowe na świecie

Uruchomione dotychczas na świecie rozwiązania w postaci tramwaju dwusystemowego cechuje duża różnorodność. Dr Igor Gisterek w swoim artykule [1] zaproponował klasyfikację, w postaci czterech podstawowych modeli rozwiązań tego typu:

- 1) przejście linii kolejowej na wyłączność ruchu tramwajowego,
- 2) rozdzielony w czasie ruch mieszany tramwajów (w ciągu dnia) i pociągów (nocą) po torach kolejowych,
- 3) równoczesny ruch mieszany (naprzemienny) tramwajów i pociągów po torach kolejowych,
- 4) ruch pojazdów kolejowych po torach tramwajowych.

W Karlsruhe w 1958 r. miejskie przedsiębiorstwo komunikacyjne (VBK) przejęło podmiejską linię kolejową Albtalbahn do Bad Herrenalb i wprowadziło na nią tramwaje kursujące z centrum miasta. Ruch towarowy utrzymano tylko w nocy i tylko trakcją spalinową. W 1979 r. to samo przedsiębiorstwo przejęło od kolei federalnych (DB) nierentowny odcinek linii do Neureut, zelektryfikowało napięciem tramwajowym, dobudowało na końcu trasy pętlę i skierowało na nią klasyczne jednokierunkowe tramwaje. W 1989 r. przedłużono tę linię do Hochstetten. W 1992 r. linia kolejowa Karlsruhe Durlach - Bretten została połączona z siecią tramwajową i rozpoczęto na niej eksploatację dwukierunkowych tramwajów przystosowanych zarówno do napięcia tramwajowego jak i kolejowego. Do roku 1997 na linii tej nastąpił ponad pięciokrotny wzrost liczby pasażerów! W następnych latach kolejne linie kolejowe włączano w ten sam sposób do systemu, doprowadzając do utworzenia rozbudowanej sieci kolejowo-tramwajowej w tym mieście. W 2013 r. eksploatowanych było 7 linii tramwaju klasycznego i 13 dwusystemowego, w tym:

- jedna (S2) - z taborem jednonapięciowym, po liniach tramwajowych zbudowanych w śladzie dawnych linii kolejowych,
- dwie (S1 i S11) - z taborem jedno-napięciowym, częściowo po sieci tramwaju klasycznego, a częściowo po sieci kolei AVG zelektryfikowanej napięciem tramwajowym,
- siedem (S4, S41, S42, S5, S51, S52, S6) - z taborem dwunapięciowym, częściowo po sieci tramwaju klasycznego (750 V DC), a częściowo po sieci kolejowej (15 kV AC),
- trzy (S31, S32, S9) - wyłącznie po sieci kolejowej.

Na niektórych odcinkach tramwaje dwusystemowe korzystają z tych samych torów, co pociągi ICE. Niestety rozwiązanie padło ofiarą własnego sukcesu - tramwaje zaczęły grzęznąć w korkach. Obecnie w centrum miasta, równoległe do najbardziej obciążonych odcinków sieci buduje się tunele, do których wprowadzone zostaną tramwaje dwusystemowe.

W Kassel od 1995 r. tramwaje linii 5 zaczęły dojeżdżać do Baunatal-Grossenritte korzystając z nowego odcinka klasycznej dwutorowej linii tramwajowej (2,2 km), a dalej z odcinka jednotorowej linii kolejowej (3,3 km) do Naumberg, na której ruch pasażerski zawieszono w 1977 r. Odcinek ten zelektryfikowano napięciem tramwajowym, geometrię krzyżownic rozjazdów dostosowano do profili kół tramwajowych, dobudowano nowe mijanki, sploty, przystanki i pętlę na końcu trasy. W podobny sposób przedłużono trasę tramwajów linii 4: w 1998 r. do Kaufungen Papierfabrik, w 2001 r. – do Helsy, a w 2006 r. – do Hessisch Lichtenau, wykorzystując w tym celu jednotorową linię kolejową do Waldkapel, prowadzącą od 1985 r. wyłącznie ruch towarowy. Tu również dokonano elektryfikacji napięciem tramwajowym, dostosowania geometrii krzyżownic, dobudowano mijanki, sploty (fot.2) i pętle, a ponadto na pewnych odcinkach (w Kaufungen i Hessisch Lichtenau) zbudowano zupełnie nowe odcinki linii tramwajowych, lepiej penetrujące tereny zabudowane, niż wykorzystywana linia kolejowa.

W 2001 r. sieć kolejowa na dworcu głównym w Kassel uzyskała tunelo-



2. Splot torowy na przystanku Niederkaufungen Mitte na trasie tramwajowej linii 4 z Kassel do Hessisch Lichtenau (fot. Igor Gisterek)

we połączenie z siecią tramwajową, co pozwoliło na rozpoczęcie eksploatacji dwukierunkowych tramwajów przystosowanych zarówno do napięcia tramwajowego jak i kolejowego pod marką „RegioTram” na trasie do Warburg jako linia RT3 (obecnie RT1). W 2006 r. uruchomiono linię RT5 do Malsungen, natomiast w 2007 r. - RT9 do Schwalmstadt-Treysa (linia ta kończyła trasę na dworcu kolejowym i nie wjeżdżała na sieć tramwaju klasycznego, a od grudnia 2015 r. została zastąpiona pociągami regionalnymi). W 2006 r. uruchomiono również linię RT4 niezelektryfikowanymi torami do Wolfhagen, z wykorzystaniem taboru hybrydowego (tramwajów elektryczno-spalinowych). Wcześniej, przez kilka miesięcy tabor hybrydowy obsługiwał tymczasową linię RT2 do Hessisch-Lichtenau, zanim nie zaczęły tam dojeżdżać klasyczne tramwaje linii 4.

W Saarbrücken klasyczny tramwaj zlikwidowano w 1965 r. W 1997 r. uruchomiono linię tramwaju dwusystemowego z położonego po drugiej stronie granicy (z Francją) Sarreguemines. Najpierw tramwaje pokonywały odcinek linii kolei federalnej (13 km), a następnie wjeżdżały na nowo wybudowaną trasę tramwajową (5 km), ale o parametrach kolejowych, prowadzącą przez centrum miasta (do dworca kolejowego). W kolejnych latach trasa była wydłużana na północ: najpierw ulicami miasta (do Siedlerheim w 2000 r.), później wzdłuż autostrady A1 (do Riegelsberg w 2001 r.), po czym znów ulicami miejscowości (do Walpershofen w 2009 r.), a na koniec - linią kolejową (do Heusweiler Markt w 2011 r. i do

Lebach w 2014 r.).

W Zwickau główny dworzec kolejowy położony jest w pewnym oddaleniu od centrum miasta, dlatego od 1999 r. część pociągów obsługiwanych spalinowymi szynobusami wjeżdża na sieć tramwajową. Szynobusy korzystają najpierw z torowiska starej bocznicy okrążając centrum od południa, docierają do nowego centrum handlowo-rozrywkowego (Stadthalle), gdzie wjeżdżają na przebudowane torowisko tramwajowe, którym docierają do przystanku w centrum. Tory na odcinku kolejowo-tramwajowym mają trzy szyny (tramwaje w Zwickau są wąskotorowe) i powiększony rozstaw osiowy (szynobusy są szersze od tramwajów). Szynobusy na wspólnym odcinku nie zatrzymują się na przystankach tramwajowych, a na przystanku końcowym w centrum mają osobny peron (szynobusy w przeciwieństwie do tramwajów są wysokopodłogowe). Szynobusy zostały przystosowane do ruchu ulicznego (oświetlenie, kierunkowskazy).

W Chemnitz w 2002 r. wykonano połączenie torowe pomiędzy położoną na peryferiach miasta pętlą klasycznego tramwaju (Altchemnitz), a przebiegającą obok linią kolejową, co pozwoliło na uruchomienie nowej linii tramwaju dwusystemowego 522 do Stollberg (obecnie oznaczonej jako C11). Tramwaje te są dwukierunkowe, niskopodłogowe, nieznacznie szersze od klasycznych (2,65 m zamiast 2,4 m), zastosowano w nich pośredni profil obręczy koła (szerszy bandaż, wyższa obręcz, większa średnica, styk dla kierownicy). Linię kolejową zelektryfikowano napięciem nieco wyższym

niż w tramwajach (750 V zamiast 600 V), perony przebudowano na niskie, w rozjazdach zastosowano ruchome dzioby krzyżownic oraz podwyższone zwrotnice, przebudowano przejazdy kolejowe (zastosowano podgrzewane szyny). W latach 2009-13 dokonano przebudowy pętli tramwajowej przed dworcem głównym, w wyniku czego powstała również krańcówka tramwajowa na terenie hali dworca (równoległe do peronów kolejowych), połączona z torami kolejowymi. Rozwiązanie to najpierw jedynie ułatwiało przesiadki między pociągami i tramwajami, aż do jesieni 2016 r. kiedy to uruchomiono trzy nowe linie tramwaju dwusystemowego, zjeżdżające w tym miejscu z torów tramwajowych na kolejowe: C13 do Burgstadt, C14 do Mittweida i C15 do Hainichen.

Nordhausen posiada niewielką sieć tramwaju wąskotorowego (tylko dwie linie) oraz kolej wąskotorową Harzer Schmalspurbahnen (HSB). W 2002 r. uruchomiony został tor łączący przystanek tramwajowy przed kolejowym dworcem głównym, z położoną obok końcową stacją kolei wąskotorowej, dzięki czemu spalinowe szynobusy kolei HSB zaczęły dojeżdżać do przystanku tramwajowego, co ułatwiało podróżnym przesiadanie. W 2004 r. wprowadzono do eksploatacji wąskotorowe dwukierunkowe tramwaje hybrydowe (elektryczno-spalinowe) Siemens Combino Duo, co pozwoliło na uruchomienie linii 10 tramwaju dwusystemowego, do położonego nieopodal Ilfeld.

Na północno-wschodnich przedmieściach Paryża, pomiędzy przystankami linii B i E kolei aglomeracyjnej RER, uruchomiono w 2006 r. tramwajową linię T4, określaną mianem tramwaju dwusystemowego, gdyż linia ta wykorzystuje fragment zamkniętej w 2003 r. linii kolejowej Coquetiers. Linia ta jednakże nie korzysta z odcinków wspólnych z normalnym ruchem kolejowym, ani też z odcinków prowadzących ruch tramwajów klasycznych. Operatorem jest przewoźnik kolejowy (SNCF), a nie miejski. Obecnie budowana jest nowa 6-kilometrowa wschodnia odnoga od środkowej stacji istniejącej linii (Gargan) do zespołu szpitalnego Montfermeil.

Pomiędzy Hagą, a oddalonym od niej o kilka kilometrów Zoetermeer funkcjonowała kolejka dojazdowa, obsługiwana przez narodowego przewoźnika kolejowego (NS). Pociągi docierały jedynie na dworzec centralny Hagi i nie penetrowały centrum miasta. Podjęto decyzję o przekonwertowaniu tej linii na tramwaj dwusystemowy, co stało się częścią projektu pod nazwą „RandstadRail”. Pozostała jego część, to przekonwertowanie jednej z dwóch linii kolejowych łączących Hagę z Rotterdamem - o mniejszym znaczeniu (Hofpleinlijn) w metro (obecnie linia E). W Zoetermeer, na dawnej linii kolejki dojazdowej (w postaci pętli okrężącej miasteczko) wybudowano kilka nowych przystanków, dobudowano też przedłużenie linii (2,5 km), dzięki czemu tramwaje lepiej niż kolej penetrują obsługiwany obszar. Kolejne przedłużenie (Javalaan - Bleizo) jest obecnie w trakcie budowy. Na całej linii obniżono perony do 30 cm, obniżono również napięcie w sieci trakcyjnej z 1,5 kV do 750 V. W Hadze wybudowano łącznik pomiędzy siecią kolejową a tramwajową w postaci estakady, z efektowną ażurową obudową (o strukturze siatki), a na dalszym odcinku w centrum - kilkukilometrowy tunel (tak aby tramwaje dwusystemowe nie „grzęźły” w ulicznych korkach). W 2006 r. uruchomiono na tej trasie dwie linie tramwaju dwusystemowego (obecnie 3 i 4). W 2009 r. skorzystało z nich 38 tyś. pasażerów, w porównaniu do 18 tyś. w 2002 r., kiedy połączenie to obsługiwała kolej. Od 2007 r. po kilkukilometrowym odcinku linii tramwaju dwusystemowego kursują również składy metra z Rotterdamu. Na pięciu wspólnych przystankach perony są na części długości wysokie, a na części - niskie. Nie było natomiast problemu z zasilaniem - zarówno metro jak i tramwaj dwusystemowy na wspólnym odcinku korzystają z sieci górnej i napięcia 750 V. W Miluzie tramwaje zlikwidowano w 1957 r. Odrodziły się one w 2006 r. w postaci skromnej sieci eksploatującej początkowo tylko dwie, a od 2010 r. - trzy linie tramwajowe. W zakończeniu trzeciej linii (w Lutterbach) wykonano przejście z sieci tramwajowej na kolejową, co pozwoliło na uruchomienie linii tramwaju dwusystemowego linią

kolejową do Thann. Operatorem jest przewoźnik kolejowy (SNCF), a nie miejski.

Dotychczasowe propozycje linii tramwaju dwusystemowego dla Wrocławia

Określenie „tramwaj dwusystemowy” w dokumentach dotyczących kształtowania wrocławskiego systemu transportowego pojawiło się po raz pierwszy w roku 1996, w opracowaniu wykonanym przez Polski Klub Ekologiczny i Zarząd Dróg i Komunikacji [2]. W rozdziale zatytułowanym „Możliwości usprawnień systemu”, w podpunkcie „Pełna integracja infrastruktury torowej na terenie aglomeracji wrocławskiej” pojawił się zapis: „część torów aktualnie jest wyłączona z eksploatacji lub wykorzystywana sporadycznie, dlatego można prowadzić na nich ruch tramwajów zasilanych dwusystemowo”. Opracowanie nie precyzowało jednak nic więcej na ten temat.

W uchwalonej w 1999 r. polityce transportowej Wrocławia, o tramwaju dwusystemowym niestety nie wspomniano ani razu.

Podczas zorganizowanej w 2003 r. przez Politechnikę Wrocławską konferencji „Zintegrowany System Miejskiego Transportu Szynowego” dr Maciej Kruszyna zaproponował uruchomienie linii tramwaju dwusystemowego [3] w następujących relacjach:

- od pętli tramwajowej przy ul. Robotniczej liniami kolejowymi: 275 w stronę Środy Śl. oraz 273 w stronę Wołowa,
- od pętli tramwajowej Kromera liniami kolejowymi 143 i 326 do Trzebnicy,
- od pętli tramwajowej Park Pd. linią kolejową 285 do Sobótki.

Na kolejnej z tego cyklu konferencji (w 2005 r.) dr Kruszyna przedstawił koncepcję pilotażowej linii tramwaju dwusystemowego dla Wrocławia [4], o przebiegu z Leśnicy linią kolejową 275 do pętli tramwajowej przy ul. Robotniczej, a następnie trasami tramwajowymi przez ulice: Legnicką, Kazimierza Wielkiego (alternatywnie nową Robotniczą, Piłsudskiego, Kołłątaja), Piaskową, Poniatowskiego, do pętli tramwajowej Kromera, a dalej linią kolejową

143 do Psiego Pola.

W publikacji Politechniki Wrocławskiej i Polbusu z 2004 roku zatytułowanej "Miasto Wrocław - Przestrzeń komunikacji i transportu" opisana została koncepcja Wrocławskiej Kolei Miejskiej autorstwa Jacka Jerczyńskiego i Ryszarda Boduszka [5], wykorzystująca ideę tramwaju dwusystemowego. W koncepcji tej zaproponowano wykonanie połączeń pomiędzy siecią tramwajową i kolejową w następujących miejscach:

- ul. Małachowskiego - stacja Wrocław Gł. Towarowy,
- pl. Orłąt Lwowskich - stacja Wrocław Świebodzki,
- ul. Robotnicza - stacja towarowa Wrocław Gądów,
- ul. Kromera - stacja Wrocław Sołtysowice,
- ul. Żmigrodzka - przecinająca ją linia kolejowa 292.

Autorzy zaproponowali również, aby planowana budowa trasy mostu wschodniego (Al. Wielkiej Wyspy) uwzględniała poprowadzenie linii tramwaju dwusystemowego od Wilczego Kąta do Swojczyc albo Kowal, a w dalszej perspektywie do Zgorzelska i Psiego Pola. Podobnie planowany nowy przebieg ul. Robotniczej (między pl. Orłąt Lwowskich a ul. Śrubową) powinien przewidywać poprowadzenie tamtędy linii tramwaju dwusystemowego.

W uchwalonym w lipcu 2006 r. Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Wrocławia, na rysunku przedstawiającym transport publiczny zaproponowano siedem miejsc powiązań sieci tramwajowej z liniami kolejowymi:

- pętla tramwajowa Poświętne - linia kolejowa 292 (między stacjami Wr. Sołtysowice i Wr. Osobowice),
- planowana pętla tramwajowa przy stacji kolejowej Wr. Psie Pole - linia kolejowa 326 do Trzebnicy,
- pętla tramwajowa Kowale - linia kolejowa 292 do Jelcza-Miłoszyc,
- planowana nowa linia tramwajowa przez mosty Swojczyckie - linia kolejowa 292 do Jelcza-Miłoszyc,
- planowana linia tramwajowa wzdłuż ul. Borowskiej - linia kolejowa 285 do Świdnicy,
- planowana linia tramwajowa

wzdłuż ul. Agrestowej - linia kolejowa 285 do Świdnicy,

- planowana linia tramwajowa wzdłuż ul. Robotniczej (nieopodal pl. Orłąt Lwowskich) - linia kolejowa 274 do Jeleniej Góry.

W przygotowanym przez Urząd Miejski jesienią 2006 r. „Zintegrowanym systemie transportu szynowego we Wrocławiu i aglomeracji wrocławskiej” opracowanym w związku z zamiarem uruchomienia linii tramwajowych o podwyższonych parametrach, pod nazwą „Tramwaju Plus” założono, że: „nie jest wykluczone wyprowadzenie linii Tramwaju Plus poza granice Wrocławia (kilka kilometrów), z wykorzystaniem istniejących torowisk kolejowych (nie wykorzystywanych obecnie do przewozów pasażerskich)”.

Opracowany w 2007 r. na zlecenie Urzędu Miejskiego „Plan generalny rozwoju transportu szynowego we Wrocławiu” nie przewidywał rozwiązań w postaci tramwaju dwusystemowego, jedynie za wyjątkiem propozycji zbudowania nowej linii tramwajowej po śladzie nieużytkowanej wtedy linii kolejowej 326 do Trzebnicy, ale tylko na odcinku od ul. Irkuckiej do granicy miasta.

Uchwalone w 2010 r. kolejne Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Wrocławia, w kwestii tramwajów dwusystemowych powtórzyło ustalenia poprzedniego studium z 2006 r.

Podczas zorganizowanej w 2010 r. przez Politechnikę Wrocławską konferencji „Zintegrowany system transportu miejskiego” Patryk Wild z wrocławskiego MPK zaprezentował koncepcję Wrocławskiej Kolei Metropolitalnej [6], w ramach której do roku 2015 uruchomione miałyby być następujące trzy linie tramwaju dwusystemowego:

- MT2 - ze stacji Wr. Leśnica linią kolejową przez Wr. Żerniki i Wr. Nowy Dwór do ul. Robotniczej, następnie trasami tramwajowymi przez ulice: Legnicką, Kazimierza Wielkiego, Traugutta do ul. Krakowskiej, skąd linią kolejową przez Wr. Brochów do Siechnicy,
- MT4 - ze stacji Wr. Pracze linią kolejową przez Wr. Kuźniki do ul. Robotniczej, następnie trasami tramwajowymi przez ulice: Le-

gnicką, Kazimierza Wielkiego, pl. Społeczny, rondo Reagana do pętli tramwajowej przy Stadionie Olimpijskim, a w przyszłości (do 2025 r.) nowobudowanymi odcinkami linii tramwajowych i kolejowych do Psiego Pola, skąd linią kolejową 326 do stacji Wr. Zakrzów,

- MT6 - z Kobierzyc linią kolejową do ul. Karkonoskiej, następnie trasą linii tramwajowej 7 do pętli Poświętne, skąd liniami kolejowymi 292 i 271 do Obornik Śl.

W koncepcji tej zaproponowano wykonanie połączeń pomiędzy siecią tramwajową i kolejową w następujących miejscach:

- ul. Robotnicza - łącznica kolejowa 753 (Wr. Grabiszyn - Wr. Gądów),
- skrzyżowanie ul. Krakowskiej i Kościuszki - tory stacji Wr. Gł. Towarowy,
- ul. Ołbińska - tory stacji Wr. Nadodrze,
- ul. Żmigrodzka - przecinająca ją linia kolejowa 292,
- pętla tramwajowa Klecina - stacja Wr. Klecina na linii kolejowej 285.

W 2012 r. podczas Forum Inwestycji Tramwajowych Wojciech Zdanowski z wrocławskiego MPK przedstawił koncepcję dwusystemowego tramwaju pod nazwą "MeTram", będącą modyfikacją opisanej wcześniej propozycji Patryka Wilda, w której linię MT2 oznaczono jako 3+, linię MT4 - jako 21+ i od ronda Reagana skierowano do Biskupina, natomiast linię MT6 - jako 7+.

W 2012 r. Politechnika Wroclawska, na zlecenie wrocławskiego MPK wykonała opracowanie zatytułowane „Analiza zagadnień technicznych związanych z uruchomieniem we Wrocławiu tramwaju dwusystemowego” [7]. Celem opracowania było sformułowanie warunków technicznych jakim powinien odpowiadać tabor, wytyczenie tras oraz wskazanie potrzebnych modyfikacji i dostosowań w obrębie infrastruktury torowej i przytorowej. W opracowaniu zaproponowano wykonanie połączeń pomiędzy siecią tramwajową i kolejową w następujących miejscach:

- skrzyżowanie ul. Krakowskiej i Kościuszki - tory stacji Wr. Gł. Towarowy,
- ul. Krakowska - przecinająca ją

bocznica do dawnych zakładów Pollena,

- ul. Bardzka - przecinającą ją linia kolejowa 285,
- pętla tramwajowa Park Pd. - linia kolejowa 285, przez ul. Ołtaszyńską albo Agrestową,
- pętla tramwajowa Klecina - stacja Wr. Klecina na linii kolejowej 285, przez ul. Kobierzycką,
- ul. Kwizdyńska - bocznica na terenie zakładu 3M (prowadząca do stacji Wr. Swojczyce na linii kolejowej 292),
- ul. Robotnicza - łącznica kolejowa 753 (Wr. Grabiszyn - Wr. Gądów),
- ul. Ołbińska - tory stacji Wr. Nadodrze,
- ul. Żmigrodzka - przecinającą ją linia kolejowa 292.

W podsumowaniu opracowania stwierdzono, że jedynie niektóre linie kolejowe wychodzące z Wrocławskiego Węzła Kolejowego nadają się do wprowadzenia na nie tramwajów dwusystemowych. Jest to uwarunkowane dwoma czynnikami:

- rozmieszczeniem i gęstością sieci osadniczej (zdolność wygenerowania odpowiednich napełnień pojazdów, właściwe odległości międzyprzystankowe),
- parametrami geometrycznymi i ruchowymi (linie wyższych kategorii są predysponowane do obsługi kolejną aglo lub regio).

W opracowaniu, jako najodpowiedniejszą do zastosowania tramwajów dwusystemowych, zarekomendowano linię kolejową 285 Wrocław-Świdnica, z podłączeniem do sieci tramwajowej na przedłużeniu ul. Bardzkiej. We wnioskach końcowych zwrócono uwagę na utrudnienia w przypadku homologacji nietypowego taboru, brak krajowych przepisów i normatywów, proponując jako korzystniejsze utrzymanie rozdziału tramwajów od kolei, jednakże za wyjątkiem rozwiązań w postaci przejęcia dla potrzeb tramwaju byłej lub nieczynnej linii kolejowej, albo też prowadzenia na niej ruchu rozdzielonego w czasie.

W uchwalonej w 2013 r. wrocławskiej polityce mobilności, o tramwaju dwusystemowym nie wspomniano niestety ani razu.

Opis proponowanego rozwiązania

Podstawą prezentowanego pomysłu nowej linii tramwaju dwusystemowego jest wykorzystanie linii kolejowej nr 292 na odcinku pomiędzy przejazdami kolejowymi na przecięciach z ulicami Żmigrodzką (od strony zachodniej) i Sołtysowicką od strony wschodniej (rys.3).

Przy ul. Żmigrodzkiej linia tramwajowa przebiega tuż obok torów kolejowych, wykonanie łącznicy pomiędzy siecią kolejową i tramwajową w tym miejscu nie powinno stanowić problemu. Zupełnie inaczej sytuacja wygląda na drugim końcu wykorzystywanego odcinka linii kolejowej. Przejazd kolejowy na ul. Sołtysowickiej jest oddalony o około 2 kilometry od najbliższej pętli tramwajowej przy ul. Kromera. W tym miejscu konieczne jest więc wybudowanie odcinka klasycznej linii tramwajowej. W podstawowym wariantcie autor proponuje przeprowadzenie jej ulicami Boya-Żeleńskiego (pod przebudowanym wiaduktem linii kolejowej 143), Berenta, Przesmyckiego i Sołtysowicką. Co prawda ulice Beranta i Przesmyckiego są wąskie i zabudowane domami jednorodzinnymi, jednakże na świecie wprowadza się komunikację tramwajową w rejonach podobnego typu, czego dobrym przykładem mogą być:

- zrealizowane w 2007 r. przedłużenie linii 6 do St. Peter w Grazu,
- uruchomiona w 2013 r. linia 26 w nowym przebiegu przez osiedle Hirschstetten w Wiedniu.

W obu tych przypadkach tramwaje poprowadzono wspólnie z ruchem kołowym, ulicami stref ruchu uspokojonego o przekrojach 1+1, niekiedy z chodnikiem dla pieszych tylko po jednej stronie ulicy. Jednakże, gdyby na etapie konsultacji społecznych okazało się, że mieszkańcy Karłowic nie życzą sobie tramwajów „pod swoimi oknami”, autor zaproponował alternatywny przebieg ulicami Kromera i Czajkowskiego, gdzie niestety do pokonania jest przecięcie z linią kolejową 143, funkcjonujące obecnie jako strzeżony przejazd kolejowy. Konieczna jest więc budowa w tym miejscu wiaduktu lub tunelu, tramwajowego albo tramwajowo-drogowego. Alternatywne

rozwiązanie nie penetruje już tak do brze osiedla Karłowice, omija ważny generator podróży jakim jest pl. Daniłowski (ze względu na pobliskie obiekty Uniwersytetu Wrocławskiego), nie odciąża też funkcjonującej w tym rejonie komunikacji autobusowej.

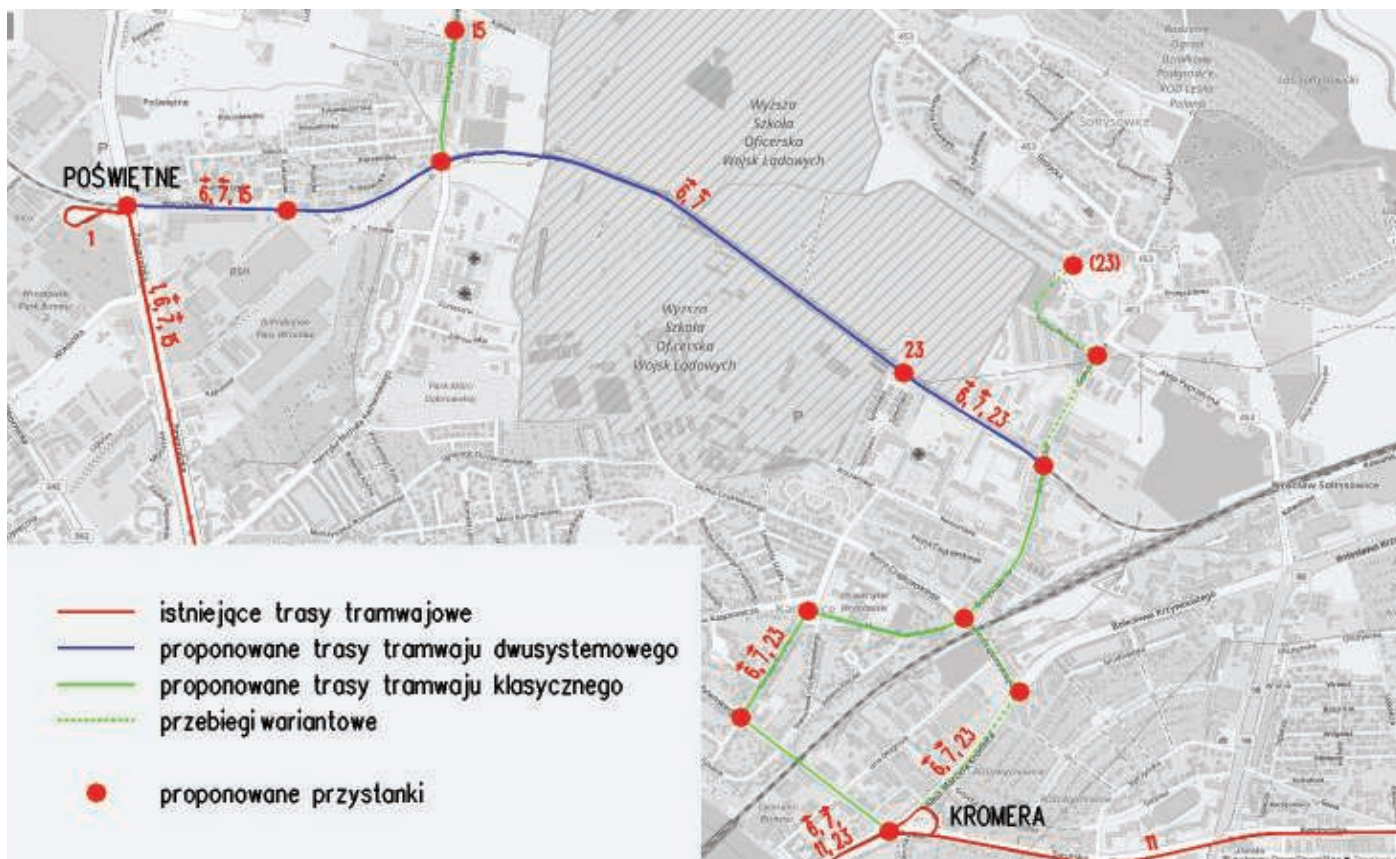
Kolejny odcinek klasycznej linii tramwajowej na zasadzie „sięgacza” zakończonego pętlą albo krańcówką autor proponuje wybudować pomiędzy przejazdem kolejowym na ul. Kamieńskiego, a rejonem skrzyżowania tej ulicy z Kątową. Właśnie tam od kilku lat intensywnie rozwija się wielorodzinne budownictwo mieszkaniowe.

Podobny „sięgacz” mógłby być zrealizowany od przejazdu kolejowego na ul. Sołtysowickiej w rejon ul. Lekcyjnej na Sołtysowicach (w sąsiedztwie posesji nr 10), choć tu potrzeba jest mniejsza, gdyż jest to rejon budownictwa jednorodzinnego, i znów takie rozwiązanie mogłoby nie spodobać się mieszkańcom. Jako alternatywę w takim wypadku można by przewidzieć pętlę albo krańcówkę w rejonie ul. Sportowej, gdzie generatorem podróży oprócz okolicznej zabudowy byłby pobliski szpital.

Dla zaproponowanych rozwiązań infrastrukturalnych autor przewidział następującą organizację ruchu tramwajowego:

- do pętli albo krańcówki przy ul. Kątowej mogłaby zostać przedłużona linia 15,
- do pętli albo krańcówki przy ul. Sportowej albo Lekcyjnej mogłaby zostać przedłużona linia 23,
- całym odcinkiem proponowanej linii pomiędzy pętlami „Poświętne” i „Kromera” mogłyby kursować w przeciwnych kierunkach linie 6 i 7, podobnie jak to obecnie wykonują linie 14 i 24 w „trójkącie” ulic Grabiszewska - Hallera - Powstańców Śl., co wymagałoby powrotu do rozwiązania sprzed kilkunastu lat, a mianowicie skierowania linii 11 do Kowal, zamiast kursującej tam obecnie linii 6.

Takie nietypowe rozwiązanie - z dwoma liniami kursującymi w przeciwnych kierunkach w „trójkącie” ulic (zamiast klasycznych dwukierunkowych tras zakończonych pętlami albo krańcówkami) posiada swoje zalety, przykładowo



3. Propozycja nowej linii tramwaju dwusystemowego (w tle wykorzystano [8])

umożliwi mieszkańcom Karłowic szybkie dotarcie do centrum handlowego Marino, a mieszkańcom Poświętnego - szybkie dotarcie do szpitala albo uczelni zlokalizowanych na Karłowicach.

Podsumowanie

Zaprezentowana w artykule propozycja nowej linii tramwaju dwusystemowego dla Wrocławia zainspirowana została rozwiązaniami zastosowanymi w przypadku pierwszych linii tramwajowo-kolejowych uruchomionych najpierw w Karlsruhe (do Bad Herrenalb i Neureut), a później w Kassel (do Baunatal i Hessisch Lichtenau), gdzie na linii kolejowe z niewielkim ruchem towarowym (po ograniczeniu go do godzin nocnych), wprowadzono klasyczne jednokierunkowe tramwaje. Uniknięto w ten sposób konieczności zakupu około dwa razy droższego taboru, w sytuacji gdy nie było potrzeby dokonywania zmiany napięcia oraz uzyskania „kolejowej” wytrzymałości zderzeniowej pojazdów.

Nowością w zaprezentowanym rozwiązaniu jest fakt, że proponowana nowa linia tramwaju dwusystemowego nie opuszcza granic miasta, dlatego

w tytule artykułu użyto określenia „linia miejska”.

Proponowane rozwiązanie można wdrażać etapowo. W pierwszej kolejności najbardziej wskazane byłoby dotarcie komunikacją szynową w rejon nowych osiedli budownictwa wielorodzinnego przy ulicach Pleszewskiej, Falzmana i Kątowej. Potrzebny byłby w tym celu odcinek linii kolejowej 292 od ul. Żmigrodzkiej do Kamieńskiego i dalej klasyczna linia tramwajowa wzdłuż ul. Kamieńskiego. W drugim etapie (po zakończeniu przebudowy wiaduktu linii kolejowej 143 nad ul. Boya-Żeleńskiego) możliwe byłoby wybudowanie klasycznej linii tramwajowej ulicami Karłowic, do przejazdu kolejowego na ul. Sołtysowickiej, a dalej odcinkiem linii kolejowej 292 do pętli albo krańcówki przy ul. Sportowej. Z ostatecznym „zamknięciem” proponowanej trasy w postaci wykorzystania odcinka linii kolejowej 292 między ulicami Kamieńskiego a Sportową można poczekać, aż do ewentualnej zmiany zagospodarowania terenów po obu stronach tej trasy. Obecnie jest tam zlokalizowana Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych, lecz w historii rozwoju Wrocławia wojsko kilkakrotnie

już oddawało tereny miastu i przenosiło się w mniej zurbanizowane przestrzenie.

Przeszkodą w realizacji proponowanego rozwiązania może być fakt, że analizowany odcinek linii kolejowej 292, według opracowanej w 2009 r. przez Dolnośląski Urząd Marszałkowski koncepcji, planowany jest do wykorzystania w ramach Dolnośląskiej Kolei Dojazdowej (DKD). W wariantcie zakładającym uruchomienie 14 nowych linii, przewidywane jest przeprowadzenie analizowanym odcinkiem linii kolejowej 292 dwóch z nich: D10 (Brochów-Wojnow) i D11 (Leśnica-Sobieskiego) oraz wybudowanie czterech nowych przystanków: Uniwersytet, Artyleryjska, Kamieńskiego, Poświętne. Należy jednakże zaznaczyć, że koncepcja urzędu marszałkowskiego jest przesadnie rozbudowana, inne pomysły zakładające uruchomienie we Wrocławiu kolei aglomeracyjnej, nie przewidują wykorzystania analizowanego odcinka linii kolejowej 292. Nawet jeśli lokalnym władzom udało się urzeczywistnić koncepcję DKD w pełnym zakresie, przykłady niektórych rozwiązań z zagranicy (np. Haga) pokazują, że tramwaj dwusystemowy nie wyklucza

przewodzenia tymi samymi odcinkami kolei miejskiej.

Zaproponowane w artykule rozwiązanie jest ogólnym pomysłem, wymagającym bardziej szczegółowych analiz. Dopracowania wymagają zagadnienia takie jak:

- odcinki przejściowe pomiędzy siecią tramwajową, a kolejową,
- lokalizacja przystanków oraz mijanek,
- lokalizacja torowiska tramwajowego w przekrojach ulic (na długościach odcinków klasycznych linii tramwajowych),
- problemy skrajni w przypadku przystanków położonych wzdłuż linii kolejowej (sploty torowe albo inne możliwe rozwiązania),
- zastosowanie pętli albo krańcówek,
- rozjazdy (krzyżownice) - a profil koła tramwajowego,
- ponowna elektryfikacja linii kolejowej, ale pod napięcie tramwajowe,
- sterowanie ruchem.

Problemy te zawarte zostały w tema-

tach magisterskich prac dyplomowych, które autor niniejszego artykułu przygotował i proponuje studentom specjalności Infrastruktura Transportu Szynowego na Politechnice Wrocławskiej. ◀

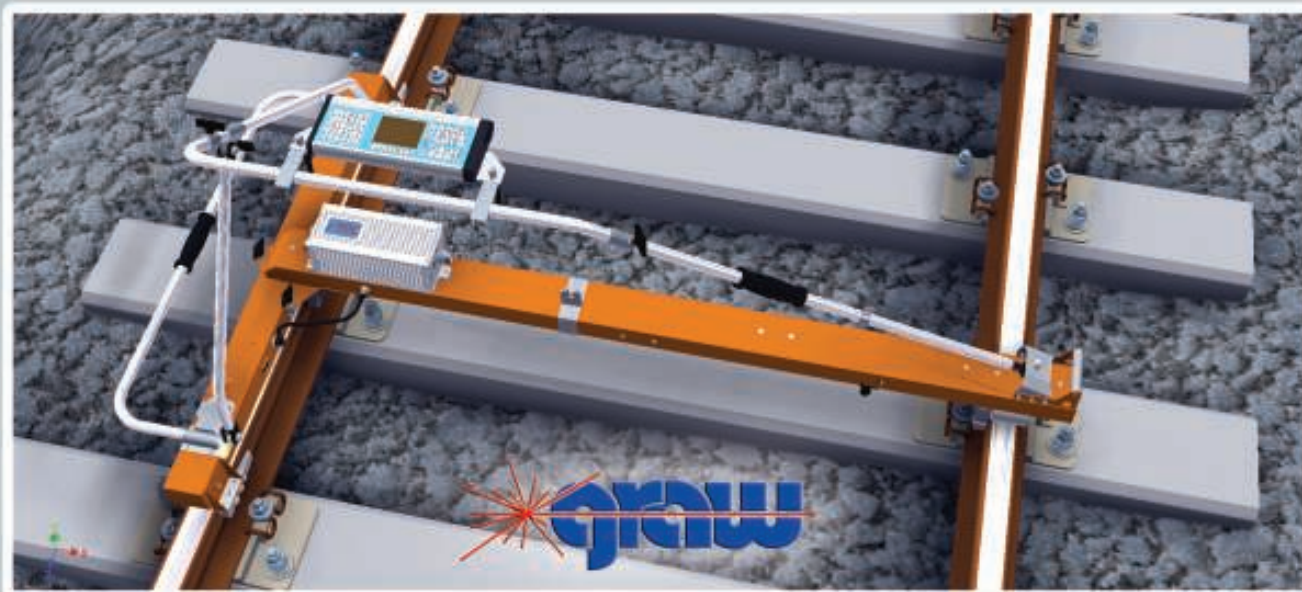
Materiały źródłowe

- [1] Gisterek I. Wykorzystanie sieci kolejowej do celów tramwaju dwusystemowego. Konferencja: Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w kolejnictwie, Kraków 2010, str. 203-217.
- [2] Szanse i realia lokalnej komunikacji zbiorowej w Polsce. Polski Klub Ekologiczny, Zarząd Dróg i Komunikacji, Wrocław 1996.
- [3] Kruszyna M. Propozycja rozwiązań taryfowych dla zintegrowanego systemu transportu szynowego we Wrocławiu. Konferencja: Zintegrowany system miejskiego transportu szynowego, Wrocław 2003, str. 59-66.

- [4] Kruszyna M. Opcje rozwoju zintegrowanego transportu szynowego we Wrocławiu. Konferencja: Zintegrowany system transportu miejskiego, Wrocław 2005, str. 51-57.
- [5] Jerczyński J., Boduszek R. Wrocławska kolej miejska. Miasto Wrocław - Przestrzeń komunikacji i Transportu, Politechnika Wrocławska, Polbus 2004, str. 231-247.
- [6] Wild P., Kruszyna M. Postulowane elementy rozwoju wrocławskiego węzła kolejowego. Konferencja: Zintegrowany system transportu miejskiego, Wrocław 2010, str. 109-120.
- [7] Krużyński M., Gisterek I., Makuch J., Molecki B., Puciłowski J. Analiza zagadnień technicznych związanych z uruchomieniem we Wrocławiu tramwaju dwusystemowego. Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Lądowej, Raport serii SPR nr 01/2012, Wrocław 2012.
- [8] <http://www.openstreetmap.org> 27.03.2017.

REKLAMA

TOROMIERZ INERCYJNY iTEC Dokładny pomiar strzałek



www.graw.com

Dopasowanie krawędzi peronowych do taboru w istniejących systemach tramwajowych na przykładzie Wrocławia

Matching the platform edge placement to rolling stock in existing tram systems on the example of Wrocław



Igor Gisterek

dr inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział
Budownictwa Lądowego i
Wodnego; Katedra Mostów i Kolei

igor.gisterek@pwr.edu.pl

Streszczenie: Praca stanowi przyczynek do opracowania optymalnego rozwiązania odległości poziomej i pionowej pomiędzy krawędzią peronową a progiem tramwaju we Wrocławiu. Opisano ogólną argumentację przemawiającą za rozwojem zbiorowego transportu szynowego w miastach, omówiono też podstawowe cechy atrakcyjnego systemu komunikacji miejskiej. Zebrano historyczne i bieżące prace skupiające się na położeniu podłogi wagonu względem peronu, z uwzględnieniem wybranych przepisów zagranicznych. Zaproponowano rozwiązania możliwe do zastosowania w warunkach wrocławskich. Zaznaczono konieczność prowadzenia dalszych szczegółowych badań i rozważań.

Słowa kluczowe: Transport miejski; Tramwaj; Peron; Przystanek

Abstract: The work contributes to the development of the optimal solution of the horizontal and vertical gap between the platform edge and the tramway threshold in Wrocław. General arguments for the development of urban rail transport have been described, and the basic features of an attractive system are discussed. Historical and current works focused on the position of the car floor with relation to the platform were collected, taking into account selected current foreign regulations. Suggested solutions possible for use in Wrocław conditions were posed. The necessity of carrying out further detailed studies and considerations.

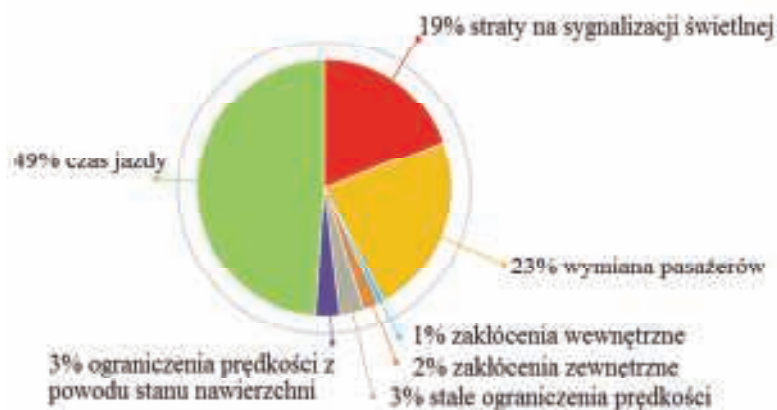
Keywords: Urban transport; Tramway; Platform; Tramway stop

Ze względu na znaczne koszty budowy i utrzymania infrastruktury transportowej oraz zakupu i eksploatacji pojazdów, coraz większy nacisk jest kładziony na ich efektywne wykorzystanie. Szczególnie przy inwestycjach dofinansowywanych ze środków unijnych jednym z podstawowych parametrów jest ich efektywność, czyli wewnętrzna stopa zwrotu inwestycji, którą wylicza się z uwzględnieniem spodziewanej liczby pasażerów. Obserwuje się, że przewoźnicy szynowi odnotowują w tej dziedzinie sytuację względnie stabilną, wyrażoną w najlepszym razie jednocyfrowym wzrostem. Przykładowo, według danych UTK [1], wzrost liczby pasażerów kolei wyniósł w 2016 roku 4,3%, ale przy aż 9,9% zwiększeniu pracy przewozowej. Tymczasem zasadniczy wzrost mobilności społeczeństwa dokonuje się w dalszym ciągu za pomocą motoryzacji

indywidualnej. Na przykładzie Wrocławia, liczba samochodów osobowych zarejestrowanych na 1000 mieszkańców wykazuje stałą tendencję wzrostową, rosnąc w latach 2005-2015 od poziomu 384 do 600 [2]. Świadczy to o realizowaniu zwiększonej mobilności społeczeństwa głównie za pomocą samochodów. Dopiero analiza przykładów zagranicznych pokazuje, gdzie ukryty jest prawdziwy potencjał komunikacji zbiorowej: o ile wszystkie koleje w Polsce przewiozły w roku 2016 około 292 mln pasażerów, o tyle sam jeden berliński system S-Bahn został wykorzystany w roku 2015 przez prawie 417 mln podróżnych [1,3]. Jeżeli polskie miasta mają podążać w tym samym kierunku, konieczne będzie przesunięcie środka ciężkości przewozów transportem szynowym z okazjonalnych podróży, odbywanych sporadycznie na długie dystanse, na

dojazdy codzienne wykonywane w celu realizacji podstawowych zagadnień bytowych: pracy, nauki, zaspokajania potrzeb życiowych oraz rekreacji.

Rodzajem transportu szynowego dedykowanego przewozom codziennym są m.in. tramwaje. Obserwowane w ostatnich latach ze stosunkowym nasileniem inwestycje w rozwój i naprawę infrastruktury oraz wymianę lub modernizację taboru szynowej komunikacji miejskiej nie zawsze przynoszą pożądane efekty, często owocując nieznacznym wzrostem liczby pasażerów. Podłoże tego zjawiska jest wieloaspektowe i złożone, ponadto silnie zależne od lokalnych uwarunkowań. Można jednak spróbować je sprowadzić do wspólnego mianownika, określanego stopniem atrakcyjności transportu zbiorowego. Napływ pasażerów zaczyna się wtedy, gdy sumaryczna atrakcyjność transportu



1. Składowe całkowitego czasu jazdy tramwaju (Drezno, 2012), za [6]

szynowego przewyższa łączną jakość pozostałych środków przemieszczania się. Wśród podstawowych składników atrakcyjności komunikacji miejskiej można wymienić:

- czas jazdy, utożsamiany z prędkością przemieszczania,
- regularność jazdy, jako interwał pomiędzy kolejnymi kursami,
- częstotliwość kursowania, także jako kryterium oceny sprawności,
- punktualność jazdy jako wskaźnik ilościowo - jakościowy,
- dogodność połączeń związana z więźbą ruchu,
- wygodę podróżowania: ogrzewanie, wentylacja, łatwość wejścia do pojazdu,
- bezpieczeństwo jazdy,
- informację o przebiegu linii i układu, wewnątrz pojazdów i na przystankach,
- kulturę obsługi - zachowanie pracowników [4, 5].

Wiele spośród tych kryteriów jest trudno mierzalnych, a uznanie określonego parametru za atrakcyjny podlega indywidualnej ocenie użytkowników. Można bezpiecznie założyć, że ciągła poprawa takich kluczowych parametrów jak czas przejazdu, zasięg linii czy punktualność ma istotny wpływ na frekwencję w transporcie zbiorowym tak długo, jak pozwala zachować te czynniki na poziomie co najmniej konkurencyjnym do transportu samochodowego. Subtelność zrównoważonego transportu w miastach polega również na tym, że często ułatwienie dla jednego środka komunikacji pociąga zamierzone lub przypadkowe utrudnienia dla pozostałych uczestni-

ków ruchu. Przykładowo, przydzielenie tramwajom wysokiego priorytetu w sygnalizacji świetlnej może zepsuć efekt zielonej fali dla samochodów, ale też otwarcie nowej ulicy doprowadzającej ruch do centrum zwiększa napływ aut i spowoduje blokowanie transportu zbiorowego tam, gdzie wcześniej nie miało to miejsca.

Rozpatrując poszczególne składniki atrakcyjności środka transportu należy spostrzec, że na każdy z wymienionych wyżej podpunktów składa się cała gromada cech, uwarunkowań i zależności, niejednokrotnie wzajemnie powiązanych, czasami też sprzecznych. Chcąc uzyskać poprawę stanu rzeczy, można podjąć działania wieloaspektowe, można też skoncentrować się na pojedynczych składowych, przykładowo przez zwiększenie prędkości handlowej. Analiza stanu istniejącego, pokazanego na przykładzie Drezna na Rys. 1, wskazuje, że orientacyjnie połowa całkowitego czasu jazdy przypada na ruch pojazdu, jedna czwarta to czas wymiany pasażerów, zaś ostatnia ćwierć to utrudnienia i przeszkody w ruchu, za których lwią część odpowiadają straty czasu wynikające z oczekiwania na sygnał zezwalający na jazdę. Można z tego wyciągnąć wniosek, że największy zysk zostanie osiągnięty przy poprawie w zakresie jednego z trzech kluczowych udziałów: czystego czasu jazdy, wymiany pasażerów lub oczekiwania na sygnał. Prędkość ruchu tramwaju w mieście jest wypadkową z ogólnego ograniczenia prędkości na odcinkach szlakowych i węzłach, rozmieszczenia przystanków wzdłuż trasy oraz racjonalnych przy-

spiesznień przy rozruchu i hamowaniu pojazdu, zatem przy rozsądnie zaplanowanej sieci pole manewru jest tu raczej niewielkie. Z kolei podnoszenie priorytetu dla tramwajów do poziomu bezwzględnie lub pełnego też nie zawsze jest możliwe, szczególnie tam, gdzie ważne ciągi transportu zbiorowego krzyżują się, co na obszarze centrum ma miejsce stosunkowo często. Oczywiście odbywa się to przy założeniu, że tramwaj jest już częściowo uprzywilejowanym uczestnikiem ruchu; w Polsce, nawet w nowych realizacjach ciągle nie można przyjmować takiego założenia automatycznie.

Przykład Drezna nie jest całkowicie miarodajny w warunkach polskich. Torowiska od roku 1993 są tam intensywnie przebudowywane i modernizowane, stąd odcinki w kiepskim stanie technicznym są coraz krótsze i rzadziej spotykane. Również struktura taborowa przekracza jakością przykłady krajowe: tabor miejskiego przewoźnika DVB składa się z prawie 170 wagonów niskopodłogowych, oraz niecałych 20 sztuk wozów Tatra, analogicznych konstrukcyjnie do tramwaju Konstal 105N. Na tej podstawie należy przyjąć założenie, że w miastach polskich połączone udziały strat czasu biorące się z oczekiwania na sygnał zezwalający, wymiany pasażerów oraz jazdy ze zmniejszoną prędkością dominują nad czasem „czystej” jazdy, dając znaczne możliwości poprawy stanu rzeczy. Przełoży się to na szereg pozytywnych zjawisk, do których zalicza się m.in.:

- zwiększenie frekwencji w pojazdach transportu zbiorowego, czyli korzystniejszą strukturę ruchu (modal split),
 - obniżenie kosztów funkcjonowania przez szybszą wymianę pasażerów, skrócenie rozkładów jazdy, krótsze postoje,
 - zwiększenie prędkości handlowej, ale nie kosztem innych uczestników ruchu,
 - zniesienie barier fizycznych dla osób o ograniczonej mobilności,
 - poprawę bezpieczeństwa i komfortu wszystkich pasażerów.
- Jednym ze sposobów zwiększenia

atrakcyjności transportu tramwajowego może być przyspieszenie wymiany pasażerów, realizowane poprzez wzajemne przybliżenie krawędzi peronowej oraz progu pojazdu. Poniżej opisano historyczne i bieżące uwarunkowania tego czynnika.

Wybrane rozwiązania historyczne

Od samego początku pasażerskiego transportu szynowego funkcjonował dogmat głoszący, że podłoga pojazdu przebiega ponad najwyższym punktem jego kół. Przy okazji pod pudłem znajdowało się miejsce na większość osprzętu elektrycznego oraz inne urządzenia. Często prowadziło to do powstawania konstrukcji dość kuriozalnych, jak na rys. 2.

Taki stan rzeczy nie był szczególnie uciążliwy w początkowych latach funkcjonowania systemów tramwajowych, oraz przez dłuższy czas w mniejszych miejscowościach. Stosunkowo niska intensywność ruchu oraz mała pojemność wagonów nie powodowała istotniejszych zakłóceń w utrzymywaniu rozkładu jazdy. Realne problemy zaczęły się w ostatniej dekadzie XIX wieku, kiedy w większych miastach ruch tramwajowy stał się na tyle intensywny, że konieczne było podjęcie odpowiednich środków zaradczych. Do próbowanych rozwiązań należało m.in.: stosowanie doczep, wydłużanie wagonów (w tym pierwsze próby budowy wozów wieloczołnowych), zwiększanie prędkości jazdy, wydłużanie odstępów międzyprzystankowych. Zauważono jednocześnie, że znaczne straty czasu powodowane są przez wymianę pasażerów na przystankach oraz związany z tym system sprzedaży biletów osobom wsiadającym. Poza przeniesieniem sprzedaży biletów do wnętrza wozu, podjęto dwojakie próby rozwiązania problemu: przez budowę wysokich peronów, dopasowanych do podłogi pojazdu, co było w zasadzie niemożliwe w przypadku klasycznego tramwaju poruszającego się w przestrzeni ulicznej w ruchu mieszanym, oraz przez obniżenie podłogi w pojazdach, co stało się realne już w początku XX



2. Tramwaj elektryczny z ekstremalnie wysoką podłogą, ok. 1895 (domena publiczna) [7]



3. Tramwaj niskopodłogowy firmy Brill, Vancouver, ok. 1910 [8]

wieku wraz ze zmniejszeniem rozmiarów silników elektrycznych oraz zastosowaniem wózków typu Maximum (rys. 3).

Pomimo stosunkowo dynamicznego rozwoju takich konstrukcji szybko zaczęły wychodzić na jaw ich mankamenty, których nie dało się usunąć przy ówczesnym stanie techniki. Pojazdy te nie nadawały się na trasy ze znacznymi pochyleńmi podłużnymi, ponieważ praktycznie nie były w stanie pokonywać łuków pionowych toru, natomiast centralnie umieszczone drzwi albo były stosunkowo wąskie i w ten sposób utrudniały przepływ pasażerów, albo istotnie osłabiały konstrukcję wozu powodując jej odkształcenia i pękanie. Dlatego też, pomijając epizod z wagonem „Montos” w latach 30., konstrukcje niskopodłogowe ponownie zaczęto rozwijać dopiero w

końcówce lat 80. XX wieku.

Zdecydowanie bardziej popularnym rozwiązaniem były wozy tramwajowe wysokopodłogowe, oparte na założeniach wagonu PCC, rozwijanego w USA od połowy lat 30. Od tego momentu datuje się również powszechne instalowanie pierwszych drzwi wagonu na skosie pudła przed przednim wózkiem. O ile w warunkach przestronnych ulic i szerokich pudeł wozów amerykańskich skos ten miał znaczenie głównie estetyczne, o tyle przeszczepienie schematu PCC na warunki europejskie zaowocowało silnie zwężającymi się pomostami. Jest to bezpośrednia przyczyna obecnego do dziś mankamentu, polegającego na zagrożeniu bezpieczeństwa wsiadających z wysokich peronów tramwajowych – nawet przy bardzo dobrym dopasowaniu krawędzi do



4. Drzwi z ruchomym stopniem stosowane w Zurychu, fot. Andrew Nash (fragment)

szerokości wozu szerokość szczeliny w skosie przyrasta gwałtownie.

Pomimo znacznego postępu i wprowadzenia licznych cech obecnych w tramwajach do dziś, wozy PCC miały też swoje wady. Należała do nich wysokość pierwszego stopnia, czyli różnica pomiędzy płaszczyzną główek szyn a poziomem progu pojazdu. Nawet w wagonach pochodnych, eksploatowanych do dziś, zagadnienie to nie zostało należycie rozwiązane: w niekorzystnej sytuacji, np. przy wsiadaniu z poziomu jezdni brukowanej ze znacznym spadkiem poprzecznym, wysokość pierwszego stopnia przekracza 50cm, co stanowi wartość zaporową dla wszystkich osób o ograniczonej mobilności. Pośrednim rozwiązaniem tego problemu, stosowanym zarówno w dawniejszych tramwajach wysokopodłogowych, jak i współczesnych niskopodłogowych, jest rozkładany lub wysuwany spod progu dodatkowy stopień.

Rozwiązania bieżące

Rozwiązania stosowane aktualnie dla możliwie dobrego dopasowania krawędzi peronu do progu pojazdu można podzielić na dwie zasadnicze grupy: urządzenia stałe (w tym regulowane okresowo) i ruchome. Te pierwsze są z natury rzeczy mniej skomplikowane technicznie, natomiast wymagają utrzymania wysokiej stałości położenia toru względem peronu oraz ograniczenia dopuszczalnych tolerancji zużycia pionowego i boczno-

szyn. Druga grupa ze względu na swój koszt, skomplikowanie techniczne oraz konieczność nakładów na bieżące utrzymanie należy ilościowo do zdecydowanej mniejszości. Realizacje te są liczebnie zdominowane przez stopnie wysuwane lub odkładane z pojazdu w momencie otwierania drzwi, ale istnieją również urządzenia instalowane na peronie, zamykające szczelinę poziomą lub unoszące fragment nawierzchni peronu do wysokości drzwi pojazdu [9]. Niezależnie od wyboru konkretnego rozwiązania, celem ich stosowania jest możliwie znaczne zwiększenie poziomu bezpieczeństwa i komfortu wsiadających, jednak musi zostać zachowany pewien zapas wynikający z nieidealnie powtarzalnej trajektorii ruchu pojazdu w torze. Kwestią bezsporną jest konieczność istnienia takiej tolerancji, natomiast dyskusyjna jest jej wartość liczbowa. Zarządcy infrastruktury i przewoźnicy postulują utrzymanie szczeliny pionowej i poziomej o wielkości około 100mm, uwzględniając jednocześnie wystąpienie złożenia wszystkich możliwych niekorzystnych okoliczności i granicznego wyeksploatowania, tj. zużycia szyn, obręczy, amortyzatorów, ugięcia zawieszenia, oblodzenia peronu, odkształcenia jego krawędzi oraz deformacji toru. Należy wyraźnie podkreślić, że tak szeroki margines zaniedbania eksploatacyjnego jest nie do pogodzenia z jakimikolwiek normatywnymi udostępniającymi transport zbiorowy osobom o ograniczo-

nej mobilności. Przepisy wykonawcze do najbardziej chyba liberalnego w tej kwestii prawa, szwajcarskiej ustawy zwanej skrótowo BehiG [10], zakładają dopuszczalne wartości szczeliny poziomej i pionowej odpowiednio 50 i 50 albo 70 i 30mm. Istotną różnicę stanowi tu kontekst: we francuskich sieciach tramwajowych wymiary szczelin są jeszcze mniejsze, ponieważ w zasadzie bez wyjątku systemy te budowane są od nowa, natomiast szwajcarskie przystanki tramwajowe są w przytłaczającej większości modernizowane [11-14]. W jednej z pionierskich prac sprzed niemal 20 lat [15] powyższe zagadnienie zostało dość szczegółowo opisane. Autor stwierdza wyraźnie, że stosowanie szczeliny o wymiarze 50mm jest optymalne i z powodzeniem stosowane w systemach metra, SKM i tramwaju szybkiego. Wymienia również dwa powody, dla których nie należy go stosować w przypadku tramwaju klasycznego. Pierwszy - może to doprowadzić do zablokowania drzwi, które wisiałyby zbyt nisko nad peronem. Drugi - w przypadku peronów położonych na łuku przy każdych drzwiach, a przy peronach prostych - przy drzwiach umieszczonych na skosie przy początku lub końcu pojazdu, wielkość szczeliny poziomej wzrasta do wartości niebezpiecznych, nawet 25-30cm [15]. Od tamtego momentu przemysł znalazł satysfakcjonujące i skuteczne rozwiązania powyższych problemów, masowo stosowane w przypadku nowych realizacji. Problem skrzydeł drzwi przesuwających się nad peronem rozwiązano na dwa sposoby: albo drzwi przesuwiają się nad stosunkowo szerokim progiem pojazdu, w żadnym momencie nie wisząc nad powierzchnią peronu, albo zasadnicze płyty drzwi kończą się około 25cm nad podłogą wagonu, a pozostała część otworu zamykana jest przez stopień, który w pozycji pionowej uzupełnia płaszczyznę drzwi, zaś podczas postoju obraca się do poziomu i zamyka w ten sposób szczelinę poziomą, jak na rys. 4.

Problem skośnego ustawienia fragmentów pudła wagonu w stosunku do peronu i związanej z tym nadmier-

nej wielkości poziomej szczeliny wiązuje się lokalizując gdzie to tylko możliwe przystanki przy prostych odciinkach toru, nawet kosztem zmiany ich dotychczasowej lokalizacji, oraz tak rozmieszczając drzwi na długości pojazdu, żeby zawsze wypadały na burcie poza skosem wagonu. W utrzymaniu małej szczeliny pionowej, kompensując skutki zużycia kół, szyn czy obciążenia pojazdu dużą liczbą pasażerów pomagają systemy automatycznej regulacji wysokości podłogi, stosowane już nawet w tramwajach produkcji krajowej [16]. Jak już zaznaczono, rozwiązania te są skuteczne i łatwe stosowalne w przypadku nowych inwestycji. Zagadnienie staje się o wiele bardziej złożone przy modernizacji istniejących sieci tramwajowych, zwłaszcza tych, gdzie rozmaite typy wagonów mają różną szerokość pudła w jego dolnej części oraz odmienne wysokości progów. W dalszej części opisano propozycję rozwiązania tego problemu na przykładzie tramwajów wrocławskich.

Propozycja rozwiązania dla Wrocławia

Tabor tramwajowy MPK Wrocław składa się z 362 wozów różnych typów, z których najstarsze zostały wyprodukowane w 1975, a najnowsze w 2015 roku [17]. W podziale na typy i stan ten przedstawia się następująco: wagony PESA 2010NW – 8 sztuk, Skoda 19T – 31 szt., Skoda 16T – 17 szt., Moderus Beta – 6 szt., Protram 205 – 26 szt., Protram 204 – 12 szt. (6 pociągów), Konstal 105Na i pochodne – 264 szt. (132 pociągi), łącznie 225 pociągów. Pod względem wymiarów zewnętrznych oraz podziału na człony należy więc rozpatrywać 6 różnych typów pojazdów, ponieważ Skody 16T i 19T w tym zakresie się nie różnią. Bezpośrednia analiza wieku pojazdów może prowadzić do następujących wniosków: gdyby chcieć natychmiast wycofać z eksploatacji wagony czterdziestoletnie i starsze, w roku 2017 należałoby zapewnić 34 nowe składy, dla wagonów 35-letnich byłyby to już 74 składy, natomiast przyjmując trzydzie-

stoletni okres eksploatacji, konieczny byłby pilny zakup aż 106 składów o ujednoliconej długości około 30m. Powyższe zestawienie nie uwzględnia jednak istotnego faktu, że większość (168 sztuk) wozów 105Na zostało zmodernizowanych przez Protram od roku 2005, przez co okres ich eksploatacji został dodatkowo wydłużony. Należy jednak oczekiwać, że nawet one powinny zostać zastąpione nowszymi wozami do około roku 2025. Rodzi to konieczność zakupu dużej partii nowych tramwajów (około 130 sztuk) w ciągu najbliższej dekady. Założenie to nie uwzględnia planów rozwoju wrocławskiej sieci, przedstawionych we Wrocławskim Programie Tramwajowym [18], które zwiększy zapotrzebowanie o co najmniej kilkanaście nowych pojazdów, zatem łączna liczba potrzebnych nowych wagonów może osiągnąć lub nawet przekroczyć 150 sztuk.

W związku z faktem, że w niedalekiej przyszłości powinna nastąpić wymiana około połowy taboru MPK, należy opracować i wdrożyć wspólne wytyczne zakupowe, które określą pożądane parametry techniczne nowych wagonów niezależnie od wytwórni realizującej kontrakt. Wytyczne te muszą uwzględniać również ujednolicenie wymiarów zewnętrznych pojazdu, w tym liczbę i rozmieszczenie drzwi na długości wozu, wysokość progu czy odległość progu od osi toru. Wprowadzenie takich wspólnych wymogów pozwoli na zapewnienie kompatybilności wszystkich nowych tramwajów z nowo powstającą i modernizowaną infrastrukturą dostosowaną do potrzeb pasażerów o ograniczonej mobilności, niezależnie od tego, czy dostawy będą pochodzić od różnych producentów, czy nie. Wytyczne te muszą uwzględniać możli-

wość długiego okresu wykorzystania stosunkowo nowych wagonów już posiadanych przez MPK, ponieważ ich eksploatacja może zakończyć się nawet po roku 2050. U podstaw takiego założenia leży fakt, że obecnie nie jest znany powód, dla którego dzisiejsze tramwaje całkowicie bądź niemal całkowicie niskopodłogowe mają być zastępowane konstrukcjami doskonalniejszymi, zatem w świetle dzisiejszego stanu techniki należy oczekiwać ich jak najdłuższego użytkowania.

Analiza zamówień nowych wagonów tramwajowych dowodzi, że w krajach rozwiniętych zdecydowanie przeważają konstrukcje w 100% niskopodłogowe, jednak zdarzają się również pojazdy z około 2/3 niskiej podłogi przy zachowaniu rozmieszczenia na jej długości wszystkich dwuskrzydłowych drzwi. Pojazd jest wtedy funkcjonalnie podzielony w taki sposób, że strefa dla pasażerów jadących na nieduże odległości obejmuje relatywnie mniej miejsc siedzących i więcej stojących, szczególnie w pobliżu drzwi, natomiast podróżnym jadącym dłużej dedykowany jest obszar w strefie podwyższonej podłogi, za to z dużą liczbą foteli. Standardowym rozwiązaniem, wspólnym dla tych dwóch typów wozów jest szerokość pudła wynosząca 2,40 lub 2,65m i wysokość progu pojazdu 300mm nad płaszczyzną główek szyn. Dzisiejsze wrocławskie tramwaje przewidziane do dalszej wieloletniej eksploatacji obejmują cztery typy wagonów: Skoda (16T i 19T), Protram 205WrAs, Moderus Beta oraz PESA 2010NW. Dla powyższych typów w Tabeli 1 wykonano zestawienie dwóch podstawowych przy projektowaniu peronów parametrów: odległości poziomej od osi toru prostego do progu wozu, opisanej jako półszerokość, i wysokości progu pojazdu. Ze względu

Tab. 1. Szerokości i wysokości w progu wrocławskich wagonów tramwajowych

Lp.	Typ wagonu	Półszerokość [cm]	Wysokość [cm]
1	Konstal 105Na	112	43
2	Protram 205WrAs	117	38
3	Moderus Beta	117	35
4	Skoda 16T i 19T	120	35
5	PESA 2010NW	120	35



5. Skoda 19T z rozłożoną rampą przy makiecie peronu 1285/270mm



6. Drzwi tramwaju Skoda Forcity Plus wyposażone w próg

na częściowy brak dostępu do danych producenta, polegano na pomiarze własnym z dokładnością do 1cm. W tramwajach z różną wysokością wejść podawano najniższe. Dla porównania, do tabeli 1 wpisano również parametry tramwaju Konstal 105Na.

Z danych zestawionych w tabeli wynika, że wysokość progów we wrocławskich wozach tramwajowych nie przyjmuje wartości mniejszych niż 35cm ponad pgs (płaszczyznę główek szyn), natomiast najszersze tramwaje dochodzą do 120cm półszerokości od osi toru. Z powyższymi wartościami porównano przedstawioną przez MPK Wrocław propozycję, w której krawędź peronowa znajduje się 1285mm od osi toru i 270mm ponad pgs. Z porównania wynika, że różnica pionowa między peronem a progiem w stanie nominalnym (nowy tabor, peron, tor) może osiągać wartość nawet 11cm, zaś pozioma – prawie 12cm, co znacznie przekracza wartości zawarte w [10]. Problem ten można rozwiązać w następujące sposoby: przesuwając peron bliżej toru i podnosząc go, wprowadzając modyfikacje do taboru, lub stosując oba te rozwiązania jednocześnie. Oczywiście istnieją warunki brzegowe, ograniczające możliwości doboru: odległość peronu od osi toru ograniczona jest półszerokością najszerszego tramwaju wynoszącą 1200mm, oraz wysokością najniższego progów pojazdu wynoszącą 350mm, z marginesami bezpieczeństwa. Propozycje rozwiązań z tego płynących przedstawiono poniżej:

a) Peron o wymiarach 1285/270, brak modyfikacji w taborze istniejącym. Przyjęcie tego rozwiązania

oznacza, że wymiana pasażerów odbywa się w warunkach korzystniejszych, niż na jakimkolwiek peronie istniejącym we Wrocławiu, ale w dalszym ciągu nie jest zapewniona obsługa pasażerów niepełnosprawnych ruchowo bez rozkładania rampy (Rys. 5). Tabor przysły powinien zostać lepiej dopasowany do peronu przez obniżenie nominalnej krawędzi wejścia do 300mm ponad pgs, zastosowanie systemu utrzymywania wysokości podłogi w zakresie 270-300mm oraz zamontowanie progów zmniejszających szczelinę poziomą do 45mm, przy zachowaniu półszerokości pudła wynoszącej 1200mm.

b) Peron o wymiarach 1285/300, modyfikacje w taborze istniejącym. W wagonach 204WrAs i Beta zastosowano w członie niskopodłogowym drzwi odskokowo – uchylne, co sprawia, że podczas otwierania i zamykania płyty przechodzą na wysokości kilku cm ponad peronem (uszczelka gumowa doszczelniająca dolną krawędź drzwi sięga poniżej progów). W praktyce okazałoby się, że perony 300mm i wyższe już przy niewielkim zużyciu kół i obciążeniu pojazdu uniemożliwiają otwarcie drzwi. Problem ten można rozwiązać w łatwy sposób przy założeniu, że drzwi w członie niskopodłogowym można wymienić na odskokowo – przesuwne. Pozostałe drzwi tramwaju zawieszane są o około 8cm wyżej, więc nie stanowią problemu. Szczelinę poziomą we wszystkich typach wozów należy zmniejszyć

do wielkości 45mm przez wtórne zamontowanie progów. W wagonach istniejących konieczne będzie zwiększenie nakładów na utrzymanie, wywołane koniecznością utrzymania obniżenia progów w czasie eksploatacji w zakresie 0-5cm. Przykład drzwi tramwaju wyposażonego w progi pokazano na Rys. 6. Obsługa pasażerów o ograniczonej mobilności będzie możliwa w wagonach Skoda i PESA, utrudniona w wozach Protram i Moderus. Tabor przysły o półszerokości jak w a) i wysokości nominalnej 330mm, z systemem utrzymywania wysokości podłogi w zakresie 300-330mm.

c) Peron o wymiarach 1285/320, modyfikacje taboru istniejącego. Dla zmniejszenia szczeliny poziomej do wartości około 45mm należy zamontować opisane wyżej progi. Pomimo dobrego dopasowania wysokościowego, problemem w taborze istniejącym jest brak systemu utrzymywania wysokości podłogi – margines na obniżenie progów spowodowane ugięciem zawieszania łącznie ze zużyciem obręczy kół wynosi zaledwie 30mm, przy dopuszczonym obecnie zmniejszeniu promieni kół w wyniku zużycia obręczy o 40mm, co zwiększy nakłady utrzymaniowe ponad rozsądną miarę. Konieczne będzie również sprawdzenie wartości odsunięcia otwartych drzwi odskokowo – przesuwnych od burty wozu. We wszystkich tramwajach należy zainstalować progi dla osiągnięcia efektu opisanego w b). Tabor przysły o pół-

szerokości jak w a) i wysokości nominalnej 350mm (tożsamej z wozami PESA i Skoda), z systemem utrzymywania wysokości podłogi w zakresie 320-350mm.

- d) Peron o wymiarach 1245/270, brak modyfikacji w taborze istniejącym. Rozwiązanie takie powoduje zmniejszenie szczeliny poziomej do wartości poniżej 5cm dla tramwajów szerszych (Skoda, PESA) i ok. 8cm dla węższych (Protram, Moderus), nie wymusza więc montażu progów na większości taboru istniejącego. Niestety, ze względu na różne wysokości progów w wozach, albo pozostawia dużą wartość szczeliny pionowej, albo interferuje z przestrzenią przeznaczoną na ruch płytów drzwi. Zmniejsza się też poziomy margines błędu, zatem należałoby stosować tu rozwiązania „zmiękczone” krawędź peronu, np. w formie gumowych nakładek oraz opcjonalnie listew poślizgowych na wagonach. Zaleca się dobór taboru przyszłego o półszerokości 1200mm, wysokości nominalnej 300mm, z systemem utrzymywania wysokości podłogi w zakresie 270 - 300mm.
- e) Peron o wymiarach 1245/300, brak modyfikacji w taborze istniejącym. Problem opisany w c) rozszerza się na wszystkie obecne wagony niskopodłogowe, pomimo stosowania w wozach PESY i Skody drzwi odskokowo – przesuwnych. Trudności i ograniczenia eksploatacyjne związane z koniecznością zapewnienia odpowiedniego zapasu związanego z otwieraniem drzwi nad płaszczyzną peronu sprawiają, że rozwiązanie to nie będzie dalej analizowane.

Niezależnie od wyboru jednego z powyższych rozwiązań, można zwiększyć margines zapasu eksploatacyjnego przez odsunięcie stałych elementów peronu dalej od osi toru, natomiast przybliżenie części ruchomych, regulowanych lub elastycznych, co szczególnie opisano w pracy [9]. Możliwe jest również postulowanie innych odległości poziomych i pionowych,

jednak przy eksploatowanych wozach o różnej szerokości i wysokości żadne rozwiązanie nie zapewni minimalnych, jednakowych wielkości szczeliny dla wszystkich typów tramwajów.

Podsumowanie

Niniejszy artykuł stanowi jedynie wstęp do zakresu problematyki, z jaką należy się zmierzyć podczas dostosowywania istniejącego systemu tramwajowego do wprowadzenia rozwiązania bezstopniowego przy wymianie pasażerów. Dalsze rozważania, w tym możliwość poszerzania pudła wagonu ponad peronem, rozwiązania peronów tramwajowo – autobusowych, analiza wielokryterialna oraz wnioski końcowe zostaną zaprezentowane w kolejnej publikacji. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Powrót pasażerów. Najlepszy rok od 2008. Rynek Kolejowy, UTK, 27.01.2017
- [2] Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Wrocławia - polityka zrównoważonej mobilności. Materiały UM Wrocław, 07.02.2017
- [3] <http://www.s-bahn-berlin.de/unternehmen/firmenprofil/kurzfassung.htm>, dostęp 02.2017
- [4] Jurczak M.: Integracja i konkurencja jako sposoby kształtowania publicznego transportu zbiorowego na przykładzie aglomeracji poznańskiej. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, 2013
- [5] Rejmoniak A.: Kryteria sprawności działania systemu komunikacji miejskiej, Transport Miejski nr 12/85
- [6] Damit Bahn und Bus pünktlich sind. Broszura DVB Dresden, 2013
- [7] <http://snippetsfromthedust.blogspot.com/2014/09/ive-been-working-on-railroad.html>

- [8] Elsner H.: The Hedley-Doyle stepless streetcar. 80 years ahead of its time. N.J. International, 1997
- [9] Gisterek I.: Innowacyjne konstrukcje krawędzi peronowych, materiały konferencji Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Kolejnictwie, 2013
- [10] Bundesgesetz über die Beseitigung von Benachteiligungen von Menschen mit Behinderungen (Behindertengleichstellungsgesetz, BehiG) vom 13. Dezember 2002 (Stand am 1. Januar 2017)
- [11] Stadtbahnen in Deutschland. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. VDV, 2000.
- [12] Rozporządzenie Republiki Francuskiej: Arrêté du 13 juillet 2009 relatif à la mise en accessibilité des véhicules de transport public guidé urbain aux personnes handicapées et à mobilité réduite. NOR: DEVT0912618A.
- [13] Faivre C., Alauzet A., Marin – Lammellet C.: Etude portant sur les difficultés de franchissement des lacunes quai-seuil par les usagers de fauteuil roulant lors de l'accès aux transports guidés. INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité), 2009
- [14] Materiały Tiseo SMTC z dn. 21.09.2007
- [15] Makuch J.: "Właściwe kształtowanie krawędzi przystanków tramwajowych w świetle sukcesywnego wprowadzania taboru niskopodłogowego w miastach polskich", XIII Konferencja Naukowa: Pojazdy Szynowe 98
- [16] Moderus Gamma - po latach jest (informacja prasowa), InfoTram.pl, data dostępu 18.11.2016 http://inforail.pl/moderus-gamma-po-latach-jest_more_89189.html
- [17] Wykaz tramwajów MPK Wrocław, stan na 26.02.2016, data dostępu 23.02.2017
- [18] Kruszyna M. et al.: Wrocławski Program Tramwajowy, 2016.

Badanie przepustowości linii kolejowej przy wykorzystaniu nowoczesnych programów mikrosymulacyjnych

Testing railway capacity using modern microsimulation programs



Marta Rogowska

mgr inż.

Institut Kolejnictwa, Warszawa

mrogowska@ikolej.pl

Streszczenie: W dobie dynamicznych zmian na rynku kolejowym i rodzącą się w związku tym potrzebą dostosowania infrastruktury do zwiększonych potoków ruchu oraz nowoczesnego taboru coraz istotniejszym staje się zagadnienie przepustowości. W publikacji zostało przedstawione nowoczesne podejście do badania przepustowości – wykorzystanie programu mikrosymulacyjnego, na przykładzie odcinka linii kolejowej o zróżnicowanym wyposażeniu.

Słowa kluczowe: *Mikrosymulacja; RailSys; Przepustowość linii kolejowej*

Abstract: In a time of dynamic changes in the railway market and nascent need of adjustment the infrastructure to increasing traffic flow and modern rolling stock, the issue of capacity is becoming more and more essential. In this publication the modern attempt at testing capacity – utilization of microsimulation program using as an example a section of the railway with diverse equipment is presented.

Keywords: *Microsimulation; RailSys; Railway capacity*

Zwiększenie przepustowości jest istotnym wymogiem przetargów ogłaszanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. na modernizację linii kolejowych, ponieważ aby kolej stała się konkurencyjna względem innych gałęzi transportu musi pasażerowi zaoferować atrakcyjną ofertę połączeń zarówno dalekobieżnych jak i w ramach aglomeracji miejskich.

Infrastruktura kolejowa, zwłaszcza w przypadku węzłów kolejowych, stale jest projektowana na podstawie statycznych obliczeń przepustowości [33]. Nierzadko prowadzi to do tego, że wybudowana infrastruktura nie odpowiada zapotrzebowaniu rzeczywistego obciążenia ruchowego w cyklicznym rozkładzie jazdy. Stąd coraz szersze wykorzystywanie programów symulacyjnych. Pozwalają one na realizację poprawek obciążenia przy przewidywanym planie eksploatacyjnym na modelu projektowanej infrastruktury, identyfikację jej wąskich gardeł, propozycję i sprawdzenie wariantów ich usunięcia.

Charakterystyka parametrów mających wpływ na przepustowość linii kolejowej

Definicja przepustowości linii kolejowej mówi, że jest to zdolność wykonywania na niej przejazdów pociągów w określonym czasie [3]. Wyrażana jest w największej liczbie pociągów lub par pociągów, które mogą przejechać po danym fragmencie (odcinku, szlaku) linii kolejowej w określonym czasie, zazwyczaj jest to doba lub godziny porannego i popołudniowego szczytu.

Zdolność przepustowa zależy od:

- parametrów drogi kolejowej, takich jak maksymalna dozwolona prędkość czy liczba oraz charakter ograniczeń prędkości;
- liczby torów;
- podziału linii na szlaki;
- rodzaju urządzeń sterowania ruchem pociągów zamontowanych na sieci;
- charakterystyki technicznej pociągów przejeżdżających przez dany element sieci, tj. rodzaju pociągów, prędkości technicznej, masy i dłu-

gości składów pociągów, charakterystyk trakcyjnych lokomotyw, wymaganych dróg hamowania;

- utrudnień na drodze kolejowej, takich jak zamknięcia, remonty.

Zbyt niska prędkość na polskiej sieci kolejowej jest jednym z najczęściej dostrzeganych przez przewoźników problemów [15]. Najczęstszą przyczyną wprowadzania ograniczeń prędkości jest zły stan drogi kolejowej bądź obiektu inżynierskiego. Zbyt niska prędkość nie tylko wydłuża czas jazdy, ale także powoduje blokowanie szlaków, co w znacznym stopniu wpływa na zmniejszenie zdolności przepustowej linii.

Kolejnym parametrem mającym wpływ na przepustowość linii jest liczba torów, na odcinkach dwutorowych można zazwyczaj zaobserwować nawet cztery razy większą przepustowość niż na jednotorowych [1]. Jednak nie zawsze drugi tor rozwiązuje problem zbyt niskiej zdolności przepustowej, ponieważ wąskimi gardłami są stacje, na których ma miejsce krzyżowanie oraz mijanie pociągów. Co więcej istotna jest odległość pomiędzy kolejnymi stacjami,

szczególnie na liniach jednotorowych ze względu na wspomnianą wyżej możliwość wyprzedzania czy mijania dopiero na stacjach. Im krótsze te odstępy tym krótszy czas przejazdu pociągu.

Istotny wpływ na przepustowość linii ma rodzaj urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Głównym zadaniem urządzeń sterowania ruchem jest zapewnienie bezpiecznej odległości między pociągami. Jest to realizowane poprzez odstępy blokowe. Na każdym z odstępów może znajdować się tylko jeden pociąg. Ich długość ma duże znaczenie, ponieważ niezależnie od położenia pociągu na odcinku cały fragment linii uznaje się za zajęty. W książce „Podstawy sterowania ruchem kolejowym. Funkcje, wymagania, zarys techniki” Mirosławy Dąbrowy – Bajon [2] porównano czasy następstwa, przepustowość oraz prędkość na 3 poziomach ETCS. Przyjęto pewne założenia:

- długość odstępów blokowych na torze prostym dla poziomu 1 i 2 długości 1500 metrów,
- czas reakcji radiowego centrum sterowania RBC dla poziomu 2 i 3 lub systemu sygnalizacyjnego dla poziomu 1, bez uwzględniania przedstawiania zwrotnic – 5 s,
- długość pociągów do 400 m,
- gwarantowana wartość opóźnienia przy hamowaniu – 0,6 m/s²,

- czas reakcji układu hamulcowego – 6 s,
- czas reakcji maszynisty – 5 s,
- margines przepustowości linii – 10%.

To co wykazano przy tych założeniach pokazuje tabela 1.

Nie bez znaczenia pozostaje charakterystyka techniczna pociągów przejeżdżających przez linię. Ruch mieszany, czyli sytuacja, gdy po linii poruszają się pociągi o różnych parametrach i różnych kategorii niekorzystnie wpływa na przepustowość linii. Wiąże się to przede wszystkim z koniecznością wyprzedzania pociągów wolniejszych przez te szybsze. Co staje się problematyczne w sytuacjach opisanych powyżej. Ważnymi parametrami pociągu, ze względu na długość zajmowania szlaku, są prędkość maksymalna taboru, jego długość, charakterystyki przyspieszania oraz hamowania.

Ponadto, wszelkie utrudnienia, takie jak zamknięcia, szczególnie w obrębie stacji w znaczny sposób ograniczają możliwość wykonywania manewrów krzyżowania czy wyprzedzania pociągów. Co więcej, np. w przypadku zamknięcia torów bocznych przewoźnicy po zakończeniu biegu pociągu zmuszeni są do pozostawiania składów na torach głównych dodatkowych.

Zasada działania programów mikrosymulacyjnych

Najpopularniejszymi programami wykorzystywanymi do wykonywania mikrosymulacji są RailSys niemieckiej firmy RMCon oraz szwajcarski OpenTrack. Dzięki nim użytkownik może:

- określić wymagania dotyczące infrastruktury dla sieci kolejowej,
- analizować przepustowość linii i stacji,
- wprowadzać i analizować tabor,
- obliczać czas przejazdu,
- konstruować rozkład jazdy,
- projektować różnego rodzaju sygnalizację,
- analizować efekty wad wprowadzonych systemów,
- wykonywać symulację.

Ogólną zasadę działania programów mikrosymulacyjnych wykorzystywanych przy projektowaniu linii kolejowej symbolicznie przedstawia rys. 1.

Wprowadzonymi danymi dotyczącymi infrastruktury są między innymi układ torowy, sygnalizacja oraz wszystkie pozostałe istotne elementy infrastruktury (takie jak prędkość linii, stałe ograniczenia prędkości, drogi ochronne, wskaźniki zatrzymania na peronach, odstępy blokowe, stawność blokady itp.).

Gdy infrastruktura jest gotowa, możliwe jest przystąpienie do tworzenia rozkładu jazdy, jednak przed przystąpieniem do tego należy wprowadzić dane dotyczące taboru, tj. maksymalną prędkość, długość, masę, ilość osi, rodzaj napędu, określenie rodzaju taboru (lokomotywa albo zespół trakcyjny), dodatkowo można określić liczbę miejsc siedzących i stojących (rys. 2).

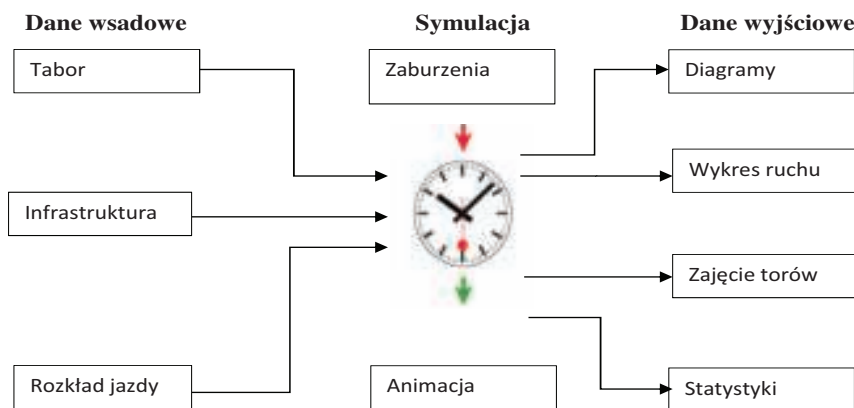
Oprócz podstawowych danych, należy wprowadzić dokładniejsze dotyczące charakterystyki trakcyjnej. Dla poszczególnych prędkości wprowadzana jest siła przyspieszająca i na tej podstawie program generuje wykres (rys. 3).

Następnym krokiem jest wyznaczenie przebiegów poszczególnych pociągów. Po wybraniu taboru i trasy, wprowadza się rozkład jazdy, czyli godziny przyjazdu oraz odjazdu z poszczególnych stacji oraz czas postoju na nich w sposób pokazany na rysunku 4. Program automatycznie generuje wykres

Tab. 1. Porównanie 3 poziomów ETCS ze względu na przepustowość

poziom ETCS	czas następstwa pociągów t_n [min]	przepustowość N_{max} [poc/h]	prędkość jazdy v_{max} [km/h]
1	3	20	160
2	2,5	24	300
3	2	30	500

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych udostępnionych w „Podstawy Sterowania Ruchem Kolejowym. Funkcje, wymagania, zarys techniki”



1. Ogólny schemat działania programów mikrosymulacyjnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych udostępnionych przez RMCon oraz Opentrack

ruchu. Na tej podstawie wykrywa konflikty wynikające z przejazdu pociągów z uwzględnieniem dróg przebiegów, odstępów blokowych czy mijania się pociągów na stacjach. Przy zmianie drogi program natychmiast przelicza czasy przejazdu i generuje nowe, uwzględniając wprowadzone dane dotyczące taboru oraz infrastruktury, dlatego im dokładniejsze będą dane wprowadzone przez użytkownika tym dokładniejszy i bardziej zbliżony do rzeczywistego będzie rozkład jazdy oraz łatwiejsze będzie zlokalizowanie tzw. wąskich gardeł i miejsc kolizyjnych, a co za tym idzie zaproponowanie zmian mających na celu usprawnienie ruchu na linii czy odcinku.

Gdy rozkład jazdy jest wprowadzony można przejść do symulowania przejazdu pociągów.

Parametry badanego odcinka linii

W toku analiz, badaniom przepustowości poddano odcinek linii kolejowej o długości ponad 100 kilometrów, w pełni zelektryfikowany, o znaczeniu państwowym. Jedynie na mniej więcej 10% swojej długości jest linią dwutorową, na pozostałej ruch odbywa się jedynie po jednym torze. Na przedmiotowym odcinku obowiązują różne prędkości jazdy pociągów. Różnice występują także w wyposażeniu linii w urządzenia sterowania ruchem kolejowym – szlakowe oraz stacyjne. Wprowadzono na poszczególnych odcinkach tymczasowe ograniczenia prędkości. Na opracowywanym odcinku znajduje się 15 stacji i 6 przystanków osobowych. Pod uwagę brany jest jedynie ruch pasażerski. Do symulacji wykorzystano program RailSys w wersji 8.9.92.

Porównano 4 warianty różniące się elementami infrastruktury, systemów sterowania ruchem pociągów i dozwolonymi prędkościami, dla każdego z wariantów został wprowadzony nowy układ torowy, skonstruowany nowy rozkład jazdy, oraz dostosowany odpowiedni tabor. Dla bardziej miarodajnych wyników w każdym z wariantów kierowano się tym samym schematem tworzenia rozkładów jazdy. Pociągi podzielono na 5 grup, różniących się trasami oraz przystankami, na których się zatrzymują, czasami postoju na stacjach, usystematyzowano także nazewnictwo

czyli numery im nadawane w rozkładzie jazdy, a także przydzielono do każdej z grup konkretny tabor.

Pociągi były wprowadzone przy zachowaniu ogólnie założonych zasad. Dobę podzielono na przedziały godzinowe. Najbardziej newralgicznymi godzinami są godziny szczytu porannego między 6:00 a 9:00 oraz popołudniowe

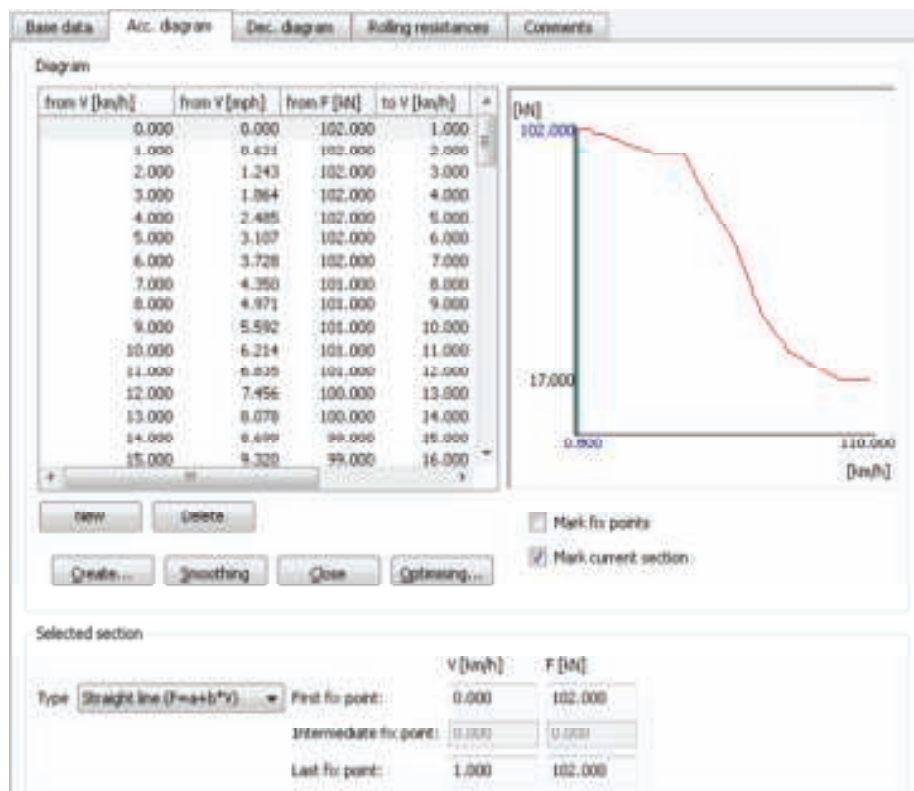
go między 15:00 a 18:00. Pociągi były wprowadzone od mniej więcej godziny 5:00 do 23:00, czasem północy.

Główną zasadą przy generowaniu przebiegów był ruch prawostronny, ważna jest również zasada jak najmniejszych krzyżowań, rozumie się przez to puszczanie pociągów nie zatrzymujących się na stacji, w miarę możliwości,

Base data	Acc. diagram	Dec. diagram	Rolling resistances	Comments
Traction unit type				
Name: EN57				
Data				
Vmax [km/h]:	110			
Length [m]:	64.970			
Mass [t]:	126.500			
Adhesion mass [t]:	126.500			
Number of axes:	12			
Traction type:	electric			
Type:	Traction unit			
Number of seats:	0			
Amount of standing room:	0			

2. Przykładowe dane dotyczące taboru wprowadzone do programu RailSys

Źródło: RailSys



3. Przykładowy wykres zależności siły przyspieszającej od prędkości taboru wygenerowany w programie RailSys

Źródło: RailSys

jak najprostszą drogą wykluczającą przejazd przez rozjazdy, wciąż przy zachowaniu ruchu prawostronnego.

W wariantach 1. na całej długości wprowadzono prędkość 140 km/h, jednak nie wszędzie da się osiągnąć prędkość maksymalną (patrz: Tabela 2.).

W wariantach 2. oprócz zwiększenia

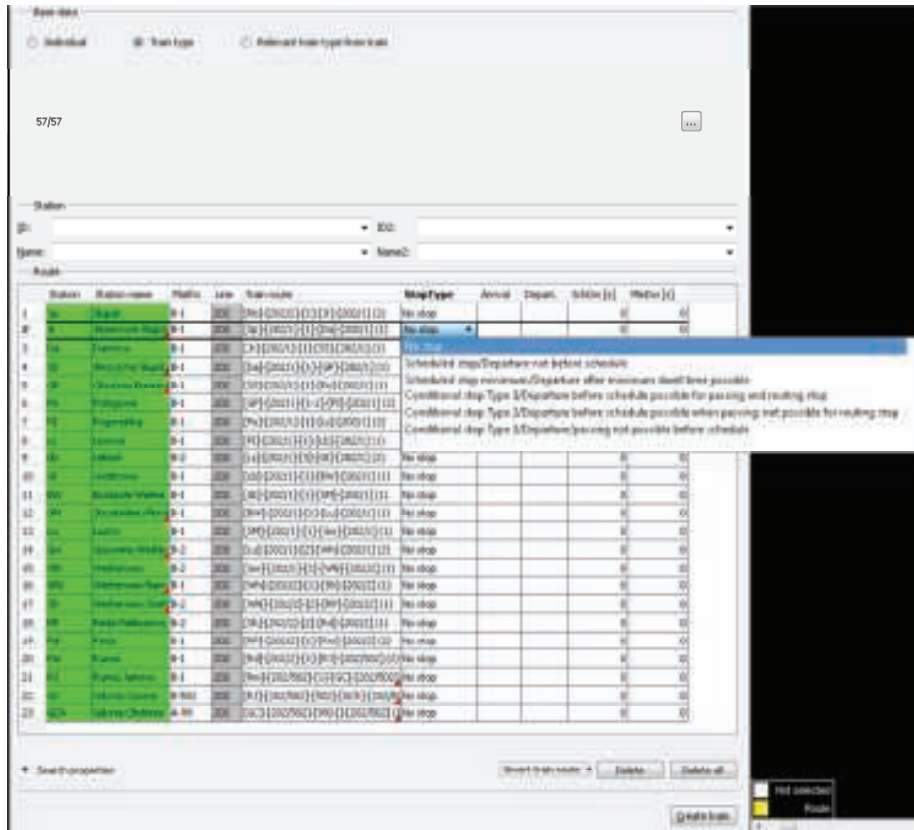
prędkości do 160 km/h, zmieniono także układ torowy. Na odcinku mniej więcej 6 pierwszych kilometrów zaproponowano dobudowanie 1 toru oraz dynamicznych mijanek (czyli drugiego toru pomiędzy stacjami mijankami) na łącznej długości prawie 40 kilometrów. Jednak i w tym przypadku nie wszędzie

udało się osiągnąć pożądaną prędkość maksymalną (patrz: Tabela 2.).

W wariantach 3. oprócz zwiększenia prędkości do 160 km/h, zmieniono także układ torowy. Jak w poprzednim wariantach na sześciokilometrowym odcinku zaproponowano dobudowanie 1 toru, dwóch na odcinku prawie 4 kilometrów, jednego na ponad czterdziestokilometrowym odcinku oraz dynamicznej mijanki na odcinku 15 kilometrów. W tym wariantach również nie wszędzie udało się osiągnąć prędkość maksymalną (patrz: Tabela 2.).

W wariantach 4. oprócz zwiększenia prędkości do 200 km/h, zmieniono także układ torowy. Jak w poprzednich wariantach na sześciokilometrowym odcinku zaproponowano dobudowanie 1 toru, dwóch na dwunastokilometrowym odcinku i jednego na ponad czterdziestokilometrowym odcinku oraz dynamicznej mijanki na odcinku 15 kilometrów.

W tym wariantach również nie wszędzie udało się osiągnąć prędkość maksymalną (patrz: Tabela 2.).



4. Przykładowe ustawianie rozkładu jazdy dla pociągu w programie RailSys z uwzględnieniem planowanych postojów, czasów przyjazdów oraz odjazdów.

Źródło: RailSys

Tab. 2. Wykaz prędkości maksymalnych dla poszczególnych wariantów

W1		W2		W3		W4	
Odcinek [km]	prędkość maksymalna [km/h]	Odcinek [km]	prędkość maksymalna [km/h]	Odcinek [km]	prędkość maksymalna [km/h]	Odcinek [km]	prędkość maksymalna [km/h]
0.340	100	3.488	160	3.500	160	3.500	160
2.930	140	5.843	150	0.330	150	0.330	150
0.570	120	0.502	140	5.510	160	5.530	160
5.600	140	11.495	160	0.510	140	0.510	140
0.200	110	1.154	140	11.490	160	11.470	160
11.690	140	39.779	160	1.100	140	1.100	140
0.580	130	0.643	140	81.040	160	7.110	160
30.640	140	1.138	150	0.450	130	20.880	200
0.895	120	39.468	160	4.645	100	3.620	160
8.845	140	0.453	130			45.680	200
0.610	130	4.612	100			3.680	160
40.62	140					0.460	130
0.430	120					4.705	100
0.410	90						
4.215	80						

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych po wprowadzeniu informacji do programu RailSys

Analiza otrzymanych wyników

Jak wspomniano wyżej, nie na całej długości przedmiotowego odcinka w poszczególnych wariantach została osiągnięta pożądana maksymalna prędkość. Zestawienie długości poszczególnych odcinków oraz maksymalnej osiągniętej na nich prędkości z podziałem na warianty przedstawia tabela 2.

Na podstawie tej tabeli widać, że tylko na niektórych odcinkach udało się osiągnąć maksymalną dla danego wariantu prędkość, na pozostałych była ona mniejsza, może to być spowodowane jazdą na kierunku zwrotny, rozjazdami czy zbyt krótkimi odstępami pomiędzy kolejnymi posterunkami, przez co pociąg nie jest w stanie rozpędzić się do pożądanego prędkości.

Dla porównania wariantów (tab. 3) oprócz wprowadzonego rozkładu jazdy, zasymulowano także przejazd tym samym taborem tych samych tras, bez zatrzymania, używając przebiegi charakterystyczne dla danego taboru. Taborem wykorzystanym do analiz porównawczych były elektryczne zespoły trakcyjne – EN57 oraz ED74 oraz autobus szynowy SA138.

Jak widać nie zawsze zwiększenie dozwolonej prędkości na linii skraca czas przejazdu. Jest to spowodowane tym, że w konkretnym przypadku trasa prowadząca dobudowanym torem może okazać się nieco dłuższa. W przypadku badania czasu pojedynczego przejazdu rzeczywiście może to skutkować nieznacznym wydłużeniem czasu przejazdu, jednak przy przejeździe kilku pociągów ułatwi mijanie się, szczególnie tych z przeciwnych kierunków, ponieważ każdy będzie miał swój tor i zapobiegnie to powstawaniu kolizji.

Nie da się wyciągnąć z programu konkretnej wartości mówiącej o przepustowości linii, dlatego dla zobrazowania wpływu wprowadzonych zmian w kolejnych wariantach na przepustowość linii wprowadzono w każdym z nich jak największą możliwą ilość pociągów EN57 przejeżdżających całą trasę bez zatrzymania zarówno od jednej jak i od drugiej strony. Zapasy przepustowości zostały wypełnione jak największą możliwą liczbą pociągów na odcinkach A i B (w obu kierunkach). Za odcinek A uznaje się odcinek o długości około 54 kilometrów liczony od początku (najniższego kilometrażu) badanego odcinka, a za odcinek B odcinek o długości około 18 kilometrów liczony od początku badanego odcinka. Zostało to przebadane dla jednej godziny (10:00 – 11:00). Otrzymane wyniki przedstawia tabela 4.

Jak widać, największą przepustowość zapewniają zmiany zaproponowane w wariantcie 4. Pokazuje to, że problematycznym odcinkiem jest ponad ośmiokilometrowy odcinek linii jednotorowej, bo dodanie tam dodatkowego toru w stosunku do W3 w W4 znacznie zwiększyło przepustowość. Co więcej pokazało to konieczność budowy długiej mijanki na odcinku jednotorowym od końca odcinka A. Pokazuje to dobitnie, że kluczowym czynnikiem przy podnoszeniu przepustowości linii jest nie zwiększanie prędkości, a dobudowa torów, szczególnie na długich odcinkach, na których nie ma możliwości minięcia się pociągów.

Podsumowanie

Na przepustowość linii wpływ ma wiele czynników. Istotnym jest przeanalizowanie możliwie największej ich ilości

Tab. 3. Porównanie wariantów

Odcinek [km]	Wariant:	W1	W2	W3	W4
	tabor:	czas przejazdu [h:min:s]			
5,68	EN57	0:03:15	0:03:12	0:03:12	0:03:12
	ED74	0:02:34	0:02:24	0:02:23	0:02:25
	SA138	0:03:22	0:03:19	0:03:19	0:03:19
3,69	EN57	0:02:01	0:01:55	0:01:54	0:01:54
	ED74	0:01:36	0:01:24	0:01:25	0:01:25
	SA138	0:02:05	0:01:58	0:01:59	0:01:59
8,46	EN57	0:05:12	0:05:39	0:05:11	0:05:11
	ED74	0:04:02	0:04:14	0:04:13	0:03:47
	SA138	-----	-----	-----	-----
35,75	EN57	0:20:42	0:20:51	0:20:41	0:20:41
	ED74	0:16:02	0:15:07	0:15:03	0:15:12
	SA138	-----	-----	-----	-----
51,43	EN57	0:30:15	0:30:15	0:30:09	0:30:09
	ED74	0:23:12	0:21:47	0:21:25	0:21:40
	SA138	-----	-----	-----	-----

Źródło: opracowanie własne na podstawie rozkładu jazdy wprowadzonego do programu RailSys

Tab. 4. Porównanie godzinowej przepustowości w poszczególnych wariantach

Wariant	W1	W2	W3	W4
liczba par pociągów/h	cały badany odcinek	2	3	4
	odcinek A	-	-	1
	odcinek B	6	8	2

Źródło: opracowanie własne na podstawie symulacji wykonanych w programie RailSys

i ich wzajemnego wpływu na siebie. Takie analizy dokonywane przy użyciu nowoczesnych narzędzi dostępnych na rynku, jakimi są programy mikrosymulacyjne, ułatwi wybór najkorzystniejszego, także z punktu ekonomicznego, rozwiązania i dostosowania go do potrzeb rynku. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Rogowska M.: Wykorzystanie programu mikrosymulacyjnego do badania przepustowości linii kolejowej na przykładzie odcinka linii. Praca dyplomowa magisterska, Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015
- [2] Dąbrowa – Bajon M.: Podstawy Sterowania Ruchem Kolejowym. Funkcje, wymagania, zarys techniki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.
- [3] Leksykon Terminów Kolejowych. Instytut Kolejnictwa, Warszawa 2014.
- [4] RailSys User Manual 8.9. RMCon, Hannover, marzec 2013.
- [5] Institute of Transport, Railway Construction and Operation (IVE), Uni-

versity of Hanover, Germany. Handling of railway operation problems with RailSys.

- [6] M. Abril, F. Barber, L. Ingolotti, M.A. Salido, P. Tormos, A. Lova: An Assessment of Railway Capacity, Valencia, Spain.
- [7] Stanisław Cieślakowski: Materiały pomocnicze z przedmiotu Drogi i Stacje Kolejowe.
- [8] Basiewicz T.: Projektowanie linii kolejowych. Kraków 1982.
- [9] Towpik K.: Infrastruktura transportu kolejowego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004
- [10] Bałuch M.: Podstawy Dróg Kolejowych. Wydawnictwo PR, Radom 2001.
- [11] Oleksiewicz Wojciech, Żurawski, Stanisław, Drogi Szynowe, Warszawa 2006
- [12] Białoń Andrzej, Gradowski Paweł, Gryglas Marta: Wpływ nowoczesnych urządzeń SRK na wzrost przepustowości linii kolejowej, Logistyka, styczeń 2013
- [13] Rudzianiec Marek: Przepustowość linii kolejowych w obrębie agłome-

racji – układy stacyjne, transport. info, grudzień 2014

[14] Wawrzyniak Adam: Urządzenia sterowania ruchem kolejowym na liniach dużych prędkości, Wiedza Techniczna, nr 2/2010

[15] Związek Niezależnych Przewoźników Kolejowych: Wąskie gardła na polskiej sieci kolejowej [raport z badań], Warszawa, maj 2012

[16] Network Rail, RMCon, RailSys Standards Release 3.0, czerwiec 2014

[17] Instrukcja Id-1 (D-1). Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych, Warszawa 2005.

[18] Instrukcja Id 12 (D-29). Wykaz linii. Polskie Linie Kolejowe, Warszawa 2009.

[19] Instrukcja Ie-4 (WTB-E10). Wytyczne techniczne budowy urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Polskie Linie Kolejowe, Warszawa 2014.

[20] Instrukcja Ir-1a o prowadzeniu ruchu pociągów z wykorzystaniem

systemu ERTMS/ETCS poziomu 1. Polskie Linie Kolejowe, Warszawa 2014.

[21] Instrukcja Ir-1 (R-1) o prowadzeniu ruchu pociągów. Polskie Linie Kolejowe, Warszawa 2008.

[22] Opracowania Transportowe dla Województwa Pomorskiego, Część I Analiza potrzeb transportowych mieszkańców województwa pomorskiego, w celu wskazania niezbędnych do realizacji inwestycji kolejowych w perspektywie finansowania 2014 -2020 wraz z częścią badawczą – Etap 1, Część B: Badawcza, Załącznik 3 Badania popytu na usługi przewozowe, Gdańsk, grudzień 2013 r.

[23] „Lista kryteriów do analizy wielokryterialnej wariantów inwestycyjnych” PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2014.

[24] Regulaminu przydzielania tras pociągów i korzystania z przy-

dzielonych tras pociągów przez licencjonowanych przewoźników kolejowych w ramach rozkładu jazdy pociągów 2013/2014.

[25] Prezentacja: Hal Bransby, Rupert Dyer: Rail Operations and RailSys Training, lipiec 2013

[26] Prezentacja: Andrzej Toruń, Instytut Kolejnictwa: Wpływ systemu sterowania realizującego zasadę ruchomego odstępu blokowego na przepustowość linii kolejowej, czerwiec 2013

[27] <http://www.plk-inwestycje.pl>

[28] <http://www.ertms.com/>

[29] www.opentrack.ch

[30] wikipedia.org.pl

[31] <http://www.rmcon.de>

[32] <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-visum/functions>

[33] <http://taktici.cz/pl/mikrosimulace/>

REKLAMA

12. MIĘDZYNARODOWE TARGI KOLEJOWE

TRAKO

GDAŃSK
26-29.09.2017
amberexp^o

PATRONAT HONOROWY
MINISTER INFRASTRUKTURY I BUDOWNICTWA

GRUPA 

WWW.TRAKOTARGI.PL

WSPÓŁORGANIZACJA

BOMBARDIER
the evolution of mobility



KNORR-BREMSE



TINES



MEDCOM

WSPÓŁPRACA

unife



rbf
railway business forum



SIRTS

**POLSKA IZBA
SPRACI I LOGISTYKI**



Fundacja **ProKolej**

Podstawy metodyczne komparatywnej analizy efektywności ekonomicznej modernizacji taboru kolejowego

Methodical basis for comparative analysis of rolling stock modernization economic effectiveness



Juliusz Engelhardt

Prof. zw. dr hab.

Uniwersytet Szczeciński, Wydział Zarządzania i Ekonomiki Usług

juliusz.engelhardt@wzieu.pl

Streszczenie: Artykuł jest poświęcony zagadnieniom analityczno - metodycznym związanym z oceną efektywności ekonomicznej modernizacji taboru kolejowego. Jest to problem bardzo aktualny, ponieważ przewoźnicy kolejowi dość często decydują się na kompleksowe modernizacje taboru kolejowego, zwłaszcza lokomotyw, wagonów pasażerskich i zespołów trakcyjnych. W artykule wskazano na konieczność prowadzenia analiz opłacalności modernizacji taboru kolejowego przy odrębnym uwzględnieniu trzech założeń, a mianowicie: a) zakładając tę samą roczną wydajność przewozową i oczekując korzyści po stronie kosztów eksploatacyjnych, b) zakładając takie same koszty eksploatacyjne nowego i zmodernizowanego pojazdu i oczekując korzyści po stronie wzrostu wydajności przewozowej, c) zakładając zróżnicowane koszty eksploatacyjne oraz zróżnicowaną wydajność przewozową nowego i zmodernizowanego pojazdu. Obliczanie efektywności inwestycji powinno być przeprowadzone metodą zdyskontowanych przepływów pieniężnych w wersji złożonej (przyrostowej) ponieważ metoda ta pozwala lepiej uchwycić korzyści wynikające z modernizacji taboru.

Słowa kluczowe: Tabor kolejowy; Analiza ekonomiczna; Efektywność inwestycji

Abstract: The article is dedicated to the analytical and methodological issues related to the economic effectiveness appraisal of rolling stock modernization. It is a very current topic because rail carriers often take up decision on comprehensive modernization of the rolling stock, especially locomotives, passenger carriages and multiple units. There was pointed out in the article the necessity of conduction of rolling stock modernization feasibility studies considering three different assumptions: a) assuming the same annual transport efficiency and expecting benefits at the exploitation costs side, b) assuming the same exploitation costs of the new and modernized carriage and expecting benefits at the transport efficiency side, c) assuming varied exploitation costs and varied transport efficiency of the new and modernized rolling stock. Feasibility study should be conducted by the means of discounted cash flow method - increase version, because that method allows best to capture the benefits resulting from the rolling stock modernization.

Keywords: Camp Railway; Economic analysis; Efficiency of investment

W polskiej praktyce gospodarczej przewoźnicy kolejowi dość często decydują się na kompleksowe modernizacje taboru kolejowego, zwłaszcza lokomotyw, wagonów pasażerskich i zespołów trakcyjnych. W takich przypadkach inwestowanie w modernizację nie prowadzi do poprawy struktury wiekowej taboru (obniżania przeciętnego wieku), co jest konkluzją oczywistą. Modernizacje taboru kolejowego prowadzą jednak do korzystnych zmian jakościowych w strukturze taboru pod warunkiem, że są to przedsięwzięcia opłacalne.

W sposób ogólny opłacalność modernizacji taboru kolejowego można obliczać w trzech wariantach:

I. Zakładając tę samą roczną wydajność przewozową i oczekując korzyści po stronie kosztów eksploatacyjnych:

- modernizacja jest opłacalna, kiedy spełniony jest warunek;

$$(C_{ZAK} - C_{MOD}) - (K_{EKSP}^{NOWY} - K_{EKSP}^{MOD}) \times t_{EKSP}^{MOD} > 0(1)$$

- modernizacja jest nieopłacalna, korzystniejszy jest zakup nowego pojazdu kiedy;

$$(K_{EKSP}^{NOWY} - K_{EKSP}^{MOD}) \times t_{EKSP}^{MOD} - (C_{ZAK} - C_{MOD}) > 0(2)$$

gdzie:

C_{ZAK} - cena zakupu nowej jednostki taborowej,

C_{MOD} - cena modernizacji jednostki taborowej,

K_{EKSP}^{NOWY} - roczny koszt eksploatacji (bez amortyzacji) nowej jednostki taborowej,

K_{EKSP}^{MOD} - roczny koszt eksploatacji (bez amortyzacji) zmodernizowanej jednostki taborowej,

t_{EKSP}^{MOD} - okres eksploatacji jednostki taborowej po modernizacji, w latach.

II. Zakładając takie same koszty eksploatacyjne nowego i zmodernizowanego pojazdu i oczekując korzyści po stronie wzrostu wydajności przewozowej:

- modernizacja jest opłacalna, kiedy spełniony jest warunek;

$$(C_{ZAK} - C_{MOD}) - (P^{NOWY} - P^{MOD}) \times t_{EKSP}^{MOD} > 0 \quad (3)$$

- modernizacja jest nieopłacalna, korzystniejszy jest zakup nowego pojazdu, kiedy:

$$(P^{NOWY} - P^{MOD}) \times t_{EKSP}^{MOD} - (C_{ZAK} - C_{MOD}) > 0 \quad (4)$$

gdzie:

P^{NOWY} - roczna wartość przychodów realizowanych przez nową jednostkę taborową,

P^{MOD} - roczna wartość przychodów realizowanych przez modernizowaną jednostkę taborową,

- pozostałe oznaczenia jak w poprzednich wzorach.

III. Zakładając zróżnicowane koszty eksploatacyjne oraz zróżnicowaną wydajność przewozową nowego i zmodernizowanego pojazdu:

- modernizacja jest opłacalna, kiedy spełniony jest warunek;

$$C_{ZAK} - C_{MOD} > (P^{NOWY} - K_{EKSP}^{NOWY}) \times t_{EKSP}^{MOD} - (P^{MOD} - K_{EKSP}^{MOD}) \times t_{EKSP}^{MOD} \quad (5)$$

- modernizacja jest nieopłacalna, korzystniejszy jest zakup nowego pojazdu, kiedy:

$$(P^{NOWY} - K_{EKSP}^{NOWY}) \times t_{EKSP}^{MOD} - (P^{MOD} - K_{EKSP}^{MOD}) \times t_{EKSP}^{MOD} > C_{ZAK} - C_{MOD} \quad (6)$$

gdzie: - oznaczenia jak w poprzednich wzorach.

Można przyjąć, że wzory (1) – (6) wyrażają teoretycznie ogólne warunki opłacalności modernizacji taboru kolejowego w porównaniu z zakupem nowego taboru, jednakże zaprezentowana wyżej analiza miałaby charakter statyczny, nieuwzględniający wartości pieniądza w czasie (dyskonta). Z tego względu powyższą metodykę należy zmodyfikować w taki sposób, aby uwzględnić w analizie nie tylko wspomniane dyskonto, lecz również bardzo ważną dla wyników obliczeń efektywności inwestycyjnej projektów taboro-

wych, wartość rezydualną projektów. Tak, więc w przypadku **modernizacji posiadanego taboru** obliczanie efektywności inwestycji powinno być, co do zasady, przeprowadzone metodą zdyskontowanych przepływów pieniężnych w **wersji złożonej (przyrostowej)**, chociaż można przyjąć, że w wyjątkowych sytuacjach może być również zastosowana metoda prosta. Jednakże metoda złożona (przyrostowa) pozwala lepiej uchwycić korzyści wynikające z modernizacji ze względu na posiadanie odpowiedniej bazy odniesienia dla realizowanego projektu. Co więcej, metoda ta pozwala zweryfikować dwa podstawowe dylematy decyzyjne w postaci pytań:

- czy opłaca się lub nie opłaca się modernizować tabor,
- czy opłaca modernizować stary tabor, czy zakupić nowy tabor.

Rozpatrując wskazane wyżej warianty analizy metodą *NPV* w wersji przyrostowej, można wyjść od podstawowego wzoru ogólnego tej metody:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+r)^t} + \frac{RV_n^{III}}{(1+r)^n} \quad (7)$$

gdzie:

S_t - suma przepływów finansowych (pieniężnych) generowanych przez dany projekt w danym roku,

r - stopa dyskontowa,

$RV_n^{I/II}$ - wartość rezydualna przedsięwzięcia inwestycyjnego po ostatnim roku prognozy, odpowiednia dla rozpatrywanego wariantu.

$$S_t = CF_t - N_t \quad (8)$$

gdzie:

CF_t - przepływy operacyjne projektu w danym roku, bez VAT,

N_t - nakłady inwestycyjne projektu w danym roku, bez VAT.

Wzory (7) i (8) mają charakter ogólny. Natomiast od tego miejsca należy wprowadzić parametry właściwe dla rozpatrywanych wariantów decyzyjnych (wariant I i II) oraz wskazać na sposób obliczenia elementów składowych wzorów dla tych wariantów. Dla uproszczenia analizy w dalszych obliczeniach pominięto podatek do-

chodowy oraz zmiany kapitału obrotowego.

Wariant I - modernizować lub nie modernizować;

$$CF_t^I = (P_t^{MOD} - P_t^{NIEM}) - (Keu_t^{MOD} - Keu_t^{NIEM}) \quad (9)$$

gdzie:

PT^{MOD} - przychody ze sprzedaży usług przewozowych generowane przez tabor zmodernizowany, w danym roku,

P_t^{NIEM} - przychody ze sprzedaży usług przewozowych generowane przez tabor niezmodernizowany, w danym roku,

Keu_t^{MOD} - koszty eksploatacji i utrzymania taboru zmodernizowanego, w danym roku,

Keu_t^{NIEM} - koszty eksploatacji i utrzymania taboru niezmodernizowanego, w danym roku.

W przypadku opcji bez modernizowania taboru nie występują wydatki inwestycyjne, zakłada się, bowiem tylko jego utrzymanie na poziomie prostego odtworzenia, czyli przywracania pierwotnych właściwości konstrukcyjnych i użytkowych. Można, więc zapisać, że wydatki inwestycyjne w tym wariantcie wynoszą tylko tyle ile wydano na modernizację taboru. Wartość rezydualną przedsięwzięcia inwestycyjnego oblicza się w sposób właściwy dla podejścia dochodowego, jako różnicę wartości dochodowej taboru zmodernizowanego po ostatnim roku prognozy i wartości likwidacyjnej taboru niepodlegającego modernizacji, co można zapisać następująco:

$$RV_n^I = \frac{RV_n^{MOD} - RV_n^{NIEM}}{r} \quad (10)$$

gdzie:

RV_t^{MOD} - wartość rezydualna zmodernizowanego taboru po ostatnim roku prognozy, obliczona metodą dochodową,

RV_t^{NIEM} - wartość rezydualna niezmodernizowanego taboru po ostatnim roku prognozy, obliczona metodą likwidacyjną.

Wariant II - modernizować czy zakupić nowy tabor;

$$CF_t^II = (P_t^{NOWY} - P_t^{MOD}) - (Keu_t^{NOWY} - Keu_t^{MOD}) \quad (11)$$

gdzie:

P_t^{NOWY} - przychody ze sprzedaży usług przewozowych generowane przez nowo zakupiony tabor, w danym roku,
 P_t^{MOD} - przychody ze sprzedaży usług przewozowych generowane przez tabor zmodernizowany, w danym roku,
 Keu_t^{NOWY} - koszty eksploatacji i utrzymania nowego taboru, w danym roku,
 Keu_t^{MOD} - koszty eksploatacji i utrzymania taboru zmodernizowanego, w danym roku.

Wydatki inwestycyjne w tym wariantcie N_t^II oblicza się, jako różnicę pomiędzy wydatkami kapitałowymi na zakup nowego taboru a wydatkami na modernizację taboru, czyli:

$$N_t^II = N_t^{NOWY} - N_t^{MOD} \quad (12)$$

gdzie:

N_t^{NOWY} - nakłady inwestycyjne na zakup nowego taboru, w danym roku,
 N_t^{MOD} - nakłady inwestycyjne na modernizację taboru, w danym roku,

Wartość rezydualną przedsięwzięcia inwestycyjnego w tym wariantcie oblicza się, jako różnicę wartości dochodowej taboru nowego po ostatnim roku prognozy i wartości likwidacyjnej lub dochodowej (w zależności od wieku taboru i jego właściwości użytkowych po okresie prognozy) taboru podlegającego modernizacji, co można zapisać następująco:

$$RV_n^I = \frac{RV_n^{NOWY} - RV_n^{MOD}}{r} \quad (13)$$

gdzie:

RV_n^{NOWY} - wartość rezydualna nowego taboru po ostatnim roku prognozy, obliczona metodą dochodową,
 RV_n^{MOD} - wartość rezydualna zmodernizowanego taboru po ostatnim roku prognozy, obliczona metodą dochodową lub likwidacyjną.

Wnioskowanie ekonomiczne na pod-

stawie przeprowadzonych analiz jest, co do zasady, proste. Każda dodatnia wartość NPV oznacza, że stopa rentowności danego projektu jest wyższa od stopy granicznej, czyli stopy dyskontowej i dlatego projekt jest opłacalny ekonomicznie. Przy dodatnich wartościach NPV dla dwóch wariantów decyduje wyższa wartość tego wskaźnika. Projekty, dla których wartość NPV jest ujemna, są nieopłacalne z ekonomicznego punktu widzenia, natomiast projekty z NPV równym zero traktuje się, jako akceptowalne, ponieważ ich rentowność jest równa stopie granicznej. Dodatkowo, powyższe obliczenia można uzupełnić wyliczeniem tzw. wewnętrznej stopy zwrotu projektu IRR . Jeżeli wskaźnik ten jest wyższy od przyjętej stopy dyskontowej, która jest stopą graniczną, to oznacza, że projekt jest opłacalny, natomiast przy IRR niższym od rozpatrywanej stopy dyskontowej, projekt jest nieopłacalny i powinien być odrzucony.

Jednym z ważniejszych zagadnień merytorycznych związanych z analizą efektywności projektów taborowych w przedsiębiorstwach kolejowych według podanej wyżej metodyki, jest właściwe oszacowanie przychodów i kosztów, które będą bezpośrednio przypisane rozpatrywanym wariantom inwestycyjnym. Należy, bowiem zauważyć, że przedsiębiorstwa kolejowe sprzedają klientom usługę przewozową realizując przychody ze sprzedaży **tonokilometrów** lub **pasażerokilometrów** a tabor kolejowy generuje koszty, z których część jest stała a pozostała część związana z pracą eksploatacyjną.

Całkowite koszty eksploatacji i utrzymania taboru występujące w prezentowanych wyżej wzorach można odwzorować za pomocą następującej formuły:

$$Keu_t = K_t^{ST} + (k_t^{Jzm} \times pr_t^{EKSP}) \quad (14)$$

gdzie:

K_t^{ST} - całkowite koszty stałe eksploatacji i utrzymania taboru, w danym roku,
 k_t^{Jzm} - koszt jednostkowy zmienny taboru obliczany na jednostkę pracy eksploatacyjnej,

pr_t^{EKSP} - praca eksploatacyjna wykonana przez tabor, w danym roku.

Praca eksploatacyjna pr_t^{EKSP} ze wzoru (14) jest określana w sposób odpowiedni dla danego rodzaju taboru. Na ogół wyraża się ją w następujących miernikach:

- dla lokomotyw - w **lokomotywo-kilometrach** lub **brutto-tonokilometrach** wykonanych odpowiednio w ruchu pasażerskim lub towarowym,
- dla wagonów - w **wagono-kilometrach** wykonanych odpowiednio w ruchu pasażerskim lub towarowym,
- dla pasażerskich zespołów trakcyjnych lub pociągów zespolonych - w **pociągo-kilometrach**.

Oszacowanie całkowitych kosztów eksploatacji i utrzymania taboru w danym roku na potrzeby analizy efektywności projektów taborowych nie powinno nastęrczać większych trudności. W przedsiębiorstwach kolejowych prowadzi się, bowiem rozbudową ewidencję kosztów oraz rozbudowane statystyki pracy eksploatacyjnej. W tej sytuacji, w szczególności przy analizach projektów modernizacji taboru, przedsiębiorstwo dysponuje zazwyczaj rozbudowaną bazą danych historycznych, które odpowiednio przygotowane, stanowią punkt wyjściowy do projekcji finansowych. W przypadku projektów polegających na zakupach nowego, dotychczas nieeksploatowanego taboru, projekcje całkowitych kosztów eksploatacji i utrzymania mogą zawierać większe ryzyko nietrafności, ze względu na brak doświadczeń i historycznej bazy danych wyjściowych, ale w tym przypadku pomocne mogą być np. różne benchmarki albo wyniki porównywalnych kontraktów zakupowych, które obecnie bardzo często łączone są dodatkowymi zobowiązaniami dostawcy taboru w zakresie zapewnienia utrzymania tegoż taboru (ze wskazaniem stawki jednostkowej) przez określony, kilku lub nieraz kilkunastoletni okres czasu. Całkowite przychody ze sprzedaży usług przewozowych ta-

boru występujące w wzorach (9) i (11) można zapisać następująco:

$$P_t = p_t^{Jtkm} \times tkm_t \quad (15)$$

lub

$$P_t = p_t^{Jpkm} \times pkm_t \quad (16)$$

gdzie:

p_t^{Jtkm} - przychód jednostkowy w zł za tonokilometr pracy przewozowej,

p_t^{Jpkm} - przychód jednostkowy w zł za pasażerokilometr pracy przewozowej, tkm_t - praca przewozowa wykonana przez tabor towarowy (lokomotywy, wagony), w danym roku, w tonokilometrach,

pkm_t - praca przewozowa wykonana przez tabor pasażerski (lokomotywy, wagony, zestawy trakcyjne, pociągi zespolone), w danym roku, w pasażerokilometrach.

Z powyższych wzorów wynika, że dla obliczenia przychodów ze sprzedaży generowanych w wyniku realizacji danego projektu inwestycyjnego przez dany rodzaj taboru, należy znać wielkość pracy przewozowej netto wykonanej w danym okresie przez ten tabor. W tym celu należy wykonać odpowiednie przeliczenia znanych ze statystyk lub zakładanych ex ante parametrów eksploatacyjnych na pracę przewozową netto.

W przypadku **lokomotyw zaangażowanych do obsługi ruchu towarowego** lub **pasażerskiego** można zastosować uniwersalny sposób oszacowania wielkości pracy przewozowej w tonokilometrach netto lub w pasażerokilometrach netto, według wzoru:

$$tkm/pkm_t^{LOK} = \frac{w_{t-NETTO}^U \times Q_t^{BRUTTO} \times I_t^{DOB} \times i_t^{INW} \times L_t^D}{w_t^K} \quad (17)$$

gdzie:

tkm/pkm_t^{LOK} - praca przewozowa w tonokilometrach netto danego ilostanu lokomotyw, odpowiednio w ruchu towarowym lub pasażerskim,

$w_{t-NETTO}^U$ - wskaźnik wyrażający stosunek przeciętnego ciężaru netto pociągu do jego przeciętnego ciężaru brutto, odpowiednio dla ruchu towa-

rowego lub pasażerskiego,

Q_t^{BRUTTO} - średni ciężar brutto pociągu towarowego w danym rodzaju przewozów lub średni ciężar brutto pociągu pasażerskiego w danym rodzaju przewozów,

I_t^{DOB} - dobowy przebieg lokomotywy w danym rodzaju ruchu,

i_t^{INW} - ilostan inwentarzowy lokomotyw, odpowiednio w ruchu towarowym lub pasażerskim,

w_t^K - wskaźnik wyrażający stosunek lokomotywo-kilometrów do pociągo-kilometrów w danej grupie lokomotyw, odpowiedni dla ruchu towarowego lub pasażerskiego,

L_t^D - liczba dni okresu obliczeniowego (365 dni w roku).

Obliczenie pracy przewozowej netto wykonanej przez **wagony towarowe** objęte danym projektem inwestycyjnym można wykonać według wzoru

$$tkm_t^{WAGtow} = Z_t^{DYN} \times w_t^{CAL} \times km_t^{WAGtow} \times i_t^{INWwag} \times w_t^{ROB/INW} \quad (18)$$

gdzie:

tkm_t^{WAGtow} - praca przewozowa w tonokilometrach netto danego ilostanu inwentarzowego wagonów towarowych wykonana w danym okresie (roku),

Z_t^{DYN} - załadunek dynamiczny wagonu towarowego, w danym okresie,

w_t^{CAL} - wskaźnik wykorzystania przebiegu całkowitego wagonu towarowego, obliczany jako stosunek wykonanych w danym okresie wagono-kilometrów ładownych do wagono-kilometrów całkowitych,

km_t^{WAGtow} - przebieg całkowity 1 wagonu towarowego ilostanu inwentarzowego, w danym okresie,

i_t^{INWwag} - ilostan inwentarzowy wagonów towarowych,

w_t^K - wskaźnik wyrażający przeciętny udział ilostanu roboczego wagonów towarowych w ilostanie inwentarzowym, w danym okresie.

Obliczenie pracy przewozowej netto wykonanej przez **wagony pasażerskie, zespoły trakcyjne** lub **pociągi zespolone** objęte danym projektem inwestycyjnym można wykonać we-

dług następującego wzoru:

$$pkm_t^{WAGpas} = q_t^{WAGprzec} \times km_t^{WAGpas} \times i_t^{INWwag} \times w_t^{CZY/INW} \quad (19)$$

gdzie:

pkm_t^{WAGpas} - praca przewozowa w pasażerokilometrach netto danego ilostanu inwentarzowego wagonów pasażerskich (zespołów trakcyjnych, pociągów zespolonych) wykonana w danym okresie (roku),

$q_t^{WAGprzec}$ - przeciętna liczba pasażerów w wagonie pasażerskim (w zespole trakcyjnym, w pociągu zespolonym), w danym okresie,

km_t^{WAGpas} - przebieg całkowity 1 wagonu pasażerskiego (zespołu trakcyjnego, pociągu zespolonego) ilostanu inwentarzowego, w danym okresie,

i_t^{INWwag} - ilostan inwentarzowy wagonów pasażerskich (zespołów trakcyjnych, pociągów zespolonych),

$w_t^{CZY/INW}$ - wskaźnik wyrażający przeciętny udział ilostanu czynnego wagonów pasażerskich (zespołów trakcyjnych, pociągów zespolonych) w ilostanie inwentarzowym, w danym okresie.

Po obliczeniu pracy przewozowej netto dla poszczególnych rodzajów i grup taboru w danym okresie (roku) i przyjęciu wskaźników jednostkowych przychodów oraz pozostałych założeń prognostycznych właściwych dla rozpatrywanego wariantu inwestycyjnego oblicza się prognozowane przychody, zgodnie ze wzorem (9) lub (11).

Przedstawiona metodyka porównawczej analizy efektywności ekonomicznej modernizacji taboru kolejowego dotyczy jedynie aspektów ekonomiczno – finansowych projektów związanych z procesami modernizacyjnymi taboru kolejowego. W sposób oczywisty nie obejmuje ona, zatem rozległej problematyki wszelkich uwarunkowań techniczno – eksploatacyjnych związanych z utrzymaniem taboru kolejowego przez przewoźników, z oddziaływaniem taboru na infrastrukturę kolejową, czy wreszcie z wieloma pozostałymi aspektami, takimi jak między innymi oddziaływanie taboru na środowisko, standardy bezpieczeństwa ruchu kolejowego, spełnianie warunków TSI i wiele innych zagadnień. ◀

Zastosowanie odcinków nieliniowej krzywizny w torze zwrotnym rozjazdu kolejowego

The application of nonlinear curvature sections in the turnout diverging track



Władysław Koc

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Gdańska

wladyslaw.koc@pg.gda.pl

Streszczenie: W pracy została przedstawiona analityczna metoda kształtowania toru zwrotnego rozjazdu kolejowego posiadającego na swojej długości odcinki nieliniowej krzywizny. Odcinki te służą łagodzeniu wykresu krzywizny w skrajnych strefach rozjazdu. W omawianej metodzie dokonano identyfikacji problemu rozkładu krzywizny za pomocą równań różniczkowych. Uzyskane rozwiązania mają charakter uniwersalny; m. in. pozwalają na przyjmowanie dowolnych wartości krzywizny na początku i na końcu rozjazdu. Analizie porównawczej poddano dwa przypadki zastosowania krzywizny nieliniowej oraz odpowiadające przypadki z krzywizną liniową. Analiza wybranych wariantów wskazała na korzystny przebieg krzywizny w wariancie nieliniowym, który oprócz łagodnego przejścia w rejonach skrajnych łuku kołowego cechuje zerowa krzywizna na obydwu końcach układu geometrycznego.

Słowa kluczowe: Rozjazdy kolejowe; Modelowanie krzywizny; Analiza rzędnych poziomych

Abstract: Relationship marketing involves negotiated service promise, which is characterized by: the reliability of trip in the desired direction, using of suitable means of transport at a certain price, expected conditions of trip in right time. The universality of the principles of customer service determined the adoption of marketing orientation by the Public Transport Authority in Gdynia. It's made by marketing research and forming of public transport services based on its results. PTA in Gdynia planning services, takes into account not only the needs of existing customers (passengers), but also the needs of people using private cars. This makes possible to increase quality of PT services. The rule: "right the first time" is the main determinant of Public Transport Authority in Gdynia.

Keywords: Railway turnouts; Curvature modelling; Analysis of horizontal ordinates

W typowym ukształtowaniu geometrycznym toru zwrotnego w rozjeździe kolejowym (zwykłym) stosuje się pojedynczy łuk kołowy bez krzywych przejściowych. Takie rozwiązanie nie jest stosowane na szlakach kolejowych i oznacza konieczność ograniczenia prędkości jazdy pociągów. Wynika to z występowania miejsc gwałtownej, skokowej zmiany rzędnych wykresu krzywizny na początku i końcu rozjazdu. W ostatnim okresie w niektórych krajach, w szczególności na kolejach dużych prędkości, dąży się do wyłączenia wykresu krzywizny w tych rejonach. Uzyskuje się to przez wprowadzenie tzw. „odcinków kłotojdy” po obu stronach łuku kołowego, na których krzywizna zmienia się w sposób liniowy, często jednak nie osiągając w punktach skrajnych wartości zerowych [2, 8, 9, 10].

W przypadku standardowych rozjazdów zmiana eksploatowanego rozjazdu na rozjazd o większym promieniu w torze zwrotnym prowadzi najczęściej do konieczności zwiększenia rozstawu torów. W przypadku rozjazdów o zmiennej krzywiznie – ze względu na indywidualny charakter ich projektowania – możliwe jest zastosowanie danego rozjazdu do wymagań lokalnych. Jest to szczególnie istotne w połączeniach torów równoległych, gdzie podstawową kwestię stanowi zachowanie odpowiedniego rozstawu torów.

Długość toru zwrotnego zostaje tutaj podzielona na trzy strefy (rys. 1):

- strefę początkową o długości l_1 , posiadającą krzywiznę liniową,
- strefę środkową o długości l_2 , posiadającą krzywiznę ustaloną,
- strefę końcową o długości l_3 , po-

siadającą krzywiznę liniową.

Oczywiście, możliwe są tutaj różne warianty, związane z wartościami krzywizny oraz długościami poszczególnych stref.

W strefie początkowej, dla $l \in <0, l_1>$, krzywizna narasta w sposób liniowy od $k_1=1/R_1$ (lub $k_1=0$) do $k_2=1/R_2$, w strefie środkowej, dla $l \in <l_1, l_1+l_2>$, jest stała i równa $k_2=1/R_2$, zaś w strefie końcowej, dla $l \in <l_1+l_2, l_1+l_2+l_3>$, linio-wo maleje od $k_2=1/R_2$ do $k_3=1/R_3$ (lub $k_3=0$).

Modelowanie krzywizny na długości toru zwrotnego rozjazdu pozwala stworzyć jej zapis analityczny w postaci funkcji $k(l)$, gdzie parametr l określa położenie danego punktu na długości krzywej. Równania współrzędnych szukanego połączenia możemy zapisać w postaci parametrycznej [3]:

$$x(l) = \int \cos \theta(l) dl \quad (1)$$

$$y(l) = \int \sin \theta(l) dl \quad (2)$$

Funkcję kąta nachylenia stycznej $\theta(l)$ określamy na podstawie wzoru

$$\theta(l) = \int k(l) dl \quad (3)$$

Powszechnie stosowanym (m. in. w komercyjnych programach wspomagających projektowanie [1, 7]) sposobem wyznaczania współrzędnych $x(l)$ i $y(l)$ jest całkowanie numeryczne funkcji $\cos\theta(l)$ i $\sin\theta(l)$. Z praktycznego punktu widzenia daje ono wystarczającą dokładność. Metoda ta ma jednak jedną podstawową słabość - każdy przypadek geometryczny musi być rozpatrywany odrębnie i wprowadzanie jakichkolwiek uogólnień jest tutaj bardzo utrudnione. Jeśli chcemy uzyskać możliwość szerszego spojrzenia na problem, powinniśmy dysponować metodą analityczną, która z założenia posiada charakter ogólny i pełny.

Analityczne rozwiązanie problemu dla przypadku stosowania odcinków krzywizny liniowej (czyli tzw. „odcinków klotoidy”) zostało przedstawione w pracy [4]. Warto by jeszcze rozpa-

tryć zastosowanie odcinków nieliniowej krzywizny i temu właśnie zagadnieniu zostało poświęcone niniejsze opracowanie. Znajomość odpowiednich wzorów analitycznych umożliwiła przeprowadzenie w końcowej części pracy analizy porównawczej wybranych wariantów – zarówno z odcinkami krzywizny liniowej, jak i nieliniowej.

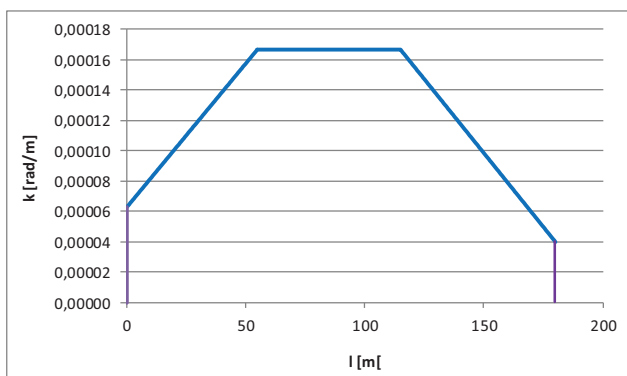
Rozwiązanie analityczne przy łagodzeniu krzywizny w skrajnych strefach rozjazdu

Przebieg krzywizny pokazany na rysunku 1 nie jest, oczywiście, rozwiązaniem idealnym. Warto by jeszcze rozpatrzyć możliwości wyłagodzenia wejścia w łuk rozjazdu (po jego obydwu stronach) oraz – dodatkowo – wyzerowania wartości krzywizny w punktach skrajnych układu geometrycznego.

Rozwiązanie problemu dla strefy początkowej

Przyjmujemy warunki brzegowe

$$\begin{cases} k(0) = k_1 & k(l_1) = k_2 \\ k'(0) = C \frac{k_2 - k_1}{l_1} & k'(l_1) = 0 \end{cases} \quad (4)$$



1. Wykres krzywizny z odcinkami krzywizny liniowej na długości toru zwrotnego rozjazdu ($R_1 = 16000$ m, $l_1 = 55$ m, $R_2 = 6000$ m, $l_2 = 60$ m, $l_3 = 65$ m, $R_3 = 25000$ m)

i równanie różniczkowe

$$k^{(4)}(l) = 0 \quad (5)$$

zakładając, że współczynnik liczbowy $C \geq 0$.

W wyniku rozwiązania problemu różniczkowego (4), (5) otrzymujemy równanie krzywizny

$$k(l) = k_1 + \frac{C}{l_1} (k_2 - k_1) l - \frac{2C-3}{l_1^2} (k_2 - k_1) l^2 + \frac{C-2}{4l_1^3} (k_2 - k_1) l^3 \quad (6)$$

Funkcja kąta nachylenia stycznej $\theta(l)$ jest opisana zależnością

$$\theta(l) = k_1 l + \frac{C}{2l_1} (k_2 - k_1) l^2 - \frac{2C-3}{3l_1^2} (k_2 - k_1) l^3 + \frac{C-2}{4l_1^3} (k_2 - k_1) l^4 \quad (7)$$

Jeśli chcemy uzyskać monotoniczny przebieg krzywizny $k(l)$ na całej długości krzywej, wówczas pochodna $k'(l)$ musi być dodatnia i jednocześnie druga pochodna $k''(l)$ ujemna dla $l \in (0, l_1)$: (7a).

Jak widać, przebieg funkcji $k''(l)$ ma charakter liniowy, zatem spełnienie postawionego warunku oznacza, że obowiązuje on na obu końcach przedziału, tj. $k''(0) \leq 0$ i $k''(l_1) \leq 0$. Wynika stąd, że parametr C musi przyjmować wartości z przedziału $C \in (1, 5; 3)$.

Z uwagi na relację długości krzywej parametrycznej do długości krzywej o krzywiznie liniowej (tj. uogólnionej klotoidy) najkorzystniejszym rozwiązaniem wydaje się być parametryczna krzywa przejściowa dla wartości $C = 1,5$. Z zależności (6) i (7) otrzymujemy (8) i (9). Na końcu strefy, dla $l = l_1$, wartość kąta

$$\theta(l_1) = \frac{3k_1 + 5k_2}{8} l_1$$

Do wyznaczenia równań parametrycznych $x(l)$ i $y(l)$ wykorzystuje się procedurę przedstawioną w pracy [3]. Zapisujemy funkcję $\theta(l)$ w postaci

$$\theta(l) = A_{11} l + A_{12} l^2 + A_{13} l^4$$

gdzie

$$A_{11} = k_1, A_{12} = \frac{3(k_2 - k_1)}{4l_1}, A_{13} = -\frac{k_2 - k_1}{8l_1^3}$$

$$k'(l) = \frac{C}{l_1} (k_2 - k_1) - \frac{4C-6}{l_1^2} (k_2 - k_1) l + \frac{3(C-2)}{l_1^3} (k_2 - k_1) l^2 \geq 0 \quad (7a)$$

$$k''(l) = -\frac{4C-6}{l_1^2} (k_2 - k_1) + \frac{6(C-2)}{l_1^3} (k_2 - k_1) l \leq 0$$

$$k(l) = k_1 + \frac{3}{2l_1} (k_2 - k_1) l - \frac{1}{2l_1^3} (k_2 - k_1) l^3 \quad (8)$$

$$\theta(l) = k_1 l + \frac{3}{4l_1} (k_2 - k_1) l^2 - \frac{1}{8l_1^3} (k_2 - k_1) l^4 \quad (9)$$

i rozwijamy $\cos\theta(l)$ i $\sin\theta(l)$ w szereg Maclaurina z wykorzystaniem programu Maxima [6]. Jak się okazuje, w praktyce otrzymane równanie $x(l)$ można znacznie uprościć, gdyż większość jego wyrazów jest nieistotna. Otrzymujemy następujące równania parametryczne:

$$x(l) = l \quad (10)$$

$$y(l) = \frac{1}{2}A_{11}l^2 + \frac{1}{3}A_{12}l^3 - \frac{1}{24}A_{11}^3l^4 - \frac{1}{10}(A_{11}^2A_{12} - 2A_{13})l^5 \quad (11)$$

Rozwiązanie problemu dla strefy środkowej

W strefie łuku kołowego, tj. dla $l \in \langle l_1, l_1 + l_2 \rangle$, występuje stała krzywizna

$$k(l) = k_2 \quad (12)$$

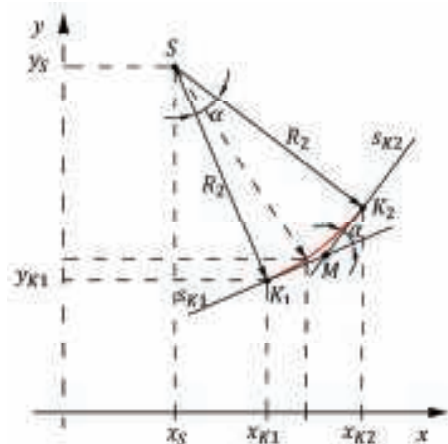
Funkcja $\theta(l)$ – dla przyjętego $C = 1,5$ – jest opisana zależnością

$$\theta(l) = -\frac{3k}{8}l_1 + k_2 l \quad (13)$$

Na końcu łuku kołowego, dla $l = l_1 + l_2$, kąt

$$\theta(l_1 + l_2) = \frac{3k_1 + 5k_2}{8}l_1 + k_2 l_2$$

Równanie łuku kołowego można zapisać w postaci funkcji jawnej $y(x)$. Schemat obrazujący położenie łuku kołowego pokazano na rysunku 2. Przyjmujemy długość łuku kołowego l_2 (mierzoną po samym łuku). Jego promień wynosi R_2 , a nachylenie stycznej w punkcie początkowym $s_1 = \tan\theta(l_1)$. Wyznaczamy współrzędne środka łuku – punktu $S(x_S, y_S)$.



2. Schemat obrazujący położenie łuku kołowego

$$x_S = x(l_1) - \frac{s_1}{\sqrt{1+s_1^2}}R_2 \quad (14)$$

$$y_S = y(l_1) + \frac{1}{\sqrt{1+s_1^2}}R_2 \quad (15)$$

Równanie łuku kołowego jest następujące:

$$y(x) = y_S - [R_2^2 - (x_S - x)^2]^{\frac{1}{2}} \quad x \in \langle x(l_1), x(l_1 + l_2) \rangle \quad (16)$$

Kąt zwrotu stycznych wynosi $\alpha = l_2 / R_2$. Kąt nachylenia stycznej do łuku na jego końcu, tj. dla $x(l_1 + l_2)$, wynosi $\theta(l_1 + l_2) = \theta(l_1) + \alpha$, skąd wynika wartość nachylenia stycznej w tym punkcie.

$$s_2 = \tan[\theta(l_1) + \alpha] \quad (17)$$

Żeby określić współrzędne końca łuku kołowego, należy najpierw wyznaczyć współrzędne punktu M (rys. 2); otrzymuje się ostatecznie

$$x(l_1 + l_2) = x(l_1) + \tan^{\frac{\alpha}{2}} \left(\frac{1}{\sqrt{1+s_1^2}} + \frac{1}{\sqrt{1+s_2^2}} \right) R_2 \quad (16)$$

$$y(l_1 + l_2) = y(l_1) + \tan^{\frac{\alpha}{2}} \left(\frac{s_1}{\sqrt{1+s_1^2}} + \frac{s_2}{\sqrt{1+s_2^2}} \right) R_2 \quad (17)$$

Rozwiązanie problemu dla strefy końcowej

Przyjmujemy warunki brzegowe

$$\begin{cases} k(l_1 + l_2) = k_2 & k(l_1 + l_2 + l_3) = k_3 \\ k'(l_1 + l_2) = 0 & k'(l_1 + l_2 + l_3) = C \frac{k_3 - k_2}{l_3} \end{cases} \quad (18)$$

i równanie różniczkowe (5). Zakładamy, że współczynnik liczbowy $C \geq 0$. Rozwiązanie problemu różniczkowego (5), (18) jest następujące:

$$k(l) = c_1 + c_2 l + c_3 l^2 + c_4 l^3 \quad (19)$$

gdzie: (19a)

Dla $C = 1,5$ wartości tych współczynników wynoszą: (19b)

a równanie kąta nachylenia stycznej ma postać

$$\theta(l) = c_0 + c_1 l + \frac{1}{2}c_2 l^2 + \frac{1}{3}c_3 l^3 + \frac{1}{4}c_4 l^4 \quad (20)$$

gdzie

gdzie

$$c_0 = \frac{3(k_1 - k_2)}{8}l_1 - \left[\frac{1}{2l_1^3}(l_1 + l_2)^3 + \frac{1}{8l_1^3}(l_1 + l_2)^4 \right] (k_3 - k_2)$$

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono wykresy krzywizny oraz kąta nachylenia stycznej dla wartości $C = 1,5$ na długości toru zwrotnego rozjazdu posiadającego odcinki krzywizny nieliniowej, a charakterystyki liczbowe odpowiadające rozjazdowi z rysunku 1.

$$c_1 = k_2 + \left[\frac{3-C}{l_1^2}(l_1 + l_2)^2 + \frac{2-C}{l_1^3}(l_1 + l_2)^3 \right] (k_3 - k_2)$$

$$c_2 = - \left[\frac{2(3-C)}{l_1^3}(l_1 + l_2) + \frac{3(2-C)}{l_1^3}(l_1 + l_2)^2 \right] (k_3 - k_2) \quad (19a)$$

$$c_3 = \left[\frac{3-C}{l_1^3} + \frac{3(2-C)}{l_1^3}(l_1 + l_2) \right] (k_3 - k_2)$$

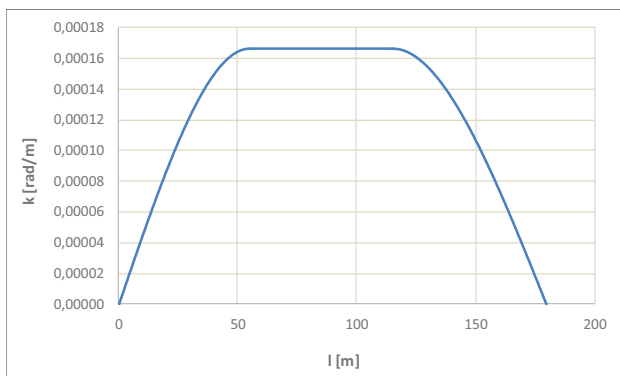
$$c_4 = - \frac{2-C}{l_1^3} (k_3 - k_2)$$

$$c_1 = k_2 + \left[\frac{3}{2l_1^2}(l_1 + l_2)^2 + \frac{1}{2l_1^3}(l_1 + l_2)^3 \right] (k_3 - k_2)$$

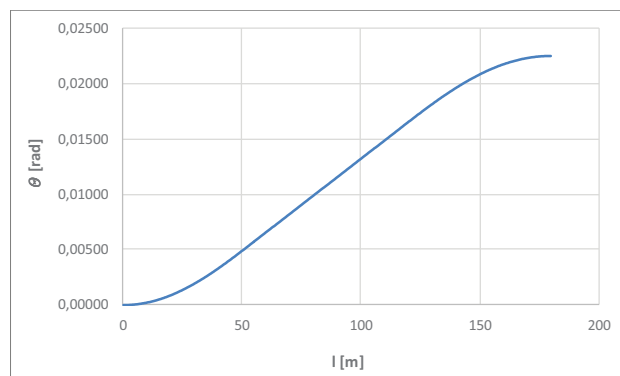
$$c_2 = - \left[\frac{3}{l_1^3}(l_1 + l_2) + \frac{3}{2l_1^3}(l_1 + l_2)^2 \right] (k_3 - k_2)$$

$$c_3 = \left[\frac{3}{2l_1^3} + \frac{3}{2l_1^3}(l_1 + l_2) \right] (k_3 - k_2)$$

$$c_4 = - \frac{1}{2l_1^3} (k_3 - k_2) \quad (19b)$$



3. Wykres krzywizny z odcinkami krzywizny nieliniowej dla $C=1,5$ na długości toru zwrotnego rozjazdu ($R_1=16000$ m, $l_1=55$ m, $R_2=6000$ m, $l_2=60$ m, $l_3=65$ m, $R_3=25000$ m)



4. Wykres kąta nachylenia stycznej dla $C=1,5$ na długości toru zwrotnego rozjazdu ($R_1=16000$ m, $l_1=55$ m, $R_2=6000$ m, $l_2=60$ m, $l_3=65$ m, $R_3=25000$ m)

Równania parametryczne $x(l)$ i $y(l)$ dla tej strefy, po przyjęciu $C=1,5$, wyznacza się wykorzystując się procedurę przedstawioną w pracy [3]. Zapisujemy funkcję $\theta(l)$ w postaci

$$\theta(l) = A_{31} + A_{32}l + A_{33}l^2 + A_{34}l^3 + A_{35}l^4$$

gdzie: (20a).

Po rozwinięciu funkcji $\cos\theta(l)$ i $\sin\theta(l)$ w szereg Taylora z wykorzystaniem programu Maxima [6] i scałkowaniu otrzymujemy następujące równania parametryczne (21) i (22):

$$x(l) = x(l_0) + \cos\theta_0(l - l_0) - \frac{1}{2}(A_{32} + 4A_{35}l_0^3 + 3A_{34}l_0^2 + 2A_{33}l_0)\sin\theta_0(l - l_0)^2 \quad (21)$$

gdzie: $l_0=l_1+l_2$, $\theta_0=\theta(l_1+l_2)$

Analiza wybranych wariantów

Rozpatrywane w pracy warianty powstały w wyniku wprowadzenia trzech stref rozkładu krzywizny na długości toru zwrotnego rozjazdu. W strefie środkowej krzywizna jest stała, czyli stosowany jest tutaj łuk kołowy. Natomiast w strefach skrajnych krzywizna jest zmienna, tak jak ma to miejsce na krzywej przejściowej. Przebieg krzywizny może mieć charakter liniowy (i rozwiązanie problemu ma wtedy charakter jednoznaczny [4]) lub nieliniowy (gdzie możliwe są różne rozwiązania). W niniejszej pracy zaproponowano dla tego drugiego przypadku rozwiązanie wielomianowe. Oczywiście, zarówno dla odcinków krzywizny liniowej jak też nieliniowej możliwe są różne przypadki szczegółowe, związane z wartościami krzywizny oraz długościami poszczególnych stref.

Podane w tej pracy oraz w pracy [4] zależności teoretyczne mają charakter uniwersalny, tj. pozwalają na przyjmowanie dowolnych wartości krzywizny na początku i na końcu układu geometrycznego. Szczególne zainteresowanie mogą przy tym budzić wartości zerowe.

Analizie porównawczej poddano przypadki ogólne występujące na rysunkach 1 i 2 oraz odpowiadające przypadki z krzywizną zerową po obu stronach układu, powstałe po przyjęciu $k_1=k_3=0$.

- Rozjazd I (z odcinkami krzywizny liniowej): $R_1=16000$ m, $l_1=55$ m, $R_2=6000$ m, $l_2=60$ m, $l_3=65$ m, $R_3=25000$ m
- Rozjazd II (z odcinkami krzywizny liniowej): $R_1=\infty$, $l_1=55$ m, $R_2=6000$ m, $l_2=60$ m, $l_3=65$ m, $R_3=\infty$
- Rozjazd III (z odcinkami krzywizny nieliniowej): $R_1=16000$ m, $l_1=55$ m, $R_2=6000$ m, $l_2=60$ m, $l_3=65$ m, $R_3=25000$ m
- Rozjazd IV (z odcinkami krzywizny nieliniowej): $R_1=\infty$, $l_1=55$ m, $R_2=6000$ m, $l_2=60$ m, $l_3=65$ m, $R_3=\infty$

Wyniki obliczeń wielkości charakterystycznych toru zwrotnego wymienionych rozjazdów przedstawiono w tabelicy 1. Zbiornicze wykresy krzywizny na długości pokazano na rysunku 5.

Obecnie najbardziej rozpowszechnionym typem rozjazdu z odcinkami zmiennej (liniowej) krzywizny jest rozjazd I. Liniowa krzywizna na całej długości stref skrajnych (w rozjeździe II) najbardziej odbiega od pozostałych przypadków. Rozjazd III jest najbliższy rozjazdowi I, a jego podstawową zaletę stanowi brak załomów na wykresie

$$\begin{aligned} A_{31} &= \frac{3(k_1-k_2)}{8}l_1 - \left[\frac{1}{2l_1^2}(l_1+l_2)^3 + \frac{1}{8l_1^3}(l_1+l_2)^4 \right] (k_3 - k_2) \\ A_{32} &= c_1 = k_2 + \left[\frac{3}{2l_1^2}(l_1+l_2)^2 + \frac{1}{2l_1^3}(l_1+l_2)^3 \right] (k_3 - k_2) \\ A_{33} &= \frac{1}{2}c_2 = - \left[\frac{3}{2l_1^2}(l_1+l_2) + \frac{3}{4l_1^3}(l_1+l_2)^2 \right] (k_3 - k_2) \\ A_{34} &= \frac{1}{3}c_3 = \left[\frac{1}{2l_1^2} + \frac{1}{2l_1^3}(l_1+l_2) \right] (k_3 - k_2) \\ A_{35} &= \frac{1}{4}c_4 = - \frac{1}{8l_1^3}(k_3 - k_2) \end{aligned} \quad (20a)$$

$$\begin{aligned} y(l) &= y(l_0) + \sin\theta_0(l - l_0) + \frac{1}{2}(A_{32} + 4A_{35}l_0^3 + 3A_{34}l_0^2 + 2A_{33}l_0)\cos\theta_0(l - l_0)^2 \\ &- \frac{1}{6}(A_{32}^2 + 8A_{32}A_{35}l_0^3 + 6A_{32}A_{34}l_0^2 + 4A_{32}A_{33}l_0 + 16A_{35}^2l_0^6 + 24A_{34}A_{35}l_0^5 + \\ &16A_{33}A_{35}l_0^4 + 9A_{34}^2l_0^4 + 12A_{33}A_{34}l_0^3 + 4A_{33}^2l_0^2)\sin\theta_0(l - l_0)^3 \\ &- \frac{1}{24}(A_{32}^3 + 12A_{32}^2A_{35}l_0^3 + 9A_{32}^2A_{34}l_0^2 + 6A_{32}^2A_{33}l_0 + 48A_{32}A_{35}^2l_0^6 + 72A_{32}A_{34}A_{35}l_0^5 + \\ &48A_{32}A_{33}A_{35}l_0^4 + 27A_{32}A_{34}^2l_0^4 + 36A_{32}A_{33}A_{34}l_0^3 + 12A_{32}A_{33}^2l_0^2 + 64A_{35}^3l_0^9 + 144A_{34}A_{35}^2l_0^8 + \\ &96A_{33}A_{35}^2l_0^7 + 108A_{34}^2A_{35}l_0^7 + 144A_{33}A_{34}A_{35}l_0^6 + 27A_{34}^3l_0^6 + 48A_{33}^2A_{35}l_0^5 + 54A_{33}A_{34}^2l_0^5 + \\ &36A_{33}^2A_{34}l_0^4 + 8A_{33}^3l_0^3 - 24A_{35}l_0 - 6A_{34})\cos\theta_0(l - l_0)^4 \end{aligned} \quad (22)$$

krzywizny na początku i na końcu łuku kołowego. Na szczególną uwagę zasługuje rozjazd IV. Oprócz łagodnego przejścia w rejonach skrajnych łuku kołowego cechuje go zerowa krzywizna na obydwu końcach układu geometrycznego. Być może takie właśnie rozwiązanie powinno zastąpić stosowanie „odcinków klotoidy”. Na korzyści wynikające z jego zastosowania wskazuje analiza dynamiczna przedstawiona w pracy [5]. Wymaga to jednak dalszych analiz, natomiast nie ulega wątpliwości, że przedstawiona w niniejszej pracy metoda pozwala tworzyć wiele różnorodnych rozwiązań. Na rysunku 6 pokazano wykresy rzędnych poziomych na długości analizowanych rozjazdów.

Podsumowanie

W torze zwrotnym typowego rozjazdu kolejowego (zwyčajnego) stosuje się pojedynczy łuk kołowy bez krzywych przejściowych. Wskutek tego występują miejsca gwałtownej, skokowej zmiany rzędnych wykresu krzywizny na początku i końcu rozjazdu. W ostatnim okresie w niektórych krajach, dążąc do wygładzenia wykresu krzywizny w tych rejonach, wprowadza się tzw. „odcinki klotoidy” po obu stronach łuku kołowego, na których krzywizna zmienia się w sposób liniowy. W przypadku rozjazdów o zmiennej krzywiznie – ze względu na indywidualny charakter ich projektowania – możliwe jest dostosowanie danego rozjazdu do wymagań lokalnych. Jest to szczególnie istotne w połączeniach torów równoległych, gdzie podstawową kwestię stanowi zachowanie odpowiedniego rozstawu torów. Decydującą rolę odgrywa tutaj rzędna końcowa toru zwrotnego, którą w rozjazdach o zmiennej krzywiznie można

Tab. 1. Zestawienie wielkości charakterystycznych dla porównywanych rozjazdów

	$l=l_1$			$l=l_1+l_2$			$l=l_1+l_2+l_3$		
	$x(l)$ [m]	$y(l)$ [m]	$Q(l)$ [rad]	$x(l)$ [m]	$y(l)$ [m]	$Q(l)$ [rad]	$x(l)$ [m]	$y(l)$ [m]	$Q(l)$ [rad]
I	54,9993	0,147	0,00630	114,995	0,825	0,01630	179,982	2,148	0,02302
II	54,9999	0,084	0,00458	114,997	0,659	0,01458	179,986	1,842	0,02000
III	54,9996	0,165	0,00702	114,995	0,887	0,01702	179,979	2,291	0,02476
IV	54,9997	0,113	0,00573	114,996	0,757	0,01573	179,983	2,061	0,02250

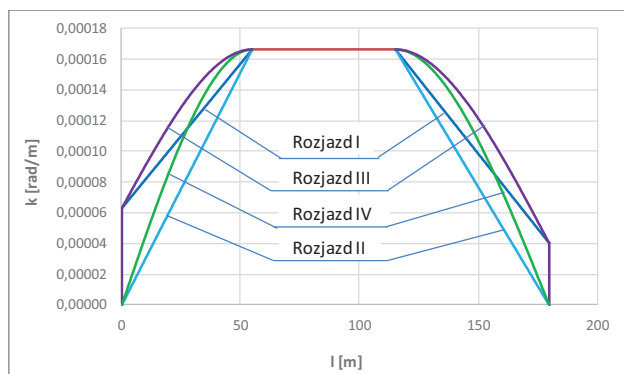
kształtować manipulując skosem i promieniem rozjazdu.

Powszechnie stosowanym sposobem wyznaczania współrzędnych $x(l)$ i $y(l)$ w stosowanych rozjazdach ze zmienną krzywizną jest całkowanie numeryczne funkcji $\cos\Theta(l)$ i $\sin\Theta(l)$. Każdy przypadek geometryczny musi więc być rozpatrywany odrębnie i wprowadzanie jakichkolwiek uogólnień jest tutaj bardzo utrudnione. W niniejszej pracy została przedstawiona analityczna metoda rozwiązania problemu, mająca charakter ogólny i pełny. Zostały wyznaczone odpowiednie równania dla przypadku zaproponowanych odcinków krzywizny nieliniowej; w przeprowadzonej analizie porównawczej wybranych wariantów wykorzystano również przedstawione w pracy [4] zależności dla odcinków krzywizny liniowej.

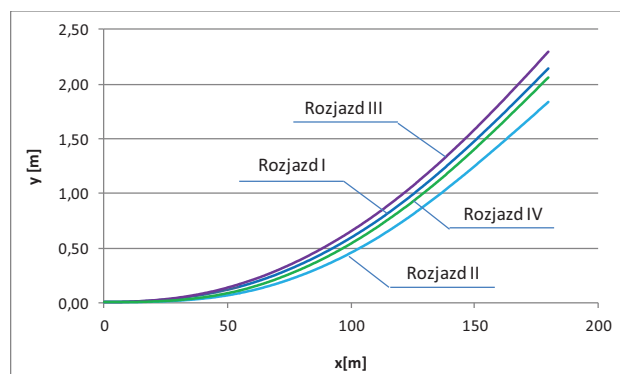
Podane zależności teoretyczne mają charakter uniwersalny, tj. pozwalają na przyjmowanie dowolnych wartości krzywizny na początku i na końcu układu geometrycznego. Szczególne zainteresowanie mogą przy tym budzić wartości zerowe. Analiza porównawcza wybranych wariantów wskazała na korzystny przebieg krzywizny w wariancie nieliniowym, który oprócz łagodnego przejścia w rejonach skrajnych łuku kołowego cechuje zerowa krzywizna na obydwu końcach układu geometrycznego. Być może takie właśnie rozwiązanie powinno zastąpić stosowanie tzw. „odcinków klotoidy”. ◀

Materiały źródłowe

- [1] AutoCAD, <http://www.autodesk.pl>
- [2] Fei Weizhu: Major technical characteristics of high-speed turnout in France. Journal of Railway Engineering Society, vol. 26, no. 9, pp. 18-35, 2009.
- [3] Koc W.: Analytical method of modelling the geometric system of communication route. Mathematical Problems in Engineering, vol. 2014, Article ID 679817, 2014.
- [4] Koc W.: Kształtowanie toru zwrotnego rozjazdu z odcinkami krzywizny liniowej (artykuł złożony w redakcji czasopisma naukowego)
- [5] Koc W., Palikowska K.: Dynamic analysis of the turnout diverging track for HSR with variable curvature sections. World Journal of Engineering and Technology, vol. 5, pp. 42-57, 2017.
- [6] Maxima package, <http://maksima.sourceforge.net>
- [7] MicroStation, <http://www.bentley.com>
- [8] Plank B.: Linie dużych prędkości realizowane przez VAE. Prezentacja firmy Voestalpine GmbH, 2007.
- [9] Technical Memorandum: Alignment design standards for high-speed train operation. Prepared by Parsons Brinckerhoff for the California High-Speed Rail Authority, USA, 2009.
- [10] Wang P.: Design of high-speed railway turnouts. Theory and Applications. Elsevier Science & Technology, Oxford, United Kingdom, 2015.



5. Wykresy krzywizny na długości toru zwrotnego porównywanych rozjazdów ($R_1 = 16000 \text{ m}/\infty$, $l_1 = 55 \text{ m}$, $R_2 = 6000 \text{ m}$, $l_2 = 60 \text{ m}$, $l_3 = 65 \text{ m}$, $R_3 = 25000 \text{ m}/\infty$)



6. Wykresy rzędnych poziomych na długości toru zwrotnego porównywanych rozjazdów ($R_1 = 16000 \text{ m}/\infty$, $l_1 = 55 \text{ m}$, $R_2 = 6000 \text{ m}$, $l_2 = 60 \text{ m}$, $l_3 = 65 \text{ m}$, $R_3 = 25000 \text{ m}/\infty$)

Technologia budowy linii kolei jednoszynowej

Construction methodology of straddle monorail guideway



Dominik Bednarek

mgr inż.

*Katedra Mostów i Kolei, Wydział
Budownictwa Lądowego i
Wodnego
Politechnika Wroclawska*

dominik.bednarek@pwr.edu.pl

Streszczenie: W artykule opisano istotne aspekty procesu prefabrykacji dźwigarów estakady. Wskazano szczególne wymagania związane z oczekiwaną dokładnością geometrii szyn i odpowiednią fakturą betonu powierzchni tocznych. Następnie opisano typowe etapy budowy estakad tworzących linię kolei jednoszynowej. Szczególną uwagę zwrócono na problemy związane z transportem i montażem szyn. Omówiono charakter wytyżenia belek w trakcie umieszczania ich na podporach, zaprezentowano pojazd służący do transportu belek oraz uchwyty pozwalające na montaż dźwigarów zakrzywionych w planie. Ponadto przedstawiono stan wytyżenia w węzłach ramy oraz opisano problemy związane z wykonaniem uciążlenia dźwigarów. Artykuł zakończono krótkim podsumowaniem.

Słowa kluczowe: *Kolej jednoszynowa; Kolej niekonwencjonalna; Technologia budowy*

Abstract: The article describes important issues of precasting process of monorail guideway beam i.e. achieving expected geometry parameters and surface roughness. In the main part author characterizes construction method of the most common guideway type focusing on problems connected with transport and assembly of precast beams. Transportation vehicle and tools used for installation of curved beams are described. Afterwards, author describes problems connected with integration of guideway frame and complex force combination at frame joints. Author finished with a short conclusion.

Keywords: *Monorails; Guide way; Construction methodology; Precast beam*

Niniejszy artykuł jest kolejnym z serii poświęconej przybliżeniu mało znanych w Polsce systemów kolei jednoszynowej (ang. monorail), stanowiących rodzaj kolei niekonwencjonalnej o trasie poprowadzonej nad powierzchnią terenu. Obecnie, najpopularniejszym typem kolei jednoszynowej jest kolej siodłowa (rys. 1). Nazwa związana jest z kształtem wózka jezdnego, który siodłowo, tj. z trzech stron, obejmuje dźwigar stanowiący szynę. Na typową konstrukcję takiej estakady składają się fundamenty palowe, filary z górnym oczepem oraz dwa dźwigary stanowiące tory przeznaczone do jazdy w przeciwnych kierunkach. Kształt elementów konstrukcyjnych różni się nieznacznie w zależności od przyjętego schematu statycznego konstrukcji, typu pojazdu oraz miasta, w którym linia została wybudowana. Ze względu na specyficzny kształt elementów konstrukcyjnych w niniejszym artykule wymienienie stosuje się nazwy dźwigar, belka i szyna, a termin estakada

odnosi się do wieloprzęstowej konstrukcji mostowej.

We wcześniejszych artykułach [3,8,11] przedstawiono ogólną charakterystykę kolei jednoszynowych. W pierwszej z wymienionych publikacji poruszono kwestie związane z systemami bezpieczeństwa stosowanymi na liniach kolei jednoszynowej, jak i sposoby przeprowadzania ewakuacji. W pracy [8] zaprezentowane zostały wady i zalety systemów monorail. Elementy konstrukcyjne estakady zostały szczegółowo opisane w [11], podobnie jak wybrane typy pociągów monorail.

Niniejsza publikacja stanowić będzie opis typowej metody wznoszenia estakady siodłowej kolei jednoszynowej. Najpowszechniejszy rodzaj konstrukcji złożony jest z fundamentów i filarów żelbetonowych i szyn prefabrykowanych. Ze wymagania eksploatacyjne istotne jest precyzyjne wykonanie powierzchni tocznych. Na dźwigarach nie wykonuje się dodatkowych warstw wykończe-

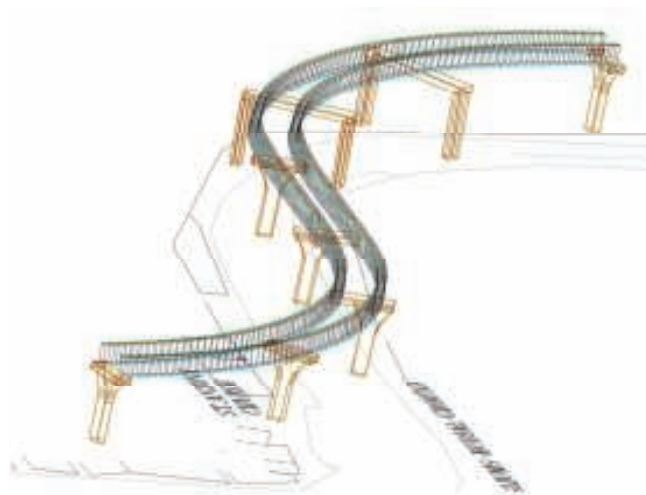
niowych, które mogą mogły stanowić element korygujący niedokładności powstałe w zakładzie prefabrykacji.

Szczegółowe zaplanowanie prefabrykacji i montażu umożliwia znaczne przyspieszenie procesu budowy, ponadto jest niezbędne z uwagi na skomplikowaną geometrię trasy. Co istotne, skrócenie czasu wznoszenia linii wpływa na obniżenie kosztów budowy i redukcję uciążliwości związanych z zamknięciem ulic na czas trwania robót.

W artykule opisano istotne aspekty procesu prefabrykacji dźwigarów estakady. Wskazano szczególne wymagania związane z oczekiwaną dokładnością geometrii szyn i odpowiednią fakturą betonu powierzchni tocznych. Następnie opisano typowe etapy budowy estakad tworzących linię kolei jednoszynowej. Szczególną uwagę zwrócono na problemy związane z transportem i montażem szyn. Omówiono charakter wytyżenia belek w trakcie umieszczania ich na podporach, zaprezentowa-



1. Kolej jednoszynowa w Kuala Lumpur [15]



2. Trójwymiarowy model estakady [4]

no pojazd służący do transportu belek oraz uchwyty pozwalające na montaż dźwigarów zakrzywionych w planie. Ponadto przedstawiono stan wyteżenia w węzłach ramy oraz opisano problemy związane z wykonaniem uciąglenia dźwigarów. Artykuł zakończono krótkim podsumowaniem.

Prefabrykacja dźwigarów

Jak już wspomniano, na dźwigarach kolei jednoszynowej nie układa się nawierzchni. Betonowe powierzchnie belki stanowią jednocześnie powierzchnie toczne dla kół pociągu. Wszystkie nierówności na tych powierzchniach w stanowią czynnik mający bezpośredni wpływ na zużycie szyn i przekładają się na zużycie ogumienia kół czy drgania pociągu pogarszające komfort jazdy. Dlatego aby zachować oczekiwaną dokładności wykonania, proces produkcyjny jest w całości realizowany w zakładzie prefabrykacji. Skomplikowany przebieg trasy – odcinki łukowe w planie i profilu, a także krzywe przejściowe wraz z przechyłką oraz różnice w rozpiętościach belek sprawiają, że prawie każdy z dźwigarów jest niepowtarzalny. W celu ustalenia oczekiwanej geometrii belki wykonuje się trójwymiarowy model estakady przedstawiający szczegółowy przebieg trasy i rozmiary belek (rys. 2). Następnie wykonuje się szereg rysunków warsztatowych, które obrazują szczegółowo geometrię belki, m.in. jej kształt w planie i profilu oraz zmiany wysokości przekroju szyny na jej długości, kształt wkładki odciążającej, układ zbrojenia miękkiego oraz przebieg kanałów na kable sprężające.

Produkcja odbywa się w sześciu etapach: przygotowanie zbrojenia, kształtowanie deskowania, układanie mieszanki betonowej, pielęgnacja betonu, wprowadzenie kabli sprężających i wstępne sprężenie oraz transport do magazynu. Na koniec wykonuje się drugie sprężenie i iniektowanie. W pierwszej kolejności przygotowuje się kosz zbrojenia, wewnątrz umieszcza się trasy kabli sprężających wraz ze stalowymi blokami kotwiącymi oraz lekką wkładkę odciążającą belkę (rys. 3). W przypadku części systemów, na tym etapie mocuje się do zbrojenia łożyska belek. Następnym krokiem jest przygotowanie zewnętrznego deskowania. Istotnym utrudnieniem w tej i poprzedniej fazie produkcji stanowi wyjątkowość każdej z belek. Deskowania służące do wykonania belek pozwalają na dowolne kształtowanie geometryczne belki (patrz rys. 4), w tym także na zmianę wysokości belki na jej długości.

Po umieszczeniu zbrojenia wewnątrz formy i rektyfikacji deskowania następuje betonowanie z użyciem betonu o wytrzymałości na ściskanie min. 45 MPa. W celu przyspieszenia przyrostu wytrzymałości stosuje się naparzenie betonu. Dwa dni po ułożeniu mieszanki betonowej wykonuje się pierwsze wstępne sprężenie, po którym transportuje się dźwigar na plac składowy. Drugie sprężenie wykonuje się po 14 dniach od betonowania. Uzyskiwana na tym etapie siła w kablach sprężających jest przewidziana w celu przeniesienia obciążeń działających na belkę w trakcie transportu i montażu. Zarówno po pierwszym jak i drugim sprężeniu w zakładzie prefabrykacji dokonuje się kontroli uniesienia dźwigara spowodowanego naprężeniem kabli, a

w wcześniejszych etapach kontrolowana jest geometria deskowania i prefabrykowanej belki [5], [6]. O koniecznym stopniu precyzji mogą świadczyć wymagania postawione w trakcie prefabrykacji dźwigarów dla linii w Sao Paulo dopuszczalne było do 6 mm uniesienia spowodowanego sprężeniem. Różnica szerokości belki nie mogła odbiegać od projektowanej więcej niż 1,6 mm. Do 0,22% ograniczona została dopuszczalna rozbieżność kątów przekroju poprzecznego belki od projektowanych. Proste dźwigary zostały wykonane z odchyleniem nie przekraczającym 1,5 mm na 1,5 m [1].

Inny istotny aspekt w produkcji szyn stanowi uzyskanie właściwej faktury betonu na powierzchniach tocznych. Użyta mieszanka musi zapewniać optymalną przyczepność kół. W związku z tym, że brak uniwersalnej receptury betonu, właściwą mieszankę użytą na linii w Mumbaju osiągnięto metodą prób i błędów. Górna powierzchnia dźwigara została dodatkowo uszorstniona przy użyciu pędzla o twardym włosiu [6]. Dodatkowo mieszanka betonowa musi posiadać wysoką odporność na ścieranie oraz pozwalać na dobre zagęszczenie betonu. Wszelkiego rodzaju pustki powietrzne i obszary niewłaściwie zagęszczone są w przypadku szyn bardzo trudne do naprawy [1].

Jak wskazują doświadczenia z ponad 30 lat eksploatacji linii w parku Disneya na Florydzie, belki kolei jednoszynowe wykazują tylko nieznaczne uszkodzenia. Zaobserwowano odspojenia betonu na dolnej powierzchni wokół betonowych przekładek dystansowych użytych przy betonowaniu dźwigara. Podobne uszko-

dzenia wystąpiły wokół miejsc, w których znajdowały się uchwyty montażowe. Istotne uszkodzenie stanowiło starcie górnej powierzchni belki w miejscach, w których pociągi regularnie hamowały lub przyspieszały. Wszystkie te uszkodzenia naprawia się z użyciem zapraw pcc (polymer cement concrete – zaprawy modyfikowane polimerami) o wysokiej wytrzymałości [10].

Technologia budowy estakady

Proces budowy estakady kolei jednoszynowej przebiega analogicznie jak w przypadku innych konstrukcji mostowych budowanych z prefabrykowanych belek. Schemat etapowania budowy przedstawia rysunek 5. Wymagania związane z eksploatacją linii powodują, że w procesie wznoszenia konieczne jest zachowanie szczególnej precyzji wykonania. Jest to szczególnie trudne przy jednoczesnym dążeniu do jak najszybszego zrealizowania budowy. Wszelkie opóźnienia związane z powstaniem nowej linii przekładają się na dodatkowe uciążliwości dla mieszkańców miasta oraz wzrost kosztów budowy. Dlatego ważne jest precyzyjne zaplanowanie procesu, zarówno harmonogramu branży budowlanej jak i instalacyjnej, jak również zaplanowanie zmian komunikacji w mieście. Celem jest realizacja budowy przy minimalnym wpływie na ruch samochodów i istniejącej komunikacji miejskiej. Dodatkowy problem przy realizacji inwestycji stanowi lokalizacja zakładu prefabrykacji dźwigarów. Obiekt ten jest na ogół wznoszony na potrzeby budowy linii. Zakład prefabrykacji o wymaganej wydajności produkcji wymaga przestrzeni ok. 1,5 ha, na której muszą się znaleźć stanowiska prefabrykacji i pielęgnacji belek oraz plac składowy. Obiekt taki jest możliwy do realizacji jedynie na przedmieściach, co wydłuża i komplikuje transport dźwigarów na miejsce docelowe.

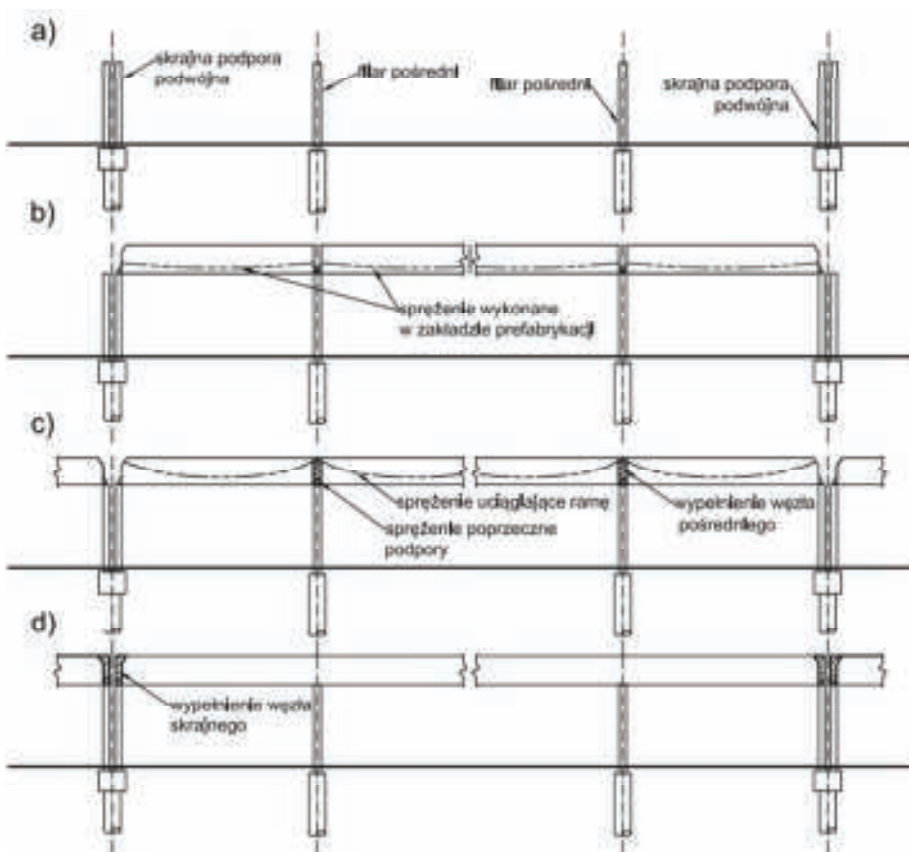
Pierwszy etap budowy polega na wykonaniu fundamentów i filarów estakady. Pale fundamentowe najczęściej realizuje się jako wiercone pale wielkośrednicowe. Ta technologia jest najmniej uciążliwa dla mieszkańców i nie powoduje negatywnego wpływu na okoliczną zabudowę. Wraz z realizacją pali przebudowuje się infrastrukturę podziemną, która jest w kolizji z nowym fundamen-



3. Przygotowanie zbrojenia [9]



4. Deskowanie dźwigarów [2]



5. Schemat etapowania budowy



6. Wizualizacja przerwy roboczej w oczeple filara układu zespolonego [2]



7. Naczepa transportująca dźwigar [12]

tem. Elementy posadowienia, a także filary wykonywane są ze zbrojonego betonu o wysokiej wytrzymałości. W celu przyspieszenia realizacji stosuje się prefabrykację koszy zbrojenia. Betonowanie słupów odbywa się w kilku etapach ze względu na gabaryty, jak również zmienną geometrię. Na oczepie filara wykonuje się przerwę w betonowaniu w celu późniejszego odpowiedniego zespolenia podpory z dźwigarami (rys. 6) lub wykonania ciosów podłożyskowych.

Montaż dźwigarów rozpoczyna się po uzyskaniu odpowiedniej wytrzymałości betonu w oczepach filarów (rys. 5b). Transport belek i ulokowanie ich na miejscu docelowym odbywa się w nocy. Długość transportowanych elementów dochodzi do 35 m a ich waga do 85 ton, co sprawia, że transport taki zalicza się do nienormalnych. Dodatkową trudność przy transporcie powoduje inna za każdym razem geometria belki. Do przewozu belek używa się ciągnika siodłowego oraz naczepy o konstrukcji umożliwiającej podział na dwie części (rys. 7). Każda z nich porusza się na czterech osiach, a każda oś wyposażona jest w osiem kół. Sposób zamocowania kół do naczepy pozwala na równomierne rozłożenie nacisków na koła niezależnie od ich wzajemnego położenia. Ponadto zapewniona jest możliwość obrotu każdej z osi, co znacząco poprawia możliwości manewrowe pojazdu.

W trakcie przewozu i montażu belki jest stabilizowana poprzecznie z uży-

ciem rozpórłączonych z tymczasową stalową obejmą belki (rys. 7). Stabilizuje to ładunek i ogranicza obciążenia dynamiczne związane z drzganiami poruszającego się pojazdu, które przenoszą się na belkę. Przeniesienie dźwigara na podporę odbywa się z użyciem dwóch dźwigarów. Istotne w trakcie przenoszenia jest położenie uchwytów mocujących na długości belki. Z jednej strony trzeba przeciwdziałać ewentualnemu wysunięciu się dźwigara z uchwytów, z drugiej - zbyt duże przesunięcie uchwytów w kierunku środka belki zmienia niekorzystnie charakter jej wyężenia. Ciężar swobodnych końców belki w skrajnym przypadku mógłby spowodować powstanie zbyt dużych naprężeń rozciągających na górnej powierzchni belki w strefie uchwytów montażowych i w konsekwencji jej zarysowanie.

Inny problem stanowi przenoszenie belek krzywoliniowych. Przy punktowym podparciu na końcach belki, działanie ciężaru własnego powoduje skręcanie. W celu lepszego wyważenia belki i tym samym redukcji efektu skręcania przesuwa się lokalizację podwieszenia uchwytu w kierunku środka ciężkości belki (rys. 8). Na podstawie analizy stanu wyężenia belki w trakcie montażu określa się miejsce, w którym należy umieścić uchwyt [6].

Końcówce położenie belki na podporze jest stabilizowane przy pomocy stalowych rozpórłączonych zamocowanych w filarze (rys. 9). Po zamontowaniu sprawdza się

położenie dźwigara w planie i przechyłkę. Dopuszczalne przesunięcie położenia belki od założonego w projekcie wynosi maksymalnie 12 mm na trasie, a tylko 3 mm w rejonie stacji i rozjazdów, natomiast odchylenie przechyłki nie może przekraczać 0,5% [1]. Większe różnice mogłyby spowodować nadmierne zużycie ogumienia kół.

W przypadku linii złożonej z szeregu belek swobodnie podpartych, po ustawieniu dźwigarów na miejscu docelowym następuje montaż wyposażenia, tj. blach dylatacji, koryt kablowych i innych elementów zasilania oraz ewentualnych pomostów ewakuacyjnych. Natomiast jeśli linia jest zaprojektowana jako układ ciągły, przechodzi się do prac związanych z zespoleniem konstrukcji. Do wcześniej wykonanych kanałów kablowych wprowadza się ciągną, które mają połączyć sąsiednie elementy i jednocześnie zwiększyć ich nośność (rys. 5c). Wykonane w ten sposób sprzężenie dodatkowe ma zapewnić wymaganą w trakcie eksploatacji nośność. Po przeprowadzeniu cięgien wykonuje się połączenie prętów zbrojeniowych z sąsiednich belek oraz zbrojenia podpory. Jest to konieczne ze względu na skomplikowany charakter obciążenia węzłów podporowych. Węzły podporowe są bowiem odpowiedzialne za przenoszenie obciążeń z belek na podporę, a obciążenia te powodują reakcję węzłów działające na kierunkach wszystkich stopni swobody. Po zabetonowaniu węzła i uzyskaniu właściwej wytrzymałości betonu na ściskanie dokonuje się sprzężenia łączących cięgien. Taka kolejność ma na celu poprawienie zespolenia pomiędzy prefabrykowaną belką a świeżo wyko-



8. Schemat pokazujący sposób wyważenia belki krzywoliniowej w trakcie przenoszenia



9. Stabilizacja dźwigarów po montażu na podporze [14]



10. Powierzchnia czołowa belki [13]

nany betonem węzła. Połączenie to ma charakter cierny. Naprężenia ściskające wywołane sprężeniem poprawiają nośność połączenia na ścinanie. W tym samym celu stosuje się belki, których powierzchnie czołowe mają zagłębienia (rys. 10). Poza sprężeniem wzdłuż belek dokonuje się poprzecznego sprężenia podpory (zobacz Rys. 5c) [6].

Wykonanie konstrukcji nośnej estakady kończy się wypełnieniem skrajnych węzłów ramy i wykonaniem blach dylatacyjnych (rys. 5d). Projektowanie i wykonanie węzłów końcowych wiąże się z problemami, które nie występują w węzłach pośrednich. Ciężar własny sąsiednich przęseł równomiernie obciąża podpory pośrednie. W skrajnym przęśle wypadkowa ciężaru własnego dźwigarów działa na znacznym mimośrodku i powoduje obrót skrajnego węzła podporowego. Mniejsza powierzchnia oparcia dźwigarów na podporze skrajnej skutkuje mniejszą sztywnością węzła co dodatkowo pogłębia ten efekt. Ponadto nośność połączenia między betonem wykonywanym in-situ a betonem prefabrykowanego dźwigara w skrajnym węzle jest znacznie mniejsza. Wynika to z różnicy w wartości siły ściskającej działającej na powierzchnię styku. Kable sprężające powodują dociskanie dźwigarów sąsiednich przęseł do betonu węzła pośredniego. Połączenie skrajnym węzle ramy nie jest dodatkowo sprężane ponieważ kable sprężające są zakotwione na powierzchni czołowej dźwigara (patrz rys. 11). W trakcie betonowania połączeń belek betonuje się również fragment górnego oczepu podpory [7].

Po wykonaniu końcowych węzłów i sprężeniu poprzecznym skrajnych podpór usuwa się elementy stabilizujące belki i przechodzi do montażu wyposażenia. Montuje się połączenia dylata-

cyjne, które umożliwiają niezakłócony przejazd koła po każdej z powierzchni tocznych. W zależności od typu systemu kolei jednoszynowej i lokalnych wymogów bezpieczeństwa dokonuje się montażu pomostów ewakuacyjnych. Instaluje się koryta kablowe i przeprowadza niezbędne instalacje teletechniczne i służące zasilaniu pociągu.

Podsumowanie

Budowa linii kolei jednoszynowej stanowi proces w znacznym stopniu podobny do realizacji innych konstrukcji mostowych. W artykule przedstawiono przebieg wznoszenia najczęściej realizowanego typu estakady, poczynając od przygotowania prefabrykowanych dźwigarów, a kończąc na montażu elementów wyposażenia. Szczególną uwagę zwrócono na istotne aspekty produkcji i montażu betonowych szyn.

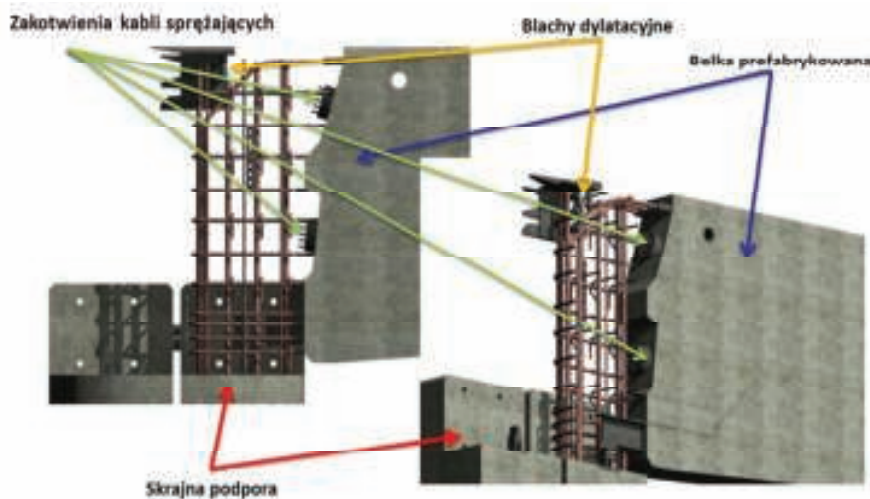
W publikacji scharakteryzowano najistotniejsze problemy procesu prefabrykacji dźwigarów betonowych, tj. uzyskanie odpowiedniej geometrii belki oraz dobranie właściwej mieszanki betonowej. Ponadto opisano pojazd używany

do przewożenia belek, a także sposób, w jaki umieszcza się belki na filarach. Zwrócono uwagę na trudności związane z montażem belek zakrzywionych w planie, a następnie opisano proces uciągania konstrukcji, kładąc nacisk na sposób konstruowania połączeń w węzłach nad filarami.

W rezultacie wnioskować można, że odpowiednie zaplanowanie i przygotowanie procesu budowy linii kolei jednoszynowej jest niezbędne ze względu na jego złożoność. Projektowane trasy mają skomplikowany przebieg zarówno w planie jak i profilu, co skutkuje tym, że prawie każdy ich fragment jest niepowtarzalny. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Banchik C., Achieving construction tolerances for rubber tire mounted monorail concrete beams, Monorail 2013 Conference Reader, Daegu, 2013.
- [2] Beier M., Banchik C., Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural, <http://www.>



11. Wizualizacja zbrojenia skrajnego węzła ramy [2]

- abece.com.br/web/download/pdf/enece2011/Carlos%20Banchik%20-%20Power%20point%20Enece%202011.pdf, 30.08.2016.
- [3] Bednarek D., Gisterek I., Bezpieczeństwo kolei jednoszynowych, Przegląd Komunikacyjny, 2015, nr 9, s. 87-89.
- [4] Worthy Builders Sdn Bhd., Construction Metodology of Monorail Guideway Beams, <https://pl.scribd.com/document/258456229/Construction-Methodology-of-Monorail-Guideway-Beams>, 30.08.2016.
- [5] Yong-Mo A., Daegu metropolitan line 3 monorail is built like this, Monorailex 2013 Conference Reader, Daegu, 2013.
- [6] Bhoot M., Kumar V., Design and construction of Monorail Guideway Beams, Symposium of Indian Institute of Bridge Engineers, Bengaluru, maj 2011, s. 1-14
- [7] Bhoot M., Abrea E., Integral frames for Mumbai Monorail Guideway, Journal of Indian Institute of Structural Engineers, marzec 2012.
- [8] Bednarek D., Bryja D., Jednoszynowe koleje nadziemne jako skuteczny środek transportu publicznego w dużych aglomeracjach miejskich, Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym, Infraszyn 2015, Zakopane, 2015, s. 15-28.
- [9] Nerurkar A. R., Srinath M., Mumbai Monorail India's first monorail corridor, ECC CONCORD, 2015, nr 1, s. 3-12.
- [10] Shmerling R. Z., Structural Condition Assessment Of Prestressed Concrete Transit Guideways, Department of Civil and Environmental Engineering in the College of Engineering and Computer Science at the University of Central Florida, Orlando, Masters Thesis, 2015.
- [11] Bednarek D., Bryja D., Układy konstrukcyjne kolei jednoszynowych, Przegląd Komunikacyjny, 2015, nr 6, s. 28-32.
- [12] www.skyscrapercity.com/showpost.php?p=135008167&postcount=3817, 30.08.2016.
- [13] Mazzi S., www.skyscrapercity.com/showpost.php?p=130825869&postcount=3703, 30.08.2016.
- [14] Ganança E., <http://www.skyscrapercity.com/showpost.php?p=86903640&postcount=1931>, 30.08.2016.
- [15] <http://www.rickmann-uk.com/wp-content/uploads/Monorail.jpg>, 25.03.2017.

REKLAMA



CZAS NA INNOWACYJNE BUDOWNICTWO

Oferujemy profesjonalne usługi z zakresu:

- budowy infrastruktury komunikacyjnej, sieci instalacyjnych i obiektów hydrotechnicznych,
- wykonywania pomiarów geodezyjnych, tworzenia map do celów projektowych, wytyczenia budynku i sieci.



W BUDOWNICTWIE WYBIERZ FIRME,
KTÓREJ MOŻESZ ZAUFAC

Zobacz, co już wybudowaliśmy
i dla kogo pracowaliśmy:
www.gm-roads.pl

Biuro:

ul. Krzemieniecka 47,
54-613 Wrocław

Budownictwo inżynieryjne:

tel.: (71) 300 12 40
e-mail: info@gm-roads.pl

Geodezja:

tel.: 697 660 932
e-mail: m.wozniak@gm-roads.com

Siedziba firmy:

ul. Wrocławska 41, Łażany
58-130 Żarów



REKMA Sp. z o.o.

ul. Szlachecka 7

32-080 Brzezie

tel. +48 12/633 59 22

fax +48 12/397 52 20

www.rekma.pl

- Dylatacje bitumiczne EMD typ Rekma
- Dylatacje mechaniczno-asfaltowe SILENT-JOINT^{RESA}
- Szczeliny dylatacyjne w nawierzchniach betonowych i asfaltowych
- Naprawa spękań nawierzchni
- Specjalistyczne cięcie nawierzchni betonowych i asfaltowych
- Wypełnianie szczelin dylatacyjnych w torowiskach tramwajowych
- Natrysk środkami hydrofobowymi i hydrofilowymi
- Rowkowanie (grooving) nawierzchni
- Specjalistyczne wiercenie otworów pod kotwy i dyble
- Kruszenie nawierzchni betonowych metodą ultradźwiękową – RMI



SPECJALISTYCZNE PRACE DROGOWE



PN-EN ISO 9001:2009