

przegląd komunikacyjny

10
2019
rocznik LXXIV
cena 25,00 zł
w tym 5% VAT



UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU



Dynamika obiektów infrastruktury transportowej

Analiza układów geometrycznych torów tramwajowych w oparciu o metodę bazy sztywnej wagonu. Wpływ sposobu odwzorowania pojazdu szynowego na odpowiedź dynamiczną przęsla mostowego. Analiza kolejowej dostępności komunikacyjnej do uzdrowisk województw dolnośląskiego i małopolskiego. Materiały niebezpieczne w przewozach intermodalnych

eISSN
2544-6037

ISSN
0033-22-32

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 przysyłać 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.transportation.overview.pwr.edu.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 w dyscyplinę inżynieria lądowa i transport podlegają procedurom recenzji merytorycznych zgodnie z wytycznymi MNiSW, co pozwala zaliczyć je, po opublikowaniu, do dorobku naukowego oraz uwzględnić w ewaluacji jakości działalności naukowej (Dz.U. 2019 poz. 392). Liczba uwzględnianych punktów w ewaluacji osiągnięć naukowych wynosi 5.

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”.

Redakcja pisma oferuje objęcie patronatem medialnym konferencji, debat, seminariów itp.

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.transportation.overview.pwr.edu.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 Zarząd Krajowy SITK w Warszawie.

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.

Osoba kontaktowa w tej sprawie:

Hanna Szary

hanna.szary@sitkrp.org.pl

ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa, tel.: (22) 827 02 58, 506 116 966

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: Most nad rzeką Radunią w Gdańsku. Źródło: Marek Szafranski

Drodzy Czytelnicy!

Październikowy numer Przeglądu Komunikacyjnego łączy tematyka transportu szynowego, aczkolwiek w różnorodnych aspektach. W pierwszym artykule opisano problemy występujące podczas pokonywania łuków tramwajowych, charakteryzujące się występowaniem nieprzyjemnych szarpnięć, które powstają w wyniku braku analiz parametrów kinematycznych na łukach oraz zmiany schematu konstrukcyjnego tramwajów. Podano propozycję metodyki obliczeniowej, umożliwiającej ocenę najważniejszych parametrów kinematycznych, wykorzystującą stosowaną na kolei metodę bazy sztywnej wagonu. W konkluzji Autor uważa, że należy odchodzić od stosowania uproszczonych układów geometrycznych, bez krzywych przejściowych i z rampami przechylkowymi zlokalizowanymi na odcinkach prostych przed łukami. Tematem drugiej pozycji jest wpływ sposobu odwzorowania pojazdu szynowego na odpowiedź dynamiczną przęsła mostowego. Przedstawiono rezultaty analiz numerycznych oraz badań eksploatacyjnych dwóch przęseł mostowych poddanych działaniu ruchomego pojazdu szynowego. Pojazd odwzorowano za pomocą czterech modeli uproszczonych. Analizy numeryczne wykonano przy wykorzystaniu MES. Stwierdzono między innymi, że sposób odwzorowania pojazdu szynowego w analizach interakcji pojazd-przęsło wpływa istotnie na wyniki przyspieszeń przęsła mostowego, natomiast nie wpływa istotnie na wartości globalnych przemieszczeń przęsła.

Kolejny artykuł dotyczy dostępności kolejowej do uzdrowisk dwóch województw południowej części Polski: Dolnośląskiego i Małopolskiego. Autor przeprowadził ankiety w uzdrowiskach celem identyfikacji cech, które w oczach pacjentów są czynnikami rozwojowymi kolei. Przeanalizowano również treść rozkładów kolejowych pod kątem czasu podróży do uzdrowiska i częstotliwości połączeń. Opracowano autorską typologię dostępności kolejowej do uzdrowisk. Wyróżniono cztery rodzaje uzdrowisk: sąsiedzkiej łączności, nikłej osiągalności, niewykorzystanej szansy i ekspansji turystycznej. Podobne badania w oparciu o zaproponowaną typologię można przeprowadzić w stosunku do dostępności komunikacyjnej za pomocą transportu drogowego. Numer zamyka artykuł prezentujący problematykę przewozu materiałów niebezpiecznych w przewozach intermodalnych. Skupiono uwagę na jednostki intermodalne używane do przewozów masowych towarów płynnych różnymi rodzajami transportu uważane w większości za materiały niebezpieczne. Następnie omówiono stan terminali intermodalnych w Polsce oraz odniesiono się do stanu prawnego i przepisów obowiązujących. Wskazano aktualne trendy i perspektywy w rozwoju przewozu materiałów niebezpiecznych w przewozach intermodalnych. Między innymi należy spodziewać się większego zapotrzebowania na paliwa gazowe.

Życzę ciekawej lektury:

Maciej Kruszyna
(z-ca red. nac. PK)

W numerze

Analiza układów geometrycznych torów tramwajowych w oparciu o metodę bazy sztywnej wagonu

Jacek Szmagliński 2

Wpływ sposobu odwzorowania pojazdu szynowego na odpowiedź dynamiczną przęsła mostowego

Marek Szafranski 9

Analiza kolejowej dostępności komunikacyjnej do uzdrowisk województw dolnośląskiego i małopolskiego

Michał Grzegorek 15

Materiały niebezpieczne w przewozach intermodalnych

Henryk Zielaskiewicz 25

Wydawca:

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników
Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej
00-043 Warszawa, ul. Czackiego 3/5
www.sitkrp.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@przeglاد.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), Andrzej S. Nowak (Auburn University), Tomasz Nowakowski (Wrocław), Victor V. Rybkin (Dniepropietrowsk), Marek Sitarz (Katowice), Wiesław Starowicz (Kraków), Hans-Christoph Thiel (Cottbus), Tomasz Siwowski (Rzeszów), Jiri Straský (Brno), Andrea Zuzulova (Bratysława)

Rada programowa:

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

Deklaracja o wersji pierwotnej czasopisma

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

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:

<http://www.transportation.overview.pwr.edu.pl>

Obecna Redakcja dysponuje numerami archiwalnymi poczynając od 4/2010.

Numer 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:

HARDY Design, 52-131 Wrocław, ul. Buforowa 34a
Przemysław Wolczuk, przemo@dodo.pl

Reklama:

Dział Marketingu: sitk.baza@gmail.com

Nakład: 800 egz.

Analiza układów geometrycznych torów tramwajowych w oparciu o metodę bazy sztywnej wagonu

Analysis of geometrical layout of tram tracks based on the railway methods

Jacek Szmagliński

Dr inż.

Politechnika Gdańska

jacsmag@pg.edu.pl

Streszczenie: W artykule opisano problemy występujące podczas pokonywania łuków tramwajowych, charakteryzujące się występowaniem nieprzyjemnych szarpnięć. Określono, że szarpnięcia powstają w wyniku braku analiz parametrów kinematycznych na łukach oraz zmiany schematu konstrukcyjnego tramwajów. Podano propozycję metodyki obliczeniowej, umożliwiającej ocenę najważniejszych parametrów kinematycznych, wykorzystującą stosowaną na kolei metodę bazy sztywnej wagonu. Określono parametry bazy sztywnej, związane z konstrukcją konkretnego wieloczlónowego tramwaju. Wykonano obliczenia parametrów kinematycznych dla typowych układów geometrycznych, zgodnych z Wytocznymi.

Słowa kluczowe: *Tory tramwajowe; kinematyka ruchu; komfort i bezpieczeństwo*

Abstract: The paper describes problems occurring during travelling by trams over curves. It was determined that strong jerks occur as a result of the lack of analysis of kinematic parameters on curves and changes in the construction scheme of trams. A proposal for a computational methodology has been given. Calculations of kinematic parameters were carried out for typical geometric layouts in accordance with the Polish Guidelines.

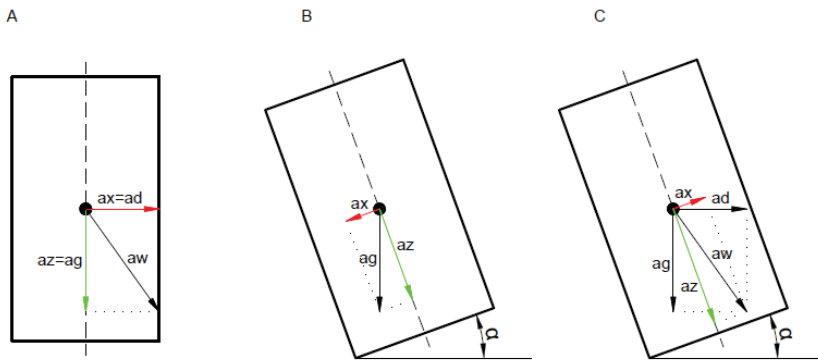
Keywords: *Tram rails; motion kinematics; comfort and safety*

W ostatnich latach zaobserwować można w Polsce przyspieszony proces wymiany wyeksploatowanego taboru tramwajowego na współczesne, niskopodłogowe konstrukcje. Nie zawsze kupowane są wagony nowe, bardzo często są to pojazdy używane, fabrycznie niskopodłogowe lub przebudowywane z wysokopodłogowych w ramach wykonywanych modernizacji. Najwięcej niskopodłogowych tramwajów kursujących obecnie w Polsce wyprodukowano według schematu konstrukcyjnego, rozwijanego od czasu opracowania tramwaju Siemens Combino [14, 15] (50,4% na koniec 2018 r., spadek z 54,3 % na koniec 2016 r.). Dodatkowo, w nowych zamówieniach (na początek 2019 r.) takie konstrukcje stanowią aż 71,2 %. Niewątpliwym prym pod względem tramwajów niskopodłogowych o opisywanej konstrukcji wiedzie Warszawa, zarówno pod względem liczby takich tramwajów (281) jak również ich udziału we flocie niskopodłogowej (90,7%). W przypadku producentów

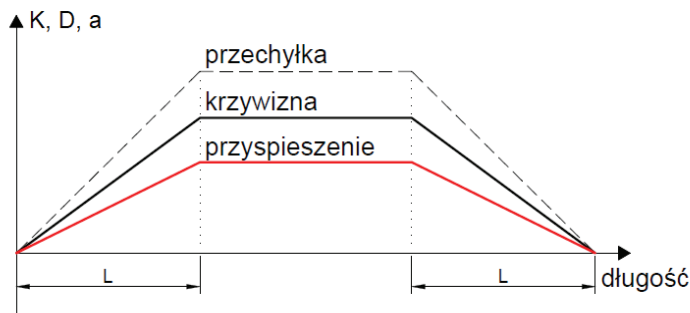
najczęściej spotykana jest Pesa ze swoimi tramwajami Tramicus, Swing oraz Jazz które stanowią 78,2% tramwajów o opisywanej powyżej konstrukcji w Polsce. Tramwaje takie składają się z nieparzystej liczby członów (3, 5, 7), z których skrajne i środkowe człony oparte są sztywno na wózku. Człony parzyste oparte są z obu stron na członach nieparzystych. Taka konstrukcja pozwoliła uzyskać (przy niewielkich kosztach zakupu i eksploatacyjnych) pojazdy w pełni niskopodłogowe, co niewątpliwie przyczyniło się do ich zdecydowanej przewagi nad innymi konstrukcjami.

Równolegle z zakupami nowych pojazdów, wykonuje się remonty i modernizacje istniejących dróg tramwajowych. Dzięki tym działaniom likwiduje się lokalne ograniczenia prędkości, wynikające w przeszłości ze złego stanu nawierzchni. Pozwala to na rozwijanie przez tramwaje pełnych prędkości na odcinkach międzyprzystankowych a co za tym idzie, skrócenie czasów jazdy.

Jednakże zauważono, że pomimo ulepszania zarówno taboru, jak i drogi szynowej, pasażerowie skarżą się, że w nowych tramwajach odczuwają zdecydowanie większe szarpnięcia podczas przejazdu przez łuki. Najczęściej tłumaczy się, że tramwaje o konstrukcji wieloczlónowej na opartej na sztywnych wózkach są z założenia pojazdami mało komfortowymi i pasażerowie muszą się przyzwyczaić do niedogodności związanych z podróżą. Tymczasem analogiczne tramwaje z powodzeniem kursują po torach we Francji, gdzie są uznawane za bardzo komfortowy środek transportu. Stawia to przesłankę do określenia tezy, że przyczyną zaburzeń komfortu w czasie podróżowania niskopodłogowymi tramwajami w Polsce jest niedopasowanie metod projektowania infrastruktury torowej do współczesnych pojazdów tramwajowych. Oznacza to, że niezbędnym jest opracowanie metod umożliwiających ocenę rzeczywistych warunków kinematycznych występujących na układach geome-



1. Idea obliczania przyspieszeń wypadkowych działających na pasażera



2. Schemat zmienności parametrów na łuku z krzywymi przejściowymi

trycznych oraz propozycji dostosowania ich do zmieniających się wagonów i zwiększających się prędkości jazdy.

W tym celu wykonano analizę typowych układów geometrycznych, występujących na torach tramwajowych w Polsce, przy zastosowaniu teorii wykorzystywanej na kolei.

Metoda bazy sztywnej w kolejnictwie

W czasie analiz kolejowych układów geometrycznych, powszechnie stosowana jest metoda analizy parametrów kinematycznych zakładająca modelowanie pojazdu przy pomocy punktu materialnego [3, 9, 10]. Zakłada się, że punkt materialny znajdować może się w jednym z trzech stanów:

- poruszanie się ruchem jednostajnym prostoliniowym (model ruchu na odcinku prostym),
- poruszanie się ruchem jednostajnym po stałej krzywiznie (model ruchu po łuku),
- poruszanie się ruchem jednostajnym po zmiennej krzywiznie (model ruchu po krzywej przejściowej).

Dla każdego ze stanów określa się

wartości przyspieszeń działających w płaszczyźnie poziomej, prostopadłe do osi toru. Dla ruchu punktu materialnego znajdującego się w łuku, wartość przyspieszenia poprzecznego wynosi:

$$a = \frac{V^2}{12,96 \cdot R} \quad (1)$$

Przyrost przyspieszenia w czasie, na długości krzywej przejściowej, o liniowym przyroście krzywizny, łączącej prostą z łukiem, określa się na podstawie zależności:

$$\frac{da}{dt} = \frac{V^3}{46,656 \cdot R \cdot L} \quad (2)$$

Podstawowym odejściem od traktowania pojazdu jako punktu materialnego jest schemat poruszania się pociągu po torze z przechyłką. W takim przypadku to pasażer traktowany jest jako punkt materialny. Wartość przyspieszenia (a_x), działająca na pasażera znajdującego się w pojeździe, zależy od przechylenia pudła wagonu na przechyłce (α) oraz od wartości przyspieszenia ziemskiego (a_g) oraz dośrodkowego (a_d , obliczonego jak dla modelu punktu materialnego). Na rysunku 1 przedstawiono stany w jakich znajdować się może poruszający się pojazd. Schemat A przedstawia po-

jazd poruszający się po łuku bez przechyłki, schemat B pojazd poruszający się po odcinku prostym z przechyłką, schemat C ruch po łuku z przechyłką.

Przyspieszenie a_x określa się miarą przyspieszenia niezrównoważonego i jego wartość oblicza się według zależności:

$$a_x = \frac{V^2}{12,96 \cdot R} - \frac{g \cdot D}{s} \quad (3)$$

Zależność pomiędzy krzywizną, przechyłką i przyspieszeniem na łuku z krzywymi przejściowymi pokazano na rysunku 2. Wartość przyrostu przyspieszenia niezrównoważonego w czasie, na długości krzywej przejściowej, o liniowym przyroście krzywizny, łączącej prostą z łukiem, z rampą przechyłkową o rzędnych rosnących zgodnie z rosnącą liniowo krzywizną opisuje się następującym wzorem:

$$\frac{da_x}{dt} = \frac{V \cdot \left(\frac{V^2}{12,96 \cdot R} - \frac{g \cdot D}{s} \right)}{3,6 \cdot L} \quad (4)$$

Drugi powód odejścia od traktowania pojazdu jako punktu materialnego ma miejsce w czasie analiz układów składających się ze stycznych połączeń łuków z prostymi (połączenie bez krzywej przejściowej). W kolejnictwie takie przypadki najczęściej występują na rozjazdach i układach torów stacyjnych, gdzie łuki wykonuje się bez przechyłki. Zakłada się, że przyrost przyspieszenia wystąpi na długości pomiędzy czopami skrótu wagonu (stanowiącą tak zwaną bazę sztywną wagonu) [3, 10]. Dla typowego wagonu pasażerskiego długość bazy sztywnej wynosi 20 m. Wartość przyrostu przyspieszenia w czasie, na długości bazy sztywnej wagonu opisuje się następującym wzorem:

$$\frac{da}{dt} = \frac{V^3}{46,656 \cdot R \cdot L_b} \quad (5)$$

Oprócz przyspieszeń, na długości ramp przechyłkowych określa się przyrost przechyłki w czasie (prędkość podnoszenia się koła po szynie) i przyrost przechyłki na długości (stromość rampy przechyłkowej). Wartości, dla prostoliniowej rampy przechyłkowej, o długości równej długości krzywej przejściowej, oblicza się na podstawie następujących zależności:

$$\frac{dD}{dt} = \frac{V \cdot D}{3,6 \cdot L} \quad (6)$$

$$\frac{dD}{ds} = \frac{D}{L} \quad (7)$$

Obliczone wartości porównuje się następnie z wartościami dopuszczalnymi i na tej podstawie określa się czy projekt został wykonany poprawnie. Żeby uznać układ geometryczny za spełniający założenia, prawdziwe muszą być następujące zależności:

$$-a_t \leq a_x \leq a_{dop} \quad (8)$$

$$\left| \frac{da_x}{dt} \right| \leq \left(\frac{da}{dt} \right)_{dop} \quad (9)$$

$$\frac{dD}{dt} \leq \left(\frac{dD}{dt} \right)_{dop} \quad (10)$$

$$\frac{dD}{ds} \leq \left(\frac{dD}{ds} \right)_{dop} \quad (11)$$

Z uwagi na znaczące różnice w budowie wagonów tramwajowych i kolejowych oraz różne szerokości torów zdecydowano się na analizę parametrów kinematycznych metodą przyspieszeń. Wykorzystanie takiego podejścia w przeciwieństwie do nieodmiaru przechyłki ułatwia znacząco analizę, gdyż nie ma konieczności tworzenia dużej liczby wariantów parametrów dopuszczalnych. Szczególnie dotyczy to dopuszczalnej wartości nagłej zmiany nieodmiaru przechyłki, która to wartość musi odzwierciedlać zarówno parametry toru i taboru.

Układy geometryczne występujące na drogach tramwajowych

Obecnie w Polsce drogi tramwajowe projektuje się w oparciu o zapisy występujące w Rozporządzeniu [4] oraz w Wytycznych Technicznych [7]. Rozporządzenie dotyczy projektowania torów tramwajowych usytuowanych w szerokości pasa drogowego i podaje wyłącznie parametry graniczne dla promieni łuków poziomych, pionowych oraz pochyłeń podłużnych. Nie ma wymogu stosowania analiz parametrów kinematycznych jak również nie określono parametrów granicznych. Stanowi to znaczące utrud-

nienie oceny jakości wykonanego projektu, w odniesieniu do komfortu i bezpieczeństwa jazdy jak również do trwałości eksploatacyjnej nawierzchni szynowej. Z tego powodu zarządcy infrastruktury zalecają projektantom stosowanie zapisów zawartych w Wytycznych Technicznych. Dokument ten stanowi, nieobowiązkowe do stosowania, rozszerzenie zapisów występujących w Rozporządzeniu. Zaleca się w nim, stosowanie łuków o większym promieniu (na szlaku 150 m zamiast minimalnie 50 m), co miało umożliwić przejazd tramwajów bez zmniejszania prędkości na łukach. Jednocześnie nadal nie wymaga się analiz parametrów kinematycznych, projektant może skorzystać z tabeli w której dla konkretnych wartości promienia łuku i prędkości jazdy, określono wartości przechyłki. Również projektowanie połączeń prostych z łukami zostało bardzo uproszczone. Dla łuków o promieniu ponad 100 m nie wymaga się projektowania krzywych przejściowych, a dla łuków o mniejszych promieniach projektowania maksymalnie uproszczono. Najczęściej stosowana jest krzywa przejściowa w postaci stycznych do siebie łuków o promieniach stopniowo malejących.

Alternatywnie, wytyczne zalecają projektowania krzywych przejściowych w postaci paraboli trzeciego stopnia, opisanej równaniem:

$$y = \frac{x^3}{6 \cdot c} \quad (12)$$

gdzie c jest parametrem stałym o wartości 250-1000, a długość krzywej przejściowej oblicza się z zależności:

$$L = \frac{c}{R} \quad (13)$$

Wyraźnie widać, że długość krzywej przejściowej, określana według przedstawionej w Wytycznych metody, nie zależy od parametrów kinematycznych, a wyłącznie od promienia łuku oraz uznaniowo dobranego parametru c (w Wytycznych nie określono na jakiej podstawie należy dobierać wartość tego parametru).

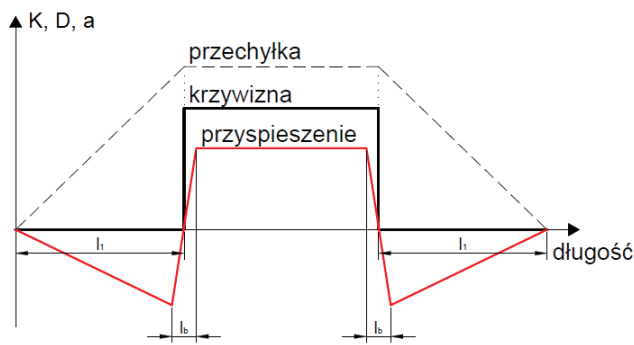
Całkowicie osobno przyjęto metodę projektowania ramp przechyłkowych, dla których jedynym analizo-

wanym parametrem jest pochylenie rampy. Nie muszą być one w żadne sposób związane z długością krzywych przejściowych ani z prędkości poruszających się po torze tramwajów. Nieco inne podejście pokazano w Tymczasowych Wytycznych [8], które zostały opracowane na początku lat osiemdziesiątych. W dokumencie podano zalecenie, że krzywa przejściowa powinna być powiązana z długością rampy przechyłkowej. Długość rampy obliczana była analogicznie jak w przypadku kolejowym, jednakże nie podano wartości dopuszczalnej prędkości przyrostu przechyłki w czasie, a jedynie gotowy wzór na długość rampy:

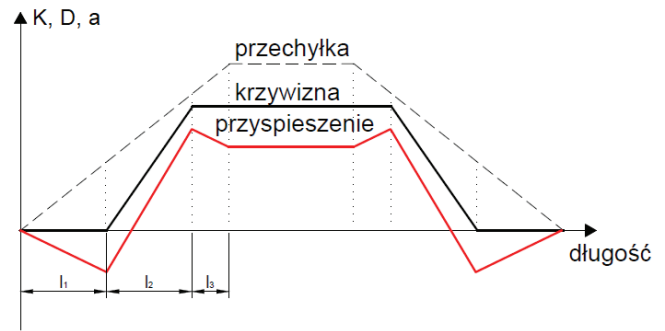
$$L = 10 \cdot V \cdot D \quad (14)$$

Występujący w dokumencie brak wymogu oceny prędkości przyrostu przyspieszenia w czasie, może skłaniać do stosowania układów bez krzywych przejściowych w przypadku łuków bez przechyłki. Tymczasowe wytyczne nigdy nie weszły jednak do powszechnego stosowania, z uwagi na zatrzymanie inwestycji tramwajowych w kryzysowych latach osiemdziesiątych. Obecnie bardzo rzadko zarządcy odwołują się do zapisów z tego dokumentu, z uwagi na utrudnioną dostępność.

Wyraźnie widać, że pomimo iż tramwaje są częścią grupy pojazdów szynowych, podejście do projektowania dróg tramwajowych jest wyraźnie inne niż w przypadku kolei. Nieodpowiednio sformułowane założenia projektowe, prowadzą do powszechnego stosowania układów uproszczonych, bez krzywych przejściowych oraz z rampami przechyłkowymi zlokalizowanymi na odcinkach prostych. Stanowią one jedno ze źródeł powszechnego w Polsce przekonania, że tramwaje są niekomfortowym środkiem lokomocji, gdyż w czasie pokonywania łuków pasażerowie odczuwają nieprzyjemne szarpnięcia.



3. Schemat zmienności parametrów na łuku z przechyłką bez krzywych przejściowych



4. Schemat zmienności parametrów na łuku z przechyłką i krzywymi przejściowymi o długości nie związanej z długością rampy przechyłkowej

Obliczenia parametrów kinematycznych na układach tramwajowych

W czasie prowadzonych na torach tramwajowych badań [5, 6, 11] określono, że najpowszechniej występującym układem geometrycznym w Gdańsku, w miejscu zmiany kierunku trasy, jest układ bez krzywych przejściowych (ponad 75 % przypadków), bez przechyłki na łuku (analogiczny do występującego na torach kolejowych), lub z przechyłką (typowy dla torów tramwajowych). Na rysunku 3 pokazano analizę przebiegu zmienności przyspieszenia, przyjmując zasadę określania przyrostów przyspieszenia zgodnie z metodą bazy sztywnej wagonu.

Zachowanie wymaganego, wysokiego komfortu jazdy na takim układzie geometrycznym wymaga, aby spełnione były zależności przedstawione we wzorach (8-11). Zależności dotyczące przyrostów przechyłki zależą od prędkości i od długości rampy przechyłkowej, tak więc są analogiczne jak w przypadku kolejowym. Zależność dotycząca przyrostu przyspieszenia nie zrównoważonego przedstawia się odmiennie. Należy sprawdzić wartość przyrostu przyspieszenia w dwóch przedziałach, na długości rampy przechyłkowej oraz w miejscu połączenia prostej z łukiem. Na rampie przechyłkowej, przyspieszenie wynikać będzie z występowania ruchu po odcinku prostym z przechyłką (zgodnie z rysunkiem 1 B) i skierowane będzie przeciwnie do kierunku działania przyspieszenia na łuku kołowym (w przypadku nie występo-

wania nadmiaru przechyłki na łuku). Z tego powodu przyrost przyspieszenia w czasie na długości rampy określa się następującą zależnością:

$$\left(\frac{da_x}{dt}\right)_r = \frac{V \cdot g \cdot D}{3,6 \cdot s \cdot L_r} \leq \left(\frac{da}{dt}\right)_{dop} \quad (15)$$

A przyrost przyspieszenia na połączeniu prostej z łukiem, na długości bazy sztywnej wagonu:

$$\begin{aligned} \left(\frac{da_x}{dt}\right)_b &= \frac{V \cdot \Delta a_x}{3,6 \cdot L_b} = \frac{V \cdot \left(\frac{V^2}{12,96 \cdot R} - \frac{g \cdot D}{s} + \frac{g \cdot D}{s}\right)}{3,6 \cdot L_b} \\ &= \frac{V^3}{46,656 \cdot R \cdot L_b} \leq \left(\frac{da}{dt}\right)_{dop} \quad (16) \end{aligned}$$

Zaprezentowane powyżej przekształcenie pokazuje, że wartość przyrostu przyspieszenia w czasie, na długości bazy sztywnej wagonu, przy styczonym połączeniu prostej z łukiem, nie zależy od wartości przechyłki na łuku.

Wśród układów z krzywymi przejściowymi, występują układy w których długości ramp przechyłkowych są powiązane z długościami krzywych przejściowych (układ zgodny z rozwiązaniami kolejowymi, rys. 2) oraz układy z krzywymi przejściowymi niezwiązanymi z rampami przechyłkowymi. Układ może być składać się z krzywej przejściowej w postaci paraboli trzeciego stopnia i dłuższej od niej, prostoliniowej rampy przechyłkowej, zachodzącej zarówno na odcinek prosty jak i na łuk kołowy. Zależność pomiędzy przechyłką, krzywizną i przyspieszeniem na takim układzie pokazano na rysunku 4.

Określono ogólne zależności pozwalające na obliczenie parametrów kinematycznych. Maksymalna wartość przyspieszenia dośrodkowego, na od-

cinku prostym z przechyłką wynosi:

$$a_x = \frac{g \cdot D \cdot L_1}{s \cdot (L_1 + L_2 + L_3)} \leq a_t \quad (17)$$

Maksymalna wartość nie zrównoważonego przyspieszenia odśrodkowego wynosi:

$$a_x = \frac{V^2}{12,96 \cdot R} - \frac{g \cdot D \cdot (L_1 + L_2)}{s \cdot (L_1 + L_2 + L_3)} \leq a_{dop} \quad (18)$$

Na długości rampy przechyłkowej zachodzącej na odcinek prosty i na łuk (L_1 oraz L_3), występuje identyczna wartość przyrostu przyspieszenia w czasie, określona zależnością:

$$\left(\frac{da_x}{dt}\right)_r = \frac{V \cdot g \cdot D}{3,6 \cdot s \cdot (L_1 + L_2 + L_3)} \leq \left(\frac{da}{dt}\right)_{dop} \quad (19)$$

Na długości krzywej przejściowej występuje przyrost przyspieszenia w czasie o wartości:

$$\left(\frac{da_x}{dt}\right)_{kp} = \frac{V^3}{46,656 \cdot R \cdot L_2} - \frac{V \cdot g \cdot D}{3,6 \cdot s \cdot (L_1 + L_2 + L_3)} \leq \left(\frac{da}{dt}\right)_{dop} \quad (20)$$

Przedstawione powyżej zależności są uniwersalne i można je stosować do dowolnych układów, w których długości L_1 oraz L_3 mogą być równe zero. Drugi przypadek łuku z krzywymi przejściowymi o długościach niezwiązanych z długością ramp przechyłkowych występuje w przypadku krzywej przejściowej zaprojektowanej przy pomocy serii łuków o promieniach stopniowo malejących. Zależność pomiędzy przechyłką, krzywizną i przyspieszeniem na takim układzie pokazano na rysunku 5.

Zauważyć należy, że tak skonstruowany układ składać się może ze znacznie większej liczby łuków przejściowych niż zaprezentowany w polskich Wytycznych. Przykładowo w

wytycznych australijskich, występuje koszowa krzywa przejściowa, składająca się z aż 11 łuków przejściowych o stopniowo malejących promieniach [19]. Określono, że możliwe jest zapisanie ogólnych zależności umożliwiających obliczenie wartości przyspieszeń w poszczególnych punktach, oraz przyrostów przyspieszeń na poszczególnych odcinkach. Wyróżniono dwa odcinki poddawane analizie, odcinek na którym następuje stopniowy spadek wartości przyspieszenia z uwagi na przyrost przechyłki przy stałym promieniu łuku, oraz odcinek na który następuje skokowy przyrost przyspieszenia (baza sztywna wagonu). Wartość minimalna przyspieszenia niezrównoważonego na każdym z przedziałów wynosi:

$$-a_t \leq a_x = \frac{V^2}{12,96 \cdot R_{(k-1)}} - \frac{g \cdot D \cdot \sum_{i=1}^k L_{(i)}}{s \cdot \sum_{i=1}^n L_{(i)}} \leq a_p \quad (21)$$

Wartość maksymalna przyspieszenia niezrównoważonego na każdym z przedziałów wynosi:

$$-a_t \leq a_x = \frac{V^2}{12,96 \cdot R_{(k)}} - \frac{g \cdot D \cdot \sum_{i=1}^k L_{(i)}}{s \cdot \sum_{i=1}^n L_{(i)}} \leq a_p \quad (22)$$

Przyrost przyspieszenia w czasie, na długości łuków przejściowych oraz na długości rampy przechyłkowej na odcinku prostym wynosi:

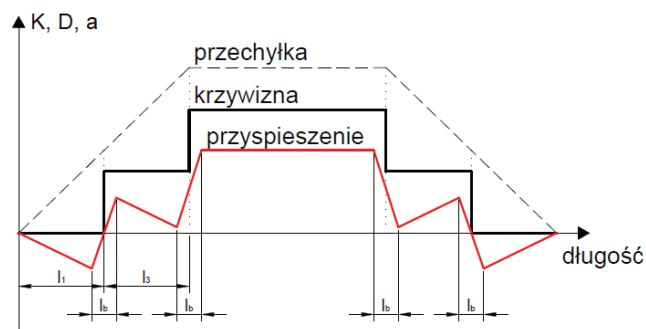
$$\left(\frac{da_x}{dt}\right)_r = \frac{V \cdot g \cdot D}{3,6 \cdot s \cdot \sum_{i=1}^n L_{(i)}} \leq \left(\frac{da}{dt}\right)_{dop} \quad (23)$$

Przyrost przyspieszenia na długości bazy sztywnej wagonu, na stycznym połączeniu między odcinkami o różnych krzywiznach wynosi:

$$\left(\frac{da_x}{dt}\right)_b = \frac{V^3}{46,656 \cdot R_{(k+1)} \cdot L_b} - \frac{V^3}{46,656 \cdot R_{(k)} \cdot L_b} \leq \left(\frac{da}{dt}\right)_{dop} \quad (24)$$

Określenie długości bazy sztywnej w wielocłonowych tramwajach niskopodłogowych

Przedstawione w poprzednim rozdziale zależności dotyczące przyrostu przyspieszenia niezrównoważonego wynikają bezpośrednio z przyjętej w



5. Schemat zmienności parametrów na łuku z przechyłką i krzywymi przejściowymi w postaci łuków o promieniach stopniowo malejących

kolejnictwie metodologii obliczeń. Zgodnie z przepisami kolejowymi [3] długość bazy sztywnej wagonu L_b , przyjmuje się jako odległość pomiędzy czopami skrótu wózków wagonu. Takie podejście może zostać zastosowane bezpośrednio do analiz układów geometrycznych po których poruszają się wielowagonowe pociągi tramwajowe złożone z wagonów opartych na wózkach obrotowych (np. 105N i pochodne). W takich pojazdach konstrukcja wagonu pozwala na jednoznaczne określenie takiej odległości, która wynosi 6 m. Tymczasem Wymagania Techniczne Tramwajów Warszawskich określają długość obliczeniowej bazy sztywnej na 10 m [17]. W pracy [16] określono, że dla bazy sztywnej długości 6 m możliwe jest styczne łączenie prostych z łukami, w sytuacji jeżeli dla danej prędkości przejazdu promień łuku jest nie mniejszy niż podano w tabeli 1. Wartości przedstawiono dla przyrostu przyspieszenia 1 m/s³. Jest to maksymalna dopuszczalna wartość dla przepisów kolejowych [3] jak również dla tramwajowych w Polsce i na świecie [1, 17, 18]. Projektowanie infrastruktury z założeniem maksymalnych wartości przyrostów przyspieszeń powoduje jednak wystąpienie odczuwalnych przez pasażerów szarpnięć, dlatego zaleca się przyjmowanie wartości mniejszych niż 0,5 m/s³.

Wyraźnie widać, że komfortowy przejazd z prędkościami na jakie pozwalają warunki konstrukcyjne tramwaju typu 105N, jest wyraźnie utrudnione przy typowych dla dróg tramwajowych niewielkich promieniach łuków i braku krzywych przejściowych. Wagony 105N i pochodne są

jednak konstrukcjami wysokopodłogowymi i obecnie już przestarzałymi, które są sukcesywnie wymieniane na nowoczesne niskopodłogowe tramwaje wielocłonowe. Współczesne pojazdy charakteryzują się zdecydowanie inną budową, nieprzypominającą typowych pojazdów kolejowych. Pierwszy tramwaj niskopodłogowy, Alstom TFS-1, składał się z trzech członów opartych na obrotowych wózkach [14]. Stworzony został na bazie tramwaju wysokopodłogowego, przegubowego, z tocznym wózkiem jacobsa. Określenie długości bazy sztywnej dla takiego tramwaju nie stanowi większego problemu i wynosi w przybliżeniu 6 m (tak jak dla wagonu 105N). Obecnie jednak odchodzi się od takich konstrukcji (z uwagi na brak niskiej podłogi na całej długości pociągu) i produkowane są tramwaje o całkowicie odmiennej konstrukcji. Najczęściej obecnie kupowanymi tramwajami w Polsce są wagony o konstrukcji wielocłonowej wzorowanej na modułowym tramwaju Combino [15]. Składają się one z dwóch typów członów: człony oparte na sztywnym wózku oraz człony wiszące pomiędzy członami opartymi. Tramwaje mogą być w całości niskopodłogowe, bez stopni poprzecznych oraz pochylni (jak na przykład Pesa Jazz), są również stosunkowo nieskomplikowane i niedrogie. Zdecydowana trudność eksploatacyjna tych pojazdów wynika z zastosowania sztywnych wózków (bez

Tab. 1. Minimalne wartości promieni łuków pozwalające na połączenie z prostą bez krzywej przejściowej dla $L_b=6$ m

	V = 40 km/h	V = 50 km/h	V = 60 km/h	V = 47 km/h
R _m	300 m	500	800	1400

Tab. 2. Maksymalna wartość przyrostu przyspieszenia z uwagi na prędkość i promień łuku

V[km/h] R[m]	10	15	20	25	30	40	50	60	70
20	0,161	0,504	1,232						
25	0,107	0,323	0,804						
30	0,071	0,202	0,520	1,048					
35	0,054	0,181	0,429	0,701					
40	0,054	0,181	0,429	0,701	1,284				
50	0,054	0,181	0,429	0,772	1,365				
75	0,036	0,121	0,286	0,558	0,883	2,178			
100	0,054	0,181	0,429	0,837	1,369	3,322			
150	0,036	0,121	0,286	0,558	0,965	2,182	4,331	7,555	
200	0,027	0,090	0,214	0,419	0,723	1,715	3,219	5,624	9,000
300	0,018	0,060	0,143	0,279	0,482	1,143	2,233	3,702	5,944
400	0,013	0,045	0,107	0,209	0,362	0,857	1,674	2,894	4,413
500	0,011	0,036	0,086	0,167	0,289	0,686	1,340	2,315	3,676
750	0,007	0,024	0,057	0,112	0,193	0,457	0,893	1,543	2,451
1000	0,005	0,018	0,043	0,084	0,145	0,343	0,670	1,157	1,838
2000	0,003	0,009	0,021	0,042	0,072	0,171	0,335	0,579	0,919

możliwości swobodnego obrotu). W przypadku poruszania się pojazdu po krzywiźnie, wraz z obrotem wózka, obraca się cały człon oparty.

W tramwaju wieloczlónowym, wyróżnić należy dwie strefy o odmiennych długościach baz sztywnych:

- Pierwsza strefa znajduje się w członach opartych, charakteryzująca się gwałtownymi szarpnięciami. Obrót członu opartego jest minimalnie zmniejszany przez odsprężynowanie względem wózka, jednak przy tych samych warunkach eksploatacyjnych (prędkość, promień, długość i typ krzywej przejściowej) pasażerowie odczuwają znacząco większe szarpnięcia niż w przypadku podróży tramwajem z obrotowymi wózkami. W tych członach brakuje możliwości określenia długości bazy sztywnej (według zasad kolejowych). W literaturze spotkać można analizy wskazujące, że w przypadku wózków sztywnych długość bazy sztywnej oblicza się na podstawie rozstawu osi w wózku (1,9 m) [11]. Z uwagi na to, że wózki w analizowanych tramwajach nie są całkowicie sztywne i posiadają możliwość niewielkiego obrotu, obserwowane wartości przyrostów przyspieszeń były mniejsze niż wynikałoby z obliczeń. Analiza porównawcza (przy użyciu akcele-

rometrów MEMS w tramwaju Pesa Swing oraz N8C), pozwoliły na określenie że obliczeniowa baza sztywna dla takiej strefy wynosi około 4 m [13].

- Druga strefa znajduje się w członach wiszących, gdzie nie odczuwa się zwiększonych szarpnięć w porównaniu z przejazdem tramwajem klasycznym. Wynika to z faktu, że baza sztywna dla tych członów odnosi się do odległości pomiędzy środkami przejść Hubnera (przeguby z możliwością ruchu w dwóch płaszczyznach) i jest często dłuższa niż w przypadku wagonów 105N.

Obliczenia parametrów kinematycznych dla tramwajów niskopodłogowych

Obecnie trwa w Polsce intensywny proces wymiany taboru. Miasta przechodzą z eksploatacji pojazdów wagonowych, na wieloczlónowe tramwaje niskopodłogowe. Najczęściej planuje się zachowanie parametrów eksploatacyjnych (bądź ich polepszenie z uwagi na zwiększenie prędkości) na niezmiennym układzie geometrycznym torów, dostosowanych do kursowania tramwajów na wózkach obrotowych. Jak pokazano wcześniej, długości baz sztywnych (a co za tym idzie przyrosty przyspieszeń) różnią się

znacząco pomiędzy współczesnymi a klasycznymi konstrukcjami. Z tego powodu, po wprowadzeniu nowych tramwajów, bardzo często słyszalne są opinie pasażerów, że pojazdy są niewątpliwie wygodne, ale mocno szarpią podczas jazdy. Jednocześnie pasażerowie nie zdając sobie sprawy ze zmienności warunków podróżowania w różnych częściach tramwaju, najczęściej o zmniejszony komfort jazdy obwiniają motorniczego. Z tego powodu postanowiono dokonać obliczeń przyrostów przyspieszeń na układach zaprojektowanych zgodnie z Wytycznymi [7], przyjmując długość bazy sztywnej 4 m (jak dla członu opartego w tramwaju wieloczlónowym). Dla łuków o promieniu poniżej 100 m obliczenia wykonano przy założeniu, że krzywe przejściowe są zaprojektowane w postaci łuków stycznych (z rampą przechyłkową niezwiązaną z długością łuków przejściowych), a dla łuków o większym promieniu bez krzywej przejściowej. W tabeli 2 podano maksymalne wartości przyrostu przyspieszenia na danym układzie obliczonym dla minimalnej przechyłki. Wartości podawane dla przechyłki normalnej są porównywalne, jednak zmniejszony byłby zakres obliczeń (mniejsza prędkość maksymalna). Wartości przekraczające 1 m/s³ (maksymalnie dopuszczalna wartość) oznaczono kolorem czarnym, a wartości przekraczające 0,5 m/s³ (wartość po przekroczeniu której pasażerowie odczuwają zmniejszenie komfortu jazdy) oznaczono kolorem jasnoszarym. Należy zauważyć, dopiero przy przyjęciu dopuszczalnej wartości przyrostu przyspieszenia o wartości 1 m/s³, istnieje możliwość prowadzenia ruchu tramwajów niskopodłogowych z prędkością 70 km/h, po układach geometrycznych zaprojektowanych według Wytycznych [7].

Wnioski

Zaburzenia komfortu jazdy tramwajami na łukach wynikają z braku krzywych przejściowych lub ich niedostatecznej długości. W przypadku braku krzywych, lub stosowania układów złożonych z łuków o promieniach

stopniowo malejących, przyspieszenie niezerównoważone przyrasta na długości bazy sztywnej wagonu. Przy większych prędkościach jazdy, bardzo krótkie bazy którymi charakteryzują się współczesne niskopodłogowe wagony tramwajowe, stanowią niedostateczną długość dla zapewnienia akceptowalnego komfortu podróży.

Wprowadzanie do eksploatacji nowoczesnych niskopodłogowych tramwajów powinno odbywać się jednocześnie z procesem dostosowania infrastruktury do zwiększonych prędkości poruszania się nowych tramwajów w porównaniu ze starymi oraz różnic we współpracy pomiędzy torem a pojazdem. Pojazdy ze sztywnym oparciem członów na wózkach (lub zapewniające możliwość niewielkiego obrotu), w analizach powinny być traktowane w taki sposób, jakby długość bazy sztywnej wagonu była bardzo krótka (proponowana długość obliczeniowa 4 m).

Należy odchodzić od stosowania uproszczonych układów geometrycznych, bez krzywych przejściowych i z rampami przechyłkowymi zlokalizowanymi na odcinkach prostych przed łukami, gdyż nie zapewniają one łagodnych przyrostów przyspieszenia niezerównoważonego. W przypadku jeżeli istnieje taka możliwość, należy projektować łuki poprzedzone krzywymi przejściowymi w postaci kłotoïdy o odpowiedniej długości. W przypadku braku możliwości wprowadzenia krzywych przejściowych (na przykład na rozjazdach), należy wprowadzić zasadę wykonywania obliczeń rzeczywistych parametrów kinematycznych i w zależności do potrzeb wprowadzać ograniczenia prędkości.

Jeżeli nie istnieje możliwość dostosowania infrastruktury do wymogów eksploatacji tramwajów o bardzo krótkiej obliczeniowej długości bazy sztywnej wagonu, należy rozważyć takie formułowanie warunków przetargowych na zakup nowych wagonów, aby nowe pojazdy charakteryzowały się większymi długościami bazy. Można to osiągnąć, poprzez założenie odpowiedniej konstrukcji wózków (wszystkie wózki obrotowe) oraz ich

rozmieszczenie na długości wagonu (w równych odległościach). Przykładem takich konstrukcji mogą być tramwaje zamawiane przez Kraków, na przykład Bombardier NGT8 czy Pesa Krakowiak, które pomimo wyższej ceny cechują się wyższymi właściwościami trakcyjnymi i łagodniejszym wpasowywaniem się w łuki. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Der Schweizerische Bundesrat: Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung, EBv), 1983
- [2] Koc W., Specht C., Nowak A., Szulwic J., Szmagliński J., Skóra M., Specht M., Czapnik M.: Dostępność fazowych rozwiązań GPS/GLONASS podczas geodezyjnej inwentaryzacji dróg szynowych - na przykładzie linii tramwajowej Gdańska, Technika Transportu Szynowego 9/2012
- [3] Dz. U. 1998 nr 151 poz. 987: Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 roku w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie
- [4] Dz. U. 1999 nr 43 poz. 430, Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie
- [5] Koc W., Specht C., Chrostowski P., Szmagliński J.: Możliwości satelitarnej oceny położenia geometrycznego tramwajowych węzłów rozjazdowych. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne, nr 2 (zeszyt 101), Kraków 2013
- [6] Koc W., Specht C., Chrostowski P., Szmagliński J.: Ocena kształtu geometrycznego torów tramwajowych na podstawie pomiarów satelitarnych, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, 98/2013
- [7] Ministerstwo Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska, Departament Komunikacji Miejskiej i Dróg: Wytyczne techniczne projektowania, budo-

wy i utrzymania torów tramwajowych, Warszawa 1983

- [8] Ministerstwo Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska. Departament Komunikacji Miejskiej i Dróg: Tymczasowe wytyczne do projektowania szybkiej komunikacji tramwajowej, Warszawa 1981
- [9] PN-EN 13803-1: 2010: Kolejnictwo - Tor - Parametry projektowania toru w planie - Tor o szerokości 1435 mm i większej - Część 1: Szlak
- [10] PN-EN 13803-2: 2010: Kolejnictwo - Tor - Parametry projektowania toru w planie - Tor o szerokości 1435 mm i większej - Część 2: Rozjazdy, skrzyżowania i inne porównywalne przypadki z nagłymi zmianami krzywizny
- [11] Rychlewski J., Firlik B., Straszewski W.: Wytyczne projektowania torów tramwajowych a obecnie używany tabor tramwajowy, Archiwum instytutu inżynierii lądowej 25/2017
- [12] Specht C., Koc W., Nowak A., Szulwic J., Szmagliński J., Skóra M., Specht M., Czapnik M.: Dostępność fazowych rozwiązań GPS/Glonass podczas geodezyjnej inwentaryzacji dróg szynowych - na przykładzie linii tramwajowej Gdańska. Technika Transportu Szynowego 2012, nr 9.
- [13] Szmagliński J.: Projektowanie tras tramwajowych przy wykorzystaniu mobilnych pomiarów satelitarnych, Archiwum instytutu inżynierii lądowej 25/2017
- [14] Szmagliński J.: Tramwaje niskopodłogowe. Geneza, konstrukcje, Infrastruktura Transportu 4/2014
- [15] Szmagliński J.: Tramwaje niskopodłogowe w Polsce, Infrastruktura Transportu 6/2014
- [16] Szwaczekiewicz K., Szmagliński J.: Propozycja wykorzystania praktyki kolejowej przy modernizacji torów tramwajowych, Logistyka 4/2015
- [17] Tramwaje Warszawskie: Wymagania techniczne dotyczące projektowania i budowy torowisk tramwajowych na sieci Tramwajów Warszawskich, 2016
- [18] Transit Cooperative Research Program: Track Design Handbook for Light Rail Transit, Washington D.C. 2012
- [19] Yarra Trams, Tram track design guidelines, Melbourne 2003.

Wpływ sposobu odwzorowania pojazdu szynowego na odpowiedź dynamiczną przęsła mostowego

The influence of railway vehicle modeling approach on the dynamic response of a bridge span



Marek Szafrński

Dr inż.

Politechnika Gdańska, Wydział
Inżynierii Lądowej i Środowiska,
Katedra Transportu Szynowego
i Mostów

mszafran@pg.edu.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono rezultaty analiz numerycznych oraz badań eksploatacyjnych dwóch przęseł mostowych wymuszonych ruchomym pojazdem szynowym. Pojazd odwzorowano za pomocą czterech modeli uproszczonych: strumienia sił skupionych, strumienia mas skupionych oraz strumieni oscylatorów jedno- i dwumasowych. Analizy numeryczne wykonano przy wykorzystaniu MES. Potrzebne parametry dynamiczne wyznaczono na podstawie wyników identyfikacji modalnej konstrukcji rzeczywistych – jednostki trakcyjnej serii EN57 oraz stalowych przęseł mostowych o rozpiętościach 10 i 30 m. W rezultacie, wyniki symulacji numerycznych w zakresie przemieszczeń oraz przyspieszeń pionowych przęseł odniesiono do wyników badań in-situ przeprowadzonych w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. Dokonano jakościowego oraz ilościowego porównania uzyskanych rozwiązań dla wszystkich analizowanych modeli obciążenia i konstrukcji w zakresie drgań wymuszonych.

Słowa kluczowe: Mosty kolejowe; Obciążenia kolejowe; Interakcja dynamiczna pojazd-przęsło

Abstract: The paper presents the results of numerical analysis and in-situ measurements of two railway bridge spans subjected to an action of moving vehicles. The railway vehicle is introduced using four simplified load models: series of concentrated forces, series of lumped masses and series of single-mass and two-mass oscillators. Numerical simulations are performed using FE method. The dynamic parameters of the vehicle and the bridge models are determined on the basis of modal identification results of existing structures – EN57 traction unit and steel bridges of 10 and 30 m theoretical span length. The vertical displacements and accelerations of the mid-span are analysed. The numerical results are referred to the results of in-situ measurements performed under operating conditions. A qualitative and quantitative comparison is made for all load models and bridge spans under analysis in the forced vibration range.

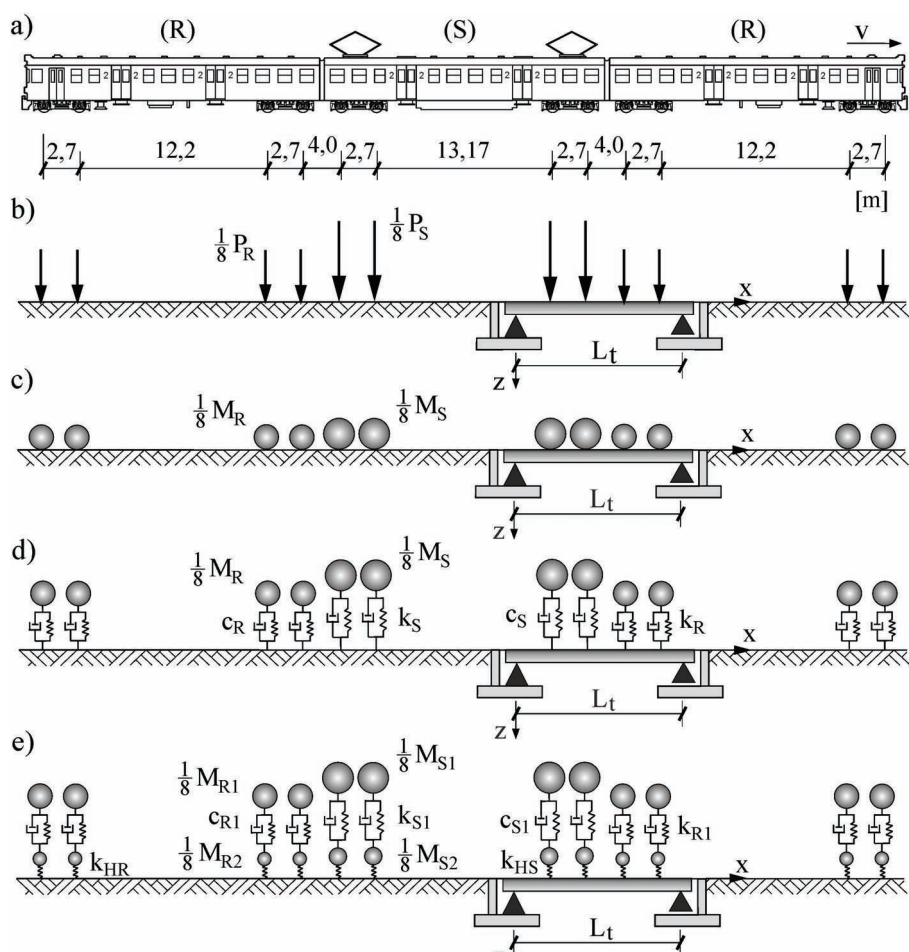
Keywords: Railway bridges; Railway loads; Vehicle-bridge dynamic interaction

Zagadnienie ruchu pojazdu szynowego po przęśle mostowym stanowi złożone pytanie badawcze, np. [2, 10], a w przypadku linii dużych prędkości staje się kluczowe z uwagi na zwiększone wymogi bezpieczeństwa oraz komfort pasażerów. Podczas ruchu pojazdu szynowego po przęśle mostowym mamy do czynienia ze wzajemnie sprzężonym układem dynamicznym, w którym transfer sił i oddziaływań pomiędzy pojazdem i konstrukcją mostu odbywa się poprzez nawierzchnię kolejową i indukowany jest na styku koła i szyny. Na wielkość tych oddziaływań wpływa m.in. prędkość ruchu oraz stan techniczny toru kolejowego [14]. Dokładna analiza zjawiska wymaga uwzględnienia szeregu zagadnień z zakresu mechaniki pojazdu szynowego, toru kolejowego, konstrukcji

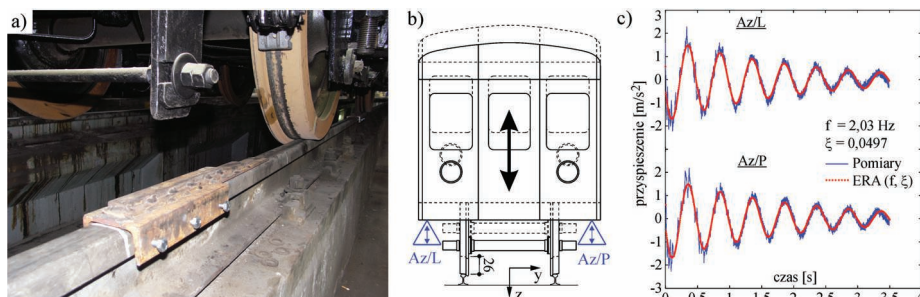
mostowej, a także znajomości rzeczywistych parametrów mechanicznych wspomnianych układów. Sprawia to podstawową trudność w modelowaniu dynamicznym, dlatego w analizach konstrukcji mostowych przyjmowane są często uproszczenia, m.in. dotyczące obciążeń oraz nawierzchni kolejowej, np. [12, 16, 17].

Historia problematyki ruchu obciążenia po przęśle mostowym sięga pierwszej połowy XIX wieku [20]. Pierwszym momentem było uruchomienie w 1964 roku w Japonii pierwszej na świecie linii kolejowej dużych prędkości (KDP). Od tego czasu obserwuje się dużą intensywność prac badawczych, a praktyczne wnioski z nich płynące przyczyniają się do rozwoju technologii KDP, przez co poprawy bezpieczeństwa ruchu kolejowego.

W niniejszej pracy przedstawiono rezultaty analiz dynamicznych dwóch przęseł mostowych obciążonych ruchomym pojazdem szynowym. Pytaniem badawczym jest ocena wpływu stopnia uproszczeń modelu pojazdu na odpowiedź dynamiczną przęsła mostowego w zakresie przemieszczeń oraz przyspieszeń pionowych. Oceny dokonano na podstawie symulacji numerycznych oraz badań in-situ. Modele pojazdu przyjęto na podstawie układu konstrukcyjnego jednostki trakcyjnej serii EN57 [4]. Rozważono strumień sił skupionych, strumień mas skupionych oraz strumienie oscylatorów jedno- i dwumasowych. Pierwszy model wykorzystywany jest w praktyce projektowej, np. [23], drugi uwzględnia dodatkowo inercję obciążenia, np. [11], dwa ostatnie



1. Rozważane modele mechaniczne obciążenia kolejowego: (a) schemat podstawowego układu jednostki EN57, (b) strumień sił skupionych, (c) strumień mas skupionych, (d) strumień oscylatorów jednomasowych, (e) strumień oscylatorów dwumasowych



2. Badania wagonu jednostki EN57: (a) progi testowe do wymuszenia drgań, (b) lokalizacja czujników pomiarowych przyspieszeń pionowych pudła, (c) odpowiedź swobodna pudła (drgania pionowe) – porównanie sygnałów pomierzonych oraz teoretycznych (ERA) dla zidentyfikowanej częstotliwości $f = 2,03 \text{ Hz}$ i liczby tłumienia $\xi = 0,0497$

modele umożliwiają analizę interakcji obciążenia i konstrukcji mostu, np. [9, 22]. Analizowane prześła mostowe to układy belkowe o stosunkowo prostych konstrukcjach. Pierwsze z nich to stalowe prześło odciażające KO30 o przekroju skrzynkowym i bezpośrednim mocowaniu szyn. Drugie to stalowe prześło blachownicowe mostu nad rzeką Radunią w Gdańsku o jezdni otwartej. Strukturalna prostota oraz brak nawierzchni podsypkowej eliminuje z układu szereg trudnych do

identyfikacji niewiadomych, przez co ułatwia porównanie i ocenę wyników symulacji. Istotnym etapem analizy jest walidacja modeli numerycznych na podstawie wyników identyfikacji modalnej konstrukcji rzeczywistych – zarówno taboru jak i prześel mostowych. Parametry modalne (częstotliwości drgań, postacie drgań, liczby tłumienia) zidentyfikowano na podstawie odpowiedzi swobodnych wykorzystując algorytmy metod ERA (ang. *Eigensystem Realization Algori-*

thm) [8] oraz PP (ang. *Peak-Picking*) [1]. Ocenę uzyskanych rozwiązań numerycznych dokonano na podstawie wyników badań eksploatacyjnych obu prześel w zakresie drgań wymuszonych. Mierzono przemieszczenia oraz przyspieszenia prześel podczas przejazdów zespołów EN57.

Modele obciążenia kolejowego

Modele obciążenia kolejowego zdefiniowano na podstawie jednostki trakcyjnej serii EN57. Jednostki składają się z wagonów rozrządczych (R) oraz silnikowych (S) w różnych konfiguracjach. Rozważono cztery sposoby odwzorowania pojazdu w postaci strumienia sił skupionych, strumienia mas skupionych oraz strumieni oscylatorów jedno- i dwumasowych (rys. 1). Po każdej szynie porusza się strumień obciążeń w rozstawie osi zestawów kołowych i o wartościach nacisków (mas) przypadających na poszczególne koła. Przyjęte oznaczenia to: P_S , P_R – ciężar wagonu silnikowego i rozrządczego, M_S , M_R – masa całkowita wagonu silnikowego i rozrządczego, M_{S1} , M_{R1} – masa resorowana wagonu silnikowego i rozrządczego w modelu oscylatorów dwumasowych, M_{S2} , M_{R2} – masa nieresorowana (cztery zestawy kołowe) wagonu silnikowego i rozrządczego w modelu oscylatorów dwumasowych, k_S , c_S , k_R , c_R – sztywności i współczynniki tłumienia resorów w modelu oscylatorów jednomasowych odpowiednio dla wagonu S i R, k_{S1} , c_{S1} , k_{R1} , c_{R1} – sztywności i współczynniki tłumienia resorów w modelu oscylatorów dwumasowych odpowiednio dla wagonu S i R.

Przyjęto symetryczny rozkład masy w każdym z wagonów. W modelu oscylatorów jednomasowych całkowitą masę przyjęto jako resorowaną. W modelu oscylatorów dwumasowych wydzielono niezależne masy zestawów kołowych. Parametry dynamiczne resorów zdefiniowano na podstawie wyników identyfikacji modalnej wagonu jednostki EN57. W tym celu przeprowadzono badania polegające na impulsowym wzbudzeniu i pomiarze odpowiedzi swobodnej wa-

gonu stosując metodę typu „zeskok z progu” (ang. *wedge method*) – rys. 2a. Metodę badawczą, przyjęte założenia oraz wyniki identyfikacji modalnej przedstawiono w pracy [18].

Dla rozważanych modeli oscylatorów, sztywności k_i oraz współczynniki tłumienia c_i wyznaczono na podstawie zidentyfikowanych globalnych parametrów modalnych (częstotliwości f oraz liczby tłumienia ξ) wzbudzonej pionowej postaci drgań (rys. 2b i 2c):

$$k_i = \frac{(2\pi f)^2 M_i}{8}, \quad c_i = \frac{\xi c_i^{kr}}{8} = \frac{\xi 2M_i(2\pi f)}{8},$$

gdzie c_i^{kr} oznacza tłumienie krytyczne natomiast przez i należy rozumieć odpowiednio: R, S (model oscylatorów jednomasowych) oraz R1, S1 (model oscylatorów dwumasowych). Za kryterium poprawności definicji modelu przyjęto zgodność globalnych parametrów modalnych uzyskanych z pomiarów (identyfikacja) oraz z rozwiązania numerycznego (problem własny). Parametry dynamiczne poszczególnych modeli obciążenia zestawiono w tabeli 1. W masie wagonów uwzględniono również masę pasażerów M_p przyjmując ich liczbę równą liczbie miejsc siedzących. Masę jednego pasażera przyjęto równą 80 kg.

W przypadku modelu oscylatorów

jednomasowych za miarę sprzężenia dynamicznego pomiędzy pojazdem a konstrukcją mostu przyjęto zmienność siły w resorze. W modelu oscylatorów dwumasowych, pomiędzy masą koła a szyną zastosowano kontaktowe więzy sprężyste opisane prawem Hertza [7]:

$$F_i = d_H u_i^{3/2}$$

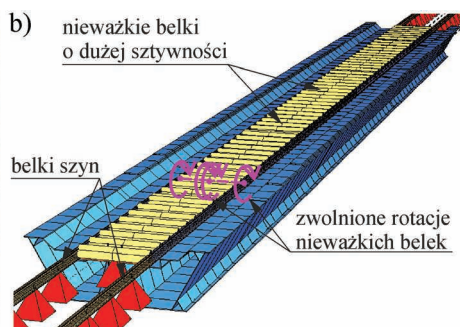
gdzie F_i [N] oraz u_i [m] oznaczają odpowiednio siłę nacisku oraz skrócenie pionowe pomiędzy i -tym kołem a szyną w obszarze kontaktu, d_H jest nieliniowym współczynnikiem sztywności Hertza [N/m^{3/2}]. Przyjmując, iż skrócenia są małe, posłużyć się można zlinearyzowaną sztywnością Hertza k_H [N/m] jako sztywnością sieczną pomiędzy wartością zerową a statycznym naciskiem koła [5]:

$$k_H = \frac{dF_i}{du_i} = \frac{3}{2} d_H u_i^{1/2} = \frac{3}{2} d_H^{2/3} F_i^{1/3} = \frac{3}{2} G^{-1} F_i^{1/3}.$$

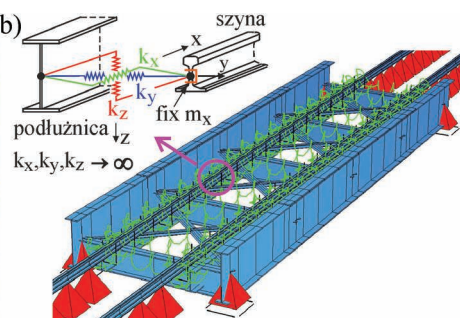
Wartość $G = d_H^{-2/3}$ [m/N^{2/3}] oznacza podatność Hertza. W pracy [6] autorzy podali zależności stałej G od promienia koła: $G = 4.57R - 0.149 \times 10^{-8}$ [m/N^{2/3}] dla koła nowego oraz $G = 3.86R - 0.115 \times 10^{-8}$ [m/N^{2/3}] dla koła zużytego. W niniejszej pracy, podobnie jak w [15], w obliczeniach przyjęto średnią wartość G .



3. Przęsło odcciążające KO30: (a) konstrukcja wbudowana w torze 502 PKP SKM podczas badań eksploatacyjnych, (b) wizualizacja modelu numerycznego przęsła (SOFISTIK)



4. Most nad rzeką Radunią w Gdańsku: (a) przęsło skrajne podczas badań eksploatacyjnych, (b) wizualizacja modelu numerycznego przęsła (SOFISTIK)



Modele prześel mostowych

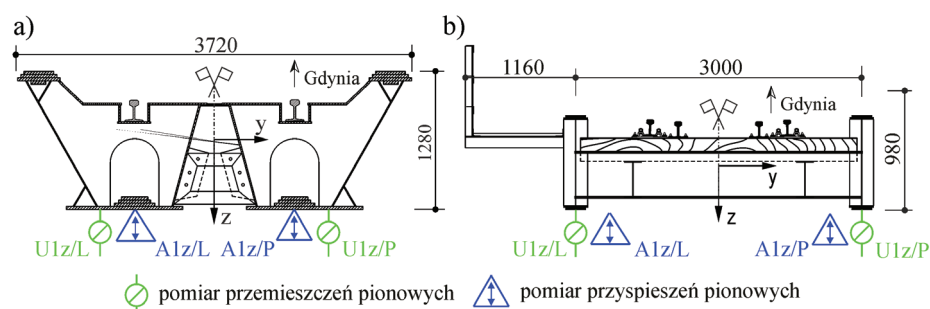
Pierwszą analizowaną konstrukcją jest stalowe przęsło odcciążające KO30 o rozpiętości 30 m (rys. 3a). Konstrukcję prześła omówiono w pracy [24] wraz ze szczególnym rozwiązaniem przyczółków zastosowanym w torze nr 2 PKP PLK, które umożliwiło prowadzenie ruchu kolejowego z prędkościami do 60 km/h podczas budowy połączenia drogowego przez istniejący nasyp kolejowy w Gdańsku. W niniejszej pracy dyskutowane wyniki dotyczą prześła wbudowanego w sąsiednim torze nr 502 PKP SKM. W tym przypadku przęsło posadowiono w oparciu o rozwiązanie standardowe (tymczasowe przyczółki wykonane z drewnianych podkładów kolejowych i mostownic, patrz [24]).

Model numeryczny prześła wykonano jako przestrzenny, belkowy model MES w programie SOFiSTiK [3]. Podobnie jak w pracy [20], elementy opisano na jednej osi węzłów leżącej na płaszczyźnie symetrii poprzecznej prześła. W tym przypadku jednak, z uwagi na inne układy obciążeń, tor jezdny odwzorowano w postaci dwóch niezależnych szyn (elementy belkowe o przekroju szyny 60E1 i rozstawie 1435 mm) połączonych z osią konstrukcji za pomocą nieważkich belek o bardzo dużej sztywności ($E = 205 \times 10^9$ MPa). Zwolniono dodatkowo więzy rotacyjne wokół osi podłużnych belek. Model zwizualizowano na rysunku 3b.

Druga konstrukcja to blachownicowe przęsło mostu nad rzeką Radunią w Gdańsku z jazdą pośrednią i o jezd-

Tab. 1. Parametry mechaniczne jednostki EN57 dla rozważanych modeli obciążenia

Rodzaj parametru		Wartość parametru	
		Wagon R	Wagon S
M_R/M_S	[t]	34,00	57,00
M_{R1}/M_{S1}	[t]	28,720	50,12
M_{R2}/M_{S2}	[t]	5,28	6,88
M_p	[t]	4,96	7,68
k_R/k_S	[kN/m]	690,74	1158,00
k_{R1}/k_{S1}	[kN/m]	583,47	1018,22
c_R/c_S	[kNs/m]	5,39	9,03
c_{R1}/c_{S1}	[kNs/m]	4,55	7,94
k_H	[kN/m]	$1,167 \times 10^6$	$1,382 \times 10^6$
R	[m]	0,47	0,47



5. Czujniki i kierunki pomiaru drgań przęseł – analizowane przekroje w środkach rozpiętości: (a) przęsła KO30, (b) przęsła mostu nad rzeką Radunią

ni otwartej (rys. 4a). Przeprawa składa się z trzech przęseł swobodnie podpartych, każde o rozpiętości 10,24 m. Konstrukcję przęsła omówiono w pracy [21]. Badaniom i analizie poddano skrajne przęsło od strony Warszawy.

Model MES wykonano z elementów belkowych (rys. 4b). W tym przypadku elementy opisano na płaszczyźnie węzłów, którą przyjęto na poziomie środka ciężkości dźwigarów głównych. Przekroje elementów pomostu i stężeń zlokalizowano na odpowiednich mimośrodkach. Nawierzchnię kolejową typu otwartego uwzględniono w sposób uproszczony. Elementami belkowymi odwzorowano jedynie szyny kolejowe. Ich połączenie (oparcie) z podłężnicami zrealizowano za pomocą więzów sprężystych o bardzo dużej sztywności. Nie rozważono tym samym wpływu rzeczywistej podatności nawierzchni na wyniki symulacji.

Wyniki badań i symulacji numerycznych

Na obu przęsłach przeprowadzono badania eksploatacyjne (patrz rys. 3a i 4a) mające na celu: (a) walidację modeli numerycznych przęseł na podstawie sygnałów odpowiedzi swobodnych, (b) porównanie wyników badań z rezultatami symulacji numerycznych w zakresie drgań wymuszonych.

Walidację parametrów dynamicznych modeli przęseł (masa, sztywność, tłumienie) przeprowadzono na podstawie zidentyfikowanych globalnych parametrów modalnych – częstotliwości f oraz liczb tłumienia ξ (tab. 2). Wykorzystano techniki identyfikacji modalnej ERA oraz PP. Metodykę oraz rezultaty identyfikacji przęsła mostu nad rzeką Radunią przedstawiono w

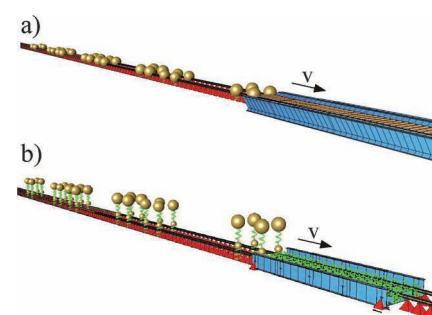
pracy [21]. Zidentyfikowano jedynie pierwszą formę własną oraz odpowiadające jej parametry modalne f_1 oraz ξ_1 . W pracy [20] omówiono metodykę oraz wyniki identyfikacji przęsła KO30 wbudowanego torze nr 2 PKP PLK, dla którego zidentyfikowano cztery stabilne częstotliwości i liczby tłumienia. Analogicznie postąpiono w przypadku przedmiotowej konstrukcji w torze nr 502 PKP SKM. W tym przypadku zidentyfikowano jedynie pierwszą postać drgań giętnych, a różnice w uzyskanych parametrach modalnych (szczególnie tłumienia) wynikają z odmiennych warunków podparcia charakteryzujących obie konstrukcje (tymczasowe klatki drewniane zamiast żelbetowych przyczółków i łożysk stalowych).

Sztywność i masę w modelach przęseł zweryfikowano na podstawie porównania częstotliwości drgań własnych (pomierzonej i uzyskanej z rozwiązania problemu własnego) dla pierwszej postaci drgań giętnych. Model tłumienia przyjęto jako sztywnościowy $\mathbf{C} = b\mathbf{K}$, w którym współczynnik proporcjonalności obliczono jako $b = \xi_1 / \pi f_1$.

Symulacje przejazdu obciążenia po przęsle mostowym przeprowadzono w programie SOFiSTiK przy wykorzystaniu metody Newmarka (wariant bezwarunkowo stabilny). Rozważono drgania środków rozpiętości przęseł (rys. 5) w zakresie przemieszczeń oraz przyspieszeń pionowych wokół położenia równowagi statycznej. W rezultacie analizy zbieżności, kroki całkowania dobrano jako $\Delta t = 0,004$ s (przęsło KO30) oraz $\Delta t = 0,002$ s (przęsło mostu nad rzeką Radunią). Weryfikacji zaimplementowanej procedury dokonano w pracy [19], rozważając model poje-

dynczej siły skupionej oraz oscylatora jednomasowego poruszających się po belce Eulera. W przypadku modelu sił skupionych obliczenia realizowane są dla kolejnych ustawień obciążenia zgodnie z przyjętym krokiem całkowania przy wykorzystaniu informacji z kroku aktualnego i poprzedniego. W przypadku modeli inercyjnych, dodatkową interakcję pomiędzy przęsłem a pojazdem zapewniają kontaktowe więzy lepko-sprężyste pomiędzy masami pojazdu a węzłami kontaktowymi toru jezdni. Dla modelu mas skupionych oraz oscylatorów dwumasowych, sztywność wspomnianych więzów odpowiada zlinearyzowanej sztywności Hertza. W przypadku oscylatorów jednomasowych, więzom nadano charakterystyki resorowania pojazdu. Wizualizacje modeli obliczeniowych dla dwóch wybranych przypadków pokazano na rysunku 6.

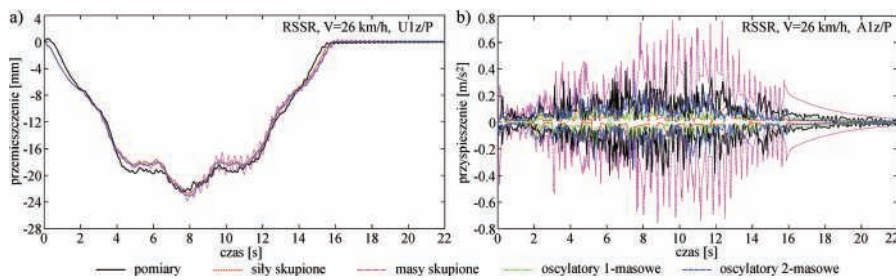
Na rysunku 7 porównano czasowe przebiegi drgań przęsła KO30 uzyskane dla konfiguracji taboru RSSR i prędkości przejazdu 26 km/h. Na rysunku 8 pokazano analogiczne wyniki dla przęsła mostu nad rzeką Radunią uzyskane dla konfiguracji taboru RSR i prędkości przejazdu 49 km/h. Zastosowano wytyczne normy [13] rozważając przyspieszenia w paśmie 0÷30 Hz (przęsło KO30) oraz 0÷35 Hz (przęsło mostu nad rzeką Radunią). Stosowa-



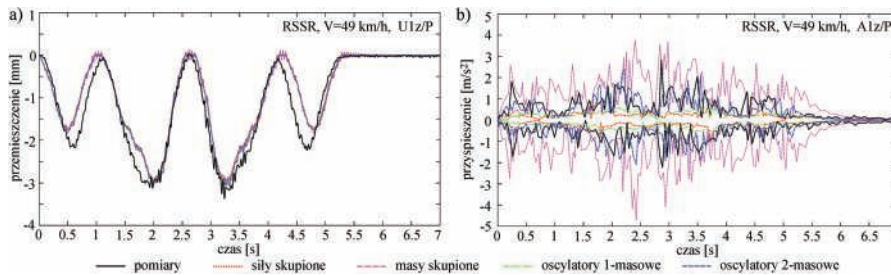
6. Wizualizacje wybranych modeli obliczeniowych (SOFiSTiK): (a) przęsła KO30 obciążone masami skupionymi, (b) przęsła mostu nad rzeką Radunią obciążone oscylatorami dwumasowymi

Tab. 2. Parametry modalne analizowanych przęseł mostowych

Przęsło / Parametr	ERA, PP		Model MES	
	f_1 [Hz]	ξ_1 [-]	f_1 [Hz]	b ($\mathbf{C} = b\mathbf{K}$)
KO30	4,07	0,0117	4,06	$9,150 \cdot 10^{-4}$
Radunia	22,18	0,0104	21,91	$1,492 \cdot 10^{-4}$



7. Drgania środka przęsła KO30 – porównanie wyników badań oraz symulacji numerycznych dla poszczególnych modeli obciążeń: (a) przemieszczenia pionowe $U1z/P$, (b) przyspieszenia pionowe $A1z/P$



8. Drgania środka przęsła mostu nad rzeką Radunią – porównanie wyników badań oraz symulacji numerycznych dla poszczególnych modeli obciążeń: (a) przemieszczenia pionowe $U1z/P$, (b) przyspieszenia pionowe $A1z/P$

nym często wskaźnikiem ilościowego porównania sygnałów jest wartość średniokwadratowa (skuteczna), stanowiąca miarę średniej mocy sygnału (RMS). Wartości RMS wyznaczono dla sygnałów przyspieszeń w zakresie drgań wymuszonych, liczonych od momentu wjazdu obciążenia do chwili jego całkowitego zjazdu z konstrukcji. W przypadku przęsła KO30 czas ten wyniósł 15,5 s, natomiast dla przęsła mostu nad rzeką Radunią 5,3 s. Stosowane porównanie przedstawia rysunek 9.

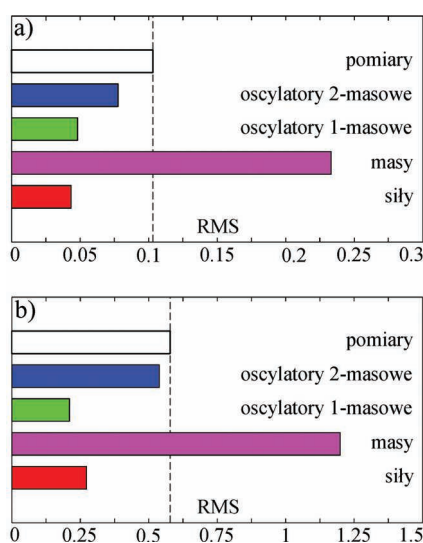
Dyskusja i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułować można główne wnioski:

- Obiektywna analiza dynamiczna mostów kolejowych pod obciążeniem ruchomym wymaga określenia rzeczywistych parametrów dynamicznych zarówno przęseł jak i obciążeń ruchomych. Przedstawiona metodologia definicji modeli numerycznych stanowić może skuteczną drogę do obiektywizacji wyników analiz dynamicznych.
- Sposób odwzorowania pojazdu szynowego w analizach interakcji pojazd-przęsło wpływa istotnie na wyniki przyspieszeń przęsła mostowego. Porównanie wyników badań i symulacji numerycznych uwidacznia znaczne różnice w ilościowej odpowiedzi przęseł dla rozważanych modeli obciążeń. Jednocześnie zauważyć można ogólną prawidłowość uzyskanych rezultatów dla obu przypadków analizowanych konstrukcji.
- Pominięcie sił inercyjnych obciążenia (model sił skupionych) wyraźnie zaniżyło amplitudy przyspieszeń. Z kolei przyjęcie całej masy pojazdu jako nieresorowanej (mo-

del mas skupionych) spowodowało dwukrotne zawyżenie poziomu odpowiedzi. Modele resorowane pojazdu wpływają stabilizująco na drgania przęsła, przy czym najbliższe pomierzonym wyniki uzyskano dla modelu oscylatorów dwumasy. Model oscylatorów jednomasy znacznie zaniżył poziom odpowiedzi przęsła.

- Analizy przyspieszeń przęseł mostów kolejowych o podobnych do rozważanych układach konstrukcyjnych oraz rodzajach nawierzchni, wymagają uwzględnienia dynamicznych modeli obciążeń ruchomych. Istotnym elementem tych modeli jest nieresorowana masa zestawów kołowych. Pozostałą masę należy przyjąć jako resorowaną, uwzględniając przynajmniej jeden stopień odprężynowania.
- Sposób odwzorowania pojazdu nie wpływa istotnie na wartości globalnych przemieszczeń przęsła. Charakter i poziom odpowiedzi uzyskany dla wszystkich rozważanych modeli jest podobny i bliski wartościom pomierzonym. Pod tym względem, model sił skupionych stosowany w praktyce inżynierskiej daje wyniki bliskie obu modelom resorowanym. Jedynie w przypadku modelu mas skupionych widoczny jest zwiększony poziom przemieszczeń dynamicznych (względem wartości quasi-statycznych) oraz większy poziom wzbudzenia drgań swobodnych (efekt progowy). Model mas skupionych prowadzić może zatem do zawyżonych wyników w przypadku analizy np. współczynników przeciążenia dynamicznego.
- Zgodność maksymalnych przemieszczeń pomierzonych i teoretycznych pozwala wnioskować o poprawności odwzorowania geometrii i sztywności analizowanych przęseł oraz dobrego oszacowaniu masy taboru. Jedynie w przypadku mostu nad rzeką Radunią widoczne są pewne rozbieżności w ekstremalnych wartościach



9. Wartości średniokwadratowe (RMS) sygnałów przyspieszeń pomierzonych i numerycznych w zakresie drgań wymuszonych: (a) przęsło KO30, (b) przęsło mostu nad rzeką Radunią

przemieszczeń wywołanych wagonami rozrządczymi. Możliwym powodem jest faktyczny brak symetrii w rozkładzie masy konstrukcyjnej wagonu oraz niedoszacowanie masy pasażerów (ładunku), których liczba na badanym odcinku jest zmienna i mocno zależna od pory dnia.

Przedstawione analizy dotyczą stosunkowo niewielkich prędkości jakie osiągałyby przez tabor podczas badań eksploatacyjnych. Badania te stanowią jednak kluczowy element umożliwiający porównanie i ocenę wyników symulacji, co było celem niniejszej pracy. Z całą pewnością analizy przeprowadzone w szerszym zakresie prędkości oraz rozbudowa modeli pojazdów o kolejne dynamiczne stopnie swobody (identyfikacja modalna) pozwoliłyby na szerszą ocenę zjawiska. Dodatkowym pytaniem badawczym jest ocena wpływu nawierzchni podsypkowych lub niekonwencjonalnych na odpowiedź dynamiczną przęsła mostowego przy uwzględnieniu rzeczywistych charakterystyk dynamicznych oraz imperfekcji geometrycznych toru. Wspomniane nawierzchnie są obecnie dominujące, a w przypadku linii dużych prędkości jedyne dopuszczalne. Podatność nawierzchni, jej dobre właściwości tłumiące oraz znacząca masa, wpływają korzystnie na dynamikę przęsła mostowych oraz redukują wielkości oddziaływań pomiędzy przęsłem i pojazdem szynowym. Z kolei niedokładności geometryczne toru stanowią źródło dodatkowego, często znaczącego wymuszenia drgań zarówno przęsła jak i pojazdu szynowego. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Bendat J.S., Piersol A.G. Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis. John Wiley & Sons, 1980.
- [2] Bryja D., Hołubowski R., Gisterek I. Railroad vehicle modeling in probabilistic vibration analysis of a railway bridge with randomly fluctuating track ballast stiffness. 9th European Conference on Structural Dynamics, EUROLYN 2014, 30th June – 2nd July 2014, 2737-2744.
- [3] Catz C., Deinzer F., Maly S., Fink T. SOFiSTiK A.G., v.2014, www.sofistic.com, 08.2019.
- [4] Domański E., Kowalczyk E., Skoniecki J. Elektryczne zespoły trakcyjne serii EW55 i EN57. WKiŁ, 1974.
- [5] Esveld C. Modern railway track. MRT Productions, 1989.
- [6] Jenkins H.H., Stephenson J.E., Clayton G.A., Morland H.W., Lyon D. The effect of track and vehicle parameters on wheel/rail vertical dynamic forces. Railway Engineering Journal, 3(1), 1974, 2-16.
- [7] Johnson K.L. Contact mechanics. Cambridge University Press, 1985.
- [8] Juang J.N., Pappa R.S. An eigen-system realization algorithm for modal parameter identification and model reduction. Journal of Guidance, Control and Dynamics, 8(5), 1985, 620-627.
- [9] Klasztorny M. Analiza drgań belki mostowej przenoszącej jednorodny strumień obciążeń ruchomych. Archiwum Inżynierii Lądowej 36(3), 1990, 207–227.
- [10] Klasztorny M. Dynamika mostów belkowych obciążonych pociągami szybkojeźdnymi. WNT, 2005.
- [11] Michaltsos G. T., Sophianopoulos D., Kounadis A. N. The effect of a moving mass and other parameters on the dynamic response of a simply supported beam. Journal of Sounds and Vibration, 191(3), 1996, 357-362.
- [12] Oleszek R., Radomski W. Dynamic analysis of an existing arch railway bridge according to Eurocodes. Archives of Civil Engineering, LXII, 4/I, 2016, 99-117.
- [13] PN-EN 1990 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji. Załącznik A2: Zastosowanie do mostów. Polski Komitet Normalizacyjny, 2008.
- [14] Podworna M. Współczynniki dynamiczne ugięć pionowych w analizie numerycznej belkowych mostów kolejowych. Przegląd Komunikacyjny, 9, 2017, 7-11.
- [15] Podworna M. Dynamic response of steel-concrete composite bridges loaded by high-speed train. Structural Engineering and Mechanics 62(2), 2017, 179-196.
- [16] Poprawa G., Pradelok S., Łaziński P., Rudzik A. Obiekty mostowe na liniach kolejowych dużych prędkości – studium przypadku. Inżynieria i Budownictwo, 11, 2014, 636-640.
- [17] Ribeiro D., Calcada R., Delgado R. Dynamic analysis of Alcácer do Sal railway bridge. EUROLYN 2005. 4-7th September 2005, 1661-1667.
- [18] Szafrąński M. Oddziaływania taboru na mosty kolejowe przy zmiennych parametrach ruchu. Rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, 2014.
- [19] Szafrąński M. Vibration of the bridge under moving singular loads - theoretical formulation and numerical solution. Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics, 15(1), 2016, 169-180.
- [20] Szafrąński M. Dynamic analysis of the railway bridge span under moving loads. Roads and Bridges – Drogi i Mosty. 17, 2018, 299-316.
- [21] Szafrąński M. Dynamics of the small-span railway bridge under moving loads, MATEC Web Conf. 262 10014 (2019) 1-8.
- [22] Szcześniak W., Ataman M., Zbiciak A. Drgania belki sprężystej wywołane ruchomym, liniowym oscylatorem jednomasowym. Roads and Bridges – Drogi i Mosty 1(2), 2002, 53-83.
- [23] Żółtowski K., Kozakiewicz A., Romaszkiwicz T., Szafrąński M., Madaj A., Falkiewicz R., Raduszkiewicz K., Redzimski K. Przebudowa mostu kolejowego przez rzekę Pilicę z przystosowaniem do dużych prędkości. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej, 8, 2010, 289-299.
- [24] Żółtowski K., Szafrąński M., Kozakiewicz A. Zastosowanie istniejących przęsła odciążających typu mostowego dla prędkości eksploatacyjnych do 60 km/h. Mosty 2/2013, 24-27.

Analiza kolejowej dostępności komunikacyjnej do uzdrowisk województw dolnośląskiego i małopolskiego

The analysis of the rail accessibility to the health resorts in the Dolnośląskie and Małopolskie voivodships



Michał Grzegorek

Doktor nauk społecznych

*Polonijne Liceum
Ogólnokształcące Niepubliczne
„Klasyk” w Warszawie*

michalgrzegorek@yahoo.no

Streszczenie: Artykuł dotyczy dostępności kolejowej do uzdrowisk dwóch województw południowej części Polski. Autor przeprowadził ankiety w uzdrowiskach celem identyfikacji cech, które w oczach pacjentów są czynnikami rozwojowymi kolei. Przeanalizowano również treść rozkładów kolejowych pod kątem czasu podróży do uzdrowiska i częstotliwości połączeń. Opracowano autorską typologię dostępności kolejowej do uzdrowisk. Wyróżniono cztery rodzaje uzdrowisk: sąsiedzkiej łączności, nikłej osiągalności, niewykorzystanej szansy i ekspansji turystycznej.

Słowa kluczowe: *Transport kolejowy; Dostępność komunikacyjna; Uzdrowisko*

Abstract: The article concerns railway access to spas of two voivodeships in the southern part of Poland. The author conducted surveys in spas to identify traits that in the eyes of the patients are developmental factors of the railway. The content of railway timetables in terms of travel time to spas and frequency of connections was also analyzed. The idea of an original typology of health resorts is being developed in terms of accessibility by rail. Four types of spas were distinguished: neighborly communication, poor reachability, unused opportunity and tourist expansion.

Keywords: *Railway transport; Transport accessibility; Health resort*

Dostępność transportowa jest niezwykle istotnym komponentem atrakcyjności turystycznej, obok zagospodarowania turystycznego i walorów. Dzięki niej turyści mogą docierać do przestrzeni turystycznej, eksplorować ją, przemieszczać się między bazą noclegową, żywieniową a walorami turystycznymi. Poza transportem drogowym realizowanym indywidualnie, w transporcie publicznym istotną rolę w świetle dostępności komunikacyjnej odgrywa liczba połączeń, czas przejazdu i jego konkurencyjność z innymi środkami lokomocji, jakość transportu na którą składa się wiele czynników – komfort pojazdu, udogodnienia, standard oferowanych usług na pokładzie itp. Transport kolejowy aspiruje do podejmowania konkurencyjnej walki o klienta – pasażera, rywalizując z pozostałymi środkami transportu (samochodami, samolotami, statkami).

Owa konkurencja przejawia się odpowiednią polityką cenową, działaniami inwestycyjnymi (rewitalizacje, remonty) celem skrócenia czasu przejazdu, wprowadzaniem nowego, ulepszonego taboru oferującego więcej możliwości i zwracającego uwagę na więcej potrzeb potencjalnych pasażerów. Autor zamierza dokonać analizy stanu dostępności komunikacyjnej do uzdrowisk województwa dolnośląskiego i małopolskiego jako dwóch regionów posiadających najwięcej miejscowości o statusie uzdrowiska.

Aby przeprowadzić analizę dostępności niezbędne jest określenie jej podstawowych parametrów – założeń metodologicznych, zasięgu, stopnia szczegółowości. Autor podejmując analizę pragnie oprzeć się na metodzie analizy dokumentacji (rozkładów jazdy pociągów) celem określenia czasu przejazdu oraz czę-

stotliwości połączeń, co następnie przy użyciu metod kartograficznych zostanie zaprezentowane na mapach. Zastosowanie metod kartograficznych jest w tym przypadku, wg autora, niezbędne by w sposób graficzny można było ująć czas przejazdu i dokonać porównania na danym obszarze. Należy dodać, że prezentowane w niniejszym artykule wyniki są częścią szerszych badań naukowych, jakie przeprowadził autor w kontekście określania roli transportu kolejowego w dojazdach kuracjuszy do uzdrowisk. Znaczną część owych badań stanowiła analiza wyników zebranych ankiet, które przeprowadzono w lipcu i sierpniu 2017 roku w 6-ciu uzdrowiskach (w Kudowie Zdroju, Polanicy Zdroju, Cieplicach Śląskich Zdroju, Krynicy, Ustce i Kołobrzegu) uzyskując 619 sztuk wypełnionych formularzy z odpowiedziami kuracjuszy na temat ich stosunku do trans-

portu kolejowego, preferencji w tym zakresie, wizerunku kolei oraz stopnia wykorzystania tegoż transportu w dojeździe do uzdrowiska.

Rozkład jazdy pociągów można traktować jako dokument, stanowiący podstawę do analizy naukowej. Jego immanentną cechą jest co prawda zmienność, lecz dzieje się ona w pewnych cyklach. Ustawa o transporcie kolejowym wskazuje coroczną zmianę [9] lecz dopuszcza wprowadzanie poprawek w ciągu roku. W czasie obowiązywania rozkładu jazdy 2015/2016 przewidziano następujące terminy korekt: 13 III, 12 VI, 4 IX, 16 X, co podzieliło rok na 5 okresów obowiązywania rozkładu jazdy. Przeanalizowanie rozkładu jazdy w ciągu roku jest zatem zadaniem utrudnionym, z uwagi na częste poprawki i nowe okresy obowiązywania, dużą rotację zmiany liczby połączeń i zmienność relacji pociągów. Badania prowadzone w różnych okresach czasowych nawet tego samego roku mogłyby zatem przynieść różne wyniki, co utrudniłoby porównywanie i wyciąganie właściwych wniosków. Kwestia sezonu turystycznego dotyczy zwiększonego ruchu w miesiącach letnich i zimowych. Autor pracy zdecydował się na badania rozkładu jazdy w jednym i tym samym okresie jego obowiązywania dla wszystkich miejscowości uzdrowiskowych. Rozwiązanie takie sprzyja porównywalności dostępności komunikacyjnej wszystkich badanych uzdrowisk. Jako okres obowiązywania rozkładu, przyjęty do badań, uznano okres od 13 marca do 11 czerwca 2016 roku. Wybór tegoż okresu podyktowany był spodziewaną wzrastającą po okresie jesienno-zimowym wielkością ruchu turystycznego. Ponadto badanie rozkładu jazdy pociągów w miesiącach drugiego kwartału roku pozwala uchwycić ruch turystyczny, który hipotetycznie może być w większym stopniu uzdrowiskowy – niż w miesiącach wakacyjnych, w których znaczną część przejazdów odbywają rodziny w celach wypoczynkowych.

Analiza rozkładu jazdy przeprowadzona w pracy miała na celu zapo-

znanie się z liczbą pociągów na dobę łączącą wielkie ośrodki miejskie z uzdrowiskami. To z wielkich ośrodków miejskich pochodzi znaczna część turystów odwiedzających uzdrowiska, w tym kuracjuszy przyjeżdżających po zdrowie. Powodów takiej sytuacji jest wiele: znaczna część populacji Polski zamieszkuje miasta (wskaźnik urbanizacji na poziomie powyżej 60%), w wielkich miastach (np. powyżej 200 – 500 tys. mieszkańców) dostęp do służby zdrowia jest lepszy, chorób cywilizacyjnych więcej a tym samym potrzeby naprawy stanu zdrowia są bardziej rozbudowane. Nie bez znaczenia jest również świadomość społeczna, która w wielkich miastach jest bardziej rozwinięta, a co za tym idzie ludzie w większym stopniu niż na wsi decydują się na wyjazdy sanatoryjne. Ponadto duże miasta można traktować jako punkty przesiadkowe, np. turyści lub kuracjusze zmierzający do Kudowy Zdroju przeważnie docierają do stolicy regionu – Wrocławia, skąd w obrębie województwa dojeżdżają do celu. Zatem wielkie miasta (np. stolice województw) można traktować jako regionalne punkty skupiające w większości przypadków ruch turystyczny krajowy (a nawet zagraniczny), z których łatwiej dotrzeć do miejscowości uzdrowiskowej. Sytuacja taka ma miejsce nie tylko w transporcie kolejowym, ale i pozostałych. Po powstaniu w znacznej części województw odrębnych regionalnych przewoźników kolejowych, centralizacja stolicy województwa jako węzła transportowego została jeszcze bardziej podkreślona. Powstało wielu przewoźników, których zasięg funkcjonowania ogranicza się do jednego województwa lub do najbliższych miejscowości tuż za granicą danego województwa, posiadających często walory przesiadkowe. Przykładami takich przewoźników kolejowych są np. Koleje Dolnośląskie, Koleje Mazowieckie, Koleje Małopolskie.

Analiza ilościowa sprzyja formułowaniu wniosków dotyczących dostępności komunikacyjnej. Liczba połączeń jest pewną odpowiedzią na zapotrzebowanie społeczne oraz

często swoistym kompromisem pomiędzy pełnymi potrzebami społeczności zamieszkującej obszar wzdłuż danej linii kolejowej a możliwościami np. technicznymi, taborowymi, organizacji ruchu na linii, wreszcie ekonomicznymi. Liczba połączeń na dobę i ich czas realizacji mogą dostarczać wielu pośrednich informacji o grupach odwiedzających. Przykładowo częste połączenia poranne (od np. godziny 4 do 8) oraz popołudniowe (od np. godziny 14 do 18), realizowane w dni robocze od poniedziałku do piątku informują o dużej liczbie pasażerów przemieszczających się do (i z) pracy lub szkoły (w terenach silnie zurbanizowanych). W przypadku połączeń nocnych (w tym z wagonami z miejscami do leżenia i miejscami sypialnymi) realizowanych w okresie ferii zimowych lub letnich, z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić turystyczny charakter takich połączeń. Równomierny rozkład liczby połączeń w ciągu doby świadczyć może o stałym zainteresowaniu podróżnych rejonem, lecz również o umiejętnie prowadzonej polityce transportowej władz chcących zapewnić elastyczny dostęp do rejonu. Aby uchwycić i przedstawić w graficzny sposób czas przejazdu użyto w pracy metody kartograficznej izochron. Metoda ta jest często wykorzystywana przez autora niniejszego artykułu celem zobrazowania zależności pomiędzy transportem a turystyką i zobrazowania ich w ujęciu kartograficznym (m. in. w: „Analiza dostępności kolejowej do największych miejscowości turystycznych w polskich górach”, Przegląd Komunikacyjny nr 6 (czerwiec 2014), str. 25-28 [1]; „Autobusowa i kolejowa oferta w relacjach Szczecin – Wybrzeże Bałtyku”, Przegląd Komunikacyjny nr 3 (marzec 2009), str. 27-32 [2]; „Ekwidystanty czasowe dostępności komunikacyjnej do wybranych miejscowości nadbałtyckich Pobrzeża Koszalińskiego”, Transport i Komunikacja nr 6 (listopad – grudzień 2007), str. 12-17 [3]; „Nałęczowska Kolej Dojazdowa i jej rola w kształtowaniu przestrzeni turystycznej”, Przegląd Komunikacyjny

nr 10 (październik 2006), str. 32-35 [4]. Metoda polega na wyznaczeniu linii ukazujących jednakową dostępność czasową względem punktu odniesienia [6]. Za punkt odniesienia uznano stolicę województwa, w którym znajdują się czynne linie kolejowe dowożące pasażerów do uzdrowisk statutowych. Ponieważ badane są wszystkie uzdrowiska statutowe w Polsce południowej posiadające czynną linię kolejową, niezbędne jest wykonanie kilku map – oddzielnych dla każdego województwa. Z uwagi na różnicowanie rodzajów pociągów pasażerskich (osobowe – zatrzymujące się na wszystkich stacjach i przystankach oraz dalekobieżne – nie zatrzymujące się na wszystkich stacjach) – konieczne jest umieszczenie na mapie dostępności takiegoż różnicowania. W przypadku różnych pociągów dalekobieżnych poruszających się z różnymi prędkościami na danej linii do uzdrowiska (np. pociągów pospiesznych typu TLK, pociągów InterCity, ekspresów Premium realizowanych jednostkami Pendolino itd.) – przyjęto najszybsze połączenie pomiędzy stolicą województwa a uzdrowiskiem. W niektórych przypadkach szybkie pociągi (np. Pendolino) mogą się nie zatrzymywać na stacji danego uzdrowiska, dlatego też przyjęto najszybsze połączenie pasażerskie dalekobieżne, które pozwala turystom wysiąść na stacji miejscowości uzdrowiskowej. Wedle tej prędkości naniezione zostały na mapę izochrony. W przypadku połączeń osobowych – czasy przejazdu będą nieco dłuższe, co wynika z faktu zatrzymywania się na każdej stacji i przystanku osobowym. Dlatego też izochrony będą uwzględniały najwolniejsze połączenie pomiędzy stolicą województwa a uzdrowiskiem. Pozwoli to na uchwycenie różnic pomiędzy czasem dojazdu pociągiem osobowym i najszybszym dalekobieżnym. Wnioski takie mogą posłużyć chociażby do analizy konkurencyjności połączeń np. osobowych w stosunku do innych form transportu. Ponadto brak linii w kolorze przyporządkowanym połączeniom najszybszym może świadczyć o

istnieniu na danej linii jedynie pociągów osobowych.

Metodę analizy dokumentacji, jaką jest rozkład jazdy (celem zbadania liczby połączeń) oraz metodę kartograficzną izochron (celem zbadania czasu przejazdu) przeprowadzono tak, by była ona powtarzalna. Innymi słowy, osoba przeprowadzająca podobne badanie na podobnym materiale (uzdrowiska) i na tym samym rozkładzie jazdy (ten sam okres funkcjonowania) otrzymać powinna takie same wyniki badań.

Kolejną kwestią mającą istotne znaczenie dla badań, jest materiał badawczy. Są nim uzdrowiska statutowe funkcjonujące na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej. Aby określić jednoznacznie, które uzdrowiska będą poddane badaniom, należy zapoznać się z listą uzdrowisk statutowych opublikowaną przez organy rządowe (Ministerstwo Zdrowia), a następnie określić do których miejscowości docierają linie kolejowe i które z nich są czynne i w rozkładzie jazdy 2015 / 2016 (a w szczególności w części rozkładu funkcjonującej od 13 marca do 11 czerwca 2016 roku) utrzymują połączenia pasażerskie.

Uzdrowiskiem jest obszar, na terenie którego prowadzi się lecznictwo uzdrowiskowe (np. w oparciu o znajdujące się na jego terytorium surowce lecznicze) [8]. Obszarowi takiemu nadaje się status uzdrowiska w oparciu o wniosek danej gminy i opracowanie przez nią tzw. operatu uzdrowiskowego, który stwierdza spełnianie wymogów. Do nich z kolei zalicza się między innymi: posiadanie leczniczego klimatu i źródeł surowców leczniczych, posiadanie zakładów leczniczych, szpitali i sanatoriów świadczących usługi lecznictwa uzdrowiskowego. Ustawodawca podkreśla również ponadlokalne znaczenie miejscowości ubiegającej się o status uzdrowiska.

W Polsce obecnie 45 miejscowości zalicza się do uzdrowisk statutowych [11]. Nie wszystkie z nich posiadają linie kolejowe. W województwie dolnośląskim przeanalizowano dostępność kolejową do: Cieplić Śląskich,

Jedliny, Polanicy, Dusznik, Kudowy i Długopola. Linie kolejowe do Świeradowa, Przerzeczyna i Łądku nie prowadzą bowiem połączeń pasażerskich a kolej nie dociera do Czerniawy i Szczawna Zdroju. W województwie małopolskim przeprowadzona została analiza dostępności kolejowej do Swoszowic-Krakowa, Rabki, Piwnicznej, Żegiestowa, Muszyny i Krynicy, w przypadku Szczawnicy, Wysowej i Wapiennego nie podejmowano analizy z uwagi na brak linii kolejowych.

Województwo dolnośląskie jest obszarem bogatym w zarówno w uzdrowiska (aż 11 miejscowości, co daje blisko 25% liczby polskich uzdrowisk statutowych), jak i w linie kolejowe. Gęstość sieci kolejowej jest jedną z wyższych w kraju (ok. 8,8 km na 100 km², przy średniej ok. 6,2 km na 100 km² dla całego kraju) [7], co spowodowane jest zaszczołami historycznymi. Obszar województwa niegdyś należał do zaboru pruskiego, na terenie którego dość sprawnie przebiegał rozwój sieci kolejowej.

W rozkładzie jazdy obowiązującym w badanym okresie (13 marca – 11 czerwca 2016 r.) nie ma żadnego bezpośredniego połączenia Wrocławia z **Jedliną Zdrój**. Oficjalna wyszukiwarka – pierwsza proponowana przez internet po wpisaniu frazy „rozkład jazdy pociągów” [10], zaleca przesiadki w Wałbrzychu lub Kłodzku. Z racji położenia Jedliny w bezpośrednim sąsiedztwie Wałbrzycha (ok. 5-6 km od stacji kolejowej Wałbrzych Główny), autor przyjął Wałbrzych za dogodniejszy punkt przesiadkowy. Proponowane przesiadki w Kłodzku znacznie wydłużają podróż (z ok. 2 godzin przez Wałbrzych do ok. 3 godzin przez Kłodzko). Dla daty 30 marca (środa) wybranej z badanego okresu obowiązywania rozkładu – strona www.rozklad-pkp.pl zaproponowała 9 możliwości dojazdu z Wrocławia Głównego do Jedliny Zdrój. Większość połączeń realizowanych jest pociągami spółki Koleje Dolnośląskie. Pierwsze połączenie możliwe jest pociągiem złożonym z jednostek trakcyjnych o godz. 7:15 z Wrocławia do Wałbrzycha Głównego (przyjazd na

godzinę 8:41), skąd po 14 minutach na przesiadkę odjeżdża szynobus do Jedliny Zdrój (o godz. 8:55, przyjazd na godzinę 9:07). W obu przypadkach są to połączenia osobowe (realizowane przez pociągi zatrzymujące się na każdej stacji i przystanku osobowym). Przytoczone ranne połączenie jest jednym z najkrótszych (całkowity czas dojazdu ze stolicy województwa wynosi 1 godzinę i 52 minuty) – najkrócej da się pokonać tę trasę połączeniami południowymi – w 1 godzinę i 43 minuty (o godz. 11:45 z Wrocławia na godz. 13:28 w Jedlinie Zdr.). Zaledwie w 3 przypadkach wyszukiwarka zaleca skorzystanie z usług innego przewoźnika niż Koleje Dolnośląskie, tylko w pierwszym etapie podróży z Wrocławia (o godz. 8:30, 15:46 i 22:55) – z Przewozów Regionalnych. Godziny wyjazdu z Wrocławia Głównego na wybrany dzień przedstawiają się następująco: 7:15, 8:30, 11:45, 13:07, 14:59, 15:46, 18:03, 22:55 i 23:06. Z analizy godzin odjazdu wynika, że stosunkowo duże nagromadzenie pociągów koncentruje się w godzinach porannych (pomiędzy godz. 7 a 9) oraz w godzinach popołudniowych (pomiędzy godz. 13 a 16). Między tymi szczytami przewozowymi istnieje zaledwie jedno połączenie (o godz. 11:45). Co ciekawe, wszystkie te połączenia dzienne pozwalają na pokonanie trasy w czasie do 3,5 godziny, podczas gdy 2 połączenia wieczorne są znacznie dłuższe i umożliwiają dojazd w czasie od 6 godzin i 49 minut (w przypadku połączenia o godz. 22:55) do nawet 7 godzin i 10 minut (połączenie o godz. 23:06 z Wrocławia Głównego). Spowodowane jest to przyjazdem pociągów z Wrocławia do Wałbrzycha lub Kłodzka w okolicy północy, przy braku możliwości dalszej jazdy i konieczności oczekiwania na pierwsze wczesne połączenie ranne do Jedliny Zdroju. Po wprowadzeniu takiego samego zapytania dla daty 3 kwietnia (niedziela) strona również wykazała 9 połączeń na dobę (jedyną różnicą było połączenie zamiast o godz. 11:45, nieco wcześniej z Wrocławia – o godz. 10:55).

Reasumując, połączenia stolicy

województwa z Jedliną Zdrój nie są wykonywane bezpośrednio (konieczność 1 przesiadki), są tylko realizowane pociągami pasażerskimi (w większości spółki Koleje Dolnośląskie, poza tym pociągami Przewozów Regionalnych), istnieje 9 połączeń na dobę w dzień roboczy. Trasa pokonywana jest od ok. 83 minut do 200 minut (średnio 142 minuty), nie licząc połączeń z nocnym oczekiwaniem na pierwszy pociąg ranny do Jedliny po przesiadce w Kłodzku lub Wałbrzychu.

Cieplice Śląskie Zdrój są uzdrowiskiem położonym w granicach administracyjnych Jeleniej Góry, jednakże nieco dalej za główną stacją kolejową. Przy zaobserwowanych 13 połączeniach stolicy regionu z Jelenią Górą (12 połączeń bezpośrednich i 1 z przesiadką w Węglińcu) realizowanych w dniu 30 marca (dzień roboczy), zaledwie 7 bezpośrednich połączeń wiąże Wrocław z dzielnicą uzdrowską Jeleniej Góry (poprzez stację Jelenia Góra Cieplice). Aż 6 z nich prowadzą Koleje Dolnośląskie, jedno połączenie uruchomiły Przewozy Regionalne. Wszystkie wymienione połączenia są osobowe, brak połączeń dalekobieżnych (nie zatrzymujących się na wszystkich stacjach, a przez to jadących szybciej). Godziny odjazdów pociągów z Wrocławia są następujące: 4:47, 7:15, 9:43, 10:55, 12:50, 14:59, 16:50. Jak widać, zachowany tu został przybliżony 2-godzinny takt odjazdów. Dziwić może brak połączeń bezpośrednich po godzinie 16:50 – aż do następnego dnia. Ponieważ połączenia są bezpośrednie, nie ma konieczności poddawania się różnie rozłożonym w czasie okresom na przesiadkę, co wpływa na stosunkowo podobny czas przejazdu wahający się od 2 godzin i 29 minut w najkrótszym przejeździe pociągiem o godz. 9:43 do 2 godzin 51 minut w połączeniu rannym o godz. 4:47. Średni czas przejazdu oscyluje zatem ok. 160 minut. Turystyczny charakter linii może podkreślać uruchomienie dodatkowego połączenia w weekendy – w niedzielę 3 kwietnia na tej trasie funkcjonuje nie 7 lecz 8 połączeń.

Różnica dotyczy godzin porannych, w których funkcjonują następujące pociągi odjeżdżające z Wrocławia Głównego: o godz. 5:48 (pociąg dalekobieżny), o godz. 6:18, 7:15 i 9:24 (pociągi osobowe). Pociąg dalekobieżny uruchamiany przez przewoźnika PKP Intercity kategorii TLK o nazwie Aurora kursuje w relacji Wrocław Główny – Szklarska Poręba i pokonuje trasę do Ciepliec (na stację Jelenia Góra Cieplice) w czasie podobnym do pociągów osobowych (2 godziny 35 minut czyli 155 minut), co wynika z długiego (18-minutowego) postoju na stacji Jelenia Góra.

Z racji położenia na tej samej linii, dostępność do **Polanicy Zdr., Dusznik Zdr. i Kudowy Zdr.** będzie analizowana wspólnie. Aby dostać się do tych uzdrowisk w dzień roboczy (wybrano losowo jeden w środku tygodnia w okresie obowiązywania badanego rozkładu) wyszukiwarka połączeń podpowiada możliwość skorzystania z 6 połączeń na dobę z Wrocławia (dnia 30 marca 2016). Pociągi wyruszają ze stolicy Dolnego Śląska o godzinach: 5:35, 6:34, 8:30, 13:07, 15:46 i 17:58. Jedynie połączenie w środku dnia jest bezpośrednie (pociąg Kolei Dolnośląskich wyjeżdżający o godz. 13:07), pozostałe połączenia uwzględniają 1 przesiadkę w Kłodzku pozwalającą na skorzystanie z pociągu Przewozów Regionalnych (do Kłodzka) i Kolei Dolnośląskich (do uzdrowisk). Do Polanicy Zdroju pociągi docierają odpowiednio o godz.: 8:00, 9:27, 12:36, 15:02, 18:20 i 20:07. Najdłuższym połączeniem jest wybór pociągu rannego o godz. 8:30 z Wrocławia (całkowity czas przejazdu z uwzględnieniem przesiadki wynosi 4 godziny i 6 minut), najkrótsze połączenie (pociąg bezpośredni Kolei Dolnośląskich wyjeżdżający o godz. 13:07) dociera do Polanicy po 1 godzinie i 55 minutach. Wszystkie pozostałe połączenia mieszczą się w przedziale od 2 godzin 9 minut do 2 godzin 53 minut. Średni czas przejazdu do Polanicy wynosi 181 minut. Wszystkie połączenia realizowane są pociągami osobowymi.

Do Dusznik dociera ta sama liczb

ba pociągów w ciągu doby. Pociągi zatrzymują się w Dusznikach we wszystkich 6-ciu przypadkach dołącznie 21 minut później niż w Polanicy, natomiast do Kudowy Zdroju dojeżdżają od 24 do 30 minut później niż do Dusznik. Średni czas przejazdu do Dusznik wynosi zatem 202 minuty, natomiast do Kudowy Zdroju – 229 minut.

W dzień weekendowy (np. niedzielę 3 kwietnia) do Kudowy, a tym samym Dusznik i Polanicy dociera 5 połączeń kolejowych z Wrocławia (w tym 2 bezpośrednie). Wyruszają o godz.: 7:21 (bezpośredni pociąg przewoźnika Koleje Dolnośląskie), 9:24, 13:07 (bezpośredni pociąg KD), 15:46 i 17:58. Pozostałe połączenia z przesiadkami bazują na dojeździe pociągiem Przewozów Regionalnych do Jaworzyny Śląskiej lub Kłodzka a następnie skorzystaniu z szynobusów KD. Wszystkie przytoczone pociągi mają rangę osobowych i zatrzymują się na każdej stacji i przystanku osobowym.

Długopole Zdrój położone jest w południowej części powiatu kłodzkiego, na trasie prowadzącej z Kłodzka do Międzylesia i dalej do granicy z Czechami. Wyszukiwarka połączeń [10] wskazuje na możliwość 9 połączeń stolicy województwa z uzdrowiskiem w dzień roboczy. Są to pociągi wyruszające o godz.: 5:35, 6:34, 8:30, 10:40, 13:07, 14:05, 14:54, 16:46 i 19:31. Tylko połączenie o godz. 13:07 wymaga od podróżujących przesiadki w Kłodzku, pozostałe dojeżdżają bezpośrednio do Długopola. Warto dodać, że część połączeń realizowanych jest pociągami międzynarodowymi docierającymi do Czech (6:34 do miejscowości Usti nad Orlici, 10:40 do miejscowości Lichkov, 16:46 do miasta Pardubice oraz pociąg z Kłodzka do Usti nad Orlici skomunikowany z pociągiem z Wrocławia wyjeżdżającym o godz. 13:07).

Czas przejazdu całej trasy z Wrocławia do Długopola waha się od 2 godzin 3 minut do 2 godzin 20 minut, przez co średni czas przejazdu wynosi 132 minuty. W niedzielę (3 IV) połączeń uruchamianych jest nieco mniej

– nie odjeżdżają 2 pociągi o godz.: 5:35 i 14:05.

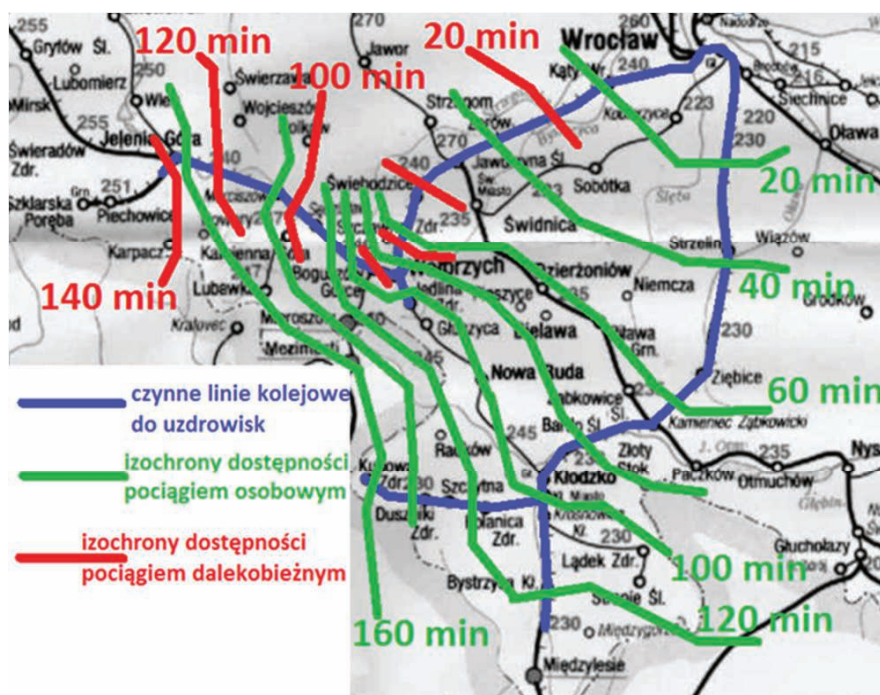
Województwo małopolskie obfituje w miejscowości o statucie uzdrowska. Są wśród nich: Swoszowice-Kraków, Rabka Zdrój, Piwniczna Zdrój, Żegiestów Zdrój, Muszyna i Krynica Zdrój – jako miejscowości posiadające czynne połączenia pasażerskie.

Swoszowice-Kraków oraz **Rabka Zdrój** położone są na trasie prowadzącej z Krakowa Głównego do Zakopanego. Z Krakowa Głównego spora część pociągów dociera do Krakowa Płaszowa, gdzie zmieniając kierunek jazdy lokomotywy pociągów dalekobieżnych są przeczepiane na drugą stronę. Taki układ sieci komunikacyjnej wymusza w dużej mierze dojazd do stacji Kraków Płaszów i częste przesiadki. Część pociągów dociera bezpośrednio z Krakowa Głównego w stronę obu uzdrowisk (Swoszowice i Rabki), jednakże powiązane jest to z postojem (zmiana kierunku jazdy). Dlatego też w niniejszej pracy zdecydowano się na badanie dostępności komunikacyjnej z Krakowa Płaszowa.

Na przykładzie daty 25 maja (dzień roboczy – środa), wybranej z zakresu obowiązywania badanego rozkładu jazdy, z Krakowa Płaszowa do Swoszowic można dotrzeć następującymi pociągami osobowymi: 3:59, 6:28, 7:47, 8:21, 10:27, 12:54, 14:29, 15:50, 16:04, 16:26, 16:53, 18:00, 18:30, 19:01 i 19:53. Prócz tych 15-stu połączeń osobowych realizowanych przez spółkę Przewozy Regionalne, nie funkcjonują żadne pociągi pociągów pospiesznych. Wynika to zapewne z faktu, iż przystanek Kraków-Swoszowice jest położony w ramach dużego ośrodka miejskiego, jakim jest Kraków, lecz w peryferyjnej części. Pociągi dalekobieżne zatrzymują się na terenie miasta wyłącznie na stacjach położonych centralnie lub o charakterze węzłowym (dworce: Kraków Główny i Kraków Płaszów). Stacja Kraków-Swoszowice należy do ruchu aglomeracyjnego, stąd natężenie połączeń jest wyraźnie duże. W okresie od godziny 6:25 do godz. 8:25 uruchomiono 3 pociągi (średnio co godzinę), a w czasie popołudniowego ruchu szczytowego dla wraca-

jących z pracy i ze szkół (pomiędzy godziną 15:00 a 17:00) funkcjonują aż 4 połączenia (ze średnim taktem 30-minutowym). Pociągi pokonują ten odcinek od 11 do 14 minut (średnio w 12,5 minuty – w zaokrągleniu w 13 minut). W niedzielę 29 maja pomiędzy Krakowem Płaszowem a uzdrowską częścią miasta kursuje 13 pociągów. Zmiany w stosunku do dni roboczych polegają na tym, że rano system wykazuje połączenie przez Skawinę (pociągiem TLK do Skawiny o godzinie 4:54, następnie przesiadkę w Skawinie i przyjazd do Krakowa Swoszowic na godzinę 5:32). W sumie łącznie to trwa 38 minut. Ponadto w rozkładzie weekendowym uwzględniono pociąg 9:20, a nie uwzględniono jadących w dni robocze pociągów o godz.: 3:59, 10:27, 12:54 i 19:53. W ciągu dnia powstaje przerwa od godziny 9:20 do 14:29, kiedy to nie ma żadnego pociągu w stronę Swoszowic.

W dzień roboczy (25 maja, środa) z Krakowa Płaszowa do Rabki Zdroju dojeżdżają 4 pociągi na dobę. Pierwszy pociąg – osobowy Przewozów Regionalnych, wyrusza o godz. 7:47, kolejne pociągi tej samej kategorii i spółki – o godz. 12:54, 16:53 i 19:01. Trasę pokonują w czasie od 128 minut do 147 minut (średnio przez 138 minut). W niedzielę (29 maja) połączeń jest więcej, lecz w większości nie są one bezpośrednie. System na stronie internetowej www.rozklad-pkp.pl wskazuje na następujące niedzielne połączenia: 4:54 (pociąg dalekobieżny TLK do Chabówki, dalej pociąg osobowy Przewozów Regionalnych), 7:47 (bezpośredni, osobowy), 9:15 (pociąg dalekobieżny TLK do Chabówki, dalej pociąg osobowy Przewozów Regionalnych po ponad 4-godzinym czekaniu na przesiadkę), 11:54 (Ekspres InterCity do Chabówki i pociąg osobowy do Rabki), 16:53 (bezpośredni, osobowy), 19:01 (dwa pociągi osobowe Przewozów Regionalnych – pierwszy do Suchej Beskidzkiej a drugi po ponad 8-godzinym postoju do Rabki). Jak widać dwa połączenia niedzielne nie są zbyt atrakcyjne dla potencjalnych



1. Izochrony dostępności kolejowej z Wrocławia do uzdrowisk statutowych Polski województwa dolnośląskiego. Źródło: opracowanie własne – Michał Grzegorek

turystów z uwagi na zbyt długi okres oczekiwania na przesiadkę (odpowiednio ponad 4 i ponad 8 godzin). Połączenia te jednak wykazano w niniejszej analizie, gdyż zostały wskazane przez system komputerowy i widnieją w zapytaniu w wyszukiwarce połączeń kolejowych. Średni czas przejazdu w niedzielę jest zatem wydłużony z uwagi na wykazanie tychże czasochłonnych połączeń i wynosi ok. 6 godzin i 20 minut. Wynik nie jest jednak miarodajny. Aby był bardziej zbliżony do rzeczywistego, należałoby odrzucić w pomiarze średniego czasu przejazdu połączenia przesiadkowe z tak długim czasem na oczekiwanie na drugi pociąg. Po odrzuceniu obu zbyt wydłużonych czasowo połączeń pozostają wartości mieszczące się w zakresie od 2 godzin 11 minut do 4 godzin 31 minut (średnia 201 minut).

Kolejna grupa uzdrowisk małopolskich położona jest w dużym skupieniu, wzdłuż doliny rzeki Poprad, w Beskidzie Sądeckim. Są to uzdrowiska statutowe: **Piwniczna Zdrój, Żegiestów Zdrój, Muszyna i Krynica Zdrój**. Wszystkie one leżą w tejże kolejności i na tej samej linii kolejowej łączącej Tarnów z Krynica i będącej odnogą skierowaną na po-

łudnie ważnego szlaku transportowego łączącego Kraków ze Lwowem (przez Tarnów, Rzeszów i Przemyśl). Z Krakowa Płaszowa (z racji większej odległości) nie dociera do nich zbyt wiele pociągów bezpośrednich (1 na dobę w dni robocze), w pozostałych przypadkach konieczna jest przesiadka w Tarnowie. Połączenia wykazane w wyszukiwarce mówią o 4 możliwościach dojazdu do Krynicy (przez Piwniczną, Żegiestów i Muszynę): po pierwsze – ranny bezpośredni pociąg osobowy Przewozów Regionalnych o godz. 6:26 (docierający do Piwnicznej Zdroju o godz. 10:04, do Żegiestowa o godz. 10:29, do Muszyny o 10:46 i finalnie do Krynicy o godz. 11:11); po drugie – kolejny ranny pociąg osobowy o godzinie 8:10 do Tarnowa o godzinie 9:29 z koniecznością przesiadki na pociąg osobowy ponad 4 godziny później (o godz. 13:38) i docierający do uzdrowisk odpowiednio o godz. 16:06 (Piwniczna Zdrój), 16:32 (Żegiestów Zdrój), 16:56 (Muszyna) i 17:21 (Krynica Zdrój); po trzecie – pociąg (InterCity) wyruszający z Krakowa Płaszowa o godz. 9:55 i docierający do Tarnowa na godzinę 10:50, następnie konieczność oczekiwania aż do godziny 13:38 na pociąg osobowy opisany w poprzednim połączeniu; po

czwarte – popołudniowe połączenie obejmujące dwa pociągi osobowe Przewozów Regionalnych (o godz. 14:37 do Nowego Sącza i o godz. 18:15 z Nowego Sącza do Krynicy – zatrzymujący się w Piwnicznej Zdroju o godz. 18:41, w Żegiestowie Zdroju o godz. 19:11, w Muszynie o godz. 19:27 i w Krynicy o godzinie 19:52).

W niedzielę (na przykładzie dnia 29 maja) sposobów dotarcia z Krakowa Płaszowa do Krynicy i uzdrowisk położonych w jej pobliżu jest tyle samo (4), z tą różnicą, że w rozkładzie uwzględniono więcej pociągów bezpośrednich. Pierwszy odjeżdża już o godzinie 3:08 (pociąg dalekobieżny TLK) i dociera do uzdrowisk o godz.: 6:28 do Piwnicznej Zdroju, o 6:52 do Żegiestowa Zdroju, o 7:08 do Muszyny i o godz. 7:41 do Krynicy. Drugi pociąg – kursujący również w dni robocze – wyrusza o godz. 6:26. Trzecie połączenie to bezpośredni pociąg dalekobieżny TLK wyruszający z Krakowa o godz. 8:55 dociera do uzdrowisk Beskidu Sądeckiego odpowiednio o godz. 11:58, 12:23, 12:38 i 13:11. Czwarte połączenie – podobnie jak w dni robocze – z koniecznością przesiadki w Nowym Sączu.

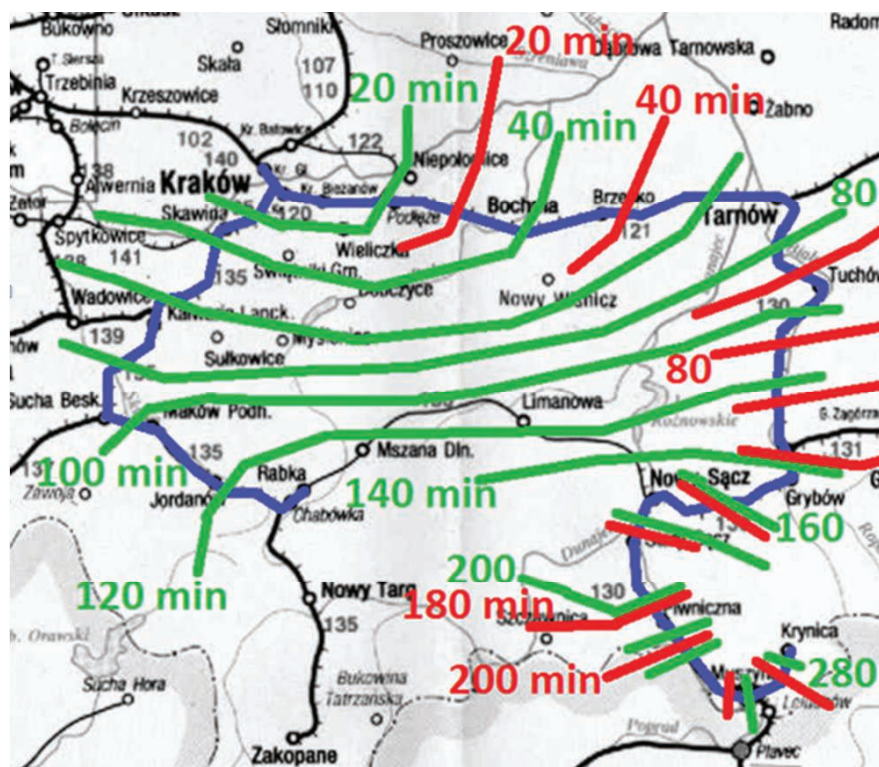
Średni czas przejazdu z Krakowa Płaszowa do Piwnicznej oscyluje między najszybszym połączeniem bezpośrednim w dni robocze (218 minut) a najwolniejszym z koniecznością przesiadki (244 minuty) i wynosi dokładnie 231 minut. Do Żegiestowa podróż zabiera od 243 minut do 274 minut (średnio 259 minut); do Muszyny – od 260 minut do 310 minut (średnio 285 minut) i do Krynicy – od 285 minut do 315 minut (średnio 300 minut).

Badane linie kolejowe zaznaczono kolorem niebieskim, natomiast linie izochron dla pociągów osobowych – kolorem zielonym, dla pociągów dalekobieżnych – kolorem czerwonym. Izochrony zostały poprowadzone co 20 minut jazdy pociągiem (patrz rysunek 1).

W Polsce południowo-zachodniej uzdrowiska koncentrują się w województwie dolnośląskim. Ze stolicy tego regionu – Wrocławia – prowadzą

dwie linie kolejowe do uzdrowisk – pierwsza w stronę Wałbrzycha (z odgałęzieniem do Jedliny Zdroju) i dalej do Jeleniej Góry Cieplic oraz druga – w stronę Kłodzka (z dwoma odnogami – w kierunku Kudowy i Długopola). Z Wrocławia do Jedliny Zdroju można przedostać się pociągiem osobowym w ciągu 103 minut, do Cieplic Śląskich (uzdrowskiej dzielnicy Jeleniej Góry) – przez 171 minut wybierając pociągi osobowe, przez 149 minut średnio pociągiem dalekobieżnym. Do uzdrowisk kłodzkich czas przejazdu z Wrocławia przedstawia się następująco: do Długopola – 132 minuty, do Polanicy 181 minut, przy czym podczas analizowania rozkładów jazdy wykazano, że najkrótsze połączenie czasowe pociągiem osobowym zajmuje zaledwie 115 minut (i ono zostało wzięte pod uwagę podczas wytyczania izochron). Tym samym do Dusznik pociąg pokonując tę trasę jedzie 136 minut a do Kudowy Zdroju – 163 minuty. Izochrony z Wrocławia do uzdrowisk województwa dolnośląskiego przedstawia rysunek 1.

Trudny i ciężko dostępny teren dla rozwoju kolei na terenie południowej części województwa dolnośląskiego, czego przyczyną jest ukształtowanie powierzchni, stanowić może słabą stronę sytuacji kolejnictwa na tym obszarze. Z drugiej strony duża liczba miejscowości turystycznych i uzdrowisk statutowych oraz gęsta sieć kolejowa mogą być odczytane jako mocne strony. Sporym problemem jest również stan infrastruktury kolejowej, co szczególnie widoczne jest na mapach w postaci zagęszczenia izochron. Zły stan torowisk i niska średnia prędkość pojazdów szynowych przyczyniają się do długiej podróży z Wrocławia do uzdrowisk dolnośląskich. Z kolei istnienie dużych ośrodków miejskich i stosunkowo duża urbanizacja terenu stanowi szansę na uruchomienie dużej liczby połączeń pozwalających na rozwiezienie pasażerów po regionie, w tym do uzdrowisk. Może to wpływać na częstsze decyzje niezmotoryzowanych potencjalnych turystów co do



2. Izochrony dostępności kolejowej z Krakowa do uzdrowisk statutowych Polski województwa małopolskiego. Źródło: opracowanie własne – Michał Grzegorek

podjmowania podróży do np. Kudowy Zdroju czy Cieplic. Duże miasta – jak Wałbrzych czy Jelenia Góra same w sobie są miejscowościami emisyjnymi. Przy tak stosunkowo niewielkiej odległości uzdrowisk od tychże miast spodziewać się należy ruchu turystycznego krótkookresowego, np. pobytów weekendowych. Odległości czasowe z Wałbrzycha do Jedliny Zdroju oraz z Jeleniej Góry do Cieplic Śląskich mieszczą się w ramach jednej izochrony, a więc w czasie do 20 minut. Sytuacja dojazdu ze stolicy województwa wygląda nieco gorzej. Najszybciej można dotrzeć z Wrocławia do uzdrowiska Jedlina Zdrój (w nieco ponad 100 minut), najdłuższa podróż czeka turystów zmierzających do uzdrowiska Kudowa Zdrój (powyżej 160 minut).

Województwo małopolskie posiada dwie linie kolejowe prowadzące ze stolicy regionu do uzdrowisk (linia z Krakowa do Rabki i do Krynicy). Jako uśrednione połączenie kolejowe pociągiem osobowym z Krakowa Płaszowa do Rabki (przez Kraków Swoszowice) przyjęto opisywane w niniejszej pracy podczas analizy rozkładów jazdy połączenie bezpo-

średnie pociągiem porannym wyruszającym ze stolicy województwa o godzinie 6:26. Wedle rozkładu jazdy tegoż pociągu osobowego stacja w Piwnicznej jest osiągnięta po 218 minutach podróży, stacja w Żegiestowie – po 243 minutach, stacja w Muszynie – po 260 minutach a końcowa stacja (Krynica Zdrój) po 285 minutach. Dla połączeń dalekobieżnych przyjęto opisywany wcześniej pociąg kursujący w niedzielę i opuszczający dworzec w Krakowie Płaszowie o godzinie 8:55 (pociąg TLK). Dociera on do Piwnicznej w czasie 183 minut, do Żegiestowa (208 minut), do Muszyny (223 minuty) oraz do Krynicy (256 minut). Izochrony z Krakowa ukazano na rysunku 2.

Wyjątkowo długi czas przejazdu z Krakowa do uzdrowisk Beskidu Sądeckiego (Piwnicznej, Żegiestowa, Muszyny i Krynicy) nie zachęca do skorzystania z transportu kolejowego. Czas na poziomie ponad 240 minut, czyli 4 godzin (w przypadku przejazdu pociągami pociągami pociągami pociągami z Krakowa Płaszowa do Krynicy) jest dłuższy niż przejazdu również pociągami dalekobieżnymi z Krakowa do Warszawy. Ponadto trasa pokonywana jest drogą

okrężną ze względu na ukształtowanie terenu. Stosunkowo rzadka sieć izochron koloru czerwonego na odcinku z Krakowa do Tarnowa świadczy o szybszym biegu pociągów, lecz za Tarnowem sytuacja znacznie się pogarsza. Linia wkracza wówczas na tereny podgórskie i górskie, wije się wieloma zakrętami, co spowalnia czas przejazdu. Pomimo elektryfikacji tej trasy w całości, pociągi nie są w stanie osiągać znacznych prędkości. Wiele odcinków tej linii posiada ograniczenia prędkości do 60 km/godz., co sprawia, że transport kolejowy napotyka duże trudności podczas konkurowania z transportem drogowym o pasażera przybywającego z Krakowa. Z podobnymi problemami zmagają się linia Kraków – Zakopane, przy której położone są dwa uzdrowiska: Swoiszowice i Rabka Zdrój. Trudnościami na obu liniach z Krakowa są konieczności zmiany kierunku jazdy np. na stacji Sucha Beskidzka lub Muszyna. Przeczepianie lokomotywy i jej manewry na stacji doprowadzające do usytuowania jej raz w końcowej raz w początkowej części składu pociągu zabierają dużo czasu i powodują jego finalne wydłużenie w odniesieniu do całej podróży. W przypadku elektrycznych zestawów trakcyjnych problem ten ograniczony jest do przejścia załogi pociągu z przodu na tył jednostki. Postoje takie w kalkulowane są w rozkład jazdy.

Przy utrudnionym jednoznacznym wskazaniu rangi liczby połączeń w stosunku do rangi czasu przejazdu, autor artykułu zdecydował się na przyporządkowanie uzdrowisk do czterech zaproponowanych kategorii:

1. uzdrowisk z dużą liczbą połączeń (powyżej średniej) i krótkim czasem przejazdu (poniżej średniej) – które roboczo nazwano uzdrowiskami SĄSIEDZKIEJ ŁĄCZNOŚCI;
2. uzdrowisk z małą liczbą połączeń (poniżej średniej) i krótkim czasem przejazdu (poniżej średniej) – które roboczo nazwano uzdrowiskami NIEWYKORZYSTANEJ SZANSY;
3. uzdrowisk z dużą liczbą połączeń (powyżej średniej) i długim cza-

sem przejazdu (powyżej średniej) – które roboczo nazwano uzdrowiskami EKSPANSJI TURYSTYCZNEJ;

4. uzdrowisk z małą liczbą połączeń (poniżej średniej) i długim czasem przejazdu (powyżej średniej) – które roboczo nazwano uzdrowiskami NIKŁEJ OSIĄGALNOŚCI.

Sformułowanie „sąsiedzka łączność” sugeruje bliskie położenie przy jednoczesnym zachowaniu stosunków, relacji. Według autora to sformułowanie doskonale oddaje charakter miejscowości uzdrowiskowych posiadających dużą (ponadprzeciętną) liczbę połączeń i znajdujących się w bezpośrednim kręgu oddziaływania tegoż miasta stołecznego, często w sąsiedztwie (np. Cieplice Zdrój względem Jeleniej Góry).

W przypadku dużej bliskości uzdrowiska względem wielkiego miasta, jakim niewątpliwie jest stolica województwa, ale w sytuacji małej liczby uruchamianych połączeń, można mówić o „niewykorzystanej szansie”. Rozumiana jest ona jako brak wykorzystania potencjału posiadanej linii do celów np. aglomeracyjnych, a przy okazji turystycznych – wynikających chociażby z posiadania przez daną miejscowość statutu uzdrowiska. „Niewykorzystana szansa” łączy w sobie istnienie infrastruktury kolejowej i posiadanie w pobliżu wielkiego miasta miejscowości turystycznej z jednoczesnym brakiem dostrzegania w tym położeniu szansy na rozwój obopólny – zarówno dla wielkiego miasta (stolicy województwa), jak i dla podmiejskiego uzdrowiska. Ów rozwój z punktu widzenia stolicy województwa może polegać na kierowaniu potoków ruchu pasażerskiego do stolicy, zwiększaniu zasobów siły roboczej, rozwoju przestrzennym i urbanistycznym na osi stolica – uzdrowisko, odciążaniu transportu drogowego na tejsze linii, wprowadzaniu ekologicznych form transportu, do jakich należy kolej. Rozwój, o którym mowa, rozpatrywany z punktu widzenia uzdrowiska polega przede wszystkim na poprawie dostępności

komunikacyjnej, pozyskaniu rzesz turystów na okresy wypoczynku np. weekendowego, stymulację rozwoju gospodarczego, napływ potencjalnych turystów nie posiadających własnego środka lokomocji, zwiększenie atrakcyjności i konkurencyjności w stosunku do innych uzdrowisk. Brak dostrzeżenia przytoczonych możliwości rozwoju wynikających z uruchamiania większej (niż przeciętnej) liczby połączeń kolejowych przy tak korzystnym położeniu, jakim jest bliskość wielkiej aglomeracji i przy istniejącej i czynnej infrastrukturze kolejowej jest przez autora określony mianem „niewykorzystanej szansy”.

Istnieje grupa uzdrowisk, która mimo swojego oddalenia od stolicy województwa, utrzymuje z nim dużą (ponadprzeciętną, powyżej średniej) liczbę połączeń kolejowych. Z racji znacznego oddalenia, często na granicach czy też peryferiach regionu, w przypadku tychże licznych połączeń nie można tylko i wyłącznie mówić o aglomeracyjnym charakterze owych linii kolejowych. Codzienny dojazd do pracy dłuższy niż np. 2,5 godziny w jedną stronę zdaje się być granicą ludzkiej wytrzymałości, gdyż doprowadza do sytuacji, że pracownik spędza 5 godzin na dobę podczas dojazdu do miejsca wykonywanej pracy. Sytuacja taka może mieć miejsce w przypadku regionów o dużym zróżnicowaniu pod względem zatrudnienia, gdzie na obrzeżach województwa panuje niebywale duże bezrobocie, podczas gdy w centrum – w stolicy – bezrobocie jest niewielkie. Jednakże w większości przypadków duża liczba połączeń na takiej trasie kolejowej nie wynika li tylko z bezrobocia. Często jest ona skutkiem dużej urbanizacji terenu (np. wzdłuż linii Katowice – Bielsko-Biała – Żywiec) lub istnienia atrakcyjnych terenów dla turystyki. Obszary takie mogą być eksplorowane przez turystów w większości rekrutujących się ze stolicy województwa. Dlatego też – na użytek niniejszej pracy – autor takie miejscowości nazywa uzdrowiskami „ekspansji turystycznej”, kładąc nacisk na ich turystyczny charakter wynikający z posiadania

statutu uzdrowiska. Turystyka jako szybko rozwijająca się część gospodarki może przyćmić duże bezrobocie, wprowadzając zatrudnienie (często sezonowe) i ożywiając ekonomię regionu. Stąd też podczas wybierania nazwy dla tejże grupy uzdrowisk nie zdecydowano się na miano uzdrowisk „słabo rozwiniętej gospodarki” lub „wysokiej urbanizacji na peryferiach regionu”. Autor uznał funkcję turystyczną za wiodącą w tej grupie uzdrowisk a dużą liczbę połączeń – za wynik badań potrzeb klientów (pasażerów), gotowych na pokonanie dłuższej trasy celem poznania regionu, eksplorowania go, penetracji przestrzeni i – „ekspansji turystycznej”. Do podobnej terminologii odnosił się S. Liszewski, wydzielając w 1995 roku pięć typów przestrzeni turystycznej: przestrzeń eksploracji, penetracji, asymilacji, kolonizacji i urbanizacji turystycznej [5].

Długi czas przejazdu i mała liczba połączeń nie zachęcają potencjalnego turysty do odwiedzenia tego typu uzdrowisk. W oczach turysty mogą być one traktowane jako uzdrowiska „nikłej osiągalności”, czyli znikomej możliwości dojazdu. Słowo nikła użyte w odniesieniu do komunikacji – przywodzi na myśl synonimy: mizerna, marna, znikoma, śladowa. Osiągalność w rozumieniu autora – może być traktowana jako zamiennik słowa dostępność. „Nikła osiągalność” to nie tylko słaby dojazd, ale i dotarcie w miejsca, gdzie zanika dostęp, dojazd na krańce zasięgu, gdzieś daleko. Sformułowanie to wytwarza wrażenie, że prawie nie da się tam zajechać, gdzie występuje nikła osiągalność. Być może ona zanika, jest ledwie widoczna, posiada marginalne znaczenie.

Wszystkie cztery typy uzdrowisk ilustruje rysunek 3.

Wśród uzdrowisk badanych województw średnia liczba połączeń na dobę (dnia roboczego i świątecznego) oraz najkrótszy czas przejazdu wyrażony w minutach przedstawiają się następująco: Cieplice – 7,5 połączenia na dobę i 149 minut, Długopole – odpowiednio 8 oraz 123 min.,

Duszniki – 5,5 oraz 136 min., Jedlina – 9 oraz 83 min., Krynica – 4 oraz 285 min., Kudowa – 5,5 oraz 160 min., Muszyna – 4 oraz 260 min., Piwniczna 4 oraz 218 min., Polanica – 5,5 oraz 115 min., Rabka – 5 oraz 128 min., Swoszowice – 14 oraz 11 min., Żegiestów 4 oraz 243 minuty. Średnio w uzdrowiskach badanych 2 województw rozkład jazdy uwzględnia 6,3 połączeń kolejowych na dobę w skali tygodnia (czyli ze średnim taktem co 4 godziny) a najkrótszy czas przejazdu do uzdrowiska ze stolicy województwa trwa 159 minut, czyli 2 godziny i 39 minut.

Najniższą liczbą połączeń (uśrednioną dla dni roboczych i weekendowych) charakteryzują się uzdrowiska usytuowane na obrzeżach kraju, daleko od wielkich ośrodków miejskich. Należą do nich: uzdrowiska sądeckie (Piwniczna, Żegiestów, Muszyna i Krynica) – średnio 4 połączenia na dobę. Niska liczba połączeń do Rabki Zdroju (5 połączeń) oraz do uzdrowisk kłodzkich, czyli do Kudowy, Dusznik i Polanicy (średnio 5,5), również wpływa z peryferyjnego i przygranicznego położenia, choć w przypadku Rabki odległość od stolicy województwa nie jest tak duża. Drugim determinantem wyznaczonym przez autora typologii jako potencjalny czynnik sprzyjający dużej liczby funkcjonujących pociągów do uzdrowisk jest duży wskaźnik urbanizacji regionu. W rejonach gęsto zaludnionych (powyżej 500 osób na 1 km kwadratowy) położone jest uzdrowisko Swoszowice (w aglome-

racji krakowskiej), które zanotowały aż 14 połączeń na dobę. Można zatem stwierdzić, że czynnik urbanizacji ma znaczenie dla liczby połączeń. Trzecim parametrem jest położenie na ważnym gospodarczo szlaku komunikacyjnym. Wiele uzdrowisk bowiem leży wzdłuż krótkiej odnogi kolei (np. Polanica Zdrój, Długopole Zdrój, Ustroń) lub na stacji końcowej takiej odnogi (np. Świnoujście, Kudowa Zdrój, Krynica). Przez niewiele uzdrowisk statutowych przebiegają linie, które łączą np. dwie duże aglomeracje (dwa duże miasta), duże miasto z przejściem granicznym. Na takich trasach spośród analizowanych uzdrowisk znajduje się Długopole Zdrój – na trasie łączącej Wrocław z Czechami.

Wśród badanych parametrów wydaje się być optymalną sytuacją, gdy czas przejazdu ze stolicy regionu do uzdrowiska jest niski a liczba połączeń wysoka. Taki układ zależy przede wszystkim od położenia geograficznego uzdrowisk. Tę grupę stanowią uzdrowiska „sąsiedzkiej łączności”. Z analizy wynika, że należą do nich: Jedlina, Swoszowice, Długopole i Cieplice Śląskie, które zanotowały większą niż średnia liczbę połączeń na dobę przy jednoczesnym krótszym niż średnia czasie przejazdu. Analogicznie do grupy uzdrowisk „niewykorzystanej szansy” zaliczyć można: Rabkę, Duszniki i Polanicę; do grupy uzdrowisk „nikłej osiągalności” – Kudowę, Piwniczną, Żegiestów, Muszynę i Krynice.



3. Cztery typy uzdrowisk pod względem dostępności kolejowej.
Źródło: opracowanie własne – Michał Grzegorek

Co ciekawe, żadne uzdrowisko nie zakwalifikowało się do czwartego typu – uzdrowisk „ekspansji turystycznej”. Wszystkie uzdrowiska leżące daleko pod względem długości podróży od stolicy regionu notowały małą liczbę połączeń (maksymalnie 5,5 na dobę). Wyciągnąć można zatem wniosek mówiący o tym, że czym dalej od stolicy regionu tym połączeń mniej. Siłą rzeczy oddalenie wpływa na czas przejazdu, choć ten może być skrócony poprzez inwestycje w elektryfikację linii. Spośród przebadanych uzdrowisk jedynie do 4 z nich nie docierały tory zelektryfikowane (do Jedliny Zdroju, Kudowy, Dusznik i Polanicy Zdroju). Brak elektryfikacji zwiększył czas dojazdu i osłabił dostępność.

Innym ważnym czynnikiem, który niewątpliwie wpłynął na wyniki badań, była obecność lub jej brak połączeń dalekobieżnych do uzdrowisk. Zwiększa ona bowiem szansę na szybkie połączenie uzdrowiska z odległymi ośrodkami miejskimi porzucanymi na terenie całego kraju. Pociągi dalekobieżne nie docierają w Polsce (w badanym rozkładzie jazdy) do następujących uzdrowisk: Jedlina Zdrój, uzdrowiska kłodzkie (Kudowa, Duszniki, Polanica i Długopole), Swošowice i Rabka Zdrój.

Reasumując – najlepszą dostępnością kolejową charakteryzują się uzdrowiska grupy „sąsiedzkiej łączności”. Wśród nich najwyższe wartości wskaźnika liczby połączeń przy jednoczesnym najniższym czasie przejazdu zanotowały Swošowice jako dzielnica Krakowa. Najgorsze parametry czasu dostania się do miejscowości uzdrowskiej oraz nikłej liczby połączeń na dobę zanotowała Krynica. Gdyby ze szczególną uwagą uwzględnić obecność elektryfikacji i połączeń dalekobieżnych – najslabszy wynik dostępności zanotowałyby Kudowa Zdrój. Wyniki te odnoszą się oczywiście do miejscowości, w których istnieje ruch kolejowy.

Należy pamiętać, że podobne badania w oparciu o zaproponowaną typologię można przeprowadzić w stosunku do dostępności komuni-

kacyjnej np. za pomocą transportu drogowego. Wówczas zestawienie położenia geograficznego względem środka układu – stolicy województwa – przeciwstawione będzie liczbie połączeń autobusowych lub np. natężeniu ruchu samochodowego wymierzonego w odrębnych badaniach. Także centrum układu można zmienić, odnosząc całość przeprowadzonych badań np. do stolicy kraju lub innego dowolnie wybranego miejsca, w zależności od potrzeb. Zmianie ulec może również podmiot badań – zamiast uzdrowisk badać można np. miejscowości narciarskie, kąpieliska nadmorskie, parki narodowe czy inne tematyczne grupy elementów przestrzennych. Do interesujących wniosków prowadzić mogą porównania badań typologicznych danej grupy miejscowości przeprowadzone pod kątem kilku rodzajów transportu a następnie porównane. Autor artykułu żywi nadzieję, że zaprezentowana i opracowana metoda typologii znajdzie odzwierciedlenie w przyszłych badaniach prowadzących do lepszego zrozumienia związków i wspólnych zależności pomiędzy turystyką a transportem. Badania przy użyciu metody mogą bowiem pozwolić na uchwycenie mocnych i słabych stron oraz szans i zagrożeń w rozwoju gospodarczym danego regionu, co z kolei warunkować może kolejne działania podejmowane celem poprawienia lub utrzymania sytuacji. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Grzegorek M., „Analiza dostępności kolejowej do największych miejscowości turystycznych w polskich górach”, *Przegląd Komunikacyjny* nr 6 (czerwiec 2014), Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Wrocław 2014, str. 25-28
- [2] Grzegorek M., „Autobusowa i kolejowa oferta w relacjach Szczecin – Wybrzeże Bałtyku”, *Przegląd Komunikacyjny* nr 3 (marzec 2009), Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Kraków 2009, str. 27-32
- [3] Grzegorek M., „Ekwidystanty czasowe dostępności komunikacyjnej do wybranych miejscowości nadbałtyckich Pobrzeża Koszalińskiego”, *Transport i Komunikacja* nr 6 (listopad – grudzień 2007), Kwidzyn 2007, str. 12-17
- [4] Grzegorek M., „Natęczowska Kolej Dojazdowa i jej rola w kształtowaniu przestrzeni turystycznej”, *Przegląd Komunikacyjny* nr 10 (październik 2006), Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Kraków 2006, str. 32-35
- [5] Liszewski S., 1995, *Przestrzeń turystyczna*, „Turyzm”, 5, 2
- [6] Ratajski L., 1989, *Metodyka kartografii społeczno-gospodarczej*, Wydawnictwo PPWK, Warszawa-Wrocław, str. 164
- [7] *Rocznik statystyczny Głównego Urzędu Statystycznego: Transport. Wyniki działalności w 2013 r.*, GUS, Warszawa 2014, str. 94 – II Transport kolejowy, tabl. 1(14) Linie kolejowe eksploatowane wg województw
- [8] Ustawa z dnia 28 lipca 2005 roku o lecznictwie uzdrowskowym, uzdrowskach i obszarach ochrony uzdrowskiej (tekst jedn. Dziennik Ustaw z 2012 roku, pozycja 651)
- [9] Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie drogowym, Rozdział 6 „Udostępnianie infrastruktury kolejowej i opłaty za korzystanie z infrastruktury kolejowej”, Art. 30, ustęp 5 i 5a, Dziennik Ustaw 2003, Nr 86 Poz. 789
- [10] www.rozklad-pkp.pl, dnia 29 marca 2016r.
- [11] www2.mz.gov.pl/wwwmz/index?mr=m8&ms=625&ml=pl&mi=625&mx=0&ma=10282, dnia 22 marca 2016r.

Materiały niebezpieczne w przewozach intermodalnych

Dangerous materials in intermodal transport



Henryk Zielaskiewicz

Dyrektor Biura Logistyki PKP S.A.,
Akademia WSB w Dąbrowie
Górniczej

Streszczenie: W artykule zaprezentowano problematykę dotyczącą przewozu materiałów niebezpiecznych w przewozach intermodalnych. Skupiono uwagę na jednostki intermodalne używane są do przewozów masowych towarów płynnych różnymi rodzajami transportu uważane w większości za materiały niebezpieczne. Następnie omówiono stan terminali intermodalnych w Polsce, a następnie odniesiono się do stanu prawnego i przepisów obowiązujących. Wskazano aktualne trendy i perspektywy w rozwoju przewozu materiałów niebezpiecznych w przewozach intermodalnych.

Słowa kluczowe: Tank-kontenery; Rozwój przewozów intermodalnych; Materiały niebezpieczne; Place składowe systemy zabezpieczeń

Abstract: The article presents issues related to the transport of hazardous materials in intermodal transport. Attention has been paid to intermodal units used for mass transport of liquid goods with various modes of transport, which are mostly considered as hazardous materials. Next, the state of intermodal terminals in Poland was discussed, and then the legal status and applicable regulations were referred to. Current trends and perspectives in the development of the transport of hazardous materials in intermodal transport were indicated.

Keywords: Tank-containers; Development of intermodal transport; Dangerous materials; Storage yards security systems

Pojawienie się kontenera, jako nowego urządzenia transportowego wpłynęło przeobrażająco na cały system transportowy. Dla ograniczenia w transporcie morskim dużej ilości przeładunków małych, drogich przesyłek, wymagających czasochłonnej manipulacji przeładunkowej, opracowano koncepcję jednostek ładunkowych, pozwalających na uproszczenie i przyspieszenie całej operacji przeładunkowej w portach. W początkowym okresie ten sposób przeładunku dedykowany był tylko dla przesyłek sztukowych. Stopniowo jednak zwiększał się zakres rodzajowy obsługiwanych ładunków. Przemianom uległa też konstrukcja kontenera w zakresie dostosowania jej do segmentu przewożonego ładunku. System zastosowany w transporcie morskim wymusił na innych gałęziach transportu przemianę oraz włączanie się do tego rozważania w

przewozie ładunków drobnicowych. W ten sposób konteneryzacja objęła również transport lądowy: samochodowy, kolejowy i lotniczy, w którym wykorzystywany jest inny rodzaj jednostki ładunkowej. W Polsce, w ostatnich latach, bardzo mocno rozwijają się przewozy intermodalne ich dynamika wzrostu jest kilkunastoprocentowa i w latach 2011-2018 dla pracy przewozowej wyniosła 15,9% rosnąc z 2,45 miliardów tonokilometrów w roku 2011 do 6,62 miliardów tonokilometrów w roku 2018. W przewiezionej masie ładunków dynamika wzrostu jest jeszcze większa i w tym samym okresie wyniosła 18,4%. W roku 2011 przewieziono 5,9 milionów ton, natomiast w roku 2018 ponad 17 milionów ton. Jednak mając na uwadze udział przewozów intermodalnych w polskim rynku kolejowych przewozów towarowych wyniosły odpowiednio 6,8% w ujęciu masy i

10,3% w pracy przewozowej. Biorąc pod uwagę średnie wielkości Unijne w tych miernikach na poziomie 17%-19% rynek przewozów w tym segmencie ładunków w Polsce będzie się nadal rozwijał. Utrzymanie obecnego tempa przewozów intermodalnych po roku 2020 nie będzie możliwe bez dostosowania infrastruktury liniowej i punktowej, a także parku wagonowego i trakcyjnego. Konieczne są też działania promujące ten rodzaj transportu między innymi w zakresie wsparcia finansowego oraz uregulowań prawnych.

Wraz z rozwojem gospodarki oraz nowych technologii rośnie zapotrzebowanie na różnego rodzaju materiały kompozytowe, produkty chemiczne, czy petrochemiczne. Rozwijające się gospodarki to też wzrost konsumpcji. Z roku na rok zwiększają się przewozy produktów spożywczych, w tym płynnych. Do

ich przewozu coraz częściej wykonywane są specjalistyczne kontenery, a przed wszystkim kontenery zbiornikowe (tank kontenery). Tego typu jednostki intermodalne używane są do przewozów masowych towarów płynnych różnymi rodzajami transportu. Większość z nich zaliczana jest obecnie do grupy towarów niebezpiecznych. Takimi towarami są między innymi towary chemiczne i petrochemiczne takie jak kwasy, zasady, paliwa czy gazy skroplone. W ogólnych przewozach tego rodzaju jednostek intermodalnych jest jeszcze niewiele i nie przekraczają one wielkości 10%, jednak z roku na rok rośnie ich udział. Analizując okres od roku 2013 do roku 2016 na świecie nastąpił wzrost o ponad 40% przewozów tego rodzaju ładunków. Liczba kontenerów specjalistycznych od tego okresu wzrosła o około 2,5-krotnie i obecnie osiągnęła w wymiarze światowej wielkości 600 tys. Corocznie park tego typu jednostek intermodalnych zwiększa się o około 50 tys. sztuk. W ich produkcji dominują Chiny podobnie jak i w produkcji klasycznych jednostek intermodalnych. Drugim państwem pod względem liczby wyprodukowanych specjalistycznych jednostek jest Republika Południowej Afryki. Na rynku przewozów kontenerów zbiornikowych, podobnie jak i w przewozach pozostałych jednostek intermodalnych, dominują najwięksi gracze – operatorzy globalni, którzy posiadają około 50% rynku, a tym samym kontenerów zbiornikowych. Do największych z nich możemy zaliczyć Newport/Sinochem, Blukhaul, Hoyer, Stolt-Nielsen. Duża część kontenerów specjalistycznych jest własnością firm produkujących materiały do przewożenia których potrzebne są specjalistyczne jednostki, w tym tank kontenery. Coraz więcej firm zajmujących się leasingiem tank kontenerów dostrzegając rosnącą koniunkturę powiększa swoje zasoby floty. Do największych firm leasingowych możemy zliczyć Exsif, Triton International,

Seaco Global, Euro-tainer, Raffles Lease, Trifleet Leasing. Mając na uwadze obecne wzrostowe trendy w tego rodzaju przewozach w Polsce będą też rosły proporcjonalnie przewozy w tank-kontenerach i innych specjalistycznych jednostkach intermodalnych.

W Polsce jest obecnie 36 terminali intermodalnych jednak ich wielkości i stan techniczny są bardzo zróżnicowane. Niestety większość z tych terminali nie spełnia warunków aby w sposób bezpieczny przechowywać kontenery z towarami niebezpiecznymi. Tylko nieliczne posiadają place składowe umożliwiające pełne wyłapywanie ewentualnych wycieków substancji. Operatorzy terminali albo nie posiadają żadnych zabezpieczeń albo posiadają zabezpieczenia w postaci przenośnych zbiorników, na których umieszczane są kontenery z wyciekami. Tego typu zabezpieczenie nie daje pełnej gwarancji ochrony środowiska. Zbiornik taki kształtem przypomina niski otwarty kontener, na którym stawiana jest uszkodzona jednostka intermodalna. Jednak jego pojemność jest istotnie ograniczona. Co ma znaczenie przy dużym rozszczelnieniu się tank kontenera szczególnie przy intensywnych opadach atmosferycznych. Najbardziej zaawansowanym rozwiązaniem w Polsce, spełniającym wszelkie normy ekologiczne, jest oddany do użytku w 2009 roku plac składowy materiałów niebezpiecznych w Małaszewiczach. Został on wybudowany z wykorzystaniem środków pomocowych UE w perspektywie finansowej 2007-2013. W tym przypadku połączone zostały funkcje miejsca odstawczego wagonów z materiałami niebezpiecznymi w przewozie przesyłek konwencjonalnych i intermodalnych. Płyta terminala wraz z odwodnieniem została wykonana w technologii zapewniającej pełne wychwytywanie niebezpiecznych substancji do dwóch dużych zbiorników. Koszty budowy takich dedykowanych placów są

jednak bardzo wysokie dlatego też wskazane byłoby aby w przyszłej perspektywie finansowej przewidzieć możliwość dofinansowania tego typu inwestycji na poziomie 70-80%.

Podstawowym prawem dla przewozów ładunków niebezpiecznych stanowi Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych (t.j.: Dz.U. z 2018 r., poz. 169). Zasady pakowania, przechowywania (częściowo) i transportu oraz załadunku i wyładunku materiałów niebezpiecznych zawarte są w przepisach wykonawczych do umowy ADR w transporcie drogowym, przepisach RID – w kolejowym, przepisach IATA – w lotniczym oraz przepisach IMDG dla transportu morskiego oraz ADN w transporcie wodnym śródlądowym. Zgodnie z postanowieniami m.in. wymienionych konwencji międzynarodowych, materiały niebezpieczne mogą być przewożone tylko w certyfikowanych opakowaniach, które są uprawnione do nanoszenia na nich znaku UN. Wymagania te obowiązują w przewozach krajowych i międzynarodowych. Bardzo ważnym zagadnieniem przy przewozie materiałów niebezpiecznych jest obieg informacji i proces monitoringu. Zasadniczo w czasie transportu jednostki intermodalne nie podlegają konwojowaniu, chyba że nadawca przesyłek niebezpiecznych jest tym zainteresowany lub przewożone są towary o bardzo dużym stopniu zagrożenia, np. paliwo jądrowe. Istotną czynnością przygotowawczą kontenera przewożącego materiały niebezpieczne jest stosowne jego zabezpieczenie. Możliwość śledzenia przesyłek oraz uniemożliwienie dostania się osobom niepowołanym do przewożonego towaru zapewniają nowe rozwiązania techniczne. W przewozach intermodalnych obowiązek plombowania intermodalnych jednostek transportowych, będących w stanie ładownym, zasadniczo spoczywa na nadawcy (gestorze ładunku), który po przeprowadzonym załadunku kon-

tenera, dokonuje tego poprzez założenie własnej plomby. Istotnym jest, aby użyta plomba swoją konstrukcją, materiałem wykonania, poziomem oferowanego (gwarantowanego) bezpieczeństwa oraz oznaczeniami odpowiadała konkretnym warunkom potrzebnym do zabezpieczenia danego przedmiotu pod względem szybkiego stwierdzenia naruszenia opakowania. Wszystkie kontenery używane do przewozu materiałów niebezpiecznych w stanie pustym, jeżeli nie zostały odkażone, należy traktować tak jak kontenery ładowne, dlatego też winny być plombowane. Po odkażeniu nie ma obowiązku ich plombowania. Mając na uwadze optymalizację procesu zabezpieczenia kontenerów oprócz plomb zabezpieczających (metalowe, butelkowe) stosowane są dodatkowe zabezpieczenia, odnoszące się zasadniczo do kontenerów w stanie ładownym, celem wyeliminowania utraty (uszkodzenia) ładunku znajdującego się w kontenerze. Coraz częściej w przewozie tego typu ładunków wykorzystywane są kontenery inteligentne, zaopatrzone w czujniki wykrywające każde otwarcie i przesyłające informacje o ich naruszeniu do bazy. Coraz większe wymagania klientów oraz postęp technologiczny powodują, że również technologie zabezpieczające ulegają sukcesywnym przeobrażeniom. Do najnowszych rozwiązań możemy zaliczyć: kontenery inteligentne, inteligentne plomby elektroniczne, systemy typu ogrodzenie elektroniczne, LRAD (Long Range Acoustic Device) – urządzenie akustyczne dużego zasięgu, bądź ADS (Active Denial System) – aktywny system zaporowy. Obserwując mapę przewozów (nadania) materiałów niebezpiecznych w Polsce daje się zauważyć istotne zapotrzebowanie na nowoczesną infrastrukturę, spełniającą wymogi dla przeładunku i składowania materiałów niebezpiecznych. Największe ilości tych ładunków nadawanych jest w rejonie Trójmia-

sta, Wielkopolski, Górnego i Dolnego Śląska.

Na podstawie analiz potoków ładunków niebezpiecznych, transportowanych w jednostkach intermodalnych (głównie tank kontenery), możemy stwierdzić, że znaczna część kontenerów rozładowywana jest na bocznicach zakładów chemicznych, bezpośrednio z wagonu, bez zdejmowania kontenera. Niestety wiele specjalnych stref przemysłowych oraz parków technologicznych, w których ulokowały się też zakłady z branży chemicznej powstało bez dostępu do torów kolejowych. Tworząc te obszary przemysłowe najczęściej nie przewidziano zapewnienia w przyszłości obsługi transportem kolejowym poprzez pozostawienie wydzielonego pasa gruntu, na którym można byłoby doprowadzić tory. Dla tych skupisk zakładów możliwość obsługi transportem kolejowym może zapewnić dedykowany terminal multimodalny. Mając na uwadze konieczność ochrony środowiska oraz zmniejszenie zagrożeń dla zdrowia ludzi wskazane byłoby aby znacząca część przewozów materiałów niebezpiecznych realizowana była transportem kolejowym. Jednak z uwagi na malejącą liczbę bocznic rozwiązaniem wydają się przewozy intermodalne. Jest wiele obszarów technologii innowacyjnych rozwiązań w zakresie obniżenia kosztów transportu w tank kontenerach oraz zwiększających bezpieczeństwo przewożonego ładunku, takich jak używanie do ich produkcji lekkich materiałów kompozytowych co ogranicza wagę samego kontenera, a tym samym istnieje możliwość zwiększenia wagi przewożonych substancji. Kontenery takie nie są narażone na korozję oraz pozwalają one na lepsze dostosowanie do standardów technicznych dotyczących transportu drogowego i kolejowego. Innym ważnym zagadnieniem, które było już wskazywane jest zastosowanie inteligentnych jednostek intermodalnych. Wykorzystywana tu powinna

być tzw. smart logistics, co oznacza, że kontener a więc i towar będzie pod stałą kontrolą. Kontenery takie wyposażone są w kilka czujników, średnio 5 typów, kontrolujących np. ciśnienie, temperaturę, lokalizację, niekontrolowane naruszenie zaworów zbiornika. Dane z tych czujników w oparciu o technologię telematyczną przesyłane są do operatora przewozów lub do odpowiednich służb.

Mając na uwadze zmieniające się trendy w zakresie surowców energetycznych należy się spodziewać większego zapotrzebowania na paliwa gazowe. W kontenerach zbiornikowych będą przewożone gazy nie tylko LPG, ale również LNG. W Chinach zostały już przetestowane technologie dotyczące transportu w kontenerach skroplonych gazów. Należy mieć na uwadze, iż rozwój konteneryzacji w przewozach materiałów niebezpiecznych będzie następował dlatego powinniśmy dostosowywać terminale do tego typu przewozów. Przewozy intermodalne z wykorzystaniem kolei i transportu samochodowego na ostatniej mili zaliczane są do systemów transportowych mających stosunkowo niskie negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne. Aby ta technologia transportu zapewniała pełne bezpieczeństwo konieczne jest zwiększenie świadomości operatorów przewozów i terminali w zakresie konieczności stosowania odpowiednich rozwiązań technicznych i organizacyjnych. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Henryk Zielaskiewicz, Mirosław Antonowicz – „Konteneryzacja w logistyce materiałów niebezpiecznych” – Radom 2019.
- [2] Zofia Bombczynska-Jelonek-Globalny – „Rynek kontenerów zbiornikowych” – Namiary na morze i handel 14-15/2019

TOROMIERZ INERCYJNY iTEC

Dokładny pomiar strzałek



www.graw.com

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 ZAUFAĆ

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 EDM 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



RM
rail-mil.eu

ERTMS / ETCS L1 Components

Q7-BL-TR (Controlled Euro-Balise)

Controlled Euro-Balise Q7-BL-TR is a part of the Rail-Mil rmRailProtector 4.0 range within the RM Q7 product family, which has been designed to meet the needs and the requirements of the European Train Control System (ETCS).

Basic device characteristics:

SUBSET-036 compliant

Balise type:	reduced size balise
Debris:	class A
Programming:	via the air gap
Addition features:	electronically switched ON/OFF by the programming tool, not needed metal cover to deactivate the balise
Mounting:	two holes at 200mm distance, screws M12 (steel A4 or A2 recommended)
Size:	440 x 250 x 55mm, 5 or 9m fixed cable (no connector)
Color:	RAL 1016 (or different upon request)
Interface:	C1, C6, no interface C4
Distance:	up to 500m



made in
POLAND

Learn more about our products at: ***rail-mil.eu***

