

przegląd komunikacyjny

6
2018
rocznik LXXIII
cena 25,00 zł
w tym 5% VAT



UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU

Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym



2018 rokiem
Ernesta Malinowskiego

eISSN
2544-6037

ISSN
0033-22-32

Praca podkładu kolejowego jako konstrukcji o zmiennym przekroju poprzecznym – zagadnienie ekwiwalentnego przekroju. Drgania sieci trakcyjnej spowodowane przejazdem pociągu dużych prędkości przez nierówność progową toru kolejowego. Przekładki podszytowe i podpłytkowe o indywidualnie projektowanej sztywności. Badanie i ocena sztywności nawierzchni kolejowej w oparciu o nową metodę pomiaru. Działania niezbędne dla uruchomienia atrakcyjnego systemu kolei aglomeracyjnej na przykładzie Wrocławia. Bezpieczeństwo systemów srk a nowe technologie informacyjne. Zarządzanie majątkiem technicznym jako podstawa racjonalnego planowania rozwoju i utrzymania infrastruktury kolejowej – założenia i przegląd systemów. Kalkulacja stawek dostępu do infrastruktury kolejowej w świetle prawa unijnego

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.przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

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

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

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

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

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

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

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

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

www.przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

Ramowa oferta dla „Sponsora strategicznego” czasopisma Przegląd Komunikacyjny

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

Przegląd Komunikacyjny oferuje dla sponsora strategicznego następujące świadczenia:

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

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

Przegląd Komunikacyjny ukazuje się jako miesięcznik.

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

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

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





Na okładce: Dworzec kolejowy, fot. Igor Gisterek

Drodzy Czytelnicy!

Bieżący numer *Przeglądu Komunikacyjnego* w całości dotyczy problematyki projektowania, budowy i utrzymania infrastruktury w transporcie szynowym zawartej aż w ośmiu artykułach. Pierwszy z nich opisuje pracę podkładu kolejowego jako konstrukcji o zmiennym przekroju poprzecznym w kontekście zagadnienia ekwiwalentnego przekroju. Przy wykorzystaniu modelu analitycznego oraz numerycznego określono przemieszczenia pionowe oraz naprężenia dla dwóch typów podkładu. Porównanie metod pozwala na wyznaczenie ekwiwalentnego momentu bezwładności do obliczeń analitycznych, a zwłaszcza dynamicznych. Drugi artykuł dotyczy drgań sieci trakcyjnej spowodowanych przejazdem pociągu dużych prędkości przez nierówność progową toru kolejowego. W koncepcji algorytmu symulacyjnego uwzględniono interakcję dynamiczną pomiędzy pantografami i górną siecią jezdnią oraz nieliniowość wynikającą ze specyfiki pracy linek wieszakowych. Uwzględniono także sprzężenie drgań toru i pojazdów szynowych. Kolejne dwie pozycje są z zakresu nawierzchni torowej, a przedmiotem rozważań Autorów są: przekładki podszynowe i podpłytkowe o indywidualnie projektowanej sztywności oraz badanie i ocena sztywności nawierzchni kolejowej w oparciu o nową metodę pomiaru.

Następnie prezentujemy działania niezbędne dla uruchomienia atrakcyjnego systemu kolei aglomeracyjnej na przykładzie Wrocławia. Autor analizuje zakres niezbędnych działań inwestycyjnych oraz pozainwestycyjnych. Zwraca uwagę na problemy braku koordynacji działań, dylematy wyboru alternatywnych rozwiązań oraz możliwe zagrożenia. W podsumowaniu proponuje nowy sposób podejścia do planowania i realizacji analizowanych zagadnień. Autor kolejnego artykułu analizuje bezpieczeństwo systemów sterowania ruchem kolejowym w kontekście nowych technologii informacyjnych. Przyjęta dla systemów przekątnikowych zasada „fail-safe” opierała się na bardzo dużej niezawodności przekątników oraz rygorystycznej procedurze utrzymania. Implementacja systemów komputerowych zmodyfikowała pojęcie bezpieczeństwa w kierunku tolerowalnego poziomu ryzyka. Technologie bezprzewodowe uwzględniły zaś zagrożenia i ich wpływ na funkcjonalność, dostępność i niezawodność systemów srk. Nie zabrakło również aspektów prawnych. W ostatnich dwóch artykułach znajdziecie Państwo problematykę zarządzania majątkiem technicznym jako podstawą racjonalnego planowania rozwoju i utrzymania infrastruktury kolejowej oraz omówienie procedur kalkulacji stawek dostępu do infrastruktury kolejowej w świetle prawa unijnego.

Z uszanowaniem:
Maciej Kruszyna
(z-ca red. nac. PK)

W numerze

Praca podkładu kolejowego jako konstrukcji o zmiennym przekroju poprzecznym – zagadnienie ekwiwalentnego przekroju
Włodzisław Czyczula, Dorota Błaszczewicz, Małgorzata Urbanek 2

Drgania sieci trakcyjnej spowodowane przejazdem pociągu dużych prędkości przez nierówność progową toru kolejowego
Danuta Bryja, Adam Popiołek 7

Przekładki podszynowe i podpłytkowe o indywidualnie projektowanej sztywności
Igor Gisterek 13

Badanie i ocena sztywności nawierzchni kolejowej w oparciu o nową metodę pomiaru
Juliusz Sołkowski, Dawid Siemieński 18

Działania niezbędne dla uruchomienia atrakcyjnego systemu kolei aglomeracyjnej na przykładzie Wrocławia
Jacek Makuch 22

Bezpieczeństwo systemów srk a nowe technologie informacyjne
Andrzej Lewiński 29

Zarządzanie majątkiem technicznym jako podstawa racjonalnego planowania rozwoju i utrzymania infrastruktury kolejowej – założenia i przegląd systemów
Maciej Kaczorek, Aleksandra Falana 39

Kalkulacja stawek dostępu do infrastruktury kolejowej w świetle prawa unijnego
Juliusz Engelhard 44

Wydawca:

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

Redaktor Naczelny:

Antoni Szydło

Redakcja:

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

Adres redakcji do korespondencji:

Poczta elektroniczna:
redakcja@przeglad.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), Józef Komačka (Žilina), Elżbieta Marciszewska (Warszawa), Bohuslav Novotny (Praga), Andrzej S. Nowak (Lincoln, Nebraska), Tomasz Nowakowski (Wrocław), Victor V. Rybkin (Dniepropietrowsk), Marek Sitarz (Katowice), Wiesław Starowicz (Kraków), Hans-Christoph Thiel (Cottbus), Krystyna Wojewódzka-Król (Gdańsk), Elżbieta Załoga (Szczecin), Andrea Zuzulova (Bratysława)

Rada programowa:

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

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

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

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

Prenumerata:

Szczegóły i formularz zamówienia na stronie:

www.przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

Obecna Redakcja dysponuje numerami archiwalnymi począwszy od 4/2010.

Numery 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.

Praca podkładu kolejowego jako konstrukcji o zmiennym przekroju poprzecznym – zagadnienie ekwiwalentnego przekroju

Work of a railway sleeper as a structure with variable cross-section - the issue of an equivalent cross-section



Włodzimierz Czyczula

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego

czyczula@pk.edu.pl



Dorota Błasziewicz

Mgr inż.

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego

dorotablaszkiewicz@gmail.com



Małgorzata Urbanek

Mgr inż.

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego

malgorzataurbanek@gmail.com

Streszczenie: W pracy przedstawiono analizę pracy podkładu jako konstrukcji o zmiennym przekroju oraz sposobu wyznaczenia ekwiwalentnego przekroju, stałego na długości, którego zastosowanie, dawałoby zbliżone kształt linii ugięcia i naprężeń zginających w odniesieniu do rzeczywistego, zmiennego przekroju poprzecznego. Przy wykorzystaniu modelu analitycznego oraz numerycznego określono przemieszczenia pionowe oraz naprężenia dla dwóch typów podkładu PS-94 i PS-08. Porównanie metod pozwala na wyznaczenie ekwiwalentnego momentu bezwładności do obliczeń analitycznych, zwłaszcza dynamicznych.

Słowa kluczowe: Nawierzchnia kolejowa; Moment bezwładności podkładu; Model analityczny; Model numeryczny

Abstract: The article presents an analysis of the work of a sleeper as a construction with variable section, and of the method of determining an equivalent section, constant throughout the length, the utilisation of which would have similar shapes of deflection and bending stress lines in relation to the real, variable cross section. Using an analytical and a numerical model, vertical displacements and stresses for two types of sleepers – PS-94 and PS-08 – were determined. The comparison of the methods allows for calculating an equivalent moment of inertia for analytical calculations, specifically the dynamic ones.

Keywords: Railway surface; Moment of inertia of sleeper; Analytical model; Numerical model

W analizie modeli dynamicznych nawierzchni kolejowej zazwyczaj podkłady traktowane są jako bryły sztywne (por. [5]). Prace [2,4] stanowią nieliczne przykłady analizy zmiennego przekroju podkładu, ograniczając się do analizy statycznej. W pracy [1] zaproponowano, by – w przypadku belek o dwóch wyraźnie rozróżniających się przekrojach poprzecznych – zastosować średnią harmoniczną. W analitycznych modelach dynamicznych zastosowanie zmiennego przekroju poprzecznego podkładu znacznie utrudnia analizę.

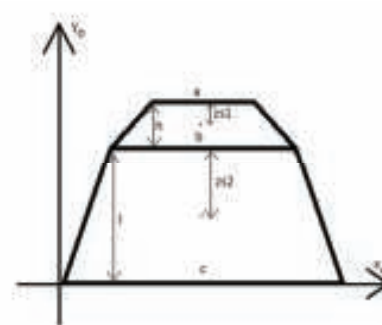
Dlatego w niniejszej pracy podjęto próbę wyznaczenia przekroju ekwiwalentnego, tzn. takiego przekroju o stałej wartości momentu bezwładności, którego zastosowanie dałoby zbliżone wartości odpowiedzi statycznej podkładu (zwłaszcza przemieszczeń) w odniesieniu do rzeczywistego, zmiennego przekroju poprzecznego.

Analizę ograniczono do dwóch typów podkładów: jednego z najbardziej popularnych na polskiej sieci kolejowej podkładu PS-94 oraz ciężkiego podkładu PS-08, również eksploatowanego na sieci PKP-PLK S.A.

Opis modeli

Narzędzie określania zastępczego momentu bezwładności podkładu kolejowego

Opracowanie modelu fizycznego podkładu kolejowego jest zadaniem bardzo złożonym. Wynika to z faktu, iż układ jaki tworzą poszczególne elementy podłoża rusztu torowego, tzn. podsypki i warstwy gruntu jest nieliniowy i niejednorodny. W pracy przyjęto stałą podatność podłoża podkładów, opisaną jednym parametrem sprężystym. Rzeczywisty przekrój poprzeczny podkładu zastąpiono dwo-

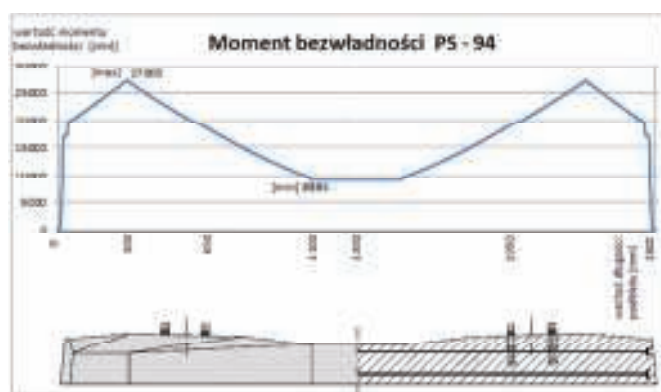


1. Model przekroju poprzecznego wykorzystywany do wyznaczenia zastępczych momentów bezwładności dla podkładu strunobetonowego.
Źródło własne.

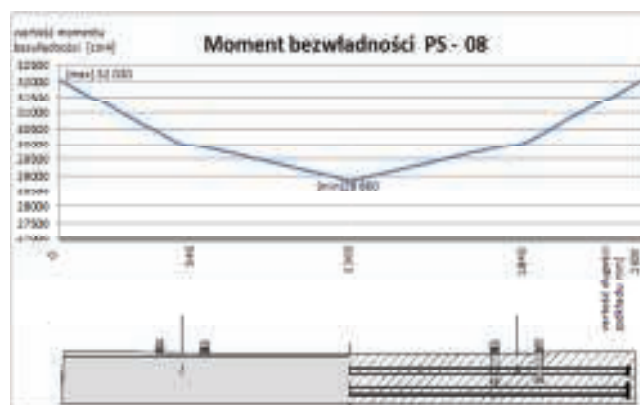
ma elementami trapezowymi.

Do obliczenia zastępczych momentów bezwładności dla różnych przekrojów podkładu strunobetonowego stworzono schemat, przedstawiony na rysunku 1.

Zastępczy moment bezwładności wyliczano korzystając z twierdzenia Steinera, dzieląc przekrój poprzeczny na dwa trapezy. Przy wykorzystaniu tak stworzonego algorytmu wyzna-



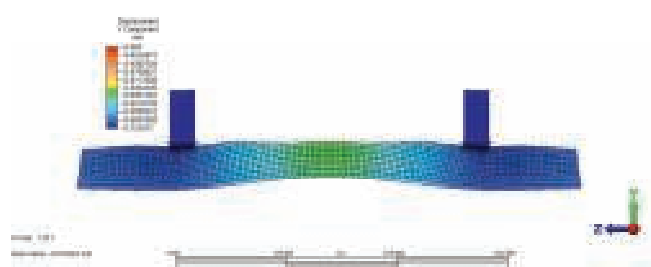
2. Wykres zastępczych momentów bezwładności podkładu PS-94



3. Wykres zastępczych momentów bezwładności podkładu PS-08



4. Model 3D podkładu PS-94 w Autodesk Simulation Multiphysics



5. Model 3D podkładu PS-94 z przeskalowanym obrazem ugięcia

czone kolejne wartości zastępczych momentów bezwładności. Analizie poddane zostały dwa podkłady tj. PS-94 oraz PS-08.

Wynikiem obliczeń są otrzymane poniższe wykresy zastępczych momentów bezwładności. Poszczególne wartości momentów bezwładności dla podkładu PS-94 przedstawione na rysunku 2.

Analizując powyższy wykres, można zaobserwować duże zróżnicowanie wartości momentu bezwładności na całej długości podkładu. Wartość maksymalna wynosi 27 000 cm⁴, a minimalna 8884 cm⁴. Wartość maksymalna nie jest usytuowana w miejscu przyłożenia obciążającej siły (pomiedzy kotwami podkładu). Wartość minimalna jest natomiast w miejscu najbardziej podatnym na pęknięcia, czyli w osi podkładu.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki obliczeń zastępczych momentów bezwładności dla podkładu PS-08.

Podkład PS-08 charakteryzuje się niewielkimi zmianami momentu bezwładności na długości, wartość maksymalna wynosi 32 030 cm⁴, a minimalna 28 860 cm⁴.

Model analityczny

Do opisu modelu analitycznego przyjęto jednowarstwowy model nawierzchni w postaci belki Bernoulliego-Eulera. Obliczenia dla tego modelu wykonywano przy użyciu programu Mathcad: model obliczeniowy został opracowany w Katedrze Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego Politechniki Krakowskiej. W modelu ugięcia podkładu opisano poprzez równanie różniczkowe:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} - S \frac{d^2 y}{dx^2} + Uy = q(x) \quad (1)$$

w którym, parametry E , S , I_p oraz U są stałe na długości podkładu i oznaczają:

E – moduł Younga materiału podkładu [N/m²]

I_p – moment bezwładności podkładu [m⁴]

S – siła sprężająca w podkładzie (- oznacza siłę rozciągającą) [N]

U – współczynnik sztywności podparcia podkładu [N/m²]

y – przemieszczenie pionowe podkładu [m]

$q(x)$ – jednostkowe obciążenie pionowe podkładu [N]

Podkład został obciążony układem sił rozłożonych na długości podkładów podszynowych w postaci rozkładu prostokątnego. Do wyznaczenia stałych, występujących w rozwiązaniu równania jednorodnego, przyjęto zerowanie się drugiej i trzeciej pochodnej na końcach podkładu, czyli zerowania momentu zginającego M i siły poprzecznej Q na końcach podkładu. Rozwiązanie równania niejednorodnego przyjęto stosując metodologię, opisaną w pracach [3,5], tzn. rozwijając linię ugięcia i obciążenie w szereg Fouriera w przedziale $[0, \lambda]$, gdzie λ oznacza długość podkładu:

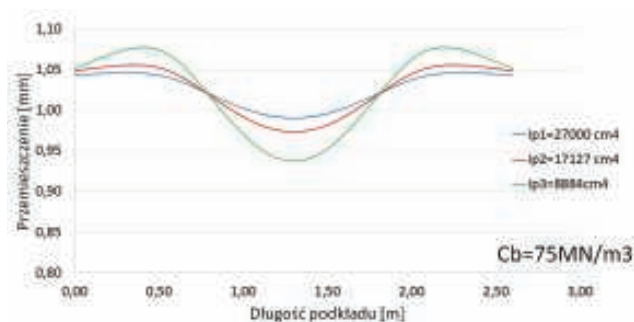
$$q(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i \cdot \cos \Omega_i x + b_i \cdot \sin \Omega_i x); \quad (2)$$

$$x \in [0, \lambda]; \Omega_i = \frac{2\pi \cdot i}{\lambda}$$

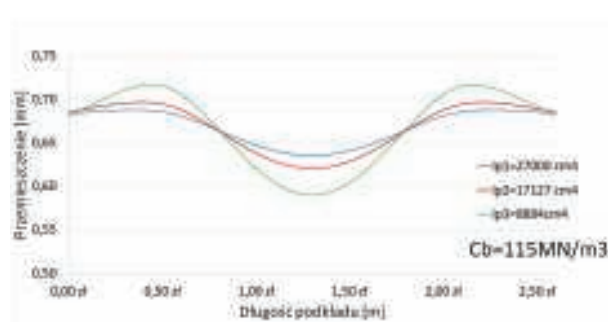
$$y(x) = \frac{y_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} (A_i \cdot \cos \Omega_i x + B_i \cdot \sin \Omega_i x); \quad (3)$$

$$x \in [0, \lambda]; \Omega_i = \frac{2\pi \cdot i}{\lambda}$$

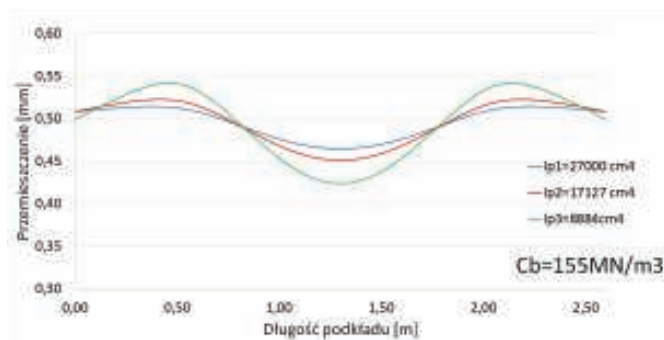
Stałe a_0 , a_i oraz b_i wyznaczono na podstawie rozwinięć znanego obciążenia w szereg Fouriera na podstawie wzorów analitycznych, natomiast stałe y_0 , A_i oraz B_i wyznaczono, po zróżniczkowaniu wyrażenia (3) i podstawieniu do równania (1) wyrażenia (2) i (3).



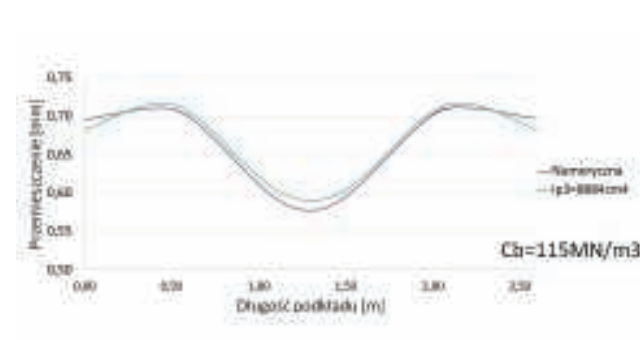
6. Linia ugięcia podkładu PS-94 dla maksymalnej średniej i minimalnej wartości momentu bezwładności i wskaźnika podłoża podkładu $C_b = 75 \text{ MN/m}^3$



7. Linia ugięcia podkładu PS-94 dla maksymalnej średniej i minimalnej wartości momentu bezwładności i wskaźnika podłoża podkładu $C_b = 115 \text{ MN/m}^3$



8. Linia ugięcia podkładu PS-94 dla maksymalnej średniej i minimalnej wartości momentu bezwładności i wskaźnika podłoża podkładu $C_b = 155 \text{ MN/m}^3$



9. Porównanie linii ugięcia podkładu PS-94 dla metody numerycznej i analitycznej z uwzględnieniem momentu bezwładności $I_p = 8884 \text{ cm}^4$. Wartość współczynnika podłoża $C_b = 115 \text{ MN/m}^3$

Model numeryczny

W celu wykonania modelu numerycznego opartego na Metodzie Elementów Skończonych służącego do analizy stanu naprężeń i przemieszczeń stworzono trójwymiarowe bryły podkładów. Posłużył do tego program Autodesk Inventor, gdzie stworzono modele podkładów PS-94 oraz PS-08. Następnie w programie Autodesk Simulation Multiphysics, przeprowadzono analizę statyczną modeli. Opracowanej wcześniej bryle nadano właściwości materiałowe odpowiadające elementom występującym w torze. Podsypkę i podtorze zastąpiono elementami typu string o stosownej sztywności. Obciążenie od sił przenoszonych przez szyny zostały rozłożone na powierzchni odpowiadającej polu podkładki podszynowej.

Analiza statyczna modelu została przeprowadzona dla trzech różnych wartości wskaźników podłoża podkładu C_b .

Analiza parametryczna

Przeprowadzono analizę parametryczną dla dwóch podkładów stru-

nobetonowych PS-94 oraz PS-08. Z wykorzystaniem modelu analitycznego a także numerycznego, porównano wartości ugięcia dla trzech wskaźników podłoża podkładu C_b : 75 MN/m^3 , 115 MN/m^3 oraz 155 MN/m^3 . W

modelu analitycznym wykorzystano do obliczeń trzy różne wartości momentu bezwładności podkładu (max, min i średnią).

Na rysunkach 6, 7 i 8 przedstawiono linię ugięcia podkładu PS-94 dla

Tab. 1. Porównanie wartości przemieszczeń podkładu PS-94 dla metody numerycznej i analitycznej z uwzględnieniem momentu bezwładności I_p . Wartość współczynnika podłoża $C_b = 75 \text{ MN/m}^3$

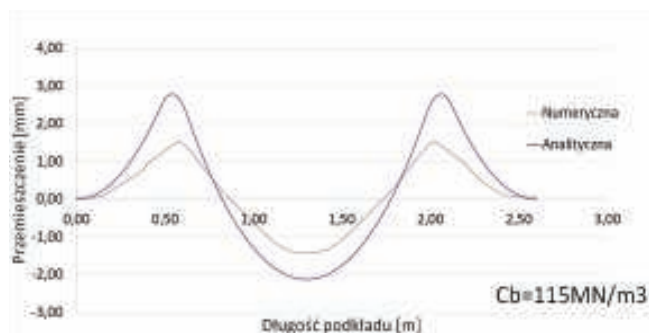
Wartości przemieszczeń dla podkładu PS-94 [Wskaźnik podłoża podkładu 75 MN/m^3]							
	Numeryczna	Analityczna					
		różnica [%]	$I_{p1} = 27000 \text{ cm}^4$	różnica [%]	$I_{p2} = 17127 \text{ cm}^4$	różnica [%]	$I_{p3} = 8884 \text{ cm}^4$
min	0,9208	7,05%	0,9907	5,30%	0,9738	1,85%	0,9378
max	1,0746	2,71%	1,0463	1,86%	1,0560	0,28%	1,0776

Tab. 2. Porównanie wartości przemieszczeń podkładu PS-94 dla metody numerycznej i analitycznej z uwzględnieniem momentu bezwładności I_p . Wartość współczynnika podłoża $C_b = 115 \text{ MN/m}^3$

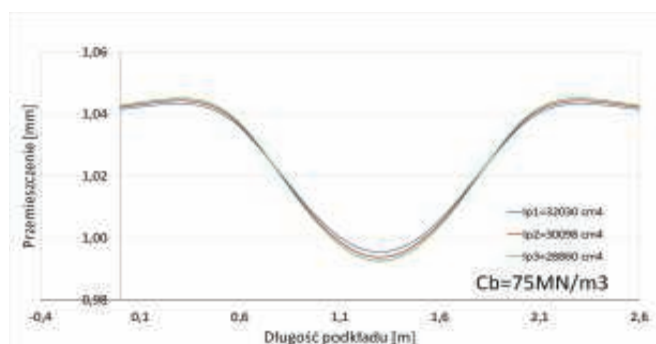
Wartości przemieszczeń dla podkładu PS-94 [Wskaźnik podłoża podkładu 115 MN/m^3]							
	Numeryczna	Analityczna					
		różnica [%]	$I_{p1} = 27000 \text{ cm}^4$	różnica [%]	$I_{p2} = 17127 \text{ cm}^4$	różnica [%]	$I_{p3} = 8884 \text{ cm}^4$
min	0,5774	5,85%	0,6359	4,36%	0,6210	1,28%	0,5902
max	0,7117	2,35%	0,6882	1,47%	0,6970	0,52%	0,7170

Tab. 3. Porównanie wartości przemieszczeń podkładu PS-94 dla metody numerycznej i analitycznej z uwzględnieniem momentu bezwładności I_p . Wartość współczynnika podłoża $C_b = 155 \text{ MN/m}^3$

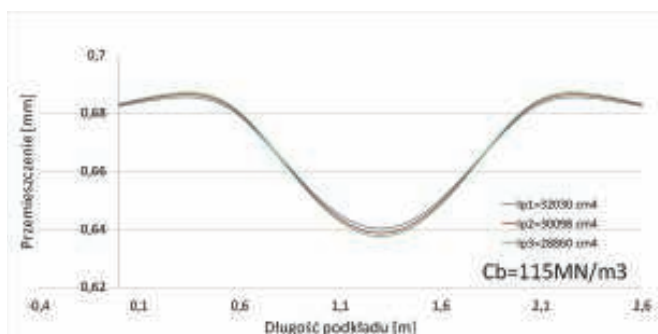
Wartości przemieszczeń dla podkładu PS-94 [Wskaźnik podłoża podkładu 155 MN/m^3]							
	Numeryczna	Analityczna					
		różnica [%]	$I_{p1} = 27000 \text{ cm}^4$	różnica [%]	$I_{p2} = 17127 \text{ cm}^4$	różnica [%]	$I_{p3} = 8884 \text{ cm}^4$
min	0,4332	3,17%	0,4649	1,82%	0,4515	0,91%	0,4241
max	0,5258	1,11%	0,5146	0,29%	0,5229	1,61%	0,5419



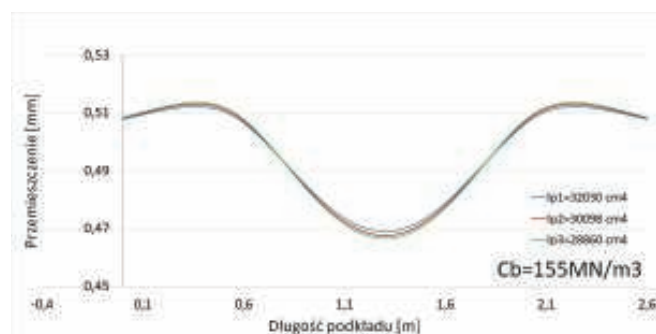
10. Porównanie wartości naprężeń w podkładzie PS-94 dla metody numerycznej i analitycznej z uwzględnieniem momentu bezwładności $I_p=8884 \text{ cm}^4$. Wartość współczynnika podłoża $C_b=115 \text{ MN/m}^3$



11. Linia ugięcia podkładu PS-08 dla maksymalnej średniej i minimalnej wartości momentu bezwładności i wskaźnika podłoża podkładu $C_b=75 \text{ MN/m}^3$



12. Linia ugięcia podkładu PS-08 dla maksymalnej średniej i minimalnej wartości momentu bezwładności i wskaźnika podłoża podkładu $C_b=115 \text{ MN/m}^3$



13. Linia ugięcia podkładu PS-08 dla maksymalnej średniej i minimalnej wartości momentu bezwładności i wskaźnika podłoża podkładu $C_b=155 \text{ MN/m}^3$

maksymalnej, średniej i minimalnej wartości momentu bezwładności przy wykorzystaniu modelu analitycznego oraz różnych wartości wskaźnika podłoża podkładu.

W wyniku przeprowadzonej analizy porównawczej zauważano, że na linię ugięcia podkładu strunobetonowego typu PS-94 duży wpływ ma przyjęty moment bezwładności. Porównując wyniki otrzymane w analizie analitycznej z tymi otrzymanymi z analizy numerycznej – okazują się, że uzyskane wyniki z obu metod mają najbardziej zbliżone wartości w przypadku przyjęcia minimalnego momentu bezwładności podkładu

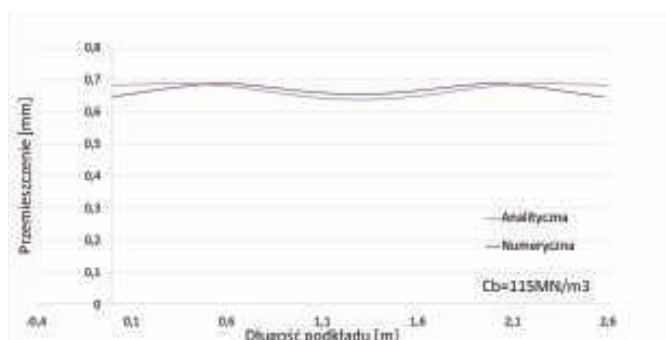
w analizie analitycznej. Na rysunku 9 przedstawiono porównanie linii ugięcia podkładu PS-94 uzyskaną w metodzie numerycznej z wynikami analizy analitycznej dla najmniejszego momentu bezwładności $I_p=8884 \text{ cm}^4$. Przedstawiono wynik dla jednej wartości współczynnika podłoża podkładu $C_b=115 \text{ MN/m}^3$, pozostałe wyniki kształtują się analogicznie.

W tabelach (Tab. 1, 2 i 3) zestawiono wartości minimalne i maksymalne przemieszczeń podkładu dla wszystkich współczynników podłoża.

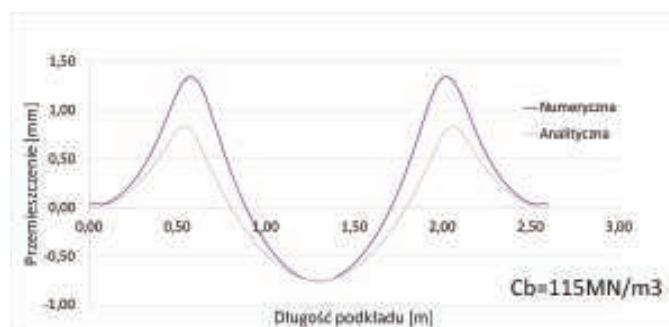
Dla współczynnika $C_b=115 \text{ MN/m}^3$ można zauważyć, że różnica wartości przemieszczeń obliczonych w obu

metodach, zwiększa się wraz ze wzrostem wartości momentu bezwładności. Dla minimalnej wartości momentu bezwładności porównano również wartości naprężeń uzyskanych z metody numerycznej oraz metody analitycznej. Na rysunku 10 przedstawiono wyniki tej analizy.

Analogiczne obliczenie przeprowadzono również dla podkładu strunobetonowego typu PS-08. Na rysunkach 11, 12 i 13 przedstawiono linię ugięcia podkładu PS-08 dla maksymalnej, średniej i minimalnej wartości momentu bezwładności oraz różnych wartości wskaźnika podłoża podkładu.



14. Porównanie linii ugięcia podkładu PS-08 dla metody numerycznej i analitycznej z uwzględnieniem momentu bezwładności $I_p=288860 \text{ cm}^4$. Wartość współczynnika podłoża $C_b=115 \text{ MN/m}^3$



15. Porównanie wartości naprężeń w podkładzie PS-08 dla metody numerycznej i analitycznej z uwzględnieniem momentu bezwładności $I_p=288860 \text{ cm}^4$. Wartość współczynnika podłoża $C_b=115 \text{ MN/m}^3$

Po analizie uzyskanych wyników stwierdzono, że przyjęty moment bezwładności ma dużo mniejszy wpływ na linię ugięcia podkładu strunobetonowego typu PS-08 niż miało to miejsce w przypadku podkładu PS-94. Zależność ta wynika z faktu iż, przekrój podkładu PS-08 jest znacznie mniej zróżnicowany a poszczególne momenty bezwładności (minimalny, średni i maksymalny) różnią się względem siebie w niewielkim stopniu.

Na rysunku 14 przedstawiono porównanie linii ugięcia podkładu PS-80 uzyskaną w metodzie numerycznej z wynikami analizy analitycznej dla najmniejszego momentu bezwładności $I_p = 8884 \text{ cm}^4$. Przedstawiono wynik dla jednej wartości współczynnika podłoża podkładu $C_b = 115 \text{ MN/m}^3$, pozostałe wyniki kształtują się analogicznie.

Zestawienie wartości minimalnych i maksymalnych przemieszczeń podkładu PS-08 dla wszystkich współczynników podłoża zawarto w tabelach (Tab. 4. do Tab. 6)

Powyższe zestawienie wskazuje na bardzo dobrą zgodność uzyskanych wyników (różnice na maksymalnym poziomie 1,20 %). Dla współczynnika $C_b = 115 \text{ MN/m}^3$ można zauważyć, że wartości przemieszczeń obliczonych w obu metodach, różnią się nieznacznie dla najmniejszej wartości momentu bezwładności – średnio o 0,49%.

Dla minimalnej wartości momentu bezwładności porównano również wartości naprężeń uzyskanych z metody numerycznej oraz metody analitycznej. Na rysunku 15 przedstawiono wyniki tej analizy.

Wnioski

Przyjęty, minimalny moment bezwładności ma dużo mniejszy wpływ na linię ugięcia podkładu strunobetonowego typu PS-08 niż ma to miejsce w przypadku podkładu PS-94. Zależność ta wynika z faktu iż, przekrój podkładu PS-08 jest znacznie mniej zróżnicowany i na całej długości jest zbliżony do prostokątnego. Tym niemniej różnice uzyskane w przypadku podkładu PS-94 nie są znaczące – przy

Tab. 4. Porównanie wartości przemieszczeń podkładu PS-08 dla metody numerycznej i analitycznej z uwzględnieniem momentu bezwładności I_p . Wartość współczynnika podłoża $C_b = 75 \text{ MN/m}^3$

Wartości przemieszczeń dla podkładu PS-08 [Wskaźnik podłoża podkładu 75 MN/m^3]							
	Numeryczna	Analityczna					
		różnica [%]	$I_p = 32030 \text{ cm}^4$	różnica [%]	$I_p = 30098 \text{ cm}^4$	różnica [%]	$I_p = 28860 \text{ cm}^4$
min	0,9910	0,46%	0,9956	0,29%	0,9939	0,17%	0,9927
max	1,0539	1,00%	1,0435	0,94%	1,0445	0,83%	1,0452

Tab. 5. Porównanie wartości przemieszczeń podkładu PS-08 dla metody numerycznej i analitycznej z uwzględnieniem momentu bezwładności I_p . Wartość współczynnika podłoża $C_b = 115 \text{ MN/m}^3$

Wartości przemieszczeń dla podkładu PS-08 [Wskaźnik podłoża podkładu 115 MN/m^3]							
	Numeryczna	Analityczna					
		różnica [%]	$I_p = 32030 \text{ cm}^4$	różnica [%]	$I_p = 30098 \text{ cm}^4$	różnica [%]	$I_p = 28860 \text{ cm}^4$
min	0,6457	0,54%	0,6404	0,70%	0,6388	0,81%	0,6377
max	0,6889	0,32%	0,6857	0,23%	0,6866	0,17%	0,6872

Tab. 6. Porównanie wartości przemieszczeń podkładu PS-08 dla metody numerycznej i analitycznej z uwzględnieniem momentu bezwładności I_p . Wartość współczynnika podłoża $C_b = 155 \text{ MN/m}^3$

Wartości przemieszczeń dla podkładu PS-08 [Wskaźnik podłoża podkładu 155 MN/m^3]							
	Numeryczna	Analityczna					
		różnica [%]	$I_p = 32030 \text{ cm}^4$	różnica [%]	$I_p = 30098 \text{ cm}^4$	różnica [%]	$I_p = 28860 \text{ cm}^4$
min	0,4631	0,60%	0,4690	0,45%	0,4676	0,35%	0,4666
max	0,5242	1,20%	0,5122	1,12%	0,5131	1,06%	0,5137

średniej wartości wskaźnika podłoża podkładów $C_b = 115 \text{ MN/m}^3$ wynosi około 3%.

Porównując wyniki otrzymane w analizie analitycznej z tymi otrzymanymi z analizy numerycznej – okazuje się, że uzyskane wyniki ugięć z obu metod mają najbardziej zbliżone wartości w przypadku przyjęcia minimalnego momentu bezwładności podkładu w analizie analitycznej. W przypadku naprężeń występują większe różnice – zgodnie z pokazaną metodą można tak dobrać wartość momentu bezwładności aby zminimalizować różnice zarówno w sensie naprężeń, jak i przemieszczeń. Należy zatem zauważyć, że przyjęta metodologia pozwala na wyznaczenie ekwiwalentnego, stałego na długości podkładu momentu bezwładności, co może mieć zastosowanie do analiz modelowych nawierzchni kolejowej, zwłaszcza modeli dynamicznych. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Buczkowski W.: Rozwiązywanie belek o zmiennej sztywności metodą różnic skończonych. Architektura, 8 (3-4), 2009, s. 49-64
- [2] Bednarek W.: Wpływ pionowych odkształceń nawierzchni i podtorza na pracę toru bezстыkowego. Rozprawy Politechniki Poznańskiej, nr 506, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2013
- [3] Czyżula W., Koziół P., Błaszkiwicz D. - On the Equivalence between Static and Dynamic Railway Track Response and on the Euler-Bernoulli and Timoshenko Beams Analogy, Shock and Vibration, Volume 2017 (2017), Article ID 2701715
- [4] Krocak S., Mazur S., Dudek Z.: Teoretyczna analiza wpływu zmiennej sztywności i sposobu podparcia podkładu kolejowego na jego pracę. Materiały VII Konferencji "Drogi Kolejowe", 1993, s. 141-150
- [5] Odrowąż M.: Obróty podkładów jako efekt nierównomiernego obciążenia toków szynowych. Praca dyplomowa napisana pod kierunkiem W. Czyżuli, Politechnika Krakowska, Kraków 2016

Drgania sieci trakcyjnej spowodowane przejazdem pociągu dużych prędkości przez nierówność progową toru kolejowego

Vibrations of the overhead catenary caused by the passage of a high-speed train through the track stiffness discontinuity



Danuta Bryja

Dr hab. inż. prof. PWR

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

danuta.bryja@pwr.edu.pl



Adam Popiołek

Mgr inż.

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

adam.popiolek@pwr.edu.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono metodykę symulacji drgań kolejowej sieci trakcyjnej, spowodowanych przejazdem pociągu przez nierówność progową toru. W koncepcji algorytmu symulacyjnego uwzględniono interakcję dynamiczną pomiędzy pantografami i górną siecią jezdnią oraz nieliniowość wynikającą ze specyfiki pracy linek wieszakowych, które nie przenoszą ściskania – przenoszą tylko siły rozciągające. Uwzględniono także sprzężenie drgań toru i pojazdów szynowych. Zgodnie z fizyką zjawiska nie uwzględniono natomiast wpływu drgań sieci trakcyjnej przenoszonych przez pantografy na pojazd kolejowy, co pozwoliło podzielić algorytm symulacyjny na dwa etapy i opracować dwa programy komputerowe o ustalonej hierarchii działania. W pierwszym etapie symulacji wyznaczane są przebiegi czasowe drgań i prędkości drgań tych członów pociągu, na których zamontowane są pantografy. W drugim etapie, wyznaczone wcześniej przebiegi stanowią dane wejściowe a obliczane są charakterystyki drgań sieci trakcyjnej i przebieg zmian w czasie siły kontaktowej między pantografem i przewodem jezdnią. W pracy przedstawiono przykłady symulacji drgań pojazdu szynowego obserwowanych w czasie rzeczywistym w teoretycznym punkcie zamocowania podstawy pantografu. Pokazano także wyniki drugiego etapu symulacji: wybrane przebiegi drgań pantografu i pięcioprzęsłowego odcinka sieci trakcyjnej oraz oscylacje siły nacisku stykowego pantografu na przewód jezdny. Oceniono wpływ efektu progowego związanego z nierównością progową toru kolejowego.

Słowa kluczowe: Symulacja drgań; Sieć trakcyjna; Pantografy; Pociąg dużych prędkości; Tor kolejowy; Nierówność progowa

Abstract: The paper presents the methodology for simulating vibrations of the railway catenary, caused by the passage of the train through the track stiffness discontinuity. The concept of the simulation algorithm takes into account the dynamic interaction between pantographs and the overhead contact wire as well as nonlinearity resulting from the specificity of the droppers behaviour, which do not carry compression - they only carry tensile forces. The coupling of track and rail vehicles vibrations is also included. According to physics, the effect of vibrations of the catenary carried by pantographs on the railway vehicle was not taken into account, which allowed to divide the simulation algorithm into two stages and develop two computer programs with a defined hierarchy of operation. In the first stage of the simulation, the time-histories of vibrations and vibration velocities of those train cars, on which the pantographs are mounted, are calculated. In the second stage, the previously calculated time-histories are set as the input data and the vibration characteristics of the catenary and contact force between pantograph and the contact wire are calculated. The paper presents examples of vibration simulations of a rail vehicle observed in real time at the theoretical point of the pantograph base. The results of the second stage of the simulation were also shown: selected vibration time-histories of the pantograph and the five-span section of the catenary, and oscillations of the contact force between pantograph and the contact wire. The impact of the track stiffness discontinuity on catenary vibration was assessed.

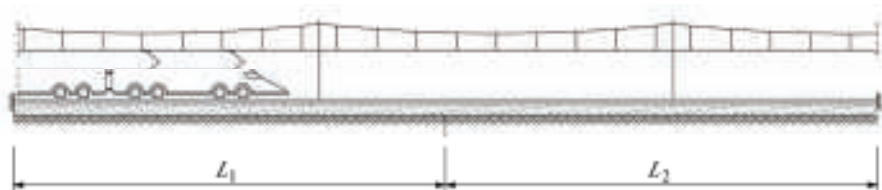
Keywords: Vibration simulations; Overhead catenary; Pantographs; High-Speed train; Railway track; Track stiffness discontinuity

W ostatnich dwudziestu latach pojawiło się w literaturze światowej dużo publikacji poświęconych dynamice kolejowych sieci trakcyjnych. Przedmiotem wielu z nich jest formułowanie i testowanie różnych metod obliczeniowych przeznaczonych do symulacji oddziaływania dynamicznego pomiędzy pantografem i górną siecią jezdnią trakcji elektrycznej. Obszerny przegląd tego typu publikacji przedstawiony jest np. w pracach zespołu prof. J. Pombo [1],

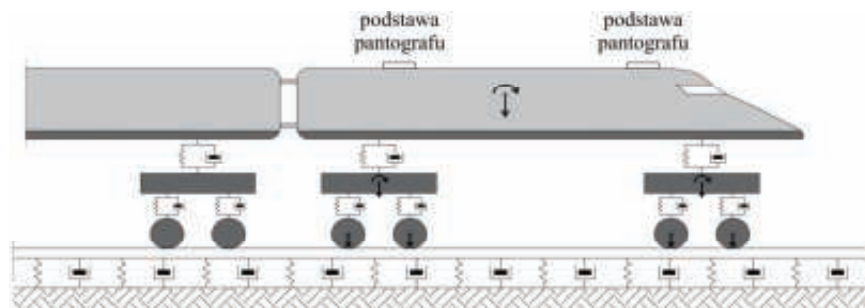
[2]. W wymienionych pracach, a także w pracy [3] można znaleźć szczegółowy opis warunków eksploatacji sieci trakcyjnych i pantografów, a w tym czynników wpływających na jakość odbioru prądu oraz stan techniczny sieci jezdnej i nakładek stykowych pantografów. Za jeden z głównych czynników, a nawet za czynnik zasadniczy w przypadku kolei dużych prędkości uznaje się wzajemne oddziaływanie dynamiczne między pantografem i

siecią jezdnią. Fakt ten uzasadnia duże zainteresowanie naukowców metodami symulacji drgań sieci trakcyjnych z uwzględnieniem ich współpracy z pantografami. Ma też odzwierciedlenie w przepisach, m. in. w normach [4], [5] i w Rozporządzeniu Komisji (UE) nr 1301/2014 wprowadzającym techniczną specyfikację interoperacyjności (TSI) podsystemu „Energia” [6], którego składnikiem jest sieć trakcyjna.

Według normy [4]: „badania teore-



1. Schemat sprężonego układu tor – pociąg – sieć trakcyjna



2. Model dynamiczny podukładu tor – pociąg z zaznaczeniem stopni swobody pojazdu szynowego

tyczne dynamicznego oddziaływania między pantografem a siecią jezdnią górną za pomocą symulacji komputerowej umożliwiają uzyskanie większej ilości informacji o systemie i minimalizację kosztów badań sieci". Mając powyższe na uwadze, autorzy metod symulacyjnych ciągle udoskonalają opracowane algorytmy, tak, aby coraz lepiej opisywały rzeczywiste warunki eksploatacji sieci. Mimo tych starań, jak dotąd nie uwzględniano wpływu wymuszenia kinematycznego drgań pantografów na drgania sieci. Zwykle pomija się pionowe drgania podstawy pantografu zamocowanej do dachu nadwozia pojazdu szynowego, chociaż w rzeczywistości rejestrowane są drgania pojazdu w układzie pociąg – tor. Wyjątkiem jest praca zespołu J. Ambrósio i in. [7], w której zasygnalizowano problem wymuszenia kinematycznego, ale nie przedstawiono jasnej procedury obliczeniowej, która pozwoliłaby zbadać wpływ tego wymuszenia na drgania sieci trakcyjnej. Należy tu podkreślić, że z uwagi na efektywne resorowanie pociągów dużych prędkości, wpływ ten jest prawdopodobnie pomijalnie mały, jeśli drgania pojazdów są wymuszone tylko drobnymi nierównościami powierzchni tocznej szyn lub niewielkim zużyciem obręczy kół. Może być natomiast istotny w przypadku incydentalnych drgań spowodowanych przejazdem pociągu przez nierówność progową toru, szczególnie przejazdu z dużą prędkością.

Przez nierówność progową rozumiemy nagłą, skokową zmianę sztywności podłoża toru, pojawiającą się wskutek nieciągłości konstrukcji nawierzchni kolejowej lub podtorza – na przykład w miejscu zmiany nawierzchni podsypekowej na bezpodsypekową, na wyjazdach lub wjazdach na obiekty inżynieryjne (mosty, tunele, przepusty). Przejazd pociągu przez nierówność progową znacząco zwiększa oddziaływanie dynamiczne, ma niekorzystny wpływ zarówno na pojazd jaki i nawierzchnię szynową [8] – [10]. Wstępne stwierdzenie, czy ten niekorzystny wpływ przenosi się także na sieć trakcyjną przyjęto za praktyczny cel tej pracy. Zostaną pokazane pierwsze wyniki badań numerycznych przeprowadzonych za pomocą dwóch autorskich programów obliczeniowych, opracowanych na podstawie algorytmów opisanych przez autorów w pracach [9] – [12].

Głównym celem niniejszej pracy jest przedstawienie metodyki symulacji drgań sieci trakcyjnej spowodowanych przejazdem pociągu przez nierówność progową toru. W koncepcji algorytmu symulacyjnego uwzględniono interakcję dynamiczną pomiędzy pantografami i górną siecią jezdnią oraz nieliniowość wynikającą ze specyfiki pracy linek wieszakowych, które nie przenoszą ściskania – przenoszą tylko siły rozciągające. Uwzględniono także sprzężenie drgań toru i pojazdów szynowych. Zgodnie z fizyką zjawiska

nie uwzględniono natomiast wpływu drgań sieci trakcyjnej przenoszonych przez pantografy na pojazd kolejowy, co pozwoliło podzielić algorytm symulacyjny na dwa etapy i opracować dwa programy komputerowe o ustalonej hierarchii. W pierwszym etapie wyznaczane są przebiegi czasowe drgań i prędkości drgań tych członów pociągu, na których zamontowane są pantografy. W drugim etapie symulacji, wyznaczone wcześniej przebiegi stanowią dane wejściowe a obliczane są charakterystyki drgań sieci trakcyjnej i przebieg zmian w czasie siły kontaktowej między pantografem i przewodem jezdnią. W pracy przedstawiono przykłady symulacji drgań pojazdu szynowego obserwowanych w czasie rzeczywistym w teoretycznym punkcie zamocowania podstawy pantografu. Pokazano także wyniki drugiego etapu symulacji: wybrane przebiegi drgań pantografu i pięcioprzęsłowego odcinka sieci trakcyjnej oraz oscylacje siły nacisku stykowego pantografu na przewód jezdny. Oceniono wpływ efektu progowego związanego z nierównościami progową toru kolejowego.

Model obliczeniowy sprężonego układu tor – pociąg – sieć trakcyjna

W układzie tor – pociąg – sieć trakcyjna, pokazanym schematycznie na rys. 1, wyróżniono dwa podukłady: (1) tor – pociąg i (2) sieć trakcyjna – pantografy, które są elementem konstrukcyjnym pociągu. W obu podukładach występuje wewnętrzne sprzężenie zwrotne między głównymi elementami, tzn. oddziaływanie między torem a pociągiem jest wzajemne i wzajemne jest oddziaływanie między pantografami i siecią trakcyjną. Fizycznym miejscem styku dwóch wyróżnionych podukładów: (1) i (2) jest podstawa pantografu (rys. 2 i 3). Przyjęto, że jest to styk punktowy – dwupunktowy, jeśli w układzie są dwa pantografy a jednopunktowy w przypadku jednego pantografu. Sprzężenie między podukładami jest tzw. sprzężeniem wprzód – w kierunku od podukładu (1) do (2), tzn. nie uwzględnia się wpływu drgań podukładu (2) na (1). Model obliczeniowy układu tor – po-

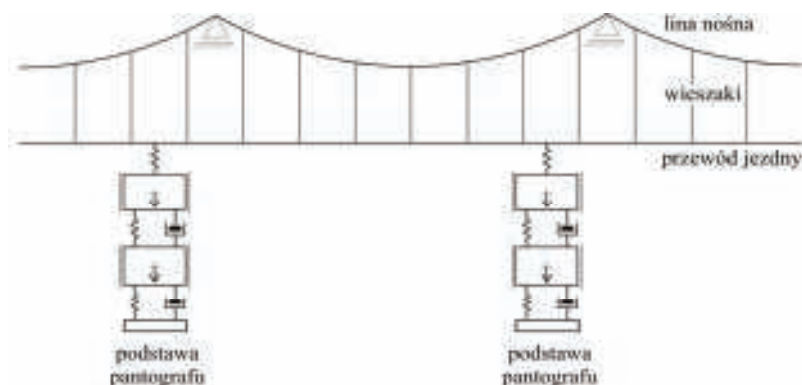
ciąg – sieć trakcyjna jest modelem 2D (płaskim), docelowo ukierunkowanym na analizę pionowych drgań przewodu jezdny sieci trakcyjnej i analizę dynamicznej siły kontaktowej między pantografem i przewodem jezdny.

Podukład (1)

Model dynamiczny podukładu pokazano na rys. 2. Założono, że pociąg jest elektrycznym zespołem trakcyjnym złożonym z powtarzalnych członów, poruszającym się ze stałą prędkością. Na dwóch wybranych członach pociągu lub jednym są zamontowane łącznie co najwyżej dwa pantografy. Każdy człon pociągu ma niezależne dwustopniowe zawieszenie i składa się ze sztywnego nadwozia, dwóch sztywnych wózków jezdnych i czterech zestawów kołowych. Jest układem dynamicznym o 10-ciu dynamicznych stopniach swobody.

Tor kolejowy jest belką Eulera – Bernoulliego, spoczywającą na podłożu sprężystym Winklera z tłumieniem. Na granicy odcinków toru o długościach L_1 i L_2 (por. rys. 1) występuje nierówność progowa w postaci nagłej skokowej zmiany sztywności podłoża sprężystego: od wartości k_1 do k_2 . Tor z nierównością progową jest modelowany przy użyciu MES w ujęciu Galerkinia, z zastosowaniem belkowych elementów skończonych Eulera z ciągłym rozkładem masy, spoczywających na ciągłym nieinercyjnym podłożu liniowo lepko-sprężystym. Przyjęto założenie, że koła pojazdów pozostają cały czas w pełnym kontakcie z szyną, co jest pewną niedomogą modelu, ale może być stosunkowo łatwo poprawione przez wprowadzenie więzi kontaktowej typu Herta.

Równania ruchu sprzężonego układu tor – pociąg wyprowadzono stosując metodę opisaną szczegółowo w pracach [9] i [10]. Są to równania różniczkowe drugiego rzędu względem czasu, o zmiennych w czasie współczynnikach. Układ równań ruchu sprowadza się do znanej w literaturze postaci macierzowej



3. Model podukładu sieć trakcyjna – pantografy z zaznaczeniem stopni swobody pantografów

$$\mathbf{B}_{(1)}(t)\ddot{\mathbf{q}}_{(1)}(t) + \mathbf{C}_{(1)}(t)\dot{\mathbf{q}}_{(1)}(t) + \mathbf{K}_{(1)}(t)\mathbf{q}_{(1)}(t) = \mathbf{f}_{(1)}(t) \quad (1)$$

Rozwiązaniem układu równań (1) są przebiegi czasowe współrzędnych uogólnionych $\mathbf{q}_{(1)}(t)$ oraz ich prędkości $\dot{\mathbf{q}}_{(1)}(t)$ i przyspieszeń $\ddot{\mathbf{q}}_{(1)}(t)$.

Zbiór współrzędnych uogólnionych obejmuje ugięcia i obroty węzłów podziału toru na elementy skończone oraz przemieszczenia i obroty tarcz masowych tworzących dynamiczny model pociągu.

Podukład (2)

Przyjęty model dynamiczny podukładu został przedstawiony schematycznie na rys. 3. Model ten jest analogiczny do opisanego szczegółowo w pracach [11] i [12], ale zawiera niewielkie modyfikacje w zakresie definicji linek wieszakowych i pantografów. Górna sieć jezdna, podobnie jak w modelu wyjściowym jest wieszarem ciągnowym złożonym z wieloprzęsłowej liny nośnej i przewodu jezdny, który jest podwieszony do liny za pośrednictwem linek wieszakowych. Lina nośna jest wiotkim ciągnem podpartym przesuwnie na sztywnych podporach zlokalizowanych na tym samym poziomie. W stanie nieobciążonym, trasa liny nośnej jest paraboliczna w obrębie każdego przęsła a przewód jezdny jest ciągnem prostoliniowym, czyli struną. Oba te elementy są napięte siłami naciągu, które wynikają z działania urządzeń naprężających sieć jezdnią. Analizowany odcinek sieci składa się z zadanej liczby przęseł, która obejmuje jedną sekcję naprężania.

Wiotkie linki wieszakowe są modelowane za pomocą nieinercyjnych więzi sprężystych, które nie przenoszą ściskania, są to zatem więzi o charakterystyce nieliniowej. Ich sztywność na rozciąganie jest jednakowa i stała, wynosi k_r . W odróżnieniu od modelu wyjściowego, linki wieszakowe mogą mieć przy ściskaniu sztywność zerową, ale mogą też zachowywać niewielką sztywność resztkową (rezyduálną) charakteryzującą zachowanie linek w trakcie tzw. poluzniania, czyli utraty kształtu, która jest odpowiednikiem wybożenia. Sztywność wieszaków na ściskanie zdefiniowano wzorem $k_s = \kappa k_r$, gdzie współczynnik κ określa wartość sztywności resztkowej jako niewielki procent sztywności na rozciąganie – np. 1%. Przyjęcie $\kappa = 0$ jest równoznaczne z zerową sztywnością linek na ściskanie.

Drgania wieszara ciągnowego z ciągłym rozkładem masy są wyznaczane metodą aproksymacyjną Lagrange’a – Ritza, przy założeniu, że przewód jezdny jest obciążony przejazdem pantografów. Pantografy są traktowane jako płaskie układy dynamiczne o dwóch stopniach swobody (rys. 3), ale można je łatwo rozbudować do układów o kilku stopniach swobody. W odróżnieniu od modelu wyjściowego opisanego w pracach [11] i [12], podstawa pantografu nie jest nieruchoma, jej ruch w kierunku pionowym jest determinowany drganiami pojazdu szynowego w teoretycznych punktach styku podukładów (1) i (2). Przyjęto zatem, że pionowy ruch podstawy pantografu jest opisany funkcjami $w_j^p(t)$ i $\dot{w}_j^p(t)$ określającymi przemieszczenie i prędkość drgań w punkcie styku j , który jest równocześnie numerem pantografu.

Funkcje te wyznacza się na podstawie rozwiązania układu równań ruchu (1).

Po uwzględnieniu opisanych modyfikacji, równania ruchu podukładu sieć trakcyjna – pantografy można zapisać w ogólnej postaci macierzowej

$$\mathbf{B}_{(2)}\ddot{\mathbf{q}}_{(2)}(t) + \mathbf{C}_{(2)}\dot{\mathbf{q}}_{(2)}(t) + [\mathbf{K}_{\text{const}} + \mathbf{K}_{\text{const}} - (1 - \kappa)\mathbf{K}_{\text{ws}}(\mathbf{q}) + \tilde{\mathbf{K}}(t)]_{(2)}\mathbf{q}_{(2)}(t) = \mathbf{f}_{(2)}(t) \quad (2)$$

która różni się od postaci równań podanych w pracy [12]: wprowadzeniem współczynnika κ określającego sztywność resztkową linek wieszakowych przy ściskaniu oraz uwzględnieniem wymuszenia kinematycznego drgań pantografów w wektorze wzbudzenia. Z punktu widzenia uwzględnienia nieliniowego zachowania wieszaków najistotniejsza jest postać macierzy sztywności, rozdzielonej na cztery składniki. Zmienny w czasie składnik $\tilde{\mathbf{K}}(t)$ wynika z dynamicznej interakcji między siecią jezdnią i pantografami. Stały składnik $\mathbf{K}_{\text{const}}$ zależy tylko od cech sprężystych wieloprzęsłowej liny nośnej i przewodu jezdniego, natomiast wydzielony stały składnik $\mathbf{K}_{\text{const}}$ zawiera wszystkie elementy macierzy sztywności zależne od linek wieszakowych, obliczone przy wyjściowym założeniu, że wszystkie linki wieszakowe mają jednakową sztywność k_r zarówno przy rozciąganiu jak i ściskaniu. Składnik $\mathbf{K}_{\text{ws}}(\mathbf{q}_{(2)})$ ma identyczną strukturę jak $\mathbf{K}_{\text{const}}$, ale dotyczy tylko linek zidentyfikowanych w chwili t jako ściskane. Jest zatem zależny od współrzędnych uogólnionych $\mathbf{q}_{(2)}$ określających stan przemieszczenia podukładu, a po odjęciu od macierzy $\mathbf{K}_{\text{const}}$ z uwzględnieniem mnożnika $(1 - \kappa)$ redukuje sztywność linek ściskanych do wartości $k_s = \kappa k_r$.

Metoda symulacji numerycznej

Zgodnie z przyjętym założeniem o jednostronnym sprzężeniu (tzw. sprzężeniu w przód) wyróżnionych dwóch podukładów, nie uwzględnia się w obliczeniach wpływu drgań sieci trakcyjnej przenoszonych przez panto-

grafy na pojazd kolejowy. To założenie pozwoliło podzielić algorytm symulacyjny na dwa etapy i opracować dwa programy komputerowe o ustalonej hierarchii działania. Pierwszy program realizuje obliczenia w podukładzie (1), bazujące na rozwiązaniu równania (1), które wyznacza się przez całkowanie numeryczne z użyciem bezwarunkowo stabilnego wariantu metody Newmarka. Na podstawie tego rozwiązania generowane są przebiegi czasowe drgań $\mathbf{W}_j^p(t)$ i prędkości drgań $\dot{\mathbf{W}}_j^p(t)$ w teoretycznych punktach styku podukładów, a więc odniesione do tych członów pociągu, na których zamontowane są pantografy. Przebiegi te stanowią podgrupę danych wejściowych do drugiego programu, który bazuje na rozwiązaniu równania (2) uzyskiwanym także przez całkowanie numeryczne metodą Newmarka. Ważne jest zatem, aby krok czasowy całkowania numerycznego obu równań był jednakowy, a ujmując problem dokładniej – aby dyskretny zapis przebiegów funkcji $\mathbf{W}_j^p(t)$ i $\dot{\mathbf{W}}_j^p(t)$ był zgodny z krokiem numerycznego całkowania przyjętym do obliczeń w drugim module programowym.

Układ równań ruchu (2) jest dość trudny do rozwiązania, ponieważ równania są nieliniowe. Do ich rozwiązania zastosowano schemat rekurencyjno-iteracyjny. W każdym kroku obliczeniowym numerycznego całkowania kontrolowano stan układu poprzez identyfikację linek wieszakowych podlegających ściskaniu. Następnie przeprowadzano bezpośrednią korektę macierzy sztywności przez odjęcie składnika $(1 - \kappa)\mathbf{K}_{\text{ws}}(\mathbf{q}_{(2)})$, który redukuje wpływ linek wieszakowych znajdujących się w danej chwili w stanie ściskania. Korekta jest przeprowadzana iteracyjnie w danym kroku, aż do osiągnięcia zadanej dokładności wektora rozwiązania $\mathbf{q}_{(2)}$. W pierwszym

kroku iteracji, do korekty macierzy sztywności wykorzystuje się rozwiązanie liniowe w obrębie danego kroku czasowego, bazujące na równaniu kolokacji metody Newmarka ([13]) zapisanym przy założeniu $\kappa = 1$ (tzn. wieszaki są więziami liniowo-sprężystymi o sztywności k_r).

W każdym kroku symulacji i , na podstawie przemieszczeń uogólnionych $\mathbf{q}_{(2)}(t_i)$ wyznaczonych w chwili t_i oblicza się wielkości wynikowe – siłę kontaktową, uniesienie przewodu jezdniego na wsporniku, przemieszczenie ślizgacza pantografu, itp. Tak wygenerowane przebiegi czasowe zadanych wielkości wynikowych mogą być przedmiotem dalszej analizy – np. statystycznej.

Dane wejściowe i symulacja efektu progowego

Do badań przyjęto fragment drogi kolejowej o długości 300 m, przy czym nierówność progowa toru występuje w punkcie środkowym, zatem długość odcinka najazdowego wynosi $L_1 = 150$ m. Założono, że sztywność podłoża na odcinku najazdowym wynosi $k_1 = k = 1,1 \cdot 10^8$ N/m², na odcinku drugim jest pięćdziesięciokrotnie większa lub mniejsza: $k_2 = 50k$ lub $k_2 = k/50$. Parametr tłumienia podłoża jest stały na długości toru i wynosi $2,8667 \cdot 10^5$ Ns/m². Sztywność giętna belki modelującej dwie szyny toru kolejowego wynosi $1,2831 \cdot 10^7$ Nm², a jej masa jednostkowa $1,21 \cdot 10^2$ kg/m. W obliczeniach uwzględniono tłumienie materiałowe w szynach z czasem retardacji $2,1 \cdot 10^{-5}$ s. Drgania toru kolejowego są wzbudzane przejazdem pociągu typu Shinkansen, który składa się z ośmiu 25-metrowych powtarzalnych pojazdów. Rozstawy osiowe wózków jezdnych pokazano na rys. 4. Parametry masowe i charakterystyki zawieszek pociągu Shinkansen przyjęto według danych z monografii [14]. Aby skrócić czas symu-



4. Rozstawy osiowe wózków jezdnych pociągu

Tab. 1. Charakterystyki geometryczne i materiałowe elementów sieci trakcyjnej oraz parametry pantografu

Masa jednostkowa liny nośnej	1,07 kg/m	Prędkość pantografu	60 i 80 m/s
Naciąg liny nośnej	16 kN	Masa ślizgacza pantografu	7,2 kg
Szywność osiowa liny nośnej	12 MN	Masa ramy pantografu	15,0 kg
Masa jednostkowa przewodu jezdnego	1,35 kg/m	Siła nacisku statycznego pantografu	120 N
Naciąg przewodu jezdnego	20 kN	Szywność górnej sprężyny pantografu (k_1)	4 200 N/m
Szywność wieszaka przy rozciąganiu	100 kN/m	Szywność dolnej sprężyny pantografu (k_2)	50 N/m
Długość przęsła	60 m	Parametr górnego tłumika pantografu (c_1)	10 Ns/m
Liczba przęseł	5	Parametr dolnego tłumika pantografu (c_2)	90 Ns/m
Liczba wieszaków w przęśle	9	Szywność sprężyny kontaktowej (k_c)	50 kN/m
Liczba tłumienia materiałowego liny nośnej	0,5%	Liczba tłumienia materiałowego przewodu jezdnego	0,5%

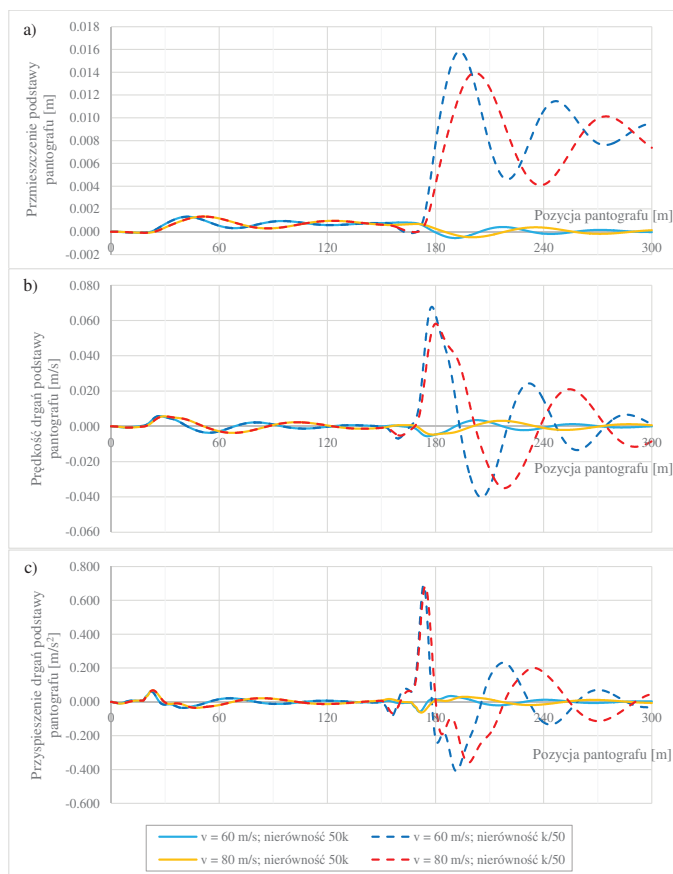
lacji w przedstawianych tu pierwszych testach metody symulacyjnej, rozważono hipotetyczny przejazd tylko jednego członu pociągu, wyposażonego w jeden pantograf umieszczony w osi przedniego wózka jezdnego.

Przyjęte do obliczeń parametry fizyczne podukładu pantografy – sieć trakcyjna zostały zestawione w tabeli 1. Przyjęto je na podstawie danych modelu referencyjnego, który jest opisany w załączniku do normy [4]. Długość badanego odcinka testowego sieci składającego się z pięciu jednakowych przęseł wynosi 300 m, czyli jest równa

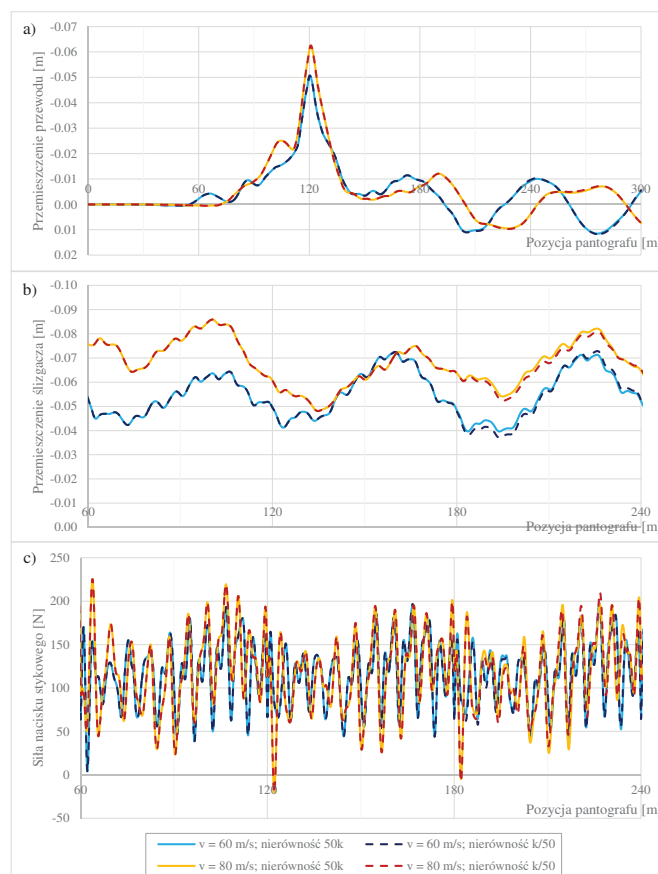
długości badanego odcinka toru. Symulacje w czasie rzeczywistym przeprowadzono przy dwóch prędkościach jazdy pociągu: 60 m/s i 80 m/s, przyjmując krok czasowy numerycznego całkowania równy 0,001 s.

Na rys. 5 pokazano przebiegi pionowych drgań podstawy pantografu (przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia), wygenerowane przy dwóch prędkościach jazdy pociągu (216 km/h, 288 km/h), przy założeniu skoku sztywności podłoża toru od k do $50k$ i od k do $k/50$, który występuje po przejeździe odcinka o długości 150-ciu metrów.

Po pierwsze należy zauważyć, że w pierwszej fazie ruchu pojazdu (najazdowej), w tym pantografu, obserwuje się drgania spowodowane wjazdem pojazdu na badany odcinek toru, w którym szyny są utwierdzone na lewym brzegu. Utwierdzenie wynika z przyjętego modelu toru – modelu o skończonej długości (por. rys. 1). Można uznać, że długość odcinka najazdowego (150 m) jest wystarczająca, aby uzyskać ustalony stan odpowiedzi pojazdu – prędkości i przyspieszenia zanikają prawie do zera, a przemieszczenie ustala się na poziomie stałego, dynamicznego ugięcia szyn, śledzącego ruch pojazdu i zależnego od jego prędkości (por. [9]). Przejazd pojazdu przez nierówność progową w postaci pięćdziesięciokrotnego zmniejszenia sztywności podłoża skutkuje nagłym wzbudzeniem drgań pojazdu, o początkowej amplitudzie rzędu kilkunastu milimetrów. Drgania oscylacyjnie gasną dążąc do stałej wartości – większej niż przed nierównością progową z uwagi na mniejszą sztywność podłoża



5. Przebiegi pionowych drgań podstawy pantografu: a) przemieszczenia, b) prędkości c) przyspieszenia, w zależności od prędkości jazdy pociągu i nierówności progowej



6. Przebiegi czasowe: a) przemieszczenia przewodu jezdnego na lewym wsporniku środkowego przęsła odcinka testowego, b) przemieszczenia ślizgacza pantografu, c) siły nacisku stykowego, w zależności od prędkości jazdy pociągu i nierówności progowej

toru. Podobny efekt obserwuje się w przypadku prędkości i przyspieszeń drgań, z tą różnicą, że dążą one oscylacyjnie do zera. Obserwowany dynamiczny efekt progowy jest podobny do przebiegu odpowiedzi na obciążenie impulsowe. Ze względu na bardzo dobre, dwustopniowe zawieszenie nadwozia pojazdu, obserwowane drgania mają małe amplitudy, a maksymalne wzbudzone przyspieszenia wpływające na komfort jazdy nie przekraczają 1 m/s^2 . Warto zauważyć, że większy efekt progowy występuje przy niższej z dwóch rozpatrywanych prędkości pojazdu, w odróżnieniu od efektu progowego występującego w drganiach szyn, który ewidentnie rośnie wraz z prędkością ([9]). Ponadto, w przypadku drgań szyn efekt progowy wynikający ze zwiększenia sztywności podłoża toru skutkuje dużymi oscylacjami przyspieszeń ([9]), natomiast w przypadku drgań nadwozia pojazdu (czyli i drgań podstawy pantografu) wpływ nierówności progowej rzędu pięćdziesięciokrotnego zwiększenia sztywności toru jest praktycznie pomijalny.

Można się spodziewać, że pokazane na rys. 5 niewielkie drgania podstawy pantografu, spowodowane przejazdem przez dwie analizowane nierówności progowe, nie będą miały istotnego wpływu na drgania sieci trakcyjnej i pantografu, który jest wyposażony we własne tłumiki drgań. Na rys. 6 przedstawiono wyniki przeprowadzonych symulacji, które uwzględniają kinematyczne wzbudzenie drgań pantografu. Zgodnie z oczekiwaniami, efekt progowy manifestuje się jedynie w przebiegu drgań ślizgacza pantografu, ale jest pomijalnie mały.

Podsumowanie

Bardzo skuteczne resorowanie pojazdu szynowego pociągu dużych prędkości typu Shinkansen powoduje, że efekt progowy spowodowany przejazdem przez badane nierówności progowe jest na tyle mały, że praktycznie nie przenosi się na drgania pantografu i górnej sieci jezdnej. Niemniej, pokazane wyniki obliczeń świadczą o tym, że zaproponowany algorytm symulacyjny

jest skuteczny i może być przydatny do analizy wpływu efektu progowego na drgania pojazdów szynowych i sieci trakcyjnych. Główny cel pracy został zatem osiągnięty.

Dalsze badania w tym obszarze mogą być ukierunkowane na analizę występujących w praktyce nierówności progowych, aby ustalić typowe parametry skoku sztywności podłoża toru, występujące w praktyce eksploatacyjnej, i określić ich wpływ na drgania innych, mniej skutecznie resorowanych pojazdów szynowych i następnie – na drgania sieci trakcyjnych. ◀

Materiały źródłowe

- [1] J. Ambrósio, J. Pombo, M. Pereira, P. Antunes, A. Mósca: A Computational Procedure for the Dynamic Analysis of the Catenary-Pantograph Interaction in High-Speed Trains, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, Vol. 50(3), 2012, pp. 681-699.
- [2] J. Pombo, P. Antunes, J. Ambrósio: A Study on Multiple Pantograph Operations for High-Speed Catenary Contact, *Proceedings of the Eleventh International Conference on Computational Structures Technology*, B.H.V. Topping, (Editor), Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland, 2012, paper 139.
- [3] G. Poetsch, J. Evans, R. Meisinger, W. Kortüm, W. Baldauf, A. Veitl, J. Wallaschek: Pantograph/Catenary Dynamics and Control, *Vehicle System Dynamics*, No. 28, 1997, pp. 159-195.
- [4] PN-EN 50318: Zastosowania kolejowe – Systemy odbioru prądu – Walidacja symulacji oddziaływania dynamicznego pomiędzy pantografem a siecią jezdnią górną, PKN, Warszawa 2003.
- [5] PN-EN 50367: Zastosowania kolejowe – Systemy odbioru prądu – Kryteria techniczne dotyczące wzajemnego oddziaływania między pantografem a siecią jezdnią górną (w celu uzyskania wolnego dostępu), PKN, Warszawa 2012.
- [6] Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1301/2014 z dnia 18 listopada

2014 r. w sprawie technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Energia” systemu kolei w Unii.

- [7] J. Ambrósio, J. Pombo, M. Pereira, P. Antunes, A. Mósca: Recent Developments in Pantograph-Catenary Interaction Modelling and Analysis, *International Journal of Railway Technology*, Vol. 1(1), 2012, pp. 249-278.
- [8] J. Sołkowski: Zarys analizy efektu progowego przy łączeniu nawierzchni podsypkowych z innymi typami nawierzchni, *Technika Transportu Szynowego*, r. 12, 2009, str. 59-65.
- [9] D. Bryja, I. Gisterek, A. Popiołek: Analiza numeryczna wpływu nierówności progowej na drgania toru kolejowego spowodowane przejazdem pociągu dużych prędkości, *Inżynieria i Budownictwo*, r. 71, nr 10, 2015, s. 532-536.
- [10] D. Bryja, I. Gisterek, A. Popiołek: A computational method for acceleration analysis of a railway track with a stiffness discontinuity, *Proc. of the Fifteenth Int. Conf. on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, Prague - Czech Republic, 1-4 September 2015, ed. by J. Kruis, Y. Tsompanakis and B.H.V. Topping, Stirlingshire, Civil-Comp Press, 2015, pp. 1-13.
- [11] D. Bryja, D. Prokopowicz: Dyskretno-ciągły model obliczeniowy sprzężonego układu dynamicznego: pantograf - napowietrzna sieć trakcyjna, *Przegląd Komunikacyjny*, r. 71, nr 5, 2016, s. 44-51.
- [12] D. Bryja, A. Popiołek: Analiza drgań wieszara ciągnowego jako modelu kolejowej sieci trakcyjnej obciążonej ruchem pantografów, *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, t. 34, z. 64, nr 2, 2017, s. 177-190.
- [13] Langer J.: *Dynamika budowli*, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1980.
- [14] Kłasztorny M., *Dynamika mostów belkowych obciążonych pociągami szybkojeźdnymi*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005

Przekładki podszytowe i podpłytkowe o indywidualnie projektowanej sztywności

Resilient pads with custom designed stiffness



Igor Gisterek

Dr inż.

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

igor.gisterek@pwr.edu.pl

Streszczenie: W pracy przytoczono przykłady stosowania wibroizolacji w dokumentacji projektowej. Przedstawiono metodykę badań oraz wyniki pomiarów charakterystyk sprężystych komponentów przytwierdzeń szyn w postaci przekładek podszytowych oraz przekładek podpłytkowych pod podkładką żebrową. Podkreślono wysoką precyzję projektowania i wykonawstwa podkładek sprężystych o określonej charakterystyce. Wskazano niedociągnięcia krajowego prawodawstwa w tym zakresie. W podsumowaniu określono pożądane kierunki zmian tego niekorzystnego stanu rzeczy.

Słowa kluczowe: Przekładka szynowa; Kolej; Tor kolejowy

Abstract: The paper deals with examples of using vibration insulation in project documentation. The research methodology and the results of measurements of elastic characteristics of rail fastening components in the form of rail pads and baseplate pad was presented. High precision of designing and manufacturing of elastic elements with a specific characteristic was emphasized. Shortcomings of national legislation in this area have been pointed out. In the summary, the desired directions of changes in this unfavorable situation were defined.

Keywords: Resilient pad; Railway; Railway track

Prowadzone ciągle inwestycje w zakresie infrastruktury transportu szynowego miejskiego i dalekobieżnego zmuszają inwestorów, projektantów i wykonawców do znajdowania kompromisów pomiędzy optymalizacją kosztów przedsięwzięcia a zachowaniem odpowiadającego dzisiejszym normatywom i oczekiwaniom niskiego poziomu emisji drgań i hałasu. Konieczne staje się stosowanie nowych technologii oraz komponentów zarówno przy projektowaniu nowych obiektów infrastruktury szynowej, jak i przy modernizacji konstrukcji istniejących. W tym drugim przypadku szczególnie istotne stają się ograniczenia przestrzenne, powiązane z bliskim sąsiedztwem zabudowy, historycznym ukształtowaniem przebiegu tras w terenie intensywnie zagospodarowanym czy obecnością obiektów podziemnych. Racjonalny jest więc taki dobór zastosowanych technologii i

materiałów, żeby zminimalizować ich koszty zakupu i utrzymania w całym okresie eksploatacji, przy jednoczesnym zachowaniu wysokich parametrów eksploatacyjnych.

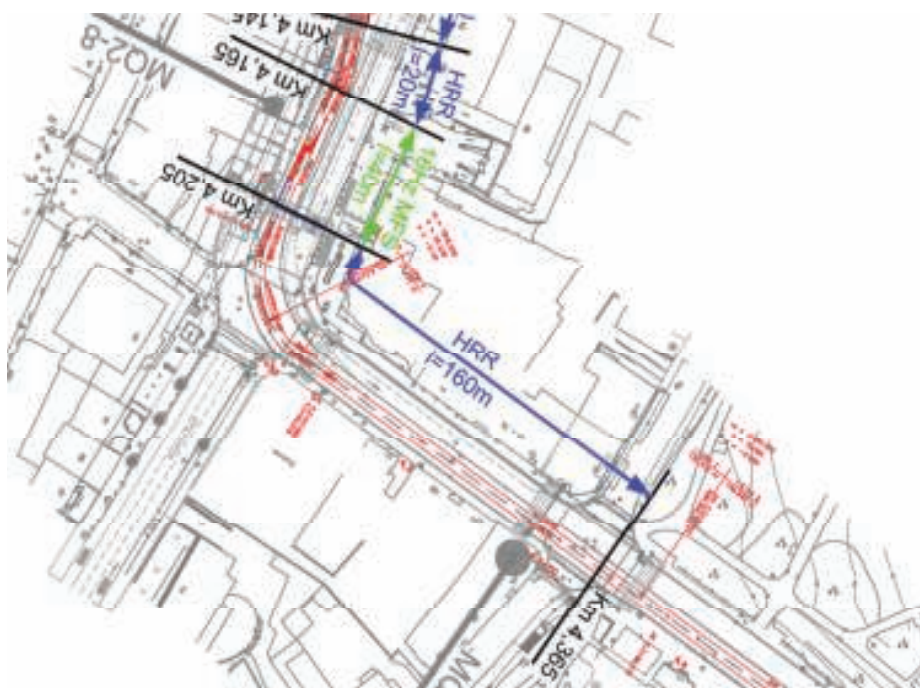
Dobór rodzaju nawierzchni – przykład pozytywny

W roku 2015 rozpoczęto prace budowlane przy nowej linii tramwajowej w Luksemburgu. Kluczowe etapy projektu, postęp prac oraz inne istotne dane podawano w dość szczegółowych opracowaniach do wiadomości publicznej [10]. Jednym z opracowań przygotowawczych było określenie stanu zabudowy ulic stanowiących korytarz, którym miała przebiegać projektowana linia tramwajowa, w celu doboru odpowiednich środków ochrony. W obszernym tomie [4] wskazano algorytm postępowania, który zdaniem autora może służyć jako

wzorcowy dla wszystkich tego typu inwestycji. W jego pierwszej części opisano pokrótce różnice i zależności między drganiami, hałasem pierwotnym i hałasem wtórnym, następnie wskazano kilka dostępnych metod obniżania tych oddziaływań. Część druga zawiera opis dwóch stanowisk pomiarowych: w Luksemburgu, w 20 wytypowanych wcześniej punktach pomiarowych, oraz w Brukseli, przy torze referencyjnym podczas przejazdu tramwajów. Na tym etapie zidentyfikowano już miejsca wymagające szczególnej ochrony (np. filharmonia), jak i elementy toru generujące zwiększone oddziaływania (rozjazdy, łuki o małych promieniach). W trzecim etapie zaproponowano rozmieszczenie konkretnych środków ochronnych, zarówno w formie tabelarycznej, jak i planów sytuacyjnych. Fragment tabeli z opisem punktów pomiarowych pokazano na rys. 1, natomiast rys. 2

Projekt: Lustran		Erschließungstechnische Untersuchungen										Datum:	Seite
Proj. Nr.: 10-6389												15.8.2011	48
Meas- station	Obj.	Adresse	Wohn- fläche [m²]	Baujahr [Jahr]	Bau- weise	Erster- höhe [m]	Umfang [m]	Wohn- fläche [m²]	Wohn- fläche [m²]	Wohn- fläche [m²]	Wohn- fläche [m²]	Wohn- fläche [m²]	Wohn- fläche [m²]
MQ2-01		1. place de la Gare	100-01	1950er	5	13.8 m	✓	1000	1000	1000	1000	1000	1000
MQ2-02		21. av. de la Liberté	100-02	1950er	5	13.8 m	✓	1000	1000	1000	1000	1000	1000
MQ2-03		10. av. de la Liberté	100-03	1950er	5	13.8 m	✓	1000	1000	1000	1000	1000	1000
MQ2-04		41. av. de la Liberté	100-04	1950er	5	13.8 m	✓	1000	1000	1000	1000	1000	1000
MQ2-05		10. av. de la Liberté	100-05	1950er	5	13.8 m	✓	1000	1000	1000	1000	1000	1000

1. Tabelaryczny opis punktów pomiarowych przy projektowanej trasie tramwaju w Luksemburgu, za [4]



2. Proponowane rozmieszczenie specjalnych konstrukcji toru w projektowanej trasie tramwaju w Luksemburgu, za [4]

przedstawia wycinek planu sytuacyjnego z naniesionymi rozwiązaniami, gdzie HRR oznacza High Resilient Rail (szynę o zwiększonej podatności podparcia), zaś 16Hz MFS – Masse Feder System (system masowo – sprężysty o częstotliwości własnej wynoszącej 16Hz).

W grudniu 2017 oddano do użytku pierwszy fragment trasy, pomiędzy położoną w północno – wschodniej części miasta zajezdnią, a stacją kolejową Pfaffenthal – Kirchberg, zaś po zakończeniu budowy w 2021 tramwaje mają kursować od lotniska do Cloche d'Or, zatem realizacja projektu nadal trwa.

Dobór rodzaju nawierzchni – przykład mniej pozytywny

W roku 2017 wykonano dokumentację projektową przebudowy układu torowego jednej ze stacji kolejowych w południowej Polsce. Zdaniem autora, doboru środków ochrony przed drganiami i hałasem dokonano w niej arbitralnie, nie oglądając się na założone efekty, tylko sugerując zastosowanie konkretnego produktu obecnego na rynku. Przedstawiony w niej tok postępowania nie wydaje się właściwy zarówno pod względem ograniczania doboru samej konstrukcji toru („jako

najskuteczniejsze [...] przewidziano rozwiązanie w postaci bezpośredniej izolacji poziomej – zabudowę mat podtłuczniowych”) czy materiału wibroizolacyjnego i jego struktury („należy zastosować jednorodny, spieniony elastyczny poliuretan”; „rowki lub wewnętrzne jamy nie są dopuszczalne”). Wątpliwości budzi również rozmieszczenie przestrzenne projektowanych mat: nie zastosowano ich na obiekcie mostowym o konstrukcji blachownicowej, położonym w odległości około 20m od pierzei kamienic; mata urywa się na długości projektowanego budynku nastawni, odległego ok. 7m od osi toru na zewnątrz dość ciasnego łuku, za to jej ułożenie jest przewidziane pod torem odstawczym zakończonym kozłem oporowym, a nawet poza nim, mimo że projekt nie wspomina o jego przyszłym przedłużeniu (rys. 3).

Na tej podstawie można założyć, że rodzaj i zasięg projektowanego rozwiązania nie były przedmiotem pogłębionej analizy. Należy wnioskować, że skoro nie założono jasno określonego efektu ograniczenia oddziaływań na budowlę w pobliżu torów, niemożliwa będzie również właściwa ocena efektów funkcjonowania wdrożonych rozwiązań, co w zasadzie czyni całe przedsięwzięcie wątpliwym z inżynierskiego punktu widzenia. Zawarte w powyższym akapicie rozważania są nieaktualne, jeżeli dostarczona do analizy dokumentacja była niepełna lub została później uzupełniona dodatkowymi opracowaniami, nieznanymi autorowi podczas powstawania niniejszej pracy.

Porównanie dwóch powyższych przykładów prowadzi do wniosku, że właściwym trybem projektowania rozwiązań ochrony wibroizolacyjnej jest rozpoznanie stanu istniejącego, założenie pożądanych efektów w postaci utrzymania poziomu drgań i hałasu poniżej określonych wartości, a następnie - w razie konieczności - dobór konkretnego rozwiązania w postaci ulepszonej nawierzchni torowej lub dodatkowej infrastruktury przytorowej. Niestety, często praktykowane jest postępowanie odwrotne, w którym bazuje się na parametrach drugorzędnych (grubość maty wibroizolacyjnej, sztywność statyczna i dynamiczna, współczynnik przeszywnienia, wska-



3. Fragmenty omawianego w tekście rysunku planu, kreskowaniem w kolorze zielonym zaznaczono zasięg układania maty wibroizolacyjnej

zanie konkretnego tworzywa itp.), natomiast wartości liczbowe efektów tłumieniowych pozostają nieokreślone, czyli liczy się fakt zastosowania określonego rozwiązania, a nie jego skuteczność.

Nowe podejście – projektowanie sztywności przekładek

Jak wskazano w przykładach zamieszczonych we wprowadzeniu, dobór właściwego rozwiązania wibroizolacyjnego jest zagadnieniem wieloaspektowym, o znacznym stopniu złożoności oraz wymagającym szeroko zakrojonego frontu prac przygotowawczych. Nie mniej istotny jest właściwy algorytm postępowania, w wyniku którego otrzymuje się skuteczne rozwiązanie. Tymczasem złożoność zagadnień związanych z właściwym doбором ochrony wibracyjnej stale wzrasta. Stosunkowo nowym zjawiskiem na rynku jest możliwość indywidualnego projektowania sztywności zarówno przekładki podszynowej, jak i przekładki podpłytkowej (tj. umieszczonej między podkładką żebrową, stanowiącą płytę przytwierdzenia, a podkładem).

Dotychczasowe podejście opiera się na stosowaniu przytwierdzenia jako systemu. Klasyczny sposób doboru rozwiązania to użycie Tabeli 3.2 w przepisach [11], a następnie przejście do standardów technicznych zawartych w Załączniku 2 przepisów [8], Tabele 1- 6. W zależności od standardu technicznego nawierzchni, dostępne rodzaje przytwierdzeń to SB, SK1 i K, bez wskazania konkretnych kryteriów doboru elementów składowych tych systemów mocowania szyn do podkładów. Tymczasem, ze względu na zarówno postępującą specjalizację

linii kolejowych, od prowadzenia lekkiego ruchu pasażerskiego z dużą częstotliwością, po linie obciążone intensywnym ruchem towarowym, celowe wydaje się wdrożenie pomocniczych kryteriów dla wspomagania bardziej precyzyjnego doboru poszczególnych składowych. Dość nieprecyzyjny zapis zawarty w rozdz. II par. 3 przepisów [8]: „Standard konstrukcyjny nawierzchni określa minimalne wymagania techniczne dla materiałów konstrukcyjnych dla danej klasy torów, to jest: typ szyn, podkładów i przytwierdzeń, maksymalny rozstaw podkładów oraz minimalną grubość warstwy podsypki pod podkładem, a także parametry techniczne wymienionych materiałów” można rozumieć intuicyjnie w przypadku rozstawu podkładów czy grubości podsypki, ale jak porównać minimalne wymagania techniczne przytwierdzeń SB i SK1? Drugim faktem rodzącym pewne trudności jest stopniowe wyewoluowanie z rozwiązań bazowych całych rodzin produktów, mających wspólny lub zbliżony kształt, lecz zupełnie różne charakterystyki, czego standardy techniczne zupełnie nie uwzględniają. Kolejnym zagadnieniem jest coraz szybciej postępujący rozwój nowych i unowocześnionych zagranicznych konstrukcji komponentów toru, w tym przytwierdzeń, które jak do tej pory nie są obecne na rynku krajowym. Cały ten nie do końca klarowny tok postępowania stanowi poważną barierę dla wprowadzania nowych rozwiązań i sprzyja raczej konserwatywnemu schematyzmowi projektowemu.

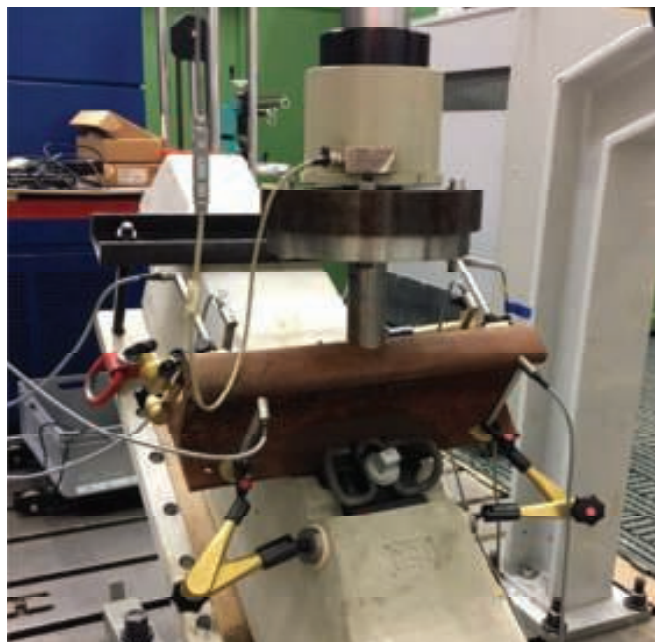
Postęp w technologii materiałowej tworzyw sztucznych umożliwia obecnie realizowanie elementów o stosunkowo niewielkich rozmiarach, których

charakterystyka może być precyzyjnie projektowana. Dotyczy to zarówno właściwości mechanicznych materiału, takich jak sztywność czy wydłużenie, ale też jego wewnętrznej struktury w postaci odpowiednio rozmieszczonych mikropęcherzyków o pożądanej średnicy. Najwyższą powtarzalność struktury daje obecnie druk trójwymiarowy, jednak ze względu na koszty technologia ta nie ma dziś zastosowania przy wytwarzaniu setek tysięcy powtarzalnych akcesoriów kolejowych. Natomiast umiejętne sterowanie procesem wytwarzania i przetworstwa tworzyw sztucznych pozwala na zachowanie wystarczająco wysokiej powtarzalności wyrobów, przy możliwości oferowania całego typoszeregu elementów powstających ze wspólnego surowca. Przykładem mogą być przekładki podszynowe oraz przekładki podpłytkowe pod podkładką żebrową wykonane ze spienionego EPDM (polimer z monomerów etylenowo-propylenowo-dienowych).

Według danych producenta [5], materiały te mogą być stosowane w zasadzie we wszystkich rodzajach transportu szynowego, od ruchu tramwajowego do kolei dużych prędkości, dzięki możliwości niemal indywidualnego doboru sztywności przekładki podszynowej w szerokim zakresie od 20 do 200 kN/mm, a przekładki podpłytkowej od 5 do 60 kN/mm. Łączne stosowanie obu tych rodzajów przekładek daje szeroki wachlarz kombinacji, co pozwala na możliwie efektywne tłumienie drgań szyn we wskazanych pasmach tercjowych, a przez to niwelowanie niekorzystnego oddziaływania na otoczenie. Należy jednak wspomnieć, że zastosowanie w zasadzie wszystkich technik wibroizolacji toru



4. Widok boczny przekładki podszykowej ze spienionego EPDM, za [5]



5. Stanowisko pomiarowe do badań zmęczeniowych przekładek, za [1]

powoduje w konsekwencji zwiększone ugięcia szyn, co może w nich powodować przyspieszone powstawanie wad, w szczególności zmęczeniowych [3]. Trwałość charakterystyk materiałowych opisywanych przekładek oraz ich przydatność niezależnie od wpływu czynników środowiskowych musiała zostać potwierdzona stosownymi badaniami, które opisano poniżej.

Badania laboratoryjne przekładek

Trwałość charakterystyk materiałowych

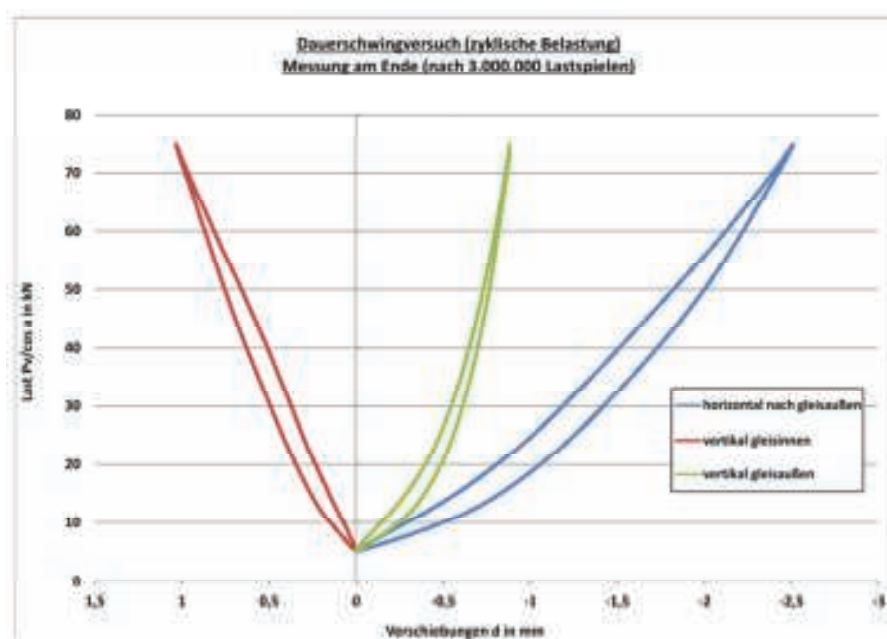
produktów jest jedną z ich najważniejszych cech. Prowadzi ona do niezmienności pracy konstrukcji toru jako całości podczas całego okresu jego wieloletniej eksploatacji. Istotne jest, aby parametry materiałów, zwłaszcza sprężystych, nie zmieniały się znacząco również pod wpływem działania niskich i wysokich temperatur czy zawilgocenia. Dlatego zlecenia klientów, chcących dokładnie sprawdzić swoje wyroby, czasami przekraczają wymogi normowe zawarte w opracowaniu [6] czy [9]. W przytoczonych przepisach

szczególnie interesujący jest sposób wyznaczania sztywności statycznej $C_{stat\ 18/68'}$ gdzie w ujęciu graficznym stanowi ona sieczną wykresu krzywej obciążania w pętli histerezy pomiędzy wartościami 18 i 68kN, z których wartość minimalna jest traktowana jako ekwiwalent obciążenia przekładki dociskiem sprężyn przytwierdzenia, zaś maksymalna pochodzi z przemnożenia siły projektowej 85kN przez współczynnik 0,8 [1].

W opracowaniu [1] zaprezentowano metodę pomiarową oraz wyniki badań przekładek podszykowych. W ramach testów określono:

- statyczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej,
- dynamiczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej,
- stopień zmęczenia materiału po 3 mln cykli,
- ponownie statyczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej po badaniu zmęczeniowym,
- ponownie dynamiczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej po badaniu zmęczeniowym.

Badania prowadzono w rzeczywistym przytwierdzeniu typu Skl (fot. 5) oraz w prasie hydraulicznej. W toku pomiarów stwierdzono, że współczynnik przeszywnienia dynamicznego dla trzech badanych częstości drgań, tj. 5, 10 i 20Hz pozostaje niezmienny i wynosi 1,1 co jest wartością korzystną (war-



6. Przykładowy wykres zależności przemieszczenie – obciążenie po 3 mln cykli, badanie na stanowisku z fot. 5. Kolorem niebieskim pokazano przemieszczenie poziome na zewnątrz toru, czerwonym – pionowe do wnętrza toru, zielonym – pionowe na zewnątrz toru, za [1]

tość dopuszczalna wynosi aż 1,5).

Ze względu na metodę pomiarową, w której przez ukośne ułożenie szyny pod siłownikiem uzyskuje się symulację sił pionowych i poziomych oddziałujących na przekładkę, możliwy jest jednocześnie pomiar przemieszczeń w kierunku pionowym na zewnątrz toru, pionowym wewnątrz toru oraz poziomym na zewnątrz toru. Innymi słowy, przez przyłożenie siły do główki szyny pod odpowiednim kątem szyna jest obracana w przytwierdzeniu. Przykładowy wykres, obrazujący zależność przemieszczenie – obciążenie po badaniu zmęczeniowym, pokazano na rys. 6.

W wyniku pomiarów stwierdzono, że badanie zmęczeniowe nie miało istotnego wpływu na charakterystykę podkładki – stwierdzono zwiększenie sztywności statycznej o zaledwie 1,7% przy dopuszczalnej wartości wynoszącej 15%. Również porównanie sztywności dynamicznych przed i po badaniu prowadzi do wniosku, że wymagania normowe zachowane są z bardzo dużym zapasem.

W opracowaniu [2] zaprezentowano metodę pomiarową oraz wyniki badań przekładek podpłytowych. W ramach testów określono:

- statyczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej, 50, 0, -10 i -20°C,
- dynamiczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej dla 5, 10 i 20Hz,
- dynamiczną sztywność pionową w temperaturze 50, 0, -10 i -20°C przy 10Hz,
- stopień zmęczenia materiału po 3 mln cykli,
- ponownie statyczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej po badaniu zmęczeniowym,
- ponownie dynamiczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej po badaniu zmęczeniowym.

Badania prowadzono w prasie hydraulicznej, stosując odpowiednie otuliny w postaci papieru ściernego. Wyniki pomiarów statycznych dowodzą, że wpływ temperatury na sztywność przekładki jest istotny – zmienia się ona w zakresie od ok. 32kN/mm przy

-20°C, do 22kN/mm przy 50°C, cały czas pozostając w granicach wartości dopuszczalnych. W wyniku pomiarów dynamicznych stwierdzono, że współczynnik przeszywnienia dynamicznego również jest powiązany z temperaturą otoczenia, przyjmując wartości od 1,72 przy -20°C, do 1,00 przy 50°C. Również i te wartości swobodnie mieszczą się w dopuszczalnych granicach.

Podsumowanie

Coraz częściej spotyka się projekty, w których wykorzystanie elementów i systemów wibroizolacji jest przemysłane, oszczędne, celowe i skuteczne. Kierunek ten należy ocenić jako słuszny z dwóch powodów: po pierwsze, rośnie świadomość społeczna dotycząca ochrony budowli i osób przed szkodliwym działaniem drgań i hałasu. Po drugie, obecnie modernizowana i budowana infrastruktura dróg szynowych bardzo często przebiega przez tereny intensywnie zurbanizowane, gdzie oczekuje się poziomów emisji o znacznie mniejszych wartościach, niż na szlakach pozamiejskich. Naprzeciw oczekiwaniom rynku wychodzą producenci, którzy potrafią w bardzo precyzyjny sposób kształtować właściwości swoich wyrobów. Niestety, mimo ciągłego postępu i doskonalenia, zarówno po stronie producentów, jak i kadr projektowych, zdarzają się przedsięwzięcia budowlane, gdzie umieszcza się wibroizolację bez zrozumienia istoty jej działania czy pogłębionej analizy nakładów i korzyści.

Przedstawione w pracy przykłady badań laboratoryjnych pokazują, że rynek rodzimy nie nadąża za postępem płynącym z innych krajów. Przede wszystkim brakuje wystarczająco jasnych zasad i wytycznych stosowania specjalnych komponentów toru i infrastruktury przytorowej, w tym środków ochrony wibracyjnej. Dla ratowania sytuacji importowane są opracowania zagraniczne, jednak nie tworzą one spójnej całości i nie wyczerpują w sposób wystarczający tego w znacznym stopniu złożonego zagadnienia. Nie wskazuje się również podstawowego celu stosowania tych środków: utrzymania negatywnego wpływu drgań

i hałasu na ludzi i budynki poniżej wartości dopuszczalnych. Szczegółowe opracowania czy wyprzedzające symulacje skuteczności wykonywane są tylko w bardzo nielicznych przypadkach, brakuje też zapisanego w dokumentacji wymogu dokonywania poprawek tak długo, aż zostaną osiągnięte założenia projektowe. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Fengler W., Sami Elmaci M.: Bericht 17.11a: Ermittlung der Dauerfestigkeit einer elastischen Zwischenlage Zw 1000 (Calenberg) an einem Stützpunkt in Anlehnung an [DBS 918 235]. TU Dresden, 05.2017
- [2] Freudenstein S., Nottbeck A.: Bericht nr 3562: Prüfung der statischen und dynamischen Steifigkeiten von Zw 104-NT nach DBS 918 235:2017, TU München, 04.2017
- [3] Geisler K., Freudenstein S., Molter T., Missler M., Stolz Ch.: Ballastless tracks. John Wiley and Sons, 2018
- [4] Heiland D., Mistler M.: Bau einer ca. 10 km langen Straßenbahnlinie in Luxemburg - Erschütterungstechnische Untersuchung, Abschnitt 2 und 3. Raport, 2011
- [5] Civicell (Zw) und Ciplacell (Zwp), Zwischenlagen und Zwischenplatten für hochelastische Schienenbefestigungssysteme. Materiał informacyjny Calenberg Ingenieure, 04.2016
- [6] Deutsche Bahn Standard DBS 918 235
- [7] DIN 45673: Mechanical vibration – Resilient elements used in railway tracks
- [8] Id-1 (D-1). Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych. PKP PLK 2005, ze zm. 2015
- [9] PN-EN 13146-9+A1:2012: Kolejnictwo – Tor – Metody badań systemów przytwierdzeń - Część 9: określenie sztywności
- [10] Rapport d'activité 2015, 2016. www.luxtram.lu, dostęp 03.2018
- [11] Rozporządzenie MTiGM w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie. Dz.U.151 z 1998, ze zm. 2014

Badanie i ocena sztywności nawierzchni kolejowej w oparciu o nową metodę pomiaru

Testing and evaluation of railway pavement construction stiffness based on a new testing method



Juliusz Sołkowski

Dr hab. inż.

Politechnika Krakowska, Wydział
Inżynierii Lądowej, Katedra
Infrastruktury Transportu
Szynowego i Lotniczego

jsolkow@pk.edu.pl



Dawid Siemiński

Mgr inż.

Politechnika Krakowska, Wydział
Inżynierii Lądowej, Katedra
Infrastruktury Transportu
Szynowego i Lotniczego

dsieminski@interia.pl

Streszczenie: Niniejsze opracowanie opiera się na poszukiwaniu metody pomiaru i oceny konstrukcji nawierzchni kolejowej. Autorzy zauważają pewne analogie między nawierzchniami drogowymi oraz kolejowymi, zarówno pod względem konstrukcji, jak i obciążenia dynamicznego. Już w latach 60. opracowano metodę pomiaru ugięć nawierzchni drogi pod obciążeniem dynamicznym za pomocą urządzenia Falling Weight Deflectometer. Przez wiele lat ulepszano metodę pomiaru, technikę oraz metodę analizy wyników. Urządzenie FWD zostało przystosowane także do użytku na nawierzchniach kolejowej. Pierwsze testy zostały wykonane w terenie i przyniosły wiarygodne wyniki. Metody oceny dla urządzenia pomiarowego dla nawierzchni są w trakcie opracowywania.

Słowa kluczowe: Nawierzchnia kolejowa; Pomiary; Diagnostyka Nawierzchni; FWD; Sztywność

Abstract: This project is based on search for the method of measuring and evaluation the railway pavement construction. The authors note some analogies between road and railway, both in terms of construction and the dynamic load. Already in the 1960s a method for measuring road pavement deflections under dynamic load was developed using Falling Weight Deflectometer. During years the device and the results analysis method were developed and currently commonly used. The FWD device was adapted for use on railway pavement construction. The first tests were done in the field and have brought reliable results. The device and measuring and pavement evaluation methods are under development.

Keywords: Railway pavement; Measurements; Pavement diagnostics; FWD; Stiffness

Nawierzchnia drogi kolejowej jako liniowy obiekt, jest budowlą trudną pod względem utrzymania jednolitej sztywności/sprężystości. Głównie w obszarach obiektów inżynierskich, gdzie efekt stref przejściowych jest szczególnie widoczny [9]. Z drugiej strony ciągle oddziaływania dynamiczne pochodzące od poruszających się pojazdów zmieniają sztywność konstrukcji nawierzchni w czasie, obniżając tym samym jej nośność. Stąd pojawia się pytanie: czym i jak badać sztywność nawierzchni.

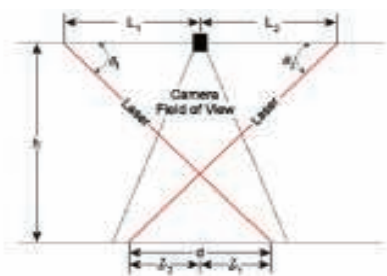
Wiedza na temat stanu toru jest niezwykle ważna we właściwej ocenie oraz planowaniu wzmocnień i remontów. Niestety wzmożony ruch kolejowy ogranicza, a w niektórych przypadkach uniemożliwia zajęcie toru na dłuższy czas. Spowodowane jest to koniecznością czasowego zamknięcia odcinka i wyłączenia z ruchu na czas badań i pomiarów. Dlatego też poszukiwanie metod pomiarowych automatycznych,

nieniszczących oraz szybkopostępujących staje się jednym z celów. Przedmiotem rozważań jest opracowanie takiej metody badań oraz interpretacji, która zbliży nas do odpowiedzi między innymi na pytania: jaka jest nośność nawierzchni, jej sztywność, a w konsekwencji – trwałość. Przy czym pomiar powinien odbywać się w warunkach zbliżonych do warunków pracy nawierzchni. Jak się okazuje podobne rozwiązanie już od lat 60-tych jest stosowane w drogownictwie. W ten sposób zrodziła się koncepcja adaptacji do nawierzchni kolejowych.

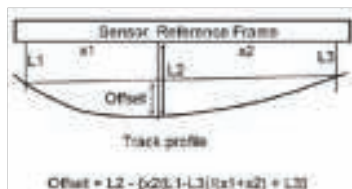
Obecne metody oceny stanu technicznego toru w Polsce

Obowiązek właściwego utrzymania infrastruktury kolejowej spoczywa na Właścicielu lub Zarządcy. Wynika to w szczególności z przepisów prawa budowlanego. Jakie badania i pomiary przeprowadzić, aby właści-

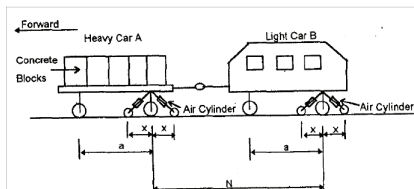
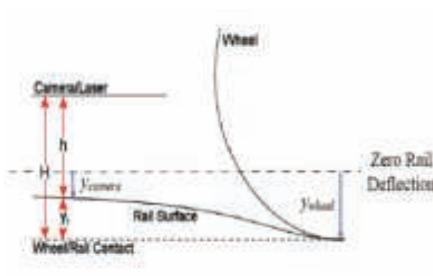
wie zdiagnozować stan obiektu jakim jest nawierzchnia? W przypadku dróg samochodowych metody badań i interpretacji wyników szczegółowo opracowała Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad w ramach dokumentu DSN [6]. Na tym opracowaniu bazują również Zarządcy pozostałych dróg. W przypadku nawierzchni kolejowej mówimy o Warunkach Technicznych oraz Instrukcjach z serii „Id” wprowadzonych do stosowania poprzez zarządzenia Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe s.a. Stan toru oceniany jest na podstawie pomiaru [8]: szerokości toru, różnic wysokości torów szynowych, wichrowatości toru, nierówności poziomych i pionowych toków szynowych, wartości syntetycznego wskaźnika stanu toru „J” oraz pomiarów dodatkowych jak: położenie toru w płaszczyźnie, wartości przesunięć toków szynowych i wartości luzów na stykach. Diagnostyce poddawane są również poszczególne elementy nawierzchni.



1. Pomiar ugięcia szyny w oparciu o kamerę oraz układ laserów [4]



2. Pomiar ugięcia szyny w oparciu o układ laserów przy zadanym obciążeniu statycznym [2]



3. Pomiar ugięcia szyny przy zastosowaniu dwóch wagonów [5]

Szyny analizowane są w szczególności pod względem wizualnym zewnętrznych wad i uszkodzeń, pomiary zużycia główki szyny, defektoskopię, pomiary falistego zużycia powierzchni tocznej, ustalenie liczby pęknięć. W przypadku podkładów mówimy głównie o wzrokowym wykrywaniu wad oraz pomiarze rozstawu i wielkości skoszenia. Podosypka analizowana jest w oparciu o ustalenie jej grubości, pomiar szerokości pryzmy, ocenę wypełnienia okienek pomiędzy podkładami, ocenę stanu zachwaszczenia, stanu zagęszczenia, występowanie wychłapek i stopnia zanieczyszczenia podsypanki. Dodatkowo oceniane są złączki, a osobnej diagnostyce poddawane są tor bezstykowy, rozjazdy, przejazdy kolejowe i przejścia dla pieszych. Nośność, trwałość nawierzchni oraz jej właściwości tłumiące nie są oceniane w ramach okresowych przeglądów, lub określa się je w sposób pośredni np. poprzez pogorszenie parametrów geometrii toru lub innych wizualnych defektów nawierzchni.

Obecne metody oceny sztywności toru

Aktualnie istnieją różne metody pomiaru tej wielkości. Prace [1, 4] opisują pomiar ugięcia szyny w oparciu o dane z kamer oraz laserów, których promień pada na szynę pod znanym kątem. Zależnie od wielkości ugięcia szyny, odległość „d” pomiędzy miejscami padania wiązek, jest zmienna i rejestrowana w sposób ciągły przez kamerę podczas jazdy.

Lasery mierzące odległość od emitera do elementu mierzonego mogą być też wykorzystywane w inny sposób. W

pracy [2] wykorzystano wagon wyposażony w dodatkową oś umieszczoną w połowie długości wagonu, która jest opuszczana i podnoszona siłownikiem hydraulicznym wywołującym obciążenie statyczne od 4 do 267kN. W oparciu o różnicę ugięć wywołaną maksymalnym oraz minimalnym naciskiem, wyznaczana jest sztywność toru. Ugięcie wyznaczane jest w układzie trzech laserów umieszczonych na ramie referencyjnej.

Ciekawą metodę opisano w [5] (Chiny). Tutaj sztywność szyny określana jest w oparciu o różnicę ugięć szyny pod lekkim i ciężkim wagonem.

Inną metodę pomiaru przedstawiono w [3]. W tym przypadku sztywność wyznaczana jest z pomiaru przyspieszeń osi wagonu, przy uwzględnieniu siły nacisku, wyposażonego dodatkowo w układ oscylujących mas.

Podobną metodę pomiaru zastosowano w ramach badania dynamicznego toru [7]. Jednak w tym przypadku zastosowano niewielką masę wzbudzącą drgania o wysokiej częstotliwości.

Nowa koncepcja

Ocena sztywności/sprężystości nawierzchni dróg samochodowych odbywa się głównie dwoma metodami: pomiar ugięć nawierzchni metodą belki Benkelmana oraz przy zastosowaniu ugięciomierza dynamicznego FWD (Falling Weight Deflectometer). Urządzenie jest powszechnie stosowane w drogownictwie do oceny nośności oraz trwałości nawierzchni drogowej.

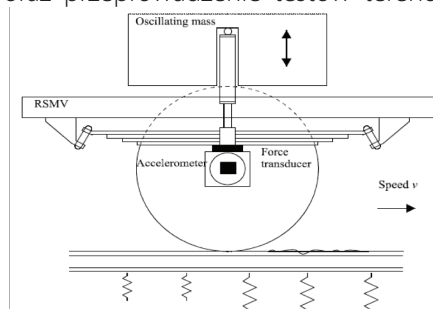
Pierwsze zastosowanie FWD do określania nośności zostało zastosowane w 1964 roku przez dwóch studen-

tów Duńskiego Uniwersytetu Technicznego. Główną ideą było wprowadzenie urządzenia generującego obciążenie dynamiczne symulujące rzeczywisty ruch pojazdów.

W 1965 roku inżynier J. B. Villadsen założył firmę A/S PHONIX, która skonstruowała pierwszy model FWD transportowany na ciężarówce. Kolejnym modelem był FWD na przyczepie.

Firma A/S PHONIX (obecnie Sweco Pavement Consultants) stała się pierwszą, która skomercjalizowała FWD. W latach 1968-1969, 65 sztuk maszyn FWD zostało wyprodukowanych i sprzedanych. W roku 1979 Dynatest A/S rozpoczęła produkcję FWD i przerwała współpracę z A/S PHONIX, ale do tego czasu FWD było „know-how” firmy A/S PHONIX i Dynatest A/S. Jednak początek był w DTU we współpracy z A/S PHONIX w 1965r. i do czasu, kiedy niektórzy z członków zespołu FWD utworzyli firmę Dynatest A/S. W 1979 roku Dynatest przedstawił pierwszy FWD, a w 1981 A/S PHONIX wprowadza FWD z jedną płytą obciążającą i 6 geofonami. Obecnie jest wielu producentów urządzeń o różnych cechach i wyposażeniu, lecz zbliżonym działaniu, umożliwiające stosowanie obciążeń do 350kN.

Zauważając potrzeby rynku kolejowego i korzystając z aktualnych doświadczeń stosowanych w drogownictwie pojawiła się koncepcja adaptacji drogowego ugięciomierza dynamicznego FWD do rozwiązań kolejowych oraz przeprowadzenie testów tereno-



4. Ocena sztywności toru i podłoża z wielkości dynamicznych pod oscylującą masą pionową [3]



5. Wzbudnik bezwładnościowy rotacyjny wraz z siłownikami pałkowymi [7]



6. Ugięciomierz dynamiczny FWD firmy SWECO – Denmark A/S

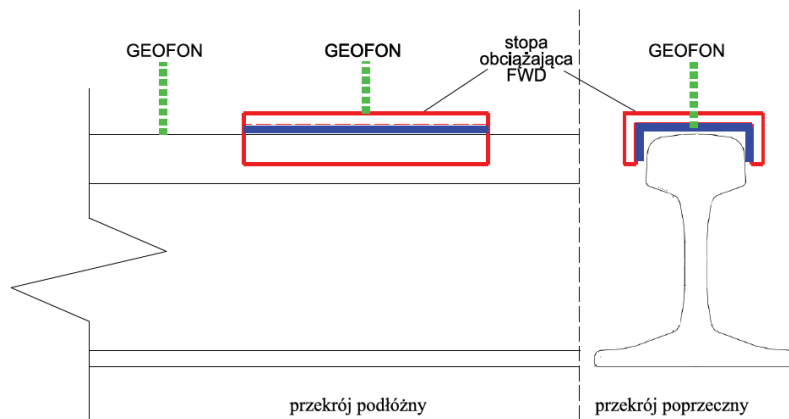
wych. Projekt ma ogromne znaczenie dla rozwoju modeli nawierzchni kolejowej (szynowej) ze szczególnym uwzględnieniem sztywności dynamicznej oraz nieliniowości odpowiedzi nawierzchni na wymuszenie. Właściwości urządzenia pozwalają na wywołanie obciążenia nawierzchni, które symulować będzie poruszający się po szynie pojazd o różnej prędkości oraz nacisku. Ponadto urządzenie ma możliwość rejestrowania wartości ugięcia dzięki geofonom, umieszczonym w różnych odległościach na długości szyny. W ten sposób uzyskujemy czasę ugięcia szyny zarówno w miejscu przyłożenia obciążenia jak i w pewnej odległości. Ponadto dzięki funkcji „Time history” urządzenie rejestruje przyrost wartości siły oraz ugięcia w czasie. W ten sposób można dokładniej analizować uzyskane wyniki. Pierwsze pomiary testowe były poprzedzone adaptacją ugięciomierza do rozwiązań kolejowych. W tym celu konieczne były zmiany konstrukcyjne urządzenia. Najważniejszą stanowiło przeprojektowanie stopy urządzenia, aby obciążenie było przykładane bezpośrednio na szynę kolejową. Schematyczne rozwiązanie przedstawia rysunek 7.

Pomiary testowe

Dzięki ścisłej współpracy z duńskim producentem tego typu urządzeń udało się opracować prototyp urządzenia do rozwiązań kolejowych. Pierwsze testy wykonane w Danii przyniosły obiecujące rezultaty. Dzięki zdobytym doświadczeniom wprowadzono pewne poprawki w konstrukcji urządzenia. Kolejnym etapem było wykonanie pomiarów testowych w Polsce.

Uzyskane wyniki

Pomiary wykonano na torach kolejowych jednej ze stacji w Krakowie. Wybrane zostały dwie lokalizacje dla na-



7. Schemat stopy obciążającej

wierzchni o podkładach drewnianych oraz strunobetonowych.

Na wykresach 10 i 11 przedstawiono wartości ugięcia w zależności od przyłożonej siły. Jak widać wzrost ugięcia jest wprost proporcjonalny do wzrostu siły. W przypadku nawierzchni o podkładach drewnianych, przy sile około 85 kN zarejestrowano ugięcie ponad 2.2 mm, podczas gdy dla podkładów strunobetonowych dla tej samej siły, wartość ugięcia jest niemal o połowę niższa. Jest to zrozumiałe, ze względu na wyższą sztywność strunobetonu niż drewna. Ponadto widoczny jest liniowa zależność pomiędzy wartością siły a ugięciem, co pozwala wyznaczyć sztywność nawierzchni.

Kolejne wykresy numer 12 i 13, dzięki funkcji urządzenia „Time history”, przedstawiają wartości siły i ugięcia w czasie dla dwóch maksymalnych wartości siły 37.79kN oraz 80.75kN.

Urządzenie FWD posiada w standardzie minimum 9 czujników przemieszczeń. W naszym przypadku zastosowano 14 geofonów. W ten sposób uzyskujemy informację jak szyna ugina się na pewnym odcinku, a nie tylko bezpośrednio pod obciążeniem, uzyskując przy tym tak zwaną czasę ugięcia. Takie dane uzyskane w pomiarach wykonywanych na nawierzchni dróg samochodowych są wykorzystywane do oceny nośności podłoża jak i nawierzchni jako całości. W tym celu wykorzystywana jest tak zwana metoda „back calculation” (metoda analizy wstecznej). Polega ona na zasymulowaniu w programie komputerowym ugięcia pod obciążeniem i metodą iteracyjną program tak dobiera moduły sztywności/sprężystości warstw konstrukcji nawierzchni do momentu uzyskania wartości ugięć równych bądź zbliżonych do tych uzyskanych podczas pomiaru.

Podsumowanie

Dotychczas przeprowadzone pomiary testowe potwierdzają, że FWD może być stosowany również do pomiarów na nawierzchni szynowej. Uzyskane wyniki są realistyczne, zarówno praca czujników jak i rejestracja wartości przebiegają bez większych zakłóceń. Pewne analizy uzyskanych wyników zostały już wykonane, jednak wymagają dalszych testów terenowych, w szczególności na różnych typach nawierzchni. Konieczne jest uzyskanie powtarzalności wyników oraz uzyskanie numerycznego/matematycznego modelu nawierzchni odwzorowującego uzyskiwane wyniki pomiarów terenowych.



8. Urządzenie pomiarowe FWD podczas pomiarów



9. Rozmieszczenie czujników (geofonów) do pomiaru ugięć

Dalsze prace nad urządzeniem i metodą pomiaru/interpretacji są prowadzone, jednak już dzisiaj można powiedzieć, że uzyskiwane wyniki są obiecujące. ◀

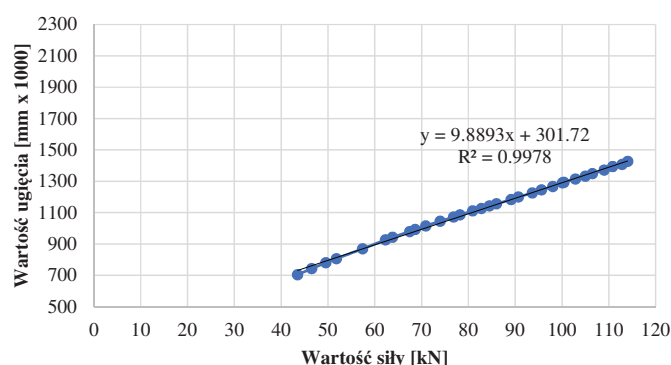
Materiały źródłowe

- [1] FRA report RR04-03, A Preliminary Design of a System to Measure Vertical Track Modulus from a Moving Railcar, January 2004, <http://www.fra.dot.gov/downloads/-Research/-rr0403.pdf>
- [2] Li D., R. Thompson, S. Kalay, Development of Continuous Lateral and Vertical Track Stiffness Measurement Techniques, Proceedings Railway Engineering, London 2002.
- [3] Sussmann T.R. „Track Geometry and

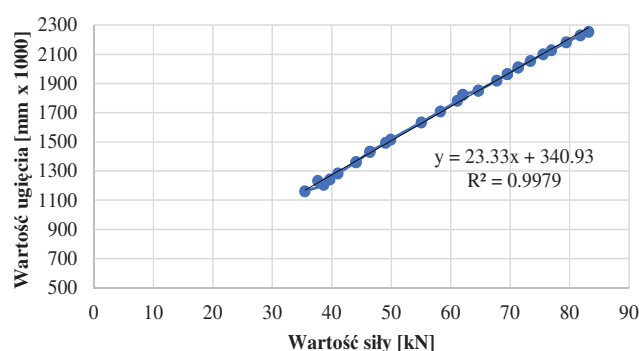
- Deflection from Unsprung Mass Acceleration Data” Proceedings from Railway Engineering Conference, London 2007
- [4] US Department of Transportation (Shane Farritor) „Real-time measurement of truck modulus from a moving car” DOT/FRA/ORD-05/2005
- [5] Wangqing, Z. Geming, Z. Kaiming, L. Lin, Development of Inspection Car from Measuring Railway Track Elasticity, Proceedings from 6th International Heavy Haul Conference, Cape Town 1997
- [6] Diagnostyka stanu nawierzchni i jej elementów, Załącznik do Zarządzenia nr 34 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 30.04.2015 roku
- [7] M. Krużyński, E. Kwiatkowska, J.

Zwolski, Badania dynamiczne toru kolejowego, Przegląd komunikacyjny 11/2012.

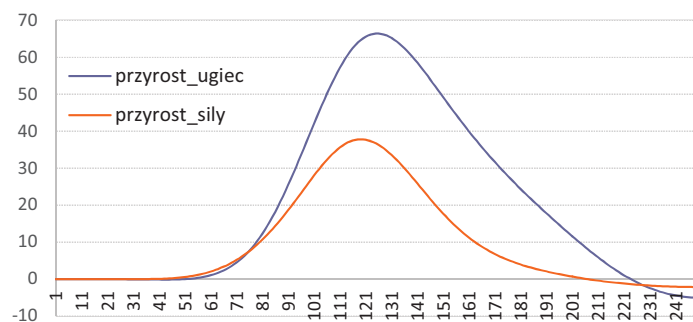
- [8] Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D-1), załącznik do zarządzenia nr 14/2008 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe s.a. z dnia 18 maja 2005r.
- [9] J. Sołkowski, D. Kudła, Wykonawstwo stref przejściowych do obiektów mostowych i Aspekty modelowania numerycznego oddziaływania pojazdnawierzchnia- Podtorze, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne; Drogi Kolejowe 2013 (23-25.10.2013) ; Krynica Zdrój, Polska



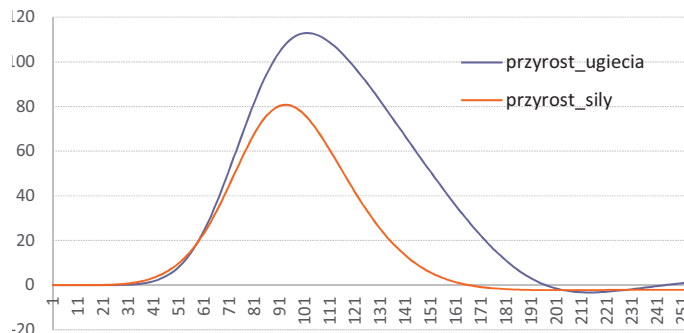
10. Wykres ugięć szyny w zależności od wartości przyłożonej siły – nawierzchnia z podkładem drewnianym. Sztywność nawierzchni wynosi 97.63 kN/mm



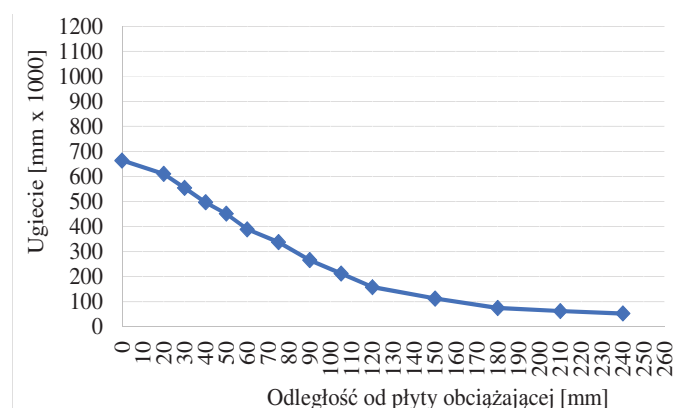
11. Wykres ugięć szyny w zależności od wartości przyłożonej siły – nawierzchnia z podkładem strunobetonowym. Sztywność nawierzchni wynosi 43.7 kN/mm



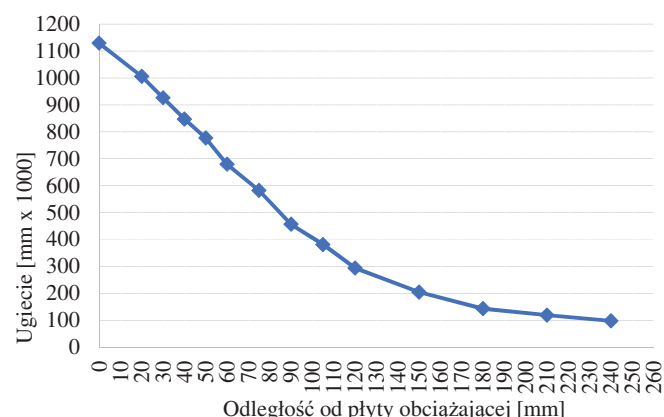
12. Wykres przyrostu obciążenia i ugięcia w czasie dla siły 37.79kN



13. Wykres przyrostu obciążenia i ugięcia w czasie dla siły 80.75kN



14. Czasza ugięcia (wartości ugięć) zmierzone na 14 czujnikach (geofo-nach) dla siły 37.79kN



15. Czasza ugięcia (wartości ugięć) zmierzone na 14 czujnikach (geofo-nach) dla siły 80.75kN

Działania niezbędne dla uruchomienia atrakcyjnego systemu kolei aglomeracyjnej na przykładzie Wrocławia

Activities indispensable for starting of an attractive suburban rail system on the example of Wrocław



Jacek Makuch

dr inż.

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

jacek.makuch@pwr.edu.pl

Streszczenie: W artykule przeprowadzono krótki przegląd dotychczasowych działań mających na celu zwiększenie poziomu wykorzystania kolei w obsłudze ruchu miejskiego we Wrocławiu. Odwołano się do przykładu berlińskiej kolei S-Bahn. Przedstawiono autorską propozycję systemu kolei aglomeracyjnej dla Wrocławia. Przeanalizowano zakres niezbędnych działań inwestycyjnych oraz pozainwestycyjnych. Zwrócono uwagę na problemy braku koordynacji działań, dylematy wyboru alternatywnych rozwiązań oraz możliwe zagrożenia. W podsumowaniu zaproponowano nowy sposób podejścia do planowania i realizacji analizowanych zagadnień.

Słowa kluczowe: Kolej aglomeracyjna; Infrastruktura transportu szynowego

Abstract: The article reviews the up to date activities dedicated to enlarge the level of rail utilization in service of the city traffic in Wrocław. An example of Berliner S-Bahn was called. Author's proposal of a suburban rail system for Wrocław was presented. The range of indispensable investment and non-investment activities was analyzed. The problem of lack of coordination of activities, dilemmas related to the choice of alternative solutions and possible threats were pointed out. In the article's recapitulation a new way of planning and execution in regard of the analyzed problems was proposed.

Keywords: Suburban rail; Rail transport infrastructure

Jesienią 2017 roku Politechnika Wrocławska wykonała na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego Województwa Dolnośląskiego opracowanie dotyczące możliwości i warunków funkcjonowania Wrocławskiej Kolei Aglomeracyjnej [1], której uruchomienie samorząd województwa, w porozumieniu z miastami i gminami aglomeracji wrocławskiej planuje od pewnego czasu.

Autor niniejszego artykułu zastał zaproszony do udziału w zespole wykonującym to opracowanie. Jego zadaniem było zaproponowanie i analiza wariantu pośredniego pomiędzy rozwiązaniem „minimalnym” (bez rozbudowy infrastruktury), a „maksymalnym”. Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie wniosków z przeprowadzonych rozważań i analiz.

Wykorzystanie kolei do obsługi ruchu miejskiego we Wrocławiu

Z przeprowadzonych na przełomie lat 2010 i 2011 kompleksowych badań ruchu we Wrocławiu [2] wynika, że komunikacją zbiorową realizowanych

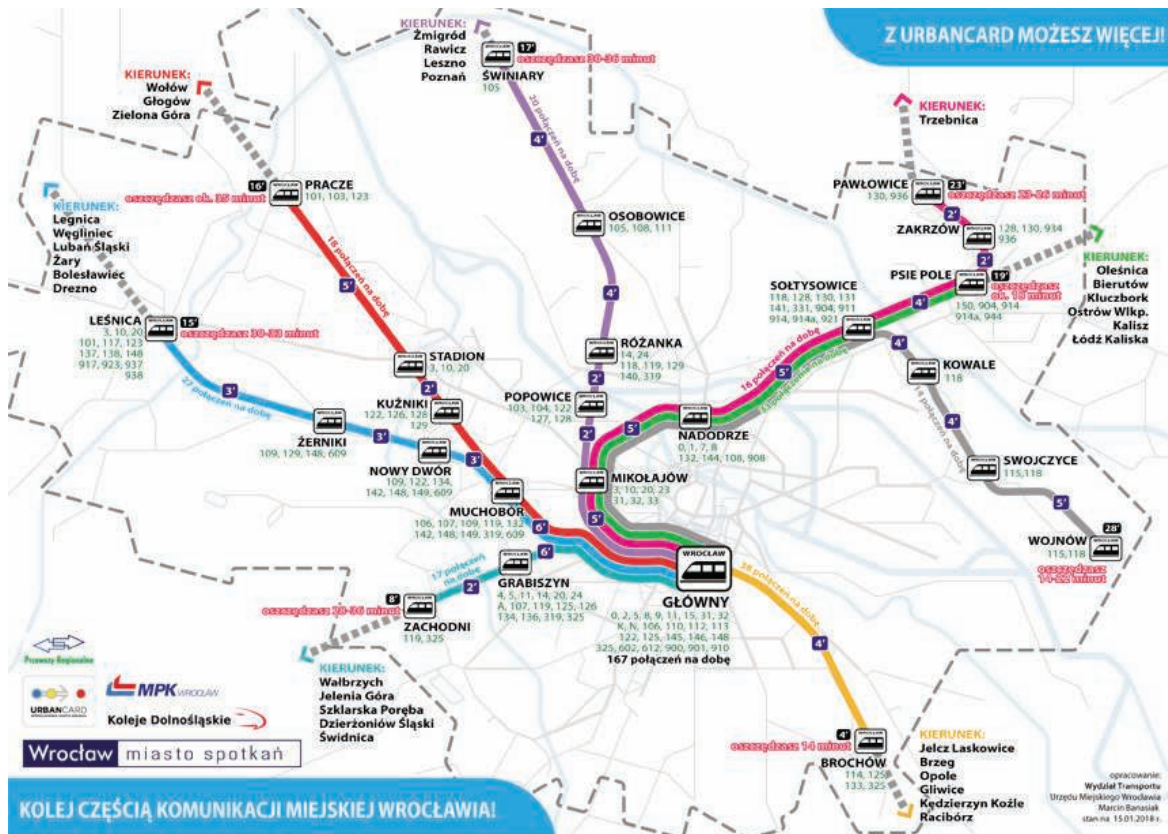
było 35,26 % podróży wykonywanych w mieście - w tym koleją niestety tylko 0,10 %!

Tak marginalny udział kolei w obsłudze ruchu miejskiego może dziwić, biorąc pod uwagę fakt, iż w porównaniu z innymi polskimi miastami Wrocław posiada bardzo dobrze rozwiniętą infrastrukturę kolejową. Linie kolejowe ze stacjami: Główny, Mikołajów, Nadodrze (kiedyś również Świebodzki) okrążają rejon centrum miasta od południa, zachodu i północy i rozchodzą się promieniście aż w 11 kierunkach. Na przedmieściach są uzupełnione elementami tras obwodowych obsługujących ruch towarowy. Tak dobrze rozwinięty układ wynika z uwarunkowań historycznych - Wrocław do roku 1945 leżał w granicach Niemiec, które od początków rozwoju kolejnictwa znajdowały się w światowej czołówce państw pod tym względem.

Brak atrakcyjnej alternatywy dla podróży wykonywanych samochodami generuje bardzo niepokojące zjawisko, jakim jest wzrost wskaźnika motoryzacji, co skutkuje znacznym pogorszeniem

jakości życia w mieście (zakorkowanie ulic i zanieczyszczenie powietrza). We Wrocławiu, w okresie od 2007 do 2012 roku, czyli na przestrzeni tylko pięciu lat nastąpił wzrost tego wskaźnika aż o 22 % (z 441 do 540 samochodów zarejestrowanych na 1000 mieszkańców) [2].

Lokalne władze, dostrzegając ten problem, od pewnego czasu próbują włączyć kolej do systemu obsługi transportem publicznym ruchu miejskiego i aglomeracyjnego. Od kilku lat w granicach Wrocławia można podróżować koleją w oparciu o miejski system taryfowy (Urbancard), o czym informują schematy umieszczane na przystankach i w internecie (rys. 1). Zwiększa się również co roku dzienna liczba połączeń oferowanych na poszczególnych trasach. Działania takie na razie są możliwe do osiągnięcia poprzez inwestowanie jedynie w nowy tabor, z pominięciem infrastruktury. Taka możliwość wkrótce się jednak wyczerpie - kiedy wykorzystane zostaną rezerwy przepustowości „drzemiące” jeszcze w infrastrukturze, a będące wynikiem regresu, jaki dokonał się w pasażerskim



1. Możliwość przejazdu koleją na bilety miejskie we Wrocławiu [3]

ruchu kolejowym po okresie transformacji ustrojowej (zmniejszenie liczby pociągów, zawieszenia i likwidacje linii).

W celu zachęcenia mieszkańców miasta do większego wykorzystania kolei w codziennych podróżach, od pewnego czasu w lokalnych mediach zwraca się uwagę na bardzo atrakcyjne czasy przejazdu koleją - w stosunku do analogicznych podróży odbywanych tramwajami albo autobusami [4]. Niestety mamy tu do czynienia z pewnego rodzaju niedopowiedzeniem (małym oszustwem), gdyż prezentowane czasy nie uwzględniają średniego czasu oczekiwania na rozpoczęcie podróży, który wynika wprost z częstotliwości kursowania pojazdów, a ta w przypadku tramwajów i autobusów jest kilkukrotnie korzystniejsza, niż w przypadku pociągów. Przykładowo: ze stacji Wrocław Mikołajów do stacji Wrocław Główny (pomiędzy którymi podróż pociągiem trwa 6 minut, a tramwajem - 22 minuty) odjeżdżają 83 pociągi na dobę, natomiast linie tramwajowe z przystanku „Zachodnia” na ul. Legnickiej w kierunku centrum w dzień roboczy realizują łącznie 528 kursów - czyli ponad 6 razy więcej, podobnie z Zakrzowa - w kierunku centrum odjeżdża 16 pociągów na dobę, natomiast linie autobusowe 128 i 130 realizują łącznie 95 kursów - czyli również około 6 razy więcej.

W ostatnich latach reaktywowane zostały kolejowe przewozy pasażerskie na dwóch trasach: w 2009 - z Psiego Pola do Trzebnicy, a w 2017 - z Sołtysowic do Wojnowa. W najbliższym czasie planowane są kolejne reaktywacje: z Wojnowa do Jelcza Miłoszyc oraz z Wrocławia Głównego do Świdnicy przez Sobótkę. W ostatnich latach wybudowano również trzy nowe przystanki kolejowe: w 2011 Wrocław Stadion, w 2014 - Wrocław Grabiszyn, a w 2015 - Wrocław Różanka.

W celu ułatwienia pasażerom zapoznawania się z ofertą pasażerskich połączeń kolejowych, przewoźnik samorządowy (Koleje Dolnośląskie) stosuje w swoich rozkładach i schematach literowo-cyfrowy format opisu linii (D1, D3, ...) [5]. Wraz z korektą rozkładów jazdy w grudniu 2017 roku Koleje Dolnośląskie uruchomiły linię: D7 (pierwszą o charakterze miejskim) - przebiegającą tranzytowo przez stację Wrocław Gł. Podobne rozwiązanie, choć z nieco gorszymi częstotliwościami, zastosowały Przewozy Regionalne PKP już w 2003 roku dla dwóch tras: z Oleśnicy do Strzelina (AGLO 1) i ze Żmigrodu do Jelcza-Laskowic (AGLO 2), niestety rozwiązanie to funkcjonowało tylko przez kilka lat.

Problem braku należytego wykorzystania kolei do obsługi transportem

publicznym aglomeracji wrocławskiej zauważany jest już od dłuższego czasu. Na przestrzeni ostatnich 40 lat powstało wiele koncepcji uruchomienia we Wrocławiu kolei miejskiej lub aglomeracyjnej. Koncepcje te (w liczbie 29 !) autor przedstawił w osobnym referacie wygłoszonym na konferencji INFRA-SZYN [6].

Berliński S-Bahn

Na świecie systemy kolei miejskich lub aglomeracyjnych funkcjonują w różnorodnych układach: średnicowych, promienistych, obwodowych, albo jako ich kombinacje. Nie da się jednoznacznie stwierdzić, który z wymienionych modeli jest najkorzystniejszy, gdyż przy zróżnicowanych uwarunkowaniach lokalnych niekiedy odmienne układy pozwalają osiągnąć najkorzystniejsze efekty.

W niniejszym rozdziale zdecydowano się na krótki opis systemu funkcjonującego w Berlinie, gdyż stał się on dla autora artykułu swego rodzaju poziomem odniesienia dla własnej, autorskiej propozycji - przedstawionej w następnym rozdziale.

W przypadku Berlina i jego przedmieść rolę transportu szynowego o charakterze miejsko-aglomeracyjnym pełni kolei S-Bahn (rys.2). W centrum



2. Trasy kolei S-Bahn w centrum Berlina w 2016 [7]

miasta przecinają się jej dwie trasy średnicowe:

- na kierunku wschód-zachód tzw. „Stadtbahn” zbudowany na estakadzie,
- na kierunku północ-południe tzw. „Nord-Süd S-Bahn” zbudowany częściowo w tunelu.

Punkt przecięcia tych tras to „Friedrichstrasse” - stacja przesiadkowa, nie tylko pomiędzy pociągami kolei S-Bahn, ale również dalekobieżnej i regionalnej, metra, tramwajów i autobusów, położona w ścisłym centrum miasta. Na przedmieściach obie średnice rozgałęziają się w kilku osobnych kierunkach.

Berliński S-Bahn posiada jeszcze trasę obwodową wokół centrum - tzw. „Ringbahn” albo „Hundekopf” (psi łeb - od kształtu przebiegu).

Według rozkładów jazdy z grudnia 2017, w godzinach szczytu dni roboczych na centralnym odcinku średnicy wschód-zachód pociągi S-Bahn kursowały z częstotliwościami: S3 - co 20 min, S5 - co 10 min, S7 - co 10 min, S9 - co 20 min - czyli łącznie średnio co 3 i 1/3 minuty. Analogicznie dla średnicy północ-południe: S1 - co 10 min, S2 - co 10 min, S25 - co 20 min, S26 - co 20 min - czyli łącznie również średnio co 3 i 1/3 minuty. Na długości zaś linii obwodowej - tam gdzie kursują jedynie okólne S41 i S42 - co 5 minut, tam zaś gdzie są wspomagane innymi liniami - jeszcze częściej: na Ostkreuz - razem z S8 - co 20 min oraz z S85 - również co 20 min -

czyli łącznie również średnio co 3 i 1/3 minuty, podobnie na Sudkreuz - razem z S45 - co 20 min oraz z S46 - również co 20 min - czyli łącznie również średnio co 3 i 1/3 minuty.

Przejazdy koleją S-Bahn w Berlinie stanowią aż 28 % podróży odbywanych środkami transportu publicznego, co stanowi 7,5 % ogólnego udziału wszystkich rodzajów podróży [8]. Jeśli dodamy do tego berliński U-Bahn (metro), to udziały te będą wynosić odpowiednio: 62 % oraz 16,7 %.

Pociągi S-Bahn w Berlinie i na jego przedmieściach, ze względu na odmienny sposób zasilania pojazdów w energię elektryczną (trzecia szyna, zamiast górnej sieci jezdnej), kursują wyłącznie po sobie tylko przeznaczonych torach (nie współdzielą ich z torami dla pociągów regionalnych i dalekobieżnych), choć znaczna część ich tras przebiega równolegle do linii kolei klasycznej, wykorzystując wspólne torowiska.

Autorska propozycja systemu kolei aglomeracyjnej dla Wrocławia

Proponowane rozwiązanie w pewnym stopniu wzorowane jest na modelu kolei S-Bahn funkcjonującej w Berlinie. Wrocław, który w 2016 roku zamieszkiwało 637 tysięcy mieszkańców jest miastem ponad pięciokrotnie mniejszym od Berlina liczącego 3,4 miliona mieszkańców (choć porównując powierzchnie miast dysproporcja jest już

niewielka - trzykrotna), dlatego wzorowanie się na jego przykładzie odnosi się nie tyle do skali rozwiązania, co samego modelu.

W proponowanym rozwiązaniu dla Wrocławia (rys.3) zakłada się wykreowanie dwóch tras średnicowych kolei aglomeracyjnej (roboczo będą one nazywane „czerwoną” i „niebieską”) przecinających się niemalże prostopadle, z możliwością przesiadki w tym przecięciu. W przeciwieństwie do Berlina, średnica na kierunku wschód-zachód (niebieska), ze względu na wrocławskie uwarunkowania, kończy się „ślepo” przed obszarem ścisłego centrum (w miejscu stacji Wrocław Świebodzki) - tak na prawdę możemy ją nazwać „pół-średnicą”, choć nie jest przesądzone, że stan taki należy traktować jako docelowy. Teoretycznie istnieje możliwość poprowadzenia trasy w tunelu pod obszarem centrum i włączenia np. w linię 292 na Swojczycach (linia „kropkowana” na rys.3) [10].

Również w przeciwieństwie do Berlina, w nieatrakcyjnym miejscu wypada lokalizacja węzła przesiadkowego nazwanego roboczo „Górska”, położonego na przecięciu obu proponowanych tras średnicowych (duże brązowe koło na rys.3). Obecnie są to obrzeża zakładów przemysłowych albo ogródków działkowych - choć nie jest powiedziane, że w niedalekiej przyszłości miasto nie „przybliży się” w te rejon. Także w przeciwieństwie do Berlina



3. Propozycja tras kolei aglomeracyjnej na terenie Wrocławia (w tle wykorzystano [9])

proponowany węzeł „Górska” pozwoli na uboższy „wachlarz” możliwych przesiadek - bez pociągów dalekobieżnych i regionalnych.

W proponowanym rozwiązaniu przewidziano określony zakres oddziaływania systemu, czyli zakończenia tras linii kolei aglomeracyjnej w regionie (poza granicami Wrocławia). W niniejszym artykule zagadnienia te zostały jednak pominięte, gdyż z punktu widzenia formułowanych wniosków - okazują się być nieistotne.

W proponowanym rozwiązaniu założono, że na każdej z dwóch średnic (czerwonej i niebieskiej) kursowałyby po 4 linie kolei aglomeracyjnej, co przy takcie wynoszącym 30 minut dawałoby na centralnych odcinkach obu średnic pociągi z częstotliwością co 7,5 minuty. Przy odpowiedniej synchronizacji rozkładów jazdy na obu średnicach, możliwe byłoby zminimalizowanie czasu przesiadki w węźle „Górska” pomiędzy dwoma prostopadłymi kierunkami do 3 i 3/4 minuty.

Zastosowane oznaczenia linii kolei aglomeracyjnej: A1, A2, itd. odwołują się do pierwszej litery słowa „aglo”, cyfry zaś przypisano według zasady: niepa-

rzyste - dla linii średnicy czerwonej, a parzyste - dla niebieskiej. Dla średnicy czerwonej przeciwległe kierunki skojarzono ze względu na:

- rodzaj trakcji i „jednotorowość” - kierunek „trzebnicki” z „kobierzycim” (A5),
- zbliżone parametry linii (A1 i A3),
- możliwość wykreowania linii okrężnej (A7).

Niezbędne działania inwestycyjne

Realizacja przedstawionego w poprzednim rozdziale proponowanego rozwiązania wymaga następujących niezbędnych działań inwestycyjnych:

1. przywrócenia funkcji obsługi połączeń kolejowych na stacji Wrocław Świebodzki,
2. częściowego odtworzenia układu torowego linii 274 („wałbrzyskiej”) pomiędzy posterunkiem odgałęźnym WSB a stacją Wrocław Świebodzki,
3. budowy nowego węzła przesiadkowego „Górska”, z podłączeniem go do infrastruktury transportowej: nowa ulica (np. połączenie ul. Górskiej i Tęczowej z wiaduktem nad

- linią kolejową 274), linie autobusowej, ciągi piesze, nowa trasa tramwajowa (np. z pl. Orłąt Lwowskich),
4. rewitalizacji linii kolejowej 285 do Świdnicy przez Sobótkę (z opcją odbudowy linii 310 do Niemczy),
5. rewitalizacji linii kolejowej 292 na odcinku: Wrocław Sołtysowice - Jelcz Miłoszyce,
6. rewitalizacji linii kolejowej 292 na odcinku: Wrocław Sołtysowice - Wrocław Osobowice (z ponowną jej elektryfikacją),
7. odbudowy łącznicy kolejowej 762 Jeżyny - Teresin wraz z posterunkami,
8. budowy nowej linii kolejowej od stacji Wrocław Żerniki do terminalu Portu Lotniczego.

Wykonanie powyższych działań nie zapewni jednak możliwości wprowadzenia na obu średnicach 30 minutowego taktu pociągów kolei aglomeracyjnej, gdyż wiązałoby się to ze znacznym ograniczeniem pozostałego ruchu kolejowego (pociągi dalekobieżne, regionalne, towarowe) - co należy uznać za rozwiązanie obecnie nie do przyjęcia. W celu uzyskania postulowanego taktu 30 minutowego konieczne są kolejne

następujące działania inwestycyjne:

11. przebudowa głównej torowej stacji Wrocław Gł. z obu stron, w celu umożliwienia pociągów kolei aglomeracyjnej zatrzymywania się przy obecnych peronach 5 i 6 (albo nowo budowanym wyspowym dwukrawędziowym peronie 5),
12. bezkolizyjne przeprowadzenie dwóch torów przeznaczonych wyłącznie dla pociągów aglomeracyjnych ponad albo poniżej torów łączących perony od 1 do 4 stacji Wrocław Gł. z torami wagonowni i lokomotywowni (w celu uniknięcia kolizji ruchu pociągów aglomeracyjnych z ruchem podstawianych albo odstawianych pociągów dalekobieżnych i regionalnych),
13. przeznaczenie torów 203 i 204 na odcinku pomiędzy stacją Wrocław Gł. a planowanym nowym przystankiem Wrocław Armii Krajowej (zlokalizowanym pod wiaduktem w ciągu tejże ulicy) wyłącznie dla ruchu pociągów aglomeracyjnych, natomiast torów 201 i 202 - dla ruchu pociągów dalekobieżnych i regionalnych, zarówno dla linii 132 („opolskiej”) jak i 276 („strzelińskiej”),
14. bezkolizyjny rozplot torów dla pociągów aglomeracyjnych w stosunku do torów dla pociągów dalekobieżnych i regionalnych pomiędzy planowanym nowym przystankiem Wrocław Armii Krajowej, a rozejściem się linii 132, 276 i 285 (rejon wiaduktów w ciągu ulic Gazowa - Karwińska),
15. dobudowanie czwartego toru na długości odcinka pomiędzy stacją Wrocław Gł. a posterunkiem odgałęźnym Wrocław Grabiszyn i przeznaczenie jednej pary torów wyłącznie dla ruchu pociągów aglomeracyjnych, a drugiej - dla ruchu pociągów dalekobieżnych i regionalnych,
16. bezkolizyjne przeprowadzenie dwóch torów przeznaczonych wyłącznie dla ruchu pociągów aglomeracyjnych ponad posterunkiem odgałęźnym Wrocław Grabiszyn (w celu uniknięcia kolizji ruchu pociągów aglomeracyjnych z ruchem pociągów dalekobieżnych i regionalnych),
17. dobudowanie dwóch nowych torów przeznaczonych wyłącznie dla ruchu pociągów aglomeracyjnych na odcinku od posterunku odgałęźnego Wrocław Grabiszyn do stacji Wrocław Mikołajów,
18. bezkolizyjny rozplot torów dla pociągów „z Nadodrza” (linia 143) w stosunku do pociągów „do Poznania” (linia 271) pomiędzy stacją Wrocław Mikołajów, a rozejściem się linii 271 i 143 (rejon wiaduktów nad ulicami Ścinawska, Starograniczna - Gnieźnieńska),
19. dobudowanie dodatkowych torów w celu ominięcia przez pociągi towarowe stacji Wrocław Mikołajów,
20. dobudowanie drugiego toru dla pociągów aglomeracyjnych w ciągu łącznicy 757 (pomiędzy proponowanym węzłem przesiadkowym „Górska”, a stacją Wrocław Muchobór)
21. bezkolizyjne przeprowadzenie linii 292 w stosunku do linii 143 na stacji Wrocław Sołtysowice.

Zadania oznaczone numerami od 11 do 17 mają na celu uzyskanie na średnicy czerwonej - na odcinku od stacji Wrocław Mikołajów przez Wrocław Gł., do planowanego nowego przystanku Wrocław Armii Krajowej - osobnej pary torów (w dwóch przeciwnych kierunkach) przeznaczonych wyłącznie dla ruchu pociągów aglomeracyjnych, równoległe do analogicznej pary torów przeznaczonych dla ruchu pociągów dalekobieżnych i regionalnych. Działania takie są niezbędne dla wykreowania atrakcyjnego systemu kolei aglomeracyjnej, co potwierdzają liczne przykłady zagraniczne, a nawet krajowe: warszawska linia średnicowa, trójmiejska SKM, realizowana obecnie „dobudowa” torów na odcinku Kraków Gł. - Kraków Zabłocie.

Nieco łatwiej jest w przypadku proponowanej półśrednicy niebieskiej, gdyż na odcinku reaktywowanego ruchu pociągów do stacji Wrocław Świebodzki nie przewiduje się ruchu pociągów dalekobieżnych i regionalnych. Problemem jest jedynie jednotorowa łącznica pomiędzy stacją Wrocław Muchobór, a posterunkiem odgałęźnym WSB - stąd konieczność wykonania zadania o numerze 20, w przypadku którego dla kierunku „do Muchoboru” proponuje się częściowe wykorzystanie śladu „rozebranej” łącznicy 760.

Oprócz planowanego węzła przesiadkowego „Górska” dwoma kolejnymi najważniejszymi elementami opisywanego rozwiązania sieci kolei aglomeracyjnej będą stacje Wrocław Gł. i Świebodzki. Pierwsza z nich, tak na prawdę stanie się dla pociągów aglomeracyjnych przelotowym przystankiem - dlatego nie będzie wyma-

gać rozbudowanej infrastruktury, wystarczą dwa tory z dwoma peronami jednokrawędziowymi, albo z jednym wyspowym - dwukrawędziowym. Druga z nich będzie jednak pełniła funkcję czołowej stacji początkowej / końcowej dla pociągów aglomeracyjnych - co wymaga znacznie większej liczby torów i peronów. Na szczęście stacja Wrocław Świebodzki - kilkakrotnie rozbudowywana w swojej historii, posiada niezbędny potencjał. Zakłada się, aby na potrzeby postulowanego taktu 30 minutowego reaktywować 4 krawędzie peronowe (jednokrawędziowy peron 1, dwukrawędziowy wyspowy peron 2 i jednokrawędziowy peron 4).

Kolejnymi zadaniami inwestycyjnymi koniecznymi dla uzyskania taktu 30 minutowego w ruchu pociągów aglomeracyjnych jest wykonanie w odpowiednich lokalizacjach mijanek na liniach, które planuje się pozostawić jako jednotorowe - zarówno już będących w eksploatacji: 326 (do Trzebnicy) jak i planowanych do reaktywacji: 292 (Jelcz Miłoszyce - Wrocław Osobowice), 285 (do Świdnicy) oraz 310 (do Niemczy). Na koniec należy wymienić działania inwestycyjne, które nie są warunkami koniecznymi ani ze względu na potrzebę uzyskania taktu 30 minutowego, ani też ze względu na potrzebę uruchomienia ośmiu proponowanych linii przedstawionych na rys.3, są natomiast niezbędne do tego, aby proponowane rozwiązanie było atrakcyjne dla pasażerów, a są to następujące działania:

- budowa nowych przystanków kolejowych (proponując ich lokalizacji pokazano małymi zielonymi kółkami na rys.3),
- poprawa integracji istniejących przystanków kolejowych z komunikacją tramwajową i autobusową, na przykład na stacjach: Wrocław Mikołajów (nowe dojście dla pasażerów); Wrocław Nadodrza i Wrocław Różanka (przeprowadzenie linii tramwajowych i autobusowych pod linią kolejową - podobnie jak to zrobiono w Dreźnie pod stacją Dresden Mitte, a zamierza się wykonać pod przystankiem Dresden-Strehlen).

Niezbędne działania pozainwestycyjne

Dla uzyskania postulowanego taktu 30 minutowego w ruchu pociągów aglomeracyjnych, oprócz wymienionych w poprzednim rozdziale inwestycji infra-

strukturalnych, konieczna jest również zmiana „filozofii” układania rozkładów jazdy na kolei w skali całego kraju, gdyż praktycznie niewykonalne (ale i też niewskazane) jest aby pociągi aglomeracyjne w Polsce korzystały wyłącznie z własnych torów - niezależnie od ruchu pociągów dalekobieżnych i regionalnych (tak jak w Berlinie). Dlatego konstruując rozkład jazdy należałoby w pierwszej kolejności rozplanować ruch pociągów aglomeracyjnych we wszystkich węzłach kolejowych posiadających taki rodzaj ruchu, a dopiero w drugiej kolejności, pomiędzy te pociągi „wpasowywać” ruch pociągów regionalnych oraz dalekobieżnych - czyli dokładnie na odwrót, jak to się robi obecnie.

Przy takim sposobie układania rozkładów jazdy korzystna okazuje się być zasada stosowania cyklicznych godzin odjazdów również dla pociągów dalekobieżnych [11, 12], oczywiście pod warunkiem, że takt zastosowany w przypadku pociągów dalekobieżnych będzie wielokrotnością taktu zastosowanego dla pociągów aglomeracyjnych i regionalnych.

Problemy braku koordynacji działań

W 2015 roku na linii 274 uruchomiono planowany od wielu lat nowy przystanek kolejowy Wrocław Grabiszyn. Osiem lat wcześniej, w 2007 roku w tym samym miejscu wybudowano estakadę przeprowadzającą bezkolizyjnie ul. Klecińską (będącą elementem obwodnicy śródmiejskiej) nad linią kolejową 274 (wcześniej znajdował się tam przejazd kolejowy kat. A). Ulicą Klecińską od wielu lat kursują linie autobusowe łączące południową część Wrocławia z osiedlami blokowymi: Nowy Dwór, Kuźniki, Kozanów - obecnie są to trzy linie: 126, 134 i 136. Przejeżdżają one nad nowozbudowanym przystankiem kolejowym, niestety bez możliwości wysadzenia i zabrania pasażerów, a do najbliższych przystanków autobusowych zarówno w jedną stronę (FAT) jak i drugą (ROD Oświata) jest około 500 m. W momencie projektowania i budowy estakady wiadomo było, że w przyszłości powstanie tam przystanek kolejowy - zbudowano jednak „autostradę” dla samochodów, a kompletnie zignorowano potrzeby mieszkańców odbywających podróże środkami miejskiego transportu publicznego.

W 2017 roku oddano do użytku nowe mosty: kolejowy i drogowy pomiędzy Swojczycami i Strachocinem,

przebiegające nad kanałem powodziowym Odra-Widawa. Inwestycja została wykonana w ramach modernizacji Wrocławskiego Węzła Wodnego. Szkoda, że nie pomyślano, aby nowy most drogowy zbudować po południowej, a nie tak jak poprzedni - po północnej stronie mostu kolejowego. Pozwoliłoby to na wykreowanie bajpasu łączącego ul. Swojczycką ze Strachocińską z pominięciem dwóch przejazdów kolejowych, które w przypadku uruchomienia linii kolejowej pociągów aglomeracyjnych będą znacznie częściej zamykane. Wydawałoby się, że to dobrze - niech podróżujący tą trasą przesiadą się do pociągów, tyle tylko że dla mieszkańców Strachocina i Wojnowa podstawowym środkiem transportu publicznego jest linia autobusowa 115 pokonująca właśnie oba te przejazdy. Linia kolejowa nie jest w stanie zastąpić tego połączenia, gdyż zmierza do centrum zupełnie innym, znacznie mniej atrakcyjnym przebiegiem.

Ponad 30 lat temu pomiędzy „starym” Zakrzowem, a linią kolejową 143 zbudowano osiedle blokowe „Sobieskiego”. Od tego czasu planuje się wybudowanie przystanku kolejowego w tym miejscu. Jeszcze do niedawna, po drugiej (południowej) stronie linii kolejowej 143 w tym miejscu, znajdowały się ogródki działkowe i pola uprawne. Istniała możliwość przeznaczenia tych terenów również pod budownictwo mieszkaniowe, co pozwoliłoby uzyskać rozwiązanie podobne do warszawskich Włoch - osiedla z centralnie położonym przystankiem kolejowym i układem ciągów komunikacyjnych promieniście rozchodzących się od tego punktu. Niestety miasto zdecydowało się przeznaczyć te tereny pod zabudowę przemysłową.

Dylematy wyboru alternatywnych rozwiązań

Tak jak wspomniano w poprzednim rozdziale, na linii kolejowej 143 w miejscu, gdzie po północnej jej stronie znajduje się osiedle blokowe „Sobieskiego”, planuje się od wielu lat wybudowanie przystanku kolejowego. Z osiedla tego do centrum miasta kursują dwie linie autobusowe (141 i D), a od kilku lat również krótka linia „dowozowa” (150) - tylko do Psiego Pola. W przypadku uruchomienia pociągów aglomeracyjnych zarówno linią kolejową 143 jak i 326, która włącza się w linię 143 dopiero na Psim Polu, częstotliwość pociągów

aglomeracyjnych do centrum w miejscu planowanego nowego przystanku przy osiedlu Sobieskiego będzie dwukrotnie mniejsza, niż w miejscu o jeden przystanek dalej w stronę centrum - czyli na Psim Polu. Pojawia się więc wątpliwość: czy nie lepiej zrezygnować z budowy przystanku kolejowego przy osiedlu Sobieskiego, w zamian za zapewnienie wygodnych przesiadek z linii autobusowych 141, 150 i D na pociągi aglomeracyjne na Psim Polu?

W 2017 roku prowadzone były prace projektowe związane z rewitalizacją jednotorowej linii 292 na odcinku Jelcz Miłoszyce - Wrocław Sołtysowice. Jest to odcinek o długości około 21,5 km. Wiele lat temu, w okresie prowadzenia linii zarówno ruchu towarowego jak i pasażerskiego, krzyżowanie się pociągów oprócz stacji końcowych było możliwe jeszcze w trzech miejscach: w Nadolich, Dobrzykowicach i Swojczycach. Tymczasem jednostka projektowa zarekomendowała jako najkorzystniejszy - wariant w ogóle bez mijanki! Wybór uzasadniała najkrótszym czasem przejazdu uzyskiwanym w tym wariantcie. Na szczęście zamawiający nie uległ tej argumentacji i wymógł na jednostce projektowej wykonanie „po drodze” co najmniej jednej mijanki. Z punktu widzenia zapewnienia elastyczności infrastruktury - na wypadek losowych opóźnień, zdaniem autora artykułu wskazane byłoby odtworzenie wszystkich trzech mijanek.

Zagrożenia

Głównym celem przyświecającym idei powołania kolei aglomeracyjnej jest polepszenie obsługi transportem publicznym - postrzeganym jako jedna całość. Niestety należy mieć świadomość czyhających pułapek i zagrożeń. Dobrym przykładem mogą tu być południowe osiedla Wrocławia: Ołtaszyn, Wojszyce i Jagodno. Przywrócenie ruchu kolejowego na linii 285 spowoduje częste zamykanie przejazdów kolejowo-drogowych położonych w ulicach: Zwycięskiej, Ołtaszyńskiej, Grota-Roeweckiego i Buforowej, przez które przejeżdżają kluczowe dla obsługi wymienionych osiedli linie autobusowe: 110, 112, 113, 127, 133, 612, 900L, 900P, 910. Może się okazać, że korzyści osiągnięte z tytułu uruchomienia kolei aglomeracyjnej zostaną zniweczone pogorszeniem obsługi zapewnianej dotychczas autobusami.

Podsumowanie

W zakresie tworzenia systemów kolei aglomeracyjnej brak jest w Polsce szerszych doświadczeń. Można powiedzieć, że funkcjonujące obecnie rozwiązania takie jak: warszawska SKM, łódzka ŁKA, gdańska PKM, czy Krakowska SKA dopiero „raczkują”. Jedynym wyjątkiem jest trójmiejska SKM, działająca od ponad sześćdziesięciu lat - lecz ze względu na układ trasy (jedna „nitka” łącząca sąsiadujące ze sobą miasta) można ją potraktować jako przypadek specyficzny.

Wrocław w porównaniu z innymi polskimi miastami może pochwalić się imponującą liczbą zaproponowanych dotychczas koncepcji uruchomienia kolei aglomeracyjnej [6]. Niestety z realizacją jakiegokolwiek z nich - jest już znacznie gorzej. Fakt ten skłania do refleksji: czy sam sposób podejścia do planowania i realizacji takiego zadania jest aby na pewno właściwy?

Większość autorów pomysłów oraz zamierzających je realizować decydentów jest już obecnie świadoma konieczności podjęcia pewnych niezbędnych działań inwestycyjnych - zarówno w zakresie taboru jak i infrastruktury. Ale może nie wystarczy „chcieć więcej”, może oprócz tego trzeba też „chcieć nieco inaczej”?

Tworząc dotychczasowe koncepcje kolei aglomeracyjnej dla Wrocławia odwoływano się do doświadczeń rozwoju kolei „tradycyjnej” (intensyfikacji ruchu pociągów regionalnych i dalekobieżnych) stosując znane metody działań, a modyfikując je jedynie poprzez zastoso-

- krótszych tras,
- mniejszych odległości pomiędzy przystankami.

Zdaniem autora podejście takie okazuje się być jednak niewystarczające. Konieczne jest sięgnięcie po elementy stosowane w przypadku funkcjonowania nieco odmiennych środków miejskiego transportu publicznego - takich jak metro, a nawet tramwaje, poprzez zastosowanie następujących - właściwych tym środkom transportu zasad:

- mniej wariantów tras, za to większa częstotliwość,
- mniejsza kolizyjność tras, za to więcej możliwych wygodnych przesiadek (w miejscach bezkolizyjnych przecięć tych tras),
- na trasach - ruch równomierny (bez wyprzedzania),
- zakończenia tras - na peryferiach, a nie w centralnych punktach systemu,

- układy średnicowe (ewentualnie średnicowe rozgałęźne), a nie promieniste,
- przystanki (stacje) - w miejscach najbardziej atrakcyjnych ze względu na wygodę pasażerów, a nie potrzeby ruchowe albo uwarunkowania terenowe,
- krótszy tabor, z większą liczbą drzwi.

Przykładowo - odnosząc powyższe zasady do wrocławskich uwarunkowań:

- obecnie na stacji Wrocław Gł. większość pociągów kończy albo rozpoczyna trasy, a tylko nieliczne (część dalekobieżnych) przejeżdżają przez tranzytowo; w przypadku pociągów aglomeracyjnych należy zrobić dokładnie na odwrót - większość z nich powinna przejeżdżać przez Wrocław Gł. tranzytowo, a jedynie pojedyncze kursy (na początku lub końcu dnia albo okresów szczytu) mogą zaczynać lub kończyć tam trasę,
- obecnie pociągi wyjeżdżające w kierunku zachodnim ze stacji Wrocław Gł. na posterunku odgałęźnym Wrocław Grabiszyn mogą „rozjechać” się w kilku różnych kierunkach - niestety w sposób kolizyjny; pociągi aglomeracyjne lepiej aby „objeżdżały” bezkolizyjnie ten posterunek, natomiast możliwość jazdy w kilku różnych kierunkach wskazane jest realizować poprzez zapewnienie wygodnych przesiadek w proponowanym węźle „Góralaska”,
- dla odcinka Wrocław Mikołajów - Wrocław Psie Pole, w przypadku niewybudowania dodatkowej osobnej pary torów przeznaczonych wyłącznie dla pociągów aglomeracyjnych, należy „oszczędnie” planować lokalizację nowych przystanków albo pogodzić się ze „spowolnieniem” ruch pociągów regionalnych i dalekobieżnych na tym odcinku,
- w przypadku stacji Wrocław Żerniki, Psie Pole, Swojczyce warto rozważenia są propozycje zmiany ich lokalizacji (jeśli nie całych stacji, to przynajmniej położenia ich peronów) w celu przybliżenia ich do obecnego rozlokowania sąsiadującej zabudowy mieszkaniowej.

W zakresie proponowanego „chcieć nieco inaczej” mieści się również zmiana metody układania rozkładów jazdy (cyklicznie, z priorytetem dla pociągów aglomeracyjnych).

W zakresie podejmowanych kolejowych działań inwestycyjnych konieczna jest ich koordynacja z pozostałymi elementami infrastruktury miejskiej (głównie układu drogowego).

Należy być również świadomym zagrożeń jakie mogą towarzyszyć wprowadzanym zmianom (upośledzenie miejskiej komunikacji autobusowej), tak aby potrafić zminimalizować bądź zrekomensować ich negatywne skutki. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Kruszyna M., Makuch J., Popiołek A., Gasz K.: Koncepcja rozwoju pasażerskiego transportu kolejowego w Aglomeracji Wrocławskiej poprzez uruchomienie Wrocławskiej Kolei Aglomeracyjnej; Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Raport serii SPR nr 32/2017
- [2] Żabiński M.: Miasto dla ludzi (prezentacja); Wrocławskie Forum Mobilności, Wrocław 17.10.2015
- [3] https://www.wroclaw.pl/files/komunikacja/kolej_15_01_2018.pdf (dostęp: 31.03.2018)
- [4] Gazeta Wrocławska 22.07.2009
- [5] <https://www.kolejedolnoslaskie.eu/rozklady/obecne/schemat.png> (dostęp: 31.03.2018)
- [6] Makuch J.: Dotychczasowe koncepcje uruchomienia we Wrocławiu kolei miejskiej lub aglomeracyjnej (prezentacja), Konferencja INFRA-SZYN, 18-20.04.2018
- [7] http://silesiainfotransport.pl/wp-content/uploads/2016/02/Topographischer_Netzplan_der_S-Bahn_Berlin.png (dostęp: 31.03.2018)
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Transport_in_Berlin (dostęp: 31.03.2018)
- [9] <http://www.openstreetmap.org> (dostęp: 31.03.2018)
- [10] Makuch J.: Nowoczesne rozwiązania w transporcie szynowym miast i aglomeracji a dylematy uruchomienia we Wrocławiu kolei miejskiej; Przegląd Komunikacyjny 2011 nr 1-2, s. 41-43
- [11] Massel A.: Technika Transportu Szynowego 2006 nr 3, s. 60-69
- [12] Chyliński P.: Krajowy zintegrowany cykliczny rozkład jazdy (KZCRJ), Przegląd Komunikacyjny 2017 nr 4, s. 25-29

Bezpieczeństwo systemów srk a nowe technologie informacyjne

Security of Railway Control Systems and new information technologies



Andrzej Lewiński

Prof. dr hab. inż.

Wydział Transportu i Elektrotechniki
Uniwersytetu Technologiczno-
Humanistycznego w Radomiu

a.lewinski@uthrad.pl

Streszczenie: Nowe technologie informacyjne, czyli techniki komputerowe, bezprzewodowe (otwarte) standardy transmisji oraz systemy satelitarne wykorzystywane do pozycjonowania miały istotny wpływ na inne podejście do kryterium bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym. Przyjęta dla systemów przekaźnikowych zasada „fail-safe” opierała się na bardzo dużej niezawodności przekaźników (gwarantowana liczba zadziałań) oraz rygorystycznej procedurze utrzymania (legalizacji). Implementacja nadmiarowych, redundantnych systemów komputerowych zmodyfikowała pojęcie bezpieczeństwa w kierunku tolerowalnego poziomu ryzyka (THR), gdzie bezpieczeństwo komputerowych systemów wyrażono w formie intensywności zdarzeń krytycznych uwzględniających testowanie. Technologie bezprzewodowe uwzględniły z kolei zagrożenia i ich wpływ na funkcjonalność, dostępność i niezawodność systemów srk.

Słowa kluczowe: Systemy Sterowania Ruchem Kolejowym; Fail-Safe; Tolerowalny poziom ryzyka; Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia krytycznego

Abstract: The new information technologies, such computer techniques, wireless (open) transmission standards and satellite systems applied for positioning have a important influence for different approach to safety criteria of railway control systems. The “fail-safe” rule assumed for relay control systems is based on high reliability of applied relays (guaranteed number of switches) and rigorous maintenance (homologation) procedure. The implementation of redundant, parallel computer systems has modified the concept of safety towards Tolerable Hazard Rate, where safety of computer systems is defined as an intensity of critical (dangerous, catastrophic) failures including self-testing. The wireless technologies respect the threats and their influence for functionality, availability and reliability of railway control systems (defined as probability).

Keywords: Railway Control Systems; Fail-Safe; Tolerable hazard rate; Probability of critical failure

Od początku kolejnictwa pojawił się problem zapewnienia bezpieczeństwa ruchu pociągów. Bezpieczeństwo było zależne od człowieka – dyżurnego ruchu i podległych mu służb związanych z zapewnieniem prawidłowego przejazdu pociągu na szlaku oraz w obrębie stacji kolejowych [25]. Czynności te wykonywali odpowiedzialni, przeszkoleni zdyscyplinowani pracownicy, dla których praca była „służbą”. Pierwsze urządzenia zależnościowe (kluczowe) i wprowadzenie łączności telefonicznej uzależniało bezpieczeństwo ruchu pociągów od człowieka: dyżurnego ruchu, nastawniczego oraz osób odpowiedzialnych za utrzymanie infrastruktury. Pomimo rygorystycznie przestrzeganych procedur dochodziło do poważnych wypadków, w przewa-

żającej części spowodowanej przez błąd człowieka, rzadziej przez niezawodność urządzeń zabezpieczenia ruchu.

Wprowadzenie urządzeń elektrycznych: najpierw przekaźnikowych, potem komputerowych, a następnie przyszłościowych z otwartą transmisją radiową wprowadziło stopniową eliminację wpływu człowieka na bezpieczeństwo systemów zarządzania i sterowania ruchem kolejowym. Proces kontroli najpierw objął dyżurnego ruchu eliminując możliwość błędnego ustawienia przebiegu, ale w następnym kroku uwzględnił również poprawność zachowania maszynisty – jego reakcję na sygnalizację przytorową. We współczesnych systemach zarządzania i sterowania ruchem kole-

jowym, związanych z Kolejami Dużych Prędkości takich jak system ERTMS/ETCS kontrolowane są również parametry pociągu w kontekście bezpiecznego przemieszczania na tzw. „widzialność elektryczną”, gdzie są zapewnione odległości między pociągami i bezpieczna droga hamowania.

Artykuł przedstawia ewolucję kryteriów bezpieczeństwa na przestrzeni wielu lat, odpowiadających zarówno normom UE jak też metodom naukowym wynikającym bezpośrednio z tych zaleceń. Autor chciałby w tym miejscu podziękować dr inż. Andrzejowi Toruniowi z Instytutu Kolejnictwa w Warszawie oraz dr hab. inż. Tomaszowi Perzyńskiemu, profesorowi nadzwyczajnemu na Wydziale Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Techno-

logiczno – Humanistycznego w Rado-
miu za udostępnienie wyników wielu
prac naukowo – badawczych współ-
nie prowadzonych w tym zakresie

Bezpieczeństwo systemów przebieżnikowych

Znaczącym krokiem w rozwoju urzą-
dzeń zabezpieczenia ruchu pociągów
było zastosowanie w latach 40 ubie-
głego wieku urządzeń elektrycznych
(przebieżnikowych). Ten fragment od-
nosi się do opracowania [4], ale zasady
projektowania, eksploatacji i utrzyma-
nia systemów przebieżnikowych moż-
na znaleźć [1] i [6].

Przebieżnikowe systemy srk projek-
towane były jako systemy bezpiecz-
ne oparte na regule *fail-safe* – żadne
pojedyncze uszkodzenie nie może
prowadzi do błędnego wystawiania
urządzeń zewnętrznych (sygnalizatora,
zwrótnicy). Oznacza to, iż w przypadku
przebieżnikowych urządzeń srk poje-
dyncze uszkodzenie musi wymuszać
zmianę stanu systemu na taki, który
zdefiniowany jest jako stan bezpiecz-
ny (np. uniemożliwienie wyświetlenia
sygnału zezwalającego, wykluczenie
możliwości nastawienia przebiegu,

przebieżnikowej zwrótnicy, ...). Osią-
gnięcie stanu bezpiecznego powodu-
je określone ograniczenia wostęp-
ności systemu do sterowania lecz nie
powoduje sytuacji zagrożenia w ruchu
kolejowym. Podstawowo bezpieczeń-
stwo obwodów elektrycznych osiąga-
ne było przez:

- zastosowanie odpowiednich
elementów konstrukcyjnych ob-
wodów tj. przebieżniki zabezpie-
czeniowe określonej klasy, trans-
formatory, przekładniki prądowe,
dławiki, bezpieczniki,
- odpowiednie ukształtowanie ob-
wodu elektrycznego, zgodnie z
opracowanymi przez uprawnione
jednostki kolejowe albumy typow-
ych układów dla poszczegól-
nych systemów zabezpieczenia
ruchu kolejowego.

Ze względu na sposób projektowania
i montażu urządzenia przebieżnikowe
urządzenia sterowania ruchem kole-
jowym sklasyfikowane zostały na dwie
podstawowe grupy:

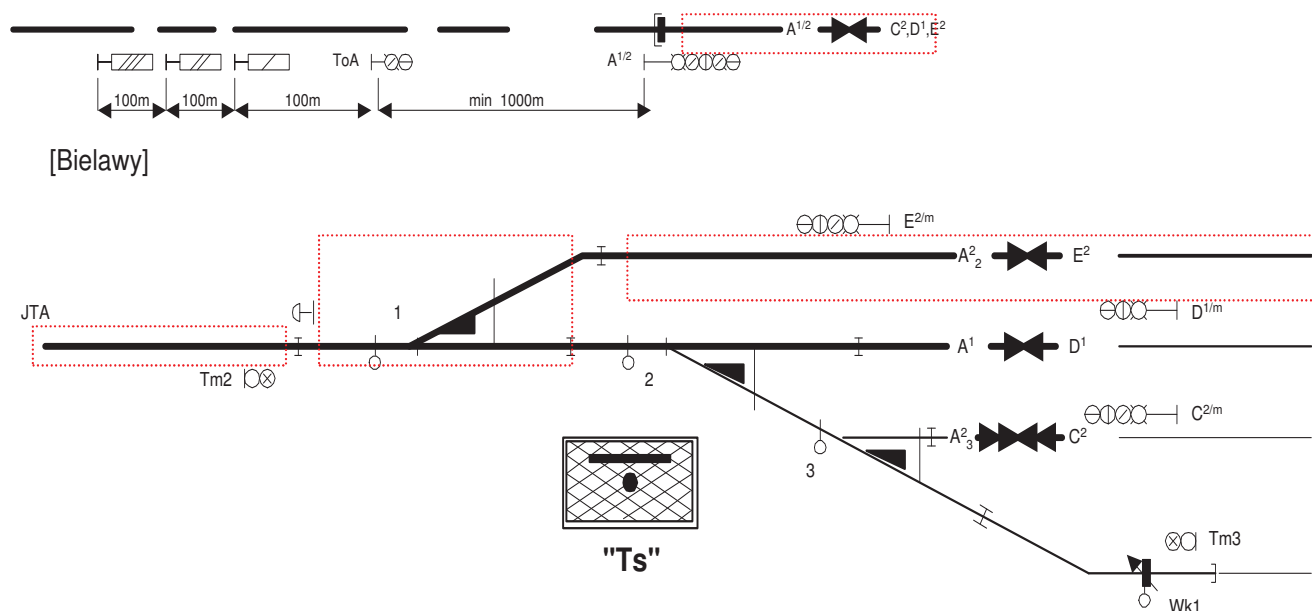
- urządzenia projektowane indywi-
dualnie (np. stacyjne typu E), dla

których wykorzystywane były za-
sady projektowania oparte o albu-
my schematów typowych a zasady
bezpiecznego prowadzenia ruchu
zdefiniowane były w zależności od
układu torowego i charakterystyki
ruchowej obiektu (stacji) w postaci
tablicy zależności lub kart przebie-
gów,

- urządzenia geograficzne - zblo-
kowane (budowane w strukturze
modułowej tj. IZH 111, CBP83,
SUP-3, SUP-3M) definiowane jako
graf powiązania typowych modu-
łów funkcjonalnych.

Zasada: *fail-safe* jako nadrzędne wy-
maganie bezpieczeństwa sprowadza-
ła się do wykrycia usterki krytycznej i
bezpiecznej reakcji systemu na wykry-
tą usterkę. W praktyce zdefiniowane
zostały zarówno zasady bezpiecz-
nego projektowania jak i sklasyfikowa-
ne zostały usterki w zależności od ich
wpływu na bezpieczeństwo działania
systemów:

- usterki niekrytyczne (bezpiecz-
ne), które powodują ograniczenie
funkcjonalności systemu, powo-
dując zakłócenia w ruchu pocią-
gów,



Lp	Przebieg	Opis przebiegu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Odcinki izolowane	
			Przebiegi pociągowe															Przebiegi manewrowe															Zwrótnice i wykołnice														
			A ² ₃	A ¹ ₁	A ² ₂	C	D	E	S ² ₃	S ² ₁	S ² ₂	M ² ₁	L ¹ ₁	K ² ₁	Tm ₃	C ^m	D ^m	E ^m	5	3	1	2	Tm ₁₁	M ^m	L ^m	K ^m	Tm ₁₃	5	3	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Torowe	Zwrótnicow					
1	A ² ₃	Ze st. Bielawy na tor 3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A,3	1,2 ³ / _{Wk1}			
2	A ¹ ₁	Ze st. Bielawy na tor 1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A,1	1,2			
3	A ² ₂	Ze st. Bielawy na tor 2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A,2	1			

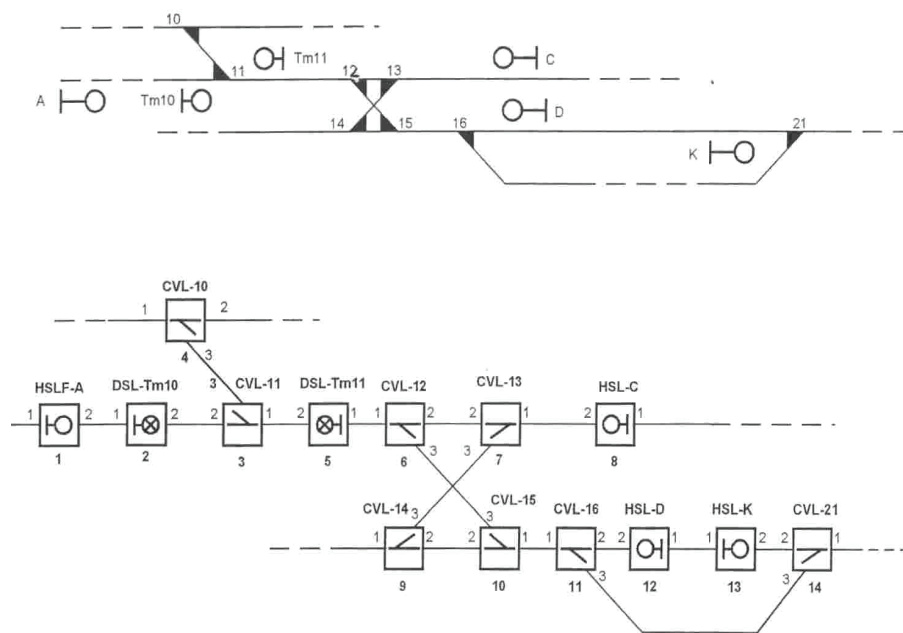
1. Przykładowy układ torowy stacji wraz z tablicą zależności

gów ale bez możliwości spowodowania kolizji pociągów,

- b) usterki krytyczne – (niebezpieczne), które wprowadzają bezpośrednie zagrożenie bezpieczeństwa i mogą prowadzić do powstania sytuacji niebezpiecznej – kolizji.

W praktyce realizacja zasady „fail – safe” opiera się na stosowaniu odpowiednich elementów – przekaźników klasy I (N), gdzie wykorzystuje się ich właściwości asymetryczności uszkodzeń polegającą na przyjęciu założenia że bardziej prawdopodobne przyjmuje się zdarzenie niewzbudzenia się przekaźnika (przy zamknięciu obwodu wzbudzenia) na skutek np. przerwy w obwodzie cewki przekaźnika, oraz jako nieprawdopodobne ze względów konstrukcyjnych wystąpienie przypadku pozostania przekaźnika w stanie wzbudzonym po zaniku zasilania uzwojenia cewki tego przekaźnika. A w przypadku przekaźników klasy II (C), jako prawdopodobne przyjmuje się wystąpienie obu wyżej opisanych zjawisk (uszkodzeń np. pozostanie w stanie wzbudzonym na skutek sklejenia styków).

Na rys. 1 przedstawiono fragment przykładowego układu torowego stacji wraz z przykładowymi zapisami zależności zamieszczonymi w Tablicy Zależności. System ten (E) [15], charakteryzuje się dość ograniczonym, ale wystarczającym do prowadzenia ruchu na stacji, zestawem realizowanych funkcji i podstawowo zapewnia możliwość indywidualnego sterowania poszczególnymi obiektami tj. zwrotnica, wykolejnica, sygnalizator. Oznacza to w praktyce indywidualne wybieranie i nastawianie dróg przebiegów, przy jednoczesnej kontroli elementów tych dróg przebiegów (niezajętości odcinków izolowanych torów i zwrotnic, położenia zwrotnic i wykolejnic, stany sygnalizatorów, ...). Dla zapewnienia bezpieczeństwa prowadzenia ruchu na posterunku dodatkowo oprócz kontroli stanu elementów dróg przebiegów, system na podstawie indywidualnie projektowanej dla każdego posterunku tablicy zależności wykluc-



2. Przykładowy sposób powiązania modułów systemu JZH 111

cza przebiegi sprzeczne oraz kontroluje warunki bezpiecznego nastawiania i zwalniania dróg przebiegów.

System ten najlepiej sprawdza się w przypadku stacji małej i średniej wielkości, ponieważ dla dużych stacji kłopotliwe jest odpowiednie zaprojektowanie obwodów tak aby możliwe było osiągnięcie optymalnych wskaźników eksploatacyjno – ruchowych dla stacji (głównie w przypadku definiowania wykluczeń przebiegów sprzecznych). System przekaźnikowych urządzeń zblokowanych JZH 111 przedstawiony na rys. 2 [15], [26], [27], wyróżnia się w swojej budowie zastosowaniem określonych, powtarzalnych bloków przekaźnikowych odpowiadających za obsługę i sterowania jednego określonego typu urządzenia na stacji (zwrotnicy, sygnalizatora, ...) wykonanych w formie zamkniętego uniwersalnego, powtarzalnego, wielo-przekaźnikowego zmontowanego modułu.

Poszczególne moduły łączone są między sobą odpowiednimi ścieżkami logicznymi, poniżej wymienione zostały przykładowe ścieżki logiczne: wybierania elementów drogi przebiegu, kontroli dostępu do modułu, poszukiwania ochrony bocznej, nastawiania elementów drogi przebiegu, utwierdzania modułów, kontroli prędkości (obrazu sygnałowego), przekaźników sygnałowych, automatycznego zwal-

niania przebiegu, doraźnego zwalniania przebiegu. Przykładowy sposób powiązania modułów systemu JZH 111 przedstawia rysunek 2:

W praktyce na stacjach eksploatowanych przez PKP PLK S.A. spotkać można wiele systemów przekaźnikowych srk zarówno wykonanych w technice przebiegowej (urządzenia typu E, PB) jak i zblokowanej (JZH 111, SUP-3, OSA-H, ...), które coraz częściej dostosowywane są do współpracy z komputerowymi pulpitemi nastawczymi oraz podlegają centralizacji sterowania w ramach budowy lokalnych centr sterowania. Świadczy to o tym że urządzenia te spełniają zakładane funkcje ruchowe, ponadto jak wykazały to doświadczenia ponad 50 lat eksploatacji urządzeń przekaźnikowych na sieci PKP, charakteryzują się one dużą trwałością i niezawodnością oraz gwarantują wymagany poziom bezpieczeństwa technicznego (pod warunkiem zachowania zasad ich utrzymania i eksploatacji, co staje się ze względu na upływ czasu coraz trudniejsze zapewnienie właściwych elementów niezbędnych do ich bezpiecznej eksploatacji (tj. przekaźniki których produkcja jest kosztowna ze względu na konieczność utrzymywania drogiej technologii oraz spadające zapotrzebowanie na rynku).

Tab. 1. Bezpieczeństwo systemów sterowania ruchem kolejowym w UE

Założenia	Intensywność usterek (na godzinę) [h ⁻¹]
Dopuszczalna wypadkowość spowodowana niebezpieczną usterką techniczna = 1 wypadek rocznie w UE	10 ⁻⁴ Dla całego systemu kolei w UE (wszystkie instalacje systemów)
1 niebezpieczna usterka na 10 prowadzi do wypadku	10 ⁻³ Dla całego systemu kolei w UE (wszystkie instalacje systemów)
1 usterka na 10 jest usterką systemu sterowania ruchem kolejowym	10 ⁻⁴ Dla całego systemu sterowania ruchem kolejowym w UE (wszystkie instalacje srk)
Margines bezpieczeństwa 10:1 zapewniający odpowiedni poziom tolerancji	10 ⁻⁵ Dla całego systemu sygnalizacji kolejowej w UE (wszystkie instalacje sygnalizacji)
1000 kompletnych systemów sygnalizacji w UE	10 ⁻⁸ Dla kompletnego systemu sygnalizacji (np. sterowanie w obszarze lub na linii)
10 podsystemów wchodzących w skład jednego kompletnego systemu sygnalizacji	10 ⁻⁹ Dla podsystemu sygnalizacji (np. duży scentralizowany system zależnościowy)
100 elementów systemowych w jednym podsystemie	10 ⁻¹¹ Dla jednego elementu systemowego (sterownik zwrótnicy, sygnalizator)
Współczynnik 100:1 pomiędzy sąsiednimi Poziomami Bezpieczeństwa	10 ⁻¹¹ (dla Poziomu Bezpieczeństwa 4) 10 ⁻⁹ (dla Poziomu Bezpieczeństwa 3) 10 ⁻⁷ (dla Poziomu Bezpieczeństwa 2) 10 ⁻⁵ (dla Poziomu Bezpieczeństwa 1)

Bezpieczeństwo systemów komputerowych

Filozofia bezpieczeństwa wprowadzanych w latach 70 ubiegłego wieku systemów komputerowych zakładała jednakowe prawdopodobieństwo przekłamań $1 \rightarrow 0$ i $0 \rightarrow 1$. Spowodowało to inne podejście do pojęcia bezpieczeństwa – usterka krytyczna była wynikiem wystąpienia więcej niż jednego uszkodzenia, powinno wystąpić co najmniej dwie niezależne usterek w odizolowanych od siebie niezależnych kanałach przetwarzania. Dodatkowo każda usterka pojedyncza, niekrytyczna powinna być wykryta w określonym (przez normę) czasie.

Tabela 1 przedstawia filozofię bezpieczeństwa, jak od podstawowego założenia (jedno zdarzenie krytyczne, katastroficzne, czyli wypadek z ofiarami w ludziach, przekłada się na niezawodność systemów, podsystemów, urządzeń i zastosowanych podzespołów. Interpretując Tabelę 1 można stwierdzić, że wyjściowe założenie – jedno zdarzenie krytyczne rocznie na terenie UE stanowi minimum jakim jest dopuszczalny poziom ryzyka *THR*, przekłada się to na zredukowaną intensywność uszkodzeń komponentów

podsystemów srk. Przyjęcie takich intensywności prowadzi do średniej intensywności uszkodzeń scentralizowanego systemu sterowania rzędu 10⁻⁵/h, co daje średnią intensywność uszkodzeń rzędu 10⁻³/h w całym kolejnictwie w UE (średnio jedno niebezpieczne uszkodzenie w ciągu roku).

Podstawą projektowanych systemów były systemy nadmiarowe (ang. *redundant systems*) – wielokanałowe systemy komputerowe z niezależnym zasilaniem, zwielokrotnionym i niezależnymi i kanałami transmisji oraz rygorystycznie przestrzegany standardami oprogramowania i konfiguracji sprzętowej. Określały to normy grupy EN 5012x, obowiązujące w Polsce po 2005 roku. Podstawą wprowadzonych nowych kryteriów bezpieczeństwa był Tolerowalny Poziom Ryzyka *THR* (ang. *Tolerable Hazard Risk*) [3], [10], którego zasady zostaną poniżej przedstawione.

Realizacja bezpieczeństwa systemów komputerowych stosowanych w kolejnictwie oparta jest o zasadę *fail-safe* [5]. W kolejnictwie występuje wiele systemów, które ze względu na potencjalne zagrożenia wynikające z ich uszkodzenia, zostały odpowiednio sklasyfikowane [3]. W tabeli 1. przedstawiona została nowa koncepcja

bezpieczeństwa oparta na teorii niezawodności [2]. Koncepcja bezpiecznych systemów komputerowych stosowanych w kolejnictwie zakłada bardzo małą intensywność usterek, co przy całkowitej niezależności kanałów przetwarzania (2 lub 3) gwarantuje znikome prawdopodobieństwo wystąpienia usterek podwójnej lub wielokrotnej – decydującej o uszkodzeniu katastroficznym (krytycznym). Podstawą analizy jest akceptowalny, dopuszczalny poziom ryzyka.

Zgodnie z normą [9] bezpieczeństwo systemu zależy nie tylko od intensywności uszkodzeń, ale od czasu detekcji uszkodzeń pojedynczych i podwójnych (wielokrotnych). W tym celu wprowadzono współczynnik tolerowalnego poziomu uszkodzeń (*THR* - *Tolerable Hazard Rate*). Współczynnik ten można obliczyć z zależności:

$$THR = \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{t_{d_i}^{-1}} \cdot \sum_{i=1}^n t_{d_i}^{-1} \quad (1)$$

gdzie: λ_i – intensywność uszkodzeń dla kanału i , $t_{d_i}^{-1}$ – czas reakcji systemu na błąd od czasu powstania dla kanału i . Zgodnie z zaleceniami UIC i CENELEC dla systemów bezpiecznych przyjmuje się współczynnik 100:1 pomiędzy intensywnościami usterek dla sąsiednich poziomów bezpieczeństwa. Koncepcja bezpiecznych systemów komputerowych stosowanych w kolejnictwie zakłada bardzo małą intensywność usterek, co przy całkowitej niezależności kanałów przetwarzania (2 lub 3). Z bezpieczeństwem systemów srk zakwalifikowanych do poziomu SIL-4 wiąże się również czas diagnostyki usterek pojedynczych:

$$T_{sf} = \frac{k}{1000 \cdot \lambda} \quad (2)$$

oraz usterek podwójnych:

$$T_{2sf} = \frac{2}{\lambda} \quad (3)$$

gdzie: k - współczynnik nadmiarowości równy 1 dla systemów „2z2” i 0.5 dla systemów „2z3”, λ - suma średnich intensywności uszkodzeń elementów, których jednoczesne uszkodzenie może prowadzić do zagrożenia.

Ze wzoru (1) wynika, że dla syste-

mów z jednym kanałem przetwarzania wartość THR odpowiada intensywności uszkodzeń λ . Z kolei dla systemu złożonego z dwóch kanałów przetwarzania wzór przyjmuje postać $\lambda 2t_d/t_{TF}$, co oznacza, że intensywność uszkodzeń krytycznych została zredukowana w stopniu $2t_d/t_{TF}$, gdzie t_d jest czasem reakcji na uszkodzenie, zaś t_{TF} jest średnim czasem do wystąpienia uszkodzenia w kanale.

Wspomniane w tabeli poziomy bezpieczeństwa odnoszą się do systemów zarządzania i sterowania ruchem kolejowym, systemy srk są zaliczone do najwyższego, czwartego poziomu bezpieczeństwa (SIL4).

W związku z wejściem Polski do struktur unijnych obowiązujące stały się normy oznaczone odpowiednio: PN-EN 50126 [17], PN-EN 50128 [18] oraz PN-EN 50129 [19].

W normie PN-EN 50126 określono niezawodność, gotowość, dostępność i bezpieczeństwo (RAMS - *Reliability, Availability, Maintainability and Safety*), jako proces oparty o cykl życia systemu (ang. system *life-cycle*). W procesie tym zdefiniowano poszczególne etapy systemu i procedury związane z zatwierdzaniem przed przejściem do

Tab. 2. Klasyfikacja bezpieczeństwa w systemach zarządzania i sterowania ruchem w UE

POZIOM	Wymagany stan bezpieczeństwa	Konsekwencje wystąpienia błędu	Charakterystyka systemu w kolejnictwie	Nazwa systemu stosowana w kolejnictwie
4	Bardzo wysoki	Utrata życia ludzkiego	Zabezpieczenie przed wykojeniem i kolizją pociągów	System bezpieczny <i>Fail-safe system</i>
3	Wysoki	Obrażenia i utrata zdrowia	Zapewnienie poprawnego prowadzenia pociągu	System o wysokim poziomie bezpieczeństwa
2	Średni	Skażenie środowiska	Zapewnienie kierowania ruchem pociągu	System o znaczącym poziomie bezpieczeństwa
1	Niski	Utrata mienia	Zapewnienie obsługi pasażerów	System o niskim poziomie bezpieczeństwa
0	Nie dotyczy	Utrata informacji nie mających wpływu na bezpieczeństwo	Zapewnienie prawidłowego utrzymania kolei	Nie związany z bezpieczeństwem

następnego etapu. (specyfikacja wymagań, projekt., implementacja, itp.).

Norma PN-EN 50128 określa procedury i wymagania techniczne dla projektowania oprogramowania bezpiecznego systemu elektronicznego dla sterowania i zabezpieczenia na kolei, [98]. Należy stwierdzić, iż norma ta nie jest w pełni obligatoryjna.

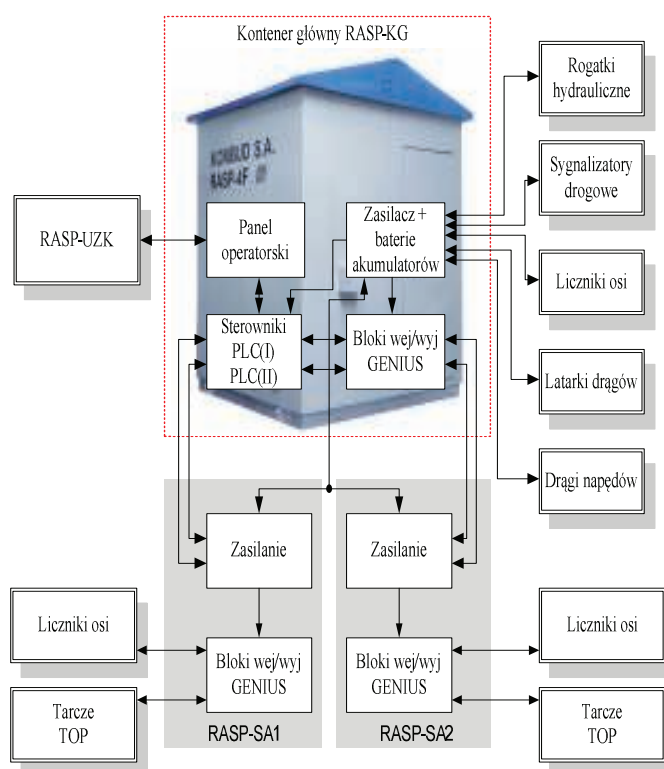
Norma PN-EN 50129 definiuje wymagania dotyczące projektowania, testowania, odbioru i zatwierdzania elektronicznych systemów, podsystemów i urządzeń sygnalizacji związanych z bezpieczeństwem w zastosowaniach kolejowych].

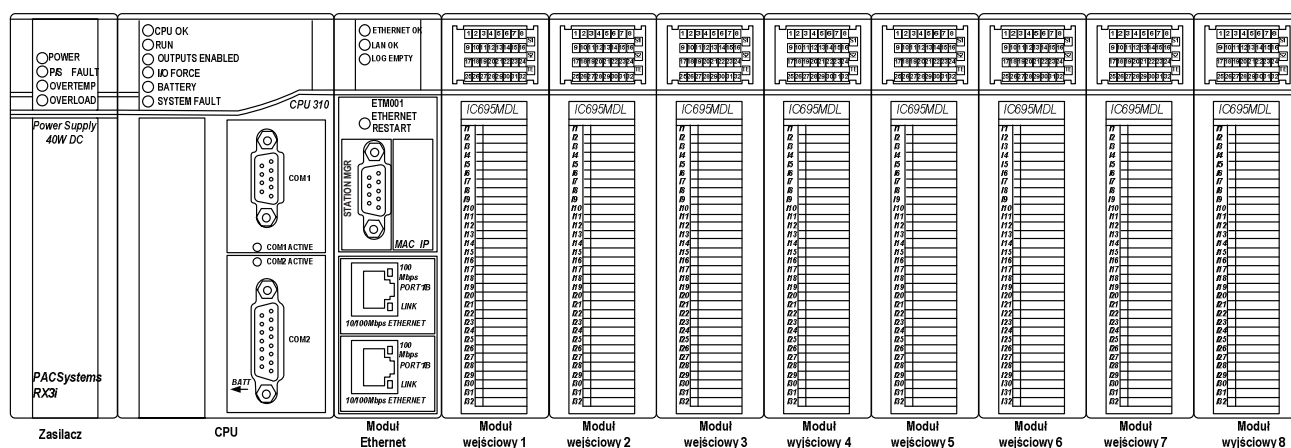
Uwzględniając takie parametry jak: czas reakcji systemu na błąd od czasu

Tab. 3. Dopuszczalne wartości THR zgodne zobowiązującymi normami

THR (na godzinę na funkcję)	SIL (Safety Integrity Level)
$10^{-9} \leq THR < 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq THR < 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq THR < 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq THR < 10^{-5}$	1

wykrycia, czas reakcji systemu na błąd od czasu powstania, czas cyklicznego testowania elementu systemu, średnie czasy T_{MBF} składowych systemu, można wyznaczyć współczynnik THR . Dopuszczalne wartości współczynnika THR dla poziomów bezpieczeństwa SIL





4. Kasetę samoczynnej sygnalizacji przejazdowej RASP-4F

przedstawia tabela 3 [9].

Co oznacza, że intensywność uszkodzeń krytycznych została zredukowana w stopniu $2t_d/t_{TF}$, gdzie t_d jest czasem reakcji na uszkodzenie, zaś t_{TF} jest średnim czasem do wystąpienia uszkodzenia w kanale.

W ten sposób można było ocenić bezpieczeństwo typowego systemu sygnalizacji przejazdowej (RASP4 produkcji KOMBUD S.A [29], [30].) zaliczonego do najwyższego poziomu bezpieczeństwa SIL4. Jest to typowy system dwukanałowy (rys. 3), dwa niezależne sterowniki PLC realizują wszystkie funkcje wyszczególnione w normach i zarządzeniach.

Sterowniki PLC zbudowane są w oparciu o dwa identyczne zestawy zbudowane na kasetach tworząc dwa niezależnie działające sterowniki ze wzajemną wymianą danych i synchronizacją pracy poprzez magistralę Ethernet. W skład pojedynczego sterownika wchodzi:

- kasetę bazową IC695CHS012,
- zasilacz prądu stałego IC695PSD140,
- jednostkę centralną typu IC695CPU310,
- interfejs komunikacyjny IC695ETM001,
- moduł wejść dyskretnych IC694MDL660,
- moduł wyjść dyskretnych IC694MDL754

Dla zastosowanego sprzętu autorzy podali następujące wartości MTBF (średni czas pomiędzy wystąpieniem

uszkodzeń) na podstawie danych producenta/dystrybutora sprzętu (firma Astor Kraków):

- a) kasetę bazową IC695CHS012 – 761 000 [h]
- b) zasilacz prądu stałego IC695PSD140 – 1 092 000 [h]
- c) jednostkę centralną IC695CPU310 – 638 000 [h]
- d) interfejs komunikacyjny IC695ETM001 – 992 000 [h]
- e) moduł wejść dyskretnych IC694MDL660 – 6 393 000 [h]
- f) moduł wyjść dyskretnych IC694MDL754 – 553 000 [h].

Konfiguracja sterowników zawiera różne ilości modułów, co przy założeniu najgorszego przypadku (szeregowa struktura niezawodnościowa) prowadzi do wypadkowej wartości MTBF dla poszczególnych zestawów:

- 1 zestaw z 2 modułami e) i 1 modułem f) – 144 374.4267 [h]
- 2 zestaw z 3 modułami e) i 1 modułem f) – 141 185.9945 [h]
- 3 zestaw z 4 modułami e) i 1 modułem f) – 138 135.3490 [h]
- 4 zestaw z 6 modułami e) i 2 modułami f) – 106 832.6186 [h].

Autorzy zapewnili dostatecznie krótki czas wykrywania pojedynczego uszkodzenia i przejście do stanu bezpiecznego. (Czas ten, t_{sf} jest znacznie krótszy niż oczekiwany średni czas między uszkodzeniami obu komputerów.) Zgodnie z normą PN-EN 50129 czas wykrywania pojedynczego uszkodze-

nia spełniający warunek $t_{sf} \leq k/(1000 \cdot a)$, gdzie $k = 1.0$ dla systemów „2 z 2”, $a = 1/MTBF$.

Autorzy przyjęli do obliczeń współczynnika THR następujące wartości:

- czas cyklicznego testowania wejść/wyjść (T) 250ms
- czas reakcji na błąd (NT) 1s,

co daje wartość czasu reakcji na błąd (SDT) równą 0.0003125 [h] i w efekcie daje wartość THR poniżej co $10e-1$, zgodnie z normą PN-EN 50129 dla poziomu SIL4. Obliczony czas wykrycia błędów pojedynczych (TSF) spełnia kryterium wynikające z granicznej wartości odniesionej do oszacowanej wartości MTBF dla systemu „2 z 2” podane w normie PN-EN 50129.

Współczynnik THR można również określić n a podstawie:

- danych eksploatacyjnych (czyli systemów obecnie eksploatowanych) na podstawie danych pochodzących z eksploatacji (wymagany do weryfikacji czas to ponad 10 lat [x]),
- danych z prognozowania obliczonych na podstawie reguł szacowania niezawodności urządzeń elektronicznych w oparciu o standard MIL [xx].

Obie wymienione metody uzupełniają ocenę bezpieczeństwa zgodnie z wymienionymi normami i regulacjami krajowymi.

Bezpieczeństwa systemów z nowymi technologiami informacyjnymi

Bardzo dobrym przykładem wpływu nowych technologii informatycznych na bezpieczeństwo systemów zarządzania i sterowania ruchem w transporcie jest Europejski System Zarządzania i Sterowania Ruchem pociągów ERTMS (ang. *European Rail Traffic Management System*) obligatoryjnie wdrażany w państwach członkowskich UE. Podsystem odpowiedzialny bezpośrednio za bezpieczeństwo pociągu ETCS (ang. *European Train Control System*) został zdefiniowany dla trzech poziomów sterowania, w kolejnictwie polskim został wdrożony na wybranych odcinkach linii poziomu 1, trwają prace nad wdrażaniem poziomu 2 co wiąże się bezpośrednio z bezpieczeństwem pociągów o podwyższonej prędkości (linia CMK) [5], [14]. Wprowadzenie, jako obowiązkowego systemu ERTMS/ETCS wykorzystującego transmisję radiową powinno zapewnić osiągnięcie, jako główny cel wysokiego poziomu funkcjonalności i interoperacyjności w obsłudze pociągów pasażerskich, w tym kontroli i monitorowania sieci linii kolei dużych prędkości (KDP).

W przypadku implementacji systemu ETCS przyjęte zostało następujące kryterium bezpieczeństwa: nowe rozwiązania technologiczne nie mogą obniżyć istniejącego poziomu bezpieczeństwa. Przypadku systemu ETCS można było odwołać się do systemów tradycyjnych (eksploatowanych obecnie systemów ze stałym odstępem blokowym opartych na odcinkach izolowanych i blokadą liniową) i pokazać jak nowe technologie radykalnie zmniejszają prawdopodobieństwo błędu krytycznego. Podstawowe zagadnienia związane z systemem ERTMS/ETCS odnoszą się do:

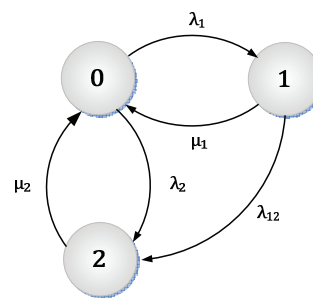
- poprawy bezpieczeństwa (monitoring maszynisty),
- zwiększenie przepustowości linii kolejowych, zwłaszcza linii KDP,
- wdrożenie nowego standardu komunikacji wykorzystującego system ERTMS/GSM-R, a w przyszłości

bardziej efektywnych standardów transmisji radiowej w tym LTE lub WiFi [9].

Pociągi wyposażone w urządzenia pokładowe systemu ERTMS/ETCS będą informowane o tym, które z poziomów ERTMS są obsługiwane w danym obszarze z chwilą minięcia grupy balis informujących o zbliżaniu się do danego obszaru ERTMS/ETCS. Urządzenia pokładowe (zgodnie z kompatybilnością części pokładowej z przytorową) po odebraniu informacji wjazdu w obszar przełączają się do poziomu systemu ERTMS/ETCS, który zdefiniowany jest w ramach realizacji projektu zabudowy systemu.

Poziom pierwszy stanowi nakładkę na urządzenia stacyjne i liniowe zachowującą rozproszony charakter sterowania ruchem kolejowym. Urządzenia ERTMS/ETCS poziomu 1 zapewniają, że pociąg nie przejedzie poza miejsce ograniczające ustawioną i utwierdzoną drogę przebiegu, oraz że nie przekroczy prędkości dopuszczalnej na żadnym odcinku drogi przebiegu. Tor wyposażony w urządzenia poziomu pierwszego wykorzystuje eurobalisy przełączalne i nieprzełączalne. Dodatkowo może być wyposażony w europętle lub radio wykorzystywane do uaktualniania informacji przekazywanej poprzez eurobalisy lub do dwukierunkowej komunikacji tor-pojazd w celu prowadzenia wstępnej obróbki informacji przez urządzenia przytorowe.

Poziom drugi ERTMS/ETCS to sterowanie ruchem w oparciu o ciągłą, cyfrową, dwukierunkową transmisję radiową. Tor jest wyposażany poza eurobalisami dodatkowo w radiowe centra sterowania (RBC). Jednocześnie z toru można usunąć semafony, gdyż ich funkcje przejmuje ciągła transmisja cyfrowa. Informacje zmienne łatwo można przekazywać poprzez kanał radiowy, dzięki temu eurobalisy nie muszą już być przełączalne. Poziom trzeci stanowi rozwinięcie poziomu drugiego poprzez przeniesienie kontroli zajętości torów z urządzeń przytorowych do urządzeń pojazdowych. Pozwala to na sterowanie następstwem pociągów według zasady ruchomego odstępu blokowego oraz umożliwia rezygnację



5. Uniwersalny model sterowania i kontroli pociągu

z obwodów torowych i liczników osi.

Jazda pociągu z punktu widzenia urządzeń sterowania ruchem kolejowym mogą być przedstawiane podejściem prezentowanym przez proces stochastyczny. W wielu pracach [[8], [10], [12] do opisu przejść między stanami odpowiadającymi za typowe zachowania pociągu wskazywany jest jednorodny, stacjonarny i ergodyczny proces Markowa.

Taki proces kontroli pociągu zaprezentowany jest na rysunku 5 [14]. Zaprezentowane stany odpowiadają następującym sytuacjom:

- 0 – stan prawidłowej jazdy według ostatniej otrzymanej informacji, maszynista prowadząc pojazd trakcyjny według ostatnio otrzymanego pozwolenia na jazdę aż do odebrania następnej informacji o nowym zezwoleniu na jazdę,
- 1 – stan poprawnej realizacji procedury kontroli (zgodnie z zobraowaniem sygnałowym prezentowanym na sygnalizatorze lub według zaleceń komputera pokładowego),
- 2 – stan awaryjnego zatrzymania lub zmniejszenia prędkości wynikające z zaistnienia sytuacji, w której utracona została kontrola (awaryjne hamowanie wymuszone przez system ATP – w warunkach Rzeczypospolitej Polskiej – system SHP klasy AWS).

Przejścia pomiędzy stanami związane są z występowaniem podstawowych parametrów w wykonywanych procedurach realizowanych w urządzeniach sterowania ruchem kolejowym. W dalszych rozważaniach, zakładamy przyjęcie maksymalnej długości od-

stępu blokowego wynoszącą 1500 m (minimalna odległość 1300 m nie jest w tych analizach obligatoryjna) dla maksymalnej prędkości 160 km/h, oraz parametry λ i μ określające:

- λ_1 – intensywność wymaganych jazd dla poprawnie otrzymanych zezwoleń na jazdę wynoszącą $106,67 \text{ h}^{-1}$ (odpowiadająca czasowi przygotowania do wyświetlenia pojazdowi trakcyjnemu sygnału zezwalającego 33,75s),
- μ_1 – intensywność typowej obsługi wynosząca 300 h^{-1} (odwrotność czasu obsługi 12s),
- λ_2 – intensywność dla błędnych interpretacji względem wymagań (wskaźnik awaryjności) wynoszący $0,000227687 \text{ h}^{-1}$ (związany z wystąpieniem 2 jazd zakończonych zatrzymaniem awaryjnym w roku),
- λ_{12} – intensywność pojawiających się błędnych interpretacji względem wymagań (wskaźnik awaryjności) $0,005952381 \text{ h}^{-1}$ (związana z czasem występującym podczas jazd awaryjnych, 1 w tygodniu)
- μ_2 – intensywność obsługi awaryjnej wynosząca 72 h^{-1} (odwrotność czasu obsługi awaryjnej 50 s).

Wykorzystywane do opisu przejść pomiędzy stanami równania różniczkowe oparte są na:

- parametrach odległości oraz prędkości zaprezentowanych powyżej oraz
- λ_1 – intensywności zdarzeń związanych z wyjazdem pociągu na sygnał zezwalający lub otrzymane zezwolenie na jazdę (MA) oraz otrzymaną informacją o kolejnej procedurze jazdy,
- λ_{12} – intensywności zdarzenia związanego z błędną reakcją maszynisty lub niewłaściwego działania systemu ATP,
- λ_2 – intensywności zdarzenia związanego z wdrożeniem przez sygnał alarmowy hamowania (bez udziału maszynisty) trwającego aż do całkowitego zatrzymania pociągu,
- μ_1^{-1} – czasu niezbędnego do wyświetlenia maszyniście informacji

o następnym działaniu – procedura jazdy pociągu z uwzględnieniem warunków bezpieczeństwa,

- μ_2^{-1} – czasu niezbędnego maszyniście do rozpoczęcia jazdy po automatycznym zatrzymaniu pociągu.

W istniejących urządzeniach srk, które są wykorzystywane do prowadzenia pociągu opartego na stałym odstępie blokowym (zajętość kolejnych odcinków) następuje na podstawie wyświetlenia sygnału zezwalającego na jazdę z jednoczesnym uzyskaniem informacji o zajętości od przemieszczającego się po linii kolejowej pojazdu trakcyjnego.

Oczywisty jest sens powyższej sekwencji zdarzeń. Dlatego stan P2 może być traktowany jako współczynnik operacyjny (funkcjonalny), który odpowiedzialny jest za skuteczność sterowania. Oznacza to, że sposób sterowania pociągami odniesiony jest do zdolności przepustowości linii kolejowej wynikającej z możliwości zajmowania kolejnych odcinków torowych.

Zakładając maksymalną długość odstępu blokowego wynoszącą 1500 m i maksymalną prędkości 160 km/h oraz parametry dla modelu Markowa przedstawione na rysunku 5 wynoszące:

- λ_1 – intensywność wymaganych jazd dla poprawnie otrzymanych zezwoleń na jazdę wynoszącą $106,67 \text{ h}^{-1}$ (odpowiadająca czasowi przygotowania do wyświetlenia pojazdowi trakcyjnemu sygnału zezwalającego 33,75s),
- μ_1 – intensywność typowej obsługi wynosząca 300 h^{-1} (odwrotność czasu obsługi 12 s),
- λ_2 – intensywność dla błędnych interpretacji względem wymagań (wskaźnik awaryjności) wynoszący $0,000227687 \text{ h}^{-1}$ (związany z wystąpieniem 2 jazd zakończonych zatrzymaniem awaryjnym w roku),
- λ_{12} – intensywność pojawiających się błędnych interpretacji względem wymagań (wskaźnik awaryjności) $0,005952381 \text{ h}^{-1}$ (związana z czasem występującym podczas jazd awaryjnych, 1 w tygodniu)

- μ_2 – intensywność obsługi awaryjnej wynosząca 72 h^{-1} (odwrotność czasu obsługi awaryjnej 50 s)

po podstawieniu do powyższych równań i dokonaniu obliczeń otrzymujemy wartość dla stałego odstępu blokowego wynoszącą $P_{2FBD} = 2,401 \cdot 10^{-5}$.

System ERTMS/ETCS jest inteligentną nakładką na istniejące zapewniające wysoki poziom bezpieczeństwa kolejowe systemy kontroli i zarządzania ruchem kolejowym. Wszystkie pociągi niewyposażone w urządzenia pokładowe systemu ERTMS/ETCS będą odbierały zezwolenie na jazdę (MA) poprzez wyświetlone zobrazowanie sygnałowe na sygnalizatorze. Pojazdy trakcyjne wyposażone w pokładowe urządzenia systemu ERTMS/ETCS poziomu 1 otrzymują zezwolenie na jazdę po przejechaniu nad grupą balis umieszczoną przed sygnalizatorem, natomiast w przypadku poziomu 2 zezwolenie na jazdę będzie odbierane przez pojazd trakcyjny z radiowego centrum sterowania (RBC) za pośrednictwem bezpiecznej sieci kolejowego globalnego systemu komunikacji ruchomej ERTMS/GSM-R. Urządzenia trakcyjne posiadają możliwość pracy według różnych planów (poziomów i trybów) przy uwzględnieniu zgodności urządzeń pokładowych z urządzeniami przytorowymi. Istniejące zasady współpracy urządzeń pokładowych z odpowiednimi urządzeniami przytorowymi zapewniają współpracę w tzn "dół", tj. Pojazd trakcyjny wyposażony w urządzenia poziomu 2 może jeździć po liniach kolejowych z zainstalowanymi urządzeniami poziomu 2 jak i poziomu 1, natomiast pojazdy trakcyjne wyposażone w urządzenia poziomu 1 mogą poruszać się tylko po liniach kolejowych wyposażonych w ten sam poziom.

Pociągi wyposażone w urządzenia pokładowe systemu ERTMS/ETCS będą informowane o objęciu ich kontrolą w określonym obszarze kolejowym ograniczonym balisami określającymi także odpowiedni poziom systemu.

Poziom 1 jest nakładką na urządzenia sterowania ruchem kolejowym stosowane na stacjach oraz na szlakach i

jest traktowany jako rozproszony system kontroli. Urządzenia poziomu 1 systemu ERTMS/ETCS zapewniają to, że nadzorowany pojazd trakcyjny nie przejedzie po za wyznaczone zezwolenie na jazdę na szlaku po którym się porusza oraz jazda pojazdu trakcyjnego odbywa się z nadzorowaniem nieprzekroczenia dozwolonej prędkości na przemierzanej drodze kolejowej. W torze, na którym zabudowany jest poziom 1, w obszarach kontrolnych, wykorzystywane są eurobalisy, zarówno w wersji przełączalnej jak i nieprzełączalnej. Dodatkowo torowa infrastruktura kolejowa może być wyposażona w europętlę lub radio wykorzystywane jako uaktualnienie informacji przekazywanej pomiędzy torem a pojazdem trakcyjnym lub do dwukierunkowej komunikacji pojazdu trakcyjnego służącej do aktualizacji informacji o pojeździe po stronie urządzeń przytorowych [14].

Zakładając maksymalną długość odstępu blokowego wynoszącą 1500 m oraz w tym przypadku dla maksymalnej prędkości 160 km/h oraz parametrów dla modelu Markowa przedstawionych na rysunku 5 wynoszących:

- λ'_1 – intensywność połączenia przed balisą (semaforem) wynoszącą $\lambda_1=166,67h^{-1}$ (w odniesieniu do 21,6s),
- μ'_1 – oszacowane (intensywności) usług wynoszące $360000 h^{-1}$ (związane z max 10 ms) jest związane z założeniem czasu synchronizacji przy przejechaniu 1 m,
- λ'_{12} – intensywność uszkodzonych telegramów z balis prowadzących do zatrzymania pociągu wynosząca $0,33 \cdot 10^{-9}/h$,
- λ'_2 – intensywność awarii urządzeń pokładowych wynosząca zgodnie z *THR* dla urządzeń pokładowych $1 \cdot 10^{-9}$,
- μ'_2 – intensywność przełączeń urządzeń pokładowych do trybu dedykowanego dla pociągów niewyposażonych wynosząca $0,03333 h$ (związana z 120 s, czasem wdrożenia jazdy w trybie pociągu niewyposażonego)

po podstawieniu do powyższych równań i

dokonaniu obliczeń otrzymujemy wartość dla ERTMS/ETCS poziomu 1 P2ETCS L1 = 3,003-10-8.

Przeprowadzone obliczenia analityczne pokazują jak nowy system (ETCS) w istotny sposób minimalizuje wystąpienie zdarzenia katastroficznego (P_2).

Wnioski

W artykule pokazano ewolucję pojęcia bezpieczeństwa systemów zarządzania i sterowania ruchem kolejowym na przestrzeni ostatnich lat. Punktem wejściowym było przyjęcie poziomu bezpieczeństwa przekąźnikowych systemów srk. Przedstawione rozwiązania systemów JZH i E oparte były na koncepcji bezpiecznego przekąźnika, którego najbardziej prawdopodobne uszkodzenie nie miało wpływu na bezpieczne występowanie urządzeń zewnętrznych.

Omówione powszechnie stosowane systemy komputerowe oparte były na nadmiarowości i stosunkowo krótkim czasie wykrywania usterek. Wynikowym parametrem był *THR* (Tolerowalny Poziom Ryzyka), którego wartości były zdefiniowane w obowiązujących normach (PN EN 50 159).

Kolejnym krokiem było wprowadzenie otwartych standardów transmisji opartych na publicznych sieciach, głównie bezprzewodowych [9]. Badania potwierdzają, że zastosowanie typowych standardów komunikacji opartych na bezprzewodowym dostępie do Internetu przy zastosowaniu odpowiednich procedur, a zwłaszcza metod kryptograficznych, pozwala zapewnić ten sam poziom bezpieczeństwa co w przypadku dotychczas stosowanych transmisji kablowych w rozproszonych systemach komputerowych. Generalnie począwszy od systemów przekąźnikowych po przyszłe realizacje oparte na transmisji otwartej stosowana jest ta sama zasada *fail-safe*: każde pojedyncze uszkodzenie nie może prowadzić do sytuacji niebezpiecznej. W systemach komputerowych wyznaczany jest dodatkowo czas detekcji usterek. W systemach opartych na sieciach publicznych do-

datkowo analizuje się minimalizację czasu opóźnień (spowodowanych np. zanikiem lub przekłamaniem transmisji i związana z tym koniecznością powtórzeń itp.) co pozwoliło zapewnić identyczny poziom funkcjonalności co w systemach realizowanych dotychczas, tych komputerowych jak i przekąźnikowych.

W każdym zaprezentowanym modelu (stały odstęp blokowy, poziom 1) prawdopodobieństwo stanu 2 jest istotne z punktu widzenia niedostępności systemu (stan 2 odpowiada niekontrolowanemu awaryjnemu zatrzymaniu pojazdu trakcyjnego spowodowanego przez wadliwe działanie urządzeń sygnalizacyjnych lub urządzeń automatycznej kontroli pojazdu trakcyjnego). Możemy zauważyć, że każdy następny poziom kontroli pojazdu trakcyjnego zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia stanu 2, więc dostępność całego systemu ulega polepszeniu. Jest to związane z ideą systemu ERTMS/ETCS: lepszą przepustowością, dostępnością i w konsekwencji lepszymi parametrami ruchu kolejowego, w tym także kolei dużych prędkości [2, 6]. Prace te zawierają również podobną analizę dla poziomu 2 i 3 systemu ETCS, pokazującą istotne zmniejszenie (o trzy rzędy wielkości) prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia katastroficznego.

Do analizy bezpieczeństwa można stosować też inne metody [20], [21], takie jak np. analiza drzewa usterek FTA (ang. *Fault Tree Analysis*) uzupełniona o zależności czasowe [13] staje się silnym narzędziem zapewnienia bezpieczeństwa.

Podsumowując, nowe technologie informacyjne wprowadzane na przestrzeni ostatnich lat zapewniają poziom bezpieczeństwa, nie gorszy niż w systemach przekąźnikowych tradycyjnie uznane za bezpieczne. Nowe technologie informacyjne kontrolują człowieka (maszynistę, dyżurnego ruchu) minimalizując wystąpienie zdarzenia krytycznego określonego przez zredukowaną intensywność (*THR*) lub prawdopodobieństwo wystąpienia takiego zdarzenia. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Dąbrowa – Bajon M., „Podstawy sterowania ruchem kolejowym” – ISBN 83-7207-343-0 Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2002,
- [2] Jaźwiński J., Ważyńska – Fiok K.: „Bezpieczeństwo i niezawodność systemu sterowania ruchem kolejowym”, Zeszyt 95, WKiŁ, Warszawa 1982
- [3] Lewiński A., Perzyński T.: „Akceptowalny poziom ryzyka jako kryterium bezpieczeństwa w transporcie kolejowym”, prace konferencji Wydziału Transportu Politechniki Radomskiej Logi-Trans 2007
- [4] Lewiński A., Perzyński T., Toruń A., „Tendencje rozwojowe systemów srk, na przestrzeni ostatnich lat”, Problemy Kolejnictwa, Zeszyt 3, 2014,
- [5] Lewiński A., Perzyński T., Toruń A., „ETCS jako metoda poprawy funkcjonalności i przepustowości na liniach kolejowych”, materiały konferencji LOGITRANS2015
- [6] Karaś S. „Urządzenia zabezpieczenia ruchu kolejowego” wyd. 3, WKiŁ W-wa 1986,
- [7] Lewiński A., Toruń A. The changeable block distance system analysis, Springer – Verlag Heilderberg 2010 – J. Mikulski (Ed.) TST 2010 CCIS 104, 2010
- [8] Lewiński A. „Problemy oprogramowania bezpiecznych systemów komputerowych w zastosowaniach transportu kolejowego” Politechnika Radomska Monografie nr 49/2001
- [9] Lewiński A., Perzyński T., Toruń A.: „Risk Analysis as a Basic Method of Safety Transmission System Certification”. Communications in Computer and Information Science 239), Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011
- [10] Lewiński A., Perzyński T.: The reliability and safety of railway control systems based on new information technologies. Communications In Computer and Information Science 104. Springer 2010. Transport Systems Telematics
- [11] Lewiński A., Toruń A.: „The Changeable Block Distance System Analysis”, Communications in Computer and Information Science (104), Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010
- [12] Lewiński A., Toruń A., Perzyński T.: "The Analysis of Open Transmission Standards", materiały Międzynarodowej Konferencji Transport Systems Telematics Tst2014, Monografia, Communications In Computer And Information Science, Telematics – Support Of Transport, Nr 329, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012 in Railway Control and Management
- [13] Magott J., Skrobanek P., Timing analysis of safety properties using fault trees with time dependencies and timed state-charts, Reliability Engineering & Systems Safety, 2012, vol. 97, Nr 1
- [14] Lewiński A., Toruń A., Gradowski P: "Modeling of ETCS with respect to functionality and safety including Polish Railways conditions", materiały Międzynarodowej Konferencji Transport Systems Telematics Tst2014, Monografia, Communications In Computer And Information Science, Telematics – Support Of Transport, Nr471, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014
- [15] Mickiewicz T., Mikulski A., „Elektryczne urządzenia zabezpieczenia ruchu kolejowego – urządzenia stacyjne” WKiŁ Warszawa 1968,
- [16] Miksza E., „Zblokowany system sterowania ruchem kolejowym na stacjach typu IZH 111” WKiŁ Warszawa 1979,
- [17] Norma PN-EN 50126:2002 (U) Zastosowania kolejowe. Specyfikowanie i wykazywanie Nieuszkodzalności, Gotowości, Obsługwalności i Bezpieczeństwa (RAMS). Część 1: Wymagania podstawowe i procesy ogólnego przeznaczenia.
- [18] Norma PN-EN 50128:2002 (U) Zastosowania kolejowe. Łączność, sygnalizacja i systemy sterowania. Oprogramowanie dla kolejowych systemów sterowania i zabezpieczenia.
- [19] Norma PN-EN 50129:2007 Zastosowania kolejowe. Systemy łączności, przetwarzania danych i sterowania ruchem. Elektroniczne systemy sygnalizacji związane z bezpieczeństwem.
- [20] Norma PN-EN 60812:2009 Techniki analizy nieuszkodzalności systemów. Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń (FMEA),
- [21] Norma PN-EN 61025:2007 Analiza drzewa niezdatności (FTA),
- [22] Norma PN-EN 61078:2006 Techniki analizy niezawodności – Metoda schematów blokowych niezawodności oraz metody boolowskie,
- [23] Norma PN-IEC 60300-3-9:1999 Analiza ryzyka w systemach technicznych,
- [24] Wymagania bezpieczeństwa dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym – DG PKP KA nr KA2b-5400-01/98 z dnia 06.02.1998r.,
- [25] Norma PN-EN 50159: 2010. Zastosowania kolejowe. Łączność, sygnalizacja i systemy sterowania.
- [26] Album schematów – zbiór przykładowych rozwiązań – geograficzny system stacyjnych przekątnikowych urządzeń srk typu CBP83, 1985r.
- [27] Geograficzny, zblokowany system urządzeń stacyjnych srk typu JZH 111 – dokumentacja techniczna, Katowice 1977
- [28] Grant MNil pt.: „Wpływ nowych technologii informacyjnych na poprawę funkcjonalności i bezpieczeństwa ruchu pociągów” nr 4T12C00529. Politechnika Radomska 2006.
- [29] Kombud – materiały Zakładu Automatyki KOMBUD S.A. w Radomiu
- [30] Kontron – materiały Kontron East Europe sp. z o.o
- [31] Jaźwiński J., Ważyńska – Fiok K.: „Bezpieczeństwo systemów”, PWN Warszawa 1993
- [32] Military Hand Book, Reliability Prediction of Electronic Equipment, USA Department of Defense
- [33] Quality of Service Test Specification form 11.09.2003 and parameters: GSM-R Interfaces Class 1 Requirements. SUBSET-093 z 11.10.2005r.
- [34] Winter P. and other: Compendium on ERTMS. ISBN 978-3-7771-0396-9, UIC, (1st edition 2009)

Zarządzanie majątkiem technicznym jako podstawa racjonalnego planowania rozwoju i utrzymania infrastruktury kolejowej – założenia i przegląd systemów

Technical asset management as basis for rational planning of railroad infrastructure maintenance and development – assumptions and systems review



Maciej Kaczorek

Mgr inż.

PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.,
Biuro Strategii i Rozwoju
Politechnika Warszawska, Wydział
Transportu

maciej.kaczorek@plk-sa.pl



Aleksandra Falana

Mgr inż.

PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.,
Biuro Strategii i Rozwoju

aleksandra.falana@plk-sa.pl

Streszczenie: Artykuł porusza problematykę zastosowania metody i systemów zarządzania majątkiem technicznym w procesie planowania utrzymania i rozwoju infrastruktury kolejowej. Ze względu na skalę działalności zarządców infrastruktury kolejowej warunkiem skuteczności tego działania staje się w coraz większym stopniu zastosowanie odpowiednich metod zarządczych i narzędzi informatycznych wspierających podejmowanie decyzji. Zarządzanie majątkiem technicznym, jako część zarządzania zasobami (ang. Asset Management) to działalność zmierzająca do osiągnięcia stanu równowagi pomiędzy czynnikami takimi jak: koszty, ryzyko, wydajność w taki sposób, aby zrealizować założone cele zarządcy infrastruktury. W artykule przedstawiono założenia i najważniejsze cechy i funkcjonalności systemów służących do zarządzania majątkiem technicznym. Przedstawiono przegląd systemów uwzględniający ocenę ich zaawansowania i główne wdrożenia w podmiotach związanych z infrastrukturą kolejową. Jako efekt przeglądu systemów wskazano kluczowe obszary przyszłego wykorzystania i związane z nimi korzyści.

Słowa kluczowe: Zarządzanie majątkiem technicznym; Zarządzanie zasobami; Utrzymanie infrastruktury kolejowej; Inwestycje; rozwój infrastruktury kolejowej.

Abstract: The paper deals with the application of the method and systems for technical asset management in the process of the planning of railroad infrastructure maintenance and development. Due to the scale of operations of rail infrastructure managers, the application of appropriate management methods and IT tools supporting decision making, keeps increasingly resulting in the condition of the effectiveness for this measure. Technical asset management as part of Asset Management is an activity aimed at achieving a balance between factors such as: costs, risk, and efficiency, in such a way so as to meet the objectives of the infrastructure manager. The paper presents assumptions and the most important features with functionalities of systems used to manage technical assets. A review of systems including an assessment of their advanced technology and main implementations in entities related to railroad infrastructure have been presented. As a result of systems review, key areas of future use and related benefits have been identified.

Keywords: Technical asset management; Asset management; Railroad infrastructure maintenance; Investment; Railroad infrastructure development.

Diagnoza postawiona przez autorów Białej Księgi z 1996 roku [1] wskazuje na potrzebę zwiększenia konkurencyjności sektora kolejowego wobec transportu lotniczego i drogowego. Jako kluczową przyczynę stale zmniejszającego się udziału kolei w przewozach zidentyfikowano w tym dokumencie m. in. niesatysfakcjonującą jakość i cenę usług oraz ogólny brak zdolności przedsiębiorstw kolejowych w zakresie dostosowania się do zmieniających się wymagań rynku transportowego. Odpowiedzią na te negatywne zjawiska stała się głęboka reforma ustroju kolei w Unii Europejskiej. Opiera się ona w szczególności na wdrażanym do tej pory rozdzieleniu zarządzania infrastrukturą od realizacji przewozów.

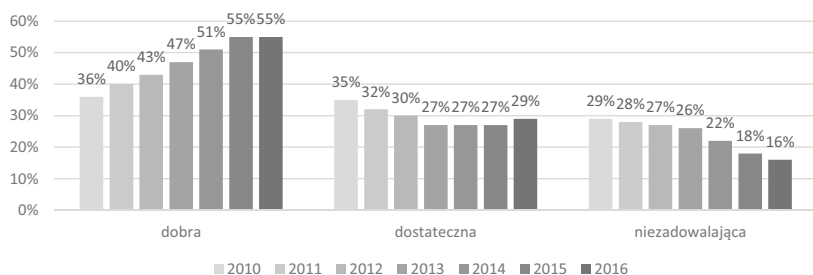
Sama zmiana strukturalna jest jednak jedynie szansą dla poprawy efektywności i konkurencyjności sektora kolejowego. W tym obszarze zasadnicze znaczenie ma formułowanie, przez zobowiązane do finansowania infrastruktury kolejowej [2] państwa członkowskie, wymagań wobec zarządców infrastruktury stymulujących do realnej poprawy funkcjonowania. Ze względu na skalę działalności zarządców infrastruktury kolejowej warunkiem skuteczności tego działania staje się jednak zastosowanie odpowiednich metod zarządczych i narzędzi informatycznych wspierających podejmowanie decyzji.

Uwarunkowanie rozwoju i utrzymania infrastruktury kolejowej

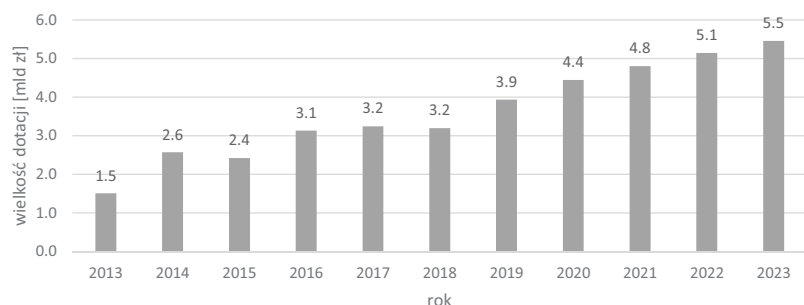
W Polsce do przedsiębiorstw prowadzących działalność z zakresu zarządzania infrastrukturą kolejową w skali całego kraju można zaliczyć jedynie PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Zarządca narodowej sieci kolejowej 31.12.2017 r. władał m.in. [3]:

- 18 513 km eksploatowanych linii kolejowych,
- 39 482 rozjazdów,
- 25 324 obiektów inżynierskich,
- 14 442 przejazdów kolejowych,
- 14 108 budowli (m. in. peronów, wiat, ekranów akustycznych).

Stan techniczny infrastruktury na przestrzeni lat 2010-2016 ulegał sukcesyw-



1. Ocena stanu technicznego infrastruktury kolejowej w latach 2010 - 2016. Źródło: [4]



2. Wielkość finansowania kosztów zarządzania infrastrukturą kolejową w latach 2013 - 2023. Źródło: [5]

nej poprawie. Jednak wg opracowania Urzędu Transportu Kolejowego [4] wciąż ok. 45% długości linii kolejowych charakteryzuje się stanem technicznym określonym jako dostateczny lub niezadowalający (rys. 1).

Poprawa stanu technicznego infrastruktury kolejowej jest wynikiem wzrostu wielkości środków publicznych kierowanych na finansowanie infrastruktury kolejowej. Dotacje te są kierowane w ramach dwóch obszarów:

- rozwoju, czyli inwestycji oraz
- działalności operacyjnej, czyli utrzymania i remontów.

Wielkość dotacji w ramach działalności operacyjnej kierowanych na rzecz PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. w wyniku przyjęcia przez Radę Ministrów programu wieloletniego Pomoc w zakresie finansowania kosztów zarządzania infrastrukturą kolejową, w tym jej utrzymania i remontów do 2023 roku [5] będzie znacząco wzrastać w okresie 2019-2023 (rys. 2).

Podobnie nakłady na działania rozwojowe ujęte w Krajowym Programie Kolejowym do 2023 roku w kolejnych latach będą wykazywały znaczny wzrost osiągając poziom 10 mld zł rocznie.

Mając na względzie politykę transportową Polski oraz UE zmierzającą do zwiększenia udziału transportu kolejowego w przewozach, należy się spodziewać, iż zwiększenie poziomu finansowania infrastruktury kolejowej będzie zjawiskiem trwałym. W tej sytuacji szczególnie istotnie staje się, aby wydatkowanie środków oparte było o precyzyjną wiedzę zgromadzoną w formie możliwej do sprawnego wykorzystania w

procesie analitycznym.

Wśród zagadnień kluczowych dla procesu decyzyjnego w planowaniu rozwoju i utrzymania infrastruktury należy wskazać:

- predykcję stanu technicznego elementów infrastruktury,
 - koszty odnowienia tych elementów.
- Założenia dla wykorzystania metod zarządzania majątkiem technicznym w procesie planowania

Zarządzanie majątkiem technicznym, jako część zarządzania zasobami (ang. Asset Management) to działalność zmierzająca do osiągnięcia stanu równowagi pomiędzy czynnikami takimi jak:

- koszty,
- ryzyko,
- wydajność

w taki sposób, aby zrealizować założone cele organizacji, w tym przypadku zarządcy infrastruktury kolejowej.

Formalną definicję zarządzania majątkiem zawiera norma ISO 55000 (dawniej PAS55) [9]. BSI PAS 55 została stworzona przez Institute of Asset Management, a pierwsza specyfikacja zarządzania zasobami została opublikowana w 2004 roku. W procesie przygotowania uczestniczyły 23 organizacje pochodzące głównie ze Zjednoczonego Królestwa. PAS 55 została zaktualizowana w roku 2008 przy udziale 49 organizacji z 10 krajów. Normy serii ISO 5500x zostały opublikowane w styczniu 2014 roku i obejmują:

- ISO 55000 Zarządzanie aktywami -- Informacje ogólne, zasady i terminologia
- ISO 55001 Zarządzanie aktywami -- Systemy zarządzania -- Wymagania
- ISO 55002 Zarządzanie aktywami

-- Systemy zarządzania -- Wytyczne dotyczące stosowania ISO 55001

W jej myśl zarządzanie majątkiem, to skoordynowane podejście w wyniku którego organizacja kompleksowo zarządza swoimi zasobami infrastrukturalnymi, optymalizując efektywność, ryzyko oraz koszty w perspektywie cyklu życia danego składnika majątku w celu osiągnięcia wizji strategicznej organizacji oraz interesariuszy. Stąd ważne jest przyjęcie podejścia top-down do wdrażania systemu zarządzania zasobami.

Doświadczenia [6, 8] wskazują na zapewnienie przez dobrze zorganizowany Asset Management następujących pozytywnych efektów:

- poprawa ogólnej wydajności finansowej,
- lepsze decyzje inwestycyjne,
- lepsze zarządzanie ryzykiem,
- wyższy poziom usług świadczonych klientom,
- większą zgodność z legislacją i przepisami,
- poprawa reputacji organizacji.

Fundamentem profesjonalnego zarządzania zasobami jest opracowanie rzetelnego długoterminowego planu utrzymania i remontów. Planowanie powinno obejmować konkretne prace, które będą służyły realizacji nadrzędnych strategicznych celów. Swoim zakresem plan powinien obejmować perspektywę ok. 20 lat. Istotne jest, aby był on opracowany na podstawie modeli zawierających szereg danych dla wszystkich elementów infrastruktury. Podstawą do opracowania planu są m.in. dokładne informacje dotyczące zasobów we wszystkich branżach, rok budowy, oczekiwany czas użycia elementów infrastruktury, czy informacje o kosztach jednostkowych. Plan długoterminowego finansowania powinien stać się narzędziem do ustalania wysokości dotacji przyznawanej z budżetu państwa lub aby zademonstrować różnicę pomiędzy dostępnym finansowaniem a wielkością środków wymaganych do realizacji przyjętych kluczowych celów.

Business Proces Management (BPM) – zarządzanie procesowe

Podstawową cechą profesjonalnej organizacji Asset Management jest zarządzanie procesami, które zastępuje organizację utrzymania i remontów zorientowaną na zadania. Wdrożenie Business Proces Management zmienia model zarządzania skupiający się na odpowiedzialności za realizację i koordyna-

cję zadań bez pełnej odpowiedzialności za czas, koszt oraz zakres prac na organizacji zorientowaną na procesy, w której menadżerowie stają się odpowiedzialni za realizację tych procesów mając kontrolę nad realizacją i wynikami: czasem, zakresem prac, kosztem. Przed wdrożeniem BPM zasadne jest zorganizowanie poszczególnych procesów w sposób jednolity w całej organizacji. W ramach wdrożenia należy określić istniejące procesy, ustalić do nich dane wejściowe oraz wyniki, przydzielić zadania, kompetencje i odpowiedzialności. Następnie powinny zostać zidentyfikowane procesy, które należy zoptymalizować.

Informatyzacja procesów

Niewątpliwą cechą profesjonalnego zarządzania zasobami jest informatyzacja procesów. W tym obszarze konieczne jest przejście od odizolowanej, osobistej wiedzy i informacji do udostępnianej wiedzy i informacji. Wymaga to spełnienia kilku warunków:

- opracowana jednoznacznej struktury zasobów,
- opracowana jednoznacznej metody opisu funkcjonalności elementów infrastruktury,
- ustandaryzowany przegląd wszystkich możliwych czynności utrzymania i remontów dla każdej branży.

Zastosowanie rozwiązania kompleksowego, czyli wdrożenie systemu Enterprise Asset Management doprowadzi m.in. do:

- jednej niezawodnej i kompletnej bazy danych elementów infrastruktury,
- jednego źródła dla wszystkich informacji wpływających na efektywność,
- jednego źródła danych dla kontroli i pomiarów,
- jednego rzetelnego długoterminowego planu finansowego utrzymania i remontów,
- jednego źródła danych związanych z jednostkowymi kosztami utrzymania i remontów,
- stworzenia bazy informacji o zrealizowanych kosztach elementów infrastruktury i linii kolejowych,
- stworzenia bazy informacji o historii utrzymania i remontów,
- wdrożenia narzędzi do analiz kosztów cyklu życia,
- wdrożenie narzędzi do zarządzania ryzykiem.

Ponadto możliwe stanie się udostępnianie, na bazie utworzonej bazy danych, wybranych informacji uprawnionym

podmiotom np. dla organów nadzoru lub przewoźników.

W kontekście bazy danych istotne jest zapewnienie jakości i aktualności danych co osiąga się przez opracowanie procesu monitorowania stanu elementów infrastruktury oraz procesu aktualizacji bazy danych. Ze względu na duży zakres danych konieczne staje się wykorzystywanie rozwiązań technicznych do inwentaryzacji linii kolejowych wykorzystujących np. dane fotogrametryczne.

Zasada optymalizacji z perspektywy cyklu życia

Analizy kosztów cyklu życia (Life Cycle Cost - LCC) są podstawą wyborów dokonywanych przez profesjonalnego zarządcę infrastruktury. Narzędzia takie posiadają funkcjonalność, która umożliwia generowanie kilku wariantów podejść do analizowanego przypadku. Dzięki temu możliwy jest wybór preferowanego wariantu, charakteryzującego się najlepszym rozwiązaniem pod względem nakładów finansowych oraz efektywności. Jest to możliwe jedynie w przypadku posiadania bazy danych z informacjami o kosztach oraz o przewidywanym okresie użytkowania. Analizy kosztów cyklu życia wskazują alternatywy i są mocnym narzędziem do informowania osób decyzyjnych o konsekwencjach finansowych podejmowanych przez nich działań.

Zarządzanie ryzykiem i jego integracja z procesami decyzyjnymi

Ryzyko określa w sposób jednoznaczny i spójny relacje między kosztami a efektywnością. Umiejętności oraz jakość organizacji zarządzającej infrastrukturą pozwala na odpowiednią ocenę strefy wpływu ryzyka co wpływa na optymalne realizowanie założonych celów Spółki. Analizowanie ryzyka powinno być integralną częścią podejmowania decyzji związanych z utrzymaniem i remontami.

Tablice wskaźników na wszystkich poziomach organizacji

Efektywność i koszty muszą być zarządzane w sposób skoordynowany. Dlatego też potrzebne są tablice wskaźników do kontrolowania efektywności, kosztów, jakości technicznej w relacji z zdefiniowanymi celami. Tablice wskaźników powinny być połączone z jednym źródłem informacji i obliczane w sposób automatyczny.

Program ciągłego rozwoju

Zarządzanie zasobami wymaga ciągłego rozwoju. Związane jest to z rozwojem samych metod zarządzania, rozwojem techniki czy nowych narzędzi pojawiających się na rynku. W programie ciągłego rozwoju istotne znaczenie ma cykl jakości Deminga: zaplanuj, wykonaj, sprawdź, popraw. Są to główne czynności, dzięki którym możliwe będzie ciągłe doskonalenie efektywności i kosztów we wszystkich procesach.

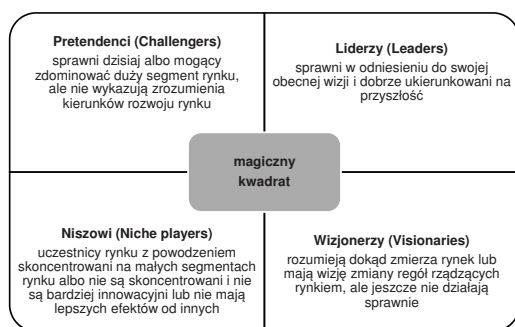
W przypadku systemów zarządzania majątkiem technicznym proces decyzyjny dotyczący prac utrzymaniowych opiera się na ocenie stanu technicznego, ryzyka, kosztu cyklu życia elementów infrastruktury, wskaźników wydajności linii kolejowych. Informacje te powinny być także wykorzystywane w procesie planowania rozwoju infrastruktury, gdyż umożliwiają ustalenie priorytetów inwestycyjnych oraz wstępną ocenę wymaganych nakładów inwestycyjnych.

Przegląd systemów

Rozwiązania informatyczne klasy enterprise dla zarządzania majątkiem technicznym oferowane są przez wiele dostawców oprogramowania. Reprezentują one różny stopień kompleksowości oferowanych funkcji oraz zaawansowania. Kompleksową analizę oferowanych systemów IT od wielu lat prowadzi amerykańska firma Gartner, Inc. To przedsiębiorstwo z niemalże 40-letnim doświadczeniem wykorzystuje do syntetycznej oceny metodę magicznego kwadratu (magic quadrant) uwzględniającą zestaw zunifikowanych kryteriów [7]. Jest to ocena uniwersalna i w przypadku każdego zastosowania wymagane jest zweryfikowanie oceny względem konkretnych celów zarządcy infrastruktury. Gartner, Inc. definiuje cztery pola magicznego kwadratu (rys. 3.)

Systemy zarządzania majątkiem technicznym wdrażane są przez wielu zarządców infrastruktury na całym świecie. Oprogramowanie to stosowane jest także przez przedsiębiorstwa budowlane zajmujące się utrzymaniem infrastruktury. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie dostawców oprogramowania i zarządców infrastruktury, którzy wdrożyli tego typu oprogramowanie.

Na podstawie analizy dostępnych informacji dotyczących powyższych systemów powstał przegląd ich funkcjonalności. Szczególnie istotne w procesie planowania rozwoju i utrzymania



3. Definicje pól magicznego kwadratu Gartner, Inc. Źródło: [7]

infrastruktury cechy i funkcjonalności systemów EAM można podzielić na trzy główne obszary:

- danych,
- analiz i prognoz,
- wspomaganie decyzji.

W obszarze danych szczególnie istotne są następujące cechy i funkcjonalności systemów:

- jedno źródło informacji i repozytorium danych - dane dotyczące utrzymania i bezpieczeństwa są zarządzane w ramach systemu, wyniki obchodów, diagnostyki i kontroli mogą być łącznie oceniane i wartościowane,
- narzędzia do importu istniejących danych i gromadzenia nowych danych o elementach infrastruktury kolejowej (również bezpośrednio z terenu),
- wprowadzanie danych odbywa się w sposób zautomatyzowany i jednocześnie proces ten podlega kontroli (kontrolą objęte są również dane, które są modyfikowane),
- możliwość bezpośredniego pobierania danych z różnych urządzeń (m.in. z komputerów, z pojazdów pomiarowych, z urządzeń mobilnych) dzięki czemu wyeliminowana może zostać nadmiarowa dokumentacja papierowa, nie ma konieczności wprowadzania danych do osobnych baz danych, co znacznie przyspiesza obieg informacji.

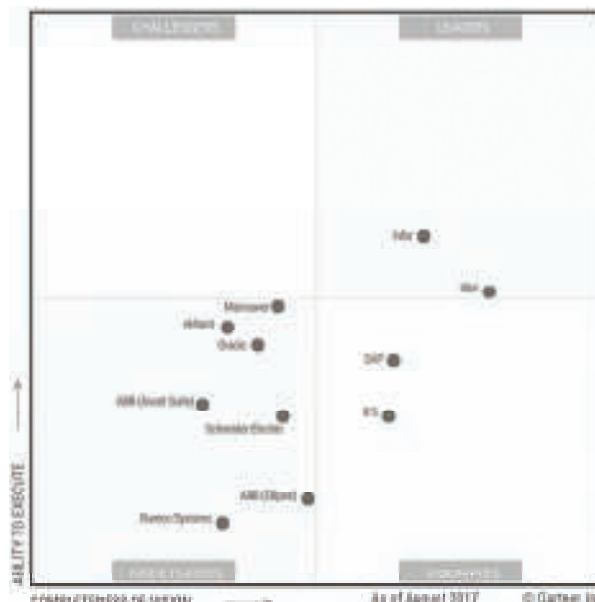
W obszarze analiz i prognoz:

- zapewnienie powiązania fizycznego i logicznego między elementami infrastruktury,
- zestaw funkcji do przechowywania, przeglądania, wizualizacji i analizowania kondycji i wydajności zasobów:
- możliwość modelowania elementów infrastruktury zarówno jako zasobów liniowych/przestrzennych, jak i punktowych,
- mapy i raporty (również graficzne) zawierające przegląd aktualnego

- stanu technicznego,
- łatwe i szybkie sortowanie oraz filtrowanie danych,
- liniowe/przestrzenne lub punktowe odniesienie dla wszystkich właściwości (atrybutów),
- zastosowanie modeli degradacji i prognoz stanu utrzymania elementów infrastruktury,
- łatwy dostęp do informacji na temat elementów infrastruktury, które są niezbędne do wymiany (zarządzanie gospodarką materiałową do planowanych prac),
- generowanie KPI,
- priorytetyzacja alarmów i usterek w oparciu o ocenę ryzyka,
- funkcjonalności systemów informacji geograficznej (GIS) lub integracja z wiodącymi systemami GIS,
- monitoring aktualnie wykonywanych prac utrzymaniowych.

Wspomaganie decyzji:

- zarządzanie cyklem życia elementów infrastruktury kolejowej,
- wsparcie identyfikacji i likwidacji wąskich gardeł,
- symulacje scenariuszy prac utrzymaniowych i remontów, pozwala symulować różne scenariusze przez co możliwe jest zapewnienie równowagi między pracami utrzymanowymi a inwestycjami,
- opracowanie budżetu na podstawie historii wykonywanej pracy, kosztów zasobów, poziomu usterek oraz na podstawie zasymulowanych scenariuszy w celu utrzymania istniejącej infrastruktury i planowania nowych inwestycji,
- automatyczne przekształcanie wyników badań diagnostycznych w



4. Magiczny Kwadrat narzędzi informatycznych do zarządzania majątkiem technicznym. Źródło: [7]

- żądanie pracy/zlecenia,
- funkcjonalności do zarządzania ryzykiem oraz optymalizacji RAMS (reliability, availability, maintainability, and safety),
- standaryzacja i optymalizacja procesów utrzymania i transfer wiedzy w systemie,
- zintegrowane i zautomatyzowane planowanie i monitorowanie wszystkich wykonanych prac i związanych z nim kosztów robocizny, materiałów i usług oraz ich pełna przejrzystość, również optymalizacja kosztów remontów.

Podsumowanie

Planowanie rozwoju i utrzymania infrastruktury jest działaniem złożonym wymagającym uwzględnienia wielu uwarunkowań nie tylko o naturze technicznej i technologicznej, ale także społecznej, ekonomicznej czy demograficznej. Analizowane zagadnienie systemowego zarządzania majątkiem technicznym, wychodzi na przeciw potrzebie wspomaganie podejmowania decyzji w zakresie planowania. Za kluczowe obszary wykorzystania i związane z nimi korzyści należy uznać: Obszar danych – aktualne, wiarygodne i dostępne dane o infrastrukturze. Umożliwia w procesie decyzyjnym posługiwanie się poprawnymi danymi, które dzięki jednorodnej strukturze mogą być sprawnie i precyzyjnie porównywane i agregowane. Zgromadzenie danych w jednym miejscu zapewnia ponadto szybki dostęp, co ma zasadnicze znaczenie przy ich analizie w trakcie bieżących procesów biznesowych.

Obszar analiz – prognozowanie zmian stanu infrastruktury stosownie do planowanych zakresów prac utrzymaniowych. Umożliwia przejście od podejmowania decyzji głównie w oparciu o aktualny stan techniczny do prognozowania zmian stanu technicznego z uwzględnieniem czynników różnicujących związanych z intensywnością (np. obciążenia ruchem o różnym charakterze), czy warunkami eksploatacji (np. ukształtowanie terenu).

Obszar wspomagania decyzji – zarządzanie cyklem życia elementów infrastruktury i symulacje scenariuszy prac utrzymaniowych. Tworzą warunki do odejścia od reaktywnego podejmowania działań w zakresie utrzymania, na rzecz proaktywnego decydowania o podjęciu tych działań zanim jeszcze dojdzie do awarii danego elementu infrastruktury. Stanowią również wskazanie do podjęcia działań inwestycyjnych, jeżeli dalsza interwencja w zakresie utrzymania i remontów miałaby być nieopłacalna. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Biała księga „Strategia restrukturyzacji wspólnotowych kolei” - COM(96)421 wersja ostateczna z 30.7.1996 r.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/34/UE z dnia 21 listopada 2012 r. w sprawie utworzenia jednolitego europejskiego obszaru kolejowego Dz.U. L 343 z 14.12.2012.
- [3] www.plk-sa.pl
- [4] Opracowanie Urzędu Transportu Kolejowego, Sprawozdanie ze stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego w 2016 r., Warszawa 2017
- [5] Program wieloletni Pomoc w zakresie finansowania kosztów zarządzania infrastrukturą kolejową, w tym jej utrzymania i remontów do 2023 roku, Uchwała nr 7/2018 Rady Ministrów z dnia 16 stycznia 2018 r.
- [6] EIM asset management working group „Good practice guide to asset management planning for rail infrastructure management”, 2014
- [7] Gartner, Inc. https://www.gartner.com/technology/research/methodologies/research_mq.jsp
- [8] Międzynarodowy Związek Kolei (UIC), Guidelines for the Application of Asset Management in Railway Infrastructure Organisations, 2010
- [9] PN-ISO 55000 Zarządzanie aktywami -- Informacje ogólne, zasady i terminologia

Tab. 1. Zestawienie wdrożenia systemów EAM u zarządców infrastruktury i przedsiębiorstw utrzymaniowych

Producent oprogramowania/nazwa	Zarządca infrastruktury kolejowej	Państwo
	Jernbaneverket (zarządca infrastruktury kolejowej)	Norwegia
	SNCF Réseau (zarządca infrastruktury kolejowej)	Francja
	Российские железные дороги - РЖД - RZD - koleje rosyjskie	Rosja
	Amtrak (zarządca infrastruktury kolejowej)	Stany Zjednoczone Ameryki
	Kiwi Rail (zarządca infrastruktury kolejowej)	Nowa Zelandia
	CNR – Country Region Network (zarządca infrastruktury kolejowej)	Australia
	SBB CFF FFS (zarządca infrastruktury kolejowej)	Szwajcaria
	Slovenske železnice (zarządca infrastruktury kolejowej)	Słowenia
	Firmy wykonujące prace utrzymaniowe	Państwo
	BAM Rail	Holandia
	Zarządca infrastruktury kolejowej	Państwo
	Network Rail (zarządca infrastruktury kolejowej)	Wielka Brytania
	Brookfield Rail (dawniej WestNet Rail - zarządca infrastruktury kolejowej)	Australia
	RailCorp (Spółka zajmująca się obsługą i utrzymaniem podmiejskiej i dalekobieżnej infrastruktury kolejowej Sydney)	Australia (Sydney)
	Zarządca infrastruktury kolejowej	Państwo
	Căile Ferate Române CFR (zarządca rumuńskiej sieci kolejowej)	Rumunia
	Infraspeed (zarządca kolei dużych prędkości HLS-Zuid)	Holandia
	FEPSA / SCP (zarządca infrastruktury towarowej – sieć i pociągi)	Argentyna
	Firmy wykonujące prace utrzymaniowe	Państwo
	Asset Rail (jedna z firm, która prowadzi utrzymanie holenderskiej infrastruktury kolejowej)	Holandia
	Zarządca infrastruktury kolejowej	Państwo
	ProRail (zarządca infrastruktury kolejowej)	Holandia
	Queensland Rail	Australia
	Zarządca infrastruktury kolejowej	Państwo
	Rete Ferroviaria Italiana (zarządca infrastruktury kolejowej)	Włochy
	Firmy wykonujące prace utrzymaniowe	Państwo
	Strukton Rail (jedna z firm, która prowadzi utrzymanie holenderskiej infrastruktury kolejowej)	Holandia
	Zarządca infrastruktury kolejowej	Państwo
	SBB CFF FFS (zarządca i przewoźnik)	Szwajcaria
	SNCF Réseau (zarządca infrastruktury kolejowej)	Francja
	Infrabel (zarządca infrastruktury kolejowej)	Belgia
	TPG (operator transportu publicznego w Genewie)	Szwajcaria
	Zarządca infrastruktury kolejowej	Państwo
	Rete Ferroviaria Italiana (zarządca infrastruktury kolejowej)	Włochy
	Mumbai Railway Vikas Corporation, MVRC (zarządca podmiejskiej kolei)	Indie
	Brookfield Rail (dawniej WestNet Rail - zarządca infrastruktury kolejowej)	Australia
	Network Rail (zarządca infrastruktury kolejowej)	Wielka Brytania
	RailCorp (zarządca infrastruktury kolejowej na południu Australii)	Australia
	Zarządca infrastruktury kolejowej	Państwo
	ProRail (zarządca infrastruktury kolejowej)	Holandia
	Slovenske železnice d.d., (zarządca i przewoźnik)	Słowenia
	Banedanmark (zarządca infrastruktury kolejowej)	Dania
	Jernbaneverket (zarządca infrastruktury kolejowej)	Norwegia
	NetworkRail (zarządca infrastruktury kolejowej)	Wielka Brytania
	HighSpeed1 (zarządca linii dużych prędkości HS1)	Wielka Brytania
	Israel Railways Ltd (zarządca i przewoźnik)	Izrael
	Office National des Chemins de Fer du Maroc (zarządca i przewoźnik)	Maroko
	DB Netz AG (zarządca infrastruktury kolejowej)	Niemcy
	Železnice Srbije a.d. – spółka akcyjna serbskich kolei	Serbia
	Российские железные дороги - РЖД - RZD - koleje rosyjskie	Rosja
	Liikennevirasto - fińska agencja transportowa, zarządca infrastruktury kolejowej, drogowej oraz transportu śródlądowego	Finlandia

Źródło: opracowanie własne

Kalkulacja stawek dostępu do infrastruktury kolejowej w świetle prawa unijnego

Calculation of access charges for rail infrastructure in the light of european union's regulations



Juliusz Engelhardt

Prof. zw. dr hab.

Uniwersytet Szczeciński, Wydział
Zarządzania i Ekonomiki Usług

juliusz.engelhardt@wzieu.pl

Streszczenie: Artykuł jest poświęcony omówieniu ewolucji przepisów Unii Europejskiej dotyczących zasad kalkulacji stawek dostępu do infrastruktury kolejowej. W przeciwieństwie od odpłatnego korzystania z infrastruktury drogowej, portowej czy lotniskowej, odpłatne udostępnianie infrastruktury kolejowej operatorom przewozów (przewoźnikom kolejowym) jest zagadnieniem relatywnie nowym w europejskim kolejnictwie, gdyż pojawiło się ono dopiero w 1991 r. w związku z podjęciem systemowych reform unijnego sektora kolejowego. W części wstępnej artykułu wskazano na dyrektywę 91/440, jako historycznie pierwszy akt prawny, który odnosił się do zagadnienia kalkulacji stawek dostępu do infrastruktury kolejowej. Następnie wskazano na przepisy dyrektywy 2001/14 przyjętej w ramach tzw. pierwszego pakietu kolejowego oraz na niejasności interpretacyjne w tym zakresie, które doprowadziły do procesów przed Trybunałem Sprawiedliwości Unii Europejskiej, przy czym najważniejszym z nich był proces przeciwko Polsce, zakończony wyrokiem z 30 maja 2013 r. W końcowej części artykułu znalazły się odniesienia do tego wyroku, a także do nowych przepisów w sprawie kalkulacji stawek dostępu do infrastruktury kolejowej zawartych w dyrektywie 2012/34 oraz wydanym na jej podstawie rozporządzeniu wykonawczym 2015/909.

Słowa kluczowe: Infrastruktura kolejowa; Stawki opłat; Różnicowanie opłat

Abstract: The article presents evolution of EU's regulations referring to the rules of calculation of access charges for rail infrastructure. In the opposite to payable utilization of road, harbor or airport infrastructure, payable access to the rail infrastructure for transport operators (rail carriers) is a relatively new issue in the European railways, because it emerged just in 1991 in relation with taken up system reforms of EU's rail sector. In the introductory part of the article, the Directive 91/440 has been indicated as a historically first law act that referred to the issue of calculation of access charges for rail infrastructure. Next, there were presented regulations of the Directive 2001/14 adopted within so called first railway package and vagueness in their interpretation, which led to the trials before the European Court of Justice, whereas the most important was the one against Poland, ended with the sentence on the 30th of May 2013. The final part of the article presents references to this sentence and to the new regulations referring to the charges for the access to rail infrastructure, included in the Directive 2014/34 and executive ordinance 2015/909 issued on its basis.

Keywords: Rail infrastructure; Charges; Charges differentiating

Zasady kalkulacji stawek dostępu do infrastruktury kolejowej po raz pierwszy zostały określone w dyrektywie 91/440 w sprawie rozwoju kolei wspólnoty uchwalonej w lipcu 1991 roku. Art. 8 przywołanej dyrektywy stanowił, że „Jednostka zarządzająca infrastrukturą pobiera opłaty za korzystanie z infrastruktury kolejowej, za którą jest odpowiedzialna. Opłaty ponoszone są przez przedsiębiorstwa kolejowe i grupy międzynarodowe korzystające z infrastruktury. Po konsultacji z jednostką zarządzającą, państwa członkowskie ustanowią zasady określania takiej opłaty”. Ustanowienie zasady odpłatnego korzystania z

infrastruktury kolejowej w 1991 r. było jednym z filarów nowej polityki Unii Europejskiej w sektorze kolejowym i w sposób oczywisty łączyło się z innym filarem tej polityki w postaci ustanowienia zasady oddzielenia funkcji zarządzania infrastrukturą kolejową od funkcji eksploatacji (wykonywania przewozów) w przedsiębiorstwach kolejowych. Dyrektywa 91/440 jedynie w sposób bardzo ogólny odnosiła się do zasad kalkulacji opłaty za dostęp do infrastruktury, poprzez dość lakoniczne stwierdzenie w przywołanym art. 8, że „Opłata wnoszona przez użytkownika, która obliczana jest w sposób pozwalający na unik-

nięcie dyskryminacji przedsiębiorstw kolejowych, może w szczególności uwzględniać ilość kilometrów, skład pociągu i wszelkie specyficzne wymogi, takie jak prędkość, obciążenie na oś oraz stopień lub okres korzystania”. Po wejściu w życie dyrektywy 91/440, w latach 1992 – 1995, pojawiło się wiele praktycznych problemów i trudności związanych z wdrażaniem jej fundamentalnych zasad. Zarysowany nowy model funkcjonowania sektora kolejowego w państwach członkowskich był, bowiem na wskroś rewolucyjny a jednocześnie na tyle ogólny, że pojawiło się szereg pytań i wątpliwości. Rewolucyjność nowego modelu po-

legała w szczególności na zaleceniu wydzielenia ze „starych” przedsięwzięć kolejowych infrastruktury kolejowej i ustanowieniu nowych zasad zarządzania tym segmentem kolei. Ponadto pojawiło się szereg wątpliwości na tle zasad ustanawiania, kalkulacji i pobierania opłat za dostęp do infrastruktury kolejowej.

Po kilkuletnich dyskusjach i przygotowaniach, w celu ułatwienia procesu wdrożenia postanowień dyrektywy 91/440 Rada Wspólnot Europejskich przyjęła 19 czerwca 1995 roku między innymi dyrektywę oznaczoną numerem 95/19, która dotyczyła alokacji potencjału infrastruktury kolejowej i pobierania opłat za infrastrukturę. Przepisy tej dyrektywy, nie wnosili jednak nowych elementów, co do zasad kalkulacji stawek dostępu do infrastruktury kolejowej, w porównaniu z dyrektywą 91/440. Nadal brakowało precyzyjnego określenia, jakie kategorie kosztowe powinny być uwzględniane w kalkulacji stawek dostępu do infrastruktury, a jakie nie powinny. Ponadto nieznanym był katalog potencjalnych ulg, które można udzielać użytkownikom infrastruktury kolejowej oraz zasad udzielania tych ulg. Taka sytuacja niedookreślenia przepisów wywoływała słuszne postulaty wobec Komisji Europejskiej, ażeby ustanowić nowe, bardziej precyzyjne zasady odnośnie opłat za dostęp do infrastruktury kolejowej.

Dyrektywa 2001/14

Ostatecznie dyrektywa 95/19 została uchylona dyrektywą 2001/14/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 lutego 2001 r. w sprawie alokacji zdolności przepustowej infrastruktury kolejowej i pobierania opłat za użytkowanie infrastruktury kolejowej oraz przyznawania świadectw bezpieczeństwa, przyjętą w ramach tzw. pierwszego pakietu kolejowego. Art. 7, ust. 3 przywołanej dyrektywy 2001/14 określał, że „...opłaty za minimalny pakiet dostępu i dostęp do torów w celu obsługi urządzeń zostaną ustalone po koszcie, który jest bezpośrednio ponoszony jako rezultat wykonywania przewozów

pociągami”.

Wprowadzenie w życie tego przepisu oraz utrzymywanie zasady, że to państwa członkowskie we własnym zakresie określają szczegółowe zasady taryfowe stawek, spowodowało, że w latach 2001 – 2012 poszczególne kraje wprowadziły systemy kalkulacyjne stawek dostępu do infrastruktury kolejowej w oparciu o własne interpretacje treści pojęcia „kosztu, który jest bezpośrednio ponoszony jako rezultat wykonywania przewozów pociągami”. Podkreślić przy tym należy, iż Komisja Europejska stosowała na swój użytek własną interpretację tego pojęcia, dalece odmienną o stanowisk wielu krajów członkowskich, co doprowadziło do spekulacyjnych procesów przez Trybunał Sprawiedliwości Unii Europejskiej, które Komisja Europejska wytoczyła w październiku 2010 r. przeciwko Polsce i kilku innym krajom.

Sprawa C – 512/10 przeciwko Polsce

Postępowanie przed Trybunałem w tej sprawie zasadzało się na zarzucie Komisji Europejskiej, że Polska nie wdrożyła zasady wynikającej z dyrektywy 2001/14 zgodnie, z którą „opłaty za minimalny pakiet dostępu i dostęp do torów w celu obsługi urządzeń zostaną ustalone po koszcie, który jest bezpośrednio ponoszony, jako rezultat wykonywania przewozów pociągami” (art. 7, ust. 3). Zdaniem Komisji zacytowany przepis odwoływał się do pojęcia „kosztów krańcowych”, które oznacza jedynie koszty, jakie powstają wskutek faktycznego przejazdu i przewozu pociągiem, a nie koszty stałe, które obejmują oprócz kosztów związanych z przejazdem i przewozem pociągiem, również koszty ogólnego funkcjonowania infrastruktury, ponoszone nawet, jeśli przejazd pociągiem nie następuje. W ramach toczącego się postępowania strona polska argumentowała, że polskie przepisy ustawowe dokładnie odzwierciedlają przepisy dyrektywy 2001/14. Natomiast twierdzenie Komisji, że „koszt, bezpośredni ponoszony, jako rezultat wykonywania przewozów pociągami”

jest „kosztem krańcowym” strona polska uznała za bezpodstawne i podkreślała, że szczególnie przy braku definicji unijnej tego pierwszego pojęcia, Państwa Członkowskie mają pewną swobodę w zakresie określenia, co wchodzi w skład takiego kosztu bezpośredniego i oparcia na nim wysokości opłat za dostęp do infrastruktury kolejowej.

Rzecznik Generalny Trybunału nie podzielił stanowiska Komisji Europejskiej w sprawie restrykcyjnego – jego zdaniem – poglądu, co do równości kategorii „kosztów krańcowych” i „kosztów bezpośrednich ponoszonych, jako rezultat wykonywania przewozów pociągami”. Wyrzucił też pogląd, iż próba podania dokładnego znaczenia prawnego tego pojęcia prawa Unii jest zbędna, gdyż chodzi o pojęcie z zakresu nauk ekonomicznych, którego stosowanie wywołuje poważne trudności w praktyce. Uznał też prawidłowość polskich przepisów ustawowych odnośnie kalkulacji stawek. Jednakże Rzecznik podniósł inną argumentację. Zakwestionował określenie, w przepisach wykonawczych do ustawy o transporcie kolejowym, bazy wyjściowej do kalkulacji stawek, która – pomocniczo do ustawy – została zapisana w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i stwierdził, że te przepisy w nieunikniony sposób prowadzą do uwzględnienia przy ustaleniu opłaty pobieranej za minimalny pakiet dostępu oraz za dostęp do urządzeń związanych z obsługą pociągów, kosztów, które nie mogą być uznane za koszty bezpośrednio ponoszone, jako rezultat wykonywania przewozów pociągami. W szczególności, zdaniem Rzecznika, koszty utrzymania lub prowadzenia ruchu kolejowego wymienione w przepisach wykonawczych tylko częściowo mogą być uznane za koszty bezpośrednio ponoszone, jako rezultat wykonywania przewozów pociągami, gdyż obejmują koszty stałe, jakie musi ponieść zarządca po dopuszczeniu do ruchu odcinka sieci kolejowej nawet, jeśli przejazd pociągiem nie następuje, natomiast bez związku z wykonywaniem przewozów pociągami

Tab. 1. Definicje kosztów uwzględnianych w kalkulacji opłat za dostęp do infrastruktury kolejowej

Rodzaj kosztu	Definicja
Koszt bezpośredni	Koszt, który jest bezpośrednio ponoszony jako rezultat przejazdu pociągu.
Bezpośredni koszt jednostkowy	Bezpośredni koszt za pociągokilometr, pojazdokilometr, brutotonokilometr pociągu lub ich połączenie.
Koszty bezpośrednie całej sieci	Różnica między kosztami zapewniania usług minimalnego pakietu dostępu i dostępu do infrastruktury łączącej obiekty infrastruktury usługowej z jednej strony, a z drugiej strony kosztami niekwalifikowanymi. W szczególności następujące koszty: - koszty personelu niezbędnego do zapewnienia eksploatacji danego odcinka linii, jeżeli wnioskodawca zwraca się o wykonywanie danego przewozu pociągiem poza zwykłymi godzinami otwarcia tej linii, - koszty tej części infrastruktury punktowej, łącznie z rozjazdami i skrzyżowaniami, która jest narażona na zużycie w wyniku przejazdu pociągu, - część kosztów remontów i utrzymania przewodu napowietrznego lub zelektryfikowanej trzeciej szyny oraz urządzeń wspomagających linii napowietrznej, bezpośrednio ponoszonych jako rezultat wykonywania przewozów pociągami, - koszty personelu niezbędnego do przygotowania przydzielania tras pociągów i rozkładów jazdy, w zakresie, w jakim są bezpośrednio ponoszone jako rezultat przejazdu pociągu.
Średnie bezpośrednie koszty jednostkowe dla całej sieci	Koszty bezpośrednie na całej sieci podzielone przez całkowitą liczbę prognozowanych lub rzeczywistych pojazdokilometrów, pociągokilometrów lub brutotonokilometrów.

Źródło: Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2015/909 ..., op. cit.

Tab. 2. Koszty obligatoryjnie nieuwzględniane w kalkulacji stawek dostępu do infrastruktury kolejowej

Koszty niekwalifikowalne	Koszty stałe związane z udostępnianiem odcinka linii, które zarządca infrastruktury musi ponieść nawet w przypadku braku ruchu pociągów,
	Koszty, które nie odnoszą się do płatności dokonanych przez zarządcę infrastruktury,
	koszty lub centrów kosztów, które nie są bezpośrednio związane z zapewnianiem usług minimalnego pakietu dostępu lub dostępu do infrastruktury łączącej obiekty infrastruktury usługowej,
	Koszty nabycia, sprzedaży, demontażu, dekontaminacji, rekultywacji lub dzierżawy gruntu lub innych środków trwałych,
	Koszty pośrednie w całej sieci, w tym pośrednie koszty wynagrodzeń i emerytur,
	Koszty związane z postępowaniem technologicznym lub wyjściem z użycia,
	Koszty finansowania,
	Koszty wartości niematerialnych i prawnych,
	Koszty przytorowych czujników, przytorowych urządzeń komunikacyjnych i urządzeń sygnalizacyjnych, jeżeli nie są bezpośrednio ponoszone w wyniku przejazdu pociągu,
	Koszty informacji, urządzeń komunikacyjnych nieznajdujących się przy torach lub urządzeń telekomunikacyjnych,
	Koszty dotyczących poszczególnych przypadków działania siły wyższej, wypadków i zakłóceń przewozów,
	Koszty zasilania elektrycznego trakcji, jeżeli nie są bezpośrednio ponoszone w wyniku wykonywania przewozów pociągami. Bezpośrednie koszty przejazdu pociągu, który nie wykorzystuje urządzeń zasilania elektrycznego, nie obejmują kosztów korzystania z urządzeń zasilania elektrycznego,
	Koszty związane z dostarczaniem informacji, chyba że są ponoszone jako rezultat przejazdu pociągu,
	Koszty administracyjne ponoszone w ramach systemów różnicowania opłat,
	Koszty amortyzacji, która nie jest określana na podstawie rzeczywistego zużycia infrastruktury w wyniku przejazdu pociągu,
	Część kosztów utrzymania i remontów infrastruktury cywilnej, które nie są bezpośrednio ponoszone w wyniku przejazdu pociągu.

Źródło: Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2015/909 ..., op. cit.

mi pozostają koszty finansowe. Podsumowaniem stanowiska Rzecznika Generalnego było stwierdzenie, że Rzeczpospolita Polska naruszyła odpowiedni przepis dyrektywy 2001/14.

Przeróbka (recast) pierwszego pakietu kolejowego – dyrektywa 2012/34

W czasie, kiedy w Luksemburgu toczyły się procesy wytoczone przez Komisję Europejską grupie 12 krajów członkowskich z powodu naruszenia

zasad pierwszego pakietu kolejowego, w tym przeciwko Polsce w sprawie nieprawidłowości w systemie kalkulacyjnym stawek dostępu do infrastruktury kolejowej, trwały intensywne prace na tzw. przeróbką pierwszego pakietu kolejowego. 21 listopada 2012 r. Parlament Europejski i Rada przyjęły dyrektywę 2012/34 w sprawie utworzenia jednolitego europejskiego obszaru kolejowego. W art. 31, ust. 3 tej dyrektywy zawarto zmodyfikowany przepis odnośnie kategorii kosztowej, na której powinny opierać się stawki dostępu do infrastruktury kolejowej, w brzmieniu: „...opłaty za minimalny pakiet dostępu i za dostęp do infrastruktury łączącej obiekty infrastruktury usługowej ustala się po koszcie, który jest bezpośrednio ponoszony jako rezultat przejazdu pociągu”. W porównaniu z analogicznym przepisem z dyrektywy 2001/14 zmiana polegała jedynie na obligatoryjnym włączeniu do systemów kalkulacyjnych opłat „za dostęp do infrastruktury łączącej obiekty infrastruktury”, natomiast kategoria „kosztu, który jest bezpośrednio ponoszony jako rezultat przejazdu pociągu” pozostała bez zmian. Wobec tego, można stwierdzić, że przyjęcie dyrektywy 2012/34 nie miało już żadnego znaczenia dla toczącego się w Luksemburgu procesu przeciwko Polsce. Istotna natomiast była zawarta w dyrektywie zapowiedź przyjęcia przez Komisję przed dniem 16 czerwca 2015 r. zasad obliczania kosztów, które są bezpośrednio ponoszone w wyniku prowadzenia ruchu pociągów. Oznaczało to wyznaczenie terminu, w którym Komisja Europejska zobowiązywała się do bardziej szczegółowego określenia, obowiązującego jednolicie wszystkie kraje członkowskie, zasad system kalkulacyjnego stawek dostępu do infrastruktury kolejowej.

Wyrok Trybunału Sprawiedliwości UE z 30 maja 2013 r.

Trybunał Sprawiedliwości orzekł ostatecznie, że „umożliwiając, przy obliczaniu opłaty za minimalny pakiet dostępu i dostęp do urządzeń związanych z obsługą pociągów, uwzględnienie

kosztów, które nie mogą być uznane za bezpośrednio ponoszone, jako rezultat wykonywania przewozów pociągami, Rzeczpospolita Polska uchybiła zobowiązaniom, które na niej ciążyą na mocy art. 7 ust. 3 dyrektywy 2001/14/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 lutego 2001 r. w sprawie alokacji zdolności przepustowej infrastruktury kolejowej i pobierania opłat za użytkowanie infrastruktury kolejowej oraz przyznawania świadectw bezpieczeństwa, zmienionej dyrektywą 2004/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. Wyrokiem tym Trybunał zakwestionował polski system kalkulacyjny stawek dostępu do infrastruktury kolejowej, który można było określić, jako system kalkulacji wynikowej. W systemie tym punktem wyjściowym kalkulacji stawek dostępu były koszty całkowite świadczenia usług dostępu do infrastruktury, od których odejmowano kwotę dotacji budżetowej „zastępującej”, a konkretnie finansującej część tych kosztów, określając w ten sposób tzw. koszty kalkulacyjne, czyli tą część kosztów, która później była dzielona przez pracę eksploatacyjną, w celu wyznaczenia poziomu stawek jednostkowych. Warto przytoczyć również niektóre wskazówki dla konstrukcji systemu kalkulacyjnego stawek dostępu do infrastruktury kolejowej, jakie wynikają z uzasadnienia Wyroku. Według Trybunału:

- koszty związane z sygnalizacją, prowadzeniem ruchu, utrzymaniem i naprawami mogą różnić się, przynajmniej częściowo, w zależności od natężenia ruchu i w rezultacie mogą być uznane za koszty, które są w części bezpośrednio ponoszone, jako rezultat wykonywania przewozów pociągami,
- w zakresie, w jakim obejmują one koszty stałe związane z dopuszczeniem do ruchu odcinka sieci kolejowej, jakie musi ponieść zarządca nawet, jeśli przejazd pociągiem nie następuje, koszty utrzymania lub prowadzenia ru-

Tab. 3. Różnicowanie bezpośrednich kosztów jednostkowych dla celów kalkulacji opłaty za dostęp do infrastruktury kolejowej

Parametry różnicowania średnich bezpośrednich kosztów jednostkowych w celu uwzględnienia różnych poziomów zużycia infrastruktury	• długość pociągu lub liczba pojazdów w pociągu
	• masa pociągu,
	• rodzaj pojazdu, szczególnie jego masa nieresorowana,
	• prędkość pociągu,
	• moc trakcyjna pojazdu silnikowego,
	• nacisk osi lub liczba osi,
	• odnotowana liczba kół z płaskimi miejscami lub skuteczne zastosowanie sprzętu służącego ochronie przed poślizgiem kół,
	• sztywność wzdłużna pojazdów i siły poziome mające wpływ na tor,
	• wykorzystana i zmierzona energia elektryczna lub dynamika pantografów lub ślizgaczy tyżowych jako parametr opłaty za zużycie przewodu napowietrznego lub zelektryfikowanej szyny,
	• parametry toru, w szczególności promienie zakrętów,
• wszelkie inne parametry związane z kosztami, jeżeli zarządca infrastruktury potrafi wykazać organowi regulacyjnemu, że wartości dla każdego parametru, w tym w stosownych przypadkach zmiany w ramach każdego parametru, są obiektywnie mierzone i rejestrowane.	

Źródło: Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2015/909 ..., op. cit.

chu kolejowego ... powinny być uznane za koszty tylko częściowo bezpośrednio ponoszone, jako rezultat wykonywania przewozów pociągami,

- koszty pośrednie i koszty finansowe ... nie mają w oczywisty sposób żadnego bezpośredniego związku z wykonywaniem przewozów pociągami,
- w zakresie, w jakim amortyzacja nie jest dokonywana na podstawie rzeczywistego zużycia infrastruktury wynikającego z ruchu kolejowego, lecz zgodnie z zasadami rachunkowości, również nie może być ona uznana za wynikającą bezpośrednio z wykonywania przewozów pociągami.

Można zauważyć, że zasada ogólna systemu kalkulacyjnego stawek dostępu do infrastruktury kolejowej, w świetle Wyroku, całkowicie abstrahuje od kwot dotacji budżetowych udzielanych zarządcy infrastruktury. Należy, więc uznać, że koszty uwzględniane w kalkulacji stawek, ich rodzaj i zakres to zupełnie autonomiczna kwestia w stosunku do dotacji budżetowej na utrzymanie infrastruktury. Ta ostatnia powinna być udzielana zarządcy na odrębnych zasadach, przy czym prawo unijne nie wprowadza tu większych ograniczeń, wskazując jedynie, że państwo powinno zawierać z zarządcą infrastruktury umowy obejmujące okresy nie krótsze niż trzy lata, przewidujące finansowanie ze strony

państwa, przy czym, w umowach takich obligatoryjnie mają znajdować się również tzw. zachęty do zmniejszania kosztów zapewniania infrastruktury i wielkości opłat za dostęp.

Trybunał, z natury swoich kompetencji, zajmował się przepisami prawa i unikał zajęcia stanowiska w sprawach ekonomii zarządców infrastruktury, nie mniej jednak nie do końca mógł odejść od problematyki ekonomicznej. Odrzucił wprowadzenie lansowaną przez Komisję Europejską kategorię „kosztów krańcowych”, jako bazę do kalkulacji stawek, ale wprowadził do obiegu prawnego kategorię ekonomiczną „kosztów stałych” ponoszonych, jako rezultat wykonywania przewozów pociągami, które nie mogą być włączane do kalkulacji stawek oraz „pozostałych kosztów” ponoszonych, jako rezultat wykonywania przewozów pociągami, które mają być podstawą kalkulacji stawek. Tym samym Trybunał, wprowadził pośrednio, wskazał na kategorię „kosztów zmiennych” ponoszonych, jako rezultat wykonywania przewozów pociągami, jako bazę do kalkulacji stawek dostępu do infrastruktury kolejowej. Natomiast fakt, że w ekonomii teoretyczne pojęcie „kosztu krańcowego” rozumianego, jako przyrost kosztów całkowitych wynikających z przyrostu produkcji o jednostkę, jest równoznaczne z praktyczną kategorią występującą w przedsiębiorstwach w postaci „jednostkowego kosztu zmiennego” produkcji, to już zupeł-

nie inna sprawa. Teoretyczna kategoria ekonomii określana, jako „koszt krańcowy” to w praktyce funkcjonowania przedsiębiorstw wielkość równoznaczna kategorii „jednostkowego kosztu zmiennego” rozpatrywanego w krótkim okresie czasu. Ponieważ zmiana kosztów całkowitych w krótkim okresie może być spowodowana tylko zmianą kosztów zmiennych całkowitych, dlatego też koszty krańcowe (marginalne) można określić, jako przyrost kosztów zmiennych całkowitych o jednostkę.

W związku z wprowadzeniem (pośrednio) zasady kalkulacji stawek dostępu do infrastruktury kolejowej w oparciu o kategorię kosztów zmiennych bezpośrednich ponoszonych, jako rezultat wykonywania przewozów pociągami, będących w istocie kosztami krańcowymi (marginalnymi), można przewidywać pojawienie się pewnych trudności merytorycznych z prawidłową implementacją nowych zasad kalkulacji stawek dostępu do infrastruktury kolejowej według Wyroku Trybunału, nie tylko w Polsce, ale też w innych krajach członkowskich Unii Europejskiej, o ile Komisja Europejska będzie dążyć do powszechnego stosowania tych zasad. Można też przyjąć, że do momentu, kiedy na poziomie całej Unii Europejskiej nie zostanie ujednolicone pojęcie „kosztów, które są bezpośrednio ponoszone w wyniku prowadzenia ruchu pociągów” nadal będą utrzymywały się systemy kalkulacyjne stawek dostępu, deklaratywnie oparte na kosztach bezpośrednich, ale kształtowane indywidualnie w zależności od wewnętrznej polityki danego kraju i możliwości finansowych pokrycia dotacjami pozostałych, niepokrytych ze stawek, kosztów działalności operacyjnej zarządców infrastruktury.

Rozporządzenie wykonawcze 2015/909

W związku ze wskazanymi wątpliwościami, pewne nadzieje wiązano z nowym rozporządzeniem Komisji Europejskiej, które miało być wydane na podstawie delegacji zawartej

w dyrektywie 2012/34 („przeróbka” pierwszego pakietu kolejowego), w którym Komisja powinna była precyzyjnie zdefiniować pojęcie „kosztów, które są ponoszone bezpośrednio, jako rezultat przejazdu pociągu”. Rozporządzenie zostało wydane, wiąże w całości i jest bezpośrednio stosowane od 1 sierpnia 2015 roku we wszystkich państwach członkowskich. Przywołane rozporządzenie rozczarowuje jednak przyjętym sposobem zdefiniowania najistotniejszej dla obowiązującego systemu kalkulacyjnego stawek dostępu do infrastruktury kolejowej kategorii kosztowej. Zapisano w nim, że po pierwsze, tak jak w dyrektywie 2012/34 „koszt bezpośredni” oznacza koszt, który jest bezpośrednio ponoszony, jako rezultat przejazdu pociągu, a po drugie, że „koszty bezpośrednie na całej sieci oblicza się, jako różnicę między kosztami zapewniania usług minimalnego pakietu dostępu i dostępu do infrastruktury łączącej obiekty infrastruktury usługowej z jednej strony, a z drugiej strony kosztami niekwalifikowanymi” zob. tabela 1. Z kolei koszty niekwalifikowane to zapisana z użyciem zwrotu „w szczególności”, czyli w sposób niewyczerpujący, lista kilkunastu pozycji niekwalifikujących się do kosztów bezpośrednich, na czele z pozycją „koszty stałe związane z udostępnianiem odcinka linii, które zarządca infrastruktury musi ponosić nawet w przypadku braku ruchu pociągów” - zob. tabela 2. W ten sposób, cytowane rozporządzenie w kwestii kosztów, które są ponoszone bezpośrednio, jako rezultat przejazdu pociągu i które są fundamentem całego systemu kalkulacyjnego stawek, niczego do końca nie rozstrzyga, pozostawiając państwom członkowskim nadal duży margines własnych możliwości interpretacji tych przepisów, ale też i narażając je potencjalnie na możliwe w przyszłości postępowania sporne. Dodatkowym czynnikiem dającym szerokie możliwości interpretacyjne zasad kalkulacji stawek dostępu do infrastruktury kolejowej jest szeroki katalog potencjalnych kryteriów różnicowania tych stawek - zob. tabela 3.

Wydaje się, że dużym paradoksem

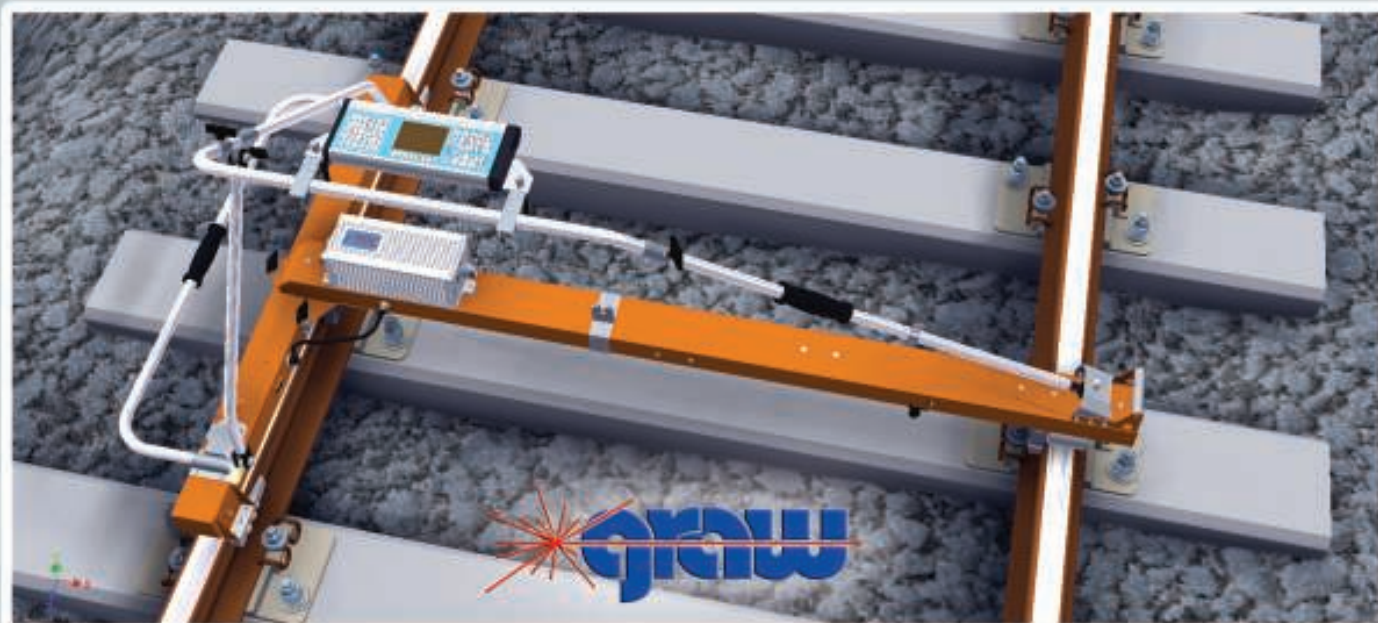
w całej opisaney wyżej sprawie jest fakt, że z jednej strony Trybunał w swoim Wyroku wobec Polski zakwestionował tzw. wynikowe określanie kosztów bezpośrednich ponoszonych, jako rezultat przejazdu pociągu (koszty całkowite zarządcy infrastruktury kolejowej minus dotacja budżetowa służąca pokryciu, a więc sfinansowaniu, kosztów innych niż bezpośrednie) a nawet nie wspomniał, że taki właśnie stan faktyczny miał miejsce w Polsce w czasie rozpatrywania skargi Komisji. Z drugiej strony Komisja w 2015 roku wprowadziła rozporządzenie wykonawcze, w którym „koszty bezpośrednie ponoszone, jako rezultat przejazdu pociągu” oblicza się właśnie metodą wynikową (koszty całkowite zarządcy infrastruktury kolejowej minus koszty niekwalifikowalne, czyli te koszty, które mają być pokryte, a więc sfinansowane, dotacją budżetową). Można oczywiście podnosić, że polski system nakazywał uwzględnienie kwoty dotacji przy tym wyliczeniu, a więc elementu związanego niewątpliwie z prowadzoną polityką transportową, a system określony w rozporządzeniu Komisji 2015/909 nakazuje uwzględnienie enumeratywnie wyszczególnionych pozycji kosztowych, jako kosztów do pokrycia z dotacji, czyli że jest potencjalnie lepszy, bardziej precyzyjny i właściwy oraz zgodny z prawem unijnym, ale nie zmienia to faktu, że ma charakter wynikowy, który uprzednio został zakwestionowany przez Trybunał. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 1991, L 237/25
- [2] Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich 1995, L 143/75.
- [3] Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich 2001, L 75.
- [4] Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich 2012, L 343/32.
- [5] Wyrok Trybunału z dnia 30 maja 2013 roku w sprawie C – 512/10.

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 Brzeziny

tel. +48 12/633 59 22

fax +48 12/397 52 20

www.rekma.pl

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



SPECJALISTYCZNE PRACE DROGOWE



PN-EN ISO 9001:2009