

przegląd komunikacyjny

6
2019
rocznik LXXIV
cena 25,00 zł
w tym 5% VAT



UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU



Projektowanie, budowa i utrzymanie Infrastruktury w transporcie szynowym

eISSN
2544-6037

ISSN
0033-22-32

Pomiary zużycia przekroju szyn w torach pętli tramwajowej. Współczynniki aerodynamiczne pojazdów kolejowych w zagadnieniu oddziaływania wiatru bocznego – wprowadzenie i badania wstępne. Modelowanie numeryczne geometrii wzorców wad powierzchniowych szyn kolejowych. Analiza występowania wad typu headcheck w szynach. Terminale intermodalne, aspekty wyboru rozwiązań projektowych

Podstawowe informacje dla Autorów artykułów

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

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

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

artykuly@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

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

www.transportation.overview.pwr.edu.pl

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

1. Tekst artykułu powinien być napisany w jednym z ogólnodostępnych programów (np. Microsoft Word). Wzory i opisy wzorów powinny być wkomponowane w tekst. Tabele należy zestawić po zakończeniu tekstu. Ilustracje (rysunki, fotografie, wykresy) najlepiej dołączyć jako oddzielne pliki. Można je także wstawić do pliku z tekstem po zakończeniu tekstu. Możliwe jest oznaczenie miejsc w tekście, w których autor sugeruje wstawienie stosownej ilustracji lub tabeli. Obowiązują 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 oddzielnych 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 MNIŚW, co pozwala zaliczyć je, po opublikowaniu, do dorobku naukowego z punktacją przyznaną w toku oceny czasopism naukowych – aktualnie jest to **8 punktów** (wg wykazu czasopism MNIŚW z dnia 26-01-2017 r.).

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

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

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

Ceny są negocjowane indywidualnie w zależności od zakresu zlecenia. Możliwe są atrakcyjne upusty. Patronat obejmuje:

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

www.transportation.overview.pwr.edu.pl

Ramowa oferta dla „Sponsora strategicznego” czasopisma Przegląd Komunikacyjny

Sponsor strategiczny zawiera umowę z wydawcą czasopisma na okres roku kalendarzowego z możliwością przedłużenia na kolejne lata. Uprawnienia wydawcy do zawierania umów posiada Zarząd Krajowy SITK w Warszawie.

Przegląd Komunikacyjny oferuje dla sponsora strategicznego następujące świadczenia:

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

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

Przegląd Komunikacyjny ukazuje się jako miesięcznik.

Szczegółowy zakres świadczeń oraz detale techniczne (formaty, sposób i terminy przekazania) są uzgadniane indywidualnie.

Osoba kontaktowa w tej sprawie:

Hanna Szary

hanna.szary@sitkrp.org.pl

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

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





Na okładce: Infrastruktura kolejowa. Źródło: Pexels

Drodzy Czytelnicy!

Czerwcowy numer Przeglądu Komunikacyjnego poświęcamy infrastrukturze transportu szynowego. Pierwszy artykuł dotyczy zagadnienia pomiarów zużycia przekroju szyn w torach pętli tramwajowej. Autor dokonuje przeglądu stosowanych metod i urządzeń pomiarowych. Opisuje sposób wykonania pomiarów profilomierzem mechaniczno-elektronicznym oraz toromierzem mechanicznym. Przedstawia propozycję graficznego sposobu analizy wyników pomiarów zużycia przekroju szyn w powiązaniu z pomiarami szerokości toru. Jednym z wniosków sformułowanych na końcu artykułu jest potrzeba rozstrzygnięcia problemu na jakiej głębokości należy mierzyć zużycie boczne w torach tramwajowych. Drugi artykuł omawia badania wstępne nad współczynnikami aerodynamicznymi pojazdów kolejowych w zagadnieniu oddziaływania wiatru bocznego. Odniesiono się do problemu stateczności pojazdów przy wietrze bocznym i omówiono wpływ prędkości pojazdu na to zjawisko. Przedstawiono wyniki wstępnych badań własnych, których celem było rozpoznanie możliwości obliczeniowych analiz CFD (Computational Fluid Dynamics), jako narzędzia do numerycznego wyznaczania współczynników aerodynamicznych na potrzeby dalszych badań prowadzących do opracowania metody analizy drgań układu pociąg – most, poddanego działaniu wiatru bocznego.

Kolejny artykuł dotyczy modelowania numerycznego geometrii wzorców wad powierzchniowych szyn kolejowych. Wykorzystano do tego celu aplikację grafiki komputerowej opartą o krzywe Bezie-ra, zaimplementowaną w programie symulacyjnym UM Loco. Pozwoliło to na zamodelowanie profili szyn z wzorcowymi wadami. Tak utworzone wady, posłużyły do badań symulacyjnych dynamiki układu tor – pojazd, przy przejeździe wagonu towarowego z różnymi prędkościami. Przeanalizowano wpływ wymiarów wybranych wzorców wad, na wartość sił kontaktowych, pod kątem zagrożeń eksploatacyjnych. Artykuł czwarty dotyczy problematyki wad typu headcheck (nazywane również rysami), występujących w tokach zewnętrznych łuków torów. Przedstawiono podstawowe cechy tych wad, a także zaprezentowano metody wykrywania i diagnozowania. Przeprowadzone badania wskazują, że rozwój tego typu wad nie zależy wyłącznie od czynników konstrukcyjnych i geometrycznych, ale też w dużej mierze od czynników eksploatacyjnych.

W ostatniej pozycji Autorzy przedstawiają tendencje zmian w zakresie przewozów intermodalnych w Polsce i znaczenia rozwoju infrastruktury liniowej i punktowej dla utrzymania korzystnych trendów wzrostu przewozu tego segmentu ładunków. Odpowiedni wybór lokalizacji pod przyszłą infrastrukturę transportową ma istotny wpływ na przebieg procesu inwestycyjnego oraz ekonomiczne powodzenie projektu. Ważnym etapem jest etap planowania inwestycji i opracowania koncepcji dostosowującej obiekt do przewidywanych protokół ładunków z uwzględnieniem czynników czasu.

**Życzę zajmującej lektury:
Maciej Kruszyna
(z-ca red. nac. PK)**

W numerze

Pomiary zużycia przekroju szyn w torach pętli tramwajowej

Jacek Makuch

2

Współczynniki aerodynamiczne pojazdów kolejowych w zagadnieniu oddziaływania wiatru bocznego – wprowadzenie i badania wstępne

Piotr Lalewicz, Danuta Bryja

8

Modelowanie numeryczne geometrii wzorców wad powierzchniowych szyn kolejowych

Piotr Lesiak, Rafał Podsiadło

14

Analiza występowania wad typu headcheck w szynach

Grzegorz Stencel

19

Terminale intermodalne, aspekty wyboru rozwiązań projektowych

Mirosław Antonowicz, Henryk Zielaskiewicz

23

Wydawca:

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

Rada programowa:

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

Deklaracja o wersji pierwotnej czasopisma

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

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:

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

Obecna Redakcja dysponuje numerami archiwalnymi począwszy od 4/2010.

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

Druk:

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

Reklama:

Dział Marketingu: sitk.baza@gmail.com

Nakład: 800 egz.

Pomiary zużycia przekroju szyn w torach pętli tramwajowej

Measurements of transverse section wear of rails in tracks of tram-loop



Jacek Makuch

Dr inż.

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

jacek.makuch@pwr.edu.pl

Streszczenie: W artykule odniesiono się do problemów będących wynikiem zastępowania klasycznych metod pomiaru zużycia przekroju szyn nowymi technikami opartymi na wykorzystaniu urządzeń elektronicznych. Określono przyczyny zmian kształtu przekroju szyn. Przypomniano zasady kontroli zużycia szyn wynikające z przepisów. Dokonano przeglądu stosowanych metod pomiaru i urządzeń pomiarowych. Przeanalizowano nominalne kształty przekrojów szyn stosowanych w torach tramwajowych. Opisano sposób wykonania pomiarów profilomierzem mechaniczno-elektronicznym oraz toromierzem mechanicznym przeprowadzonych na pętli tramwajowej Sępolno we Wrocławiu. Przedstawiono propozycję graficznego sposobu analizy wyników pomiarów zużycia przekroju szyn w powiązaniu z pomiarami szerokości toru. W podsumowaniu sformułowano wnioski z przeprowadzonych badań.

Słowa kluczowe: Tory tramwajowe; Diagnostyka; Profilomierz

Abstract: In article the problems of classical methods of transverse section wear of rails replacement with new techniques based on electronic devices was concerned. Reasons of rails shape section changes were defined. Principles of rails waste inspection resulting from regulations were reminded. Review of practical measurement methods and devices were made. Shapes of nominal sections of rails used in tram tracks were analyzed. Realization of measurements executed with mechanical-electronic profile gauge and mechanical track gauge on tram-loop Sępolno in Wrocław were described. Proposal of graphic manner analysis of rail wear measurements in connection with track width measurements were proposed. In summary conclusions from effected investigations were formulated.

Keywords: Tram tracks; Diagnostics; Profile Gauge

W sierpniu 2017 roku rozpoczęła się we Wrocławiu trwająca około dwa miesiące wymiana rozjazdów tramwajowych na skrzyżowaniu ul. Paderewskiego i Mickiewicza. Na czas tych prac, z ruchu tramwajowego została wyłączona pętla Sępolno. Autorowi niniejszego artykułu udało się uzyskać zgodę zarządzającego infrastrukturą (ZDiUM) na przeprowadzenie w tym czasie pomiarów zużycia przekroju szyn na tej pętli. Badania te nie były efektem jakiegokolwiek zlecenia czy grantu, a wynikały jedynie z potrzeby sprawdzenia poprawności działania sprzętu diagnostycznego wykorzystywanego w dydaktyce, przed rozpoczęciem kolejnego semestru zajęć ze studentami. Możliwość ich przeprowadzenia stała się jednakże okazją do rozpoznania pewnych interesujących

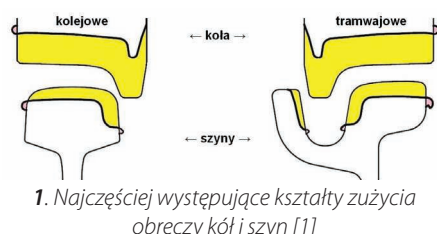
problemów, będących wynikiem zastąpienia klasycznych metod pomiaru zużycia przekroju szyn, nowymi technikami opartymi na wykorzystaniu urządzeń elektronicznych.

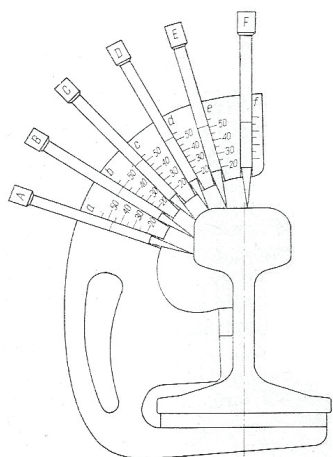
Przyczyny zmian kształtu przekroju szyn

Wraz z upływem czasu, w eksploatowanych pojazdach szynowych oraz torach pojawiają się różnice w kształtach przekrojów kół i szyn - rzeczywistych w stosunku do nominalnych. Na rys. 1 przedstawiono najczęściej występujące kształty zużycia obręczy jak i nawierzchni stalowej torów - zarówno dla szyn kolejowych (głównkowych) jak i tramwajowych (rowkowych). Najważniejszą ich przyczyną jest występujące na powierzchniach toczonego zużycie cierne, będące wynikiem oddziaływań w postaci tarcia oraz uderzeń - stalowych kół o stalowe szyny. Są to „ubytki” materiału (wyróżnione na rys. 1 kolorem żółtym). Na granicach powierzchni toczonego mogą zaś wystąpić spływy w postaci wybrzuszeń, czyli „nadmiary”

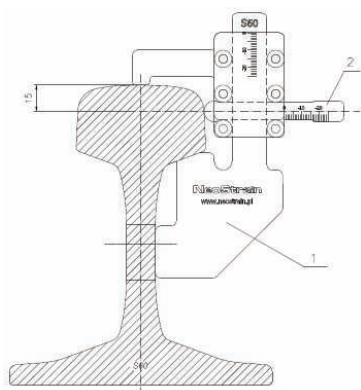
materiału (wyróżnione na rys. 1 kolorem różowym) - będące wynikiem przemieszczeń uplastycznionej stali, a skoro tak - to mają one charakter nie tylko nadmiarów, ale i równocześnie ubytków. Kształt powierzchni toczonego eksploatowanych szyn może zostać zmieniony również w wyniku celowo przeprowadzonych działań, takich jak reprofiliacja (szlifowanie) albo regeneracja (napawanie i szlifowanie).

Poniżej powierzchni toczonego, szyny mogą ulegać zjawisku nadmiernej korozji. Najpierw w wyniku rozwarstwień i łuszczenia się powierzchnia szyny ulega „napęcznieniu” - czyli pojawiają nadmiary, choć oczywiście nie jest to materiał w postaci jednorodnej stali (tak jak przy spływach), później zaś rozwarstwienia i łuski zaczynają odpadać, co doprowadza do ubytków. Możliwą przyczyną zmiany kształtu przekroju szyny mogą być również ciała obce, które do nich przywarły, powodując wystąpienie nadmiarów. Dwie ostatnie z wymienionych przyczyn nie dotyczą powierzchni toczonego szyn, co nie znaczy że mogą być zupełnie pominięte w





2. Aparat ryłcowy



3. Profilometr szablonowy [4]

analizie zjawiska zużycia ich przekrojów. Większość metod pomiaru tego zużycia ma bowiem charakter pośredni - odwołuje się do tak zwanych powierzchni odniesienia, czyli tych części przekroju szyny, które nie uległy zużyciu. Jeżeli ich obraz zostanie zafałszowany, wtedy też ostateczne wyniki przeprowadzonych analiz stają się niewiarygodne.

Zasady kontroli zużycia szyn wynikające z przepisów

W torach klasycznej kolei reguluje je załącznik nr 14 instrukcji Id-1 [2], w którym w zależności od klasy toru i typu szyn podane są dopuszczalne wartości zużycia główki: pionowego (od 8 do 28 mm) i bocznego (od 12 mm do dolnej jej krawędzi) oraz kąta nachylenia powierzchni bocznej (65, 60 albo 55 stopni). Zużycie boczne określa się 15 mm poniżej górnego poziomu główki szyny, a kąt jego nachylenia - w stosunku do poziomu. Niestety rysunek ilustrujący w instrukcji zasady określania zużycia bocznego jest nieprecyzyjny (szyna zamiast od wewnątrz, jest pochylona na zewnątrz toru), co może powodować niewłaściwą jego interpretację. O ile zużycie pionowe i boczne sprawdza się od wielu lat, to kąt - stosunkowo od niedawna (ostatnia wersja instrukcji

D1 z 2002 roku). W nieco zawoalowany sposób (w pierwszej uwadze do tablicy 1) uwzględniony jest przypadek koincydencji (równoczesnego występowania) zużycia pionowego i bocznego - w takich sytuacjach dopuszczalne zużycie pionowe należy zmniejszyć o połowę rzeczywistego zużycia bocznego.

W przypadku torów tramwajowych zagadnienia te regulują znacznie starsze przepisy [3] z 1983 roku, w których nie wyróżnia się klas torów, za to rozróżnia się trzy przypadki szyn: rowkowe oraz kolejowe (główkowe) o ciężarze do albo ponad 422 N/m i podaje odpowiadające im dopuszczalne wartości zużycia główki: pionowego P (odpowiednio 18, 12 albo 15 mm) i bocznego B (15 mm - dla każdego z trzech przypadków szyn). Przepisy definiują ponadto jednocześnie zużycie pionowe i boczne jako $P+B/3$ i podają jego dopuszczalne wartości (odpowiednio 18, 12 albo 15 mm - czyli dokładnie tak samo, jak dla zużycia pionowego). Przepisy nie wymagają natomiast sprawdzania kąta nachylenia powierzchni bocznej, a dla szyn rowkowych - zużyć prowadnicy (bocznego i kąta nachylenia). Nie jest również w nich doprecyzowane na jakiej głębokości należy określać zużycie boczne główki szyny - czy tak samo jak na kolei, czy może nieco wyżej (uwzględniając fakt, iż koła tramwajowe mają o około 6 mm niższe obrzeża).

Metody pomiaru i urządzenia pomiarowe

Najstarszymi i jednocześnie najprostszymi są dyskretne metody pomiaru. Najczęściej wykonuje się je suwmiarkami. Jest to jednakże pomiar pośredni - mierząc wysokość całej szyny i odejmując od jej wymiaru nominalnego określamy jej zużycie pionowe, analogicznie w przypadku zużycia poziomego. Aby ułatwić przeprowadzanie pomiarów opracowano urządzenia umożliwiające pomiar bezpośredni - takie jak: aparaty ryłcowe (rys. 2) oraz profilometry szablonowe (rys. 3).

Niestety aparaty ryłcowe najczęściej definiują „swoje” miejsca pomiaru, niekoniecznie te same, których sprawdzenia wymagają od nas przepisy. Z kolei przedstawiony na rys. 3 profilometr szablonowy określa zużycie pionowe dokładnie w środku szerokości główki szyny - co w rzeczywistych pomiarach mocno zużytych szyn nie zawsze ma miejsce. Nowsze metody to pomiary



4. Profilograf mechaniczny [5]

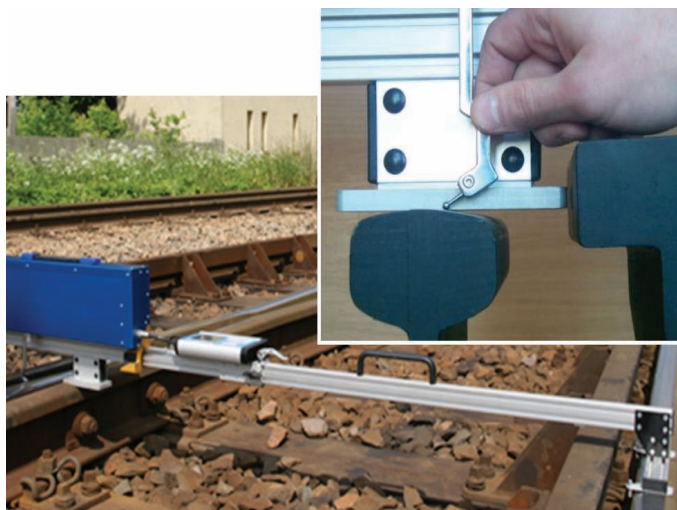
ciągłe. Umożliwiają je urządzenia takie jak profilografy mechaniczne (rys. 4), w przypadku których ruch wodzika prowadzonego ręcznie po powierzchni szyny powoduje rysowanie kształtu jej przekroju na papierze. Znacznie nowocześniejsze urządzenia umożliwiające pomiary ciągłe to profilomierze mechaniczno-elektroniczne (rys. 5) w przypadku których musimy jeszcze ręcznie „obrysować” wodzikiem szynę albo optyczno-elektroniczne (rys. 6) gdzie pomiar odbywa się zupełnie automatycznie, dzięki zastosowaniu techniki skanowania laserowego.

Jedynie dwa ostatnie urządzenia umożliwiają pomiar z dokładnością do 0,1 mm, wszystkie wcześniej wymienione - tylko do 1 mm. Co prawda suwmiarki posiadają noniusze, należy jednakże uwzględnić błędy przykładania przyrządu przy wykonywaniu pomiarów. Z drugiej zaś strony przepisy nie wymagają od nas dokładności większych niż 1 mm.

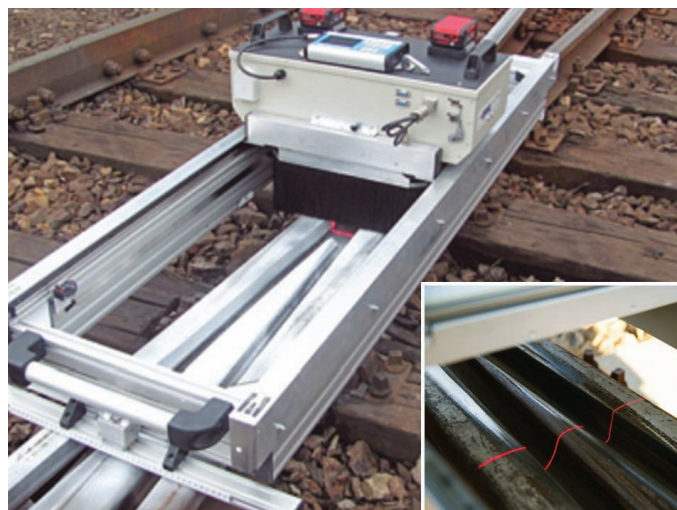
Przekroje nominalne szyn stosowanych w torach tramwajowych

W przypadku pomiarów pośrednich, zmierzone wielkości należy odnieść do przekrojów nominalnych, określonych w odpowiednich dokumentach normatywnych [7, 8 i 9].

Na rys. 7, 8 i 9 przedstawiono takie przekroje, przy czym forma ich prezentacji różni się od przedstawianej w normach, gdyż zostały one zmodyfi-



5. Profilomierz mechaniczno-elektroniczny [6]



6. Profilomierz optyczno-elektroniczny [6]

kowane przez autora artykułu do potrzeb dydaktyki. Kolorami oznaczono odmienne przypadki krzywizn kształtu przekroju: niebieskie to odcinki proste, a czerwone i zielone to łuki. Podane liczby oznaczają wartości promieni łuków. Różowe linie wymiarowe to wymiary nominalne, ale tylko niektóre (w rysunkach normowych jest ich znacznie więcej). Pokazano jedynie wymiary potrzebne do określenia zużycia przekroju szyny, czyli przykładowo szerokość główki szyny 15 mm poniżej jej górnego poziomu - należy jednakże zauważyć, że przy dużych zużyciach pionowych wymiar ten ulega zwiększeniu (o 1 mm na 8 mm zużycia pionowego szyny 49E1), co bywa powodem zaniżania określanych wartości zużycia bocznych jeśli tego nie uwzględnimy. Kąt nachylenia powierzchni bocznej główki szyny typu kolejowego (49E1) podano dla jej pochylenia do wnętrza toru wynoszącego 1 do 40. Dla szyn typu tramwajowego (rowkowych) - dwa ich starsze typy pokazano na jednej ilustracji (rys. 8), gdyż różnią się one tylko górnym zakończeniem prowadnicy (wyższą prowadnicę, pokazaną linią przerywaną ma szyna 180P). Kąty na-

chylenia powierzchni bocznych główek i prowadnicy są nieco inne w szynie nowszej (rys. 9) niż w starszych (rys. 8), gdzie dodatkowo różnią się jeszcze dla główek i prowadnicy, a generalnie (dla szyny nowszej i obu starszych) dla główek są o około 7 stopni mniejsze niż w szynie kolejowej (główkowej). Na rys. 8 i 9 jest znacznie więcej różowych linii wymiarowych niż na rys. 7 - wynika to z faktu, iż w torach tramwajowych znacznie częściej niż w kolejowych stosuje się konstrukcje zabudowane, a wtedy zużycia pionowe możemy określić jedynie w oparciu o położenie nieużytego dna rowka albo nieużytej górnej powierzchni prowadnicy, natomiast zużycia boczne - w oparciu o położenie nieużytej bocznej powierzchni prowadnicy. Lecz jeśli dno rowka i prowadnica są zużyte - w tramwajowych torach zabudowanych nie da się określić pomiarami suwmiarką zużycia pionowych i bocznych. Na rys. 8 i 9 podobnie jak na rys. 7 pokazano zwiększenie wymiaru nominalnego szerokości główki szyny wraz ze wzrostem jej zużycia pionowego, które tym razem postępuje w szybszym tempie, gdyż 1 mm wzrostu uzyskuje się już przy tylko 6 mm zuży-

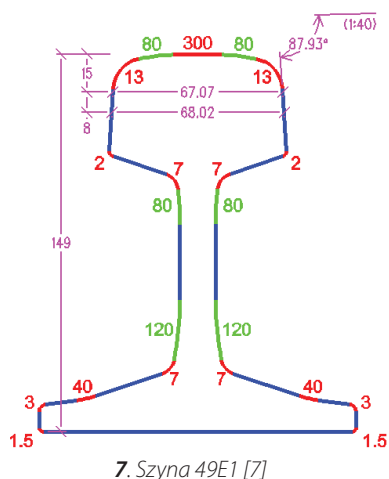
cia pionowego. Przy maksymalnym zużyciu pionowym wynoszącym 18 mm, możemy więc zaniżyć określone zużycie boczne nawet o 3 mm. Jeżeli zaś jako wymiar nominalny wykorzystujemy szerokości rowka - wtedy tempo wzrostu jest dwukrotnie większe (2 mm na 6 mm zużycia pionowego).

Opis pętli oraz przeprowadzonych na niej pomiarów

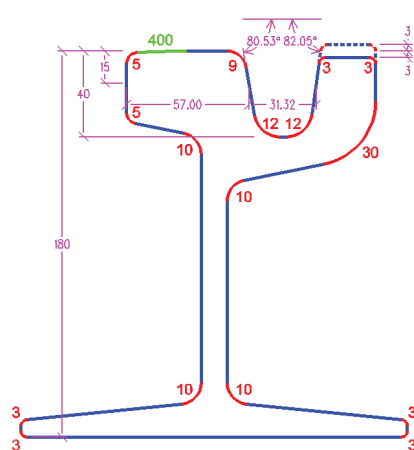
W przeciągu ostatnich 30 lat na pętli Sępólno kończyły trasę trzy linie tramwajowe, za wyjątkiem okresu 6 lat (pomiędzy jesienią w 2011 i 2017), kiedy to do Sępólna docierały tylko dwie linie.

Ostatni remont pętli przechodziła ponad 30 lat temu. W 2012 roku wyremontowano odcinek linii tramwajowej bezpośrednio przed pętlą (od skrzyżowania ul. Paderewskiego z ul. Mickiewicza), wymieniono szyny, podkłady, podsypkę oraz sieć trakcyjną. Wtedy też korzystając z wstrzymania ruchu tramwajowego, na samej pętli zastąpiono niektóre najbardziej zużyte zwrotnice, krzyżownice i szyny w łukach nowymi.

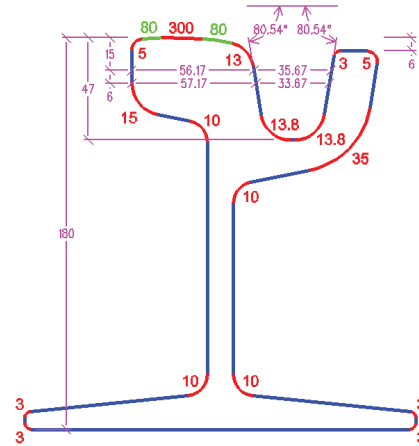
Pętla okazuje się być bardzo „wdzięcznym” obiektem badawczym. W



7. Szyna 49E1 [7]



8. Szyny 180S i 180P [8]



9. Szyna 60R2 [9]

układzie geometrycznym (rys. 10) posiada bowiem łuki o zarówno dużych, średnich jak i małych promieniach oraz wstawki proste pomiędzy łukami zgodnymi i odwrotnymi, krótkie oraz długie. Nieremontowana od wielu lat, ale za to z lokalnymi wymianami wybranych, najbardziej zużytych jej elementów, cechuje się dużą różnorodnością typów i wieku eksploatowanej nawierzchni torowej, a w efekcie również dużą różnorodnością form i wielkości zużyć przekrojów poprzecznych szyn.

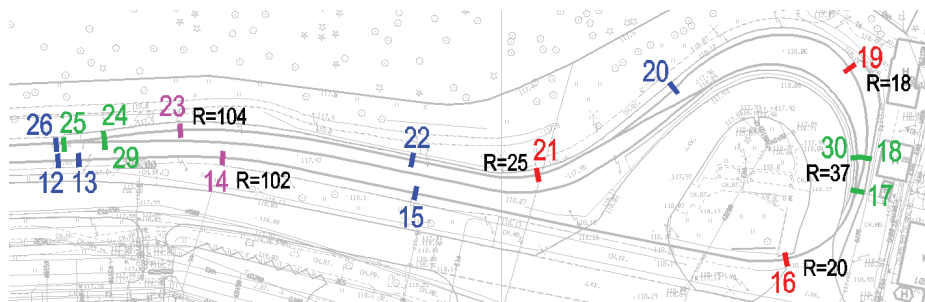
Pomiary wykonano 18 sierpnia 2017 roku między godziną 10-tą a 13-tą, przy ładnej słonecznej pogodzie. Temperatura powietrza wynosiła na początku pomiarów 23°C, a pod koniec 30°C, natomiast szyn - odpowiednio 36°C i 44°C.

Do przeprowadzenia pomiarów zużycia przekrojów poprzecznych szyn wybrano 17 charakterystycznych miejsc (stanowisk) na długości pętli (rys. 10): 6 - na prostej, 2 - w łagodnych łukach, 3 - w ciasnych łukach i 6 w rozjazdach (obejmujących zarówno odcinki proste jak i łuki). Na każdym ze stanowisk zmierzono kształt zużycia szyn lewej i prawej mechaniczno-elektronicznym profilomierzem firmy GRAW (rys. 5), a ponadto w celu powiązania ze sobą pomiarów kształtu zużycia obu szyn - szerokość (prześwit) i przechyłkę mechanicznym toromierzem firmy SOLA.

Analiza wyników badań

Profilomierz wykorzystany w badaniach posiadał stworzone przez jego producenta oprogramowanie do analizy ich wyników, jednakże ze względu na ograniczony zakres narzędzi tego oprogramowania oraz dość unikatowy sposób pracy z rysunkami (odmienny od stosowanego w najpopularniejszych programach grafiki inżynierskiej) autor artykułu wykorzystał to oprogramowanie jedynie do przekonwertowania plików wykonanych pomiarów na format dxf, a dalszą ich analizę wykonał w najbardziej mu znanym edytorze grafiki inżynierskiej - programie Microstation.

Dla każdego stanowiska analiza przeprowadzana była w trzech następujących etapach.



10. Pętla Sępólno - stanowiska pomiarowe (kolor: niebieski – odcinki proste, różowy – łagodne łuki, czerwony – ciasne łuki, zielony – rozjazdy) i promienie łuków

Etap pierwszy (rys. 11) polegał na nałożeniu przekroju zużytego na nominalny, w oparciu o tzw. powierzchnie odniesienia - czyli te części kształtu przekroju, które nie powinny być się zużyć. W przypadku szyn rowkowych są to (według oznaczeń na rys. 11):

- 1 - bok i dół główki szyny (po zewnętrznej stronie toru),
- 2 - dno rowka,
- 3 - góra prowadnicy,
- 4 - bok i dół prowadnicy.

Nakładanie przeprowadzane było metodą kolejnych prób. Dopasowywano jedną powierzchnię odniesienia i sprawdzano efekt dopasowania w przypadku pozostałych. Aby wykonać to jak najdokładniej stosowano duże zbliżenia widoku rysunku oraz korzystano z narzędzi dowiązywania. Niekiedy udawało się uzyskać dopasowanie we wszystkich czterech sprawdzanych miejscach. Przeważnie jednak przynajmniej jedno albo dwa z tych miejsc nie pasowały do pozostałych. W analizowanym na rys. 11 przykładzie (stanowisko 14, szyna lewa) były to dno rowka oraz dół główki szyny (choć bok już pasował). Konieczne więc było podjęcie decyzji, które z dopasowań są mniej wiarygodne i nie należy ich uwzględniać. W analizowanym przypadku uznano, że dno rowka uległo jednak zużyciu w wyniku korozji, gdyż analizowany przekrój znajdował się w miejscu załomu wklęsłego toru i nawet podczas przeprowadzania pomiarów w rowku „stała” woda, choć opady deszczu wystąpiły kilka dni wcześniej. Podobnie uznano, że dół główki uległ zniekształceniu w wyniku nadmiernej korozji albo przywarcia ciała obcego, albo też wystąpienia obu tych przyczyn łącznie.

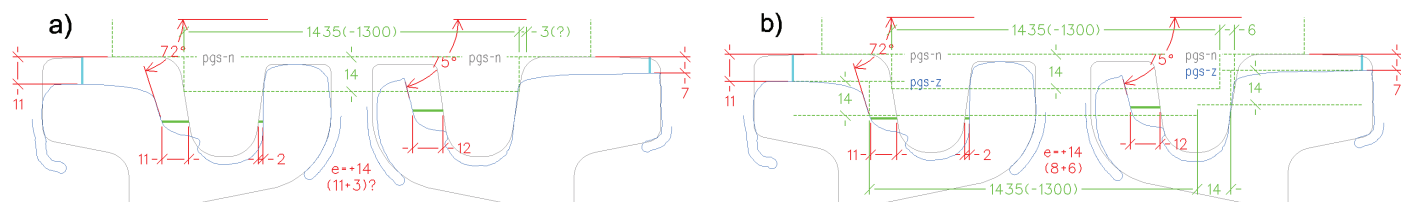


11. Nałożenie przekroju zużytego (kolor niebieski) na nominalny (kolor szary) w oparciu o powierzchnie odniesienia (kolor czerwony)

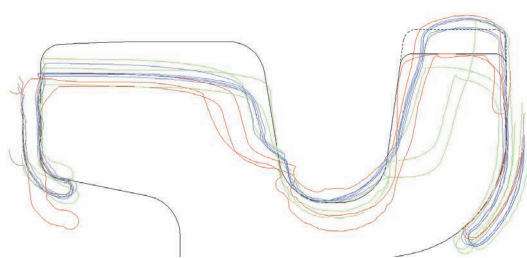
Etap drugi, to graficzne zidentyfikowanie miejsc zużyć pionowego i bocznego oraz ich zwymiarowanie. W przypadku ustalania kąta nachylenia powierzchni bocznej konieczne było skonstruowanie linii stycznej do najbardziej wystających (do wewnątrz rowka) wierzchołków łamanej odwzorowującej kształt zużytej powierzchni bocznej. W etapie tym bardzo przydatne okazały się narzędzia systemów grafiki inżynierskiej takie jak: znajdowanie minimalnej odległości pomiędzy elementami, kopiowanie równoległe, docinanie, zautomatyzowane wymiarowanie z zaokrągleniem.

Etap trzeci, to ustawienie względem siebie przekrojów szyn lewej i prawej, najpierw nominalnie (rys. 12a), po czym - z uwzględnieniem zmierzonej rzeczywistej szerokości toru (rys. 12b). Analizowany na rys. 12 przykład (stanowisko 14) jest torem położonym w łuku prawym o promieniu $R = 102$ m, z szynami w wieku ponad 30 lat. Nie dziwi więc duże zużycie boczne główki szyny lewej i prowadnicy szyny prawej, jak również brak albo niewielkie zużycia boczne główki szyny prawej i prowadnicy szyny lewej oraz stosunkowo duże zużycia pionowe (większe w toku zewnętrznym łuku).

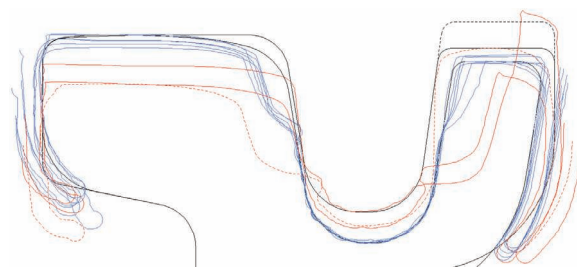
Wstawiając szynę prawą obok lewej (rys. 12a), najpierw wykonywano



12. Przekroje szyny lewej i prawej z określonymi wartościami zużycia, zorientowane względem siebie w oparciu o nominalną (a) albo rzeczywistą (b) szerokość toru



13. Porównanie kształtów zużycia szyn w tym samym wieku ale dla różnych przypadków geometrii toru (opis w tekście)



14. Porównanie kształtów zużycia szyn toru o tym samym typie geometrii ale dla różnego ich wieku (opis w tekście)

lustrzane odbicie tej pierwszej, potem zrównywano poziomy główek szyn dla przekrojów nominalnych (pgs-n), a następnie oddalano przekroje tak, aby 14 mm poniżej pgs-n uzyskać nominalny wymiar szerokości toru. Jednakże dla uzyskania lepszej czytelności przeprowadzanej analizy graficznej, zamiast 1435 mm stosowano wymiar o 1300 mm mniejszy, czyli 135 mm - wtedy obie szyny na rysunku pojawiały się tuż obok siebie. Na koniec należało rozsunąć szyny tak, aby odpowiadało to zmierzonej rzeczywistej szerokości toru (e). W analizowanym przypadku wynosiła ona akurat +14 mm (czyli 14 mm poszerzenia). Stosując logikę znaną z pomiarów zużyc szyn wykonywanych suwmiarką, skoro zużycie boczne szyny lewej wyniosło 11 mm, a prawej - nie wystąpiło (0 mm), to na owe 14 mm poszerzenia składało się: 11 mm wynikające ze zużyc bocznych i tylko 3 mm spowodowane eksploatacyjnym rozsunieniem się szyn. W przeprowadzanej więc analizie, o owe 3 mm należało rozsunąć szyny od ich położenia nominalnego. Tyle tylko, że mierząc szerokość zużytego toru, toromierz przykładano nie do szyn o nominalnych kształtach przekroju lecz zużytych, dlatego wracając do przeprowadzanej analizy graficznej (rys. 12b), szynę prawą odsunęto od szyny lewej tak aby zmierzoną toromierzem rzeczywistą szerokość toru (1435 mm powiększone o 14 mm poszerzenia) uzyskać 14 mm poniżej poziomów główek szyn dla przekrojów zużytych (pgs-z). Okazało się wtedy, że przekrój nominalny szyny prawej odsunął się od lewej nie o 3 mm, ale o 6 mm.

Podsumowując dotychczasowe rozważania, w poszerzeniu toru wynoszącym w analizowanym przypadku 14 mm: tylko 8 mm było wynikiem zużyc bocznych szyn, a aż 6 mm wynikało z ich wzajemnego rozsunienia. Trochę może się to wydawać nielogiczne, ale dopiero dokładna analiza graficzna pozwala zrozumieć odmienność takiego sposobu wnioskowania, w porównaniu

do analiz przeprowadzanych wyłącznie obliczeniowo - stosowanych przy pomiarach wykonywanych suwmiarkami. Powodem tej rozbieżności są występujące oprócz bocznych również pionowe zużycia szyn. Im są one większe, tym większa okazuje się rozbieżność obu metod wnioskowania. Przeprowadzenie przedstawionych powyżej trzech etapów graficznej analizy wyników wykonanych pomiarów jest punktem wyjścia do kolejnych możliwych analiz, które mogą mieć charakter zarówno nadal graficzny, jak i już czysto opisowy (tabelaryczny, obliczeniowy).

Po uzyskaniu poprawnie nałożonych przekrojów zużytych na nominalne, możemy je porównywać pomiędzy sobą - na przykład różne typy geometrii toru, ale w tym samym wieku, albo na odwrót. Na rys. 13 przedstawiono porównanie kształtów zużycia szyn w wieku około 30 lat dla różnych przypadków geometrii toru:

- szyny zewnętrzne w łukach (kolor czerwony) - ewidentnie największe zużycia boczne główek; zużycia pionowe przeważnie duże; zużycia boczne niesymetryczne (główek względem prowadnic),
- szyny wewnętrzne w łukach (kolor zielony) - tu z kolei ewidentnie największe zużycia boczne prowadnic; natomiast pionowe główek przeważnie małe; zużycia boczne również niesymetryczne,
- szyny w odcinkach prostych (kolor niebieski) - średnie zużycia zarówno pionowe jak i boczne, te drugie w miarę symetryczne.

Na rys. 14 przedstawiono porównanie kształtów zużycia szyn w łukach dla różnego ich wieku:

- szyny około 5-letnie (kolor niebieski) - ewidentnie dużo mniejsze zu-

życia,

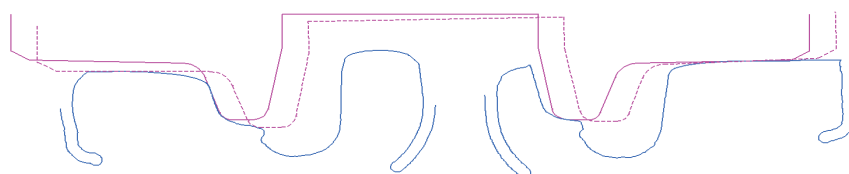
- szyny około 30-letnie (kolor czerwony) - tu znacznie większe zużycia, przy czym boczne - zamiennie (to znaczy jeśli nie główki, to prowadnicy).

Na obu rysunkach kolorem szarym przedstawiono nominalne przekroje szyn. Po uzyskaniu poprawnie zorientowanych względem siebie zużytych przekrojów szyn lewej i prawej możemy „ustawiać” na nich obręcze kół tramwajowych - o kształtach nominalnych (rys. 15) albo o różnych stopniach zużycia, co daje możliwość:

- rozpatrywania różnych przypadków wzajemnych położeń,
- analizy przyczyn kształtu zużyc zarówno szyn jak i obręczy kół.

W przeprowadzonych pomiarach na każdym ze stanowisk mierzono również przechyłkę torów. Jej wartości mogły być uwzględniane w trzecim etapie przedstawionej powyżej graficznej metody analizy wyników pomiarów (analogicznie jak zmierzone szerokości toru), z czego jednak nie skorzystano, gdyż zdaniem autora artykułu niepotrzebnie komplikowałoby to przeprowadzane analizy, bez uzyskiwania jakichkolwiek wymiernych korzyści z tego tytułu. Nie mniej jednak znajomość wartości rzeczywistych przechyłek pozostaje cenną informacją. Może się ona okazać pomocna przy interpretacji zróżnicowania uzyskanych zużyc przekrojów szyn oraz przy ustalaniu możliwych przypadków wzajemnych położeń zestawu kołowego względem toru (jak na rys. 15).

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie wyników przeprowadzonych badań. Ponieważ wybór lokalizacji stanowisk pomiarowych miał charakter wyrzykowy, nie przeprowadzono analiz statystycznych, a jedynie ograniczono się (w



15. Analiza współpracy obręczy kół tramwajowych ze zużytymi szynami

dolnej części tabeli) do określenia wartości ekstremalnych, które to porównano z wartościami dopuszczalnymi (tylko dla tych parametrów, dla których takowe w ogóle są określane).

W prawej części tabeli 1 (z żółtym tłem) porównano metody „rozdziłu” zmierzonego prześwitu toru pomiędzy zużycia boczne i rozsunienia szyn - metodę graficzną (przedstawioną w niniejszym artykule) w stosunku do obliczeniowej (stosowanej przy pomiarach suwmiarką). Przedostatnia kolumna to rozbieżność obu metod, a ostatnia - to średnie zużycie pionowe. Na 17 przebadanych stanowisk tylko w przypadku dwóch (zaznaczonych na czerwono) nie znalazła potwierdzenia postawiona wcześniej w artykule hipoteza, iż owa rozbieżność jest tym większa, im większe są zużycia pionowe szyn. Pozostałe 15 stanowisk potwierdziło słuszność postawionej hipotezy. Interesującą obserwacją z badań jest fakt, iż w łukach torów tramwajowych o niewielkich promieniach, główki szyn wewnętrznych osiągają zużycia boczne porównywalne z występującymi w główkach szyn zewnętrznych (w tab. 1 wyróżniono je zielonym tłem) i to nawet przy dużych wartościach poszerzeń szerokości toru.

Podsumowanie

Nowe metody pomiarów zużycia przekroju szyn oraz ich analizy, oparte na zastosowaniu urządzeń elektronicznych, cechuje szereg zalet. Najważniejsze z nich to:

- większa dokładność,
- szeroki zakres możliwości wykorzystania narzędzi edytorów grafiki inżynierskiej (Autocad albo Microstation),
- łatwiejsza wykrywalność nietypowych przypadków zużycia,
- możliwość bardziej zgodnego z rzeczywistością powiązania pomiarów zużycia bocznych z pomiarami szerokości toru,
- możliwość analizy zjawiska współpracy obręczy kół z szynami,
- szersze możliwości i bardziej wiarygodne wyniki oceny zużycia szyn w tramwajowych torach zabudowanych.

Niestety oprócz zalet, są też pewne wady:

- droższy sprzęt, wymagający dodatkowo zakupu oprogramowania,
- większa liczba danych do przeanalizowania, a przez to również więk-

Tab. 1. Zestawienie wyników przeprowadzonych badań

nr sta- no- wis- ka	geometria toru, a dla rozjazdu - miejsce	szyna			zużycia kształtu przekroju						prze- chył- ka h	szerokość toru (prześwit)					rozbieżność określenia rozsun. szyn (graf. - obl.)	śr. zuż pion.
					główka					prowadn.		zmie- rzona e		graficznie		obliczeniowo		
		str.	typ	wiek	pion. P	bocz. B	jedn. P+B/3	kąt α	kąt βp	kąt αp		zue	zuż bocz	rozsun. szyn	zuż bocz	rozsun. szyn		
		-	-	[lat]	[mm]	[mm]	[mm]	[°]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		
12	prosta	L 60R2	5	1	1	1	76	0	-	-1	1	3	-2	2	-1	-1	1	
		P 60R2	5	1	1	1	74	0	-									
13	prosta	L 180P	30	8	7	10	75	1	78	-1	10	2	8	7	3	5	10.5	
		P 180P	30	13	0	13	76	11	79									
14	łuk prawy R=102	L 180S	30	11	11	15	72	2	-	31	14	8	6	11	3	3	9	
		P 180S	30	7	0	7	-	12	75									
15	prosta	L 180P	30	8	3	9	75	2	75	21	9	3	6	6	3	3	8.5	
		P 180P	30	9	3	10	73	2	76									
16	łuk lewy R=20	L 60R2	5	9	15	14	75	4	73	-58	15	25	-10	27	-12	2	9	
		P 60R2	5	9	12	13	66	2	75									
17	prosta (tuż za R=20) początek zwrotnicy	L 60R2	5	2	2	3	74	4	72	-4	14	8	6	7	7	-1	1.5	
		P 60R2	5	1	5	3	69	0	-									
18	prosta tor zasadniczy rozj.	L 60R2	5	1	1	1	76	0	-	-13	3	3	0	3	0	0	0.5	
		P 60R2	5	0	2	1	73	0	-									
30	łuk lewy R=37 tor zwrotny rozj.	L 60R2	5	1	6	3	73	2	71	-10	14	12	2	12	2	0	0.5	
		P 60R2	5	0	6	2	69	2	81									
19	łuk lewy R=18	L 60R2	5	1	5	3	73	5	68	-38	14	11	3	11	3	0	1.5	
		P 60R2	5	2	6	4	66	1	80									
20	prosta (tuż za R=18)	L 180S	30	5	0	5	-	1	76	14	2	7	-5	7	-5	0	4	
		P 180S	30	3	7	5	74	0	-									
21	łuk prawy R=25	L 60R2	5	0	4	1	72	1	79	39	6	9	-3	9	-3	0	2	
		P 180S	30	4	5	6	75	4	75									
22	prosta	L 180P	30	8	3	9	75	3	75	11	8	4	4	7	1	3	8	
		P 180P	30	8	4	9	76	2	76									
23	łuk lewy R=104	L 180P	30	11	1	11	77	14	77	-40	12	3	9	5	7	2	7	
		P 60R2	5	3	4	4	72	0	-									
24	prosta (tuż za R=104) tor zwrotny rozj.	L 60R2	5	2	0	2	75	0	-	-10	1	3	-2	3	-2	0	1.5	
		P 60R2	5	1	3	2	75	0	-									
29	prosta tor zasadniczy rozj.	L 180P	30	5	5	7	75	3	74	-10	4	3	1	5	-1	2	3	
		P 60R2	5	1	0	1	-	1	76									
25	prosta (tuż za R=50) początek zwrotnicy	L 60R2	5	2	3	3	71	0	-	4	15	3	12	3	12	0	1	
		P 60R2	5	0	0	0	-	8	73									
26	prosta (za łukiem R=50)	L 60R2	5	1	8	4	73	0	-	1	8	8	0	8	0	0	1	
		P 60R2	5	1	0	1	-	1	77									
		min:					66		68	-58			-10		-12	-1		
		max:	13	15	15			14		39	15	25	12	27	12	5		
		dop:	18	15	18		-	-	-	-								

sza pracochłonność oraz w efekcie trudniejsze podjęcie ostatecznych decyzji,

- trudniejsze wnioskowanie w oparciu o większą liczbę powierzchni odniesienia.

W oparciu o przeprowadzone analizy autor artykułu postuluje wprowadzenie następujących zmian w obowiązujących przepisach:

- korekta rysunku ilustrującego sposób pomiaru kąta nachylenia powierzchni bocznej główki szyny w zał.14 instrukcji Id-1,
- doprecyzowanie sposobu pomiaru zużycia bocznego przy jednoczesnym dużym zużyciu pionowym (ze względu na ryzyko zaniżania określanych zużycia bocznych),
- określenie w przepisach tramwajowych dopuszczalnych wartości zużycia bocznego prowadnicy oraz kąta zużycia bocznego główki i prowadnicy.

Potrzebne jest również rozstrzygnięcie problemu na jakiej głębokości należy mierzyć zużycie boczne w torach tramwajowych - tak samo jak na kolei, czy płycie (ze względu na niższe obrzeże obręczy koła tramwajowego)?

Ważnym wnioskiem wynikającym z przeprowadzonych badań jest konkluzja, iż nowe elektroniczne metody pomiarów i ich analiz nie zwalniają nas „z myślenia”, nadal ważną rolę odgrywa doświadczenie. Uwidaczniają to chociażby problemy:

- podjęcia właściwej decyzji przy

nakładaniu profilu zużytego na nominalny (w sytuacji, gdy różne powierzchnie odniesienia sugerują odmienne rozwiązania),

- analizowania powiązań pomiarów zużycia bocznych z pomiarami szerokości toru (na ile poszerzenia toru są wynikiem zużycia bocznych główek szyn, a na ile zmian ich położenia),
- analizowania przypadków współpracy koła z szyną (dobór możliwych położenia zestawu kołowego względem szyn). ◀

Materiały źródłowe

- [1] Technische Regeln für die Spurführung von Schienenbahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab), Mai 2006
- [2] Id-1 (D-1) Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych - PKP PLK Warszawa 2005 - ze zmianami 2006, 2010, 2015
- [3] Wytyczne techniczne projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych, MAGTIOŚ 1983
- [4] www.neosttrain.pl/inspector.php?ins=7
- [5] www.geismar.com/en/traditional-measurement/212-p110.html
- [6] www.graw.com/pomiary-toru.html
- [7] PN-EN 13674-1+A1:2017-07 Kolejnictwo - Tor - Szyna - Część 1: Szyny kolejowe Vignole'a o masie 46 kg/m i większej
- [8] PN-H-93440:1992 Stal - Szyny tramwajowe z rowkiem
- [9] PN-EN 14811+A1:2010 Kolejnictwo - Tor - Szyny specjalne - Szyny rowkowe i związane z nimi profile konstrukcyjne

Współczynniki aerodynamiczne pojazdów kolejowych w zagadnieniu oddziaływania wiatru bocznego – wprowadzenie i badania wstępne

Aerodynamic coefficients of railway vehicles in cross-wind – introduction and preliminary research



Piotr Lalewicz

Mgr inż.

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

piotr.lalewicz@pwr.edu.pl



Danuta Bryja

Dr hab. inż., prof. uczelni

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

danuta.bryja@pwr.edu.pl

Streszczenie: W ostatnich latach, w Europie i na świecie obserwuje się dynamiczny rozwój kolei dużych prędkości. Przy rosnących prędkościach, aerodynamika pojazdów kolejowych staje się coraz bardziej istotnym zagadnieniem. W artykule odniesiono się do problemu stateczności pojazdów przy wietrze bocznym i omówiono wpływ prędkości pojazdu na to zjawisko. Do określania sił aerodynamicznych występujących w tym zagadnieniu wykorzystuje się sześć współczynników aerodynamicznych. Opisano metody służące do ich wyznaczania – badania modelowe w tunelach wiatrowych i badania numeryczne z użyciem symulacji CFD (*Computational Fluid Dynamics*), w odniesieniu do normy PN-EN 14067-6:2018-10 i wymagań TSI. Przedstawiono wyniki wstępnych badań własnych, których celem było rozpoznanie możliwości obliczeniowych analiz CFD jako narzędzia do numerycznego wyznaczania współczynników aerodynamicznych na potrzeby dalszych badań prowadzących do opracowania metody analizy drgań układu pociąg – most, poddanego działaniu wiatru bocznego.

Słowa kluczowe: Pojazdy kolejowe, Stateczność przy wietrze bocznym, Współczynniki aerodynamiczne, Analizy numeryczne CFD

Abstract: In recent years, dynamic development of high-speed railways is observed in Europe and in the world. Due to the train speeds increase, aerodynamics of railway vehicles becomes more and more important issue. In the paper, the cross-wind stability problem of a railway vehicle and the influence of the train speed on this phenomenon is discussed. As a derailment risk analysis requires to determine in total six cross-wind aerodynamic forces and moments acting on a given vehicle, a knowledge of six associated with them aerodynamic coefficients is a groundwork for train stability analysis. Two most common methods of analysis of air flow around trains are pointed out – wind tunnel testing and CFD method (*Computational Fluid Dynamics* method). Both methods are described in the paper, in reference to PN-EN 14067-6:2018-10 and TSI requirements, and later a CFD method is applied to examine a basic train model. The main aim of this preliminary research was to recognize CFD method as a tool for a further research on cross-wind-induced vibrations of a train - bridge system.

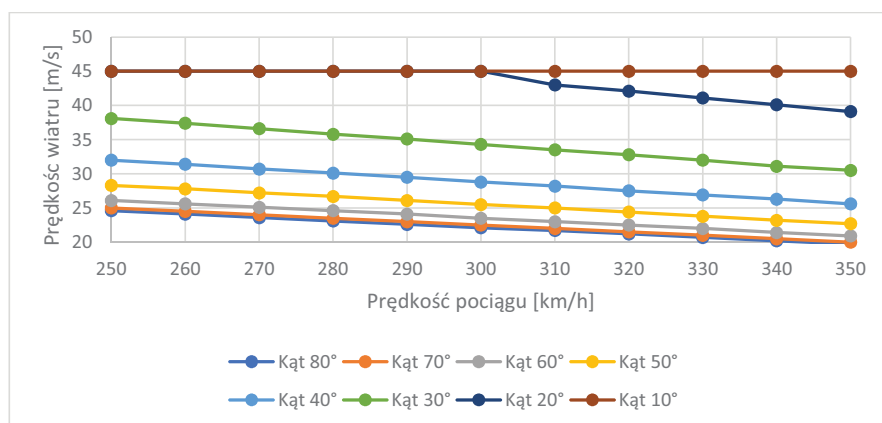
Keywords: Railway vehicles; Cross-wind stability; Aerodynamic coefficients; CFD analyses

W ostatnich latach, w Europie i na świecie obserwuje się dynamiczny rozwój kolei dużych prędkości. Przy rosnących prędkościach jazdy, aerodynamika pojazdów kolejowych staje się coraz bardziej istotnym zagadnieniem, ponieważ zjawiska spowodowane opływem powietrza wokół poruszającego się pociągu mają dominujący wpływ na jego właściwości trakcyjne. Podstawowym problemem rozważanym szeroko w literaturze już od ponad 80 lat są aerodynamiczne opory ruchu [2] – aby osiągać większe prędkości stosuje się opływowe kształty dziobu i redukuje masę pociągów. Znaczny wzrost prędkości pojazdów kolejowych i związane z tym efekty aerodynamiczne mają także wpływ na otoczenie. Pociąg przejeżdżają-

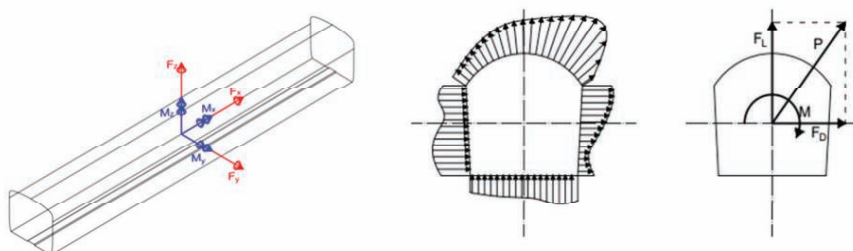
cy z dużą prędkością wywołuje duże zmiany ciśnienia powietrza na poboczu toru, które zagrażają ludziom na peronie i pracownikom torowym [13]. Dodatkowo, wysokie ciśnienia chwilowe mogą powodować awarie zmęczenia infrastruktury przytorowej [2]. Wysokie, uderzeniowe fale ciśnienia powstają także podczas mijania się dwóch pociągów, stanowiąc zagrożenie dla bezpieczeństwa ich ruchu ze względu na duże siły dynamiczne działające na czoło obu pociągów. Podobne zjawisko występuje podczas przejazdu pociągu przez tunel – szczególnie w chwili wjazdu lub wyjazdu z tunelu. W wielu krajach wprowadzono ograniczenia prędkości w wąskich tunelach [2] ze względu na znaczne ciśnienia występujące przy dużych

prędkościach pociągów. Innym niekorzystnym zjawiskiem powiązaniem z wpływami aerodynamicznymi jest podrywanie podsypki, które prowadzi do uszkodzeń taboru i torowiska [13].

W aspekcie bezpieczeństwa jazdy zasadnicze znaczenie ma jednak zapewnienie stateczności poprzecznej każdego pojazdu wchodzącego w skład pociągu, przy obciążeniu wiatrem bocznym (np. [5], [3]). W historii, również tej współczesnej można odnotować niejedną katastrofę kolejową spowodowaną poprzecznym oddziaływaniem wiatru. Przykładem jest wykolejenie pasażerskiego pociągu ekspresowego Inaho w grudniu 2005 roku w Japonii [18] lub spowodowane silnym bocznym wiatrem uderzenie pojazdu w peron stacyjny w miejsco-



1. Krzywe CRWC w zależności od kąta natarcia wiatru bocznego, przy konfiguracji terenu w postaci nasypu o wysokości 6 m, [13]



2. Siły aerodynamiczne działające na pojazd i uproszczenie do sił działających w przekroju

wości Moston w Anglii, w 2015 roku [17], i wiele innych. Z tego względu, w literaturze pojawia się coraz więcej prac, w których badany jest wpływ bocznego wiatru na pociągi poruszające się z dużymi prędkościami.

Przez aerodynamiczną utratę stateczności poprzecznej pojazdu kolejowego rozumiane jest oderwanie się kół pojazdu od szyny spowodowane destabilizującymi siłami oddziaływania wiatru [13], zależnymi też od prędkości jazdy. Zgodnie z wytycznymi [13], [12] redukcja nacisku koła na szynę nie powinna przekraczać 90% normalnego nacisku pochodzącego od masy pojazdu. Na tej podstawie wyznacza się graniczne (dopuszczalne) wartości prędkości wiatru w zależności od prędkości pojazdu i określa jego charakterystyczne krzywe wiatrowe (CWC) [13], [12]. Porównuje się je z charakterystycznymi referencyjnymi krzywymi wiatrowymi (CRWC), przy czym krzywe CWC projektowanego taboru powinny znajdować się ponad krzywymi CRWC. Przykładowe krzywe referencyjne pokazano na rysunku 1, w zależności od kąta natarcia wiatru bocznego odmierzanego od osi toru.

Siły i współczynniki aerodynamiczne

Aby określić redukcję nacisku koła na szynę należy wyznaczyć siły destabilizujące, tj. siły aerodynamiczne oddziaływujące na pojazd. W ogólnym przypadku na pojazd działa sześć sił (obciążeń) aerodynamicznych: trzy składowe siły ogólnej i trzy składowe momentu ogólnego, które są wynikiem sprowadzenia ciśnienia wiatru rozłożonego na powierzchniach pojazdu do jego środka ciężkości, jak na rysunku 2. W praktyce obliczeniowej uwzględnia się fakt, że dominujący wpływ na stateczność pojazdu kolejowego mają siły działające w przekroju prostopadłym do kierunku jazdy i zagadnienie upraszcza się biorąc pod uwagę tylko trzy składowe obciążenia aerodynamicznych: siłę boczną F_D , siłę unoszącą F_L i moment odchylający M (inaczej moment obracający) [5], [16], [11], [9], [19], [7], [20]. Są one opisane następującymi wzorami znanymi z literatury (np. [16], [21], [10])

$$F_D = \frac{\rho U^2}{2} A_{ref} C_D \quad (1)$$

$$F_L = \frac{\rho U^2}{2} A_{ref} C_L \quad (2)$$

$$M = \frac{\rho U^2}{2} A_{ref} b_{ref} C_M \quad (3)$$

gdzie U jest prędkością wiatru, ρ gęstością powietrza. A_{ref} jest powierzchnią odniesienia, którą w przypadku pojazdów kolejowych przyjmuje się najczęściej jako powierzchnię boczną od strony nawietrznej dla wszystkich trzech sił, natomiast b_{ref} jest długością odniesienia określaną zazwyczaj jako wysokość pojazdu (np. [5], [16], [11], [7], [20]). Wyjątkowo Yongle Li w swoich pracach [9], [19] proponuje, aby jako powierzchnię odniesienia przy obliczaniu siły unoszącej i momentu odchylającego stosować powierzchnię dolną zamiast bocznej, analogicznie jak przyjmuje się w konstrukcjach mostowych.

Do wyznaczenia obciążeń aerodynamicznych (1)–(3) konieczne jest określenie parametrów C_D , C_L , C_M nazywanych bezwymiarowymi współczynnikami aerodynamicznymi, które opisują opływ powietrza wokół analizowanego ciała (pojazdu). Współczynniki te są specyficzne dla pojazdu o danej geometrii, wyznacza się je na podstawie badań, zazwyczaj badań modelowych w tunelu wiatrowym. Badania te przeprowadza się przy różnych konfiguracjach terenu, ustalając w każdym eksperymencie, poprzez pomiar, wartości sił aerodynamicznych F_i i momentów M_i , przy czym $i = x, y, z$ w ogólnym przypadku sześciu składowych aerodynamicznych (por. z rysunkiem 2). Na tej podstawie są obliczane współczynniki aerodynamiczne, według wzorów

$$C_i = \frac{F_i}{0,5 \rho U^2 A_{ref}} \quad (4)$$

$$C_{m,i} = \frac{M_i}{0,5 \rho U^2 A_{ref} b_i} \quad (5)$$

bezpośrednio powiązanych z definicjami obciążeń aerodynamicznych (1)–(3), co umożliwia wyznaczanie obciążeń danego pojazdu w wielu scenariuszach obliczeniowych.

Obecnie, dzięki rozwojowi metod numerycznych, badania w tunelach wiatrowych są coraz częściej zastępowane lub uzupełniane badaniami numerycznymi z użyciem metod CFD (Computational Fluid Dynamics).

Wtedy siły i momenty aerodynamiczne potrzebne do obliczenia współczynników aerodynamicznych (4) i (5) wyznacza się nie przez pomiar, lecz poprzez całkowanie numeryczne symulowanego rozkładu ciśnienia powietrza na powierzchni ciała. Oba podejścia będą dalej omówione bardziej szczegółowo.

Badania modelowe w tunelach aerodynamicznych

Tunele aerodynamiczne umożliwiają badanie opływu ciała przez powietrze o zadanych parametrach, a ich główną zaletą jest rzeczywiste odwzorowanie przepływającego medium (powietrza). Tunel stanowi zamkniętą przestrzeń, w której generuje się ciągły ruch powietrza. Umieszcza się w nim modele badanych obiektów, obserwując przepływ i mierząc siły działające na model. Badania w tunelach wiatrowych dają bardzo duże możliwości i zgodnie z zaleceniami TSI [13] przyjmuje się, że są one jedynym dostatecznie wiarygodnym źródłem określania aerodynamicznych właściwości pociągu. Jednak dobre przygotowanie badań niesie ze sobą wiele problemów a wyniki zależą od dużej liczby parametrów. Przy skalowaniu modelu, oprócz założenia kryteriów podobieństwa (Buckingham, 1914) [21], [10], [6] i doboru odpowiednich charakterystyk wiatru należy również uwzględnić współczynnik blokady określający jaką część swobodnego przepływu w tunelu blokuje umieszczony w nim model [3]. Testy przeważnie przeprowadza się dla przepływu o niskiej turbulencji, jednak często istotnym elementem jest chropowatość warstwy przyściennej zaburzającej przepływ. W badaniach aerodynamiki pojazdów kolejowych szczególne znaczenie ma warstwa przyziemna [5], [4], którą uzyskuje się dwiema metodami – bierną i czynną. Metoda bierna polega na stosowaniu dywanów lub klocków nadających odpowiednią chropowatość warstwie podłoża, zaś metoda czynna opiera się na wykorzystywaniu dodatkowych źródeł wiatru, np. wentylatorów ustawionych prostopadle do kierunku przepływu [6].

Istotnym parametrem każdej analizy przepływu jest liczba Reynoldsa reprezentująca stosunek sił bezwładności do sił lepkości w przepływie. W wielu pracach wykazano [21], [10], [15], że współczynniki aerodynamiczne zależą od tego parametru osiągając duże wartości w zakresie przepływu laminarnego, wartości minimalne w zakresie krytycznym a następnie, w zakresie nadkrytycznym, wartości rosnące nieznacznie wraz ze wzrostem liczby Reynoldsa.

Do badania współczynników aerodynamicznych pojazdów kolejowych, w tunelach wiatrowych, przyjmuje się wartości liczby Reynoldsa z zakresu nadkrytycznego, takie aby ich wzrost nie miał wpływu na uzyskiwane siły i momenty [13], [16]. Najczęściej przyjmuje się wartości z zakresu $2 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$ [3]. W badaniach rozpatruje się różne konfiguracje terenu. Norma [12] i TSI [13] podają trzy podstawowe konfiguracje: teren płaski, jednotorowy nasyp o wysokości 1 m i nasyp dwutorowy o wysokości 6 m z możliwością ustawienia pojazdu po stronie nawietrznej i zawietrznej. Specjalne konfiguracje, takie jak estakady i długie mosty wymagają indywidualnych analiz [11], [9], [19], [7], [20].

Po dobraniu parametrów badań, norma [12] zaleca przeprowadzenie badań porównawczych. Wykorzystuje się do tego jeden z trzech modeli: model pociągu ETR 500, TGV Duplex lub ICE 3, dla których mnogość badań pozwoliła na precyzyjne określenie parametrów aerodynamicznych. Przykładowe wyniki dla pojazdu ICE 3

pokazano na rysunku 3. Należy zwrócić uwagę, że podane na rysunku wartości współczynników aerodynamicznych wahają się w granicach od -10 do +10. W literaturze (np. [5], [19]) współczynniki przyjmują wartości z zakresu od -2,5 do +2,5. Powodem tej rozbieżności jest zastosowanie w normie [12] znormalizowanej powierzchni odniesienia, która niezależnie od typu pojazdu wynosi 10 m^2 . Po przeskalowaniu na rzeczywistą powierzchnię odniesienia uzyskuje się wartości współczynników zbliżone z literaturą.

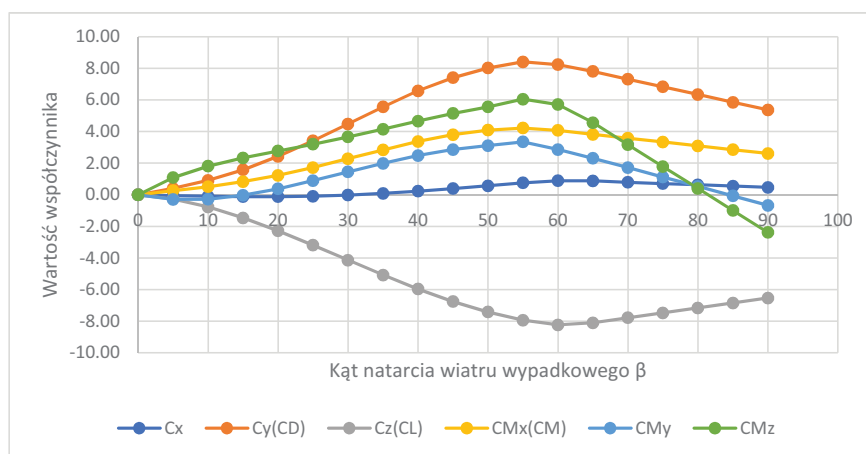
Współczynniki aerodynamiczne na rysunku 3 zależą od kąta natarcia tzw. wiatru wypadkowego, którego prędkość jest wynikiem złożenia wektorów prędkości wiatru boczego i prędkości przepływu powietrza spowodowanego jazdą pociągu, co pokazano na rysunku 4. Prędkość wypadkowa względem poruszającego się pojazdu jest wyrażona wzorem

$$U = \sqrt{(V + W \sin(\gamma))^2 + (W \cos(\gamma))^2}$$

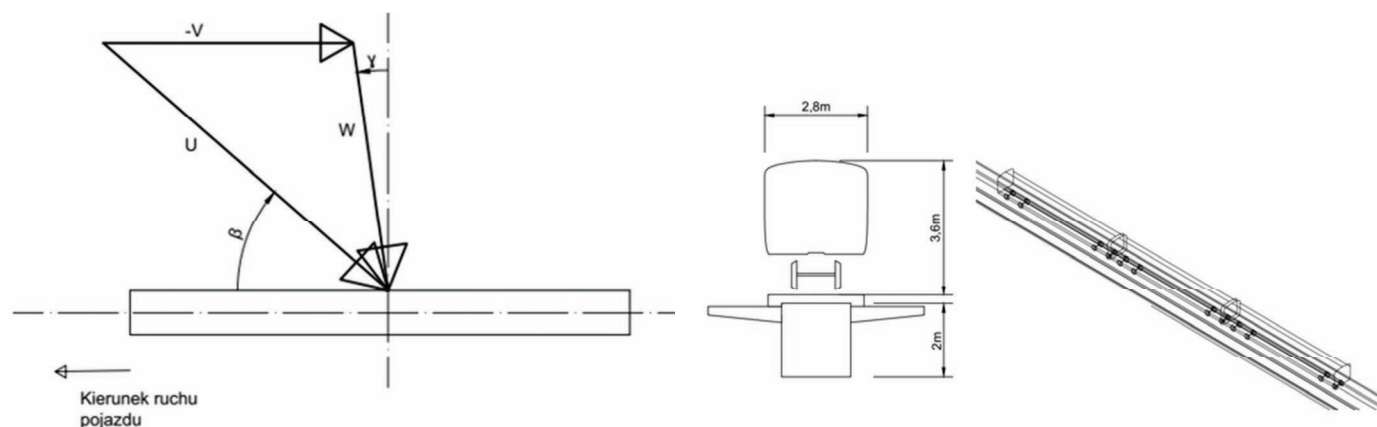
$$= \sqrt{V^2 + 2VW \sin(\gamma) + W^2} \quad (6)$$

gdzie γ jest naturalnym kątem padania wiatru, W i V przedstawiają odpowiednio naturalną prędkość wiatru i prędkość pojazdu.

W badaniach modelowych prowadzonych w tunelach wiatrowych uwzględnia się ruch pojazdu kolejowego na dwa sposoby: badania są prowadzone na modelu stałym, ustawionym pod odpowiednim kątem względem przepływu powietrza ge-



3. Współczynniki aerodynamiczne pojazdu ICE 3 uzyskane w tunelu wiatrowym dla modelu w skali 1:15 i ustawienia na nasypie od strony nawietrznej [12]



4. Składanie wektorów prędkości wiatru

5. Model przyjęty do badań własnych

nerowanego z prędkością wypadkową, lub (bardzo rzadko) prowadzi się badania na modelu ruchomym [5], [3], [1]. Baker i in. w pracy [1] przedstawili przykładowe porównanie wyników z obu badań, na przykładzie modelu pociągu Pendolino 390, wykonanego w skali 1:25. Badanie stacjonarne (na modelu stałym) zostało przeprowadzone zgodnie z współcześnie przyjętym podejściem, tj. model pojazdu został ustawiony pod kątem odwzorowującym kąt natarcia wiatru wypadkowego. Natomiast badania na modelu ruchomym wykonano w 150-metrowym tunelu, w którym na przejeżdżający pojazd oddziaływał wiatr boczny. Podobne badania przeprowadził Bocciolone ze współpracownikami [5], poszerzając ich zakres – oprócz wpływu ruchu pojazdu analizowano również wpływ turbulencji i różnych konfiguracji terenu. W obu przytoczonych pracach stwierdzono, że sposób uwzględnienia ruchu pojazdu w tunelu wiatrowym ma znikomy wpływ na wyniki badań, ponieważ współczynniki aerodynamiczne uzyskane dla modelu stacjonarnego i ruchomego są bardzo zbliżone. Problem ten wymaga jednak dalszych badań, ponieważ w obu przypadkach zastosowano do badań porównawczych tylko konfigurację terenu płaskiego.

Badania numeryczne CFD

Badania w tunelach aerodynamicznych są kosztowne i czasochłonne – wymagają m. in. przygotowania oraz skonstruowania modelu pojazdu i odpowiedniej konfiguracji terenu. Z tego

względu, na wstępnym etapie analizy stosowane są obecnie metody numeryczne, bazujące na analizach CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

Analizy CFD polegają na numerycznej symulacji przepływu, przeprowadzanej przy założeniu modelu płynu newtonowskiego, który stosunkowo dobrze odwzorowuje zachowanie wielu płynów i gazów, między innymi wody i powietrza [10]. Podstawą tych metod są równania Naviera-Stokesa opisujące przepływ płynu. Ich analityczne rozwiązanie możliwe jest jedynie w najprostszych przypadkach, stąd w analizach CFD dyskretyzuje się przestrzeń przepływu i opływane ciało z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES) i metody objętości skończonych (MOS). Przy przepływie turbulentnym pojawia się potrzeba odwzorowania najmniejszych wirów, przez co zagęszczenie siatki elementów skończonych jest rzędu $Re^{9/4}$ [3]. Jeżeli więc uwzględnić fakt, że liczba Reynoldsa Re waha się w granicach od 10^6 dla tuneli wiatrowych do 10^7 dla symulacji rzeczywistych, uzyskujemy zadanie niemożliwe do rozwiązania [3], [10]. Z tego względu, w inżynierii wiatrowej stosuje się metody uśredniające równania Naviera-Stokesa, wśród których można wyróżnić metody uśredniające po czasie – RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes*) lub uśredniające pole przepływu w przestrzeni – LES (*Large Eddy Simulation*).

W inżynierii najczęściej stosowane są metody RANS, ze względu na to, że mają najniższe zapotrzebowanie obliczeniowe. W ich wyniku uzyskujemy przepływ uśredniony w czasie, co czę-

sto jest wystarczające. Jednak kiedy pojawiają się oderwania wirów, metoda RANS znacznie traci na dokładności wyników. Jak pokazano w wielu pracach, między innymi w [3], [10], [8], podstawowy model RANS (model k- ϵ) błędnie odwzorowuje turbulencje na górnej krawędzi nawietrznej. Jednak inne modele RANS, takie jak k- ω lub RSM (*Reynolds Stress Model*) pozwalają uzyskać dobre wyniki niskim kosztem obliczeniowym.

W przypadku, gdy wykorzystanie modeli RANS nie pozwala na uzyskanie satysfakcjonujących wyników, wykorzystuje się model LES, który daje dużo dokładniejsze wyniki, ale jego stosowanie prowadzi do bardzo dużych nakładów obliczeniowych. W metodzie tej są symulowane wiry o rozmiarach oczka siatki, natomiast wiry mniejsze są reprezentowane za pomocą dodatkowej, nieistniejącej w rzeczywistości siły lepkości. Jednak całkowanie bezpośrednie w przestrzeni równań Naviera-Stokesa, nawet uśrednionych, oraz wymóg znacznie gęstszej siatki niż w przypadku metod RANS sprawia, że czas obliczeń znacząco rośnie [13].

Podobnie jak w badaniach w tunelu wiatrowym, również analizy CFD wymagają rozważenia i przygotowania wielu istotnych parametrów, nie tylko wyboru metody. Jak wspomniano wcześniej, kluczowe jest przyjęcie odpowiednio zagęszczonej siatki MES. Dodatkowo należy przyjąć właściwy rozmiar przestrzeni przepływu, tak aby ograniczające go płaszczyzny nie wpływały na opływ ciała. Fakt, że przestrzeń opływu można zdefiniować

jako dowolnie dużą jest jedną z przewag analiz CFD nad tunelami wiatrowymi. Norma [12] zaleca, aby również w przypadku badań CFD przeprowadzić analizy porównawcze na jednym z modeli referencyjnych. Zakłada się, że parametry analizy są poprawne, jeżeli uzyskane wyniki różnią się nie więcej niż o 3% od wyników zawartych w tym dokumencie. Norma ta podaje również wytyczne w sprawie przyjmowania podstawowych parametrów analizy.

Pomimo iż obecne przepisy nie dopuszczają przeprowadzenia pełnego dowodu stateczności aerodynamicznej pojazdu kolejowego wyłącznie z wykorzystaniem CFD [13], [12], metody numeryczne wraz z rozwojem mocy obliczeniowej współczesnych komputerów pozwalają na uzyskiwanie wyników co raz dokładniejszych. Jak pokazali Sima i inni w pracy [14] stanowiącej część projektu AEROTRAIN, wyniki uzyskiwane metodami numerycznymi już dziś mogą dorównać wynikom badań w tunelach wiatrowych. Z tego względu, współcześnie przy prowadzeniu skomplikowanych analiz (np. sprzężonych drgań układów most – pociąg – wiatr) coraz częściej wykorzystuje się metody CFD do uzyskiwania współczynników aerodynamicznych.

Badania własne

Celem badań autorów niniejszej pracy było rozpoznanie metody CFD jako narzędzia do wyznaczania współczynników aerodynamicznych pojazdu kolejowego. W dalszych badaniach planowane jest opracowanie metody analizy dynamicznej układu pociąg – most, poddanego działaniu wiatru bocznego, łącznie z analizą stateczności aerodynamicznej pociągu poruszającego się po moście.

W przeprowadzonych badaniach wstępnych analizowano, podobnie jak w pracy [16], uproszczoną, prostopadłościenną bryłę pojazdu pokazaną na rysunku 5. Jako konfigurację terenu przyjęto jednotorowy most belkowy o wysokości dźwigara 2 m. Do badań przyjęto, że pociąg składa się z trzech identycznych pojazdów (wagonów),

każdy o długości 19,5 m. Wyznaczono współczynniki aerodynamiczne dla pojazdu środkowego, obecność sąsiednich miała zapewnić właściwą reprezentację przepływu. W obliczeniach zastosowano metodę RSM (*Reynolds Stress Model*) z grupy RANS. Metoda ta opiera się na domknięciu układu równań Naviera-Stokesa za pomocą bezpośredniego transportu poszczególnych składowych tensora naprężeń Reynoldsa [10]. Jako wartość pola odniesienia przyjęto zrzutowaną powierzchnię boczną ściany nawierzchni wagonu.

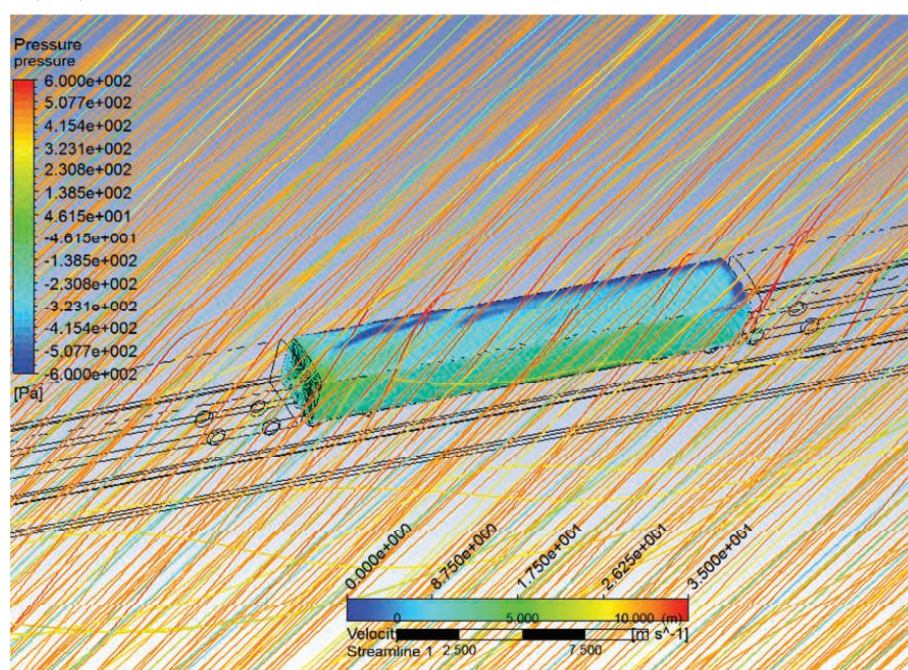
Obliczenia wykonano w środowisku programistycznym CFD ANSYS. W pierwszej kolejności przeprowadzono badania sprawdzające dla prędkości wiatru 20 m/s i 30 m/s, wykazując zmienność wartości współczynników aerodynamicznych, charakterystyczną dla liczby Reynoldsa z zakresu nadkrytycznego. Rozmiar przestrzeni opływu przyjęto zgodnie z wytycznymi normy [12]. Przykładowe wyniki obliczeń pokazano na rysunku 6. Następnie rozważono cztery kąty natarcia wiatru wypadkowego na pojazd i uzyskano wartości współczynników aerodynamicznych przedstawione na rysunku 7. Wyniki te zostały odczytane po osiągnięciu zbieżności przy kilkuset iteracjach, niemniej jednak mogą one być obciążone błędem ze względu na przyjęty rozmiar elementu skończo-

nego ok. 0,2 m.

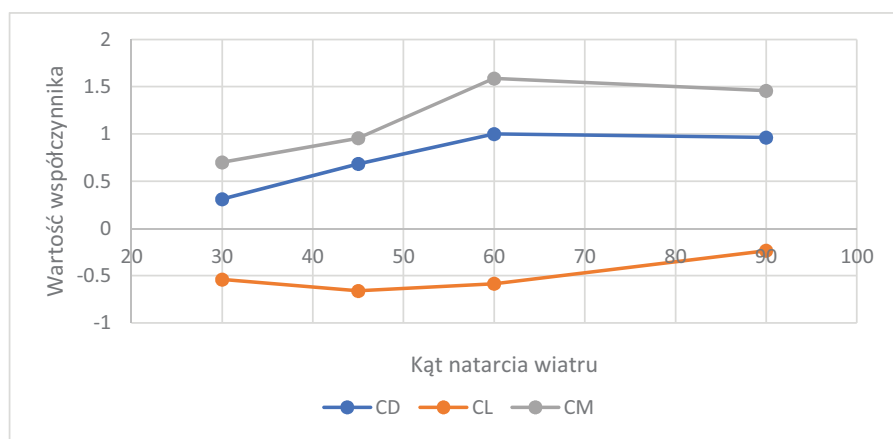
Pokazany schematycznie na rysunku 7, przybliżony kształt zależności współczynników aerodynamicznych od kąta natarcia wiatru wypadkowego jest zbliżony do kształtu krzywych znanych z literatury i tych przedstawionych na rysunku 3. Ponadto, uzyskane wartości współczynników mieszczą się w zakresie znanym z wielu badań, np. przedstawionych w [16] lub [5], co oznacza, że pierwsze wyniki zastosowania autorskiej procedury obliczeniowej metodą CFD są obiecujące, chociaż nakład obliczeniowy okazał się stosunkowo duży – czas jednej serii obliczeń był rzędu czterech godzin. Aby opracowaną procedurę uznać za wiarygodną, należy w kolejnym etapie prac wykonać analizy porównawcze na jednym z modeli referencyjnych, według normy [12].

Podsumowanie

Współcześnie normy dopuszczają wyznaczanie współczynników aerodynamicznych pojazdów kolejowych jedynie w tunelach wiatrowych, jako że nadal jest to metoda najdokładniejsza. Wymaga ona jednak dostępu do tunelu wiatrowego, dużego nakładu pracy, odpowiedniego sprzętu i wielu badań w celu uzyskania wiarygodnych wyników, w szczególności gdy rozważane są różne konfiguracje terenu. Alternaty-



6. Przykładowe wyniki badań CFD dla kąta natarcia 30° – linie prędkości wiatru i rozkład ciśnienia na powierzchni ciała



7. Współczynniki aerodynamiczne w zależności od kąta natarcia wiatru wypadkowego

tywą są metody numeryczne, które wraz z dynamicznym wzrostem mocy obliczeniowych współczesnych komputerów dają co raz większe możliwości i coraz lepsze wyniki. W pracy opisano obie grupy metod wyznaczania współczynników aerodynamicznych – bazujące na badaniach modelowych w tunelach wiatrowych i badaniach numerycznych z użyciem symulacji CFD, w odniesieniu do pojazdów kolejowych, normy PN-EN 14067-6:2018-10 i wymagań TSI.

W pracy przedstawiono wyniki wstępnych badań własnych przeprowadzonych numerycznie za pomocą autorskiej procedury obliczeniowej zrealizowanej w module CFD środowiska programistycznego ANSYS. Wyznaczone wartości współczynników aerodynamicznych przykładowego hipotetycznego pojazdu kolejowego pozwalają wstępnie ocenić procedurę jako poprawną. W kolejnym etapie badań, w celu potwierdzenia wiarygodności opracowanej procedury obliczeniowej zostaną wykonane analizy porównawcze na jednym z modeli referencyjnych, według normy [12]. Opracowana procedura będzie w przyszłości wykorzystana do wyznaczenia współczynników aerodynamicznych układu pociąg – most, na potrzeby analiz dynamicznych takiego układu poddanego działaniu wiatru bocznego, łącznie z analizą stateczności aerodynamicznej pociągu poruszającego się po moście. ◀

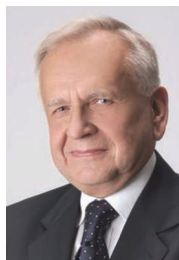
Materiały źródłowe

- [1] Baker C. J. i inni, Evaluation of crosswind effects on rail vehicles through moving model experiments, The Seventh International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications BBAA7, 2.09.2012, 1480-1489.
- [2] Baker C., A review of train aerodynamics. Part 1. Fundamentals, The Aeronautical Journal, 2014, 118(1201), 201-228.
- [3] Baker C., Cheli F. i inni, Cross-wind effects on road and rail vehicles, Vehicle System Dynamics, 2009, 47, 983-1022.
- [4] Baker C.J., Train aerodynamic forces and moments from moving model experiments, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1986, 24, 227-251.
- [5] Bocciolone M., Cheli F. i inni, Crosswind action on rail vehicles: Wind tunnel experimental analyses, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2008, 96, 584-610.
- [6] Flaga A., Inżynieria wiatrowa, Arkady, 2008.
- [7] He X., Gai Y., Wu T., Simulation of train-bridge interaction under wind loads: a rigid-flexible coupling approach, International Journal of Rail Transportation, 2018, 6, 163-182.
- [8] Jorg F. i inni, Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment, COST Office, University of Hamburg, 2007.
- [9] Li Y. L. i inni, Dynamics of wind-rail vehicle-bridge systems, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2005, 93, 483-507.

- [10] Lipecki T., Struktura wiatru i badania modelowe obciążenia wiatrem budowli prostokątnych, Politechnika Lubelska, 2015.
- [11] Olmos J. M., Astiz M. A., Non-linear vehicle-bridge-wind interaction model for running safety assessment of high-speed trains over a high-pier viaduct, Journal of Sound and Vibration, 2018, 419, 63-68.
- [12] PN-EN 14067-6:2018-10, Kolejnictwo - Aerodynamika - Część 6: Wymagania i procedury badań oddziaływania wiatru bocznego.
- [13] Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor — lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej.
- [14] Sima M. i inni, Computational fluid dynamics simulation of rail vehicles in crosswind: Application in norms and standards, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F-Journal of Rail and Rapid Transit, 2015, 229, 635-643.
- [15] Simu E., Scanlan R.H., Wind Effects on Structures, Fundamentals and Applications to Design, John Wiley & Sons INC, 1996.
- [16] Suzuki M., Tanemoto K., Maeda T., Aerodynamic characteristics of train/vehicles under cross winds, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2003, 91, 209-218.
- [17] [www.en.wikipedia.org/wiki/List_of_rail_accidents_\(2000-2009\)](http://www.en.wikipedia.org/wiki/List_of_rail_accidents_(2000-2009)), 31.03.2019.
- [18] www.en.wikipedia.org/wiki/List_of_wind-related_railway_accidents, 31.03.2019.
- [19] Xu X. Y., Li Y. L., Dynamic analysis of wind-vehicle-bridge system based on rigid-flexible coupling method, Advances in Civil, Environmental, and Materials Research ACEM16, 28.08.2016.
- [20] Xu Y. L. i inni, Vibration of coupled train and cable-stayed bridge systems in cross winds, Engineering Structures, 2004, 26, 1389-1406.
- [21] Żurański J.A., Obciążenia wiatrem budowli i konstrukcji, Wydawnictwo Arkady, 1978.

Modelowanie numeryczne geometrii wzorców wad powierzchniowych szyn kolejowych

Simulation of geometric pattern of surface flaws in railway rails



Piotr Lesiak

Dr hab. inż.

Wyższa Szkoła Ekonomii i
Innowacji w Lublinie, Wydział
Transportu i Informatyki

piotr.lesiak@wsei.lublin.pl



Rafał Podsiadło

Dr inż.

Uniwersytet Technologiczno-
Humanistyczny im. K. Pułaskiego
w Radomiu, Wydział Transportu i
Elektrotechniki

r.podsiadlo@uthrad.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono wybrane modele geometryczne wzorców wad powierzchniowych szyn kolejowych. Wykorzystano do tego celu aplikację grafiki komputerowej opartą o krzywe Béziera, zaimplementowaną w programie symulacyjnym UM Loco. Pozwoliło to na zamodelowanie profili szyn z wzorcowymi wadami. Tak utworzone wady, posłużyły do badań symulacyjnych dynamiki układu tor - pojazd, przy przejeździe wagonu towarowego z różnymi prędkościami. Przeanalizowano wpływ wymiarów wybranych wzorców wad, na wartość sił kontaktowych, pod kątem zagrożeń eksploatacyjnych.

Słowa kluczowe: Grafika komputerowa; Szyny; Wzorce wad powierzchniowych; Symulacja; Siły kontaktowe

Abstract: The paper presents selected models of geometric patterns of surface flaws in railway rails. The simulation based on Bezier's splines has been carried out using UM Loco simulation software. It allows for the simulation of the rail profile with pattern flaws. These flaws have been used to simulate dynamic interaction between the vehicle and the track for the freight carriage moving with different speeds. The impact of the flaw dimensions on the contact forces have been analyzed.

Keywords: Computer graphics; Rails; Patterns of surface flaws; Simulation, Contact forces

Wady powierzchniowe szyn kolejowych, szczególnie te zaliczane do grupy kontaktowo – naprężeniowych RCF – ang. *Rolling Contact Fatigue*, należą do coraz liczniejszej grupy uszkodzeń szyn [1], [3] i [9]. Konsekwencje ich rozwoju z reguły objawiają się złożonymi nierównościami powierzchni tocznej szyny, co stwarza zagrożenie eksploatacyjne, ze względu na wzrost sił kontaktowych tor -pojazd. Jest to zjawisko odwrotne, do znanych i powszechnie diagnozowanych przez PKP PLK S.A. uszkodzeń powierzchni tocznych kół [7], ale o podobnych skutkach dla toru.

Dlatego autorzy postanowili zamodelować w postaci numerycznej geometrię kilku typowych wzorców tych wad, w celu obiektywnej ich oceny dla potencjalnych pęknięć (złamań) szyn, w tych newralgicznych miejscach. Jest to zagadnienie niezwykle istotne, gdyż niesie za sobą nie tylko wzrost kosztów napraw, ale przede wszystkim pogorszenie stanu bezpieczeństwa ruchu pociągów.

Pierwsze próby analizy tych problemów podjęte przez autorów, przedstawiono w pracy [8]. Współautor tworzył też modele fizyczne wzorców wad powierzchniowych w szynach, *Head*

Checking i *Squat*, ale dla celów badań diagnostyki wykorzystującej metodę skaterometrii laserowej [6].

Wykorzystanie w praktyce zaproponowanych przez autorów wzorce modeli wad, pozwalają na obiektywną ocenę metrologiczną wartości maksymalnych dynamicznych sił kontaktowych, towarzyszących przejazdowi pociągu, w stosunku po rzeczywistych wad o podobnym kształcie w torze kolejowym. W tym celu oszacowano wpływ zmian wymiarów wzorców, na wartość tych sił.

Prezentacja wzorców wad powierzchniowych

W celu wizualnej prezentacji analizowanych typów wzorców wad powierzchniowych, stworzono dla nich modele 3D, rys. 1. Odpowiadają one wadom rzeczywistym, spotykanym w torze, rys. 2. Można tu wyróżnić wady typu *Split*, *Spalling* [12], *Squat* i wybuksowanie [4]. Zdefiniowano ich wymiary długości szerokości i głębokości, w celu ich dalszej oceny na zagrożenia eksploatacyjne.

Wady zamodelowano na szynie o profilu UIC60. Analogie wad rzeczywistych

odpowiadające ich modelom, przedstawiono na rys. 2. Pierwsze to pęknięcie poziome, które charakteryzuje się stopniowym oddzieleniem górnej części główki szyny (ang. *Horizontal Split Head*) – katalog nr 212. Pęknięcie rozpoczyna się wewnątrz główki szyny i postępuje równolegle we wszystkich kierunkach do powierzchni tocznej. W późniejszym stadium następuje oddzielenie fragmentu metalu, co powoduje to miejscowe obniżenie powierzchni tocznej, rys. 1a i 2a.

Pęknięcie pionowe główki szyny staje się początkiem wady, w wyniku której odpada połowa główki szyny aż do szyjki (ang. *Vertical Split Head*), rys. 1b i 2b (katalog nr 213) [4]. Mniejszy zakres tego zjawiska, będący między innymi pogłębionym efektem wad *shelling*, to boczny *Split*. Następuje wówczas odebranie krawędzi główki szyny, rys. 1c i 2c (katalog nr 2222).

Kolejne uszkodzenie powierzchni tocznej szyny, pochodzenia hutniczego, to wykruszenie fragmentu powierzchni tocznej, czyli ang. *Center Rail Spalling*, rys. 1d i 2d. Wada ta zaczyna się od płytkiego horyzontu, powodując stopniowe obniżanie się powierzchni tocznej szyny.

Wady z rys. 1e i 2e, to popularne squaty, reprezentujące grupę wad kontaktowo – naprężeniowych (katalog nr 227). Mogą one występować w różnych miejscach powierzchni tocznej szyny, w jej poziomej osi, lub też przesuwać się do środka toru, gdzie występuje największe obciążenie obręczy koła.

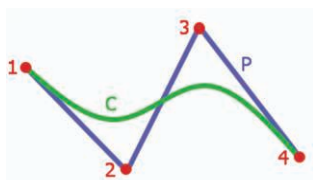
Ostatnim przedstawicielem rozpatrywanych w pracy wad powierzchniowych, jest klasyczne wybuksowanie, rys. 1f i 2f (katalog nr 2252). Występują one szczególnie w miejscach rozruchu ciężkich składów towarowych, najczęściej przed semaforami.

Algorytm modelowania numerycznego geometrii profili wzorców wad

Do modelowania profili wzorców wad powierzchniowych w szynach, wykorzystano krzywe Béziera [5]. To parametryczne krzywe powszechnie stosowana w grafice wektorowej. Każda współrzędna punktu krzywej jest pewną funkcją liczby rzeczywistej. Ze względu na rodzaj tych funkcji mówi się o krzywych wielomianowych oraz krzywych wymiernych. Krzywa jest definiowana za pomocą łamanej kontrolnej, składającej się z punktów kontrolnych. Kształt krzywej Béziera opisują wielomiany, dla których przyjęto dziedzinę $t \in [0,1]$. Stopień wielomianu wprost zależy od liczby punktów kontrolnych – wynosi n (liczba punktów kontrolnych minus jeden). Na rys. 3 przedstawiono przykładową krzywą Béziera C , jej punkty kontrolne 1, 2, 3, 4, oraz jej łamaną kontrolną P .

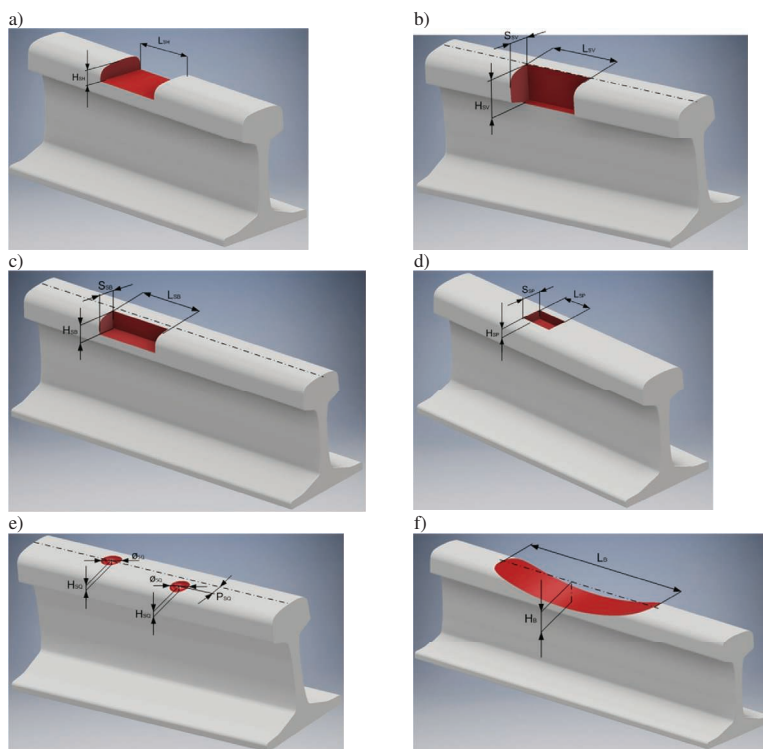
Wzór na krzywą Béziera o większej niż 4 punktów kontrolnych można opisać wielomianem:

$$B(t) = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} (1-t)^{n-i} t^i P_i$$

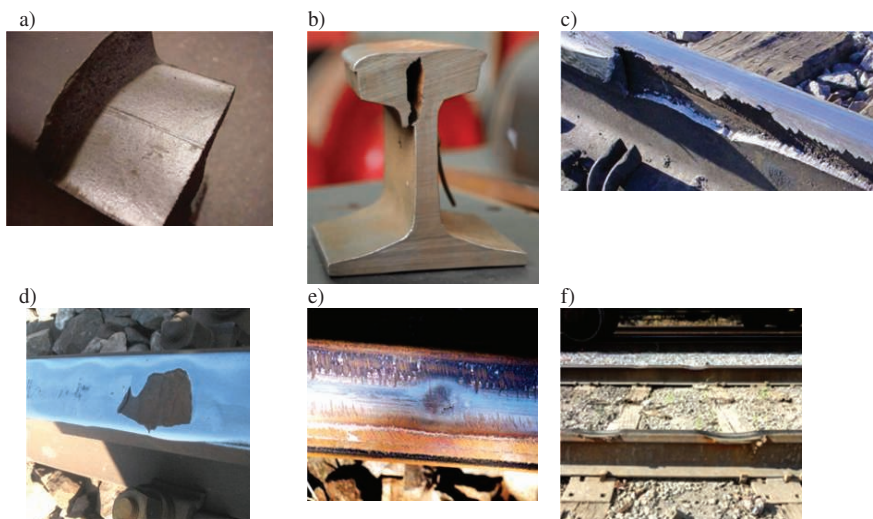


3. Przykład tworzenia krzywej Béziera

$$= (1-t)^n P_0 + \binom{n}{1} (1-t)^{n-1} t P_1 + \dots + \binom{n}{n-1} (1-t) t^{n-1} P_{n-1} + t^n P_n, \quad t \in [0, 1] \quad (1)$$



1. Prezentacja 3D wad powierzchniowych: a) Split horyzontalny, b) Split wertykalny, c) Split boczny, d) Spalling, e) Squat w osi wzdłużnej szyny i przesunięty, f) wybuksowanie (opracowanie własne)



2. Rzeczywiste wady będące odpowiednikami prezentacji 3D z rys. 1 [2], [12], [13], [14] i [16]

gdzie:

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}$$

n – stopień wielomianu opisującego krzywą Béziera, i – liczba punktów kontrolnych.

W badaniach symulacyjnych wykorzystano z programu UM Loco [11], [17], gdzie zostały zaimplementowane krzywe Béziera. Poprzez zdefiniowanie punktów profili, otrzymano założone ich wzorcowe zarysy. Na rys. 4 pokazano przypadki z rys. 1, poza wybuksowaniem, które tworzone jest na zasadzie sklejanego wielu profili. W celu określenia

punktów kontaktowych, na profile nałożono zarys obręczy koła.

Przykłady współrzędnych dla wybranych profili wzorca wady, przedstawiono w tabeli 1, wraz z legendą. Określenie S (ang. *Spline*), oznacza funkcję sklejaną. Funkcja ta jest ciągła i ma ciągle pochodne. W metodzie tej stosowane są funkcje zdefiniowane jako wielomiany niskiego stopnia osobno dla każdego odcinka pomiędzy sąsiednimi węzłami interpolacyjnymi. Te lokalne wielomiany są jednak tak dobrane, aby oprócz warunków interpolacji spełniały warunki sklejenia w taki sposób, aby cała funkcja była funkcją o odpowiedniej

regularności. Krzywa B-sklejana (ang. *B-spline*), to jedna z najczęściej stosowanych reprezentacji parametrycznych krzywych sklejanych. Charakteryzują ją

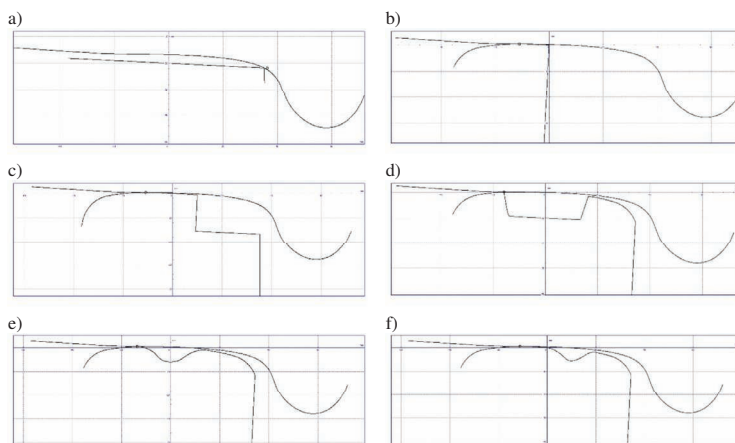
dwa parametry: n - stopień sklejanych krzywych wielomianowych (w praktyce zwykle niewielki, wynosi 2, 3 lub 4, rzadziej więcej), m - liczba podprzedziałów,

na których definiowane są kolejne części krzywej. Reprezentowana jest przez $m - n$ krzywych Béziera, jednak punkty kontrolne nie wystarczają do właściwego wyznaczenia takiej liczby krzywych. Trzeba znaleźć dodatkowe punkty, które pozwolą skonstruować wszystkie krzywe Béziera 3. stopnia w taki sposób, by była zachowana ciągłość parametryczna.

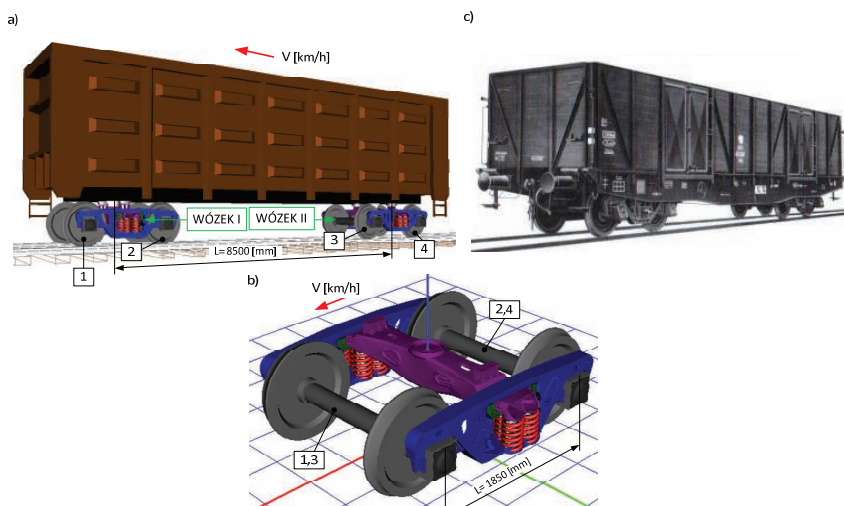
Tab. 1. Współrzędne wzorców profili wad

Profil wzorca wady Squat umieszczonej w osi szyny (rys. 4e)			Profil wzorca wady Spalling (rys. 4d)		
Wsp X	Wsp Y	Typ	Wsp X	Wsp Y	Typ
-35	-38.6	L	16.46	-0.61	S
-37.1	-36.12	L	19.13	-0.95	S
-36.7	-28.7	L	21.90	-1.40	S
-36.5	-23.8	L	24.76	-1.97	S
-36.1	-15.3	L	26.24	-2.31	S
-35.68	-12.04	B	27.67	-2.76	S
-34.63	-9.11	B	29.02	-3.36	S
-32.95	-6.54	B	30.27	-4.11	S
-31.89	-5.42	B	31.43	-4.98	S
-30.70	-4.43	B	32.48	-5.98	S
-29.38	-3.58	B	33.41	-7.08	S
-27.95	-2.88	B	34.21	-8.28	S
-26.42	-2.36	B	34.88	-9.57	S
-24.81	-1.99	B	35.41	-10.94	S
-23.24	-1.66	B	35.78	-12.38	S
-21.70	-1.37	B	35.99	-13.88	S
-18.71	-0.89	B	36.07	-15.40	S
-15.84	-0.55	S	36.14	-16.87	S
-13.09	-0.31	S	36.21	-18.30	S
-10.43	-0.18	S	36.35	-21.05	L
-7.86	-0.10	S	36.5	-23.8	L
-5.7	-0.8	S	36.61	-26.24	L
-4.3	-2.7	S	36.73	-28.73	L
-2.9	-4.8	S	36.86	-31.19	L
0.3	-5.9	S	36.98	-33.65	L
3.6	-4.8	S	37.1	-36.12	L
6.5	-1.1	S	35	-38.641	L
8.87	-0.13	S			
11.34	-0.21	S			
13.86	-0.37	S			

Legenda: L - linia prosta, S - funkcja sklejana (ang. *S-spline*), B - krzywa sklejana (ang. *B-spline*), C - zaokrąglenie, Źródło: (opracowanie własne)



4. Profile wzorców wad przy współpracy z powierzchnią toczną koła: a) Split horyzontalny, b) Split wertykalny, c) Split boczny, d) Spalling, e) Squat w osi wzdłużnej szyny f) Squat przesunięty względem osi wzdłużnej szyny (opracowanie własne)



5. Widok wagonu towarowego wykorzystywanego w symulacjach: a) wagon towarowy oraz b) wózek jezdny utworzone w UM LOCO, c) rzeczywisty wagon wyposażony w wózki daimond

Badanie wpływu rozmiarów wzorców wad na siły kontaktowe

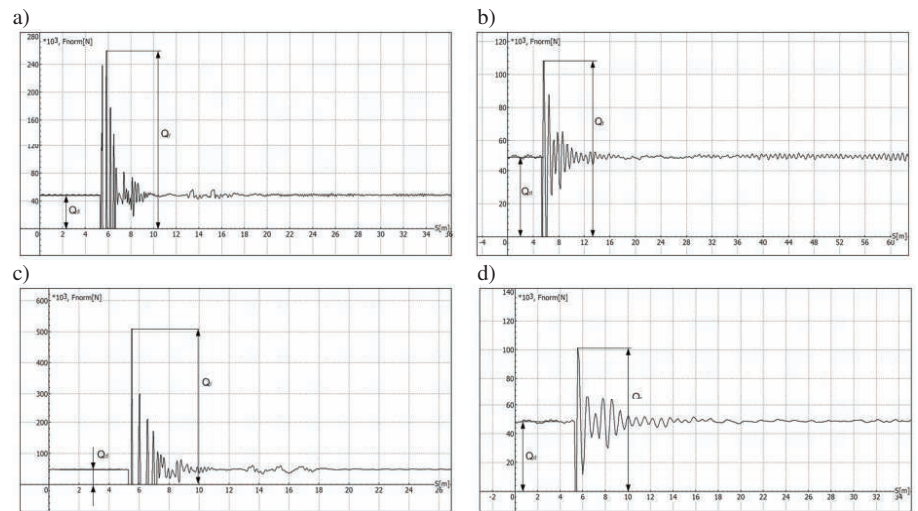
Poddano badaniom wartości sił kontaktowych koło - szyna w zależności od rozmiarów wybranych wad powierzchniowych, podczas przejazdu wagonu towarowego. W symulacji wykorzystano wagon wyposażony w wózki daimond, rys. 5. Model tego wagonu był stosowany przez autorów w pracach [7], [10] i został utworzony w pakiecie UM LOCO [17]. Przyjęto jego prędkość $V=20$ i 80 km/h, oraz masę pudła $M_p=30$ t. Wszelkie analizy rozpatrzono dla zestawu nr 1, jak na rys. 5a. Tor kolejowy zamodelowano jako prosty, w postaci nieskończenie długiej belki o podporze sprężystej. Przyjęto umownie, że tor jest twardy o tłumieniu $k_p=8,5 \times 10^7$ N/m i sprężystości $c_p=3,8 \times 10^4$ N/m. W przypadku przetaczania się kół wagonu w obrębie wzorców powierzchniowych wad szyny, siła nacisku kół ulega dynamicznej zmianie, rys. 6. I tak dla modelu wzorca wady *Split* horyzontalny, jak na rys. 1a i 2a, porównano na rys. 6a i 6b wpływ prędkości wagonu. Dynamiczna siła obciążenia szyny Q_d przez koło zestawu nr 1, bez względu na prędkość wynosi około 50 kN. Natomiast istotne są zmiany chwilowe siły reakcji Q_r . Przy małej prędkości $V=20$ km/h, maksimum tej siły jest istotnie większe, około 260 kN, w porównaniu do prędkości $V=80$ km/h, gdzie wynosi tylko 110 kN. Po najeździe koła na krawędź (uskok) wzorca wady, następuje w pierwszej chwili jego odciążenie, a następnie uderzenie w dno wady, przy czym inercyjny system zawieszenia wózka wagonu ma mniej czasu przy większej prędkości, stąd siła uderzenia Q_i istotnie maleje. Należy zauważyć, że odciążenia koła dla prędkości $V=20$ km/h powtarzają się, co można interpretować utratą jego kontaktu w obrębie wzorca wady. Po najeździe na drugą krawędź, koło już na nieuszkodzonej szynie wykonuje cykl tłumionych drgań, przy czym ich amplituda maleje w miarę zwiększania prędkości.

kości. Reasumując, przejazd wagonu po wzorcu wady horyzontalnej *Split*, jest mniej uciążliwy dla toru, w miarę wzrostu prędkości. Podobnie zjawiska występują dla wzorca *Splitu* wertykalnego, gdzie wzrost prędkości do $V=80$ km/h, istotnie poprawia stabilność ruchu wagonu, rys. 6d, i zmniejsza siły reakcji Q_r do 105 kN z 550 kN przy $V=20$ km/h. Dlatego ten wzorec wady, szczególnie dla małych prędkości i znacznej długości, stwarza realne niebezpieczeństwo wykołowania nie tylko wskutek przeciążenia toru, ale i ruchu poprzecznego zestawu, rys. 1b. Kształty i amplitudy przebiegów sił kontaktowych dla wzorców wad *Splitu* horyzontalnego i wertykalnego, przy większych prędkościach, są bardzo do siebie zbliżone, rys. 6b i 6d, co świadczy o podobieństwie ich oddziaływania na pojazd szynowy.

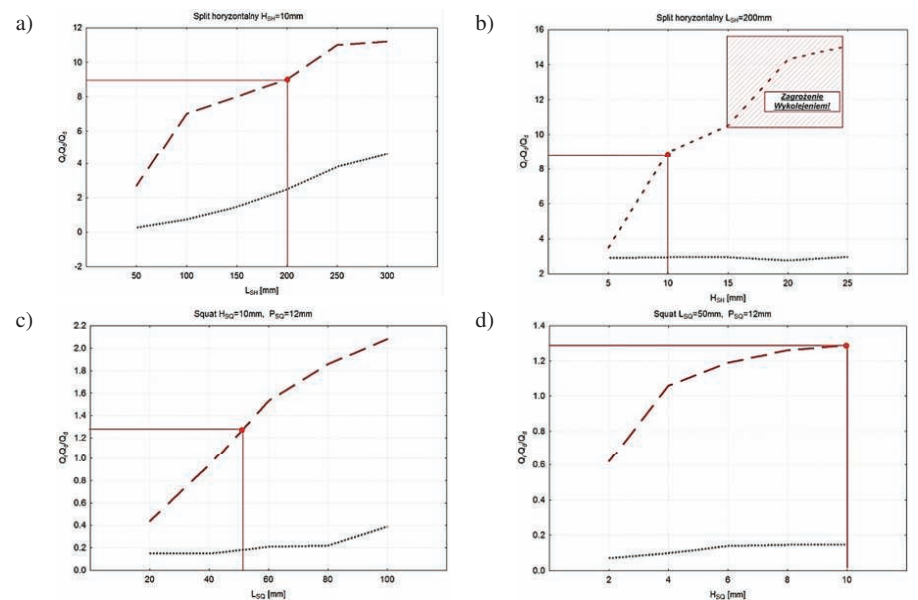
Rozważania dotyczące zjawisk dynamicznych dla wzorca *Splitu* horyzontalnego z rys. 1a, potwierdzają również przykładowe wykresy z rys. 7a i 7b, które dotyczą oceny geometrii tej wady na wartość sił reakcji. I tak, dla długości tej wady $L_{HS}=200$ mm, przy prędkości $V=20$ km/h, stosunek maksymalnych amplitud sił reakcji i dynamicznej jest znaczący $(Q_r - Q_d)/Q_d = 9$, dla głębokości wady 10 mm. Graniczna wartość głębokości tego uszkodzenia dla stabilnego przejazdu koła, wynosi $H_{SH}=150$ mm. Po przekroczeniu tej długości, zachodzi możliwość wykołowania wagonu, rys. 7b. Należy tu zwrócić uwagę na gwałtowny wzrost pionowej siły reakcji Q_r , która w stosunku do siły dynamicznej Q_d przekracza wartość 10. W praktyce spowoduje to pęknięcie lub złamanie szyny [15].

Mniej uciążliwe zjawiska występują dla wzorca wady *Squat*, przesuniętej względem osi wzdłużnej szyny o wartość $P_{SQ}=12$ mm, rys. 1e i rys. 7c i 7d.

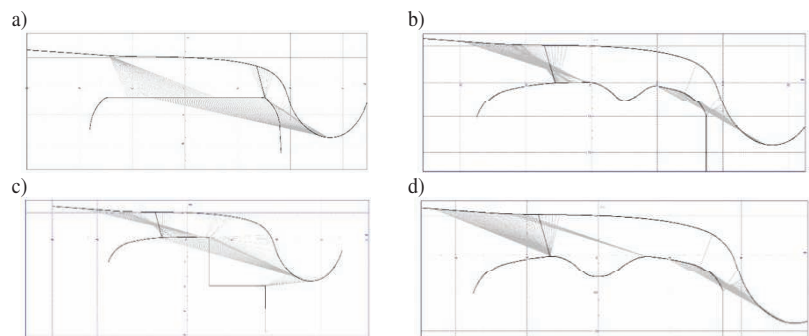
Stosunek wymienionych sił, niewiele różni się od jedności przy małej prędkości $V=20$ km/h, co jednoznacznie oznacza niewielki wpływ tej wady na siły reakcji pionowej Q_r . Potwierdza to też analiza miejsca kontaktu szyna – koło w przypadku toru prostego, rys. 8b w porównaniu z wzorcem wady *Split* horyzontalny, rys. 8a, dla którego uzyskano niewspółmiernie większe siły reakcji. Ponadto na rys. 8, dla kilku wzorców wad, przedstawiono wszystkie możliwe kontakty szyny z profilem koła dla różnych wartości przesunięcia poprzecznego. Widoczne linie zawarte pomiędzy pro-



6. Dynamiczne zmiany pionowej siły kontaktowej koło – wzorec wady szyny: a) *Split* horyzontalny o długości 200 mm i głębokości 10 mm (po przekroczeniu 15 mm zachodzi możliwość wykołowania – rys.7b), przy prędkości 20 km/h, b) jak a) dla $V=80$ km/h, c) i d) *Split* wertykalny odpowiednio jak horyzontalny z a) i b) (opracowanie własne)



7. Ilustracja zależności amplitudy względnej siły kontaktowej od rozmiarów wzorców wad w szynach, przy różnych prędkościach: a) i b) *Split* horyzontalny jak na rys.1a, c) i d) *Squat* przesunięty jak na rys. 1e, gdzie oznaczono linią kreskowaną zależności dla $V=20$ km/h a linią kropkowaną dla $V=80$ km/h (opracowanie własne)



8. Ilustracja obszarów kontaktów szyna – obręcz koła w torze prostym dla wzorców wad: a) *Split* horyzontalny, b) *Squat* przesunięty, c) *Split* boczny, d) *Squat* symetryczny względem osi szyny (opracowanie własne)

filami szyny i koła wskazują te punkty kontaktowe. Gruba linia odpowiada bieżącej pozycji wzajemnej położenia profilu koła względem szyny. Wady należące

do tej grupy, szczególnie licznie występują na łukach linii kolejowych, gdzie profil i przechył toru, predysponują te miejsca do ich powstawania.

Wnioski

Przeprowadzone w pracy badania symulacyjne oraz ich analiza, stanowią oryginalny dorobek autorów. Pozwalają one na określenie krytycznych rozmiarów wybranych wad powierzchniowych, które mogą stanowić zagrożenie dla ruchu pojazdów, w praktyce ich wyko-
lejenie. Badania symulacyjne wykonano przy określonych upraszczających założeniach, a mianowicie: prosty tor, dedykowany model wagonu towarowego o przyjętej masie z załadunkiem, stałe parametry dynamiczne podtorza (twarde), wzorcowe kształty wad. Finalnym działaniem powinna być praktyczna weryfikacja uzyskanych badań symulacyjnych w oparciu o pomiary sił kontaktowych na rzeczywistych pojazdach szynowych w różnych warunkach infrastruktury szynowej. Przydatnym miejscem do celu wydaje się być tor doświadczalny.

Autorzy upatrują, że można w ten sposób stworzyć pewne narzędzia kalibracyjne, które pozwolą na ocenę geometrii powierzchniowych wad w szynach. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Canjea S., Lovejoy L.G.: TCRP Report 155: Track Design Handbook for Light Rail Transit. Second Edition. Chapter 2: Light Rail Transit Vehicles. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 2012, s. 2.1-2.58.
- [2] Beneberu A.: Rail Crack Analysis with Inspection and Maintenance Plan at Transition Section Between Bridges and Embankments. Addis Ababa University, 2016.
- [3] Grulkowski S., Kędra Z., Zariczny J.: Problemy diagnostyki szyn kolejowych w torach i rozjazdach. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 5/2014, s. 497-504.
- [4] Katalog wad w szynach. UIC 712R, 2002.
- [5] Kiciak P.: Podstawy modelowania krzywych i powierzchni. Zastosowania w grafice komputerowej. Wyd. WNT 2019.
- [6] Lesiak P., Wlazło M.: Model optyczny skaterometrii laserowej wzorców wad powierzchniowych szyn kolejowych. Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, nr 3/2013, s.1655 – 1664.
- [7] Lesiak P., Podsiadło R.: Badania symulacyjne interakcyjnego oddziaływania uszkodzonych powierzchni kół zestawów kołowych w wózku wagonowym na tor kolejowy. Technika Transportu Szynowego, 12/2015, s. 913-919.
- [8] Lesiak P., Podsiadło R., Stokłosa J.: Symulacyjne badania dynamicznego oddziaływania pojazdu na szyny z wadami powierzchniowymi. „Projektowanie, budowa i utrzymanie infra-

struktury w transporcie szynowym” INFRA-SZYN 2018, Wyd. ITE-PIB Radom 2018, rozdział w książce, s. 135 -143.

- [9] Migdał M.: Zarządzanie szynami z wadami squat. III SDIS Warszawa 2018.
- [10] Pawelczyk M., Lesiak P., Podsiadło R.: Simulation study of the 4-axle wagon damaging impact on the track caused by some deformations of the wheel. 22th International Conference, Current Problems in Rail Vehicles - PRORAIL 2015. Proc. Vol. II, September 16 – 18, 2015, Žilina, Slovakia, s. 115-125.
- [11] Podsiadło R.: Wspomaganie komputerowe w symulacji dynamiki ruchu pojazdów szynowych. Logistyka 6/2014, s. 8846-8850.
- [12] Rail Defect Manual. Compiled by Sperry Rail Service for the use of the rail roads. Rev.5/16, 2016.
- [13] Railway Investigation Report R15H0021. Main-track train derailment. Canadian National Railway Company, Ontario 2015.
- [14] TMC 226, Rail Defects Handbook, RailCorp Engineering Manual - Track, Version 1.2, Issued June 2012.
- [15] Towpik K.: Infrastruktura drogi kolejowej. Obciążenia i trwałość nawierzchni. Wyd. ITE - PIB, Warszawa – Radom 2006.
- [16] Track Inspector Rail Defect Reference Manual. Office of Railroad Safety, U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, July 2015, Revision 2.
- [17] Universal Mechanism – ver.6.0, Help Documentation, Laboratory of Computational Mechanics Brayansk State Technical University. Getting Started: Railway Vehicle Dynamics.

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

Analiza występowania wad typu headcheck w szynach

Analysis of the occurrence of headchecks in rails



Grzegorz Stencel

Mgr inż.

Instytut Kolejnictwa
specjalista badawczo-techniczny

gstencel@ikolej.pl

Streszczenie: Artykuł dotyczy problematyki wad typu headcheck, występujących w tokach zewnętrznych łuków torów. Przedstawiono podstawowe cechy tych wad, a także zaprezentowano metody wykrywania i diagnozowania. Na podstawie pomiarów wykonanych przez autora sformułowano wnioski dotyczące możliwych przyczyn występowania wad.

Słowa kluczowe: Wady w szynach kolejowych; Headcheck

Abstract: The article concerns the problems of the headcheck defects occurring in the outer rail on curves. Basic features of these defects are presented, as well as detection and diagnosis methods. Based on the measurements made by the author, conclusions regarding the possible causes of defects have been formulated.

Keywords: Defects in railway rails; Headcheck

Wady typu headcheck (nazywane również rysami) są powszechnie znanym zjawiskiem zachodzącym w szynach nawierzchni kolejowej, lecz z uwagi na wiele trudności, jakie przysparza ich diagnostyka, a także zmienność czynników je wywołujących, dotychczas nie opisano w pełni genezy, która ułatwiałaby zapobieganie ich występowaniu.

W artykule przedstawiono charakterystykę tego typu wad wzbogaconą o pomiary wykonane przez Autora na polskiej sieci kolejowej. Zaprezentowano również pierwsze wnioski z tych pomiarów i obserwacji.

Podstawowe cechy wad typu headcheck

Wady typu headcheck oprócz wybuchów oraz wad typu squat są obecnie najczęstszymi wadami kontaktowo-zmęczeniowymi na powierzchni tocznej szyn [1, 2]. Przyjmuje się, że wady typu headcheck występują na łukach o promieniu poniżej 1500 m, przy czym im mniejszy promień łuku, tym problemy z tymi wadami są poważniejsze [2].

W katalogu wad szyn zjawisko headchecking opisane jest jako szczeliny lub łuski na wewnętrznej krawędzi główki (szyny toku zewnętrznego) i oznaczone symbolem 2223. Zgodnie z katalogiem przyjmuje się 3 postacie

wad typu headcheck:

- Jednorodny i regularny headcheck (rys. 1);
- Headcheck z łuskami;
- Headcheck wyglądający jak długie szczeliny kończące się na powierzchni.

Zaobserwowano, że pęknięcie następuje pod kątem 20-25° w głąb szyny. Na rysunku 1 przedstawiono zdjęcie wad na szynie, która przeniosła ok. 150 Tg obciążenia brutto w okresie 13 lat. W obecnych warunkach eksploatacyjnych taka intensywność obciążenia jest typowa dla tzw. średnio obciążonych linii. Wielkość (głębokość) wad na tym odcinku wynosiła ok. 2 mm, co oznaczało konieczność interwencji poprzez profilowanie szyn.

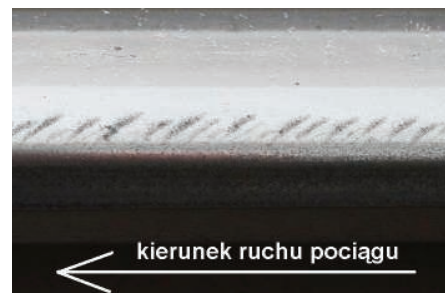
Tempo narastania wad bywa jednak różne. Z obserwacji prowadzonych na liniach kolejowych w Polsce wynika, że jednym z podstawowych czynników eksploatacyjnych wpływających na tempo rozwijania się wad headcheck jest prowadzenie ruchu dwukierunkowego. W torach „średnio obciążonych”, gdzie choćby przez kilka tygodni prowadzony był ruch dwukierunkowy, obserwuje się występowanie wad headcheck, które powinny być usunięte (powyżej 1,5 mm) już po 3 latach eksploatacji. W celu zapobiegania wad, przy profilowaniu szyn na łukach dąży

się do uzyskania profili, których kształt pozwala na ograniczenie kontaktu obrzeża koła z tą powierzchnią krawędzi szyny, gdzie dochodzi do rozwoju wad, a także stosuje się strategie szlifowania, które najczęściej przewidują profilowanie szyn od początku eksploatacji [3, 4, 6].

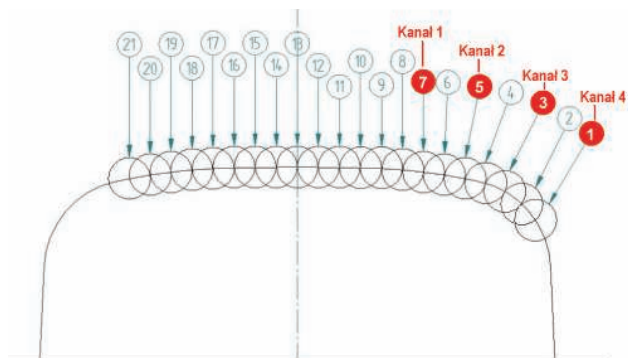
Metody wykrywania wad typu headcheck

Podstawową metodą wykrywania jest obserwacja. Choć nie opisano zależności pomiędzy długością rys, a ich głębokością, to wprawne oko doświadczonego diagnosty jest w stanie oszacować głębokość wad z dokładnością do kilku dziesiątych milimetra.

W przypadku głębszych wad (rzędu kilku milimetrów) rysy są również wykrywane przez głowice ultradźwiękowe [1, 5], jednakże wykrywanie wad wyłącznie o takiej wielkości cechuje niewielką wartość diagnostyczną. Mało



1. Przykład wady typu headcheck



2. Ustawienie sond przy pomiarze przyrządem GF04



3. Przyrząd wiroprowodowy GF04

przydatne w tym zakresie okazały się też inne techniki stosowane do pomiaru powierzchni tocznej szyn [7]. Dlatego dominującą metodą w zakresie wykrywania wad typu headcheck jest metoda prądów wirowych [8].

Instytut Kolejnictwa prowadzi badania dotyczące wad typu headcheck przy pomocy przyrządu wiroprowodowego GF04. Przyrząd umożliwia pomiar w sposób ciągły wad typu headcheck z określeniem ich ilości (na 1 mb) oraz głębokości (mm). Cztery sondy (z możliwością regulacji ustawienia) urządzenia – działające na zasadzie prądu wirowego – skanują powierzchnię badanej szyny. Ustawienie sond, które stosuje się najczęściej przedstawiono na rysunku 2. Pierwszą sondę umieszcza się na stanowisku 7, drugą na stanowisku 5, trzecią na stanowisku 3, a czwartą na stanowisku 1.

Wyniki pomiarów są wyświetlane w

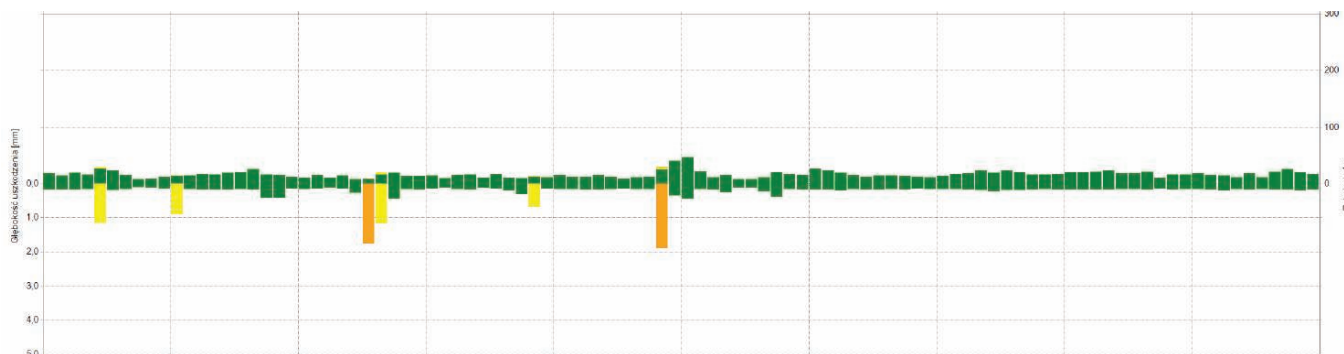
sposób ciągły na komputerze urządzeniu. Zmierzone dane są prezentowane w czasie rzeczywistym na wykresie w funkcji drogi. Podczas pomiarów operator może podpisać określone obszary w wynikach pomiarów za pomocą znaczników. Wady na wykresie są oznaczane w różnych kolorach w zależności od ich głębokości. Znaczenie kolorów jest następujące:

- zielony – głębokość 0÷0,5 mm,
- żółty – głębokość 0,5÷1,5 mm,
- pomarańczowy – głębokość 1,5÷2,7 mm,
- czerwony – głębokość 2,7÷5 mm,
- brązowy – głębokość powyżej 5 mm.

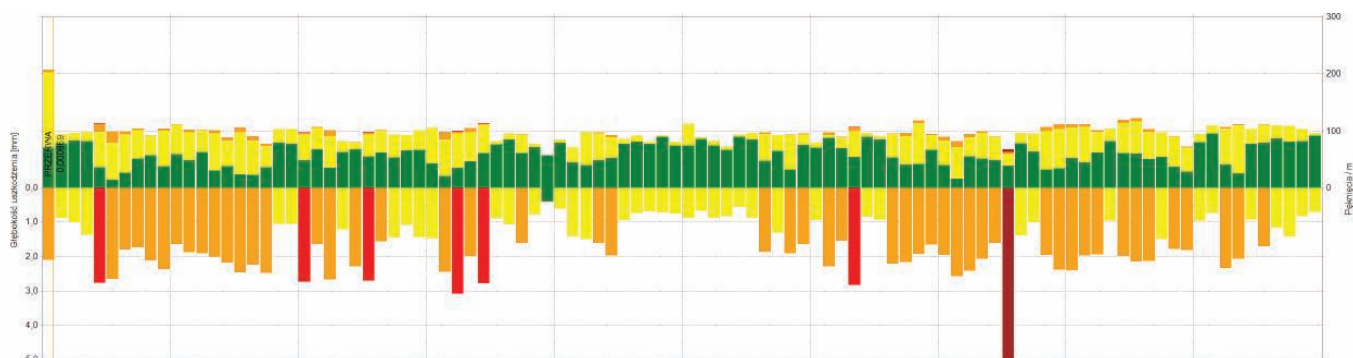
Ze względu na ograniczenia metody, pomiary wad o głębokości powyżej 3 mm są obarczone dużym błędem. Dlatego też często nie analizuje się szczegółowo tego typu wad, jedynie określając że są to wady o głębokości powyżej 3 mm.

Przykłady pomiarów wykonanych na odcinkach występowania wad typu headcheck

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wyniki pomiarów wykonanych na odcinkach torów, gdzie 3 lata wcześniej zostały wymienione szyny (60E1 R350HT) w tokach zewnętrznych. Odcinki znajdują się na sąsiadujących torach, więc struktura ruchu jest zbliżona, przy czym na odcinku 2 obciążenie przewozami jest ok. 30% większe. Każdy z wykresów przedstawia występowanie wad typu headcheck na odcinku 100 m. Wykresy słupkowe nad osią X przedstawiają liczbę zarejestrowanych wad o określonej wielkości (definiowanej kolorem) w poszczególnych metrach odcinka, natomiast wykresy pod osią informują o maksymalnej wartości głębokości wady w danym metrze szyny. Wykresy w widoczny sposób obrazują różnice



4. Wady typu headcheck na odcinku 1 (R~800 m, 30 Tg)



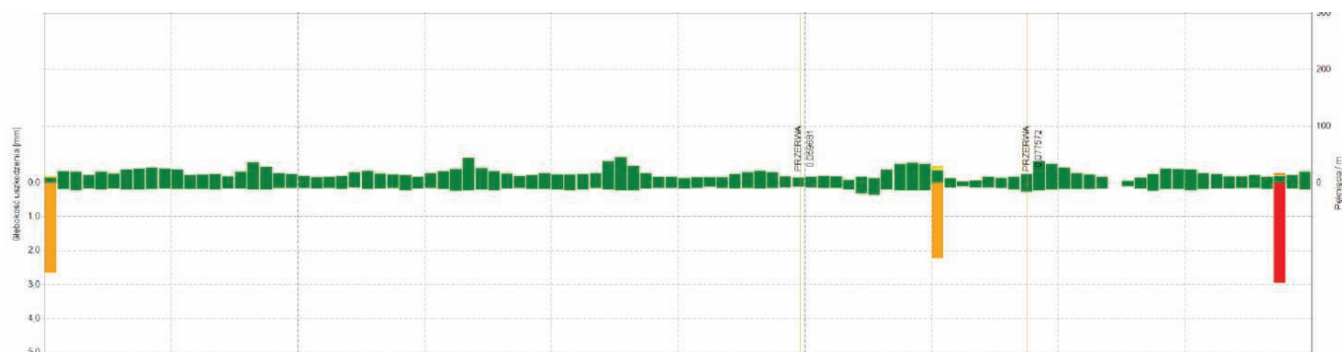
5. Wady typu headcheck na odcinku 2 (R~800 m, 40 Tg)

w rozwoju wad w bardzo podobnych warunkach eksploatacyjnych. Na odcinku 1 występuje zaledwie kilkanaście pęknięć na 1 mb, a ich głębokość w dominującej większości nie przekracza 0,5 mm. Tymczasem w sąsiednim torze w niemalże każdym metrze szyny zarejestrowano ponad 100 wad, z czego prawie połowa sięga ok. 1 mm w głąb

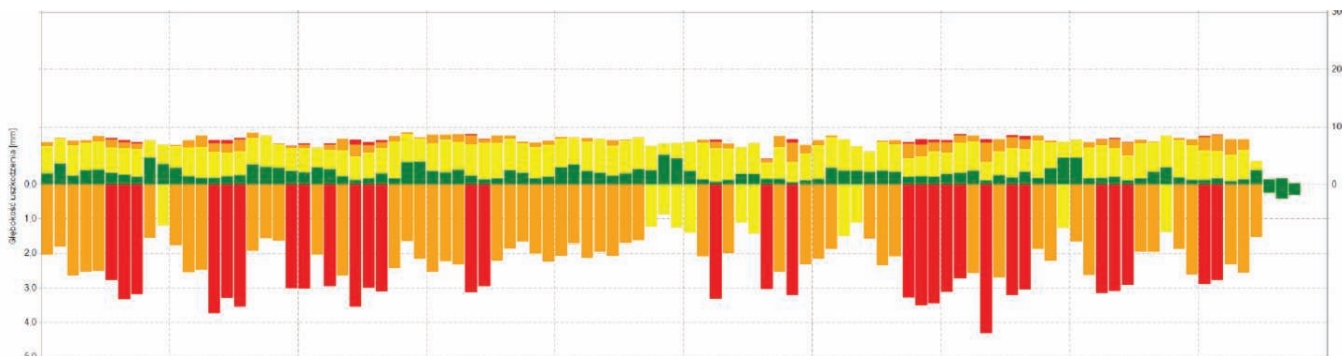
szyny. Maksymalna głębokość wad w poszczególnych metrach szyny sięga 3 mm, więc stan szyny skłania do przeprowadzenia profilowania w trybie naprawczym. Na wykresach z odcinków 6 i 7 można również zaobserwować dużą różnicę w rozwoju wad na szynach o podobnym obciążeniu eksploatacyjnym. Są to jednak odcinki z różnych

linii, więc w tym przypadku struktura ruchu jest inna. Przypadki odcinków 1-2 oraz 3-4 łączy fakt, że na odcinkach, gdzie rozwój wad jest dużo większy prowadzony był ruch dwukierunkowy.

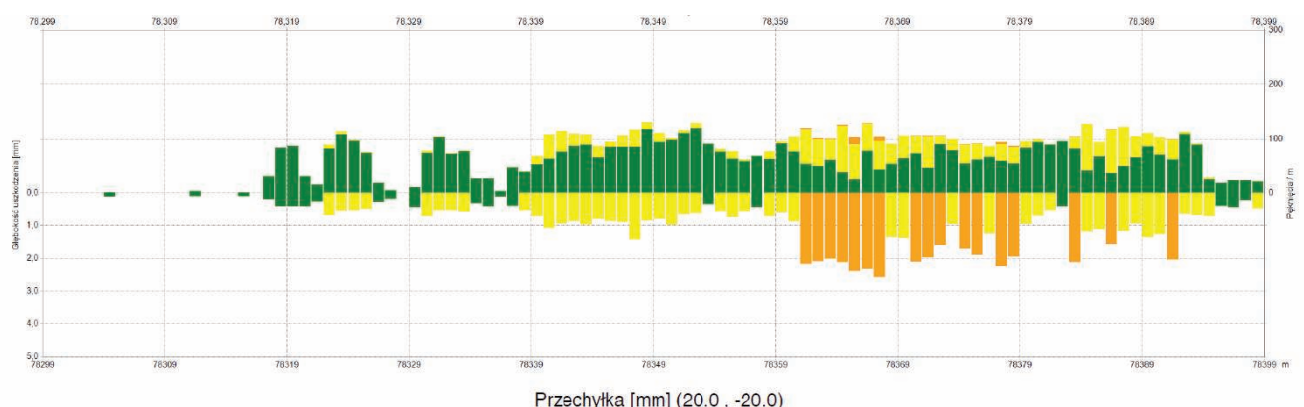
Na wykresach z odcinków 6 i 7 wyraźnie widać również, że występowanie pęknięć ma charakter falowy, tj. co ok. 10 metrów zarówno liczba wad, jak



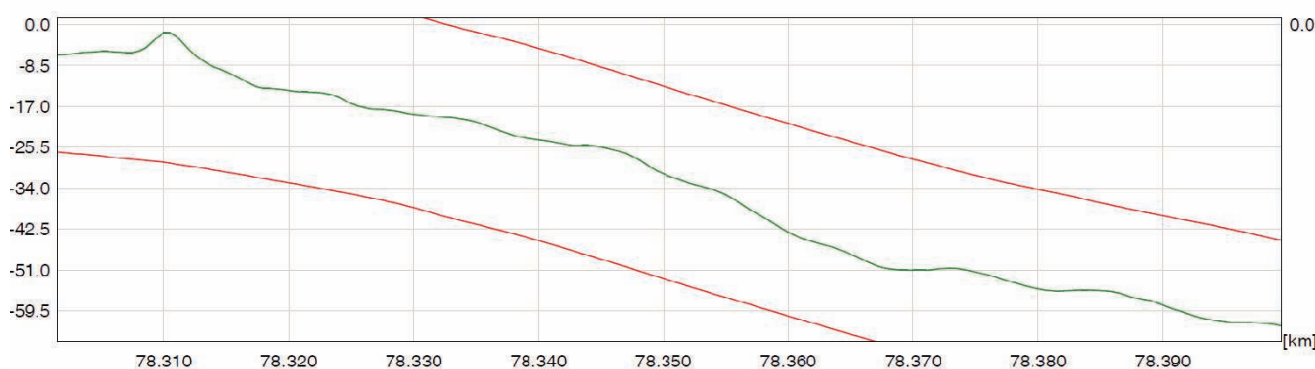
6. Wady typu headcheck na odcinku 3 (R~500 m, 40 Tg)



7. Wady typu headcheck na odcinku 4 (R~600 m, 45 Tg)



Przechyłka [mm] (20.0 , -20.0)



8. Wady typu headcheck na odcinku 5 (krzywa przejściowa do łuku R~800 m, 150 Tg)

i ich wielkość jest zauważalnie większa. Jak widać zjawisko to mam miejsce w każdej fazie rozwoju wad. Rysunek 8 przedstawia wyniki pomiarów wad headcheck oraz wyniki pomiarów przechyłki na odcinku krzywej przejściowej z rampą przechyłkową, które łączą prostą z łukiem o promieniu 800 m z przechyłką o wartości 80 mm. Rozwój wad można zauważyć już po kilku metrach od początku krzywej przejściowej, co oznacza, że w przypadku profilowania na odcinkach torów położonych w łuku należy zawsze uwzględnić konieczność wykonania prac również na szynach znajdujących się na odcinkach toru w krzywych przejściowych.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazują, że rozwój wad typu headcheck nie zależy wyłącznie od czynników konstrukcyjnych i geometrycznych, ale w dużej mierze od czynników eksploatacyjnych. W efekcie na odcinkach, które

są podobne pod względem promienia łuku, gatunku szyny, struktury ruchu oraz wielkości przewozów rozwój wad przebiega w zupełnie innym tempie.

Pomimo coraz większej dostępności przyrządów wiropędowych, w diagnostyce wad typu headcheck w dalszym ciągu należy w dużej mierze polegać na obserwacjach i wiedzy osób na co dzień zajmujących się utrzymaniem nawierzchni kolejowej. ◀

Materiały źródłowe

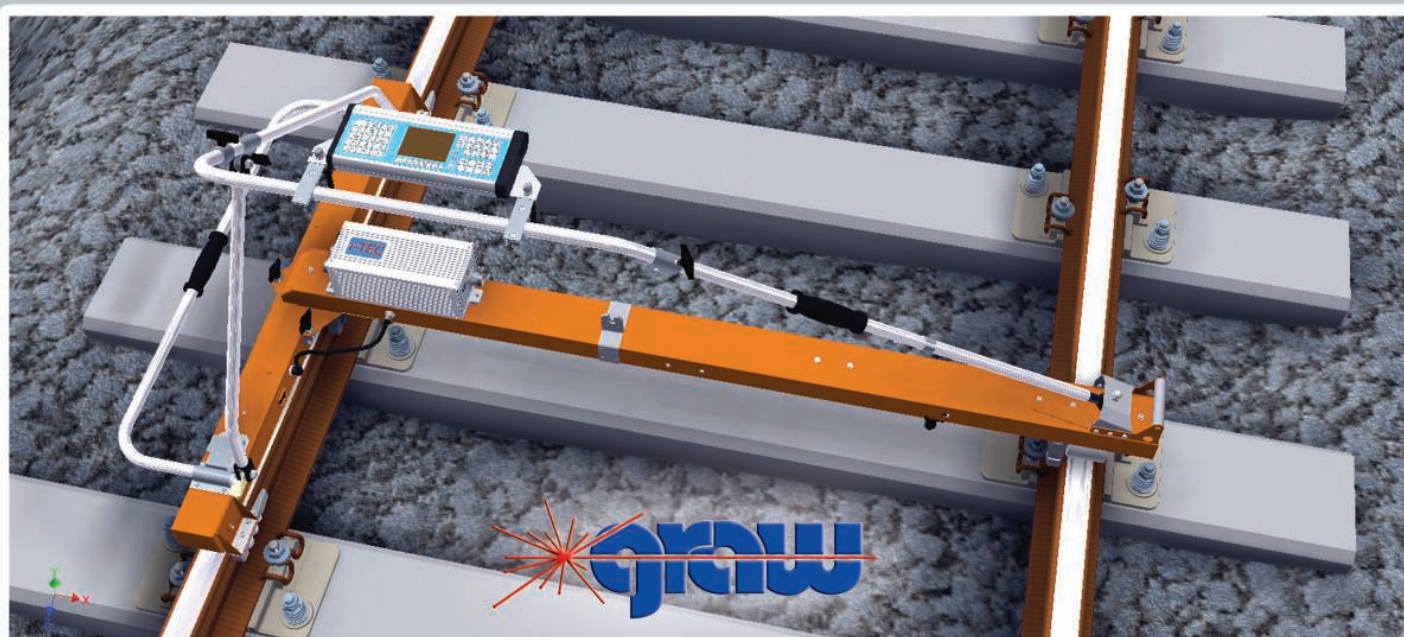
- [1] Antolik Ł., Kierunki rozwoju badań ultradźwiękowych na przykładzie badań osi kolejowych, Problemy Kolejnictwa, 2014, Zeszyt 163;
- [2] Kędra Z.: Charakterystyka pęknięć w szynach typu head check. Logistyka, styczeń 2010;
- [3] Migdał M.: Istotne czynniki warunkujące wybór strategii szlifowania szyn. Materiały konferencyjne VI Konferencji Naukowo-Technicznej: „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym – INFRASZYN

2013”. Zakopane, 24-26.04.2013;

- [4] Mikłaszewicz I.: Odwęglenie a wady powierzchni główki szyny. Problemy Kolejnictwa, 2015, Zeszyt numer 165, s. 85-96;
- [5] Nichoha V., Shkliarskiy V., Storozh V., Matiieshyh Y., Vashchyshyn L.: Metoda strumienia rozporoszenia pola magnetycznego w diagnostyce wad szyn kolejowych oraz jej miejsce wśród mobilnych środków badania nieniszczącego. Problemy Kolejnictwa, 2018, Zeszyt numer 180, s. 33-47;
- [6] Schöch W.: Recommendations for strategic rail maintenance in Europe: the application of anti-headcheck profiles and cyclic grinding. Rail Engineering International Edition 1/2011, s.6-10;
- [7] Stencel G.: Ocena powierzchni tocznej szyn na podstawie pomiarów falistości. Problemy Kolejnictwa, 2016, zeszyt nr 170, s. 87-93;
- [8] Zariczny J., Grulkowski S.: Przegląd badań diagnostycznych szyn z zastosowaniem prądów wirowych. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne nr 3(102), 2013.

REKLAMA

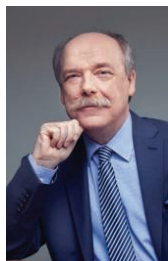
TOROMIERZ INERCYJNY iTEC Dokładny pomiar strzałek



www.graw.com

Terminale intermodalne, aspekty wyboru rozwiązań projektowych

Terminals intermodal, aspects of the selection of design solutions



Mirosław Antonowicz

Dr

*Członek Zarządu PKP S.A.,
Akademia Leona Kuźmińskiego w
Warszawie*



Henryk Zielaskiewicz

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

Streszczenie: Autorzy artykułu przedstawiają tendencje zmian w zakresie przewozów intermodalnych w Polsce i znaczenia rozwoju infrastruktury liniowej i punktowej dla utrzymania korzystnych trendów wzrostu przewozu tego segmentu ładunków. Ważnym elementem systemu transportu infrastruktury punktowej są terminale intermodalne. Odpowiedni wybór lokalizacji pod przyszłą infrastrukturę transportową ma istotny wpływ na przebieg procesu inwestycyjnego oraz ekonomiczne powodzenie projektu. Ważnym etapem jest etap planowania inwestycji i opracowania koncepcji dostosowując obiekt do przewidywanych protokołów ładunków z uwzględnieniem czynników czasu.

Słowa kluczowe: *Transport intermodalny; System transportowy; Terminal intermodalny; Proces projektowy*

Abstract: The authors present trends of changes in intermodal transport in Poland and the importance of the development of linear and point infrastructure to maintain favorable trends in the growth of this segment of cargo transport. An important element of the point infrastructure transport system are intermodal terminals. Appropriate selection of locations for future transport infrastructure has a significant impact on the course of the investment process and the economic success of the project. An important stage is the stage of investment planning and development of the concept, adjusting the object to the anticipated cargo protocol taking into account time factors.

Keywords: *Intermodal transport; Transport system; Intermodal terminal; Design process*

Obecne trendy przewozów jednostek intermodalnych wskazują, że ten segment ładunku będzie w najbliższych latach charakteryzował się tendencją wzrostową. Analiza danych statystycznych świadczy o skali rozwoju: w roku 2010 było to 440 tys. ton natomiast po ośmiu latach, w roku 2018, wielkość przewiezionej masy wyniosła już 17.02 mln ton. Liczba statystycznych jednostek TEU w tym samym okresie wzrosła z 584 tys. TEU do 1894 tys. TEU. Ilość przewiezionych jednostek intermodalnych w okresie omawianych ośmiu lat wzrosła z 354 tys. UTI do 1259 tys. UTI w roku. Przewozy jednostek intermodalnych łączą poszczególne gałęzie transportowe w łańcuchach dostaw wykorzystując ich najlepsze cechy. Finalnie rozwiązują szereg problemów w funkcjonowaniu systemów transportowych, co ma przełożenie na płynność potoków. Optymistyczne prognozy przewozowe wpływają na rozwój infrastruktury terminalowej, która powinna pracować w układzie sieciowym. Rozwój infrastruktury musi wyprzedzać rozwój transportu w stosunku do potrzeb, a więc wyprzedzać potrzeby transportowe. Wynika to m.in. z długiego okresu powstawania obiektów

infrastrukturalnych. Standardy infrastruktury z kolei powinny zapewnić wysokiej jakości obsługę wszystkich ładunków, również tych z grupy materiałów niebezpiecznych. Podobnie jak każdy produkt czy usługa, tak też przewozy intermodalne przechodzą swój „cykl życia produktu”. Można uznać, iż obecnie w Polsce uczestnicy rynku intermodalnego spotykają się z fazą dynamicznego wzrostu swoich usług, jednak ten stan nie będzie stały. Przy optymalnych warunkach gospodarczych i prawnych należy sądzić, iż po osiągnięciu pewnego pułapu, zarówno od strony popytowej, jak też podażowej, powinna wystąpić tzw. faza dojrzałości charakteryzująca się wzrostem, jednak o znacznie mniejszej dynamice, bądź w gorszych uwarunkowaniach – nawet stagnacją. Jest to niebezpieczny moment dla przedsiębiorców, ponieważ kolejną fazą cyklu życia może być spadek przewozów. Chcąc uniknąć tego niekorzystnego okresu konieczne jest podjęcie działań, które umożliwią dalszy rozwój produktów powiązanych z przewozami intermodalnymi. Jednym z istotnych warunków jest dostosowanie do rosnących potoków ładunków zarówno infrastruktury

liniowej, jak i punktowej, to znaczący różnego rodzaju terminali, nowych rozwiązań organizacyjnych, taboru wagonowego i trakcyjnego, oraz technologii wsparcia IT.

Rozwojowi przewozów kolejowych nie sprzyja malejąca liczba bocznic – w roku 2002 było ich ponad dwa tysiące, obecnie jest około 1160. Z uwagi na duże koszty budowy, a następnie eksploatacji bocznic kolejowych oraz utrudnioną procedurę uzyskiwania świadectw bezpieczeństwa, przedsiębiorstwa nie wybierają tej formy obsługi transportowej. Transport samochodowy z uwagi na znacznie lepiej rozbudowaną infrastrukturę liniową oraz kilkakrotnie niższe opłaty za dostęp do niej może zaoferować niższą cenę frachtu, a zarazem jest bardziej elastyczny w organizowaniu procesu przewozowego. Z uwagi na obecne uwarunkowania wynikające z polityki transportowej państwa, w tym wysokości stawek dostępu do infrastruktury transportowej dla poszczególnych gałęzi transportu, opłacalność ekonomiczna masy jednostkowej ładunku przewożonego transportem samochodowym jest kilkakrotnie większa niż w

transporcie kolejowym. Ta zależność dotyczy przede wszystkim małych potoków ładunków. Mając na uwadze duże braki kierowców w firmach transportowych oraz warunki ich pracy, szczególnie w kilkudniowych trasach przewozu ładunku, narastającą kongestię, a więc i opóźnienia w dostarczaniu ładunków, konieczne stają się nowe rozwiązania organizacyjne. Duże firmy transportu samochodowego powinny współpracować przy rozwoju transportu intermodalnego, szczególnie na trasach o znacznych odległościach. Jeden pociąg składający się z 30 wagonów przewożący naczepy samochodowe, pokonujący dystans 900 km może przynieść około 500 - 600 godzin oszczędności pracy kierowców, co w skali miesiąca jest równoważne czterem zatrudnionym osobom. Przy takiej organizacji konieczne jest, aby na początkowym i końcowym odcinku trasy firma dysponowała odpowiednią ilością ciągników siodłowych. W tym segmencie przewozów najbardziej uniwersalną jest jednostka transportowa jaką jest kontener. Stworzyła ona szereg możliwości jej wykorzystania dzięki łatwemu sposobowi przeładunku z jednego środka transportu na drugi, czy możliwości jej piętrzenia podczas składowania. Konieczność jego szerokiego zastosowania wynikała z potrzeby optymalizacji ogólnych kosztów, czasu transportu, dostępności przewozu również większych partii ładunków. Optymalne dostosowanie do rodzaju przewozowego ładunku zapewniają różne rozwiązania konstrukcyjne tej jednostki. Zunifikowana jednostka ładunkowa pozwala na konstruowanie i produkowanie przez różne firmy niezbędnych środków transportu i przeładunku oraz składowania. Obserwując światowe tendencje potoków ładunków skonteneryzowanych tj. dalszy dynamiczny rozwój konteneryzacji w wymianie handlowej pomiędzy Unią Europejską, Azją (Chiny, Indie) i Stanami Zjednoczonymi jak również Brazylią - szybko rozwijającym się w ostatnim czasie kierunkiem, ważnym polem działań staje się nawiązywanie biznesowych relacji w celu realizacji projektów zmierzających do obsługi potoków ładunków, szczególnie w aspekcie tworzenia tzw. morsko – kolejowych połączeń. Innym kierunkiem strategicznym jest też rozwój przewozów z wykorzystaniem tzw. Nowego Jedwabnego Szlaku (NJS). Potoki jednostek intermodalnych na tym kierunku rosną w skali około 20% / rok, jednak skala tych przewozów jest kilka-

krotnie niższa niż w przewozach morskich. W 2017 roku wielkość przewozów intermodalnych po wszystkich trasach NJS wyniosła około 380 tys. TEU, podczas gdy nasze porty w tym samym roku przeładowały łącznie 2385 tys. TEU a w roku 2018 było to już 2834 tys. TEU. Wynika z tego, że potoki ładunków poprzez polskie porty są kilkakrotnie większe od tych, które przechodzą przez nasze wschodnie przejścia graniczne. Jeżeli nie nastąpi istotne załamanie gospodarcze to dalszy rozwój przewozów intermodalnych w Polsce jest nieunikniony. Przewiduje się, iż przez najbliższe 3 - 4 lata jego wzrost będzie na poziomie kilkunastu procent rocznie, a następnie wzrost ustabilizuje się i będzie na poziomie 5 - 6 % rocznie. W naszym kraju wielkość ta kształtuje się na poziomie 10,33% w pracy przewozowej i 6,80% w wielkości masy towarów. Biorąc pod uwagę, iż w krajach Europy Zachodniej w rynku kolejowych przewozów towarowych przewozy intermodalne stanowią średnio około 15 – 16% oraz fakt, iż ten segment przewozów się rozwija, a przez nasz kraj przechodzą aż cztery paneuropejskie korytarze transportowe oraz trzy kolejowe korytarze transportowe UE: 5, 8 oraz 11, ten segment ma duże szanse dalszego rozwoju, jednak potrzebna jest odpowiednio przygotowana infrastruktura liniowa i punktowa. Bez odpowiednio przygotowanej infrastruktury ten duży potok ładunku obciążą nasze drogi.

Proces przygotowania i realizacji terminali intermodalnych – wybrane zagadnienia

W Polsce obecnie funkcjonuje 36 terminali intermodalnych różnej wielkości i stanie technicznym. Wiele z nich to prowizoryczne, adaptowane do tego celu ogólnodostępne palce za i wyładunkowe. Nie zapewniają one pełnego serwisu i odpowiedniej jakości świadczonych usług. Większość terminali intermodalnych spełniających standardy europejskie wykonanych zostało przy wsparciu środkami pomocowymi w perspektywie finansowej 2004-2006 oraz 2007-2013. W obecnej perspektywie finansowej wsparcie uzyskało 6 projektów: jeden dotyczący budowy nowego terminala oraz 5 związanych z rozbudową terminali już istniejących. Zasadnicze kierunki potoków ładunków i obecny układ rozmieszczenia terminali intermodalnych oraz generatorów ładunków jakimi są specjalne

strefy ekonomiczne, parki technologiczne oraz centra magazynowe powstające wokół większych miast pozwalają na wytypowanie lokalizacji, w których powinny powstać nowe terminale intermodalne lub terminale typu railport. Kryteria wyboru lokalizacji pod terminal intermodalny możemy podzielić na kilka obszarów, jednak do najważniejszych będziemy zaliczać organizacyjno-prawny, techniczny, społeczno-środowiskowy oraz najważniejszy jakim jest rynkowy.

Wysokie koszty oraz długotrwały okres budowy infrastruktury terminalowej począwszy od wyboru lokalizacji do zakończenia realizacji inwestycji wymagają, aby proces ten poprzedzić szeregiem przygotowań - działaniami przed projektowymi i fazą przygotowania inwestycji. Poniższy schemat przedstawia przebieg procesu inwestycyjnego.

Każdy etap procesu jest istotny i w ostateczności ma wpływ na wybór charakteru oraz technologii pracy, wielkości i parametrów planowanego obiektu. Koncepcja sieci infrastruktury logistycznej w Polsce powinna dla dużego operatora stanowić dokument planistyczny, ukazujący zarówno lokalizacje tzw. Optymalne, jak również potencjalne miejsca tworzenia infrastruktury logistycznej, dla których konieczne jest przeprowadzenie dokładniejszych badań analitycznych. Obrazować powinna ona wstępne założenia techniczne i przeznaczenie planowanej infrastruktury wynikające z potrzeb rynkowych i uwarunkowań komunikacyjnych. Koncepcja wybranej lokalizacji przedstawia pomysł na zagospodarowanie danego terenu, często wielowariantowe z dokładniejszymi analizami rynku i uwarunkowań technicznych oraz prawno-organizacyjnych lokalizacji. Wybór docelowego i optymalnego modelu budowy, a następnie pracy terminala, odbywa się zwykle na etapie tworzenia biznesplanu bądź studium wykonalności, a także programu funkcjonalno-użytkowego (PFU). Są to dokumenty, na podstawie których jest podejmowana decyzja o realizacji procesu inwestycyjnego, dlatego wykazują nie tylko kształt docelowej infrastruktury, ale przede wszystkim aspekty ekonomiczno-finansowe jej utworzenia.

Opracowując koncepcję funkcjonowania terminala intermodalnego uwzględniamy jego aspekty techniczne i organizacyjne, które powinny być dostosowane do prognozowanych potoków ładunku. Na wybór wielkości pla-

ców składowych, rodzaju nawierzchni, długości i ilości torów, rodzaju urządzeń przeładunkowych, wreszcie sposobu rejonizacji części placów z ich obszarem wg przeznaczenia (niebezpieczne, depa, celne, kontrolowanie temperatury) i układu wewnętrznych dróg, a także parkingów, mają wpływ nie tylko uwarunkowania techniczne i układ otoczenia, ale przede wszystkim wielkość i rodzaj prognozowanych potoków ładunków, a także opłacalność ich obsługi, a więc warunki handlowe. Elementami wspierającymi ocenę relacji wielkości potoku w stosunku do koncepcji zagospodarowania terminala są wyliczane wskaźniki możliwości przeładunkowych UTI oraz możliwości składowych obiektu. Ponieważ na zdolności przeładunkowe terminala wpływa również przyjęta organizacja i uwarunkowania handlowe zawarte z klientami, wyliczając pojemności i zdolności przeładunkowe przyszłej infrastruktury należy wziąć pod uwagę nie tylko prognozowane natężenie potoków ładunków, ale przede wszystkim przewidywany średni czas składowania jednostek oraz ich strukturę rodzajową (20', 40', o kontrolowanej temperaturze, naczepy) wpływającą na zajętość placu. Należy brać również pod uwagę rozmieszczenie kontenerów na placu z uwagi na rodzaj ładunku np. izotermiczne, chemiczne, z ładunkiem szczególnie niebezpiecznym, itp.

Na zdolność przeładunkową terminala wpływ ma bardzo wiele czynników m.in. jego wyposażenie oraz rozwiązania techniczne, współzależnych i odrębnie wyliczanych algorytmem opracowanym z wykorzystaniem programu Excel. Do nich można zaliczyć uwarunkowania wewnętrzne tj. ilość i rodzaj urządzeń przeładunkowych, szybkość ich pracy, specyfikę pracy terminala, wielkość powierzchni składowych (wg przeznaczenia), długość i ilość torów przeładunkowych, czas pracy terminala oraz czynniki zewnętrzne prognozowane tj. ilość poszczególnych rodzajów kontenerów (niebezpieczne, o kontrolowanej temperaturze, naczepy, 20', 40') i wynikającą z nich zajętość placu oraz sposób składowania, rodzaj, ilość i struktura zapotrzebowanych usług ze średnim czasem ich wykonywania (przeładunek wagon – wagon, wagon – samochód, wagon – plac – samochód), czas składowania jednostek, a także bliskość i rodzaj obsługującej terminal stacji towarowej oraz jej wielkość. Nie bez znaczenia jest też układ dróg kołowych dochodzą-

cych do terminala.

Wyliczenie zdolności przeładunkowych projektowanego obiektu wiąże się przeważnie z ustaleniem jego modułu, który ma najmniejszą przepustowość tzw. wąskiego gardła lub zgodnie z teorią Adamieckiego – „walca” o najmniejszej zdolności przerobczej w ciągu walcowniczym, przy którym terminal nie jest w stanie więcej przeładować. Moduł ten ogranicza możliwości przeładunkowe pozostałych elementów. Oszacowana liczba stanowi najczęściej maksymalne możliwości przeładunkowe terminala i chcąc je zwiększyć trzeba zniwelować określoną przeszkodę np. poprzez założenie pracy większej liczby urządzeń przeładunkowych, zwiększenie długości frontu przeładunkowego, czy ilości torów za i wyładunkowych. Parametry projektowanego terminala przy danej prognozie przeładunkowej (do 10 lat) powinny zapewniać minimum 10-20% bufor zdolności każdego z elementów wpływających na możliwości przeładunkowe terminala. Planując urządzenia przeładunkowe należy uwzględnić jaki charakter będzie miał terminal, czy jest to terminal portowy, wewnątrz kraju, czy też na naszej granicy wschodniej. Wybierając pomiędzy suwnicą oraz urządzeniami typu „reach stacker” należy uwzględnić przede wszystkim planowaną technologię przeładunku i rozmiary oraz ukształtowanie placów. W przypadku realizacji przeładunków wagon – wagon i wagon – plac, przy wąskich placach, najekonomiczniej jest wybrać suwnice, natomiast im szerszy plac, tym bardziej opłacalny staje się zakup „reach stackerów”. Głównym powodem takiego podejścia jest cena i koszty eksploatacji obu rodzajów urządzeń. Koszty użytkowania suwnic są o wiele niższe od kosztów eksploatacji reach stackerów, ale to przekłada się jednocześnie na cenę ich zakupu, która jest kilkakrotnie wyższa, a dodatkowo w miarę wzrostu rozpiętości pomiędzy podporami oraz konieczności wyposażenia w dodatkowy wysięgnik, cena zakupu jeszcze znacznie wzrasta. Konstrukcje urządzeń przeładunkowych są unowocześniane – pojawiają się nowe, lepsze i wydajniejsze rozwiązania konstrukcyjne. Coraz częściej na terminalach wykorzystuje się suwnice na kołach ogumionych RTG, której rozpiętość pomiędzy podporami obecnie dochodzi do 33 metrów. Suwnica taka porusza się po betonowych pasach jezdnych o odpowiedniej nośności. Jest ona dostosowa-

na do możliwości zmiany pasa jezdnego, a więc może obsługiwać szerszy obszar. Zastępuje ona w rozwiązaniach suwnice klasyczne typu RMG poruszające się po tokach szyn podsuwnicowych. Jednak takie rozwiązanie jest znacznie droższe. Suwnice tego typu mogą mieć znacznie większe rozpiętości pomiędzy podporami dochodzące do 50 metrów oraz dodatkowo wysięgniki boczne o długości do 1/3 rozpiętości między podporami. Koszty budowy suwnicy i toków szynowych z uwagi na występujące obciążenia są jednak wysokie. Przy rozległych terminalach rozwiązaniem pozwalającym na optymalizację nakładów i kosztów późniejszej eksploatacji może być zakup oprócz suwnic i „reach stackerów” ciągników umożliwiających rozwój jednostek intermodalnych w różne rejonu placów. Dla obsługi pustych kontenerów najlepszym urządzeniem jest lekki „reach stacker” lub tzw. sztaplarka, której cena zakupu jest o połowę niższa, a i w eksploatacji jest ona o wiele tańsza od „reach stackerów”.

Bardzo ważnym elementem projektowania terminali jest wybór rodzaju jego nawierzchni. Przykładowym rozwiązaniem mogą być zbrojone nawierzchnie betonowe. Dobór rodzaju, jak również grubości, a co za tym idzie określonej wytrzymałości nawierzchni (wynikającej z ilości możliwych osi obliczeniowych na dobę), zależy przede wszystkim od planowanego natężenia ruchu urządzeń po placu, co z kolei jest współzależne z prognozowanym potokiem ładunków przepływających przez obiekt, jak również, co ważne, zastosowanymi urządzeniami przeładunkowymi.

Planując użytkowanie tylko suwnic torowych, możliwe jest zastosowanie cieńszej podbudowy i nawierzchni betonowej o mniejszej wytrzymałości, natomiast stosując „reach stackery” lub suwnice bramowe na kołach ogumionych RTG konieczny jest wybór mocniejszej nawierzchni placów. Obecnie, coraz częściej zamiast tradycyjnego zbrojenia płyty terminalowej wykonanego z prętów stali zbrojeniowej, stosuje się zbrojenie rozproszone z włókien stalowych lub polimerowych.

Należy mieć jednak na uwadze, iż im mniejsza grubość ostatniej górnej warstwy płyty terminala, tym grubsza musi być podbudowa z kruszywa. Podbudowa z kruszywa odpowiada za przejmowanie zasadniczego obciążenia. Innym rozwiązaniem może być wykorzystanie

prefabrykowanych płyt betonowych. Ich cechami charakterystycznymi są niskie koszty oraz możliwość szybkiego montażu i użytkowania, jednak wytrzymałość powstałych placów jest mała, dlatego rozwiązanie to stosowane jest przy tymczasowych terminalach bądź w miejscach odstawczych i depach.

Bardzo ciekawą i tanią technologię wykonania placów składowych zastosowano na terminalu we Wrocławiu przy ulicy Krakowskiej. Place składowe są wykonane z kłińca, natomiast drogi po których poruszają się samojezdne urządzenia ładunkowe typu „reach stacker”, wykonano z modyfikowanego asfaltu utwardzanego powierzchniowo. Terminal ten w chwili obecnej jest nieeksploatowany.

Przykładem poprawnego tworzenia infrastruktury logistycznej jest terminal w Małaszewiczach. Już na etapie koncepcji sieci infrastruktury logistycznej stanowił on jedną z najważniejszych lokalizacji, w której należy rozpocząć proces inwestycyjny w pierwszej kolejności. W 2009 roku PKP Cargo S.A. zakończyło I etap modernizacji i rozbudowy terminala intermodalnego w Małaszewiczach współfinansowanego ze środków Sektorowego Programu Operacyjnego Transport, w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. W wyniku wdrożenia dwóch faz tego projektu uzyskano nowoczesny terminal intermodalny dysponujący placami składowymi i manipulacyjnymi wraz drogami o powierzchni 19100 m² oraz czterema torami przeładunkowymi o łącznej długości 2472 m. Możliwości przeładunkowe wynoszą obecnie ok. 190 000 TEU rocznie, natomiast powierzchnie placów umożliwiając składowe ok. 1310 TEU. W obecnej perspektywie finansowej terminal uzyskał dofinansowanie na dalszą jego rozbudowę.

Konstrukcja płyty terminalowej

Ważnym elementem projektowania terminali jest wybór odpowiedniej lokalizacji i dobór rodzaju nawierzchni placu manipulacyjno-składowego. Musimy mieć na uwadze, iż jest to najbardziej kosztownym elementem projektu i wykonany powinien być w odpowiedniej technologii. Obecnie najczęściej stosowaną technologią jego wykonania jest płyta betonowa. Dobór rodzaju, jak również grubości, a co za tym idzie określonej wytrzymałości nawierzchni (wynikającej

z wielkości obciążenia pracą i nacisków piętrzonych warstw kontenerów), zależy od planowanego natężenia ruchu urządzeń po placu, co z kolei jest współzależne z prognozowanym potokiem ładunków przepływających przez obiekt, jak również co ważne - zastosowanymi urządzeniami przeładunkowymi. Innymi parametrami powinna cechować się nawierzchnia placu, na którym pracują samojezdne urządzenia przeładunkowe typu reach stacker a innymi place, na których zatrudnione są tylko suwnice, jeszcze innymi place pod składowanie pustych kontenerów.

Rozwiązaniem spełniającym wymogi dla pracy wszystkich wymienionych urządzeń i uniwersalności samej płyty przeładunkowej jest płyta przenosząca obciążenia według klasy E600, a w przypadku dróg dojazdowych, dróg wewnętrznych, parkingów nawierzchnia odpowiadająca klasie KR-5 i KR-3. Niestety ta technologia nie należy do najtańszych.

Przykładowe przekroje konstrukcyjne nawierzchni placów:

- beton cementowy nawierzchniowy B-40 dyblowany – zbrojony w strefie dolnej siatką z prętów fi 16 mm o oczkach 12x12 o grubości od 25 - 32 cm,
 - geowłóknina o gramaturze 400 g/m²,
 - podbudowa betonowa z betonu B20 o grubości od 10 - 20 cm,
 - warstwa z chudego betonu o Rm=6-9 Mpa o grubości od 10 - 20 cm,
 - podbudowa pomocnicza z kruszywa łamanego 0/63 mm stabilizowanego mechanicznie o grubości 20 – 40 cm,
- Razem około 92 cm.

Jest to rozwiązanie w technologii najbardziej wytrzymałej lecz jednocześnie kosztownej.

Nawierzchnia KR-5:

- w-wa ścierna z SMA o uz. 0/12,8 mm o grubości około 4 cm,
 - w-wa wiążąca z BA o uz. 0/20 mm o grubości około 9 cm,
 - w-wa podbudowy zasadniczej z BA o uz. 0/25 mm o grubości około 18 cm,
 - podbudowa pomocnicza z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie o uz. 0/63 20 cm,
 - w-wa mrozoodporna o grubości około 20 cm,
 - grunt stabilizowany cementem Rm=2,50-5,0 MPa o grubości około 15 cm,
 - podłoże doprowadzić do klasy nośności G-1.
- Razem około 91 cm.

Nawierzchnia KR-3:

- w-wa ścierna z SMA o uz. 0/12,8 mm o grubości około 4 cm,
- w-wa wiążąca z BA o uz. 0/20 mm o grubości około 7 cm,
- w-wa podbudowy zasadniczej z BA o uz. 0/25 mm o grubości około 7 cm,
- podbudowa pomocnicza z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie o uz. 0/63 20 cm,
- w-wa mrozoodporna o grubości około 20 cm,
- grunt stabilizowany cementem Rm=2,50-5,0 MPa o grubości około 15 cm,
- podłoże doprowadzić do klasy nośności G-1.

Razem około 73 cm.

Na grubość poszczególnych warstw płyty terminala istotne znaczenie ma rodzaj i struktura terenu, na którym jest ona budowana, dlatego przed przystąpieniem do jej budowy wskazane jest przeprowadzenie badań geologicznych. Istotnym elementem przy budowie płyty terminalowej jest wykonanie właściwego odwodnienia spełniającego wymogi w zakresie samej eksploatacji terminala (spadki podłużne i poprzeczne, zbieracze wody, itp.), jak również ochrony środowiska poprzez zabudowę urządzeń przechwytyjących typu osadniki i separatory z wkładem koalescencyjnym. W zależności od technologii przeładunku wody opadowe mogą być odprowadzane poprzez wpusty deszczowe uliczne oraz/lub odwodnienia liniowe. Sieć wodociągowa pożarowa powinna spełniać wymogi w zakresie ochrony p.poż dla tego typu obiektów i o wydajności 30 l/s. Przy projektowaniu a następnie realizacji inwestycji niezbędne jest wydzielenie placów składowo-manipulacyjnych przeznaczonych dla kontenerów z materiałami niebezpiecznymi stanowiących I, II, i III- cią klasę niebezpieczeństwa pożarowego. Sposób magazynowania powinien uwzględniać również podział na obszary o niedopuszczeniu wody jako środka gaśniczego i określenie zasięgu stosowania piany gaśniczej. Z uwagi na fakt, że kontenery mogą zawierać także ciecze wysoce łatwopalne, będące jednocześnie materiałami trującymi i żrącymi, konieczne staje się określenie kategorii ryzyka wystąpienia poważnej awarii przemysłowej, wobec czego należy zgłosić klasyfikację zakładu do Komendy Wojewódzkiej PSP opracowując:

- pełny raport o bezpieczeństwie,
- wewnętrzny plan operacyjno – ratowniczy,

a także wdrożyć system bezpieczeństwa jako integralną część zarządzania terminalem.

Tak jak wcześniej zaznaczono, planując użytkowanie tylko suwnic torowych, możliwe jest zastosowanie cieńszej podbudowy i nawierzchni betonowej o mniejszej wytrzymałości, natomiast stosując samojezdne urządzenia przeładunkowe konieczny jest wybór mocniejszej nawierzchni placów. Innym rozwiązaniem może być wykorzystanie dedykowanych prefabrykowanych płyt betonowych. Ich cechami charakterystycznymi są niskie koszty oraz możliwość szybkiego montażu i użytkowania, jednak wytrzymałość powstałych placów jest mała, dlatego rozwiązanie to stosowane jest przy tymczasowych terminalach, bądź w miejscach odstawczych i depach. Technologia ta zdaje egzamin w przypadku stosowania suwnicy, natomiast w przypadku ciężkich samojezdnych urządzeń przeładunkowych (70-80 ton) dodając ciężar ładownego kontenera uzyskujemy łączny ciężar około 120 ton okres wytrzymałości placu jest znacznie skrócony. Przykładową technologią wykonania płyt jest wykonanie jej z prasowanego betonu B-52 o grubości 15 – 20 cm zbrojonego siatką o przekroju prętów 8 mm lub 10 mm. Dla uniknięcia korozji, płyty są szlifowane powierzchniowo. Na każdej ścianie bocznej wykonane są szczeliny, w których umieszczane są klamry łączące. Płyty mogą być demontowane - ocenia się, że podczas demontażu około 10 - 15% płyt może ulec uszkodzeniu. Jed-

nak umożliwia to odzyskanie znacznej ich części i wykorzystanie do budowy nowego terminala. Taką technologię zastosowano na terminalu intermodalnym w Sławkowie oraz w nieczynnym już terminalu w Sosnowcu.

Do budowy terminala wykorzystywana jest też kostka cementowa o grubości 10 cm wykonana z betonu B-40. W takiej technologii wykonana jest np. płyta terminala w Wels w Austrii lecz z uwagi na częste przypadki uderzeń ciężkimi kontenerami na kostce można zauważyć liczne pęknięcia.

Należy mieć jednak na uwadze, iż im mniejsza grubość ostatniej górnej warstwy płyty terminala, tym grubsza musi być podbudowa z kruszywa.

Zakończenie

Wszelkie działania zmierzające do rozwoju infrastruktury terminalowej pracującej w układzie sieciowym, oraz w zakresie promocji mającej wpływ na technologiczny rozwój przewozów intermodalnych są elementami niezbędnymi do utrzymania tempa wzrostu w najbliższych latach. Intermodalny łańcuch dostaw związany jest ze współudziałem kilku uczestników rynkowych, dlatego zwiększanie atrakcyjności rynkowej całości powinno wiązać się z działaniami umożliwiającymi lepszy przepływ informacji czy efektywną współpracę w procesach transportowych jednostki ładunkowej. Modernizacja infrastruktury liniowej, która obecnie prowadzona jest

na bardzo szeroką skalę, bez infrastruktury punktowej jaką są również terminale intermodalne spełniające rolę generatorów ruchu nie przyniesie spodziewanych efektów w postaci przeniesienia modalnego ładunków z dróg na kolej. Ważnym kierunkiem działań jest ciągłe zwiększanie świadomości społecznej w zakresie atutów tej gałęzi transportowej związanych z aspektami ekologicznymi, bezpieczeństwa przewożonych towarów czy też ekonomicznej opłacalności łańcuchów logistycznych z dominującym udziałem kolejowych przewozów.

W rozwoju przewozów intermodalnych istotne znaczenie ma polityka transportowa Państwa. Obszarów wsparcia tej formy przewozów jest wiele, ale jednym z kierunków jest konieczności wyrównywania szans kurowania transportu kolejowego i drogowego poprzez zrównoważenie kosztów dostępu do infrastruktury oraz tworzenie przepisów zmniejszających koszty dowozu jednostek intermodalnych do i z terminala na zasadach ostatniej mili Tworzenie optymalnych łańcuchów logistycznych a zarazem opłacalnych dla firm branży logistycznej, w których dominującą rolę pełnić będzie ekologiczna kolej jest ważnym kierunkiem w zakresie zmniejszenia niekorzystnego oddziaływania na środowisko procesów transportowych w dynamicznie rozwijającej się gospodarce.

REKLAMA

W W W . T R A K O T A R G I . P L

TRAKO

13. MIĘDZYNARODOWE TARGI KOLEJOWE

24-27.09.2019 | GDAŃSK | AMBEREXPO



REKMA Sp. z o.o.

ul. Szlachecka 7

32-080 Brzezie

tel. +48 12/633 59 22

fax +48 12/397 52 20

www.rekma.pl

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



SPECJALISTYCZNE PRACE DROGOWE

Od ponad 50 lat zmieniamy świat



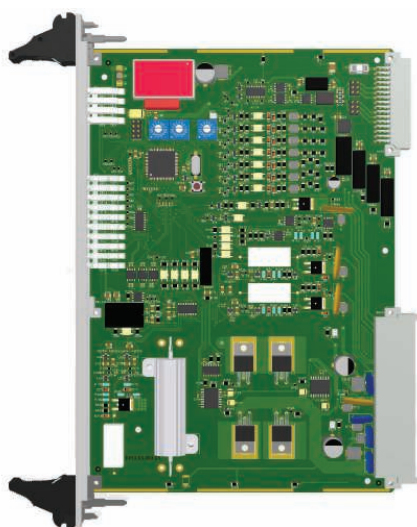
budimex
zmieniaj świat

www.budimex.pl





RM
rail-mil.eu



Karta X3-IO1

Karta przeznaczona jest do sterowania i monitorowania stanu napędu rogatkowego sterowanego napięciem stałym 24V. Karta przetwarza sygnały z i do procesora dwukanałowo. Karta jest zaprojektowana w technologii „hot-swap”.

Szerokość frontu 6TE.

Podstawowe parametry:

Zasilanie urządzeń:	24V DC $\pm$ 20% / 150 mA
CAN:	1 x CAN max 1Mb/s
Wyjścia / Wejścia:	1 wyjście cyfrowe mocy z PWM 10A / 24V 3 wyjścia cyfrowe 1A / 24V 7 wejść cyfrowych 10mA / 24V



Front panel:

Diody LED:	Zasilanie i praca logiki Informacja o stanie wyjść i wejść
------------	---