

przegląd komunikacyjny

5
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

Zmiana charakterystyki dynamicznej toru w celu ograniczenia emisji hałasu – badania numeryczne. Wybrane badania laboratoryjne podkładek podpodkładowych (USP) stosowanych w nawierzchni kolejowej. Badania laboratoryjne przyczepności przez odrywanie podkładek podpodkładowych (USP). Selekcja danych eksploatacyjnych z urządzeń sterowania ruchem kolejowym na potrzeby procesów gromadzenia i analizy danych z obiektów transportu kolejowego

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: Tory kolejowe. Źródło: Pexels

Szanowni P.T. Czytelnicy

Numer poświęcony jest w całości problemom transportu szynowego oraz infrastrukturze transportu szynowego. Autorzy pierwszego artykułu przedstawiają problematykę związaną z hałasem emitowanym przez poruszające się pojazdy po szynach. Prezentują wyniki badań numerycznych zmiany charakterystyki dynamicznej toru w funkcji emisji hałasu. W konkluzji stwierdzają, że zwiększenie masy toku szynowego obniża hałas. W kolejnym artykule Autorzy prezentują wyniki badań odporności na obciążenia zmęczeniowe i warunki atmosferyczne prototypowych podkładek USP (under sleeper pads). Wyniki badań wskazują, że podkładki są wrażliwe na zmianę obciążeń powtarzalnych i warunki środowiskowe. Zmieniają się ich właściwości tłumiące. Autorzy następnego artykułu prezentują wyniki badań przyczepności podkładek USP do betonu. Wyniki badań wskazują, że przyczepność badanych podkładek do betonu jest niezadowalająca. Zadaniem podkładek jest redukcja drgań i hałasu. W kolejnym artykule Autorzy prezentują algorytm zbierania danych eksploatacyjnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym (srk). Dane pozwalają na budowę modelu degradacji tych urządzeń co pozwoli w przyszłości na optymalne użytkowanie urządzeń srk. Ponadto w numerze informacje z działalności SITK RP.

Życzę naszym czytelnikom dobrej lektury.

Redaktor Naczelny

Prof. Antoni Szydło

W numerze

Zmiana charakterystyki dynamicznej toru w celu ograniczenia emisji hałasu – badania numeryczne

Karol Brzeziński, Rafał Michalczyk 2

Wybrane badania laboratoryjne podkładek podpodkładowych (USP) stosowanych w nawierzchni kolejowej

Cezary Kraśkiewicz, Wojciech Oleksiewicz, Kacper Wasilewski 10

Badania laboratoryjne przyczepności przez odrywanie podkładek podpodkładowych (USP)

Cezary Kraśkiewicz, Jarosław Medyński, Wojciech Oleksiewicz, Dominika Stańczak 16

Selekcja danych eksploatacyjnych z urządzeń sterowania ruchem kolejowym na potrzeby procesów gromadzenia i analizy danych z obiektów transportu kolejowego

Janusz Dyduch, Mieczysław Kornaszewski 21

SITK-RP - Podsumowanie III konferencji "Transport Intermodalny – Integracja Przewozów Światowych"

27

Wydawca:

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

Redaktor Naczelny:

Antoni Szydło

Redakcja:

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

Adres redakcji do korespondencji:

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

Poczta „tradycyjna”:

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

Rada naukowa:

Marek Ciesielski (Poznań), Antanas Klibavičius (Wilno), Jozef Komačka (Žilina), Elżbieta Marciszewska (Warszawa), Andrzej S. Nowak (Auburn University), Tomasz Nowakowski (Wrocław), Victor V. Rybkin (Dniepropetrovsk), 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 archiwalny z lat 2004-2009 można zamawiać w Oddziale krakowskim SITK, ul. Siostrzana 11, 30-804 Kraków, tel./faks 12 658 93 74, mrowinska@sitk.org.pl

Druk:

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

Reklama:

Dział Marketingu: sitk.baza@gmail.com

Nakład: 800 egz.

Zmiana charakterystyki dynamicznej toru w celu ograniczenia emisji hałasu – badania numeryczne

Changing the dynamic characteristics of the track to reduce noise emissions - numerical study



Karol Brzeziński

Dr inż.

Zakład Mostów i Dróg Szynowych,
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechniki Warszawskiej

k.brzezinski@il.pw.edu.pl



Rafał Michalczyk

Dr inż.

Zakład Mechaniki Teoretycznej i Mechaniki
Nawierzchni Komunikacyjnych, Wydział
Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej

r.michalczyk@il.pw.edu.pl

Streszczenie: Artykuł przedstawia koncepcję i wstępne wyniki badań numerycznych zmiany charakterystyki dynamicznej toru w celu ograniczenia emisji hałasu. Objąsnilo związek teoretyczny między badaną charakterystyką dynamiczną toru (TDR – Track Decay Rate) a hałasem, a następnie opisano metodykę budowy modelu MES, w którym prowadzono symulację badania normowego. Przeanalizowano symulację zastosowania czterech wariantów dociążenia, na torach z szynami o profilu 49E1 oraz 60E1. Symulacje pozwoliły przeanalizować w jaki sposób zwiększenie masy toku szynowego wpływają na charakterystykę dynamiczną toru, a tym samym na emisję hałasu. Okazuje się, że uzyskany efekt może powodować zmniejszenie emisji hałasu w niektórych częstotliwościach, a zwiększenie w innych.

Słowa kluczowe: Dynamika toru; Ograniczenie hałasu; Tłumiki szynowe; Modelowanie MES

Abstract: The paper presents the concept and preliminary results of numerical study of changes in the rail track dynamic characteristics. Change of the characteristics is introduced in order to reduce noise emissions. The theoretical relationship between the studied track dynamic characteristics (TDR - Track Decay Rate) and noise was briefly explained, and then the methodology of FEM modelling for the standard test simulation was described. Four mass modification variants and two rail types (49E1 and 60E1 profiles) were analyzed. Numerical study show correlation between the railroad track mass increase and its dynamic characteristics and thus the noise emission. It turns out that the obtained effect may cause reduction of noise emission in some frequencies, and increase in others.

Keywords: Track decay rate; Track dynamics; Rail dampers; Noise reduction; FEM

Transport kolejowy jest źródłem znacznego hałasu i drgań – głównie poprzez wibracje mechaniczne, w mniejszym stopniu wpływ oporów powietrza. Zmniejszenie tych niekorzystnych efektów bez znacznych nakładów finansowych oraz nadmiernej komplikacji w budowie i eksploatacji kolei powinno iść w parze z rozwojem infrastruktury kolejowej. Kluczowe do osiągnięcia tego celu jest zrozumienie źródeł hałasu i wibracji oraz parametrów, które mogą na nie wpływać, a następnie zaproponowanie ekonomicznie uzasadnionych rozwiązań technicznych.

W literaturze można odnaleźć wiele opracowań poświęconych opisowi teoretycznemu zjawisk, które składają się na hałas związany z transportem kolejowym [10]. Hałas podczas prze-

jazdu pojazdu szynowego może być mieszkanką hałasu toczenia, hałasu aerodynamicznego oraz innych. Prowadzone od lat badania wskazują, że w wielu sytuacjach hałas toczenia (ang. Rolling Noise) jest dominującym źródłem dźwięku (por. [5, 6, 1]). Generowany jest przez chropowatość lub falistość powierzchni koła i szyny, co powoduje dynamiczne siły oddziałujące na powierzchnię ich styku. W konsekwencji powoduje to względne drgania koła i szyny, przy czym amplituda drgań każdego elementu zależy od jego właściwości dynamicznych. Powstałe w ten sposób wibracje są głównym źródłem hałasu.

Istnieją opracowane modele analityczno-empiryczne do przewidywania natężenia emitowanego dźwięku dla poszczególnych typów koła i toru

w zależności od chropowatości. Najpowszechniej stosowanym jest model TWINS (ang. Track Wheel Interaction Noise Software) [7], dzięki któremu hałas toczenia można obliczyć jako sumę mocy akustycznych emitowanych z koła, szyny i podkładu. Warunkiem jest posiadanie wyników pomiarów przeprowadzonych na już istniejącym torze i tym samym wirtualne testowanie nowych rozwiązań jest ograniczone.

Dynamiczne właściwości toru kolejowego są kluczowe w prognozowaniu hałasu, a odpowiedni model dynamiki toru powinien uwzględniać interakcje między różnymi komponentami [13]. Szyna kolejowa może być traktowana jako nieskończenie długa belka, w której zachodzi propagacja fal mechanicznych. Dodatkowo szyna ze względu na swoje zamocowanie ma

znacznie większe możliwości tłumienia niż koło. To tłumienie wynika głównie ze strat energii podczas transmisji fali mechanicznej z punktu obciążenia po jej długości. Szybkość zaniku tych fal wraz z odległością wzdłuż szyny określa tzw. długość efektywną szyny. Z tego względu tłumienie wprowadzane przez przytwierdzenie do podkładów jest ważnym parametrem dla toru, ponieważ wpływa na zanik drgań wzdłuż toru, a tym samym określa efektywną długość, która podlega wibracjom. Im dłuższy odcinek szyny, który wibruje pod wpływem przejazdu każdego z kół, tym większy hałas będzie emitowany. Możemy wyróżnić trzy zasadnicze źródła tego tłumienia: straty występujące w systemach mocujących (np. podkładki szynowe), energia przenoszona na podkłady i nasyp oraz tłumienie samej szyny [8]. Systemy podparcia blokują przenoszenie drgań wzdłuż szyny ale tylko przy niskich częstotliwościach. Z kolei przeniesienie drgań na podkłady i nasyp (zastosowanie sztywnych podparć) sprawia, że źródłem hałasu stają się same podkłady, a drgania mają niekorzystny wpływ na obiekty zlokalizowane w pobliżu linii kolejowej. Zwiększenie zdolności samej szyny do tłumienia drgań wydaje się najlepszym rozwiązaniem.

Amplituda drgań szyny zmniejsza się w przybliżeniu wykładniczo wraz z odległością wzdłuż toru. Im większe tłumienie toru, tym szybszy zanik drgań. Parametrem używanym do opisanego tego zjawiska jest szybkość zanikania drgań pionowych i poprzecznych toru (ang. Track Decay Rate – TDR, por. [3]) a wartość jest

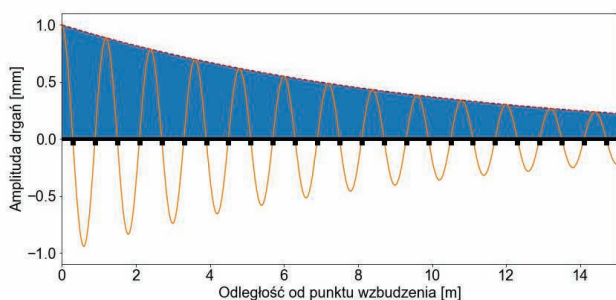
zwykle wyrażana w dB/m. Szybkość zaniku jest najważniejszym wskaźnikiem dynamiki toru w odniesieniu do hałasu toczenia. Niskie wartości tego parametru prowadzą do większej długości efektywnej szyny, a tym samym do wysokiej emisji hałasu toczenia z toru. Wysokie wartości TDR powodują mniejszy hałas i można je uzyskać na przykład dzięki zastosowaniu sztywnych podkładek między szyną a podkładami. Jednak miękkie podkładki są często używane ze względów nieakustycznych, np. aby zminimalizować uszkodzenia podkładów lub wibracje przenoszone przez ziemię. Wartości TDR pochodzące z pomiarów są powszechnie stosowane do obliczania hałasu toczenia w modelach takich jak TWINS. Zgodnie z normą [2] współczynnik może być określany doświadczalnie, z wykorzystaniem młotka udarowego/modalnego i akcelero-metrów. Możliwe jest również, choć technicznie trudniejsze, określenie współczynnika TDR poprzez mierzenie wibracji szyny w czasie przejazdu pociągu.

Z punktu widzenia ograniczenia hałasu pożądane są takie rozwiązania konstrukcyjne, które zwiększają współczynnik TDR z jednoczesnym zachowaniem izolacji podkładów (bez wprowadzania sztywniejszych podkładek szynowych). Jednym z efektywniejszych rozwiązań są tłumiki mocowane do szyn [12] (ang. Tuned absorber systems). Teoria takiego dostrójonego układu szyny i tłumika została przedstawiona w [11]. Celem artykułu jest przedstawienie metodyki prognozowania współczynnika TDR w zależności od charaktery-

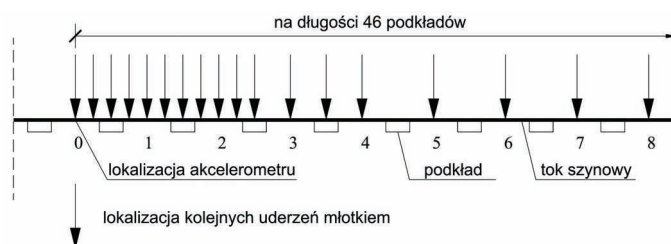
styki dynamicznej toru. Zmianę charakterystyki można uzyskać poprzez zastosowanie tłumików przyszynowych. Wstępna weryfikacja rozwiązań została wykonana z wykorzystaniem symulacji komputerowych MES (metody elementów skończonych). Analiza prowadzona była w dwóch etapach. W etapie pierwszym, zamodelowany został cały tor (jeden tok szynowy, z uwzględnieniem sprężystego posadowienia na podkładach a następnie podsypce). Wyniki z analizy pierwszego etapu służyły jako punkt odniesienia. W drugim etapie zamodelowano tor wraz z uproszczonym modelem urządzenia (w postaci dyskretnej masy). Celem nadrzędnym jest opracowanie tłumika, który wpływa znacząco na zwiększenie współczynnika TDR a tym samym jest potencjalnie najskuteczniejszym rozwiązaniem pod względem tłumienia hałasu.

Związek parametru TDR i wyemitowanego hałasu jest opisany m. in. w załączniku do normy [2]. Amplituda drgań toku szynowego maleje wraz z odległością od punktu wzbudzenia (którym w rzeczywistości jest punkt kontaktu koła z szyną, a podczas badania TDR punkt uderzenia młotkiem). Wartością mierzoną jest zwykle przyspieszenie lub prędkość toku szynowego w kierunku prostopadłym do osi toru (w pionie lub poziomie). Na rysunku 1 zależność tą zilustrowano przyjmując za punkt odniesienia przemieszczenie w punkcie wymuszenia.

Co prawda przypadku klasycznej nawierzchni podsypkowej, szyna jest podparta okresowo, co powoduje, że funkcja opisująca zanik drgań wcale nie musi być monotoniczna. Jednak w



1. Zanik amplitudy drgań wzdłuż toru (przerywana czerwona linia opisana wzorem 1)



2. Schemat ideowy badania TDR

praktyce, dla uproszczenia przyjmuje się, że amplituda drgań zmienia się wg następującej zależności:

$$A(x) = A(0)e^{-\beta x} \quad (1)$$

gdzie: A – amplituda drgań (zwykle przyspieszenie [m/s^2] lub prędkość [m/s]), x – odległość od punktu wzbudzenia [m], β – parametr opisujący prędkość zanikania drgań [-].

Moc dźwięku emitowanego przez szynę jest proporcjonalna do scałkowanej wzdłuż toku szynowego amplitudy drgań $\int_0^\infty |A(x)|^2 dx$. Zależy również od innych parametrów (np. impedancja akustyczna powietrza), na które jednak nie mamy wpływu. Natomiast na parametr β można wpłynąć przez zastosowanie odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych (np. przekładki podszynowe, podkładki podpodkładowe), lub dodatkowe urządzenia (tłumiki przyszynowe). Dlatego jest on wykorzystywany w ocenie dynamiki toru, a pośrednio jego właściwości akustycznych. Teoretycznie można wyznaczyć go na podstawie nachylenia wykresu funkcji zaniku drgań (patrz. równanie 1), przedstawionego na płaszczyźnie półlogarytmicznej. Jednak ze względu na odstępstwa rzeczywistych wyników od idealnej zależności wykładniczej, norma [2] zaleca stosowanie wzoru uproszczonego (wyprowadzenie wzoru można znaleźć w załączniku do normy).

$$TDR \approx \frac{4,343}{\sum_{n=0}^{n_{\max}} \frac{|A(x_0)|^2}{|A(x_n)|^2} \Delta x_n} \quad (2)$$

Badanie polowe, pozwalające na określenie tego parametru wykonuje się

Tab. 1. Zestawienie przyjętych parametrów modelu toru

parametr	wartość parametru	jednostka
długość modelu (połowa)	60	m
zastępcza masa podkładów	150	kg
rozstaw podkładów	0,6	m
parametr sprężystości przekładki podszynowej	$2,0 \cdot 10^8$	N/m
parametr lepkości przekładki podszynowej	$1,0 \cdot 10^6$	N-s/m
parametr sprężystości podsypki	$5,0 \cdot 10^7$	N/m
parametr lepkości podsypki	$1,0 \cdot 10^5$	N-s/m

przez pomiar sygnału przyspieszenia (lub prędkości) w różnych odległościach od punktu wzbudzenia. Ze względów praktycznych geofon lub akcelerometr montuje się na czas badania w jednym przekroju. Natomiast zmienna jest lokalizacja wzbudzenia (uderzenia młotkiem, z odpowiednią końcówką umożliwiającą pomiar siły). Schemat rozmieszczenia punktów, na początkowym odcinku badania, przedstawia rysunek 2.

Metodyka badawcza

Przeprowadzone analizy polegają na symulacji komputerowej z zastosowaniem MES (metody elementów skończonych). Symulacja badania TDR prowadzona jest z wykorzystaniem modelu przedstawionego na rysunku 3. Na obecnym etapie badań tłumiki przyszynowe zastąpiono masami skupionymi sztywno połączonymi z tokami szynowymi.

Symulację badania TDR prowadzi się w dwóch etapach:

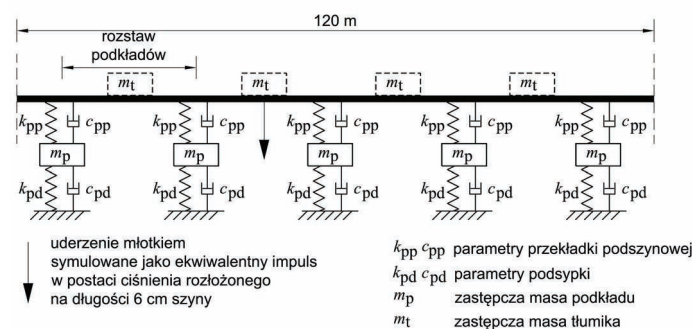
- tor bez tłumików przyszynowych,
- tor z tłumikami w postaci sztywnie zamocowanej masy skupionej,

uzyskać podstawiając zerową masę dodaną w modelu. Tor bez tłumików jest punktem odniesienia, względem którego będą oceniane proponowane rozwiązania. Model z zamocowanymi sztywno masami skupionymi ma na celu ocenę w jakim stopniu właściwości dynamiczne toru zależą od masy tłumika. Tak aby w przyszłych badaniach można było porównać wyniki z bardziej zaawansowanymi modelami wykorzystującymi charakterystyki lepko-sprężyste (odwzorowujące sztywność otuliny oraz tłumiące właściwości materiału).

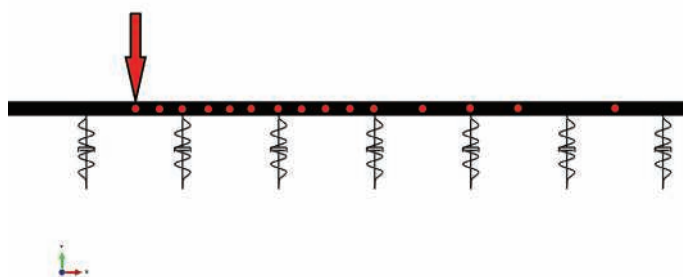
Badanie TDR zostało przygotowane w środowisku Abaqus i Python. Model sparametryzowano m. in. pod względem:

- długości badanego odcinka toru
- rozstawu podkładów
- masy zastępczej dyskretnego tłumika
- parametrów przekładki podszynowej
- parametrów podsypki
- impulsu wymuszającego drgania.

Model (rys. 3) umożliwia przeprowadzenie badania z zastosowaniem dwóch różnych profili szyn (60E1 oraz 49E1). Sygnał przyspieszenia jest odczytywany w punktach wskaza-



3. Zastępczy model toru do symulacji badania TDR



4. Lokalizacja punktów pomiarowych na początkowym odcinku toru

nych przez nomę [2]. W przypadku wszystkich analiz przyjęto jednakowe parametry toru. Przyjęto je głównie na podstawie dostępnych w literaturze wyników wcześniejszych badań [4, 9] i zestawiono w tabeli 1.

Wykorzystując wyżej zdefiniowany model wykonano szereg analiz przyjmując różne masy tłumików przyszytowych (masa zastępcza odpowiada dwóm tłumikom, zlokalizowanym po obydwu stronach szyny):

- wariant nr 0 – masa $m_t = 0$ kg
- wariant nr 1 – masa $m_t = 6$ kg, co odpowiada 10 kilogramom na metr szyny,
- wariant nr 2 – masa $m_t = 12$ kg, co odpowiada 20 kilogramom na metr szyny,
- wariant nr 3 – masa $m_t = 18$ kg, co odpowiada 30 kilogramom na metr szyny,

Analizę MES przeprowadzono w środowisku Abaqus®. Cały układ zamodelowano w przestrzeni 2D. Tok szynowy modelowano belką ciągłą. Połączenia dyskretne lepkosprężyste (szyny z podkładami i podkłady z podłożem) utworzono wykorzystując specjalne, przeznaczone w tym celu elementy (tzw. *engineering features*). Przyjęto liniowe obciążenie w postaci impulsu prostokątnego, rozłożone równomiernie na odcinku 6 cm w środku przęsła. Czas trwania impulsu to 0,0023 s a jego amplituda wynosi 2,775·10⁶ N/m, co ma w przybliżeniu symulować uderzenie młotkiem w trakcie normowego badania TDR.

Belka została podzielona na 15 centymetrowe elementy skończone o kwadratowych funkcjach kształtu. Model odwzorowuje fragment toru o długości 120 m. Ponieważ jednak wykorzystano warunki symetrii długość modelu to 60 m.

Analizę dynamiczną prowadzono w dwóch krokach (typu *standard – implicit*). Pierwszy krok to faza obciążenia trwająca 0,0023 s. Drugi krok odwzorowuje drgania swobodne w czasie 0,20 s. Przyjęto stały przyrost czasu w następujących chwilach analizy wynoszący 8,0·10⁻⁵ s, umożliwiające zarejestrowanie drgań o częstotliwości 5000 Hz. Po wykonaniu obliczeń zapisano

sygnał przyspieszenia zarejestrowane w węzłach w odległości identycznej jak podczas badania normowego [2]. Wizualizacja modelu toru (bez tłumików przyszytowych) z zaznaczonymi punktami na początkowym odcinku toru przedstawiono na rysunku 4.

Wyniki przyspieszeń przetworzono wykorzystując środowisko Python, w celu zwizualizowania i przeanalizowania wpływu zastosowanych tłumików na dynamikę toru. Sygnał przyspieszenia z każdego punktu jest filtrowany pasmowo w celu rozdzielania na pasma tercjowe (1/3 oktawowo) z zakresu od 100 do 5000 Hz. Zastosowano w tym celu filtr Butterwortha, określony funkcją transmitancji:

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^{2n}}} \quad (3)$$

gdzie: f – filtrowana częstotliwość [Hz], f_0 – częstotliwość odcięcia [Hz], n – rząd filtra (przyjęto $n=4$) [-],

Następnie z każdej próbki obliczana jest średnia kwadratowa sygnału RMS (*root mean square*). Stanowi ona oszacowanie amplitudy, ponieważ przy założeniu o harmoniczności sygnału, amplituda jest proporcjonalna do RMS. Założenie jest znacznym uproszczeniem, jednak stosowanym w praktyce.

Na podstawie każdego zestawu próbek z wszystkich punktów pomiarowych i danego pasma tercjowego, obliczana jest wartość TDR według równania 2. Wyniki wszystkich pomiarów przedstawiane są w funkcji częstotliwości. Zwiększenie TDR w danej częstotliwości, można interpretować jako zmniejszenie wyemitowanego hałasu. Zastosowanie danego rozwiązania może powodować zwiększenie TDR w jednym zakresie częstotliwości a zmniejszenie w innym. Dlatego w celu porównania dwóch rozwiązań, należy jeszcze przyjąć kryterium optymalizacyjne. Sposób postępowania podczas analizy wyników przedstawiono schematycznie na rysunku 5.

Analiza wyników

Zgodnie z przyjętą metodyką wyznaczono przede wszystkim sygnały przy-

śpieszeń w punktach pomiarowych wzdłuż toku szynowego. Jednak w celu weryfikacji poprawności przeprowadzonych symulacji, zwłaszcza na wstępnym etapie, analizowano również inne aspekty odpowiedzi dynamicznej konstrukcji (np. przemieszczenia). Wizualizację przemieszczeń zarejestrowanych w końcowej fazie przykładania obciążenia, przedstawiono na rysunku 6.

Charakterystyka dynamiczna toru, którą posłużono się do oceny skuteczności rozwiązań jest silnie przetworzoną i zagregowaną informacją, co widać na schemacie postępowania (rys. 5). Przed przystąpieniem do obliczenia TDR toru przeanalizowano wyjściowe i pośrednie wyniki obliczeń. Wybrane wyniki zostaną przedstawione i omówione poniżej. W przypadku wykresów przyspieszenia zielonym tłem oznaczono krok analizy, w którym przyłożone jest obciążenie a białym drgania swobodne.

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono sygnały przyspieszenia zarejestrowane w punkcie przyłożenia obciążenia, odpowiednio z zastosowaniem w torze szyny o profilu 49E1 oraz 60E1. Wykresy przyspieszenia, są bardzo zbliżone, niezależnie od zastosowania dodatkowej masy. Porównanie wyników między profilem 49E1 i 60E1 pozwala również stwierdzić, że charakter przyspieszenia nie różni się znacząco w przypadku obydwu profili. Natomiast co do wartości maksymalnych, można zauważyć, że amplitudy przyspieszenia są większe w przypadku profilu 49E1, co jest oczywiście związane z jego mniejszą sztywnością. Analogiczne wykresy przyspieszeń, jednak w punkcie oddalonym o 30 cm od punktu przyłożenia obciążenia (nad podkładem), przedstawiono na rysunkach 9 i 10. Jakościowo, wykresy przyspieszeń są podobne do tych zarejestrowanych w środku przęsła, jednak co do wartości, amplitudy są ponad sto razy mniejsze. Tak duży zanik przyspieszenia jest związany nie tyle z odległością co z lokalizacją przekroju pomiarowego nad podkładem. Jak widać na wykresach 11 i 12, amplituda przyspieszenia znów jest większa, pomimo tego, że odległość wzrosła o kolejne 30 cm.

Podparcie konstrukcji w sposób pe-

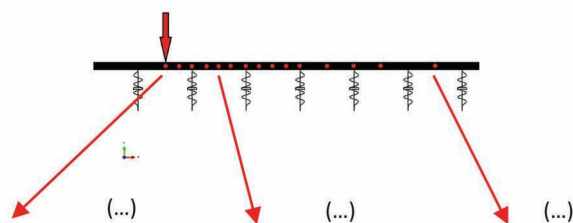
riodynamiczny powoduje, że spadek amplitudy przyspieszenia wcale nie jest funkcją monotoniczną. Przyspieszenia zarejestrowane nad podkładami będą odstawać od generalnego trendu. Kolejne wykresy przedstawiają już wyniki zarejestrowane w dużo większej odległości, gdzie odpowiedź konstrukcji pojawia się z pewnym opóźnieniem i drgania nie są już tak gwałtowne. Dlatego przedstawiono wyniki z dłuższego przedziału czasu.

Odpowiedź konstrukcji w odległości 3,0 m od punktu wymuszenia (rys. 13 i 14) jest już bardziej zróżnicowana. W przypadku toru z profilem szyny 49E1 można zauważyć, że drgania toru bez dodatkowej masy osiągają maksimum wcześniej i zanikają w czasie dużo szybciej niż drgania toru z tłumikami (zamodelowanymi w postaci punktowo zlokalizowanej masy). Natomiast zastosowanie profilu 60E1 powoduje, że drgania toru z niedociążonym tokiem szynowym nie zanikają tak szybko i przez pewien czas utrzymują się na podobnym poziomie jak przy zastosowaniu dodatkowej masy. Warto również zauważyć, że w przypadku obydwu profili szyn jedna częstotliwość sygnału przyspieszenia jest wyraźnie dominująca w torze bez tłumików, a po ich zastosowaniu sygnał jest złożony.

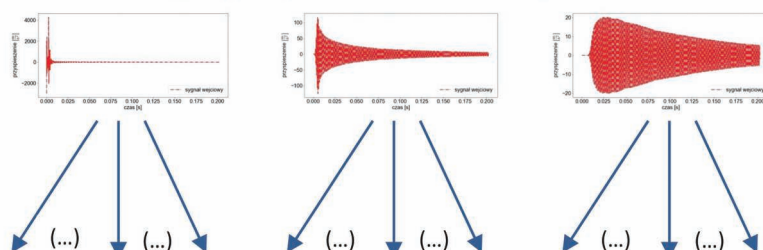
Wraz ze wzrostem odległości różnice stają się jeszcze bardziej widoczne. Na rysunkach 15 i 16 przedstawiono wykresy przyspieszeń zarejestrowanych w odległości 18,0 m od punktu wymuszenia. Analizując rysunek 15 można zauważyć, że w danym przekroju tok szynowy doznaje dużo mniejszych przyspieszeń, jeżeli nie zastosuje się dodatkowego dociążenia. Natomiast wprowadzenie tłumików powoduje, że zarejestrowane przyspieszenie jest większe. Przy czym największe jest w przypadku dodania masy o wartości 6 kg, a następnie wraz ze zwiększeniem dociążenia przyspieszenie maleje. W przypadku profilu szyny 60E1 (rys. 16) sytuacja jest niemal odwrotna. Maksymalne przyspieszenia zarejestrowano w torze bez tłumików, natomiast w miarę zwiększania masy amplituda przyspieszenia maleje.

Jak wynika z przedstawionych przykładowych wyników, drgania bliżej punktu wymuszenia następują gwałtownie, z dużą częstotliwością i ampli-

pojedyncza symulacja w programie Abaqus

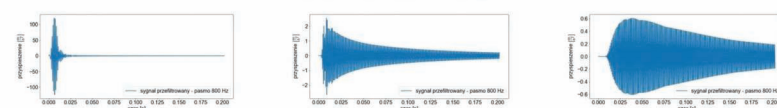


sygnały przyspieszenia zmierzone w 29 punktach

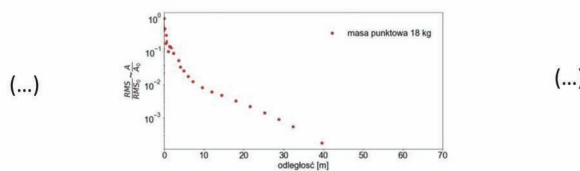


każda próbka przefiltrowana w 18 pasmach 1/3 oktaowych

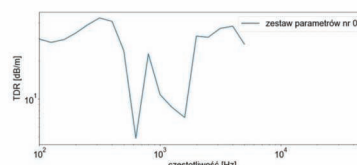
razem $29 \times 18 = 522$ próbki



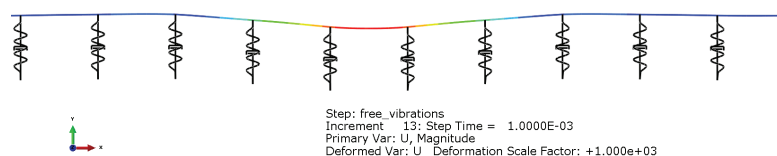
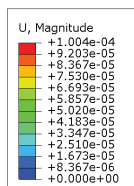
w każdym paśmie przeanalizowana zależność między amplitudą a odległością od punktu wymuszenia, razem 18 wykresów



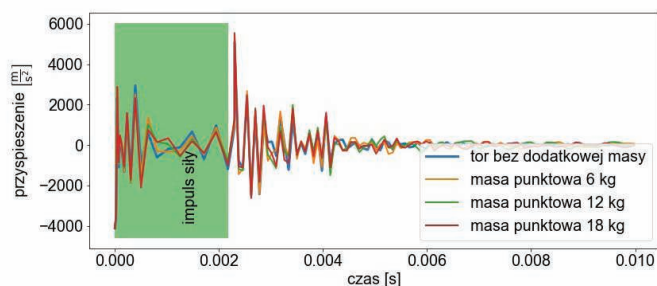
z powyższych danych sporządzony pojedynczy wykres TDR



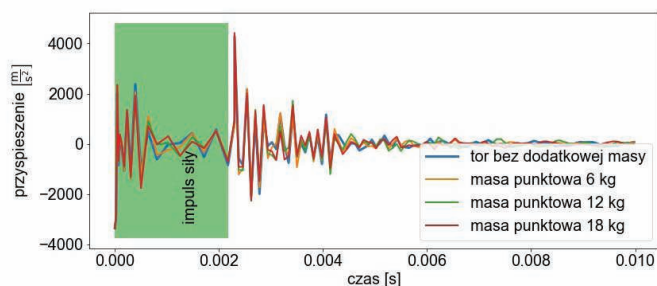
5. Schemat postępowania przy obliczaniu TDR na podstawie wyników symulacji MES



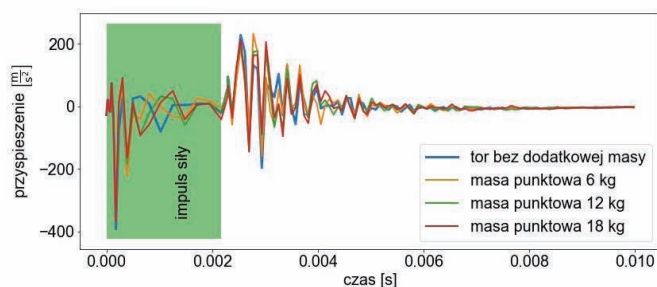
6. Ugięcie toku szynowego w końcowej fazie obciążenia (przeskalowane 103 razy) – maksymalne ugięcie 0,11 mm



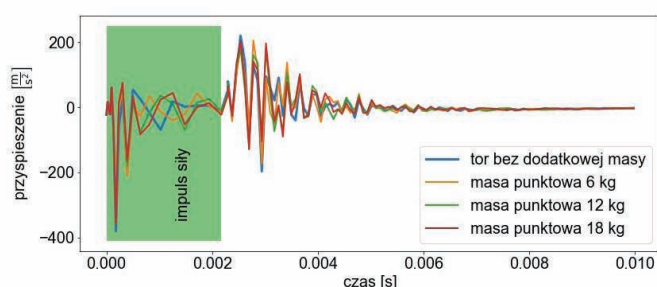
7. Sygnał przyspieszenia zarejestrowany w punkcie przyłożenia obciążenia. Tor z profilem szyny 49E1



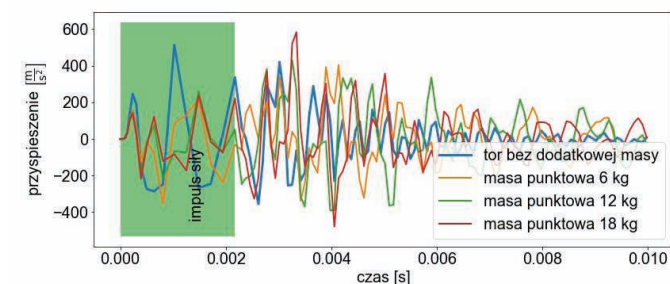
8. Sygnał przyspieszenia zarejestrowany w punkcie przyłożenia obciążenia. Tor z profilem szyny 60E1



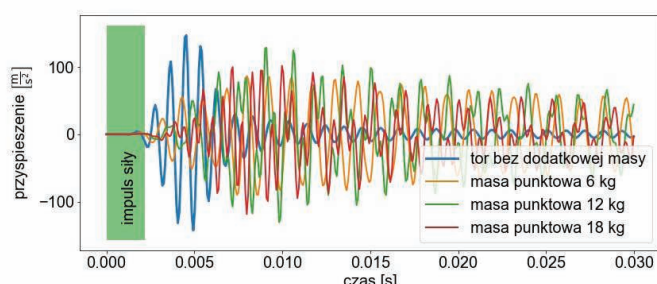
9. Sygnał przyspieszenia zarejestrowany w odległości 0,3 m od punktu przyłożenia obciążenia (nad podkładem). Tor z profilem szyny 49E1



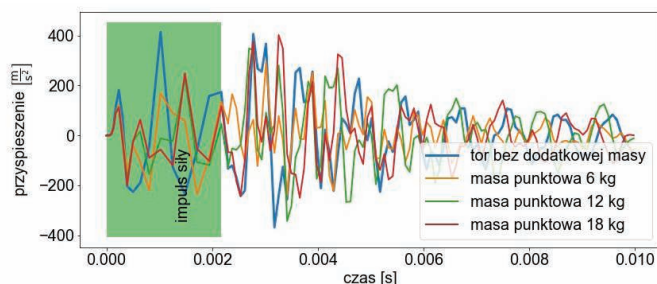
10. Sygnał przyspieszenia zarejestrowany w odległości 0,3 m od punktu przyłożenia obciążenia (nad podkładem). Tor z profilem szyny 60E1



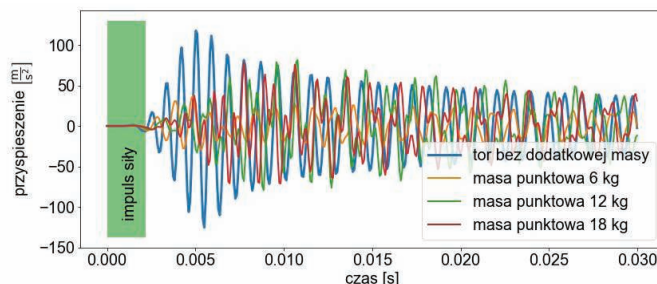
11. Sygnał przyspieszenia zarejestrowany w odległości 0,6 m od punktu przyłożenia obciążenia (w środku przęsła). Tor z profilem szyny 49E1



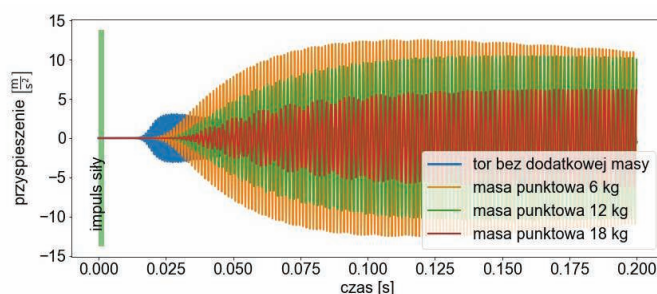
12. Sygnał przyspieszenia zarejestrowany w odległości 0,6 m od punktu przyłożenia obciążenia (w środku przęsła). Tor z profilem szyny 60E1



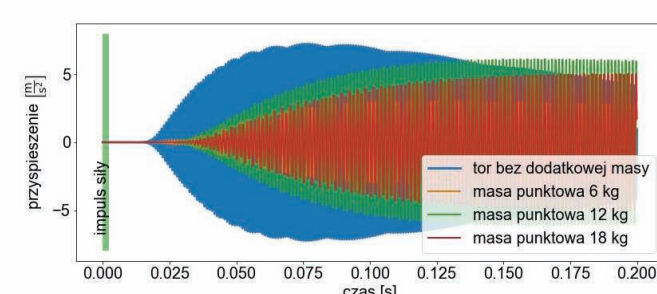
13. Sygnał przyspieszenia zarejestrowany w odległości 0,6 m od punktu przyłożenia obciążenia (w środku przęsła). Tor z profilem szyny 49E1



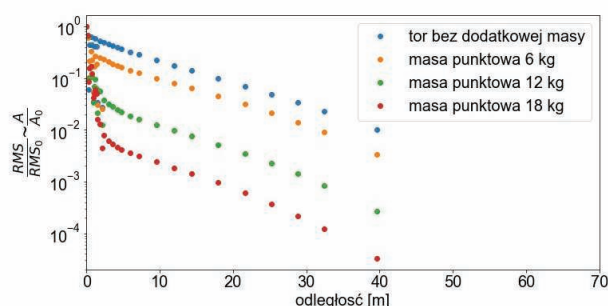
14. Sygnał przyspieszenia zarejestrowany w odległości 0,6 m od punktu przyłożenia obciążenia (w środku przęsła). Tor z profilem szyny 60E1



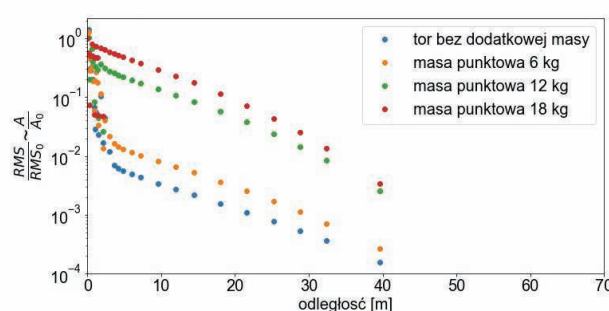
15. Sygnał przyspieszenia zarejestrowany w odległości 18,0 m od punktu przyłożenia obciążenia (w środku przęsła). Tor z profilem szyny 49E1



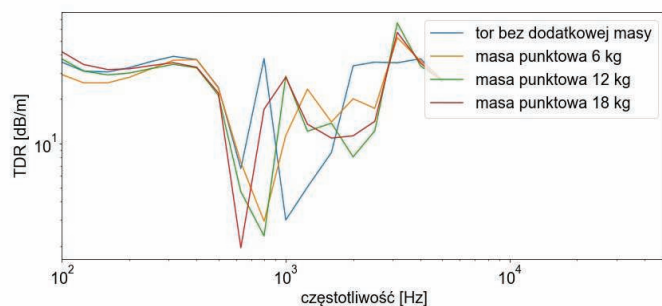
16. Sygnał przyspieszenia zarejestrowany w odległości 18,0 m od punktu przyłożenia obciążenia (w środku przęsła). Tor z profilem szyny 60E1



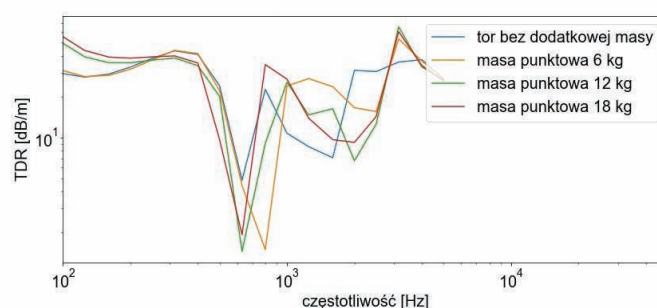
17. Wizualizacja zaniku drgań w pasmie częstotliwości 1000 Hz (profil szyny 60E1)



18. Wizualizacja zaniku drgań w pasmie częstotliwości 630 Hz (profil szyny 60E1)



19. Wykres charakterystyki dynamicznej toru (TDR) wyznaczonej na podstawie symulacji badania z zastosowaniem metody elementów skończonych (profil szyny 60E1)



20. Wykres charakterystyki dynamicznej toru (TDR) wyznaczonej na podstawie symulacji badania z zastosowaniem metody elementów skończonych (profil szyny 49E1)

tudą. W miarę oddalania się od źródła wymuszenia, można zaobserwować nie tylko zmianę amplitudy, ale również zmianę dominującej częstotliwości. Można z tego wnioskować, że drgania o różnej częstotliwości, propagując wzdłuż szyny, zanikają w różnym tempie. Dlatego analizę prowadzi się porównując sygnały rozdzielone na pasma tercjowe (zgodnie z normą [2] od 100 do 5000 Hz). Wyniki przedstawia się w postaci stosunku RMS sygnału w danym punkcie do RMS sygnału w punkcie wymuszenia (RMS_0). Jest to zastępcza miara mająca odwzorowywać stosunek amplitud przyspieszenia, jednak łatwiejsza do wyznaczenia. Przy założeniu wykładniczego spadku amplitudy, wykresy powinny układać się na linii prostej. Ze względu na pewne odstępstwa od założeń (np. konstrukcja nie jest podparta jednorodnie a periodycznie) wykresy przyjmują inny kształt. Dlatego zamiast wyznaczania TDR bezpośrednio z nachylenia wykresu norma proponuje uproszczony wzór (równanie 2), który powinien być odporny na te odstępstwa. Przykładowy wykres zaniku drgań przedstawia rysunek 17.

Na przedstawionym wykresie (rys. 17) widać, że im większa jest masa dodana tym szybciej drgania zanikają wzdłuż toru (oznacza to większą wartość parametru TDR). Natomiast w przy-

padku pasma 630 Hz (rys. 18) sytuacja jest odwrotna.

Dodanie masy pogorsza sytuację. Prawdopodobnie zwiększona masa toru wpłynęła na obniżenie częstości drgań własnych konstrukcji. Jest to jeszcze lepiej widoczne na wykresie TDR (rys. 19).

Analizując wykres można zauważyć, że modyfikacja charakterystyki dynamicznej toru może zmniejszać emitowany hałas w niektórych częstotliwościach a w innych zwiększać. Analogiczny efekt jest widoczny na rysunku 20, który przedstawia wykres TDR rozwiązań zastosowanych w torze z profilem szyny 49E1.

W obydwu przypadkach drgania zanikają najwolniej w pasmach między 630 Hz a 800 Hz, przy czym dodatkowa masa przenosi tę tendencję na niższe częstotliwości. Nie można jednoznacznie odpowiedzieć, które z zaproponowanych rozwiązań przynosi największe ograniczenie emisji hałasu. Konieczne jest opracowanie i przyjęcie kryterium optymalizacyjnego w celu doboru najlepszego rozwiązania.

Wnioski

Przeprowadzone symulacje badania TDR oraz przedstawione w artykule analizy wyników pośrednich oraz osta-

tecznych rezultatów, pozwalają na wyciągnięcie wielu cennych wniosków.

- Zwiększenie masy wpływa niejednoznacznie na ograniczenie drgań toku szynowego (a tym samym emisji hałasu) w różnych częstotliwościach. Na przykład w pasmach od 630 Hz do 800 Hz należy spodziewać się większych drgań po dodaniu masy skupionej. Natomiast w pasmach 1000-2000 Hz dodatkowa masa wpływa na zwiększenie TDR, a tym samym zmniejszenie emisji hałasu.
- Konieczne jest opracowanie kryterium optymalizacyjnego pozwalającego jednoznacznie określić, które rozwiązanie daje najlepszy efekt tłumienia hałasu.
- Rozwiązanie polegające jedynie na sztywnym dołączeniu masy (np. przyspawanie obciążników), byłoby niekorzystne, a prawdopodobnie nawet niedopuszczalne ze względu na znaczny wzrost emisji hałasu w pasmach od 630 Hz do 800 Hz. W rzeczywistości odpowiedź dynamiczna tłumików przyszynowych jest bardziej złożona, dlatego należy dążyć do lepszego ich odwzorowania i rozwijania modelu MES.
- W miarę rozwoju przedstawionej metodyki badawczej, może ona

stać się tanim i dokładnym narzędziem do badania rozwiązań ochrony przed hałasem od ruchu kolejowego oraz tramwajowego.

Dalsze prace skupią się na modelowaniu tłumików przyszybowych bardziej złożonymi modelami. Zamiast zastępować tłumiki przyszybowe pojedynczą masą skupioną zamocowaną sztywnie do toku szynowego, zostaną zastosowane modele z szeregu mas połączonych lepko-sprężystości. Taki model jest bardziej zbliżony do zachowania rzeczywistych tłumików. Pozwala na odzwierciedlenie kilku pierwszych częstotliwości drgań własnych tych urządzeń oraz dodatkowego tłumienia materiałowego. Ostatecznie opracowana metodyka pozwoli na przetestowanie projektowanych urządzeń w torze (w środowisku symulacyjnym), jeszcze przed zbudowaniem prototypu.

Informacja o finansowaniu:

Publikacja powstała w ramach projektu „Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i środowiska przed hałasem od ruchu kolejowego”. Projekt jest współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój oraz przez PKP PLK S.A. w ramach wspólnego przedsięwzięcia BRIK. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Dittrich, M. G., & Janssens, M. H. A. (2000). Improved measurement methods for railway rolling noise. *Journal of Sound and Vibration*, 231(3), 595-609.
- [2] EN 15461:2008+A1 Railway applications - Noise emission - Characterisation of the dynamic properties of track sections for pass by noise measurements
- [3] Jones, C. J. C., Thompson, D. J., & Diehl, R. J. (2006). The use of decay rates to analyse the performance of railway track in rolling noise generation. *Journal of Sound and Vibration*, 293(3-5), 485-495.
- [4] Kaewunruen, S., & Remennikov, A. (2008). Dynamic properties of railway track and its components: a state-of-the-art review.
- [5] Remington, P. J. (1987). Wheel/rail rolling noise, I: Theoretical analysis. *The journal of the Acoustical Society of America*, 81(6), 1805-1823.
- [6] Remington, P. J. (1988). Wheel/rail rolling noise: What do we know? What don't we know? Where do we go from here?. *Journal of Sound and Vibration*, 120(2), 203-226.
- [7] Thompson, D. J., Hemsworth, B., & Vincent, N. (1996). Experimental validation of the TWINS prediction program for rolling noise, part 1: description of the model and method. *Journal of sound and vibration*, 193(1), 123-135.
- [8] Thompson, D. J., Jones, C. J. C., & Turner, N. (2003). Investigation into the validity of two-dimensional models for sound radiation from waves in rails. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 113(4), 1965-1974.
- [9] Thompson, D. J., Jones, C. J. C., Waters, T. P., & Farrington, D. (2007). A tuned damping device for reducing noise from railway track. *Applied acoustics*, 68(1), 43-57.
- [10] Thompson, D. (2008). *Railway noise and vibration: mechanisms, modelling and means of control*. Elsevier.
- [11] Thompson, D. J. (2008). A continuous damped vibration absorber to reduce broad-band wave propagation in beams. *Journal of sound and vibration*, 311(3-5), 824-842.
- [12] Squicciarini, G., Toward, M. G. R., & Thompson, D. J. (2015). Experimental procedures for testing the performance of rail dampers. *Journal of Sound and Vibration*, 359, 21-39.
- [13] Zhang, X., Thompson, D. J., Li, Q., Kostovasilis, D., Toward, M. G., Squicciarini, G., & Ryue, J. (2019). A model of a discretely supported railway track based on a 2.5 D finite element approach. *Journal of Sound and Vibration*, 438, 153-174.

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

Wybrane badania laboratoryjne podkładek podpodkładowych (USP) stosowanych w nawierzchni kolejowej

Selected laboratory tests on under sleeper pads (USP) used in the railway track system



Cezary Kraśkiewicz

Mgr inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów

c.kraskiewicz@il.pw.edu.pl



Wojciech Oleksiewicz

Dr inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów

w.oleksiewicz@il.pw.edu.pl



Kacper Wasilewski

Mgr inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Budowlanej

k.wasilewski@il.pw.edu.pl

Streszczenie: W referacie przedstawiono wyniki badań odporności na obciążenia zmęczeniowe i na warunki atmosferyczne kilku prototypowych podkładek podpodkładowych, określanych dalej skrótowo jako „podkładki USP” (od ang. under sleeper pads). W referacie zamieszczono wyniki badań statycznych i dynamicznych przeprowadzonych na próbkach trzech materiałów, z których wyprodukowano podkładki USP. Badania zmęczeniowe wykonywane były do 500 tysięcy cykli obciążenia i miały na celu wstępną ocenę, które z podkładek USP powinny zapewnić w trakcie eksploatacji stabilne właściwości po ich zastosowaniu w nawierzchni kolejowej jako elementów redukujących naprężenia występujące w podsypce – w szczególności w warstwie bezpośrednio pod podkładem – oraz redukujących emitowane do otoczenia drogi kolejowej drgania materiałowe i akustyczne (wibracje i hałas). W badaniach wpływu warunków atmosferycznych na ustalone cechy podkładek USP, próbki te zostały przytwierdzone do betonowych kostek i zanurzone w wodzie na 24 h, a następnie umieszczone w komorze klimatycznej, gdzie były poddane naprzemiennym cyklom zamrażania-odmrażania. Wyniki badań wykazały, że oba rodzaje przeprowadzonych testów wpływają na zmianę sztywności podkładek USP, co z kolei ma wpływ na ich właściwości tłumiące.

Słowa kluczowe: Podkładki podpodkładowe (USP); Badania materiałowe; Sztywność; Trwałość; Odporność na warunki atmosferyczne

Abstract: In the present paper results of the tests for fatigue strength and resistance to severe environmental conditions performed on several prototypical under sleeper pads (USP) are presented. The work includes results of the static and dynamic tests carried out on samples of three materials, which were used to produce the USP. The fatigue tests were performed up to 500 thousand load cycles and they aimed at determining which of the analysed USP have favourable properties, taking into account their potential application as the elements used for reduction of stresses in the ballast – especially in the ballast layer directly under the sleeper – and reduction of the material and acoustic vibration emitted to the railway track's surrounding (vibration and noise). In the climatic tests that were aimed at determining the influence of severe environmental conditions on the properties of USP, the samples were attached to concrete blocks and immersed in water for 24 h and then placed in a climatic chamber, where they were subjected to freeze-thaw cycles. The results show that both the fatigue and climatic tests have influence on the damping-related parameters of the USP, what affects the effectiveness of the vibration isolation.

Keywords: Under sleeper pads (USP); Material tests; Stiffness; Durability; Resistance to severe environmental conditions

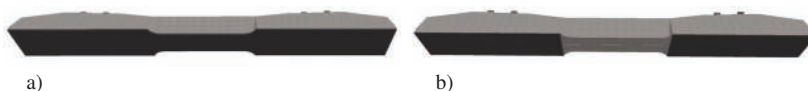
Podkładki podpodkładowe [1, 3, 5, 6, 7, 11], określane dalej skrótowo jako „podkładki USP” (od ang. under sleeper pads) są stosowane przede wszystkim w nawierzchni kolejowej o konstrukcji podsypkowej w celu zmniejszenia dynamicznych oddziaływań od ruchu pociągów, przekazywanych od kół pojazdów poprzez toki szynowe, elementy systemu przytwierdzenia i podpory szynowe (podkłady lub podrozjazdnice) na podsypkę tłuczniovą. Podkładki USP mogą pokrywać w całości powierzchnię dolną podkładu/podrozjazdnicę (rys. 1a) lub występować tylko w strefie podszykowej (rys. 1b).

W nawierzchni kolejowej o konstrukcji podsypkowej podkładki USP powinny spełniać następujące funkcje:

- ograniczać niekorzystny wpływ ruchu kolejowego na środowisko poprzez zmniejszenie poziomu oddziaływań w postaci drgań materiałowych i akustycznych (wibracji i hałasu);
- redukować naprężenia występujące w warstwie podsypki poprzez zwiększenie powierzchni kontak-

tu pomiędzy spodem podkładu i podsypką, zwiększając w ten sposób trwałość eksploatacyjną konstrukcji nawierzchni.

Na rynku oferowanych jest wiele odmian materiałowych podkładek USP różniących się grubością i sztywnością, co umożliwia ich stosowanie w szerokim zakresie obciążeń i prędkości pociągów, przy różnych rozwiązaniach konstrukcji nawierzchni kolejowej i różnych wymaganiach dotyczących



1. Podkładka USP: a) całkowite pokrycie powierzchni dolnej podkładu; b) częściowe pokrycie powierzchni dolnej podkładu

spełnienia wymienionych powyżej funkcji - każdej z osobna lub łącznie.

Każda z tych funkcji wymaga spełnienia wymagań dotyczących wytrzymałości i trwałości materiału, z którego są wykonane podkładki USP oraz ich połączenia z podkładem lub podrozjazdnicą.

Jeśli główną funkcją zastosowania podkładek USP jest redukcja oddziaływań na środowisko, to oprócz wytrzymałościowych kryteriów, podstawowymi kryteriami doboru konkretnej odmiany podkładek USP powinny być uwzględniane w analizach modelowych takie parametry, jak:

- dopuszczalna wartość ugięcia szyny, która nie jest ustalona w przepisach PKP PLK (standardach technicznych) dla określonych warunków eksploatacyjnych przypisanych do poszczególnych typów linii i klas torów;
- częstotliwość drgań własnych obiektów, które należy chronić przed destrukcyjnym wpływem wibracji od przejazdu pociągów, przy czym częstotliwość ta jest parametrem związanym wieloma czynnikami – głównie z konstrukcją i warunkami gruntowo-wodnymi posadowienia poszczególnych obiektów i może być ona określana na podstawie badań numerycznych lub empirycznych.

Jeśli zaś zastosowanie podkładek USP ma na celu głównie redukcję naprężeń występujących w warstwie podsypki, to kryteria doboru odpowiedniej odmiany podkładek mogą ograniczać się do badania i analiz parametrów mechanicznych określających trwałość i wytrzymałość materiału tych podkładek.

Podkładki USP są produkowane z materiałów elastomerowych (najczęściej w zakresie grubości 5 ÷ 20 mm) i występują w dwóch odmianach materiałowych: na bazie poliuretanu z porami zamkniętymi lub otwartymi oraz na bazie mieszanek kauczuku naturalnego i kauczuku syntetycznego.

Przedstawione w referacie badania mają charakter wstępnego rozpozna-

nia cech materiałowych wybranych trzech odmian podkładek USP i dokonania na podstawie wyników tych badań wyboru co najmniej jednej z tych odmian do dalszych kompleksowych badań laboratoryjnych ustalonych w programie projektu. Program przeprowadzonych badań jest oparty na normie PN-EN 16730 [8] z uwzględnieniem ilościowego ograniczenia cykli obciążeń uzasadnionego wstępnym, rozpoznawczym charakterem badań, których zakres jakościowy obejmuje procedury badawcze obligatoryjnych parametrów normowych przypisanych w normie [8] dla badań dotyczących dopuszczenia rodzaju budowli (homologacji produktu), a nie procedur dotyczących badań kontroli jakości wyrobów, które są także objęte tą normą.

Statyczne i dynamiczne sprężyste właściwości podkładek USP

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi sprężyste właściwości podkładek USP, ocenianych z uwagi na ich główne funkcje opisane powyżej, są statyczne i dynamiczne moduły sztywności [4, 5, 6]. Wpływają one na skuteczność tłumienia transmisji wibracji i emisji hałasu do otoczenia linii kolejowych [12]. Dla podkładek USP o większej wartości modułów sztywności skuteczność ta będzie mniejsza niż dla podkładek o mniejszych wartościach modułów sztywności. Jednak trzeba mieć na uwadze, że zastosowanie podkładek USP o bardzo małej wartości statycznego modułu sztywności, skutkuje większym ugięciem pionowym szyny wywołującym zjawiska zmęczeniowe w szynie i w innych elementach składowych konstrukcji nawierzchni kolejowej. Wartości statycznego i dynamicznego modułu sztywności podkładek USP mogą zawierać się w szerokim przedziale wartości. W przypadku statycznego modułu sztywności wynosi ona zwykle od ~0,02 N/mm³ do ~0,35 N/mm³ i zależy od m.in. rodzaju i struktury materiału, grubości podkładki, wartości przedziału obciążenia, w jakim

określany jest moduł sztywności oraz częstotliwości obciążeń w przypadku modułu dynamicznego.

Statyczne moduły sztywności podkładki USP C_{stat} , C_{tend} [N/mm³] są stosunkiem statycznego nacisku/naprężenia o określonej wartości [N/mm²], przyłożonego do próbki o określonej powierzchni przekroju, do ugięcia próbki [mm] które ten nacisk powoduje. Charakteryzuje on ugięcie toku szynowego pod naciskiem nieporuszającego się taboru i ma wpływ na ugięcie pionowe rusztu torowego. Wartość statycznego modułu sztywności podkładki USP jest zależna od nacisku, nie jest to jednak zależność liniowa. Dlatego też jest określana dla różnych zakresów obciążeń w zależności od rozpatrywanego przeznaczenia zastosowania podkładki: tramwaj, metro, kolej miejska czy kolej ciężka. Zakresy te w zależności od parametrów eksploatacyjnych (maksymalna prędkość i naciski osiowe) są określone w normie PN-EN 16730 [8] dla czterech kategorii toru: TC1, TC2, TC3 i TC4 (TC – skrót od ang. Track Category) zdefiniowanych w tej normie.

Dynamiczny moduł sztywności podkładki USP jest stosunkiem dynamicznego nacisku o określonej wartości i częstotliwości, przyłożonego do próbki o określonym polu przekroju, do ugięcia próbki które ten nacisk powoduje. Charakteryzuje on zatem pracę podkładki USP pod naciskiem poruszającego się taboru. Wartość dynamicznego modułu sztywności podkładki jest zależna nie tylko od nacisku, jak w przypadku statycznego modułu sztywności podkładki, ale również od częstotliwości cyklicznych obciążeń, dlatego też powinna być wyznaczana w warunkach znormalizowanego nacisku i częstotliwości podanych w normie PN-EN 16730 [8].

Trwałość eksploatacyjna podkładek USP

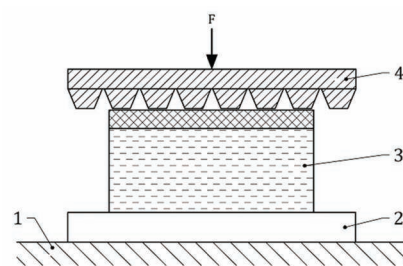
Trwałość (zdatność) eksploatacyjną podkładek USP ocenia się poprzez badanie ich mechanicznej wytrzymałości zmęczeniowej i wpływu długo-

trwałych obciążeń dynamicznych na zmienność ustalonych parametrów w odniesieniu do wartości zidentyfikowanej na początku badań. Badanie to polega na trzystopniowym obciążeniu dynamicznym próbki podkładki USP przyklejonej do kostki betonowej, symulującym w warunkach laboratoryjnych obciążenia eksploatacyjne. Obciążenia dynamiczne wywierane przez pulsator są sinusoidalnie zmienne z częstotliwością do 15 Hz i wywierane z siłą harmoniczną o wartościach z przedziału od 12 kN do 32 kN zależnych od:

- przedziału wartości statycznego modułu sztywności badanej podkładki – wartości siły są przyjmowane narastająco w zależności od wartości statycznego modułu sztywności badanej podkładki;
- kategorii toru TC – wartości siły przyjmowane narastająco w zależności od nacisku osi i prędkości przypisanych w normie [8] do poszczególnych kategorii toru;
- I, II lub III stopnia obciążenia (I – 2000 cykli; II – 2000 cykli; III – aż do łącznej liczby 3 mln cykli).

Pozytywna ocena zdolności eksploatacyjnej badanej podkładki USP obejmuje stwierdzenie braku określanych wizualnie uszkodzeń mechanicznych podkładki, takich jak np. jej zgniecenie, pęknięcia, rozerwania itp., a także określenie zakresu zmiany wartości statycznego i dynamicznego (dla 5 Hz) modułu sztywności podkładki wywołanej długotrwałym obciążeniem dynamicznym. Mając na uwadze powierzchnię o konstrukcji podsypkowej, wymiana podkładki USP o zbyt małej trwałości wiązałaby się z naprawą główną nawierzchni (wymianą rusztu torowego). Dlatego tak istotna jest ta właściwość dla Zarządców infrastruktury, którzy nie mogą sobie pozwolić na to, aby trwałość podkładki USP odbiegała od trwałości podkładu lub podrozdziadnicy.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałości zmęczeniowej dla trzech różnych (materiałowo) podkładek USP:



a)



b)

2. Badanie wytrzymałości zmęczeniowej podkładek USP: a) schemat badania (1 – sztywne i nieodkształcalne podłoże/podparcie, 2 – stalowa płyta, 3 – podkładka USP zamocowana do kostki betonowej, 4 – profilowana płyta dociskowa/obciążeniowa GBP); b) próbka materiału nr 002 na stanowisku badawczym

- 002 – podkładka na bazie granulatu gumowego SBR (v. 1) o gr. 9 mm;
- 004 – podkładka na bazie granulatu gumowego SBR (v. 2) o gr. 9 mm;
- 007 – podkładka na bazie poliuretanu o gr. 7 mm.

Podkładki nr 002 i 004 wykonane są w dwóch wersjach na bazie z tego samego surowca, jednak różnią się technologią produkcji i gęstością.

Badane próbki miały wymiary 250 mm x 250 mm x grubość USP i były przyklejone do betonowych kostek o wymiarach 250 mm x 250 mm x 100 mm. Testy (rys. 2) przeprowadzono w temperaturze pokojowej z zastoso-

waniem specjalnie profilowanej figury geometrycznymi, stalowej płyty GBP (od ang. Geometric Ballast Plate) [6, 8]. Dla każdej próbki wyznaczono trzy parametry dla kategorii toru TC3: C_{stat} – statyczny moduł sztywności dla przeważającego w eksploatacji zakresu obciążenia (0,01÷0,1) N/mm², C_{tend} – statyczny moduł sztywności dla zakresu obciążenia (0,01÷0,2) N/mm² oraz C_{dyn05} – dynamiczny moduł sztywności dla częstotliwości obciążenia 5 Hz, wyznaczony metodą siłową (pulsator sterowany wartością zadanego przedziału działających sił obciążenia próbki). Badania wykonywane były do 500 tys. cykli (wartość mniejsza niż normowe 3 mln cykli), co jest uzasadnione wstępnym cha-

Tab. 1. Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności dla próbki materiału nr 002 oraz ich zmiany po kolejnych seriach obciążeń – badanie wytrzymałości zmęczeniowej

Parametr	Moduł sztywności [N/mm ³]							
	002_0	002_100	002_200	002_300	002_400	002_500	002_500_post	ΣΔ [%]
C_{stat} (0,01-0,10)	0,051	0,059	0,059	0,061	0,061	0,059	0,053	3,9
C_{tend} (0,01-0,20)	0,073	0,082	0,082	0,084	0,084	0,082	0,075	2,7
C_{dyn05}	0,069	0,076	0,076	0,078	0,079	0,077	0,071	2,9

Tab. 2. Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności dla próbki materiału nr 004 oraz ich zmiany po kolejnych seriach obciążeń – badanie wytrzymałości zmęczeniowej

Parametr	Moduł sztywności [N/mm ³]							
	004_0	004_100	004_200	004_300	004_400	004_500	004_500_post	ΣΔ [%]
C_{stat} (0,01-0,10)	0,054	0,070	0,070	0,073	0,077	0,077	0,076	40,7
C_{tend} (0,01-0,20)	0,080	0,100	0,100	0,103	0,107	0,107	0,107	33,8
C_{dyn05}	0,075	0,088	0,088	0,092	0,096	0,098	0,103	37,3

Tab. 3. Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności dla próbki materiału nr 007 oraz ich zmiany po kolejnych seriach obciążeń – badanie wytrzymałości zmęczeniowej

Parametr	Moduł sztywności [N/mm ³]							
	007_0	007_100	007_200	007_300	007_400	007_500	007500_post	ΣΔ [%]
C_{stat} (0,01-0,10)	0,087	0,103	0,108	0,108	0,111	0,113	0,088	1,1
C_{tend} (0,01-0,20)	0,117	0,133	0,139	0,138	0,142	0,144	0,120	2,6
C_{dyn05}	0,111	0,130	0,139	0,139	0,143	0,145	0,117	5,4

rakterem badania i wystarczające do wyselekcjonowania podkładek USP do dalszych analiz i odrzucenia tych, które nie rokują nadziei, że spełnią wymagania jako element wibroizolacyjny o trwałych właściwościach.

Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności oraz ich zmiany przed i po badaniu wytrzymałości zmęczeniowej dla trzech próbek przedstawiono w tabelach 1-3. W tabeli zawarto wartości początkowe (przed badaniem zmęczeniowym „numer materiału_0”), wartości po 100, 200, 300, 400 i 500 tys. cykli obciążenia „numer materiału_100/200/300/400/500” oraz wartości wyznaczone po okresie od jednego do dwóch tygodni po

zakończeniu testów zmęczeniowych „numer materiału_500_post”.

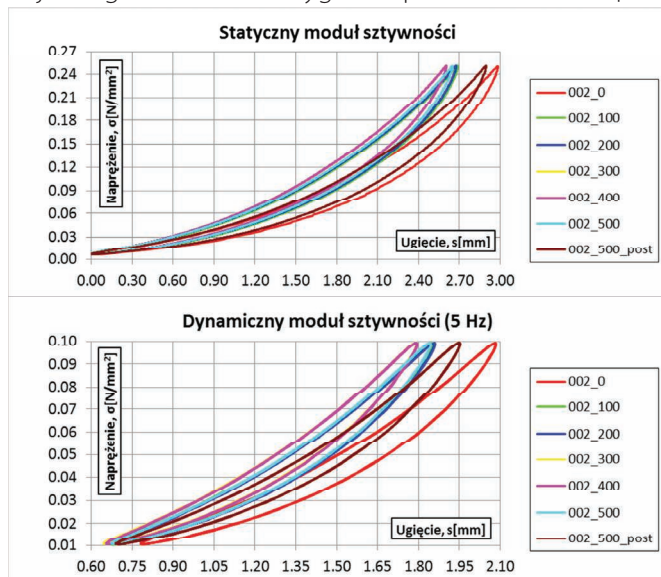
Na rysunkach 3-5, przedstawiono natomiast wykresy charakterystyk otrzymanych w testach statycznych i dynamicznych podkładek USP.

Analiza tych wyników wskazuje, że najkorzystniejsze właściwości z punktu widzenia trwałości zmęczeniowej wykazuje materiał nr 002. Zmiany sztywności są nieduże, a krzywe sztywności po okresie od jednego do dwóch tygodni po zakończeniu testów zmęczeniowych znajdują się blisko krzywych początkowych. Najgorsze właściwości ma próbka materiału nr 004, dla której zmiany sztywności przekraczają 30%, co znacznie przekracza przyjmowane

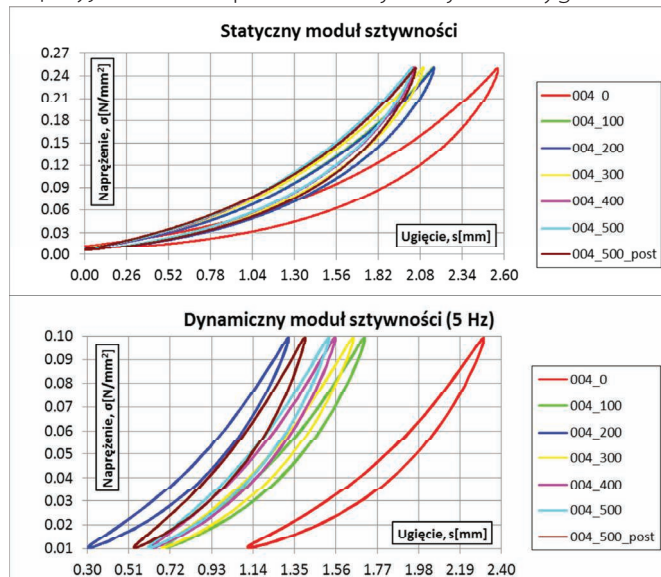
w literaturze dopuszczalne wartości dla wyrobów sprężystych stosowanych w nawierzchni kolejowej (wartość graniczna jest przyjmowana przeważnie jako 15-25% [2, 9, 10]).

Odporność na warunki atmosferyczne

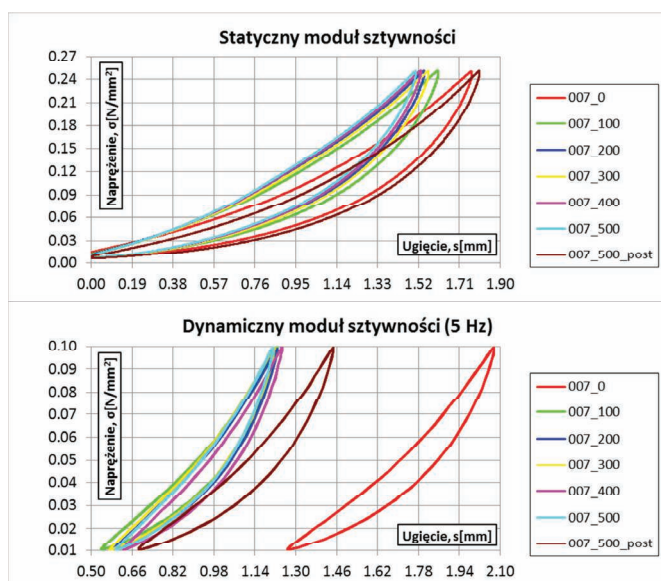
Ze względu na występowanie wód opadowych w podsypce i znaczą różnicę temperatur występującą w naszej strefie klimatycznej, badanie podkładek USP pod kątem ich odporności na działanie wody, mrozoodporności i wysokich temperatur jest jak najbardziej uzasadnione. Utrzymująca się przez co najmniej dwa tygodnie w



3. Statyczne i dynamiczne moduły sztywności dla próbki materiału nr 002 – badanie wytrzymałości zmęczeniowej



4. Statyczne i dynamiczne moduły sztywności dla próbki materiału nr 004 – badanie wytrzymałości zmęczeniowej



5. Statyczne i dynamiczne moduły sztywności dla próbki materiału nr 007 – badanie wytrzymałości zmęczeniowej



a)



b)

6. Próbką materiału nr 002: a) podkładka USP na kostce betonowej; b) próbka zanurzona w wodzie na 24 h



a)



b)

7. Próbką podkładek USP w trakcie badań odporności na warunki atmosferyczne: a) próbki w komorze klimatycznej; b) komora klimatyczna z badanymi próbkami

okresie zimowym temperatura poniżej -15°C i jej oscylowanie w okolicy 0°C nie jest w naszym kraju rzadkością. W badaniu odporności na warunki atmosferyczne, próbka podkładki USP przyklejona do betonowej kostki jest przechowywana w wodzie przez 24 h (rys. 6), a następnie cyklicznie zamrażana do temperatury -15°C w czasie 4 h, pozostawiona w tej temperaturze przez 8 h, po czym temperatura jest zwiększana do $+40^{\circ}\text{C}$ w czasie 4 h (przy wilgotności względnej 80%) i próbka pozostaje w niej przez 8 h (rys. 7). Jeden cykl trwa 24 h i należy przeprowadzić 7 pełnych cykli zamrażania-odmrażania.

W przypadku badań odporności na warunki atmosferyczne istotna jest zmiana (wyznaczana w okresie 1÷2 tygodni od zakończenia badania) statycznego i dynamicznego (dla 5 Hz) modułu sztywności podkładki USP, brak uszkodzeń podkładki oraz odpowiednio wysoka wartość przyczepności do betonu przez odrywanie.

Wyniki badań statycznych i dynamicznych modułów sztywności

przedstawiono w tabelach 4-6 oraz na wykresach (rys. 8-10), z uwzględnieniem wartości początkowych (przed badaniem odporności na warunki at-

mosferyczne – „numer materiału_pre”) oraz końcowych (po 1 – 2 tygodni od wyjęcia z komory klimatycznej – „numer materiału_post”). Najlepszą od-

Tab. 4. Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności dla próbki materiału nr 002 oraz ich zmiany – badanie odporności na warunki atmosferyczne

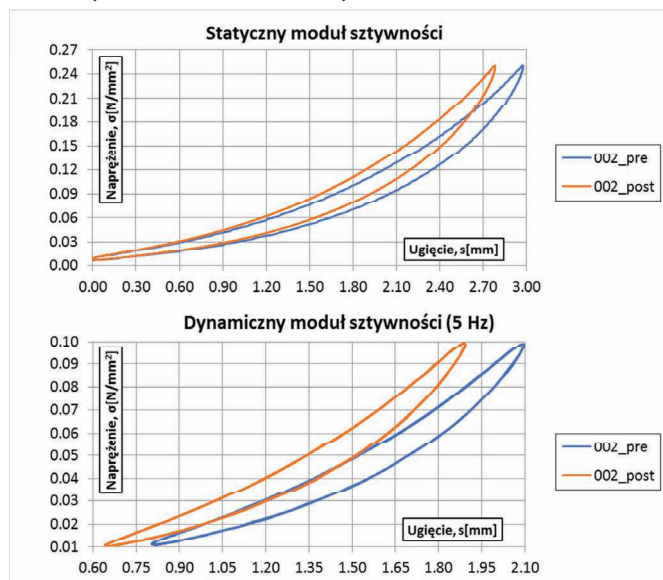
Parametr	Moduł sztywności [N/mm^2]		
	002_pre	002_post	$\Sigma\Delta$ [%]
C_{stat} (0,01-0,10 N/mm^2)	0,051	0,054	5,9
C_{tend} (0,01-0,20 N/mm^2)	0,071	0,076	7,0
C_{dyn05}	0,068	0,072	5,9

Tab. 5. Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności dla próbki materiału nr 004 oraz ich zmiany – badanie odporności na warunki atmosferyczne

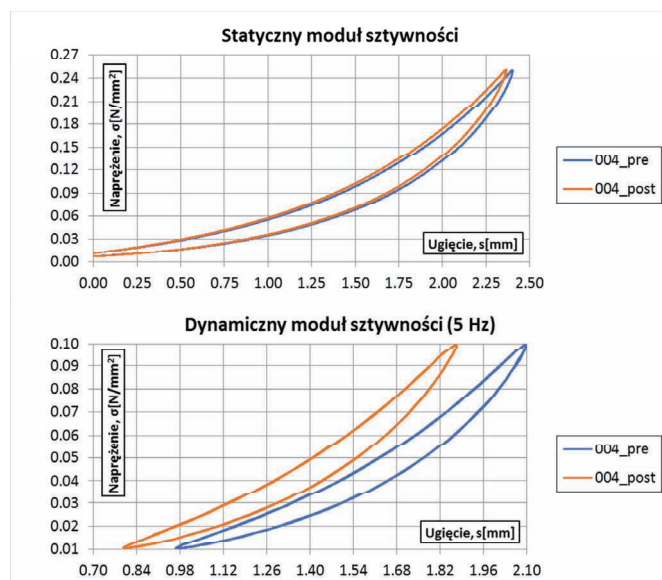
Parametr	Moduł sztywności [N/mm^2]		
	004_pre	004_post	$\Sigma\Delta$ [%]
C_{stat} (0,01-0,10 N/mm^2)	0,058	0,059	1,7
C_{tend} (0,01-0,20 N/mm^2)	0,086	0,088	2,3
C_{dyn05}	0,079	0,083	5,1

Tab. 6. Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności dla próbki materiału nr 007 oraz ich zmiany – badanie odporności na warunki atmosferyczne

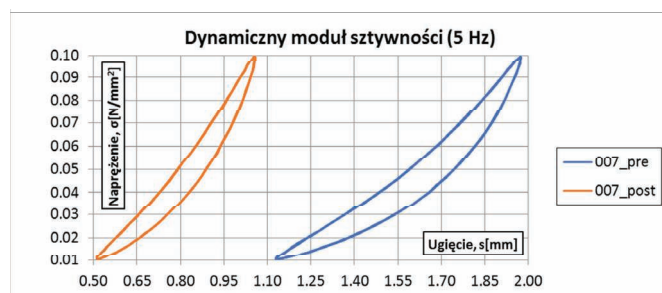
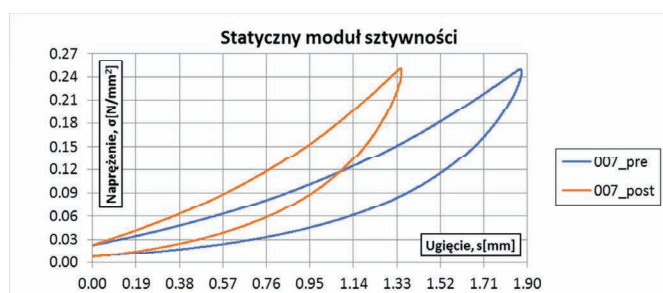
Parametr	Moduł sztywności [N/mm^2]		
	007_pre	007_post	$\Sigma\Delta$ [%]
C_{stat} (0,01-0,10 N/mm^2)	0,080	0,116	45,0
C_{tend} (0,01-0,20 N/mm^2)	0,105	0,149	41,9
C_{dyn05}	0,106	0,164	54,7



8. Statyczne i dynamiczne moduły sztywności dla próbki materiału nr 002 – badanie odporności na warunki atmosferyczne



9. Statyczne i dynamiczne moduły sztywności dla próbki materiału nr 004 – badanie odporności na warunki atmosferyczne



10. Statyczne i dynamiczne moduły sztywności dla próbki materiału nr 007 – badanie odporności na warunki atmosferyczne

porność na warunki atmosferyczne wykazuje materiał nr 004, najgorszą nr 007. Porównując wyniki obu badań można stwierdzić, że: materiał nr 002 charakteryzuje się dobrymi właściwościami zarówno pod względem wytrzymałości zmęczeniowej jak i odporności na warunki atmosferyczne; materiał nr 004, pomimo bardzo dobrej odporności na warunki atmosferyczne, powinien zostać odrzucony ze względu na nieakceptowalny wynik badania wytrzymałości zmęczeniowej; materiał nr 007 wykazuje dość dobrą trwałość (wytrzymałość zmęczeniową), jest jednak nieodporny na działanie warunków atmosferycznych.

Wnioski

- 1) Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały celowość zastosowania ograniczonego ilościowo ich zakresu do materiałowej preselekcji podkładek USP przeznaczonych do dalszych badań w pełnym zakresie ustalonym w normie PN-EN 16730 [8].
- 2) Dla każdego z materiałów wyznaczono trzy parametry: statyczny moduł sztywności dla zakresu obciążenia $(0,01 \div 0,1) \text{ N/mm}^2$, statyczny moduł sztywności dla zakresu obciążenia $(0,01 \div 0,2) \text{ N/mm}^2$ oraz dynamiczny moduł sztywności dla 5 Hz (wyznaczony metodą siłową) z ograniczeniem do 500 tys. cykli obciążeń w badaniu wytrzymałości zmęczeniowej.
- 3) W testach odporności na warunki atmosferyczne, przechowywane uprzednio w wodzie próbki podkładek podpodkładowych (USP) były poddane 7 naprzemiennym cyklom zamrażania-odmrażania (zmiana temperatury od -15°C do $+40^\circ\text{C}$).
- 4) Wyniki badań w zestawieniu z analizami modelowymi i analizą stanu wiedzy wykazały, że dla miarodajnej oceny przydatności podkładek UPS do spełniania ustalonych dla nich funkcji niezbędne są zarówno badania zmęczeniowe jak i testy odporności na warunki

atmosferyczne. Badane parametry wykazują bowiem różne relacje pomiędzy materiałem podkładek USP i cechami fizycznymi, które wpływają na ich właściwości tłumiące, co z kolei ma wpływ na ich skuteczność wibroizolacji w całym okresie eksploatacji.

- 5) Spośród trzech badanych materiałów podkładek podpodkładowych (USP) tylko jeden materiał wykazał oczekiwane właściwości w obu testach. Pozostałe dwa materiały nie będą podlegały dalszym badaniom, ponieważ albo nie mają wystarczającej trwałości albo nie są odporne na oddziaływania atmosferyczne i nie powinny być zastosowane jako izolatory wibroakustyczne. ◀

Publikacja powstała w ramach projektu „Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiami od ruchu kolejowego”. Projekt jest współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój oraz przez PKP PLK S.A. w ramach wspólnego przedsięwzięcia BRIK.



Materiały źródłowe

- [1] Abadi T., Le Pen L., Zervos A., Powrie W. Effect of Sleeper Interventions on Railway Track Performance. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2019, 145, 4, 04019009.
- [2] IRS 70713-1: Railway Application – Track & Structure “Under Sleeper Pads (USP) - Recommendations for Use”, 1st edition 01.04.2018.
- [3] Jayasuriya C., Indraratna B., Ngo T.N. Experimental study to examine the role of under sleeper pads for improved performance of ballast under cyclic loading. Transportation Geotechnics, 2019, 19, 61-73.
- [4] Kraśkiewicz C., Lipko C., Płudowska M., Oleksiewicz W., Zbiciak A.: Sta-

tic and Dynamic Characteristics of Resilient Mats for Vibration Isolation of Railway Tracks. Procedia Engineering, 2016, 153, 317-324.

- [5] Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Płudowska-Zagrajek M., Piotrowski A. Testing procedures of the Under Sleeper Pads applied in the ballasted rail track systems. MATEC Web of Conferences, 2018, 196, 02046.
- [6] Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Zbiciak A.: Podkładowe w podsypkowej konstrukcji nawierzchni dróg szynowych – techniczne i formalne aspekty stosowania. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej, 2017, 25, 221-243.
- [7] Omodaka A., Kumakura T., Konishi T. Maintenance reduction by the development of resilient sleepers for ballasted track with optimal under-sleeper pads. Procedia CIRP, 2017, 59, 53-56.
- [8] PN-EN 16730:2016-08 Kolejnictwo - Tor - Podkłady i podrozdzielacze betonowe z podkładkami podpodkładowymi, Polski Komitet Normalizacyjny, 2016.
- [9] RFI TCAR SF AR 03 007 C, Specifica tecnica di forniture: Tappetini sotto traversa (USP), 2017.
- [10] SNCF IG04013 Traverses et supports béton pour pose ballastée équipées de semelles résilientes en sous faces (ex CT IGEV 016) 14.08.2018.
- [11] Sol-Sánchez M., Moreno-Navarro F., Rubio-Gámez C. The use of elastic elements in railway tracks: A state of the art review. Construction and Building Materials, 2015, 75, 293-305.
- [12] Zbiciak A., Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Płudowska-Zagrajek M., Lipko C. Mechanical modelling and application of vibroacoustic isolators in railway tracks. MATEC Web of Conferences, 2017, 117, 00090.

Badania laboratoryjne przyczepności przez odrywanie podkładek podpodkładowych (USP)

Laboratory pull-off tests for bond strength of under sleeper pads (USP)



Cezary Kraśkiewicz

Mgr inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów

c.kraskiewicz@il.pw.edu.pl



Jarosław Medyński

Mgr inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Budowlanej

j.medyński@il.pw.edu.pl



Wojciech Oleksiewicz

Dr inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów

w.oleksiewicz@il.pw.edu.pl



Dominika Stańczak

Inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Budowlanej

d.stanczak@il.pw.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań przyczepności przez odrywanie od powierzchni betonowej, zastępującej powierzchnię spodu podkładu, kilku prototypowych podkładek podpodkładowych, określanych dalej skrótowo jako „podkładki USP” (od ang. under sleeper pads). Podkładki te były poddane uprzednio badaniom odporności na warunki atmosferyczne. Podkładki USP są stosowane w podsypkowych konstrukcjach nawierzchni kolejowej w celu redukcji emitowanych do otoczenia drogi kolejowej drgań materiałowych i akustycznych (wibracji i hałasu) oraz w celu redukcji naprężeń występujących w podsypce – w szczególności w warstwie podsypki bezpośrednio pod podkładem. Przedstawione wartości zbadanej przyczepności podkładek USP do podkładów zostały zestawione z wymaganiami stosowanymi przez zagranicznych zarządców infrastruktury kolejowej.

Słowa kluczowe: Podkładki podpodkładowe (USP); Badania materiałowe; Przyczepność przez odrywanie; Odporność na warunki atmosferyczne

Abstract: In the present paper results of pull-off tests performed on several prototypical under sleeper pads (USP) attached to the concrete body are presented. The pads had been tested beforehand for resistance to severe environmental conditions. The USP are used in the ballasted track systems to reduce the material and acoustic vibration emitted to the railway track's surroundings (vibration and noise) and to reduce stress in the ballast – especially in the ballast layer directly under the sleeper. The presented values of tested bond strength of the USP were compared to the requirements used by foreign railway infrastructure managers

Keywords: Under sleeper pads (USP); Material tests; Pull-off bond strength; Resistance to severe environmental conditions

Podkładki podpodkładowe [2, 4, 5], określane dalej skrótowo jako „podkładki USP” (od ang. under sleeper pads) są stosowane przede wszystkim w nawierzchni kolejowej o konstrukcji podsypkowej w celu zmniejszenia dynamicznych oddziaływań od ruchu pociągów, przekazywanych od kół pojazdów poprzez szyny, złączki i podpory szynowe (w nawierzchni podsypkowej zwykle w postaci podkładów

betonowych, a w rozjazdach w postaci podrozdziadnic) na warstwę podsypki tłuczniowej. Podkładki USP mogą pokrywać w całości powierzchnię dolną podkładu/podrozdziadnicy (rys. 1) lub występować tylko w strefie podszyновой (rys. 2). Stosowane dalej określenie „podkład” jest rozumiane umownie jako podkład betonowy lub również jako podrozdziadnica betonowa, przy czym określenie „betonowy” ma tu

upraszczające, ogólne znaczenie obejmujące wszystkie rodzaje stosowanych technologii sprężania betonu w tak rozumianych podkładach (np. strunobeton, kablobeton itp.).

W nawierzchni kolejowej o konstrukcji podsypkowej podkładki USP powinny spełniać następujące funkcje:

- ograniczać niekorzystny wpływ ruchu kolejowego na środowisko poprzez zmniejszenie poziomu



1. Podkładka podpodkładowa (USP) - całkowite pokrycie powierzchni dolnej podkładu



2. Podkładka podpodkładowa (USP) - częściowe pokrycie powierzchni dolnej podkładu

oddziaływań w postaci drgań materiałowych i akustycznych (wibracji i hałasu);

- redukować naprężenia występujące w warstwie podsypki poprzez zwiększenie powierzchni kontaktu pomiędzy spodem podkładu i podsypką, zwiększając w ten sposób trwałość eksploatacyjną konstrukcji nawierzchni.

Podkładki USP są mocowane do spodu podkładów i może to odbywać się na dwa sposoby:

- w trakcie procesu produkcji podkładów poprzez umieszczenie na dolnej ich powierzchni nie stwardniałego jeszcze betonu podkładki USP, a następnie poddaniu podkładu krótkim wibracjom, co spowoduje wniknięcie warstwy szepnej podkładki (np. geosyntezy) w plastyczny jeszcze beton;
- na gotowym podkładzie poprzez przyklejenie podkładki USP szybko twardniejącym i wiążącym klejem (np. epoksydowym). Przyklejanie podkładek USP do spodu podkładów może odbywać się w ciągu procesu produkcyjnego podkładów (w zakładzie produkcyjnym, albo u dostawcy) lub już po ich wyprodukowaniu, ale dopiero po ich przetransportowaniu na miejsce budowy, co stanowi dodatkową ochronę podkładek przed ich ewentualnymi mechanicznymi uszkodzeniami powstałymi w czasie transportu i przeładunku.

W podkładkach USP stosowanych w różnych krajach układ i rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne warstw podkładki są zróżnicowane i nie wynikają one z obligatoryjnych wymagań o charakterze norm europejskich lub innych przepisów krajowych.

Rozwiązania przeznaczone do zamocowania w trakcie procesu produkcji podkładów betonowych składają się zwykle z trzech warstw, opisanych następująco w kolejności od góry do dołu przy docelowym (eksploatacyjnym) położeniu podkładu:

1. warstwy szepnej mocowanej w betonie podkładu, stanowiącej zwykle element przestrzenny z wypustkami wnikającymi w beton spodu podkładu, wykonywaną np.

z tworzywa sztucznego lub z geosyntezy;

2. warstwy sprężystej stanowiącej, z punktu widzenia funkcji podkładki USP, jej zasadniczą warstwę wykonywaną z materiału elastomerowego nadającego podkładowi odpowiedni poziom sztywności;
3. warstwy ochronnej z geosyntezy stanowiącej ochronę elastomeru przed mechanicznym uszkodzeniem ziarnami tłucznia o ostrych krawędziach.

Rozwiązania przeznaczone do zamocowania do spodu gotowego podkładu za pomocą kleju różnią się od opisanego powyżej trzywarstwowego układu tym, że nie zawierają, górnej warstwy szepnej mocowanej w betonie podkładu.

Trzecia, najniższa warstwa chroniąca podstawową warstwę sprężystą podkładki USP przed mechanicznym uszkodzeniem ziarnami tłucznia jest wykonywana zwykle z geosyntezy.

Występowanie tej warstwy w próbkach materiałowych objętych opisanymi dalej badaniami przyczepności przez odrywanie nie jest jednak konieczne, ponieważ warstwa ta nie styka się bezpośrednio z betonem podkładu i tym samym nie ma wpływu na szepność podkładki USP ze spodem podkładu. Z tego powodu w kilku badanych próbkach warstwa ochronna nie występowała.

Badania laboratoryjne przyczepności przez odrywanie

Podkładka USP jako element połączony z podkładem w sposób trwały, bez względu na technologię montażu rusztu torowego, musi mieć zapewnioną odpowiednią szepność (wytrzymałość na odrywanie), aby podkładka nie oddzieliła się od podpory szynowej w trakcie transportu na miejsce zabudowy lub w trakcie jej wieloletniej eksploatacji. W celu uwzględnienia wpływu niekorzystnych warunków atmosferycznych (woda, mróz, niskie i wysokie temperatury) na wartość przyczepności podkładki do podkładu w czasie jej eksploatacji w torze kolejowym o nawierzchni podsypkowej, próbki zosta-

ły uprzednio poddane badaniu odporności na warunki atmosferyczne.

Opisane w artykule badania przyczepności przez odrywanie (wytrzymałości na odrywanie) przeprowadzono dla pięciu wybranych materiałów prototypowych podkładek USP – trzech materiałów na bazie granulatu gumowego SBR (ang. *Styrene-Butadiene Rubber*) oraz dwóch materiałów na bazie poliuretanu PU (ang. *Polyurethane*) o następujących oznaczeniach i grubościach:

- 002 – podkładka USP na bazie granulatu gumowego SBR o gr. 12 mm;
- 003 – podkładka USP na bazie granulatu gumowego SBR o gr. 7 mm;
- 004 – podkładka USP na bazie granulatu gumowego SBR o gr. 9 mm;
- 005 – podkładka USP na bazie poliuretanu o gr. 7 mm;
- 008 – podkładka USP na bazie poliuretanu o gr. 10 mm.

Podkładki nr 002, 003 i 004 na bazie granulatu gumowego SBR różnią się technologią produkcji, grubością i gęstością. Podkładki nr 005 i 008 na bazie poliuretanu różnią się grubością i gęstością.

Przygotowanie próbek do badania

Próbki podkładek USP zostały uprzednio (przed badaniem przyczepności przez odrywanie) przygotowane do badania odporności na działanie warunków atmosferycznych w sposób określony w normie PN-EN 16730 [7] i przedstawiony poniżej:

- podkładka USP została przyklejona mechanicznie klejem do betonowej kostki (rys. 4a);
- po związaniu kleju (3-4 dni) próbki przez 24 h były przechowywane w wodzie (rys. 3a),
- po wyjęciu z wody próbki umieszczono w komorze klimatycznej (rys. 3b) i poddano cyklicznemu zamrażaniu i rozmrażaniu (zamrażanie do temperatury -15°C w czasie 4 h, pozostawiona w tej temperaturze przez 8 h, po czym temperatura była zwiększana do +40°C w czasie 4 h, przy wilgotno-

ści względnej 80% i próbka pozostawała w niej przez 8 h; pełny cykl trwał 24 h, każdorazowo przeprowadzono 7 pełnych cykli), co miało symulować warunki atmosferyczne w jakich pracuje podkładka USP.

Metodyka badawcza

Badanie przyczepności przez odrywanie (na próbkach po badaniu odporności na warunki atmosferyczne) przeprowadzono według metody „pull-off” zgodnie z procedurą opisaną w normie PN-EN 1542:2000 [6]. Zgodnie z tą metodą w badanej próbce materiału podkładki USP wycięto okręgi o średnicy 50 mm (rys. 4c i 4d), do których następnie przyklejono stalowe krążki o średnicy 50 mm. Dla każdej próbki podkładki USP wykonano pomiar przyczepności w czterech punktach, których położenie wyznaczono zgodnie z wytycznymi zawartymi w aneksie N normy PN-EN 16730 [7], tj. w odległości minimum 50 mm od krawędzi próbki oraz kolejnego punktu pomiarowego. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych przedstawiono na rys. 4b.

Wynikiem badania była wartość przyczepności przez odrywanie wyrażona w N/mm^2 . Pomiarów dokonano za pomocą aparatu Proceq dy-206 (rys. 4e). Szybkość odrywania krążka, zgodnie z aneksem E normy PN-EN 16730 była stała i wynosiła $0,01 N/mm^2 \cdot s$. Po badaniu próbki materiału (rys. 4f) określono typ zniszczenia według następujących kryteriów:

- zniszczenie kohezyjne w warstwie kostki betonowej (podkładu betonowego) – typ A;
- zniszczenie kohezyjne w warstwie materiału (B, C, D, E, F, G, H) – typ: B, C, D, E, F, G, H;
- zniszczenie adhezyjne pomiędzy sąsiednimi warstwami – np. typ B/C.

Wyniki badań i wartości graniczne

Wyniki badań przyczepności przez odrywanie przedstawiono w tab. 1 – 5, natomiast wykresy zmian przyczepności w czasie badania na rys. 5 – 9.

Ze względu na fakt, że nie są okre-

ślone polskimi przepisami wymagania do stosowania podkładek USP na sieci PKP PLK (w tym wymagania odnośnie minimalnej wartości przyczepności przez odrywanie wyznaczanej na próbkach po badaniu odporności na

warunki atmosferyczne) postanowiono odnieść się do wartości granicznych określonych przez wymagania zagranicznych zarządców infrastruktury kolejowej [1, 3, 8, 9]. Wymagania te zostały przedstawione w tab. 6. Na



a)

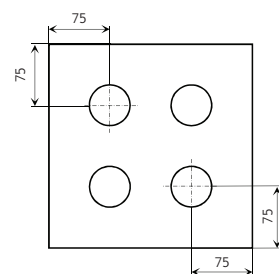


b)

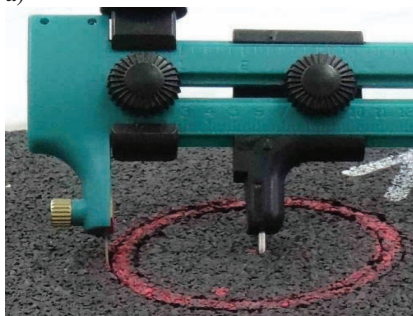
3. Próbkę podkładki USP przyklejono mechanicznie do betonowych kostek w trakcie badania odporności na warunki atmosferyczne: a) próbki zanurzone w wodzie na 24 h; b) próbki w komorze klimatycznej (Feutron KPK 400)



a)



b)



c)



d)



e)



f)

4. Przygotowanie próbek podkładek USP do badania i przeprowadzenie badania przyczepności przez odrywanie przeprowadzonego według metody „pull-off”: a) podkładka USP przyklejona mechanicznie do kostki betonowej; b) schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych (zgodny z wymaganiami sformułowanymi w normie PN-EN 16730 [4]); c) wykonanie nacięć w materiale podkładki USP; d) próbka przygotowana do przyklejenia krążków stalowych „pull-off”; e) wykonanie pomiaru wytrzymałości na odrywanie za pomocą aparatu „pull-off” (Proceq dy-206); f) próbka podkładki USP po badaniu – widoczny rodzaj zniszczenia

Tab. 1. Wartości przyczepności przez odrywanie dla próbki materiału nr 002 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne

Oznaczenie próbki	Oznaczenie krążka	Przyczepność, N/mm ²	Typ zniszczenia	Warstwy
002	1	0,45	C/D	0 – stalowy krążek, D – klej Poxipol, C – podkładka USP, B – klej StoPox SK100 A – kostka betonowa
	2	0,55	B/A15%-C	
	3	0,46	C/D	
	4	0,48	C/D	
	wartość średnia	0,49	-	
	odchylenie standardowe	0,05	-	

Tab. 3. Wartości przyczepności przez odrywanie dla próbki materiału nr 004 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne

Oznaczenie próbki	Oznaczenie krążka	Przyczepność, N/mm ²	Typ zniszczenia	Warstwy
004	1	0,45	E/F	0 – stalowy krążek F – klej Poxipol E – podkładka USP D – warstwa klejąca warstwę szepną do podkładki USP C – warstwa szepna B – klej StoPox SK100 A – kostka betonowa
	2	0,41	E/F	
	3	0,45	E/F	
	4	0,34	E/F	
	wartość średnia	0,41	-	
	odchylenie standardowe	0,05	-	

Tab. 5. Wartości przyczepności przez odrywanie dla próbki materiału nr 008 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne

Oznaczenie próbki	Oznaczenie krążka	Przyczepność, N/mm ²	Typ zniszczenia	Warstwy
008	1	0,40	B/C	0 – stalowy krążek F – klej Poxipol E – warstwa ochronna (tylko w próbie 3 i 4) D – siatka klejąca warstwę ochronną do podkładki USP C – podkładka USP B – klej StoPox SK100 A – kostka betonowa
	2	0,37	B/C	
	3	0*	C/D	
	4	0*	C/D	
	wartość średnia	0,39	-	
	odchylenie standardowe	0,02	-	

*- przyczepność poniżej minimalnej wartości odczytu urządzenia „pull-off” (poniżej 0,1 N/mm²)

Tab. 2. Wartości przyczepności przez odrywanie dla próbki materiału nr 003 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne

Oznaczenie próbki	Oznaczenie krążka	Przyczepność, N/mm ²	Typ zniszczenia	Warstwy
003	1	0,33	C/D	0 – stalowy krążek F – klej Poxipol E – podkładka USP D – warstwa klejąca warstwę szepną do podkładki USP C – warstwa szepna B – klej StoPox SK100 A – kostka betonowa
	2	0,24	C/D	
	3	0,32	E/F	
	4	0,25	E/F	
	wartość średnia	0,29	-	
	odchylenie standardowe	0,05	-	

Tab. 4. Wartości przyczepności przez odrywanie dla próbki materiału nr 005 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne

Oznaczenie próbki	Oznaczenie krążka	Przyczepność, N/mm ²	Typ zniszczenia	Warstwy
005	1	0,14	C/B	0 – stalowy krążek F – klej Poxipol E – warstwa ochronna (tylko w próbie 3 i 4) D – siatka klejąca warstwę ochronną do podkładki USP C – podkładka USP B – klej StoPox SK100 A – kostka betonowa
	2	0,24	D/C	
	3	0*	E/D	
	4	0*	E/D	
	wartość średnia	0,19	-	
	odchylenie standardowe	0,07	-	

*- przyczepność poniżej minimalnej wartości odczytu urządzenia „pull-off” (poniżej 0,1 N/mm²)

Tab. 6. Wymagane wartości przyczepności przez odrywanie dla podkładek USP wyznaczone na próbkach po badaniu odporności na warunki atmosferyczne (dla pojedynczego badania) – na podstawie wymagań zagranicznych zarządców infrastruktury kolejowej

Kraj/Organizacja	Dokument odniesienia	Wymagana wartość przyczepności przez odrywanie wyznaczona na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne (dla pojedynczego badania), [N/mm ²]
Niemcy	DBS 918 145-01 [1]	≥ 0,3
Włochy	RFI TCAR SF AR 03 007 C [8]	≥ 0,4*
Francja	SNCF IG04013 [9]	≥ 0,6*
Związek UIC	IRS 70713-1 [3]	≥ 0,4*

*Procedura badawcza zgodnie z normą PN-EN 16730 [7]

ich podstawie autorzy zaproponowali wartość graniczną przyczepności przez odrywanie wyznaczonej na próbkach po badaniu odporności na warunki atmosferyczne wynoszącą min. 0,4 N/mm².

Odnosząc wyniki badań laboratoryjnych do zaproponowanej wartości granicznej można stwierdzić, że tylko jeden spośród pięciu materiałów charakteryzował się spełnieniem wymagań - tzn. próbka materiału nr 002. W przypadku pozostałych czterech materiałów wskazane są dalsze prace nad poprawą wartości przyczepności przez odrywanie, aby osiągnąć wartość dla każdej pojedynczej próby wynoszącą co najmniej 0,4 N/mm².

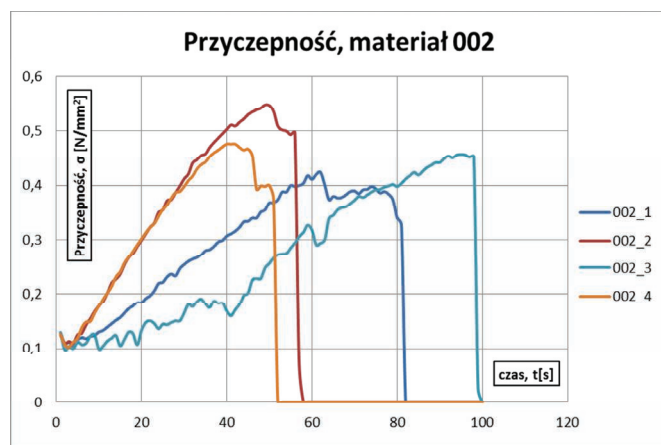
Wnioski

W pracy przedstawiono badania przyczepności przez odrywanie wykonane na próbkach po badaniach ich odporności na warunki atmosferyczne dla pięciu prototypowych materiałów podkładek USP.

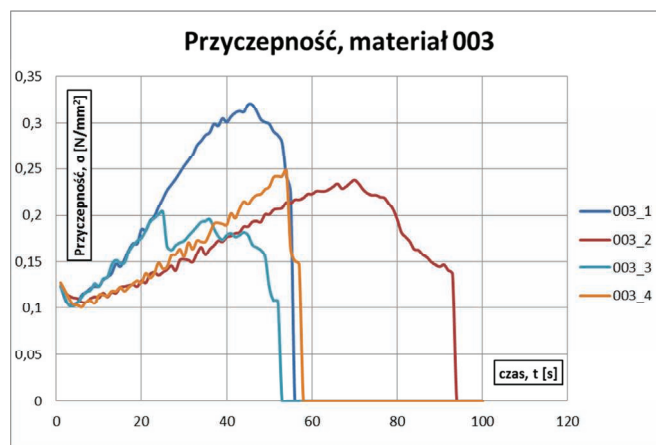
Spośród pięciu przebadanych materiałów podkładek USP tylko jeden wykazał przyczepność powyżej zaproponowanej przez autorów wartości granicznej przyjętej na podstawie wymagań innych europejskich zarządców infrastruktury kolejowej. Pozostałe cztery materiały wykazały niezadowalające wyniki i wymagają dalszych prac nad spoiwem i materia-

łem warstwy przylegającej do spodu podkładu. ◀

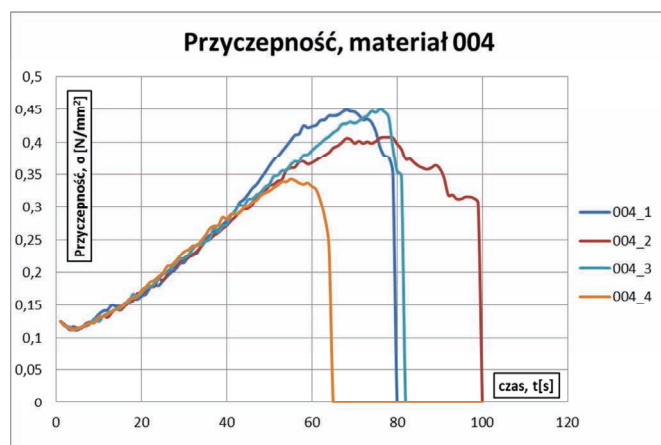
Publikacja powstała w ramach projektu „Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiem od ruchu kolejowego”. Projekt jest współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój oraz przez PKP PLK S.A. w ramach wspólnego przedsięwzięcia BRIK.



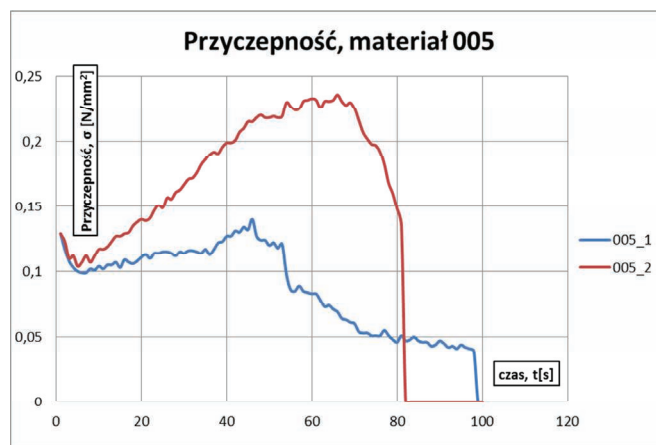
5. Przyczepność przez odrywanie dla próbek materiału nr 002 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne



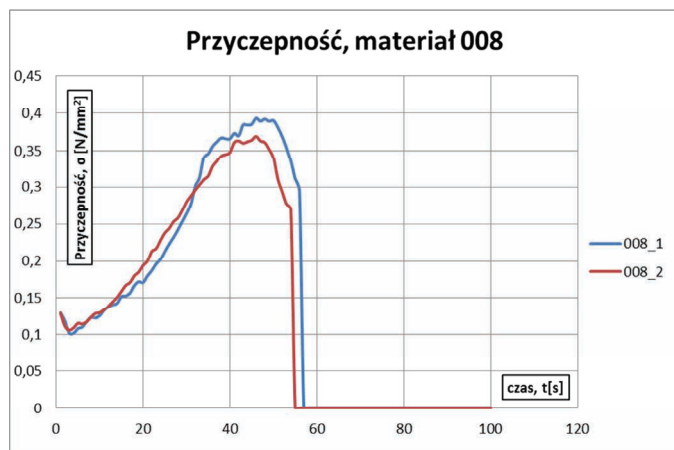
6. Przyczepność przez odrywanie dla próbek materiału nr 003 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne



7. Przyczepność przez odrywanie dla próbek materiału nr 004 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne



8. Przyczepność przez odrywanie dla próbek materiału nr 005 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne



9. Przyczepność przez odrywanie dla próbek materiału nr 008 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne

Materiały źródłowe

- [1] DB Netz AG, DBS 918 145-01, Technische Lieferbedingungen, Spannbetonschwellen mit elastischer Sohle - Elastische Schwellensohlen, 2016.
- [2] Iliev D. L.: Die horizontale Gleislagestabilität des Schotteroberbaus mit konventionellen und elastisch

- besohlenen Schwellen. Technische Universität München, 2012.
- [3] IRS 70713-1: Railway Application – Track & Structure “Under Sleeper Pads (USP) - Recommendations for Use”, 1st edition 01.04.2018.
- [4] Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Płudowska-Zagrajek M., Piotrowski A. Testing procedures of the Under Sleeper Pads applied in the balla-

sted rail track systems. MATEC Web of Conferences, 2018, 196, 02046.

- [5] Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Zbiaciak A.: Podkładki podpodkładowe w podsypkowej konstrukcji nawierzchni dróg szynowych – techniczne i formalne aspekty stosowania. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej, 2017, 25, 221-243.
- [6] PN-EN 1542:2000 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych - Metody badań - Pomiar przyczepności przez odrywanie. PKN, Warszawa 2000.
- [7] PN-EN 16730:2016-08 Kolejnictwo - Tor - Podkłady i podrozdzielnice betonowe z podkładkami podpodkładowymi, Polski Komitet Normalizacyjny, 2016.
- [8] RFI TCAR SF AR 03 007 C, Specifica tecnica di fornitura: Tappetini sotto traversa (USP), 2017.
- [9] SNCF IG04013 Traverses et supports béton pour pose ballastée équipées de semelles résilientes en sous faces (ex CT IGEV 016) 14.08.2018.

Selekcja danych eksploatacyjnych z urządzeń sterowania ruchem kolejowym na potrzeby procesów gromadzenia i analizy danych z obiektów transportu kolejowego

Selection of exploitation data from railway traffic control devices for the purposes of gathering and analyzing data processes from railway transport objects



Janusz Dyduch

Prof. dr hab. inż.

Kierownik Zakładu Systemów Sterowania w Transporcie

Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu



Mieczysław Kornaszewski

Dr hab. inż., prof. nadzw.

Zakład Systemów Sterowania w Transporcie

Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu

Streszczenie: Ocena niezawodności i bezpieczeństwa systemów technicznych wymaga gromadzenia i przetwarzania wiarygodnych danych charakteryzujących zachodzące procesy. Szczególnie istotnymi danymi dla procesów decyzyjnych są te pochodzące z bieżącej eksploatacji, gdyż mogą one posłużyć do zbudowania modeli zachodzących zjawisk eksploatacyjnych i pozwolą określić spodziewane zachowanie się obiektu w przyszłości. Urządzenia sterowania ruchem kolejowym (srk) funkcjonują często w bardzo trudnych warunkach eksploatacyjnych i środowiskowych. Gromadzenie informacji o ich stanie technicznym może być wykorzystywane do właściwej profilaktyki tych urządzeń, a także do predykcyjnego utrzymania ruchu kolejowego. Pozwoli to również na dobór takiej strategii utrzymania ruchu kolejowego, która będzie miała przełożenie na optymalne użytkowanie urządzeń srk.

Słowa kluczowe: Urządzenia sterowania ruchem kolejowym; Dane eksploatacyjne; Selekcja danych; Gromadzenie i analiza informacji

Abstract: The evaluation of the technical systems reliability and safety requires collecting and processing of reliable data which characterizes the processes. The data from current exploitation is particularly important for decision-making processes. It can be used for creation of occurring exploitation phenomena models and allows to determine the expected object behaviour in the future. The railway traffic control devices often work in very difficult exploitation and environmental conditions. The information about their technical condition can be gathered and used for a proper prophylaxis as well as a predictive maintenance of railway traffic. It will allow to choose a maintenance strategy which will consist in optimal use of railway traffic control devices.

Keywords: Railway traffic control devices; Exploitation data; data selection; Information gathering and analysing

Urządzenia sterowania ruchem kolejowym najczęściej pracują w różnicowanych, często skrajnych warunkach eksploatacji. Długoletnie doświadczenia z eksploatacji tych systemów potwierdzają zależność ich funkcjonowania od poprawnego działania poszczególnych podzespołów oraz efektywnego zarządzania ich eksploatacją. Selekcja danych eksploatacyjnych obiektów sterowania ruchem kolejowym jest szczególnie istotnym punktem analizy danych eksploatacyjnych z tych obiektów.

Dane eksploatacyjne obiektów technicznych najczęściej są gromadzone po to, aby określić ich pochodzenie, ich umiejscowienie w systemie eksploatacji oraz ich relacje z pozostałymi obiektami. Dobrze jest również znać wartości graniczne właściwości funkcjonalnych tych obiektów.

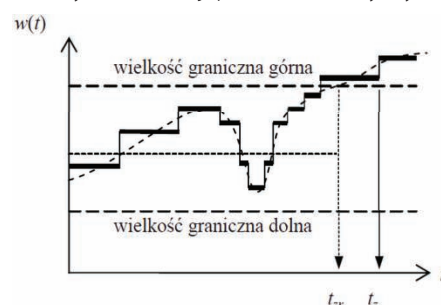
Interesujące w aspekcie zarządzania eksploatacją są zjawiska przekroczenia granicznych, dopuszczalnych poziomów zmienności. Na rys. 1 przedstawiono fragment ciągłego przebiegu zmienności atrybutu oraz możliwą transformację na funkcję skokową. Rysunek ilustruje chwilę rzeczywistego przekroczenia górnego poziomu granicznego t_{zr} oraz aproksymację chwili obserwacji tego zdarzenia t_z [8].

Zbieranie i analiza danych eksploatacyjnych z urządzeń sterowania ruchem kolejowym należą do podstawowych przedsięwzięć organizacyjnych w procesie sterowania ruchem pociągów, pozwalających na [2]:

- porównanie jakości eksploatacji tych samych urządzeń srk przez różne obsługi;
- wyznaczenie okresu adaptacji,

normalnej eksploatacji oraz zużycia i starzenia;

- dobór modelu matematycznego rozkładów czasu poprawnej pracy między uszkodzeniami, czasu naprawy i czasu przeglądów profilaktycznych dla każdego z wyznaczonych okresów;
- oszacowanie intensywności uszkodzeń poszczególnych obiektów sterowania ruchem kolejowym i na tej podstawie wykrycie



1. Rzeczywista t_{zr} i modelowa t_z chwila zajścia zdarzenia, gdzie $w(t)$ – wartość atrybutu w chwili t [8]

obiektów częściej uszkodzających się;

- analizę przyczyn częściowej uszkodzających się obiektów srk;
- wyciągnięcie wniosków eksploatacyjnych, mających na celu zapobieganie niektórym uszkodzeniom;
- opracowanie propozycji dotyczących udoskonalenia konstrukcji poszczególnych elementów, układów, podzespołów i urządzeń sterowania ruchem kolejowym;
- określenie racjonalnych zestawów części zapasowych i planów zaopatrzenia;
- wyznaczenie okresów przeglądów profilaktycznych i napraw;
- wymianę doświadczeń pomiędzy obsługami technicznymi odnośnie metodyki zapobiegania, wykrywania i usuwania uszkodzeń.

Organizacja zbierania i analizy danych eksploatacyjnych z urządzeń sterowania ruchem kolejowym

Dane charakteryzujące procesy zużycia i starzenia obiektów oraz informacje o usterkach i uszkodzeniach gromadzi się w wyniku obserwacji procesu eksploatacji prowadzonych w sposób bierny lub czynny. Bierna obserwacja eksploatacji polega na gromadzeniu danych istniejących i zapisywanych w rutynowej dokumentacji, natomiast czynna pozwala gromadzić dane określone pod kątem spełnienia celu badań, co wymaga zastosowania specjalnych procedur i nośników danych. Niestety przy użyciu każdej z tych metod istnieje możliwość uzyskania niepoprawnego lub niepełnego zbioru informacji, wynikająca np. z

błędu człowieka lub systemu rejestrującego.

Prawidłowo zorganizowane zbieranie i analiza danych eksploatacyjnych z urządzeń sterowania ruchem kolejowym nie zakłóca działania i warunków pracy całego systemu, pozwala na badanie systemów wielkich i złożonych, z uwzględnieniem również wpływu otoczenia. Dobrze funkcjonujący system zbierania danych eksploatacyjnych z urządzeń srk umożliwia [11]:

1. Wyznaczanie ogólnych liczbowych miar niezawodności, jak np. sumaryczny czas pracy, sumaryczny czas naprawy, sumaryczna liczba uszkodzeń w zadanym przedziale czasu eksploatacji.
2. Wyznaczanie funkcyjnych miar niezawodności, takich jak: funkcja niezawodności, funkcja intensywności uszkodzeń, parametr strumienia uszkodzeń, funkcja prowadząca rozkładu, itp.
3. Wyznaczanie parametrycznej niezawodności obiektu srk, np. prawdopodobieństwa zgodności cech mierzalnych i niemierzalnych obiektu z wymaganiami, w zadanym przedziale czasu eksploatacji.
4. Wyznaczanie modeli uszkodzeń na podstawie analizy fizyczno-chemicznej procesów zachodzących w obiekcie (zużycie, korozja, zmęczenie).
5. Diagnozowanie aktualnego stanu niezawodnościowego obiektu srk, np. wyznaczanie tendencji zmian wskaźników niezawodności, ustalanie słabych ogniw, itp. Do diagnozowania aktualnego stanu niezawodnościowego obiektu sterowania ruchem kolejowym niezbędna jest informacja zebrana z różnych okresów eksploatacji,

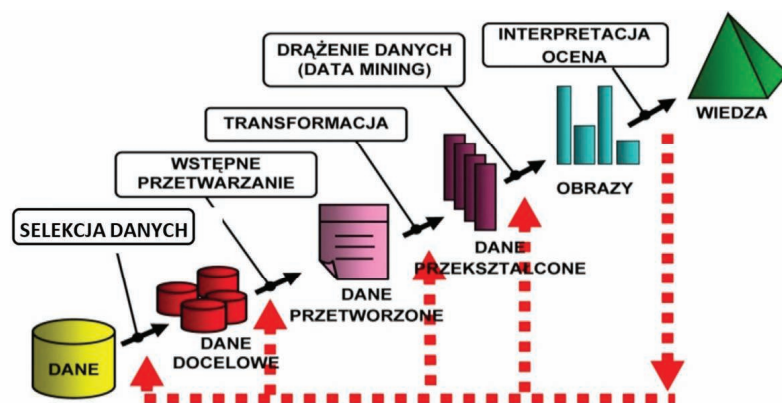
dotycząca skutków uszkodzeń ze względu na bezpieczeństwo, wykonanie zadania, poniesione nakłady na naprawy, itp.

6. Prognozowanie stanów niezawodnościowych obiektów srk na podstawie matematycznych modeli prognozowanych procesów uszkodzeń.
7. Skuteczne przeprowadzenie zestawów eksploatacyjnych, np. wykrywanie uszkodzeń w różnych obsługach (kontrola stanu technicznego, profilaktyka), wystarczalność części zamiennych, stopień wykorzystania oprzyrządowania obsługowego, itp.

Po przepracowaniu przez dany obiekt sterowania ruchem kolejowym określonej liczby godzin lub upływie pewnego kalendarzowego okresu, można przystąpić do statystycznego opracowania danych z eksploatacji poszczególnych obiektów srk. Dane te obejmują zazwyczaj część eksploatowanych urządzeń srk (tzw. próbę), ponieważ bieżąca analiza statystyczna całego zbioru wyprodukowanych seryjnie urządzeń jest bardzo trudna i wymaga ogromnego wysiłku [13].

Statystyczne opracowanie danych eksploatacyjnych obiektów sterowania ruchem kolejowym można podzielić na następujące etapy (rys. **2**) [13]:

1. Wstępna analiza uzyskanych danych eksploatacyjnych.
2. Zbiorcze zestawienie danych o uszkodzeniach i naprawach.
3. Wyznaczenie okresów pracy badanych urządzeń srk.
4. Opracowanie szeregów rozdzielczych.
5. Weryfikacja hipotezy o kształcie rozkładu czasu pracy T między uszkodzeniami, czasu naprawy T_n i czasu przeglądu profilaktycznego T_p .
6. Oszacowanie parametrów badanych zbiorów, w tym głównie średnich: czasu pracy między uszkodzeniami $\bar{T}$, czasu naprawy $\bar{T}_n$ oraz czasu przeglądu profilaktycznego $\bar{T}_p$.
7. Oszacowanie wskaźników niezawodności.



2. Proces odkrywania wiedzy [13]

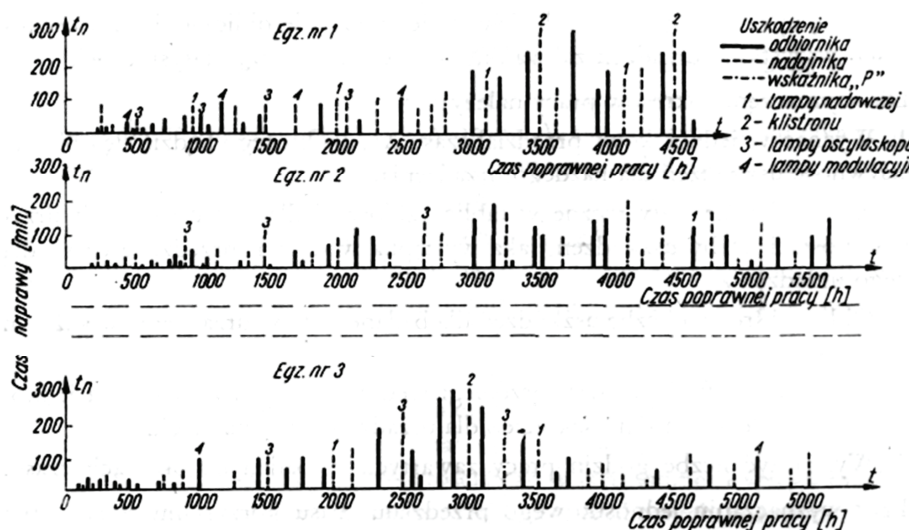
Preselekcja danych eksploatacyjnych z obiektów sterowania ruchem kolejowym

Wstępna analiza uzyskanych danych z obiektów sterowania ruchem kolejowym ma na celu przeprowadzenie tzw. preselekcji danych eksploatacyjnych, czyli selekcji tych danych przez wyeliminowanie z opracowania statystycznego danych nie-wiarygodnych, sprawdzenie pod względem ich formalnej poprawności oraz posegregowanie danych z poszczególnych obiektów według odpowiednich okresów ich pracy.

Niezwykle istotnym problemem jest przestrzeganie wiarygodności i dokładności zbieranych danych eksploatacyjnych. Często dane z urządzeń srk wskutek zaniedbań obsługi, względnie braków w dokumentacji eksploatacyjnej, nie odzwierciedlają rzeczywistej liczby uszkodzeń i czasu ich naprawy. Niekiedy dane takie pisane są z pamięci i często dotyczą tylko najważniejszych uszkodzeń. Ponadto istnieją urządzenia sterowania ruchem kolejowym, które pracują w bardzo różniących się warunkach eksploatacji, np. zainstalowane są i pracują w warunkach wzmożonej wilgotności, czy występowania drgań mechanicznych (np. urządzenia przytorowe) itp. Mogło to przyczynić się do powstania nietypowych uszkodzeń, związanych z nadmiernym wpływem czynników klimatycznych, mechanicznych, itp.

Nośniki i media transmisji danych eksploatacyjnych mogą być zróżnicowane:

- tradycyjne dokumenty źródłowe, którymi są „karty uszkodzeń”, są wypełniane przez pracowników. Dokumenty te są dostarczane do modułu logicznego przetwarzania systemu eksploatacji;
- dane elektroniczne, które są zbierane „online” przez zainstalowane w określonych miejscach systemów czujniki i przesyłane bezpośrednio do systemu gromadzenia danych eksploatacyjnych lub wprowadzane z klawiatury przez pracowników nadzorujących określone urządzenia;
- system mieszany, najczęściej spotykane rozwiązanie.



3. Przykład graficznego zestawienia danych o uszkodzeniach i naprawach wybranych obiektów sterowania ruchem kolejowym [10]

Zbieranie informacji o procesie eksploatacji obiektów sterowania ruchem kolejowym i przekazywanie ich do jednostki koordynującej badania eksploatacyjne odbywa się w oparciu o specjalne dokumenty źródłowe, tzw. karty. Karty zawierające informacje o użytkowaniu i odnowie obiektów sterowania ruchem kolejowym powinny być wypełniane okresowo, np. w cyklach dobowych, w oparciu o aktualne informacje służb eksploatacyjnych [1]. Czynnikiem ułatwiającym analizę wstępną i preselekcję danych eksploatacyjnych jest przedstawienie ich w postaci graficznej, jak np. na rys. 3.

Z rys. 3 wynika, po jakim czasie pracy urządzenia nastąpiło uszkodzenie, ile czasu trwała naprawa i co zostało uszkodzone. Rodzaj uszkodzonego elementu czy urządzenia srk można odpowiednio zaznaczyć, z odpowiednią legendą na rysunku. Przedstawione w ten sposób dane o uszkodzeniach i naprawach obiektów srk ułatwiają preselekcję danych eksploatacyjnych i znacznie upraszczają dalsze obliczenia, zarówno wskaźników niezawodności całych urządzeń, jak też oszacowanie intensywności uszkodzeń poszczególnych elementów lub podzespołów.

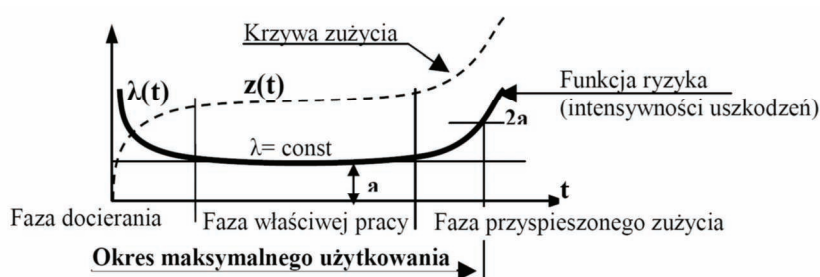
Przy dokonywaniu wstępnej selekcji odrzuca się dane z takich egzemplarzy tego samego typu urządzenia srk, które sugerują, że obsługa wypełniała formularze niesumienne. Na przykład, odrzuca się dane z obiektów srk, w których liczba uszkodzeń różni się co

najmniej o rząd wielkości w porównaniu ze średnią liczbą uszkodzeń w innych egzemplarzach, dane o uszkodzeniach nagromadzone nierównomiernie w czasie w poszczególnych okresach eksploatacji (np. długi okres brak uszkodzeń, a później od razu występująca duża liczba uszkodzeń), itp. Urządzenia sterowania ruchem kolejowym pracujące w znacząco różniących się warunkach eksploatacji będą wykazywały nadmierną liczbę uszkodzeń tego samego typu, np. o charakterze mechanicznym, wskutek nadmiernych wstrząsów, nadmiernej liczby przebiegów napięciowych, itp., wskutek podwyższonej wilgotności, np. po instalacji w pobliżu akwenu wodnego [9].

Wyznaczenie okresów pracy urządzeń sterowania ruchem kolejowym ma na celu wyodrębnienie typowych okresów w pracy urządzenia (tzw. krzywa wannowa na rys. 4), to jest:

- okresu adaptacji (docierania),
- okresu normalnej eksploatacji (właściwej pracy),
- okresu starzenia (przyspieszonego zużycia).

Krzywa $\lambda(t)$ na rys. 4 może mieć różny przebieg w zależności od charakteru dominujących uszkodzeń. Wielkość λ w tym przypadku oznacza intensywność uszkodzeń obiektów sterowania ruchem kolejowym. Najczęściej przyjmuje się jednak, że krzywa ma postać zbliżoną do wanny i dlatego nazywana jest krzywą wannową. Ma-



4. Typowy przebieg funkcji intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ [4]

lejąca funkcja intensywności uszkodzeń oznacza, że w obiekcie powstają procesy adaptacyjne, stała intensywności uszkodzeń oznacza stabilizację procesów fizycznych (zanik adaptacji), rosnąca funkcja $\lambda(t)$ świadczy o tym, że w obiekcie zachodzą procesy starzenia (zużycia, degradacji).

Intensywność uszkodzeń charakteryzuje prawdopodobieństwo powstania uszkodzenia obiektu srk w chwili $(t+\Delta t)$, pod warunkiem, że w chwili t obiekt ten był w stanie zdatności. Intensywność uszkodzeń oznacza względny spadek niezawodności systemu sterowania ruchem kolejowym na jednostkę czasu. Inaczej mówiąc jest to frakcja uszkodzonych obiektów srk odniesiona do liczby obiektów wyróżnionych w systemie srk, istniejących na początku przedziału badania. Jeśli dane z eksploatacji serii badanych urządzeń srk zostały dostarczone od chwili rozpoczęcia pracy przez te urządzenia, to wyznaczenie okresów pracy urządzeń znacznie się upraszcza, ponieważ będzie się jednocześnie obliczać dane o uszkodzeniach wszystkich urządzeń zakwalifikowanych do analizy statystycznej.

Dla wyznaczenia okresów pracy urządzeń sterowania ruchem kolejowym należy [3]:

1. Wyznaczyć jednostkowy przedział czasu Δt_i dla którego będzie się obliczać intensywność uszkodzeń dla każdego urządzenia srk.
2. Zestawić dane statystyczne w tablicy zbiorczej dla poszczególnych urządzeń w postaci liczby uszkodzeń, jaka wystąpiła w danym przedziale czasu dla każdego urządzenia srk.
3. Obliczyć średnią liczbę uszkodzeń dla badanego typu urządzenia w każdym przedziale czasu.
4. Wykreślić w funkcji czasu przebiegi średniej liczby uszkodzeń na

jednostkę czasu, tj. intensywności uszkodzeń dla urządzeń naprawialnych sterowania ruchem kolejowym.

5. Wyznaczyć liczbę godzin pracy zawartych w badanych okresach czasu.

W praktyce przedziały czasów pracy urządzeń sterowania ruchem kolejowym są różne, przy czym im urządzenie srk jest bardziej złożone, tym czasy te są krótsze.

Średnią liczbę uszkodzeń w każdym jednostkowym przedziale czasu obliczamy ze wzoru:

$$\Delta m_{sr}(\Delta t_i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \Delta m_j(\Delta t_i) \quad (1)$$

gdzie: $\Delta m_{sr}(\Delta t_i)$ - średnia liczba uszkodzeń w i -tym jednostkowym przedziale czasu, N - liczba zakwalifikowanych do analizy statystycznej urządzeń srk badanego typu, $\Delta m_j(\Delta t_i)$ - liczba uszkodzeń w i -tym przedziale j -tego urządzenia srk tego samego typu.

Jeśli okaże się, że wykreślone przebiegi mają nieregularny, zygzakowaty charakter, nie pozwalający na wyciągnięcie wniosków co do długości wyznaczonych okresów, to zwiększa się jednostkowy przedział czasu 2- i 3-krotnie, a niekiedy nawet i 5-krotnie. Powyższa analiza ma charakter jakościowy. Można ją jednak oprzeć na ścisłych przesłankach przez wykorzystanie statystyki matematycznej, np. weryfikując hipotezę o słuszności założenia $\Lambda_p(t) = \Lambda_p = \text{const.}$ w rozpatrywanym okresie pracy.

Jeśli badane urządzenia sterowania ruchem kolejowym mają różniące się liczby przepracowanych godzin, to powyższe obliczenia dokonuje się po wstępnym przegrupowaniu tych urządzeń wg przepracowanych godzin. Po tak przeprowadzonej preselekcji danych eksploatacyjnych urządzeń

sterowania ruchem kolejowym oraz wstępnym przygotowaniu zebranych danych eksploatacyjnych srk można przystąpić do ich dalszego opracowania statystycznego [12].

Celem statystycznej analizy wyników badań eksploatacyjnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym powinno być wnioskowanie o właściwościach probabilistycznych całego zbioru urządzeń srk reprezentowanych przez część tego zbioru, nazywanego próbą (próbą).

W przypadku obiektów nienaprawialnych sterowania ruchem kolejowym (np. żarówka w sygnalizatorze świetlnym przytorowym) liczbą doświadczeń jest najczęściej liczba pracujących i uszkodzonych obiektów srk w ciągu określonego czasu. W przypadku urządzeń naprawialnych sterowania ruchem kolejowym będzie to liczba zaobserwowanych w danym przedziale czasu uszkodzeń (napraw, przeglądów profilaktycznych, itp.) w badanej grupie urządzeń srk.

Wnioskowanie statystyczne o zbiorze urządzeń srk na podstawie wyników badania reprezentującej go próbki może polegać na [12]:

- weryfikacji określonej hipotezy statystycznej, dotyczącej postaci funkcyjnej rozkładu zmiennej losowej lub wartości liczbowych parametrów tego rozkładu;
- estymacji (oszacowaniu) nieznanych wartości liczbowych określonych parametrów probabilistycznych rozpatrywanego zbioru.

Najczęściej taką zmienną losową jest czas, a więc w zależności od potrzeby może to być np. czas poprawnej pracy do uszkodzenia lub między uszkodzeniami T , czas naprawy T_n lub czas przeglądu profilaktycznego T_p .

Dane eksploatacyjne obciążone błędem grubym

Błędy grube danych eksploatacyjnych mogą wystąpić m.in. w trakcie rejestracji wyników, przy wprowadzaniu ich do baz danych oraz mieć swoje źródło np. przy przesuwaniu przecinka podczas zapisu wyniku lub podczas zamiany jednostek. Pojęcie błędu, występujące w pomiarze naukowym,

ściśle łączy się z niemożliwą do całkowitego uniknięcia niepewnością, która w sposób nierozwalny związana jest z istotą wykonywania pomiaru przy wykorzystaniu danej metody. Należy więc dążyć do minimalizacji rozmiarów błędów oraz znalezienia sposobu na oszacowanie ich wielkości.

Do wykrywania wyniku obarczonego błędem grubym i znalezienia „outliera”, tj. punktu, obiektu, wartości, znacznie odstającej od reszty w zbiorze danych, przy założeniu normalności rozkładu badanej próby, służą m.in. odpowiednie testy, np. Grubbsa (test T), czy Q-Dixona (test Q) [6].

Błędem grubym może być obarczona największa lub najmniejsza wartość wyniku w analizowanej próbce danych eksploatacyjnych. Test Grubbsa jednorazowo, podobnie jak w przypadku testu Q Dixona, daje możliwość wykrycia jednej wartości odstającej (poprzez porównanie z parametrem krytycznym). Dlatego należy go powtarzać do momentu, gdy w zbiorze danych nie zaobserwuje się kolejnych wartości odstających od pozostałych wyników.

Wyniki obarczone błędem grubym powinny zostać usunięte z próby ze względu na fakt, że mogą zaburzyć wyniki ewentualnej analizy statystycznej.

Dane pozyskiwane z badań eksploatacyjnych

Badania eksploatacyjne są zorientowane przede wszystkim na wyznaczenie odpowiednich miar (wskaźników) i ocenę obiektu technicznego eksploatowanego w określonym systemie eksploatacji, tj. wg założonego procesu eksploatacji. Wynik oceny jest bezpośrednią informacją w procesie po-

dejmowania decyzji eksploatacyjnych.

Źródła danych mogą stanowić zbiór obiektów podlegających obserwacji w trakcie badań eksploatacyjnych. Obserwacje te dostarczają danych w postaci obrazów zjawisk eksploatacyjnych wykonanych podczas badań eksploatacyjnych, odwzorowujących ich atrybuty poprzez wartości odpowiednich zmiennych. Związki między eksploatowanymi obiektami reprezentowane są przez relacje liczbowe między zmiennymi i gromadzone w bazach danych (rys. 5). Pojawienie się informacji wymagającej archiwizacji może odbywać się w sposób czynny (diagnozowanie, rutynowe obserwacje obiektów i ich parametrów) lub bierny (uszkodzenia, zdarzenia losowe). System badawczy powinien „zauważyć” taką informację, wstępnie przeanalizować jej wiarygodność i zarchiwizować. Wykorzystanie zgromadzonych danych odbywa się zwykle z pewnym opóźnieniem wynikającym z konieczności zapisania większej liczby danych [7].

Dane o eksploatacji obiektów technicznych klasyfikuje się w zależności od przyjętych kryteriów w odniesieniu do obiektów i wyróżnia:

- dane identyfikacyjne, stałe, odnoszące się do obiektów na wyższym poziomie złożoności (przedsiębiorstwo, instalacja, stałe numery identyfikacyjne, daty instalacji, modyfikacji, kasacji, specjalne właściwości i akcesoria),
- dane o bieżącym użytkowaniu (regularne, generowane w procesie użytkowania),
- dane o losowych zakłóceniach eksploatacyjnych (uszkodzenia, naprawy, obsługi profilaktyczne, modernizacje).

Najważniejszymi danymi ze względu na zarządzanie eksploatacją są dane pochodzące z bieżącej eksploatacji, gdyż na ich podstawie można budować modele zjawisk eksploatacyjnych i określać spodziewane zachowanie się systemu lub procesu w przyszłości.

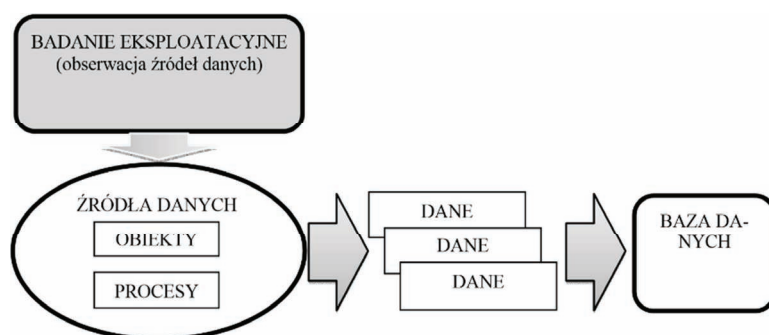
Struktura typowego systemu gromadzenia danych z urządzeń i systemów sterowania ruchem kolejowym

Systemy gromadzenia danych np. z urządzeń i systemów sterowania ruchem kolejowym oparte są najczęściej na dedykowanym oprogramowaniu śledzenia, rejestracji i analizy, którego celem jest zbieranie i prezentacja na jednolitej platformie programowej statusów urządzeń z sieci kolejowej dla potrzeb utrzymaniowych (rys. 6).

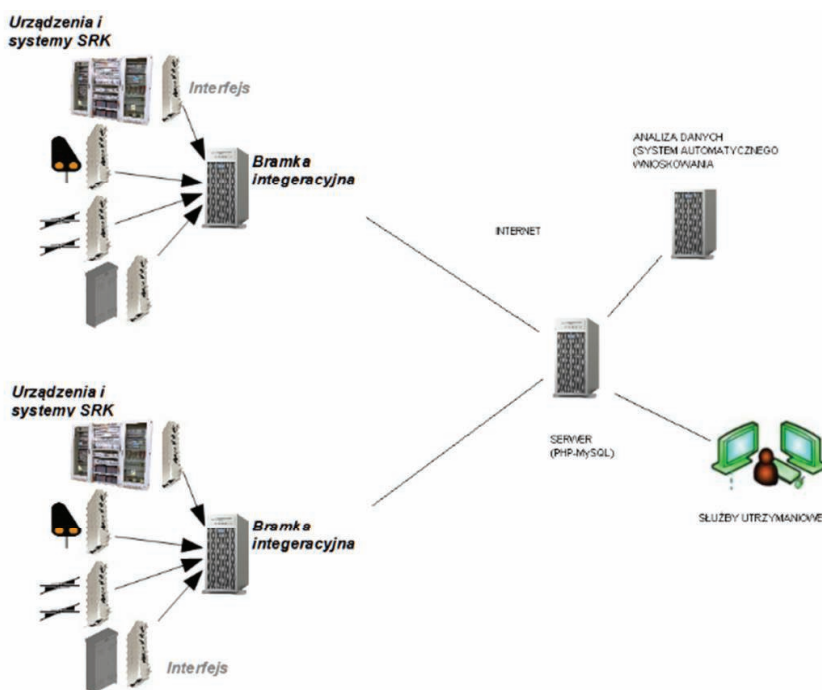
Informacje o statusach urządzeń srk mogą być zbierane przez interfejsy bezpośrednio z tych urządzeń lub z dedykowanych systemów diagnostycznych przez producentów. Informacje te są przesyłane łącznie do bramek integracyjnych, które pełnią funkcje lokalnych buforów danych. W jednostce takiej gromadzone są dane o stanie urządzeń z określonego obszaru sieci kolejowej. Po zaszyfrowaniu informacja o stanach urządzeń jest przesyłana do centralnego serwera. Informacje zgromadzone w centralnej bazie danych na bieżąco są poddawane analizie i mogą być wykorzystane przez odpowiednie systemy automatycznego wnioskowania [5].

Wnioski

Ocena niezawodności i bezpieczeństwa systemów technicznych wymaga zgromadzenia i przetworzenia wiarygodnych danych charakteryzujących zachodzące procesy. Dane uzyskiwane z obserwacji eksploatacyjnych obarczone są często znaczną niepewnością wynikającą z ich niepełności, ograniczeń i niespełnienia warunków badań oraz zafałszowań. Niepewność danych eksploatacyjnych związana jest m.in. z procesem ich pozyskiwania, archiwizacji i przetwarzania. Modelowanie zjawisk eksploatacyjnych wymaga wprowadza-



5. Idea pozyskiwania danych ze źródeł danych [7]



6. Struktura typowego systemu gromadzenia danych z urządzeń i systemów srk [5]

nia założeń i ograniczeń modelowych dotyczących postrzegania obiektów oraz ich zachowania się w czasie i przestrzeni. Modele wymagają następnie opisanie atrybutów obiektów i ich stanów w czasie. Niestety czynniki, takie jak: ograniczony czas obserwacji, naturalna zmienność procesów, pozyskanie danych niepełnych (m.in. ucięcie danych), brak informacji o przyczynach zdarzeń lub subiektywne podejmowanie decyzji przyczyniają się do wprowadzania niepewności do gromadzonych danych.

Dane uzyskane z obiektów srk, które nie uszkodziły się w okresie obserwacji lub chwila ich uszkodzenia nie jest ściśle określona, analizuje się najczęściej przy wykorzystaniu metody największej wiarygodności. Pozyskiwanie i przetwarzanie danych eksploatacyjnych często kojarzone jest z odkrywaniem wiedzy, co ma na celu identyfikację regularności istniejących danych w bazie danych.

Selekcja danych eksploatacyjnych obiektów sterowania ruchem kolejowym poprzez wyeliminowanie niewiarygodnych danych (np. obciążonych błędem grubym), zweryfikowanie ich formalnej poprawności oraz posegregowanie danych eksploatacyjnych z poszczególnych obiektów srk, takich jak np.: nastawnica kolejowa (sygnalizatory i wskaźniki torowe, zwrotnice i

wykolejnice, elementy kontroli niezajętości torów i rozjazdów kolejowych, elementy sterowania i kontroli, elementy zasilania, interfejsy), blokada liniowa (elementy kontroli niezajętości torów i rozjazdów kolejowych, sygnalizatory torowe, elementy sterowania i kontroli, elementy zasilania, interfejsy), sygnalizacja przejazdowa (elementy detekcji pojazdu szynowego, napędy i drągi rogatek, sygnalizatory drogowe, sygnalizatory torowe, elementy sterowania i kontroli, elementy zasilania, interfejsy), urządzenia tor-pojazd (elementy punkowego przesyłania informacji, elementy sterowania i kontroli, elementy zasilania, interfejsy), urządzenia zdalnego sterowania (elementy sterowania i kontroli, elementy zasilania, interfejsy) znacznie ułatwi i przyspieszy proces analizy danych eksploatacyjnych i obliczeń statystycznych oraz zwiększy możliwość przewidywania ich stanów (np. na podstawie symulacji). ◀

Materiały źródłowe

[1] Dyduch J., Kornaszewski M.: Badania eksploatacyjne miarodajnym źródłem informacji o pracy urządzeń systemów automatyki przejazdowej. Prace Naukowe TRANSPORT Nr 15, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej. Radom 2002.

[2] Dyduch J., Moczarski J.: Podstawy eksploatacji systemów sterowania ruchem kolejowym. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2008.

[3] Kaźmierczak J.: Eksploatacja systemów technicznych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.

[4] Kornaszewski M.: Modelowanie odnowy systemów sterowania ruchem kolejowym w procesie eksploatacji. Wydawnictwo Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego, Radom 2013.

[5] Kornaszewski M., Pniewski R.: Komputerowe wspomaganie procesu eksploatacji systemów srk, Logistyka 06/2014.

[6] Lach S.: Wykrywanie oraz eliminacja błędów grubych w pomiarach piezometrycznych dla zapory Koronowo w latach 2010-2015. Badania i rozwój młodych naukowców w Polsce: nauki techniczne i inżynieryjne, Cz. 5, Poznań 2017.

[7] Młyńczak M.: Analiza danych eksploatacyjnych w badaniach niezawodności obiektów technicznych. Zeszyty Naukowe WSOWL Nr 1 (159), Wrocław 2011.

[8] Młyńczak M.: Metodyka badań eksploatacyjnych obiektów mechanicznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.

[9] Prażewska M. (red): Niezawodność urządzeń elektronicznych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.

[10] Sztarski M.: Niezawodność i eksploatacja urządzeń elektronicznych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1972.

[11] Ważyńska-Fiok K.: Niezawodność systemów technicznych. PWN, Warszawa 1990.

[12] Ważyńska-Fiok K.: Podstawy teorii eksploatacji i niezawodności systemów transportowych. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.

[13] Żółtowski B.: Doskonalenie systemów eksploatacji maszyn. Problemy Eksploatacji Nr 2, Radom 2012

Podsumowanie III konferencji

"Transport Intermodalny – Integracja Przewozów Światowych"

W dniach 12-14 czerwca 2019 r. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników komunikacji RP Zarząd Krajowy wspólnie z Uniwersytetem Szczecińskim - Wydział Zarządzania i Ekonomiki Usług w Szczecinie: zorganizował III edycję Konferencji naukowo-technicznej pt. "Transport Intermodalny - Integracja Przewozów Światowych" w ramach której odbyła się III edycja Targów Transportu Intermodalnego „InterModal2019”. Konferencja oraz Targi odbyły się pod Patronatem:

1. Ministra Infrastruktury - Pana Andrzeja Adamczyka,
2. Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej - Pana Marka Gróbarczyka,
3. Ministra Inwestycji i Rozwoju - Pana Jerzego Kwiecińskiego,
4. Urzędu Transportu Kolejowego - Pana Ignacego Góry,
5. Polskich Kolei Państwowych S.A. Pana Krzysztofa Mamińskiego,
6. Uniwersytetu Szczecińskiego - J.M. Rektor prof. dr hab. Edwarda Włodarczyka.

Partnerami przedsięwzięcia i zarówno wystawcami podczas odbywających się podczas konferencji targów były:

- POLSKIE KOLEJE PAŃSTWOWE S.A.,
- PKP CARGO S.A.,
- PKP INTERCITY S.A.,
- PKP CARGO SERVICE sp. z o.o.,
- ZARZĄD MORSKICH PORTÓW SZCZECIN ŚWINOUJŚCIE S.A.,
- CLIP INTERMODAL Sp. z o.o.,
- KANCELARIA TRANSPORTOWA LEGAL-TRANS,
- CENTRUM UNIJNYCH PROJEKTÓW TRANSPORTOWYCH,
- INSTYTUT KOLEJNICTWA.

Patronat medialny nad przedsięwzięciem objęły:

- EURO LOGISTICS,
- TRANSPORT MIEJSKI I REGIONALNY,
- DROGOWNICTWO,
- PRZEGŁAD KOMUNIKACYJNY,
- CZASOPISMO LOGISTYKA,
- NAMIARY NA MORZE i HANDEL,
- POLSKA GAZETA TRANSPORTOWA.

W konferencji uczestniczyło ok. 90 osób, przedstawicieli portów: firm logistycznych: uczelni oraz studentów.

Konferencję rozpoczęli i przywitani uczestników prof. dr hab. inż. Janusz Dyduch Przewodniczący Rady Programowej Konferencji, Dziekan Wydziału Zarządzania i Ekonomiki Usług Uniwersytetu Szczecińskiego prof. dr hab. inż. Juliusz Engelhardt oraz Sekretarz Generalny SITK RP Pan Waldemar Fabirkiewicz.

Program konferencji:

12 czerwca 2019 r.

W pierwszej części konferencji odbył się Panel dyskusyjny nt. „Perspektywy i bariery rozwoju transportu intermodalnego w Polsce” prowadzącym był prof. dr hab. Juliusz Engelhardt.

W panelu dyskusyjnym udział wzięli:

- **Sylwia Cieślak-Wilk** - Zastępca Dyrektora Departamentu Programów Infrastrukturalnych Ministerstwo Inwestycji i Rozwoju,
- **Alicja Kozłowska** - Dyrektor Departamentu Regulacji Rynku Urząd Transportu Kolejowego,
- **Krzysztof Rodziewicz** - Dyrektor Departamentu Przygotowania Projektów Centrum Unijnych Projektów Transportowych,
- **Mirosław Antonowicz** - Członek Zarządu Polskie Koleje Państwowe S.A.,

- **Sławomir Żurawski** - Dyrektor Biura Handlowego - Rynek Przewozów Międzynarodowych i Intermodalnych PKP CARGO S.A.,
- **Aneta Szreder - Piernicka** - Dyrektor ds. Handlowych Przedstawiciel Portu Szczecin-Świnoujście,
- **Tomasz Radzikowski** - Ekspert ds. analiz transportowych Biura Strategii Centrali Spółki PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Pierwszej Sesji pt.: „Kierunki rozwoju przewozów intermodalnych w nowej perspektywie finansowej” przewodniczyli: prof. dr hab. inż. Juliusz Engelhardt - Uniwersytet Szczeciński oraz dr inż. Mirosław Antonowicz - Członek Zarządu PKP S.A.

W sesji udział wzięli:

- **Juliusz Grabowski** - Kierownik Działu Handlowego i Obsługi Inwestora ZMPSiŚ, przedstawił prezentację pt.: „Wyniki analiz dotyczących poprawy efektywności transportu intermodalnego w ramach projektu TalkNET”,
- **Krzysztof Rodziewicz** - Dyrektor Departamentu Przygotowania Projektów Przedstawiciel Centrum Unijnych Projektów Transportowych, przedstawił prezentację nt. „Finansowania transportu towarowego przez fundusze unijne”,
- **Robert Kruk** z Instytutu Kolejnictwa, przedstawił kolejną prezentację pt.: „Przewozy intermodalne transportem kolejowym - perspektywy dalszego rozwoju”,
- **Alicja Kozłowska** - Dyrektor Departamentu Regulacji Rynku Urząd Transportu Kolejowego, przedstawiła prezentację pt.: „Zwiększanie roli kolei w równoważeniu transportu towarów w Polsce”.

Na zakończenie pierwszej sesji wystąpił Pan Przemysław Hoehne - Dyrektor Handlowy Clip Group prezentując „Nowe ogniwo w Supply Chain - Transport Intermodalny”.

Drugiej sesji pt.: „Wpływ rozwoju infrastruktury terminalowej na kształtowanie się potoków intermodalnych” - przewodniczył dr hab. prof. US Michał Pluciński - Uniwersytet Szczeciński.

W sesji udział wzięli:

- **Piotr Durajczyk** - Przedstawiciel Ministerstwa Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej, Dyrektor Urzędu Żeglugi Śródlądowej w Szczecinie, zaprezentował „Transport wodny śródlądowy w obsłudze portów morskich”,
- **Marek Trojnar** - Szef Biura Strategii i Rozwoju Portów ZMPSiŚ, przedstawił prezentację - pt.: „Rozwój i dostosowanie infrastruktury portowej w portach morskich Szczecin-Świnoujście do obsługi transportu intermodalnego”,
- **Henryk Zielaskiewicz** - Dyrektor Biura Logistyki - Polskie Koleje Państwowe S.A., przedstawił prezentację pt.: „Wpływ rozwoju infrastruktury terminalowej na kształtowanie się ładunków intermodalnych”,



- **Sławomir Żurawski** - Dyrektor Biura Handlowego - Rynek Przewozów Międzynarodowych i Intermodalnych PKP CARGO S.A., przedstawił prezentację pt.: „Grupa PKP CARGO niekwestionowanym liderem w kolejowych przewozach intermodalnych”.
- **Andrzej Łuc** - Prezes Zarządu Port Police sp. z o.o., zaprezentował „Port Morski Police jako Intermodalne zaplecze dla przemysłu chemicznego”.

Na zakończenie drugiej sesji Pan Jakub Wojciechowski - Szef Sprzedaży Cargotec Poland Sp. z o.o. przedstawił prezentację pt.: „Eco przeładunki w terminalach kontenerowych”.

W pierwszym dniu konferencji zostały zorganizowane dwa konkursy:

I. Konkurs III Edycji Konferencji Naukowo-Technicznej pt.: „Transport Intermodalny - Integracja Przewozów Światowych” w trzech kategoriach:

- kategoria nr 1 na najlepszego przewoźnika jednostek intermodalnych,
- kategoria nr 2 na najlepszego operatora wewnątrzdrogowego terminalu intermodalnego obsługującego kolej,
- kategoria nr 3 na najlepszy podmiot prowadzący działania na rzecz rozwoju projektów w zakresie przewozów intermodalnych.

II. Konkurs III edycji Targów Transportu Intermodalnego InterModal2019 w dwóch kategoriach:

- kategoria nr 4 na najbardziej profesjonalnie zabudowane stoisko,
- kategoria nr 5 na najlepszy produkt lub technologię prezentowaną przez wystawców.

Po zakończeniu drugiej sesji Kapituła konkursowa w składzie:

1. Prof. dr hab. inż. **Janusz Dyduch** - Przewodniczący Kapituły,
2. Prof. dr hab. **Juliusz Engelhardt** - Dziekan Wydziału Zarządzania i Ekonomiki Usług Uniwersytet Szczeciński - Wiceprzewodniczący Kapituły,
3. **Jakub Wojciechowski** - Szef Sprzedaży Cargotec Poland sp. z o.o. - Członek Kapituły,
4. **Andrzej Górniewicz** - Prezes Zarządu Bring Linehaul Polska sp. z o.o. - Członek Kapituły,
5. **Sławomir Żurawski** - Dyrektor Biura Handlowego - Rynek Przewozów Międzynarodowych i Intermodalnych PKP CARGO S.A.
6. **Ewa Piotrowska** - Polskie Koleje Państwowe S.A. - Sekretarz Kapituły,

ogłosiła zwycięzców konkursu w poszczególnych kategoriach:

1. W kategorii na najlepszego przewoźnika jednostek intermodalnych zwycięzcą zostało **PKP CARGO S.A.**,
2. W kategorii na najlepszego operatora wewnątrzdrogowego terminalu intermodalnego obsługującego kolej zwycięzcą została **Firma CLIP Sp. z o.o.**,
3. W kategorii na najlepszy podmiot prowadzący działania na rzecz rozwoju projektów w zakresie przewozów intermodalnych zwycięzcą zostały **Polskie Koleje Państwowe S.A.**,
4. W kategorii na najbardziej profesjonalnie zabudowane stoisko nagrodę otrzymały **Polskie Koleje Państwowe S.A.**,
5. W kategorii na najlepszy produkt lub technologię prezentowaną przez wystawców zwycięzcą został **CARGOTEC Sp. z o.o.**

Nagrody w postaci Statuetek oraz Dyplomów zostały wręczone laureatom podczas uroczystej kolacji.

13 czerwca 2019 r.

W drugim dniu konferencji zostały zorganizowane trzy wycieczki techniczne w których wzięli udział uczestnicy konferencji. Zarząd Morskich Portów Szczecin-Swinoujście S.A. był organizatorem wycieczek na: Terminal Promowy w Swinoujściu oraz Terminal LNG w Swinoujściu, natomiast Cargotec Poland sp. z o.o. był organizatorem wycieczki do: Zakładu Produkcyjnego Firmy Kalmar sp. z o.o.

Trzeciej popołudniowej Sesji pt.: „Innowacyjne rozwiązania urządzeń przeładunkowych - nowe technologie, nowe wyzwania” przewodniczył: Sekretarz Generalny SITK RP Pan Waldemar Fabirkiewicz.

W sesji udział wzięli:

- **Stanisław Nader** z Politechniki Poznańskiej oraz **Krzysztof Jarosławski** z Politechniki Warszawskiej, zaprezentowali „Nowoczesny wagon do przewozu tirów i specjalistycznego sprzętu”,
- **Bogusław Wiśnicki** - Akademia Morska w Szczecinie, przedstawił „Projekt intermodalnego DEPO w Dunikowie”,
- **Bogusław Wiśnicki** z Akademii Morskiej w Szczecinie oraz **Dariusz Milewski**, prof. z Uniwersytetu Szczecińskiego przedstawił prezentację pt.: „Rozwój połączeń intermodalnych w Korytarzu Bałtyk-Adriatyk”,
- **Stanisław Nader** z Politechniki Poznańskiej przedstawił „Propozycje symulatora typu Virtual Reality - prowadzenie pojazdu samochodowego”.

Sesji czwartej pt.: „Nowoczesne systemy transportowe w przewozach intermodalnych w nauce i praktyce” przewodniczyli dr hab. prof. US Dariusz Milewski - Uniwersytet Szczeciński oraz dr Bogusław Wiśnicki - Akademia Morska w Szczecinie.

W sesji udział wzięli:

- **Tomasz Kwarciański** prof. z Uniwersytetu Szczecińskiego, przedstawił prezentację pt.: „Tendencje rozwoju systemów intermodalnych w Europie”,
- **Sławomir Jeneralski** - Doradca ds. komunikacji społecznej z Zrzeszenia Międzynarodowych Przewoźników Drogowych, przedstawił prezentację pt.: „Dlaczego kolejarze dyskutują o przewozach intermodalnych chętniej od przewoźników drogowych”,
- **Tadeusz Bocheński** - Uniwersytet Szczeciński, zaprezentował „Terminale kontenerowe jako niezbędny element rozwoju transportu intermodalnego w Polsce”.

14 czerwca 2019 r.

Sesji piątej pt.: „Współczesne wyzwania zarządzania operacyjnego w łańcuchach dostaw” przewodniczyła: dr Marzena Frankowska - Uniwersytet Szczeciński

W sesji udział wzięli:

Część I

- **Ebrahim Parker** - Kierownik Działu: Zarządzanie Operacjami na Uniwersytecie Technologicznym Cape Peninsula, przedstawił prezentację pt.: „Introduction to Operations Management and Operations Strategy”.

Część II , warsztaty pt.: „Technologiczne wsparcie procesów logistycznych w rozwoju inteligentnego przemysłu” prowadzili: dr inż. Magdalena Malinowska oraz mgr Andrzej Rzezycki - Uniwersytet Szczeciński. Warsztaty prowadzone były w Laboratorium Badań i Analiz Logistycznych na Uniwersytecie Szczecińskim.

Podsumowanie oraz wnioski na zakończenie przedstawił prof. dr hab. Juliusz Engelhardt.

Opracowanie:
Hanna Szary SITK RP



TOROMIERZ INERCYJNY iTEC

Dokładny pomiar strzałek



www.graw.com

REKLAMA



CZAS NA INNOWACYJNE BUDOWNICTWO

Oferujemy profesjonalne usługi z zakresu:

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



W BUDOWNICTWIE WYBIERZ FIRME,
KTÓREJ MOŻESZ ZAUFAĆ

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

Biuro:

ul. Krzemieniecka 47,
54-613 Wrocław

Budownictwo inżynieryjne:

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

Geodezja:

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

Siedziba firmy:

ul. Wrocławska 41, Łażany
58-130 Żarów



REKMA Sp. z o.o.

ul. Szlachecka 7

32-080 Brzezie

tel. +48 12/633 59 22

fax +48 12/397 52 20

www.rekma.pl

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



SPECJALISTYCZNE PRACE DROGOWE