

przegląd komunikacyjny

2
2020
rocznik LXXV
cena 25,00 zł
w tym 8% VAT



UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU

Nowoczesne rozwiązania w taborze szynowym



eISSN
2544-6037

ISSN
0033-22-32

Konstrukcje krawędzi peronowych transportu miejskiego w złożonych przypadkach. Przemieszczenia podłużne bezстыkowego toru kolejowego wskutek lokalnej różnicy temperatury na jego długości. Podmiejska Kolej Aglomeracyjna w województwie podkarpackim jako czynnik stymulujący rozwój regionu. Dynamiczna interakcja wojskowych statków powietrznych pracujących na lotniskowej nawierzchni wykonanej z betonu cementowego

Podstawowe informacje dla Autorów artykułów

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

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

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

artykuly@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

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

www.transportation.overview.pwr.edu.pl

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

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

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

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

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

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

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

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

www.transportation.overview.pwr.edu.pl

Ramowa oferta dla „Sponsora strategicznego” czasopisma Przegląd Komunikacyjny

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

Przegląd Komunikacyjny oferuje dla sponsora strategicznego następujące świadczenia:

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

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

Przegląd Komunikacyjny ukazuje się jako miesięcznik.

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

Osoba kontaktowa w tej sprawie:

Hanna Szary

hanna.szary@sitkrp.org.pl

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

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





Na okładce: Tramwaje Stadler Citylink, Źródło: Igor Gisterek

Drodzy Czytelnicy!

W niniejszym numerze prezentujemy trzy artykuły z zakresu transportu szynowego oraz jeden dotyczący lotnictwa. Pierwsza pozycja stanowi kontynuację materiału z lipca 2017 roku, gdzie zaprezentowano przyczynę do opracowania optymalnego rozwiązania odległości poziomej i pionowej pomiędzy krawędzią peronową a progiem tramwaju. Obecnie przedstawiono m.in. rozwiązania możliwe do zastosowania w warunkach wrocławskich oraz nakreślono zasady tworzenia przykładowego algorytmu właściwego doboru konstrukcji krawędzi peronu. Całość zakończono podsumowaniem i wnioskami dla obu części pracy.

W drugim artykule przedstawiono analizę przemieszczeń podłużnych bezstykowego toru kolejowego wskutek lokalnej różnicy temperatury na jego długości. Opisano analityczną postać rozważanego zagadnienia oraz zawarto przykłady obliczeniowe, wykresy i tabele obrazujące wpływ analizowanych parametrów na otrzymywane przemieszczenia podłużne bezstykowego toru kolejowego wskutek lokalnej różnicy temperatury na jego długości. Kolejny artykuł analizuje Podmiejską Kolej Aglomeracyjną (PKA) w województwie podkarpackim w kontekście czynnika stymulującego rozwój regionu. Projekt utworzenia systemu PKA w województwie podkarpackim ma w istotny sposób wpłynąć na rozwój regionu. Projekt obejmuje swym obszarem gminy zlokalizowane w obrębie linii kolejowych biegnących od Dębicy do Przeworska oraz od Kolbuszowej po Strzyżów. Dostępność transportowa obszarów podmiejskich i gmin należących do obszarów metropolitalnych ulegnie znaczącej poprawie, Kolej aglomeracyjna ma również znaczenie dla kulturalnego i intelektualnego rozwoju społeczeństwa.

W publikacji zamykającej numer przedstawiono wyniki badań i analizę oddziaływania wojskowych statków powietrznych na lotniskową nawierzchnię wykonaną z płyt wstępnie sprężonych. W badaniach poligonowych wykorzystano geofizyczne metody pomiaru dynamicznych własności konstrukcji nawierzchni lotniskowej. Badania prowadzono dla różnych poziomów siły ciągu statków powietrznych oraz dokonano oceny stopnia szkodliwości wpływu generowanych drgań na nawierzchnię przez źródła wymuszeń jakimi były statki powietrzne.

Życzę miłej lektury:
Maciej Kruszyna

W numerze

Konstrukcje krawędzi peronowych transportu miejskiego w złożonych przypadkach

Igor Gisterek

3

Przemieszczenia podłużne bezstykowego toru kolejowego wskutek lokalnej różnicy temperatury na jego długości

Włodzimierz Bednarek

10

Podmiejska Kolej Aglomeracyjna w województwie podkarpackim jako czynnik stymulujący rozwój regionu

Beata Gierczak-Korzeniowska

18

Dynamiczna interakcja wojskowych statków powietrznych pracujących na lotniskowej nawierzchni wykonanej z betonu cementowego

Piotr Nita

24

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).

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

Artykuły opublikowane w „Przeglądzie Komunikacyjnym” są dostępne w bazach danych 20 bibliotek technicznych oraz są indeksowane w bazach:

BAZTECH: <http://baztech.icm.edu.pl>

Index Copernicus: <http://indexcopernicus.com>

Prenumerata:

Szczegóły i formularz zamówienia na stronie:

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

Obecna Redakcja dysponuje numerami archiwalnymi poczynając od 4/2010.

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

Druk:

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

Reklama:

Dział Marketingu: sitk.baza@gmail.com

Nakład: 800 egz.

Rząd obiecuje budowę szybkich połączeń kolejowych w Małopolsce i całym kraju. Ale kiedy? Najpierw lotnisko pod Baranowem

Małgorzata Gień, Gazeta Krakowska, 31.01.2020

Pociągami w godzinę i 50 minut z Krakowa do Warszawy (zamiast obecnych 2 godz. 15 min.), a do Katowic w... 35 minut, podczas gdy teraz najkrócej jedzie się tą trasą w godzinę i 36 minut, choć to zaledwie 80 km. Mrzonka czy przyszłość? - Tak będzie - zapowiedział w środę premier Mateusz Morawiecki. Kiedy? Tego nie wiadomo. Mieszkańcy Małopolski nie za bardzo dowierzają, że te plany uda się zrealizować, gdy widzą, co dzieje się przy remontach istniejących linii kolejowych. Część z prac np. na linii Kraków – Katowice powinna się zakończyć już dawno temu, bo w 2014 r (...).

Kraków. Nowy minibus testowany przez MPK na trasie TeleBusa

Piotr Tymczak, Gazeta Krakowska, 31.01.2020

Od piątku 31 stycznia na trasie TeleBusa, czyli popularnego autobusu na telefon, kursuje nowy minibus. To nowoczesny Mercus TGE City, który został zbudowany na bazie pojazdu marki MAN. Autobus może przewieźć nawet 33 pasażerów i zalicza się do najbardziej ekonomicznych w swojej klasie. Autobus został wyprodukowany w 2020 r. i jest to najnowszy model tego producenta, który jest testowany w naszym kraju. Ma 7,8 m długości i 2,7 m wysokości. Posiada turbodoładowany silnik o pojemności 2 litrów i mocy 177 koni mechanicznych (...).

Nowy Sącz. MPK chce kupić sześć nowych autobusów. Tym razem nie będą na benzynie

Tatiana Biela, Gazeta Krakowska, 30.01.2020

Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Nowym Sączu zamierza kupić sześć autobusów napędzanych sprężonym gazem ziemnym CNG (ang.

Compressed Natural Gas). Swoją ofertę, w ogłoszonym przez spółkę przetargu, zgłosiło trzech producentów: Autosan, Scania Polska S.A. oraz Solaris Bus & Coach. MPK zamierza wydać na zakup nowych pojazdów ponad 8,8 mln zł brutto. Zgodnie z wymaganiami MPK sześć niskopodłogowych autobusów miejskich ma spełniać normę emisji spalin Euro 6. Każdy autobus pomieści 80 pasażerów (24 miejsc siedzących), będzie również posiadał m.in. systemy informacji pasażerskiej oraz klimatyzację (...).

Kraków. Autonomiczny tramwaj jeździł po mieście. Co go wyróżnia? Brak... motorniczego. Czy to przyszłość MPK?

Arkadiusz Maciejewski, Gazeta Krakowska, 28.01.2020

Pierwszy w Polsce tramwaj autonomiczny, który jedzie bez motorniczego, przejechał trasę z przystanku Muzeum Narodowe do Cichego Kąca. - Tym razem to komputer decydował o ruszaniu z przystanku, prędkości, otwieraniu drzwi, włączeniu dzwonka. Autonomiczną jazdę tramwaju uruchomił prezydent Krakowa Jacek Majchrowski - informuje MPK (...). To projekt naukowo-badawczy autonimizacji jazdy tramwajem, który realizują: NEWAG S.A., Instytut Pojazdów Szynowych Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej, CYBID sp. z o.o., MEDCOM sp. z o.o. oraz MPK w Krakowie (...).

Nowa Warszawska w Gdańsku. Realizacja nowej linii tramwajowej została podzielona na dwa etapy, gotowa ma być do końca 2021 roku

MP, Dziennik Bałtycki, 30.01.2020

W ubiegłym tygodniu informowaliśmy o problemach z przetargiem na wyłonienie wykonawcy tej inwestycji. Najniższa z ośmiu przedstawionych ofert przekraczała o 24,7 mln zł kwotę zaplanowaną. Władze Gdańsk zdecydowały wobec tego o budowie linii w dwóch etapach (...). Pierwszy etap budowy linii tramwajowej Nowej Warszawskiej obejmować będzie

przebudowę skrzyżowania Al. Hawla do wysokości ul. Łódzkiej. Z uwagi na bardzo uczęszczaną lokalizację odcinek ten realizowany będzie w pierwszej kolejności. Aby jak najszybciej wyłonić wykonawcę robót postępowanie przetargowe dla tego etapu ogłoszone zostanie w lutym. Same prace przy tym etapie rozpocząć się mają w maju i potrwać do grudnia (...).

Zastępczy dworzec w Gdańsku Głównym na czas przebudowy zabytkowego gmachu. Kolejarze stawiają kontenery

MP, Dziennik Bałtycki, 28.01.2020

Na stacji kolejowej Gdańsk Główny powstaje zastępczy dworzec. Kolejarze stawiają już kontenery. Obsługa pasażerów zostanie przeniesiona do tymczasowego obiektu w kwietniu, kiedy to rozpocznie się przebudowa zabytkowego gmachu. Prace przy remoncie XIX-wiecznego gmachu gdańskiego Dworca Głównego rozpoczęły się we wrześniu. Wkrótce wejdą w swoją kluczową, a jednocześnie generującą najwięcej utrudnień dla pasażerów fazę, czyli robót wewnątrz budynku (...).

Zarząd Morskiego Portu Gdańsk z kolejnym rekordem! W 2019 roku przeładowano ponad 52 mln ton!

JKL, Dziennik Bałtycki, 20.01.2020

Rok 2019 zakończył się dla Zarządu Morskiego Portu Gdańsk SA kolejnym rekordem. W Porcie Gdańsk w poprzednim roku przeładowano 52 miliony ton - o 4 proc. więcej, niż zakładano (...). Wzrost przeładunków wygenerowały m.in. terminale kontenerowy i naftowy. Terminal DCT Gdańsk SA po raz pierwszy w historii przekroczył liczbę 2 mln przeładowanych kontenerów 20-stopowych. Stał się tym samym pierwszym pojedynczym terminalem na Bałtyku, który przekroczył ten poziom. Naftoport także pobił swój historyczny rekord (...).

Konstrukcje krawędzi peronowych transportu miejskiego w złożonych przypadkach

Constructions of platform edges of urban transport in complex cases



Igor Gisterek

Dr inż.

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

Igor.gisterek@pwr.edu.pl

Streszczenie: Praca jest w istotny sposób powiązana z wcześniejszym artykułem „Dopasowanie krawędzi peronowych do taboru w istniejących systemach tramwajowych na przykładzie Wrocławia” (PK 7/2017, s. 10-16) [9], gdzie zaprezentowano przyczynek do opracowania optymalnego rozwiązania odległości poziomej i pionowej pomiędzy krawędzią peronową a progiem tramwaju we Wrocławiu. Opisano ogólną argumentację przemawiającą za rozwojem zbiorowego transportu szynowego w miastach, omówiono też podstawowe cechy atrakcyjnego systemu komunikacji miejskiej. Zebrano historyczne i bieżące prace skupiające się na położeniu podłogi wagonu względem peronu, z uwzględnieniem wybranych przepisów zagranicznych. Przedstawiono rozwiązania możliwe do zastosowania w warunkach wrocławskich, opisując przypadki bardziej złożone, uzupełniające poprzedni artykuł: możliwość poszerzania pudła powyżej krawędzi peronowej, perony tramwajowo – autobusowe czy przystanki dla tramwajów dwusystemowych. Nakreślono zasady tworzenia przykładowego algorytmu właściwego doboru konstrukcji krawędzi peronu. Całość zakończono podsumowaniem i wnioskami.

Słowa kluczowe: Transport miejski; Tramwaj; Peron; Przystanek

Abstract: The work is a continuation of the first part of 2017, where the contribution to the development of the optimal solution of horizontal and vertical distance between the platform edge and the tram threshold in Wrocław was presented. The general argumentation for the development of collective rail transport in cities was described, and the basic features of an attractive public transport system were also discussed. The historical and ongoing works were collected focusing on the location of the wagon floor in relation to the platform, taking into account selected foreign regulations. Presented are solutions that can be used in Wrocław conditions, describing more complex cases, complementing the first part: the possibility of expanding the carbody above the platform edge, tram and bus platforms or stops for tram-trains. The principles of creating an example algorithm for the proper selection of the edge structure of the platform have been proposed. The paper concludes with a summary and conclusions for both parts of the work.

Keywords: Urban transport; Tramway; Platform; Tramway and bus stop

Wprowadzenie

Tworzenie dedykowanej infrastruktury dla danego rodzaju transportu miejskiego (autobusu, tramwaju, metra) staje się stosunkowo łatwe, pod warunkiem wypracowania odpowiednich standardów. Na owe standardy składa się kilka aspektów i czynników, które wnoszone są przez rozmaitych interesariuszy, stąd częstokroć obserwuje się modyfikacje wytycznych przy realizacji kolejnych zadań inwestycyjnych, czy sprzeczne stanowiska i zapotrzebowania. Do klasycznych antagonizmów w miejskim

transportie zbiorowym należą m.in.:

- rozmieszczenie przystanków daleko/blisko siebie (zarząd transportu, przyspieszenie ruchu pojazdów/mieszkańcy, osoby starsze, pasażerowie o ograniczonej mobilności - PRM),
- tworzenie torowisk zamkniętych/otwartych, zwłaszcza zielonych (zarząd transportu, dla uzyskania dodatkowego pasa ruchu lub tzw. pasa życia/mieszkańcy, użytkownicy sąsiadującej zabudowy, w celu poprawy klimatu wibroakustycznego),
- zakup pojazdów w małej czę-

ści/w dużej części lub całkowicie niskopodłogowych (przewoźnik, zmniejszenie kosztów zakupu/pasażerowie, zwłaszcza osoby starsze i PRM),

- budowa i utrzymanie krawędzi peronowych z dużymi/małymi odległościami do progu pojazdu (zarządca infrastruktury, dopuszczenie bardzo dużego zużycia i zaniedbanie prac utrzymaniowych/ pasażerowie, zwłaszcza osoby starsze i PRM; zysk na czasie wymiany pasażerów i poprawa bezpieczeństwa) itp.

Z powyższego, częściowego zestawienia wynika, że o ile potencjalni pasażerowie nie otrzymają wsparcia od agend i instytucji (np. Unii Europejskiej), organizacji pozarządowych czy stowarzyszeń inżynierów, prawdopodobnie ich postulaty będą ignorowane, a potrzeby – zaniebywane. Taki tryb postępowania kończy się obserwowanym obecnie odwrotem od korzystania z transportu zbiorowego, którego najbardziej widocznym znakiem jest stale rosnąca liczba podróży wykonywanych samochodem, powiązana ze zwiększającym się wskaźnikiem liczby posiadanych samochodów na 1000 mieszkańców, który przy wartości 571 przekroczył już w Polsce średnią europejską wynoszącą 505 (dane na rok 2016) [16].

Nowo budowane sieci transportu miejskiego, szczególnie oparte na modelu francuskim, charakteryzują się bardzo daleko posuniętą dbałością o potrzeby pasażerów. Niezależnie od zapisów ustawy [21], praktycznie wszystkie zarządy transportowe wyznaczyły bardziej rygorystyczne wartości szczelin pionowych i poziomych między krawędziami peronu a progami pojazdów, które najczęściej mieszczą się w granicach 25-35mm [2]. Wielkości tych szczelin biorą się z przeprowadzonych badań naukowych i konsultacji z udziałem zainteresowanych, głównie niepełnosprawnych, gdzie podczas badań na modelu przystanku i pojazdu, których wzajemne położenie można zmieniać, został zebrany wśród użytkowników wywiad odośnie łatwości pokonywania danej wartości szczeliny [7]. Dopiero z tak ustalonych wartości wypływają wskazania i zalecenia utrzymaniowe dla zarządcy sieci. Jest to odwrotna filozofia postępowania, niż powszechnie stosowana w Polsce, gdzie najczęściej zarządcy sieci ustanawiają oparte na mało prawdopodobnych splotach wydarzeń i na przestarzałych przepisach [17, 18, 25] znacznych rozmiarów wielkości szczelin. Przykładowo, w wytycznych

Tramwajów Śląskich [13] założenie szczeliny poziomej o wielkości 50mm i pionowej 100mm podyktowane jest założeniem, że jednocześnie wystąpią: maksymalne zużycie kół, szyn, amortyzatorów, wagon będzie znacznie obciążony, skrzydła drzwi opadną, a peron będzie oblodzony. Na tle analogicznych wytycznych krajowych wartości przyjęte w cytowanym dokumencie [13] nie wyróżniają się w sposób negatywny.

Zestawienie podejścia francuskiego i polskiego świadczy o wyjściu z różnych założeń: w modelu francuskim będą to potrzeby możliwie wielu pasażerów, do których dopasowuje się standardy techniczne utrzymania, w polskim – pasażerowie muszą dostosować się do niedbalstwa utrzymaniowego i braku standaryzacji wymiarów wozów i peronów, dlatego pomimo inwestycji w infrastrukturę i zakupów nowych wagonów w Polsce nie widać jakościowej poprawy warunków wsiadania. Różnice te próbuje tłumaczyć się faktem, że we Francji częściej budowana jest nowa infrastruktura i kupowany nowy tabor, w Polsce natomiast infrastrukturę transportu miejskiego w znacznej części się modernizuje, zaś eksploatowany jest tabor wielu generacji. Tłumaczenie to wydaje się o tyle niewłaściwe i kontrowersyjne, że istnieją pozytywne wzorce w zakresie wychodzenia z niedogodnej sytuacji, w jakiej obecnie znajduje się Polska. Przykładowo, Szwajcaria od momentu wprowadzenia ustawy [21] rozpoczęła szeroko zakrojony proces inwestycyjny, polegający na dostosowaniu całej infrastruktury transportowej kraju (w tym kolei, tramwajów i autobusów) do jednolitych standardów, co skutkuje szeroko zakrojonym programem modernizacji, opartym na szczegółowych wytycznych kantonalnych, np. [1, 11, 19]. Poniżej opisano wybrane rozwiązania techniczne, które pozwalają na konstruowanie kompromisowej, ale bezpiecznej i wygodnej dla pasażerów infrastruktury przystanków z pod-

kreśleniem aspektu modernizacji.

Możliwość poszerzenia pudła pojazdu nad peronem

Kupowane obecnie wozy tramwajowe w nowych sieciach najczęściej mają szerokość pudła wynoszącą 2,65m. Stanowi to odpowiedź na kilka zagadnień techniczno – eksploatacyjnych:

- pozwala na umieszczenie czterech siedzeń w rzędzie przy zachowaniu normatywnej szerokości przejścia wzdłuż wagonu,
- zwiększa pojemność wozu i/lub poprawia komfort podróży,
- nadąża za trendem ciągłego zwiększania się średniego wzrostu i średniej wagi ciała pasażerów.

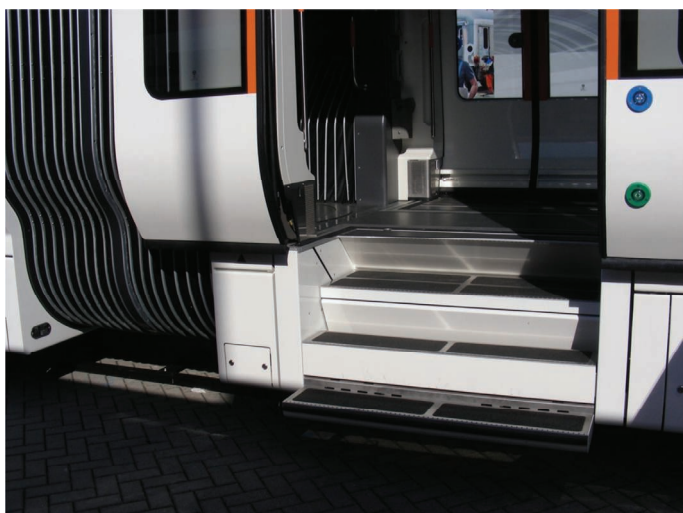
Czasami dopasowanie peronów do poszerzonych pudeł pojazdu jest wieloletnim i kosztownym procesem. Istnieje jednak kompromisowe rozwiązanie, które po dostosowaniu skrajni na odcinkach szlakowych i węzłach pozwala na eksploatację dotychczas posiadanych peronów, co z kolei umożliwia stopniową, a nie nagłą rezygnację z węższych wagonów poprzednich generacji. Rozwiązanie to bazuje na obserwacji anatomii człowieka, który w widoku z przodu jest znacznie węższy na wysokości od stóp do kolan, niż od miednicy do barków. Naśladując ten obrys dla sylwetki siedzącej, pudło wagonu zachowuje dawną szerokość (np. 2,30 lub 2,40m) na wysokości peronu, płynnie poszerzając się do około linii dolnej krawędzi okien, natomiast przy burtach wozu umieszczonych jest możliwie dużo miejsc siedzących. Przykłady tak zbudowanych pojazdów pokazano na ilustracjach 1 – 3. Fotografia 1 przedstawia tramwaj Vossloh 6N2 Tramlink, dostarczany do Rostocku od 2014, którego szerokość zwiększa się od 2,30 do 2,65m, i który dostosowany jest do współpracy z niskimi peronami, ponieważ jego próg leży na wysokości 290mm powyżej



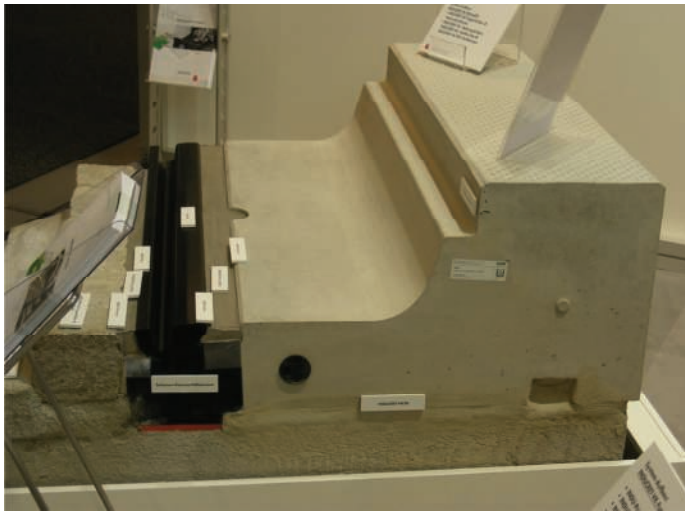
1. Tramwaj Vossloh Tramlink 6N2 dla Rostocku, szerokość całkowita 2,65m, na wysokości peronu – 2,30m, dostosowany do peronów 290mm powyżej pgs



2. Pociąg kolei miejskiej GTZ8-B Vamos dla Bielefeld, szerokość całkowita 2,65m, na wysokości peronu – 2,30m, dostosowany do peronów 920 mm powyżej pgs



3. Widok rozłożonych stopni wagonu opisanego na ilustracji 2



4. Combibord – kombinowany prefabrykat do peronu tramwajowo – autobusowego, umożliwiający dojechanie kołem autobusu do krawędzi peronu bez ryzyka uszkodzenia wozu

pgs [20]. Podobne tramwaje mają być dostarczane do Drezna: prototyp ma pojawić się na torach już w 2020, a pojazdy seryjne – od 2023.

Fotografia 2 przedstawia widok wozu Vossloh Kiepe/HeiterBlick Vamos GTZ8-B z Bielefeld, kursującego od 2011. Podobnie jak Tramlink, jest on dostosowany do peronów właściwych dla wozów o szerokości 2,30m, ale maksymalna szerokość podła wynosi 2,65m [15]. Różnica polega jednak na tym, że GTZ8-B jest w całości wysokopodłogowy, z wejściem na wysokości 920mm powyżej pgs, chociaż dostęp jest możliwy również z peronów niskich, po czterech rozkładanych stopniach, co pokazano na fotografii 3. Opisane na powyższych przykładach rozwiązanie jest kompromisowe pod względem zarówno ta-

boru, jak i infrastruktury: otrzymuje się wagon o nieco mniejszej powierzchni podłogi, niż wynika z obrysu podła, ale znika konieczność odsuwania krawędzi peronowych od osi toru.

Perony autobusowe i kombinowane

Zagadnienie budowy odpowiednich krawędzi peronowych dla tramwajów zostało szczegółowo omówione w pierwszej części pracy. Ogólny wniosek płynący z tamtych rozważań jest taki, że warunki bezpiecznego i komfortowego wsiadania pasażerów są spełnione przy zachowaniu odpowiednich, małych wartości szczelin pionowej i poziomej. O ile w transporcie szynowym tor ruchu pojazdu

jest wysoce powtarzalny i niezależny od prowadzącego pojazd, o tyle w transporcie autobusowym to na kierowcy spoczywa odpowiedzialność za właściwe, równoległe i możliwie bliskie krawędzi umieszczenie pojazdu przy peronie. Od pewnego czasu znane są konstrukcje krawędzi peronowych, zwłaszcza w postaci specjalnie ukształtowanych prefabrykatów, które to zadanie ułatwiają. Pod względem różnic w przekroju poprzecznym dzielą się one na dwie zasadnicze grupy: krawędzie skośne, których płaszczyzna stykająca się z kołem autobusu nie jest pionowa, tylko pochylona w kierunku płaszczyzny peronu, oraz krawędzie obłe, w których dolnej części wytworzone jest zaokrąglenie, najczęściej w kształcie



5. Kassel, Leipzigerplatz – przykład przyległych do siebie, niezależnych krawędzi peronowych dla autobusu (w środku zdjęcia) i tramwaju (niewidoczne, po lewej stronie)



6. Gera, Heinrichstrasse – węzeł przesiadkowy z lewostronnym ruchem autobusów, przez co przesiadki między autobusami i tramwajami odbywają się przez szerokość peronu

ćwierci okręgu, oraz uskok, cofający o kilka cm krawędź wsiadania od brzo- gu prefabrykatu. Przykład drugiego rozwiązania, dopasowanego do pe- ronów tramwajowo – autobusowych pokazano na fotografii 4. W obu przy- padkach specyficzne ukształtowanie krawędzi prowadzącej ma umożliwić dojechanie kołem autobusu stycznie do peronu, jednocześnie nie dopusz- czając do uszkodzenia elementów podwozia czy nadwozia o przystanek. Nawet takie ukształtowanie krawędzi nie gwarantuje możliwości popraw- nego korzystania z przystanku; duże znaczenie ma też geometria strefy wjazdu i wyjazdu.

Przystanki położone w ciągu chod- nika, albo stanowiące wyspy przy pasie autobusowym lub wzdłuż PATa mogą być najeżdżane pod bar- dzo małym kątem, dzięki czemu siły poprzeczne działające na pojazd w momencie kontaktu z peronem są relatywnie niewielkie. Tymczasem umieszczenie nawet poprawnego kształtu i wysokości krawędzi w krót- kiej zatoce przystankowej spowoduje, że kąt najazdu przyjmie bardzo duże wartości.

Wtedy kierowcy, nie chcąc być oskarżeni o uszkodzenie pojazdu, za- trzymują się w znacznej odległości poziomej od krawędzi, co całkowicie przekreśla sens stosowania rozwiązań dedykowanych. Z kolei zagadnienie

wysokości krawędzi peronu autobu- sowego jest uproszczone o tyle, że w zasadzie wszystkie dzisiejsze pojazdy wyposażone są w regulowane za- wieszenie, dzięki czemu są w stanie przy wymianie pasażerów wykonać „przyklęk”, polegający na obniżeniu jednej burty wozu. Przez to możliwe jest przyjmowanie standardowych wysokości krawędzi wynoszących 18, 21 lub 24cm [3], czyli wartości mniej- szych, niż uznawane za wygodne dla tramwajów.

Wiele przystanków w obszarze sieci dostosowanych jest do przyjmowania zarówno tramwajów, jak i autobusów. Poruszone w poprzednim rozdziale zagadnienie właściwego ukształtowa- nia krawędzi peronowej oraz dobór jej wysokości ponownie się kompli- kuje. Analiza europejskich trendów prowadzi do konkluzji, że stosowane są tu dwie grupy rozwiązań. Pierwsze z nich to perony o kompromisowej wysokości. Ponieważ najczęściej są one budowane według standardu autobusowego, okazują się za niskie do wygodnego dostępu do tramwaju o około 8-10 cm. Dopiero niedawne propozycje szwajcarskie [1, 11, 12, 19] wskazują jako rozwiązanie problemu krawędź o wysokości 28cm ponad pgs. Dla tramwaju o wysokości pro- gu 300mm różnica wynosi zaledwie 20mm, zaś autobusy na tych przystan- kach mają nie obniżać zawieszania.

Przykłady konstrukcji zbudowanych według tych wytycznych znajdują się już w eksploatacji, jednak od zbyt krótkiego czasu, żeby można było mówić o wiążących wnioskach. Dru- ga grupa rozwiązań to perony, w któ- rych miejsca zatrzymania tramwaju i autobusu są oddzielne, ale połączone rampą lub szerokością peronu w jed- ną całość, wtedy wysokości krawędzi dopasowane są ściśle do podłogi w pojeździe. Przykład takiego rozwią- zania pokazano na fotografii 5, gdzie w obrębie przystanku tramwajowego wygospodarowano jeszcze krótki pas autobusowy.

Powszechniejsze są projekty, w któ- rych autobus porusza się wzdłuż pe- ronu tym samym torem, co tramwaj, tylko zatrzymuje się na początku lub końcu przystanku, przy nieco obni- żonej krawędzi. Do tych rozwiązań można zaliczyć również takie układy przestrzenne, w których przy jednej krawędzi peronu dwukrawędziowego zatrzymują się tramwaje, a przy dru- giej – autobusy. Różnica wysokości może być zniwelowana przez pochy- łe ułożenie płaszczyzny peronu, albo różnicę niwelety toru i jezdni.

Przykład zespołu peronów dwukra- wędziowych, stanowiących centralny węzeł przesiadkowy w Gerze, pokaza- no na fotografii 6. Cechą szczególną węzła jest prowadzenie lewostronne- go ruchu autobusów przy wyłączne-

niu pozostałego ruchu kołowego, co może być mylące dla osób nie zaznajomionych ze specyfiką układu.

Perony dla tramwajów dwusystemowych

Dobór właściwego umieszczenia krawędzi peronowej dla tramwaju dwusystemowego w dużej mierze zależy od przyjętego modelu, np. prowadzenia ruchu mieszanego, rozdzielonego w czasie czy przejęcia linii na wyłączność. Możliwe opcje opisano m.in. w pracy [14], jednak w konsekwencji sprowadzają się one do przyjęcia jednego z rozwiązań typowych, o ile na danej sieci obowiązuje tylko jeden model ruchowy. Po okresie dość dynamicznego rozwoju po roku 2000, obecnie nie obserwuje się planów budowy nowych sieci tramwajów dwusystemowych, natomiast systemy istniejące są konsekwentnie rozbudowywane. Siecią nieodległą od Polski, w której niedawno wprowadzono drugi model współpracy, jest tramwaj w Chemnitz. Najnowsze nabytki taborowe, wagony Citylink z 2016, wyposażone są dla lepszej współpracy z różnymi peronami, w drzwi o wysokości progu 405 i 570mm powyżej pgs [23]. Dzięki temu wagony dobrze współpracują ze standardowym, średnim peronem kolejowym o wysokości 55cm przez proste wysunięcie poziomego progu, ale wprowadzenie nowych wozów na tory miejskie wymusiło zmiany w obrębie przystanków tramwajowych. Część z nich została przebudowana na łączące dwie różne wysokości: wzdłuż jednej krawędzi, z zastosowaniem dedykowanych prefabrykatów betonowych [24].

Elementy Variobord i Variobord S mogą tworzyć złożone przestrzenne układy, dopuszczając dodatkowo ruch autobusowy, integrując pasy naprowadzające dla niedowidzących i niewidomych, tzw. płytki z guzkami czy profile przejściowe do krawężnika zerowej wysokości na przejściu dla pieszych. Typowe wysokości krawędzi



7. Tramwaje Stadler Citylink na przystanku Stadlerplatz w Chemnitz. Widoczne zastosowanie dwóch wysokości elementów Variobord

w systemie wynoszą 240 i 380mm, co pokazano na ilustracji 7.

Algorytm budowy przystanków

W krajach, gdzie bezpieczeństwo i komfort pasażerów mają wysoki priorytet, zarządy infrastruktury miejskiej nie cedują na projektantów i wykonawców remontów, modernizacji czy budów nowych odcinków zadania standaryzacji zasad budowy i wyposażania przystanków transportu zbiorowego. W wielu przypadkach, poza opisywanym w poprzednich rozdziałach wskazaniem pożądanych i dopuszczalnych wielkości szczelin między pojazdem i peronem, w mniej lub bardziej jawny sposób wskazują właściwy algorytm uzyskania najlepszego w danej sytuacji przestrzennej rozwiązania. Rozważaniom wariantowym podlegają m.in. takie kwestie, jak:

- czy ulica z torowiskiem tramwajowym jest jedno-, czy dwukierunkowa,
- czy torowisko położone jest w osi jezdni, czy obok jezdni,
- czy w przekroju ulicznym wystarczą miejsca na klasyczną wyspę przystankową, czy odpowiednim rozwiązaniem będzie przystanek wiedeński, przystanek z podniesionym pasem wsiadania lub antyzatoka,
- czy zasadne jest zastosowanie

peronu dwukrawędziowego, przy założeniu kursowania wyłącznie tramwajów dwukierunkowych,

- czy przystanek położony jest na łuku, przy czym rozpatrywane są sytuacje peronu wklęsłego i wypukłego oraz położonego całkowicie lub częściowo wzdłuż łuku toru,
- czy ze względu na małą szerokość peronu możliwe będzie wyposażenie wiaty w ściany boczne, oraz przystanku w miejsca siedzące,
- czy ze względu na korelację wysokościową niwelety chodnika z peronem i jezdni przystanek może zachować właściwą wysokość na całej długości, czy jedynie częściowo,
- gdzie powinna być zlokalizowana i jakie wymiary ma mieć przestrzeń na peronie wolna od przeszkód, dla umożliwienia swobodnego dostępu do pojazdów dla pasażerów o ograniczonej mobilności [37,38].

Najczęściej punktem wyjścia jest dążenie do uzyskania peronu pełnej długości, o wysokości dopasowanej do pojazdu, położonego na prostej, zaś każde odstępstwo od tego założenia traktowane jest jako kompromis i musi zostać odpowiednio uzasadnione. Ustępstwa te bywają uszeregowane w określonym porządku, określającym stopień, w jakim oddalone są od

założonego rozwiązania optymalnego. Wydaje się, że zwłaszcza w warunkach polskich, przy dużej dowolności i zmienności standardów budowy i wyposażania przystanków, wprowadzenie podobnych algorytmów przyniosłoby pozytywne rezultaty.

Podsumowanie i wnioski

Zarówno międzynarodowe organizacje, rządy, jak i obywatele coraz częściej zdają sobie sprawę z faktu, że transport samochodowy przyczynia się do przedwczesnej śmierci tysięcy ludzi rocznie, stanowi istotne obciążenie dla środowiska oraz powiązany jest z ponoszeniem znacznej wysokości tzw. kosztów zewnętrznych. W powiązaniu z faktem, że około połowa ludzkości zamieszkuje obszary miejskie oraz że mobilność społeczeństw ciągle rośnie, konieczne staje się skuteczne rozwijanie wydajnych, ekologicznych środków transportowych oraz szukanie dalszych alternatyw. Niekorzystne trendy pogłębiane są przez różnych rodzajów zjawiska zewnętrzne; przykładowo w Polsce jednym z czynników najsilniej oddziałujących na obciążenie sieci transportowych jest chaos przestrzenny, objawiający się powstawaniem nowych osiedli na gruntach tanich, ale położonych w przypadkowych lokalizacjach, zamiast bardziej intensywnego wykorzystania terenów już obsługiwanych komunikacją zbiorową oraz uzbrojonych w media.

W czasach nawoływania do dynamicznego rozwoju elektromobilności zapomina się często, że bardzo wydajne formy miejskiego transportu elektrycznego znamy od dziesięcioleci. Są to przede wszystkim tramwaje, różnych postaci koleje, w tym miejskie, oraz trolejbusy. Cechuje je przede wszystkim wysoka niezawodność oraz wydajność, będąca wynikiem długotrwałego, ewolucyjnego rozwoju. Niezależnie od położenia geograficznego, wszystkie miasta produkujące w światowych rankingach

„miejsc najbardziej przyjaznych do życia” charakteryzują się znakomicie funkcjonującym, rozwiniętym systemem elektrycznego transportu zbiorowego. Co ciekawe, obecność metra nie jest w tym rankingu warunkiem koniecznym. Polskie miasta również mają szansę na coraz wyższe lokaty w podobnych zestawieniach, przede wszystkim pod warunkami poprawy zagospodarowania przestrzennego oraz transportu zbiorowego, ponieważ pozostałe istotne czynniki, jak oświata, służba zdrowia, kultura czy zieleń pozostają na przyzwoitym poziomie. Bardzo istotne jest, aby jakość oferowanych usług transportowych utrzymywała się na tak wysokim poziomie, żeby pasażerowie dobrowolnie rezygnowali z podróży samochodem na rzecz komunikacji miejskiej.

Kluczowymi sposobami, za pomocą których można na tym polu osiągnąć znaczącą poprawę, są możliwie dobre wzajemne dopasowanie infrastruktury i pojazdów, wysoka dostępność infrastruktury, minimalizacja strat czasu podczas wymiany pasażerów i oczekiwanie na sygnał zezwalający, wysoka prędkość handlowa i szeroko pojęty komfort podróży. Należy spodziewać się, że w ramach poprawy wymienionych czynników, w sposób zauważalny będą rosły nakłady na utrzymanie i konserwację, co długofalowo przyniesie istotne zyski i korzyści, w tym oszczędności finansowe. W tym celu konieczne stanie się przesunięcie modelu inwestycyjnego i zarządczego z rozumowania według kryterium „100% cena zakupu” do całościowej metody oceny kosztu nabywania, eksploatacji i usunięcia danej konstrukcji, tzw. Life Cycle Cost (LCC), o której powstaje coraz więcej prac zagranicznych i krajowych, przykładowo [8].

Środki techniczne, zapewniające pasażerom o ograniczonej mobilności autonomiczny dostęp do transportu publicznego, wdrażane są szczególnie intensywnie w rozwiniętych krajach zachodnich. Wbrew

obiegu opinii nie dotyczą one wyłącznie infrastruktury nowej, co jest szczególnie wyraźnie widoczne na przykładzie Francji [10], ale koncentrują się również na modernizacji i dostosowaniu infrastruktury istniejącej, jak w Szwajcarii. Złota myśl ten ostatni przykład może stanowić wzór do naśladowania dla Polski. Niestety, o ile w Szwajcarii doszło do uruchomienia skutecznej procedury legislacyjnej na szczeblach centralnym i lokalnym, o tyle w Polsce głównym hamulcowym wszelkich zmian są przestarzałe, nieadekwatne do dzisiejszej sytuacji i niespójne przepisy, w tym [25]. Bez daleko idących zmian w tym zakresie, trudno oczekiwać dorównania jakości inwestycji krajowych do zagranicznych, mimo znacznych nakładów finansowych. ◀

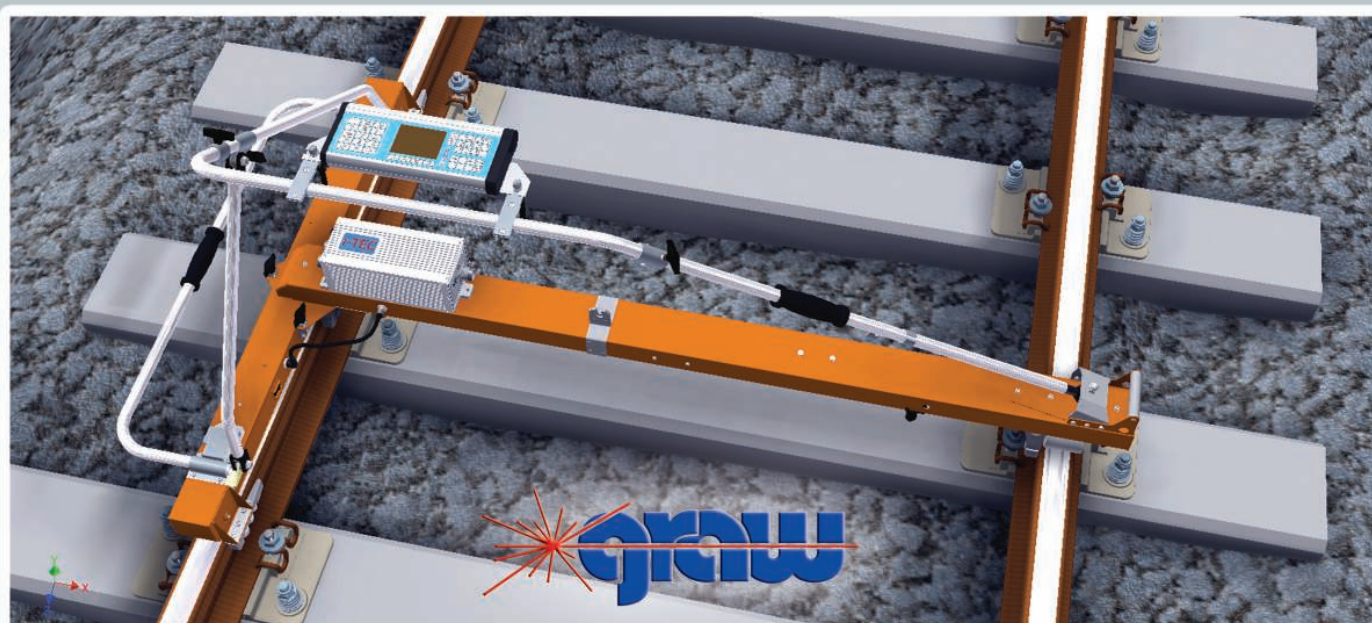
Materiały źródłowe

- [1] Arbeitshilfe Hindernisfreie Bushaltestellen. Amt für öffentlichen Verkehr und Verkehrskoordination, Berno, 2017
- [2] Aubert J.: Matériel roulant de la ligne E – lacune de quai. Tuluza, 2007
- [3] Bordure d'aide à l'accostage quai bus. Materiały informacyjne firmy UrbaBus, 2016
- [4] Brändli Ch., Wittwer E., Berger E.: Empfehlungen für die Planung von Strassenbahnanlagen auf dem Netz der Verkehrsbetriebe Zürich. VBZ Zurich, 2008
- [5] Buffo M., Philippin M.: Directives techniques pour tram. DETA, TPG Genewa, 2013
- [6] Bundesgesetz über die Beseitigung von Benachteiligungen von Menschen mit Behinderungen (Behindertengleichstellungsgesetz, BehiG) vom 13. Dezember 2002 (Stand am 1. Januar 2017)
- [7] Faivre C., Alauzet A., Marin – Lammellet C.: Etude portant sur les difficultés de franchissement des lacunes quai-seuil par les usagers de fauteuil roulant lors de l'accès aux transports guidés. INRETS (In-

- stitut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité), 2009
- [8] Gisterek I., Makuch J.: Metoda LCC w ocenie rozwiązań konstrukcyjnych torowisk tramwajowych. Konferencja Naukowo – Techniczna „Zintegrowany System Transportu Miejskiego”, Wrocław 12-13.05.2011
- [9] Gisterek I.: Dopasowanie krawędzi peronowych do taboru w istniejących systemach tramwajowych na przykładzie Wrocławia. Przegląd Komunikacyjny 7/2017, s. 10-16
- [10] Groneck Ch.: Französische Planungsleitbilder für Strassenbahnsysteme im Vergleich zu Deutschland. Rozprawa doktorska, Bergische Universität Wuppertal, 2007
- [11] Handbuch Planen und Bauen im öffentlichen Raum. Tiefbauamt Stadt Bern, 2018
- [12] Horber A.: „Zürich Bord” und TED-Norm 16.86: vielfältige technische Anforderungen in eine gute Form gebracht. Strasse und Verkehr 4/2017
- [13] Jednolite wytyczne techniczne budowy przystanków tramwajowych. Tramwaje Śląskie, Chorzów, 2014
- [14] Krużyński M., Gisterek I., Makuch J., Molecki B., Puciłowski J.: Analiza zagadnień technicznych związanych z uruchomieniem we Wrocławiu tramwaju dwusystemowego. Raport SPR 1/2012 Instytutu Inżynierii Lądowej PWr, 2012
- [15] Mit dem Vamos in die Zukunft. Materiały informacyjne firmy moBiel, 2011
- [16] Passenger cars in the EU. Eurostat, 2018
- [17] PN-K-92008: 1998 Komunikacja miejska - Skrajnia kinematyczna wagonów tramwajowych
- [18] PN-K-92009: 1998 Komunikacja miejska - Skrajnia budowli – Wymagania
- [19] Richtlinie hindernisfreie Haltestellen Bus. Tiefbauamt Stadt Zürich, 2018
- [20] Rostock, Strassenbahn Tramlink. Materiały informacyjne firmy Kiepe Electric GmbH
- [21] Rozporządzenie Republiki Francuskiej: Arrêté du 13 juillet 2009 relatif à la mise en accessibilité des véhicules de transport public guidé urbain aux personnes handicapées et à mobilité réduite. NOR: DEVT0912618A.
- [22] Schmidt B., Brändle U.: Entwicklung des hindernisfreien Buseinstiegs in der Stadt Zürich. Strasse und Verkehr 4/2017
- [23] Stadler Hybrid-Stadtbahn Citylink. Materiały informacyjne firmy
- [24] Verkehrswegebau – Bahnsteigkanten. Materiały informacyjne firmy Railbeton, 2019
- [25] Wytyczne techniczne projektowania, budowy i utrzymania torowisk tramwajowych. MAGTiOŚ, Warszawa, 1983

REKLAMA

TOROMIERZ INERCYJNY iTEC Dokładny pomiar strzałek



www.graw.com

Przemieszczenia podłużne bezстыkowego toru kolejowego wskutek lokalnej różnicy temperatury na jego długości

Longitudinal displacements of railway jointless track due to local temperature difference on its length



Włodzimierz Bednarek

Dr hab. inż.

Politechnika Poznańska
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych

wlodzimierz.bednarek@put.poznan.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę przemieszczeń podłużnych bezстыkowego toru kolejowego wskutek lokalnej różnicy temperatury na jego długości. Powstające w wyniku miejscowych różnic temperatury szyny siły termiczne na długości toru, wywołują lokalne, strefowe przemieszczenia poziome przekrojów poprzecznych szyny. Przemieszczenia osiowe toru wzbudzają z kolei reakcję poziomą podłoża w takim stopniu, na jaki pozwala wartość powstającego przemieszczenia. Dodatkowo powstający podczas eksploatacji zmienny opór podłużny na długości toru (spowodowany m. in. różnym stanem zagęszczenia podsypki, różną siłą docisku stopki szyny do przekładki), okresowo działające siły od pojazdów, zmienna wartość przyczepności kół z szynami, a także różny stopień nagrzania szyny, powodują odcinkowe zaburzenia stanu równowagi pracy bezстыkowego toru kolejowego. W pewnych przypadkach przyjmuje to postać mikroprzemieszczeń szyn, które mogą przybrać formę np. przemieszczeń w postaci np. pełzania, prowadzących do zmian wartości sił podłużnych na długości odcinka, na którym wystąpiło przemieszczenie. W pracy przedstawiono analityczną postać rozważanego zagadnienia oraz zawarto przykłady obliczeniowe, wykresy i tabele obrazujące wpływ analizowanych parametrów na otrzymywane przemieszczenia podłużne bezстыkowego toru kolejowego wskutek lokalnej różnicy temperatury na jego długości.

Słowa kluczowe: Tor bezстыkowy; Przemieszczenie podłużne; Lokalna różnica temperatury

Abstract: In the paper is shown an analysis of a CWR track's longitudinal displacements due to a local temperature difference on its length. The thermal forces on the railway track length arise due to a local temperature difference of rail, causing the local, zonal the longitudinal displacements of rail cross-sections. Axial displacements of track induce in succession a longitudinal reaction of roadbed in such a degree on which a arising displacements allow. Additionally a arising during track operating a variable longitudinal resistance on track's length (generated among other things by different state of ballast compaction, different pressure force of rail foot to divider), periodical acting force from vehicles, different value of adhesion wheels with rails and also different stage of rail heating, cause a disturbance section of equilibrium state of CWR track. In certain cases it assumes a shape of rails micro displacements, which can take a form e.g. creep displacements leading to value changes of longitudinal forces on this segment length with arising displacements. In paper analytical form of considered problem is given and computational examples, diagrams and tables reflecting influence of analyzed parameters on obtained a CWR track's longitudinal displacements due to local temperature difference on its length is inserted

Keywords: CWR track; Longitudinal displacement; Local temperature difference

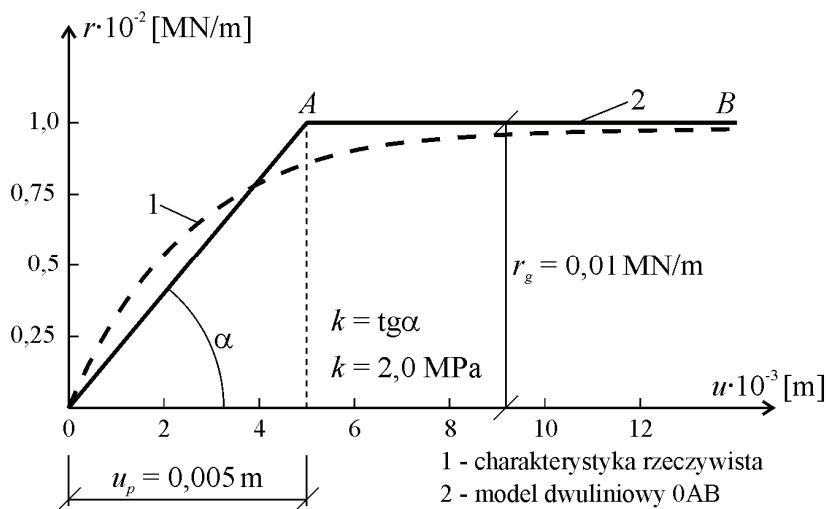
Wprowadzenie

Zagadnienie przemieszczeń podłużnych toru kolejowego znajduje swoje zastosowanie w analizach różnych problemów podczas jego pracy (np. ocena nawierzchni kolejowej z uwagi na trwałe podłużne przemieszczenia, współdziałanie mostu z torem w warunkach zmian temperatury, stateczności czy podnoszenia toru w płaszczyźnie pionowej [1-5,7,9-11,15,16]). Analizowane w pracy zagadnienie związane jest z lokalnymi odcinkami występowania poziomych prze-

mieszczeń przekrojów poprzecznych szyn, które są następstwem pojawiających się w nich rzeczywistych nierównomiernych rozkładów temperatur po długości toru bezстыkowego [5,8,12,17]. Z rozważanym zjawiskiem spotykamy się również w strefach poziomych przemieszczeń podłużnych toru bezстыkowego, w skrajnych jego odcinkach (w obrębie tzw. *odcinków oddychających*). Przemieszczenia poziome u toru od zmian temperatury, wywołują z kolei reakcję poziomą podłoża podsypkowego $r(u)$, zależną od wartości przesunięcia u przekroju

poprzecznego toru (rys. 1). W literaturze z zakresu dróg kolejowych spotyka się różne charakterystyki oporu podłużnego podłoża podsypkowego [16]:

Opór rzeczywisty podłoża podsypkowego jest opisywany modelem zastępczym, najczęściej modelem sprężystym, plastycznym lub sprężysto-plastycznym [1,3,4] – rys. 2. Modele zastępcze wykorzystywane są do analizy np. przemieszczeń podłużnych wskutek lokalnej różnicy temperatury czy hamowania pociągów [7,8,12]. Dla modelu oporu plastycz-



1. Typowy opór podłużny podczas eksploatacji (podkład drewniany) [16]

1) badania rzeczywiste; 2) model dwuliniowy

gdzie: k – teoretyczny współczynnik sztywności poziomej podłoża [MPa]; u_p – wartość przemieszczenia sygnalizująca zmianę modelu oporu podłoża

Tab. 1. Zależność średniego oporu skumulowanego od stanu śrub stopowych

Stan śrub stopowych	Stała termiczna toru, C_t [mm/°C]	Stała oporu podłużnego skumulowanego, C_r [MN/m²]	Długość odcinka, l_o [m]	r_{sr} [MN/m]
1	2	3	4	5
zakręcone prawidłowo	0,3272	1,0614	54,4872	0,00902
zakręcone prawidłowo	0,2885	1,3634	48,0770	0,01023
70 % zluźnianych	0,8077	0,1739	134,6154	0,00365
wszystkie zluźnione	1,3847	0,0592	230,7692	0,00213

nego podłoża podsypkowego (model $r = r_g$ z rys. 2a), możemy zapisać średni opór skumulowany w postaci [6]:

$$r_{sr} = \frac{N_t}{l_o}, \quad (1)$$

gdzie: N_t – siła termiczna w torze, [kN]; $N_t = \alpha_t \cdot E_s \cdot A \cdot \Delta t$, [kN]; α_t – współczynnik rozszerzalności stali szynowej, [1/°C]; $E_s \cdot A$ – sztywność podłużna toru, [MN]; Δt – przyrost temperatury szyny, [°C]; l_o – długość zluźnianego odcinka toru podczas regulacji naprężeń, [m],

to przemieszczenie zluźnianego końca szyny (δ) możemy zapisać [6]:

$$\delta = \alpha_t^2 \cdot E_s \cdot A \cdot \frac{\Delta t^2}{2 \cdot r_{sr}} \quad (2)$$

oraz wydłużenie swobodnego końca szyny można zapisać:

$$\delta = \int_0^{\delta} \lambda \cdot \Delta t \, dl = \lambda \cdot l_o \cdot \Delta t = C_1 \cdot \Delta t, \quad (3)$$

gdzie: $\lambda = 0,5 \cdot \alpha_t = 6 \cdot 10^{-6}$ [6], dla $\alpha_t = 1,2 \cdot 10^{-5}$ [1/°C]. Wykorzystując te wzory otrzymujemy:

$$\alpha_t^2 \cdot E_s \cdot A \cdot \frac{\Delta t^2}{2 \cdot r_{sr}} = C_1 \cdot \Delta t \Rightarrow \alpha_t \cdot N_t \cdot$$

$$\frac{\Delta t}{2 \cdot r_{sr}} = C_1 \cdot \Delta t \Rightarrow r_{sr} = \frac{\alpha_t}{2 \cdot C_1} \cdot N_t \quad (4)$$

gdzie: C_1 jest wielkością charakterystyczną dla danego stanu nawierzchni toru [6]. Ostatecznie, wprowadzając dodatkowo parametr pomocniczy C_r (stała oporu podłużnego skumulowanego), opór podłużny może być zapisany w następującej postaci [6]:

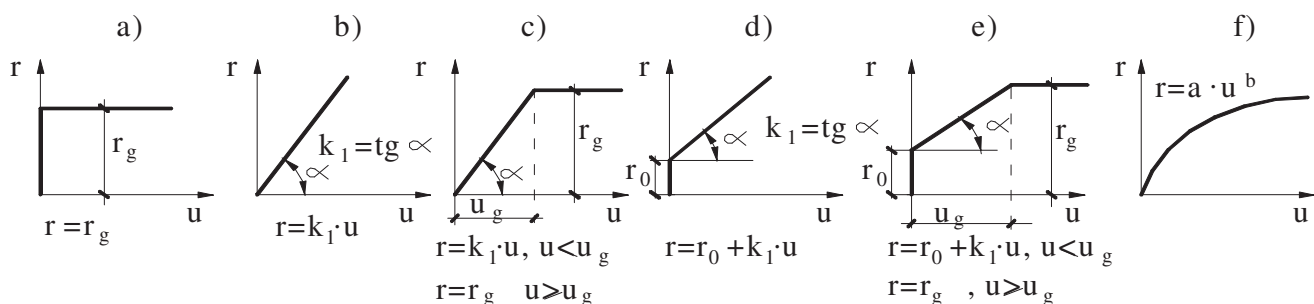
$$C_1 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{\delta_i}{\Delta t} \right), \quad C_r = \frac{\alpha_t^2 \cdot E_s \cdot A}{2 \cdot C_1^2},$$

$$\text{oraz} \quad r_{sr} = C_r \cdot \delta. \quad (5)$$

W tabl. 1 zawarto charakterystyki oporu podłużnego dla toru bezstykowego z szyn 60E1 (na podstawie badań doświadczalnych [6]):

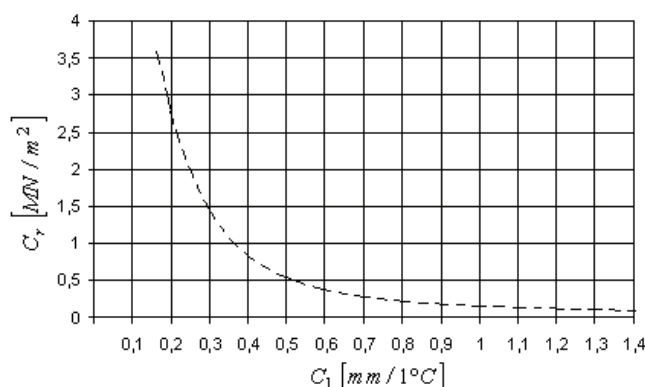
Jak wynika z tabl. 1 dla prawidłowo zakręconych śrub stopowych opór podłoża podsypkowego wynosi $r_o = r_{sr} \approx 0,002 \div 0,01$ [MN/m] (wartości przyjęte do przykładów obliczeniowych). Wykorzystując wzory 4 i 5 na rys. 3÷5 przedstawiono następujące zależności: stałej oporu podłużnego skumulowanego od stałej termicznej toru, oporu podłużnego podsypki od przemieszczeń szyny dla różnych temperatur oraz przemieszczeń zluźnianej szyny od temperatury.

Uzyskane w tym punkcie zależności i wartości wykorzystano do przykładów obliczeniowych zawartych na rys. 10 oraz w tabl. 2 i 3.

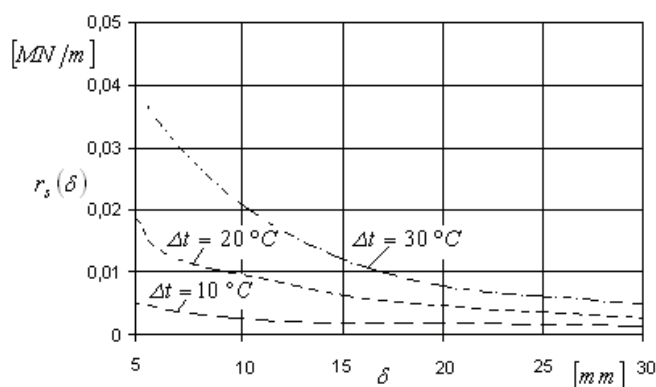


2. Modele oporu podłużnego podsypki

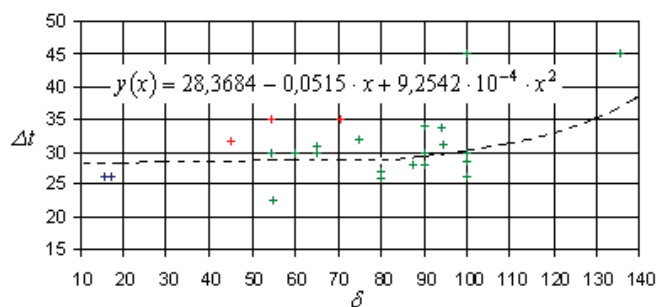
przyjęte oznaczenia (wykorzystywane do obliczeń w pracy): r_g – graniczny opór podłoża podsypkowego [MN/m]; k_1 – współczynnik sztywności poziomej podłoża [MPa]; u_g – wartość graniczna przemieszczenia sygnalizująca zmianę modelu oporu podłoża podsypkowego [m]; r_0 – opór początkowy podłoża podsypkowego [MPa]



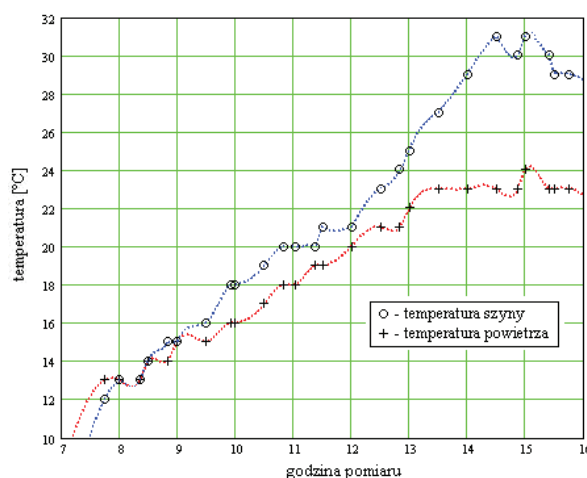
3. Zależność stałej oporu podłużnego skumulowanego od stałej termicznej toru



4. Zależność oporu podłużnego podsypki od przemieszczeń szyny dla różnych temperatur



5. Zależność przemieszczeń zluźwanej szyny od temperatury [6]



6. Zależność temperatury szyny i powietrza od godziny pomiaru (badania Autora)

Nierównomierny rozkład temperatury na długości bezстыkowego toru kolejowego

Temperatura szyn zależy od wielu zmiennych czynników. Główne z nich mają charakter naturalny, takie jak: temperatura powietrza i podłoża, wilgotność podłoża, intensywność promieniowania słonecznego, zachmurzenie, przeźroczystość atmosfery, siła i kierunek wiatru i in. Stwierdza się na ogół zależność między temperaturą szyny i powietrza (rys. 6) (mierzoną w tym samym miejscu i czasie), którą można przedstawić w postaci związku: $t = t_0 + \tilde{t}_z$, gdzie: t - temperatura szyny, t_0 - temperatura powietrza, a $\tilde{t}_z$ - zmienna wielkość losowa, zależna w okresie wysokich temperatur przede wszystkim od intensywności nasłonecznienia toru.

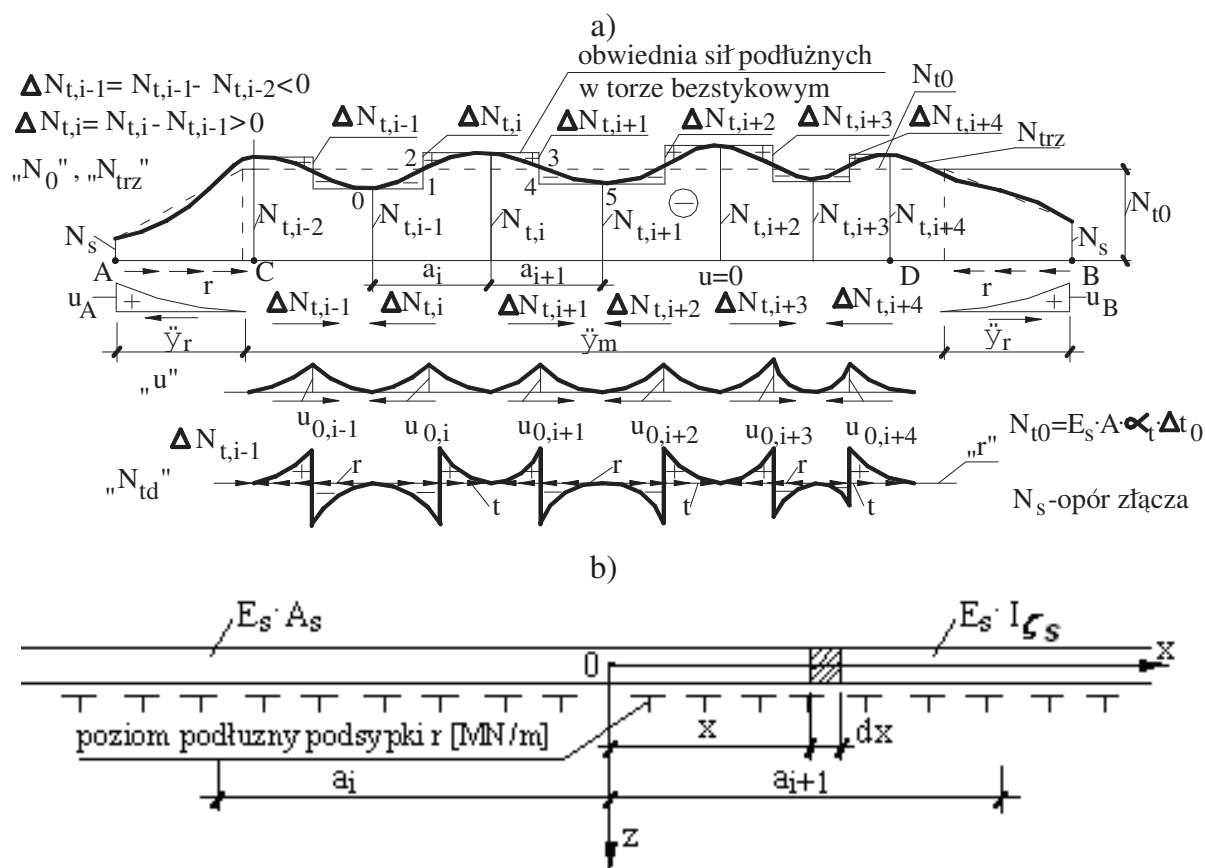
W warunkach pracy toru bezстыkowego w terenie występują nierównomierne rozkłady temperatur szyn, zarówno wzdłuż długości toru, jak i w jego przekroju poprzecznym (mierzona różnica temperatury między główką i stopką szyny może wynosić nawet 7 [°C]).

Rozpatrując zjawisko lokalnych stref poziomych przemieszczeń toru bezстыkowego od nierównomiernych rozkładów temperatury szyn t , należy uwzględnić również, oprócz zmiennego po długości oporu podłużnego podsypki, zmienne warunki termiczne, występujące podczas montażu toru, które charakteryzuje zmienna na ogół temperatura przytwierdzenia szyn do podkładów t_p . Występująca wówczas w przekrojach poprzecznych toru zmienna różnica temperatur: $\Delta_t = t - t_p$ wywołuje w rzeczywistym torze bezстыkowym nierównomierny rozkład podłużnej siły termicznej $N_t = \alpha_t \cdot E_s \cdot A \cdot \Delta_t$, której przebieg pokazano schematycznie linią ciągłą na rys. 7. Nierównomierność tę powiększa dodatkowo wpływ pełzania eksploatowanego toru bezстыkowego pod ruchem pociągów, który powoduje niekorzystne zmiany w układzie temperatur. Linia kreskowana na rys. 7 oznacza natomiast obliczeniowy rozkład siły termicznej N_{t0} . Dla rozkładu N_{t0} w części środkowej

CD ($N_{t0} = \text{const.}$) mamy $u = 0$ (brak przemieszczeń podłużnych – odcinek *nieruchomy*). Natomiast $u \neq 0$ (parabola 2°) występuje na tzw. odcinkach *ruchoomych* (oddychających) o długości l_r , gdzie N_{t0} ma rozkład liniowy ($r = r_g$, rys. 2a). Rozkład obliczeniowy (trapezowy) N_{t0} na rys. 7 odpowiada szczególnemu przypadkowi zachowania się prostego toru bezстыkowego przy równomiernym wzroście temperatury na całej jego długości, dla $t_p = \text{const.}$

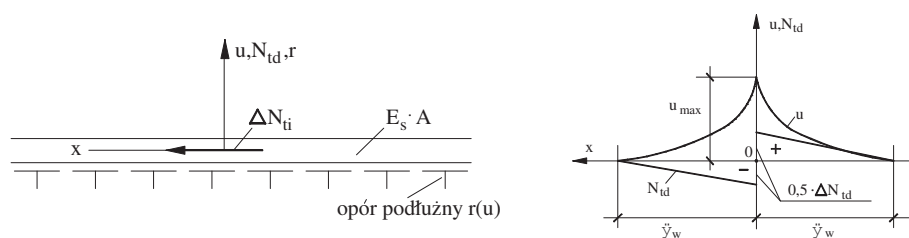
Stan przemieszczeń osiowych w torze bezстыkowym od wpływu lokalnych zmian temperatur

Powstające w wyniku miejscowych różnic temperatury szyny siły ΔN na długości toru, pokazane schematycznie na rys. 7, wywołują lokalne, strefowe przemieszczenia poziome przekrojów poprzecznych szyny, o wartościach maksymalnych od $u_{0,i-1}$ do $u_{0,i+4}$ [1,3,4,11]. Przemieszczenia osiowe toru wzbudzają z kolei reakcję poziomą podłoża $r(u)$ w takim



7. Rozkład siły termicznej na długości bezстыkowego toru kolejowego

a) nierównomierny rozkład siły termicznej (N_{tr}) na długości bezстыkowego toru kolejowego oraz przemieszczeń podłużnych toru (u) i dodatkowej siły termicznej (N_{td}); b) powstający opór podłużny podłoża podsypkowego (r) oraz sztywność na zginanie ($E_s I_s$) i poprzeczna ($E_s A_s$) toru kolejowego



8. Schemat obliczeniowy i przebiegi funkcji u (przemieszczenie podłużne) i N_{td} (dodatkowa siła termiczna)



9. Pomiar przemieszczenia podłużnego toru kolejowego w zależności od temperatury (zdjęcie Autora)

stopniu, na jaki pozwala wartość u . Funkcję $r(u)$, dla celów analizy można opisać przy pomocy kilku modeli pokazanych na rys. 2.

Dla przykładu rozważmy wpływ siły $\Delta N_{ti} = N_{ti} - N_{t,i-1} = E_s \cdot A \cdot (\Delta t_i - \Delta t_{i-1})$ na pracę toru, przyjmując najniekorzystniej $r = r_g$ (model z rys. 2a). Otrzymamy wówczas wzory na u , N_{td} i I_w (schematy obliczeniowe i przybliżony przebieg funkcji u i N_{td} w układzie lokalnym, pokazano na rys. 8):

$$u = \frac{r_g}{2 \cdot E_s \cdot A} \cdot x^2 - \frac{\Delta N_{ti}}{2 \cdot E_s \cdot A} \cdot x + \frac{\Delta N_{ti}^2}{8 \cdot E_s \cdot A \cdot r_g} \quad (6)$$

$$N_{td} = r_g \cdot x - \frac{\Delta N_{ti}}{2}, \quad I_w = \frac{\Delta N_{ti}}{2 \cdot r_g} \quad (7)$$

Dla modelu sprężystego z rys. 2b, przy $r = k_1 \cdot u$, mamy:

$$u = \frac{\Delta N_{ti}}{2 \cdot E_s \cdot A \cdot \sqrt{\alpha}} \cdot e^{-\sqrt{\alpha} \cdot x},$$

$$N_{td} = -\frac{\Delta N_{ti}}{2} \cdot e^{-\sqrt{\alpha} \cdot x},$$

$$I_w = \infty \text{ oraz } \alpha = k_1 / (E_s \cdot A). \quad (8)$$

Z kolei dla modelu z rys. 2d, przy $r = r_0 + k_1 \cdot u$, otrzymujemy:

$$u = -\frac{\beta}{\alpha} \cdot \left[1 - \cosh\left(\sqrt{\alpha} \cdot x\right) \mp \operatorname{arcsinh}\left(\frac{\Delta N_{ii} \cdot \sqrt{\alpha}}{2 \cdot \beta \cdot E_S \cdot A}\right) \right], \quad (9)$$

$$N_{td} = \frac{\beta \cdot E_S \cdot A}{\sqrt{\alpha}} \cdot \left[\sinh\left(\sqrt{\alpha} \cdot x\right) \mp \operatorname{arcsinh}\left(\frac{\Delta N_{ii} \cdot \sqrt{\alpha}}{2 \cdot \beta \cdot E_S \cdot A}\right) \right], \quad (10)$$

$$l_w = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \cdot \operatorname{arcsinh}\left(\frac{\Delta N_{ii} \cdot \sqrt{\alpha}}{2 \cdot \beta \cdot E_S \cdot A}\right), \quad (11)$$

gdzie: $\alpha = k_1 / (E_S \cdot A)$, $\beta = r_0 / (E_S \cdot A)$, k_1 – współczynnik sztywności poziomej podłoża [MPa].

Określenie parametrów oporu podłużnego do obliczeń

W eksploatowanym torze kolejowym rzeczywiste wartości np. k_1 i r_0 dla modelu d ($r = r_0 + k_1 \cdot u$) oporu sprężysto-plastycznego podłoża podsykowego z rys. 2 są nieznane. Dla określonych warunków brzegowych [14] oraz z uwzględnieniem modelu d z rys. 2, otrzymujemy:

$$u(x) = -\frac{\alpha}{\beta} \cdot \left[1 - \cosh\left(\sqrt{\alpha} \cdot x - \operatorname{arcsinh}\left(\frac{\alpha_i \cdot \Delta t \cdot \sqrt{\alpha}}{\beta}\right)\right) \right], \quad (12)$$

gdzie: $\alpha = k_1 / (E_S \cdot A)$, $\beta = r_0 / (E_S \cdot A)$, x – odcięta dowolnego przekroju toru, mierzona od końca rozpatrywanego toru bezстыkowego. Korzystając z wyników bezpośrednich pomiarów przemieszczeń osiowych u^p toru bezстыkowego można podać sposób ich obliczenia (metodą najmniejszych kwadratów) [14]:

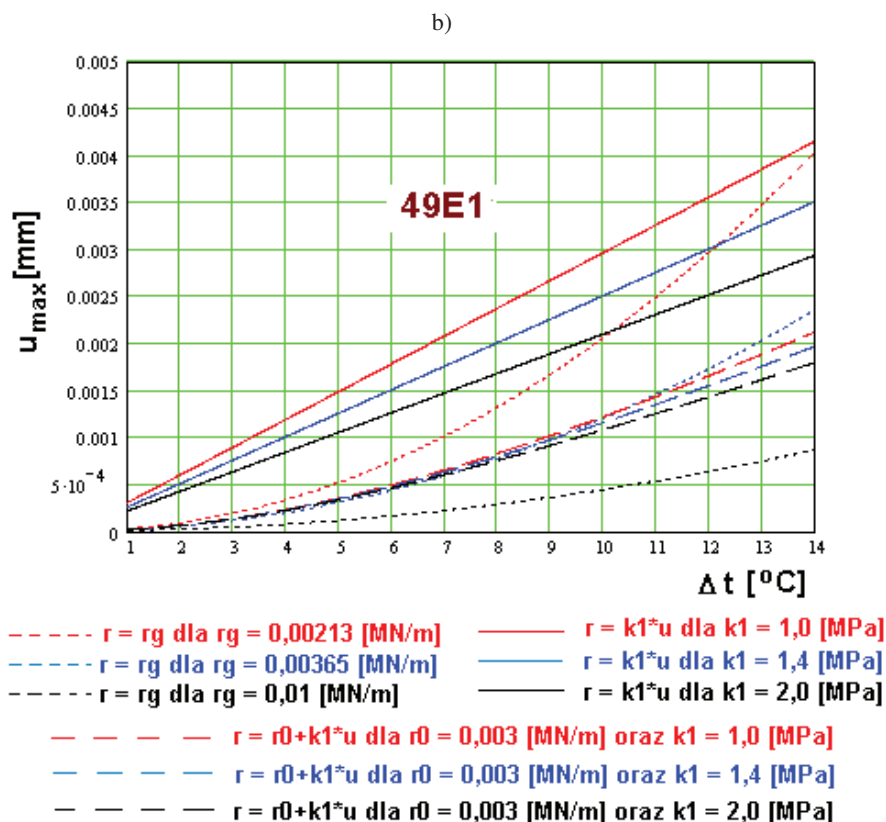
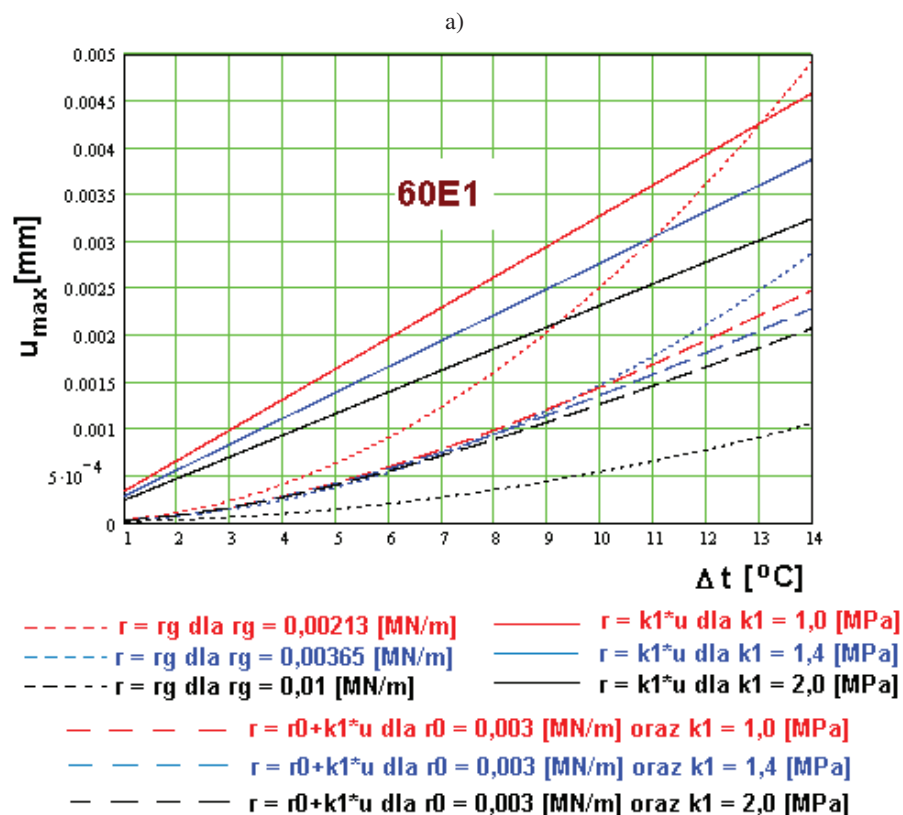
$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n V_{ji}^2 = \min, \text{ gdzie: } V_{ji} = u_{ji}(x) - u_{ji}^p, \quad (13)$$

przy czym: $u_{ji}(x) = F_{ji}(x, \Delta t, \alpha, \beta)$ oznacza przemieszczenia obliczone dla wstępnie oszacowanych wartości k_1 i r_0 , czyli α_0 i β_0 , u_{ji}^p oznacza wielkości mierzone odpowiadające $u_{ji}(x)$, $j = 1$,

2, ... m oznacza kolejną różnicę, Δt dla której określa się wartość funkcji (12) i dokonuje pomiaru u_{ji}^p oraz $i = 1, 2, \dots, n$ oznacza miejsce pomiaru, czyli odciętą pewnego wybranego przekroju

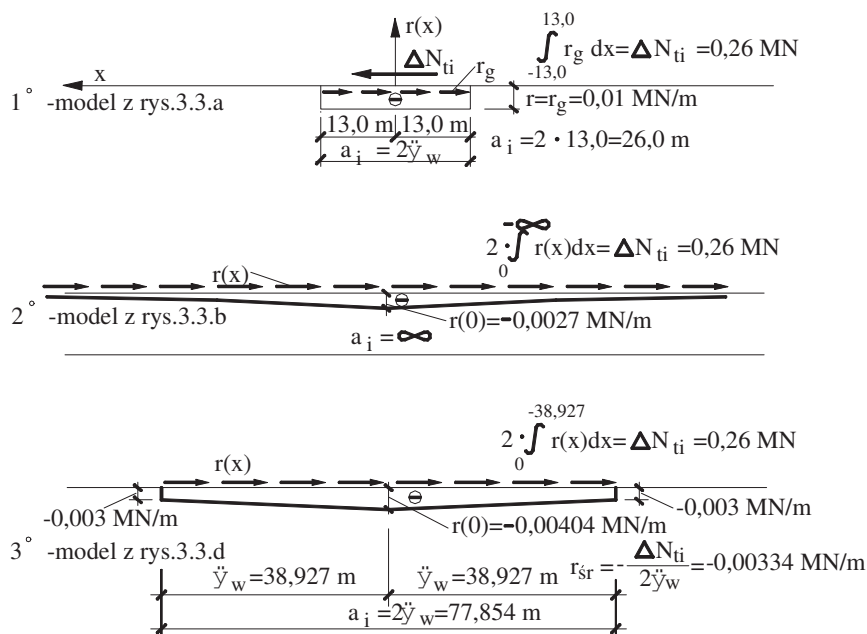
szyny (rys. 9).

Różnice V_{ji} wynikają przede wszystkim z występujących wzdłuż toru zmian oporu podłużnego podłoża oraz z błędów pomiaru. Korzystając z



10. Maksymalne przemieszczenia toru wskutek lokalnej różnicy temperatury $\Delta(\Delta t)$ dla przyjętych modeli obliczeniowych (wzory 6-11)

a) tor z szynami 60E1; b) tor z szynami 49E1



11. Rozkłady funkcji $r(x)$ dla różnych modeli obliczeniowych [2,3]

równania (13) oblicza się niewiadome poprawki $\delta(\alpha)$ i $\delta(\beta)$ w kolejnych krokach iteracyjnych, aż do przyjętego z góry błędu przybliżenia. W wyniku obliczeń otrzymuje się: $\alpha = \alpha_0 + \sum \delta(\alpha)$ i $\beta = \beta_0 + \sum \delta(\beta)$, które stanowią możliwie najdokładniej określoną charakterystykę oporu podłużnego dla danego toru kolejowego.

W pracy [14] na doświadczalnym poligonie bezстыkowego toru kolejowego na linii kolejowej Katowice-

-Kraków, otrzymano następujące wartości: $r_0 = 9,728 \cdot 10^{-4} \pm 2,883 \cdot 10^{-4}$ MN/m, oraz $k_1 = 1,8976 \pm 0,1589$ MN/m². Potwierdzenie tych wartości znajdziemy na rys. 1.

Przykłady obliczeniowe

Do obliczeń przyjęto zatem następujące dane:

- tor bezстыkowy 49E1 i 60E1, z podkładami drewnianymi, na

podsypanie tłuczniowej, w układzie lokalnym (rys. 8), odpowiednio przy wartościach [1,3-5,13,16]:

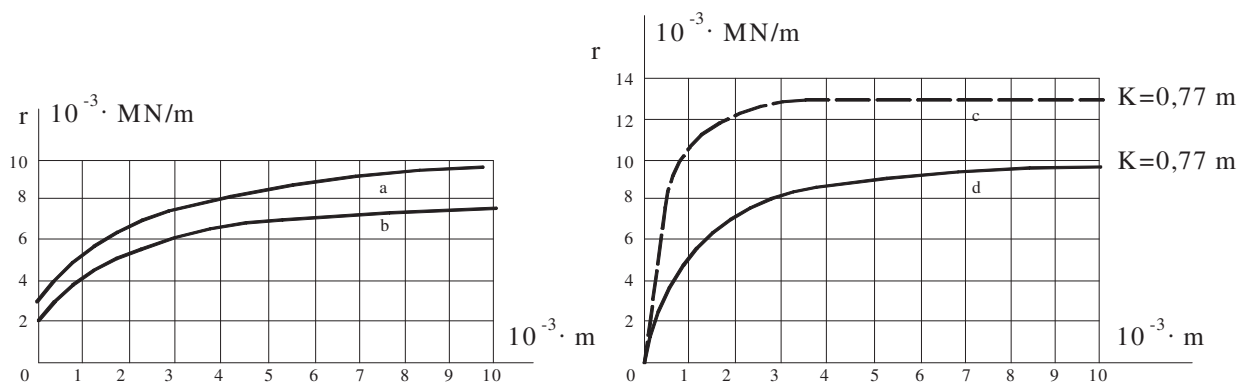
- $E_s \cdot A = 2644,74$ MN (49E1); $E_s \cdot A = 3228,12$ MN (60E1) oraz:
- $\alpha_t = 1,15 \cdot 10^{-5}$ 1/K, $r_0 = 0,003$ MN/m, $r_g = 0,010$ MN/m,
- $k_1 = 1,0$ MPa, $k_1 = 1,4$ MPa oraz $k_1 = 2,0$ MPa przy $u_g = 0,005$ m (patrz rys. 1 i rys. 2),
- $\Delta(\Delta t)_i = 1, 2, \dots, 14$ [K].

W celu zobrazowania uzyskanych maksymalnych przemieszczeń toru, na rys. 10 pokazano wyniki obliczeń dla przyjętych wyżej parametrów oraz modeli opisanych na tys. 1 i 2 niniejszej pracy.

Jak widać na rys. 10 najmniejsze przemieszczenia otrzymujemy dla modelu plastycznego przy przyjętej największej wartości oporu ($r_g = 0,01$ [MN/m]). Natomiast największe przemieszczenia otrzymujemy dla modelu sprężystego przy przyjętej najmniejszej wartości oporu ($k_1 = 1,0$ [MPa]). Należy to tłumaczyć właściwościami analizowanych modeli (rys. 2). Dla modelu plastycznego, od samego początku przemieszczenia toru powstaje opór podłużny podłoża podsypanego ($r=r_g$), natomiast dla modelu sprężystego, opór ten

Tab. 2. Przemieszczenia podłużne $u(x)$, rozkład siły termicznej $N_t(x)$ i oporu poprzecznego $r(x)$ w zależności od przyjętego modelu obliczeniowego

1° – dla modelu z rys. 2a ($r = r_g$) otrzymujemy: 1	2° – dla modelu z rys. 2b ($r = k_1 \cdot u$) otrzymujemy: 2	3° – dla modelu z rys. 2d ($r = r_0 + k_1 \cdot u$) otrzymujemy: 3
$u = 1,55 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 \mp 4,03 \cdot 10^{-5} \cdot x + 2,62 \cdot 10^{-4}$ dla: $x > 0, (-), x < 0, (+)$. Dla $x = 0, u_{\max} = 2,62 \cdot 10^{-4}$ m przy $u_g = 5,0 \cdot 10^{-3}$ m oraz $N_{td} = 0,01 \cdot x \mp 0,130$, $x > 0, (-), x < 0, (+)$ $l_w = 13,0$ m $r = r_g = -E_s \cdot A \cdot \frac{d^2 u}{dx^2} = -0,01$ MN / m	$\alpha = \frac{k_1}{E_s \cdot A} = 4,337 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2}, \sqrt{\alpha} = 2,0826 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1}$ $u = 1,934 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(\mp 2,0826 \cdot 10^{-2} \cdot x)$ dla $x > 0, (-), x < 0, (+)$. Dla $x = 0: u_{\max} = 1,934 \cdot 10^{-3}$ m przy $u_g = 5,0 \cdot 10^{-3}$ m $r = -E_s \cdot A \cdot \frac{d^2 u}{dx^2} = -k_1 \cdot u =$ $= -2,708 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(\mp 2,0826 \cdot 10^{-2} \cdot x)$ dla $x = 0, r_{\min} = -2,708 \cdot 10^{-3}$ MN / m $N_{td} = E_s \cdot A \cdot \frac{du}{dx} = \mp 0,130 \cdot \exp(\mp 2,0826 \cdot 10^{-2} \cdot x)$ $l_w = \infty, \lim_{x \rightarrow \pm \infty} N_{td} = 0, \lim_{x \rightarrow \pm \infty} r = 0$	$\alpha = 4,337 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2}, \beta = \frac{r_0}{E_s \cdot A} = 9,2937 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1}$ $u = -2,143 \cdot 10^{-3} \cdot \left[1 - \cosh\left(\frac{2,0826 \cdot 10^{-2} \cdot x \mp 0,8107}{\mp \operatorname{arcsinh}(0,9025)}\right) \right]$ dla: $x > 0, (-), x < 0, (+)$ $u = -2,143 \cdot 10^{-3} \cdot \left[1 - \cosh(2,0826 \cdot 10^{-2} \cdot x \mp 0,8107) \right]$ dla $x = 0:$ $u_{\max} = -2,143 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 1,347) = 0,7436 \cdot 10^{-3}$ m przy $u_g = 5,0 \cdot 10^{-3}$ m $N_{td} = E_s \cdot A \cdot \frac{du}{dx} = 0,144 \cdot \sinh(2,0826 \cdot 10^{-2} \cdot x \mp 0,8107)$ dla $x = 0: N_{td} = \mp 0,13$ MN $l_w = 38,927$ m; dla $x = l_w: u = 0, N_{td} = 0$ $r = -E_s \cdot A \cdot \frac{d^2 u}{dx^2} = -0,003 \cdot \cosh(2,0826 \cdot 10^{-2} \cdot x \mp 0,8107)$ dla $x = \pm l_w, r = -0,003$ MN / m dla $x = 0, r = -1,347 \cdot 0,003 = -0,00404$ MN / m $\omega = \int_0^{-l_w} r dx = 0,130$ MN, $r_g = -\frac{\omega}{l_w} = -0,00334$ MN / m



12. Charakterystyki doświadczalne oporu podłużnego podsypki [6]

a - opór podłużny przy rozstawie podkładów drewnianych 65 cm (przesło 22 podkładów)

b - opór podłużny przy rozstawie podkładów drewnianych 65 cm (przesło 11 podkładów)

c - opór podłużny przy zmiennym rozstawie podkładów drewnianych (K-rozstaw podkładów)

d - opór podłużny przy zmiennym rozstawie podkładów strunobetonowych (K-rozstaw podkładów)

wzrasta dopiero wraz z powstającym przemieszczeniem. Dla wykazania powstających różnic wynikających z przyjętych modeli (rys. 2) wykonano obliczenia przy następujących danych: tor bezстыkowy 60E1, z podkładami drewnianymi, na podsypce tłuczniowej, w układzie lokalnym (rys. 8) oraz: $E_s \cdot A = 3228 \text{ MN}$, $\alpha_t = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$, $r_0 = 0,003 \text{ MN/m}$, $r_g = 0,010 \text{ MN/m}$, $k_1 = 1,4 \text{ MPa}$, $u_g = 0,005 \text{ m}$. Ponadto przyjęto: $\Delta(\Delta t)_i = 7,0 \text{ [K]}$, gdzie: $\Delta(\Delta t)_i = \Delta N_{ti} / E_s \cdot A \cdot \alpha_t$, przy czym $\Delta N_{ti} = N_{ti} - N_{t,i-1} = E_s \cdot A \cdot \alpha_t \cdot (\Delta t_i - \Delta t_{i-1})$, $\Delta t_i = t_i - t_{pi} - t_s$, $\Delta t_{i-1} = t_{i-1} - t_{p,i-1} - t_s$, t – temperatura szyny,

t_p – temperatura przytwierdzenia szyny do podkładów, $t_s = N_s / E_s \cdot A$, α_t , N_s – reakcja pozioma styku szynowego od wpływów termicznych, ($N_s \approx 0,20 \text{ MN}$), $\Delta(\Delta t)_i = \Delta t_i - \Delta t_{i-1} = (t_i - t_{i-1}) - (t_{pi} - t_{p,i-1})$.

Stąd $\Delta N_{ti} = E_s \cdot A \cdot \alpha_t \cdot \Delta(\Delta t)_i = 0,26 \text{ MN}$. Wyniki obliczeń pokazano w tabl. 2: Na rys. 11 przedstawiono przebiegi obliczonych funkcji $r(x)$ dla uzyskanych wartości l_w :

Dyskusja otrzymanych wyników

Przydatność zastosowanych mode-

li podłoża do analizy przemieszczeń osiowych toru bezстыkowego jest różna. Dla dużych przyrostów temperatury Δt , np. $\Delta t = 45 \text{ K}$, którym towarzyszą wysokie wartości siły termicznej w szynach, tor bezстыkowy doznaje znacznych przesunięć osiowych, większych od u_g , co ma miejsce przede wszystkim w strefach tzw. odcinków oddychających, to wówczas przydatnym okaże się model plastyczny (rys. 2a). Natomiast do analizy wpływu lokalnych nierównomiernych zmian temperatury na długości toru, właściwym w dalszym zastosowaniu

Tab. 3. Przemieszczenia podłużne $u(x)$, rozkład siły termicznej $N_t(x)$ i oporu poprzecznego $r(x)$ w zależności od przyjętego modelu obliczeniowego

1° – dla modelu z rys. 2a ($r = r_g$) otrzymujemy:	2° – dla modelu z rys. 2b ($r = k_1 \cdot u$) otrzymujemy:	3° – dla modelu z rys. 2d ($r = r_0 + k_1 \cdot u$) otrzymujemy:
dla $r_g = 0,002131 \text{ [MN/m]}$ $u = 3,31 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 \mp 4,03 \cdot 10^{-5} \cdot x + 1,23 \cdot 10^{-3}$ $u(0) = u_{\max}^1 = 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ m}; l_w = 61,0 \text{ m}$ dla $r_g = 0,00365 \text{ [MN/m]}$ $u = 5,65 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 \mp 4,03 \cdot 10^{-5} \cdot x + 7,17 \cdot 10^{-4}$ $u(0) = u_{\max}^2 = 7,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}; l_w = 35,62 \text{ m}$ dla $r_g = 0,01 \text{ [MN/m]}$ $u = 1,55 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 \mp 4,03 \cdot 10^{-5} \cdot x + 2,62 \cdot 10^{-4}$ $u(0) = u_{\max}^3 = 2,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}; l_w = 13,0 \text{ m}$ przy czym dla: $x > 0, (-), x < 0, (+)$ $u_{\max}^3 < u_{\max}^2 < u_{\max}^1 < u_g \text{ dla } u_g = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ oraz odpowiednio: $r = -E_s \cdot A \cdot \frac{d^2 u}{dx^2} = r_g$ $N_{td} = r_g \cdot x - \frac{\Delta N_{ti}}{2}$ $x > 0, (-), x < 0, (+)$	dla $k_1 = 2,0 \text{ [MPa]}$ $\alpha = \frac{k_1}{E_s \cdot A} = 6,196 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2}, \sqrt{\alpha} = 2,4891 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1}$ $u = 1,618 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(\mp 2,4891 \cdot 10^{-2} \cdot x)$ dla $x > 0, (-), x < 0, (+)$. dla $x = 0$: $u_{\max} = 1,618 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ przy $u_g = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ $r = -E_s \cdot A \cdot \frac{d^2 u}{dx^2} = -k_1 \cdot u =$ $= -3,236 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(\mp 2,4891 \cdot 10^{-2} \cdot x)$ dla $x = 0$, $r_{\min} = -3,236 \cdot 10^{-3} \text{ MN / m}$ $N_{td} = E_s \cdot A \cdot \frac{du}{dx} = \mp 0,130 \cdot \exp(\mp 2,4891 \cdot 10^{-2} \cdot x)$ $l_w = \infty, \lim_{x \rightarrow \pm \infty} N_{td} = 0, \lim_{x \rightarrow \pm \infty} r = 0$	dla $k_1 = 2,0 \text{ [MPa]}$ i $r_0 = 0,003 \text{ [MN/m]}$ $\alpha = 6,196 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2}, \beta = \frac{r_0}{E_s \cdot A} = 9,2937 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1}$ $u = -1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left[1 - \cosh(2,4891 \cdot 10^{-2} \cdot x \mp \operatorname{arcsinh}(1,0786)) \right]$ dla: $x > 0, (-), x < 0, (+)$ $u = -1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left[1 - \cosh(2,4891 \cdot 10^{-2} \cdot x \mp 0,9359) \right]$ $u(0) = u_{\max} = -1,5 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 1,471) = 0,7063 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ dla $u_g = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ $N_{td}(x) = E_s \cdot A \cdot \left(\frac{\beta}{\sqrt{\alpha}} \cdot \sinh\left(\sqrt{\alpha} \cdot x - a \sinh\left(\frac{\Delta N_{ti}}{2} \cdot \frac{\sqrt{\alpha}}{\beta \cdot E_s \cdot A}\right)\right) \right)$ $N_{td} = E_s \cdot A \cdot \frac{du}{dx} = 0,1205 \cdot \sinh(2,4891 \cdot 10^{-2} \cdot x \mp 0,9359)$ dla $x = 0$: $N_{td} = \mp 0,13 \text{ MN}$ $l_w = 37,599 \text{ m}$; dla $x = l_w$ mamy: $u = 0$, $N_{td} = 0$ $r = -E_s \cdot A \cdot \frac{d^2 u}{dx^2} = -0,003 \cdot \cosh(2,4891 \cdot 10^{-2} \cdot x \mp 0,9359)$ dla $x = \pm l_w$, $r = -0,003 \text{ MN / m}$ dla $x = 0$, $r = -1,471 \cdot 0,003 = -0,004413 \text{ MN / m}$ $\omega = \int_0^{-l_w} r dx = 0,130 \text{ MN}, r_g = -\frac{\omega}{l_w} = -0,003475 \text{ MN / m}$

jest raczej model oporu podłużnego podsypki z rys. 2d. Przydatność modelu sprężystego (rys. 2b), często wykorzystywanego efektywnie w zakresie np. analizy wyboczenia toru w płaszczyźnie pionowej, jest w rozważanym przypadku nierównomiernych zmian temperatury raczej ograniczona.

Z drugiej strony przyjmowanie do obliczeń np. zbyt dużych wartości współczynnika sztywności poziomej podłoża $k_1 = 5 \div 10$ [MPa], nie znajduje w pełni potwierdzenia w wynikach badań doświadczalnych oporu podłużnego podsypki (patrz rys. 12). Dlatego rozsądnym kompromisem jest przyjęcie następujących wartości parametrów: $r_0 = 0,003$ MN/m, $r_g = 0,01$ MN/m, $k_1 = 2,0$ MPa, $u_g = 0,005$ m, które znajdują uzasadnienie zarówno na rys. 2 jak i rys. 12:

Dla tych parametrów i wspomnianych wyżej modeli (a , b i d) z rys. 2 oblicza się:

Wnioski końcowe:

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że:

- 1) Przedstawione w pracy analityczne rozwiązanie do zagadnienia lokalnej różnicy temperatury na długości bezстыkowego toru kolejowego wykazało powstawanie niepożądanych podłużnych jego przemieszczeń.
- 2) Przedstawiono analizę teoretyczną czynników powodujących przemieszczenia podłużne toru wykorzystując zastępcze modele obliczeniowe rzeczywistych charakterystyk uzyskiwanych w torze kolejowym (rys. 2 czy rys. 12).
- 3) Wyniki obliczeń pokazane na rys. 10 wskazują, że największe przemieszczenie wskutek różnicy temperatury zależy głównie od gradientu temperatury oraz parametrów przyjętych modeli obliczeniowych (r_g , r_0 i k_1) i sztywności podłużnej toru ($E_s \cdot A$). Przemieszczenia wynikające z nierównomiernego ogrzania szyny na jej długości (np. położona w zacienionym głębokim wykopie czy

wystawiona na insolację słoneczną w nasypie), stanowią istotną, niedocenianą część przemieszczeń, które mogą nasilać m.in. pełzanie toru.

- 4) Wskazano na znaczący wpływ analizowanych modeli i przyjętych parametrów do obliczeń (r_g , r_0 i k_1) na kształt i wartości podłużnych przemieszczeń poziomych toru kolejowego (rys. 10).
- 5) Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz rzeczywistych charakterystyk uzyskiwanych w torze kolejowym zaproponowano odpowiednie parametry do obliczeń (wykorzystane w zamieszczonych tabl. 2 i tabl. 3). ◀

Materiały źródłowe

- [1] Bednarek Wł.: Practicability of longitudinal resistance models for effect analysis of local temperature change on axial displacement state in CWR track. 13th International Conference on Modernisation of Railway tracks, Slovakia, Žilina, 2003,
- [2] Bednarek Wł.: Loss of contact analysis in jointless track on ballast due to influence of non-axial horizontal subsoil reaction transfer. Archives of Civil Engineering, L, 3, 2004,
- [3] Bednarek Wł.: Influence of ballast longitudinal resistance on axial displacement state in CWR track due to local rail temperature changes. Foundations of Civil and Environmental Engineering, Poznań University of Technology, No.12, 2008,
- [4] Bednarek Wł.: Wpływ oporu podłużnego podłoża podsypkowego na przemieszczenia osiowe bezстыkowego toru kolejowego wskutek lokalnej różnicy temperatury. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej (Archives of Institute of Civil Engineering), Poznań University of Technology, Nr 11, 2011,
- [5] Bednarek Wł.: Wpływ pionowych odkształceń nawierzchni i podtorza na pracę toru bezстыkowego. Seria Rozprawy Nr 506, Wydaw-

nictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2013,

- [6] Bogdaniuk B.: Stateczność toru bezстыkowego w procesie jego eksploatacji. Praca doktorska, Poznań, 1972,
- [7] Czyczuła Wł., Towpik K.: Kryterium oceny nawierzchni kolejowej z uwagi na trwałe podłużne przemieszczenia szyn. IX Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Drogi Kolejowe”, Kraków, 1997,
- [8] Czyczuła Wł., Towpik K.: Problemy modelowania oraz identyfikacji modeli toru bezстыkowego. Problemy kolejnictwa, zeszyt 128, Warszawa, 1998,
- [9] Dieterman H. A., Van M. A., Van Dam A. J. P., Esveld C.: Longitudinal forces in railroad structures. Rail Engineering International, No. 1, 1990,
- [10] Frýba L.: Distribution “quasi-statique” des forces de démarrage et de freinage dans les rails et les ponts. Rail International, Février, 1975,
- [11] Huber M. T.: Pisma. Zagadnienia kolejowe. Tom III, Dział VIII, PWN, Warszawa, 1957,
- [12] Markine V., Esveld C.: Analysis of longitudinal and lateral behaviour of a CWR track using a computer system LONGIN. Delft University of Technology, 1999,
- [13] PKP: Przepisy Id-1 (D-1) Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych, Warszawa, 2005 z późn. zmianami,
- [14] Szumierz W.: Warunki stosowania torów bezстыkowych na terenach eksploatacji górniczej. Temat 3001/16, 1972,
- [15] Szumierz W.: Statyka budowli liniowych poddanych działaniu sił poziomych od pełzania podłoża górnictwa. Główny Instytut Górnictwa, Katowice, 1980,
- [16] Szumierz W., Stefanek J.: Model współdziałania mostu z torrem bezстыkowym w warunkach zmian temperatury. Drogi i Mosty, nr 2, 2004,
- [17] Van M. A.: Stability of continuous welded rail track. Delft 1995.

Podmiejska Kolej Aglomeracyjna w województwie podkarpackim jako czynnik stymulujący rozwój regionu

Suburban Rail in the Podkarpackie Voivodeship as a Factor Stimulating the Development in the Region



Beata Gierczak-Korzeniowska

Dr

Uniwersytet Rzeszowski, Instytut
Ekonomii i Finansów w Kolegium
Nauk Społecznych

beatagierczak@ur.edu.pl

Streszczenie: Na przestrzeni ostatnich kilku lat można zaobserwować wyraźny wzrost zainteresowania transportem kolejowym wśród władz samorządowych, zwłaszcza koleją aglomeracyjną. Szczególną inklinację w tym zakresie zauważa się w dużych aglomeracjach i otaczających je strefach podmiejskich, w których to coraz częściej pojawiają się problemy z transportem. Pozytywny wydźwięk omawianemu zagadnieniu nadaje fakt, że liczba pasażerów kolei aglomeracyjnych i regionalnych w Polsce rośnie. Projekt utworzenia systemu Podmiejskiej Kolei Aglomeracyjnej w województwie podkarpackim ma w istotny sposób wpłynąć na rozwój regionu. Skrócenie czasu jazdy, poprawa oferty przewozowej i zwiększenie dostępności do transportu kolejowego na obszarze aglomeracji rzeszowskiej a tym samym usprawnienie mobilności społeczeństwa, to niektóre z zalet inwestycji. Projekt obejmie swym obszarem gminy zlokalizowane w obrębie linii kolejowych biegnących od Dębicy do Przeworska oraz od Kolbuszowej po Strzyżów. Celem artykułu jest przedstawienie ogólnych założeń przedsięwzięcia oraz oszacowanie korzyści wynikających z realizowanego projektu dla regionu i jego mieszkańców. Na metodologię badań i źródła danych składają się głównie: analiza dokumentów, dotyczących Studium Wykonalności dla projektu „Budowa Podmiejskiej Kolei Aglomeracyjnej”, uzyskanych z Urzędu Marszałkowskiego w Rzeszowie, ze szczególnym uwzględnieniem: Etapu II - Analiza marketingowa wariantów inwestycyjnych oraz Etapu III - Analiza techniczna wszystkich wariantów inwestycyjnych projektu wraz z oszacowaniem kosztów. Podstawą opracowania były ponadto studia literatury przedmiotu i rozmowy z osobami odpowiedzialnymi za realizację projektu.

Słowa kluczowe: Podmiejska Kolej Aglomeracyjna; Rozwój regionalny; Transport kolejowy; Województwo podkarpackie

Abstract: Over the last few years, there has been a clear increase in interest in rail transport among local authorities, especially the agglomeration rail. A particular emphasis in this respect is being observed in large agglomerations and the surrounding suburban areas, where transport problems are becoming increasingly frequent. The fact that the number of passengers of agglomeration and regional railways in Poland is growing gives a positive overtone to the issue in question. The project of creating a system of Suburban Rail in the Podkarpackie Voivodeship is to significantly affect the development of the region. A reduction in commute time, the improvement of the transport offer and the increase in the accessibility to rail transport in Rzeszów area and thus the improvement of mobility of the society are some of the advantages of the investment. The project will encompass municipalities located within railway lines running from Dębica to Przeworsk and from Kolbuszowa to Strzyżów. The aim of the article is to present general assumptions of the project and to estimate the benefits resulting from the project for the region and its inhabitants. The research methodology and data sources consist mainly of an analysis of the documents concerning the Feasibility Study for the project The Construction of Suburban Rail obtained from the Marshal's Office in Rzeszów, with particular emphasis on Stage II - A marketing analysis of investment variants and Stage III - A technical analysis of all investment variants of the project together with cost estimation. The basis of the study also included research of the subject literature and interviews with the people responsible for project implementation.

Keywords: Suburban Rail; regional development; railway transport; Podkarpackie voivodeship

Wprowadzenie

Transport to jeden z najważniejszych czynników determinujących rozwój gospodarczy kraju oraz regionu. Sprawny system transportowy sprzyja rozwojowi społeczno-gospodarcze-

mu. Nieefektywny i zaniedbany - gdy jest słaba infrastruktura - ogranicza rozwój społeczno-gospodarczy [8]. Bezpośrednim zadaniem systemu transportowego miasta jest zapewnienie mieszkańcom dostępności przestrzennej, czyli możliwości korzy-

stania z różnych obiektów i instytucji umożliwiających realizację aktywności życiowej człowieka, które rozmieszczone są w przestrzeni metropolii [3].

Dynamiczny rozwój obszarów metropolitalnych w Polsce, a więc również należących do nich terenów pod-

miejskich i gmin, stawia coraz większe wyzwanie w zakresie obsługi komunikacyjnej ludności. Zjawisku urbanizacji towarzyszył i nadal towarzyszy przede wszystkim gwałtowny powierzchniowy rozrost miast – budowa nowych osiedli mieszkaniowych, ale także wywołany modą na dom pod miastem niekontrolowany rozrost stref podmiejskich. Zjawisko *urban sprawl* (rozlewanie się miast) doprowadziło do powstawania kolejnych osiedli deweloperów skuszonych niższymi cenami gruntów, indywidualnych domków jednorodzinnych, a także rozrostem miast satelickich, oferujących wyższą jakość zamieszkania – większe mieszkania i domy, zieleni, niższe koszty utrzymania. Wraz z tym trendem pojawiły się jednak także problemy z transportem. Dom czy mieszkanie pod miastem najczęściej wymagają posiadania przynajmniej jednego samochodu. Mieszkańcy stref podmiejskich, a także okolicznych wsi i miasteczek, pracują bowiem najczęściej w dalszym ciągu w jednym dużym mieście. System drogowo-parkingowy głównych ośrodków miejskich najczęściej nie jest już w stanie przyjąć zwiększonego ruchu samochodowego, co pociąga za sobą wszystkie negatywne zjawiska związane z kongestią w ruchu drogowym: zwiększone zanieczyszczenie powietrza czy wydłużony czas dojazdu [5].

W dobie powszechnie występującej kongestii największe nadzieje wiąże się więc z szerszym zakresem wykorzystania transportu szynowego – tramwajów w przewozach miejskich i transportu kolejowego w obsłudze terenów podmiejskich i położonych w gminach sąsiadujących z metropolią [3]. Dobrze funkcjonujący system kolejowy wokół metropolii wydaje się być najlepszym sposobem na wzrost mobilności mieszkańców tego obszaru.

Statystyki prowadzone przez Urząd Transportu Kolejowego pokazują, że coraz większy udział w liczbie przewiezionych pasażerów zyskują pasażerskie spółki kolejowe, zapewniające

transport tylko i wyłącznie w obszarze aglomeracji miejskich, a także pobliskich mniejszych miast, położonych w akceptowalnej dla pasażera odległości dla codziennych dojazdów. W popularności systemów kolei aglomeracyjnych można upatrywać szansy na rozwiązanie wielu palących problemów dużych miast, związanych z nadmiernym ich rozlewaniem się czy negatywnymi skutkami kongestii na drogach [5].

Zasadniczym celem opracowania jest przedstawienie ogólnych założeń przedsięwzięcia oraz oszacowanie korzyści wynikających z realizowanego projektu dla regionu i jego mieszkańców. Ponadto podkreślenie, że sprawny system transportowy jest istotnym czynnikiem stymulującym rozwój regionu, i że następuje stopniowa zmiana priorytetyzacji sieci przewozowej, która stymuluje zainteresowania pasażerów zmianą zachowań komunikacyjnych. Na metodologię badań i źródła danych składają się głównie: analiza dokumentów, dotyczących Studium Wykonalności dla projektu „Budowa Podmiejskiej Kolei Aglomeracyjnej”, uzyskanych z Urzędu Marszałkowskiego, ze szczególnym uwzględnieniem: Etapu II - Analiza marketingowa wariantów inwestycyjnych oraz Etapu III - Analiza techniczna wszystkich wariantów inwestycyjnych projektu wraz z oszacowaniem kosztów. Podstawą opracowania były ponadto studia literatury przedmiotu i rozmowy z osobami odpowiedzialnymi za realizację projektu.

Kolej aglomeracyjna oraz jej zalety

W pasażerskim transporcie kolejowym wyróżnia się cztery podsystemy, tj. przewozy międzyaglomeracyjne, międzyregionalne, regionalne i aglomeracyjne. Do obsługi obszarów metropolitalnych wykorzystywane są przewozy regionalne i aglomeracyjne, jednak znacznie większy potencjał rozwojowy mają koleje aglomeracyjne, które koncentrują się na obszarach

zurbanizowanych. Przewozy aglomeracyjne zapewniają wygodne i szybkie połączenie przedmieść i miast satelickich z centrami aglomeracji. Umożliwiają przemieszczanie znacznych potoków podróżnych w sposób sprawny i bezpieczny [3].

Na świecie systemy kolei miejskich lub aglomeracyjnych funkcjonują w różnorodnych układach: średnicowych, promienistych, obwodowych, albo jako ich kombinacje. Nie da się jednoznacznie stwierdzić, który z wymienionych modeli jest najkorzystniejszy, gdyż przy zróżnicowanych uwarunkowaniach lokalnych niekiedy odmienne układy pozwalają osiągnąć najkorzystniejszą sytuację [4]. [Makuch J., 2018, s. 23]. Najstarsze systemy kolei podmiejskich S-Bahn w Berlinie, pamiętają jeszcze pierwszą poł. XX w., podobnie jak RER w Paryżu (początek budowy w latach 60-tych XX w.). Wraz z rozrostem miast w drugiej poł. XX w. i na początku XXI w. kolejne miasta niemieckie, szwedzkie, brytyjskie, austriackie, szwajcarskie i inne uruchamiały systemy kolei aglomeracyjnych.

Definicja kolei aglomeracyjnych (lub podmiejskich) jest trudna do określenia. Przewozy te są często w Polsce utożsamiane z transportem o charakterze bardziej regionalnym – chociażby z przyczyn ekonomicznych. Istniejące w aktach prawnych definicje także nie są precyzyjne. W opracowaniu European Rail Research Advisory Council koleje podmiejskie/aglomeracyjne obejmują swoim zasięgiem podróż o maksymalnej długości – 15 km i 30 min podróży. W dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady UE – są to usługi przewozowe, których głównym celem jest zaspokojenie potrzeb transportowych ośrodka miejskiego lub konurbacji, w tym konurbacji transgranicznej, a także potrzeb transportowych na trasie między ośrodkiem miejskim lub konurbacją a otaczającymi je obszarami. Urząd Transportu Kolejowego natomiast podaje, że przewozy aglomeracyjne i podmiejskie „mają na celu zaspokaja-

nie potrzeb transportowych dużego ośrodka miejskiego/konurbacji/obszaru metropolitalnego, jak również potrzeb transportowych pomiędzy takim ośrodkiem i sąsiednimi obszarami” [2].

Koleje aglomeracyjne, z uwagi na swój cel, służą przede wszystkim osobom zamieszkującym sąsiadujące z aglomeracją obszary, dojeżdżającym do pracy w większym ośrodku miejskim, a także zaspokajają potrzeby transportowe wewnątrz aglomeracji, służąc jako szybki i pewny środek transportu, niezależny od kongestii w ruchu drogowym i przede wszystkim szybszy niż samochód czy autobus. Połączenia kolei aglomeracyjnych są silnie powiązane z siecią komunikacji miejskiej i umożliwiają szybką i efektywną zmianę środka transportu [5]. Za główną przyczynę sukcesu przewozów aglomeracyjnych uznano ich integrację z transportem publicznym w miastach, która przebiega na różnych płaszczyznach: technicznej – budowa zintegrowanych węzłów przesiadkowych, systemów informacji wizualnej i elektronicznej, organizacyjnej – systemy wspólnego biletu, uzgadnianie tras, skoordynowanie rozkładów jazdy itp., handlowej – wspólna dystrybucja usług (informacja, odprawa handlowa). Funkcję integracyjną różnych środków transportu publicznego powinny spełniać dworce kolejowe w dużych aglomeracjach, w zależności od lokalnych uwarunkowań – usytuowania dworców i układu sieci transportu publicznego oraz dróg kołowych [1]. W obszarze terenów luźniejszej zabudowy podmiejskiej, okolicznych mniejszych ośrodków miejskich i osiedli, często możliwe jest także wygodne dotarcie na stację własnym samochodem lub rowerem i bezpieczne pozostawienie ich przy stacji/przystanku kolejowym (system Park & Ride) [5].

Koleje aglomeracyjne to nadal nowy temat w Polsce, warto jednak zauważyć, że liczba podróżnych korzystających z usług kolei rośnie, ponie-

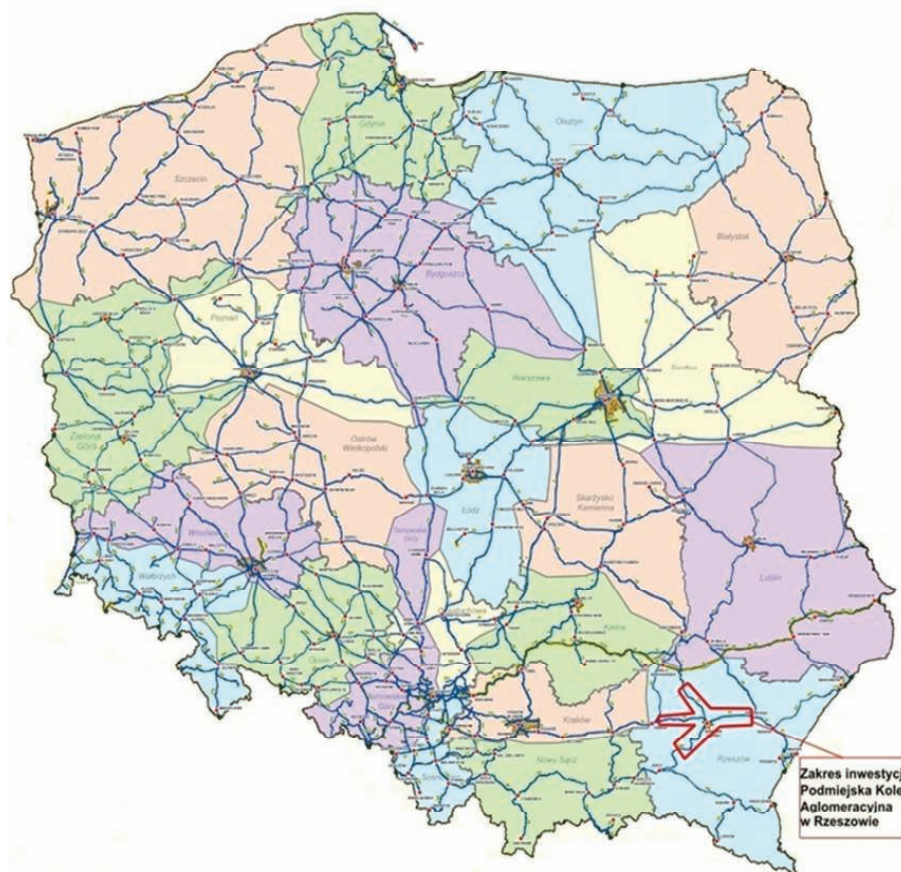
waż ruch samochodów osobowych jest utrudniony na drogach przez liczne „korki”, co zniechęca właścicieli tych pojazdów do codziennej jazdy w obrębie aglomeracji, a to powoduje atrakcyjność transportu kolejowego. Rozbudowywane są sieci połączeń kolejowych, do eksploatacji wprowadzany jest nowoczesny tabor, zwiększana jest częstotliwość kursowania pociągów. Na wzrost popytu na przejazd aglomeracyjny ma wpływ poprawa image kolei, przede wszystkim ze względu na sukces oferty podróży międzyregionalnej pociągami dużych prędkości [8].

Ponadto do zalet kolei aglomeracyjnej należy: krótki czas podróży, w tym także możliwość wykorzystania czasu podróży na pracę lub odpoczynek; dużą częstotliwość kursowania pociągów, zwłaszcza w ruchu regionalnym i aglomeracyjnym; przewozy w systemie od drzwi do drzwi, tzn. dobre skomunikowanie z innymi pociągami i współpraca z innymi środkami transportu; koszt podróży adekwatny do

oferowanej jakości i możliwości klienta; dostępność informacji poprzez nowe media, takie jak: Internet, nośniki elektroniczne, bezpłatne infolinie; system nagłośnienia wewnątrz pojazdu, który jest wykorzystywany nie tylko do przekazywania komunikatów o kolejnych przystankach, stacjach i ewentualnie dalszych połączeniach, ale także do przekazywania innych informacji [8].

Podmiejska kolej aglomeracyjna w województwie podkarpackim – założenia i opis projektu

W celu poprawy dostępności komunikacyjnej aglomeracji rzeszowskiej i zaspokojenia potrzeb transportowych jej mieszkańców, opracowano projekt budowy podmiejskiej kolei aglomeracyjnej. Realizację działań poprzedziły wstępne konsultacje, które zostały przeprowadzone z jednostkami samorządu terytorialnego, przewoźnikami oraz pozostałymi interesariuszami przedmiotowego projektu [7].



1. Usytuowanie projektu na tle mapy Polski

Źródło: Studium wykonalności dla projektu: Budowa Podmiejskiej kolei Aglomeracyjnej – PKA”

Projektowana inwestycja zlokalizowana jest w województwie podkarpackim, w powiatach: dębicki, rzeszowski, łańcucki, przeworski, kolbuszowski oraz strzyżowski i stanowi przykład rozwiązania coraz częściej stosowanego w Polsce. Zasięg i usytuowanie inwestycji na tle kraju pokazano na rysunku 1.

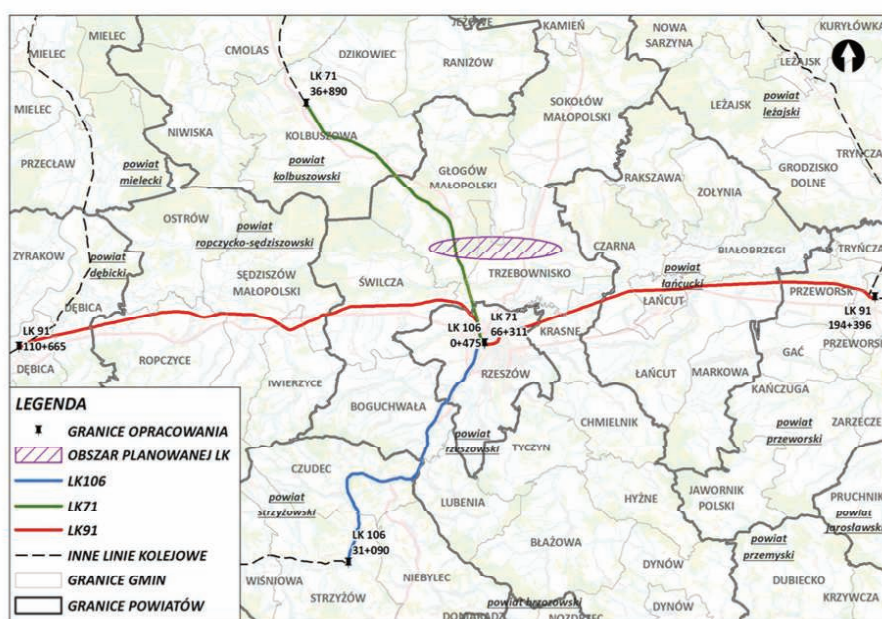
Projekt obejmie swym obszarem gminy zlokalizowane w obrębie linii kolejowych biegnących od Dębicy do Przeworska oraz od Kolbuszowej po Strzyżów. Na terenie tych gmin zostanie rozbudowana infrastruktura okółprzystankowa i dojazdowa do dworców i stacji kolejowych. Inwestycja dotyczy projektu liniowego w zakresie dobudowy nowych torów mijanek oraz budowy toru do Portu Lotniczego Rzeszów – Jasionka oraz zawiera w sobie wiele elementów punktowych w zakresie przebudowy lub budowy infrastruktury przystankowej [7].

Dla projektu opracowano kilka wariantów inwestycyjnych wraz z prognozami ruchu pasażerskiego do 2050 roku. Pierwszy z nich to wariant bezinwestycyjny - tzw. wariant „0”. Scenariusz bezinwestycyjny zakłada, co do zasady, utrzymywanie obecnych parametrów technicznych infrastruktury kolejowej przystankowej w stanie

niepogorszonego, w całym cyklu życia projektu, co przekłada się na cały okres analizy wykonywanej na potrzeby projektu (okres referencyjny). W sytuacji, kiedy niezbędne wydatki na utrzymanie określonych linii kolejowych lub innego elementu infrastruktury kolejowej rosłyby znacząco i jednocześnie nie byłoby pokrycia w budżecie utrzymaniom zarządcy infrastruktury, przyjęto założenie ponoszenia wydatków utrzymaniowych na niezmiennym poziomie od pewnego okresu z jednoczesnym występowaniem, wynikającego z tego, stopniowego pogarszania się stanu technicznego infrastruktury, co będzie prowadzić do obniżania się parametrów eksploatacyjnych infrastruktury, w tym głównie prędkości i przepustowości. Rozważano wariant który zakłada, że w ramach obecnie funkcjonujących na Podkarpaciu Przewozów Regionalnych Sp. z o.o. będzie prowadzony ruch aglomeracyjny z wykorzystaniem obecnie istniejących przystanków kolejowych. Przyjmuje się utrzymanie pracy przewozowej na podobnym poziomie jak w latach poprzednich oraz utrzymanie częstotliwości przewozów kolejowych na obecnym poziomie. Wariant zakła-

da ponoszenie wydatków utrzymaniowych na zbliżonym do obecnego poziomie i obniżanie się parametrów technicznych infrastruktury. Wariant „0” posłuży jako wariant odniesienia w analizach sporządzonych w ramach Studium Wykonalności [6].

Przyjęto również dwa warianty bezinwestycyjne przyjmowane osobno dla zakresu projektu związanego z zakupem taboru kolejowego wraz z budową zaplecza technicznego oraz dla zakresu projektu infrastrukturalnego. Dla zakresu związanego z zakupem taboru kolejowego wraz z budową zaplecza technicznego wariant „0” uwzględnia elektryfikację linii kolejowej nr 71, modernizację linii kolejowej nr 91 na analizowanym odcinku, rewitalizację linii kolejowej nr 106, modernizację stacji Rzeszów oraz pozostałe projekty, których przewidywany termin zakończenia robót przypada do roku 2021. Dla zakresu projektu infrastrukturalnego wariant bezinwestycyjny nie uwzględnia budowy infrastruktury przewidzianej w tym projekcie (uwzględnia za to infrastrukturę wybudowaną do roku 2021 w pozostałych projektach), natomiast uwzględnia ruch pociągów związany z uruchomieniem PKA - liczba pociągów PKA w wariantie bezinwestycyjnym infrastrukturalnym oraz inwestycyjnym jest zmienna i zakłada wdrożenie PKA w 2 fazach - od 2021r. w całości na linii 91 i częściowo na 71 i 106 i od 2023r. w pełnej wielkości na liniach 106, 71 i lotniskowej. W wariantie bezinwestycyjnym infrastrukturalnym liczba pociągów PKA uzależniona



2. Zakres geograficzny przebiegu analizowanych odcinków linii nr 71, 91, 106 oraz linii kolejowej do Portu Lotniczego Rzeszów – Jasionka na tle województwa podkarpackiego
Źródło: Studium wykonalności dla projektu: Budowa Podmiejskiej kolei Aglomeracyjnej – PKA

Tab. 1. Odległości w poszczególnych korytarzach transportowych PKA

Korytarz transportowy	Średni odcinek pokonywany na trasie
Dębica-Rzeszów	32 km
Rzeszów-Przeworsk	22 km
Kolbuszowa-Głogów Młp.	13 km
Głogów Młp.-Rzeszów	10 km
Rzeszów-Strzyżów	17 km

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Studium wykonalności dla projektu: Budowa Podmiejskiej kolei Aglomeracyjnej – PKA

Tab. 2. Analiza SWOT dla PKA

Mocne strony	Słabe strony
• zwiększenie przepustowości analizowanych linii kolejowych, • poprawa dostępu, • dostępność transportu kolejowego ze szczególnym uwzględnieniem osób z ograniczoną możliwością poruszania się, • zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko poprzez przejęcie ruchu pasażerskiego przez transport kolejowy z transportu drogowego, • zwiększenie częstotliwości podróży pasażerów koleją poprzez uatrakcyjnienie oferty przewozowej, • skrócenie czasu dojazdu do portu lotniczego w porównaniu ze stanem istniejącym. • poprawa bezpieczeństwa i likwidacja zagrożeń eksploatacyjnych na przejazdach kolejowych.	• wysokie nakłady inwestycyjne na budowę nowych linii kolejowych i przystanków na liniach istniejących, • wysokie koszty zakupu nowoczesnego taboru, • nadal zły wizerunek transportu kolejowego i niski poziom bezpieczeństwa osobistego podróży, • ograniczone możliwości przewozów „od drzwi do drzwi”.
Szanse	Zagrożenia
• polityka UE promująca zrównoważony rozwój transportu, • modernizacja i wymiana taboru podnosząca jakość świadczonych usług, • postępująca kongestia transportowa w miastach obniżająca konkurencyjność pozostałych środków transportu, • podejmowanie działań na rzecz integracji transportu kolejowego z systemem transportu miejskiego i indywidualnego (Park & Ride, Bike & Ride), • tendencja do włączania transportu kolejowego do obsługi portów lotniczych.	• niedostateczny popyt, niższy od prognozowanego, • inwestycje poprawiające stan infrastruktury drogowej w aglomeracjach, • silne przywiązanie części społeczeństwa do poruszania się samochodem.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Studium wykonalności dla projektu: Budowa Podmiejskiej kolei Aglomeracyjnej – PKA”

jest od przepustowości na poszczególną linię. Wariant ten zakłada taką liczbę pociągów PKA, która może przejechać w obecnej przepustowości. Pozostałe pociągi uwzględnione są w wariantcie inwestycyjnym [6].

W wariantcie 1 - inwestycyjnym - przyjęto, że powstaje pełna wersja PKA. Powstają nowe przystanki, przebudowane są obecne i dostosowane do obecnych i przyszłych potrzeb przewozowych. Powstaje linia kolejowa do Portu Lotniczego Rzeszów – Jasionka. Powstaje zaplecze techniczne do obsługi technicznej i bieżącego utrzymania taboru na stacji Rzeszów Staroniwa.

Wokół przystanków powstają zintegrowane z innymi rodzajami transportu parkingi park and ride. Powstają nowe drogi dojazdowe do przystanków, nowe chodniki i dojścia do peronów. Dla potrzeb PKA zostaje zakupiony nowy tabor kolejowy. PKA działa w formule funkcjonowania wybranego w drodze przetargu operatora.

Wariant 2 natomiast różni się od wariantu 1 sposobem funkcjonowania PKA. Organizacyjnie PKA funkcjonuje jako niezależna spółka z o.o.,

właścicielem której jest Województwo Podkarpackie oraz jednostki samorządu terytorialnego. Należy nadmienić, że oprócz powyższych wariantów administracyjno – prawnych funkcjonowania PKA Wykonawca zdefiniował dwa podwarianty techniczne (PWT1 i PWT2).

Sieć komunikacyjna PKA ma charakter policentryczny wokół Rzeszowa. Zarówno sieć kolejowa jak i sieć drogowa jest usytuowana w tych samych korytarzach komunikacyjnych. Na rysunku 2 pokazano dokładny układ PKA z oznaczeniem kolorystycznym poszczególnych odcinków wraz z wskazaniem terenu planowanej linii do portu lotniczego [6].

W tabeli 1 podano docelowe średnie odległości pokonywane w korytarzach transportowych po uruchomieniu PKA.

Elementami uzupełniającymi system będą: parkingi Park & Ride w wyznaczonych lokalizacjach dla samochodów osobowych i rowerów, komunikacja dowozowa (autobusów o charakterze miejskim lub podmiejskim kursujących do/od linii kolejowych) do pociągów PKA, finansowana

przez miasta powiatowe i pełniące dodatkowo funkcje miastotwórczą dla danych ośrodków, wspólny bilet na przejazd (bilety strefowe obejmujące pociągi PKA i komunikację miejską), docelowo także komunikację regionalną autobusową, zintegrowana informacja pasażerska w czasie rzeczywistym obejmująca wszystkie elementy łańcucha podróży (pociąg+autobus) pod względem rozkładów jazdy, ich tabelarycznej wersji, taryfy i praw pasażera [6]. Dla inwestycji opracowano także analizę SWOT.

Warto nadmienić, że w projekcie zastosowane zostaną nowoczesne rozwiązania technologiczne, m. in.: System Dynamicznej Informacji Pasażerskiej (SDIP), którego elementami składowymi są: system wyświetlaczy informacyjnych i system rozgłoszeniowy a także System Monitoringu Wizyjnego (SMW). Zarówno projekt, jak i zastosowana technologia zmienią w znaczący sposób krajobraz obszarów oraz codzienne życie i zachowania ludzi w przestrzeni planowanej inwestycji. Projekt ma zostać ukończony w 2022 roku [6].

Podsumowanie

Dostępność transportowa obszarów podmiejskich i gmin należących do obszarów metropolitalnych ulegnie znaczącej poprawie, gdy będą one połączone z rdzeniem metropolii koleją aglomeracyjną. Kolej aglomeracyjna spełnia istotną funkcję czynnika stymulującego rozwój społeczno-gospodarczy regionu, ma również znaczenie dla kulturalnego i intelektualnego rozwoju społeczeństwa.

Rozwój połączeń kolejowych i infrastruktury kolejowej wraz z transportem miejskim są ponadto intensywnie wspierane strategicznie i finansowo unijną polityką transportową, kładącą nacisk na ograniczanie emisji gazów cieplarnianych, a także negatywnych efektów kongestii drogowej przy jednoczesnym podnoszeniu jakości życia w miastach, rewitalizacji ich centrów i

ograniczaniu ich rozlewania się na terenach wokół miast [5].

Projekt utworzenia systemu Podmiejskiej Kolei Aglomeracyjnej w województwie podkarpackim jest istotnym czynnikiem stymulującym rozwój regionu. Kolej aglomeracyjna pozwoli na skrócenie czasu jazdy, poprawę oferty przewozowej i zwiększenie dostępności do transportu kolejowego na obszarze aglomeracji rzeszowskiej a tym samym usprawni mobilność społeczeństwa. Ponadto zmniejszenie wolumenu przewozów drogowych na rzecz transportu kolejowego, zneutralizuje negatywny wpływ transportu na środowisko przyrodnicze. Do zalet realizowanego projektu warto także zaliczyć [6]:

- bezpośrednie połączenie centrum miasta z portem lotniczym Rzeszów-Jasionka,
- zintegrowanie projektu z komunikacją miejską oraz komunikacją dowozową,
- zapewnienie mieszkańcom dostępności przestrzennej, czyli możliwości korzystania z różnych obiektów i instytucji umożliwiających realizację aktywności życiowej człowieka,
- zwiększenie przepustowości analizowanych linii kolejowych, poprawa dostępności transportu kolejowego ze szczególnym uwzględnieniem osób z ograniczoną możliwością poruszania się,
- zmniejszenie różnic społecznych i gospodarczych pomiędzy obywatelami Unii Europejskiej.

Powyższe czynniki pozwalają na pozytywną ocenę realizacji planu podmiejskiej kolei aglomeracyjnej w województwie podkarpackim. W przyszłości inwestycja przyczyni się do ograniczenia nadmiernego ruchu na drogach, zmiany dotychczasowych przyzwyczajeń transportowych społeczeństwa oraz poprawy stanu środowiska naturalnego w regionie. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Biała Księga. Mapa problemów polskiego kolejnictwa. Forum Kolejowe – Railway Business Forum, Warszawa-Kraków, grudzień 2009, s. 45.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/34/UE z dnia 21 listopada 2012 r. w sprawie utworzenia jednolitego europejskiego obszaru kolejowego. Dz. Urz. WE L347 z 14.12.2012, s. 32-77.
- [3] Koźlak A., 2013, Kolej aglomeracyjna jako podstawa systemu komunikacyjnego obszarów metropolitalnych w Polsce, Studia Ekonomiczne: zeszyty naukowe wydawnictwa Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, nr 143, s. 172-185.
- [4] Makuch J., 2018, Działania niezbędne dla uruchomienia atrakcyjnego systemu kolei aglomeracyjnej na przykładzie Wrocławia, „Przegląd Komunikacyjny”, nr 6, s. 22-28.
- [5] Raczyńska-Buława E., 2015, Systemy kolei aglomeracyjnych w Polsce, „Systemy transportowe”, nr 7-8, s. 37-45.
- [6] Studium wykonalności dla projektu: Budowa Podmiejskiej kolei Aglomeracyjnej – PKA”, Etap II – Analiza marketingowa wariantów inwestycyjnych, Lipiec 2017.
- [7] Studium wykonalności dla projektu: Budowa Podmiejskiej kolei Aglomeracyjnej – PKA”, Etap III – Analiza techniczna wszystkich wariantów inwestycyjnych projektu wraz z oszacowaniem kosztów, Maj 2017.
- [8] Toruński J., 2009, Jakość usług transportowych w przewozach pasażerskich, Zeszyty Naukowe Akademii Podlaskiej w Siedlcach, nr 82, s. 23-42.

Zielona Góra. Miasto z kolejnymi milionami złotych na autobusy elektryczne. Ile nowych pojazdów zyskamy? Co jeszcze powstanie?

Natalia Dyjas, Gazeta Lubuska, 3.02.2020

Dzięki dofinansowaniu w Zielonej Górze będzie mogła powstać pętla autobusowa na os. Mazurskim, nie zabraknie tutaj stacji do ładowania autobusów elektrycznych. I kolejnych autobusów na prąd. A dokładnie – 12. Pod koniec minionego tygodnia w ministerstwie infrastruktury podpisano umowę związaną z dofinansowaniem projektu „Elektryfikacja linii komunikacji miejskiej w Zielonej Górze” (...). Dzięki wielomilionowemu dofinansowaniu miasto zyska 4 nowe autobusy przegubowe i 8 pojazdów 12-metrowych. Oprócz tego powstanie pętla autobusowa na os. Mazurskim, zamontowana będzie stacja ładowania autobusów elektrycznych. Uda się też wybudować drogę dojazdową do tej pętli wraz z przebudową odcinka ul. Giżyckiej (...).

Full serwis informacyjny na przystanku, w pracy czy w smartfonie ułatwi korzystanie z miejskiej komunikacji w Poznaniu

Bogna Kisiel, Głos Wielkopolski, 31.01.2020

Kolejne tablice informacji pasażerskiej, ekrany LED pod Kaponierą, które poinformują, z którego przystanku najlepiej skorzystać, totemy na Dębcu i Ogrodach, bezpłatne przygotowanie wirtualnych paneli informacyjnych z rozkładem jazdy on-line – to tylko niektóre z nowości, mające ułatwić korzystanie z komunikacji miejskiej w Poznaniu.

Transport publiczny w Poznaniu ma być najbardziej efektywny w kraju. W osiągnięciu tego celu ma pomóc plan działań – ABC, który na trzech kolejnych spotkaniach przybliżył Mariusz Wiśniewski, zastępca prezydenta (...).

Dynamiczna interakcja wojskowych statków powietrznych pracujących na lotniskowej nawierzchni wykonanej z betonu cementowego

Dynamic interaction of military aircraft working on an cement concrete airfield pavement



Piotr Nita

Prof. dr hab. inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych

piotr.nita@itwl.pl

Streszczenie: W publikacji przedstawiono wyniki badań i analizę oddziaływania wojskowych statków powietrznych na lotniskową nawierzchnię wykonaną z płyt wstępnie sprężonych. W eksperymencie wykorzystano trzy typy statków powietrznych tj: samolot TS 11 ISKRA, samolot SU 7 BM oraz samolot SU-22 M4. W badaniach poligonowych wykorzystano geofizyczne metody pomiaru dynamicznych własności konstrukcji nawierzchni lotniskowej. W oparciu o nieliczne, możliwe do wykorzystania metody pomiaru drgań tego rodzaju konstrukcji, dokonano rejestracji poziomu drgań nawierzchni wywołanych przez pracujące na tej nawierzchni statki powietrzne. Badania prowadzono dla różnych poziomów siły ciągu statków powietrznych, dokonano oceny stopnia szkodliwości wpływu generowanych drgań na nawierzchnię przez źródła wymuszeń jakimi były wymienione wyżej statki powietrzne. Z uwagi na to, że przeprowadzone badania były jednymi z pierwszych wykonanymi w kraju, a badania takie należą do rzadkości, nie spotyka się publikacji poświęconych tej problematyce również w literaturze zagranicznej. Dlatego brakuje miarodajnych i wiarygodnych kryteriów oceny wpływu drgań na te konstrukcje. W ocenie zjawisk dynamicznych poprzez analogię wykorzystano metody oceny i kryteria odniesione do obiektów budownictwa ogólnego. Najczęściej wykorzystywane kryteria do oceny oddziaływań dynamicznych mają z podstawę kryterium prędkości drgań. W publikacji dokonano oceny wpływu w oparciu o następujące kryteria: skali wibratorów, skali SWD i skali Zellera.

Słowa kluczowe: Statek powietrzny; Nawierzchnia lotniskowa z betonu cementowego; Częstotliwość

Abstract: The publication presents test results and analysis of the impact of military aircraft on an airport pavement made of pre-stressed panels. Three types of aircraft were used in the experiment, i.e. TS 11 ISKRA aircraft, SU 7 BM aircraft and SU-22 M4 aircraft. In the field tests, geophysical methods were used to measure the dynamic properties of the airport pavement structure. Based on the few vibration measurement methods of this type of construction that can be used, the vibration level of the pavement caused by the aircraft operating on that surface was recorded. The tests were carried out for various levels of aircraft thrust, the degree of harmfulness of the impact of generated vibrations on the pavement by sources of excitement, which were the above-mentioned aircraft, was assessed. Due to the fact that the research was one of the first to be carried out in the country, and such research is rare, there are no publications devoted to this issue also in foreign literature. Therefore, there are no reliable and credible criteria for assessing the impact of vibrations on these constructions. In the assessment of dynamic phenomena, by analogy, assessment methods and criteria related to general construction facilities were used. The most frequently used criteria for assessing dynamic interactions are based on the vibration speed criterion. The publication carried out an impact assessment based on the following criteria: vibrator scale, SWD scale and Zeller scale.

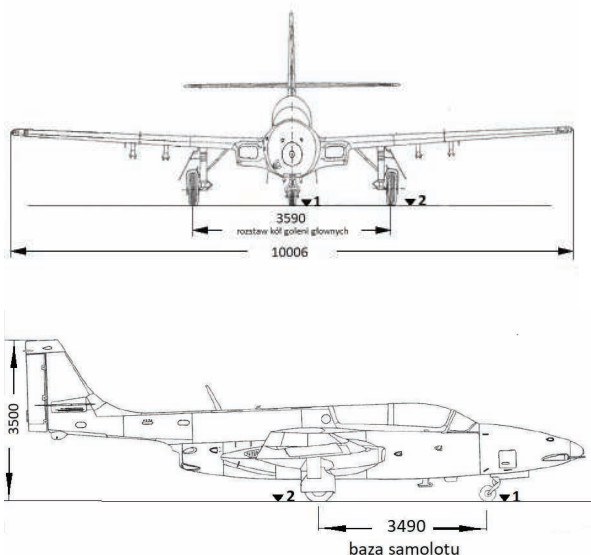
Keywords: Aircraft; cement concrete Airfield pavement; Frequency

Wstęp

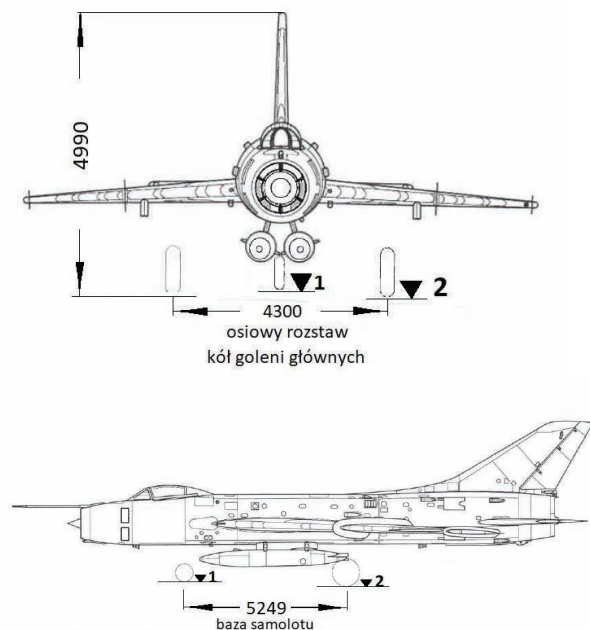
Nawierzchnie lotniskowe wykonane z betonu cementowego poddawane są cyklicznym i doraźnym oddziaływaniom, których pochodzenie jest konsekwencją wielorakich oddziaływań statku powietrznego na nawierzchnię. Do tego rodzaju oddziaływań należą oddziaływania

dynamiczne. W tej publikacji rozpatrzono stan oddziaływań statków powietrznych na nawierzchnię stojących na niej samolotów. Ten rodzaj drgań ma złożony charakter i wyraża się oddziaływaniami charakterze mechanicznym, akustycznym, termicznym i innymi, które mają charakter turbulentny o dużej intensywności. Skala oddziaływań statków

powietrznych na nawierzchnię jest następstwem ich rozwiązań konstrukcyjnych, głównie wielkości ciągu jednostki napędowej i czasu pracy statku powietrznego na różnych zakresach mocy i sposobu przekazywania obciążenia na nawierzchnię oraz rozwiązań układu konstrukcyjnego nawierzchni.



1. Samolot TS-11 ISKRA w badaniach oddziaływań dynamicznych na nawierzchnię lotniskową



2. Samolot SU-7-BM w badaniach oddziaływań dynamicznych na nawierzchnię lotniskową

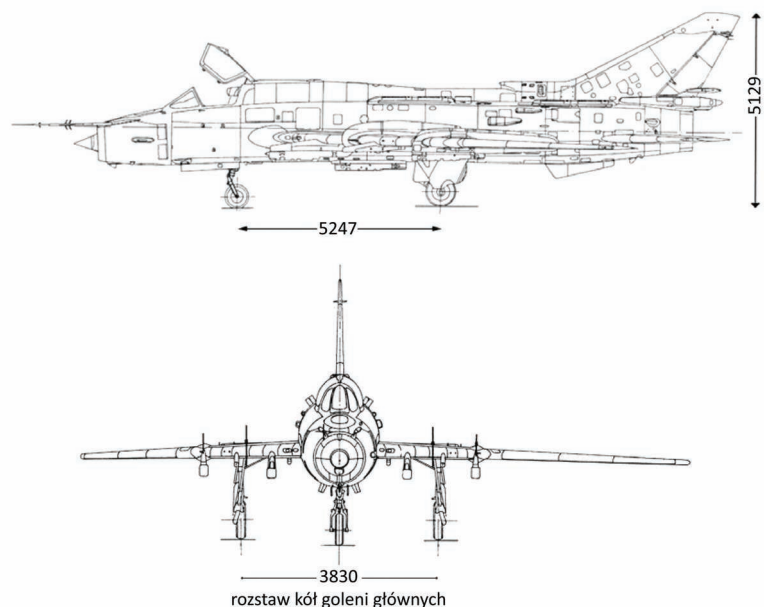
Metoda poligonowych badań dynamicznych

Badania dynamicznego oddziaływania statków powietrznych na nawierzchnię wykonano na eksperymentalnym fragmencie płaszczyzny prób silników. Źródłem dynamicznych wymuszeń były dwa typy statków powietrznych tj. TS 11 Iskra oraz SU-7-BM i SU-22M4. Podstawowe charakterystyki tych statków powietrznych mających wpływ na generowane oddziaływania są następujące: dla samolotu TS 11 Iskra, wielkość siły ciągu 795 dkN i masa startowej 3834 kg, dla samolotu SU-7- BM, wielkość siły ciągu 6865 dkN i masie startowej 13954 kg. SU-22 M4 wielkość siły ciągu 7500 dkN (z ewentualnym dopalaczem 11700dkN) i masie startowej 19500 kg. Sylwetki geometryczne i ich wymiary przedstawiono na rys. 1, 2, 3.

Badania prowadzono na betonowej, eksperymentalnej nawierzchni wykonanej z płyt sprężonych o grubości 14,0 cm, które ułożono na dwóch rodzajach podbudowy tj.

- podbudowy wykonanej z betonu C 8/10 (wcześniej B 100),
- podbudowy gruntowej z warstwą wyrównawczą z zagęszczonego piasku. Ciśnienie w ogumieniu kół wynosiło: dla kół w goleni głównej około 1,5 MPa w goleni dziobowej około 1,1 MPa.

Zasadniczym celem realizowanej pracy było sprawdzenie poprawności rozwiązania konstrukcyjnego nawierzchni zbudowanej z płyt sprężonych i reakcji takiej nawierzchni na dynamiczne oddziaływania pracujących na niej samolotów. W celu uzyskania miarodajnych, dynamicznych charakterystyk nawierzchni, wykorzystano metodę sejsmiczną, której istotą jest możliwość wyznaczenia wielkości propagacji fal sprężystych



3. Samolot SU-22 M4 w badaniach oddziaływań dynamicznych na nawierzchnię lotniskową
Oznaczenia 1, 2, 3 dotyczą miejsc lokalizacji geofonów pomiarowych dla wszystkich typów statków powietrznych wykorzystanych w badaniach. Wymiary samolotów podano w cm.

w złożonym ośrodku warstwowym. Dynamiczna, falowa charakterystyka układu samolot – nawierzchnia polegała na; wyznaczeniu prędkości propagacji fal, częstotliwości drgań i wielkości tłumienia. W celu oceny charakteru zjawiska wyznaczono: maksymalne amplitudy i dominującą częstotliwość drgań. W pomiarach uwzględniono przede wszystkim pionowe składowe obciążenia. Rejestratorami drgań były elektrodynamiczne geofony o częstości drgań

własnych 10 Hz. Aparatura rejestrująca to zestaw urządzeń ASI-415. Charakterystyczne wielkości urządzenia rejestrującego to:

- pasmo rejestrowanych częstotliwości 2,5 do 1200 Hz,
- dynamika regulacji wzmocnienia 66 dB. Geofony wstawiono w miejscach zaznaczonych na rys. **1, 2, 3** oraz w osi samolotu w odległościach około 3,0 m od siebie w linii prostej.

Pomiary prowadzono przy narastającej dynamice obciążenia według następujących zasad:

- rozruch, siła ciągu silnika około 5% ciągu maksymalnego,
- mały gaz, siła ciągu silnika około 10% ciągu maksymalnego.
- stan eksploatacyjny, siła ciągu wynosiła około 45-58 % ciągu maksymalnego,
- stan maksymalny możliwy do zrealizowania w warunkach poligonowych, siła ciągu około 95% ciągu maksymalnego.

Dla każdego stanu. wykonano pomiary charakterystyk drganiowych zespołu statku powietrznego i badanej nawierzchni. Wyniki pomiarów rejestrowano na kliszy fotograficznej.

Wyniki badań uzyskane w pomiarach poligonowych

Przeprowadzone badania pozwoliły na rejestrację fali podłużnej rozchodzącej się pod nawierzchnią w warstwie podbudowy, które jak wcześniej sygnalizowano miały zróżnicowane charakterystyki materiałowe. Z analizy prędkości fali podłużnej w warstwie podbudowy niezależnie od rodzaju warstw nie zaobserwowano znaczących różnic w ich przebiegi tzn. ich prędkości. Prędkość sprężystej fali podłużnej wynosiła od 1800 do 1900 m/s. Należy mieć na uwadze to, że pomiary dynamicznego oddziaływania statków powietrznych na nawierzchnie lotniskowe były pierwszymi w kraju. Do chwili obecnej brakuje racjonalnych kryteriów oceny takich oddziaływań.

Krajowe dokumenty normalizacyjne dotyczą budynków i budownictwa ogólnego i dla tego rodzaju obiektów opracowano normę, która w 2016 była uaktualniona i obecnie funkcjonuje w wersji PN-B -02170:2016-12 pt. „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki”. Właśnie ta norma stanowiła poziom odniesienia do wyników uzyskanych w badaniach. Pomierzone amplitudy prędkości drgań przeliczono na amplitudy przemieszczeń według następującej zależności:

$$A_w = A_v / 2f \quad (1)$$

$$A_a = 2A_v f \quad (2)$$

gdzie: A_a - amplituda przyspieszenia, A_v - amplituda prędkości, A_w - amplituda przemieszczenia, f - częstotliwość.

Analizując charakter oddziaływań statków powietrznych na nawierzchnie lotniskową mamy do czynienia z drganiami parasejsmicznymi, które charakteryzują się niestacjonarnym procesem losowym. Badając tej klasy oddziaływania oznacza to, że w zagadnieniach tej klasy, wymagane jest indywidualne podejście i szczegółowa analiza zjawisk, która uzyskany wynik uczyni bardziej wiarygodnym. W zależności od poziomu pracy silników, zmianie ulegały amplitudy prędkości drgań. Największe ampli-

tudy zarejestrowano przy najwyższym poziomie pracy silników, zbliżonym do reżimu przedstartowego. Amplitudy prędkości drgań w początkowym stadium pracy silnika są prawie o rząd wielkości mniejsze od otrzymanych z rejestracji gdy silnik samolotu wykazywał maksymalny ciąg bliski reżimowi przedstartowemu. Zarejestrowane amplitudy prędkości drgań A , pozwalają na dokonanie podziału wg. następujących grup:

- największe drgania $A > 0,200$ mm/s,
- drgania średnie $0,200 > A > 0,100$ mm/s,
- małe drgania $0,100 > A > 0,060$ mm/s,
- bardzo małe drgania $0,060$ mm/s $> A$.

Uzyskane wyniki pomiarów poligonowych zamieszczono w tabeli **1**.

Analizując i porównując charakterystyki, wykorzystanych w eksperymentach statków powietrznych można stwierdzić, że:

- częstotliwość drgań wywołanych przez statki powietrzne na nawierzchni o tej charakterystyce konstrukcyjnej niewiele różnią się między sobą. Nieco większe amplitudy wystąpiły w przypadku samolotu cięższego SU-7-BM i SU-22 M4,
- w badaniach nie wyróżniono istotnych rozbieżności w zależności od rodzaju podbudowy i

Tab. 1. Rozkład zarejestrowanych drgań nawierzchni w poszczególnych grupach w zależności od konstrukcji nawierzchni i pracującego samolotu

Rodzaj statku powietrznego	Układ konstrukcyjny nawierzchni na, którym dokonano pomiarów	Wielkość zarejestrowanych amplitud w mm/s			
		$A > 0,200$	$0,200 > A > 0,100$	$0,100 > A > 0,060$	$A > 0,060$
TS-11-ISKRA	Zagęszczone podłoże piaszczyste, płyta sprężona gr. 14,0 cm	0,24	0,41	0,32	0,03
	Podbudowa betonowa, nawierzchnia z płyt sprężonych	0,25	0,51	0,13	0,11
SU-7 -BM	Zagęszczone podłoże piaszczyste, płyta sprężona gr. 14,0 cm	0,25	0,70	0,02	0,03
	Podbudowa betonowa nawierzchnia z płyt sprężonych	0,37	0,22	0,37	0,04
SU-22 M4.	Zagęszczone podłoże piaszczyste, płyta betonowa	0,41	0,68	0,48	0,07

podłoża gruntowego. Zarejestrowane maksymalne amplitudy prędkości drgań są następujące dla wykorzystanych w eksperymencie statków powietrznych:

- o dla samolotu TS – 11 – Iskra,
 - pracującego na podłożu z piasku zagęszczonego $A_{\max} = 0,244 \text{ mm/s}$ i $f = 99 \text{ Hz}$,
 - pracującego na podłożu z betonu klasy C8/10 $A_{\max} = 0,24 \text{ mm/s}$ i $f = 126,2 \text{ Hz}$,
- o dla samolotu SU-7-BM,
 - pracującego na podłożu z piasku zagęszczonego $A_{\max} = 0,239 \text{ mm/s}$ i $f = 189 \text{ Hz}$,
 - pracującego na podłożu z betonu klasy C8/10 $A_{\max} = 0,826 \text{ mm/s}$ i $f = 79,2 \text{ Hz}$.
- o dla samolotu SU-22 M4 na podłożu z betonu C 25/30 (dawniej B 25).

Stwierdzono występowanie drgań o niskich częstotliwościach o zakresie od 60 do 400 Hz i drgań o częstotliwościach wyższych tj. 600 do 1200 Hz. W grupie drgań o niskich częstotliwościach występowały drgania: dla samolotu TS-11-Iskra - $f = 187 \text{ Hz}$, dla samolotu SU-7-BM - $f = 79 \text{ Hz}$, dla samolotu SU-22 M4 - $A_{\max} = 1,93 \text{ mm/s}$ oraz $f = 125 \text{ Hz}$.

W grupie drgań o wysokich częstotliwościach dla obu samolotów zarejestrowane częstotliwości były zbliżone i wynosiły około 1260 Hz. Największe amplitudy drgań zarejestrowano przez geofony zlokalizowane w bezpośredniej bliskości goleni głównej statków powietrznych. Najmniejsze amplitudy zarejestrowano w geofonach usytuowanych bezpośrednio przy kole dziobowym samolotu. W badaniach nie stwierdzono zależności rozkładu amplitud prędkości od ustawienia kół samolotów w stosunku do osi symetrii elementu (płyty).

Interpretacja wyników badań poligonowych

Interpretując uzyskane wyniki badań poligonowych pod kątem ich szkodliwego wpływu na nawierzchnię

lotniskową, wykorzystano krajową normę PN-85/B-02170 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoża na budynki oraz jej nowsza wersja PN-B – 02170: 2016 -12 (z późniejszymi zmianami). Wykorzystując tę normę autor miał świadomość tego, że ocena konstrukcji nawierzchni lotniskowej zgodnie z wymienioną normą jest tylko pewną analogią do zjawisk drgań i ich skutków występujących a w obiektach kubaturowych. Dla obiektów budownictwa komunikacyjnego brakuje odpowiednich aktów normatywnych, choć wiele szczegółowych opracowań przygotowano między innymi dla: budowanego metra, obiektów mostowych, i innych. Oceniając szkodliwość wpływu drgań na nawierzchnię lotniskową zastosowano następujące kryteria:

- amplitud prędkości drgań,
- amplitud przyspieszeń – skala SWDI,
- wskaźników wstrząsów – skala Zeller,
- współczynników mocy wstrząsów – skala wibratorów. W praktyce najczęściej spotyka się skale, które za podstawę mają kryterium prędkości drgań. Według wielu autorów, krytyczne prędkości drgań powyżej, których występują uszkodzenia budowli wynoszą: dla budynków mieszkalnych według autorów Dworzaka i Sadowskiego 100 mm/s, dla budynków przemysłowych według Morrisa 40 mm/s, Kohlera 5 mm/s. Niektórzy z badających zagadnienie propagacji fal w ośrodkach złożonych do których można zaliczyć układ sprzężony podbudowa i podłożo gruntowe, określają prędkość drgań na poziomie 2 mm/s.

Analiza własna zagadnienia według, której maksymalna prędkość drgań wynosi 0,826 mm/s i porównanie jej wyników z propozycjami przytoczonych autorów jest zdecydowanie rozbieżna i jest niższa niż propozycje przytoczone wyżej. W dalszej

analizie w celu porównania uzyskanych rezultatów z innymi kryteriami przeliczono amplitudy prędkości na przyspieszenia według następujących skal: SWD-1 (Skala Wstrząsów Dynamicznych), skala Zeller – skala wskaźników wstrząsów i skala mocy wstrząsów (skala wibratorów). Obliczone wielkości są następujące:

1. Skala SWD-1. Przedział obliczonych przyspieszeń $b = (0,596 - 15,176 \text{ cm s}^{-2})$ drgania te nie są groźne dla budynku. Dla maksymalnych przyspieszeń $b_{\max} = 41,00 \text{ cm s}^{-2}$, drgania rejestrowane dla budynku lecz nie groźna z punktu widzenia jego trwałości. Wyznaczono wielkości amplitud prędkości drgań i przyspieszeń z zależności (2).
2. Skala Zeller Dla maksymalnych wartości $\max = 21,28 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-3}$ – drgania słabe. Pozostałe wartości mieszczą się w granicach drgań nieodczuwalnych. Ocen dokonano wykorzystując zależność (3).

$$\chi = A_u^2 / f \quad (3)$$

w którym: A_u – amplituda przyspieszeń drgań w mm s^{-2} , χ – wskaźnik wstrząsu w $\text{mm}^2 \text{ s}^{-3}$, f – częstotliwość drgań Hz.

3. Skala wibratorów – skala ocen przyspieszeń i częstotliwości drgań jest kompilacją tych zjawisk – informuje o wrażliwości budowli na wstrząsy. Maksymalne wartości współczynnika mocy wstrząsów $S_{\max} = 23,22$ klasyfikuje zjawisko jako drgania słabe, bez uszkodzeń budowli, jednak po dłuższym okresie czasu zaobserwować można pojawienie się pierwszych mikrorys w budowlu. Współczynnik mocy wstrząsów wyznaczono z zależności (4).

$$S = 10 \log \cdot \Theta / \Theta_0 \quad (4)$$

w którym: Θ – jest wskaźnikiem mocy wstrząsów w $\text{cm}^2 \text{ s}^{-3}$, Θ_0 – jest porównawczym wskaźnikiem wstrząsów dla rozpatrywanej budowli, jego wartość można przyjąć jako 0,1 $\text{cm}^2 \text{ s}^{-3}$.

W celu określenia uwielokrotnienia

przemieszczeń pod wpływem oddziaływań dynamicznych statków powietrznych obliczono współczynnik uwielokrotnienia. Przyjęto założenie, że płytę z uwagi na dużą sztywność traktuje się jako układ o jednym stopniu swobody, podłoże modelowano sprężyną o określonej sztywności. Współczynnik dynamiczny wyznaczono z zależności (5).

$$K_d = 1/(\sqrt{(1-\beta^2)+4b\beta^2}) \quad (5)$$

w którym: K_d – współczynnik dynamiczny, $\beta = p/\omega$ – p – częstość siły wymuszającej, ω – częstość drgań własnych, b – wielkość tłumienia.

Częstość drgań własnych określono z zależności (6).

$$\omega = 4,98 (K/G)^{1/2} \quad (6)$$

w którym: G – wielkość obciążenia, K – stała sprężyny.

Wyznaczone częstości drgań własnych wynoszą odpowiednio:

- dla płyty na podbudowie betonowej $\omega = 25,89$ Hz,
- dla płyty na podbudowie z piasku zagęszczonego i gruntu $\omega = 16,70$ Hz.

Częstość drgań własnych gruntu wyznaczono z zależności (7).

$$f_z = 1/2\pi \sqrt{(C_z F/m)} \quad (7)$$

w którym: f_z – częstość drgań własnych gruntu, F – pole powierzchni płyty w m^2 , m – masa drgająca, C_z – współczynnik zależny od wymiarów płyty, nacisków na podłoże grunto-we oraz jego charakterystyki.

Wyznaczona częstość drgań własnych podłoża gruntowego wynosiła $f_z = 21,37$ Hz.

Obliczając współczynnik przyjęto wartość częstości drgań siły wymuszającej najbliższej wartości częstości drgań własnych, wynoszą one odpowiednio:

- dla płyt na podbudowie betono-

wej $\beta = 2,43$,

- dla płyt na podłożu piaszczysto-gruntowym $\beta = 3,77$. Dla gruntu rodzimego współczynnik ten wynosi $\beta = 2,97$.

Wpływ tłumienia jest bardzo istotny w obszarze bliskim rezonansu gdy $\beta = 1,0$, w związku z tym obliczone wartości tego współczynnika dla różnych układów konstrukcyjnych nawierzchni są powyżej rezonansu $\beta = 1,0$ w konsekwencji pominięto tłumienie. Przyjmując $b = 0$ wzór na wielkość współczynnika dynamicznego przyjmie postać (8).

$$K_d = 1/(1-\beta^2) \quad (8)$$

Liczbowa wielkość współczynnika dynamicznego dla rozpatrywanej konstrukcji nawierzchni lotniskowej wynosi odpowiednio:

- dla płyt na podbudowie betonowej $K_d = 0,204$,
- dla płyt na podłożu piaszczysto-gruntowym $K_d = 0,076$,
- dla gruntu rodzimego współczynnik wynosi $K_d = 0,130$.

Częstotliwości rezonansowe gruntów mogą zmieniać się wraz z głębokością i dla podłoża gruntowych pod nawierzchnie powinna być określana na poziomie gruntu nośnego, w którym lokalizuje się koryto nawierzchni. Znajomość częstości drgań rezonansowych pozwala uniknąć nadmiernych drgań lub lokalnych osiadań płyty poddanej dynamicznym obciążeniom.

W analizowanym zagadnieniu wyraźnie zaobserwować można znaczący wpływ tłumienia drgań na układ konstrukcyjny nawierzchni. Wraz ze zwiększającą się odległością od źródła drgań ma miejsce obniżanie się wielkości amplitud drgań. Jedną z przyczyn zanikania amplitud wraz z odległością od źródła wymuszeń jest tłumienie geometryczne. Efektem tego jest rozpraszanie energii fal w półprzestrzeni sprężystej. Propagowane fale w ośrodku wraz z ich odległością wykazują zwiększenie się frontu fali i obniżenie gęstości

energii a więc zmniejszenie się amplitud drgań.

Wnioski

Zrealizowany zakres badań oraz ich interpretacja pozwalają na przedstawienie następujących wniosków:

1. Najczęściej występujące amplitudy występują w paśmie o częstotliwościach dla samolotu TS-11- Iskra od 95 do 315 Hz, dla samolotu SU-7-BM od 85 do 270 Hz, dla samolotu SU-22M4 od 62 do 125 Hz.
2. Największe amplitudy zarejestrowano przez czujniki umieszczone bezpośrednio przy kołach goleni głównej.
3. Częstotliwości drgań wywołanych przez statki powietrzne wykorzystane w badaniach nie wykazują zasadniczych różnic. Występujące różnice częstotliwości spowodowane są głównie własnościami fizycznymi
4. i mechanicznymi podłoża gruntowego.
5. Nie stwierdzono istotnych różnic drgań w zależności od rodzaju podbudowy. W analizie zjawiska dostrzeżono różne czynniki, które zwracają uwagę na to, że częstotliwość odpowiadająca maksymalnej amplitudzie drgań podłoża gruntowego i podbudowy betonowej nie jest jedyną miarą zjawiska. Zależy również od rozkładu obciążeń przenoszonych ze statku powietrznego na nawierzchnię, połączenia „sprężenia między pracującymi samolotami a nawierzchnią” jak również –sztywności przestrzennej podłoża i nawierzchni.
6. Maksymalne wielkości amplitud zarejestrowano podczas prasy silników statków powietrznych zbliżonym do przedstartowego reżimu pracy. Amplitudy prędkości są większe dla samolotu o większej masie startowej. Największa z zarejestrowanych amplitud wynosi $A = 193$ mm/s i $f = 125$ Hz, i jest konsekwencją pracy statku powietrznego na „ciągu”

możliwym do uzyskania w próbie poligonowej.

7. Analiza zjawiska dla statków powietrznych pozwala wyróżnić dwa zakresy drgań: o częstotliwościach niskich od 60 do 400 Hz i o częstotliwościach wysokich 600 do 1200 Hz.
8. Obliczone wielkości współczynnika dynamicznego odniesiono do rodzaju zastosowanego układu warstwowego konstrukcji – głównie podłoża gruntowego i podbudowy. Liczbowe wielkości współczynnika dynamicznego zawierają się w granicach $K_d = 0,076$ do $0,204$, są one stosunkowo niskie. Świadczy to o tym, że uwielokrotnienia przemieszczeń jest stosunkowo małe. Związana z tym częstotliwość siły wymuszającej jest powyżej rezonansu tj. wówczas gdy $\beta > 1$.

Przeprowadzone pomiary poligonowe, są jedynymi w kraju, analiza zjawiska odpowiada na pewne zjawiska, które dotyczą dynamicznej diagnostyki nawierzchni lotniskowych. Dziedzina dynamicznego oddziaływania drgań na budowlę kubaturowego jest już dobrze opracowana, w dziedzinie budownictwa komunikacyjnego – lotniskowego, prac z tego zakresu jest bardzo mało a prezentowana w tej publikacji problematyka należy do nielicznych. Analiza dynamicznych oddziaływań na nawierzchnię lotniskową powinna uwzględniać wpływ tych zjawisk, również na otaczającą infrastrukturę techniczną. Przedstawione rozważania uzasadniają potrzebę rozwijania nowego kierunku badawczego związanego z dynamiczną diagnostyką takich budowli. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Ciesielski R. Ujęcie obliczeniowe oraz ocena wpływu drgań i wstrząsów pochodzących ze źródeł zewnętrznych na niektóre typy budowli. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej- Budownictwo Lądowe Z.1.
- [2] Kawecki J., Stypuła K.: Zapewnienie komfortu vibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2013.
- [3] Nita P.: Dynamiczne oddziaływanie pracującego statku powietrznego na betonowa nawierzchnię lotniskową. Acta Sci. Pol. Architektura 16 930 2017 str. 119-127.
- [4] PN-B- 02170:2016-12 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.

REKLAMA



CZAS NA INNOWACYJNE BUDOWNICTWO

Oferujemy profesjonalne usługi z zakresu:

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



**W BUDOWNICTWIE WYBIERZ FIRME,
KTÓREJ MOŻESZ ZAUFAC**

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

Biuro:

ul. Krzemieniecka 47,
54-613 Wrocław

Budownictwo inżynierijne:

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, Łaźany
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