

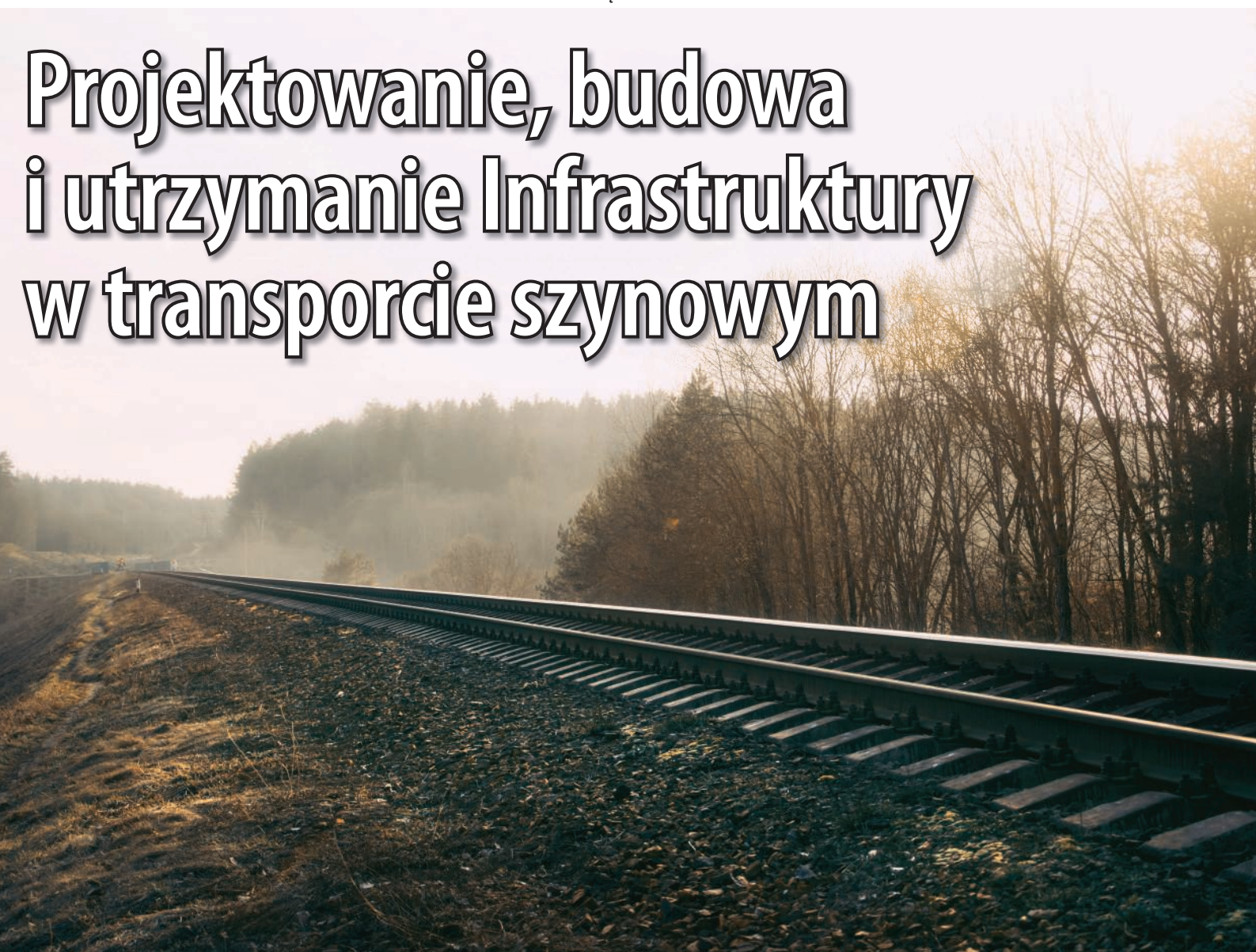
przegląd komunikacyjny

7
2019
rocznik LXXIV
cena 25,00 zł
w tym 5% VAT



UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU

Projektowanie, budowa i utrzymanie Infrastruktury w transporcie szynowym



eISSN
2544-6037

ISSN
0033-22-32

Perspektywy rozwoju sieci kolei dużych prędkości w Unii Europejskiej do 2050 roku. Kryteria wyboru lokalizacji projektów inwestycyjnych budowy nowych lub modernizacji istniejących terminali intermodalnych przewidzianych do dofinansowania w przyszłej perspektywie finansowej UE. Wygładzona krzywa przejściowa dla dróg kolejowych. Projekt badawczy BRIK: Opracowanie innowacyjnej metody wyznaczania precyzyjnej trajektorii pojazdu szynowego

Podstawowe informacje dla Autorów artykułów

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

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

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

artykuly@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

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

www.transportation.overview.pwr.edu.pl

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

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

Artykuły wnoszące wkład naukowy podlegają procedurom recenzji merytorycznych zgodnie z wytycznymi MNIŚW, co pozwala zaliczyć je, po opublikowaniu, do dorobku naukowego z punktacją przyznaną w toku oceny czasopism naukowych – aktualnie jest to **8 punktów** (wg wykazu czasopism MNIŚW z dnia 26-01-2017 r.).

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

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

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: Linia kolejowa. Źródło: Pexels

Szanowni P.T. Czytelnicy

W numerze

Numer poświęcony jest w całości problemom transportu szynowego oraz infrastrukturze transportu szynowego. Autor pierwszego artykułu przedstawia projekty rozwojowe sieci kolei dużych prędkości w Unii Europejskiej. Analizuje sieć istniejącą, rozbudowywaną i projektowaną. W rezultacie Autor stwierdza, że w krajach UE sumaryczna długość sieci kolei dużych prędkości w 2030 roku może wynosić ok. 16,5 tys. km. W następnym artykule Autorzy przedstawiają informację o przewozach intermodalnych w Polsce. Szczególna uwaga poświęcona jest infrastrukturze punktowej. Zaproponowano lokalizację budowy nowych terminali intermodalnych wraz z kryteriami ich doboru. W kolejnym artykule Autor proponuje równania nowej krzywej przejściowej, która określa jako wygładzoną krzywą przejściową. Zaletą jej jest łagodne wejście z krzywej przejściowej w łuk kołowy. Ostatnia publikacja prezentuje prace prowadzone w ramach grantu BRIK w którym Autorzy proponują wykorzystanie nowoczesnych metod pomiarowych takich jak: techniki pozycjonowania satelitarnego, pomiary inercyjne i skaniny laserowe do określania parametrów układu geometrycznego linii kolejowych oraz odtwarzania trajektorii ruchu pojazdów szynowych.

Życzę naszym czytelnikom dobrej lektury

Redaktor Naczelny
Prof. Antoni Szydło

Perspektywy rozwoju sieci kolei dużych prędkości w Unii Europejskiej do 2050 roku

Juliusz Engelhardt

2

Kryteria wyboru lokalizacji projektów inwestycyjnych budowy nowych lub modernizacji istniejących terminali intermodalnych przewidzianych do dofinansowania w przyszłej perspektywie finansowej UE

Robert Kruk, Beata Piwowar, Przemysław Brona, Krzysztof Ochociński

8

Wygładzona krzywa przejściowa dla dróg kolejowych

Władysław Koc

12

Projekt badawczy BRIK: Opracowanie innowacyjnej metody wyznaczania precyzyjnej trajektorii pojazdu szynowego

Andrzej Wilk, Cezary Specht, Władysław Koc, Krzysztof Karwowski, Chrostowski Piotr, Jacek Szmagliński, Paweł Dąbrowski, Mariusz Specht, Sławomir Judek, Jacek Skibicki, Marcin Skóra, Sławomir Grulkowski

18

Wydawca:

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

Redaktor Naczelny:

Antoni Szydło

Redakcja:

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

Adres redakcji do korespondencji:

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

Poczta „tradycyjna”:

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

Rada naukowa:

Marek Ciesielski (Poznań), Antanas Klibavičius (Wilno), Jozef Komačka (Žilina), Elżbieta Marciszewska (Warszawa), Andrzej S. Nowak (Auburn University), Tomasz Nowakowski (Wrocław), Victor V. Rybkin (Dniepropietrowsk), Marek Sitarz (Katowice), Wiesław Starowicz (Kraków), Hans-Christoph Thiel (Cottbus), Tomasz Siwowski (Rzeszów), Jiri Straský (Brno), Andrea Zuzulova (Bratysława)

Rada programowa:

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

Deklaracja o wersji pierwotnej czasopisma

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

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

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

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

oraz są indeksowane w bazach:

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

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

Prenumerata:

Szczegóły i formularz zamówienia na stronie:

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

Obecna Redakcja dysponuje numerami archiwalnymi począwszy od 4/2010.

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

Druk:

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

Reklama:

Dział Marketingu: sitk.baza@gmail.com

Nakład: 800 egz.

Perspektywy rozwoju sieci kolei dużych prędkości w Unii Europejskiej do 2050 roku

The perspectives of development of high-speed rail network in the European Union till the year 2050



Juliusz Engelhardt

Prof. dr hab.

Uniwersytet Szczeciński, Wydział
Zarządzania i Ekonomiki Usług

juliusz.engelhardt@wzieu.pl

Streszczenie: Celem artykułu jest wskazanie na podstawowe projekty rozwojowe sieci kolei dużych prędkości w Unii Europejskiej. Wychodząc od analizy długości linii kolejowych dużych prędkości eksploatowanych w 9 krajach Unii Europejskiej w latach 1985 - 2017, dalej zaprezentowano bieżące projekty budowy i modernizacji linii kolejowych dużych prędkości w ramach perspektywy budżetowej 2014 - 2020. Następnie wskazano na projekty budowy i modernizacji linii KDP w Unii Europejskiej zgłoszone przez poszczególne kraje członkowskie do realizacji w latach 2021 - 2030, w ramach sieci bazowej TEN - T, ustanowionej w 2013 r. i w dalszej kolejności na projekty budowy linii kolejowych dużych prędkości do realizacji w latach 2030 - 2050 w ramach sieci kompleksowa TEN - T. W wyniku analiz prezentowanych w artykule powstał całościowy obraz planowanego rozwoju sieci kolei dużych prędkości w Unii Europejskiej, której długość w 2030 r. może ukształtować się na poziomie ok. 16,5 tys. km

Słowa kluczowe: Kolej dużych prędkości; Unia Europejska

Abstract: The aim of the article is indication of basic development projects of high-speed rail network in the European Union. Beginning with the analysis of the length of high speed railways exploited in the 9 countries of the UE in the years 1985-2017, further there were presented the current projects of building and modernization of high-speed railways within the 2014-2020 budget perspective. Therefore there were pointed out the projects of building and modernization of high speed rail in the EU declared by the particular member states for the years 2021-2030 within TEN-T network, established in 2013. Further, the projects of building high-speed railways planned for the years 2030-2050 within the complex TEN-T network. As an outcome of the analyses presented in the article there emerged a complete vision of planned development of high-speed rail network in the European Union, which length in 2030 could be estimated for approximately 16,5 thousand kilometers.

Keywords: High-speed rail; European Union

W początkowej fazie rozwoju linii kolejowych dużych prędkości nie były one formalnie zdefiniowane w systemie prawnym ówczesnej Europejskiej Wspólnoty Gospodarczej (EWG). Pierwsza definicja systemu kolei dużych prędkości, już w ramach Unii Europejskiej, została przyjęta w 1996 r.. Następnie w 2010 r. pojawiła się definicja linii kolejowych dużych prędkości (Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady nr 661/2010/UE z dnia 7 lipca 2010 r. w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej, Dziennik Urzędowy Komisji Europejskiej 2010, L 204/1), zgodnie z którą są to:

- specjalnie zmodernizowane linie konwencjonalne z wyposażeniem umożliwiającym jazdę z prędkością rzędu 200 km/h;
- specjalnie zmodernizowane linie dużych prędkości, posiadające szczególne cechy ze względu na uwarunkowania związane z topografią, rzeźbą terenu lub względy urbanistyczne, na których to liniach prędkość musi być dostosowywana do danego przypadku. Kategoria ta obejmuje również linie łączące sieci dużych prędkości z sieciami konwencjonalnymi, linie przebiegające przez dworce, dostęp do terminali i zajezdni, itd., z których korzysta tabor dużych prędkości poruszający się z prędkością konwencjonalną.

Powyższą definicję powtarza obowiązujące obecnie Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1315/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej i uchylające decyzję nr 661/2010/UE - Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2013, L 348/1.

Przejawami tego sukcesu była stale rosnąca liczba pasażerów rezygnujących z przejazdów własnymi samochodami, samolotami lub autobusami oraz zjawisko wygenerowania dodatkowego, nowego popytu na przewozy przez nową ofertę przewozową.

Budowę pierwszej w Europie oraz w granicach dzisiejszej Unii Europejskiej linii kolejowej dużych prędkości (KDP) dostosowanej do prędkości 250 km/h rozpoczęto w 1970 r. Była to włoska li-

nia Rzym – Florencja znana, jako „Direttissima”. Główne prace na tej linii zakończono w latach 1981 - 1984, oddając do eksploatacji odcinki o długości odpowiednio 150 km i 74 km. Równolegle do projektów włoskich, budowę nowej linii kolejowej dużych prędkości rozważano we Francji. Po wielu pracach przygotowawczych, w 1976 roku podjęto we Francji ostateczną decyzję o budowie nowej linii kolejowej dużych prędkości Paryż – Lyon, o długości ok. 420 km, dostosowanej do prędkości maksymalnej 300 km/h. Inwestycję zrealizowano w rekordowym czasie 5 lat. 1981 rok, kiedy to rozpoczęto eksploatację handlową linii KDP Paryż – Lyon, a także eksploatację pierwszego odcinka włoskiej „Direttisimy”, wszedł do historii europejskiego kolejnictwa, jako początek ery kolei dużych prędkości na tym kontynencie, a skrót TGV (od francuskiej nazwy pociągów dużych prędkości Train à Grande Vitesse), stał się powszechnie używaną nazwą dla tego rodzaju pociągów, wyprodukowanych po raz pierwszy na rynek europejski przez firmę Alstom. Ponieważ pierwsze lata eksploatacji linii KDP Paryż – Lyon i włoskiej „Direttisimy” były wielkim sukcesem

rynkowym, marketingowym oraz wizerunkowym kolei francuskich (SNCF) i włoskich (FS), wkrótce pojawiło się silne zainteresowanie budową nowych linii KDP w kilku innych krajach Europy Zachodniej, w szczególności w Niemczech i w Hiszpanii. Przejawami tego sukcesu była stale rosnąca liczba pasażerów rezygnujących z przejazdów własnymi samochodami, samolotami lub autobusami oraz zjawisko wygenerowania dodatkowego, nowego popytu na przewozy przez nową ofertę przewozową.

W tabeli 1 przedstawiono dane dotyczące rozwoju ilościowego linii kolejowych dużych prędkości eksploatowanych w krajach Unii Europejskiej w latach 1985 - 2017. Prezentowane dane statystyczne dotyczą linii kolejowych z dopuszczalną prędkością techniczną, co najmniej 200 km/h i wyższą. Są to, więc zarówno nowo wybudowane linie z prędkością co najmniej 250 km/h, jak też konwencjonalne linie kolejowe zmodernizowane do prędkości technicznej 200 - 230 km/h. Jak wynika z danych zawartych w tabeli, w 2017 roku dziewięć krajów Unii Europejskiej eksploatowało linie KDP, przy czym

ostatnim krajem, który dołączył do tej grupy w 2015 r. jest Polska. Polska zgłosiła do ujęcia w statystykach unijnych, jako linie KDP, zmodernizowane do prędkości 200 km/h odcinki linii kolejowej E - 65 Gdynia - Warszawa - Zawiercie - Katowice - granica z Republiką Czeską, po których od grudnia 2014 r. kursują pociągi zespolone ED 250 Pendolino.

W latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia linie KDP eksploatowano tylko we Francji i we Włoszech. Niemcy dołączyły do tej grupy w 1990 r., a wkrótce po nich od 1992 r., dołączyła Hiszpania. Ten ostatni kraj już w 2007 r. wyprzedził, pod względem długości eksploatowanych linii dużych prędkości, Niemcy, a w 2011 r. Francję, która ponownie w 2017 r. stała się liderem Unii Europejskiej w zakresie eksploatowanych linii dużych prędkości. W 2000 r. do grupy krajów eksploatujących linie dużych prędkości dołączyła Belgia, w 2003 r. Wielka Brytania, a następnie w 2009 r. Holandia i w 2013 r. Austria. Zawarte w tabeli dane zbiorcze dotyczące długości eksploatowanych linii KDP w całej Unii Europejskiej, wskazują na dynamiczny rozwój tego systemu

Tab. 1. Długość linii kolejowych dużych prędkości eksploatowanych w krajach Unii Europejskiej w latach 1985 - 2017

Lata	Belgia BE	Niemcy DE	Hiszpania ES	Francja FR	Włochy IT	Holandia NL	Austria AT	Polska PL	Wielka Brytania UK	EU
1985	-	-	-	425	174	-	-	-	-	599
1990	-	90	-	717	194	-	-	-	-	1 001
1995	-	447	471	1 290	238	-	-	-	-	2 446
2000	72	636	471	1 290	238	-	-	-	-	2 707
2001	72	636	471	1 549	238	-	-	-	-	2 966
2002	137	820	471	1 549	238	-	-	-	-	3 215
2003	137	886	919	1 549	238	-	-	-	74	3 803
2004	137	1 183	919	1 549	238	-	-	-	74	4 100
2005	137	1 183	919	1 549	238	-	-	-	74	4 100
2006	137	1 272	1 112	1 549	324	-	-	-	74	4 468
2007	137	1 272	1 348	1 884	324	-	-	-	113	5 078
2008	137	1 272	1 448	1 884	535	-	-	-	113	5 389
2009	209	1 272	1 448	1 884	856	120	-	-	113	5 902
2010	209	1 272	1 866	1 912	856	120	-	-	113	6 348
2011	209	1 334	2 117	2 058	856	120	-	-	113	6 807
2012	209	1 352	2 117	2 058	856	120	-	-	113	6 825
2013	209	1 352	2 413	2 058	856	120	50	-	113	7 171
2014	209	1 352	2 413	2 058	856	120	50	-	113	7 171
2015	209	1 475	2 413	2 058	856	120	50	224*(89)	113	7 518
2016	209	1 475	2 413	2 180	896	120	50	224*	113	7 680
2017	209	1 658	2 413	2 734	896	120	67	224*	113	8 434

Źródło: Statistical pocketbook 2018 - www.ec.europa.eu/transport.

*według cytowanego źródła, czyli oficjalnej strony internetowej Komisji Europejskiej, w Polsce miało być w 2015 roku 224 km linii dużych prędkości. Faktycznie w eksploatacji był w tym roku odcinek linii E - 65 Południe, tzw. Centralnej Magistrali Kolejowej (CMK), Olszawowice - Zawiercie o długości 89 km dostosowany do maksymalnej prędkości pociągów 200 km/h, oddany do eksploatacji pod koniec 2014 roku

Projektowanie, budowa i utrzymanie Infrastruktury w transporcie szynowym

Tab. 2. Projekty budowy i modernizacji linii kolejowych dużych prędkości w Unii Europejskiej w latach 2014 - 2020

Kraj UE	Rodzaj projektu	Nazwa linii / odcinka	Prędkość maksymalna	Długość linii	Rok zakończenia projektu
Dania	Budowa	Kopenhaga - Ringsted	200 – 250 km/h	60 km	2018
	Modernizacja	Aalborg - Hobro	200 km/h - częściowo	50 km	2018
	Modernizacja	Ringsted - Odense	200 km/h	100 km	2020
Razem				210 km	
Niemcy	Budowa	Erfurt - Lipsk/Halle	300 km/h	123 km	2015
	Modernizacja	Neuoffingen - Neu-Ulm	200 km/h	27 km	2015
	Budowa	Brannenburg - Kundl	220 km/h	25 km	2015
	Budowa	Ebensfeld - Erfurt	300 km/h	107 km	2017
	Modernizacja	Norymberga - Ebensfeld	230 km/h	83 km	2017
	Modernizacja	Eisenach - Erfurt	200 km/h	54 km	2017
	Modernizacja	Riesa - Drezno	200 km/h	54 km	2018
	Modernizacja	Berlin - Drezno	200 km/h	193 km	2018
	Modernizacja	Saarbrücken - Ludwigshafen	200 km/h	127 km	2019
	Budowa	Frankfurt - Mannheim	300 km/h	85 km	2019
Razem				878 km	
Finlandia	Modernizacja	Ylivieska - Liminka (Oulu)	200 km/h	123 km	2015
	Modernizacja	Seinäjoki - Lapua	200 km/h	23 km	2016
	Modernizacja	Kokkola - Ylivieska	200 km/h	79 km	2018
Razem				225 km	
Francja	Budowa	LGV Est européenne, odcinek: Baudrecourt - Vendenheim	350 km/h	106 km	2016
	Budowa	LGV Bretagne - Pays de la Loire, odcinek Le Mans - Rennes	350 km/h	214 km	2016
	Budowa	LGV Sud Europe Atlantique, odcinek Tours - Bordeaux	350 km/h	341 km	2017
	Budowa	Obwodnica Nîmes i Montpellier, odcinek Nîmes - Montpellier	220 km/h - II et. 350 km/h	80 km	2017
	Budowa	LGV Rhin - Rhône, odcinek wschód, Petit - Croix - Lutterbach	350 km/h	35 km	2018
	Budowa	LGV Rhin - Rhône, odcinek wschód, Genlis - Villers - les - Pots	350 km/h	15 km	2018
	Budowa	LGV Rhin-Rhône, odcinek południe, Auxonne - Bourg - en - Bresse	350 km/h	140 km	2020
Razem				931 km	
Grecja	Modernizacja	Ateny - Patras, odcinek Kiato - Likoporia	200 km/h	32 km	2014
	Modernizacja	Ateny - Saloniki, odcinek Tithorea - Domokos	250/200/160 km/h	106 km	2017
Razem				138 km	
Włochy	Modernizacja	Treviglio - Brescia	300 km/h	58 km	2016
Razem				58 km	
Polska	Modernizacja	E 65 Południe, odcinek Olszawowice - Zawiercie	200 km/h	89 km	2014
	Modernizacja	E 65 Południe, odcinek Idzikowice - Olszawowice	200 km/h	44 km	2017
	Modernizacja	E 65 Południe, odcinek Grodzisk Mazowiecki - Idzikowice	200 km/h - 220 km/h	74 km	2018
	Modernizacja	E 65 Północ, Warszawa - Gdynia, częściowo	220 km/h	145 km	2018
Razem				352 km	
Litwa, Łotwa, Estonia	Budowa	Tallin - Ryga - Kowno - gr. z PL (do Suwałk)	240 km/h	740 km	2020
Razem				740 km	
Rumunia	Modernizacja	Bukareszt - Konstancja	200 km/h	220 km	2020
Razem				220 km	
Serbia* - Węgry	Modernizacja	Budapeszt - Belgrad, odcinek serbski	200 km/h	184 km	2017
	Modernizacja	Budapeszt - Belgrad, odcinek węgierski	200 km/h	166 km	2017
Razem				350 km	
Hiszpania	Budowa	Santiago de Compostela - Vigo		94 km	2014
	Budowa	Variante de Pajares	250 km/h	50 km	2014
	Budowa	Olmedo - Zamora	350 km/h	107 km	2014
	Budowa	Monforte del Cid - Murcia		150 km	2014
	Budowa	Venta de Baños - Burgos	350 km/h	91 km	2014
	Budowa	Valladolid - Palencia - León	350 km/h	163 km	2015
	Budowa	Sevilla - Cádiz	250 km/h	123 km	2016
	Budowa	Valencia - Castellón de la Plana	-	55 km	2016
	Budowa	Xàtiva - Silla	-	59 km	2016
	Budowa	Zamora - Ourense	350 km/h	241 km	2019
	Budowa	Vitoria - Bilbao	230 km/h	91 km	2019
	Budowa	Bergara - San Sebastian - granica z Francją	230 km/h	90 km	2019
Razem				1314 km	
OGÓŁEM				5416 km	

Źródło: Strona internetowa Międzynarodowego Związku Kolei (UIC) - www.uic.asso.fr oraz strona internetowa: www.de.wikipedia.org/wiki/Schnellfahrstrecke - informacje udokumentowane źródłami z fachowych publikacji krajowych i międzynarodowych.

*Serbia nie jest członkiem Unii Europejskiej - od 2012 roku kraj ten posiada formalny status kandydata na członka UE.

przewozowego. W ponadczterdzielnym okresie lat 1990 - 2017 długość linii KDP w Unii Europejskiej wzrosła z poziomu 1 tys. do poziomu ponad 8,4 tys. km. (dynamika 842,6%). W końcu 2017 r. najdłuższą w Unii Europejskiej siecią KDP dysponowały: Francja – ponad 2,7 tys. km, Hiszpania – ponad 2,4 tys. km i Niemcy - ok. 1,7 tys. km.

Bieżące projekty KDP – perspektywa budżetowa lat 2014 – 2020

Ustanowiony w grudniu 2013 r. nowy wykaz korytarzy priorytetowych sieci TEN – T oraz nowe instrumenty finansowania dalszego rozwoju tej sieci określone w rozporządzeniach 1315/2013 [1] i 1316/2013 [2] spowodowały, że okres perspektywy budżetowej lat 2014 - 2020 stanowi umowną cezurę czasową dla kolejnej fazy rozwojowej infrastruktury transportowej w całej Unii Europejskiej, w tym dla sieci kolei dużych prędkości. W tych latach zakończono już lub zaplanowano do zakończenia ważne projekty budowy kolejnych odcinków linii dużych prędkości w Unii Europejskiej, jakkolwiek decyzje o ich rozpoczęciu i strukturze finansowania zapadały przed 2013 r. a więc jeszcze przed przyjęciem nowych układów przestrzennych sieci kompleksowej i bazowej TEN-T oraz nowego instrumentu finansowania.

W tabeli 2 przedstawiono wykaz najważniejszych projektów budowy linii kolejowych dużych prędkości w Unii Europejskiej, które zakończono lub planuje się do zakończenia w latach 2014 - 2020. Do 2020 r. sieć linii KDP w Unii Europejskiej powinna powiększyć się o ponad 5,4 tys. km i uwzględniając ok. 7,2 tys. km tych linii eksploatowanych w 2013 roku, łączna jej długość będzie wynosić ponad 12,6 tys. km. Prezentowane dane wskazują, że krajami, w których będą miały miejsce najwyższe przyrosty długości linii KDP, będą dotychczasowi liderzy w tej dziedzinie, a więc Hiszpania - ponad 1300 km wybudowanych nowych linii, Francja - ponad 930 km nowych linii oraz Niemcy - ok. 500 km nowych linii i ponad 380 km zmodernizowanych do 200 km/h - 230 km/h linii KDP. Łącznie, na te trzy kraje przypada w perspektywie do 2020 roku około 58% całego przyrostu długości linii dużych prędkości w Unii

Europejskiej. Pozostałe 42%, czyli około 2,3 tys. km unijnego przyrostu sieci KDP w perspektywie 2020 roku rozkłada się w ten sposób, że około 630 km przypada na kraje „starej” piętnastki (Dania - 210 km, Finlandia - 225 km, Grecja - 138 km i Włochy - 58 km), a nieco ponad 1660 km na kraje Europy Środkowo - Wschodniej, które wstąpiły do Unii Europejskiej w 2004 roku oraz Serbię. W tym ostatnim przypadku chodzi o projekt modernizacji linii kolejowej Budapeszt - Belgrad, o długości 350 km, do parametru 200 km/h. W tej grupie krajów za realne należy uznać zgłoszone przez Polskę projekty modernizacji linii E - 65 do 2020 roku. Natomiast za bardzo ambitny można uznać projekt Krajów Bałtyckich, aby budowaną obecnie linię normalnotorową Tallin - Ryga - Kowno - granica z Polską (Rail Baltica) wyposażyć w parametr maksymalnej prędkości 240 km/h, jakkolwiek uwzględniając postępy prac na tej linii, nie wydaje się to realne w perspektywie do 2020 roku.

Perspektywa 2021 - 2030

W tabeli 3 zamieszczono wykaz projektów budowy linii kolejowych dużych prędkości w krajach Unii Europejskiej zaplanowanych do realizacji w latach 2021 - 2030. Prawdopodobieństwo realizacji większości zestawionych w tabeli projektów należy szacować dość wysoko, ponieważ zostały one już formalnie zgłoszone przez państwa członkowskie do sieci bazowej TEN-T. Gdyby więc sieć linii KDP w krajach Unii Europejskiej wydłużyła się do 2030 roku o kolejne 3,9 tys. km, to osiągnęłaby wówczas całkowitą długość wynoszącą około 16,5 tys. km. Francja i Hiszpania, dwa kraje o najdłuższych sieciach KDP zamierzają nadal je rozwijać w wysokim tempie, budując w latach 2021 - 2030 po około 800 km nowych linii dużych prędkości. Wysokie aspiracje w tej dziedzinie ogłosiła po raz pierwszy Szwecja, deklarując budowę około 700 km nowych linii KDP do 2030 roku. Do tego samego roku Niemcy deklarują budowę ponad 300 km nowych linii dużych prędkości i modernizację do parametru 200 km/h kolejnego odcinka swojej sieci o długości ponad 100 km. Zauważyć też należy austriackie plany rozwoju sieci kolei dużych prędkości opiewające na ponad 330

km do 2030 roku oraz brytyjski zamiar inwestycyjny polegający na budowie pierwszej sekcji linii kolejowej H 2, czyli odcinka Londyn - Birmingham o długości około 190 km, z prędkością maksymalną w przedziale 360 km/h do 400 km/h.

Analizując tabelaryczne zestawienie projektów, które deklaratorywnie mają być zrealizowane do 2030 r. można wyrazić przypuszczenie, że - z różnych przyczyn - nie wszystkie projekty budowy lub modernizacji linii dużych prędkości zostaną zrealizowane w zadeklarowanych formalnie terminach. W takich przypadkach projekty przechodzą zazwyczaj do realizacji w następnych okresach planistycznych. Jest, więc bardzo prawdopodobne, że tak właśnie się stanie ze wspomnianym ambitnym projektem Krajów Bałtyckich dostosowania linii Rail Baltica do prędkości 240 km/h, czy z projektem modernizacji do prędkości 200 km/h linii Budapeszt - Belgrad. Ponadto, w ramach planów rozwoju sieci KDP istnieje również grupa projektów budowy nowych linii kolejowych w poszczególnych krajach Unii Europejskiej, które zostały zgłoszone już na różnych międzynarodowych forach, jak np. Komisja Europejska, Wspólnota Kolei Europejskich i Zarządców Infrastruktury, Międzynarodowy Związek Kolei, ale kraje zgłaszające te projekty nie określiły konkretnych terminów ich realizacji, co oznacza, że mogą one zostać przyjęte do realizacji dopiero w dwudziestoleciu 2030 - 2050, albo nawet zaniechane, o ile dany kraj podejmie taką decyzję.

W tabeli 4 zostały zestawione, formalnie zgłoszone przez poszczególne kraje do sieci kompleksowej TEN-T projekty budowy linii kolejowych dużych prędkości, których realizację przewiduje się w latach 2030 - 2050. W tabeli tej nie występują już projekty francuskie, co oznacza, że kraj ten zamierza zakończyć do 2030 r. budowę własnej sieci kolei dużych prędkości. Natomiast liczne są kolejne projekty hiszpańskie, co świadczy, że Hiszpania konsekwentnie dąży do objęcia dość gęstą siecią KDP terytorium całego kraju, a także do integracji tej sieci z siecią francuską i portugalską. Portugalia zgłasza do przyszłościowej sieci KDP nie tylko swoją główną linię biegnącą w osi północ - południe, Porto - Lizbo-

Tab. 3. Projekty budowy i modernizacji linii kolejowych dużych prędkości w Unii Europejskiej w latach 2021 - 2030 (sieć bazowa TEN - T) ¹

Kraj UE	Rodzaj projektu	Nazwa linii / odcinka	Prędkość maksymalna	Długość linii	Rok zakończenia projektu
Austria	Modernizacja	Wiedeń - Wiener Neustadt	200 km/h	54 km	2022
	Budowa	Graz - Klagenfurt	230 km/h - 250 km/h	125 km	2023
	Budowa	Gloggnitz - Mürrzuschlag	230 km/h	27 km	2025
	Budowa	Innsbruck - Franzensfeste	230 km/h - 250 km/h	55 km	2025
	Budowa	Kundl - Brannenburg	220 km/h	25 km	2030
	Budowa	Linz - Wels	230 km/h - 250 km/h	30 km	po 2025
	Budowa	Salzburg - Köstendorf	230 km/h - 250 km/h	20 km	2030
Razem				336 km	
Dania	Modernizacja	Ringsted - Fehmarnbelt	200 km/h - częściowo	119 km	2021
	Budowa	Odense - Fredericia	200 - 250 km/h	50 km	2023
	Budowa	Fredericia - Aarhus	200 km/h	40 km	2025
	Modernizacja	Fredericia - Aarhus	200 km/h	50 km	2025
Razem				259 km	
Niemcy	Budowa	Wendlingen - Ulm	250 km/h	58 km	2021
	Budowa	Stuttgart - Wendlingen	250 km/h	25 km	2021
	Budowa	Basheide - Rastatt (Karlsruhe - Basel)	250 km/h	117 km	2022
	Budowa	Hannover - Hamburg/Brema	250 - 300 km/h	114 km	po 2020
	Modernizacja	Frankfurt - Fulda	200 km/h	103 km	po 2020
Razem				417 km	
Francja	Budowa	LGV Bordeaux - Toulouse	360 km/h	200 km	2024
	Budowa	LGV Bordeaux, odc. Bordeaux - Irun (granica z Hiszpanią)	-	-	2027 - 2032
	Budowa	LGV Languedoc - Roussillon: odc. Montpellier - Perpignan	-	135 km	po 2020
	Budowa	LGV Picardie	-	-	po 2020
	Budowa	LGV Provence - Côte d'Azur: odc. Marsylia - Toulon - Nica	-	-	2024 - 2025
	Budowa	LGV Centre France: Paris Austerlitz - Clermont - Lion	360 km/h	480 km	do 2022
	Budowa	LGV Lion - Turyn wraz z tunelem Basis Mont Ceniz	-	142 km	2025
Razem				957 km	
Włochy	Budowa	Turyn - Lion wraz z tunelem Mont Ceniz	300 km/h	57 km	2025
	Budowa	Franzensfeste - Innsbruck wraz z tunelem Brenner	250 km/h	55 km	2025
Razem				112 km	
Chorwacja	Budowa	Zagrzeb - Rijeka	200 km/h	165 km	2025
Razem				165 km	
Szwecja	Budowa	Göteborg - Borås	250 - 320 km/h	70 km	2020 - 2025
	Budowa	Linköping - Järna	250 - 320 km/h	150 km	2020 - 2025
	Budowa	Umeå - Luleå	250 km/h	270 km	2025 - 2030
	Budowa	Borås - Linköping	320 km/h	200 km	2030
Razem				690 km	
Hiszpania	Budowa	Burgos - Vitoria	350 km/h	109 km	po 2020
	Budowa	Murcia - Almeria	300 km/h	184 km	po 2020
	Budowa	Madrid - Badajoz - granica z Portugalią	300 km/h	508 km	po 2020
Razem				801 km	
Wielka Brytania	Budowa	H 2 Londyn - Birmingham - pierwsza sekcja	360 km/h - 400 km/h	191 km	2026
Razem				191 km	
OGÓŁEM				3928 km	

Źródło: Strona internetowa Międzynarodowego Związku Kolei (UIC) - www.uic.asso.fr oraz strona internetowa: www.de.wikipedia.org/wiki/Schnellfahrstrecke - informacje udokumentowane źródłami z fachowych publikacji krajowych i międzynarodowych.

1) w tabeli ujęto projekty włączone do sieci bazowej TEN - T, których położenie geograficzne jest zgodne z mapami sieci kolejowej, będącymi załącznikami do rozporządzenia 1315/2013, op. cit.

na - Faro, ale również trzy połączenia z hiszpańską siecią kolei dużych prędkości. Wielka Brytania zamierza kontynuować do połowy bieżącego stulecia projekty budowy dalszych odcinków linii dużych prędkości H 2. Podobnie Szwecja i Dania będą realizować do 2050 roku po jednym projekcie. Z kolei Niemcy i Włochy, kraje z rozwiniętą siecią linii dużych prędkości, zamierzają do 2050 roku zrealizować po kilka

projektów spinających własną sieć, ale także połączyć ją dodatkowo z krajami ościennymi. W przypadku Włoch, ale też i Francji, szczególne znaczenie będzie miało dokończenie wielkiego projektu transalpejskiego KDP Lion - Turyn wraz z tunełami Basis Mont Ceniz i Basis Bussoleno.

Projekt linii dużych prędkości Lion - Turyn ma spektakularny charakter. To nowe transalpejskie połączenie kolejowe,

nota bene realizowane w osi geograficznej istniejącej linii kolejowej łączącej Lion z Turynem, przechodzącej przez tunel Mont Ceniz o długości 12,7 km, zbudowany w końcu XIX wieku, zostało podzielone na trzy odcinki. Odcinek francuski z Lyonu do Saint - Jean - de - Maurienne, odcinek włoski z Turynu do Bruzolo oraz odcinek wspólny francusko - włoski, na który składa się tunel Basis Mont Ceniz o długości 57

Tab. 4. Projekty budowy linii kolejowych dużych prędkości w Unii Europejskiej do realizacji w latach 2030 - 2050 (sieć kompleksowa TEN - T) ¹

Kraj UE	Nazwa linii / odcinka	Prędkość maksymalna	Długość linii
Dania	Helsingborg - Kopenhaga	-	60 km
Republika Czeska	Brno - Praga - Lovisice - gr. z DE	350 km/h	300 km
	Brno - Varnovice - Breclav - gr. z SK i AT	200 km/h - 350 km/h	80 km
	Brno - Prerov - Ostrava - gr. z PL (do Katowic)	350 km/h	170 km
	Praga - gr. z PL (do Wrocławia)	350 km/h	150 km
	Praga - Pilzno - gr. z DE (do Norymbergi)	250 km/h - 350 km/h	130 km
Niemcy	Gelnhausen - Fulda	250 km/h - 300 km/h	70 km
	Drezno - Berlin - Rostock	-	-
	Berlin - Straslund	-	-
Polska	Warszawa - Łódź - Kalisz	360 km/h	230 km
	Kalisz - Wrocław	360 km/h	100 km
	Kalisz - Poznań	360 km/h	120 km
	Poznań - gr. z DE (do Berlina)	350 km/h	120 km
	Wrocław - granica z CZ (do Pragi)	250 km/h - 350 km/h	150 km
Włochy	Brescia - Verona	300 km/h	53 km
	Verona - Padwa	-	80 km
	Turyn - Bussoleno - gr. z FR	-	-
	Verona - Franzensfeste	-	-
	Mediolan - Genua - Ventimiglia	-	-
	Neapol - Foggia - Bari	-	-
Portugalia	Lizbona - Evora - Elvas - gr. z ES (do Madrytu)	350 km/h	-
	Lizbona - Porto	300 km/h	-
	Aveiro - gr. z ES (do Salamanki)	-	-
	Faro - Evora	-	-
	Porto - gr. z ES (do Vigo)	-	-
	Venta de Baños - Burgos - Vitoria - gr. z FR	300 km/h	173 km
	Madryt - Navalmaral de la Mata	300 km/h	191 km
	Almeria - Murcia	-	190 km
Hiszpania	Walencja - Castellón	-	64 km
	Zamora - Orense	300 km/h	224 km
	Palencia - Santander	300 km/h	201 km
	Saragossa - Castejón	250 km/h	149 km
	Castejón - Pampeluna	300 km/h	75 km
	Orense - Vigo	250 km/h	60 km
Szwecja	Jönköping - Helsingborg	320 km/h	220 km
Wielka Brytania	H 2 Londyn - Manchester /Leeds - druga sekcja	360 km/h	340 km
	H 2 Manchester - Glasgow	360 km/h	-

Źródło: Strona internetowa Międzynarodowego Związku Kolei (UIC) - www.uic.asso.fr oraz strona www.de.wikipedia.org/wiki/Schnellfahrstrecke - informacje udokumentowane źródłami z fachowych publikacji krajowych i międzynarodowych.

1) w tabeli ujęto projekty włączone do sieci kompleksowej TEN - T, których położenie geograficzne jest zgodne z mapami sieci kolejowej, będącymi załącznikami do rozporządzenia 1315/2013, op. cit.

km, tunel Basis Bussoleno o długości 12 km i wiadukt Venaus łączący obydwie tunele, w rejonie granicy francusko - włoskiej. Początkowo deklarowany na 2020 rok termin zakończenia wspólnej inwestycji francusko - włoskiej nie został dotrzymany, ale zgodnie z politycznym porozumieniem Francji i Włoch z 2015 roku, projekt będzie nadal realizowany, z tym, że termin jego zakończenia nie został określony. Ponadto w części włoskiej tego projektu znajduje się jeszcze jeden długi tunel podgórski (Collina Morenica) od Turynu do Avigliana oraz północna obwodnica Turynu, co powoduje, że cały projekt linii KDP Lion - Turyn może zakończyć się

dopiero w połowie bieżącego stulecia [3]. W tabeli 4 zamieszczono również projekty budowy nowych linii kolejowych dużych prędkości w Polsce i w Czechach, przy czym ze względu na brak konkretnych deklaracji terminów uznano, że mogą być one realizowane po 2030 roku. W Polsce, po wykonaniu wstępnych prac studialnych w 2005 roku, powstała koncepcja budowy nowej linii kolejowej dużych prędkości Warszawa - Łódź - Wrocław/Poznań o długości 455 km (tzw. linia Y, ze względu na charakterystyczny jej kształt na mapie Polski). Pod koniec 2008 roku rząd podjął decyzję w sprawie jej budowy, ale w końcu 2011 roku, główne

prace przygotowawcze dotyczące budowy i uruchomienia przewozów kolejami dużych prędkości w Polsce zostały wstrzymane. Jednakże projekt budowy w Polsce linii Y, został zgłoszony przez polską administrację rządową do sieci kompleksowej TEN-T, jako projekt do realizacji na dalszą perspektywę czasową. W niektórych dokumentach pojawiały się deklaracje realizacji części zgłoszonych projektów do 2030 roku, ale nie było to nigdy oficjalne stanowisko administracji państwowej. Warto zwrócić uwagę na fakt, że pięć polskich odcinków KDP zamieszczonych w tabeli, zawiera składającą się z trzech odcinków linię Y w jej zasadniczym przebiegu, z Warszawy do Łodzi i dalej do rozwidlenia pod Kaliszem w kierunku Poznania i Wrocławia oraz dwa trans-graniczne odcinki KDP, z Poznania do granicy z Niemcami oraz z Wrocławia do granicy z Republiką Czeską. W tym ostatnim przypadku zgłoszony polski odcinek koresponduje z czeskim odcinkiem trans-granicznym linii dużych prędkości Praga - granica z Polską. Natomiast Niemcy, nie zgłosiły jeszcze do realizacji w perspektywie czasowej do połowy bieżącego stulecia projektu trans-granicznego KDP Berlin - granica z Polską. Uzupełniając trzeba jednak dodać, że odcinek linii kolejowej Berlin - granica z Polską jest oznaczony na mapach sieci TEN - T, jako element niemieckiej sieci kompleksowej linii kolejowych dużych prędkości. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Rozporządzenie 1315/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej.
- [2] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1316/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. ustanawiające instrument „Łącząc Europę”, zmieniające rozporządzenie (UE) nr 913/2010 oraz uchylające rozporządzenia (WE) nr 680/2007 i (WE) nr 67/2010 - Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2013, L 348/129.
- [3] www.de.wikipedia.org/wiki/Schnellfahrstrecke

Kryteria wyboru lokalizacji projektów inwestycyjnych budowy nowych lub modernizacji istniejących terminali intermodalnych przewidzianych do dofinansowania w przyszłej perspektywie finansowej UE

Criteria for choosing the location of investment projects for the construction of new or modernization of existing intermodal terminals provided for co-financing in the future EU financial perspective

Robert Kruk

Mgr inż.

Zakład Dróg Kolejowych i
Przewozów, Instytut Kolejnictwa
rkruk@ikolej.pl

Beata Piwowar

Mgr inż.

Zakład Dróg Kolejowych i
Przewozów, Instytut Kolejnictwa
bpiwowar@ikolej.pl

Przemysław Brona

Mgr inż.

Zakład Dróg Kolejowych i
Przewozów, Instytut Kolejnictwa
pbrona@ikolej.pl

Krzysztof Ochociński

Mgr inż.

Zakład Dróg Kolejowych i
Przewozów, Instytut Kolejnictwa
kochocinski@ikolej.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono informacje o przewozach intermodalnych w Polsce. Szczególną uwagę zwrócono na infrastrukturę punktową dedykowaną takim przewozom. Zostały zaproponowane lokalizacje budowy nowych terminali intermodalnych wraz z kryteriami ich doboru.

Słowa kluczowe: Infrastruktura kolejowa; Transport intermodalny

Abstract: The article presents information on intermodal transport in Poland. Particular attention is paid to the point infrastructure dedicated to such transport. The locations of construction of new intermodal terminals along with the criteria for their selection have been proposed.

Keywords: Railway infrastructure; Intermodal transport

Kolej obok transportu morskiego i żeglugi śródlądowej stanowi najbardziej ekologiczną gałąź transportu. Unia Europejska kładzie nacisk na zwiększenie przewozów ładunków w korytarzach transportowych gałęziami transportu przyjaznymi środowisku naturalnemu. W Polsce w ostatnich latach, ze współfinansowaniem z funduszy europejskich modernizowano przeważnie liniową infrastrukturę kolejową wchodzącą w skład głównych ciągów transportowych. W mniejszym stopniu dotyczyło to infrastruktury punktowej dedykowanej transportowi intermodalnemu.

Nowa perspektywa finansowa UE stwarza warunki do współfinansowania rozwoju infrastruktury kolejowej, w tym infrastruktury transportu intermodalnego z funduszy europejskich również w latach 2021 – 2027.

przewiezionej masie ładunków jak i wykonanej pracy przewozowej. Jednak w dalszym ciągu ich udział w przewozie ładunków ogółem transportem kolejowym jest stosunkowo mały, w roku 2018 nieznacznie przekroczył 10% w wielkości pracy przewozowej. Należy jednak zaznaczyć, że w Polsce w transporcie kolejowym znaczący udział mają przewozy ładunków masowych (węgiel kamienny, rudy żelaza, kruszywa). W innych krajach europejskich przewozy ładunków masowych są znacznie mniejsze, tym samym udział przewozów intermodalnych w transporcie kolejowym ładunków ogółem może być odpowiednio większy.

W 2018 roku nastąpił wzrost tego segmentu przewozów w stosunku do roku 2017 o ponad 15% w masie ładunków i prawie 14% w pracy przewozowej.

Szczegółowe wyniki przewozów intermodalnych w transporcie kolejowym zostały zestawione w tabeli 1.

Z danych zamieszczonych poniżej wynika, że przewozy intermodalne w transporcie kolejowym w ciągu ostatnich 8 lat zwiększyły się prawie trzykrotnie w masie ładunków oraz ponad dwukrotnie w pracy przewozowej.

W ostatnich latach średnia odległość przewozu ładunków transportem kolejowym oscyluje wokół 350 – 360 km. Jeżeli założymy, że znacząca część transportu intermodalnego w Polsce jest związana z obsługą dowozową – odwozową terminali portowych, zwłaszcza zlokalizowanych w potach Trójmiasta, to można stwierdzić, że znaczącą rolę w obsłudze portów mają terminale zlokalizowane w śródlądowej części Polski. Do obsługi przeładunku

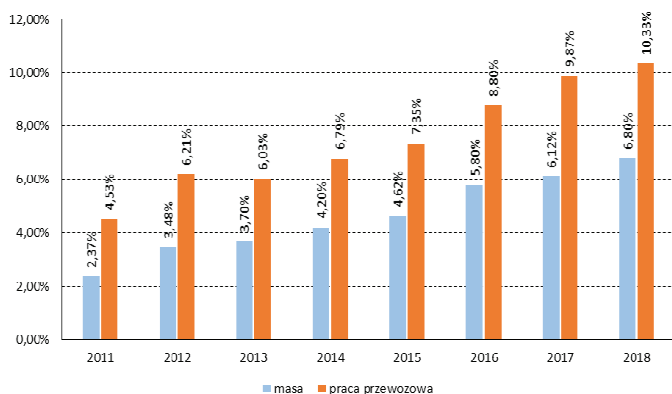
Lokalizacja i liczba terminali intermodalnych w Polsce

Przewozy towarów transportem kolejowym w segmencie przewozów intermodalnych notują w ostatnich latach stały wzrost udziału zarówno w

Tab. 1. Kolejowe przewozy intermodalne wg przewiezionej masy i wykonanej pracy przewozowej w latach 2011 - 2018

Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Masa [tys. ton]	5 906,2	8 055,8	8 633,2	9 610,3	10 386,4	12 829,8	14 687,8	17 018,40
Praca [tys. tona-km]	2 447 102,3	3 044 869,1	3 066 986,5	3 401 655,4	3 718 045,3	4 441 179,7	5 410 204,2	6 161 630,0
Średnia odległość przewozu [km]	414,3	378,0	355,3	354,0	358,0	346,2	368,3	362,1

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Transportu Kolejowego, Warszawa 2019



1. Udział przewozów intermodalnych w transporcie kolejowym według przewiezionej masy i wykonanej pracy przewozowej. Źródło: dane Urząd Transportu Kolejowego za lata 2011 - 2018

jednostek intermodalnych wykorzystywane są terminale intermodalne. W ciągu ostatnich kilku lat w związku z dynamicznym rozwojem tego segmentu przewozów operatorzy intermodalni modernizowali lub budowali nowe terminale. W poszczególnych województwach liczba terminali przedstawia się następująco:

- Dolnośląskie – 3,
- Lubelskie – 3,
- Lubuskie – 1,
- Łódzkie – 6,
- Małopolskie – 2,
- Mazowieckie – 3,
- Podkarpackie – 3,
- Podlaskie – 1,
- Pomorskie – 4,
- Śląskie – 4,
- Warmińsko – Mazurskie – 1,
- Wielkopolskie – 5,
- Zachodniopomorskie – 2.

Na rysunku 2 przedstawiono rozmieszczenie terminali intermodalnych na tle



2. Lokalizacji terminali intermodalnych na tle sieci kolejowej Polski. Źródło: opracowanie własne na podstawie mapy PKP PLK S.A. i danych UTK (na dzień 26.03.2019 r.)

głównych korytarzy sieci TEN-T w Polsce. Z przedstawionych danych wynika, że większość terminali jest zlokalizowana w zachodniej części kraju, swoistą „granicą” jest rzeka Wisła. W województwach kujawsko – pomorskim, opolskim oraz świętokrzyskim nie ma ani jednego terminala. W przypadku województwa kujawsko – pomorskiego jest to związane między innymi z bliskością portów Trójmiasta i obsługą nadawców / odbiorców przesyłek intermodalnych przez transport drogowy. Dla województw opolskiego i świętokrzyskiego jest to związane z bliskością terminali zlokalizowanych na obszarze sąsiednich województw.

Istniejące terminale intermodalne różnią się między sobą parametrami technicznymi takim jak:

- długość torów ładunkowych,

- powierzchnia placów składowych,
- zdolność przeładunkowa w jednostce czasu (np. na dobę lub na rok),
- wyposażenie w urządzenia przeładunkowe.

W tabeli 2 zestawiono podstawowe parametry przykładowych terminali intermodalnych zlokalizowanych w województwach Polski wschodniej, w tym terminali obsługujących przeładunki na styku torów 1435 / 1520 mm.

Jak widać pomiędzy istniejącymi terminalami są znaczące różnice w długości torów przeładunkowych oraz znaczący rozrzut wielkości zdolności przeładunkowych. Można stwierdzić że te dwa parametry mają istotne znaczenie dla określenia przepustowości terminali czyli możliwości obsługi określonej liczby pociągów intermodal-

Tab. 2. Parametry wybranych terminali intermodalnych w Polsce wschodniej, w tym na styku torów 1435/1520 mm

Nazwa terminala	EUROPORT Małaszewicze Duże	PKP Cargo Centrum Logistyczne Małaszewicze	Terminal T1 Żurawica (kontenerowy kolejowy)	Terminal T2 Medyka (kontenerowy kolejowy)	PCC INTERMODAL - Terminal Kolbuszowa	Terminal w Elku - Nelport Gróbarczyk, Kaniewska, Mieczkowski sp.j.	ANDREX LOGISTICS TERMINAL CHRZANÓW
Miasto / Stacja obsługująca	Małaszewicze	Małaszewicze	Żurawica	Medyka	Kolbuszowa	Elk	Nowosady / Zabłotczyzna
Operator terminala	EUROPORT	PKP CARGO CL Małaszewicze	PKP CARGO CL Medyka Żurawica	PKP CARGO CL Medyka Żurawica	PCC Intermodal	Nelpport	Andrex-Logistics
Liczba torów i długość – 1435 mm	2 x 250 m	2 x 608 m 1 x 450 m	4 x 220 m	4 x 430 m	1 x 510 m	1 x 590 m	1 x 660 m
Liczba torów i długość – 1520 mm	2 x 250 m	2 x 608 m 1 x 450 m	4 x 180 m	1 x 1032 m	brak	brak	1 x 660 m
Powierzchnia składowa	1300 TEU	1872 TEU	60 TEU	b.d.	400 TEU	1000 TEU	3000 TEU
Możliwości przeładunkowe	80 000 TEU / rok	223 380 TEU / rok	23 800 TEU / rok	20 000 TEU / rok	16 000 TEU / rok	6800 TEU / rok	200 000 TEU / rok
Urządzenia przeładunkowe	1 suwnica, 1 reachstacker	1 suwnica kołowa, 3 suwnice bramowe, 2 samojezdne urządzenia przeładunkowe	2 suwnice bramowe	3 suwnice bramowe	2 reachstackery	3 suwnice bramowe, 2 reachstackery	1 suwnica bramowa

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UTK oraz operatorów terminali intermodalnych

nych. Długość torów przeładunkowych determinuje kwestie obsługi manewrowej terminala (dzielenie składu pociągu przed wprowadzeniem na front przeładunkowy w przypadku torów o długości poniżej 600 m). Należy podkreślić, że obsługa pociągowa oraz urządzenia przeładunkowe determinują zdolności przeładunkowe terminali.

Pożądane kryteria wyboru lokalizacji nowych terminali intermodalnych

W obecnie obowiązującym Rozporządzeniu Ministra Rozwoju i finansów dotyczącym dofinansowania projektów intermodalnych w perspektywie 2014 – 2020 w odniesieniu do terminali intermodalnych określono, że pomoc może być udzielona przedsiębiorcy mającemu siedzibę na terytorium jednego z państw członkowskich Unii Europejskiej lub Europejskiego Porozumienia o Wolnym Handlu (EFTA) na realizację projektu w zakresie transportu intermodalnego, obejmującego:

- budowę lub przebudowę infrastruktury terminali intermodalnych, w tym infrastruktury dedykowanej, w zakresie infrastruktury drogowej, bocznic lub linii kolejowych, które służą połączeniu terminali intermodalnych z siecią drogową lub siecią kolejową;
- zakup lub modernizację urządzeń niezbędnych do obsługi terminali intermodalnych.

Są to bardzo ogólne stwierdzenia, które nie pozwalają na promowanie po-

żądanym, z punktu widzenia polityki transportowej i spójności terytorialnej Państwa, cech i lokalizacji nowych terminali intermodalnych. Dlatego proponujemy, żeby w projektach regulacji dotyczących pomocy publicznej w realizacji projektów w zakresie terminali intermodalnych znalazły się zapisy dotyczące pożądanych kryteriów jakie muszą spełnić lokalizacje nowych terminali intermodalnych. Są to między innymi:

- Lokalizacja terminala na obszarze o znaczącym potencjale gospodarczym obecnie lub w przyszłości,
- Lokalizacja terminala na obszarze, na którym nie jest zlokalizowana infrastruktura terminalowa,
- Dostępność terenu do budowy terminala o odpowiedniej powierzchni oraz kształcie (możliwość budowy frontów przeładunkowych dla pociągów o długości 750 m),
- Dostęp do sieci drogowej, w tym przede wszystkim do dróg krajowych i ekspresowych,
- Dostęp do kolejowej sieci kompleksowej TEN-T,
- Dostęp do toru 1520 mm.

Istotnym kryterium powinna być również odległość od portów morskich, zwłaszcza w Gdańsku i Gdyni. Rozwój transportu intermodalnego w Polsce w ostatnich latach związany jest ze znaczną dynamiką wzrostu przeładunku kontenerów właśnie w tych portach obserwowaną w latach poprzednich oraz prognozowaną na następne lata. Odległość terminali od portów ma istotne

znaczenie dla korzystania z transportu kolejowego w obsłudze transportowej portów.

Proponowane lokalizacje nowych terminali intermodalnych

Przedstawione w punkcie powyżej pożądane kryteria wybory lokalizacji nowych terminali intermodalnych mogą mieć znaczący wpływ na wybór lokalizacji nowych terminali intermodalnych. W tabeli 3 przedstawiono wstępne lokalizacje proponowane przez autorów wraz z oceną spełnienia zaproponowanych kryteriów.

Proponowane wstępne lokalizacje znajdują się w województwach podlaskim, lubelskim, świętokrzyskim oraz podkarpackim. Województwa te znajdują się na obszarze „Polski Wschodniej”, swoistej „białej plamie” na obszarze Polski związanej z dostępnością do infrastruktury intermodalnej.

Należy nadmienić, że wybór wstępnej lokalizacji do budowy terminala intermodalnego jest dopiero początkiem całego procesu inwestycyjnego. Jednym z jego elementów jest dokumentacja przedprojektowa wraz z odpowiednimi dokumentami aplikacyjnymi związanymi ze współfinansowaniem inwestycji z funduszy europejskim.

Współfinansowanie inwestycji z funduszy europejskim może mieć istotne znaczenie zwłaszcza w przypadku budowy terminali intermodalnych na obszarze „Polski Wschodniej”. Obszar ten ma obecnie znaczne mniejsze znaczenie gospodarcze niż pozostała część Polski. Jednak takie ośrodki jak Białystok, Kielce, Lublin, Stalowa Wola mają znaczący potencjał demograficzny, edukacyjny intelektualny. Mają też już obecnie znaczny potencjał gospodarczy, który w przyszłości może być jeszcze większy. Jednym z warunków tego zwiększenia jest rozwój infrastruktury transportowej, w tym infrastruktury przeładunkowej.

Podsumowanie

Nowa perspektywa finansowa UE na lata 2021 – 2027 będzie stwarzała warunki do dalszego współfinansowania rozwoju infrastruktury transportowej.

Tab. 3. Wstępne lokalizacje terminali intermodalnych wraz z oceną spełnienia zaproponowanych kryteriów

Kryterium	Terminal				
	Białystok	Chełm / Dorohusk	Lublin	Kielce / Skarżysko Kamienna	Huta Dębowska
Lokalizacja terminala na obszarze o znaczącym potencjale gospodarczym obecnie lub w przyszłości	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
Lokalizacja terminala na obszarze, na którym nie jest zlokalizowana infrastruktura terminalowa	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
Dostępność terenu do budowy terminala o odpowiedniej powierzchni oraz kształcie (możliwość budowy frontów przeładunkowych dla pociągów o długości 750 m)	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
Dostęp do sieci drogowej, w tym przede wszystkim do dróg krajowych i ekspresowych	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
Dostęp do kolejowej sieci kompleksowej TEN-T	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
Dostęp do toru 1520 mm	NIE	TAK	NIE	NIE	TAK
Odległość od portów morskich i Gdańska i Gdyni	>300 km	>300 km	>300 km	>300 km	>300 km

Źródło: opracowanie własne

Jednak dostępne środki mogą być mniejsze niż w poprzednich perspektywach. Istotne jest takie zaplanowanie wydatkowania tych środków, aby efekty inwestycji transportowych współfinansowanych z funduszy europejskich przynosiły znaczące korzyści dla całego systemu transportowego.

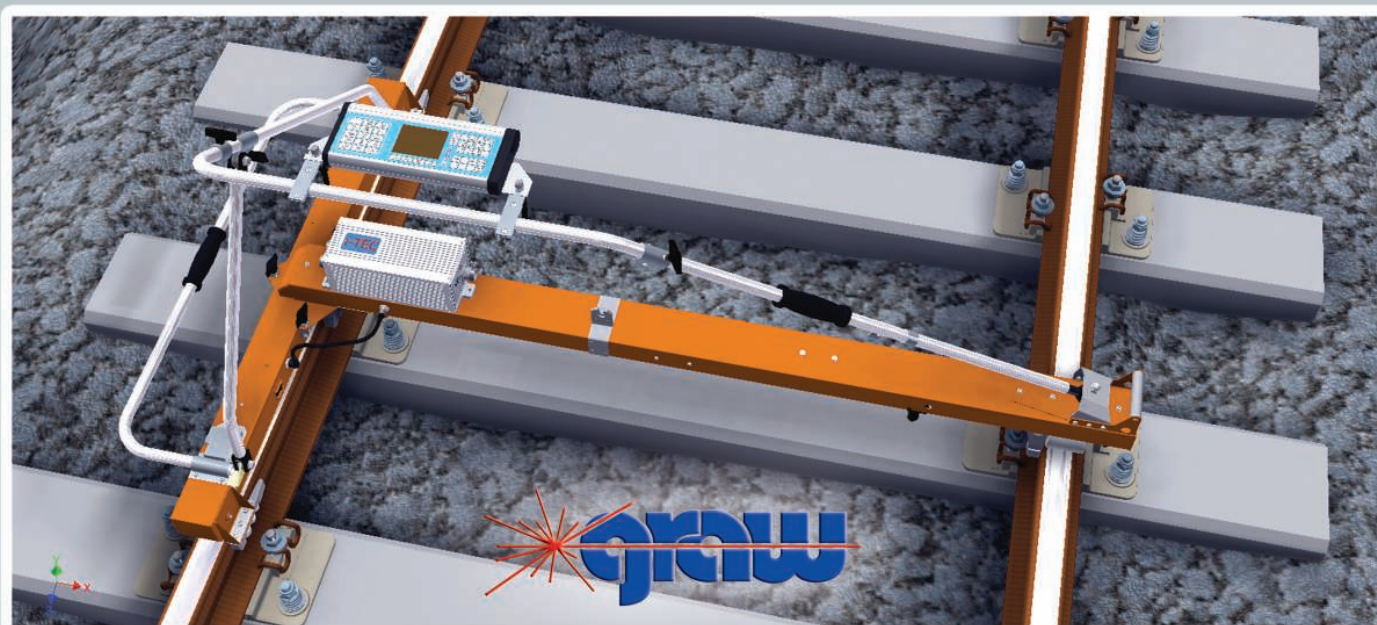
Rozwój transportu intermodalnego na obszarze „Polski Wschodniej” stwarza warunki na zwiększenie dynamiki rozwoju gospodarczego tego obszaru i wyrównania poziomu rozwoju gospodarczego z pozostałymi regionami Polski. Rozbudowa infrastruktury intermodalnej na tym obszarze może wiązać się jednak ze zwiększonym ryzykiem biznesowym, co może prowadzić do zmniejszenia skłonności do inwestowania kapitału w rozwój infrastruktury przeładunkowej na tym obszarze. Dlatego istotne jest wprowadzenie preferencji dla współfinansowania inwestycji w infrastrukturę intermodalną zlokalizowaną na obszarze „Polski Wschodniej”. ◀

Materiały źródłowe

- [1] BIAŁA KSIĘGA Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu, Bruksela, 28.3.2011 r., KOM(2011) 144 wersja ostateczna
- [2] <https://utk.gov.pl/pl/dostep-do-infrastruktur/dostep-do-infrastruktur/mapa-obiektow-infrastru/terminale-intermodalne>
- [3] <https://utk.gov.pl/pl/raporty-i-analizy/analizy-i-monitoring/statystyka-przewozow-towarowych>
- [4] P. Brona, R. Kruk, K. Ochociński: „Perspektywy rozwoju terminali intermodalnych w Polsce Wschodniej, w tym na styku torów 1435/1520 mm”. X Konferencja Naukowo-Techniczna „Infraszyn 2017”, Zakopane, kwiecień 2017 r. Publikacja w materiałach konferencyjnych, str. 16-24, SITK RP, Radom 2016 r.
- [5] Rozporządzenie Ministra Rozwoju
- I Finansów z dnia 24 listopada 2017 r. w sprawie pomocy publicznej na realizację projektów w zakresie transportu intermodalnego w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko na lata 2014–2020, D. U. 2017 r., poz. 2269
- [6] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1315/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej i uchylające decyzję nr 661/2010/UE, (Dz. U. UE L 348/2015)
- [7] Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.) – uchwała Rady Ministrów z dnia 14 lutego 2017 r., Warszawa 2107
- [8] Tadeusz Bocheński: „Rozmieszczenie i charakterystyka terminali kontenerowych w Polsce oraz propozycje lokalizacji nowych obiektów”, Problemy Transportu i Logistyki, 1/2018, Uniwersytet Szczeciński, 2018 r.

REKLAMA

TOROMIERZ INERCYJNY iTEC Dokładny pomiar strzałek



www.graw.com

Wygładzona krzywa przejściowa dla dróg kolejowych

Smoothed transition curve for railways



Władysław Koc

Prof.dr hab.inż.

Politechnika Gdańska, Katedra
Transportu Szynowego i Mostów

kocwl@pg.edu.pl

Streszczenie: W artykule zwrócono uwagę na występujące trudności w eksploatacji krzywych przejściowych stosowanych w układach geometrycznych toru kolejowego. Wskazano na trudności w praktycznej realizacji i utrzymaniu bardzo małych rzędnych poziomych krzywej przejściowej i rzędnych rampy przechyłkowej w rejonie początkowym, występujących na gładkich krzywych przejściowych. Jako podstawową przyczynę takiej sytuacji uznano nadmierne wyłagodzenie krzywizny w ich rejonie początkowym. Wykorzystując metodę identyfikacji krzywizny za pomocą równań różniczkowych, uzyskano nową postać krzywej, którą określono mianem „wygładzonej krzywej przejściowej”. Wykazano zdecydowaną przewagę tej krzywej, z realizacyjnego punktu widzenia, nad reprezentującą gładkie krzywe przejściowe krzywą Blossa. Jak się wydaje, mogłaby ona z powodzeniem konkurować z powszechnie obecnie stosowaną kłotoidą, do której jest podobna w rejonie początkowym, natomiast różni się istotnie na swojej dalszej długości, a zwłaszcza w rejonie końcowym, gdzie zapewnia łagodne wejście z krzywej przejściowej w łuk kołowy.

Słowa kluczowe: Układ geometryczny toru; Krzywa przejściowa; Analiza rzędnych

Abstract: The article draws attention to the existing situation in the area of transition curves used in the geometric layouts of the railway track. Difficulties in the practical implementation and maintenance of very small horizontal ordinates of the transition curve and the ordinates of the gradient due to cant in the initial section, appearing on smooth transition curves, were indicated. The main reason for this situation was the excessive smoothing of the curvature in their initial section. Employing the method of curvature identification by differential equations, a new form of the curve was obtained, which was referred to as the "smoothed transition curve". A definite advantage of this curve was shown, from the implementation point of view, over representing the smooth transition curves of the Bloss curve. It seems that it could successfully compete with the commonly used clothoid, to which it is similar in the initial section, while it differs significantly along its further length, especially in the final section, where it provides a gentle entry from the transition curve into a circular arc.

Keywords: Railway layout; Transition curve; Ordinates analysis

Jak powszechnie wiadomo, stosowanie krzywych przejściowych ma na celu zapewnienie ciągłej zmiany niezrównoważonego przyspieszenia bocznego pomiędzy odcinkami trasy o zróżnicowanej krzywiznie, w sposób korzystny dla dynamiki oddziaływań w układzie droga – pojazd. Problematyka krzywych przejściowych w drogach kołowych i kolejowych jest wciąż aktualna. Trwają poszukiwania nowych postaci krzywych [2-4, 6, 7-9, 15, 20-25].

Należy zaznaczyć, że krzywe przejściowe są też w różny sposób definiowane. Dla dróg kołowych są one często określane przez podanie funkcji kąta $\Theta(l)$, o jaki zmienia się kierunek

osi podłużnej pojazdu po przebyciu pewnego łuku. W drogach kolejowych dominuje tradycyjne uproszczenie, polegające na operowaniu krzywizną $k(x)$ w układzie współrzędnych prostokątnych.

Wartości przyspieszeń na długości krzywej przejściowej wynikają z rozkładu krzywizny i to właśnie krzywizna powinna być podstawą identyfikacji krzywych przejściowych. W ogólnym ujęciu może być ona liniowa lub nieliniowa. Dla nieliniowej zmiany krzywizny wydaje się adekwatne stosowane m. in. przez R. J. Grabowskiego [5] określenie „gładkie krzywe przejściowe”, korespondujące z kluczowym znaczeniem klasy funkcji opisującej

krzywiznę. Oczywiście rozkład krzywizny należy formować dla zmiennej l , określającej położenie danego punktu na długości krzywej. Większość krzywych przejściowych łączy ze sobą wspólny algorytm wyznaczania krzywizny za pomocą równań różniczkowych [10-12, 19].

Podstawową wadę krzywej przejściowej w postaci kłotoidy (o krzywiznie liniowej) stanowią załomy na wykresie jej krzywizny, występujące w rejonach początkowym i końcowym. Są one przyczyną niekorzystnych oddziaływań dynamicznych w układzie tor – pojazd szynowy. Dlatego też na kolei od wielu lat promuje się stosowanie – z różnym zresztą skutkiem

– krzywych przejściowych posiadających nieliniowy rozkład krzywizny na długości.

Praktyczne uwarunkowania dotyczące stosowania gładkich krzywych przejściowych

Przeprowadzone analizy teoretyczne oraz badania eksperymentalne (m. in. [11, 13, 16-17]) jednoznacznie wskazują na mniejsze (a więc korzystniejsze) oddziaływania dynamiczne podczas przejazdu pociągu po gładkich krzywych przejściowych. Jednak pomimo swoich bezspornych zalet zakres stosowania tych krzywych w eksploatowanych torach kolejowych jest w znacznym stopniu ograniczony. Jak się wydaje, podstawową przyczyną panującego w tej kwestii sceptycyzmu są bardzo małe wartości rzędnych poziomych (i rzędnych rampy przechyłkowej) w rejonie początkowym omawianych krzywych. Uniemożliwia to często ich poprawne wytyczenie w terenie i w praktyce prowadzi do skrócenia wykonanej krzywej przejściowej (czyli wydłużenia przylegającej prostej) w stosunku do założeń projektowych.

Przedstawione uwarunkowania powodują, że w dalszym ciągu najbardziej rozpowszechnioną postacią krzywej przejściowej jest kłotoidea, o liniowym przebiegu krzywizny (i ewentualnie prostoliniową rampą przechyłkową). Stosowanie paraboli trzeciego stopnia, stanowiącej uproszczenie kłotoidy, przy obecnych możliwościach obliczeniowych nie ma już bowiem uzasadnienia.

W pracy [12] została przedstawiona analiza znanych postaci krzywych przejściowych: kłotoidy, paraboli

czwartego stopnia, krzywej Blossa, co-sinusoidy i sinusoidy. Dokonano identyfikacji krzywizny $k(l)$ dla poszczególnych krzywych za pomocą równań różniczkowych oraz wyznaczono równania parametryczne $x(l)$ i $y(l)$. Przedstawiono również rozwiązania przybliżone [1], występujące w licznych przepisach do dnia dzisiejszego.

W pracy [12] wykazano również, że przekroczenie wartości parametrów kinematycznych – przyrostu przyspieszenia ψ i prędkości podnoszenia koła taboru na rampie przechyłkowej f – występujących na kłotoidzie obejmuje co najmniej połowę długości każdej gładkiej krzywej przejściowej, a wartość tego przekroczenia jest znaczna. Dlatego też wydaje się właściwe utrzymanie dla wszystkich rodzajów krzywych jednakowych wartości dopuszczalnych ψ_{dop} i f_{dop} , co prowadzi do konieczności wydłużenia poszczególnych gładkich krzywych przejściowych w stosunku do kłotoidy (poprzez wprowadzenie odpowiedniego współczynnika A). Staje się wówczas możliwe wzajemne porównanie rzędnych poziomych i rzędnych rampy przechyłkowej.

Niniejsze opracowanie przedstawia próbę znalezienia nowej postaci krzywej przejściowej, dostosowanej do przedstawionych wyżej uwarunkowań. Jego rozszerzoną i w sposób istotny zmodyfikowaną wersję stanowi praca [14], przyjęta do druku w Journal of Surveying Engineering ASCE.

Wyznaczenie nowej postaci krzywej przejściowej

Z ogólnej metody identyfikacji krzywizny $k(l)$ na krzywych przejściowych [10] wynika, że dla promienia R łuku

kołowego oraz długości l_k krzywej przejściowej przyjęte założenia wyznaczają następujące warunki brzegowe:

$$\begin{cases} k(0) = 0 & k(l_k) = \frac{1}{R} \\ k'(0) = \frac{C}{Rl_k} & k'(l_k) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

oraz równanie różniczkowe

$$k^{(4)}(l) = 0 \quad (2)$$

przy czym współczynnik liczbowy $C \geq 0$. W wyniku rozwiązania problemu różniczkowego (1), (2) otrzymujemy

$$k(l) = \frac{C}{Rl_k} l - \frac{2C-3}{Rl_k^2} l^2 + \frac{C-2}{Rl_k^3} l^3 \quad (3)$$

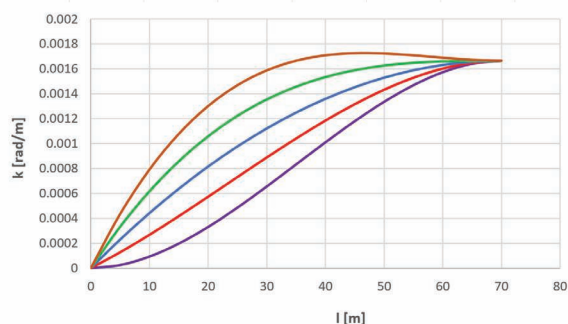
a funkcja kąta nachylenia stycznej $\Theta(l)$ jest opisana zależnością

$$\Theta(l) = \frac{C}{2Rl_k} l^2 - \frac{2C-3}{3Rl_k^2} l^3 + \frac{C-2}{4Rl_k^3} l^4 \quad (4)$$

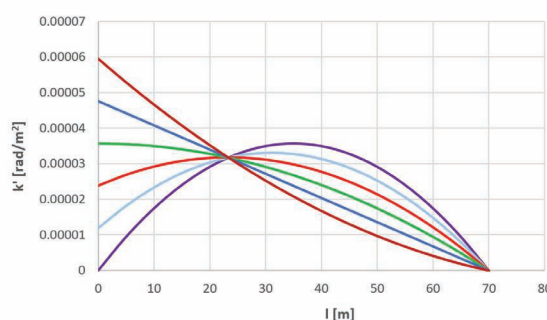
Na końcu krzywej przejściowej $\Theta(l_k) = (6+C)l_k/12R$.

Na rysunku 1 pokazano przykładowe wykresy krzywizny na długości dla wybranych wartości współczynnika C . Jak widać, monotoniczny przebieg krzywizny cechują krzywe dla $C \in <0;3>$. Krzywa dla $C = 0$ posiada najbardziej łagodny przebieg, jednak – podobnie jak w przypadku pozostałych krzywych – spełnienie warunku zachowania dopuszczalnej wartości przyrostu przyspieszenia wymaga jej wydłużenia w stosunku do odpowiadającej krzywej o krzywiznie liniowej.

Dokonując wyboru najkorzystniejszej spośród rozpatrywanych krzywych, należy jednak w pierwszym rzędzie kierować się kryterium najmniejszej wymaganej długości. Długość tę wyznacza – oprócz prędkości jazdy pociągów – dopuszczalna war-



1. Przykładowe wykresy krzywizny na długości nowej krzywej przejściowej dla wybranych wartości współczynnika C ($R = 600$ m, $l_k = 70$ m)



2. Przykładowe wykresy pochodnej krzywizny na długości nowej krzywej przejściowej dla wybranych wartości współczynnika C ($R = 600$ m, $l_k = 70$ m)

Tab. 1. Wartości stosunku $\max k'(l) / k'(l)_{lin}$ dla wybranych współczynników C

C	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$\max k'(l) / k'(l)_{lin}$	3/2	25/18	4/3	3/2	2	5/2	3	7/2	4

tość przyrostu przyspieszenia, która jest bezpośrednio związana z pochodną krzywizny:

$$k'(l) = \frac{C}{Rl_k} - \frac{2(2C-3)}{Rl_k^2}l + \frac{3(C-2)}{Rl_k^3}l^2 \quad (5)$$

Rysunek 2 przedstawia wykresy pochodnej krzywizny na długości krzywej przejściowej, dla których $C \in <0;2,5>$.

Pochodna $k'(l)$ opisana równaniem (5) zmienia się na długości, zatem miarodajna staje się tutaj jej wartość maksymalna. Dla współczynnika $C \in <0;1,5>$ wartość $\max k'(l) = k'(l_0)$, przy czym położenie l_0 punktu, w którym występuje maksimum funkcji $k'(l)$, wyznacza się z warunku

$$k''(l) = -\frac{2(2C-3)}{Rl_k^2} + \frac{6(C-2)}{Rl_k^3}l_0 = 0$$

z którego wynika, że

$$l_0 = \frac{2C-3}{3(C-2)}l_k \quad (6)$$

Określona wzorem (6) wartość l_0 podstawiona do równania (5) wyznacza maksimum funkcji $k'(l)$.

$$\max k'(l) = \left[C - \frac{(2C-3)^2}{3(C-2)} \right] \frac{1}{Rl_k} \quad (7)$$

Dla $C > 1,5$ wyznaczona za pomocą wzoru (7) wartość l_0 nie spełnia warunków zadania (otrzymuje się $l_0 > l_k$ lub wyznaczone l_0 odnosi się do minimum funkcji). Ponieważ jednak $k'(l)$ przyjmuje tutaj największą wartość w punkcie początkowym, zatem wartość $\max k'(l) = k'(0)$.

Stopień niezbędnego wydłużenia szukanej krzywej przejściowej względem odpowiadającej bazowej kłotoidy, związany z koniecznością zachowania dopuszczalnej wartości przyrostu przyspieszenia, określa stosunek wartości $\max k'(l)$ do pochodnej $k'(l)_{lin}$ występującej na krzywiznie liniowej, która jest wartością stałą opisaną wzorem

$$k'(l)_{lin} = \frac{1}{Rl_k} \quad (8)$$

W tabeli 1 zestawiono wartości sto-

sunku $\max k'(l) / k'(l)_{lin}$ dla wybranych $C \in <0;4>$. Z przeprowadzonej analizy wynika, że dla $C = 0$ wartość $k'(l) = 3/2Rl_k$, zatem z uwagi na dopuszczalną wartość przyrostu przyspieszenia długość krzywej przejściowej musi być o 50% większa niż dla krzywizny liniowej. Jak się okazuje, z omawianego punktu widzenia najkorzystniejsze rozwiązanie stanowi przyjęcie współczynnika $C = 1$. Dla tego przypadku obowiązuje bowiem $\max k'(l) = 4/3Rl_k$, co oznacza, że długość odpowiadającej krzywej musi być większa od długości kłotoidy tylko o 1/3. Przyjęcie $C = 1$ prowadzi to do następujących równań funkcji $k(l)$ i $\Theta(l)$:

$$k(l) = \frac{1}{Rl_k}l + \frac{1}{Rl_k^2}l^2 - \frac{1}{Rl_k^3}l^3 \quad (9)$$

$$\Theta(l) = \frac{1}{2Rl_k}l^2 + \frac{1}{3Rl_k^2}l^3 - \frac{1}{4Rl_k^3}l^4 \quad (10)$$

Na końcu krzywej przejściowej kąt nachylenia stycznej $\Theta(l_k) = 7l_k/12R$.

Równania współrzędnych szukanej krzywej przejściowej możemy zapisać w postaci parametrycznej [10]:

$$x(l) = \int \cos \Theta(l) dl \quad (11)$$

$$y(l) = \int \sin \Theta(l) dl \quad (12)$$

Do rozwinięcia funkcji $\cos \Theta(l)$ i $\sin \Theta(l)$ w szereg Maclaurina wykorzystano program Maxima [18], a następnie scałkowano poszczególne wyrazy, otrzymując równania parametryczne:

$$x(l) = l - \frac{1}{40R^2l_k^2}l^5 - \frac{1}{36R^2l_k^3}l^6 + \frac{5}{504R^2l_k^4}l^7 + \frac{1}{96R^2l_k^5}l^8 + \left(\frac{1}{3456R^4l_k^4} - \frac{3}{864R^2l_k^6} \right) l^9 \quad (13)$$

$$y(l) = \frac{1}{6Rl_k}l^3 + \frac{1}{12Rl_k^2}l^4 - \frac{1}{20Rl_k^3}l^5 - \frac{1}{336R^3l_k^3}l^7 - \frac{1}{192R^3l_k^4}l^8 + \frac{1}{2592R^3l_k^5}l^9 \quad (14)$$

Uzyskaną nową postać krzywej przejściowej będziemy określać mianem „wygładzonej krzywej przejściowej”.

Analiza porównawcza wybranych krzywych przejściowych

W celu określenia miejsca wyznaczonej nowej postaci krzywej przejściowej pośród innych rozwiązań przeprowadzono odpowiednią analizę porównawczą. Jako odniesienie przyjęto krzywe przejściowe w postaci kłotoidy (z krzywizną liniową) oraz w postaci krzywej Blossa (z krzywizną nieliniową).

Krzywizna krzywej przejściowej w postaci kłotoidy jest opisana równaniem [12]

$$k(l) = \frac{1}{Rl_k}l \quad (15)$$

Jej współrzędne kartezjańskie mają postać równań parametrycznych:

$$x(l) = l - \frac{1}{40R^2l_k^2}l^5 + \frac{1}{3456R^4l_k^4}l^9 - \frac{1}{599040R^6l_k^6}l^{13} \quad (16)$$

$$y(l) = \frac{1}{6Rl_k}l^3 - \frac{1}{336R^3l_k^3}l^7 + \frac{1}{42240R^5l_k^5}l^{11} \quad (17)$$

Krzywa Blossa posiada krzywiznę opisaną równaniem [12]

$$k(l) = \frac{3}{Rl_k^2}l^2 - \frac{2}{Rl_k^3}l^3 \quad (18)$$

oraz równania parametryczne:

$$x(l) = l - \frac{1}{14R^2l_k^4}l^7 + \frac{1}{16R^2l_k^5}l^8 - \frac{1}{72R^2l_k^6}l^9 \quad (19)$$

$$y(l) = \frac{1}{4Rl_k^2}l^4 - \frac{1}{10Rl_k^3}l^5 - \frac{1}{60R^3l_k^6}l^{10} + \frac{1}{44R^3l_k^7}l^{11} \quad (20)$$

Do przeprowadzenia analizy porównawczej niezbędne staje się przyjęcie wartości parametrów geometrycznych, tj. promienia łuku kołowego oraz długości krzywej przejściowej, które wyznacza się dla założonej prędkości jazdy pociągów. Są one limitowane dopuszczalnymi wartościami odpowiednich parametrów kinematycznych.

Minimalny promień łuku kołowego R [m] oblicza się za pomocą wzoru

$$R_{min} = \frac{V^2}{3.6^2 \left(g \frac{h_0}{s} + a_{dop} \right)} \quad (21)$$

gdzie: V – prędkość jazdy pociągów

Tab. 2. Wybrane wartości rzędnych poziomych y [mm] w rejonie początkowym

Krzywa przejściowa	$l = 1$ m	$l = 2$ m	$l = 3$ m	$l = 4$ m	$l = 5$ m	$l = 10$ m
Kłotoida	0,00361	0,0289	0,0974	0,231	0,451	3,608
Krzywa Blossa	0,00003	0,0005	0,0025	0,008	0,019	0,299
Wyglądzona krzywa przejściowa	0,00271	0,0218	0,0739	0,176	0,345	2,820

w km/h, a_{dop} – dopuszczalna wartość niezerównoważonego przyspieszenia w m/s^2 , h_0 – wartość przechyłki na łuku w mm, g – przyspieszenie ziemskie ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), s – rozstaw toków szynowych ($s = 1500 \text{ mm}$).

Długość krzywej przejściowej określają warunki zachowania dopuszczalnych wartości prędkości zmiany przyspieszenia ψ i prędkości podnoszenia koła taboru na rampie przechyłkowej f . W ogólnym przypadku (tj. za wyjątkiem kłotoidy) parametry te są zmienne na długości, zatem jako miarodajne należy przyjąć ich wartości maksymalne.

Jeżeli uwzględnimy związek występujący pomiędzy rzędnymi ramy przechyłkowej $h(l)$ i krzywizną $k(l)$

$$h(l) = h_0 R k(l) \quad (22)$$

otrzymuje się dwa następujące warunki:

$$\psi_{\text{max}} = \frac{V}{3.6} \left[\left(\frac{V}{3.6} \right)^2 - \frac{g}{s} h_0 R \right] \max k'(l) \leq \psi_{\text{dop}}$$

$$f_{\text{max}} = \frac{V}{3.6} h_0 R \max k'(l) \leq f_{\text{dop}}$$

Jak się okazuje, wartość $\max k'(l)$ dla rozpatrywanych krzywych przejściowych można wyznaczyć z uniwersalnego wzoru

$$\max k'(l) = \frac{A}{R l_k}$$

przy czym wartości współczynnika A wynoszą:

dla kłotoidy $A = 1$,
dla krzywej Blossa $A = 3/2$,
dla nowej krzywej przejściowej

$A = 4/3$ (tab. 1).

Na tej podstawie można wyznaczyć następujące wzory na minimalną długość porównywanych krzywych przejściowych ze względu na parametry ψ i f :

$$\min l_k^{\psi} = \frac{V}{3.6} \left[\left(\frac{V}{3.6} \right)^2 \frac{1}{R} - \frac{g}{s} h_0 \right] \frac{A}{\psi_{\text{dop}}} \quad (23)$$

$$\min l_k^f = \frac{V}{3.6} h_0 \frac{A}{f_{\text{dop}}} \quad (24)$$

Zakładamy prowadzenie analizy dla prędkości jazdy pociągów $V = 100 \text{ km/h}$. Przyjmując wartość przechyłki na łuku kołowym $h_0 = 70 \text{ mm}$ oraz dopuszczalną wartość przyspieszenia niezerównoważonego $a_{\text{dop}} = 0,85 \text{ m/s}^2$, na podstawie warunku (21) otrzymujemy wartość $R_{\text{min}} = 590,002 \text{ m}$. W przeprowadzonych dalej obliczeniach przyjmujemy promień łuku kołowego $R = 600 \text{ m}$.

Zakładając dopuszczalną wartość prędkości zmiany przyspieszenia $\psi_{\text{dop}} = 0,3 \text{ m/s}^3$ (jak dla pojedynczych krzywych przejściowych o krzywiznie liniowej), na podstawie warunków (23) i (24) określamy minimalne długości odpowiedniej krzywej przejściowej i ostatecznie przyjmujemy:

dla kłotoidy $l_k = 77 \text{ m}$,
dla krzywej Blossa $l_k = 116 \text{ m}$,
dla nowej krzywej przejściowej $l_k = 103 \text{ m}$.

Na rysunku 3 przedstawiono wykresy krzywizny na długości porównywanych krzywych przejściowych, sporządzone na podstawie wzorów (9), (15) i (18). Na rysunku 4 pokazano odpowiednie wykresy rzędnych poziomych na podstawie wzorów (13), (14), (16), (17), (19) i (20). Z kolei rysunek 5 zawiera wykresy rzędnych ramy prze-

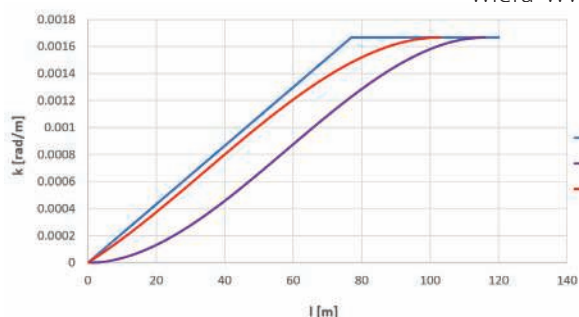
chyłkowej wyznaczonych za pomocą wzoru (22).

Jak wynika z rysunku 3, wykres krzywizny dla wyznaczonej nowej krzywej przejściowej znacząco odbiega od wykresu krzywizny dla krzywej Blossa. Dotyczy to zwłaszcza strefy początkowej, w której różnica ta się kształtuje i sprawia, że omawiane krzywe tak bardzo od siebie odbiegają. Natomiast przebieg wykresu krzywizny dla nowej krzywej jest na znacznej długości zbliżony (choć nieco korzystniejszy) do wykresu krzywizny dla kłotoidy. Dopiero w rejonie końcowym, przy przejściu z krzywej przejściowej na łuk kołowy, uwidacznia się znaczna różnica: wykres krzywizny dla nowej krzywej jest tam dużo łagodniejszy. Przedstawione uwagi odnoszą się również w pełni do wykresów rzędnych ramy przechyłkowej na rysunku 5.

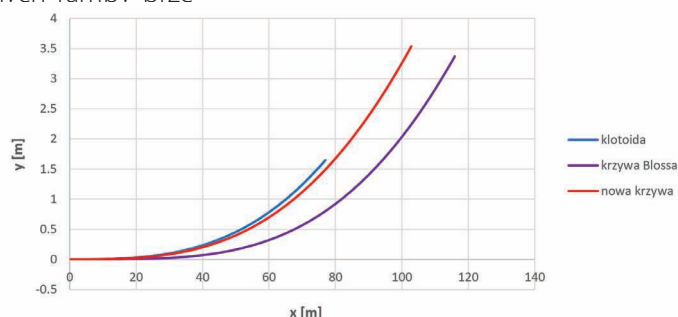
Należy zauważyć, że wyznaczona krzywa przejściowa nie zapewnia płynnego przejścia z prostej na krzywą przejściową, zatem nie można jej zakwalifikować do kategorii klasycznych gładkich krzywych przejściowych. Ponieważ jednak jest ona od tych krzywych krótsza i powstała z myślą o spełnieniu wymagań wykonawczych, nie ulega wątpliwości jej większa praktyczna przydatność. Potwierdzić to może szczegółowa analiza rzędnych poziomych i rzędnych ramy przechyłkowej w rejonie początkowym.

Analiza rzędnych poziomych i rzędnych ramy przechyłkowej w rejonie początkowym

Popatrzmy zatem, jak kształtują się rzędne poziome porównywanych krzywych przejściowych oraz rzędne ramy przechyłkowej na odcinku pierwszych 10 metrów. Na rysunku 6 pokazano wykresy rzędnych poziomych w rejonie początkowym. Odpowiednie wartości liczbowe zawiera tabela 2.



3. Wykresy krzywizny na długości porównywanych krzywych przejściowych ($R = 600 \text{ m}$)



4. Wykresy rzędnych poziomych na długości porównywanych krzywych przejściowych (w skali skazanej)

W celu jeszcze lepszego zobrazowania różnicy występującej pomiędzy wygładzoną krzywą przejściową i krzywą Blossa wyznaczono procentowe wartości stosunku rzędnych wymienionych krzywych do rzędnych klotoidy. Zostały one przedstawione na rysunku 7. Jak widać, rzędne krzywej Blossa w rejonie początkowym wynoszą od 1 do 8% rzędnych klotoidy, podczas gdy dla nowej krzywej przejściowej odpowiedni stosunek wynosi od 75 do 78%. Nie ulega zatem wątpliwości, że w przypadku początkowego rejonu krzywej Blossa praktyczna realizacja tak małych rzędnych jest absolutnie niemożliwa. Natomiast możliwości realizacyjne w tej strefie nowej krzywej przejściowej nie różnią się zbyt od analogicznych możliwości w odniesieniu do klotoidy.

Podobną analizę należy jeszcze przeprowadzić dla rzędnych rampy przechyłkowej. Na rysunku 8 pokazano wykresy rzędnych rampy w rejonie początkowym. Odpowiednie wartości liczbowe zawiera tabela 3.

Wykresy na rysunku 8 i wartości rzędnych rampy przechyłkowej w tabeli 3 w pełni potwierdzają wnioski z analizy rzędnych poziomych. Praktyczna realizacja i następnie utrzymanie bardzo małych wartości rzędnych rampy przechyłkowej w rejonie początkowym krzywej Blossa nie wydają się możliwe. Natomiast podobnie jak w przypadku rzędnych poziomych, możliwości realizacyjne w strefie początkowej rampy przechyłkowej na nowej krzywej przejściowej są analogiczne jak dla rampy prostoliniowej występującej na klotoidzie.

Tab. 3. Wybrane wartości rzędnych rampy przechyłkowej h [mm] w rejonie początkowym

Krzywa przejściowa	$l = 1$ m	$l = 2$ m	$l = 3$ m	$l = 4$ m	$l = 5$ m	$l = 10$ m
Klotoida	0,909	1,818	2,727	3,636	4,545	9,091
Krzywa Blossa	0,016	0,062	0,138	0,244	0,379	1,471
Wygładzona krzywa przejściowa	0,686	1,385	2,096	2,820	3,555	7,392

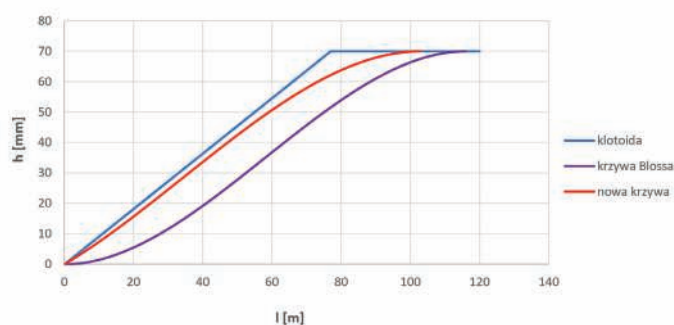
idzie. Sformułowane dla krzywej Blossa uwagi, dotyczące możliwości praktycznej realizacji i utrzymania rzędnych krzywej przejściowej i rzędnych rampy przechyłkowej w rejonie początkowym, odnoszą się do całej rodziny gładkich krzywych przejściowych. Podważają one w dużym stopniu celowość stosowania tych krzywych na liniach kolejowych i jednocześnie wyjaśniają sceptycyzm, jaki otacza te krzywe w niektórych środowiskach praktyki wykonawczej.

Wnioski

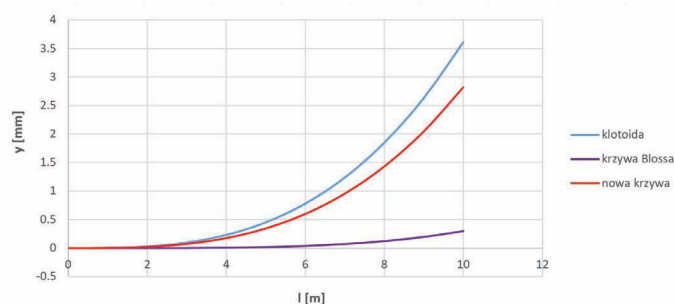
Gładkie krzywe przejściowe, tj. krzywe o nieliniowym rozkładzie krzywizny na długości, są znane od dawna i posiadają szereg bezspornych zalet – przede wszystkim cechują je mniejsze wartości oddziaływań dynamicznych niż ma to miejsce dla klotoidy (o liniowym rozkładzie krzywizny). Zakres ich stosowania na drogach kolejowych jest jednak – jak dotąd – bardzo ograniczony. Krzywe te, niestety, mają jedną, zasadniczą wadę – bardzo małe wartości rzędnych poziomych (i rzędnych rampy przechyłkowej) w rejonie początkowym, w praktyce często niemożliwe do realizacji i następnie utrzymania.

Podstawową przyczynę trudności występujących w znanych postaciach gładkich krzywych przejściowych sta-

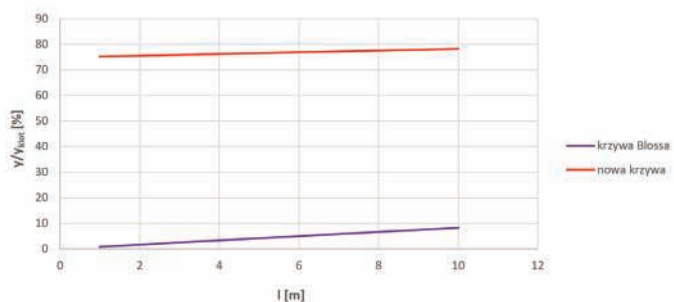
nowi nadmierne wyłagodzenie krzywizny w ich rejonie początkowym. Należy zatem znaleźć nową postać krzywej przejściowej, rezygnując z warunku zerowania się pochodnej krzywizny w punkcie początkowym. Wykorzystując metodę identyfikacji krzywizny za pomocą równań różniczkowych [12], uzyskano taką właśnie postać krzywej, którą określono mianem "wygładzonej krzywej przejściowej". Wyznaczona nowa krzywa przejściowa charakteryzuje się łagodnym przebiegiem krzywizny w rejonie wejścia w łuk kołowy oraz jej pewnym zaburzeniem w rejonie początkowym (mniejszym jednak niż w przypadku klotoidy). Wykazano jej zdecydowaną przewagę nad reprezentującą gładkie krzywe przejściowe krzywą Blossa. Praktyczna realizacja (i następnie utrzymanie) rejonu początkowego tej krzywej – z uwagi na bardzo małe wartości rzędnych poziomych i rzędnych rampy przechyłkowej – okazuje się zupełnie nieefektywna. Natomiast możliwości realizacyjne w tej strefie nowej krzywej przejściowej nie różnią się zbyt od analogicznych możliwości w odniesieniu do klotoidy. Tak więc, jak się wydaje, zaprezentowana nowa krzywa mogłaby z powodzeniem konkurować z powszechnie obecnie stosowaną klotoidą, do której jest podobna w rejonie początkowym, natomiast różni się istot-



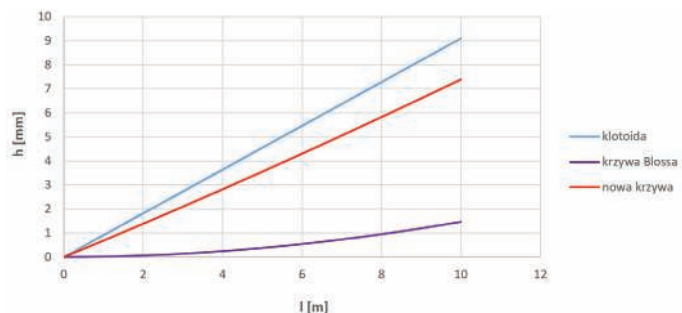
5. Wykresy rzędnych rampy przechyłkowej na długości porównywanych krzywych przejściowych ($h_0 = 70$ mm)



6. Kształtowanie się rzędnych poziomych rozpatrywanych krzywych przejściowych w rejonie początkowym (w skali skązonej)



7. Procentowe wartości stosunku rzędnych poziomych krzywej Blossa i wygładzonej krzywej przejściowej do rzędnych klotoidy w rejonie początkowym



8. Kształtowanie się rzędnych rampy przechyłkowej w rejonie początkowym na rozpatrywanych krzywych przejściowych

nie na dalszej długości, a zwłaszcza w rejonie końcowym, gdzie zapewnią łagodne wejście z krzywej przejściowej w łuk kołowy. Jest to o tyle istotne, że inne możliwości poprawy istniejącej sytuacji są w znacznym stopniu ograniczone. Wykazany brak możliwości praktycznej realizacji i utrzymania rzędnych krzywej przejściowej i rzędnych rampy przechyłkowej w rejonie początkowym podważa bowiem w dużym stopniu celowość stosowania klasycznych gładkich krzywych przejściowych na liniach kolejowych.

Należy zauważyć, że wśród innych znanych postaci krzywych przejściowych również mogą występować rozwiązania (lub warianty rozwiązań) spełniające wymagania realizacyjne i utrzymaniowe dróg kolejowych, jednak ich odpowiednie właściwości odnoszące się do wartości rzędnych poziomych w rejonie początkowym (i rzędnych rampy przechyłkowej) nie były dotąd eksponowane. Jak wynika z ogólnego rozeznania, znaczny stopień podobieństwa do zaproponowanej w niniejszej pracy nowej krzywej przejściowej cechuje jeden z wariantów tzw. wielomianowych krzywych przejściowych [7] oraz kłotoid dwuparametrowych [9]. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Bałuch H.: Optymalizacja układów geometrycznych toru. WKiŁ, Warszawa 1983.
- [2] Baykal O., Tari E., Coskun Z., Sahin M.: New transition curve joining two straight lines. *Journal of Transportation Engineering* 1997, Vol. 123, No. 5, pp. 337-345.
- [3] Bosurgi G., D'Andrea A.: A polynomial parametric curve (PPC-CURVE) for the design of horizontal geometry of highways. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 2012, Vol. 27, No. 4, pp. 303-312.
- [4] Cai H., Wang G. (2009). A new method in highway route design: joining circular arcs by a single C-Bezier curve with shape parameter. *Journal of Zhejiang University* 2009, SCIENCE A, Vol. 10, No. 4, pp. 562-569.
- [5] Grabowski R. J.: Kształtowanie geometryczne krzywych przejściowych w drogach kołowych, kolejowych i trasach wodnych. *Politechnika Białostocka, Rozprawy Naukowe* Nr 38, 1996.
- [6] Habib Z., Sakai M.: On PH quantic spirals joining two circles with one circle inside the other. *Computer-Aided Design* 2007, Vol. 39, pp. 125-132.
- [7] Kobryń, A.: Polynomial solutions of transition curves. *Journal of Surveying Engineering* 2011, Vol. 137, No. 3, pp. 71-80.
- [8] Kobryń A.: Universal solutions of transition curves. *Journal of Surveying Engineering* 2016, Vol. 142, No. 4, Article ID 04016010.
- [9] Kobryń A.: *Transition Curves for Highway Geometric Design*. Springer International Publishing, Series: Springer Tracts on Transportation and Traffic, Vol. 14, 2017.
- [10] Koc W.: Analytical method of modelling the geometric system of communication route. *Mathematical Problems in Engineering* 2014, Vol. 2014, Article ID 679817.
- [11] Koc W.: *Elementy teorii projektowania układów torowych*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2004.
- [12] Koc W.: Identification of transition curves in vehicular roads and railways. *Logistics and Transport* 2015, Vol. 28, No. 4, pp. 31-42.
- [13] Koc W.: Krzywe przejściowe z nieliniowymi rampami przechyłkowymi w warunkach eksploatacyjnych PKP. *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej* 1991, Nr 462, s. 3-129.
- [14] Koc W.: New transition curve adapted to operational requirements of railways. Artykuł przyjęty do druku w *Journal of Surveying Engineering ASCE*.
- [15] Koc W.: Transition curve with smoothed curvature at its ends for railway roads. *Current Journal of Applied Science and Technology* 2017, Vol. 22, Issue 3, Article No. CJA35006, pp. 1-10.
- [16] Koc W., Mieloszyk E.: Analiza porównawcza wybranych krzywych przejściowych z wykorzystaniem modelu dynamicznego. *Archiwum Inżynierii Lądowej* 1987, Vol. 33, Nr 2, s. 239-261.
- [17] Koc W., Mieloszyk E.: Analysis of dynamic measurements on transition curves. *Archives of Civil Engineering* 1992, Vol. 38, iss. 1-2, pp. 167-172.
- [18] Maxima, a Computer Algebra System, <http://maksima.sourceforge.net>
- [19] Mieloszyk E., Koc W.: General dynamic method for determining transition curve equations. *Rail International – Schienen der Welt* 1991, Vol. 22, No. 10, pp. 32-40.
- [20] Sanchez-Reyes J., Chacon J. M.: Non-parametric Bezier representation of polynomial transition curves. *Journal of Surveying Engineering* 2018, 144(2), 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000251, 04018001.
- [21] Tari E., Baykal O.: A new transition curve with enhanced properties. *Canadian Journal of Civil Engineering* 2011, Vol. 32, No. 5, pp. 913-923.
- [22] Tasci L., Kuloglu N.: Investigation of a new transition curve. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2011, Vol. 6, No. 1, pp. 23-29.
- [23] Zboirski K., Woźnica P.: Optimization of polynomial transition curves from the viewpoint of jerk value. *Archives of Civil Engineering* 2017, Vol. 63, No. 1, pp. 181-199.
- [24] Zboirski K., Woźnica P.: Combined use of dynamical simulation and optimisation to form railway transition curves. *Vehicle Systems Dynamics* 2018, pp. 1-57.
- [25] Ziatdinov R.: Family of superspirals with completely monotonic curvature given in terms of Gauss hypergeometric function. *Computer Aided Geometric Design* 2012, Vol. 29, No. 7, pp. 510-518.

REKLAMA

WWW.TRAKOTARGI.PL

TRAKO

13. MIĘDZYNARODOWE TARGI KOLEJOWE

24-27.09.2019 | GDAŃSK | AMBEREXPO



Projekt badawczy BRIK: Opracowanie innowacyjnej metody wyznaczania precyzyjnej trajektorii pojazdu szynowego

Research project BRIK: development of an innovative method for determining the precise trajectory of a railway vehicle



Andrzej Wilk

Dr hab. inż., prof. nadzw. PG

Politechnika Gdańska,
Katedra Inżynierii Elektrycznej
Transportu

andrzej.wilk@pg.edu.pl



Cezary Specht

Prof. dr hab. inż.

Uniwersytet Morski w Gdyni,
Katedra Geodezji
i Oceanografii

c.specht@wn.umg.edu.pl



Władysław Koc

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Gdańska, Katedra
Transportu Szynowego i
Mostów

kocwl@pg.edu.pl



**Krzysztof
Karwowski**

Dr hab. inż., prof. nadzw. PG

Politechnika Gdańska,
Katedra Inżynierii Elektrycznej
Transportu

krzysztof.karwowski@pg.edu.pl



Chrostowski Piotr

Politechnika Gdańska, Katedra
Transportu Szynowego i
Mostów

piotr.chrostowski@pg.edu.pl



Jacek Szmagliński

Politechnika Gdańska, Katedra
Transportu Szynowego i
Mostów

jacek.szmaglinski@pg.edu.pl



Paweł Dąbrowski

Mgr inż.

Uniwersytet Morski w Gdyni,
Katedra Geodezji
i Oceanografii

p.dabrowski@wn.umg.edu.pl



Mariusz Specht

Mgr inż.

Uniwersytet Morski w Gdyni,
Katedra Transportu i Logistyki

m.specht@wn.umg.edu.pl



Sławomir Judek

Politechnika Gdańska,
Katedra Inżynierii Elektrycznej
Transportu

sławomir.judek@pg.edu.pl



Jacek Skibicki

Politechnika Gdańska,
Katedra Inżynierii Elektrycznej
Transportu

jacek.skibicki@pg.edu.pl



Marcin Skóra

Mgr inż.

Uniwersytet Morski w Gdyni,
Katedra Geodezji
i Oceanografii

marcin21@gmail.com



**Sławomir
Grulkowski**

Politechnika Gdańska, Katedra
Transportu Szynowego i
Mostów

sławomir.grulkowski@pg.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono podstawowe informacje dotyczące projektu badawczego realizowanego na zlecenie Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Spółki PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. przez Konsorcjum Politechniki Gdańskiej i Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. Projekt obejmuje wykorzystanie nowoczesnych metod pomiarowych, takich jak techniki pozycjonowania satelitarne GNSS, pomiary inercyjne INS oraz skanowanie laserowe LS, w procesie zarządzania siecią dróg kolejowych. Chodzi tutaj o określenie parametrów układu geometrycznego linii kolejowych oraz odtwarzanie trajektorii ruchu pojazdów szynowych. Do uzyskania tego celu zostanie wykorzystana innowacyjna technika mobilnych pomiarów satelitarnych. Przedstawiono opis projektu oraz poszczególne etapy jego realizacji. Omówiono zakres prac badawczych wykonanych w 2018 roku. Politechnika Gdańska przeprowadziła analizę metod określania i oceny kształtu toru, przedstawiła koncepcję badań trajektorii linii kolejowych z wykorzystaniem nawigacji satelitarnej, podjęła kwestię wpływu dynamiki ruchu wagonu pomiarowego na pomiary położenia toru z wykorzystaniem mobilnych technik GNSS/INS oraz zaprezentowała projekt platformy pomiarowej wraz z jego wstępną weryfikacją. Uniwersytet Morski w Gdyni podjął kwestię technologii GNSS/INS/MLS w pomiarach ukształtowania toru, opracował schemat ideowy rozmieszczenia aparatury na mobilnej platformie pomiarowej i określił możliwości poprawy dokładności stosowanego obecnie na PKP sposobu określania lokalizacji pociągów.

Słowa kluczowe: Projekt badawczy; Układ geometryczny toru; Pomiar GNSS/INS/MLS

Abstract: In the paper the essential assumptions regarding a research project implemented by a consortium of Gdansk University of Technology and Gdynia Maritime University are presented. The project has been commissioned by National Center of Research and Development with cooperation with Polish Railways (PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.). The project is focused in implementation of modern measurement techniques using Global Navigation Positioning System GNSS, Inertial Navigation System INS and Mobile Laser Scanning MLS in a railway network management process. The precise aim of the research is both determine geometric parameters of a railway geometric layout as well as a railway vehicle movement trajectory. For this reason the innovative technique of mobile satellite measurements will be used. In the paper a synthetic description of the project together with the particular stages are presented. Also, a part of research which was realized in 2018 is shown. In the first stage, Gdansk University of Technology made a research of existing common methods for determining and assessing a track alignment, presented an idea of mobile investigation of track axis by the use of satellite measurements, took into consideration an issue of influence of dynamic behavior of the measurement vehicle on the accuracy of determined track positions by the use of GNSS/INS techniques and finally presented a technical project of measurement platform. Gdynia Maritime University made a query of GNSS/INS/MLS in measurements of track alignment, elaborated a scheme of measurement devices placement on the mobile measurement platform and studied possibilities of increasing accuracy for estimation a railway vehicle localization in relation to common techniques used by polish train operators.

Keywords: Research project; Railway layout; GNSS/INS/MLS measurements

Od dłuższego już czasu funkcjonuje przekonanie, że w dobie dynamicznie rozwijających się systemów służących pozycjonowaniu metodami GNSS [11] staje się możliwe opracowanie niezawodnej i dokładnej metody określania kształtu osi toru kolejowego w Państwowym Układzie Współrzędnych Geodezyjnych 2000 [9]. Przedstawioną tezę potwierdziły w sposób jednoznaczny prace badawcze prowadzone od 2009 roku przez interdyscyplinarny zespół naukowy złożony pierwotnie z pracow-

ników Politechniki Gdańskiej i Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Obecnie biorący udział w projekcie pracownicy AMW należą do kadry Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. Na przestrzeni wielu lat zespół przeprowadził szereg kampanii pomiarowych w eksploatowanym torze kolejowym, stanowiących podstawę do opracowania innowacyjnej techniki mobilnych pomiarów satelitarnych oraz wykorzystujących tę technikę nowych metod projektowania układów geometrycznych toru. Wyniki prowadzonych

badan upowszechniano na bieżąco w kilkudziesięciu publikacjach, krajowych i zagranicznych (m. in. [3–6, 14–16]), co pozwoliło na wszechstronną prezentację nowej techniki pomiarowej w środowisku naukowym i inżynierskim zajmującym się dziedziną infrastruktury transportu szynowego. Efektem podsumowującym dotychczasowe osiągnięcia w omawianym zakresie jest publikacja książkowa o charakterze monografii [7]. Doświadczenia te stały się podstawą, zakończonego sukcesem, udziału

w konkursie organizowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz PKP Polskie Linie Kolejowe S. A. Wniosek o dofinansowanie nr POIR.04.01.01-00-0017/17 projektu badawczego pt. „Opracowanie innowacyjnej metody wyznaczania precyzyjnej trajektorii pojazdu szynowego” (akronim: InnoSatTrack) został złożony przez Konsorcjum Politechniki Gdańskiej (Lider) i Uniwersytetu Morskiego w Gdyni (realizacja w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia BRIK w Programie Operacyjnym Inteligentny Rozwój 2014–2020, okres realizacji 2018.06.24–2021.05.31).

W ramach Politechniki Gdańskiej projekt jest realizowany przez pracowników Katedry Inżynierii Elektrycznej Transportu, Wydziału Elektrotechniki i Automatyki oraz Katedry Transportu Szynowego i Mostów, Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska. Ze strony Uniwersytetu Morskiego w Gdyni w projekcie biorą udział pracownicy Katedry Geodezji i Oceanografii z Wydziału Nawigacyjnego.

Realizowany projekt dotyczy problematyki odtwarzania ukształtowania geometrycznego linii kolejowych na drodze mobilnych pomiarów satelitarnych. Precyzyjna identyfikacja osi toru pociąga za sobą szereg możliwości związanych z aktualizacją danych cyfrowych o lokalizacji linii i obiektów inżynierskich w układzie współrzędnych 2000. Dane te mogą być również wykorzystywane do planowania, projektowania i budowania baz danych służących zarządzaniu infrastrukturą oraz stanowić dane wejściowe dla programów liczących przejazdy teoretyczne pociągów. Technika GNSS pozwala również na lokalizację pojazdów szynowych w czasie rzeczywistym (położenie, prędkość) np. na potrzeby sterowania ruchem czy jako źródło danych dla systemów informacji pasażerskiej.

Przyjęty obszar badań pozwoli określić aktualne i przyszłe możliwości stosowania technik GNSS (oraz uzupełniających je technik inercyjnych) w wyżej wymienionych dziedzinach. Szeroki zakres badań eksperymentalnych i prac laboratoryjnych poprzedzony będzie analizą przyjętych założeń oraz pracami studialnymi. Do realizacji projektu zastosowana zostanie aparatura pomiarowa najnowszej generacji wraz z wykorzystaniem istniejącej w Polsce sieci stacji referencyjnych. Analizie poddane zosta-

ną różne warianty konfiguracji systemu pomiarowego z optymalizacją jego krytycznych parametrów. Finalnie oś toru będzie reprezentowana przez szereg parametrów geometrycznych, zgodnie z zasadami definiowania i identyfikacji układów geometrycznych torów kolejowych. Wyniki pomiarów przetwarzane będą, w opracowanym w ramach projektu, wielowarstwowym systemie informatycznym, który umożliwi ich prezentację w funkcjonalnej aplikacji internetowej.

Opis projektu InnoSatTrack

Projekt obejmuje wykorzystanie nowoczesnych metod pomiarowych, takich jak techniki pozycjonowania GNSS [11], pomiary inercyjne INS [2] czy skaning laserowy LS [8], w procesie zarządzania rozumiany jest tutaj jako szereg zadań związanych zarówno z planowaniem, projektowaniem, budową i utrzymaniem linii kolejowych, jak również tych dotyczących prowadzenia ruchu pociągów. Najnowsze osiągnięcia w owej dziedzinie dowodzą, że potencjał technik pozycjonowania satelitarnego otwiera nieznane dotąd możliwości związane z precyzyjnym określaniem położenia toru względem przyjętego układu odniesień przestrzennych. Pojawia się zatem możliwość szybkiego – względem geodezji tradycyjnej opartej na tachimetrii – odwzorowania ukształtowania linii kolejowej. Należy przy tym odróżnić dwie kwestie, a mianowicie odtwarzanie układu geometrycznego linii kolejowych oraz odtwarzanie trajektorii ruchu pojazdu szynowego, pomimo tego, że najczęściej zakłada się równoznaczność owych terminów. Jest to jednak oparte na traktowaniu ukształtowania rzeczywistego toru w sposób modelowy (pełna zgodność z dokumentacją techniczną) bądź na możliwości utożsamiania układu geometrycznego z niejednoznacznie wyznaczoną trajektorią ruchu pojazdu (np. w ujęciu dyskretnym – zbiór punktów, bądź w ujęciu wektorowym z wykorzystaniem funkcji sklepanych). W opisywanym projekcie owe aspekty zostają rozdzielone. Układ geometryczny linii kolejowej reprezentowany będzie przez zidentyfikowany na drodze pomiarów i analiz numerycznych zestaw modeli

teoretycznych, zgodnych z zasadami projektowania linii kolejowych, natomiast trajektoria ruchu pojazdu zostanie odwzorowana z określoną dokładnością na podstawie rzeczywistego położenia pojazdu w określonym czasie. Obydwa te zagadnienia posiadają swoje własne założenia i ograniczenia, a także specyficzne kryteria odnośnie żądanej dokładności.

Dla określenia osi toru w kontekście układu geometrycznego konieczne spełnienia następujących założeń i wymagań technicznych:

- Pomiar wykonywany będzie w trakcie przejazdu z prędkością, dla której gęstość wyznaczania pozycji wynosi ok. 2–4 na metr bieżący toru (tj. co 25–50 cm). Założenie to związane jest z niejednoznacznością umiejscowienia elementów geometrycznych (prostych, łuków kołowych, krzywych przejściowych, pochyłeń podłużnych itp.) na długości linii. Elementy te mogą być w sposób odwzorowane z pożądaną dokładnością jedynie przy dostatecznej gęstości wyznaczania pozycji;
- Wyniki pomiaru wyrównane będą z wykorzystaniem bazy w postaci zespołu wektorów zdefiniowanych względem platformy pomiarowej (rys. 1). Metodyka ta pozwoli na maksymalne wykorzystanie złożonego układu pomiarowego (zestaw równoległe pracujących anten GNSS) na potrzeby poprawy dokładności wyznaczania pozycji osi toru. W ten sposób uzyskany sygnał pomiarowy będzie odpowiednio przygotowany do dalszej analizy geometrycznej;
- Pozycje wyznaczone techniką GNSS będą skonfrontowane z sygnałem urządzeń inercyjnych, co również zredukuje stopień niepewności związany z losowym pogorszeniem się jakości sygnału satelitarnego. Metodyka oparta na czujnikach INS wykorzystywana będzie zwłaszcza w sytuacjach utraty dostępności sygnału satelitarnego, wynikającej z przesłon terenowych w postaci pobliskiej zabudowy, przekopów, terenów zalesionych, wiaduktów, mostów, tuneli itp.;
- Elementy geometryczne i ich parametry identyfikowane będą przy założeniu minimalizacji wartości różnic pomiędzy pozycjami wy-

równanego pomiaru satelitarnego i współzrędnymi zidentyfikowanego układu geometrycznego. Określone w ten sposób różnice będą analizowane w kontekście stopnia deformacji układu geometrycznego względem modelu teoretycznego.

Do wyznaczania trajektorii pojazdu szynowego wykonywany będzie pomiar GNSS+INS podczas jazdy pojazdu (alternatywnie: pociągu, drezyny, pojazdu trakcyjnego itp.) z podwyższonymi prędkościami. Prędkości podwyższone (pierwotnie ustalone na poziomie 100–120 km/h) dotyczą przedziału prędkości poprzedzających prędkość wysoką, której granicę określa $v = 200$ (250) km/h, w zależności od sposobu wdrożenia owej prędkości (modernizacja linii istniejącej, budowa nowej linii). W związku z tym istnieje szereg problemów dotyczących uzyskania jednoznaczności położenia pojazdu z wymaganą gęstością przestrzenną oraz związanych z odpowiednio szybką transmisją danych. Projekt zakłada badania aktualnych możliwości określania pozycji pojazdu poruszającego się z prędkością wyższą niż 120 km/h, z wykorzystaniem najnowszych technik GNSS oraz post-processingu z poprawkami nadawanymi przez stacje referencyjne sieci naziemnej.

Dotychczasowe doświadczenia zespołu badawczego koncentrowały się głównie na możliwościach odtwarzania układów geometrycznych w warunkach rozwijających się systemów satelitarnych, w szczególności po oddaniu do użytku publicznego sieci stacji referencyjnych ASG EUPOS. Wprowadzenie owej sieci spowodowało radykalną poprawę w zakresie poziomu uzyskiwanej dokładności wyznaczania pozycji toru. Również podejmowane prace związane z projektem systemu odbiorników oraz

ich wzajemnej konfiguracji na platformach pomiarowych skutkowały poprawą jakości otrzymywanych rezultatów badawczych. Opanowane już techniki będą nadal rozwijane w celu osiągnięcia maksymalnej możliwej dokładności przy identyfikacji rzeczywistego ukształtowania linii kolejowych.

Kolejnym istotnym zagadnieniem związanym z realizowanym projektem jest kwestia systemu informatycznego obsługującego proces pomiarowy i analityczny. Techniki wykorzystane w projekcie wymagają profesjonalnego wsparcia systemowego. Wynika to z faktu, że pomiary dostarczać będą dużą ilość informacji z racji gęstości pomiaru (częstotliwości próbkowania) oraz nadmiarowej konfiguracji czujników systemu pomiarowego (odpowiedzialnej za niezawodność metody), a także z uwagi na funkcjonalność w procesie analizy i prezentacji wyników. Z tego powodu zostanie opracowany i wykonany odpowiedni system informatyczny oparty o architekturę warstwową. Architektura ta zapewni skuteczne wsparcie procesów obliczeniowych, których funkcjonalność wynikać będzie z potrzeb zgłoszonych przez PKP PLK S.A. Zakłada się przy tym konsultacje i uzgodnienia co do funkcjonalności systemu. Architekturę systemu i sposób jej realizacji w ogólnym ujęciu przedstawia rysunek 2.

Zakłada się, że zbiory danych pomiarowych z anten GNSS platformy pomiarowej będą odpowiednio szeregowane i gromadzone w bazie danych Microsoft SQL Server lub w innej bazie wskazanej przez PKP PLK S.A. Proponuje się opracowanie systemu informatycznego jako aplikacji internetowej typu ASP.NET (ang. Active Serwer Pages) w środowisku .NET Framework. Będzie ona mogła być uruchamiana z dowolnego komputera podłączonego do sieci inter-

netowej. System będzie posiadał następujące warstwy: prezentacji, biznesową oraz dostępu do bazy danych. W aplikacji będą zaimplementowane wydajne i wielowartościowe kontrolki danych. Wybrane zostaną kontrolki implementujące mechanizm automatycznego wiązania danych oraz zapewniające szereg operacji, takich jak ich sortowanie i filtrowanie.

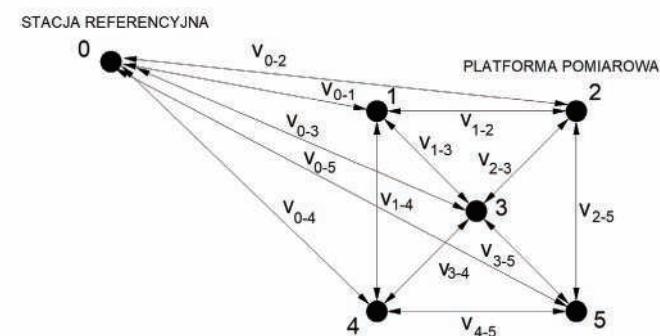
Zakłada się że rezultaty projektu osiągną wysoki poziom przedwdrożeniowy. Opracowana metodyka pomiarowa oraz sposób analizy wyników, realizowany odpowiednimi funkcjami prototypu systemu informatycznego, pozwoli na rozpoczęcie procesu wdrażania owych rezultatów. Wyniki prac badawczych oraz szczegółowe specyfikacje techniczne, umożliwiające wdrożenie metodyki pomiarowej i analitycznej przez zarządcę infrastruktury kolejowej, zostaną przekazane do PKP PLK S.A.

Etapy realizacji projektu

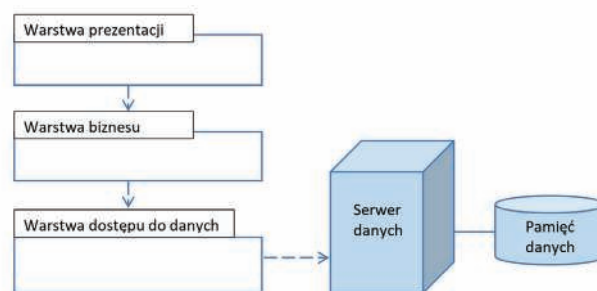
Realizacja projektu obejmować będzie dziewięć etapów. Poniżej przedstawiono ich skrócony opis.

Etap nr 1: Opracowanie metodyki oceny ukształtowania toru kolejowego z wykorzystaniem mobilnego systemu pomiarowego oraz stworzenie szczegółowej koncepcji badań

Przy wykorzystywaniu wyników pomiarów satelitarnych do określania kształtu geometrycznego osi toru kolejowego nie mogą znaleźć zastosowania preferowane przez niektóre środowiska naukowe modele teoretyczne, takie jak – przykładowo – zawarte w twierdzeniu [18]: „...Trajektoria pojazdu, wyznaczana w postaci szeregu punktów dyskretnych, przeliczona na krzywe gładkie (proste i krzywe regresji) utożsamia oś toru. Zastosowanie formuły matematycznej LRS (ang. *Linear Referencing Segmentation*) umożliwia konwersję układu



1. Zespół wektorów zdefiniowanych pomiędzy platformą pomiarową i stacją referencyjną do wyrównania wyników pomiarów: v_{0i} – wektory długie pomiędzy stacją referencyjną a poruszającą się po torze platformą; v_{ij} – wektory pomiędzy odbiornikami platformy pomiarowej, $i = 1-5$, $j = 1-5$, $i \neq j$



2. Architektura systemu informatycznego i sposób jej realizacji

liniowego LRS na dowolny powierzchniowy układ współrzędnych, co stwarza możliwość integracji systemów GIS (ang. *Geographic Information System*) z systemami stosowanymi w kolejnictwie, lokalizującymi obiekty względem kilometrażu". Kształt osi toru musi przecież spełniać zasady projektowania układów geometrycznych linii kolejowych i w żadnym wypadku nie może przyjmować postaci charakteryzującej się zmienną krzywizną na znacznej długości (poza precyzyjnie zdefiniowanymi odcinkami krzywych przejściowych).

Podczas realizacji pierwszego etapu projektu, przygotowawana będzie szczegółowa koncepcja i metodyka badań inwentaryzacyjnych linii kolejowych oraz pozycjonowania pociągów na szlakach. Wszystkie założenia koncepcji i metody wynikać będą z analizy aktualnie stosowanych procedur dotyczących określania osi toru i pozycjonowania pojazdów na liniach PKP PLK S.A. Zasadniczym założeniem jest opracowanie zasad oceny ukształtowania toru na podstawie nowoczesnych metod pozycjonowania satelitarne. Zakłada się przeprowadzenie szczegółowej analizy wprowadzania technik GNSS i INS do celów określania osi toru oraz pozycji pojazdu względem istniejącego kilometrażu linii kolejowej w układzie PUWG 2000. Z racji dynamicznego rozwoju technik pomiarowych niezbędne jest odniesienie się do stanu aktualnego nie tylko w obrębie funkcjonowania PKP PLK S.A.

W ramach tego etapu przewidziane jest także zaprojektowanie mobilnej platformy pomiarowej przystosowanej do instalacji następujących komponentów systemu: anten satelitarnych oraz inklinometrów, akcelerometrów, skanerów laserowych 2D stanowiących uzupełniający system pomiarowy umożliwiający uwzględnienie wpływu dynamiki ruchu platformy na wyniki pomiarów zasadniczych.

Etap nr 2: Opracowanie metodyki mobilnych pomiarów GNSS+INS oraz szczegółowej koncepcji przetwarzania danych pomiarowych

Podstawowym celem etapu drugiego jest zbudowanie mobilnej platformy pomiarowej, przystosowanej do precyzyjnych pomiarów satelitarnych. Będzie ona zintegrowana z inercyjnymi systemami nawigacyjnymi INS i mobilnym

skanerem laserowym SL. Pozwoli to na precyzyjne, dokładne oraz relatywnie szybkie i względnie tanie wyznaczenie osi toru. Zaproponowane rozwiązania technologiczne przyczynią się również do zwiększenia dokładności wyznaczania trajektorii pojazdów szynowych o podwyższonej prędkości jazdy.

Szczegółowy projekt platformy pomiarowej uwzględni będzie wielokriterialną analizę dotyczącą optymalnego miejsca mocowania komponentów systemu GNSS/INS/LS, w aspekcie podniesienia poziomu dokładności wyznaczania osi toru. Zaproponowane zostaną dwie wielowariantowe strategie wyznaczania osi torów z wysoką precyzją, które będą oparte o pozycjonowanie GNSS w czasie rzeczywistym (RTK) oraz na post-processingowym opracowaniu obserwacji fazowych. Przewiduje się, że w ogólnych przypadkach zapewnienie oczekiwanej dokładności wyznaczania osi torów zapewni zaproponowana strategia GNSS. W przypadkach szczególnych (brak sygnału GNSS – np. pomiar w tunelach) podtrzymanie wysokiej dokładności pomiaru zapewni zastosowanie pomiarów zintegrowanych GNSS/INS/LS. Przedmiotem analiz będzie również określenie optymalnej liczby pomiarowych odbiorników GNSS.

W następnej kolejności analizie zostaną poddane możliwości poprawy poziomu dokładności określania położenia pojazdu na podstawie danych otrzymanych z pojazdów przewoźników kolejowych. W tym przypadku zaproponowana zostanie strategia pomiarów w czasie rzeczywistym, uwzględniająca odbieranie korekt pozycyjnych z fizycznych stacji referencyjnych. Do tego celu analizie poddane zostaną dostępne na terenie Polski aktywne sieci stacji referencyjnych, tj. sieci geodezyjne: ASG-EUPOS, VRSnet, Leica i TPI NETpro. Zaprojektowana zostanie trasa analiz empirycznych, uwzględniająca różne warianty przesłonek terenowych, tj. tereny odsłonięte, obszary zabudowane, tereny gruntów zalesionych. W ramach etapu drugiego zostanie również przeprowadzona wielokriterialna analiza parametrów i własności eksploatacyjnych dostępnych na rynku urządzeń INS, odbiorników GNSS oraz skanerów laserowych. Etap ten zakończy się wyborem niezbędnej aparatury geodezyjnej oraz jej montażem na mobilnej plat-

formie pomiarowej.

Etap nr 3: Budowa algorytmów informatycznych do analizy sygnału pomiarowego – definiowanie osi toru kolejowego z uwzględnieniem zasad projektowania linii kolejowych

W ramach etapu trzeciego planowane są prace nad opracowaniem algorytmów wspomagających zdefiniowanie układu geometrycznego linii kolejowej, w dostosowaniu do pomiarów satelitarnych oraz uzupełniających je pomiarów inercyjnych i skaningu laserowego. Algorytmy będą zaimplementowane w wybranym środowisku programistycznym. Testowanie wspomnianych algorytmów jest istotnym elementem projektu z uwagi na charakter danych wejściowych w postaci dużych zbiorów współrzędnych otrzymanych z pomiaru i analizy post-processingowej. Jako efekt końcowy etapu przewiduje się opracowanie raportu zawierającego omówienie autorskich algorytmów informatycznych do przetwarzania opracowanych finalnie danych pomiarowych na potrzeby identyfikacji parametrów geometrycznych linii kolejowych. Przedstawiona zostanie również szczegółowa architektura algorytmów oraz sposób ich użytkowania, a także zaprezentowane wyniki wstępnych analiz wykonywanych w testowym środowisku informatycznym.

Etap nr 4: Budowa modeli teoretycznych analizujących sygnał pomiarowy oraz definiujących trajektorię pojazdu i oś toru kolejowego z uwzględnieniem algorytmów geodezyjnego rachunku wyrównawczego

W ramach etapu czwartego opracowane zostaną algorytmy numeryczne pozwalające na wyznaczenie współrzędnych osi toru z założonym wysokim poziomem dokładności, a także umożliwiające określanie trajektorii pojazdów przy podwyższonej prędkości jazdy z zachowaniem dużej precyzji pozycjonowania. Pierwsze zagadnienie będzie ściśle związane z zaprojektowaną mobilną platformą pomiarową. Rozważone zostaną dwa podejścia wyznaczania osi toru, tj. w czasie rzeczywistym oraz poprzez post-processingowe opracowanie obserwacji satelitarnych.

W skład platformy pomiarowej wchodzić będzie od trzech do pięciu stanowisk pomiarowych GNSS. Każde z tych stanowisk będzie wyposażone w przy-

rzędy do precyzyjnego, wymuszonego centrowania anteny GNSS. Ponadto każdy z projektowanych punktów zostanie poddany pomiarowi w wielogodzinnej sesji statycznej GNSS, wyznaczając tym samym odległości pomiędzy punktami pomiarowymi z wysoką dokładnością. Taka konstrukcja umożliwia utworzenie na platformie pomiarowej sieci wektorów GNSS, która w post-processingowym opracowaniu danych zostanie wyrównana w nawiązaniu do sieci stacji referencyjnych systemów ASG-EUPOS, VRSnet, TPI NETpro i Leica. Dodatkowo uwzględniane będą różne kombinacje integracji obserwacji z systemów GNSS (tj. np. GPS, GPS+GLONASS, GPS+BeiDou). Wyposażenie systemu pomiarowego w technikę pomiarów inercjalnych i skaningu laserowego zapewni utrzymanie założonego poziomu precyzji wyznaczania w przypadku utraty rozwiązania fazowego GNSS.

Wyznaczanie trajektorii pojazdu przy podwyższonej prędkości jazdy z zachowaniem wysokiej precyzji, będzie się odbywać poprzez zainstalowanie czterech odbiorników GNSS na dachu lokomotywy. Każdy z odbiorników będzie połączony z inną aktywną siecią stacji referencyjnych. Tak jak poprzednio, zaproponowane zostaną różne warianty integracji obserwacji uzyskanych z różnych systemów GNSS.

Etap nr 5: Prace eksperymentalno-pomiarowe mające na celu ocenę skuteczności zaproponowanych algorytmów. Specyfika realizacji pomiarów z wykorzystaniem aktywnej sieci geodezyjnej GNSS, przy geodezyjnej obsłudze trasy kolejowej, związana jest z pokonywaniem podczas pomiarów znacznych odległości. Podczas przemieszczania się po torze kolejowym odbiorniki GNSS wykorzystywane do wyznaczania trajektorii pojazdów i osi toru będą dynamicznie zmieniać konfigurację wykorzystywanych stacji referencyjnych GNSS, stąd istotnym problemem geodezyjnym o charakterze poznawczym będzie optymalizacja wykorzystania sieci ASG-EUPOS, VRSnet, Leica, TPI NETpro z punktu widzenia kryterium dokładnościowego. Przewiduje się dokonanie analizy porównawczej metod transmisji różnicowej GPS (FKP, MAC, VRS i in.), dostępnych serwisów (NAVGeo, KODGIS, NAVGIS) oraz wykorzystywanej wersji standardu transmisji telemetrycznej

(RTCM) z punktu widzenia minimalizacji błędów wyznaczania współrzędnych na rozległych obszarach.

Zastosowanie systemów inercjalnych umożliwi utrzymania wysokiej dokładności wyznaczania osi toru w sytuacjach chwilowej utraty rozwiązania fazowego GNSS, np. podczas przejazdu pod wiaduktem czy też przy ograniczeniu widoczności satelitów przez budynki lub ukształtowanie terenu. Zintegrowana technologia GNSS/INS zdecydowanie podwyższy zatem dostępność, niezawodność i ciągłość wyznaczania. Integracja pomiarów GNSS/INS z wynikami analizy chmury punktów otrzymanych z pomiaru skanerem laserowym oznaczać będzie uzupełnienie możliwości systemu o wykorzystanie pomiarów nadmiarowych.

Badania empiryczne dotyczące określania trajektorii pojazdów o podwyższonej prędkości zostaną przeprowadzone na rozległych obszarach, które będą się charakteryzowały zmiennością przesłonię terenowych. Podstawą realizacji tego zagadnienia są różnicowe pomiary wykonywane w czasie rzeczywistym RTK, uwzględniające korekty pozycyjne otrzymane z aktywnych sieci stacji referencyjnych. W ramach przeprowadzanych eksperymentów badany będzie obszar dostępny w obrębie zasięgu jednej stacji referencyjnej.

Należy zaznaczyć, że pomiary na obiektach testowych będą powtarzane, uwzględniając różne położenie satelitów GNSS na orbicie. Analizowany będzie również wpływ liczby satelitów, przyjętych do rozwiązania fazowego, wynikający z uwzględnienia obok satelitów GPS nadajników innych systemów satelitarnych, tj. Galileo, GLONASS oraz BeiDou. Takie rozwiązania pozwolą na modelowanie konstelacji satelitów, a w tym również współczynników DOP (decydujących o dokładności).

Przeprowadzone badania empiryczne wyznaczania osi toru dotyczyć będą zarówno pozycjonowania w czasie rzeczywistym, jak i post-processingowego opracowania obserwacji satelitarnych. W wyniku realizacji zadań geodezyjnych otrzymane zostaną współrzędne osi toru wyznaczone różnymi technikami, z różnym poziomem dokładności. W ramach etapu piątego nastąpi analiza metrologiczna niepewności pomiaru dla poszczególnych wariantów i wyłonienie

najefektywniejszej, czyli najdokładniejszej metody wyznaczania osi toru.

Etap nr 6: Opracowanie systemu informatycznego wykorzystującego wyniki pomiarów polowych w zarządzaniu siecią dróg kolejowych

Opracowane algorytmy oraz modele teoretyczne układów geometrycznych będą stanowiły niewątpliwie cenne narzędzia, jednak dopiero zaimplementowane do systemu informatycznego pozwolą na pełne ich wykorzystanie w praktyce inżynierskiej. System taki powinien być wykonany z myślą o całym procesie inwestycyjnym, a więc uwzględniać charakter procesów projektowych (zarówno koncepcje jak i szczegółowy projekt wykonawczy), zarządzania liniami kolejowymi oraz ich eksploatacji. Z tego względu system informatyczny będzie zaprojektowany w postaci bazy danych oraz modułów wspomagających najważniejsze procesy projektowe i analityczne oraz procesy zarządzania linią kolejową.

Zakłada się, że zbiory danych pomiarowych z anten systemu GNSS będą odpowiednio szeregowane i gromadzone w bazie danych Microsoft SQL Server lub bazie danych programu Access. Może być też uwzględniona baza danych wskazana przez PKP PLK S.A. Proponuje się opracowanie systemu informatycznego jako aplikacji internetowej z zaimplementowanymi tzw. regułami biznesowymi w celu:

- zautomatyzowania integracji post-processingu danych z mobilnego pomiaru GNSS z systemami INS i IMU,
- zwiększenia dokładności grafu torów kolejowych jako układu referencyjnego dla systemów kolejowych i ich konwersji na układy współrzędnych przestrzennych.

Etap nr 7: Opracowanie systemu informatycznego wspomagającego analizę wyników pomiarów polowych

Zaproponowane w poprzednich etapach sposoby określenia współrzędnych osi toru i trajektorii pojazdu wymagają specjalistycznych narzędzi do wizualizacji i analiz otrzymanych wyników. W tym celu zaproponowany zostanie prototyp oprogramowania, umożliwiający:

- post-processingowe obliczanie współrzędnych odbiorników GNSS znajdujących się na platformie pomiarowej,

- obliczanie dyskretnych reprezentacji osi toru na podstawie pomiarów GNSS/INS,
- graficzną prezentację punktów osi toru na mapie,
- wizualizację trajektorii przejazdu pojazdów na mapie (na podstawie plików wynikowych z pozycjonowania RTK),
- transformację współrzędnych pomiędzy układem globalnym PUWG2000 a lokalnym układem współrzędnych stosowanym przez PKP PLK S.A.,
- wprowadzanie współrzędnych znaków kilometrowych i hektometrowych, wraz z ich wizualizacją na mapie,
- wyznaczanie najbliższych znaków kilometrowych i hektometrowych, występujących pomiędzy zadanymi punktami osi toru (system identyfikacji miejsca wypadku).

Opracowany program będzie posiadał interfejs umożliwiający poruszanie się po bazie danych i modułach obliczeniowych oraz pozwalający na przeglądanie otrzymanych wyników na opracowanych mapach.

Etapy nr 8 i 9: Opracowanie dokumentacji sprawozdawczej, określenie sposobu wdrożenia efektów projektu. Prace w ramach etapu ósmego oraz dziewiątego polegać będą na wykonaniu pełnej dokumentacji rezultatów uzyskanych jako rezultat prac przeprowadzonych we wcześniejszych etapach. W tym celu konieczne będą liczne spotkania konsultacyjne aby sformułować poprawne wnioski końcowe. Zakończone zostaną również prace administracyjne prowadzone przez zespół zarządzający projektem. Określone zostaną kierunki wdrożenia wykonanych prac na drodze uzgodnień z PKP PLK S.A. Jako efekt końcowy przygotowany będzie zbiorczy raport zawierający kompletną dokumentację przeprowadzonych badań teoretycznych i prac terenowych wraz z prototypem systemu informatycznego. Na tym etapie zespół B+R przygotowuje ostateczną dokumentację sprawozdawczą z prowadzonych badań.

Badania zrealizowane przez Politechnikę Gdańską

Realizacji projektu InnoSatTrack w roku 2018 przez Politechnikę Gdańską w ra-

mach etapu nr 1 obejmowała kilka zadań szczegółowych, które opisano poniżej.

Analiza metod określania i oceny kształtu toru

W ramach tego zadania przeprowadzono analizę pod kątem merytorycznym szeregu publikacji naukowych oraz obowiązujących przepisów regulujących kwestie określania i oceny kształtu toru w Polsce i za granicą.

Określanie i ocena kształtu toru kolejowego dotyczy, ściślej rzecz biorąc, układu geometrycznego osi toru. Celem tej operacji jest wyznaczenie podstawowych parametrów geometrycznych trasy takich jak:

- położenie i długość odcinków prostych,
- położenie łuków kołowych wraz z określeniem ich promienia i długości,
- położenie krzywych przejściowych wraz z określeniem ich rodzaju i długości.

Na podstawie tych danych realne staje się przeprowadzenie symulacji przejazdu pociągu na danym układzie geometrycznym (a więc ustalenie możliwej do osiągnięcia maksymalnej prędkości jazdy), jak również – co wydaje się sprawą podstawową – uzyskanie danych mających na celu określenie miejsc potencjalnych korekt osi toru i wykonanie projektów potrzebnych do przeprowadzenia jej regulacji.

Pomiar współrzędnych osi toru powinien się odbywać za pomocą anteny satelitarnej ustawionej w osi przekroju poprzecznego toru, przy czym jej górna powierzchnia musi znajdować się na wysokości linii łączącej obydwa toki szynowe w miejscu, dla którego określa się bieżącą szerokość toru. W mobilnych pomiarach satelitarnych takie rozwiązanie jest niemożliwe do zrealizowania, jako że zamocowanie anteny GNSS do konstrukcji wagonu pomiarowego tak by znajdowała się ona na wysokości główek szyn jest niewykonalne. W praktyce antena jest zainstalowana na pewnej ustalonej wysokości względem poziomu wymaganego, wynikającej z gabarytów wagonu, wymiarów układu mocującego antenę do jego podłogi, jak też wymiarów samej anteny. W tej sytuacji pomierzone satelitarnie współ-

rzędne osi toru są obciążone uchybem, który bezwarunkowo powinien zostać wyeliminowany. Stanie się to możliwe, jeżeli w pobliżu anteny zainstalowanej w miejscu gdzie znajduje się czop skretu wózka zostanie zamocowany inklinometr, który pozwoli na pomiar kątów pochylenia podłużnego i poprzecznego ramy wagonu pomiarowego.

Koncepcja badań trajektorii linii kolejowych z wykorzystaniem nawigacji satelitarnej

Badania trajektorii linii kolejowych z wykorzystaniem nawigacji satelitarnej polegają na przeprowadzeniu mobilnych pomiarów satelitarnych z wykorzystaniem najnowocześniejszej aparatury pomiarowej. Głównym założeniem jest prowadzenie pomiaru z prędkością rzędu 10–30 km/h, co sprawi, że pomiar inwentaryzacyjny będzie względnie szybki [7]. W zakresie tego zadania przeprowadzono szereg analiz, w wyniku których określono założenia odnoszące się do techniki mobilnych pomiarów satelitarnych. Założenia te zostały zweryfikowane przez wykonanie wstępnych badań eksperymentalnych (podczas pomiarów zrealizowanych na sieci tramwajowej w Gdańsku). Należy zaznaczyć, że zespół naukowy ma duże doświadczenia w zastosowaniach zaawansowanych technik pomiarowych na kolei [1, 7].

Opracowano również metody obliczeniowe, pozwalające na wyznaczanie wartości poprawek położenia anteny w profilu podłużnym i w przekroju poprzecznym, by następnie można było dokonywać korekt współrzędnych osi toru. Dysponowanie skorygowanymi współrzędnymi umożliwia zrealizowanie kolejnych etapów w procesie wyznaczania trajektorii pojazdu szynowego (identyfikacji kształtu osi toru) tj.:

- określenie lokalizacji odcinków prostych,
- określenie kątów zwrotu trasy,
- oszacowanie wartości promieni łuków kołowych,
- identyfikację kształtu osi toru na drodze iteracji komputerowej (przy wykorzystaniu algorytmów obliczeniowych opisanych w pracy [7] oraz nowych aplikacji napisanych na potrzeby projektu).

Wpływ dynamiki ruchu wagonu pomiarowego na pomiary położenia toru z wykorzystaniem mobilnych technik GNSS/INS

Parametry geometryczne toków szynowych (krzywizna, pochylenie, zmienna odległość między tokami, nierówności główek szyny itp.) oraz luzy wynikające z konstrukcji wagonu przekładają się na przemieszczenia ramy wagonu wraz z platformą pomiarową, na której osadzone są anteny satelitarne. Występuje zatem zmiana położenia punktów zamocowania anten względem toków szynowych. Analiza właściwości kinematycznych i kinetycznych wagonu pomiarowego (wózków jezdnych i ramy) jest konieczna do zbadania wpływu przemieszczenia się anten względem toków szynowych podczas mobilnych pomiarów satelitarnych na wynik pomiaru. W ramach projektu problem ten zostanie rozwiązany przy podejściu analitycznym i eksperymentalnym. W zakresie tego zadania przeprowadzono studium metod analitycznych służących formułowaniu równań ruchu dla kolejowego wagonu pomiarowego. Przeprowadzono także analizę możliwości zastosowania komputerowych programów CAD/CAE do potrzeb symulacji dynamicznej wagonu pomiarowego, wykorzystując posiadane w tym zakresie duże doświadczenie, uzyskane w symulacjach dynamicznych różnych obiektów o charakterze kinematycznym stosowanych w trakcji elektrycznej [17].

Dokonano także analizy dotyczącej pomiarów pochylenia wagonu oraz jego drgań podczas pomiarów mobilnych. Zaproponowano komplementarny system pomiarowy, w którego skład wchodzi: inklinometria, akcelerometria oraz opcjonalnie elektroniczne żyroskopy prędkościowe do akwizycji parametrów dynamicznych. Przeprowadzono także studium zastosowania systemów wizyjnych i skanowania laserowego w pomiarach mobilnych w celu analizy przemieszczeń platformy pomiarowej względem toków szynowych. Były one z powodzeniem stosowane w diagnostyce sieci trakcyjnej i odbieraków prądu [1, 10].

Projekt platformy pomiarowej

Platforma pomiarowa jest układem mechanicznym dedykowanym do zamoco-

wania spodarek, na których osadzone są anteny satelitarne. Konstrukcja ta musi być zamocowana do ramy wagonu w sposób pewny, stabilny oraz umożliwiająca względnie szybki montaż i demontaż. Nie jest dopuszczalne jej przemieszczanie się w trakcie wykonywania pomiarów mobilnych. W zakresie omawianego zadania sformułowano wymagania dotyczące oczekiwanych właściwości platformy pomiarowej. Następnie przeprowadzono analizę dostępnych pojazdów szynowych z punktu widzenia ich zastosowania jako pojazdu pomiarowego na potrzeby mobilnych pomiarów satelitarnych. Z analizy tej wynika, że do takich celów może być zastosowany wagon-platforma typu 401Z. Następnie przeprowadzono przegląd wybranych jednostek napędowych. Pozwolił on na wytypowanie drezyny WM-15 jako odpowiedniego pojazdu trakcyjnego do tych potrzeb.

W nawiązaniu do wymienionych działań został opracowany projekt konstrukcji platformy pomiarowej dedykowanej dla wagonu 401Z (rys. 3). Konstrukcja ta charakteryzuje się skalowalnością ze względu na modułowość jej zasadniczych komponentów i spełnia wymagania stawiane przez mobilne pomiary satelitarne.

Badania platformy pomiarowej w zakresie wynikającym z etapów nr 1 i 2

Prototyp zaproponowanej konstrukcji platformy pomiarowej został wykonany w wersji przeznaczonej do jednego z typów wózków tramwajowych i eksperymentalnie sprawdzony w warunkach terenowych – na rzeczywistym torze tramwajowym podczas mobilnych pomiarów testowych. Na rysunku 4 pokazano widok zespołu pomiarowego podczas mobilnych pomiarów w torze tramwajowym. Testy terenowe potwierdziły słuszność przyjętej koncepcji platformy pomiarowej jako mechanicznego układu o konstrukcji poprzeczniczy względem ramy wagonu oraz jako układu modułowego pozwalającego na uzyskanie efektu skalowalności.

Badania zrealizowane przez Uniwersytet Morski w Gdyni

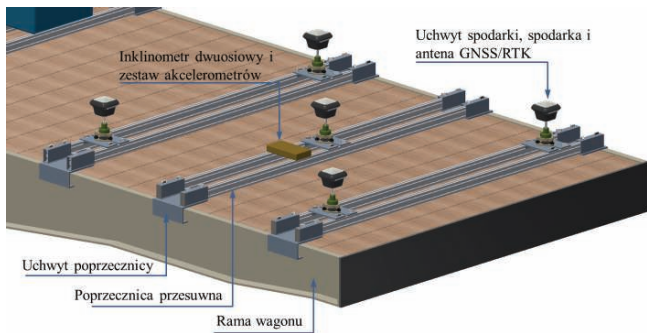
Zespół naukowy Uniwersytetu Morskiego

w Gdyni realizował poszczególne zadania badawcze poprzez wykonanie szeregu zadań szczegółowych. Syntezy opis prac badawczych, przeprowadzonych w 2018 roku, zaprezentowano poniżej.

Technologie GNSS/INS/MLS w pomiarach ukształtowania toru

Zakres działań podjętych w ramach pierwszego zadania naukowego dotyczył analiz geodezyjnych metod wyznaczania ukształtowania geometrycznego osi toru, obecnie stosowanych przez PKP PLK S.A., wraz z określeniem ich dokładności. Prace terenowe w tego typu zagadnieniach inżynierskich przebiegają na ogół z zastosowaniem klasycznych metod pomiarowych, opartych na tachimetrii. Ze względu na to, że inventaryzacja geodezyjna torowisk dotyczy przeważnie rozległych obszarów (np. linie kolejowe charakteryzujące się kilkunasto-, bądź kilkuset kilometrową długością), to realizacja takich prac wymaga udziału znacznej liczby pracowników oraz dysponowania dużą ilością aparatury pomiarowej. Konsekwencją tego jest długi czas wykonania prac geodezyjnych, ponadto wymagający znaczących nakładów finansowych. Z tego powodu zakres analiz został rozszerzony o innowacyjne metody, gwarantujące określenie geometrycznego ukształtowania osi toru na drodze pomiarów mobilnych.

Metody pomiarowe wykorzystujące mobilne platformy pomiarowe (MPP) należą do najnowszych i najistotniejszych rozwiązań światowych w szeroko rozumianej inżynierii kolejowej. Należy zaznaczyć, że istotny wkład w rozwój i propagowanie tego typu rozwiązań, mają polscy naukowcy, aktywnie zaangażowani w realizację niniejszego projektu badawczego [12, 13]. Przeprowadzenie mobilnych pomiarów w inżynierii kolejowej odbywa się z zastosowaniem technologii pozycjonowania satelitarnego GNSS, która między innymi, z uwagi na konieczność podtrzymania ciągłości wyznaczania pozycji w przypadku utraty sygnału GNSS, jest na ogół wspierana technologią nawigacji inercyjnej (INS). Integracja pomiarów GNSS oraz INS jest możliwa poprzez zastosowanie specjalistycznych procedur obliczeniowych, znanych m.in. z geo-



3. Komputerowy model 3D platformy pomiarowej jako modułowej konstrukcji zainstalowanej na ramie wagonu 401Z



4. Zestaw badawczy podczas testów mobilnych w rzeczywistym torze

dezyjnego rachunku wyrównawczego, tj. filtru Kalmana, a także jego odpornej wersji. Dodatkowo, architektura systemu pomiarowego jest często uzupełniana skanerem laserowym (MLS – *Multiwave Locked System*). Przykład tak wyposażonej MPP zaprezentowano na rysunku 5.

Należy jednak zaznaczyć, że poziom dokładności wyników pomiaru MLS uzależniony jest od stopnia precyzji wyznaczania pozycji GNSS. Analogiczna sytuacja ma miejsce przy predykcji położenia odbiorników GNSS na podstawie informacji o charakterze kinematycznym. Z tego powodu, kolejne badania naukowe, realizowane w 2018 roku w ramach etapu nr 2, dotyczyły problematyki zwiększenia dokładności wyznaczania pozycji na podstawie mobilnych pomiarów GNSS.

Projekt i wykonanie mobilnej platformy pomiarowej

Prace prowadzone w ramach zadania drugiego dotyczyły opracowania ideowego schematu mobilnej platformy pomiarowej (MPP). Analizy przeprowadzone w ramach pierwszego zadania naukowego wykazały, że dotychczasowe podejście do kwestii wyznaczania wskaźników geometrycznego ukształtowania toru z zastosowaniem mobilnych platform pomiarowych bazowało zasadniczo na zastosowaniu jednego tylko odbiornika GNSS. Naukowcy z Uni-

wersytetu Morskiego w Gdyni zaproponowali uzupełnienie architektury systemu pomiarowego o dodatkowe odbiorniki GNSS. Opracowany schemat ideowy rozmieszczenia dodatkowych odbiorników GNSS został zaprezentowany na rysunku 6.

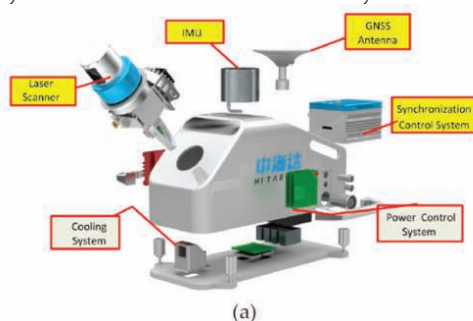
Przyjęto, że docelowo na powierzchni MPP znajdować się będzie do pięciu odbiorników GNSS. Na podstawie pomiarów przeprowadzonych z wykorzystaniem tych odbiorników, obliczane będą ostateczne współrzędne platformy pomiarowej. Odbywać się to będzie poprzez wyznaczanie średniej arytmetycznej pozycji wszystkich odbiorników, bądź na podstawie innych warunków geometrycznych dotyczących zaprojektowanej konstrukcji pomiarowej. Na rysunku 7 zaprezentowano wybrane możliwe warianty rozmieszczenia odbiorników GNSS w procesie wyznaczania osi toru.

Idee rozwiązania zaproponowane na tym etapie prac badawczych dotyczą zarówno kwestii pozycjonowania w czasie rzeczywistym, jak też opracowania „surowych” danych pomiarowych w trybie post-processingu. Należy jednak zaznaczyć, że prace te są również szczególnie istotne w kontekście realizacji trzeciego zadania badawczego, w ramach którego prowadzone są analizy mające na celu zwiększenie dokładności pozycjonowania GNSS w warunkach pomiarów mobilnych, w tym także do-

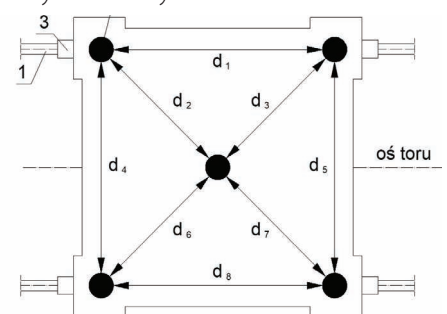
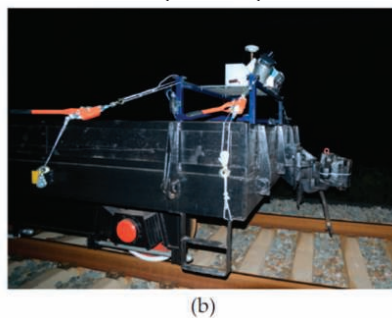
tyczące optymalizacji liczby odbiorników GNSS biorących udział w pomiarze oraz doboru odpowiedniej aparatury pomiarowej.

Możliwości poprawy dokładności stosowanego obecnie w PKP sposobu określania położenia pociągów

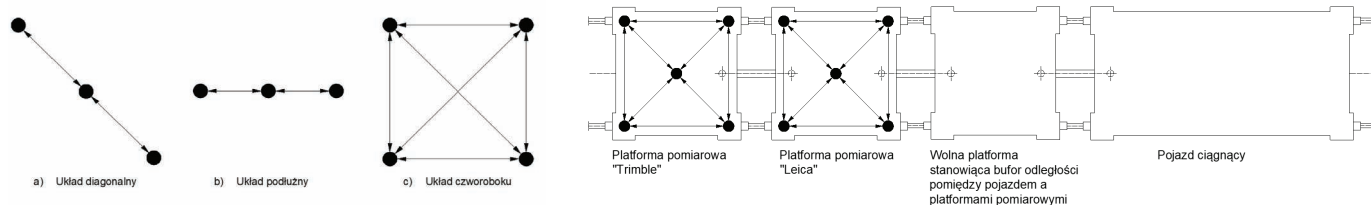
W ramach prac nad trzecim zadaniem naukowym przeprowadzono analizy teoretyczne dotyczące zwiększenia dokładności pozycjonowania GNSS w warunkach pomiarów mobilnych. Wykonano również pomiary wstępne, na prototypie platformy pomiarowej opracowanej przez zespół naukowy PG, których głównym celem był dobór odpowiedniej aparatury pomiarowej oraz optymalizacja liczby odbiorników GNSS na potrzeby pomiaru ukształtowania toru. Pomiary te zostały przeprowadzone z zastosowaniem odbiorników GNSS udostępnionych przez firmy Leica i Trimble. Testy odbiorników dotyczyły zarówno pozycjonowania w czasie rzeczywistym (RTK), jak i przetwarzania danych pochodzących z obserwacji satelitarnych w trybie post-processingu. Na potrzeby omawianych badań została zaprojektowana i opracowana konstrukcja pomiarowa, w skład której wchodziły dwie mobilne platformy pomiarowe, na których zostały zainstalowane odbior-



5. Przykładowa architektura pomiarowa GNSS/INS/MLS, wykorzystana w badaniach opisanych w pracy [19]: a) widok urządzenia; b) platforma pomiarowa



6. Schemat ideowy mobilnej platformy pomiarowej: 1 – toki szynowe, 2 – punkty wymuszonego centrowania odbiornika GNSS, 3 – koła platformy, d_i – odległości pomiędzy punktami centrowania odbiorników GNSS



7. Wybrane warianty rozmieszczenia odbiorników GNSS względem osi podłużnej platformy w procesie wyznaczania osi toru

8. Schemat ideowy konstrukcji pomiarowej wykorzystywanej w pomiarach wstępnych

niki wyżej wymienionych firm. Ideowy schemat konstrukcji pomiarowej przedstawiono na rysunku 8.

Prace pomiarowe zostały poprzedzone analizami teoretycznymi, dotyczącymi – między innymi – geodezyjnych sieci GNSS w Polsce oraz standardu transmisji danych geodezyjnych i nawigacyjnych. Prace te są szczególnie istotne z uwagi na to, że każda sieć GNSS charakteryzuje się inną liczbą stacji referencyjnych, w których w sposób permanentny prowadzone są obserwacje GNSS. Inne różnice dotyczące stacji referencyjnych mogą dotyczyć zainstalowanej na nich aparatury pomiarowej, rodzaju odbieranych sygnałów GNSS oraz wersji korekt udostępnianych w czasie rzeczywistym, a w konsekwencji dokładności pozycjonowania. W pomiarach wstępnych zastosowano w sumie dziesięć odbiorników: pięć odbiorników GS18T firmy Leica oraz pięć odbiorników R10 firmy Trimble, które – wykorzystując sieć stacji referencyjnych SmartNET (Leica) oraz VRSNet (Trimble) – umożliwiały rejestrację danych pozycyjnych o wysokiej dokładności w czasie rzeczywistym przy częstotliwości 1 Hz. Mapy stacji referencyjnych tych sieci zostały zaprezentowane na rysunku 9.

Część teoretyczna analiz została uzupełniona o charakterystyki innych sieci stacji referencyjnych działających na obszarze Polski, tj. TPI NETpro oraz ASG-

-EUPOS. W ramach pomiarów wstępnych zarejestrowano również dane obserwacyjne bez korekt pochodzących ze stacji referencyjnych przy częstotliwości 20 Hz.

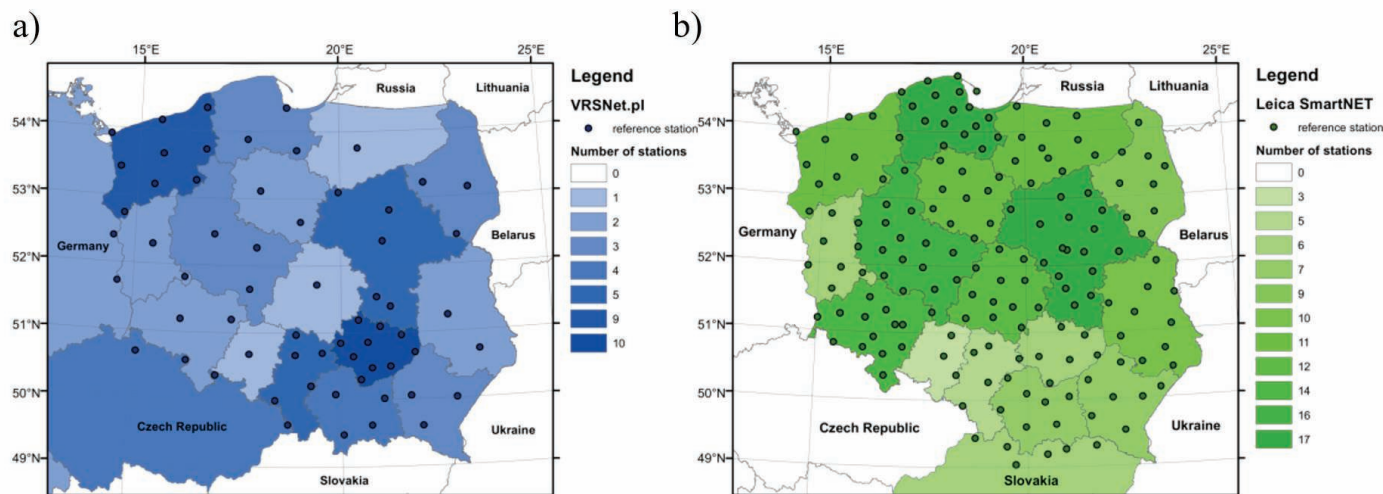
Podsumowanie

Omówione w artykule założenia innowacyjnego systemu wyznaczania położenia toru kolejowego na podstawie pomiarów mobilnych opartych o lokalizację satelitarną wskazują na złożoność rozwiązywanego problemu. Analiza zastosowania najnowszych technik pomiarowych podbudowanych wieloetapową obróbką komputerową danych zarówno w trakcie pomiaru jak i w ramach tzw. post-processingu, pozwalają na sformułowanie tezy, że jest możliwe określanie położenia toru kolejowego na podstawie pomiarów mobilnych z zachowaniem poziomu dokładności charakterystycznego dla tachymetrycznych metod stacjonarnych. Przeprowadzone pierwsze próby terenowe wykazują na słuszność przyjętej koncepcji pomiarowej i wstępnie potwierdzają sformułowaną tezę. W ramach dalszych prac planowane jest wykonanie platformy pomiarowej na potrzeby realizacji pomiarów na liniach kolejowych. Wykonanie tych pomiarów i potwierdzenie uzyskiwanych wyników przez porównanie ze stosowanymi obecnie metodami

pomiarowymi pozwoli na ostateczne potwierdzenie tezy i przygotowanie systemu do wdrożenia komercyjnego. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Bartłomiejczyk M., Jarzębowicz L., Judek S., Karkosińska-Brzozowska N., Karwowski K., Mizan M., Skibicki J., Wilk A.: Energetyka transportu zelektryfikowanego. Poradnik inżyniera. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2018.
- [2] Gucma M., Montewka J.: Podstawy morskiej nawigacji inercyjnej. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin 2006.
- [3] Koc W., Specht C.: Wyniki pomiarów satelitarnych toru kolejowego. Technika Transportu Szynowego 2009, tom 15, nr 7-8, s. 58-64.
- [4] Koc W., Specht C.: Selected problems of determining the course of railway routes by use of GPS network solution. Archives of Transport 2011, Vol. XXIII, Issue 3, pp. 303-320.
- [5] Koc W., Specht C.: Zastosowanie mobilnych pomiarów satelitarnych w projektowaniu i eksploatacji dróg szynowych. Problemy Kolejnictwa 2015, tom 59, z. 166, s. 63-83.
- [6] Koc W., Specht C., Chrostowski P.: Finding deformation of the straight rail track by GNSS measurements. Annual of Navigation 2012, No. 19, part 1,



9. Mapy stacji referencyjnych: a) sieci VRSNet (Trimble); b) sieci SmartNet (Leica)

pp. 91-104.

- [7] Koc W., Specht C., Chrostowski P.: Projektowanie i eksploatacja dróg szynowych z wykorzystaniem mobilnych pomiarów satelitarnych. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2018.
- [8] Liu C., Li N., Wu H., Meng X.: Detection of high-speed railway subsidence and geometry irregularity using terrestrial laser scanning. *Journal of Surveying Engineering* 2014, Vol. 140, Iss. 3.
- [9] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 15 października 2012 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych. *Dz. U. R. P. z 2012 r., Poz. 1247*.
- [10] Skibicki J.: Wizyjne metody pomiarowe w diagnostyce górnej sieci trakcyjnej. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2018.
- [11] Specht C.: System GPS. Wydawnictwo Bernardinum, Pelplin 2007.
- [12] Specht C., Dąbrowski P., Specht M., Koc W., Chrostowski P., Szmagliński J., Dera M., Skóra M.: Mobilne pomiary satelitarne na liniach Pomorskiej Kolei Metropolitalnej. *Przegląd Komunikacyjny* 2016, rocznik LXXI, nr 5, s. 9-16.
- [13] Specht C., Koc W.: Mobile satellite measurements in designing and exploitation of rail roads. *Transportation Research Procedia* 2016, Vol. 14, pp. 625-634.
- [14] Specht C., Koc W., Chrostowski P., Szmagliński J.: The analysis of tram tracks geometric layout based on mobile satellite measurements. *Urban Rail Transit* 2017, Vol. 3, Iss. 4, pp. 214-226.
- [15] Specht C., Koc W., Smolarek L., Grządziela A., Szmagliński J., Specht M.: Diagnostics of the tram track shape with the use of the global positioning satellite systems (GPS/Glonass) measurements with a 20 Hz frequency sampling. *Journal of Vibroengineering* 2014, Vol. 16, Iss. 6, pp. 3076-3085.
- [16] Specht C., Nowak A., Koc W., Jurkowska A.: Application of the Polish Active Geodetic Network for railway track determination. *Transport Systems and Processes – Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, CRC Press – Taylor & Francis Group 2011, London, UK, pp. 77-81.
- [17] Wilk A.: Novel analysis methods of dynamic properties for vehicle pantographs. *MATEC Web of Conferences* 2018, Vol. 180, 01005, pp. 1-6.
- [18] Zakres tematyczny konkursu 1/4.1.1/2017/POIR realizowanego w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia pn.: „Badania i Rozwój w Infrastrukturze Kolejowej – BRIK”. Załącznik nr 1 do Regulaminu Konkursu, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Warszawa 2017. Źródło dostępu (19.02.2019): <https://www.ncbr.gov.pl/programy/fundusze-europejskie/poir/konkursy/konkurs14112017-brik/>
- [19] Zhou Y., Wang S., Mei X., Yin W., Lin C., Hu Q., Mao Q.: Railway tunnel clearance inspection method based on 3D point cloud from Mobile Laser Scanning. *Sensors* 2017, Vol. 17, Iss. 9, 2055, pp. 1-20.

REKLAMA



CZAS NA INNOWACYJNE BUDOWNICTWO

Oferujemy profesjonalne usługi z zakresu:

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



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

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

Biuro:

ul. Krzemieniecka 47,
54-613 Wrocław

Budownictwo inżynieryjne:

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

Geodezja:

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

Siedziba firmy:

ul. Wrocławska 41, 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

Od ponad 50 lat zmieniamy świat



budimex
zmieniaj świat

www.budimex.pl

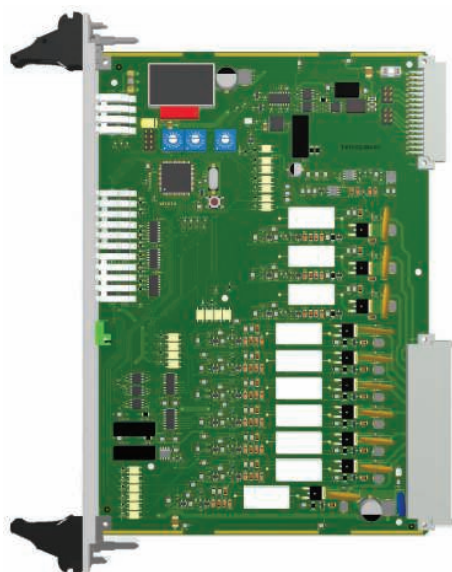




RM
rail-mil.eu

Sygnalizacja przejazdowa

*Precision and quality
you can count on.*



Karta X3-IO2

Karta wyjść uniwersalnych X3-IO2 przeznaczona jest do sterowania urządzeniami oraz kontroli ciągłości obwodów systemów zewnętrznych. Pomiar prądu odbywa się osobno na każdym z wyjść poprzez układ diagnostyczny. Karta umożliwia testowanie ciągłości obwodu na każdym z wyjść. Karta zaprojektowana w technologii „hotswap”. Szczególnie przydatna w agresywnym środowisku przemysłowym.

Szerokość frontu 6TE.

Podstawowe parametry:

Zasilanie urządzeń:	24 V DC $\pm 20\%$ / 190 mA
CAN:	1 x CAN max 1 Mb/s
Wyjścia:	10 x 24 V DC / 1,2 A



Front panel:

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

Więcej informacji na: **rail-mil.eu**