

przegląd komunikacyjny

8
2018
rocznik LXXIII
cena 25,00 zł
w tym 5% VAT



UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU

Techniki pomiaru geometrii układów torowych



2018 rokiem
Ernesta Malinowskiego

eISSN
2544-6037

ISSN
0033-22-32

Wpływ czynników jakościowych komunikacji miejskiej w Polsce na substitucję środka transportu. Analiza symulacyjna etapowej realizacji zachodnich odcinków III obwodnicy Krakowa i ich oddziaływania na układ transportowy. Zastosowanie mieszanek popiołowo-żużlowych w budownictwie drogowym, w świetle obowiązujących przepisów. Innowacyjne metody diagnostyki rozjazdów kolejowych. Ocena przydatności różnych technik pomiaru geometrii układów torowych do opracowania projektów regulacji osi toru

Podstawowe informacje dla Autorów artykułów

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

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

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

artykuly@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

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

www.przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

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

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

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

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

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

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

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

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

www.przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

Ramowa oferta dla „Sponsora strategicznego” czasopisma Przegląd Komunikacyjny

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

Przegląd Komunikacyjny oferuje dla sponsora strategicznego następujące świadczenia:

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

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

Przegląd Komunikacyjny ukazuje się jako miesięcznik.

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

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

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





Na okładce: Zestaw GEDO do pomiaru torów metodą GNSS, fot. Waldemar Odziemczyk

Drodzy Czytelnicy!

Do lektury w trakcie (kontynuacji) sezonu urlopowego przygotowaliśmy zestaw pięciu artykułów. Przedmiotem pierwszego artykułu jest transport publiczny funkcjonujący w aglomeracjach na obszarze Polski. Artykuł prezentuje wpływ czynników popytowych i podaźowych na przewozy komunikacją miejską. Zakres czasowy obejmuje okres ostatnich 16 lat. Celem pracy jest analiza czynników jakościowych opisujących usługi komunikacji miejskiej co pozwala na próbę wskazania tych, które wydają się mieć kluczowy wpływ na kreowanie preferencji komunikacyjnych mieszkańców. Druga pozycja podaje analizę symulacyjną etapowej realizacji zachodnich odcinków III. obwodnicy Krakowa i ich oddziaływania na układ transportowy. Prace analityczne przeprowadzono z wykorzystaniem modelu makrosymulacyjnego. Wyniki prac potwierdzają, że analizowane projekty drogowe będą miały widoczny wpływ na zmiany warunków podróżowania, jednakże w pierwszych etapach inwestycji efekt będzie ograniczony tylko do południowej części Krakowa. Po ukończeniu budowy III. obwodnicy celem jest dalsze dążenie do ograniczenia pojemności układu drogowego w śródmieściu Krakowa.

Artykuł trzeci dotyczy zastosowania mieszanek popiołowo-żużlowych w budownictwie drogowym, w świetle obowiązujących przepisów. W artykule autorzy przedstawiają kompleksowy przegląd wytycznych stosowania mieszanek popiołowo-żużlowych jako materiału konstrukcyjnego drogi. Zwracają szczególną uwagę na niezgodności zaistniałe pomiędzy zaleceniami oraz wskazują możliwość potencjalnych korekt obowiązujących przepisów. Artykuł stanowi również podstawę do dalszych rozważań nad modyfikacją składu poszczególnych mieszanek. Kolejna pozycja poświęcona jest procesowi diagnostyki rozjazdów kolejowych z wykorzystaniem innowacyjnych metod badawczych. Przedstawiono wyniki badań i analiz przeprowadzonych na rozjazdach z wykorzystaniem skanera do trójwymiarowych pomiarów profili szyn kolejowych w celu wczesnej diagnostyki uszkodzeń iglic, opornic i krzyżownic. Ostatni artykuł prezentuje ocenę przydatności różnych technik pomiaru geometrii układów torowych do opracowania projektów regulacji osi toru. Uwzględniono kilka metod: pomiaru strzałek, tachimetryczną, wykorzystującą technikę GNSS oraz zautomatyzowaną w wariancie jedno- i dwuwózkowym. Wymienione metody porównano pod względem pracochłonności czynności pomiarowych, czasu trwania pomiaru, zakresu uzyskiwanych danych o obiekcie, kosztów sprzętu pomiarowego, niezawodności oraz dokładności procesu pomiarowego.

Życzę efektywnego wypoczynku:
Maciej Kruszyna
(z-ca red. nac. PK)

W numerze

Wpływ czynników jakościowych komunikacji miejskiej w Polsce na substytucję środka transportu

Michał Zajfert

2

Analiza symulacyjna etapowej realizacji zachodnich odcinków III obwodnicy Krakowa i ich oddziaływania na układ transportowy

Arkadiusz Drabicki, Andrzej Szarata, Rafał Kucharski

10

Zastosowanie mieszanek popiołowo-żużlowych w budownictwie drogowym, w świetle obowiązujących przepisów

Patryk Damian Lewandowski, Michał Pachnicz

18

Innowacyjne metody diagnostyki rozjazdów kolejowych

Ewelina Kwiatkowska

22

Ocena przydatności różnych technik pomiaru geometrii układów torowych do opracowania projektów regulacji osi toru

Waldemar Odziemczyk, Marek Woźniak

27

Wydawca:

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

Redaktor Naczelny:

Antoni Szydło

Redakcja:

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

Adres redakcji do korespondencji:

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

Poczta „tradycyjna”:

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

Rada naukowa:

Marek Ciesielski (Poznań), Antanas Klibavičius (Wilno), Jozef Komačka (Žilina), Elżbieta Marciszewska (Warszawa), Bohuslav Novotny (Praga), Andrzej S. Nowak (Lincoln, Nebraska), Tomasz Nowakowski (Wrocław), Victor V. Rybkin (Dniepropietrowsk), Marek Sitarz (Katowice), Wiesław Starowicz (Kraków), Hans-Christoph Thiel (Cottbus), Krystyna Wojewódzka-Król (Gdańsk), Elżbieta Załoga (Szczecin), Andrea Zuzulova (Bratysława)

Rada programowa:

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

Deklaracja o wersji pierwotnej czasopisma

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

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

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

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

Prenumerata:

Szczegóły i formularz zamówienia na stronie:

www.przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

Obecna Redakcja dysponuje numerami archiwalnymi począwszy od 4/2010.

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

Druk:

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

Reklama:

Dział Marketingu: sitk.baza@gmail.com

Nakład: 800 egz.

Wpływ czynników jakościowych komunikacji miejskiej w Polsce na substytucję środka transportu

The influence of qualitative factors in urban public transport in Poland on the substitution of means of transport



Michał Zajfert

Dr

Instytut Nauk Ekonomicznych PAN

mzajfert@inepan.waw.pl

Streszczenie: Przedmiotem artykułu jest transport publiczny funkcjonujący w aglomeracjach na obszarze Polski. Artykuł prezentuje wpływ czynników popytowych i podaźowych na przewozy komunikacją miejską, zakres czasowy obejmuje okres ostatnich 16 lat, tj. lata 2001 – 2016. Celem pracy jest analiza czynników jakościowych opisujących usługi komunikacji miejskiej co pozwala na próbę wskazania tych, które wydają się mieć kluczowy wpływ na kreowanie preferencji komunikacyjnych mieszkańców. Artykuł podsumowano zestawieniem przełożenia tych czynników na dostępne instrumenty sprzyjające pożądanej substytucji transportu indywidualnego transportem publicznym.

Słowa kluczowe: *Transport publiczny; Komunikacja miejska; Usługi użyteczności publicznej*

Abstract: The subject of the article is public transport in urban areas in Poland. The article presents the impact of demand and supply factors on public transport. The time range covers the period of the last 16 years, 2001-2016. The aim of the work is to analyze the qualitative factors characterizing public transport services, which allows an attempt to identify those which seem to have a key impact on creating communication preferences of the residents. The article concludes with a presentation of the instruments available to forward the desired substitution of individual transport by public transport.

Keywords: *Public transport; Urban transport; Public utilities*

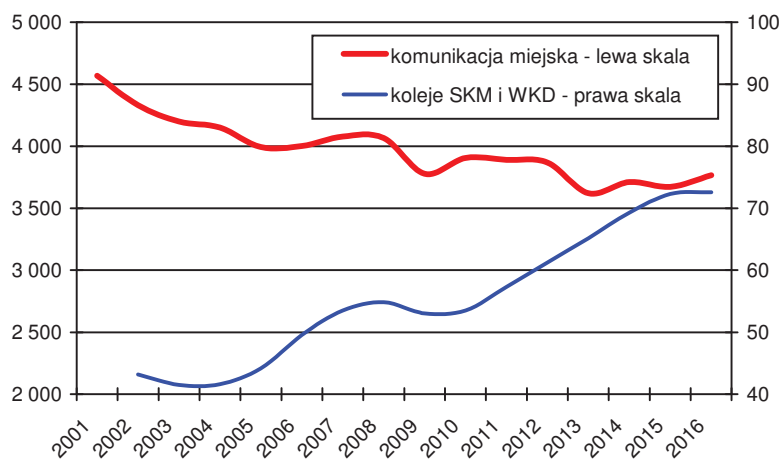
Aglomeracje miejskie tworzą duże miasta wraz z otaczającym je obszarami zurbanizowanymi o dominującej funkcji pozarolniczej, silnych związkach funkcjonalnych i przestrzennych z tymi miastami, przy czym położone w tych obszarach wsie, ze względu na trwającą suburbanizację, faktycznie stają się podmiejskimi osiedlami [3]. W efekcie trudno przedstawić jednoznacznie definicję określającą granice aglomeracji. Przewozy aglomeracyjne obejmują intensywny transport zarówno na obszarze dużych miast (w przypadku Polski dotyczy to większości miast wojewódzkich) jak i w ich bezpośrednim otoczeniu (tj. w promieniu 10-20 km wokół ich granic), głównie zapewniając dojazd do centrów tych aglomeracji.

Analiza wielkości i charakteru zmian przewozów aglomeracyjnych jest ograniczona dostępnością danych statystycznych. Dlatego przyjęto założenie,

że przewozy aglomeracyjne to te, które są realizowane przez komunikację miejską w całej Polsce [16] oraz obsługiwane przez te przedsiębiorstwa kolejowe, których obszar działalności jest ograniczony do aglomeracji miejskich (tj. SKM Trójmiasto, SKM Warszawa i WKD) [13]. Należy też pamiętać, że przewozy realizowane przez SKM Warszawa są jednocześnie ujęte w danych dotyczących komunikacji miejskiej, gdyż przejazdy pociągami tego przewoźnika są realizowane w ramach systemu biletowego ZTM Warszawa. Oczywiście kolejowe przewozy aglomeracyjne są obsługiwane także przez innych przewoźników, jednak nie jest możliwe określenie ich wielkości, gdyż dostępne dane statystyczne są zagregowane wraz z wielkością przewozów regionalnych. Tak wyodrębnione przewozy aglomeracyjne obsługiwane koleją stanowią obecnie niewielki udział całokształtu komunikacji miej-

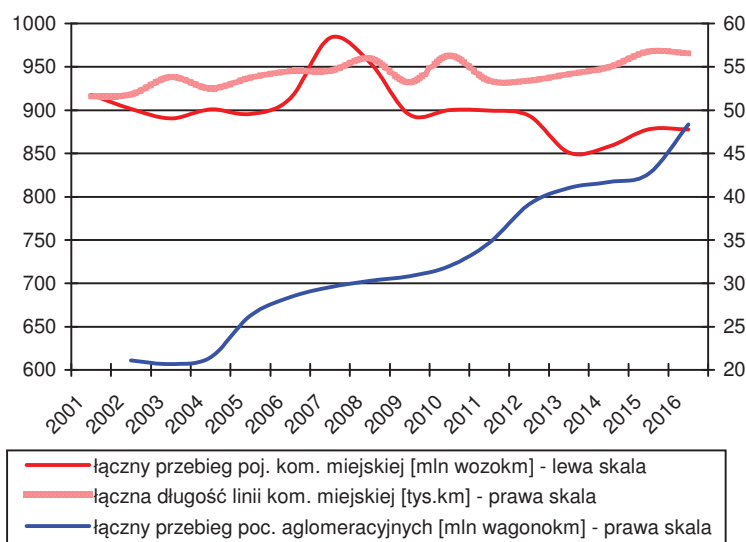
skiej, jednak w analizowanym okresie ich udział wzrósł z 1% do 1,9%, co potwierdza dynamiczny wzrost ich funkcji w systemie transportu miejskiego.

Przedstawiona na wykresie 1. wielkość przewozów aglomeracyjnych obsługiwanych komunikacją miejską łącznie w latach 2001-2013 spadła o 21 %. Jednak od 2013 r. widoczne jest wyhamowanie tego negatywnego trendu, do 2016 r. nastąpił nieznaczny wzrost tych przewozów o 4%. Jednocześnie w całym analizowanym okresie (2002-2016) aglomeracyjne przewozy kolejowe wzrosły aż o 68%, co w znacznej mierze jest efektem dynamicznego rozwoju Szybkiej Kolei Miejskiej w Warszawie. W tym samym okresie (2005-2016) przewozy Kolei Mazowieckich wzrosły o 52%, były one realizowane na obszarze częściowo pokrywającym się z SKM Warszawa, więc jej rozwój nie odbywał się kosztem Kolei Mazowieckich [13].



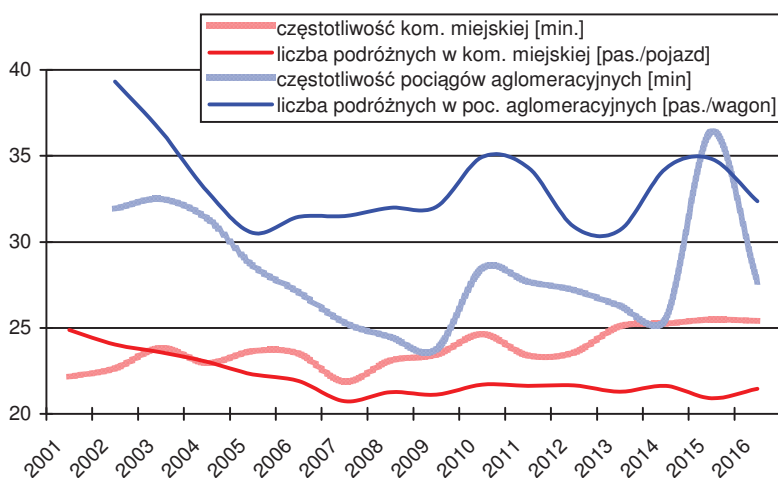
1. Przewozy aglomeracyjne [mln pas./rok]

Źródło: Transport – wyniki działalności, GUS, Warszawa 2002-2016, Statystyka kolejowych przewozów pasażerskich - UTK



2. Podaż usług przewozowych aglomeracyjnych komunikacją miejską

Źródło: Transport – wyniki działalności, GUS, Warszawa 2002-2016



3. Przeciętna częstotliwość odjazdów i liczba podróży w pojazdach komunikacji miejskiej

Źródło: obliczenia własne na podst. Transport – wyniki działalności, GUS, Warszawa 2002-2016, Statystyka kolejowych przewozów pasażerskich – UTK, Sprawozdanie Zarządu Spółki SKM 2006-2014. Podczas obliczeń przeciętnego zapelnienia pociągów dla SKM Warszawa posłużono się znanymi wielkościami wykonanej pracy [wozokm], dla WKD przyjęto, że każdy pociąg = 4 wagony (2xEN94), dla SKM Trójmiasto przyjęto, że każdy pociąg trakcji elektrycznej = 6 wagonów (2xEN57), dla trakcji spalinowej = 3 wagony (SA136).

Próba diagnozy przyczyn widocznych negatywnych zmian popytu wymaga oceny podaży usług komunikacji miejskiej. Dane statystyczne GUS pozwalają oszacować ich dostępność jedynie na podstawie poniższych mierników:

- łączna długość linii komunikacyjnych (suma odległości pomiędzy krańcowymi punktami przebiegu wszystkich linii komunikacyjnych.);
- łączna praca przewozowa (iloczyn liczby uruchomionych pojazdów i długości trasy przebytej przez każdego z nich);
- łączna pojemność taboru (liczba miejsc siedzących i stojących w pojazdach).

Zmiany czynników podażyowych przewozów komunikacją miejską, jakie zaszły w latach 2001-2016, zostały przedstawione na wykresie 2.

W ciągu ostatnich 16 lat nastąpił wzrost łącznej długości linii o 10 %. Można to interpretować jako dążenie do lepszego dostosowania układu sieci komunikacyjnych do zmieniających się potrzeb przewozowych na skutek powiększania się powierzchni aglomeracji miejskich i ich suburbanizacji poprzez wydłużanie i uruchamianie nowych linii. Jednak w tym samym okresie łączna praca przewozowa (tj. iloczyn liczby kursujących pojazdów komunikacji miejskiej i pokonywanej przez każdy z nich dystans) spadła o 4,4 %. Warto tu dodać, że większość, bo aż 78% tej pracy przewozowej była realizowana przez autobusy i w analizowanym okresie udział ten praktycznie nie uległ zmianie [16]. Wielkość pracy eksploatacyjnej [wozokm] wykonywanej przez tramwaje jest w pewnym stopniu zniekształcona z powodu stopniowego zastępowania składów dwuwagonowych typu 105Na/805Na liczonych jako dwa wozy wieloczołowymi tramwajami jednoprzestrzennymi. Szczegółowe porównanie zmian podaży i popytu wskazuje, że w latach 2001-2006 przeciętna podaż usług komunikacji miejskiej była dość stabilna a mający w tym czasie spadek popytu przekładał się na spadek przeciętnego zapelnienia pojazdów.

Znaczny wzrost podaży o 11%, jaki nastąpił w latach 2005 - 2007, wpłynął na zwiększenie popytu, jednak w nieproporcjonalnie mniejszym stopniu. W kolejnych dwóch latach, mimo ograniczania podaży na skutek kryzysu gospodarczego, przewozy utrzymywały się na stałym poziomie. W efekcie tego przeciętne zapewnienie pojazdów w tym czasie nieznacznie wzrosło. W kolejnych latach średnie zapewnienie utrzymywało się na stałym poziomie (por. wykres 3).

Jednocześnie wzrost długości linii i spadek wykonanej na tych liniach pracy przewozowej oznacza, że w efekcie o 13% spadła przeciętna częstotliwość kursowania pojazdów, co wskazuje na postępujące pogorszenie dostępności komunikacji miejskiej. Istotne wydaje się określenie, co dla przeciętnego pasażera tak naprawdę oznacza taka zmiana częstotliwości. W pierwszej kolejności należy skonstatować, że formalnie różne linie komunikacyjne często obsługują tę samą trasę, a więc z punktu widzenia pasażera są tylko różnymi wariantami danej linii. Fakt ten uwzględnia łączna długość tras obsługiwanych przez komunikację miejską a nie kursujących po nich linii. Jednak od 2008 r. dane prezentowane przez GUS nie obejmują już tej wielkości. Porównanie dostępnych danych za lata 2001-2007 wskazuje, że jedna trasa była obsługiwana przeciętnie przez dwie linie i wielkość ta nie ulegała w tym okresie większym zmianom. Dlatego można przyjąć, że zależność ta utrzymała się do 2016 r. Przyjęto ponadto, że na danej trasie linie kursują przez cały dzień od godz. 5 do 23. Przedstawione powyżej założenia pozwoliły określić przeciętny odstęp czasu między kolejnymi odjazdami pojazdów komunikacji miejskiej na danej trasie, który został przedstawiony na wykresie 3. Jednocześnie zaprezentowano zapewnienie pojazdów przy założeniu, że w całym analizowanym okresie przeciętny pasażer komunikacji miejskiej pokonywał nią dystans 5 km. Ponadto na tym samym wykresie przedstawiono analogiczne wielkości dla kolei aglomeracyjnych. Dzięki dostępności danych wyznaczone zapeł-

nienie pociągów uwzględnia różną odległość przejazdu podróźnych w poszczególnych latach.

Wykres 3. pozwala wskazać, że w ciągu ostatnich 16 lat częstotliwość komunikacji miejskiej nieznacznie spadła – przeciętny odstęp czasu między kolejnymi odjazdami pojazdów na danej trasie wzrósł z 22 do 25 minut. W tym samym okresie częstotliwość kolei aglomeracyjnych wzrosła - przeciętny odstęp czasu zmalał z 32 do 28 minut, przy czym w 2009 r. był on najniższy i wynosił 24 minuty. Widoczna skokowa zmiana częstotliwości kursowania pociągów aglomeracyjnych w 2015 r. jest efektem otwarcia w IV kwartale Pomorskiej Kolei Metropolitarnej, gdyż w obliczeniach uwzględniana jest praca eksploatacyjna za cały rok a długość sieci w ostatnim dniu danego roku. Relatywnie niewielka zmiana uśrednionej częstotliwości kursowania pojazdów komunikacji miejskiej wskazuje, że ta miara podaży nie może tłumaczyć widocznego w skali kraju istotnego spadku popytu na usługi komunikacji miejskiej.

W analizowanym okresie przeciętne zapewnienie w pojeździe komunikacji miejskiej zmalało z 25 do 21 pasażerów a w wagonie pociągu kolei aglomeracyjnych zmalało z 39 do 32 pasażerów. W odniesieniu do kolei aglomeracyjnych widoczna jest korelacja między zachodzącą zmianą częstotliwości odjazdów i zapewnienia pociągów. Pośrednio wskazuje to, że rosnący udział kolei aglomeracyjnych (por. wykres 1.) jest w znacznej mierze konsekwencją istotnego zwiększania podaży usług tego środka transportu mierzonej m.in. wykonaną pracą eksploatacyjną (por. wykres 2).

W ciągu 16 lat łączna pojemność taboru komunikacji miejskiej (liczba miejsc siedzących i stojących w pojazdach) nieznacznie spadła o 4% [16]. Nie stanowi to więc przyczyny spadku popytu, w rzeczywistości wskazuje to na dostosowywanie parametrów technicznych taboru do faktycznych potrzeb i odchodzenie w wielu miastach od powszechnej niegdyś praktyki obsługi wszystkich linii taborem o jednakowej pojemności. Istotnym

czynnikiem poprawiającym ofertę i wizerunek komunikacji miejskiej jest umykająca statystikom GUS, lecz wyraźnie widoczna na ulicach miast trwająca wymiana taboru na nowoczesny i bardziej przyjazny pasażerom. Perspektywa ostatnich 16 lat (2001-2016) pozwala wskazać czynniki przyczyniające się do zachodzącego w Polsce spadku popytu na usługi transportu publicznego w miastach, który jest zdecydowanie silniejszy, niż tempo ograniczania podaży. Jego źródłem jest rezygnacja z transportu publicznego głównie z przyczyn leżących po stronie mieszkańców, co jest konsekwencją m.in.:

- upowszechniania się motoryzacji indywidualnej będącej także wyznacznikiem statusu materialnego;
- systemowych zmian w społeczeństwie i gospodarce będących konsekwencją postępu technicznego, wzrostu zamożności społeczeństwa i rozwoju gospodarczego kraju;
- suburbanizacji - przenoszenia się mieszkańców miast na peryferia i strefy podmiejskie pozbawione sprawnej komunikacji miejskiej;
- lokalizacji dużych centrów handlowych na peryferiach miast nastawionych na klientów zmotoryzowanych (parkingi, gabarytowa wielkość dokonywanych zakupów itp).

Kluczowym czynnikiem wpływającym na spadek zainteresowania transportem publicznym jest dynamiczny rozwój motoryzacji indywidualnej. Na skutek postępu technicznego, wzrostu zamożności i innych czynników, w tym wstąpienia Polski do Unii Europejskiej, maleje cena zakupu i eksploatacji samochodu osobowego. W efekcie poziom motoryzacji rośnie znacznie szybciej niż dochody ludności. W ciągu ostatnich 16 lat liczba zarejestrowanych samochodów osobowych w przeliczeniu na 1 mieszkańca wzrosła aż o 107% a więc ponad dwukrotnie. W efekcie jeden samochód przypada średnio na dwóch mieszkańców Polski, co w praktyce oznacza, że większość gospodarstw domowych po-

siada obecnie własny samochód [16]. Potwierdzają to wyniki przeprowadzonych badań ankietowych. Zgodnie z nimi w aglomeracji bydgosko-toruńskiej już w 2010 r. 68,5% mieszkańców posiadało samochód osobowy w swoim gospodarstwie domowym [17], natomiast w 2015 r. w Gdyni udział takich gospodarstw wyniósł 72% [4].

Dynamiczny rozwój motoryzacji indywidualnej niesie ze sobą znaczne koszty zewnętrzne ponoszone przez ogół społeczeństwa – wypadki drogowe, zanieczyszczenie środowiska i bardzo istotną w warunkach miejskich zajętość terenu. Szczególnie dokuczliwą dla wszystkich mieszkańców konsekwencją dynamicznego rozwoju motoryzacji indywidualnej jest rosnąca kongestia ruchu w obszarach aglomeracji miejskich. W godzinach szczytu komunikacyjnego gęstość ruchu jest na granicy przepustowości systemu dróg a w centrach miast brak jest miejsc parkingowych. Gdy gęstość ruchu na danym obszarze miejskim zbliża się do granicy przepustowości systemu ulic raptownie spada średni poziom akceptacji takiego stanu rzeczy przez użytkowników. Poziom ten jest oczywiście indywidualną cechą poszczególnych mieszkańców wynikającą z wielu czynników. W efekcie sprawny system transportu publicznego (tj. możliwie niezależny od skutków kongestii, np. poruszający się po wydzielonych torowiskach czy jezdniach) zaczyna być powszechnie postrzegany przez mieszkańców jako atrakcyjna alternatywa. Warunkuje to efektywną substytucję środka transportu – rezygnację przez część mieszkańców z użytkowania własnego samochodu osobowego pomimo faktu jego posiadania. Pośrednio wskazuje na to fakt, że w ciągu ostatnich 16 lat liczba zarejestrowanych w Polsce samochodów wzrosła ponad 2-krotnie a przewozy komunikacją miejską spadły w tym czasie tylko o 17 %, potwierdzając to także inne przypadki opisane w literaturze [5]. Rozbudowa infrastruktury drogowej oczywiście zwiększa przepustowość sieci ulic, jednak jest to natychmiast dyskutowane przez jego mieszkańców, co jest efektem wystę-

powania popytu utajonego. Nowe inwestycje sprawiają, iż wiele osób, które dotychczas rezygnowały z użytkowania samochodu osobowego, zmieniają swoje zachowania komunikacyjne i decydują się na jego wykorzystywanie [10]. Dlatego wszelkie zmiany w infrastrukturze drogowej (budowa nowych ulic, poszerzanie istniejących, budowa skrzyżowań bezkolizyjnych itp.) nie powodują zmiany ogólnego zagęszczenia i płynności ruchu w obszarze aglomeracji. Najlepszym dowodem faktu, iż zagęszczenie ruchu ulicznego w miastach jest zawsze bliskie granicy przepustowości są wszystkie nieprzewidziane zakłócenia ruchu na skutek nagłych okoliczności (np. opady śniegu, ulewne deszcze, zablokowanie ważnej ulicy na skutek wypadku czy awarii wodociągowej), które powodują nieoczekiwane ograniczenie przepustowości sieci dróg i w efekcie paraliż komunikacyjny miasta. Zatem argumentowanie rozwoju infrastruktury drogowej celem zmniejszenia jej zatłoczenia pozostaje jedynie myśleniem życzeniowym. Doświadczenia krajów Europy Zachodniej i Stanów Zjednoczonych wskazują, iż zwiększanie przepustowości sieci drogowej poprzez powiększanie obszaru zajmowanego przez ulice nie prowadzi do rozwiązania tego problemu [10].

Jakość transportu miejskiego

Warunkiem nastąpienia pożądanej substytucji transportu indywidualnego na rzecz transportu zbiorowego jest zapewnienie jego możliwie wysokiej jakości. Na postrzeganą przez użytkowników jakość transportu publicznego wpływa wiele czynników. W powstałym w 1998 r. raporcie UE określonym w skrócie jako QUATTRO (*Quality Approach in Tendering/contracting Urban Public Transport Operations*) [2] podjęto się ich usystematyzowania m.in. aby ułatwić ich uwzględnianie w procesach zamawiania usług publicznych:

1. Dostępność sieci komunikacyjnej
 - 1.1 Układ sieci komunikacyjnej
 - 1.2 Rozkład jazdy (częstotliwość)
2. Dostępność funkcjonalna

- 2.1 Dostępność przystanków
- 2.2 Połączenia wewnętrzne (przeładki)
- 2.3 Dostępność biletów
3. System informacyjny
 - 3.1 Informacje podstawowe
 - 3.2 Informacja o podróży w warunkach normalnych
 - 3.3 Informacje o podróży w warunkach wyjątkowych
4. Czas
 - 4.1 Czas podróży
 - 4.2 Punktualność i niezawodność (zgodność z rozkładem)
5. Kontakt z klientem
 - 5.1 Zobowiązanie
 - 5.2 Obsługa klienta
 - 5.3 Personel
 - 5.4 Pomoc i wsparcie
 - 5.5 Opcje systemu taryfowego
6. Komfort
 - 6.1 Miejsca siedzące oraz przestrzeń osobista
 - 6.2 Udogodnienia
 - 6.3 Ergonomia
 - 6.4 Komfort jazdy
7. Bezpieczeństwo
 - 7.1 Zabezpieczenie przed przestępczością
 - 7.2 Zabezpieczenie przed wypadkiem
 - 7.3 Zarządzanie sytuacjami wyjątkowymi
8. Środowisko
 - 8.1 Zanieczyszczenie
 - 8.2 Wykorzystanie zasobów naturalnych
 - 8.3 Infrastruktura

Uszczegółowienie przedstawionych powyżej czynników jakościowych stało się podstawą do przyjęcia w 2002 r. przez Europejski Komitet Standaryzacji normy regulującej zagadnienia jakości w procesie dostarczania usług publicznego transportu zbiorowego, która w 2003 r. została uznana przez PKN za Polską Normę [12]. Ocena użytkowników większości spośród powyższych czynników jakościowych ma charakter względny i jest trudna do kwantyfikacji. Dlatego na podstawie dostępnych danych statystycznych okazuje się niemożliwe dokonanie oceny zachodzących w ostatnich latach zmian jakości i preferencji decydujących o wyborze środka podróży. Trudność

stanowi już określenie wpływu (rangi) każdego z nich na decyzje podejmowane przez mieszkańców aglomeracji. Jednak dostępne wyniki szeregu przeprowadzonych w ostatnich latach w różnych aglomeracjach badań ankietowych pozwalają na podjęcie próby określenia wagi uwzględnionych w tych badaniach czynników jakościowych. W tabeli 1 zestawiono rangę i ocenę satysfakcji wyznaczone jako średnia ważona liczbą ankiet dla wyników uzyskanych w toku trzech badań jakości usług transportu publicznego w Kielcach w 2014 r. (próba 496 osób) [8], w mieście w woj. lubelskim w 2015 r. (próba 91 osób) [6] i w Białymstoku w 2011 r. (próba 60 osób) [9]. Dla tego ostatniego badania istotność poszczególnych parametrów jakości usług komunikacji miejskiej oszacowano pośrednio uznając za najważniejsze te, dla których był najniższy udział wskazań określających ich jakość jako nieistotną.

Ankietowani najniżej ocenili cenę za przejazd (2,81 w skali 1-5) i niezawodność (2,85). Drugi z tych czynników jednocześnie jest postrzegany jako jeden z istotniejszych dla pasażerów, co wskazuje na konieczność przywiązania szczególnej wagi przez organizatorów transportu miejskiego do zapewnienia wysokiej niezawodności ruchu. Dla pozostałych czynników jakościowych uzyskana ocena była wyrównana i można ją podsumować jako dość dobrą. Analiza uśrednionej rangi poszczególnych czynników jednoznacznie wskazuje, że dla podróży najważniejsze są te, które wpływają na przewidywalność i łączny czas podróży transportem publicznym (tj. z uwzględnieniem czasu dojścia do przystanku i oczekiwania na pojazd) – dotyczy tego sześć pierwszych wskazywanych przez respondentów czynników. Ograniczeniem tej analizy jest fakt występowania oczywistego sprzężenia zwrotnego – osoby ankietowane w chwili badania korzystały z transportu publicznego właśnie dlatego, że z ich punktu widzenia był on dostatecznie dostępny. Ta względność oceny utrudnia więc ocenę, jak tę dostępność postrzegala cała populacja

aglomeracji miejskich.

Kolejne przywołane tu badanie ankietowe zostało przeprowadzone w 2014 roku na próbie 81 użytkowników transportu miejskiego w Warszawie. Ich istotną wartością jest sformułowanie pytań, które zostały wprost nakierowane na wskazanie powodów, dla których mieszkańcy decydowali się na korzystanie z transportu publicznego. Dokonując wyboru między komunikacją publiczną a indywidualną wśród czynników branych pod uwagę przez ankietowanych jako najważniejszy wskazywali oni koszt przejazdu (38% wskazań) oraz jego czas (28%). Natomiast wśród tych czynników, które skłoniły mieszkańców do skorzystania z komunikacji publicznej, oprócz oczywistego (brak samochodu 27%) aż 40% wskazań stanowiły te związane z utraconym czasem (duże zatłoczenie dróg, trudności z zaparkowaniem i szybkość podróży) a 21% wskazań dotyczyło mniejszego kosztu w porównaniu z transportem indywidualnym [15].

Wszystkie przedstawione dotychczas badania zostały przeprowadzone pośród osób korzystających z transportu publicznego w chwili ich ankietowania. Nie mogły więc one wskazać na przyczyny decydujące o powodach, dla których dana osoba nie korzysta z transportu publicznego. Okazuje się jednak, że podobne wnioski wynikają z opublikowanych wyników badań przeprowadzonych w 2015 r. wśród losowej próby 2,5 tys. mieszkańców Gdyni. Aż 44,5% wskazywanych czynników determinujących wybór samochodu osobowego zamiast transportu publicznego wynikało z różnicy łącznego czasu podróży (krótszy czas podróży samochodem, brak konieczności oczekiwania na pojazd, przesiadania się, dojścia do i z przystanku). Jednocześnie 25% wskazywanych przez respondentów czynników determinujących wybór transportu publicznego wynikało z wyższego kosztu korzystania z własnego samochodu (konieczność wniesienia opłaty za parkowanie i niższy koszt podróży transportem zbiorowym) [4].

Także w badaniu przeprowadzo-

Tab. 1. Ocena jakości usług przewozowych pasażerów transportu publicznego

Ranga	Cecha jakości	Ocena satysfakcji w skali 1-5
1	Punktualność kursowania autobusów	3,66
2	Niezawodność	2,85
3	Dostępność sieci komunikacyjnej	3,32
4	Częstość kursowania autobusów	3,53
5	Bezpośredniość połączeń	3,60
6	Czas przejazdu	3,15
7	Cena biletów	2,81
8	Bezpieczeństwo podróżowania	3,64
9	Informacja w pojazdach i na przystankach	3,85
10	Wygoda podróży	3,41

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6] [8] [9]

nym w 2010 r. na losowej próbie 4105 mieszkańców aglomeracji bydgosko-toruńskiej uzyskano podobne wyniki. Wśród respondentów nie korzystających z komunikacji miejskiej motywacją skłaniającą do wyboru samochodu, oprócz wygody (35%), był czas przejazdu. Łączna istotność wskazywanych czynników związanych z nim wyniosła 42% (brak konieczności oczekiwania, krótszy czas podróży samochodem, brak konieczności dojścia do i z przystanku). Wśród respondentów posiadających samochód i korzystających z komunikacji miejskiej motywacją do jej wyboru było porównanie ceny przejazdu. Łączna istotność wskazywanych czynników związanych z nim wyniosła 25% (niższy koszt podróży komunikacją miejską, opłaty za parkowanie, zintegrowany bilet). Wśród respondentów deklarujących chęć rezygnacji z komunikacji miejskiej decydującym parametrem skłaniającym do zmiany tej decyzji i dalszego korzystania z komunikacji miejskiej był czas przejazdu. Łączna istotność wskazywanych czynników związanych z nim wyniosła 53% (większa częstotliwość kursowania, bezpośrednie połączenia, większa prędkość podróży, bliżej do przystanków, trudność z parkowaniem, wydzielone pasy ruchu dla autobusów), a tylko 16% jest pochodną porównania ceny przejazdu [1].

Zastosowane sprowadzanie wpływu różnych czynników jakościowych jedynie do wynikającej z nich wymiernej wartości utraconego czasu

czy kosztów oczywiście jest pewnym uproszczeniem. Dążenie do wysokiego standardu w zakresie pozostałych czynników jakościowych jest także bardzo istotnym, jednak nie wystarczającym warunkiem substytucji transportu indywidualnego na rzecz transportu publicznego. Dlatego przyjęcie takiego uproszczenia pozwala na wskazanie zakresu tych czynników, w którym możliwe jest wprowadzanie zmian mogących przynieść największe efekty. Wyniki uzyskane w toku wszystkich przedstawionych badań wskazują, że dla preferencji transportowych mieszkańców decydujące są czynniki przekładające się na osiągnięte przez nich wymierne korzyści pozwalające na ograniczenie kosztów utraconego czasu (także dzięki niezawodności) i kosztów przejazdu. Jednocześnie ocena ogólnego standardu transportu publicznego i jego bezpieczeństwa jest zadowalająca, co pokrywa się z widocznymi korzystnymi zmianami zachodzącymi obecnie praktycznie we wszystkich miastach w całej Polsce. Sukcesywnie wymieniany tabor jest nowoczesny i estetyczny, pozostałe trudne do kwantyfikacji czynniki jakościowe również wydają się być na dostatecznie dobrym poziomie. Jednocześnie, jak wskazują przedstawione powyżej wyniki różnych badań ankietowych, wpływ tych czynników jakościowych na preferencje komunikacyjne obecnie okazuje się mieć relatywnie niewielkie znaczenie dla mieszkańców. Pozwala to na przyjęcie założenia, że obecnie kluczowym warunkiem substytucji transportu indywidualnego na rzecz transportu publicznego jest spełnienie poniższej nierówności uwzględniającej wymierne składniki kosztowe:

$$t_{sam} \cdot A + P_{paliwo} > t_{tr.publ.} \cdot B + P_{bilet}$$

t_{sam} - czas utracony podczas jazdy samochodem i parkowania;

A - współczynnik określający materialną wartość czasu jazdy samochodem;

P_{paliwo} - koszt podróży samochodem;

$t_{tr.publ.}$ - czas utracony podczas korzystania z transportu publicznego;

B - współczynnik określający materialną wartość czasu jazdy pojazdem transportu publicznego;

P_{bilet} - koszt biletu na przejazd transportem publicznym.

Wymienione w powyższej nierówności współczynniki kosztu utraconego czasu są miarą subiektywną i indywidualną. Wpływają na to choćby prywatne preferencje - niektórym przyjemność sprawa prowadzenie samochodu, co w powyższej nierówności przyczynia się do obniżania wartości współczynnika A . Dla innych większą przyjemnością jest np. możliwość czytania podczas podróży, co z kolei może obniżyć wartość współczynnika B . Oczywiście wartość tę obniża także poprawa szeroko rozumianego komfortu korzystania z transportu publicznego. Na samą długość czasu utraconego podczas korzystania z transportu publicznego składa się:

- przeciętny czas dojścia do przystanku, co jest pochodną układu sieci komunikacyjnej (wg [2] czynnik 1.1.), za jego przybliżoną miarę można przyjąć gęstość sieci komunikacyjnej (długość linii [km]/pow. miasta [km²]),
- czas oczekiwania na pojazd, także podczas przesiadek, tj. częstotliwość kursowania pojazdów komunikacji miejskiej [min], co wynika z konstrukcji rozkładu jazdy (wg [2] czynniki 1.2. i 2.2.);
- czas utracony na skutek nieplanowego opóźnienia pojazdu na skutek kongestii ruchu bądź usterki (punktualność i niezawodność, wg [2] czynnik 4.2.);
- czas przejazdu (wg [2] czynnik 4.1.).

Przeprowadzone w 2009 r. badania ankietowe na próbie 5000 mieszkańców 5 miast Polski wschodniej (Białystok, Kielce, Lublin, Rzeszów, Olsztyn) przedstawiają szereg miarodajnych informacji dotyczących preferencji transportowych mieszkańców i ich czasu podróży transportem publicznym:

- dla 55% mieszkańców głównym środkiem transportu jest samochód osobowy;
- 74% mieszkańców korzysta z miej-

skiego transportu zbiorowego, w tym dla 27% mieszkańców jest to główny środek transportu;

- średni czas dojścia do przystanku wynosił 4,95 min, zatem średnia odległość do przystanku wynosiła 0,4 km;
- przeciętny czas oczekiwania na pojazd wynosił 8 min;
- przeciętny czas podróży transportem publicznym wynosił 23 min;
- 58% ogólnej liczby kursów było opóźnionych w stosunku do rozkładu jazdy, w tym 53% w godzinach szczytu;
- średnia wielkość opóźnienia kursu opóźnionego wynosiła 11 min, zatem przeciętna wielkość opóźnienia każdego kursu wynosiła 6,38 min;
- prędkość eksploatacyjna pojazdów komunikacji miejskiej wynosiła 16,0 km/h, zatem przeciętna odległość podróży (iloczyn prędkości i czasu) z uwzględnieniem opóźnienia wynosiła 4,4 km;
- 91% pasażerów odbywało podróż bez przesiadki [17].

Powyższe zestawienie danych pozwala oszacować przeciętny łączny czas podróży podczas korzystania z transportu publicznego, który w wymienionych 5 miastach wyniósł 36 minut, pokonywana odległość 5 km a przeciętny koszt takiego przejazdu wyniósł 2,62 zł. Został on oszacowany jako średnia arytmetyczna cen biletów jednorazowych i miesięcznych w Białymstoku, Lublinie i Olsztynie przy założeniu, że posiadacz biletu miesięcznego dokonuje w tym czasie 40 podróży, tj. 2 podróże każdego dnia roboczego. Natomiast koszt przejazdu własnym samochodem można oszacować przyjmując zużycie paliwa 10 l/100 km odzwierciedlające jego znacznie zwiększone zużycie podczas rozruchu silnika spalinowego, co ma istotne znaczenie podczas podróży na krótkie dystanse, oraz uwzględnia pozostałe koszty użytkowania tego samochodu (np. przeglądy, ubezpieczenie itp.). Przy pokonywanym dystansie 5 km i przeciętnej cenie paliwa 4,50 zł/l koszt jednego przejazdu wyniósł więc 2,25 zł, zatem był on niemal rów-

ny cenie za bilet. Sytuacja ta ulega jednak zasadniczej zmianie, jeśli korzystanie z własnego samochodu pociąga za sobą konieczność uiszczenia opłaty za parkowanie.

Faktyczna średnia prędkość podczas jazdy samochodem w obszarze centrum 10 największych polskich aglomeracji w 2016 r. wyniosła 29,2 km/h [11]. Oznacza to, że czas potrzebny na pokonanie wspomnianego wcześniej dystansu 5 km wyniósł średnio ok. 10 minut. Oprócz czasu traczonego na sam przejazd, konieczne było poświęcenie czasu także na dojście do samochodu, późniejsze parkowanie i następnie dojście do faktycznego celu podróży. Można przyjąć, że suma tego czasu również wyniosła ok. 10 min., zatem łączny czas podróży samochodem osobowym wyniósł ok. 20 min. i był znacznie krótszy w porównaniu do transportu publicznego.

Przedstawione wyniki pokrywają się z uzyskanymi w trakcie wspomnianych już badań przeprowadzonych w 2015 r. w Gdyni. W świetle tych wyników czas podróży miejskich do miejsca pracy lub nauki w relacji „drzwi-drzwi” wynosił przeciętnie 20,11 min. przy wykorzystaniu samochodu osobowego, natomiast dla transportu publicznego 37,26 min. [4] Z jednej strony potwierdza to poprawność przyjętych założeń a z drugiej wskazuje, że uzyskane wyniki wydają się odzwierciedlać faktyczną sytuację we wszystkich większych miastach w Polsce.

Podstawowym czynnikiem determinującym wybór samochodu osobowego zamiast transportu zbiorowego wskazywanym przez ankietowanych była większa wygoda (lepsze warunki jazdy). Wskazywało go 24% respondentów z Gdyni [4] i 35% respondentów z aglomeracji bydgosko-toruńskiej [1]. Oczywiście techniczne różnice pomiędzy samochodem osobowym a pojazdem komunikacji miejskiej sprawiają, że możliwości ograniczenia wpływu tego czynnika są niewielkie. Jednak zmiany w innych obszarach opisywanych przez pozostałe wskazywane przez ankietowanych czynniki mogą wpłynąć na preferencje komu-

nikacyjne i skłonić do ograniczenia użytkowania samochodu.

Podsumowanie

Przedstawiono powyżej uwarunkowania dotyczące wszystkich czterech składników kosztowych nierówności warunkującej substytucję transportu indywidualnego na rzecz transportu publicznego. Analiza odzwierciedlających je czynników jakościowych doprowadza do wniosku, że wielkość każdego z tych składników pozostaje w gestii miasta zarówno jako organizatora transportu publicznego jak i zarządcy infrastruktury drogowej:

- ograniczanie kosztu czasu traczonego podczas korzystania z transportu publicznego możliwe jest m.in. poprzez zwiększanie udziału transportu szynowego poruszającego się po wydzielonych torowiskach, zwiększanie długości buspasów (wydzielonych pasów dla autobusów), wprowadzanie rzeczywistego priorytetu transportu publicznego na skrzyżowaniach czy zwiększanie częstotliwości kursowania pojazdów komunikacji miejskiej;
- zmiana kosztu czasu traczonego podczas jazdy samochodem i parkowania możliwa jest poprzez ograniczanie przepustowości systemu dróg na skutek zwiększania priorytetu transportu publicznego, uspokajanie i spowalnianie ruchu drogowego czy ograniczanie liczby miejsc parkingowych w centrach miast;
- podwyższanie kosztu podróży samochodem możliwe jest poprzez powiększanie i uszczelnianie stref płatnego parkowania w centrach miast oraz zwiększanie opłat parkingowych czy wprowadzanie opłat za wjazd samochodu do obszaru ścisłego centrum;
- wpływ miasta na koszty przejazdu transportem publicznym jest oczywisty, w ramach tego możliwe jest różnicowanie tych kosztów w zależności od miejsca odprowadzania podatków (zamel-dowania) przez pasażera czy regularności korzystania przez niego z transportu publicznego.

Powyższe zestawienie wskazuje na szeroką paletę dostępnych narzędzi kształtowania przez miasto pożądanych zachowań komunikacyjnych wśród jego mieszkańców. Pozwala to na ograniczanie kosztów zewnętrznych wywoływanych przede wszystkim przez transport indywidualny ale także i publiczny, a jednocześnie umożliwia obciążanie tymi kosztami zewnętrznymi użytkowników samochodów osobowych [7]. Stosowanie niektórych z tych instrumentów, zwłaszcza w chwili ich wdrażania, może wiązać się z niezadowoleniem części mieszkańców. Jednak, jak pokazują liczne badania, wprowadzanie w zamian korzystnych zmian dotyczących pozostałych składników kosztowych sprawia, że osiągnane na skutek tego pozytywne efekty stają się dostrzegane i akceptowane przez mieszkańców [10] [14] [18]. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Badanie preferencji i zachowań komunikacyjnych mieszkańców aglomeracji Bydgosko – Toruńskiej, Załącznik do Zintegrowany Program Rozwoju Transportu publicznego dla aglomeracji bydgosko-toruńskiej, ze szczególnym uwzględnieniem bydgosko-toruńskiego obszaru metropolitalnego na lata 2010-2015, TRAKO, 2010
- [2] Common work Quattro/CEN TC320 WG5, Final Report Synthesis and recommendations, Contract N° UR-96-SC-1140, Transport RTD Programme of the EU's 4th Framework Programme for Research, technological Development and Demonstration, 1998
- [3] Czyż T., Koncepcje aglomeracji miejskiej i obszaru metropolitalnego w Polsce, Przegląd Geograficzny 4/2009 (81) s. 448
- [4] Hebel Katarzyna, Wołek Marcin, Wyszomirski Olgierd, Rola samochodu osobowego w podróżach miejskich mieszkańców Gdyni w 2015 roku w świetle wyników badań marketingowych, Przegląd Komunikacyjny nr 2/2017, s.21

- [5] Holmgren Johan, An analysis of the determinants of local public transport demand focusing the effects of income changes, *European Transport Research Review* 5/2013 s.101–107
- [6] Kowalik K., Sykut B., Tomporowski A., Szyszko G., Hermaniuk T., Perduta-Dybiec A., Cele transportu zbiorowego w wybranym mieście województwa lubelskiego w ocenie grup użytkowników, *Autobusy* nr 6/2016 s.1713
- [7] Koźlak A., *Ekonomika transportu, Teoria i praktyka gospodarcza*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 2008, s.122
- [8] Mikulska A., Starowicz W., Analiza preferencji i satysfakcji pasażerów transportu publicznego w Kielcach, *Transport miejski i regionalny* nr 3/2015 s.25
- [9] Milenkiewicz B.J., Halicka K., Ocena jakości usług w transporcie zbiorowym na przykładzie Białostockiej Komunikacji Miejskiej, *Economy and Management* nr 4/2011s. 83-84
- [10] Nosal, K., Starowicz W., Wybrane zagadnienia zarządzania mobilnością, *Transport Miejski i Regionalny*, 2010, nr 3.
- [11] Raport - Ranking najwolniejszych polskich miast - wiosna 2017, <http://korkowo.pl/raport/ranking-najwolniejszych-polskich-miast-wiosna-2017-705> (dostęp 30.01.2018)
- [12] Starowicz W., Charakterystyka polskiej normy „Jakość usług w publicznym transporcie pasażerskim”, *Technika Transportu Szynowego* nr 9/2004 s.29
- [13] Statystyka przewozów pasażerskich, dane eksploatacyjne, Urząd Transportu Kolejowego, www.utk.gov.pl/pl/raporty-i-analizy/analizy-i-monitoring/statystyka-przewozow-pa
- [14] Stoeck Tomasz, Analiza porównawcza preferencji i zachowań komunikacyjnych studentów oraz pracowników dojeżdżających do Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, *Przegląd Komunikacyjny* 5-6/2011
- [15] Świaniewicz K., Rokicki T., Rozwój komunikacji miejskiej w Warszawie w opinii jej użytkowników, *Ekonomika i Organizacja Logistyki*, nr 1/2016 (2), s.89-98
- [16] Transport, Wyniki działalności w latach 2001-2016 r., GUS, Warszawa. 2002-2017
- [17] Ustalenie sytuacji wyjściowej w odniesieniu do Działania III.1 PO RPW – systemy miejskiego transportu zbiorowego, Raport końcowy, Warszawa, 2009
- [18] Zych Franciszek, Transport w miastach – problemy modernizacji, osiągnięcia miast i oceny odbiorców usług transportowych, ZMP, SAS, Kraków 2011.

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 inżynierijne:

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

Geodezja:

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

Siedziba firmy:

ul. Wrocławska 41, Łażany
58-130 Żarów

Analiza symulacyjna etapowej realizacji zachodnich odcinków III obwodnicy Krakowa i ich oddziaływania na układ transportowy

Simulation analysis of the western 3rd ring road project in Krakow and its forecast impact upon the urban transport network performance



Arkadiusz Drabicki

Mgr inż.

Katedra Systemów
Transportowych, Politechnika
Krakowska

adrabicki@pk.edu.pl



Andrzej Szarata

Dr hab. inż., prof. PK

Katedra Systemów
Transportowych, Politechnika
Krakowska

aszarata@pk.edu.pl



Rafał Kucharski

Dr inż.

Katedra Systemów
Transportowych, Politechnika
Krakowska

rkucharski@pk.edu.pl

Streszczenie: W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analiz symulacyjnych dotyczących realizacji zachodnich części III obwodnicy drogowej Krakowa – tj. odcinków: Trasy Łagiewnickiej, Trasy Pychowickiej oraz Trasy Zwierzynieckiej. Prace analityczne przeprowadzono z wykorzystaniem modelu makrosymulacyjnego, opisującego system transportowy Krakowa oraz aglomeracji ościennej. W symulacjach ukazano zmiany pojawiające się w przepływie potoków ruchu drogowego oraz skutki dla funkcjonowania układu transportowego miasta w miarę realizacji kolejnych etapów zachodniej części III obwodnicy. Wyniki prac potwierdzają, że analizowane projekty drogowe będą miały widoczny wpływ na zmiany warunków podróżowania, jednakże w pierwszych etapach inwestycji efekt będzie ograniczony tylko do południowej części Krakowa. Ukończenie całego zachodniego ciągu III obwodnicy jest kluczowe dla powodzenia przedsięwzięcia i tylko wówczas przyniesie ono znaczące korzyści w wielu relacjach podróży w skali całego miasta. Prognozy ruchu potwierdzają zatem, że III obwodnica stanie się w przyszłości podstawową osią komunikacyjną w zachodniej części miasta i umożliwi znacznie lepsze powiązanie północnych i południowych dzielnic Krakowa. Oprócz prognozowanych korzyści należy jednak zwrócić również uwagę na potencjalnie negatywne efekty: po ukończeniu budowy III obwodnicy celowym jest dalsze dążenie do ograniczenia pojemności układu drogowego w śródmieściu Krakowa. Umożliwi to osiągnięcie oczekiwań związanych z analizowanym projektem drogowym – tj. pozytywny wpływ na dostępność szerszego obszaru miasta, poprawę warunków podróżowania w układzie drogowo-ulicznym Krakowa oraz skuteczną redukcję uciążliwości ruchu samochodowego w obszarze śródmieścia.

Słowa kluczowe: III obwodnica Krakowa; Analiza symulacyjna; Model transportowy

Abstract: The paper presents results from simulation analysis of the western 3rd ring road project in the city of Krakow (i.e. Trasa Łagiewnicka, Trasa Pychowicka and Trasa Zwierzyniecka), performed in the macroscopic model of transport system in the Krakow metropolitan area. Simulation works reveal shifts in traffic flows and changes in urban transport network performance which would likely take place after the stage-wise construction of consecutive 3rd ring road western sections. Results indicate that the analysed road schemes would indeed have a relevant impact upon travel conditions, though in initial stages these would be rather limited and confined to the southern part of the city. Therefore, completion of the whole western section of the 3rd ring road is crucial to its overall effectiveness and would only then bring substantial benefits on a city-wide scale. Simulation works seem to confirm that the future 3rd ring road would become an essential and highly-utilised link in the urban road network and would provide a much more efficient connection between the northern and southern parts of the Krakow city. However, apart from the projected benefits, it is also important to underline potential negative implications – and consequently, further changes in city transport system should envisage reduction of the road network capacity within the inner-city area. This would then provide the best possible chance of fostering the improvements achieved with the 3rd ring road scheme: i.e., positive changes in accessibility and travelling conditions across the whole city and long-term, sustainable traffic congestion relief in the inner-city Krakow area.

Keywords: Krakow 3rd ring road; Simulation analysis; Transportation model

W ostatnich latach w wielu miastach Polski można obserwować wzmożone działania inwestycyjne, mające na celu rozbudowę sieci drogowej oraz usprawnienie jakości podróży wykonywanych transportem samochodowym. W dyskusji nad rozwojem transportu w miastach kluczowe jest jednakże określenie, jakie przedsięwzięcia inwestycyjne są zasadne i które z nich wpisują się w strategię kształtowania układu transportowego w sposób zrównoważony. Z jednej strony bowiem pożądanym jest realizacja dróg, które znacząco wpłyną na poprawę dostępności transportowej

i możliwości przewozowej układu drogowego oraz wyprowadzanie ruchu drogowego z obszarów wrażliwych – a z drugiej strony unikanie przedsięwzięć, których korzyści (np. skrócenie czasów podróży) będą znikome i których efektem może być niepożądany wzrost kongestii oraz uciążliwości ruchu drogowego. Zgodny z tymi postulatami wydaje się być m. in. promienisto-obwodowy model rozwoju układu drogowego miasta, w którym zasadniczy ciężar obsługi ruchu drogowego jest realizowany przez układ dróg radialnych (wyłotowych) i obwodowych na peryferiach

miasta, natomiast w miarę zbliżania się do obszaru centralnego miasta ograniczana jest pojemność układu drogowego na rzecz środków transportu zbiorowego oraz tzw. aktywnych form podróżowania (pieszo, rowerem itd.). W tym aspekcie istotnym jest wykorzystanie narzędzi analitycznych, które pozwalają na prognozowanie skutków rozważanych projektów drogowych oraz stanowią ważny instrument w podejmowaniu decyzji o kierunkach rozwoju sieci drogowej miasta – np. modeli symulacyjnych dla miejskich systemów transportowych.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analiz przeprowadzonych z wykorzystaniem narzędzi makrosymulacyjnych, których celem było określenie potencjalnych skutków realizacji kolejnych etapów tzw. III obwodnicy Krakowa. Przedmiotem analiz są tutaj zachodnie odcinki III obwodnicy, czyli: Trasa Łagiewnicka, Trasa Pychowicka i Trasa Zwierzyniecka – tj. projekty drogowe, które w bardzo wyraźny sposób wpłyną na funkcjonowanie układu transportowego w całym mieście. Na podstawie przeprowadzonych prac możliwa będzie ocena potencjalnych skutków wynikających z budowy kolejnych odcinków III obwodnicy Krakowa – w tym możliwości uzyskania pożądaných korzyści pod kątem poprawy jakości podróżowania w mieście oraz zmniejszenia ruchu drogowego w obszarze wewnątrz III obwodnicy - a także wskazanie kierunków dalszych działań w zakresie rozwoju układu transportowego miasta.

III obwodnica Krakowa w strategii kształtowania układu drogowego miasta

Strategia rozwoju układu transportowego Krakowa jest konsekwentnie kształtowana w oparciu o docelowy model układu drogowego, tworzonego przez 4 obwodnice drogowe uzupełnione drogami radialnymi (wylotowymi) [5]. Każda z tych obwodnic będzie docelowo pełnić określoną funkcję w zależno-

ści od położenia w mieście, a zgodnie z powyżej opisanym paradygmatem – znaczenie dla ruchu drogowego będzie maleć wraz z przesuwaniem się w kierunku centralnego obszaru miasta:

- I obwodnica – najbardziej wewnętrzna obwodnica, jest to ciąg ulic lokalnych otaczających ścisły obszar Starego Miasta (obwodnica Plant), o wyraźnie ograniczonym dostępie dla ruchu indywidualnego i uprzywilejowaniu transportu zbiorowego oraz rowerowego,
- II obwodnica – ciąg ulic zbiorczych i głównych stanowiących granicę obszaru śródmiejskiego Krakowa (m. in. jest to ciąg Alei Trzech Wieszczów); znaczenie II obwodnicy ma maleć w miarę realizacji kolejnych odcinków III obwodnicy i zostać ograniczone głównie dla ruchu lokalnego, a także zwiększona ma być preferencja dla obsługi transportu zbiorowego,
- III obwodnica – ciąg ulic klasy głównej ruchu przyspieszonego, która docelowo ma stanowić podstawową oś komunikacyjną w podróżach międzydzielnicowych w Krakowie, a także powiązanie pomiędzy zewnętrznym i wewnętrznym układem transportowym (m. in. jest to ciąg Trasy Zwierzynieckiej, Pychowickiej i Łagiewnickiej),
- IV obwodnica – położona najbardziej na zewnątrz obwodnica Krakowa, tworzona przez pierścień dróg szybkiego ruchu (autostrady

A4 oraz dróg ekspresowych S7 i S52) otaczających Kraków; droga ta ma pełnić istotną funkcję przede wszystkim dla obsługi ruchu zewnętrznego i tranzytowego oraz ruchu pojazdów o ograniczonym dostępie do centrum miasta (np. transport ciężarowy).

Według powyższych założeń III obwodnica Krakowa będzie stanowić podstawową ramę komunikacyjną dla ruchu samochodowego na obszarze miasta. W miarę budowy i rozbudowy kolejnych jej odcinków III obwodnica ma przejmować ciężar ruchu drogowego pomiędzy największymi dzielnicami miasta, umożliwiając realizację wielu podróży miejskich z pominięciem obszaru śródmieścia. W ten sposób możliwe będzie odciążenie układu drogowego wewnątrz III obwodnicy od podróży międzydzielnicowych i zewnętrznych – w tym wielu podróży, których źródło i cel nie są związane ze śródmieściem Krakowa, a które wobec braku alternatywnych połączeń muszą obecnie prowadzić przez ten obszar. Dotyczy to zwłaszcza podróży realizowanych w zachodniej części Krakowa, gdzie II obwodnica (Aleje Trzech Wieszczów) stanowi tak naprawdę jedyne powiązanie drogowe pomiędzy znaczącymi generatorami ruchu na północy (Krowodrza, Łobzów, Bronowice) i na południu (Ruczaj, Dębniki, Kurdwanów). Kolejna przeprawa drogowa w osi północ-południe, tj. IV obwodnica (autostrada A4) zlokalizowana jest dopiero na granicy



1. Docelowa koncepcja kształtowania układu drogowego Krakowa – 4 obwodnice drogowe uzupełnione połączeniami drogowymi radialnymi (źródło: [1])

miasta, co oznacza brak alternatywnej trasy przejazdu na odcinku ok. 9 kilometrów. Wskutek tego korytarz Alei Trzech Wieszczów stanowi obecnie ciąg drogowy o bardzo wysokim obciążeniu ruchem lokalnym i dalekobieżnym, a jego przepustowość notorycznie ulega wyczerpaniu w okresach szczytowego ruchu. Co więcej, w wyniku jego lokalizacji (gęsta zabudowa śródmiejska) skutkuje to także znaczącymi uciążliwościami związanymi z emisją hałasu i zanieczyszczeń.

Inwestycją drogową, którą ma pozwolić na usprawnienie warunków ruchu w skali całego miasta, jest postulowana od lat realizacja zachodniej części III obwodnicy Krakowa – składająca się z 3 odcinków [1]:

- Trasa Łagiewnicka – południowy odcinek o długości ok. 3,7 km, o przebiegu w relacji: Witosa – Zakopiańska – Grota-Roweckiego – (Trasa Pychowicka); elementem Trasy będą 4 tunele drogowe na łącznej długości ok. 2,0 km, a na odcinku Witosa – Zakopiańska przewiduje się także budowę równoległej linii tramwajowej,
- Trasa Pychowicka – południowo-zachodni odcinek o długości ok. 2,0 km, o przebiegu w relacji: Grota-Roweckiego – Tyniecka – Księcia Józefa – (Trasa Zwierzyniecka); elementem Trasy będzie budowa nowego mostu na Wiśle (Most Pychowicki) o długości ok. 0,5 km,
- Trasa Zwierzyniecka – zachodni odcinek o długości ok. 4,2 km, o przebiegu w relacji: Księcia Józefa – Armii Krajowej; jest to najtrudniejszy i najbardziej kosztowny w realizacji fragment III obwodnicy, którego elementem będzie tunel pod Wzgórzem Św. Bronisławy o długości ok. 2,5 km oraz głębokości w najniższym punkcie sięgającej prawie ok. 100 metrów.

Powyższe odcinki III obwodnicy będą realizowane w standardzie drogi klasy GP o podwyższonych parametrach technicznych, mających na celu zapewnienie wysokiej płynności ruchu: przekrój 2x3 (pomiędzy węzłami) oraz 2x2 (w obrębie węzłów), dostosowanie III obwodnicy do prędkości 70-80 km/h, ograniczona dostępność i powiązanie z istniejącym układem drogowym po-

przez węzły dwupoziomowe.

Ukończenie powyższych odcinków III obwodnicy ma pozwolić na znaczące usprawnienie jakości podróżowania w zachodniej części Krakowa oraz redukcję natężenia ruchu drogowego na alternatywnych połączeniach drogowych – w tym zwłaszcza II obwodnicy. Realizacja projektu ma przebiegać etapowo: 18 lipca 2018 r. rozpoczęła się realizacja pierwszego fragmentu, czyli Trasy Łagiewnickiej [8], której koszt budowy szacowany jest na ok. 800 mln złotych. Na 2 pozostałych odcinkach (Trasa Pychowicka i Trasa Zwierzyniecka) trwają prace przygotowawcze i projektowe, a ich budowa wg dokumentów strategicznych miasta [9] powinna się teoretycznie zakończyć do 2030 r. Koszt budowy tych 2 odcinków jest wstępnie szacowany na ok. 2 mld zł [10], ale ze względu na skalę inwestycji i konieczne rozwiązania inżynieryjne (nowy most nad Wisłą, drążenie tunelu metodą głębinową itd.) wydaje się to być wartość zaniżona i w rzeczywistości może się on okazać nawet kilkukrotnie wyższy.

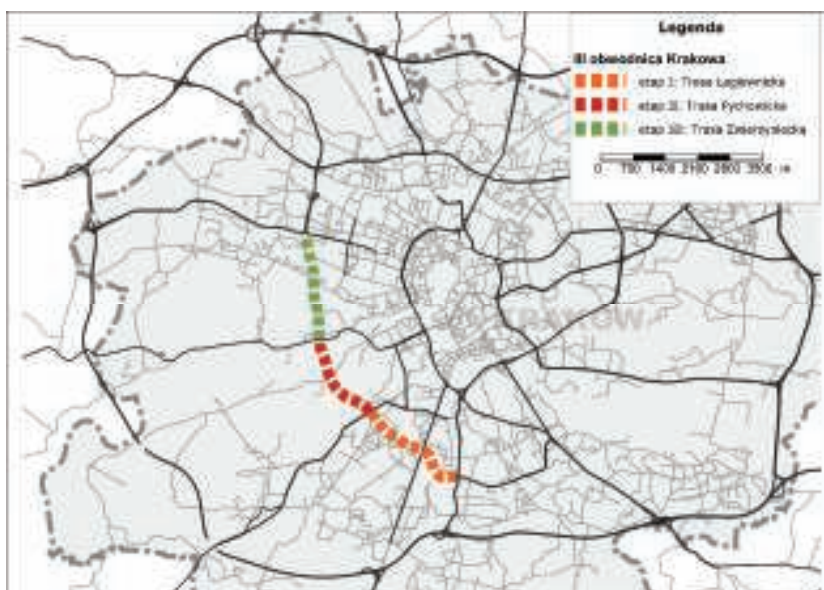
Narzędzia i założenia do analiz symulacyjnych – model transportowy Krakowa

Prace analityczne zostaną przeprowadzone z wykorzystaniem Krakowskiego Modelu Ruchu (KMR) [6], opracowanego w ramach Kompleksowych Badań Ruchu zrealizowanych w Krakowie w

2013 r. [7]. Jest to model makrosymulacyjny odwzorowujący system transportowy na obszarze Krakowa oraz powiatów ościennych (krakowski, wielicki i proszowicki), stworzony z pomocą oprogramowania PTV VISUM [4]. Do analiz wykorzystany zostanie model prognostyczny opracowany dla roku 2025, uwzględniający założenia prognostyczne dot. modelu popytu (zmiany w aktywności ruchowej) oraz modelu sieci (inwestycje i zmiany w układzie transportowym) na obszarze KMR. W prognostycznym modelu sieci na rok 2025 przyjęto, że zrealizowane zostaną do tego czasu m. in. następujące ważniejsze projekty drogowe:

- domknięcie IV obwodnicy, tj. budowa wschodnich (S7) i północnych (S52) odcinków dróg ekspresowych wokół Krakowa,
- budowa połączeń radialnych pomiędzy IV oraz III obwodnicą: Trasa Balicka, Trasa Skawińska, Trasa Wolbromska, poszerzenie al. 29 Listopada i al. Okulickiego (drogi w przekroju 2x2 lub 2x3),
- uzupełnienie połączeń radialnych pomiędzy III oraz II obwodnicą – ul. Miłosza (przebieg: Wita Stwosza – Doktora Twardego – Opolska), przełożenie ul. Księcia Józefa (przebieg: Most Pychowicki – Most Zwierzyniecki),
- rozbudowa ul. Igołomskiej (DK 79) na terenie Krakowa do przekroju 2x2.

W prognostycznym modelu popytu



2. Prognostyczny model sieci transportowej Krakowa w 2025 r., z zaznaczonymi etapami realizacji zachodniej części III obwodnicy, (źródło: opr. własne na podst. [6])

zawarto założenia dot. liczby i relacji wykonywanych podróży, które wynikają m. in. z prognozowanych zmian w strukturze funkcjonalno-przestrzennej, ogólnego wzrostu ruchliwości oraz (dla ruchu tranzytowego) wzrostu ruchu w korelacji z prognozą PKB. Ze względu na stosunkowo krótki horyzont czasowy analizy nie zakładano jednak daleko idących zmian w więźbie podróży w porównaniu z modelem stanu istniejącego (tj. dla roku 2018) – stąd też sumaryczny wzrost liczby podróży do roku 2025 kształtuje się na poziomie ok. 10-15% (w podróżach wewnętrznych) oraz 15-20% (w podróżach docelowo-źródłowych i tranzytowych).

Symulacje przeprowadzono dla godziny szczytu porannego (7:30 – 8:30). Dla tak opracowanego modelu popytu sumaryczna liczba podróży (zmotoryzowanych) w szczycie porannym wynosi ok. 201 tys. (podr./godz.), a podział zadań przewozowych w wariancie referencyjnym (bezinwestycyjnym) w ruchu wewnętrznym kształtuje się na poziomie: 48,2% dla transportu indywidualnego oraz 51,8% dla transportu zbiorowego. W każdym z wariantów uwzględniono identyczne założenia dot. modelu popytu i przeprowadzono symulację zgodnie z pełną procedurą czterostadiową, tj. generacją podróży, rozkładem przestrzennym podróży, podziałem zadań przewozowych oraz rozkładem ruchu na sieć. Ostatecznym rezultatem modelu czterostadiowego jest rozkład ruchu na sieć (tj. wynik interakcji pomiędzy modelem podróży a modelem sieci), stąd też założone zmiany inwestycyjne w modelu sieci powinny mieć przełożenie na otrzymany obraz funkcjonowania systemu transportowego w procesie symulacji.

W pracach analitycznych zdefiniowano następujące warianty (scenariusze) rozwoju sieci drogowej:

- W0 – wariant referencyjny bezinwestycyjny,
- W1 (Ł) – wariant inwestycyjny, 1. etap budowy III obwodnicy (Trasa Łagiewnicka),
- W1 (PŁ) – wariant inwestycyjny, 2. etap budowy III obwodnicy (Trasa Łagiewnicka i Trasa Pychowicka)
- W1 (ZPŁ) – wariant inwestycyjny docelowy: 3. etap i ukończenie budowy zachodniej części III ob-

wodnicy (Trasa Łagiewnicka, Trasa Pychowicka i Trasa Zwierzyniecka). W parametryzacji w/w odcinków III obwodnicy przyjęto następujące założenia:

- przepustowość: 2000-2500 poj./godz. (jezdnie główne) oraz 700-1000 poj./godz. (łącznie) w kierunku,
- prędkość w ruchu swobodnym: 70-80 km/h (jezdnie główne) oraz 50 km/h (łącznie),
- klasa techniczno-funkcjonalna: GP.

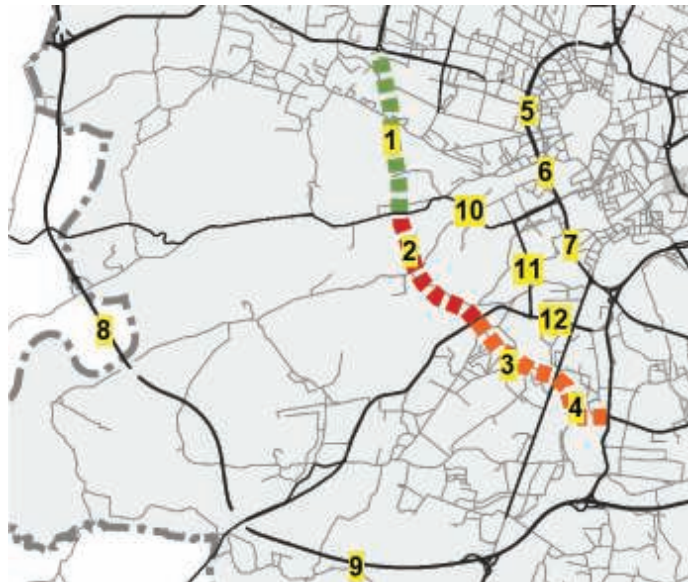
Wyniki analiz symulacyjnych – zmiany w funkcjonowaniu sieci drogowej w kolejnych etapach realizacji zachodnich odcinków III obwodnicy Krakowa

Na planszach oraz tabelach 1 i 2 zestawiono wyniki symulacji dla analizowanych scenariuszy realizacji kolejnych etapów (zachodnich odcinków) III obwodnicy Krakowa. Dokonano tutaj oceny głównie pod kątem sumarycznych parametrów funkcjonowania układu transportowego w skali miasta, efektu sieciowego analizowanych inwestycji, prognozowanego obciążenia nowych i istniejących odcinków drogowych oraz potencjalnych zmian w przepływie potoków ruchu w sieci drogowej Krakowa.

W 1. etapie realizacji inwestycji, tj. wariantie W1 (Ł), realizacja Trasy Łagiewnickiej przynosi pewne widoczne zmiany w funkcjonowaniu sieci drogowej, ale są one ograniczone do po-

łudniowych obszarów miasta. Prognozowane obciążenie ruchem nowego odcinka trasy wypada w przedziale ok. 1600 – 2200 poj./godz. szczytu i jest to ruch związany głównie z obszarem przyległych dzielnic (Ruczaj, Łagiewniki, Kurdwanów, oraz w mniejszym stopniu Bieżanów i Prokocim). Wyniki symulacji ukazują, że wiąże się to z pewną redukcją ruchu na kilku alternatywnych połączeniach drogowych (ulice: Brożka, Tischnera, Zawila, Kamieńskiego), gdzie natężenie ruchu maleje o nie więcej niż kilkaset pojazdów (w godzinie). Mimo ograniczonego efektu sieciowego w skali miasta można zaobserwować pewną poprawę parametrów podróżowania samochodem – średnia prędkość podróży rośnie o 0,3 km/h w porównaniu z wariantem W0.

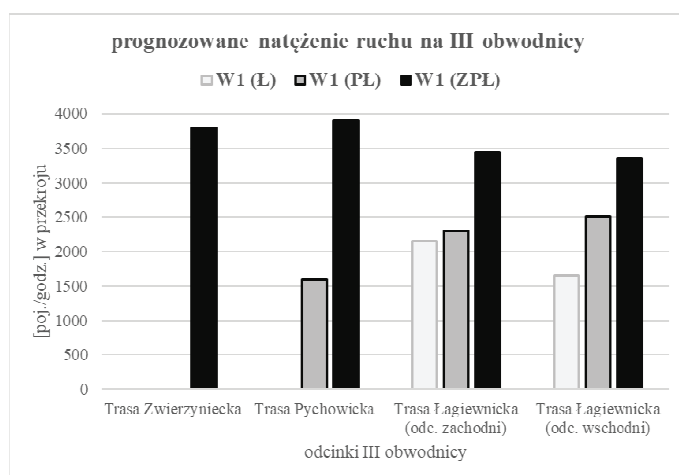
W 2. etapie analizowanej inwestycji, tj. wariantie W1 (PŁ), dalsza budowa Trasy Pychowickiej prowadzi do pewnego zwiększenia oddziaływania sieciowego korytarza III obwodnicy. Wzrasta wykorzystanie Trasy Łagiewnickiej, gdzie natężenie ruchu sięga ok. 2500 poj./godz. w przekroju, natomiast potoki ruchu na nowym odcinku są już niższe – na Moście Pychowickim jest to ok. 1500 poj./godz. Jak pokazują wyniki symulacji, na III obwodnicy pojawiają się dodatkowe potoki ruchu z obszaru dzielnic: Ruczaj, Skotniki, Zwierzyniec i Salwator, natomiast dopływ ruchu od strony północnej jest wyraźnie ograniczony barierą terenową i brakiem dalszego przejścia przez Wzgórze Św. Bronisławy.



3. Oznaczenia punktów przekrojowych analizowanych w pracach symulacyjnych

Tab. 1. Wyniki symulacji – prognozowane natężenie ruchu drogowego na analizowanych przekrojach układu drogowego Krakowa (prognoza w momencie oddania inwestycji do użytku)

Natężenie ruchu drogowego [poj./godz. w przekroju] warianty symulacyjne 2025 r.			W0	W1(Ł)	W1(PŁ)	W1(ZPŁ)
			bezinwestycyjny	Inwestycyjny - etap 1.	Inwestycyjny - etap 2.	Inwestycyjny - etap 3.
III obwodnica	1.	Trasa Zwierzyniecka	(brak)	(brak)	(brak)	3800
	2.	Trasa Pychowicka (most)			1600	3900
	3.	Trasa Łagiewnicka: odc. zach.		2150	2300	3450
	4.	Trasa Łagiewnicka: odc. wsch.		1650	2500	3350
II obwodnica	5.	al. Mickiewicza (AGH)	4050	4050	4000	3550
	6.	Most Dębnicki	4450	4400	4350	3900
	7.	al. Konopnickiej	3950	3950	3800	3500
IV obwodnica	8.	A4: most na Wiśle	4250	4250	3950	3450
	9.	A4: w. Sidzina – w. Zakopiański	4200	3900	3850	3600
obszar os. Dębni, Ludwinów	10.	Most Zwierzyniecki	1300	1350	750	1050
	11.	ul. Kapelanka	2700	2800	2400	2200
	12.	ul. Brożka	1950	1450	1400	1500



4. Wyniki symulacji – prognozowany wzrost natężenia ruchu drogowego na III obwodnicy w miarę realizacji kolejnych jej etapów w zachodniej części miasta (prognoza w momencie oddania inwestycji do użytku)

W porównaniu z wariantem W0 można zaobserwować pewne spadki ruchu na obszarze Dębni i Ludwinowa (ulice: Kapelanka, Kobierzyńska), i co ważne – najbardziej wyraźny spadek natężenia ruchu można zaobserwować na Moście Zwierzynieckim (prawie o połowę). Bez zmian natomiast pozostaje przepływ potoków ruchu na północ od Ronda Grunwaldzkiego i w obszarze śródmieścia Krakowa. W tym wariantcie następuje dalsza poprawa warunków ruchu w sieci i średnia prędkość podróży samochodem w całym Krakowie wzrasta o 0,5 km/h (wobec wariantu W0).

W końcowym wariantcie W1 (ZPŁ) docelowe ukształtowanie całego zachodniego korytarza III obwodnicy, tj. po ukończeniu Trasy Zwierzynieckiej, przynosi za to dużo bardziej widoczne zmiany w funkcjonowaniu sieci dro-

gowej, a skutki realizacji inwestycji są znacznie większe w skali całego Krakowa. Korytarz III obwodnicy staje się jednym z najbardziej obciążonych ciągów drogowych w Krakowie i na całym odcinku natężenie ruchu waha się w przedziale od ok. 3300-3500 poj./godz. w przekroju (Trasa Łagiewnicka) do prawie 4000 poj./godz. (Trasa Pychowicka i Trasa Zwierzyniecka). Nowy odcinek Trasy Zwierzynieckiej charakteryzuje się wysokim wykorzystaniem w wielu podróżach realizowanych w mieście, a oprócz tego wyraźnie wzrasta wykorzystanie wcześniej zrealizowanych odcinków III obwodnicy. W konsekwencji cały zachodni odcinek III obwodnicy stanowi podstawową oś komunikacyjną w podróżach realizowanych pomiędzy głównymi dzielnicami na północy i na południu Krakowa. Widoczny jest

także efekt synergiczny i zwiększenie dopływów z połączeń radialnych z centrum miasta (tj. od II obwodnicy), jak i też z obszarów peryferyjnych (od IV obwodnicy). Korzyści w skali całego Krakowa są wyraźnie większe niż w scenariuszach W1 (Ł) czy W1 (PŁ): średnia prędkość podróży wzrasta o 1,4 km/h w porównaniu z wariantem W0. Oznacza to skrócenie średniego czasu podróży o ok. 0,7 min przypadające na każdy pojazd w obszarze modelu, a sumarycznie – spadek o ok. 600 pojazdów-godzin.

Wyniki symulacji dla scenariusza W1 (ZPŁ) ukazują bardziej widoczne przejęcie ruchu przez III obwodnicę z wielu alternatywnych połączeń – pojawiające się już także na dalszych fragmentach sieci drogowej: II obwodnicy (Aleje Trzech Wieszców, Most Dębnicki), IV obwodnicy (autostrada A4) oraz połączeniach radialnych i stycznych (Trasa Balicka, ul. Czarnowiejska). Co ważne, spadki te z reguły nie są jednakże wyższe niż 500-800 poj./godz. w przekroju – szczególnie można zauważyć, że wciąż wysokie jest natężenie ruchu wzdłuż II obwodnicy, gdzie oscyluje ono w przedziale 3000-3800 poj./godz., a oprócz tego w porównaniu z scenariuszem W1 (PŁ) poprawia się wykorzystanie Mostu Zwierzynieckiego w podróżach samochodowych.

Podsumowanie

Wyniki uzyskane w przeprowadzonych pracach symulacyjnych wydają się być zbliżone z oczekiwaniami związane z realizacją zachodniej części III obwodnicy na obszarze Krakowa. Budowa drogi wprowadzi zasadnicze zmiany w warunkach podróżowania w sieci drogowej miasta, a jej skutkami będą coraz bardziej wyraźne w miarę oddawania kolejnych etapów inwestycji do użytku. Jak pokazują prognozy, realizacja koncepcji III obwodnicy przyniesie zarówno widoczne korzyści w skali całego Krakowa, ale co ważne – może skutkować także pewnymi negatywnymi efektami. Spośród wniosków płynących z prac symulacyjnych warto w tym kontekście podkreślić następujące aspekty:

- Realizacja pierwszych 2 etapów III obwodnicy, czyli Trasy Łagiewnickiej i Trasy Pychowickiej, przyniesie co prawda pewną poprawę



5. Wariant W1 (PŁ) – prognozowane zmiany w przepływie potoków ruchu w sieci drogowej po realizacji 2. etapu (Trasy Pychowickiej), w odniesieniu do wariantu bezinwestycyjnego W0



6. Wariant W1 (ZPŁ) – prognozowany rozkład potoków ruchu drogowego w sieci drogowej Krakowa po oddaniu całej zachodniej części III obwodnicy do użytku

warunków podróżowania w sieci, ale korzyści te będą stosunkowo niewielkie w skali miasta: przykładowo, prognozowany wzrost średniej prędkości podróży samochodem wynosi ok. 0,3-0,5 km/h. Efekt sieciowy nowych odcinków III obwodnicy będzie ograniczony do południowych i południowo-zachodnich obszarów miasta, gdzie

układ drogowy jest stosunkowo dobrze rozwinięty – a ponieważ będą one „konkurować” z istniejącymi połączeniami drogowymi o dobrych poziomach swobody ruchu (np. odpływ ruchu z Mostu Zwierzynieckiego i ul. Kapelanka na rzecz Trasy Pychowickiej w scenariuszu W1 (PŁ)). Bez dalszej kontynuacji trasy w kierunku pół-

nocnym niemożliwe jednak będzie rozwiązanie kluczowych problemów sieci transportowej miasta, tj. wyczerpania przepustowości na newralgicznych korytarzach drogowych (II obwodnica, przejście przez Wisłę) oraz bariery komunikacyjnej w zachodniej części Krakowa (brak przejścia przez Pasmo Sowińca i Wzgórze Św. Bronisławy).

- Realizacja koncepcji w etapie docelowym, czyli po ukończeniu Trasy Zwierzynieckiej, wprowadza za to fundamentalne zmiany w sieci transportowej miasta i znacząco zwiększa korzyści z realizacji koncepcji III obwodnicy. Wyższy jest wzrost średniej prędkości podróży w docelowym wariantie W1 (ZPŁ), tj. o prawie 1,5 km/h w porównaniu z wariantem bezinwestycyjnym W0, a pomimo przyrostu liczby podróży samochodowych maleje łączny czas spędzony w podróży (o ok. 600 tzw. pojazd-godzin w skali modelu). Potwierdza to, że ukończenie całego zachodniego ciągu III obwodnicy jest konieczne dla wypełnienia zakładanych postulatów – pozwala na utworzenie podstawowej osi komunikacyjnej w zachodniej części Krakowa, która widocznie wpływa na poprawę dostępności i parametrów podróży w wielu relacjach podróży pomiędzy północnymi i południowymi obszarami miasta. Jak pokazują wyniki symulacji, oddanie Trasy Zwierzynieckiej ma synergiczny efekt w kontekście wzrostu wykorzystania pozostałych 2 odcinków III obwodnicy, a w konsekwencji cały ciąg staje się on także jednym z najbardziej obciążonych ruchowo odcinków w sieci drogowo-ulicznej Krakowa.
- Na podstawie przeprowadzonych analiz symulacyjnych można wstępnie powiedzieć, że ukończenie całej III obwodnicy jest kluczowe dla zwiększenia (i uzyskania właściwego stopnia) efektywności realizowanych odcinków inwestycji. Jak pokazują wyniki symulacji w scenariuszach pośrednich W1 (Ł) i W1 (PŁ), wykorzystanie nowych odcinków III obwodnicy (mierzone natężeniem ruchu) kształtuje

się na poziomie widocznie niższym niż zakładane możliwości przewozowe, a ich wykorzystanie w podróżach wykonywanych na terenie Krakowa jest dość ograniczone – i dopiero dalsze połączenie w kierunku północnym wzmacnia znaczenie tych odcinków w sieci drogowej. Dla przykładu, prognozowane natężenie ruchu na Moście Pychowickim wzrasta z 1600 poj./godz. 3900 poj./godz. zaraz po wybudowaniu Trasy Zwierzynieckiej, co przy założonej parametryzacji modelu oznacza wzrost jego wykorzystania z poziomu ok. 35% do ponad 80%. Należy jednak zaznaczyć, że dokonanie dokładniejszej oceny efektywności inwestycji możliwe byłoby po przeprowadzeniu bardziej szczegółowej analizy ekonomicznej i finansowej

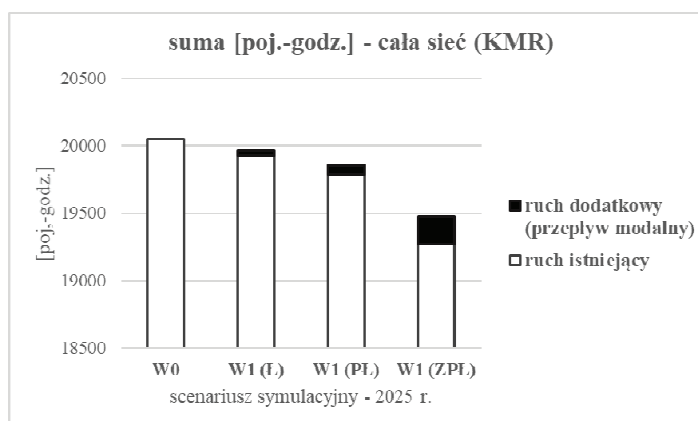
- Wyniki prognoz dostarczają jednak innych istotnych przesłanek dla dalszych kierunków rozwoju układu transportowego Krakowa, które powinny mieć na celu ograniczenie pewnych negatywnych aspektów (efektów) realizacji nowych odcinków III obwodnicy. O ile trasa ta rzeczywiście pozwoli na stworzenie alternatywnego połączenia drogowego z pominięciem centrum, to w scenariuszu W1 (ZPŁ) można zaobserwować, że redukcja natężenia ruchu na II obwodnicy jest tak naprawdę niewielka w odniesieniu do wariantu W0, a w godzinie szczytu maleje ono o nie więcej niż 500-800 poj./godz. w przekroju. Oznacza to, że w obliczu pozostawienia znaczących rezerw układu drogowego wewnątrz III obwodnicy zostaną one ponownie wypełnione przez dodatkowe (wzbudzone) podróże samochodowe wynikające z przesunięcia aktywności ruchowej z innych tras podróży, pór czasowych oraz środków transportu. Należy przy tym zauważyć, że wpływ inwestycji na podział zadań przewozowych w skali Krakowa będzie dużo wyższy po ukończeniu budowy całego ciągu III obwodnicy: o ile dla scenariuszy pośrednich W1 (Ł) i W1 (PŁ) prognozowane przejęcie podróży od transportu zbiorowego do transportu indywidualnego kształtuje się na poziomie odpowiednio 0,1% i 0,2% podróży miejskich, to w scenariuszu docelowym W1 (ZPŁ) przepływ modalny wzrasta już do ok. 0,6% wszystkich podróży w mieście. Z dużym prawdopodobieństwem można zatem powiedzieć, że w efekcie niewielka będzie poprawa jakości podróży i poziom kongestii drogowej w



7. Wariant W1 (ZPŁ) – spektrum (wiązka) ruchu drogowego w przekroju Mostu Pychowickiego po ukończeniu 3. etapu III obwodnicy (Trasy Zwierzynieckiej)

Tab. 2. Wyniki symulacji – podsumowanie parametrów funkcjonowania sieci drogowej w analizowanych scenariuszach

scenariusze symulacyjne- 2025 r.	liczba podróży miejskich - transport indywidualny (PrT)	modal split – udział PrT w podróżach miejskich zmotoryzowanych		parametry eksploatacyjne sieci drogowej- cała sieć (KMR)		prędkość średnia- KMR	średni czas podróży- KMR
	[poj./godz.]	[%]	[poj.-km]	[poj.-godz.]	[km/h]	[min]	
W0	bezinwestycyjny	78760	48,2%	962215	20050	48,0	15,3
W1 (Ł)	inwestycyjny- etap 1.	78910	48,3%	963464	19967	48,3	15,2
W1 (PŁ)	inwestycyjny- etap 2.	79055	48,4%	963926	19857	48,5	15,1
W1 (ZPŁ)	inwestycyjny- etap 3.	79630	48,8%	962283	19477	49,4	14,7



8. Wyniki symulacji – zmiany całkowitego czasu spędzonego w podróży w całej sieci drogowej objętej modelem KMR (tj. suma pojazd-godzin)

alnego kształtuje się na poziomie odpowiednio 0,1% i 0,2% podróży miejskich, to w scenariuszu docelowym W1 (ZPŁ) przepływ modalny wzrasta już do ok. 0,6% wszystkich

podróży w mieście. Z dużym prawdopodobieństwem można zatem powiedzieć, że w efekcie niewielka będzie poprawa jakości podróży i poziom kongestii drogowej w

śródmieściu utrzyma się na podobnym poziomie jak dotychczas, co stanowić będzie odzwierciedlenie dobrze znanego paradoksu tzw. Lewis'a-Mogridge'a [2], [3].

- Powyżej opisane zależności wskazują na to, że konieczne będzie dalsze podjęcie działań mających na celu ograniczenie przepustowości układu drogowego w obszarze wewnątrz III obwodnicy oraz postawienie na rozwój bardziej wydajnych form transportu w tym obszarze – w tym zwłaszcza środków transportu zbiorowego (np. zwężenie II obwodnicy i budowę linii tramwajowej w jej korytarzu). Dopiero podjęcie takich działań, w powiązaniu z budową III obwodnicy, pozwoli na osiągnięcie trwałej i skutecznej redukcji uciążliwości ruchu samochodowego w śródmieściu Krakowa. Będzie to także wpisywać się w postulat długofalowego kształtowania systemu transportowego Krakowa w sposób zrównoważony i możliwie efektywny.
- Ważne mogą być także wnioski w kontekście wydolności okolicznego układu drogowego Krakowa oraz identyfikacji potencjalnych punktów krytycznych i tzw. wąskich gardeł. O ile sam przekrój nowych odcinków III obwodnicy może nie stwarzać ryzyka w kontekście wyczerpania przepustowości, o tyle jego zdolność przewozowa – oraz ogólny poziom swobody ruchu w sieci drogowej – warunkowane będą głównie przepustowością okolicznych węzłów i skrzyżowań oraz dróg dojazdowych. Prognozowane zmiany w przepływie potoków ruchu wskazują m. in. na przyrost natężenia ruchu na dalszych odcinkach III obwodnicy (Witosa, Opolska) – gdzie mogą tworzyć się zatory drogowe ze względu na niższą wydajność zlokalizowanych tam skrzyżowań z sygnalizacją świetlną – a także na (już obecnie wysoce obciążonych ruchowo) relacjach skrajnych w obrębie Ronda Ofiar Katynia. Nasileniu ulegnie aktywność ruchowa na drogach wylotowych na zewnętrznym obszarze III obwodnicy (m. in. Radzikowskiego,

Grota-Roweckiego, Zakopiańska, Herberta), co wskazuje, że innym krytycznym czynnikiem może być zdolność przewozowa w relacjach skrajnych pomiędzy tymi odcinkami dróg a III obwodnicą. Ważną rolę będzie także odgrywać zjawisko przeplatania potoków ruchu na odcinkach międzywęzłowych III obwodnicy, które w godzinach szczytu może skutkować wyraźnym pogorszeniem prędkości podróży i poziomu swobody ruchu (dotyczy to głównie Trasy Łagiewnickiej).

- Należy także podkreślić, że przedstawione powyżej wyniki analiz należy traktować jako pewien „dolny” przedział prognozowanych natężeń ruchu, a po pewnym czasie rzeczywiste natężenia ruchu drogowego na III obwodnicy z dużym prawdopodobieństwem mogą się okazać się być jeszcze wyższe. Wynika to m. in. ze stosunkowo krótkiego horyzontu czasowego analizy (2025 r.), jednak – co jest typowym zjawiskiem dla projektów inwestycyjnych w obszarach miejskich – w kolejnych latach po oddaniu inwestycji do użytku początkowa poprawa warunków ruchu może skutkować dalszym wzrostem generacji ruchu i pojawieniem się tzw. ruchu wzbudzonego [11]. Jak pokazują doświadczenia analogicznych projektów inwestycyjnych (np. Trasa Siekierska w Warszawie [12]), dodatkowy przyrost natężenia ruchu tylko w pierwszych kilku latach może wynieść nawet 50-100% pierwotnego natężenia ruchu. Konieczne jest zatem rozszerzenie analiz o długoterminową prognozę skutków inwestycji, która ostatecznie może wykazać dość zróżnicowane wyniki pod kątem oceny efektywności po uwzględnieniu długofalowych zmian w modelu podróży. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Katalog Inwestycji Strategicznych Układu Transportowego Miasta Krakowa. Urząd Miasta Krakowa, 2010 r. Dostęp z dn. 22.07.2018 r.: https://www.bip.krakow.pl/?dok_id=44166

- [2] Lewis D.: Estimating the influence of public policy on road traffic levels in Greater London. *Journal of Transport Economics and Policy* (155-168), 1977.
- [3] Mogridge M. J. H.: *Travel in towns: jam yesterday, jam today and jam tomorrow?* Springer Verlag, 1990.
- [4] PTV AG. *Visum 17 – User Manual*. Karlsruhe (Niemcy), 2017 r.
- [5] Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przewodnego Miasta Krakowa (Dokument ujednolicony uchwałą Nr CXII/1700/14 z dnia 9 lipca 2014 r.). Tom II – Zasady i kierunki polityki przestrzennej. Urząd Miasta Krakowa, 2014 r. Dostęp z dn. 22.07.2018 r.: <https://www.bip.krakow.pl/?id=48>
- [6] Szarata A. i inni. *Krakowski Model Ruchu*. Politechnika Krakowska, 2014 r.
- [7] Szarata A. i inni. *Praca badawcza: Badania zachowań komunikacyjnych mieszkańców Krakowskiego Obszaru Metropolitalnego. Zadanie 2: Raport końcowy z badań ankietowych wraz z syntezą wyników i szczegółowymi wnioskami*. Politechnika Krakowska, 2014 r. Dostęp z dn. 22.07.2018 r.: https://www.bip.krakow.pl/?sub_dok_id=96964
- [8] Trasa Łagiewnicka S.A. w Krakowie – strona internetowa: <http://www.trasalagiewnicka.krakow.pl> (dostęp z dn. 22.07.2018 r.)
- [9] Wieloletni Program Inwestycyjny (WPI) Krakowa na lata 2018-2030 r. Część B1 – Inwestycje strategiczne – stan na 30.06.2018 r. Urząd Miasta Krakowa, 2018 r. Dostęp z dn. 22.07.2018 r.: https://www.bip.krakow.pl/?dok_id=95098
- [10] http://krakow.wyborcza.pl/krakow/1,44425,18182848,Trasa_Zwiezryniecka_i_Pychowicka__Przygotowania_do.html. Dostęp z dn. 22.07.2018 r.
- [11] Szarata A. *Modelowanie podróży wzbudzonych oraz tłumionych zmianą stanu infrastruktury transportowej*. Monografia habilitacyjna, Politechnika Krakowska, 2013.
- [12] <http://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/warszawa-jak-wzrosł-ruch-dzięki-mostowi-siekierskiemu-2148.html>. Dostęp z dn. 22.07.2018 r.

Zastosowanie mieszanek popiołowo-żużlowych w budownictwie drogowym, w świetle obowiązujących przepisów

Application of ash and slag mixtures in the road construction: current directives and recommendations



**Patryk Damian
Lewandowski**

Mgr inż.

Politechnika Wrocławska, Katedra
Geotechniki, Hydrotechniki,
Budownictwa Podziemnego i
Wodnego

patryk.lewandowski@pwr.edu.pl



Michał Pachnicz

Mgr inż.

Politechnika Wrocławska, Katedra
Geotechniki, Hydrotechniki,
Budownictwa Podziemnego i
Wodnego

michal.pachnicz@pwr.edu.pl

Streszczenie: W branży budowlanej coraz częściej poszukuje się tańszych zamienników znanych dotąd materiałów budowlanych. Korzyści wynikające z wykorzystania „innych” materiałów w szczególności można upatrywać w budownictwie drogowym i kolejowym, ponieważ duże obiekty liniowe wymagają niekiedy ogromnych nakładów związanych z odpowiednim przygotowaniem podłoża pod projektowaną nawierzchnię. Dlatego też wykorzystanie odpadów (w szczególności mieszanek popiołowo-żużlowych) jako materiału podbudowy, czy też podłoża pociąga za sobą oszczędności i dodatkowo przynosi korzyści związane z utylizacją odpadów. Problematiczne jest jednak odpowiednie zastosowanie wspomnianych materiałów ze względu na niejasności związane z obowiązującymi i wykorzystywanymi obecnie zaleceniami ich użycia. W artykule autorzy przedstawiają kompleksowy przegląd wytycznych stosowania mieszanek popiołowo-żużlowych jako materiału konstrukcyjnego drogi. Zwrócono szczególną uwagę na niezgodności zaistniałe pomiędzy poszczególnymi zaleceniami oraz wskazano możliwość potencjalnych korekt obowiązujących przepisów. Artykuł stanowi również podstawę do dalszych rozważań nad modyfikacją składu poszczególnych mieszanek w celu polepszenia ich właściwości.

Słowa kluczowe: Mieszanki popiołowo-żużłowe; Podbudowa

Abstract: Nowadays civil engineering is constantly searching for cheaper substitutes of already known and commonly used building materials. Especially road and railway industries focus on reducing the costs, as large objects like highways and railroads can require high material usage in order to prepare required foundation. Therefore, the use of waste (in particular fly ash and slag mixtures) as a foundation material not only can bring savings but also is environment friendly, as it creates new ways to dispose waste. However, it is problematic to use the mentioned materials due to ambiguities revolving around current recommendations for their application. In the article, a comprehensive review of the fly ash and slag mixtures use in civil engineering is made. Guidelines and requirements for the use of waste material as a road foundation material are discussed. Discrepancies between the recommendations are analyzed and the potential changes are suggested. The article is also the basis for further investigation of fly ash and slag mixtures composition improvements.

Keywords: Ash and slag mixtures; Base layer

W przemyśle wydobywczym i energetycznym jednym z głównych problemów jest odpowiednie zagospodarowanie powstałych odpadów. Jednym z rozwiązań jest przemysłowe ich składowanie a następnie rekultywacja terenu składowiska. Innym podejściem jest utylizacja powstałych odpadów poprzez wykorzystanie ich do innych celów, np. wytwórstwa materiałów. Ze względu na szerokie możliwości uzyskiwania zamienników klasycznych materiałów budowlanych, branża budowlana coraz częściej wykorzystuje odpady poenergetyczne, jako składnik różnego rodzaju mieszanek. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się tutaj mieszanki popiołowo-żużłowe, które znajdują zastosowanie w konstrukcji nasypów

drogowych oraz nawierzchni drogowej [10,11]. Takie rozwiązanie daje niewątpliwie korzyści w postaci zmniejszenia kosztów materiału oraz zagospodarowania sporej części „niechcianych” odpadów. Mimo oczywistych zalet należy mieć na uwadze fakt, że zastosowanie w konstrukcji mieszanek popiołowo-żużlowych pociąga za sobą konkretne uwarunkowania i wymogi odnośnie wykonania poszczególnych warstw. Wszystkie wymagania odnośnie parametrów samego materiału mieszanki, a także sposobu jej zastosowania zawierają odpowiednie przepisy krajowe.

W obecnej sytuacji w budownictwie drogowym przy projektowaniu stosuje się wytyczne opublikowane przez GDDKiA w Warunkach Technicznych (zeszyty

1 - 5). W Warunkach Technicznych nr 5: „Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych”(WT-5) [2] podane są parametry dla mieszanek, według których dokonuje się oceny tego rodzaju materiałów, pod kątem ich przydatności do zastosowania w budownictwie drogowym. Dodatkowo wytwórcy mieszanek popiołowo-żużłowych powołują się na przepisy zawarte w [2] odwołując się do nich w specyfikacjach produkowanych przez nich materiałów.

Taka praktyka nie uwzględnia jednak istotnego czynnika jakim jest przedawanie przepisów, na podstawie których skonstruowane zostało WT-5. Wytyczne WT-5 powstałe w 2010 roku oparte są na normach [4,5], które uległy zmianie w

2013 roku i zostały zastąpione przez [3]. W związku z tym w artykule dokonano przeglądu wytycznych określających przydatność danego materiału mieszanki do wykorzystania w budownictwie drogowym, uwzględniając zmiany wprowadzone w 2013 roku. Wskazano różnice pomiędzy zaktualizowanymi wytycznymi normowymi [3] a zaleceniami WT-5[2].

Ogólne zalecenia dla zastosowania mieszanek popiołowo żużlowych

Poprzez mieszankę popiołowo żużlową rozumiemy pozostałość po spalaniu węgla kamiennego i biomasy, która dzięki bardzo dobrym właściwościom zagęszczającym, jest wykorzystywana w budownictwie.

Taki materiał może być zastosowany do wykonywania dolnych warstw nasypów drogowych, pod warunkiem, że zalegają w miejscach suchych lub są izolowane od wody. Ze względu na dużą wrażliwość materiału na działanie wody zaleca się szereg dodatkowych warunków mających zabezpieczyć mieszanki przed szkodliwymi oddziaływaniami [6]:

- wilgotność zagęszczonej mieszanki nie może odbiegać od wilgotności optymalnej od +2 % do - 4 %,
- należy wykonać warstwę odcinającą warstwę z mieszanki popiołowo – żużlowej o grubości około 50cm i współczynnika filtracji $k \geq 6 \cdot 10^{-5}$ m/s,
- górne warstwy wymagają spadków poprzecznych około 4%,
- górne warstwy muszą zabezpieczać warstwy z mieszanek popiołowo – żużlowych przed nadmiernym zawilgoceniem,
- należy zabezpieczyć skarpy warstwą przeciwerozryną do momentu wytworzenia się okrywy roślinnej.

Dodatkowo należy zapewnić odpowiednie zagęszczenie wbudowywanej mieszanki. Oceny zagęszczenia dokonuje się poprzez określenie wartości wskaźnika zagęszczenia dla podłoża pod nasyp. Zalecane wartości podane zostały w tabeli 1.

Mieszanki popiołowo żużłowe można również wykorzystywać, jako warstwy konstrukcji nawierzchni drogowej. Katalog typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych [1], wskazuje

preferowane warstwy konstrukcji nawierzchni drogowej, w których można zastosować mieszankę popiołowo – żużlową. Zakłada się przy tym że warstwa utworzona z mieszanki popiołowo żużlowej powinna charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością określoną w Katalogu [1].

Jak można zauważyć Katalog typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych nie przewiduje wykorzystania mieszanek popiołowo – żużlowych do wykonywania warstwy ulepszonego podłoża. Nie mniej jednak wytyczne WT-5 zakładają, że „mieszanki związane popiołem lotnym mogą być stosowane warstw ulepszonego podłoża i podbudowy pomocniczej nawierzchni drogowej przenoszących ruch kategorii od KR1 do KR6” zgodnie z zaleceniami przedstawionymi w tabeli 3. Poszczególne typy mieszanek według WT-5 charakteryzują się odpowiednimi parametrami uziarnienia i przepuszczalności oraz zastosowanej ilości spoiwa w postaci popiołu. Szczegółowe wytyczne odnośnie klasyfikacji oraz zastosowania poszczególnych typów mieszanek można znaleźć w Warunkach Technicznych nr 5.

Dodatkowo mieszanki takie spełniają wytyczne zawarte w normie PN-S-06103 „Drogi samochodowe. Podbudowa z betonu popiołowego”[8], która określa jakimi parametrami powinien wykazywać się materiał stosowany na podbudowę.

Teoretycznie, zatem mieszanka popiołowo żużłowa może posłużyć za warstwę ulepszonego podłoża, przy spełnieniu następujących wymagań [6]:

- podłoże pod dolne warstwy wykonywane z mieszanki popiołowo

Tab. 1. Wartości wskaźnika zagęszczenia dla podłoża pod nasypem [6]

Nasypy o wysokości	Minimalna wartość I_s
Do 2 metrów	0.97
Powyżej 2 metrów	0.95

Tab. 2. Warstwy konstrukcji nawierzchni z zastosowaniem mieszanek popiołowo żużlowych

Rodzaj warstwy	Mieszanki związane spoiwami hydraulicznymi
Ścieralna	Nie stosuje się
Wiążąca	Nie stosuje się
Podbudowa zasadnicza	KR1-KR7
Podbudowa pomocnicza	KR3-KR7
Warstwa mrozochronna	KR1-KR4
Warstwa ulepszonego podłoża	Nie stosuje się

– żużlowej musi uzyskać wartość stopnia zagęszczenia: $I_s \geq 1.0$ dla KR1- KR2 i $I_s \geq 0.97$ dla KR3- KR6

- mieszankę należy układać w temperaturze $\geq 5^\circ\text{C}$ w okresie suchym do końca października,
- mieszankę należy zagęścić w dniu jej ułożenia i przed niekorzystnymi zmianami pogodowymi, oraz przed położeniem kolejnych warstw konstrukcji przy wilgotności optymalnej z odchyłką $\pm 2\%$. Wartość stopnia zagęszczenia powinna wynieść odpowiednio: $I_s \geq 0.98$ dla KR1- KR2 i $I_s \geq 1.03$ dla KR3- KR6,
- pielęgnacja warstw z betonu popiołowego powinna odbywać się na jeden z trzech zaproponowanych przez normę sposobów: spryskanie emulsją asfaltową, spryskanie preparatami powłokowymi, pokrycie warstwą bitumiczną o grubości 3 cm,

Należy tutaj podkreślić fakt, że praktycznie dla wszystkich zastosowań mieszanek popiołowo- żużlowych szczególny nacisk kładziony jest na ochronę mie-

Tab. 3. Przeznaczenie mieszanek związanych popiołem lotnym [2]

Mieszanka	Warstwa podbudowy pomocniczej			Warstwa podbudowy zasadniczej			Warstwa ulepszonego podłoża
	KR1-KR2	KR3-KR4	KR5-KR6	KR1-KR2	KR3-KR4	KR5-KR6	
Typ 1 0/31.5	+	+	+	+	+	+	+
Typ 2 0/22.4	+	+	+	+	+	+	+
Typ 2 0/16	+	+	+	+	+	+	+
Typ 2 0/11.2	+	+	+	+	+	+	+
Typ 3 0/11.2	-	-	-	-	-	-	+
Typ 4	±	±	±	±	±	±	±
Typ 5	+	+	+	-	-	-	+

gdzie: + mieszanka zalecana; - mieszanka nie dopuszczona do stosowania;
± przeznaczenie zależne od deklarowanych właściwości mieszanki

szanki przed działaniem wody. Należy, zatem rozważyć, to w jaki sposób warunki pogodowe będą wpływały na czas oraz koszty wykonania obiektu z użyciem mieszanek popiołowo-żużlowych.

Charakterystyka właściwości mieszanek popiołowo-żużlowych

Oprócz wymogów dotyczących warunków zastosowania oraz technologii wykonania budowli z mieszanek popiołowo-żużlowych, przepisy prawne [1] precyzują również, jakimi parametrami powinny charakteryzować się zastosowane mieszanki. W ogólnym przypadku mieszanka poddawana jest ewaluacji na podstawie zestawu badanych parametrów zestawionych w tabeli 4, a następnie zaklasyfikowana jako mieszanka danego typu. Typy mieszanek wyróżniane przez WT-5 zostały przytoczone w rozdziale 2. W tym miejscu należy zauważyć, że WT-5 wyróżnia 5 typów mieszanek popiołowo-żużlowych powołując się na [4]. PN-EN 14227-3:2013 (uaktualniona wersja normy [4]) wyróżnia natomiast 6 typów mieszanek, wprowadzając jednocześnie zmiany w opisie każdej z mieszanek. Powoduje to brak precyzji, jeśli chodzi o określanie typu mieszanki, a co za tym idzie jej przydatności do wykorzystania, jako materiału budowlanego. Dodatkowo różnice pojawiają się również pomiędzy postawieniami norm [3,4] na których bazuje WT-5 a samymi Warunkami Technicznymi [2].

W przypadku mieszanki typu pierwszego niezgodności występują pomiędzy WT-5, a PN-EN 14227-3:2007 i PN-EN 14227-3:2013, które zakładają korzystanie z takich samych typów sit. WT-5 natomiast posługuje się innym zestawem, co zostało przedstawione w tabeli 5.

Dla mieszanki typu 2 zapisy normowe [3] wyróżniają trzy podtypy (Typ 2-0/20, Typ 2-0/14, Typ 2-0/10). Zalecenia WT-5 ponownie odbiegają od przytoczonych zaleceń normowych proponując następujący podział podtypów mieszanki typu drugiego: Typ 2-0/22.5, Typ 2-0/16, Typ 2-0/11.2. Dodatkowo norma [3] w ramach klasyfikacji mieszanki bierze pod uwagę docelową kategorię podłoża gruntowego (G1 lub G2), dla którego ma być zastosowana mieszanka. Jednocześnie WT-5 nie różnicuje

Tab. 4. Wymagania dla mieszanek pyłowo-żużlowych wg [2]

Cecha	Jednostka	Wartość normowa
Minimalna zawartość frakcji piaskowo-żwirowej	[%]	≥35
Maksymalna zawartość ziaren poniżej 0.075 mm	[%]	≤75
Minimalna zawartość niespalonego węgla	[%]	≥10
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu po zagęszczeniu w aparacie Proctora wg metody I lub II,	[g/cm ³]	≥1
Wskaźnik nośności po 4 dobach nasycenia wodą	[%]	10
Pęcznienie liniowe materiału: bez obciążenia	[-]	≤0.2
z obciążeniem 3 kN/m ²	[-]	≤0.5
Kąt tarcia wewnętrznego	[°]	≥20
Kapilarność bierna	[m]	≤2.0
Zawartość siarczanów (w przeliczeniu na SO ₃)	[%]	<3.0

Tab. 5. Uziarnienie mieszanki typu 1

Średnica oczka sita [mm]	WT-5		Normy [3,4]		Różnica	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
40	100	100	100	100	0	0
31,5	85	100	85	100	0	0
25	brak sita	brak sita	75	100	-	-
20	brak sita	brak sita	66	95	-	-
22,4	70	100	brak sita	brak sita	-	-
11,2	51	83	brak sita	brak sita	-	-
10	brak sita	brak sita	48	82	-	-
4	51	68	34	68	17	0
2	34	68	26	58	8	10
1	26	58	brak sita	brak sita	-	-
0,5	16	38	16	38	0	0
0,25	13	30	13	30	0	0
0,063	7	18	7	18	0	0

Tab. 6. Porównanie uziarnienia mieszanek 0/16 wg WT-5 z 0/14 z norm

Sito	WT-5		PN-EN 14227-3:2013			Różnica		
	Min	Max	Min	G1	G2	Min	G1 -maxWT5	G2 -maxWT5
25	100	100	100	100	100	0	0	0
16	90	100	brak sita	brak sita	brak sita	-	-	-
14	brak sita	brak sita	84	100	100	-	-	-
11,2	73	98	brak sita	brak sita	brak sita	-	-	-
10		brak sita	73	95	97	-	-	-
6,3	brak sita	brak sita	60	81	87	-	-	-
5,6	43	76	brak sita	brak sita	brak sita	-	-	-
4	38	71	48	67	74	-10	4	-3
2	26	56	35	51	57	-9	5	-1
0,5	13	32	20	32	35	-7	0	-3
0,25	10	23	15	25	28	-5	-2	-5
0,063	4,5	11	9	18	19	-4,5	-7	-8

podtypów mieszanki drugiej ze względu na planowaną kategorię podłoża. W tabeli 6 przedstawione zostało przykładowe zestawienie wymagań normy [3] oraz Wytycznych Technicznych 5 odnośnie uziarnienia mieszanki dla Typu 2.

Warunki klasyfikacji mieszanki dla typu 3 pozostają w zasadzie niezmiennie pomiędzy WT-5 a nową normą [3]. Występujące, drobne różnice odnoszą się do składu ziarnowego mieszanki i zostały przedstawione w tabeli 7 Nowa

norma daje większą dowolność przy projektowaniu mieszanki typu 3. z zastrzeżeniem, że średnica oczka sita D, będzie nie większa niż 6.3 mm. Uaktualnione zostały również maksymalne wartości natychmiastowego wskaźnika nośności, który podawany dla mieszanki typu 3 w WT-5 wynosi IPI40, z kolei [3] dodaje kolejną wartość IPI50.

W przypadku mieszanek typu 4 nie występują różnice pomiędzy WT-5 a PN-EN 14227-3:2013. Zgodnie z wymogami [3,5] parametry mieszanki mają być określone zgodnie z EN-993 i podane przez dostawcę.

Mieszanka oznaczona w normie [3] nr 6 odpowiada mieszance Typu -5 w WT-5. Jest to mieszanka, której głównym składnikiem, oraz lepiszczem jest popiół lotny.

Nowa mieszanka opisana w [3] określana jako Typ-5 charakteryzuje się składem ziarnowym przedstawionym w tabeli 8.

Wymagania odnośnie popiołów krzemionkowych wykorzystywanych w mieszankach popiołowo żużlowych, do których odwołują się poszczególni producenci są zawarte w WT-5 oraz normach, na których się ten dokument opiera [4,5], jednak w świetle nowej normy PN-EN 14227-4 2013 10[3], zmianie uległy parametry ujęte w tab. 9

Analizując zmiany, jakie zostały dokonane w PN-EN 14227-3:2013, można zauważyć, że wymagania dla popiołów krzemionkowych są mniej restrykcyjne niż w wypadku zapisów WT-5 (i „starych” norm). Zmianie uległo wymagane uziarnienie, wzrost z 40 do 60% materiału przechodzącego przez sito 45µm i brak wymagania dla sita 90µm. Zwiększono również tolerancje dla straty prażenia (o 5%), oraz dla zawartości tlenku wapnia z 1 do 1,5 % m/m. Pozostałe cechy pozostają bez zmian.

Podsumowanie

Duża liczba przedsięwzięć, w których zastosowano mieszanki popiołowo żużłowe na warstwę ulepszonego pod-

łoża sugeruje, że należałoby zrewidować zalecenia wytycznych krajowych z uwzględnieniem zaktualizowanych norm. Wytyczne krajowe WT5 są prostym narzędziem służącym do sprawnego doboru i oceny materiałów do wykorzystania jednak należy rozważyć zmianę dokumentu Warunków Technicznych nr 5 z powodu braku aktualności norm, na jakich jest ten dokument oparty. Dodatkowo, pomimo tego że katalog typowych konstrukcji podatnych i półsztywnych nie przewiduje zastosowania mieszanek pyłowo żużlowych na warstwy ulepszonego podłoża, należałoby rozważyć w jaki sposób ta mieszanka zachowywałaby się jako ten element konstrukcji jezdni. Należałoby rozważyć tutaj możliwość modyfikacji mieszanek popiołowo – żużlowych. Zastosowanie dodatków np. w postaci cementu pozwala na poprawę parametrów wytrzymałościowych badanego materiału [7,8]. Modyfikacja mieszanki popiołowo żużłowej może również wpływać korzystnie na jej odporność na zmianę warunków atmosferycznych. Pozwalałoby to uniknąć problemów związanych z jej układaniem i pielęgnacją. Zdecydowanie mieszanki popiołowo żużłowe jako materiał przemysłowy, są przyjazne środowisku a ich zastosowanie w budownictwie drogowym może korzystnie wpłynąć na poprawę jakości wykonywanej konstrukcji poprzez zapewnienie dużej nośności dolnych warstw konstrukcji nawierzchni jezdni. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Katalog typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych. GDDKiA, czerwiec 2014.
- [2] Wymagania Techniczne 5: Mieszanki związane Spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych, 2010.
- [3] PN-EN 14227-3:2013, „Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania Część 3: Mieszanki związane popiołami lotnymi.
- [4] PN-EN 14227-3:2007 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym -- Wymagania -- Część 3: Mieszanki związane popiołami lotnymi.
- [5] PN-EN 14227-4:2005 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym -- Specyfikacja -- Część 4: Popioły lotne do mieszanek
- [6] PN-S-06103 „Drogi samochodowe. Podbudowa z betonu popiołowego”
- [7] Gruchot, A., & Paclawska, J. (2012). Wpływ stabilizacji mieszaniny popiołowo-żużłowej cementem na jej wytrzymałość na ścinanie. Przegląd Komunikacyjny, (9), 33-35.
- [8] Stabilizacja i ulepszanie gruntów cementem (PN-S-96012:1997), Krzysztof Błazej, 2012.
- [9] Specyfikacja Techniczna: Mieszanka związana popiołami lotnymi wg PN-EN 14227-3:2013; Rybnik 2016.
- [10] Popioły lotne dla drogownictwa w świetle aktualnych wymagań normowych, Grzegorz Rolka, Ewelina Ślęzak.
- [11] Wykorzystanie odpadów przemysłowych w drogownictwie – zagrożenia, dr hab. Inż. Marek Gawlicki, Prof. Dr hab. Inż. Jan Małolepszy, Nowoczesna Gospodarka Odpadami 1-2 2015.

Tab. 8. Uziarnienie dla mieszanki typu 5 (wg. PN-EN 14227-3:2013)

Sito (średnica oczka w mm)	45	31.5	20	10	4	2	0.5	0.25	0.063
Masa przechodząca przez sito, %	100	≥85	≥66	≥48	≥34	≥28	≥16	≥13	7-35

Tab. 9. Różnice pomiędzy WT-5 a nową normą PN-EN 14227-3:2013

Cecha	Wartość	
	WT-5 2010	PN-EN 14227-3:2013
Uziarnienie		
Sito 90µm	≥ 70%	Brak
Sito 45µm	≥ 40%	≥ 60%
Strata przy prażeniu	≤ 10% m/m	≤ 15% m/m
Bezwodnik Siarkowy	≤ 4% m/m	≤ 4% m/m
Wolny tlenek wapnia	≤ 1% m/m	≤ 1.5% m/m
Zawartość wody	≤ 1% m/m	≤ 1% m/m
Aktywność pucolanowa	Deklarowana	Deklarowana

Tab. 7. Różnice uziarnienia mieszanki typu 3

Dokument	Sito		
WT5	11.2	5.6	0.063
PN-EN 14227-3:2013	2D	D	
Masa przechodząca przez sito, %	100	≥85	≤35

Innowacyjne metody diagnostyki rozjazdów kolejowych

Innovative research methods of diagnostics turnout



Ewelina Kwiatkowska

Dr inż. / prawnik

Adjunkt, Politechnika Wrocławska
Katedra Mostów i kolei; Prawnica
Lex-Rail Kancelaria Prawna

kwiatkowskae@interia.pl

Streszczenie: Niniejsza praca poświęcona jest procesowi diagnostyki rozjazdów kolejowych z wykorzystaniem innowacyjnych metod badawczych. Przedstawiono wyniki badań i analiz przeprowadzonych na rozjazdach z wykorzystaniem skanera do trójwymiarowych pomiarów profilu szyn kolejowych w celu wczesnej diagnostyki uszkodzeń iglic, opornic i krzyżownic. W pracy przedstawiono metodę badań oddziaływań dynamicznych generowanych przez ruch kolejowych na rozjazdach z podkładkami pod podkładowymi w celu oceny wpływu podkładek na wibroizolacyjności i trwałości konstrukcji rozjazdu.

Słowa kluczowe: Metody badawcze toru kolejowego; Rozjazdy kolejowe; Dynamika toru

Abstract: This work is devoted to the process of diagnosis of railway turnouts with the use of innovative research methods. The results of tests and analyzes carried out on switches with the use of a scanner for three dimensional measurements of railway rails profiles were presented for early diagnosis of damage to spiers, resistors and crossings. The paper presents the method of testing dynamic interactions generated by railway traffic on switches with underlay pads in order to assess the impact of washers on the vibro-isolation and durability of the turnout structure.

Keywords: Research methods of railway track; Railway turnouts; Track dynamics

Rozwój inwestycji infrastrukturalnych na kolejach przyczynia się do wzrostu prędkości prowadzonego ruchu. Wzrost prędkości prowadzonego ruchu kolejowego wymaga od zarządcy infrastruktury kolejowej zwiększenia nakładów na diagnostykę i utrzymanie linii kolejowych w celu zapewnienie bezpieczeństwa podróżujących koleją. Infrastruktura kolejowa jest złożonym systemem zależności w którym najsłabszy element decyduje o poziomie bezpieczeństwa całego systemu. W wyniku analiz zagrożeń wynikających z wzrostu prędkości prowadzonego ruchu kolejowego kluczowym elementem systemu jest jakość techniczna i utrzymaniowa rozjazdów kolejowych. Rozjazdy kolejowe będące skrzyżowaniem torów na linach kolejowych wpływają na bezpieczeństwo i decydują o maksymalnej prędkości ruchu kolejowego [1] [2].

W celu zapewnienia bezpieczeństwa prowadzonego ruchu kolejowego na rozjazdach należy prowadzić oględziny, diagnostykę i regularnie prace utrzymaniowe – naprawcze. Zgodnie

z znowelizowanymi przepisami PKP PLK instrukcji o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4 z 2015 r., prowadzenie oględzin wykonuje się w cyklu przedstawionym w tabeli 1. Terminy prowadzonych oględzin uzależnione są od kategorii linii kolejowej, rodzaju torów [3]. Częstotliwość prowadzenia badań diagnostycznych zgodnie z Id-4 z 2015 r. przedstawiono w tabeli 2, uzależniając częstotliwość podstawową badań od prędkości prowadzonego ruchu i przenoszonego obciążenia.

Obowiązujące procedury diagnostyczne rozjazdów opierają się na kla-

sycznej aparaturze pomiarowej do pomiarów położenia toru w planie i profilu m.in. toromierze, profilomierz, szczelinomierz, strzałkomierz, dreżyny pomiarowe, urządzenia geodezyjne. Klasyczna diagnostyka zapewnia możliwość wykrycia powstałego uszkodzenia rozjazdu i zaplanowania jego naprawy. Jednakże w procesie modernizacji i wprowadzania najnowszych standardów w utrzymaniu rozjazdów kolejowych celowe jest wprowadzenie procedur badawczych pozwalających na wykrycie wad na ich wczesnym etapie zapewniając bezpieczeństwo prowadzonego ruchu i utrzymanie mak-

Tab. 1. Terminy oględzin rozjazdów [3]

L.p.	Rodzaj toru	Kategoria linii				Infrastruktura nieczynna lub częściowo wyłączona*)
		Magistralna	Pierwszorzędna	Drugorzędna	Znaczenia miejscowego	
1	2	3	4	5	6	7
1	Szlakowe, główne zasadnicze i dodatkowe	1 x 1 dobę	1 x 1 dobę	1 x 1 dobę	1 x 1 dobę	1 x 6 miesięcy
2	Pozostałe	2 x 1 tydzień	2 x 1 tydzień	2 x 1 tydzień	2 x 1 tydzień	
3	Wszystkie	wg § 4 ust. 3				
*) Wykonuje pracownik dokonujący obchodów torów na obszarze swojego działania						

Tab. 2. Częstotliwość prowadzonych badań rozjazdów kolejowych [3]

L.p.	Parametr	Częstotliwość badań przy określonych parametrach eksploatacyjnych				
1	2	3	4	5	6	7
1	Prędkość [km/h]	$V \leq 40$	$40 < V \leq 120$	$120 < V \leq 160$	$160 < V \leq 200$	
2	Obciążenie [Tg/rok] ¹⁾	-	≤ 10	> 10	-	-
3	Częstotliwość podstawowa	6 m-cy	6 m-cy	3 m-ce	3 m-ce	2 m-ce
4	Częstotliwość wydłużona	max 12 m-cy	max 9 m-cy	max 6 m-cy	max 6 m-cy	max 3 m-ce

¹⁾ Obciążenie – sumaryczne obciążenie przewozami wszystkich kierunków w rozjeździe¹⁾

symalnej prędkości ruchu kolejowego, poprzez zapobieganie uszkodzeniom powodującym konieczność wprowadzenia redukcji prędkości przejazdowej.

Jedną z metod wczesnego wykrywania uszkodzeń rozjazdów jest stosowanie skanerów optycznych do trójwymiarowej diagnostyki badanych elementów, drugą metodą badawczą pozwalającą na wczesne wykrycie uszkodzeń jest analiza oddziaływań dynamicznych wywołanych ruchem kolejowym. Na Politechnice Wrocławskiej w Katedrze Mostów i Kolei od 2016 r. prowadzony jest przez dr inż. Ewelinę Kwiatkowską program badań rozjazdów kolejowych z wykorzystaniem innowacyjnych metod badawczych. Badania prowadzone są na dwóch poligonach testowych, pierwszy poligon zlokalizowany jest na stacji Siedlce rys. 2 i 3 na dwóch rozjazdach typu Rz

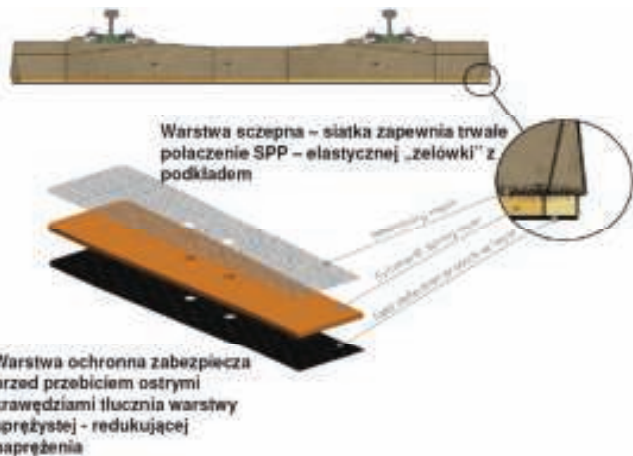
1:12-500-60E1 w konstrukcji pierwszej badanego rozjazdu zastosowane są panele antywibracyjne w podrozjazdach strunobetonowych tzw. podkładki pod podkładowe (PPP) rys. 1, w drugim rozjeździe nie zastosowano PPP. Drugi poligon badawczy zlokalizowany jest na stacji Kraków Towarowy w rozjeździe typu Rz-60E1-1:9-300 z PPP i stacji Kraków Łobzów w rozjeździe Rz-60E1-1:9-300 bez PPP. Konstrukcje badanych rozjazdów należą do dwóch polskich producentów rozjazdów na stacji Siedlce do Trac Tec KolTram w Zawadzku, na stacji Kraków Łobzów i Towarowy do KZN Biezanów.

Badania poligonowe rozjazdów podzielone są na dwie części. Pierwsza część programu badań obejmuje badania geometrii rozjazdów w planie i profilu prowadzone klasycznych technik pomiarowych zgodnie z in-

strukcją zarządcy PKP PLK Id-4 oraz z wykorzystaniem innowacyjnego skanera optycznego 3D produkcji Graw. Badania klasyczne pomiaru geometrii rozjazdu w planie i profilu wykonano z wykorzystaniem profilomierza, toromierza, strzelinomierza, strzałkomierza oraz urządzeń geodezyjnych, pomiary wykonywane są w cyklu co 3 miesiące i zakresie zgodnym z Id-4.

W badaniach diagnostycznych rozjazdów wykorzystano również innowacyjne urządzenie pomiarowe w postaci skanera optycznego do pomiaru profilu szyn, wykorzystanego do trójwymiarowej diagnostyki obrazowej krzyżownic, iglic i opornic. Pomiary z wykorzystaniem skanera prowadzone są co 3 miesiące na krzyżownicach, iglicach i opornicach. Badania mają na celu ocenę zużycia elementów rozjazdów w wyniku eksploatacji oraz wczesną diagnostykę uszkodzeń konstrukcji rozjazdu. Zastosowane innowacyjne metody pomiarów szyn zostają porównane z klasycznymi metodami diagnostyki w celu oceny potencjału badawczego.

Drugi etap prowadzonych badań rozjazdów na poligonach ma charakter badań oddziaływań dynamicznych [4]. Badania mają na celu pomiar oddziaływań dynamicznych generowanych



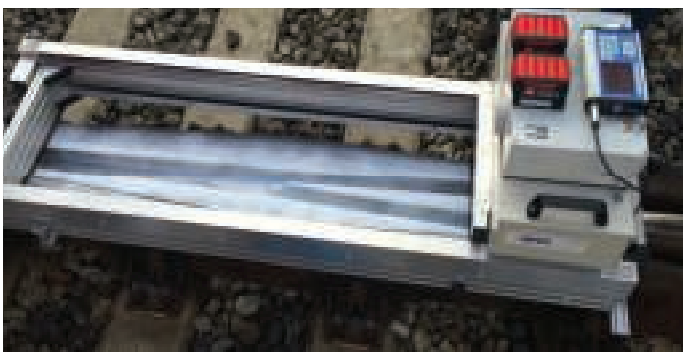
1. Podkładki pod podkładowe stosowanie w podrozjazdach strunobetonowych



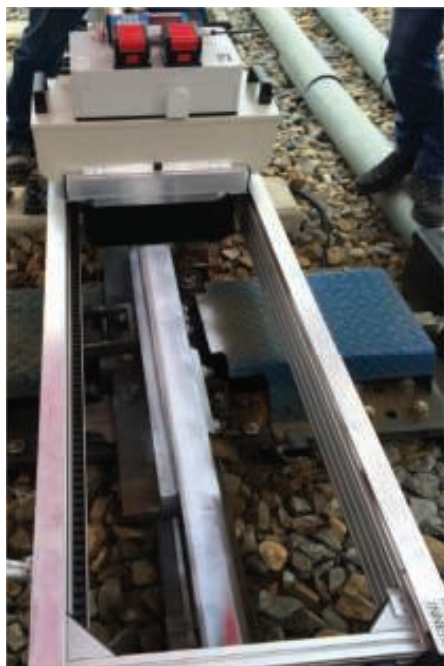
2. Rozjazd z PPP Rzp 1:12-500-60 E1



3. Rozjazd bez PPP Rzl 1: 12-500-60E1



4. Skaner 3D Skorpion - krzyżownica w rozjeździe z PPP



5. Skaner 3D Skorpion- iglicy i opornicy w rozjeździe z PPP

przez ruch kolejowych w obszarze rozjazdu i przekazywanych przez rozjazd na podtorze. Badania dynamiki rozjazdów obejmują pomiar hałasu, wibracji w podrojazdnicach, podtorzu oraz badania ugięć podrojazdnic wywołanych przejazdem pociągu. Badania dynamiczne prowadzone są co 6 miesięcy na rozjazdach w stacji Siedlce, Kraków Towarowy i Kraków Łobzów. Analizy dynamiczne mają na celu ocenę wpływu zastosowania podkładek pod podkładowych na propagację drgań w rozjeździe, podtorzu, emisję hałasu i ugięcie toru.

Wyniki badań geometrii, profilu rozjazdów z etapu pierwszego są zestawiane z wynikami badań dynamicznych z etapu drugiego realizowanego programu badań. Analiza porównawcza wyników badań ma na celu ocenę zastosowanych metod badawczych do wczesnej diagnostyki uszkodzeń rozjazdów.

Badania z wykorzystaniem skanera szyn

Laserowe urządzenie pomiarowe Skorpion produkcji Graw Sp. z o.o. przeznaczone jest do okresowych pomiarów profilów szyn i rozjazdów rys. 4. Urządzenie składa się z ramy nośnej, stanowiącej sztywną belkę odniesienia, laserowej głowicy pomiarowej, pozwalającej na pomiary kształtu mierzonego



6. Skaner 3D Skorpion-nowa iglica i opornica

obiektu oraz układu napędowego pozwalającego na automatyczny przejazd głowicy nad badanym obiektem. Po ustawieniu urządzenia nad badanym obiektem, pomiar wykonywany jest w pełni automatycznie. Wynikiem pomiaru jest model 3D mierzonego obiektu, czyli dokładne odwzorowanie obiektu zarówno w kierunku poprzecznym jak i podłużnym. Pomiar wykonuje się poprzez odczyt badanego elementu co 1 mm. Urządzenie układane jest na badanym elemencie pokrytym po uprzednim naniesieniu białego preparatem matującym rys. 4. Badania skanerem wykonano na rozjazdach z PPP rys. 4 oraz rys. 5 i rozjazdach bez PPP oraz na nowej iglicy, opornicy i krzyżownicy u producenta rozjazdów.

Przykładowe wyniki pomiaru profilu iglicy i krzyżownicy przedstawiono na rys. 7 pomiar wykonywano w kroku co 1 mm. Porównanie wyników pomiarów dla rozjazdu z PPP i bez PPP oraz elementów nowych wykazały zużycie na dziobie krzyżownicy w rozjeździe bez PPP wynoszące 0,52 mm, a w rozjeździe z PPP 0,35 mm w porównaniu z nową krzyżownicą. Przy pomiarze iglicy

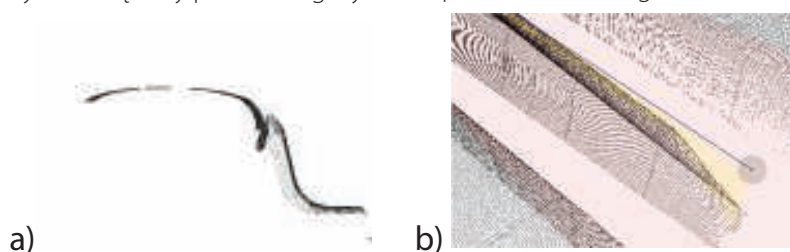
w rozjeździe bez PPP zużycie wyniosło 0,32 mm w porównaniu z nową iglicą. Podczas badania iglicy w rozjeździe z PPP zużycie wyniosło 0,28 mm w porównaniu z nową iglicą. Przykładowy obraz ze skanera przedstawiono na rys. 7.

Przeprowadzone badania z wykorzystaniem skanera pozwoliły na wczesną diagnostykę uszkodzeń rozjazdów w części dzioba krzyżownicy. Wyniki pomiarów przeprowadzone w lutym 2016 r. wykazały uszkodzenie dzioba krzyżownicy wynoszące 4 mm, 4 mm uszkodzenie zostało zaobserwowane podczas analizy wyników na komputerze. Ze względu na 4 mm uszkodzenie rysa podczas badań w terenie nie została zdiagnozowana. Rozrost uszkodzenia spowodował pęknięcie dzioba krzyżownicy, które nastąpiło w sierpniu 2016 r. rys. 8.

Wyniki badań wykonane skanerem Skorpion wykazują celowość prowadzenia regularnej diagnostyki obrazowej z wykorzystaniem trójwymiarowej diagnostyki obrazowej pozwalającej na wczesną identyfikację uszkodzeń i umożliwiające wprowadzenie prac utrzymaniowych zapobiegających dalszym uszkodzeniom. Poszerzenie diagnostyki rozjazdów o badania 3D profili szyn jest wskazane na liniach magistralnych o najwyższym natężeniu ruchu w celu zwiększenia bezpieczeństwa i niezawodności prowadzonego ruchu kolejowego

Badania propagacji drgań

Badanie oddziaływań dynamicznych przeprowadzono z wykorzystaniem aparatury pomiarowej typu Photon Brüel & Kjaer. Badanie przeprowadzono na stacji Siedlce przy przejeździe pociągu z prędkością 70 km/h w kierunku zasadniczym na rozjeździe z PPP i bez PPP. Czujniki pomiarowe ułożono na szynie, podrojazdniczy w strefie zwrotnicowej i w podtorzu w odległości 5 m od osi



7. Obraz z skanera 3D typu Skorpion, a – iglica, b- krzyżownica



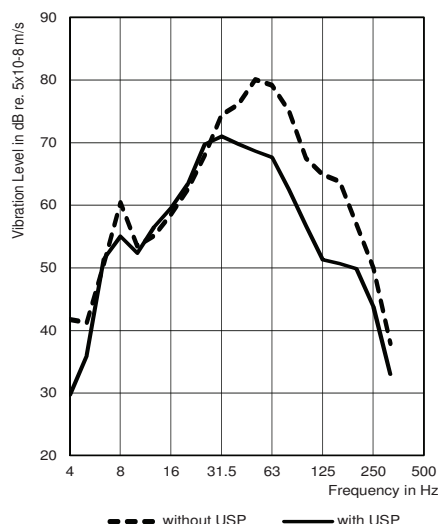
8. Uszkodzony dziób krzyżownicy



9. Aparatura pomiarowa i lokalizacja czujników pomiarowych w rozjeździe, a- czujniki na szynie i podrozjazdnicy, b- czujniki w podtorzu

toru rys. 9. Przeprowadzone pomiary poddano analizie częstotliwościowej w zakresie porównawczy dla rozjazdu z PPP i bez PPP. W wyniku zastosowania podkładek podpodkładowych w podrozjazdnicach nastąpiła w porównaniu z rozjazdem bez PPP redukcja drgań w szynie o 20 %, w podrozjazdnicy o 30 %, a w podtorzu o 40 % w zakresie częstotliwości od 5 do 40 Hz. W zakresie częstotliwości od 40 do 240 Hz nastąpiła

redukcja drgań w szynie o 25 %, w podrozjazdnicy o 35 %, a w podtorzu o 60 % w rozjeździe z podkładkami pod podkładowymi w porównaniu do rozjazdu bez PPP. Wyniki badań przedstawiano na przykładzie rys. 10 i 11 obrazującego poziom drgań zarejestrowanych w podtorzu kolejowym w rozjazdach z PPP i bez PPP. Wyniki badań wykazały najwyższy poziom redukcji drgań odcinających w częstotliwości



10. Wyniki pomiarów drgań w podtorzu kolejowym w odległości 5 metrów od osi toru zasadniczego. Linia ciągła oznaczona wyniki badań dla rozjazdu z PPP, linia kreskowana oznacz wyniki badań dla rozjazdu bez PPP

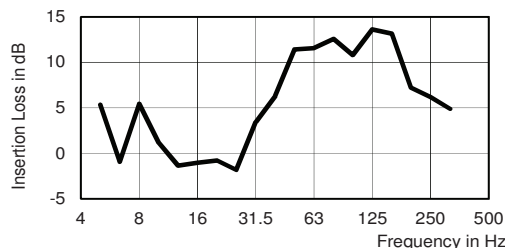
wibracji powyżej 31 Hz. Badania ugięć pionowych podkładów z PPP i bez PPP przedstawiono dla odcinających dojazdowego do badanych rozjazdów z PPP i bez PP na stacji Kraków Łobzów i Kraków Towarowy. Stanowisko pomiarowe z zamontowanymi czujnikami przedstawiono na rys. 12. Badanie wykonano przy przejeździe pociągu z prędkością 70 km/h.

Na rys. 13 przedstawia ugięcia pionowe podkładu na odcinku bez PPP, na rys. 14 przedstawiono ugięcia podkładu na odcinku z PPP.

Pomiary ugięcia podkładów wykazały na odcinku bez PPP bardzo sztywne podparcie toru kolejowego. Ugięcia pionowe podkładu wynosiły 0,3 mm, na odcinku wyposażonym w PPP, wykazano bardziej elastyczne zachowanie nawierzchni z pionowymi ugięciami podkładu około 1,5 mm.

Ugięcia podkładów w wyniku zastosowania podkładek pod podkładowych potwierdzają wyniki badań propagacji drgań generowanych przez przejeżdżający pociąg na podkłady i podtorze, wzrost ugięć wykazuje zwiększenie wibroizolacyjności obszaru rozjazdu i zmniejszenie oddziaływań wibracyjnych badanego obszaru.

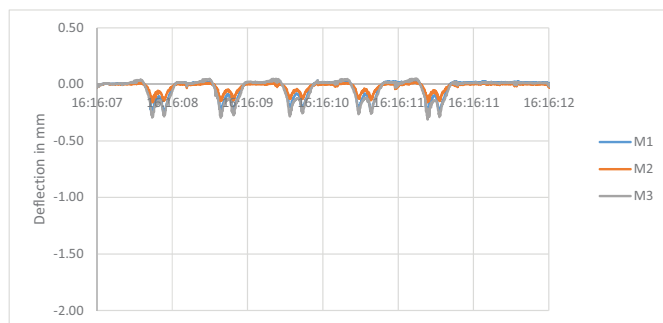
Prowadzone pomiary diagnostyki profili i geometrii rozjazdu oraz dynamiki konstrukcji rozjazdu wykazały związek redukcji drgań w rozjeździe z zmniejszeniem oddziaływań dynamicznych w wyniku zastosowania podkładek pod podkładowych, a redukcją zużycia profilu krzyżownicy, iglicy i opornicy.



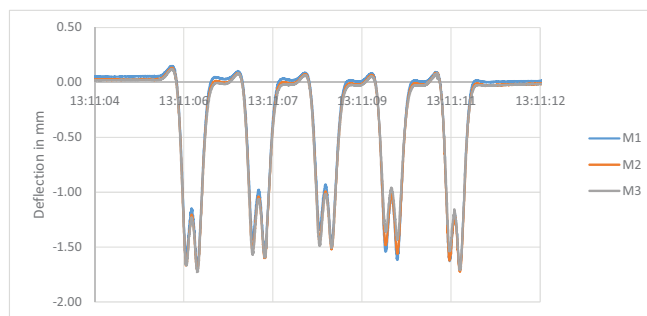
11. Redukcja drgań w podtorzu kolejowym w wyniku zastosowania PPP w rozjeździe w porównaniu z rozjazdem bez PPP



12. Badania ugięć podkładów z PPP



13. Ugięcia pionowe podkładu bez PPP



14. Ugięcia pionowe podkładu z PPP

Posumowanie

Wyniki badań diagnostycznych i dynamicznych wykazały celowość prowadzenia badań mających na celu wczesne wykrywanie uszkodzeń rozjazdów. Badania wykazały, że obrazowa diagnostyka 3D pozwala na wczesną identyfikację uszkodzeń, która jest nie diagnozowalna klasycznymi metodami pomiarowymi. Trójwymiarowa diagnostyka profili iglic, opornic i krzyżownic na liniach magistralnych powinna zostać wprowadzona jako stały etap w

procesie utrzymania nawierzchni kolejowej na rozjazdach.

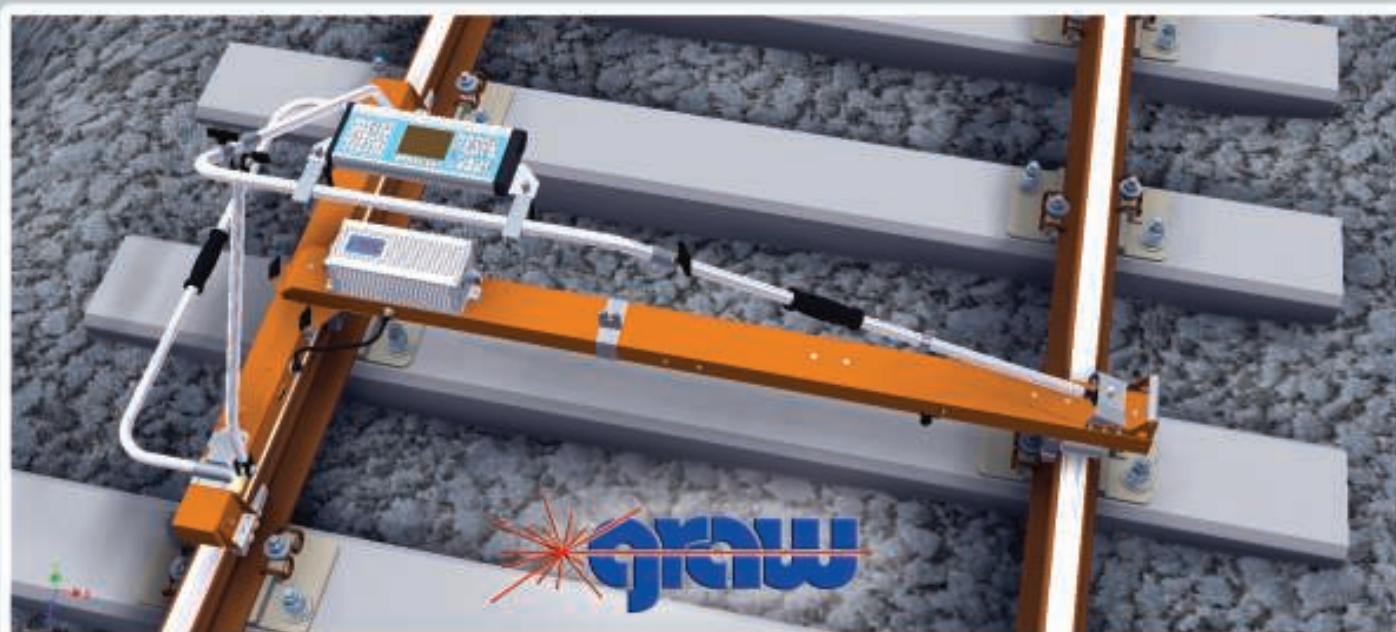
Badania oddziaływań dynamicznych w rozjazdach z podkładkami pod podkładowymi i bez PPP wykazały pozytywny wpływ zastosowania warstwy sprężystej na redukcję drgań w szynie, podrozjazdnicach i podtorzu. Badania dynamiki rozjazdu potwierdzają wyniki badań z wykorzystaniem diagnostyki 3D rozjazdów pozytywnego wpływu PPP na redukcję zużycia szyn i zmniejszenie generowanych drgań przez ruch kolejowy. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Bałuch H.: Trwałość i niezawodności eksploatacyjna nawierzchni kolejowej WKiŁ, Warszawa 1980 r.
- [2] H. Bałuch, M. Bałuch. Układy geometryczne toru i ich deformacje. KOW, Warszawa 2010.
- [3] Id-4 Instrukcja o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów, PKP PLK, Warszawa 2015r.
- [4] Kwiatkowska E. Wpływ wibroizolacji podkładów strunobetonowych na pracę podtorza kolejowego, Raport serii PRE nr 8 /2015, Politechnika Wrocławska

REKLAMA

TOROMIERZ INERCYJNY iTEC Dokładny pomiar strzałek



www.graw.com

Ocena przydatności różnych technik pomiaru geometrii układów torowych do opracowania projektów regulacji osi toru

Analysis of railway track geometry measurement methods usability



Waldemar Odziemczyk

Dr inż.

Wydział Geodezji i Kartografii,
Politechnika Warszawska

waldemar.odziemczyk@pw.edu.pl



Marek Woźniak

Dr hab. inż. prof. PW

Wydział Geodezji i Kartografii,
Politechnika Warszawska

marek.wozniak@pw.edu.pl

Streszczenie: Do opracowania projektu regulacji osi toru niezbędna jest precyzyjna informacja, dotycząca rzeczywistego przebiegu tej osi. Informacja ta jest zazwyczaj pozyskiwana metodami geodezyjnymi, przy czym najpopularniejszą metodą była do niedawna metoda pomiaru strzałek. Rozwój geodezyjnych technik pomiarowych umożliwia wykorzystanie do tego celu innych metod, w tym: metody tachymetrycznej, metod wykorzystujących obserwacje satelitarne oraz nowatorskich metod pomiarowych, bazujących na wykorzystaniu specjalistycznych, mobilnych zestawów pomiarowych. W celu praktycznego sprawdzenia przydatności nowych metod pozyskiwania danych przestrzennych do opracowywania projektów regulacji osi toru przeprowadzone zostały badania eksperymentalne. Pomiaru eksperymentalnego wykonano na 3 km odcinku dwutorowym. W ramach przeprowadzonych badań przeanalizowano pomiary z wykorzystaniem następujących metod:

tradycyjnej metody pomiaru strzałek, metody tachymetrycznej, metody wykorzystującej technikę GNSS, metody zautomatyzowanej, realizowanej w wariancie jedno- i dwuwózkowym. Wymienione metody porównano pod względem pracochłonności czynności pomiarowych, czasu trwania pomiaru, zakresu uzyskiwanych danych o obiekcie, kosztów sprzętu pomiarowego, niezawodności oraz dokładności procesu pomiarowego. Ponieważ różne metody pomiarowe dostarczają różnych wielkości geometrycznych, porównanie dokładności tych metod pomiarowych oparto na porównaniu wielkości strzałek. Porównanie danych geometrycznych uzyskiwanych za pomocą analizowanych metod pomiarowych pozwoliło na sformułowaniu wniosków, dotyczących przydatności tych metod do wykonywania projektów regulacyjnych.

Słowa kluczowe: Geometria toru; Regulacja osi toru; Pomiary geodezyjne; Wózki pomiarowe; Systemy GNSS; Mobilne systemy pomiarowe

Abstract: Precise information of railway tracks geometry is necessary to design alignment project. Geodetic measurements are the most common method of determining this information and sags of arch direct measurement are the traditional and still popular measurement method. Development of geodetic measurements techniques made possible to use another methods such as tacheometry, GNSS, and new methods based on mobile measurement devices. Series of experiments were conducted to set the practical usability of selected modern measurement methods to design track alignment project. The experimental measurements were performed on the 3 km long two-track railway fragment. Following methods were used during the test measurements: sags of arch direct measurement, tacheometry with total station, GNSS, automated methods with the use of a trolley system. Above mentioned measurement methods were compared taking into account time and labour consumption, range of geometric data, measurement equipment cost, reliability and accuracy of surveying procedure. Because of different data types are delivered with various methods, sags of arch were used for comparison of accuracy. Comparison of geometrical data obtained with analysed methods allowed to formulate conclusions concerning practical usability those methods for track alignment project development.

Keywords: Track Geometry; Railway Track Alignment; Geodetic Measurements; Trolley Systems; GNSS

Na wielu magistralnych liniach kolejowych prowadzona jest aktualnie modernizacja mająca na celu dostosowanie tych linii do prędkości 160 km/h. Jednym z elementów prowadzonych modernizacji jest zmiana geometrii osi torów niezbędna do zapewnienia odpowiedniego bezpieczeństwa ruchu i komfortu jazdy. Jest to szczególnie istotne dla szlaków przeznaczonych dla pociągów pasażerskich. Wiąże się to z koniecznością zachowania odpowiednich promieni krzywizny łuków kołowych oraz odpowiednich długości krzywych przejściowych.

Osobną kategorię stanowią linie kolejowe niższych kategorii. W wielu przypadkach stan torów na takich liniach wskazuje na ich znaczne deformacje stanowiące realne zagrożenie dla bez-

pieczeństwa ruchu i wymuszające ograniczenia prędkości (fot. 1). Działania naprawcze w przypadku takich odcinków polegają często na doprowadzeniu do regularności zmian krzywizny toru w płaszczyźnie poziomej, zaś projekt regulacji osi toru opracowywany jest w oparciu o założenie optymalnej geometrii przy minimalizacji przesunięć toru. Rygorystyczne przestrzeganie zasady minimalizacji przesunięć prowadzi do powstawania złożonego układu geometrii osi regulowanego toru. Realizacja takiego projektu spełnia co prawda zasadniczy cel jednak, jak zauważyli autorzy opracowania [4], duża liczba elementów geometrycznych utrudnia utrzymanie takiego toru.

Niezależnie od celu i związanych z tym założeń przyjętych do opracowania

projektu regulacji torów linii kolejowej niezbędna jest szczegółowa informacja o ich rzeczywistym stanie geometrycznym. Źródłem dokładnych i niezawodnych informacji przestrzennych o torze są pomiary wykonywane metodami geodezyjnymi.



1. Fragment linii kolejowej o silnie zdeformowanych torach

Pomiary geodezyjne jako źródło informacji o geometrii osi torów

Do wyznaczenia rzeczywistego przebiegu osi torów wykorzystuje się różne metody i techniki pomiarowe, w tym:

- metodę bezpośredniego lub pośredniego pomiaru strzałek,
- metodę biegunową z wykorzystaniem tachimetrów,
- metody wykorzystujące obserwacje satelitarne,
- metody wykorzystujące różnego rodzaju rozwiązania mechaniczne i elektroniczne np. wózki pomiarowe, wyposażone w sensory pochyłeń, ekstensometry oraz urządzenia inercyjne, skanery laserowe oraz kamery cyfrowe.

Metody te różnią się zarówno pod względem rodzaju dostarczanej informacji, dokładności, kosztów niezbędnych elementów pomiarowych, pracochłonności procesu pomiarowego oraz uwarunkowań technicznych decydujących o możliwości wykonania pomiaru z odpowiednią dokładnością. Sposób wykonywania pomiarów geodezyjnych określają odpowiednie instrukcje, standardy techniczne oraz wytyczne wydawane przez podmioty zarządzające infrastrukturą kolejową. Można tu wymienić wytyczne Ig-6 [9] oraz standard techniczny Ig-7 [10] określające sposób zakładania osnowy kolejowej a także standard techniczny GK-1 [8], który zastąpił obowiązującą wcześniej instrukcję D-19 [7]. Ponieważ opisywane w niniejszym opracowaniu pomiary eksperymentalne były na życzenie zlecającego wykonywane zgodnie z instrukcją D-19, w opisie czynności pomiarowych będzie cytowany także ten dokument.

Metoda pomiaru strzałek jest stosowana od dawna. Jest prosta i tania w realizacji. Wynikiem pomiaru w tej metodzie jest odległość badanego punktu na torze od cięciwy wyznaczonej przez dwa punkty odniesienia. Może być wykorzystywana cięciwa mechaniczna (struna) lub optyczna – realizowana za pomocą instrumentu wspomagającego. Długość

cięciwy, na jakiej wykonywany jest pomiar strzałki zależy od wielkości krzywizny łuku, przy czym na krzywej przejściowej (o zmiennej wartości krzywizny) stosuje się taką samą długość cięciwy jak na następującym za nią łuku kołowym.

Strunę stosuje się w przypadku cięciw nie przekraczających 10 m. Dla cięciw dłuższych stosuje się wyłącznie teodolit. Niezależnie od zastosowanego wariantu realizacji cięciwy wymagana dokładność pomiaru wartości strzałki wynosi ok. ± 1 mm. Pomiar strzałek wykonuje się dwukrotnie.

W przypadku pomiaru wykonywanego teodolitem, możliwe są dwa sposoby pomiaru strzałek:

- 1) sposób bezpośredni – gdzie cięciwa jest bezpośrednio oparta o punkty końcowe (rys. 2).
- 2) sposób pośredni – gdzie pomiar strzałek polegający na pomiarach zbliżonych do tzw. metody stałej prostej (rys. 3).

W przypadku sposobu pośredniego strzałki dla krótszych cięciw mogą być uzyskane poprzez odpowiednie przeliczenie wg wzoru (dla równych odległości między mierzonymi punktami na torze):

$$s_i = d_i - \frac{d_{i+1} + d_{i-1}}{2}$$

gdzie d_i, d_{i-1}, d_{i+1} – domiary od prostej odniesienia odpowiednio na punkcie bieżącym, poprzednim i następnym

Celem pomiaru jest pozyskanie informacji o geometrii osi toru. Tymczasem pomiarowi podlega jedna z szyn. Należy zatem, zwłaszcza w przypadku małych promieni krzywizny, sprawdzić jaka będzie różnica pomiędzy strzałką, dla wybranej szyny a odpowiadającą jej strzałką osi toru.

Na wartości mierzonych strzałek wpływa także sposób identyfikacji wewnętrznej krawędzi tocznej szyny. Do pomiarów geometrii osi torów krawędź tę (wg instrukcji Id-14 [12]) określa punkt przekroju poprzecznego szyny położony 14 mm poniżej górnej powierzchni tocznej szyny (rys. 4a). Definicja ta jest uwzględniona w konstrukcji wózków pomiarowych i toromierzy wykorzy-

stywanych do pomiarów kolejowych. Tymczasem w przypadku bezpośredniej metody pomiaru strzałek, bardzo często mierzone jest najbardziej wystające w kierunku poziomym miejsce główki szyny (rys. 4b). Powoduje to występowanie w uzyskiwanych wynikach pomiaru różnicy Δs . Wielkość ta może mieć istotną wartość w przypadku znacznego i nierównomiernego zużycia szyn (rys. 4c). Ze względu na dużą pracochłonność oraz podatność na błędy pomiarowe o charakterze systematycznym metoda bezpośredniego pomiaru strzałek nie jest zalecana [1, 8]. Metoda bezpośredniego pomiaru strzałek ma uzasadnienie jedynie w przypadku krótkich cięciw mierzonych za pomocą struny.

Dokładności określenia przebiegu toru przy zastosowaniu pomiaru metodą strzałek pozwalają stosować tę metodę do opracowania projektów regulacji toru jak i dla pomiarów kontrolnych dla linii kolejowych nawet o znacznych prędkościach (do 200 km/h).

Pomiar przebiegu osi toru metodą biegunową (tachimetryczną) wymaga użycia precyzyjnego tachimetru elektronicznego. Według instrukcji D-19 [7] powinien to być tachimetr o dokładności pomiaru kąta wyższej niż 10cc i dokładności pomiaru odległości co najmniej $\pm(10\text{mm} + 10\text{ mm/km})$. Standard techniczny Ig-7 wprowadza obowiązek dowiezienia stanowiska tachimetru do co najmniej trzech znaków kolejowej osnowy szczegółowej. Błąd wyznaczenia położenia stanowiska nie może w tym przypadku przekroczyć wartości $\pm 15\text{mm}$, zaś długość celowych do mierzonego punktu na torze (wg Ig-7) nie może przekraczać 200 m.

W wyniku pomiaru metodą biegunową uzyskuje się pozycje poszczególnych punktów określających oś toru. Punkty te mogą być pomierzone bezpośrednio. W tym przypadku do identyfikacji osi toru niezbędny jest użycie odpowiedniego przyrządu.

Na odcinku prostoliniowym sytuacja jest prosta, ponieważ szerokość toru wynosi 1435 mm. Oś toru jest zazwy-



2. Bezpośredni pomiar strzałek



3. Pośredni pomiar strzałek



4. Zasada ustalania położenia punktu pomiarowego na główce szyny

czas definiowana jako linia odsunięta od jednej z szyn o połowę prześwitu – czyli 717.5mm. Alternatywnym sposobem jest wyznaczenie punktu w połowie odległości między szynami. Opracowany przez autorów przyrząd przedstawiony na fot. 5 umożliwia lokalizację osi toru w połowie odległości między szynami.

Osadzenie reflektora na wysokości górnej powierzchni główek szyn eliminuje wpływ nachylenia przyrządu na wyniki pomiaru, w przypadku występowania przechyłki poprzecznej toru na odcinkach łuków.

Innym sposobem uzyskania pozycji punktu osiowego toru jest jej obliczenie na podstawie pomierzonych pozycji punktów na szynach. Rozwiązanie takie zastosowali autorzy opracowania [3].

Istnieje szeroka gama urządzeń pomiarowych kwalifikowanych jako tzw. wózki pomiarowe. Działają one na różnych zasadach i dostarczają różnego typu wielkości. Niektóre z nich służą do pomiaru lokalnej krzywizny toru, inne pozwalają uzyskać pozycje punktów osiowych toru. Jedne i drugie pozwalają rejestrować wielkość przechyłki poprzecznej i rzeczywistą wartość rozstawu szyn. Opis i analizę przydatności różnych rodzajów urządzeń pomiarowych do pomiaru torów zawierają między innymi opracowania [5] i [6].

Spośród metod wykorzystujących wózki pomiarowe przeanalizowano oraz poddano testom praktycznym dwie metody:

- metodę jednowózkową,
- metodę dwuwózkową.

Obydwie metody pozwalają uzyskać

współrzędne punktów osiowych mierzonego toru oraz dwa elementy dodatkowe jak przechyłka poprzeczna i rozstaw szyn.

W metodzie jednowózkowej wykorzystuje się jeden wózek pomiarowy z zamontowanym na nim reflektorem zwrotnym oraz sensorami nachyleń i rozstawu szyn oraz tachimetr elektroniczny ustawiony, podobnie jak w metodzie tachymetrycznej, w rejonie mierzonego torowiska (fot. 6).

Stanowisko tachimetru jest nawiązywane do punktów KOS w sposób identyczny jak w metodzie tachymetrycznej. Po wykonaniu pełnego nawiązania do punktów osnowy tachimetr przechodzi w tryb śledzenia reflektora zamontowanego na wózku. W ustalonych miejscach wózek jest zatrzymywany, po czym wykonany jest pomiar i rejestracja położenia reflektora. Niezależnie od tachimetru wózek mierzy kąty nachylenia w kierunku podłużnym i poprzecznym oraz rozstaw szyn. Na podstawie tych wielkości możliwe jest wyznaczenie punktu osi toru na podstawie położenia reflektora umieszczonego - najczęściej ekscentrycznie - na wózku.

Co do zasady, pomiar punktów osi toru metodą jednowózkową nie różni się od pomiaru metodą tachymetryczną. Najistotniejsze różnice wynikają z faktu, że w metodzie wózkowej pozyskiwane są dodatkowe parametry toru tj. rozstaw i przechyłki. Parametry te są cenną wskazówką do prowadzenia analiz stanu toru i w dalszej kolejności do opracowania projektu jego regulacji.



5. Przrząd do identyfikacji i pomiaru osi toru

U podstaw **metody dwuwózkowej** leży dążenie do przyspieszenia pomiaru w celu umożliwienia dostarczania danych do zautomatyzowanych podbijań w czasie rzeczywistym. W metodzie tej wykorzystuje się dwa wózki pomiarowe, z których jeden jest nośnikiem tachimetru, a drugi służy do zbierania danych o geometrii toru - analogicznie jak w metodzie jednowózkowej.

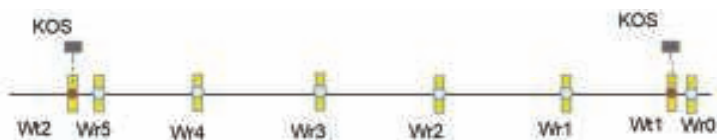
W metodzie dwuwózkowej każdemu stanowisku odpowiada tzw. cięciwa, czyli odcinek między stanowiskiem tachimetru (na wózku) a ostatnim punktem toru pomierzonym z poprzedniego stanowiska (cięciwy). Stosuje się tu uproszczony sposób nawiązania tachimetru. Schemat pomiaru toru metodą dwuwózkową przedstawia rys. 7. Wózek z tachimetrem zatrzymuje się naprzeciw słupa sieci trakcyjnej ze znakiem KOS (stanowiska Wt1, Wt2). Przed rozpoczęciem właściwego pomiaru toru za pomocą wózka z reflektorem wykonuje się pomiar tachimetrem do bliskiego znaku KOS oraz do reflektora na drugim wózku (Wr0). Położenie wózka z reflektorem Wr0 jest znane z pomiaru na poprzednim stanowisku tachimetru.

Po tak zrealizowanym nawiązaniu rozpoczyna się pomiar punktów toru za pomocą wózka z reflektorem (punkty Wr1 .. Wr5), przy czym ostatni - najbliższy stanowiska - punkt Wr5 pełni funkcję punktu nawiązania na następnym stanowisku (wózka z tachimetrem).

W metodzie GNSS do wyznaczenia położenia punktu na torze wykorzystuje się sygnał satelitarny z dostępnych systemów nawigacyjnych oraz poprawki korekcyjne systemu ASG EUPOS. W zależności od sposobu uzyskiwania poprawek korekcyjnych można mówić o systemie RTK (pojedyncza stacja referencyjna) lub RTN (poprawka wyznaczana na podstawie wielu stacji referencyjnych). Ze względu na ograniczenia dokładnościowe przydatność wyników pomiarów wykonanych metodą satelitarną do regulacji osi torów była przed-



6. Pomiar torów metodą jednowózkową



7. Schemat pomiaru toru metodą dwuwózkową



8. Zestaw GEDO do pomiaru torów metodą GNSS

miotem licznych analiz i eksperymentów, spośród których można wymienić np. [4] i [6].

Dokładność wyznaczenia współrzędnych zależy od kilku czynników:

- parametrów odbiornika i jego anteny,
- lokalizacji stacji referencyjnej (lub referencyjnych) względem miejsca pomiaru,
- chwilowej konfiguracji satelitów i jakości wcięcia,
- rozmieszczenia przeszkód terenowych i zakłóceń odbioru sygnału z satelitów.



9. Rozmieszczenie punktów osnowy podstawowej



10. Przyrząd pomocniczy do ustalania osi toru

Pierwsze dwa czynniki są dla określonego obiektu pomiaru stałe. Dwa następne zmieniają się w czasie w zależności od aktualnie panujących warunków terenowych. Ocena dokładności uzyskanych współrzędnych jest zazwyczaj dokonywana przez oprogramowanie odbiornika satelitarnego i wykazywana wraz z uzyskanymi współrzędnymi. Użytkownik nie zawsze może wiarygodnie ocenić wielkości wpływu zmiennych czynników na dokładność wyznaczenia współrzędnych.

Fot. 8 przedstawia zestaw do pomiaru osi toru metodą GNSS. Ponieważ antena jest wyniesiona na pewną wysokość względem poziomu główek szyn niezbędny jest pomiar pochyłeń podłużnego i poprzecznego w celu wyeliminowania wpływu ekscentru anteny.

Eksperyment pomiarowy

W celu określenia praktycznej przydatności wybranych metod pomiaru geometrii osi toru do wykonania projektu regulacji układu torowego wykonano serię pomiarów testowych na wybranym odcinku eksploatowanej linii kolejowej. Odcinek ten miał długość ok. 3 km i był zlokalizowany na dwutorowej linii kolejowej nr 12 Skierniewice – Łu-

ków pomiędzy miejscowościami Osieck i Grabianka (rys. 9). Od strony geometrycznej każdy z torów składał się z trzech odcinków prostych oraz dwóch krzywoliniowych. Każdy z odcinków krzywoliniowych składał się z dwóch łuków koszowych oraz z dwóch kłotoid.

Przed wykonaniem pomiaru osi torów została założona geodezyjna osnowa kolejowa. Składała się na nią kolejowa pozioma osnowa podstawowa oraz kolejowa osnowa szczegółowa tzw. KOS. Zarówno osnowa podstawowa jak i szczegółowa została pomierzona zgodnie z zaleceniami standardu technicznego Ig-7 [10]. Osnowa podstawowa składała się z trzech par punktów oddalonych od siebie o około 1,5 km (rys. 9). Punkty te pomierzono metodą satelitarną. Osnowa szczegółowa składała się ze 102 znaków KOS, zastabilizowanych na słupach sieci trakcyjnej zgodnie z wytycznymi Ig-6 [9]. Do pomiaru osnowy szczegółowej wykorzystano metodę trzech statywów. Pomiar wykonano w nawiązaniu do osnowy podstawowej.

Do pomiaru osnowy szczegółowej zastosowano tachimetr TDA 5005, a wykonane obserwacje były wyrównane metodą ścisłą. Tym sposobem uzyskano wysokie dokładności położenia wszystkich punktów w osnowy kolejowej, która stanowiła odniesienie dla wszystkich późniejszych pomiarów, realizowanych w ramach eksperymentu.

Współrzędne punktów osnowy, zarówno podstawowej, jak i szczegółowej wyznaczono w dwóch układach: Układzie PL 2000 (strefa 7) oraz w układzie lokalnym. Dla lokalnego układu współrzędnych przyjęto odwzorowanie Gaussa-Krügera z południkiem osiowym przechodzącym przez środek odcinka testowego. Jako lokalny poziom odniesienia wysokościowego przyjęto natomiast średni poziom terenu. Dzięki takiemu założeniu układu lokalnego można było zaniedbać redukcję odwzorawcze do mierzonych odległości bez narażania się na utratę dokładności wyznaczania pozycji punktów charakterystycznych toru.

Rozwiązanie takie przyjęto w celu zbadania możliwości wykorzystywania różnych układów współrzędnych tak do opracowania wyników pomiarów terenowych jak i opracowania projektów regulacji osi torów.

Pomiar geometrii os torów wykonano niezależnie każdą z pięciu metod wymienionych w poprzednim rozdziale.

W przypadku metody strzałek, jak i metody tachimetrycznej do wyznaczania osi toru zastosowano autorski przyrząd pomocniczy przedstawiony na rys. 10.

W metodach "wózkowych" oraz w metodzie GNSS identyfikację punktu osiowego toru (14mm poniżej powierzchni tocznej szyn) zapewniała konstrukcja wózka. W metodzie strzałek oraz tachimetrycznej funkcję tą pełnił przyrząd przedstawiony na fot. 5 i 10. Niezależnie od metody pomiarowi podlegały te same punkty rozmieszczone co 20m na odcinkach prostoliniowych oraz co 10m na odcinkach krzywoliniowych.

Porównanie wyników pomiarów eksperymentalnych

Podstawowym celem pracy badawczej było porównanie przydatności danych uzyskanych za pomocą różnych metod pomiarowych, do opracowania projektu regulacji osi toru.

Porównania tego można dokonać na dwa sposoby:

- poprzez porównanie wyników opracowanych projektów regulacji,
- poprzez porównanie wyników pomiarów przestrzennych punktów reprezentujących układ analizowanych torów.

Realizacja pierwszego z tych sposobów natrafia na trudność natury algorytmicznej. Autorzy [3] zwracają uwagę, że metody opracowania projektu regulacji różnią się w zależności od rodzaju danych źródłowych. Dotyczy to w szczególności metody pomiaru strzałek, dla której projekt regulacji powstaje etapami (najpierw proste później łuki) [2]. Wykorzystując współrzędne punktów szczegółowych osi torów, przy zastosowaniu nowoczesnego oprogramowania, można opracować projekt regulacji w procesie jednoetapowym. W konsekwencji, nawet projekty regulacji opracowane na podstawie identycznych danych (np. na podstawie współrzędnych oraz strzałek obliczonych w oparciu o te same współrzędne) będą różne.

Próba porównania wyników pomiaru natrafia również na pewne trudności. Po pierwsze, różne metody dostarczają różnych wielkości obserwowanych, których bezpośrednie porównanie jest niemożliwe. Po drugie, nawet w przypadku metod dostarczających współrzędnych XY istnieją różnice wynikające nie z dokładności pomiaru, ale ze specyficznego dla pomiarów kolejowych sposobu

ustalania mierzonego punktu.

Punkty toru podlegające pomiarowi są zaznaczane na szynach w ustalonych odległościach przed rozpoczęciem pomiaru. Instrukcja D-19 [7] narzucała korzystanie w tym celu ze skomparowanej taśmy stalowej. Nawet jednak przy zastosowaniu precyzyjnego sprzętu pomiarowego i starannym oznaczeniu punktów na szynach dokładność ich ustalenia w kierunku wzdłuż osi toru nie będzie lepsza niż 1cm, podczas gdy identyfikacja położenia osi toru w kierunku poprzecznym (zgodnie z instrukcją Id-14) będzie znacznie dokładniejsza.

W rezultacie, kilkakrotny pomiar położenia tego samego punktu toru, nawet przy zastosowaniu najdokładniejszej metody da różniące się wyniki.

Wielkością geometryczną umożliwiającą porównanie wyników pomiaru osi toru różnymi metodami może być wartość strzałki osi toru. Jest ona bezpośrednio mierzona w metodzie strzałek, zaś w przypadku metod dostarczających współrzędnych może być obliczona. Jednocześnie wartość strzałki jest mało wrażliwa na drobne różnice w ustaleniu miejsca pomiaru wzdłuż osi toru. W związku z powyższym autorzy zestawili wartości strzałek na podlegających pomiarowi punktach osi toru, a następnie przeanalizowali różnice pomiędzy odpowiadającymi sobie wartościami strzałek uzyskanymi z różnych metod pomiarowych.

Tabele 1 i 2 zawierają zestawienie różnic strzałek dla wszystkich kombinacji par metod. Przedstawione w tabelach wartości uzyskano z zależności:

$$f = \sqrt{\frac{\sum (s_i - s_j)^2}{n}}$$

gdzie:

s_i, s_j - wartości odpowiadających sobie strzałek z metod i oraz j ,

n - liczba wspólnych strzałek wyznaczonych obydwiema metodami

Jak można zauważyć najlepszą zgodność wyników uzyskano dla metod wykorzystujących wózki pomiarowe. Odchylenie standardowe dla tych przypadków wyniosło $\pm 0.8 \div 0.9$ mm. Jest to uzasadnione wysoką jakością zastosowanego sprzętu pomiarowego, a co za tym idzie, precyzją pomiaru. Duże znaczenie miała także jednakowa (wymuszona konstrukcją wózka) w obydwu metodach identyfikacja mierzonego punktu osi toru. Nieznacznie gorszą zgodność, bo $\pm 1.0 \div 1.3$ mm, uzyskano pomiędzy meto-

dą bezpośredniego pomiaru strzałek a metodami "wózkowymi". Dla metody tachimetrycznej zgodność w stosunku metod wózkowych jak i metody bezpośredniego pomiaru strzałek wahała się na poziomie $\pm 1.5 \div 1.7$ mm. Pomimo pewnych różnic w zakresie wzajemnej zgodności wymienione metody można określić jako wysokodokładne. Zaletą metody tachimetrycznej, podobnie jak metod „wózkowych” jest odniesienie wyników do osnowy geodezyjnej. Metoda tachimetryczna jest przy tym znacznie tańsza od metod wózkowych. Na tym tle znacząco odbiegają wyniki uzyskane metodą GNSS. Zgodności w stosunku do pozostałych metod wahały się w zakresie od $6.4 \div 8.9$ mm, przy czym należy zaznaczyć, że pomiar tą metodą był wykonany na odcinku toru o optymalnych warunkach do pomiaru satelitarnego. Ponadto należy pamiętać, że technologia pomiarów satelitarnych wymaga widoczności odpowiedniej konstelacji satelitów. Warunek ten nie zawsze jest możliwy do spełnienia (teren zalesiony, zabudowany, wiadukty, tunele itp.). W sytuacji tych nastąpi istotny spadek dokładności lub pomiar będzie niemożliwy.

Na podstawie przeprowadzonych testów oraz wymagań dokładnościowych określonych w załączniku nr 13 do instrukcji Id-1 [11] można określić zakres przydatności opisywanych metod do opracowania projektu regulacji osi toru oraz do pomiaru kontrolnego osi toru (tab. 3).

Metoda satelitarna nie pozwala na uzyskiwanie danych o lokalnych deformacjach osi toru z dokładnością porównywalną z pozostałymi metodami, ma jednak ważną zaletę. Nie generuje wzrostu błędów wraz ze wzrostem długości mierzonego odcinka toru, umożliwiając tym samym opracowanie projektu regulacji w jednolitym układzie współrzędnych. Na zalety zastosowania pomiarów GNSS do zadań związanych z regulacją torów zwrócili uwagę autorzy opracowań [4] i [1]. Metoda ta jest bardzo prosta w realizacji i doskonale nadaje się do automatyzacji pomiaru. Dalszy wzrost możliwości pomiarów satelitarnych możliwy będzie po zastosowaniu sensorów inercjalnych pozwalających rejestrować dane pomiarowe także w przypadku zaniku sygnału satelitarnego.

Tab. 1. Różnice odpowiadających sobie strzałek dla toru 1

	strzałki	tachimetria	1 wózek	2 wózki	GNSS
strzałki	-	1.5	1.1	1.0	6.4
tachimetria	1.5	-	1.7	1.7	7.4
1 wózek	1.1	1.7	-	0.9	6.4
2 wózki	1.0	1.7	0.9	-	6.5
GNSS	6.4	7.4	6.4	6.5	-

Tab. 2. Różnice odpowiadających sobie strzałek dla toru 2

	strzałki	tachimetria	1 wózek	2 wózki	GNSS
strzałki	-	1.6	1.3	1.2	8.1
tachimetria	1.6	-	1.7	1.7	8.9
1 wózek	1.3	1.7	-	0.8	8.3
2 wózki	1.2	1.7	0.8	-	8.2
GNSS	8.1	8.9	8.3	8.2	-

Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych na odcinku testowym pomiarów, można wysnuwać szereg wniosków, odnośnie przydatności badanych metod pomiaru osi torów do prowadzenia procesów regulacji stanu układu torowego.

Dobór optymalnej metody pomiaru geometrii układu torowego zależy od uwarunkowań techniczno-ekonomicznych stawianych wykonawcy oraz warunków panujących w terenie.

Stawiając na pierwszym miejscu tempo przeprowadzania pomiaru oraz zakres pozyskiwanych danych o geometrii toru, optymalnym wyborem będą systemy zautomatyzowane np. systemy pomiarowe wykorzystujące wózki pomiarowe. Warto zauważyć, że w zautomatyzowanych systemach pomiarowych oprócz położenia punktów osi toru rejestrowane są także rozstaw szyn oraz przechyłka i pochylenie podłużne toru w miejscach pomiaru.

Pomiar tradycyjny metodą strzałek pozwala uzyskać w stosunkowo prosty sposób i za pomocą niedrogo sprzętu dane o lokalnej geometrii toru. Zaletą tej metody jest wysoka dokładność względna, natomiast jej mankamenty to brak możliwości automatyzacji po-

miaru i wynikająca z tego większa, niż w przypadku innych metod pracochłonność. Poza tym, dysponując jedynie informacją o lokalnej krzywiznie toru nie możemy skorzystać z nowoczesnego oprogramowania pozwalającego na kompleksowe opracowanie projektu regulacji.

Zaletą metody GNSS jest jej prostota i szybkość wykonania pomiaru. Nie bez znaczenia jest też niewrażliwość tej metody na lokalne zmiany dokładności osnowy geodezyjnej. Dzięki wsparciu systemu ASG-EUPOS do wykonania pomiaru wystarczy jeden odbiornik satelitarny. Zastosowanie jako nośnika anteny satelitarnej wózka pomiarowego znacznie usprawnia wykonanie pomiaru. Użytkownik dokładność wyników ustępuje dokładności pozostałych metod pomiarowych w zakresie zmian lokalnych.

Rozwiązaniem kompromisowym między bardzo zaawansowanymi technicznie i efektywnymi w pomiarach metodami tzw. „wózkowymi” a prostą, taną, metodą strzałek, jest metoda tachimetryczna. Metoda ta charakteryzuje się wysoką dokładnością i wolna jest od narastających błędów systematycznych metody strzałek. W celu podniesienia dokładności pomiaru wskazane jest korzystanie z toromierzy.

Najodpowiedniejszym rozwiązaniem do kompleksowego pomiaru przestrzennego torów będzie zastosowanie rozwiązań z wózkami pomiarowymi. Pomiar jest szybki, niezawodny i spełnia wszystkie wymagania dokładnościowe standardów, dotyczących pomiarów kolejowych. Ważną zaletą jest również daleko idąca automatyzacja procesu pomiarowego. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Dobrowolski B., Koncepcja numerycznego modelu geometrii torów w procesie napraw nawierzchni. TTS Technika Transportu Szynowego, 2002 (9), s. 58-67
- [2] Dobrowolski B., Geodezja kolejowa. SGP Oddział w Katowicach, Katowice 2014
- [3] Jamka M., Lisowski S., Strach M., Zastosowanie nowoczesnych technik pomiaru i oprogramowania do regulacji osi torów. TTS Technika Transportu Szynowego 2009 (15), s. 55-61
- [4] Koc W., Chrostowski P., Grzejka P., Specht C., Lewiński L., Ocena efektów regulacji osi toru na wybranej linii kolejowej. TTS Technika Transportu Szynowego, 2013 (20), s. 81-84
- [5] Strach M., Pomiary dróg kolejowych i obiektów z nimi związanych oraz opracowanie wyników na potrzeby modernizacji kolei konwencjonalnych. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 2009, Vol. 19, s. 411-421
- [6] Strach M., Piekarczyk M., Nowoczesne urządzenia w pomiarach dróg kolejowych. Problemy kolejnictwa, 2009, Zeszyt 148, s. 48-60.
- [7] Zarząd PKP, Instrukcja o organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej D-19. Załącznik do Zarządzenia Nr 144 z dnia 23 października 2000 r.
- [8] Zarząd PKP S.A. Standard techniczny „o organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej GK-1, Załącznik do uchwały Nr 8 z dnia 12 stycznia 2016 r.
- [9] Zarząd PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Wytyczne dla osadzania znaków regulacji osi toru na konstrukcjach wsporczych (słupach) sieci trakcyjnej Ig-6. Załącznik do zarządzenia Nr 24/2011 z dnia 18 lipca 2011 r.
- [10] Zarząd PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Standard techniczny określający zasady i dokładności pomiarów geodezyjnych dla zakładania wielofunkcyjnych znaków regulacji osi toru Ig-7. Załącznik do zarządzenia Nr 27/2012 z dnia 19 listopada 2012 r.
- [11] Zarząd PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1, Załącznik do zarządzenia Nr 14/2005 z dnia 18 maja 2005 r. z późniejszymi zmianami.
- [12] Zarząd PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Instrukcja o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów Id-14 (D-75). Załącznik do zarządzenia Nr 26/2005 z dnia 12 lipca 2005 r.

Tab. 3. Maksymalna prędkość projektowa trasy dla poszczególnych metod pomiaru osi toru

metoda pomiaru	maksymalna prędkość projektowa trasy [km/h]
pomiar strzałek	200
tachimetria	200
jednowózkowa	200
dwuwózkowa	200
GNSS	100



Politechnika Wrocławska

Patronat Medialny:



Jelenia Góra, 18-19 października 2018 r.

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP Oddział we Wrocławiu
oraz POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

mają zaszczyt zaprosić na

IX Konferencję Naukowo – Techniczną

Problemy budowy i naprawy podtorza kolejowego

Celem konferencji jest zaprezentowanie w szerokim zakresie problemów badań naukowych, diagnostyki, projektowania, budowy, modernizacji i wzmacniania podtorza dróg szynowych oraz najnowszych i najskuteczniejszych stosowanych technologii. Konferencja adresowana jest do pracowników kolejowych, nauki, przemysłu i wszystkich zainteresowanych problemami przystosowania sieci dróg kolejowych do zwiększonych prędkości i obciążeń.

Zapraszamy autorów do przygotowania referatów zgodnie z w/w tematyką. Referaty należy przygotować w języku polskim. Referaty będą publikowane w Przeglądzie Komunikacyjnym (wg listy B - MNiSzW – 8 pkt). Warunkiem publikacji referatu jest uzyskanie pozytywnej recenzji Komitetu Naukowego oraz Recenzentów czasopisma

Zgłaszanie referatów

SITK RP O/Wrocław, ul. M.J. Piłsudskiego 74, 50-020 Wrocław, tel.: 48 71 343 18 74, kom. 575 799 133,
e-mail: wroclaw@sitkrp.org.pl www.wroclaw.sitkrp.org.pl

Od Redakcji - sprostowanie

Szanowny Panie Redaktorze

Na podstawie art. 31a ustawy z dnia 26 stycznia 1984 r. Prawo Prasowe (Dz. U. Nr 5, poz. 24 ze zm.) wnoszę o zamieszczenie poniższego sprostowania nieścisłych informacji odnośnie autorstwa i wykorzystanych źródeł bibliograficznych w artykule pt. „O Podlaskiej Kolei Wąskotorowej słów kilka”, opublikowanym w Państwa czasopiśmie w numerze 8/2013 oraz na stronie internetowej www.przegląd.komunikacyjny.pwr.wroc.pl pod adresem: http://przegląd.komunikacyjny.pwr.wroc.pl/08_2013/spis.html.

Sprostowanie

1. Autorami artykułu pt. „O Podlaskiej Kolei wąskotorowej słów kilku” są Pani Ewelina Arnold i Pan Krzysztof Śledziwski.
2. W artykule fragmenty tekstu i dwa zdjęcia odnoszące się do historii kolei wąskotorowej zostały wykorzystane bez właściwego cytowania z opracowania Pana Grzegorza Siemakowicza pt. „Bialska Kolej Wąskotorowa (Dojazdowa). Zarys historii” zamieszczonego na portalu www.Histmag.org pod adresem: <https://histmag.org/Bialska-Kolej-Waskotorowa-Dojazdowa.-Zarys-historii-4619>.

Jednocześnie autorzy artykułu pragną przeprosić Pana Grzegorza Siemakowicza za niewłaściwe wykorzystanie fragmentów jego tekstu i zdjęć oraz brak odpowiednich cytowań w artykule.

Z wyrazami szacunku

Krzysztof Śledziwski



REKMA Sp. z o.o.

ul. Szlachecka 7

32-080 Brzeziny

tel. +48 12/633 59 22

fax +48 12/397 52 20

www.rekma.pl

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



SPECJALISTYCZNE PRACE DROGOWE



PN-EN ISO 9001:2009