

# Ocena skuteczności stosowanej metodyki regulacji osi toru kolejowego

Władysław Koc, Cezary Specht, Leszek Lewiński, Piotr Chrostowski, Paulina Grzejka

*W pracy pokazano przykłady stwierdzonych nieprawidłowości w ukształtowaniu torów kolejowych w płaszczyźnie poziomej. Jako przyczynę istniejącej niekorzystnej sytuacji wskazano stosowaną przez wiele lat metodykę regulacji osi toru. W celu oceny skuteczności tego procesu przeprowadzono dwie kampanie ciągłych pomiarów satelitarnych. Pierwsza kampania pomiarowa miała na celu identyfikację stanu istniejącego, druga zaś – określenie ukształtowania toru po przeprowadzonej regulacji jego osi. Ponieważ projekt regulacji został wykonany za pomocą tradycyjnych metod geodezyjnych, stworzyło to możliwość oceny poprawności tychże metod z punktu widzenia aktualnego stanu wiedzy. Ocena ta nie wypadła pozytywnie; stwierdzono, że wykonany przy zastosowaniu tradycyjnej procedury projekt w zasadzie nie wnosi nic nowego, ograniczając się jedynie do odwzorowania stanu istniejącego.*



prof. dr hab. inż.  
Władysław Koc  
Politechnika Gdańska  
Wydział Inżynierii  
Lądowej i Środowiska  
kocwl@pg.gda.pl



prof. dr hab. inż.  
Cezary Specht  
Politechnika Gdańska  
Wydział Inżynierii  
Lądowej i Środowiska  
c.specht@geodezja.pl



mgr inż. Leszek Lewiński  
Politechnika Gdańska  
Wydział Inżynierii  
Lądowej i Środowiska  
l.lewinski@wp.pl



dr inż. Piotr Chrostowski  
Politechnika Gdańska  
Wydział Inżynierii  
Lądowej i Środowiska  
piochros@pg.gda.pl



mgr inż. Paulina Grzejka  
Politechnika Gdańska  
Wydział Inżynierii  
Lądowej i Środowiska  
paulina.grzejka@gmail.com

Pod pojęciem regulacji osi toru rozumiemy specyficzną metodę tyczenia osi toru kolejowego. Metoda ta – z założenia – opiera się na pewnej bazie (jak podaje autor pracy [22]). Bazą tą może być tok szynowy w torze kolejowym lub też ciąg poligonowy składający się z krótkich boków. Celem omawianej metody jest wyznaczenie odstępów poprzecznych (czyli wartości przesunięć) pomiędzy punktami istniejącej bazy a punktami projektowanej osi toru.

Metody regulacji osi toru można podzielić, kierując się pracą [4], na:

- metodę trygonometryczną,
- metodę wykreślną,
- metodę mechaniczną,
- metodę analityczno-wykreślną,
- metodę analityczną,
- metodę poligonową.

Każda z tych metod, za wyjątkiem ostatniej, bazuje na określeniu kształtu osi istniejącego toru w sposób niejako pośredni, na podstawie pomiarów strzałek.

Jedynie ostatnia (i jednocześnie najnowsza) metoda nazwana poligonową wykorzystuje współrzędne prostokątne punktów tworzących osnowę (ciąg poligonowy) i współrzędne punktów tworzących istniejącą oś toru kolejowego. Odwzorowanie istniejącego kształtu toru oraz projektowanie nowego układu geometrycznego wykonuje się w tym przypadku przy użyciu komercyjnych programów komputerowych wspomagających projektowanie, m.in. [24, 25].

Istniejące ukształtowanie geometryczne torów kolejowych stanowi wynik stosowania wymienionych metod. Ich cechą charakterystyczną jest to, że właściwie niemożliwe staje się zweryfikowanie racjonalności uzyskanego rozwiązania projektowego, gdyż nie jest znany stan wyjściowy. Co prawda już od dawna wskazywano na występowanie nieprawidłowości w ukształtowaniu torów, zwłaszcza w płaszczyźnie poziomej, jednak nie dysponowano innymi, lepszymi metodami przeprowadzania

regulacji. Dopiero stosunkowo niedawno pojawiły się w tym zakresie zupełnie nowe perspektywy.

## Przesłanki wskazujące na wagę problemu

### Badania na krzywych przejściowych

Blisko ćwierć wieku temu, w 1989 roku, w miesięczniku „Drogi Kolejowe” ukazał się artykuł pt. „Analiza błędów ukształtowania poziomego krzywych przejściowych na PKP” [8]. Wiązał się on z prowadzonymi badaniami eksperymentalnymi nad problematyką krzywych przejściowych z nieliniowymi rampami przechyłkowymi [9]. Badania kształtu istniejących krzywych zostały przeprowadzone na terenie pięciu ówczesnych DOKP: Północnej, Południowej, Dolnośląskiej, Zachodniej i Pomorskiej i objęły w sumie 136 krzywych przejściowych. Przyjęty sposób określania kształtu krzywych opierał się na pomiarze optycznym od wyznaczonej osi celowej [1] w układzie współrzędnych prostokątnych. Długości badanych krzywych przejściowych wahały się w granicach 25÷150 m, a promienie łuków kołowych – w granicach 300÷3300 m. Opracowane wyniki pomiarów pozwoliły określić charakter występujących nieprawidłowości oraz ocenić wielkości odchyłań od kształtu teoretycznego.

Jak się okazało, stwierdzone niezgodności kształtu rzeczywistego krzywych przejściowych i ich kształtu teoretycznego można sprowadzić do 10 typowych przypadków (tablica 1).

Tab. 1: Nieprawidłowości ukształtowania krzywych przejściowych

| Lp | Rodzaj nieprawidłowości  | Stwierdzona liczba przypadków | Udział procentowy |
|----|--|-------------------------------|-------------------|
| 1  | Wydłużenie krzywej przejściowej w kierunku prostej                   | 9                             | 6,6               |
| 2  | Skrócenie krzywej przejściowej od strony PKP                         | 1                             | 0,7               |
| 3  | Skrócenie krzywej przejściowej od strony KKP                         | 22                            | 16,2              |
| 4  | Wydłużenie krzywej przejściowej w kierunku łuku                      | 13                            | 9,6               |
| 5  | Przesunięcie całej krzywej przejściowej kierunku prostej             | 52                            | 38,2              |
| 6  | Wydłużenie krzywej przejściowej na obu końcach                       | 17                            | 12,5              |
| 7  | Przesunięcie całej krzywej przejściowej w kierunku łuku              | 4                             | 2,9               |
| 8  | Skrócenie krzywej przejściowej na obu końcach                        | 6                             | 4,4               |
| 9  | Ujemne wartości rzędnych krzywej przejściowej w rejonie PKP          | 28                            | 20,6              |
| 10 | Niezgodność rzędnych krzywej przejściowej pomierzonej i teoretycznej | 12                            | 8,8               |

Dane liczbowe z tablicy 1, przedstawione w formie wykresu Pareta (Lorenza) [2] na rysunku 1, określają znaczenie poszczególnych przypadków. Jak widać, zdecydowanie dominuje przypadek 5 – przesunięcie całej krzywej w kierunku prostej – obejmujący 38,2% wszystkich mierzonych krzywych.

Niezależnie od stwierdzonych nieprawidłowości, prawie na każdej krzywej występowała niezgodność rzędnych pomierzonych z rzędnymi teoretycznymi. Niezgodność ta nie zawsze była regularna i często krzywa rzeczywista oscylowała względem teoretycznej. Bezwzględne wartości odchylenia ilustruje histogram na rysunku 2. W ok. 75% przypadków odchylenie mieściło się w przedziale 0÷60 mm, ale tylko dla 25% krzywych nie przekraczało 20 mm i można tu było ewentualnie mówić o podobieństwie do kształtu teoretycznego.

Przeanalizowano także wielkości przesunięcia podłużnego krzywej przejściowej w stosunku do jej położenia teoretycznego (co stało się istotne w świetle danych na rysunku 1). Histogram wartości  $\Delta x$  przedstawia rysunek 3. Jako dodatnie określono przesunięcia w kierunku łuku kołowego, jako zaś ujemne – w kierunku prostej. Zdecydowanie największą liczbę przypadków (ok. 45%) stanowiły przesunięcia w kierunku prostej w przedziale 0÷5 m.

Jak wykazano, charakter odchylenia nie był związany z wielkością promienia łuku i długością krzywej przejściowej. Postawiono hipotezę, że przedstawione nieprawidłowości wiążą się z pracą automatycznych podbijarek, wykonujących regulację osi toru. Wiele wskazywało na występowanie określonego związku między rodzajem odchylenia a kierunkiem pracy podbijarki.

## Ocena położenia prostych odcinków toru

Dwadzieścia lat później, w 2009 roku, zostały przeprowadzone na terenie Zakładu Linii Kolejowych w Gdyni ciągłe pomiary satelitarne toru kolejowego [17], które umożliwiły odtworzenie położenia osi torów w państwowym układzie odniesień przestrzennych 2000. Na podstawie tych pomiarów stwierdzono występowanie licznych nieprawidłowości w ukształtowaniu geometrycznym torów w płaszczyźnie poziomej.

Najłatwiej było to wykazać dla prostych odcinków toru. Jeżeli wychodząc z równania  $X = A + BY$  przesuniemy oś  $Y$  o wartość wyrazu wolnego  $A$  i następnie dokonamy jej obrotu o taki kąt  $\varphi$ , aż pokryje się ona z kierunkiem naszej trasy, wówczas w układzie  $X1(Y1)$  rzędne  $X1$  stanowiąc będą odchyleniem od tego kierunku, wynikające z nierówności poziomych występujących w torze (a także z błędów pomiarowych). Wartość kąta  $\varphi$  wynika ze współczynnika nachylenia  $B$  rozpatrywanej prostej.

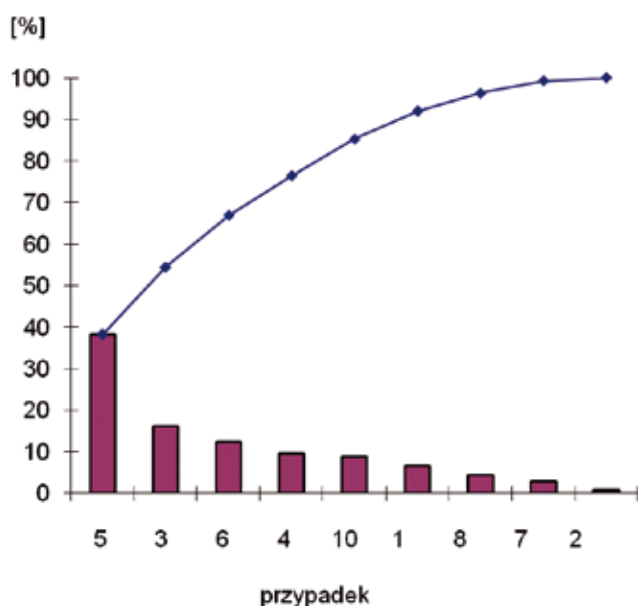
Stosując taki tok postępowania przeanalizowano odcinki proste na pomierzonej trasie, uzyskując bardzo zróżnicowane rezultaty. Na niektórych prostych odchylenia (tj. rzędne  $X_1$ ) okazały się stosunkowo niewielkie, osiągając rząd kilku lub kilkunastu centymetrów. Zdarzały się jednak również przypadki bardzo dużych deformacji.

Przykładowo, na rysunku 4 przedstawiono wyznaczoną na drodze pomiarów satelitarnych prostą o równaniu

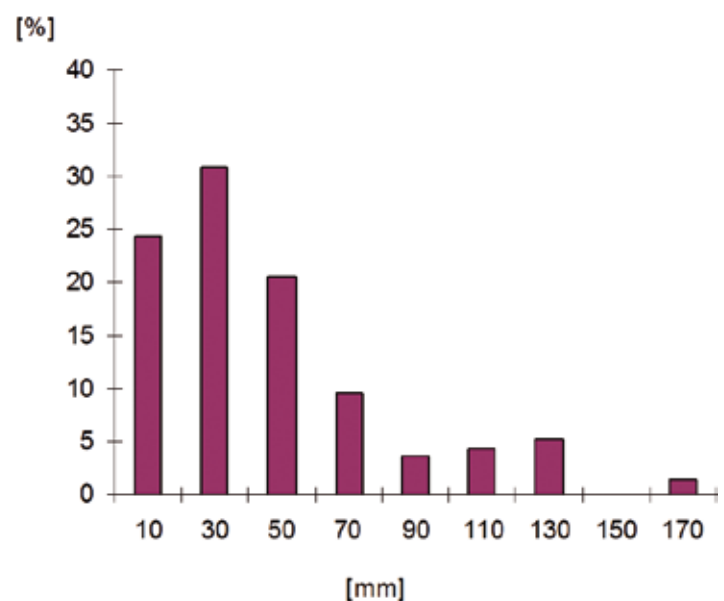
$$X = 13803157,53 - 1,20071487 Y \quad (1)$$

W danym przypadku kąt obrotu  $\varphi = 2,26524$  rad (tj. 129,8°).

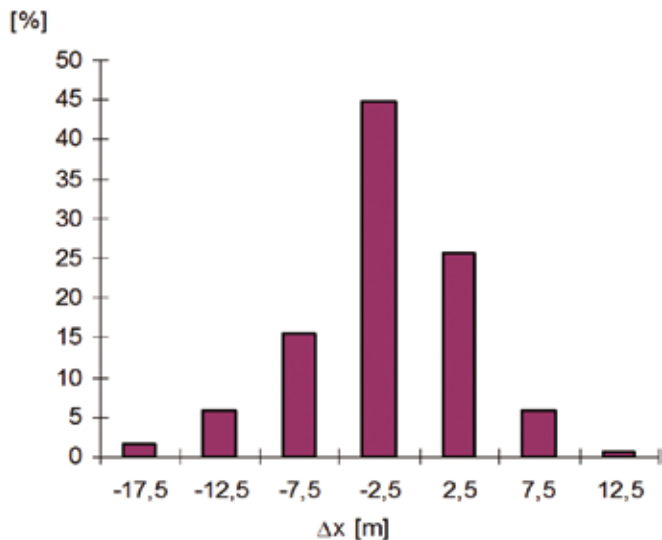
Jak widać, deformacje poziome toru mogą być znaczne. Jeśli powiązemy to spostrzeżenie z uwagami dotyczącymi krzy-



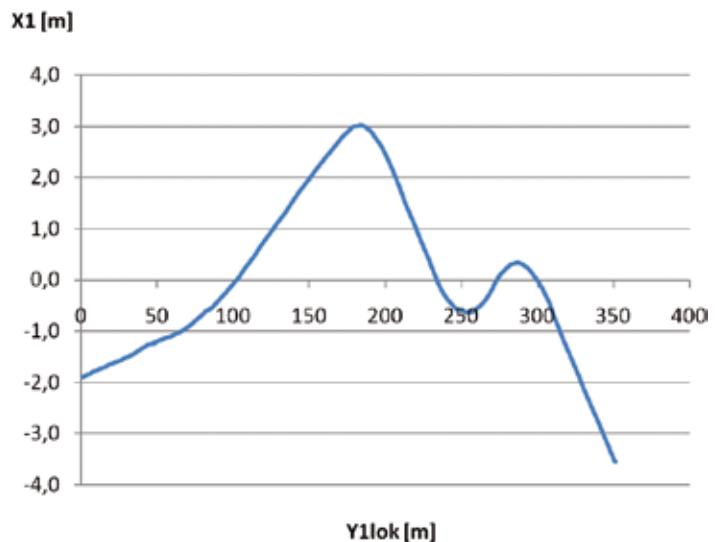
1. Wykres Pareta (Lorenza) przedstawiający liczbę poszczególnych nieprawidłowości ukształtowania krzywych przejściowych



2. Histogram wartości bezwzględnych odchylenia od kształtu teoretycznego



3. Histogram wartości przesunięć podłużnych krzywej przejściowej



4. Obraz przykładowej prostej po transformacji układu współrzędnych (w skali skazonej)

wych przejściowych, zaczynają rodzić się wątpliwości dotyczące stosowanej metodyki kształtowania osi toru [15].

### Uwagi na temat metodyki regulacji osi toru

Jak już wcześniej zasygnalizowano, regulacja osi toru kolejowego oznacza ponowne projektowanie i tyczenie jego osi, przede wszystkim w celu usunięcia deformacji (nierówności poziomych) w jego położeniu lub skorygowania niewłaściwego układu geometrycznego toru [4]. Pojęcie regulacji osi toru jest więc tak stare, jak sama eksploatacja tegoż toru. Każdy tor kolejowy w czasie eksploatacji ulega bowiem zużyciu. Specyficznym przejawem „zużycia” toru kolejowego jest powstawanie w nim nierówności, w tym nierówności poziomych, czyli deformowanie się kształtu osi toru w płaszczyźnie poziomej pod wpływem oddziaływań powodowanych ruchem taboru kolejowego. Powstawanie takich deformacji powoduje konieczność wykonywania robót naprawczych, polegających na nasunięciu odkształconego toru na projektowaną oś. W celu określenia wartości i kierunku nasunięcia istniejącego (odkształconego) w danym miejscu toru opracowano metody pomiarowe i projektowe zwane metodami regulacji osi toru.

Spośród wielu różnych – wymienionych wcześniej – metod regulacji osi toru kolejowego obecnie tylko dwie – metoda analityczna i metoda poligonowa są stosowane w praktyce. Pierwsza z nich występuje w dwóch postaciach:

- jako rozwinięcie metody analityczno-graficznej, w której całkowicie odstąpiono od wykonywania wykresów, a zastąpiono je obliczeniami wykonywanymi przy użyciu programów komputerowych lub

- jako określenie przesunięć na podstawie różnicy ewolwenty krzywej istniejącej i krzywej projektowanej – również z wykorzystaniem technik komputerowych do przeprowadzenia stosownych obliczeń.

Jednakże dla każdej z tych postaci zakłada się, że dane do zaprojektowania nowej osi toru zostaną uzyskane poprzez określenie kształtu istniejącego toru na podstawie pomiaru wartości strzałek od cięciwy.

Tak więc w dalszym ciągu najczęściej stosowanym w omawianej procedurze pomiarem jest pomiar strzałek. Wieloletnie doświadczenia umożliwiały ciągle doskonalenie sposobów wykonywania tych pomiarów. Na początku używane były do tego celu proste strzałkomierze drutowe, które z czasem zastępowano wyspecjalizowanymi przyrządami optycznymi, urządzeniami samorejestrującymi zwanymi korektorami krzywizn, aż do pomiarów wykonywanych teodolitem. Niezależnie jednak od stosowanych przyrządów, podstawę projektowania stanowiły wciąż wartości pomierzonych strzałek, a zatem dane, których związek z rzeczywistym kształtem istniejącej osi toru jest li tylko przybliżeniem [7].

Jak widać, projektowanie regulacji osi toru, nawet z wykorzystaniem techniki numerycznej, przy użyciu komputerów wyposażonych w odpowiednie oprogramowanie, opiera się na danych zebranych z terenu za pomocą mało dokładnej metody. Wątpliwości budzi również etap prac kameralnych – przeliczanie strzałek (a w zasadzie sumy kolejnych strzałek) na kąty i na tej podstawie (poprzez określanie różnic wykresu kątów istniejących i wykresu kątów projektowanych) wyznaczanie wartości przesunięć osi toru. Rezultat końcowy tego typu działań możemy traktować jedynie jako przybliżony sposób projektowania osi toru. Nawet próby „wzbogacenia” najczęściej stosowanej meto-

dy regulacji osi toru kolejowego – nazywanej od nazwisk jej twórców metodą Nalenza i Höfera – o pomiar kąta wierzchołkowego zwrotu trasy kolejowej nie przyniosły oczekiwanych efektów.

Wprowadzanie coraz doskonalszych maszyn torowych, w tym przede wszystkim podbijarek automatycznych, wyposażonych w wewnętrzne bazy pomiarowe układu geometrycznego toru [20], spowodowało, że niedokładności projektowe natychmiast ujawniały się w trakcie realizacji procesu regulacji osi toru przy użyciu tego typu maszyn. Wiele łuków kołowych zostało zniekształconych, zwłaszcza w strefie krzywych przejściowych. Na odcinkach teoretycznie prostych, przylegających do tych łuków, pojawiły się krzywizny odwrotne, będące najczęściej wynikiem błędnego określenia wartości rzeczywistego kąta zwrotu trasy na podstawie pomiaru strzałek do wykonania projektu regulacji [8, 9].

Jeśli doda się do tego stosunkowo niski poziom wiedzy pracowników obsługujących podbijarki automatyczne w zakresie kształtowania układów geometrycznych toru, a często także niewystarczające kwalifikacje w tym zakresie pracowników nadzoru i osób wykonujących pomiary przed maszyną w oparciu o sporządzony projekt, to otrzymamy niepokojący obraz sytuacji, zwłaszcza w odniesieniu do kształtowania osi toru w płaszczyźnie poziomej [21].

Jedynie druga spośród wymienionych i stosowana obecnie metoda, nazwana poligonową, bazuje na współrzędnych prostokątnych punktów tworzących osnowę (ciąg poligonowy) i współrzędnych punktów tworzących istniejącą oś toru kolejowego. Odwzorowanie istniejącego kształtu toru oraz projektowanie nowego układu geometrycznego wykonuje się przy użyciu wyspecjalizowanych programów komputerowych, np.

opisanych w [24] i [25]. Przykładowo, w pracy [6], dotyczącej regulacji osi toru, autorzy do opracowania wyników pomiaru stosują jeden z najpopularniejszych programów *Bentley Rail Track*, wchodzący w skład rodziny aplikacji o nazwie *Bentley InRoads Suite V8i* [24].

Wprowadzenie na szerszą skalę metody poligonowej oznaczało w praktyce konieczność wykorzystywania map numerycznych (określających istniejące położenie osi toru w układzie współrzędnych prostokątnych) oraz umożliwiło uzyskanie informacji o faktycznym (tj. rzeczywistym) przebiegu trasy kolejowej. W dalszym ciągu jednak jest to informacja niepełna, gdyż pomiary osi toru (satelitarne w systemie RTK [3]) wykonywane są w punktach toru położonych w znacznej odległości od siebie, najczęściej co kilkadziesiąt metrów. Dlatego też wiedza projektanta o położeniu istniejącej osi toru pomiędzy punktami pomiarowymi pozostaje jedynie domniemaniem, więc położenie to określa on najczęściej stosując interpolację.

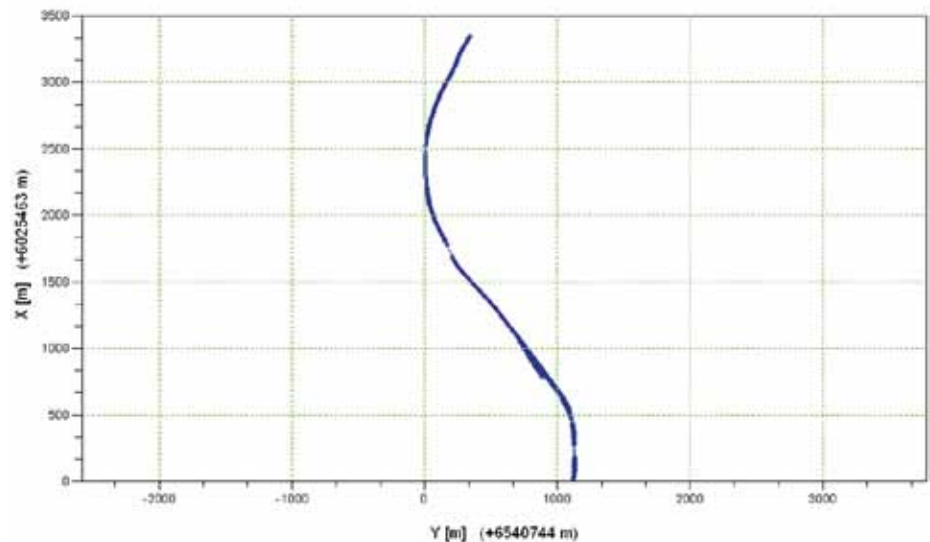
Dla celów związanych z budową nowych torów lub naprawami głównymi, polegającymi na całkowitym usunięciu starej nawierzchni torowej i zastąpieniu jej nową, metoda ta daje dość dobre efekty, zwłaszcza w połączeniu z tyczeniem – w trakcie realizacji projektu – punktów pośrednich metodą tzw. „długich cięciw” (czyli tyczenia osi poprzez odkładanie wyznaczonych wartości strzałek od optycznej cięciwy pomiarowej [4]).

Największe błędy (rozumiane jako ograniczenia w dokładności) nadal występują podczas „zdejmowania” położenia osi istniejącego toru. Szybkie i precyzyjne ustalenie rzeczywistego kształtu osi toru – tak ważne przy pomiarach związanych z bieżącą eksploatacją toru – nie jest możliwe, a wynikiem projektu regulacji w metodzie poligonowej jest określenie wartości i kierunku nasunięcia toru tylko w punktach pomiarowych, czyli w najlepszym razie co kilkanaście metrów. W ramach pomiarów realizacyjnych punkty pośrednie należy wytyczać bezpośrednio przed maszyną regulującą tor. Należy ponadto zauważyć, że wykonywanie pomiarów tą metodą jest pracochłonne, a zatem kosztowne.

Nadal więc otwartym pozostaje pytanie: jak szybko i dokładnie, w odstępach rzędu 0,5÷1,0 m, określić kierunek i wartość nasunięcia osi istniejącego toru tak, aby realizacja tych nasunięć doprowadziła kształt osi toru do kształtu właściwego (tj. poprawnie zaprojektowanego)?

Wiele wskazuje na to, że w najbliższym czasie stanie się możliwa radykalna poprawa sytuacji w omawianej dziedzinie. Zastosowanie na szeroką skalę ciągłych pomiarów satelitarnych [23] sprawi, że stosowane dotąd tradycyjne metody regulacji osi toru stracą rację bytu.

VISUALISATION - LINE no.227 - ANTENA2



5. Trasa linii nr 227 na siatce współrzędnych układu 2000 – pomiar anteną nr 2, przejazd pomiarowy zgodny z kierunkiem kilometrażu (skala nieskażona)

## Przyjęta koncepcja wyjaśnienia problemu

W celu dokonania oceny skuteczności stosowanej metodyki regulacji osi toru postanowiono wykorzystać technikę pomiarów satelitarnych (w wersji mobilnej). Pomiary te miały zweryfikować efekty procesu regulacji osi toru przeprowadzonego przez specjalistyczną firmę geodezyjną z wykorzystaniem metody poligonowej [19].

Jako odcinek testowy wybrano linię kolejową nr 227 Gdańsk Główny – Gdańsk Zaspas Towarowa, przeznaczoną dla ruchu pociągów towarowych z prędkością  $V_{max} = 70$  km/h. Linia ta była zakwalifikowana do naprawy głównej (wymiany nawierzchni). Przewidziano następujące fazy planowanego eksperymentu:

- określenie kształtu istniejącego toru w płaszczyźnie poziomej za pomocą ciągłych pomiarów satelitarnych,
  - wykonanie pomiarów przez specjalistyczną firmę geodezyjną,
  - sporządzenie przez tę firmę projektu regulacji osi toru,
  - przeprowadzenie wymiany nawierzchni z regulacją osi toru w oparciu o sporządzony projekt,
  - ponowne przeprowadzenie ciągłych pomiarów satelitarnych w celu określenia kształtu toru po naprawie głównej.
- Zakładano, że zrealizowane kampanie pomiarów satelitarnych pozwolą na dokonanie analizy porównawczej otrzymanych wyników z opracowanym projektem regulacji osi toru.

Pierwszą serię pomiarów przeprowadzono w kwietniu 2010 roku. Odbyło się to w okresie przygotowań do naprawy głównej toru (wymiany nawierzchni). Zespół pomiarowy złożony z ciągnika WM-15 z dwoma przyczepami PWM-15 zaopatrzonymi

w anteny odbiorcze przebył trasę z Gdańska Głównego do Zaspas Towarowej (o długości ok. 5 km) dwukrotnie. Raz przyczepy były ciągnięte, a w drodze powrotnej – pchane. Dało to możliwość oceny wpływu sposobu prowadzenia zespołu z antenami satelitarnymi na wyniki pomiarów.

W kolejnej fazie działań specjalistyczna firma geodezyjna sporządziła dla potrzeb tej naprawy dokumentację techniczną, obejmującą między innymi określenie położenia istniejącej osi toru, a także projekt nowej osi. Ponadto, wykorzystując konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej ustawione wzdłuż toru, założono osnowę geodezyjną, a współrzędne osadzonych znaków określono wykorzystując stacjonarne techniki satelitarne RTK [3].

Po przeprowadzeniu naprawy głównej tor został wyregulowany w oparciu o sporządzony projekt, a układ geometryczny sprawdzony w terenie przy pomocy tradycyjnych metod pomiarowych.

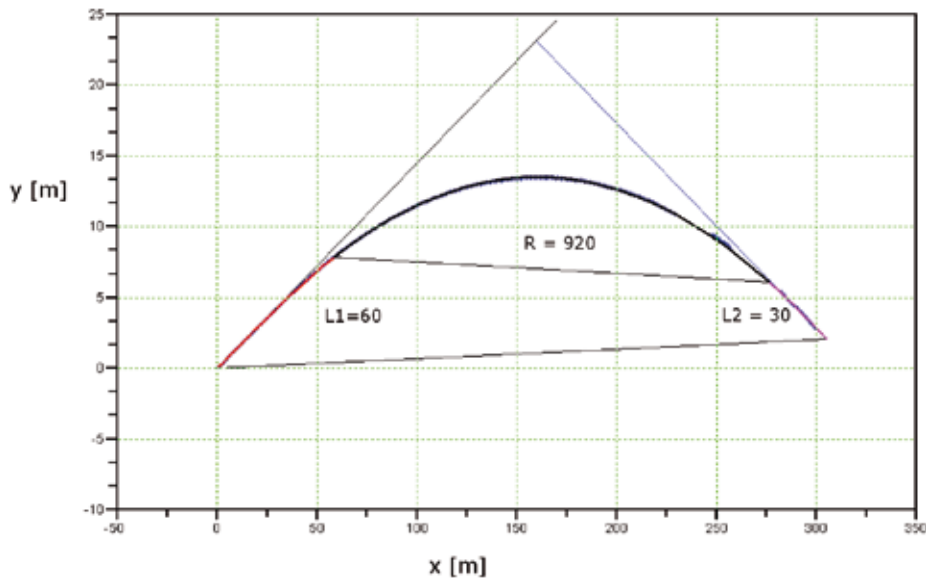
W listopadzie 2010 roku zestaw pomiarowy, zaaranżowany identycznie jak podczas pomiarów wiosennych, przejechał ponownie odcinek badanej linii.

## Metodyka prowadzenia analizy wyników

Objęty działaniami badawczymi odcinek toru miał bardzo skomplikowany i trudny do analizy układ geometryczny. Zgodnie z projektem regulacji osi toru w układzie tym występowały:

- jeden regularny łuk kołowy o promieniu  $R = 330$  m z dwiema krzywymi przejściowymi,
- łuk koszowy złożony z dwóch łuków kołowych  $R = 325/665$  m z trzema krzywymi przejściowymi,
- trzy łuki kołowe odwrotne o promieniach  $R = 3000/3250/850$  m z sześcioma krzywymi przejściowymi,

## MEASURED TRACK AND DESIGN



6. Identyfikacja połączenia dwóch kierunków głównych trasy (w skali skażonej) łukiem kołowym o promieniu  $R = 920$  m oraz dwiema krzywymi przejściowymi o długościach  $l_1 = 60$  m i  $l_2 = 30$  m

- łuk koszykowy złożony z sześciu łuków kołowych  $R = 900/935/5000/1045/1665/1000$  m z siedzioma krzywymi przejściowymi, poprzedzony łukiem kołowym odwrotnym o promieniu  $R = 880$  m z dwiema krzywymi przejściowymi.

Dookreśleniastanuistniejącego wykorzystano pierwszą serię pomiarów satelitarnych. Na jej podstawie, za pomocą programu TRACK\_VIS

[14], możliwe stało się przedstawienie przebiegu całej analizowanej trasy (rys. 5).

Odcinki proste trasy oceniano wykorzystując program TRACK\_STRAIGHT [12]. Podstawowe zadanie, jakim była ocena odcinków trasy położonych w łuku, wykonywano za pomocą programu TRACK\_DESIGN [13], przeznaczonemu zasadniczo do projektowania. Pozwalał on jednak na identyfi-

kowanie zbioru pomierzonych punktów trasy poprzez wpisywanie łuku kołowego o odpowiednim promieniu oraz dwóch krzywych przejściowych. Stosowana metodyka projektowania została szczegółowo opisana w pracy [11].

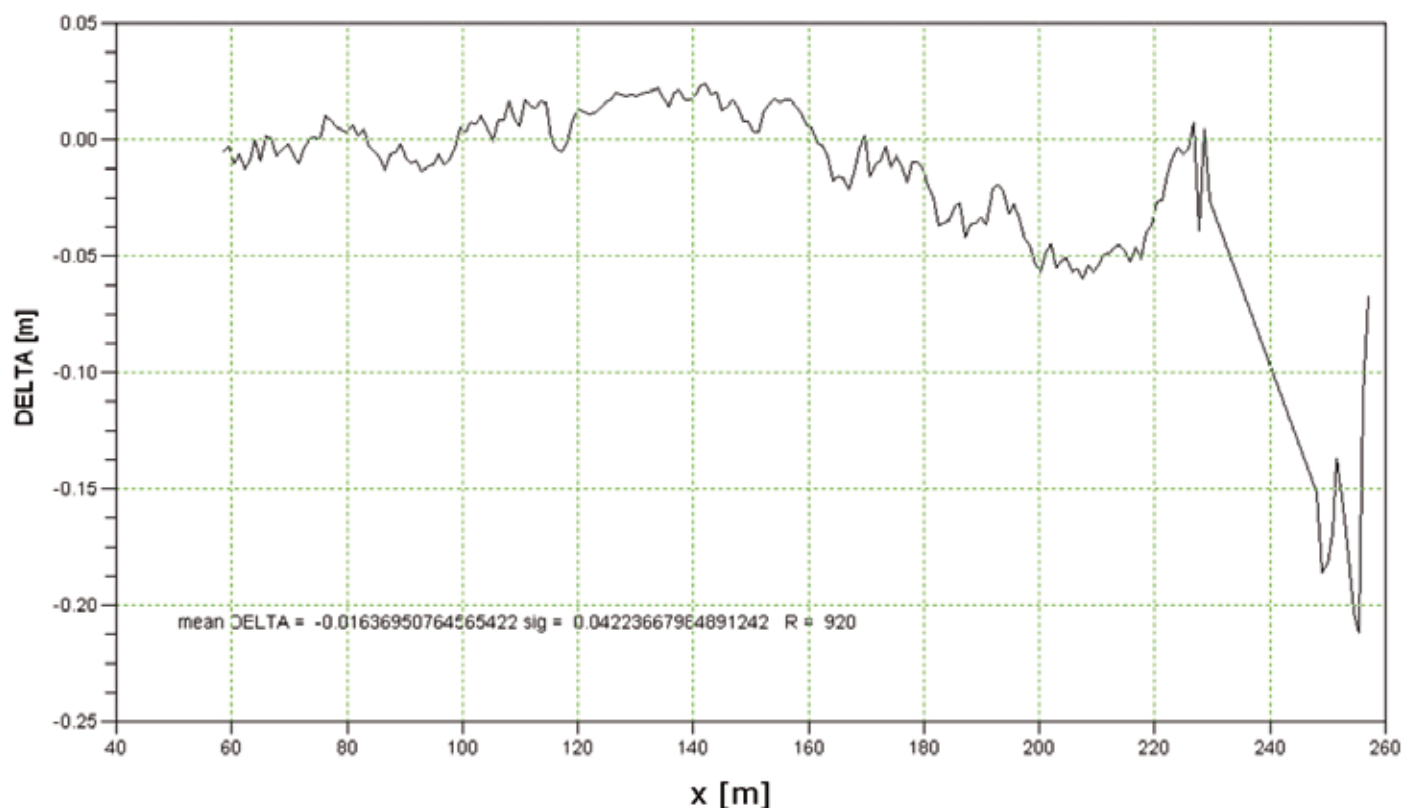
Na rysunku 6 pokazano rozwiązanie uzyskane po przyjęciu promienia  $R = 920$  m i dwóch krzywych w postaci klotoidy o długościach  $l_1 = 60$  m i  $l_2 = 30$  m. Dla podniesienia czytelności układu początki i końce obydwu krzywych przejściowych połączono ze sobą liniami prostymi.

Wartości różnic rzędnych nowo zaprojektowanych i istniejących w zakresie odciętych  $x$  (opisujących zaprojektowany łuk kołowy) użytkownik ocenia na wykresie towarzyszącym aktualnemu wariantowi. Wykres różnic odpowiadający wariantowi przedstawionemu na rysunku 6 pokazano na rysunku 7.

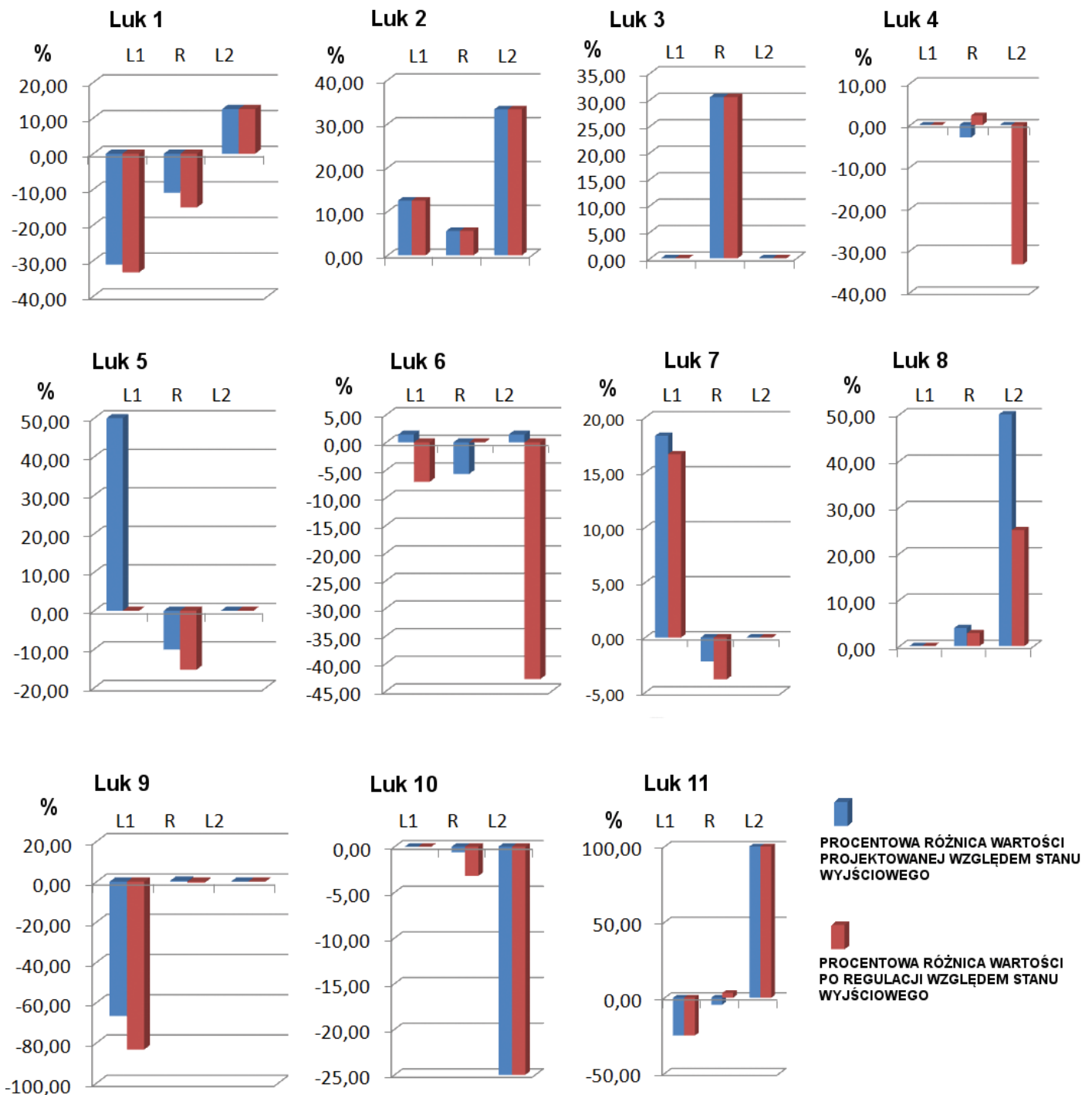
Prezentowane różnice  $\Delta y$  – pomimo tego, że nie odpowiadają ściśle wartościom potencjalnych przesunięć poprzecznych toru określanych na potrzeby etapu wykonawczego – stanowią pomocny wskaźnik przy podejmowaniu decyzji odnośnie danego wariantu podczas projektowania.

Określenie stanu wyjściowego umożliwiło wyciągnięcie wniosków na temat projektu regulacji osi toru (opracowanego w sposób tradycyjny). Druga seria pomiarów satelitarnych pozwoliła natomiast ocenić uzyskane efekty realizacyjne.

## Difference MEASURED-DESIGN



7. Różnice pomiędzy rzędniemi projektowymi i istniejącymi i istniejącymi (w skali skażonej) odpowiadające wariantowi z rysunku 6



8. Procentowe różnice w założeniach projektowych oraz rezultatów regulacji w odniesieniu do stanu wyjściowego; parametry  $l_1$ ,  $l_2$  i  $R$  oznaczają odpowiednio długości krzywych przejściowych 1 i 2 oraz promień łuku kołowego

## Ocena projektu regulacji osi toru i efektów realizacyjnych

Na rysunku 8 przedstawiono wykresy obrazujące procentowe różnice parametrów geometrycznych (długości krzywych przejściowych  $l_1$  i  $l_2$  oraz promień łuku kołowego  $R$ ) w odniesieniu do stanu istniejącego.

Obydwa słupki poszczególnych wykresów reprezentują odpowiednio: niebieski – różnicę procentową wartości projektowej w odniesieniu do stanu wyjściowego, czerwony – różnicę procentową wartości para-

metru po regulacji w odniesieniu do stanu pierwotnego. Wartości ujemne oznaczają zmniejszenie wartości parametru względem stanu wyjściowego, dodatnie zaś świadczą o wzroście tychże wartości. Różnica w wysokości słupków wykresów dotyczących poszczególnych parametrów uwidacznia efektywność realizacji założeń projektowych.

Rozpatrując różnice procentowe pokazane na rysunku 8, trudno byłoby wskazać wyraźne korzyści wynikające z zaprojektowanego układu geometrycznego w stosunku do stanu wyjściowego; dotyczy to rów-

niez efektu końcowego procesu regulacji osi toru. Porównując dane projektowe ze stanem wyjściowym w większości przypadków można zaobserwować niekorzystne zmiany parametrów geometrycznych (skrócenie krzywych przejściowych, zmniejszenie promieni łuków kołowych) lub zmiany mało istotne.

Wykonany przy zastosowaniu tradycyjnej procedury projekt w zasadzie nie wnosi nic nowego, dostosowując się całkowicie do stanu istniejącego. Ograniczono się jedynie do niewielkiego zmniejszenia (wystę-

pującego najczęściej) lub zwiększenia promienia łuku kołowego i ewentualnego nieznacznego wydłużenia krzywych przejściowych. Długości krzywych przejściowych nie wszędzie są zresztą powiązane z wielkością promienia łuku kołowego.

Dysponując danymi z ciągłych pomiarów satelitarnych można rozwiązać problem w zupełnie inny sposób. Przykłady takiego właśnie postępowania zostały przedstawione w pracach [10] i [11]. Stosowanie metod analitycznych umożliwiłoby racjonalne ustalenie nowych parametrów geometrycznych.

Z rysunku 8 wynika również, że po realizacji zgodność z projektem zachowuje jedynie część spośród analizowanych przypadków. W większości regulowanych układów geometrycznych zarówno promienie łuków kołowych, jak też długości krzywych przejściowych różnią się od wartości projektowych. Nie są to jednak różnice zbyt duże i dlatego, w związku z przyjętą przez zespół geodezyjny koncepcją projektowania, ukształtowanie poziome toru po przeprowadzonej regulacji jego osi niewiele się różni od sytuacji wyjściowej.

## Podsumowanie

Już pierwsze mobilne pomiary satelitarne toru kolejowego, przeprowadzone na początku 2009 roku przez interdyscyplinarny zespół naukowy Politechniki Gdańskiej i Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni, wykazały niezadawalający stan w zakresie ukształtowania geometrycznego torów w płaszczyźnie poziomej. Jako podstawową przyczynę takiej sytuacji wskazano niską efektywność stosowanych metod regulacji osi toru. Teza ta znalazła pełne potwierdzenie w trakcie badań będących przedmiotem niniejszej pracy.

Podstawowym problemem stosowanej metodyki regulacji osi toru jest występująca w niej niejednoznaczność określenia istniejącego położenia toru. Nie poprawiło sytuacji odejście od wykorzystywania wykresu strzałek, zaś w metodzie poligonowej pomiary satelitarne w systemie RTK, wykonywane w punktach toru położonych w znacznej odległości od siebie, nie dają pełnej informacji o faktycznym przebiegu trasy kolejowej.

Przedstawiona w pracy ocena skuteczności procesu regulacji osi toru na wybranej linii kolejowej była możliwa dzięki znajomości stanu wyjściowego, określonego na drodze ciągłych pomiarów satelitarnych. Brak takich pomiarów praktycznie uniemożliwiłby jakąkolwiek formę oceny. Pomiary przeprowadzone po wykonanej regulacji osi toru jedynie potwierdziły niewielką efektywność całego procesu.

Negatywna ocena skuteczności stosowanej dotąd metodyki regulacji osi toru powo-

duje konieczność opracowania w najbliższym czasie nowej, efektywnej metody wykonywania projektu regulacji, dostosowanej do techniki ciągłych (mobilnych) pomiarów satelitarnych. Pomiary satelitarne muszą również znaleźć zastosowanie na etapie wykonawstwa, podczas wyznaczania nowej osi toru w terenie. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Bałuch H.: Diagnostyka nawierzchni kolejowej. WKŁ, Warszawa 1978.
- [2] Bałuch H.: Trwałość i niezawodność eksploatacyjna nawierzchni kolejowej. WKŁ, Warszawa 1980
- [3] Gocał J., Strach M.: RTK w zastosowaniach inżynierskich – odbiorniki GPS na torach. Geodeta – Magazyn Geoinformacyjny 2004, nr 5
- [4] Gogoliński W., Jamka M., Zielina L.: Miernictwo kolejowe t. 2. WKŁ, Warszawa 1992
- [5] Grzejka P.: Ocena efektów regulacji geometrycznej osi toru. Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Gdańska 2012.
- [6] Jamka M., Lisowski S., Strach M.: Zastosowanie współczesnych technologii geodezyjnych w określaniu geometrii toru w aspekcie dopuszczalnych prędkości pociągów. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP Oddział w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne, nr 91, zeszyt 149, Kraków 2009
- [7] Jasiński T.: Tablice pomocnicze do tyczenia rozjazdów, poszerzeń międzytorzy i łuków. WKŁ, Warszawa 1969
- [8] Koc W.: Analiza błędów ukształtowania poziomego krzywych przejściowych na PKP. Drogi Kolejowe 1989, nr 10
- [9] Koc W.: Eksperymentalne realizacje krzywych przejściowych z nieliniowymi rampami przechyłkowymi na PKP. Drogi Kolejowe 1988, nr 8
- [10] Koc W.: Metoda projektowania rejonu zmiany kierunku trasy kolejowej. Problemy Kolejnictwa 2011, zeszyt 152
- [11] Koc W.: Projektowanie rejonu zmiany kierunku trasy kolejowej w zapisie matematycznym. Przegląd Komunikacyjny 2012, nr 7-8
- [12] Koc W., Chrostowski P.: Ocena odcinków prostych trasy kolejowej na podstawie pomiarów satelitarnych. Przegląd Komunikacyjny 2011, nr 9-10
- [13] Koc W., Chrostowski P.: Program komputerowy do projektowania zmiany kierunku trasy kolejowej. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne, nr 3 (zeszyt 99), Kraków 2012
- [14] Koc W., Chrostowski P.: Wizualizacja przebiegu trasy kolejowej na podstawie pomiarów satelitarnych. IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szynowym INFRASZYN 2011”, Zakopane 2011
- [15] Koc W., Lewiński L.: Metodyka regulacji osi toru – stan obecny i perspektywy. III Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szynowym INFRASZYN 2010”, Zakopane, 2010
- [16] Koc W., Specht C.: Wyniki pomiarów satelitarnych toru kolejowego. Technika Transportu Szynowego 2009, nr 7-8
- [17] Koc W., Specht C., Jurkowska A., Chrostowski P., Nowak A., Lewiński L., Bornoński M.: Określanie przebiegu trasy kolejowej na drodze pomiarów satelitarnych. II Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szynowym INFRASZYN 2009”, Zakopane, 2009
- [18] Koc W., Specht C., Lewiński L., Chrostowski P.: Regulacja osi toru w warunkach pomiarów satelitarnych (program badań). Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne, nr 95 (zeszyt 154), Kraków 2010
- [19] Koc W., Specht C., Lewiński L., Chrostowski P., Grzejka P.: Ocena efektów regulacji osi toru na wybranej linii kolejowej. Transportu Szynowego 2013, nr 2-3
- [20] Koktysz B.: Podbijarki torowe. WKŁ, Warszawa 1976
- [21] Lewiński L.: O podbijaniu torów. Uwagi i spostrzeżenia dotyczące podbijarek automatycznych. X Konferencja Naukowo-Techniczna „Drogi Kolejowe '99”, Spała 1999
- [22] Rzepka W.: Miernictwo w zakresie kolejowej służby drogowej. Wydawnictwa Komunikacyjne, Warszawa 1953
- [23] Specht C.: System GPS. Wydawnictwo BERNARDINUM, Pełplin, 2007
- [24] www.bentley.com, 31.05.2013
- [25] www.technet-gmbh.com, 31.05.2013