

UNIwersalny PROGRAM KOMPUTEROWY DO PROJEKTOWANIA ZMIANY KIERUNKU TRASY¹

Władysław Koc

prof. dr hab. inż., Politechnika Gdańska, 80-233
Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12, tel. +48 58 347 1026,
e-mail: kocwl@pg.gda.pl

Piotr Chrostowski

dr inż., Politechnika Gdańska, 80-233 Gdańsk, ul. Na-
rutowicza 11/12, tel. +48 58 348 6090, e-mail: piotr-
chrost@gmail.com

Streszczenie. *W pracy przedstawiono kolejny program komputerowy stanowiący implementację algorytmu obliczeniowego dotyczącego projektowania zmiany kierunku trasy kolejowej, dostosowanego do techniki ciągłych pomiarów satelitarnych. Program ten ma charakter uniwersalny, gdyż w ogólnym przypadku obejmuje wprowadzenie do układu geometrycznego dwóch łuków kołowych o różnym promieniu, czyli zastosowanie łuku koszowego. Może się to okazać szczególnie przydatne podczas projektowania regulacji osi istniejącego toru, kiedy określenie obu kierunków głównych trasy okazuje się niemożliwe. Rozwiązanie problemu projektowego wykorzystuje zapis matematyczny i polega na wyznaczeniu uniwersalnych równań opisujących całość układu geometrycznego. Odbywa się to sekwencyjnie, obejmując kolejne fragmenty tegoż układu. Opisano podstawowe funkcje i działanie opracowanego programu komputerowego. Zastosowana w programie analityczna metoda projektowania umożliwia generowanie kolejnych wariantów w sposób natychmiastowy, bez jakichkolwiek ograniczeń. Program zawiera narzędzia ułatwiające ocenę praktycznej przydatności poszczególnych rozwiązań geometrycznych. Pokazano również ciąg uzyskanych przykładowych rozwiązań.*

Słowa kluczowe: *tor kolejowy, układ geometryczny, projektowanie, wspomaganie komputerowe*

1. Wstęp

Uruchomienie w naszym kraju (w połowie 2008 roku) Aktywnej Sieci Geodezyjnej ASG-EUPOS [1], a następnie rozwinięta przez zespół naukowy Politechniki Gdańskiej i Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni technika ciągłych pomiarów satelitarnych toru kolejowego [10], stanowiły inspirację do podjęcia działań nad opracowaniem nowych metod projektowania. Pierwsza procedura, dotycząca projektowania rejonu zmiany kierunku trasy kolejowej, została zaprezentowana w 2010 roku na IX Konferencji Naukowo-Technicznej „Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Kolejnictwie” w Kościelisku [5]. Kolejne, rozszerzone wersje tegoż opracowania przedstawiono w pracach [2, 3, 4]. W referacie zaprezentowanym na XI Konferencji w Kościelisku [6] nadano omawianej koncepcji charakter aplikacyjny w postaci odpowiedniego programu komputerowego. Program ten dotyczył

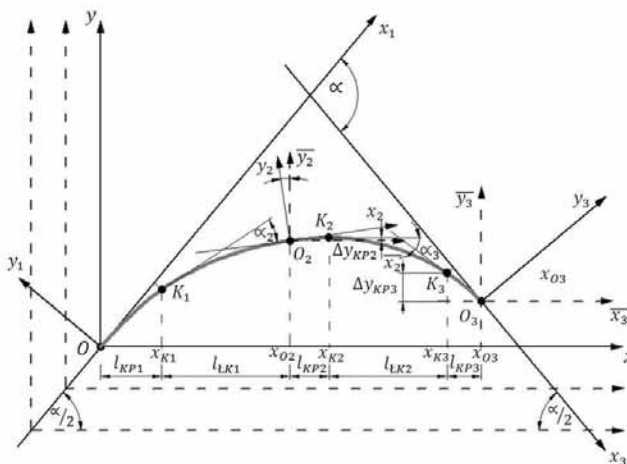
¹ Wkład autorów w publikację: Koc W. – 50%, Chrostowski P. – 50%.

przypadku elementarnego, tj. połączenia kierunków głównych trasy w sposób symetryczny, za pomocą łuku kołowego i dwóch takich samych krzywych przejściowych.

W przypadku rejonu zmiany kierunku trasy projektowanie będzie najczęściej polegało na takim skorygowaniu promienia łuku kołowego oraz rodzaju i długości krzywych przejściowych, aby nowy układ geometryczny był jak najkorzystniejszy z punktu widzenia kinematyki ruchu pojazdów szynowych, a jednocześnie jego położenie w płaszczyźnie poziomej nie odbiegało zbyt od położenia istniejącego. Jak wykazały przeprowadzone dotąd pomiary satelitarne, bardzo często podczas projektowania nie można zastosować modelowego układu: krzywa przejściowa – łuk kołowy – krzywa przejściowa, gdyż kształt eksploatowanych torów kolejowych jest tak zdeformowany, że określenie kierunków głównych okazuje się niemożliwe. Efektywnym rozwiązaniem staje się wówczas wprowadzenie do układu geometrycznego dwóch łuków kołowych o różnym promieniu, czyli zastosowanie łuku koszowego [4]. Mamy więc tutaj do czynienia z uogólnieniem przypadku zarówno symetrycznego [2, 5], jak też niesymetrycznego [3] sposobu rozwiązania problemu; łuk koszowy można bowiem łatwo sprowadzić do jednego łuku kołowego o ustalonym promieniu.

2. Algorytm obliczeniowy

Sposób określenia podstawowych danych do projektowania został przedstawiony w pracach [2, 3, 5]. Aby można było wykorzystywać uzyskane dane pomiarowe do zaprojektowania rejonu zmiany kierunku trasy, należy interesujący nas jej fragment wyodrębnić z całości układu geometrycznego oraz dokonać odpowiedniej transformacji (przesunięcia i obrotu) układu współrzędnych [9]. Początek tego układu znajduje się na jednym z kierunków głównych (na *Prostej 1*). Do lokalnego układu współrzędnych możemy przenieść – w celu porównania rzędnych – określone na drodze pomiarów satelitarnych współrzędne istniejącej trasy.



Rys. 1. Rozpatrywany układ geometryczny w lokalnym układzie współrzędnych {4}

Projektowanie nowego układu geometrycznego odbywa się w lokalnym układzie współrzędnych x, y (rys. 1) i polega na wyznaczeniu uniwersalnych równań opisujących całość układu geometrycznego. Tworzenie kolejnych wariantów przebiegu trasy odbywa się zatem nie za pomocą techniki graficznej (np. z wykorzystaniem programu Autocad), lecz poprzez wprowadzanie do odpowiednich formuł matematycznych kolejnych wartości projektowych (promieni łuków i długości krzywych przejściowych).

Tworzenie zapisu analitycznego odbywa się sekwencyjnie, obejmując kolejne fragmenty układu geometrycznego trasy: pierwszą krzywą przejściową ($KP1$), pierwszy łuk kołowy (ŁK1), drugą krzywą przejściową ($KP2$), drugi łuk kołowy (ŁK2) oraz trzecią krzywą przejściową ($KP3$). Podstawową przyjętą zasadę stanowi zachowanie zgodności stycznych w miejscach połączeń poszczególnych elementów geometrycznych.

Rozpoczynamy procedurę od określenia rzędnych krzywej przejściowej $KP1$ o długości l_1 , łączącej prostą z łukiem kołowym ŁK1 o promieniu R_1 , zlokalizowanej w pomocniczym układzie współrzędnych (rys. 1). Równanie tej krzywej jest zapisane w postaci parametrycznej $x_1(l)$ i $y_1(l)$ (gdzie parametrem l jest położenie danego punktu na długości krzywej).

Kolejnym etapem działań jest transformacja krzywej przejściowej $KP1$ do przyjętego lokalnego układu współrzędnych, poprzez dokonanie obrotu jej układu odniesienia o kąt $\alpha/2$. W wyniku tej operacji otrzymujemy równania parametryczne $x(l)$ i $y(l)$ krzywej przejściowej w lokalnym układzie współrzędnych.

Łuk kołowy ŁK1 o zadanej długości l_{R1} musi być styczny do krzywej przejściowej $KP1$ na jej końcu, tj. w punkcie K_1 , a na prostej prostopadłej do stycznej, poprowadzonej w punkcie K_1 , leżeć będzie promień łuku kołowego R_1 . Łuk ten jest opisywany funkcją jawną $y(x)$.

Krzywa przejściowa $KP2$ o długości l_2 łączy ze sobą łuki kołowe o promieniach R_1 i R_2 ; jest zlokalizowana w pomocniczym układzie współrzędnych $O_2x_2y_2$ (rys. 1). Sposób wyznaczania krzywizny $k_2(l)$ oraz równań parametrycznych tej krzywej $x_2(l)$ i $y_2(l)$, gdzie $l \in \langle 0, l_2 \rangle$, został przedstawiony w pracy [9]. Transformacja $KP2$ do lokalnego układu współrzędnych x, y odbywa się poprzez pomocniczy układ współrzędnych \bar{x}_2, \bar{y}_2 (rys. 1). W lokalnym układzie współrzędnych krzywa jest opisywana równaniami parametrycznymi $x(l)$ i $y(l)$.

Łuk kołowy ŁK2 musi być styczny do krzywej przejściowej $KP2$ na jej końcu, tj. w punkcie K_2 , a na prostej prostopadłej do stycznej, poprowadzonej w punkcie K_2 , leżeć będzie promień łuku kołowego R_2 . Łuk ŁK2 opisuje funkcja $y(x)$.

Krzywa przejściowa $KP3$ ma długość l_3 i jest zlokalizowana w pomocniczym układzie współrzędnych $O_3x_3y_3$ (rys. 1). Po określeniu jej równań parametrycznych $x_3(l)$ i $y_3(l)$ dokonuje się transformacji $KP3$ do lokalnego układu współrzędnych x, y poprzez pomocniczy układ współrzędnych \bar{x}_3, \bar{y}_3 (rys. 1). W lokalnym układzie współrzędnych krzywą opisują równania parametryczne $x(l)$ i $y(l)$.

3. Program komputerowy

3.1. Charakterystyka ogólna

Wykorzystując przedstawiony w punkcie 2 algorytm obliczeniowy, obejmujący nowy sposób projektowania przebiegu trasy w płaszczyźnie poziomej, stworzono odpowiedni program komputerowy, stwarzający możliwości do:

- szybkiego zaprojektowania poprawnego układu geometrycznego łączącego dwa kierunki główne za pomocą dwóch łuków kołowych z krzywymi przejściowymi,
- szybkiej oceny wygenerowanego układu geometrycznego, szczególnie w przypadku, gdy projekt dotyczy modernizacji istniejącej linii,
- tworzenia dowolnej liczby wariantów, stosując różne rodzaje krzywych przejściowych, a także poprzez zmianę wartości promieni łuków kołowych,
- wygenerowania tablicy zawierającej współrzędne w układzie 2000 punktów (z określonym krokiem wzdłuż osi toru), niezbędnych do wytyczenia zaprojektowanego przebiegu trasy w terenie.

Omawiany program ma charakter uniwersalny, gdyż pozwala również na zaprojektowanie modelowego rozwiązania geometrycznego: krzywa przejściowa – łuk kołowy – krzywa przejściowa. Na zakończenie, gdy użytkownik zakończył proces generowania wariantów przebiegu trasy, program dostarcza tablicę współrzędnych punktów rozmieszczonych wzdłuż zaprojektowanego układu geometrycznego. Punkty te stanowią opis projektowanej trasy w państwowym układzie odniesień przestrzennych 2000. Dodatkowo istnieje możliwość wydrukowania raportu zawierającego analityczny zapis przyjętego rozwiązania w lokalnym układzie współrzędnych x, y (podobnie jak pokazano w pracy [6]. Zawarte w raporcie dane pozwalają odtworzyć w dowolnym czasie wartości współrzędnych zaprojektowanej trasy w układzie 2000.

Algorytm obliczeniowy został zaimplementowany w środowisku SciLab [11]. Pozwala on użytkownikowi zaprojektować zarówno nowy (tj. niezwiązany z żadnym istniejącym układem geometrycznym) wariant, jak również wariant modernizacji istniejącego szlaku na podstawie danych pomiarowych odnoszących się do konkretnego toru kolejowego. W niniejszej pracy zostanie zobrazowany sposób odtworzenia istniejącej osi toru, przy założeniu minimalizacji różnic pomiędzy rzędnymi pomierzonymi i zaprojektowanymi.

Cały tok postępowania można podzielić na fazę przygotowawczą oraz stricte projektową. Pierwsza z nich polega na przygotowaniu niezbędnych danych do zaprojektowania nowego wariantu przebiegu trasy. Dane te stanowią tablicę punktów pomiarowych, obejmującą swoim zakresem interesujący nas rejon trasy. Wybór tego rejonu wykonuje się w module programu SATTRACK [7], który służy do wizualizacji i oceny przebiegu trasy kolejowej na podstawie ciągłych pomiarów satelitarnych. Faza projektowa polega na generowaniu kolejnych wariantów przebiegu trasy i jest w dużym stopniu zautomatyzowana, przez co rola projektanta polega głównie na podejmowaniu krytycznych decyzji. Wspomaganie kompute-

rowe przenosi zatem wysiłek związany z czynnościami obliczeniowymi oraz prezentacyjnymi na proces decyzyjny.

3.2. Określenie kierunków głównych trasy {6}

Użytkownik wczytuje do programu tablicę zawierającą współrzędne punktów w układzie 2000. Tablica ta utworzona została w fazie poprzedzającej projektowanie [7]. Jeśli zakładamy, że poligon trasy zostaje zachowany, wówczas kierunki główne identyfikuje się poprzez szybką analizę punktów obejmujących swoim zasięgiem fragmenty odcinków prostych trasy. Program prowadzi użytkownika przez etapy, w których wyodrębnia on z całego zakresu punktów obszary prostoliniowe po obu stronach łuku. Czynności te wykonuje się, bazując na informacjach w postaci wyświetlających się wykresów. Użytkownik widzi wówczas w skali skazonej przebieg trasy w układzie, którego oś pozioma pokrywa się z wyznaczoną ze wskazanego zakresu punktów prostą najmniejszych kwadratów. W zależności od rozpatrywanego kierunku głównego jest to *Prosta 1* lub *Prosta 2*. Rzędne wykresu stanowią miarę odchylenia punktów pomierzonej trasy od wyznaczanego analitycznie kierunku prostej.

Użytkownik ma możliwość zaznaczenia nowego zakresu punktów, przez co odrzucone zostają te punkty, które wyraźnie odstają od liniowego trendu – wybrany nowy zakres zostaje wówczas podświetlony. W czasie tych operacji istnieje możliwość śledzenia na ekranie wartości współczynników A i B prostej w układzie 2000 oraz wskaźnika dopasowania prostej dla konfiguracji aktualnej (R^2) oraz po zaproponowaniu nowego zakresu punktów (next R^2). Operacje te mogą być wykonywane tak długo, aż użytkownik zadecyduje o ostatecznej postaci prostej opisującej wybrany kierunek główny trasy. W prezentowanej implementacji bardzo pomocny jest aktywny charakter okien graficznych, pozwalający na powiększanie wybranych zakresów punktów.

3.3. Rozwiązanie zadania projektowego

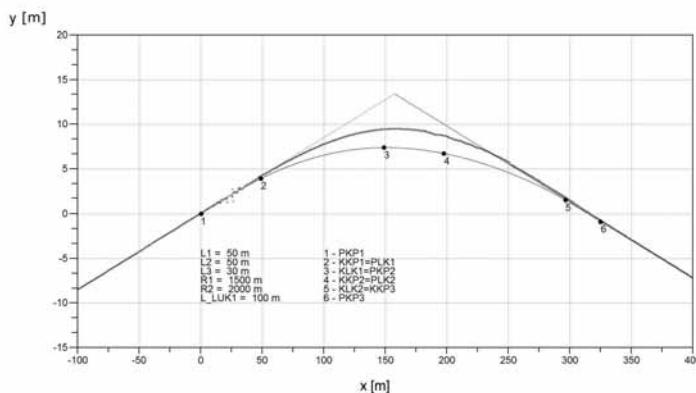
Zasadniczy etap działań polega na wprowadzaniu przez użytkownika kolejnych danych, dla których program komputerowy ma wygenerować wariant przebiegu trasy pomiędzy określonymi wcześniej kierunkami głównymi. Po wprowadzeniu i zatwierdzeniu danych użytkownik widzi na ekranie układ punktów w lokalnym układzie współrzędnych x, y . Na tle punktów pomiarowych wrysowany jest obliczony wariant projektowy z wyróżnionymi zakresami obejmującymi długości łuków kołowych i krzywych przejściowych.

Wprowadzane przez użytkownika dane projektowe są następujące:

- rodzaj pierwszej krzywej przejściowej,
- długość pierwszej krzywej przejściowej l_1 ,
- promień pierwszego łuku kołowego R_1 ,
- długość pierwszego łuku kołowego l_{R1} ,

- rodzaj drugiej krzywej przejściowej,
- długość drugiej krzywej przejściowej l_2 ,
- promień drugiego łuku kołowego R_2 ,
- rodzaj trzeciej krzywej przejściowej,
- długość trzeciej krzywej przejściowej l_3 .

Długości drugiego łuku kołowego l_{R_2} się nie wprowadza; stanowi ona wartość wynikową procesu obliczeniowego. Wylimitowanie drugiej krzywej przejściowej, czyli uzyskanie bezpośredniego połączenia obu łuków kołowych, następuje przez wprowadzenie $l_2 = 0$. Jeśli oprócz tego wpisujemy wartości promieni łuków kołowych $R_1 = R_2$, wówczas otrzymamy modelowe rozwiązanie: krzywa przejściowa – łuk kołowy – krzywa przejściowa.

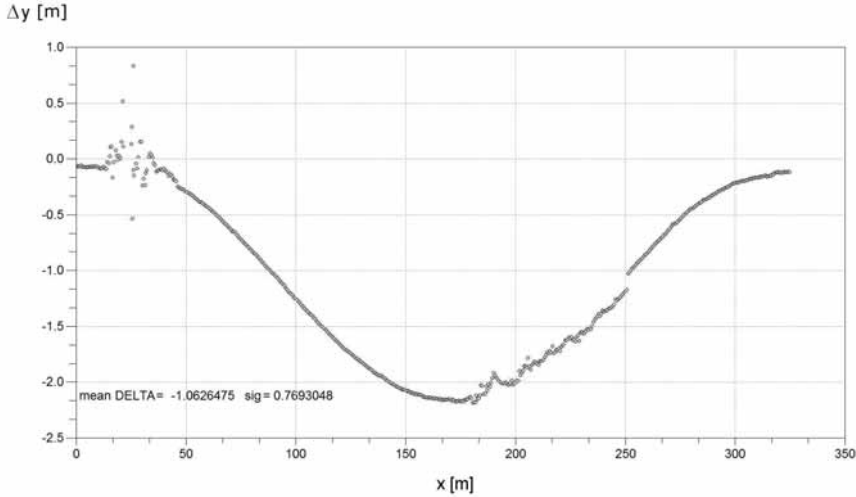


Rys. 2. Wariant połączenia dwóch kierunków głównej trasy dwoma łukami kołowymi o promieniach $R_1 = 1500$ m i $R_2 = 2000$ m oraz trzema krzywymi przejściowymi o długościach $l_1 = 50$ m, $l_2 = 50$ m i $l_3 = 30$ m (w skali skażonej)

Na rysunku 2 pokazano rozwiązanie uzyskane po przyjęciu promieni łuków kołowych $R_1 = 1500$ m i $R_2 = 2000$ m, dwóch skrajnych krzywych przejściowych w postaci klotoidy o długościach $l_1 = 50$ m i $l_3 = 30$ m oraz krzywej łączącej oba łuki kołowe, charakteryzującej się liniową zmianą krzywizny [9], o długości $l_2 = 50$ m. Jak widać, obliczony przez program wariant znajduje się wewnątrz istniejącego łuku, tj. na siatce współrzędnych nowo zaprojektowane rzędne są mniejsze od tych, które reprezentują sytuację istniejącą.

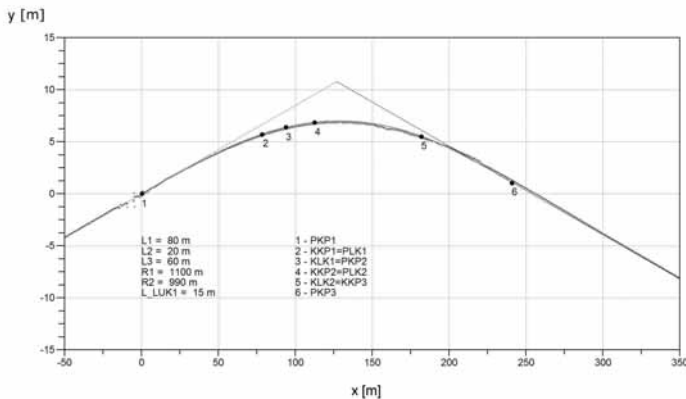
Wartości różnic rzędnych nowo zaprojektowanych i istniejących w zakresie odciętych x (opisujących zaprojektowany łuk kołowy) użytkownik ocenia na wykresie towarzyszącym aktualnemu wariantowi. Wykres różnic odpowiadający wariantowi przedstawionemu na rysunku 2 pokazano na rysunku 3. Prezentowane różnice Δy – 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. W rozpatrywanym przypadku różnice te są znaczne, przekraczające lokalnie wartość 2 m.



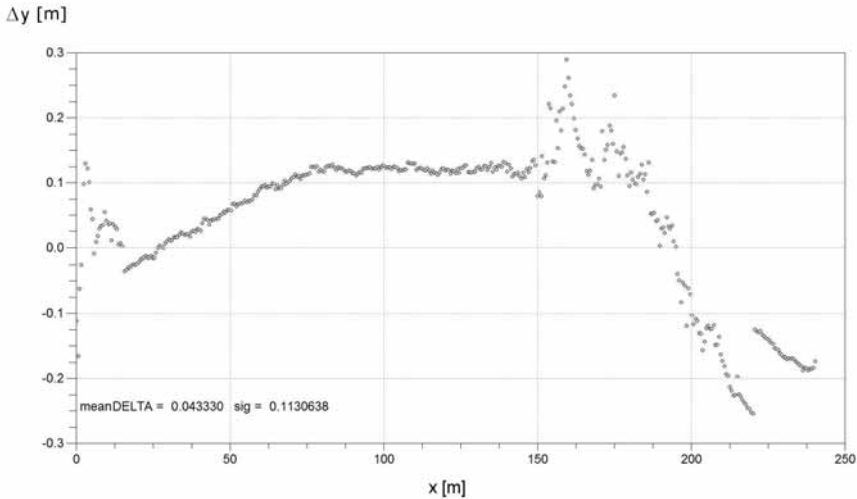
Rys. 3. Różnice pomiędzy rzędnymi projektowymi a istniejącymi (w skali skażonej) odpowiadające wariantowi z rys. 2

Jeśli celem projektanta jest takie zaprojektowanie nowego układu, aby przesunięcia toru były jak najmniejsze (przy jednoczesnym zachowaniu poprawnych wartości parametrów kinematycznych związanych z łukiem kołowym i krzywymi przejściowymi), to może on generować kolejne warianty zmieniając jedynie parametry łuków kołowych i krzywych przejściowych. Na rys. 4 pokazano kolejny uzyskany wariant dla przyjętych promieni łuków kołowych $R_1 = 1100$ m i $R_2 = 990$ m oraz długości krzywych przejściowych (o analogicznej postaci jak poprzednio) $l_1 = 80$ m, $l_2 = 20$ m i $l_3 = 60$ m.



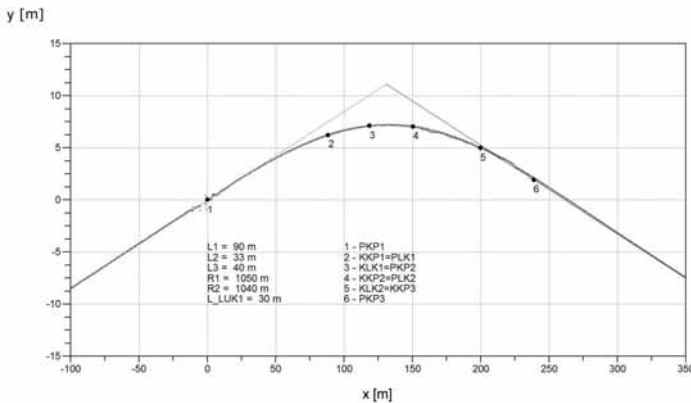
Rys. 4. Wariant połączenia dwóch kierunków głównych trasy dwoma łukami kołowymi o promieniach $R_1 = 1100$ m i $R_2 = 990$ m oraz trzema krzywymi przejściowymi o długościach $l_1 = 80$ m, $l_2 = 20$ m i $l_3 = 60$ m (w skali skażonej)

Wartości różnic pomiędzy rzędnymi projektowymi i istniejącymi przedstawia rys. 5. Tym razem mieszczą się one w przedziale ± 30 cm.



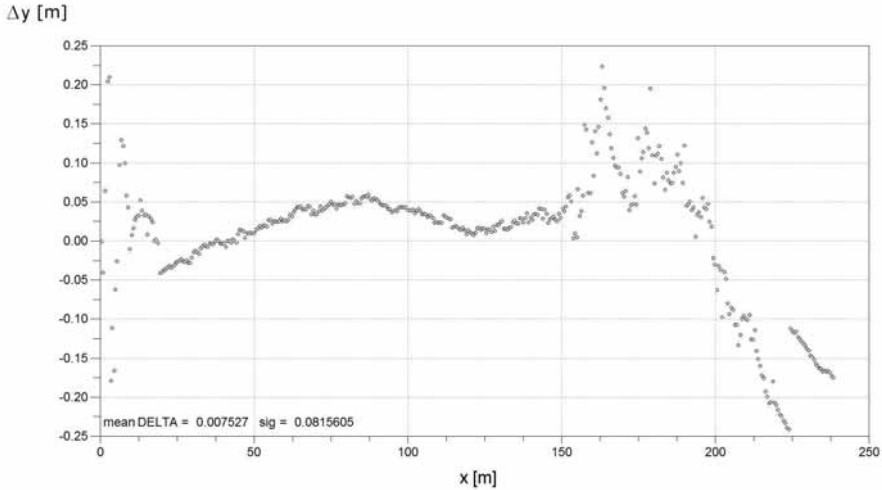
Rys. 5. Różnice pomiędzy rzędnymi projektowymi i istniejącymi (w skali skażonej) odpowiadające wariantowi z rys. 4

Następny wariant uzyskano dla przyjętych promieni łuków kołowych $R_1 = 1050$ m i $R_2 = 1040$ m oraz długości krzywych przejściowych $l_1 = 90$ m, $l_2 = 33$ m i $l_3 = 40$ m. Został on przedstawiony na rys. 6. Wartości różnic pomiędzy rzędnymi projektowymi i istniejącymi pokazano na rys. 7. Poprawa sytuacji, w porównaniu do poprzedniego wariantu, okazała się niewielka.



Rys. 6. Wariant połączenia dwóch kierunków głównych trasy dwoma łukami kołowymi o promieniach $R_1 = 1050$ m i $R_2 = 1040$ m oraz trzema krzywymi przejściowymi o długościach $l_1 = 90$ m, $l_2 = 33$ m i $l_3 = 40$ m (w skali skażonej)

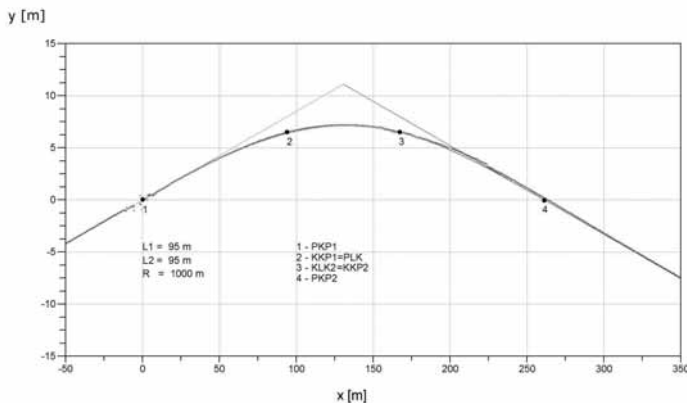
Jeśli uzyskane rozwiązanie jest nadal niesatysfakcjonujące, można dokonywać dalszej zmiany wartości promieni łuków kołowych oraz rodzaju i długości krzywych przejściowych.



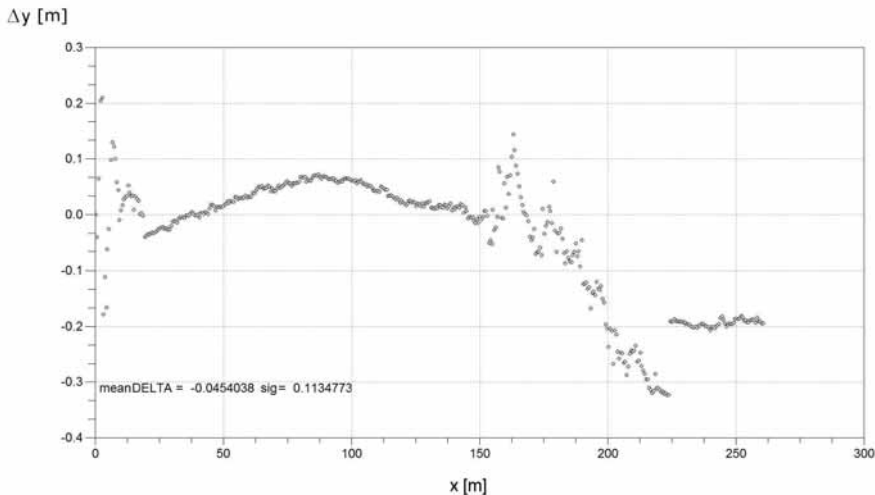
Rys. 7. Różnice pomiędzy rzędnymi projektowymi i istniejącymi (w skali skażonej) odpowiadające wariantowi z rys. 6

Prowadzone dotychczas działania służyły zasadniczo odtworzeniu istniejącego układu geometrycznego poprzez opisanie za pomocą układów elementarnych. W ten sposób można uzyskać rozeznanie w sytuacji i z większą świadomością przystąpić do opracowania projektu modernizacji. Omawiany program komputerowy pozwala na wykonanie takiego projektu, oczywiście już niekoniecznie w formie łuku koszowego, lecz rozwiązania modelowego, za pomocą jednego łuku kołowego i dwóch symetrycznych krzywych przejściowych.

Na rys. 8 pokazano połączenie kierunków głównych trasy łukiem kołowym o promieniu $R = 1000$ m oraz dwiema krzywymi przejściowymi w postaci kłotoidy o długościach $l_1 = l_2 = 95$ m. Wartości różnic pomiędzy rzędnymi projektowymi i istniejącymi przedstawia rys. 9.



Rys. 8. Wariant połączenia dwóch kierunków głównych trasy łukiem kołowym o promieniu $R = 1000$ m oraz dwiema krzywymi przejściowymi o długościach $l_1 = l_2 = 95$ m (w skali skażonej)



Rys. 9. Różnice pomiędzy rzędnymi projektowymi i istniejącymi (w skali skażonej) odpowiadające wariantowi z rys. 8

4. Podsumowanie

- Zastosowanie mobilnych pomiarów satelitarnych, z antenami zainstalowanymi na poruszającym się pojeździe szynowym, umożliwia odtworzenie położenia osi torów w bezwzględnym układzie odniesienia. Stwarza to zupełnie nowe możliwości w zakresie kształtowania geometrycznego torów kolejowych. W zaistniałej sytuacji pojawia się konieczność opracowania nowych metod projektowania, w połączeniu z odpowiednim systemem wspomagania komputerowego.
- Przedstawiony w niniejszej pracy program komputerowy wykorzystuje opracowaną metodę projektowania rejonu zmiany kierunku trasy kolejowej, dostosowaną do techniki ciągłych pomiarów satelitarnych. Metoda ta może się okazać szczególnie przydatna podczas projektowania regulacji osi istniejącego toru, kiedy określenie obu kierunków głównych trasy okazuje się trudne do ustalenia. Jedynym rozwiązaniem staje się wówczas wprowadzenie do układu geometrycznego dwóch łuków kołowych o różnym promieniu, czyli zastosowanie łuku kosowego.
- Przedstawiona w pracy koncepcja sposobu projektowania rejonu zmiany kierunku trasy prowadzi do uzyskania rozwiązania analitycznego, z zastosowaniem odpowiednich formuł matematycznych, a więc najbardziej przyjaznego w praktycznym stosowaniu. Dzięki opracowanemu programowi komputerowemu pojawia się możliwość natychmiastowego generowania zestawu współrzędnych projektowanej trasy, praktycznie w nieograniczonej liczbie wariantów. W takiej sytuacji problemem staje się już tylko kwestia wyboru rozwiązania najkorzystniejszego.

- Przyjęta procedura prowadzi do systematycznego i świadomego projektowania układów geometrycznych toru. Opracowany i zaimplementowany algorytm umożliwia szybkie generowanie poprawnych układów torowych oraz ich ocenę w świetle konkretnych założeń projektowych. Tworząc kolejne warianty projektant monitoruje wpływ zmiany konkretnych parametrów na całościowe umiejscowienie układu względem określonego poligonu kierunków głównych. W połączeniu z analizą parametrów kinematycznych, zaprezentowana metodyka projektowania prowadzi do efektywnego kształtowania układu torowego w płaszczyźnie poziomej.

Literatura

- [1] Bosy J., Graszka W., Leonczyk M., ASG-EUPOS – the Polish contribution to the EUPOS project. Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Berlin, Germany, 11-14 November 2008.
- [2] Koc W., Design of rail-track geometric systems by satellite measurement. *Journal of Transportation Engineering* 2012, Vol. 138, No. 1.
- [3] Koc W., Metoda projektowania rejonu zmiany kierunku trasy kolejowej. *Problemy Kolejnictwa* 2011, zeszyt 152.
- [4] Koc W., Projektowanie łuków koszowych dostosowane do pomiarów satelitarnych. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport*, z. 98, 2013.
- [5] Koc W., Projektowanie układów geometrycznych toru w dostosowaniu do systemu GPS. IX Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Kolejnictwie”, Kościelisko, 1-3 grudnia 2010.
- [6] Koc W., Chrostowski P., Program komputerowy do projektowania zmiany kierunku trasy kolejowej. XI Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Transporcie Szynowym”, Kościelisko, 5-7 grudnia 2012.
- [7] 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, 6-8 kwietnia 2011.
- [8] Koc W., Palikowska K., Analiza sposobów modelowania krzywizny – krzywe Bezier a metoda analityczna. XI Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Transporcie Szynowym”, Kościelisko, 5-7 grudnia 2012.
- [9] Koc W., Specht C., Wyniki pomiarów satelitarnych toru kolejowego. *Technika Transportu Szynowego* 2009, nr 7-8.
- [10] Koc W., Specht C., Jurkowska A., Chrostowski P., Nowak A., Lewiński L., Bornowski M., Określanie przebiegu trasy kolejowej na drodze pomiarów satelitarnych. II Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie,

Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szynowym INFRA-SZYN 2009, Zakopane, 22-24 kwietnia 2009.

- [11] Salmon S., Baudin M., Cornet A.: Particle Swarm Optimization Toolbox v. 0.7-1, <http://forge.scilab.org/index.php/p/pso-toolbox/>