

MOŻLIWOŚCI SATELITARNEJ OCENY POŁOŻENIA GEOMETRYCZNEGO TRAMWAJOWYCH WĘZŁÓW ROZJAZDOWYCH¹

Władysław Koc

Prof. dr hab. inż., Politechnika Gdańska, 80-233
Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12, tel. +48 58 347 10 26,
e-mail: kocwl@pg.gda.pl

Cezary Specht

Prof. dr hab. inż., Politechnika Gdańska, 80-233
Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12, tel. +48 58 347 10 08,
e-mail: c.specht@geodezja.pl

Piotr Chrostowski

Dr inż., Politechnika Gdańska, 80-233 Gdańsk, ul. Na-
rutowicza 11/12, tel. +48 58 348 60 90, e-mail: piotr-
chrost@gmail.com

Jacek Szmagliński

Mgr inż., Politechnika Gdańska, 80-233 Gdańsk, ul.
Narutowicza 11/12, tel. +48 58 348 60 88, e-mail:
jacszmag@pg.gda.pl

***Streszczenie.** W artykule skupiono się na kwestii oceny złożonych układów geometrycznych linii tramwajowych w rejonach krańcówek, ze szczególnym uwzględnieniem węzłów rozjazdowych. Przedstawiono wyniki ciągłych pomiarów satelitarnych przeprowadzonych w eksploatowanym torze. Omówiono metodykę opracowywania wyników, uwzględniającą specyfikę projektowania rozjazdów tramwajowych. Stwierdzono poprawność geometrycznego ukształtowania badanych układów, co może świadczyć o dobrej jakości wykonawstwa. Zwrócono uwagę na wyraźną różnicę w czasochłonności prac inwentaryzacyjnych przy wykorzystaniu pomiarów satelitarnych, względem tradycyjnych metod geodezyjnych.*

***Słowa kluczowe:** tor tramwajowy, pomiary satelitarne, ocena kształtu geometrycznego*

1. Wprowadzenie

Inwestycje usprawniające transport w miastach stały się w Polsce szczególnie potrzebne w latach 90. XX wieku, kiedy otwarcie rynku spowodowało lawinowy napływ tanich, używanych samochodów osobowych oraz wzrost ich dostępności. Miasta zaczęły borykać się z nadmiernym zatłoczeniem i wydłużaniem się czasu podróży, zarówno transportem indywidualnym jak również publicznym. Należy zauważyć, że transport staje się coraz bardziej terenochłonny i uciążliwy, a dalsza rozbudowa układu drogowego nie jest środkiem pozwalającym na trwałe zmniejszenie zatłoczenia, gdyż stymuluje zwiększenie intensywności korzystania z samochodu osobowego [9]. Już w latach 80. postulowano budowę tramwaju szybkiego, bezkolizyjnego lub z priorytetem ruchowym, jako doskonałej alternatywy dla

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Koc W. 25%, Specht C. 25%, Chrostowski P. 25%, Szmagliński P. 25%

transportu indywidualnego. Aby osiągnąć postawiony cel w postaci podniesienia prędkości średniej (handlowej) z około 18 do 25-28 km/h (która to prędkość zbliża się do średniej prędkości komunikacyjnej transportu indywidualnego w centrach miast [8]), należy rozważyć również kwestię podniesienia jakości, zarówno projektowania jak też wykonawstwa tras tramwajowych.

Klasyczne techniki geodezyjne, oparte na pomiarze odległości i kątów, pozwalają na osiągnięcie lokalnie bardzo dużych dokładności. Niewątpliwym postępem, jaki dokonał się w ostatnim okresie, pozwolił na znaczne zautomatyzowanie prac przy użyciu tachimetrów elektronicznych. Jednak w dalszym ciągu pomiar odbywa się w lokalnym układzie współrzędnych, a uzyskane dane są przeliczane następnie do układu globalnego. Przy niewielkim obszarze działań pomiarowych jest to podejście w zupełności wystarczające, pozwalające osiągnąć bardzo dobre wyniki: od $\pm(1 \text{ mm} + 1 \text{ mm/km})$ do $\pm(5 \text{ mm} + 5 \text{ mm/km})$, jednak wraz z powiększaniem rozmiaru inwestycji pojawia się potrzeba podziału trasy na kolejne odcinki, gdyż zasięg pomiaru wykonywanego przy pomocy lustra wynosi od 0,7 do 7 km [7].

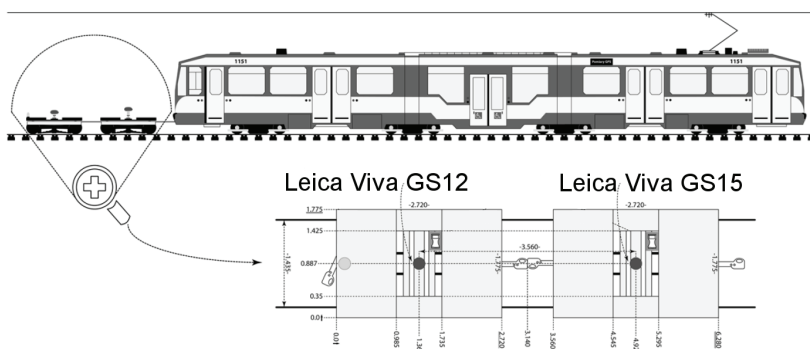
Rozwijająca się dynamicznie alternatywna metoda pomiarów satelitarnych pozwala na całościową ocenę trasy w globalnym układzie odniesienia. Teoretycznie mniej dokładne od klasycznych metod pomiary GNSS, wykonywane w czasie rzeczywistym w układzie globalnym, umożliwiają pomiar z wielokrotnie większymi dokładnościami [1]. Poważnym mankamentem typowych metod RTK (Real Time Kinematic) jest zbliżona do pomiarów klasycznych czasochłonność oraz niewystarczająca dokładność z uwagi na konieczność interpolacji wyników w rejonach pomiędzy stosunkowo rzadko (co kilkadziesiąt metrów) rozmieszczonymi punktami pomiarowymi.

Możliwość uzyskania odpowiedniej efektywności pomiaru daje natomiast opracowana przez zespół naukowy Politechniki Gdańskiej i Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni metoda ciągłych pomiarów satelitarnych GNSS [5, 6]. Od samego początku prowadzenia tych pomiarów stało się jasne, że z praktycznego punktu widzenia zastosowana technika pomiarowa otwiera zupełnie nowe perspektywy. Jak wykazano, jej wykorzystanie umożliwia bardzo precyzyjne określenie danych do projektowania modernizacji linii kolejowej (kierunków głównych i kąta zwrotu trasy, a także wartości promieni łuków kołowych i długości krzywych przejściowych). Znajomość współrzędnych istniejącej trasy pozwoliła opracować nowe metody projektowania, dostosowane do pomiarów satelitarnych.

2. Pomiary inwentaryzacyjne torów tramwajowych

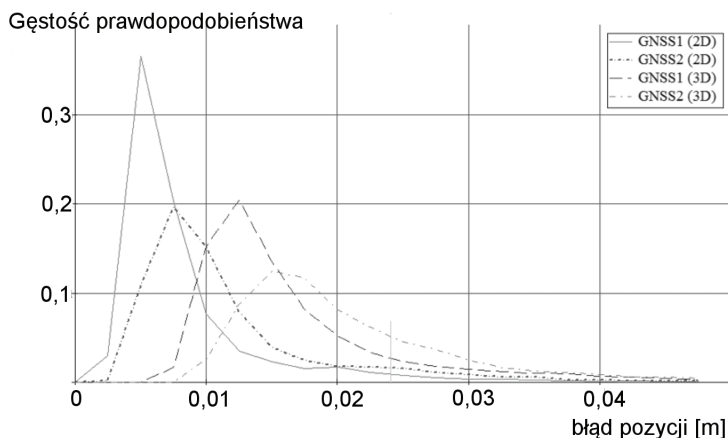
Pomiary inwentaryzacyjne sieci tramwajowej w Gdańsku przeprowadzono w nocy z 21 na 22 lutego 2012 r. Wykorzystywano dwa odbiorniki Leica – GS 15 oraz GS 12 z kontrolerami CS-15. Dokładność wyznaczeń w trybie RTK określono na $10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm (rms)}$ w poziomie oraz $20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm (rms)}$ w pionie. Zwiększono dokładność, pobierając poprawki różnicowe ze stacji referencyjnej Politechniki Gdańskiej, jak również zapisując surowe dane do postprocessingu.

Zestaw pomiarowy składał się z wagonu silnikowego oraz dwóch wagonów doczepnych. Wagon silnikowy, który wykorzystano do pomiarów, to najpopularniejszy w Gdańsku tramwaj Duewag N8C po modernizacji do wersji MF-01. Wagony doczepne, na których zamontowano zestaw pomiarowy, to wózki przedwojennego tramwaju serii 300, użytkowane po kasacji pudła wagonu do przewozu materiałów nawierzchniowych. Schemat rozmieszczenia urządzeń pomiarowych pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Zespół pomiarowy składający się z wagonu N8C MF-01 oraz dwóch wagonów doczepnych

Pomiar odbywał się ze stałą prędkością 15 km/h po ustalonej trasie. Został przeprowadzony w ciągu nocy, tak aby uniknąć blokowania trasy przez wolno jadący zespół i nie zakłócać normalnego funkcjonowania linii tramwajowych. Pomiar zakończono zgodnie z planem, po przejechaniu około 55 km, co zajęło około 4,5 godziny. Średnia prędkość jazdy wyniosła 12 km/h. W wyniku pomiarów w odbiorniku GNSS1 (Leica Viva GS 15) wyznaczono 15854 współrzędnych, natomiast w odbiorniku GNSS2 (Leica Viva GS 12) uzyskano 16015 wyznaczeń. Na rysunku 2 przedstawiono funkcję gęstości prawdopodobieństwa błędów wyznaczeń współrzędnych obydwu odbiorników GNSS (GPS/Glonass) w 2D oraz 3D [11].



Rys. 2. Funkcje gęstości prawdopodobieństwa błędu wyznaczenia pozycji odbiorników GNSS we współrzędnych 2D oraz 3D

Odbiornik GNSS1 wyznaczał współrzędne z dokładnością poniżej 1 cm w pomiarach dwusystemowych 2D, pomimo umieszczenia go bliżej wagonu silnikowego, stanowiącego formę przesłony. Pokazuje to postęp w jakości pomiarów za pomocą najnowszego odbiornika, w stosunku do starszej wersji (Leica Viva GS 15 był w czasie wykonywania pomiarów najnowocześniejszym dostępnym urządzeniem).

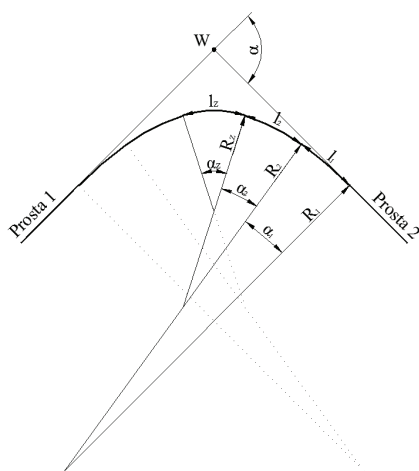
Istotna różnica w dostępności rozwiązań GPS/Glonass skutkuje koniecznością wskazania obszarów miasta, w których nie było możliwe zrealizowane rozwiązania RTK, a jedynie zarejestrowanie rozwiązania kodowego. Analiza przyczyn utraty sygnałów GNSS umożliwiających uzyskanie rozwiązania fazowego GNSS (GPS/Glonass) prowadzi do konkluzji, iż w zabudowie miejskiej można wskazać typy zabudowy stwarzające problemy dla uzyskania rozwiązania RTK (nawet dla GPS/Glonass).

3. Zasady projektowania łuków tramwajowych

Projektowanie układu geometrycznego torów tramwajowych odbywa się w warunkach kompromisu pomiędzy możliwą do uzyskania prędkością jazdy, a dostępnością przestrzeni w zatłoczonych centrach miast. Istniejące wytyczne projektowania torów tramwajowych [13] zalecają stosowanie na szlaku promieni większych niż 150 m, przy jednoczesnym braku konieczności stosowania w takim przypadku krzywych przejściowych. Analiza przedstawiona w pracy [4] wykazała, że jeśli chodzi o trasy wybiegowe, nie ma przeciwwskazań do stosowania na nich takich samych krzywych przejściowych, jakie występują na liniach kolejowych. Jednak przy projektowaniu złożonych układów geometrycznych, bądź operując w istniejącym układzie ulicznym, można stosować inne rozwiązania, pozwalające na zmniejszenie koniecznej do wykorzystania przestrzeni lub wpływu na okoliczną zabudowę. W takich przypadkach również przepisy zagraniczne (np. [14]) dopuszczają użycie układów przejściowych, złożonych z kilku łuków o malejących promieniach, połączonych stycznie ze sobą i tworzących krzywą koszową. Znormalizowane rozwiązania obowiązujące w Polsce pokazano w tabeli 1. Poprawiono przy tym występujący w przepisach błąd dotyczący kąta, na którym oparty jest łuk przejściowy dla promienia zasadniczego 75 m (wartość podkreślona); schemat rozwiązania pokazano na rysunku 3.

Tabela 1. Tabela do projektowania łuków przejściowych za pomocą krzywej koszowej (Wytyczne [13])

Promień łuku zasadniczego	Promienie łuków przejściowych, wartości kątów i długości łuków przejściowych (po osi toru)	
$R_z = 25 - 35$ m	$R_2 = 50$ m $\alpha_2 = 6^\circ$ $L_2 = 5,236$ m	$R_1 = 100$ m $\alpha_1 = 3^\circ$ $L_1 = 5,236$ m
$R_z = 50$ m		$R_1 = 100$ m $\alpha_1 = 3^\circ$ $L_1 = 5,236$ m
$R_z = 75$ m		$R_1 = 150$ m $\underline{\alpha_1 = 2^\circ}$ $L_1 = 5,236$ m



Rys. 3. Schemat projektowania tramwajowych krzywych przejściowych w postaci łuków kołowych

4. Algorytm obliczeniowy

Na podstawie pomiarów satelitarnych określa się równania kierunków głównych trasy w układzie 2000:

$$\text{dla prostej 1 } X = A_1 + B_1 Y \quad (1)$$

$$\text{dla prostej 2 } X = A_2 + B_2 Y \quad (2)$$

Proste te przecinają się w punkcie W, którego współrzędne są następujące:

$$Y_W = \frac{A_2 - A_1}{B_1 - B_2} \quad (3)$$

$$X_W = A_1 + \frac{A_2 - A_1}{B_1 - B_2} B_1 \quad (4)$$

Sposób wyznaczenia kąta zwrotu trasy α opisano w pracy [2]. Układ kierunków głównych pozwala na wpisanie łuku kołowego lub – ogólniej – łuku koszowego. Następuje to w lokalnym układzie współrzędnych x, y (LUW), powstałym przez przyjęcie (na tym etapie w sposób przybliżony) położenia jego punktu początkowego $\vec{O}(\vec{Y}_0, \vec{X}_0)$ na jednej z prostych oraz dokonaniu obrotu układu globalnego o taki kąt β , aby uzyskać symetryczne ustawienie obu kierunków głównych [2]. Transformacji układów dokonuje się za pomocą następujących wzorów:

$$x = (Y - \vec{Y}_0) \cos \beta + (X - \vec{X}_0) \sin \beta \quad (5)$$

$$y = -(Y - \vec{Y}_0) \sin \beta + (X - \vec{X}_0) \cos \beta \quad (6)$$

Następnie tworzy się sekwencję n połączonych ze sobą łuków kołowych. Początek każdego łuku znajduje się w punkcie P_i ($i = 0, 1, \dots, n - 1$), a koniec w punk-

cie K_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Każdy łuk ma określony promień R_i ($i = 1, 2, \dots, n$) oraz długość l_i ($i = 1, 2, \dots, n$); długość l_i jest mierzona po łuku. Ponieważ kąt zwrotu dowolnego łuku jest równy:

$$\alpha_i = \frac{l_i}{R_i} \quad (7)$$

a nachylenie stycznej w punkcie początkowym P_0

$$s_0 = \tan \alpha \frac{\Xi}{2} \quad (8)$$

dlatego nachylenie stycznej na końcu każdego łuku kołowego opisano następującym ogólnym wzorem:

$$s_i = \tan \left(\alpha \frac{\Xi}{2} - \sum \frac{l_i}{R_i} \right), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Na końcu układu musi być spełniony warunek:

$$s_n = -\tan \alpha \frac{\Omega}{2} \quad (10)$$

Ponieważ suma wszystkich kątów zwrotu musi wynosić:

$$\sum \alpha_i = \sum \frac{l_i}{R_i} = \alpha, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

długość ostatniego łuku kołowego wyznacza się ze wzoru:

$$l_n = \left(\alpha - \sum \frac{l_i}{R_i} \right) R_n, \quad i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (11)$$

Wzór (11) może dotyczyć również każdego innego z i łuków, jeżeli długość l_n zostanie przyjęta a priori.

Sprawdzenie poprawności rozwiązania wykonuje się przed obliczeniem długości szukanego łuku kołowego. Jeżeli zachodzi zależność:

$$\sum \frac{l_i}{R_i} \geq \alpha, \quad i = 1, 2, \dots, n-1,$$

to wówczas trzeba odpowiednio zmniejszyć długości l_i , $i = 1, 2, \dots, n-1$ lub zmniejszyć liczbę łuków n i ponownie zastosować przedstawiony tok postępowania.

Początki i końce poszczególnych łuków kołowych określa się za pomocą zależności:

$$x_0 = 0, \quad y_0 = 0$$

$$x_i = x_{i-1} + \left(\frac{1}{\sqrt{1+s_{i-1}^2}} + \frac{1}{\sqrt{1+s_i^2}} \right) \left(\tan \frac{\alpha_i}{2} \right) R_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$y_i = y_{i-1} + \left(\frac{s_{i-1}}{\sqrt{1+s_{i-1}^2}} + \frac{s_i}{\sqrt{1+s_i^2}} \right) \left(\tan \frac{\alpha_i}{2} \right) R_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Współrzędne środków łuków kołowych wyznacza się ze wzorów:

$$x_{Si} = x_{i-1} + \frac{s_{i-1}}{\sqrt{1+s_{i-1}^2}} R_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

$$y_{Si} = y_{i-1} - \frac{1}{\sqrt{1+s_{i-1}^2}} R_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

Równania łuków kołowych są następujące:

$$y(x)_i = y_{Si} + [R_i^2 - (x_{Si} - x)^2]^{\frac{1}{2}}, \quad x \in (x_{i-1}, x_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

Następnie znajduje się współrzędne wierzchołka $W(x_W, y_W)$ w lokalnym układzie współrzędnych za pomocą równań:

$$x_W = \frac{y_n + \left(\tan \frac{\alpha}{2} \right) x_n}{2 \left(\tan \frac{\alpha}{2} \right)} \quad (17)$$

$$y_W = \frac{1}{2} \left[y_n + \left(\tan \frac{\alpha}{2} \right) x_n \right] \quad (18)$$

Znajomość odległości:

$$\overline{OW} = \sqrt{x_W^2 + y_W^2}$$

umożliwia określenie właściwych współrzędnych punktu początkowego $O(Y_0, X_0)$ w układzie 2000, odpowiadających zaprojektowanemu układowi geometrycznemu. To zaś z kolei pozwala na transformację punktów zaprojektowanego układu do układu globalnego.

5. Metodyka analizy

W celu wykorzystania powyższego algorytmu do oceny i projektowania układów geometrycznych, opracowano jego modyfikację, dostosowaną do warunków występujących na trasach tramwajowych. Przyjęto, że krzywa koszowa będzie składała się z maksymalnie 5 łuków kołowych (dla promienia zasadniczego $R_z = 25 - 35$ m). Zakłada się, że znane są długości łuków przejściowych i wynoszą one 5,236 m, za to nieznana jest długość promienia zasadniczego (a co za tym idzie, również kąt na którym on jest oparty). Dla takich warunków opracowano nowy moduł w ramach programu SATTRACK (moduł SAT_ARC, funkcja PLAN_END) [2], działający w środowisku Scilab [12]. Moduł ten pozwala ocenić

stan istniejący układu i jakość jego wykonania, a także przeprowadzić prace koncepcyjne i projektowe.

Analizę układów geometrycznych rozpoczyna się poprzez wizualizację punktów pomiarowych modulem TRACK_VIS (funkcja VIS) i wydzielenie rozpatrywanej części trasy (funkcja EXTRACT) [13]. Następnie za pomocą funkcji MAIN określa się kierunki główne, ich azymuty i współrzędne punktu przecięcia. Do analizy stanu istniejącego stosuje się funkcję ANALISE, która automatycznie dopasowuje zasadniczy łuk kołowy o określonym zasięgu do pomierzonych punktów trasy, a następnie wkleja łuki przejściowe, stycznie do łuku zasadniczego i odpowiedniej prostej. Pozwala to na określenie długości i promienia łuków przejściowych występujących w analizowanym układzie. Następnie projektuje się nowy układ, geometrycznie poprawny, który analizuje się pod kątem różnic DELTA pomiędzy punktami obliczonymi a pomierzonymi. Jeżeli układ składa się z mniejszej liczby łuków niż 5, możliwa jest jego analiza jako układu o $(5-n)$ łukach z n łukami o długości 0, bez potrzeby modyfikacji algorytmu.

Jako układy w szczególnym stopniu odpowiadające przedstawionej metodyce postępowania, uznano węzły rozjazdowe. Zgodnie z obowiązującymi wytycznymi (zarówno polskimi, jak i zagranicznymi), niezależnie od promienia łuku rozjazd powinien rozpoczynać się typową zwrotnicą o promieniu 50 m i długości 5,3 m. Natomiast na szlaku, jak dowiodły przeprowadzone analizy [4], układy geometryczne torów tramwajowych mogą być projektowane w sposób analogiczny, jak ma to miejsce na liniach kolejowych.

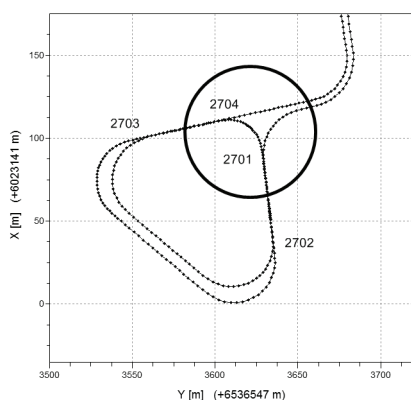
6. Prezentacja wyników

Aby przedstawić możliwości programu, wykonano analizę wyjazdowego węzła rozjazdowego na pętli tramwajowej Chełm Witosa w Gdańsku, która została oddana do użytku w dniu 19.12.2007 r. jako krańcówka nowej inwestycji tramwajowej, budowanej w ramach Gdańskiego Projektu Komunikacji Miejskiej – Etap 3A. Węzeł integracyjny składa się z dwóch torów postojowych, trzech przystanków tramwajowych (z których dwa są wspólne z autobusowymi i pozwalają na przesiadkę drzwi w drzwi) oraz rozbudowanego układu drogowego, potrzebnego do obsługi znacznej liczby autobusów (Fot. 1). Do dnia 12.05.2012 r. był to główny punkt przesiadkowy dla mieszkańców południowych dzielnic Gdańska, kiedy to oddano do użytku dalszą część inwestycji – trasę Chełm Witosa – Łostowice Świętokrzyska. Węzeł stracił znaczenie przesiadkowe i obecnie kończą na nim trasę dwie linie tramwajowe i dwie autobusowe.



Fot. 4. Fotografia lotnicza pętli Chelmska Witoska (źródło: Google maps)

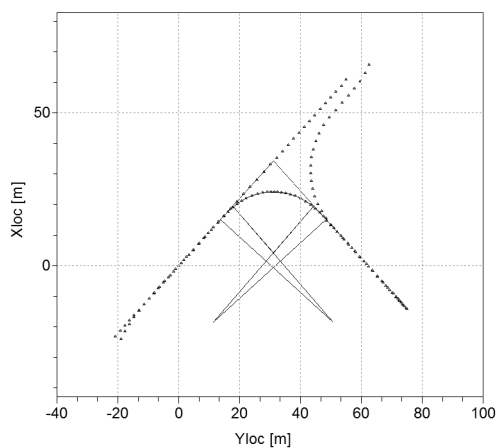
Pomiar satelitarny wykonano jeszcze przed otwarciem odcinka Chelmska Witoska – Łostowice Świętokrzyska. Analizie poddano dwa rozjazdy: rozjazd zwyczajny 2704 i rozjazd łukowany 2701 (rys. 4). Ułożona jest tam nawierzchnia konwencjonalna na podkładach strunobetonowych, podrozjazdnice drewniane, szyny 60Ri2, przytwierdzenia SB. W części środkowej łuku zlokalizowano przejazdy drogowe i przejścia dla pieszych. Całość pomiarów została szczegółowo opisana w pracy [10], zaś cykl pomiarowy samej pętli Chelmska trwał około 15 minut.



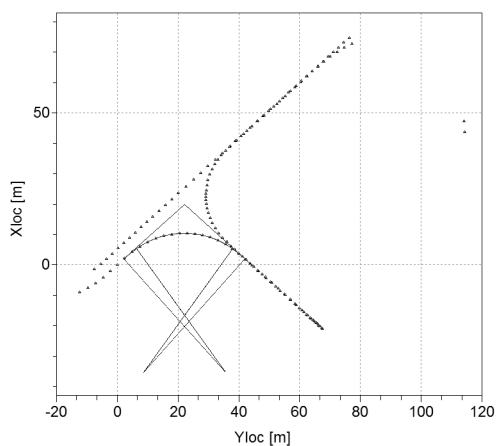
Rys. 4. Obszar ujęty w analizie przedstawiony w układzie 2000

Określono kierunki główne i dokonano transformacji układów do lokalnego układu współrzędnych. Analizie poddano dwa łuki z rozjazdami: łuk z rozjazdu 2701 do rozjazdu 2704 (1), oraz łuk z rozjazdu 2701 w stronę wyjazdu z pętli (2). W przypadku pierwszego łuku ustalono długości łuków przejściowych o pro-

mieniu 50 m w rejonie zwrotnic równe 5,3 m (a więc zgodnie z wytycznymi) oraz promień łuku zasadniczego $R_z = 20$ m (rys. 5). W przypadku drugiego rozpatrywanego łuku długości łuków przejściowych o promieniu 50 m wynoszą po 6 m z obu stron (rozjazd występuje co prawda tylko po jednej ze stron, jednak układ jest wyraźnie symetryczny), a promień łuku zasadniczego jest równy 27 m (rys. 6).

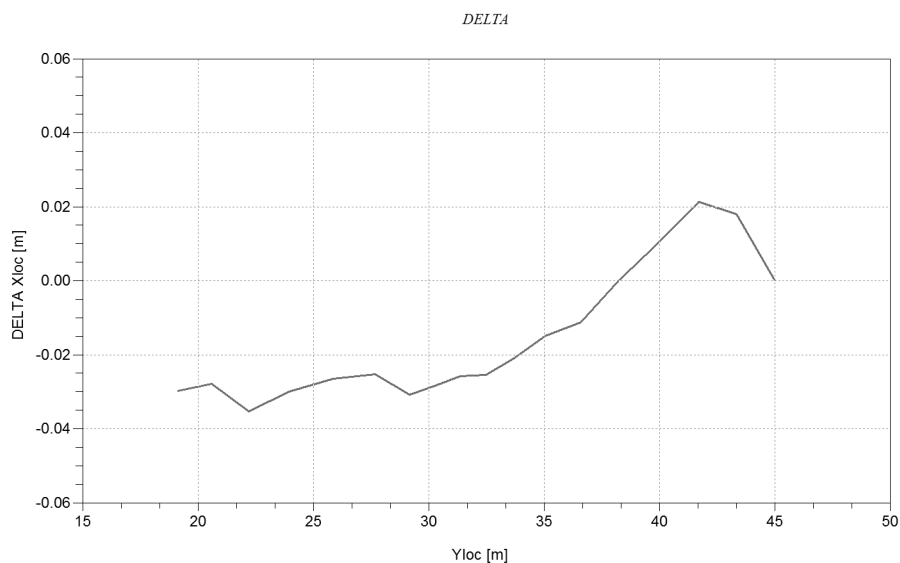


Rys. 5. Łuk pomiędzy rozjazdami 2701 a 2704 w lokalnym układzie współrzędnych

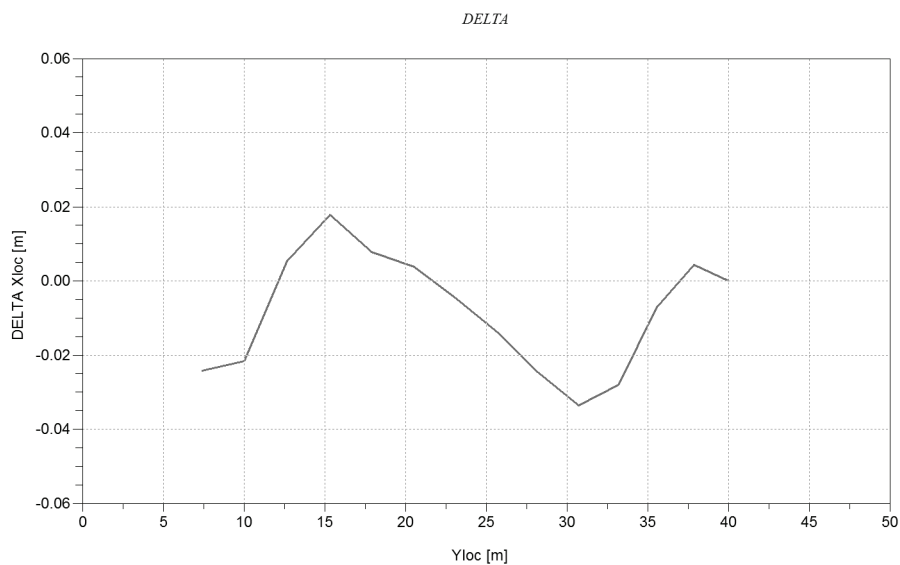


Rys. 6. Łuk wyjazdowy z pętli Cbełm w lokalnym układzie współrzędnych

Na tej podstawie można stwierdzić, że oba łuki zostały wykonane w sposób zadowalający. Różnice między kształtem modelowym a rzędnymi pomierzonymi nie przekraczają 3 cm. Odpowiednie różnice DELTA pokazano na rysunkach 7 i 8.

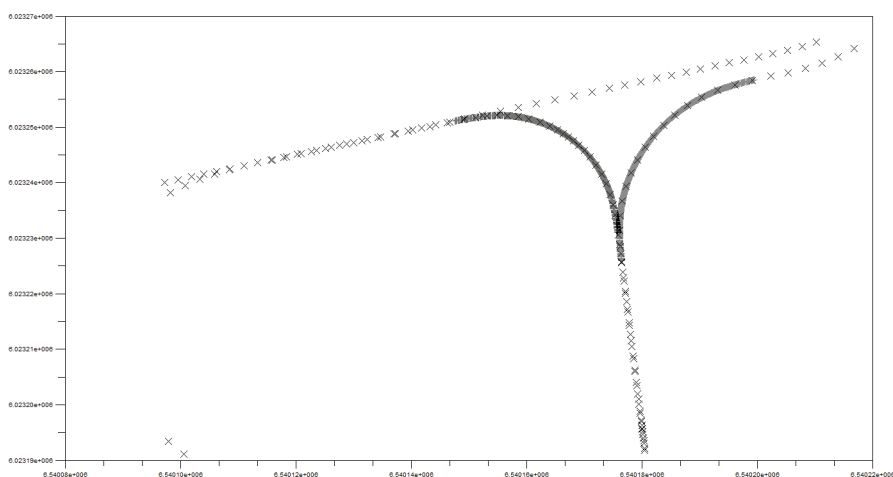


Rys. 7. Wykres różnic DELTA na łuku pomiędzy rozjazdami 2701 a 2704



Rys. 8. Wykres różnic DELTA na łuku wyjazdowym z pętli Cbełm

Wyznaczone wartości współrzędnych przetransformowano następnie z lokalnego układu współrzędnych do państwowego systemu odniesień przestrzennych 2000. Zmodyfikowany węzeł rozjazdowy jest teraz gotowy do tyczenia w terenie (rys. 9).



Rys. 9. Współrzędne zmodyfikowanego węzła rozjazdowego na tle pomierzonego toru w państwowym systemie odniesień przestrzennych 2000

7. Podsumowanie

Prowadzone od 2009 roku przez zespół naukowy Politechniki Gdańskiej i Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni ciągłe (mobilne) pomiary satelitarne torów kolejowych potwierdziły swoją przydatność również w pracach inwentaryzacyjnych linii tramwajowych. Sprawdziła się zarówno sama metodyka pomiarów, jak również opracowane narzędzia wspomaganie komputerowego. Uzyskane wyniki pozwalają na dokonanie oceny istniejącego kształtu geometrycznego torów w płaszczyźnie poziomej oraz podjęcie stosownych działań projektowych.

Położony na otwartej przestrzeni węzeł integracyjny Chełm Witosa pozwolił na osiągnięcie bardzo dużej powtarzalności wyników. Punkty mierzone podczas kolejnych przejazdów tego samego toru były oddalone od prostej wyznaczonej metodą najmniejszych kwadratów o pojedyncze milimetry ze stałą oscylacją, co może świadczyć o zaburzeniu kształtu geometrycznego samego toru.

Na podstawie zrealizowanych na terenie Gdańska pomiarów stwierdzono, że układy łuków tramwajowych w rejonie węzłów rozjazdowych są poprawnie ukształtowane geometrycznie. Oznacza to, że dla niewielkich rozmiarowo budowli tradycyjne metody geodezyjne stanowią prawidłową metodę wyznaczania położenia punktów i zapewniają dobrą jakość robót budowlanych, gdyż po 5 latach intensywnego użytkowania łuki nie wykazują dużych deformacji. Zastosowana metoda ciągłych pomiarów GPS jest jednak zdecydowanie szybsza, przy tej samej dokładności, niż pomiary realizowane metodą RTK. Pozwala na wykonanie pełnej inwentaryzacji węzła rozjazdowego w kilkanaście minut, przy bardzo dużym zagęszczeniu punktów pomiarowych.

Stosowane do analizy wyników pomiarowych autorskie oprogramowanie ma budowę modułową, co pozwala na jego szybką modyfikację i dostosowanie do kolejnych zadań. W czasie kolejnych kampanii pomiarowych, celowe będzie wykorzystanie danych efemerydycznych dostępnych w almanachu położenia satelitów, gdyż optymalizując czas dokonania pomiaru można osiągnąć znacząco lepsze wyniki.

Bibliografia

- [1] Gocał J., Wybrane technologie pomiarów inżynierskich oparte na wykorzystaniu instrumentów elektronicznych. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, tom XLVIII, zeszyt 102, 2001.
- [2] Koc W., Chrostowski P., Ocena trasy kolejowej położonej w łuku na podstawie pomiarów satelitarnych. Przegląd Komunikacyjny 2013, nr 4.
- [3] Koc W., Chrostowski P., Wizualizacja przebiegu trasy kolejowej na podstawie pomiarów satelitarnych. IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szybowym INFRASZYN 2011”, Zakopane 2011.
- [4] Koc W., Specht C., Chrostowski P., Szmagliński J., Ocena kształtu geometrycznego torów tramwajowych na podstawie pomiarów satelitarnych. Międzynarodowa Konferencja Naukowa ”Transport XXI Wieku”, Ryn 2013.
- [5] 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 Szybowym INFRA-SZYN 2009”, Zakopane, 2009.
- [6] Koc W., Specht C., Nowak A., Jurkowska A., Chrostowski P., Lewiński L., Bornowski M., Wstępne wyniki badań dostępności sieci ASG-EUPOS podczas inwentaryzacji trasy kolejowej KOŚCIERZYNA – KARTUZY. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, tom 19, 2009.
- [7] Kosiński W., Geodezja. PWN, Warszawa 2010.
- [8] Podoski J., Tramwaj szybki. Projektowanie i eksploatacja. WKŁ, Warszawa 1983.
- [9] Rudnicki A., Polityka rozwoju przestrzennego a zatłoczenie komunikacyjne. XIV Konferencja Naukowo-Techniczna ”Skuteczne zmniejszanie zatłoczenia miast”, Poznań – Rosnówko 2009.
- [10] Specht C., Koc W., Nowak A., Szmagliński J., Ciągłe pomiary satelitarne układu linii tramwajowych w Gdańsku. Technika Transportu Szybowego 2013, nr 2-3.

-
- [11] Specht C., Koc W., Nowak A., Szulwic J., Szmagliński J., Skóra M., Specht M., Czapnik M., Dostępność fazowych rozwiązań GPS/Glonass podczas geodezyjnej inwentaryzacji dróg szynowych – na przykładzie linii tramwajowej Gdańska. Technika Transportu Szynowego 2012, nr 9, CD-ROM.
 - [12] Strona internetowa <http://www.scilab.org> (The Free Platform for Numerical Computation), Scilab Enterprises 2012.
 - [13] Wytyczne techniczne projektowania budowy i utrzymania torów tramwajowych. Ministerstwo Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska, Warszawa 1983.
 - [14] Yarra Trams, Tram Track Design Guidelines. Melbourne 2003.