

Maciej JAMKA, Sergiusz LISOWSKI

Politechnika Krakowska

## ANALIZA PORÓWNAWCZA METOD REGULACJI OSI TORU

**Streszczenie.** W referacie porównano współczesne technologie prowadzenia pomiarów geodezyjnych do projektów regulacji osi torów na podstawie pomiarów wykonanych na odcinku testowym w Krakowie. Na podstawie uzyskanych wyników wykonano projekt regulacji programem stosowanym na kolejach DB i dokonano porównania z opracowaniem wykonanym programem stosowanym na PKP.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TRACK AXIS REGULATION METHODS

**Summary.** In the paper modern methods of conducting geodesic measurements were compared with the projects of regulation of the railway track axis based on the measurements carried out on the test section in Krakow. On the basis of the results of these measurements a project of regulation was created, with the use of the software utilized by DB. Also, another comparative study was prepared with the use of the software utilized by PKP.

### 1. Wstęp

Przez pojęcie regulacji osi toru dość powszechnie rozumie się projektowanie i wyznaczanie w terenie przebiegu osi toru w płaszczyźnie poziomej. Kształtowanie przebiegu osi toru w płaszczyźnie pionowej wiąże się z projektowaniem i wyznaczaniem niwelety toru kolejowego. Ta dwoistość w podejściu do regulacji osi toru kolejowego znajduje odbicie zarówno w technologii pomiarów geodezyjnych prowadzonych dla potrzeb regulacji osi toru, jak i w procesie projektowania. Sposoby prowadzenia pomiarów położenia osi toru w płaszczyźnie poziomej oraz wykonywania pomiarów wysokościowych związanych z określeniem rzędnych główki szyny i rzędnych wysokości obiektów inżynierskich i budowli położonych w obrębie skrajni budowli regulowały odpowiednie przepisy i instrukcje [3,4,5]. Stosowane obecnie na PKP analityczne metody projektowania położenia osi toru w płaszczyźnie poziomej bazują na danych z pomiarów we względnym układzie odniesienia – strzałki, rzędne i odcięte osi toru [6]. Współczesne technologie pomiarów geodezyjnych pozwalają na równoczesny pomiar trzech współrzędnych punktów wyznaczających przebieg osi toru w układzie bezwzględny z dokładnością pozwalającą na przeprowadzenie regulacji osi toru metodą analityczną [12,14].

W niniejszym referacie przedstawiono analizę metod pomiarów geodezyjnych do projektu regulacji osi toru oraz metod projektowania regulacji osi toru.

## 2. Pomiary geodezyjne

W dotychczasowej praktyce, bez względu na sposób wykonania projektu regulacji osi toru [5], pomiary terenowe przeprowadza się w dwóch etapach.

Pomiary inwentaryzacyjne odcinków toru położonych wzdłuż prostych wykonuje się znaną metodą rzędnych i odciętych na osnowę, którą stanowi z reguły jedna lub kilka linii pomiarowych w zależności od istniejących warunków terenowych i długości regulowanej prostej. Przy dłuższych odcinkach prostej osnową do przeprowadzenia inwentaryzacji jest ciąg poligonowy zakładany jako osnowa niezależna (układ lokalny), o bokach długości od 300 do 400 m równoległych do osi toru. Na boki tak założonego ciągu rzutuje się oś toru, znaki regulacji osi torów, słupy trakcyjne oraz wszystkie obiekty inżynierskie będące w zasięgu skrajni budowli. Niezbędnymi danymi do projektu regulacji są ponadto odległości do osi torów sąsiednich oraz odległości do krawędzi torowiska. Odcięte wszystkich rzutowanych na osnowę punktów odpowiadają kilometrażowi regulowanego toru [2].

W celu zinwentaryzowania stanu krzywizny toru na fuku powszechnie stosuje się metodę pomiaru strzałek. Pomiar strzałek wykonuje się do cięciwy realizowanej przez oś celową teodolitu ustawianego w osi toru (metoda bezpośrednia) lub do cięciw opartych na znakach regulacji osi toru (metoda pośrednia). Do cięciwy o długości od 10 do 70 m (długość cięciwy zależy od promienia krzywizny) mierzy się strzałki z dokładnością do 1 mm. Na cięciwy rzutuje się również, podobnie jak w przypadku prostych, znaki regulacji osi toru oraz obrysy obiektów inżynierskich położonych w obrębie skrajni budowli.

Instrukcja D-19 z 1996 r. wprowadziła nowy znak kolejowej osnowy pomiarowej, który równocześnie był znakiem regulacyjnym osi toru. Znaki „kolejowej osnowy geodezyjnej” wprowadzone tą instrukcją [6] tworzyły sieć powierzchniową dowiązaną do punktów I i II klasy państwowej osnowy geodezyjnej i posiadały współrzędne w państwowym układzie odniesienia, a wymagana dokładność pomiaru kątów poziomych wyrażona średnim błędem pomiaru kąta  $\pm 30''$ , zaś średni błąd pomiaru długości  $\pm 5 + 10 \cdot 5 \times D$ .

Nowa Instrukcja D-19 [6] dopuszcza pomiar krzywizny toru również innymi metodami i technologiami.

Dynamiczny rozwój nowoczesnych konstrukcji tachimetrów elektronicznych w ostatnim dziesięcioleciu stworzył podstawy do wprowadzenia nowych technologii pomiarów geodezyjnych. Przykładem takiego nowoczesnego podejścia do pomiarów kolejowych, mających zastosowanie w projektowaniu oraz regulacji osi toru kolejowego jest LEICA GRP System FX [10].

Podstawowym założeniem tego systemu jest prowadzenie pomiarów geodezyjnych inwentaryzujących położenie osi toru i urządzeń położonych w pasie przyległym do toru z wykorzystaniem wózka pomiarowego. Wyznaczanie trzech współrzędnych osi toru w bezwzględny układ współrzędnych z milimetrową dokładnością jest realizowane w skoordynowanym układzie stacji pomiarowej (Total Station) i poruszającego się po torze wózka pomiarowego. Stacja pomiarowa, której współrzędne wyznacza się wcięciem wstecz do czterech punktów osnowy pomiarowej, ustawiona jest w miejscu, z którego mierzony tor widoczny jest na długości po około 150 m w obie strony. Z niej dokonuje się pomiaru kątów poziomych i pionowych oraz odległości do lustra na wózku pomiarowym.

Osnowę pomiarową stanowi sieć powierzchniowa punktów położonych w pasie wzdłuż mierzonego toru w odległościach co około 300 m. Dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów osnowy wyrażona średnim błędem położenia punktu powinna odpowiadać dokładności przewidzianej dla punktów I klasy osnowy państwowej.

Stacją pomiarową w tym systemie może być jeden z trzech produkowanych seryjnie tachimetrów Total Station LEICA TPS1100/ TPS1200/ TPS2000 (rys.1) w wersji „zmotoryzowanej” (automatyczne naprowadzanie osi celowej na lustro – system ATR).

Wózek pomiarowy LEICA GRP System FX (rys.2) wyposażony jest w jednoosiowy inklinometr do wyznaczania przechyłki toru oraz system pomiaru szerokości toru i drogi.

Na ramie nośnej zamontowany może być jeden z trzech segmentów pomiarowych: przyzmat (GRP1000), przyzmat oraz dalmierz laserowy do pomiarów skrajni (GRP3000), skaner laserowy (GRP5000). Na kierownicy wózka zamocowany jest komputer pokładowy, który drogą radiową połączony jest komputerem obsługującym stację pomiarową. Sterowanie pracą stacji pomiarowej w systemie ATR odbywa się z komputera pokładowego wózka, do niego również przesyłane są wszystkie wyniki pomiarów wykonane przez Total Station do lustra umieszczonego na wózku.

Niewymuszone stanowisko stacji pomiarowej (free station), obecnie często stosowane w praktyce pomiarów geodezyjnych, wymaga dowiązania do punktów osnowy metodą wielokrotnego wcięcia wstecz (pomiar kątów i odległości) do 4 punktów osnowy pomiarowej,



Rys.1. Tachimetr elektroniczny Leica TPS1203

Fig.1. Electronic tachymeter Leica TPS 1203

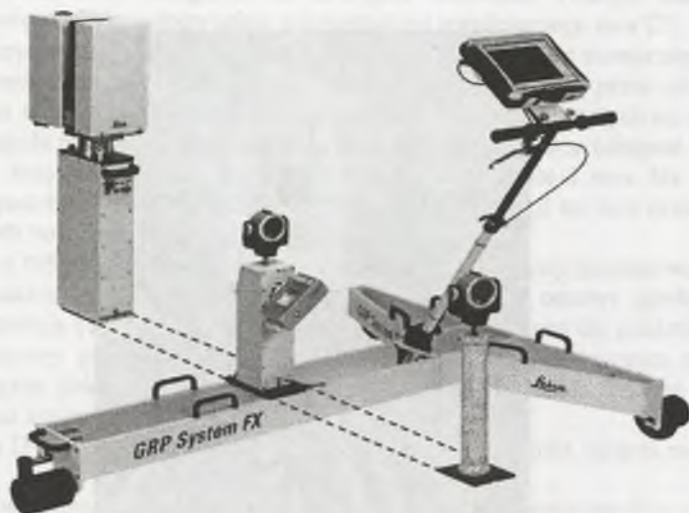
Wysokość osi celowej wyznaczano trygonometrycznie, celując na znaki wysokościowe na słupach trakcyjnych.

Po wykonaniu dowiązania stacji pomiarowej i pierwszym wycelowaniu na przyzmat wózka pomiarowego GPR3000 rozpoczyna się zasadniczy pomiar współrzędnych osi toru. Prowadzący pomiary uruchamia procedurę pomiarów osi toru przez stację pomiarową. Każdorazowe wysłanie drogą radiową polecenia pomiaru podczas zatrzymania na kilka sekund wózka wyzwala pomiar, gdyż położenie lustra lokalizowane jest automatycznie w systemie ATR stacji pomiarowej (rys.4). Ponieważ wózek GPR3000 pozwala na pomiar skrajni do dowolnie wybranych punktów położonych poza torem, można pomierzyć zarówno współrzędne osi toru na wprost znaków regulacyjnych [8] czy innych punktów położonych w pobliżu skrajni budowli, jak i ich odległość od osi toru. Wyniki pomiarów w postaci plików

tekstowych zawierających współrzędne punktów wyznaczone z pomiaru można skopiować na nośnik magnetyczny i przekazać jej do opracowania projektu regulacji osi toru.

Pomiar współrzędnych osi inwentaryzowanego toru wykonywany jest z reguły co około 10 m na odcinkach prostej, co około 5 m w obrębie styku prostej z krzywą przejściową i na krzywej przejściowej oraz na łuku lub w dowolnym miejscu toru wybranym przez prowadzącego pomiary.

W trakcie samego pomiaru inwentaryzującego położenie osi toru oraz ewentualnych pomiarów skrajni system obsługuje osoba prowadząca wózek (rys.3). Typowy zestaw sprzętu dla pracy w tym systemie oprócz wózka pomiarowego obejmuje: 2 szt. Total Station, 6 szt. statywów ze spodarkami i pryzmatami. Wydajność pracy w tym systemie przy istniejącej osnowie pomiarowej wynosi 1300 m na 1 godzinę pracy na zamkniętym torze kolejowym.



Rys.2. Schemat modularnego systemu LEICA GRP [8]

Fig.2. Scheme of modular system LEICA GRP [8]

W kwietniu 2005 roku pracownicy Katedry Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego Politechniki Krakowskiej uczestniczyli w pomiarach wykonanych tą technologią przez pracowników firmy Leica oraz Leica Geosystem, którzy przeprowadzili pomiary położenia istniejącej osi toru nr 1 i nr 2 na odcinku testowym w Krakowie.

Odcinek testowy o długości około 1200 m zlokalizowano na linii kolejowej nr 95 Mydlniki - Podłęże. W połowie tego odcinka, na długości około 350 m, tory przebiegają w łuku kołowym o promieniu około 760 m z krzywymi przejściowymi. Tory położone są na zmiennym pochyleniu od 2,1 do 4,9 ‰.

Pomiary geodezyjne położenia osi toru istniejącego w bezwzględny układzie odniesienia można przeprowadzać również innymi sposobami, wykorzystując dostępny, dobrej klasy sprzęt geodezyjny, którego dokładność pomiaru pozwala wyznaczyć współrzędne osi toru z dokładnością porównywalną do uzyskiwanej w technologii LEICA GRP System FX. Pierwsze takie pomiary przeprowadzone zostały przez pracowników Katedry Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego Politechniki Krakowskiej (we współpracy z firmą Technet) w miesiącu lipcu 2005 roku na odcinku testowym w Krakowie.



Rys.3. Pomiar wózkiem GPR3000 na odcinku testowym  
Fig.3. Measuring trolley GPR3000 on the test section

Pomiary przeprowadzono na torze nr 1 w dwóch etapach. W pierwszej kolejności założono osnowę pomiarową w postaci ciągu poligonowego o bokach około 200 m, dwustronnie nawiązanego do lokalnej sieci powierzchniowej, w którym kąty  $H_z$  i  $V$  oraz długości boków pomierzono tachimetrem elektronicznym TOPCON 6001. Sieć powierzchniowa wykorzystana do nawiązania ciągu poligonowego założona została podczas pierwszych pomiarów w maju 2005 roku i obliczona przez firmę Technet GmbH programem Neptan [11]. Charakteryzuje się on bardzo małym średnim błędem położenia punktu po wyrównaniu ( $\pm 1,8$  mm).

Zasadnicze pomiary inwentaryzujące położenie osi toru nr 1 przeprowadzono dokonując pomiaru do punktów wyznaczonych wewnętrzną powierzchnią toczną główki szyny prawej. Punkty te sygnalizowano lustrem dalmierczym na specjalnej podstawie (rys. 6) umożliwiającej ustawienie osi lustra dokładnie nad obranym punktem główki szyny, do którego wykonywano pomiar. Przyjęta metoda pomiaru punktów położonych w stałej odległości od osi toru pozwala wykonać pomiar bez konieczności wyznaczania w terenie osi toru, a uzyskane wyniki pomiarów pozwalają wykonać projekt regulacji osi toru programem Verm.esn [11], który posiada opcję takiego rozwiązania. W wyniku przeprowadzonych pomiarów, tworzony jest zbiór danych, z których (podobnie jak w przypadku pomiaru w technologii LEICA GRP System FX) oblicza się współrzędne  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , pomierzonych punktów szyny, mogących posiadać nadany im kod (np. zgodny z Instrukcją K-1 [9]).



Wzdłuż toru nr 1 zabudowane są nowe słupy trakcyjne, na których założone postaci kołków wstrzelonych w ściankę stalową słupa od strony toru. Punkty te wykorzystano jako znaki regulacyjne osi toru w ten sposób, że na każdym wstrzelonym kołku nakręcano specjalny bolec metalowy (ten typ bolca mocowany jest obecnie na słupach trakcyjnych jako znak regulacji osi toru na kolejach DB, rys.4), na który za pomocą specjalnej przystawki mocuje się lustro dalmiercze (rys.5). Można zatem podczas zasadniczego pomiaru inwentaryzującego położenie osi toru (rys.7), wyznaczyć również współrzędne punktów stałych (znaków regulacji osi toru).

Rys.4. Bolec jako znak regulacji osi toru  
Fig.4. Pin – a railway track axis regulation mark



Rys.5. Lustro dalmiercze na znaku regulacji osi toru  
Fig.5. Range-finder glass prism on the railway track axis sign

Rys.6. Lustro dalmiercze na szynie  
Fig.6. Range-finder glass prism on the rail



Rys.7. Zasadniczy pomiar inwentaryzacyjny osi toru

Fig.7. Basic taking inventory measurement of railway track axis

### 3. Projekt regulacji osi toru

Projekty regulacji osi toru kolejowego na sieci PKP wykonuje się obecnie metodą analityczną. Powszechnie stosowane są programy do projektowania prostoliniowych odcinków toru w oparciu o dane zawierające rzędne i odcięte punktów osiowych w stosunku do przyjętej prostej lub ciągu poligonowego, a regulację osi toru na odcinkach krzywoliniowych toru opracowuje się stosując programy bazujące na danych z pomiaru strzałek nierówności poziomych.

W latach 80. pojawił się program SPRINT, który po kilku modyfikacjach jako REGTOR stał się podstawowym programem do przeprowadzania obliczeń związanych regulacją osi toru na sieci PKP. Program ten umożliwia (przy założonych długościach krzywych przejściowych) optymalizację promienia łuku (w tym też łuku kosztowego) i minimalizacji przesunięcia oraz możliwość uzyskanie zadanego przesunięcia w określonych punktach regulowanego łuku [2].

W 2003 roku wykonano projekt regulacji osi toru nr 1 i nr 2 szlaku Mydlniki – Batowice, na którym zlokalizowany jest odcinek testowy. Położenie torów w planie zaprojektowano w układzie równoległym w rozstawie osiowym 4,00 m z wymaganym poszerzeniem skrajni w obrębie łuku kołowego. Projektując przebieg osi torów tak kształtowano geometrię obu torów, aby w maksymalnym stopniu zachować skrajnie do istniejących słupów trakcyjnych. W wyniku przeprowadzonych obliczeń (obliczenia wykonano programem REGTOR) w torze nr 1 zaprojektowano łuk kołowy o promieniu 760 m i krzywymi przejściowymi 100 m, a w torze nr 2 łuk o promieniu 760 m i krzywych przejściowych 90. Przyjęte rozwiązanie pozwoliło na uzyskanie wymaganego poszerzenia skrajni na długości łuku kołowego (dla przechyłki 35 mm) oraz zachowania skrajni do wszystkich słupów trakcyjnych. Wielkości nasunięć torów były jednak znaczne – średnie przesunięcie osi toru nr 1 wynosiło 67 mm i

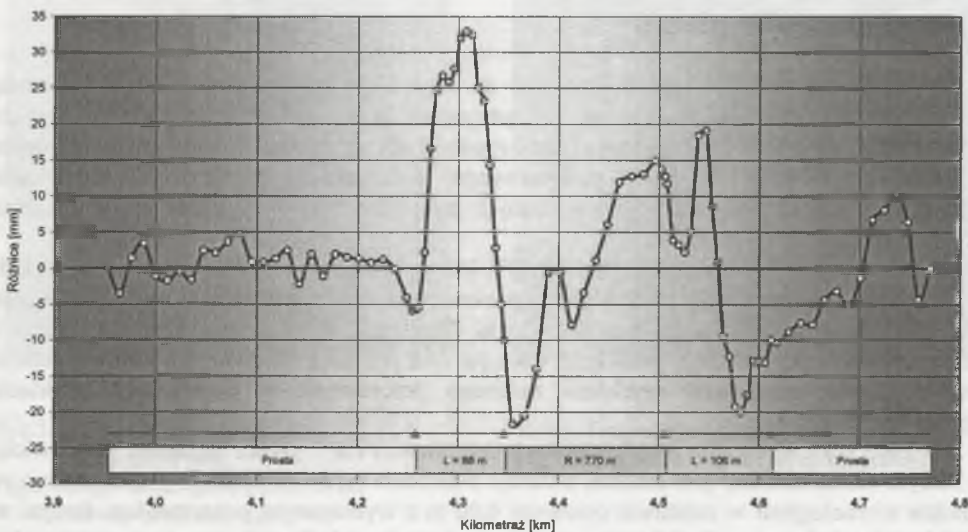
149 mm dla toru nr 2. W 2004 roku podjęto decyzję o przebudowie słupów trakcyjnych przy obu torach. Opracowano nowy projekt regulacji osi torów, przebudowano tor nr 1 i zabudowano przy nim nowe słupy trakcyjne. Zgodnie z wykazem znaków regulacji osi torów dla toru nr 1 przyjęto układ krzywoliniowy złożony z łuku kołowego o promieniu 772,20 m oraz krzywych przejściowych o długości 84 i 105 m. Średnia wartość nasunięć na długości łuku tym razem wynosiła 77 mm.

Wykonanie projektu regulacji programem Verm.esn i porównanie uzyskanych wartości optymalnych promieni łuków oraz długości krzywych przejściowych przy założeniu minimalnych przesunięć osi toru nr 1 z parametrami geometrycznymi z projektu wykonanego programem REGTOR było jednym z założonych celów pomiarów na odcinku testowym.

Ponieważ pomiar inwentaryzujący położenie toru nr 1 wykonano po jego ostatecznym podbiciu (zgodnie z danymi podanymi na wykazach znaków regulacji osi toru), przeprowadzenie obliczeń programem Verm.esn istniejących parametrów geometrycznych toru, przy założeniu minimalizacji przesunięć i podniesień, pozwala ocenić dokładność wykonania podbicia toru do założonych parametrów geometrii toru w planie i w profilu.

Minimalizując wartości nasunięć osi toru na odcinkach położonych wzdłuż prostych oraz w obrębie łuku, obliczono optymalną geometrię toru. Wartość promienia łuku kołowego wynosi 770,00 m, a długości krzywych przejściowych 88,00 i 106,00 m. Można zatem stwierdzić bardzo dużą (95,5%) zgodność parametrów istniejących z projektowanymi.

Tak dużej zgodności nie ma jednak pomiędzy projektowanym a istniejącym położeniem osi toru w płaszczyźnie poziomej (rys. 8). Wymagane nasunięcia toru do projektowanej krzywizny są od kilku do 33 mm (średnie nasunięcie 13,3 mm przy odchyleniu standardowym 8,9 mm). Na prostych odcinkach toru średnie nasunięcie wynosi 3,6 mm, a maksymalne 10,4 mm.



Rys.8. Wykres nasunięć osi toru na odcinku testowym (dane z projektu regulacji programem Verm.esn)

Fig.8. Graph of railway track axis on the test section (data from the regulation project using Verm.esn programme)



Niweleta toru opracowana programem Verm.esn nieznacznie różni się od niwelety przyjętej do realizacji. Projektowane punkty załomu niwelety jak i spadki uwzględniają rzędne istniejące główki szyny, które na całej długości badanego toru są większe średnio o 0,029 m ( przy odchyleniu standardowym 0,004 m).

Podobnie wygląda projekt regulacji osi toru wykonany na podstawie wyników pomiarów przeprowadzonych bez użycia wózka pomiarowego GPR3000. Parametry geometryczne łuku i krzywych przejściowych są niemal identyczne z opisywanymi w powyższym przypadku. Większe są jednak punktowe wartości zasunięć i podniesień toru, co spowodowane jest błędami pomiaru. Pomiar wykonywano w ekstremalnych warunkach pogodowych (temperatura powietrza +30°C), co przy bardzo dużej migracji powietrza powodowało występowanie błędów celowania do lustra proporcjonalnych do długości celowej. Sądzić należy, że w takich warunkach pogodowych również pomiary z użyciem wózka byłyby obciążone znacznymi błędami celowania.

#### 4. Uwagi końcowe

Stosowane obecnie na PKP technologie pomiarów do projektów regulacji osi torów zdaniem autorów winny ulec weryfikacji. Współczesne rozwiązania techniczne przyrządów pomiarowych oraz automatyzacja procesów pomiaru pozwalają na uzyskanie zdecydowanie większej dokładności pomiaru zarówno osnów pomiarowych, jak i pomiarów punktowych niż metody pomiarów stosowane obecnie w geodezji kolejowej.

Pomiary geometrii toru przeprowadzane obecnie dla potrzeb diagnostyki oraz dla celów projektowych, w tym metoda strzałek nierówności poziomych, oparte są na względnym układzie odniesienia. Mówiąc więc w tym przypadku o dokładności pomiaru możemy jedynie oceniać wewnętrzną zgodność metody pomiaru.

Pomiar w systemie Leica geosystem oparty jest na bezwzględny układzie odniesienia (państwowy układ współrzędnych), który pozwala nie tylko ocenić dokładność samej metody, ale także zapewnia kontrolę geometrii, a przede wszystkim kontrolę wzajemnego położenia obiektów względem niezależnego układu odniesienia.

Wyniki pomiarów inwentaryzacyjnych do projektu regulacji wykonane w bezwzględny układzie odniesienia oraz współrzędne projektowanej osi toru wzbogacą bazę danych [1] w przyszłym systemie GIS-RAIL.

Zastosowanie proponowanych w referacie bolców mocowanych do słupów trakcyjnych jako znaki regulacyjne osi toru pozwoli wykonawcom pomiarów sytuacyjno-wysokościowych wykorzystać je jako punkty dowiązania, których współrzędne określone są z milimetrową dokładnością.

Na szczególną uwagę zasługuje automatyzacja pomiaru współrzędnych osi toru z wykorzystaniem wózka GPR3000, którego położenie określone współrzędnymi również w przypadku pomiarów realizacyjnych (dane dla podbijarki) pozwala korzystając z danych projektowych odczytać na ekranie komputera pokładowego wartości nasunięcia i podniesienia, które wynikają z porównania współrzędnych istniejącej osi toru i współrzędnych projektowanych miejsca, w którym znajduje się wózek.

Wykonywanie pomiarów do projektu regulacji osi toru w bezwzględny układzie odniesienia z wykorzystaniem tachimetrów elektronicznych wysokiej klasy (np. TOPCON 6001) i zaproponowanego w referacie oprzyrządowania pomiaru pozwala w normalnych warunkach atmosferycznych uzyskać dokładność wyznaczenia współrzędnych osi toru z dokładnością określoną średnim błędem położenia punktu nie przekraczającym  $\pm 10$  mm. W tym celu należy pomiar opierać na sieci powierzchniowej [12], dowiązanej do punktów osnowy państwowej I klasy, zagęszczonej punktami z pomiarów GPS.

Projekt regulacji osi toru opracowany programem Verm.esn, pozwala z bardzo dużą dokładnością, na drodze analitycznej, dopasować do istniejącej krzywizny optymalny kształt trajektorii toru dostosowany do wymaganych parametrów eksploatacyjnych z uwzględnieniem postulatu minimalizacji przesunięć. Projekt niwelety kształtować można wariantując rozwiązania, które uwzględniają przyjęte parametry geometryczne niwelety toru.

Efektym końcowym opracowania projektu są pliki tekstowe i wydruki graficzne ujmujące wyniki obliczeń, w szczególności wartości nasunięć, odległości projektowanej osi od znaków regulacyjnych i wartości strzałki, co 10 m, położenie załomów profilu i wielkości podniesień toru, co 10 m, odległości skrajniowe od obiektów stałych.

Wykorzystanie wszystkich możliwości programów [12,13,] do projektowania osi toru w oparciu o współrzędne punktów osiowych można mówić o nowej jakości zarówno na etapie projektowania osi toru, jak i pomiarów realizacyjnych wykorzystujących dane projektowe.

Za celowe uważa się wykonanie projektu testującego możliwości techniczne programu CARD-1 pod kątem wykorzystania tego programu do regulacji osi toru.

Zdaniem autorów należy dokonać aktualizacji lub na nowo opracować Instrukcję D-19 tak, aby w sposób jednoznaczny określała nie tylko sposoby przeprowadzania pomiarów geodezyjnych do projektów regulacji, ale przede wszystkim warunki dokładnościowe pomiarów w bezwzględnych układach odniesienia.

## Literatura

1. Bałuch H.: Przestrzenno – eksploatacyjna baza infrastruktury kolejowej. VII Seminarium Diagnostyki Nawierzchni Szynowych. Gdańsk 2005
2. Gogoliński W., Jamka M., Zielina L.: Miernictwo kolejowe. t. 2. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1992
3. „Przepisy o wykonywaniu regulacji osi torów kolejowych” D 23.
4. Załącznik do Zarządzenia Nr 43 Ministra Komunikacji z dnia 16 lutego 1960 r.
5. „Instrukcja o organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej” D-19.
6. Załącznik do Zarządzenia Nr 53 Dyrektora Generalnego PKP z dnia 16 grudnia 1992 r.
7. „Instrukcja o organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej” D-19.
8. Załącznik do Zarządzenia Nr 77 Zarządu PKP z dnia 4 listopada 1996 r.
9. „Instrukcja o organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej” D-19.
10. Załącznik do Zarządzenia Nr 144 Zarządu PKP z dnia 23 października 2000 r.
11. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie. Dz.Ust. Nr 151 z dnia 15 grudnia 1998 r.
12. „Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych” – D1.
13. Załącznik do Uchwały nr 155 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 6 czerwca 2002 r.
14. „Instrukcja Techniczna K-1”. Główny Geodeta Kraju. Warszawa 1998.
15. Strony internetowe: <http://www.leica-geosystem.com>
16. Strony internetowe: <http://www.nadowski.geo.pl>
17. Strony internetowe: <http://www.technet-gmbh.com>
18. Strony internetowe: <http://www.vestra.pl>
19. Strony internetowe: <http://www.card.pl>