

GEODEZYJNE I DIAGNOSTYCZNE TECHNIKI POMIARU GEOMETRII TORÓW KOLEJOWYCH

Przemysław Grabias

mgr inż. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel.: +48 12 617 5165, e-mail: pgrabias@agh.edu.pl

Streszczenie. *Uchwalony w styczniu 2016 r. Standard techniczny „O organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej” GK-1 wskazuje zalecane metody wykonywania prac terenowych oraz zakres ich stosowania. Stawia także wiele szczegółowych wymagań w zakresie dokładności pomiarów oraz warunków i konfiguracji ich prowadzenia. Artykuł opisuje najpopularniejsze aktualnie techniki geodezyjne: tachymetrię, niwelację, pomiary GNSS oraz skaning laserowy. Przybliża również ich potencjalne zastosowanie w geodezji kolejowej, m.in. podczas zakładania kolejowych osnów geodezyjnych i specjalnych, przeprowadzania regulacji osi toru kolejowego, pomiaru skrajni oraz pomiarów sytuacyjno-wysokościowych. Artykuł prezentuje także rozwiązania sprzętowe wykorzystujące bezpośrednio lub pośrednio wymienione techniki pomiarów geodezyjnych. Obejmują one przyrządy do diagnostyki i badania geometrii torów m.in. toromierze ręczne i belki pomiarowe oraz elektroniczne toromierze wózkowe, a także drezyny lub wagony pomiarowe. Część z nich pozwala na bezpośrednie zamocowanie instrumentu (np. tachymetru, skanera, odbiornika GNSS) lub osprzętu geodezyjnego (np. reflektora pryzmatycznego). Umożliwia to prowadzenie kompleksowego pomiaru różnymi technikami oraz porównanie i kontrolę uzyskanych wyników. Charakterystyka oraz dokładność poszczególnych technik oraz rozwiązań została odniesiona do zaleceń i wymagań Standardu GK-1.*

Słowa kluczowe: *geodezja kolejowa, geometria toru kolejowego, pomiary geodezyjne*

1. Wprowadzenie

Utrzymanie linii kolejowych w spełniającym założone wymagania stanie technicznym jest jednym z nadrzędnych zadań stawianych przed zarządcą terenu kolejowego. Dbłość o odpowiedni stan infrastruktury kolejowej wymaga prowadzenia prac pomiarowych, naprawczych i modernizacyjnych. Wymagania techniczne dotyczące systemu kolei konwencjonalnych podaje dyrektywa 2004/50/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. Szczegółowe informacje dotyczące bezpieczeństwa i współpracy poszczególnych podsystemów kolejowych określają techniczne specyfikacje interoperacyjności (TSI). Zgodnie z nimi, przedsiębiorstwa dbające o infrastrukturę kolejową powinny dzielić się doświadczeniami, wiedzą i technologią.

Pomiary dróg kolejowych i innych obiektów z nimi związanych dokonują zespoły geodezyjne PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. lub wykonawcy zewnętrzni

posiadający stosowne uprawnienia. Są to głównie pomiary realizacyjne, inwentaryzacyjne oraz prowadzone niezależnie od nich okresowe badania diagnostyczne nawierzchni i podtorza. Podmioty realizujące prace geodezyjne na terenach kolejowych zobowiązane są do przestrzegania wytycznych i stosowania Standardu technicznego „O organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej” GK-1 [1]. Prace geodezyjne i kartograficzne powinny być wykonywane zgodnie z metodami i zasadami określonymi w obowiązujących przepisach [9].

2. Zadania geodetów na terenach kolejowych

Do asortymentu prac pomiarowych na terenach kolejowych należą [1]: kolejowa pozioma i wysokościowa osnowa geodezyjna, kolejowa osnowa specjalna (KOS), mapy sytuacyjno – wysokościowe, regulacja osi torów, kilometracja linii kolejowej, pomiary realizacyjne, profil podłużny linii, uzbrojenie podziemne oraz pomiary powykonawcze.

2.1. *Osnowy kolejowe*

Kolejową podstawową poziomą osnowę geodezyjną stanowią punkty przenoszące na tereny kolejowe geodezyjny państwowy, sytuacyjny układ odniesienia. Punkty poziomej osnowy podstawowej wyznaczane są z wykorzystaniem techniki statycznej GNSS. Lokalizacja i sposób stabilizacji punktów musi posiadać konfigurację pozwalającą na precyzyjne centrowanie, wykonanie pomiaru satelitarne GNSS oraz pomiaru niwelacyjnego. Błąd położenia punktu w planie nie może przekraczać $\pm 0,01$ m w odniesieniu do osnowy bazowej. W ramach tej osnowy zakładane są pary punktów rozmieszczone co 2,0-2,5 km. Odległość między punktami w danej parze powinna wynosić od 150 do 300 m przy zachowaniu wzajemnej wizury.

Do kolejowej szczegółowej poziomej osnowy geodezyjnej należą punkty wykorzystywane do nawiązywania pomiarów geodezyjnych na terenach kolejowych. Zalicza się do nich m.in. pomiary sytuacyjno-wysokościowe i realizacyjne, pomiar profilu podłużnego oraz pomiary do celów regulacji osi torów. Osnowę szczegółową tworzą punkty rozwinięcia kolejowej osnowy podstawowej oraz punkty kolejowej osnowy specjalnej (KOS). Średni błąd położenia punktów osnowy szczegółowej nie może przekraczać $\pm 0,01$ m w odniesieniu do kolejowej podstawowej poziomej osnowy geodezyjnej. Punkty te powinny być trwale stabilizowane i zakładane w sieciach z wykorzystaniem klasycznych pomiarów metodą poligonizacji oraz wcięcia kątowno-liniowego lub wykorzystując statyczne pomiary satelitarne. Poniżej wymieniono główne warunki techniczne kolejowej szczegółowej osnowy poziomej:

- w pomiarach sieci poligonowej należy stosować instrumenty geodezyjne zapewniające średni błąd pomiaru kierunku poniżej $\pm 5''$ oraz poniżej $\pm 2\text{mm} + 2\text{ppm}$ dla długości;

- długości boków w ciągach powinny wynosić od 100 m do 250 m;
- pomiar kątów wykonuje się w dwóch seriach, dopuszczalna różnica między seriami nie powinna przekraczać 15cc; pomiar długości boku wykonuje się w dwóch kierunkach, a różnica długości w obydwu kierunkach nie powinna przekraczać 4 mm.

Kolejową osnowę wysokościową stanowi zbiór punktów dowiązanych do podstawowej osnowy, służących do bezpośredniego nawiązania wysokościowych pomiarów geodezyjnych na obszarach kolejowych. Kolejową wysokościową osnowę geodezyjną tworzą sieci niwelacyjne zakładane metodą niwelacji geometrycznej, której elementami są linie niwelacyjne, składające się z odcinków niwelacyjnych. Średni błąd pomiaru nie powinien być większy niż 4 mm/km, a błąd wysokości punktu nie powinien być większy niż 0,01 m. Odcinki niwelacyjne mierzy się dwukrotnie – w kierunku głównym i w kierunku powrotnym. Na każdym stanowisku przewyższenie wyznacza się dwukrotnie a różnica pomiędzy dwoma wyznaczeniami przewyższenia na stanowisku nie powinna być większa niż 2 mm.

2.2. Mapa do celów projektowych

Mapę do celów projektowych dla terenu zamkniętego wykonuje się zgodnie z wytycznymi zawartymi w stosownych rozporządzeniach [9] oraz standardu [1]. Musi ona zawierać wszystkie elementy treści mapy zasadniczej, tj.: sytuacja, uzbrojenie, wysokości, dane ewidencyjne wraz z granicami działek ewidencyjnych. Ponadto na mapach muszą zostać umieszczone wskazane elementy mapy sytuacyjno-wysokościowej. Dodatkowo na mapach do celów projektowych muszą się znaleźć opracowane geodezyjnie linie rozgraniczające tereny o różnym przeznaczeniu: osie dróg oraz linie zabudowy, uzbrojenia terenu, uzgodnienia sieci itp. Obowiązkowe jest także naniesienie usytuowania zieleni wysokiej ze wskazaniem pomników przyrody oraz innych obiektów i szczegółów wskazanych przez projektanta, zgodnie z celem wykonywanej pracy. Mapę do celów projektowych skalach 1:500 dla stacji kolejowych, 1:500 lub 1:1000 dla szlaków kolejowych. Nowe opracowania numeryczne należy wykonywać z redakcją dla skali 1:500 [1].

2.3. Pomiary inwentaryzacyjne na cele regulacji osi torów

Tory kolejowe zbudowane są z odcinków prostych, krzywych przejściowych oraz łuków kołowych. Układ geometryczny toru powinien spełniać wymagania określone w przepisach o utrzymaniu nawierzchni w celu zachowania odpowiedniej dostępności, niezawodności i interoperacyjności toru. Parametry geometryczne trasy kolejowej (m.in. długość odcinków prostoliniowych, krzywej przejściowej oraz wielkość promienia łuku kołowego) zależą od maksymalnej prędkości pociągów na danym odcinku. W celu zwiększenia prędkości jazdy lub przywrócenia jej do wielkości pierwotnej konieczna jest zmiana układu geometrycznego szlaku kolejowego. Obejmuje to m.in.: zmianę długości odcinków prostoliniowych,

wartości promienia łuków kołowych lub wprowadzenie dodatkowych odcinków krzywych przejściowych.

Zmiany układu geometrycznego torów oraz projekt regulacji osi torów przedstawiane są na dokumentacji zawierającej aktualny kształt osi torów. Takie materiały można uzyskać poprzez wykonanie geodezyjnych pomiarów inwentaryzacyjnych [2]. Regulacja osi toru rozumiana jest jako określenie nowych parametrów układu geometrycznego istniejącego toru (projektowanie) lub wykonanie prac związanych z realizacją projektu układu geometrycznego (np. przy użyciu maszyn torowych - podbijarek) [1]. Położenie osi toru utrwała się na znakach regulacji osi toru (KOS). Regulacją osi toru należy objąć tory wraz z rozjazdami.

Pomiary inwentaryzacyjne na potrzeby regulacji osi toru wykonuje się:

- w sposób klasyczny (wykorzystując metodę rzędnych i odciętych dla odcinków prostoliniowych oraz metodę pomiaru strzałek dla odcinków krzywoliniowych);
- w oparciu o współrzędne punktów.

Aby wyznaczyć współrzędne osi toru wykorzystuje się metodę biegunową (tachymetrię) lub metodę satelitarną. Każda z tych metod umożliwia wykorzystanie toromierza lub specjalnego wózka pomiarowego w celu wyznaczenia rzeczywistego przebiegu osi toru [2].

2.4. Pomiary geodezyjno-diagnostyczne

Terminem diagnostyki nawierzchni kolejowej można określić całokształt metod i środków mających na celu określenie jej aktualnego stanu, a także prognozowania możliwych zmian tego stanu. Diagnostyka jest w stanie dostarczać kompleksowe informacje dotyczące stanu technicznego dróg kolejowych i pozwala określić rodzaj, zakres i miejsce niezbędnych napraw. Bieżący monitoring stanu infrastruktury dróg szynowych obejmuje swoim zakresem m.in.: oględziny, badania techniczne, badania specjalne oraz ocenę i analizę otrzymanych wyników. Rejestrowane są także: wszystkie zaobserwowane usterki, prowadzone są prace konserwacyjne oraz naprawy bieżące i główne. W pracach związanych z utrzymaniem linii kolejowych i ich modernizacją uczestniczą zespoły diagnostyczno-pomiarowe, odpowiedzialne za pomiary infrastruktury linii kolejowej [4, 10].

By zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa i komfortu jazdy zarządca zobowiązany jest do utrzymania odpowiedniego stanu nawierzchni kolejowej. Ocena tego stanu wymaga posiadania informacji na temat poszczególnych elementów nawierzchni kolejowej m.in.: parametrów geometrycznych torów, podkładów, podsypki, szyn, nasypów, śrub. Krytyczne znaczenie ma odpowiedni stan parametrów geometrycznych torów [2]. W celu ich wyznaczenia mogą być wykorzystane metody pośrednie i bezpośrednie pomiaru. Do metod bezpośrednich zaliczają się metody klasyczne, do których należą pomiary za pomocą: toromierzy uniwersalnych, profilomierzy, teodolitów, niwelatorów i suwmiarek. Do pojazdów wykorzystywanych do pomiarów pośrednich zalicza się drezyny oraz wagony pomiarowe. W ramach pomiarów bezpośrednich wykonuje się:

- 1) pomiar podstawowych parametrów charakteryzujących położenie toków szynowych:
 - szerokość toru,;
 - różnice wysokości toków szynowych,
 - nierówności toków szynowych w obu płaszczyznach;
- 2) pomiar dodatkowych parametrów toru obejmujących:
 - położenie toru w płaszczyźnie poziomej i pionowej w odniesieniu do znaków regulacji osi toru,
 - wartości luzów w stykach toru klasycznego.

Do wykonywania pomiarów bezpośrednich powinien być używany sprawny i legalizowany sprzęt diagnostyczny, zapewniający dokładność pomiaru do 1 mm. Pomiaru szerokości toru i przechyłki dokonuje się co 5 m w torze na prostej oraz co 2,5 m w torze w łuku o promieniu mniejszym od 300 m. Pomiar strzałek w łukach wykonuje się na bazie cięciwy 10 m.

3. Geodezyjne techniki pomiarowe w geodezji kolejowej

3.1. Tachymetria

Tachymetria jest techniką pomiarową polegającą na sytuacyjno-wysokościowym pomiarze szczegółów terenowych z zastosowaniem metody biegunowej. Obecnie zazwyczaj stosuje się tzw. metodą biegunową 3D, w której współrzędne przestrzenne mierzonego punktu wyznaczone są w oparciu o pomiar kierunku poziomego, pionowego oraz odległości. Pomiar tachymetryczny znalazły szerokie zastosowanie w pomiarze różnorodnych obiektów. Szerokie zastosowanie tachimetrii wynika z wysokich dokładności możliwych do osiągnięcia dzięki wykorzystaniu nowoczesnych, precyzyjnych instrumentów pomiarowych. Technologia ta wykorzystywana jest w geodezji kolejowej w pracach związanych z budową nowych linii i obiektów kolejowych oraz modernizacją i utrzymaniem istniejących.

Pomiar tachymetryczny przeprowadza się zazwyczaj z wykorzystaniem reflektora pryzmatycznego, jednak część tachimetrów ma opcję pomiaru bezreflektorowego (IR). Umożliwia ona zmierzenie trudno dostępnych obiektów, celując bezpośrednio na ich powierzchnię. Przykładem nowoczesnego, precyzyjnego tachymetru elektronicznego jest instrument Leica Nova MS50 (rys. 1a). Wykonuje on pomiar kątów z dokładnością $\pm 1''$ ($3''$) oraz pomiar odległości z dokładnością $\pm 1 \text{ mm} + 1,5 \text{ ppm}$ ($\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ dla pomiaru IR) [6]. Pomiar tachymetryczny zalecany jest dla prac wymagających najwyższej precyzji. Spełnia ona wymagania założone dla pomiaru szczegółowej osnowy poziomej oraz osnowy specjalnej. Metoda biegunowa jest wykorzystywana także do tyczenia elementów infrastruktury kolejowej m.in. podtorza, torów, rozjazdów i skrzyżowań. Tyczenie może odbywać się z punktów swobodnych, nawiązanych do punktów osnowy lub bezpośrednio z punktów kolejowej osnowy geodezyjnej.

Innym zastosowaniem tachymetrii jest pomiar geometrii krótkich odcinków w celu dostarczenia danych pomiarowych dla projektu regulacji osi toru. Wykonywany może być razem z innymi metodami lub niezależnie i prowadzony z wykorzystaniem reflektora pryzmatycznego zamocowanego na adapterze przykładowym do wewnętrznej krawędzi toku szynowego, na belce pomiarowej lub toromierzu elektronicznym (rys. 1a).

3.2. Niwelacja

Niwelacja jest określeniem geodezyjnego wyznaczania różnic wysokości między mierzonymi punktami terenowymi. W zależności od metody, potrzeb i możliwości, pomiar wykonuje się niwelatorem (niwelacja geometryczna) lub tachymetrem (niwelacja trygonometryczna). Niwelacja trygonometryczna umożliwia wyznaczenie różnic wysokości na podstawie kierunku pionowego i odległości poziomej. Niwelacja geometryczna zazwyczaj charakteryzuje się wyższą dokładnością. Polega ona na pomiarze poziomej osi celowej na pionowo ustawione na mierzonych punktach łaty niwelacyjne. Szczegółowa konfiguracja pomiaru jest uzależniona od oczekiwanej dokładności, wymagań technicznych oraz warunków terenowych. Nowoczesne niwelatory precyzyjne pozwalają wykonywać pomiar z dokładnością (odchyleniem standardowym na 1 km) rzędu 0,1-0,3 mm. Przykładem takiego instrumentu jest niwelator Leica DNA03 (rys. 1b), który zapewnia dokładność podwójnej niwelacji ciągu o długości 1 km - 0,3 mm (przy pomiarze na łaty inwarowe) [6]. Spełnia to wymagania zakładania kolejowej osnowy wysokościowej. Dla części prac, niewymagających tak wysokiej precyzji metoda biegunowa 3D (zawierająca niwelację trygonometryczną) jest wystarczająca. Niwelację geometryczną stosuje się w celu wykonania dokładnych profili podłużnych (budowlanych lub eksploatacyjnych) linii kolejowych w nawiązaniu do geodezyjnej osnowy kolejowej (KOS).



Rys. 1. Tachymetr Leica Nova MS50 (a) oraz niwelator Leica DNA03 w trakcie wykonywania prac pomiarowych na terenie kolejowym

3.3. Pomiar satelitarne GNSS

W ostatnich latach nastąpił znaczny postęp w zakresie globalnych satelitarnych systemów nawigacyjnych (GNSS). Pozwoliło to na zastąpienie części klasycznych technologii, wydajnymi technikami satelitarnymi. W skład GNSS wchodzi obecnie system GPS-NAVSTAR, obsługiwany przez Stany Zjednoczone oraz GLO-NASS (rosyjski). Należą do nich także pozostające w budowie: europejski system GALILEO oraz chiński COMPAS. Rozwój technologii generuje wzrost dokładności korzystających z nich pomiarów geodezyjnych. Aktualnie do wyznaczenia punktów kolejowej osnowy poziomej podstawowej i szczegółowej obok technik klasycznych stosuje się metodę statyczną pomiarów GPS. Natomiast w pomiarach realizacyjnych i inwentaryzacyjnych obiektów infrastruktury kolejowej stosuje się z powodzeniem metodę RTK GPS.

Metoda statyczna charakteryzuje się wysoką dokładnością, sięgającą przeciętnie $5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ dla współrzędnych płaskich oraz $10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ dla wysokości. Jest to dokładność wystarczająca do wyznaczenia położenia punktów kolejowej podstawowej i szczegółowej, w tym osnowy specjalnej (KOS), dla których wymagana dokładność współrzędnych powinna wynosić poniżej $\pm 0,01 \text{ m}$ wpływającym na spadek dokładności obserwacji jest występowanie przeszkód terenowych, które utrudniają łączność z satelitami lub stacją bazową. W pomiarze uczestniczą co najmniej dwa odbiorniki. Zazwyczaj jeden odbiornik jest umieszczany nad punktem o znanych współrzędnych (tzw. stacja bazowa), natomiast pozostałe odbiorniki umieszczane są nad punktem, którego współrzędne są wyznaczone. Metoda ta dopuszcza pomiar w kilku sesjach, a następnie opracowanie wyników obserwacji w etapie zwanym *post-processingiem*.



a)



b)

Rys. 2. Pomiar statyczny kolejowej szczegółowej osnowy poziomej z wykorzystaniem odbiornika Leica GPS 1200 (a) oraz zestaw RTK GPS (Topcon HiperPro) (b)

W kinematycznych pomiarach satelitarnych (RTK GPS) położenie odbiornika ruchomego (tzw. rovera) wyznaczone jest w czasie rzeczywistym względem odbiornika stacjonarnego (tzw. stacji bazowej) znajdującego się nad punktem o znanych współrzędnych. By pomiar RTK GPS był skuteczny i osiągał założoną dokładność wymagana jest ciągła łączność ze stacją bazową i obserwacja minimum 5 satelitów. Pomiar kinematyczne pozwalają wyznaczyć współrzędne płaskie punktu z maksymalną dokładnością rzędu 10 mm + 1ppm, a wysokościowe z dokładnością 20 mm + 1 ppm. Technologia RTK GPS znalazła praktyczne zastosowanie w pomiarach inwentaryzacyjnych torów kolejowych (rys. 2b).

3.4. Skaniny laserowe

Skaning laserowy jest techniką polegającą na wydajnym, automatycznym pomiarze dużej liczby punktów z dokładnością rzędu od kilku do kilkunastu milimetrów. Bazuje ona na metodzie biegunowej 3D. W ramach naziemnego skaningu laserowego można wyróżnić skaning stacjonarny, wykorzystujący pojedynczy skaner na stanowisku pomiarowym oraz skaning mobilny, w którym jeden lub kilka skanerów są zamocowane na pojeździe. Dokładność pomiaru skaningowego zależy m.in. od charakteru powierzchni, jej położenia względem stanowiska skanera, warunków atmosferycznych oraz rozdzielczości skanowania. Prowadzenie pomiaru na wielu stanowiskach stwarza potrzebę połączenia tzw. chmur punktów. Łączenie to odbywa się w oparciu o rozmieszczoną w czasie pomiaru osnowę fotogrametryczną, m.in. w postaci tarcz celowniczych (rys. 3). Podstawowym warunkiem do połączenia ze sobą dwóch chmur jest posiadanie co najmniej trzech punktów wspólnych na obu zobrazowaniach. Wynikiem procesu rejestracji chmur punktów jest trójwymiarowe, kompleksowe zobrazowanie obiektu. Kompletny model 3D obiektu może być później wykorzystany do szeregu różnorodnych analiz z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego.



Rys. 3. Skaner laserowy Faro Focus 3D wraz z osprzętem pomiarowym

Wykorzystanie skaningu laserowego do poszczególnych zastosowań w geodezji kolejowej jest uwarunkowane osiągnięciem określonych wymaganych dokładnościowych. Możliwe jej zastosowania, to: pomiary diagnostyczne, odbiorcze i inwentaryzacyjne m.in. skrajni budowlanej oraz geometrii torów i rozjazdów, a także inwentaryzacja obiektów infrastruktury kolejowej (nawierzchni kolejowej, budowli technicznych i innych). Obszerne prace pomiarowe pozwoliły zweryfikować rzeczywisty jej potencjał. Zachowując najwyższą precyzję i odpowiednią konfigurację pomiaru możliwe jest wykorzystanie skaningu do [7,11]:

- pomiaru geometrii toru i rozjazdów,
- wyznaczenie położenia torów kolejowych w odniesieniu do obiektów infrastruktury, dopuszczalna wartość różnicy tego położenia musi wynosić $\pm 0,02$ m,
- pomiaru trakcji elektrycznej oraz skrajni budowlanej,
- oceny stanu nawierzchni szynowej, pomiaru wielkości występujących w niej uszkodzeń oraz oceny stopnia zużycia szyn.

4. Systemy pomiarowe wykorzystujące techniki geodezyjne

Standard GK-1 podaje by pomiar osi torów oraz rozjazdów przeprowadzany był przy użyciu poziomej łąty z lustrem dalmierczym, wyznaczającym tą oś. Dodatkowo wysokość statywu na łącie dalmierczej nie może być wyższa od 0,30 m. Natomiast położenie toru w płaszczyźnie poziomej i pionowej w stosunku do toru sąsiedniego i obiektów (słupów trakcyjnych, słupów oświetleniowych, tarcz, semaforów, obiektów mostowych, ścian oporowych i innych) nie powinno się różnić więcej, niż $\pm 0,02$ m od wielkości normatywnych [1]. Biorąc pod uwagę podane kryterium dokładności, na drogach kolejowych można zastosować nowoczesne urządzenia pomiarowe. Pozwalają one na sprawniejszy pomiar i znaczące przyspieszenie prac terenowych. Szwajcarska Komisja Technologii i Innowacji zaproponowała podział systemów pomiarowych na trzy grupy w zależności od efektywności i szybkości prowadzenia prac:

- urządzenia o wydajności pomiaru do 0,5 km trasy na godzinę,
- systemy o szybkości pomiaru w granicach $0,5 \div 5$ km drogi szynowej na godzinę,
- urządzenia pozwalające zmierzyć od 5 do nawet 250 km trasy w ciągu godziny.

4.1. Ręczne urządzenia do pomiaru toru kolejowego

Powszechnie stosowanym ręcznym przyrządem do pomiarów bezpośrednich geometrii toru jest toromierz uniwersalny tzw. roboczy. Za pomocą tego przyrządu możliwy jest pomiar szerokości toru, przechyłki i innych parametrów charaktery-

stycznych dla rozjazdów. Postęp elektroniki wpłynął także na rozwój konstrukcji toromierzy. Zostały one wyposażone w dodatkowe urządzenia pomiarowe m.in. dalmierz oraz urządzenia do gromadzenia danych. Przyczyniło się to do przyspieszenia prac pomiarowych, wzrostu dokładności oraz umożliwienia opracowania wyników pomiaru w terenie. W użyciu wciąż znajduje się wiele analogowych i elektronicznych ręcznych systemów do pomiaru toru kolejowego [5].

Przykładem belki (łaty) do pomiaru osi toru kolejowego jest rozwiązanie firmy Trimble. Umożliwia ono zamontowanie reflektora pryzmatycznego na trzpieniu zespolonym z belką. Pomiar osi toru odbywa się metodą biegunową z wykorzystaniem tachymetru. Fragment belki prostopadły do całości pozwala na precyzyjne pozycjonowanie względem szyn. Jej krawędź znajduje się 14 mm poniżej górnej powierzchni tocznej szyny.



Rys. 4. Belka do pomiaru osi toru kolejowego firmy Trimble

4.2. Toromierze i wózki pomiarowe

Do urządzeń o szybkości pomiaru w granicach $0,5 \div 5$ km drogi szynowej na godzinę można zaliczyć systemy: TEC firmy GRAW, Hergie firmy Rhomberg, Geo++[®] GNBAHN skonstruowany przez firmę Geo++, TQM (Track Quality Measuring), Leica GRP System FX.

Powszechnie spotykamy i jednym z najpopularniejszych systemów do pomiaru geometrii torów kolejowych jest toromierz TEC (rys. 5a) wyprodukowany przez firmę GRAW. Kolejne wersje i warianty tego sprzętu są obecne na rynku od lat i korzysta z nich wielu diagnostów kolejowych. Jest to elektroniczny toromierz samorejestrujący, który wykonuje pomiary: szerokości, przechyłki oraz nierówności poziomych i pionowych. Toromierz w wariantcie TEE dodatkowo wylicza w terenie wtórne parametry geometryczne tj. wichrowatość toru lub rozjazdu, gradient szerokości toru oraz położenie lewej i prawej szyny prowadzącej. Toromierz TEC jest stosunkowo lekki (około 25 kg) i wytrzymały, możliwe jest szybkie usunięcie go z toru w przypadku przejazdu pociągu i kontynuowanie pomiaru bez dodatkowej kalibracji. Dedykowane oprogramowanie umożliwia m.in.: generowanie szczegółów protokołów pomiarowych dla rozjazdu, wydruk tabelaryczny wyników pomiarów z zaznaczeniem wad wykrytych przez operatora, wydruk wyników pomiarów w postaci wykresów. Toromierz ten posiada następującą podstawową specyfikację techniczną [3]:

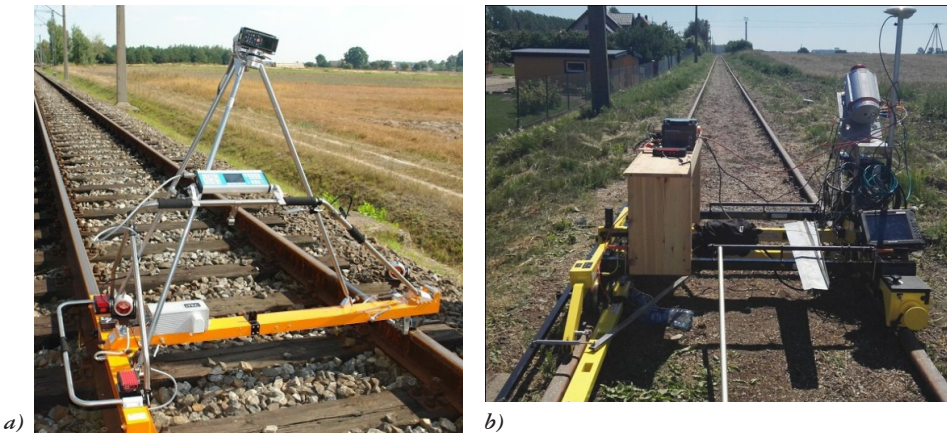
- krok pomiaru: 0,5 m,
- zakres pomiarowy szerokości: $1420 \div 1485$ mm,
- zakres pomiarowy przechyłki: ± 200 mm,
- zakres pomiarowy nierówności pionowych: ± 2 mm/1 m,

- zakres pomiarowy nierówności poziomych: ± 5 mm/1 m, rozdzielczość wszystkich wymienionych parametrów: 0,1 mm.

Toromierz TEC może zostać rozbudowany o przystawkę Laser-TEC do pomiaru położenia elementów skrajni względem osi toru. Przystawka z dalmierzem laserowym pozwala na pomiar urządzeń i obiektów o średnicy większej niż 10 mm, m.in.: semaforów, tuneli, peronów, szerokości międzytorza, wysokości przewodu trakcyjnego, słupów i innych elementów w odległości do 7 m od osi toru. Pomiar położenia elementów skrajni może być dokonywany w trakcie pomiaru geometrii torów. Wykonywany jest on po zatrzymaniu toromierza poprzez wycelowanie wiązki lasera w wybrany punkt. Wyniki pomiarów oraz lokalizacja obiektu zapisywane są w pamięci toromierza. Błąd pomiaru jest nie większy niż 5 mm [3].

Innego typu zestawem pomiarowym jest wózek TQM – Track Quality Measuring rozwijany przez firmę Railcare Advanced Instruments Ltd. System opiera się na wykorzystaniu specjalnego wózka pomiarowego umożliwiającego pomiar i wyznaczenie nierówności toków szynowych w płaszczyźnie pionowej i poziomej, szerokości toru, przechyłki oraz przebytego dystansu. Pomiar parametrów geometrycznych trasy kolejowej jest możliwy dzięki wyznaczeniu wielkości strzałek, które są mierzone w oparciu o cięciwy, wyznaczone przez konstrukcję wózka. System pomiarowy opracowany na bazie wózka TQM (rys. 5b) został rozbudowany o kilka dodatkowych urządzeń pomiarowych, które w znaczny sposób rozszerzyły jego możliwości pomiarowe:

- odbiornik GNSS Trimble R-10, który zapewnia wyznaczenie współrzędnych osi toru z centymetrową dokładnością;
- skaner laserowy RIEGL-VQ 450 2D, umożliwiający bezdotkowy pomiar profili;
- georadar SIR 3000 firmy GSSI do badania struktury nasypu kolejowego, umożliwia także wykrycie uzbrojenia podziemnego oraz pomiar grubości warstw podłoża;
- inercyjną jednostkę pomiarową IMU.



Rys. 5. Toromierz TEC wraz z dodatkowym wyposażeniem (a) oraz system pomiarowy oparty na wózku TQM (b)

4.3. Drezyny i wagony pomiarowe

Opisane wyżej urządzenia umożliwiają pomiar geometrii kilku kilometrów linii kolejowej na godzinę. Jednak dla zachowania bezpieczeństwa i optymalnych warunków geometrycznych długiej sieci kolejowej niezbędne jest stosowanie wydajniejszych maszyn pomiarowych. Takimi maszynami są wagony (nieposiadające własnego napędu) oraz drezyny pomiarowe, które są samojezdnymi pojazdami pomiarowymi. Zaliczane są do trzeciej grupy, wykonując pomiar nawet do 250 km trasy na godzinę i przeznaczone są najczęściej do obsługi kolei dużych prędkości.

PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. wykorzystuje drezynę EM-120 firmy Plasse-r&Theurer, wyposażoną w elektroniczne systemy pomiarowe, drukarkę dostarczającą wykresy i raporty oraz komputer pokładowy zapisujący i przetwarzający dane. Umożliwia ona pomiar do 120 km trasy na godzinę. W wersji używanej przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. układ pomiarowy drezyny jest oparty na trzech dwuosiowych wózkach jezdnych. Baza dla pomiarów nierówności poziomych i pionowych wynosi 10 m, co odpowiada rozstawowi kół pomiarowych. Pomiędzy kołami wózków znajdują się ślizgi pomiarowe, które w trakcie poruszania się drezyny przemieszczają się jednocześnie przylegając do powierzchni bocznej główki szyny, co umożliwia wykonanie pomiaru poziomych parametrów geometrycznych toru: szerokości i nierówności poziomych.

Innym przykładem tego typu pojazdu, jest drezyna pomiarowa Swisstrolley II firmy Terra Vermessugen (rys, 6b). Oprócz podstawowych parametrów geometrii toru pozwala także na pomiar profilu główki szyny, jej uszkodzenia i zagięcia, skrajnię oraz dostarcza kompletny model 3D mierzonego odcinka. Pomiar tych parametrów jest możliwy dzięki wykorzystaniu następujących przyrządów pomiarowych: dwóch mobilnych skanerów, skanera i kamery główki szyny, kamery panoramicznej, georadaru oraz odbiornika GNSS.



a)



b)

Rys. 6. Drezyny pomiarowe EM-120 (a) oraz Swisstrolley II (b)

4.4. Geodezyjna weryfikacja systemu pomiarowego

Szczegółowe zbadanie oraz ocena poprawności, powtarzalności i wiarygodności wyników w zróżnicowanych warunkach geometrii toru jest niezbędną czynnością do wykonania przed wprowadzeniem sprzętu na rynek. Istotne w tym procesie jest wykonanie odpowiednich testów pomiarowych. Szczególnie ważne jest to w kontekście późniejszego zastosowania badanego sprzętu w zakresie sprawdzania i kształtowania geometrii toru kolejowego. Badania powinny być prowadzone w zgodności z wymaganiami międzynarodowej normy EN 13848-4 [8] w warunkach torowych z możliwością oceny poprawności pomiaru parametrów geometrii torów, zarówno na torze nominalnie prostym, jak i na łukach o różnych promieniach oraz na krzywych przejściowych. Badania prowadzone są w torach o długości co najmniej 1000 m, zawierających co najmniej dwa łuki, w tym jeden o promieniu co najmniej 800 m.

Wartości parametrów geometrii toru uzyskane z przejazdu badanym toromierzem zestawia się z parametrami pozyskanymi z pomiarów geodezyjnych. Analiza obejmuje też sprawdzenie modułu pomiaru drogi. Kilometraż toru otrzymany w wyniku pomiaru toromierzem odniesiony jest do kilometrażu geodezyjnego. Przeprowadzone analizy umożliwią zweryfikowanie danych otrzymanych z pomiaru toromierzem elektronicznym względem danych pozyskanych metodami geodezyjnymi, przyjętych jako wzorcowe. Wynikiem badań jest sprawozdanie z pomiarów i ocena wszystkich mierzonych przez inercyjny toromierz samorejestrujący parametrów geometrii torów w aspekcie spełnienia wymagań zawartych w EN 13848-4 [8], dotyczących zarówno powtarzalności, jak i odtwarzalności mierzonych parametrów, a także ocenę względem wyników pomiarów metodami geodezyjnymi. Sprawozdanie powinno zawierać ponadto ocenę możliwości wykorzystania wyników pomiarów toromierzem inercyjnym dla potrzeb planowania podbijania. W toku badań ważna jest także współpraca ekspertów z zakresu geodezji, kolejnictwa oraz inżynierów mechaników i elektroników.

5. Podsumowanie

Artykuł dotyczy technik pomiarowych w geodezji kolejowej oraz ich wykorzystaniu w diagnostyce kolejowej, pomiarach na cele regulacji osi toru i innych wymienionych w treści zadaniach. W artykule zaprezentowano współcześnie stosowane techniki pomiarowe, jednocześnie wskazując ich przydatność do konkretnych prac wykonywanych w obrębie infrastruktury kolejowej. Jedną z podstawowych czynności wykonywanych przez diagnostów kolejowych jest sprawdzenie parametrów geometrycznych toru kolejowego. Równoległe do prac związanych z diagnostyką przeprowadzane są różnorodne pomiary geodezyjne. Prace te są niezbędne do uzyskania pełnego wglądu w stan techniczny elementów infrastruktury kolejowej.

Praca przedstawia także możliwości technik wykorzystywanych w pomiarach sytuacyjno-wysokościowych na liniach kolejowych wraz z wymaganiami dokładnościowymi stawianymi przez wytyczne i przepisy. Zaprezentowano tradycyjne metody tachymetryczne i niwelacyjne, służące bardziej precyzyjnym pomiarom. Obok klasycznych technik, instrumentów i przyrządów pomiarowych traktuje także o nowoczesnych technologiach pomiarowych. Techniki satelitarne GNSS przedstawiono z opisem możliwych do uzyskania dzięki nim dokładności, ich ograniczeń i przykładami zastosowania w pomiarach inwentaryzacyjnych linii kolejowych. Zwrócono uwagę także na rosnący potencjał technologii naziemnego skaningu laserowego w inwentaryzacji obiektów infrastruktury kolejowej oraz innych zastosowań, podając możliwe kierunki jego zastosowania.

Podane zostały informacje dotyczące osnów geodezyjnych występujących na kolejach oraz zasady ich zakładania i ustabilizowania punktów wchodzących w ich skład. W referacie można również znaleźć informacje dotyczące zasad sporządzania mapy do celów projektowych terenu kolejowego. Zwrócono uwagę na prace związane z pomiarem inwentaryzacyjnym osi toru. Przybliżone zostały także przykładowe przyrządy, urządzenia i pojazdy pomiarowe służące do diagnostyki. Do urządzeń tych należą podstawowe, ręczne toromierze, toromierze i wózki pomiarowe oraz drezyny pomiarowe.

Bibliografia

- [1] GK-1, 2015. Standard techniczny o organizacji i wykonywaniu pomiarów geodezji kolejowej. Warszawa.
- [2] Gocał J., Geodezja inżyniersko-przemysłowa. Część II., AGH, Kraków 2009.
- [3] GRAW, 2017. [Online:] <http://www.graw.com>.
- [4] Id-1 (D-1), 2005. Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych. Warszawa 2005 r.
- [5] Kampczyk A., Preweda E., Sołtys M., 2007. Klasyczne i zautomatyzowane systemy do przestrzennych pomiarów inwentaryzacyjnych urządzeń techniczno-eksploatacyjnych i torów kolejowych. *Geomatics and Environmental Engineering*, vol. 1, no. 4, s. 165-180.
- [6] Leica Geosystems, 2015. Leica TPS1200+ Precyzyjny i wydajny tachimetr elektroniczny. [Online:] <http://www.leica-geosystems.pl>.
- [7] Lenda G., Strach M., 2011. Zastosowanie skaningu laserowego do inwentaryzacji tunelu kolejowego. *Przegląd Komunikacyjny*, r. 66, nr 9-10, s. 78-83.
- [8] Norma międzynarodowa EN 13848-4 - Railway applications - Track – Track geometry quality - Part 4: Measuring systems – Manual and light-weight devices.
- [9] Rozporządzenie MAiC z dn. 9 listopada 2011 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wy-

sokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego. Dz. U. z 2011 r. Nr 263, poz. 1572.

- [10] Strach M., 2009. Pomiary dróg kolejowych i obiektów z nimi związanych oraz opracowanie wyników na potrzeby modernizacji kolei konwencjonalnych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 19, s. 411-422.
- [11] Strach M., 2013. Nowoczesne techniki pomiarowe w procesie modernizacji i diagnostyce geometrii torów kolejowych. AGH, Kraków, s. 18-23, 36-138.

