

Opracowanie innowacyjnej metodyki i informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej, część I

Kolej do kontroli

Bazę danych skrajni budowli linii kolejowych – która jest niezbędna m.in. do wydawania zgody na przewóz przesyłek nadzwyczajnych i do ustalania warunków ich transportu – cechować powinna przede wszystkim aktualność. Spełnienie tego warunku nie jest możliwe bez sprawnego mobilnego systemu do pomiaru skrajni.

**Sławomir Mikrut, Krystian Pyka,
Regina Tokarczyk,
Zbigniew Leszczewicz,
Agnieszka Warda**

Zgodnie z zapisami „Master Planu dla Transportu Kolejowego w Polsce do 2030 roku” kodyfikacji powinny podlegać wszystkie linie docelowej sieci kolejowej, na których przewidziany jest ruch pociągów towarowych. Prace nad kodowaniem linii kolejowych dla potrzeb przewozu ładunków z przekroczoną skrajnią ładunkową i transportu kombinowanego rozpoczęto w latach 90. ubiegłego wieku. Wnioski z przebiegu tych prac wskazały na potrzebę rozwiązania problemu baz danych parametrów skrajni poszczególnych elementów infrastruktury kolejowej. Jednocześnie stwierdzono, że uzyskane wyniki charakteryzują się zbyt małą dokładnością i precyzją.

Wobec tego w 1996 r. rozpoczęto prace nad wdrożeniem pojazdu pomiarowego UPS 80 i stworzeniem odpowiedniego systemu pomiarowego. W 2008 r. po serii badań i prób oraz uzyskaniu wymaganego przepisami prawnymi świadectwa dopuszczenia do eksploatacji (nadawanego przez Urząd Transportu Kolejowego) pojazd został wprowadzony do prac pomiarowych. Projekt zamontowanych na nim systemów pomiarowych realizowany był jako praca badawcza, a konstrukcję traktowano jako prototyp, który będzie wymagał wprowadzenia pewnych

zmian w celu poprawy jego sprawności i dokładności oraz automatyzacji pomiarów. Wobec rozwoju nowej techniki skaningu laserowego wskazana stała się rozbudowa i uzupełnienie systemów pomiarowych o urządzenia ciągłego skanowania laserowego za pomocą jedno- lub wielośladowych skanerów.

• Założenia projektu kodyfikacji

W grudniu 2009 r. PKP Polskie Linie Kolejowe SA złożyły do Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości wniosek autorstwa Biura Nieruchomości i Geodezji Kolejowej o dofinansowanie projektu pn. „Opracowanie innowacyjnej metodyki i informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej” w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka na lata 2007-13. Projekt uzyskał rekomendacje do otrzymania wsparcia i w listopadzie 2010 r. została podpisana umowa na dofinansowanie przedsięwzięcia. W 2011 roku Biuro Nieruchomości i Geodezji Kolejowej PKP PLK przystąpiło do realizacji projektu. Celem przedsięwzięcia było przeprowadzenie badań (I etap), a następnie wdrożenie ich wyników (II etap) w związku z wymogami unijnymi dotyczącymi wprowadzenia na terenie kraju jednolitego informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej.

Niniejszy artykuł jest pierwszym z cyklu trzech, w których zaprezentowane zostaną doświadczenia zespołu realizującego projekt w obszarze: wyboru metodyki badań i przeprowadzonych eksperymentów pomiarowych (cz. I), budowy bazy danych i implementacji procedur

kodyfikacji linii kolejowej (cz. II) oraz opisu funkcjonalności systemu po dokonaniu wdrożenia (cz. III).

• Etap badawczy

Pierwszy etap projektu był typowo badawczy i dotyczył opracowania metodyki pozyskiwania danych oraz modelu przestrzennego infrastruktury pasa kolejowego o dokładności pozwalającej na pomiar skrajni budowli według standardów określonych w kartach UIC oraz innych norm obowiązujących w Polsce. Jako podstawę funkcjonowania tego modelu przewidziano przestrzenną bazę danych infrastruktury kolejowej umożliwiającą kompilację, aktualizację i przetwarzanie – według ściśle określonych algorytmów – danych pozyskiwanych przy udziale różnych technik i metod pomiarowych, a także ich prezentację w przestrzeni wirtualnej.

W wyniku postępowania przetargowego najkorzystniejszą propozycję (o wartości 3,95 mln zł brutto) złożyła Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie. Uczelnia realizowała ten projekt przy współudziale dwóch wydziałów: Inżynierii Mechanicznej i Robotyki oraz Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska. Kierownikiem projektu został prof. Tadeusz Uhl – kierownik Katedry Automatyki i Mechatroniki. Natomiast na WGGiIŚ projekt realizowała głównie Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska.

Realizacja I etapu projektu objęła zaplanowane zadania, tj.:

- pozyskanie danych fotogrametrycznych w zakresie modelowania przestrzennego skrajni budowli kolejowych,

- opracowanie metodyki budowy przestrzennego modelu wektorowego infrastruktury kolejowej,

- automatyczne teksturowanie elementów przestrzeni opisujących skrajnie linii kolejowych,

- opracowanie metodyki aktualizacji skrajni obiektów na liniach kolejowych,

- opracowanie struktury przestrzennej bazy danych infrastruktury skrajni linii kolejowych,

- opracowanie metodyki wyznaczania kinematycznej skrajni ładunkowej,

- interaktywne nadawanie kodu dla linii kolejowej,

- opracowanie założeń i struktury informatycznego systemu zarządzania procesem nadawania kodów dla linii kolejowej.

Wymiernym efektem I etapu było przetestowanie dostępnych na rynku mobilnych systemów pomiarowych oraz wskazanie parametrów i konfiguracji sprzętowej dla naziemnej mobilnej platformy pomiarowej poruszającej się z prędkością około 100 km/h, która umożliwiła pomiar skrajni z wymaganą dokładnością. Ponadto opracowano prototyp informatycznego systemu zarządzania kodyfikacją linii kolejowych. System ten miał z założenia funkcjonować z wykorzystaniem bazy danych przestrzennej infrastruktury kolejowej. Jej parametry powinny umożliwić import i kompilację pomiarów pozyskiwanych z różnych źródeł, ich aktualizację, przetwarzanie według algorytmów zaprojektowanych na potrzeby pomiaru skrajni linii kolejowych, a także przestrzenną wizualizację wyników, z opcją interaktywnego precyzyjnego pomiaru szczegółów sytuacyjnych.

• Testowanie systemów

Zgodnie z założeniami projektu w pomiarach terenowych wykorzystano najnowsze rozwiązania z zakresu fotogrametrii i mobilnego skaningu laserowego. W ramach eksperymentów przetestowano kilka wybranych systemów pomiarowych. Testom podlegały dwa współczesne rozwiązania mobilnego skaningu, które bazują na pomiarze jednym skanerem profilowym oraz zestawem skanerów ustawionych pod kątem. Badano zarówno skanery pracujące w trybie impulsowym, jak i fazowym, aby podać ewentualne wady i zalety obu rozwiązań. Skanery impulsowe wykorzystują pomiar czasu powrotu impulsu do bazy po odbiciu od obiektu, fazowe natomiast wyznaczają odległość na podstawie analizy przesunięcia fazowego. Dokładności z obu systemów są na podobnym poziomie – od jednego do kilku mm.

Aby porównać ich możliwości i dokładności, zrealizowano osobny pomiar dwoma niezależnymi systemami:

- I – ze skanerem fazowym (rys. 1) profilującym prostopadłe do kierunku jazdy,

- II – ze skanerami impulsowymi (rys. 2) profilującymi w dwóch kierunkach ukośnych zintegrowanymi z kamerami.

Pierwsza z testowanych technologii to system „dedykowany dla kolei”. Wykorzystano w nim skaner profilujący Z+F Profiler 9000 sprzężony z odometrem. System ten pracuje w trybie pozyskiwania danych w płaszczyznach prostopadłych do kierunku jazdy pociągu i dokonuje pomiaru w układzie osi toru. Z+F Profiler 9000 wykorzystuje tylko jeden skaner potrafiący pozyskiwać dane w zakresie 360°, w odróżnieniu od wcześniejszej wersji – 6007 DUO, który korzystał z dwóch skanerów. Skaner współpracuje z odometrem R088ND3 firmy Wenglor. Ze względów bezpieczeństwa Z+F Profiler 9000 umieszczono na platformie (wagon typu RES), na wcześniej przygotowanej konstrukcji (rys. 1). System pomiarowy Z+F Profiler 9000 był w tym czasie (2011 r.) najszybszym skanerem dostarczającym dane w postaci dwuwymiarowych profili. Skaner fazowy pozwala na pomiar powyżej 1 mln punktów na sekundę z maksymalną prędkością rejestracji 200 profili na sekundę. Dzięki tym parametrom można otrzymać bardzo małe odległości między przekrojami nawet przy dużych prędkościach platformy.

Drugi system pomiarowy bazował na rozwiązaniu firmy Riegł – VMX-250 i w trakcie badań został rozbudowany o dodatkowe kamery Nikon D7000. Pod aerodynamiczną osłoną zainstalowany jest zespół dwóch skanerów Riegł VQ-250 z odbiornikiem GPS. W skład systemu wchodzi również cztery kamery cyfrowe służące do kolorowania chmury punktów. Zakres widzenia może być określony dla każdej kamery indywidualnie, w zależności od wymagań projektu.

Ponieważ w międzyczasie firma Riegł wdrożyła do produkcji system VMX-450, zdecydowano się również na wykonane testów tym właśnie systemem. Nowe rozwiązanie charakteryzuje się m.in. dwu-



Rys. 1. System I – skaner Z+F Profiler 9000 podczas montażu na wagonie kolejowym

krotnie większą częstotliwością pozyskiwania danych. Wcześniejsze rozwiązanie pozwalało na wykrycie elementów w skrajni i w jej bliskim otoczeniu o wymiarach minimalnych 10 x 10 cm. Przy nowej częstotliwości profilowania (200 Hz) rozdzielczość wykrywania detali wzrasta i osiąga poziom 7 cm w kierunku równoległym do osi toru (dla zwiększenia rozdzielczości w kierunku prostopadłym nie ma barier technologicznych).

Rysunki 3 i 4 ukazują prototyp konstrukcji do celów testowych, ponieważ docelowo system zostanie zamontowany na specjalnie do tego celu przygotowanym pojeździe (o tym szerzej w części trzeciej). Na rysunku 5 zaprezentowano sposób zamontowania systemu do pomiaru główek szyn.

W trakcie trwania projektu autorzy przetestowali ponadto dwa inne rozwiązania: system Pegasus (oparty na skane-



Rys. 2. System II bazujący na rozwiązaniu firmy Riegł – VMX 250



Rys. 3. System Riegl 450 w czasie montażu na platformie pomiarowej

rze Leica HDS 7000) oraz IPS-2 (rozwiązanie firmy Topcon).

• Ocena jakości pozyskanych danych

Jednym z istotnych etapów projektu była weryfikacja pozyskanych danych. Po wykonaniu rejestracji danych platformą pomiarową na odcinku 30 km na trasie Warszawa–Kraków (rejon Miechowa) oraz wykonaniu geodezyjnych pomiarów referencyjnych, kolejnym eta-

pem było badanie jakości geometrycznej pozyskanych danych. W ramach prac zbadano zgodność pozyskanej chmury punktów, wykorzystując w tym celu punkty kontrolne. Następnie wyznaczono dokładności na poszczególnych przekrojach (porównano je z wynikami pomiarów o milimetrowej dokładności: geodezyjnym oraz wykonanym precyzyjnym toromierzem LaserTEC). Ponadto porównano położenie w wybranych punktach przekrojów: pomiar geodezyjny oraz kameralny na chmurze punktów.

W trakcie badań pomierzono 10 wybranych przekrojów skrajni. Odchyłki mierzone w płaszczyźnie prostopadłej do osi toru w układzie 2000 i mieściły się one w dopuszczalnej granicy, jaką przyjęto na poziomie 2 cm (zalecenia zamawiającego).

Oprócz jakości geometrycznej chmury punktów sprawdzono również jakość danych pod kątem ich przygotowania do dalszej obróbki. Przeprowadzono automatyczną klasyfikację całości chmury punktów oraz dodatkowo sklasyfikowano manualnie wybrane elementy na odcinkach, gdzie wykonywano pomiary geodezyjne, tj. w tunelu, na fragmencie szlaku przed tunelem oraz dla stacji kolejowej. Badano również możliwości oceny geometrycznej danych na poszczególnych przekrojach. Dla wybranych miejsc porównano przekroje pozyskane dwoma systemami.

Warto zwrócić uwagę, że testowano systemy o zdecydowanie innych podstawach referencyjnych. Jeden odnosił

pomiary tylko do układu toru (system I), a drugi lokalizował je w układzie globalnym (system II). Oba rozwiązania mają swoje wady i zalety. Pomiar odniesiony do torów jest mniej skomplikowany, nie wymaga modułu GNSS/IMU i daje wyższą dokładność pomiaru skrajni. Pomiar globalny pozwala nie tylko na pomiar skrajni, ale także na badanie niektórych parametrów geometrii toru (odcinki prostoliniowe, krzywe przejściowe, łuki kołowe, przechyłka). Kosztem georeferencji jest nieco niższa dokładność, która lokuje się blisko dopuszczalnej granicy lub ją nieco przekracza.

Elementem podlegającym analizie był również wpływ prędkości poruszania się platformy na dokładność pozyskiwanych danych. Wykonano kilka pomiarów przy prędkościach 40, 60 i 80 km/h. Wyniki pokazały, że dokładność lokalizacji obiektów nie zmienia się znacząco przy zwiększaniu prędkości platformy, a więc można powiedzieć, że jest na poziomie dokładności identyfikacji wybranych elementów. Prędkość platformy, poza samym skanerem, decyduje o gęstości pozyskiwanych danych. Przy prędkości ponad 80 km/h odległość między punktami dochodzi nawet do kilkunastu centymetrów. Ma to duże znaczenie, kiedy analizie podlegają kilkunastocentymetrowe elementy. Może wówczas dojść do tego, że dany obiekt nie zostanie zarejestrowany. Rozwiązaniem jest system fotogrametryczny, który w takich sytuacjach wyłapie błędy. Projektowana baza danych i system do określania skrajni muszą za-



Rys. 4. System Riegl VMX 450 zamontowany na wagonie Smms 426Z



Rys. 5. System do pomiaru główek szyn



tem uwzględniać dane zarówno w postaci chmury punktów, jak i obrazów cyfrowych, ale o tym szerzej w części drugiej.

• Propozycja prototypu platformy pomiarowej

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów pomiarowych miały dać odpowiedź na pytanie: jakie urządzenia powinien zawierać prototyp platformy pomiarowej. Przyjęto założenie, że system będzie zainstalowany na platformie wagonowej ciągniętej przez lokomotywę z maksymalną prędkością 100 km/h lub zostanie zainstalowany na niezależnym pojeździe pomiarowym. Proponowaną platformę pomiarową powinny zatem tworzyć następujące komponenty:

- układ skanerów 2D profilujących w trzech kierunkach: prostopadle do osi toru oraz w dwóch kierunkach ukośnych (opcjonalnie system dwóch skanerów skanujących pod odpowiednim kątem),

- zestaw od 4 do 6 wysokorozdzielczych kamer, z których cztery służą do kolorowania chmury punktów, zadaniem pozostałych jest realizacja dodatkowych pomiarów uzupełniających,

- moduł georeferencyjny GNSS/IMU zintegrowany ze skanerami i kamerami,

- moduł fotogrametryczny składający się z układów stereowizyjnych o geometrii kanonicznej lub lekko zbieżnej,

- odometr montowany do jednego z kół zestawu kołowego służący do weryfikacji trajektorii ruchu oraz opcjonalnego wyzwiania kamer.

W projekcie założono, że skanery laserowe muszą być zintegrowane na sztywno



Rys. 6. System Pegasus

z układem GNSS/IMU. Dodatkowo rozwiązanie ma zapewnić badanie geometrii toru, najlepiej z wykorzystaniem bezkontaktowej metody pomiaru, np. z zastosowaniem technik laserowych

(*light-section*) i umożliwić integrację z istniejącym systemem firmy GRAW. Dodatkowym problemem do rozwiązania jest zachowanie się systemów pomiarowych na łukach. Projektowana baza danych i wykonywane w niej obliczenia powinny to uwzględniać (o czym szerzej w części drugiej).

W przypadku specyficznych zadań, a takim niewątpliwie jest pomiar skrajni, najważniejsze wydaje się zaprojektowanie specjalnego urządzenia uwzględniającego wszystkie zalety testowanych rozwiązań i eliminującego wady. Niestety, budowa takiego urządzenia trwa, a projekt wymagał szybkiej realizacji poszczególnych etapów. Stąd autorzy zdecydowali się na pewne rozwiązanie hybrydowe.

dr inż. Sławomir Mikrut, prof. Krystian Pyka,
dr hab. inż. Regina Tokarczyk
AGH w Krakowie,
Zbigniew Leszczewicz, Agnieszka Warda
PKP PLK SA



Rys. 7. System IPS2 na platformie