

Oddział Geodezji w Katowicach przedstawia

Numeryczny model terenu kolejowego w zastosowaniu do projektu geometrii toru

BOGDAN DOBROWOLSKI

System informacji o terenie kolejowym powinien obsługiwać wiele zadań. Z punktu widzenia geodezji będą to następujące rodzaje robót:

- opracowanie map wielkoskalowych, przeważnie w skalach 1:500 i 1:1000;
- opracowanie profilów szczegółowych;
- regulacja osi torów i głowic rozjazdowych;
- ewidencja gruntów i budynków.

Opracowania te mogą występować oddzielnie lub we wzajemnym związku, korzystając z jednej bazy geodezyjnej założonej i prowadzonej przez oddział geodezji. Chcielibyśmy przedstawić zagadnienie projektowania geometrii toru w oparciu o model numeryczny terenu, a jednocześnie pewną koncepcję systemu informacji o terenie kolejowym. Koncepcja ta uwzględnia sposób pomiaru, opracowania i wykorzystania danych do sterowania maszynami wykonującymi naprawy toru. Jest to zadanie ambitne, wymagające narzędzi pomiarowych i systemów komputerowych na wysokim poziomie technicznym.

Technologia modelu numerycznego

Jeżeli technika geodezyjna ma sterować maszynami w technologiach budownictwa kolejowego, bo zauważa się taką tendencję w świecie, to wymaga ona dokładnego pomiaru aktualnej osi toru i podawania namiarów jako różnicy stanu aktualnego i projektu, dokładności projektu i dokładnego modelu numerycznego, z którego dane pobierane są do projektu.

W zastosowaniu do wyznaczania geometrii toru, zwłaszcza na liniach o dużych szybkościach, chodzi o dokładności milimetrowe. Pojawia się zagadnienie robotyzacji pracy maszyn torowych, w których instrumenty geodezyjne o dużej precyzji i automatyce obsługi stanowią zasadniczy element układu sterowania. Tę funkcję realizuje np. stacja robotyczna Geodimeter 468 RTS. Spośród różnych operacji wykonywanych przez tę stację wyróżnić należy szybki pomiar i obliczanie współrzędnych sygnału dalmierzowego na maszynie będącej w ruchu odpowiadającym szybkości pracy podbijarki w zestawie DPUS. Namiary do maszyny uzyskuje się z porównania współrzędnych pomierzonych ze współrzędnymi projektowanymi. Należy tu podkreślić, że projekt osi toru w tym zadaniu musi być opracowany w układzie współrzędnych prostokątnych. Powinno to być układ współrzędnych państwowych, aby można było zachować ciągłość geometrii toru z dokładnością milimetrową. Mam tu na myśli nowy układ współrzęd-

nych i nowe współrzędne sieci pomierzonej techniką satelitarną. Została już pomierzona sieć zerowa kraju, której punkty charakteryzują się dokładnością 3 mm. Z podobną dokładnością sieć ta jest zagęszczona punktami I klasy. Przyjęto zasadę, że kolejowa osnowa specjalna jest dowiązywana techniką satelitarną do sieci I klasy. Punkty kolejowej osnowy specjalnej znajdują się na każdym słupie sieci trakcyjnej, a jej pomiar wykonywany jest z zastosowaniem tachimetru elektronicznego dającego dokładność wzajemnego położenia punktów 3 mm. Tym samym instrumentem, często w tym samym czasie, wykonywany jest pomiar osi torów, rozjazdów i pozostałych szczegółów sytuacyjnych. Rozważania teoretyczne i praktyczne wykazują, że taka technologia pomiaru do kolejowej mapy numerycznej pozwala na uzyskanie zbioru punktów geometrii toru, w którym, z praktycznego punktu widzenia, nie ma nieciągłości geometrii toru. A właśnie ciągłość geometrii toru z dokładnością milimetrową jest podstawowym warunkiem, jaki powinien spełniać numeryczny model terenu kolejowego, aby można było wykonywać na nim różne pomiary.

Generalizując można stwierdzić, że zasadniczą cechą modelu numerycznego terenu kolejowego jest to, że powstaje on z pomiaru wzajemnie uzupełniającymi się technikami – satelitarną i tachimetrem elektronicznym. Model ten jest punktem wyjścia do kolejnych pomiarów, takich jak:

- pomiary do regulacji osi toru;
- pomiary do profilów szczegółowych;
- pomiary przekrojów poprzecznych;
- pomiary kontrolne do odbiorów napraw nawierzchni;
- pomiary do oceny stanu nawierzchni;
- pomiary skrajni.

Mapa w skali 1:500 lub podobnej odgrywa rolę czynnika orientacji przestrzennej potrzebnej do tych pomiarów. Aby takie pomiary na modelu mogły zastąpić pomiary dotychczasowe, musi być ten model w miarę gęsto nasycony punktami o milimetrowej dokładności wzajemnego położenia w trzech wymiarach. Pomiar z zastosowaniem tachimetrów elektronicznych spełnia te wymogi. W celu uzyskania odpowiedniej dokładności współrzędnych wysokościowych punkty kolejowej osnowy specjalnej, służące do bezpośredniego nawiązania pomiaru szczegółów, są mierzone niwelatorem precyzyjnym metodą niwelacji geometrycznej. Niwelacja ta dowiązywana jest do reperów I i II klasy niwelacji państwowej. Następnym warunkiem, jaki powinien spełniać model numeryczny, jest jego aktualność. W celu jej zachowania konieczne jest

egzekwowanie przepisów prawa budowlanego i geodezyjnego oraz zarządzenia o nadzorze geodezyjnym na PKP. Należy zauważyć, że każdy pomiar wykonywany z zastosowaniem tachimetru elektronicznego w nawiązaniu przynajmniej do 4 punktów kolejowej osnowy specjalnej daje możliwość aktualizacji tej osnowy poprzez sprawdzenie kryterium stałości punktów. Jeżeli na modelu numerycznym można wykonywać pomiary do oceny stanu torów, to inna odwrót, wyniki pomiarów drezynami, po ich sprawdzeniu i przetworzeniu, mogą aktualizować model numeryczny w zakresie położenia punktów geometrycznej osi torów. Podobnie, jeżeli PKP wprowadzi urządzenie do pomiarów skrajni, odpowiadające wymogom dokładności 5 mm, to pomiary te mogą aktualizować położenie obiektów w układzie współrzędnych państwowych, po uprzednim przetworzeniu tych pomiarów.

Podstawową techniką, jaka będzie dominować w przyszłości w zakresie tworzenia i aktualizacji modelu numerycznego, będzie technika satelitarna (GPS) pod nazwą „stop and go”.

Aby model numeryczny był łatwo dostępny dla poszczególnych pomiarów, jego punkty o współrzędnych przestrzennych muszą być oznaczone odpowiednimi kodami. Pewną liczbę kodów należy zastosować już w terenie w pomiarach zasadniczych, a w trakcie opracowań pomiarów można je uzupełnić. Kodom punktów powinny być przypisane znaki umowne znajdujące się w bibliotece znaków systemu redakcji mapy. Każde z rodzajów opracowań może mieć swoją bibliotekę znaków, np. mapa 1:500 i 1:1000, profil szczegółowy, przekrój poprzeczny.

Wykorzystanie MicroStation

MicroStation firmy Bentley jest programem narzędziowym przeznaczonym do wielu zadań technicznych: rysowania, wizualizacji, projektowania, analizy, zarządzania bazą danych i modelowania. Uzupełniony aplikacjami i biblioteką kolejowych znaków umownych opracowanymi przez zespół pracowników Oddziału Geodezyjnego w Katowicach pod kierunkiem inż. Jerzego Gottwalda, służy do redakcji map kolejowych. Systemem tym wykonano redakcję mapy numerycznej linii kolejowych na odcinku Chybie –

wersję treści kolejowej. Oba opracowania zgłoszono do Geodety Wojewódzkiego w Katowicach w ramach podpisanego porozumienia o udziale Śląskiej DOKP w Systemie Informacji Terenowej Katowic.

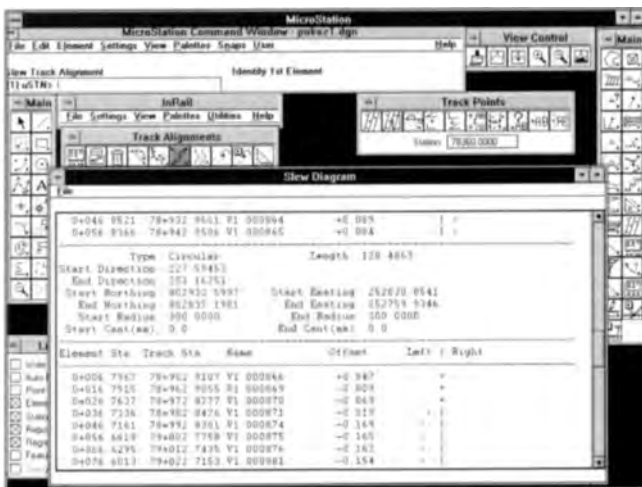
Sama redakcja mapy, choć wymagała rozwiązania wielu zagadnień technicznych, nie stwarza specjalnych wymogów dotyczących sposobu i dokładności pomiarów. Wymogi te pojawiają się na etapie wykonywania mapy do celów projektowych. Chodzi tu przede wszystkim o trzeci wymiar, który w dotychczasowych redakcjach był trak-



towane jako atrybut opisowy. W projektowaniu modernizacji linii kolejowej, w tym szczególnie obiektów mostowych, zachodzi potrzeba wykonania przekrojów poprzecznych. Także zadanie podwyższenia szybkości wymaga analizy położenia projektowej osi toru w stosunku do obiektów inżynierskich w planie i profilu. Pojawia się więc wymóg odpowiedniej gęstości punktów mierzonych i wysokiej dokładności pomiarów, aby można było na podstawie mapy wykonać projekt geometrycznej osi toru nadający się do podawania namiarów do podbijarek wykonujących nasuwanie toru istniejącego. Takie projekty regulacji osi toru na podstawie mapy numerycznej wykonano na odcinku linii Żywiec – Węgierska Górka za pomocą programu InRail firmy Intergraph.

Jeszcze większe wymagania w stosunku do mapy numerycznej stwarza projekt drugiego toru na tej linii, na stacji Bielsko-Biała. Wykonane za pomocą tachimetru elektronicznego pomiary przestrzenne tunelu posłużyły jako model numeryczny, w który wpasowano skrajnie dla torów będących w łuku na linii zelektryfikowanej. Procedura postępowania jest następująca: pomiary geodezyjne tunelu nawiązane są do kolejowej osnowy specjalnej, założonej także w tunelu. Gwarantuje to powiązanie kolejno mierzonych przekrojów poprzecznych tunelu w jedną całość z dokładnością 3 mm. Na podstawie tych pomiarów tworzy się model numeryczny tunelu.

Na tym modelu dla każdego przekroju znajduje się środek łuku przekroju kołowego tunelu. Z tych środków łuków tworzy się zbiór punktów przedstawiających oś podłużną tunelu. Programem regulacji osi toru odczytuje się geometrię osi tunelu (w tym przypadku promień łuku wynosi 400 m). Na tej podstawie znajduje się geometrię torów projektowanych, zakłada się szybkość pociągów, międzytorze i oblicza się przechyłkę. Opierając się na tych danych tworzy się model skrajni 2-SM dla linii dwutorowej. Model skrajni jest przesuwany w obiektowo zorientowanej bazie danych tunelu w celu wpasowania w nieruchomy numeryczny model tunelu. W każdym położeniu projektowanej osi toru (zmiana



Zebrzydowice i Bielsko-Biała – Zwardoń o łącznej długości 65 km. Biblioteka kolejowych znaków umownych została zgłoszona do Głównego Geodety Kraju jako uzupełnienia instrukcji K-1 „System Informacji o Terenie – Podstawowa mapa kraju”. Zaś po ukazaniu się instrukcji K-1.1 „System Informacji o Terenie – Podział treści podstawowej mapy kraju” opracowano analogiczną

międzytorza, promienia, przechyłki) wykonuje się pomiary skrajni budowli, czyli odległości punktów przekroju poprzecznego tunelu od osi torów. Projektowanie osi torów na otwartej przestrzeni jest uproszczonym przypadkiem projektowania w tunelu. Na podstawie tych doświadczeń formułowane są wnioski dotyczące sposobu pomiarów i sposobu opracowań numerycznego modelu terenu kolejowego.

Pakiet programów InRail

Pakiet programów InRail został opracowany w celu rozszerzenia możliwości pakietu MicroStation o projektowanie i modernizację linii kolejowych. Testowany w DOG Katowice InRail okazał się w pełni przydatny w zagadnieniach wykonywania projektów regulacji osi toru zarówno w planie, jak i w profilu. Dane do projektu uzyskano z pomiaru tachimetrem elektronicznym. Błąd graniczny pomierzonej pikiety na torze nie może przekraczać 20 mm. Praktycznie stwierdzono, że tylko przy takiej dokładności możliwe jest projektowanie odpowiednich krzywych przejściowych.

Na podstawie danych pomierzonych tworzy się wykres krzywizn (tzw. wykres trapezowy w wybranej skali, z opisami, numeracją itd.). Projektowane elementy geometryczne wstawiamy do wykresu przez wskazanie 2 punktów dla każdej prostej lub 3 punktów dla łuku kołowego. Punkty wskazać można na trzy sposoby:

- na wykresie krzywizn – wskazanie myszą,
- podając numer punktu z klawiatury,
- przez wskazanie myszy na planie.

Ostateczne położenie na wykresie powstaje z wpasowania elementu metodą najmniejszych kwadratów. Na tym etapie elementy (prosta, łuk) można wydłużać lub skracać. Krzywe przejściowe tworzą się przy wskazaniu na koniec elementu pierwszego i początek następnego; np. koniec prostej – początek łuku kołowego lub odpowiednio w łuku koszowym koniec i początek sąsiadujących łuków. Projektowane elementy: prosta, łuk kołowy, krzywe przejściowe po wpasowaniu w istniejący układ geometryczny dają natychmiast wielkości nasuwania toru do projektowanego kształtu. Możemy teraz żądać, by element przechodził przez zadane punkty, np. most na mostownicach, lub żeby omijał przeszkodę w określonej odległości, np. podpora wiaduktu (dla zachowania skrajni). Wielkości tych przesunień mogą być przedstawione w postaci wykresu przesunień w odpowiednich skalach wraz z opisami lub w postaci tabelarycznej.

Jeżeli pomiar w terenie był kompletny, to za pomocą MicroStation opracowana została mapa sytuacyjno-wysokościowa terenu. Na tym etapie projekt regulacji osi toru opracowany w InRailu można wpisać do mapy. Istnieje teraz możliwość sprawdzenia wizualnego przebiegu nowej osi w stosunku do punktów pomierzonych na torze. Można też odczytać w dowolnym miejscu odległość osi projektowanej od dowolnych obiektów, np. krawędzi peronów, słupów trakcyjnych itp. Elementy projektu, tj. proste, łuki kołowe i krzywe przejściowe, można zgrupować. Taka operacja stwarza możliwość przeniesienia w inne miejsce linii kolejowej.

InRail posiada istotną dla regulacji osi toru możliwość obserwowania wielkości przechyłki. Uzyskujemy ją ze wzoru na przechyłkę bądź z tabeli. Edytor przechyłki podaje dla wszystkich elementów projektu wielkości przechyłki oraz wielkość niezrównoważenia, jeżeli narzucimy zbyt dużą wartość prędkości. Zmiana parametrów we wzorach modyfikuje wielkości przechyłki.

Regulację osi toru w profilu wykonuje się równoległe z regulacją osi toru w planie. Pakiet programów InRail pozwala na wykonanie projektu niwelety na podstawie pomiarów wysokościowych wykonanych w terenie. Do projektowania osi toru w planie brane są pod uwagę trzy elementy: prosta, łuk kołowy i krzywa przejściowa, rozpatrywane na płaszczyźnie poziomej. Do projektowania

niwelety potrzebne są tylko prosta i łuk kołowy, lecz rozpatrywane w płaszczyźnie pionowej.

W praktyce do wyokrąglenia załomów profilu stosuje się łuki kołowe. Możliwości projektowania programem InRail w płaszczyźnie poziomej można wykorzystać więc do projektowania niwelety przez obrót tej płaszczyzny do pozycji pionowej. Punkty pomierzone na torze (rzędne) wyświetla się na ekranie z odpowiedniego zbioru. Po między rzędne profilu wpisujemy proste odcinki niwelety. Może to być prosta wpasowana metodą najmniejszych kwadratów lub – jeśli nie chcemy w żadnym

punkcie obniżać toru – przyjmujemy poziom najbardziej wystającego punktu profilu. Miejsca wyokrąglenia pozostawiamy chwilowo wolne, aż do momentu, gdy projektowane pochylenia jednostajne uznamy za zadowalające. Istnieje możliwość łatwego podnoszenia niwelety o stałą wartość (równoległe) lub podnoszenia w określonym punkcie, uzyskując w sąsiedztwie zmiany pochylenia.

Stosowanie pakietu InRail z wykorzystaniem modelu numerycznego stwarza możliwość optymalizacji układów torowych i daje też, co jest nowością, bezpośrednie namiary do podbijarek z dokładnością wymaganą dla dużych szybkości. Bardzo istotnym jest tu niezawodność technologii geodezyjnej i jej dokładność, co daje podstawy do dalszych udoskonaleń zmierzających do automatyzacji procesów napraw torów.

Wnioski

1. Przedstawiona w niniejszym referacie technologia pomiarów i opracowań projektów geometrycznej osi torów odpowiada najnowszym tendencjom światowym. Wymaga ona szczegółowych uzupełnień uwzględniających warunki występujące na PKP.
2. Technologia pojmowana jako całość narzędzi i oprogramowania nie jest tania. Nie jest ona jednak ukierunkowana na geodetów, lecz jako narzędzie w rękach geodetów adresowana jest do służby drogowej i całego przedsiębiorstwa PKP. Sterowane tą technologią maszyny drogowe wykonują pracę dokładnie, szybko i niezawodnie, przez co czas zamknięcia toru wydłuża się skraca. Ito jest zasadniczy efekt ekonomiczny uzasadniający koszty wdrożenia technologii.
3. Technologia wymaga zakupu narzędzi pomiarowych, stanowisk komputerowych i oprogramowania w odpowiedniej liczbie, bowiem z punktu widzenia zarządzania kolejną potrzebne są wielokilometrowe odcinki linii, a nie przykładowe opracowania. ■

