

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

# Kolej w bazie danych

Po zbudowaniu prototypu platformy pomiarowej dostarczającej dane na temat skrajni budowli linii kolejowych (GEODETA 8/2015) należy stworzyć bazę, w której te dane by gromadzono i w odpowiedni sposób przetwarzano. Jest to niezbędne, aby móc przystąpić do stworzenia systemu nadawania kodów dla linii kolejowych.

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

**W** pierwszym etapie projektu pn. „Opracowanie innowacyjnej metodyki i informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej”, po sporządzeniu prototypu platformy pomiarowej, przystąpiono do projektowania przestrzennej bazy danych 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.

Realizacja tego celu miała się odbyć zgodnie z zaplanowanymi zadaniami obejmującymi opracowanie:

- 1) metodyki budowy przestrzennego modelu wektorowego infrastruktury kolejowej,
- 2) struktury przestrzennej bazy danych infrastruktury skrajni linii kolejowych,

## Jak zarządzać kolejami?

W niniejszym artykule pokazana zostanie koncepcja budowy bazy danych i implementacji procedur kodyfikacji linii kolejowej. Stanowi on kontynuację publikacji z GEODETY 8/2015, w której zaprezentowano doświadczenia zespołu realizującego projekt w obszarze wyboru metodyki badań oraz przeprowadzonych testów mobilnych rozwiązań do pomiaru skrajni kolejowej. W części trzeciej cyklu przedstawiona zostanie natomiast funkcjonalność informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej po dokonaniu wdrożenia.

3) interaktywnego nadawania kodu dla linii kolejowej,

4) założeń i struktury informatycznego systemu zarządzania procesem nadawania kodów dla linii kolejowej.

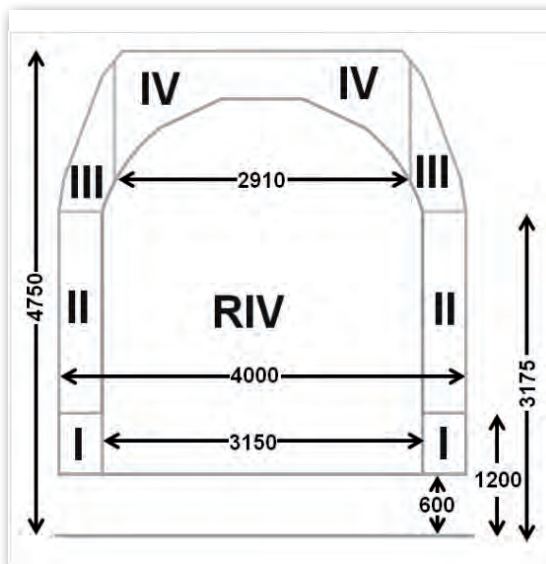
## • Istota kodyfikacji według karty UIC 502-2

Zgodnie z zapisami karty UIC 502-2 skrajnia linii kolejowej dzieli się na cztery sektory (rys. 1). Zawarta w karcie procedura konturowa (opisu konturu skrajni i przesyłki) jest rekomendowana do określenia zarówno kodu linii kolejowej, jak i przesyłki. Ponadto opisane są w niej czynności decydujące o tym, czy ładunek opisany kodem może zostać przyjęty do przewozu przez odcinek trasy również opisany kodem.

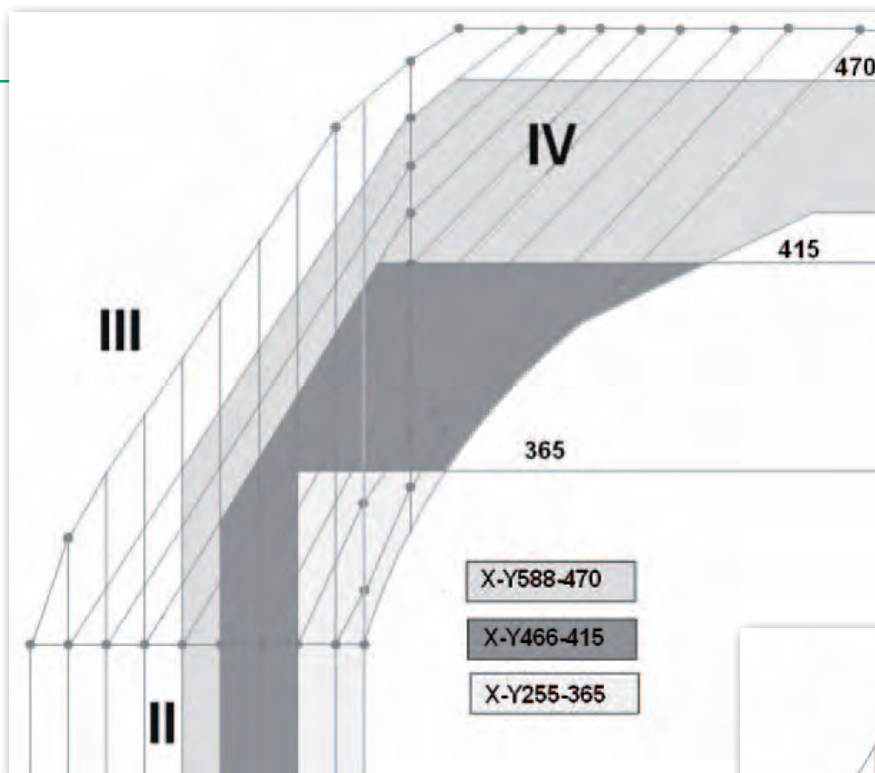
Kod jest formatu X-YYYY-ZZZ, gdzie:

- X – oznacza cyfrę od 0 do 5 opisującą linię poziomą w sektorze I ograniczającą zarys od dołu,
- Y – oznacza przypisaną do każdego sektora cyfrę, opisującą linię ograniczającą kontur w tym sektorze,
- ZZZ – opisuje 3-cyfrową liczbę oznaczającą wyrażone w centymetrach ograniczenie konturu od góry,
- część X-YYYY oznacza kod podstawowy,
- część ZZZ oznacza kod dodatkowy opisujący wyrażoną w cm wysokość od główki szyny.

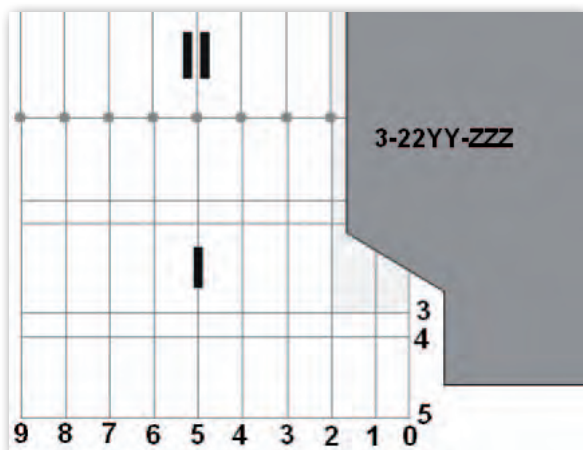
Jeżeli linia ograniczająca wysokość:



Rys. 1. Sektory w procedurze konturowej na tle międzynarodowej skrajni ładunkowej RIV (ograniczonej od dołu na wysokości 600 mm)



Rys. 2. Przykład kodów dodatkowych ograniczających kontur w III sektorze



Rys. 4. Przesyłka od dołu ograniczona jest linią ukośną w sektorze I. Mimo iż przesyłka od dołu kończy się poniżej linii nr 4, to elementy tam leżące zajmują obszar skrajni ładunkowej RIV i nie są uwzględnione. W tym przypadku istotne jest przecięcie z granicą sektora I, które znajduje się powyżej linii nr 3 – kod [3-22YY-ZZZ]

- przecina kontur w I sektorze (wysokość 60-120 cm), to kody muszą mieć postać [X-Y000-065], [X-Y000-110] – wszystkie cyfry odnoszące się do pozostałych sektorów muszą wynosić 0,

- przecina kontur w II sektorze (na wysokości 120-317 cm), to kody muszą mieć postać np. [X-Y600-289],

- przecina kontur tylko w IV sektorze (na wysokości 360-475 cm), to część podstawowa kodu nie zostaje zmieniona,

- jeśli nie ma ograniczenia od góry, kody są zawsze postaci [X-YYYY-475].

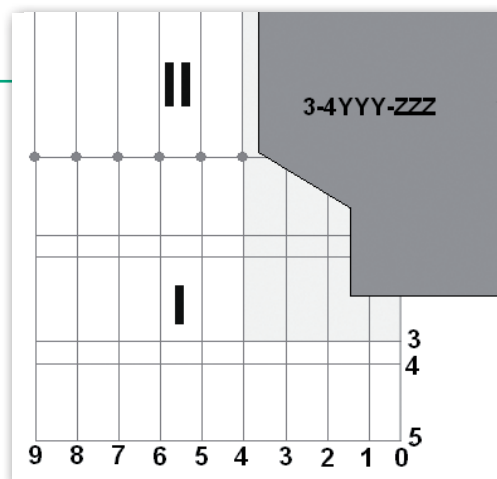
Szczególnym przypadkiem jest przecięcie konturu w III sektorze (rys. 2). Jeżeli linia ograniczająca kontur od góry przecina go w sektorze III, to istnieją 2 możliwości:

- gdy przecięcie następuje z linią ukośną, to kod podstawowy musi mieć dwie ostatnie cyfry takie same np. [X-Y466-415],

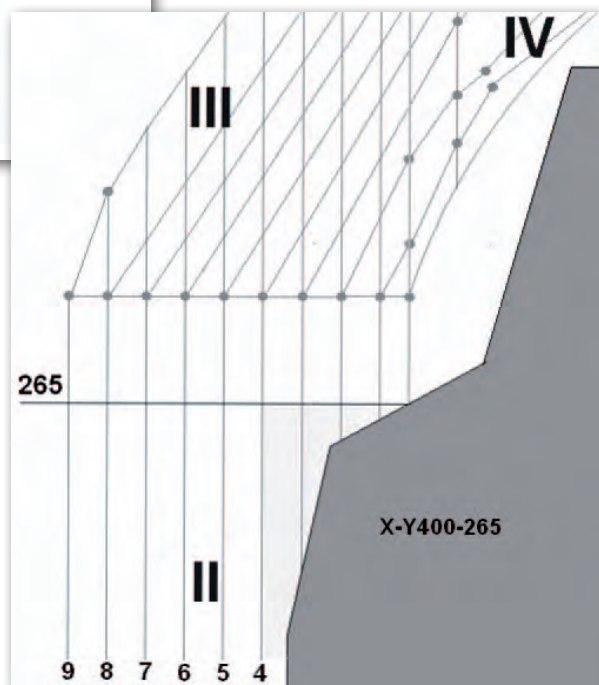
- gdy przecięcie następuje z linią pionową, to druga i trzecia cyfra kodu muszą wskazywać linię pokrywającą punkt narożny, np. [X-Y255-365].

Aby móc w pełni korzystać z systemu kodyfikacji, konieczne jest również kodowanie przesyłek. Przy ustaleniu ograniczeń wysokości istotne są tylko te punkty, które przekraczają zarys – skrajnię RIV. Na rysunkach 3, 4 i 5 przedstawiono przykłady kodowania przesyłek.

Zaletą opisaną procedurą kodową jest łatwość określenia, czy dana przesyłka jest możliwa do przyjęcia na danym odcinku trasy. Posiadając kody linii (odcinków linii bądź ich złożenia) oraz kod przesyłki, wystarczy je tylko porównać. W przypadku, kiedy zarówno odcinek trasy, jak i przesyłka opisane są za pomocą pojedynczych kodów,



Rys. 3. Przesyłka od dołu ograniczona jest w sektorze I linią poziomą. W tym przypadku zarys ograniczony jest linią poziomą nr 3, a z lewej linii nr 4 – kod [3-4YYY-ZZZ]



Rys. 5. Przesyłka ograniczona jest linią ukośną w sektorze II. Mimo iż przesyłka jest wyższa niż 265 cm, to punkty leżące wewnątrz zarysu RIV nie są istotne, pod uwagę brany jest najwyższy punkt przesyłki w sektorze II – kod [X-Y400-265]

przesyłka jest możliwa do przyjęcia tylko wtedy, gdy żadna z części kodu przesyłki nie jest większa niż analogiczna część kodu trasy.

Porównanie kodu przesyłki [0-0444-425] i [0-0466-425] z kodem odcinka linii kolejowej [3-3544-465]:

Linia	3	3	5	4	4	465
Przesyłka	0	0	4	4	4	425
Rezultat	✓	✓	✓	✓	✓	✓

- przesyłka jest możliwa do przyjęcia,

Linia	3	3	5	4	4	465
Przesyłka	0	0	4	6	6	425
Rezultat	✓	✓	✓	x	x	✓

- przesyłka nie jest możliwa do przyjęcia.

## ● Koncepcja bazy danych

W ramach projektu opracowano koncepcję rozwiązywania informatycznego zawierającego:

- bazę danych,
- aplikację umożliwiającą przeglądanie bazy i nadawanie kodów,
- szereg pomocniczych programów mających na celu np. import danych pomiarowych do bazy danych.

W trakcie projektu przetestowano możliwości zastosowania różnych baz danych i docelowo ograniczono się do dwóch komercyjnych rozwiązań, tj. Oracle 11g R2 z dodatkiem Oracle Spatial oraz Microsoft SQL Server 2008 R2. Ostatecznie zdecydowano się na bazę danych Oracle. Za wyborem tego rozwiązania przemawiały przede wszystkim następujące aspekty:

- wsparcie przetwarzania danych w postaci wielowymiarowej chmury punktów (dane ze skaningu laserowego),
- możliwość przetwarzania danych w różnych układach odniesienia i możliwość konwersji pomiędzy nimi (np. układ 2000, układ 1992),
- wsparcie 3D dla danych przestrzennych,
- funkcje agregujące przekroje 2D, których brak w rozwiązaniu Microsoft,
- łatwiejsza integracja z bazami PKP Polskie Linie Kolejowe SA, tj. POS (system Prowadzenie Opisu Sieci) i SILK (System Informacji dla Linii Kolejowych).

Przed podjęciem prac projektowych autorzy przyjęli ponadto następujące założenia:

- baza ma mieć możliwość importu danych bezpośrednio z pomiaru, a więc musi zapisywać zarówno chmurę punktów, jak i zdjęcia, przy czym w pierwszej kolejności analizowane będą dane z chmury punktów, a fotografie będą służyć do ewentualnej weryfikacji miejsc wątpliwych, tzn. tych, gdzie informacje ze skaningu nie będą w 100% wystarczające;

- baza ma współpracować z bazami POS i SILK; w obu tych bazach podstawowym sposobem lokalizacji obiektów na linii kolejowej jest kilometr (ze względu na kompatybilność z bazą SILK przetwarzanie danych odbywać się będzie w układzie współrzędnych 1992, ale będzie również możliwość konwersji danych do innych układów).

Opracowując bazę danych wykorzystano następujące dane wejściowe:

- dane GPS/INS zawierające współrzędne trajektorii pojazdu, około 20 próbek na sekundę;
- dane ze skaningu laserowego (chmura punktów) około 25 milionów punktów (1,5 GB) na kilometr linii kolejowej;
- zdjęcia z 4 kamer lub więcej, około 350 zdjęć (0,3 GB) na kilometr linii kolejowej (w formacie JPG).

W procesie projektowania bazy danych opracowano szereg procedur mających przede wszystkim na celu:

wczytanie, wstępną redukcję ilości danych, następnie ich uproszczenie i zorganizowanie w formie zapewniającej szybkie czasy odpowiedzi bazy na zapytania związane z wizualizacją danych oraz nadawaniem kodu.

Odwzorowanie współrzędnych geograficznych na liniowy układ odniesienia LRS (Linear Referencing System) zastosowany w SILK zapewnia oprogramowanie Oracle Spatial z funkcjami dynamicznej segmentacji. Obecny model LRS dla linii kolejowych

w bazie SILK został sporządzony z dokładnością kartograficzną map w skali 1:25 000. W związku z tym zdecydowano się jedynie na skalibrowanie danych na podstawie kilkunastu punktów otrzymanych z bazy SILK. Wykorzystując dane GPS, obliczono drogę przejechaną przez pojazd dokonujący pomiaru, a następnie nałożono ją na zbiór punktów otrzymanych z bazy SILK.

## ● Wyznaczenie geometrii toru, redukcja danych, tworzenie przekrojów 2D

Na podstawie danych GPS odcinek linii kolejowej podzielono na elementarne odcinki o długości 1 m. Przyjmując, że na takim odcinku promień skrętu jest zaniedbywalny, wyszukano w chmurze punktów położenie obu szyn (wraz z wysokością, co zapewniło uwzględnienie w dalszych rozważaniach przechyłki). Na tej podstawie wyznaczono lokalny układ współrzędnych, w którym:

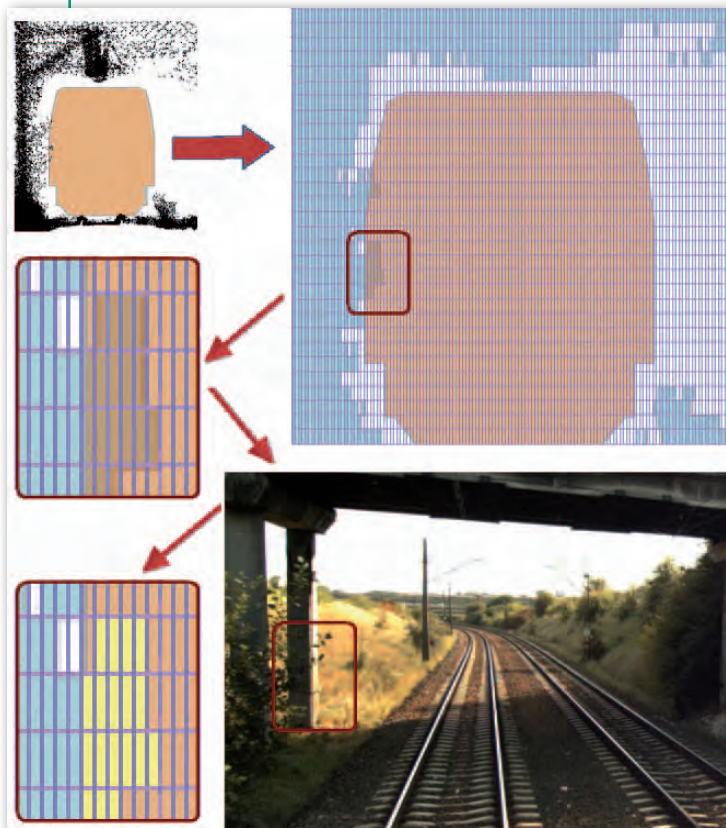
- oś Y jest położona na szynach (uwzględnia przechyłkę),
- oś X jest prostopadła do niej i pokrywa się z kierunkiem ruchu pojazdu,
- oś Z jest prostopadła do płaszczyzny XY.
- środek układu znajduje się dokładnie pomiędzy szynami, w kierunku Y oraz w połowie metrowego odcinka wzdłuż kierunku jazdy X.

Aby zredukować ilość danych 3D przechowywanych w bazie, postanowiono ograniczyć chmurę do pasa wzdłuż toru jazdy o szerokości 8 metrów w kierunku drugiego toru oraz 4 metry w kierunku przeciwnym.

Dla każdego wyznaczonego metrowego odcinka dokonano rzutu chmury punktów na płaszczyznę YZ. Ponieważ każdy z takich odcinków posiada swój własny (zdefiniowany wyżej) układ odniesienia, a każdy z tych układów opisuje przestrzeń z punktu widzenia poruszającego się pojazdu, przekroje takie można składać. W bazie danych zdecydowano się przechowywać przekroje z odcinków 10 m, 100 m, 1 km oraz sumaryczne przekroje dla segmentów linii kolejowej, czyli odcinków, na których pojazd szynowy nie może zmienić toru jazdy (np. pomiędzy stacjami kolejowymi czy rozjazdami).

## ● Koncepcja wyznaczania skrajni kolejowej

Zaprojektowana w rozwiązaniu informatycznym koncepcja wyznaczania skrajni kolejowej jest w głównej mierze oparta na metodzie konturów 2D. Ponieważ przekroje 3D bazujące na chmurze punktów charakteryzują się dość du-



Rys. 6. Zarządzanie przekrojami w bazie danych

zym rozmiarem, istniała konieczność ich kompresji. Przechowywanie takich przekrojów może się okazać niepraktyczne. Ich dokładność (co do punktu) jest zbędna z punktu widzenia skrajni (oraz jej kodów). W ramach projektu opracowano algorytm, który na danych z chmury punktów tworzy przekroje 2D (poprzez spłaszczenie danych ze skaningu punktów 3D). Przekrój 2D jest następnie dzielony na przykładową siatkę o boku 50 mm. Jeśli w obrębie wybranej komórki siatki znajduje się jakiś punkt, to cała komórka zostaje uznana za zajęta.

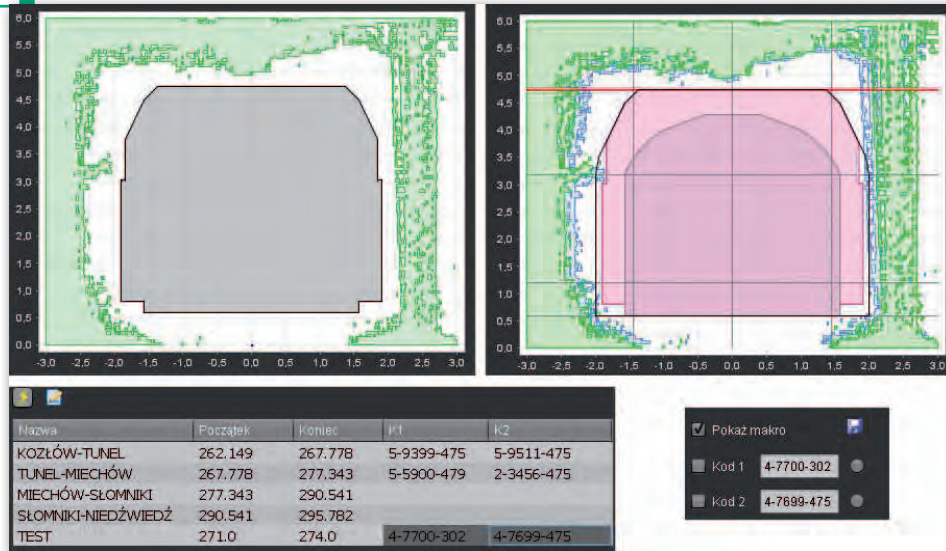
Algorytm wykonuje takie przekroje co 10, 100, 1000 metrów na dowolnym odcinku toru. Przekroje te następnie upraszcza się poprzez przyjęcie siatki o wymiarach 20 x 50 mm. Operacja ta może być wykonana automatycznie. Aplikacja pozwala również na łączenie przekrojów, tj. np. tworzenie jednego przekroju na odcinku kilku km.

Zadaniem operatora aplikacji jest zatem przeglądanie przekrojów i w przypadku znalezienia jakiegoś konfliktu (przekroczenia skrajni) zażądanie od bazy bardziej szczegółowego przekroju lub zdjęcia pokazującego podejrzany obszar. Na podstawie tych danych może unieważnić jakiś element siatki.

Przedstawiony na rysunku 6 przykładowy przekrój utworzony jest z rozdzielczością 20 x 50 mm. Widać tutaj, że następuje przekroczenie skrajni budowli (kolor ciemnobezowy na tle jasnego). W takim przypadku konieczna jest weryfikacja tego, co jest przyczyną przekroczenia skrajni. Tutaj dzięki wizualizacji na zdjęciach widać, że jest to tylko roślinność. W takiej sytuacji punkty siatki mogą zostać odznaczone jako np. „nieważne” (kolor żółty).

## • Nadawanie kodu

W projekcie korzystano z metody konturowej pochodzącej z karty UIC 502-2. Metoda ta charakteryzuje się staranniejszym doбором punktów bazowych oraz dokładniejszym opisaniem reguł kodowania niż podobna 3-sektorowa metoda opisana w instrukcji Ir-10. Karta ta określa możliwość opisanie linii kolejowej za pomocą makra, czyli złożenia kilku kodów określających wolną przestrzeń w poszczególnych sektorach. Należy zaznaczyć, że to rozwiązanie pozwala na przybliżenie w lepszym stopniu przekroju z zarysem makro (lepsze wykorzystanie przestrzeni). W rozwiązaniu bazodanowym opracowano procedury implementujące tę metodę oraz opracowano metodę interaktywnego nadawania kodu dla linii kolejowej. Dla zachowania zgodności z kartą UIC wpro-



Rys. 7. Nadawanie kodu dla odcinka linii kolejowej

wadzano możliwość podziału linii kolejowej na odcinki.

Rysunek 7 przedstawia przekrój przez wybrany fragment linii kolejowej wraz z wpisanymi dwoma składnikami makro opisującymi ten fragment. W aplikacji kształty odpowiadające kodom są generowane automatycznie na podstawie położenia klikniętego punktu. W projekcie autorzy zaproponowali metodę składania makr. Wyznaczone za jej pomocą sumaryczne makro ułatwi sprawdzenie możliwości przyjęcia przesyłki (w przypadku przejazdu przez wiele odcinków trasy opisanych za pomocą kolejnych makr).

Dodano możliwość sprawdzenia przyjęcia przesyłki do przejazdu poprzez zaimplementowanie metody punktów krytycznych opisujących w przybliżony sposób kształt przesyłki z zachowaniem jednak reguł gwarantujących, że utworzony przekrój przesyłki jest nie mniejszy niż jej rzeczywisty kształt. Zaimplementowana metoda umożliwia obliczenie parametrów przesyłki z uwzględnieniem kilku wariantów.

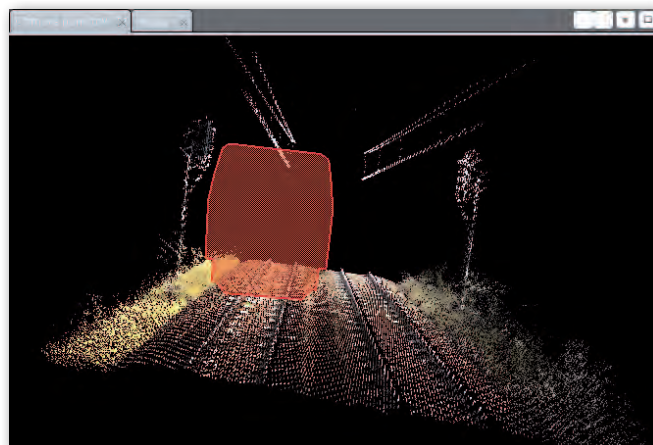
W przypadku przesyłki opracowano procedurę automatycznego nadawania pojedynczego kodu, dzięki której kryterium przyjęcia przesyłki ogranicza się tylko to porównywania jej kodu z kodem linii, po której ma być przewożona. Dzięki tym rozszerzeniom możliwe jest zbadanie skuteczności kodowania poprzez zweryfikowanie wyników opierających się wyłącznie na porównywaniu kodów z graficzną wizualizacją przekrojów trasy oraz przesyłki dostępną w rozszerzonej przeglądarce.

## • Aplikacja

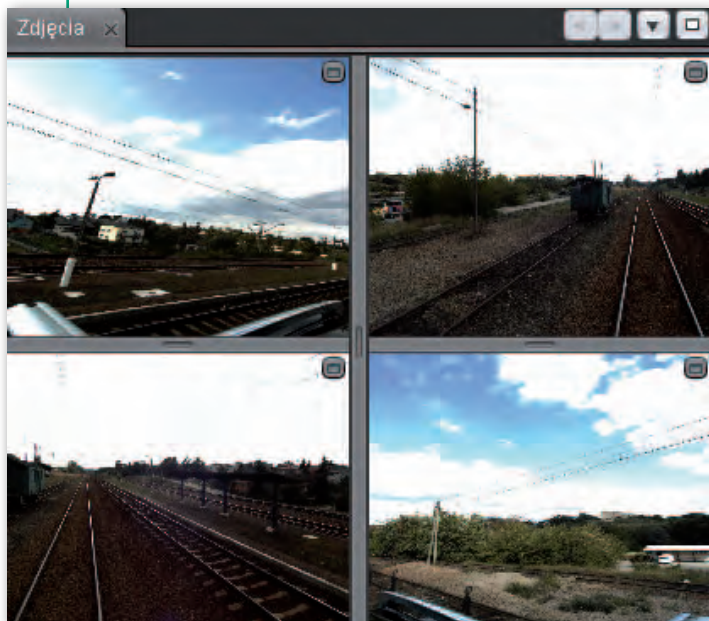
W ramach rozwiązania informatycznego opracowano aplikację do interaktywnej prezentacji zgromadzonych danych wraz z opcją zbadania możliwości przyjęcia przesyłki do przejazdu przez wybrany odcinek linii kolejowej. Oprócz wspomnianego wyżej nadawania kodu dla linii kolejowej do najważniejszych funkcji dostępnych w aplikacji należą:

### 1. Wizualizacja chmur punktów.

Rysunek 8 przedstawia typową wizualizację chmury punktów wybranego fragmentu trasy. Możliwe jest dodanie do widoku dowolnego konturu zdefiniowanego w innych częściach aplikacji. Za pomocą myszki można przesuwac ten przekrój w dowolne miejsce wzduż toru. Umieszczenie konturu na tym widoku ma na celu pomoc w określeniu elementów skrajni, które są w kolizji z tym konturem. Ponadto przy użyciu myszki można dokonywać operacji, takich jak: zmiana perspektywy, obroty czy powiększenia. Widok udostępnia ponadto pomiar odległości pomiędzy dwoma dowolnie wybranymi punktami lub odczytanie współrzędnych wybra-



Rys. 8. Widok 3D przedstawiający chmurę punktów z konturem przesyłki (na czerwono)



Rys. 9. Przeglądarka do zdjęć

nego punktu. Pomiarów tych można dokonywać zarówno w układzie toru, jak i w układzie geodezyjnym. Widok jest zsynchronizowany z innymi widokami – zwłaszcza z przeglądarką zdjęć.

**2. Przeglądarka zdjęć.** Ponieważ autorzy projektu zdecydowali się na uzupełnianie pomiaru skanerem danymi fotogrametrycznymi (zdjęcia ze znanymi elementami orientacji), w aplikacji zaimplementowano procedury umożliwiające przeglądanie zdjęć. Rysunek 9 przedstawia widok przeglądarki. Widok zdjęć jest zsynchronizowany z widokiem 3D. Zaznaczony na zdjęciach kontur przesuwa się wraz z przesuwaniami go na widoku 3D. W ten sposób można za pomocą zdjęć lepiej zidentyfikować elementy skrajni będące w kolizji z zaznaczonym konturem. Zdjęcia są opisane kilometrażem i czasem ich wykonania (w formie atrybutu). Możliwy jest podgląd zdjęć ze wszystkich 4 kamer bądź tylko z jednej.

**3. Przekroje 2D.** Rysunek 10 przedstawia zaimplementowany w progra-

mie widok przekroju 2D przez dłuższy odcinek linii wraz z wyodrębnionym czerwonym kolorem przekrojem 10-metrowym. Za pomocą tego widoku można porównywać przekrój przez wybrany odcinek trasy z wybranym konturem (np. kształtem przesyłki), dokonywać pomiarów skrajni w układzie związanym z osią toru, wyszukiwać kolizje, odznaczać nieistotne elementy skrajni (np. roślinność).

mie widok przekroju 2D przez dłuższy odcinek linii wraz z wyodrębnionym czerwonym kolorem przekrojem 10-metrowym. Za pomocą tego widoku można porównywać przekrój przez wybrany odcinek trasy z wybranym konturem (np. kształtem przesyłki), dokonywać pomiarów skrajni w układzie związanym z osią toru, wyszukiwać kolizje, odznaczać nieistotne elementy skrajni (np. roślinność).

**4. Inne opcje programu.** Ponadto aplikacja umożliwia:

- Definiowanie przesyłki metodą punktów krytycznych. Na podstawie wprowadzonych punktów generowane są przekroje w płaszczyznach XY oraz YZ. Dostępny jest wybór różnorodnych opcji sposobu obliczenia koniecznych naddatków opisanych w UIC 502-2 oraz w instrukcji Ir-10. Na podstawie tych opcji możliwe jest wygenerowanie kształtu przesyłki, który następnie może zostać poddany procesowi nadawania kodu.

- Porównanie kształtu przesyłki z przekrojem przez wybrany odcinek linii kolejowej w celu stwierdzenia możliwości przyjęcia tej przesyłki do przewozu. Pozwala również na porównywanie kształtów wynikających z reguł kodowania przesyłki oraz linii, a w konsekwencji na zbadanie skuteczności kodowania. Użycie makr zarówno do opisanie przesyłki, jak i trasy powoduje lepsze wykorzystanie przestrzeni, a co za tym idzie dokładniejsze określenie możliwości przyjęcia przesyłki.

- Znalazienie miejsc, w których ograniczenie prędkości mogłoby spowodować warunkowe umożliwienie przyjęcia przesyłki (mniejsze odchylenia eksploatacyjne w przypadku przejazdu z prędkością poniżej 5 km/h).

- Nawigację na mapie, tj. znalezienie interesującego fragmentu trasy (np. sta-

cja kolejowa) i przejście do innych widoków.

- Podział linii kolejowej na odcinki (np. stacja-stacja)

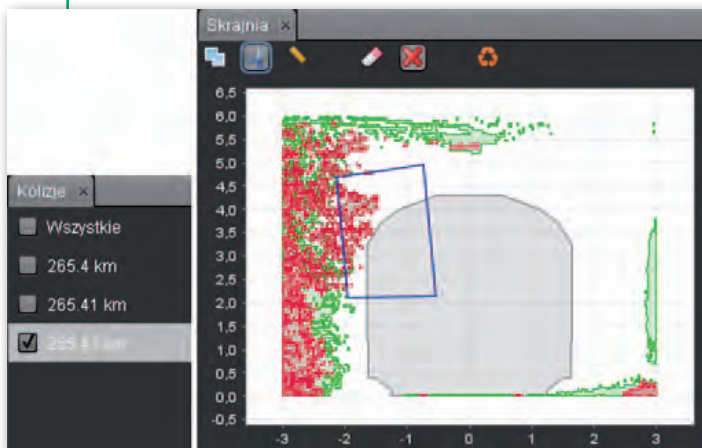
- Widok analizy skrajni, na którym za pomocą prostego wykresu zobrazowana jest wielkość dostępnej dla przejazdu przestrzeni. Widok ten jest zorganizowany hierarchicznie, tj. trasę podzielono na odcinki kilometrowe, 100-metrowe oraz 10-metrowe. Za pomocą tego widoku można szybko określić miejsca, w których jest konieczna interwencja operatora.

## • Od systemu pomiarowego do bazy danych

Jednym z celów opracowania innowacyjnej metodyki i informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej – oprócz rozwiązania pomiarowego – było zbudowanie prototypu bazy danych. Założono, że projektowana aplikacja bazodanowa powinna uwzględniać ogrom danych, jakie niesie za sobą pomiar chmury punktów uzupełniony dodatkowo zdjęciami. Aplikacja bazuje głównie na danych laserowych, które na podstawie ciągłego zapisu skanerów są następnie dzielone na odpowiednie profile. Dodatkowo w bazie zapisywane są zdjęcia cyfrowe – pomiar fotogrametryczny traktowany jest jako uzupełniająca.

Jak wynika z doświadczeń autorów, przeglądanie zdjęć było najsłabszą stroną technologii fotogrametrycznej ze względu na pracochłonność i możliwość pominięcia obiektów wchodzących w obszar skrajni. Równie pracochłonny – ze względu na niewielki zakres automatyzacji – był pomiar na modelu 3D uzyskanym za pomocą systemu stereowizyjnego. Trudności wynikały też ze specyfiki przestrzeni pasa kolejowego, w której obiekty stanowiące przedmiot pomiaru są stosunkowo małe, często wysmukłe, a pomiędzy nimi na zdjęciach rejestrowane jest względnie dalekie tło, co gwałtownie zmienia głąbienie modelu stereoskopowego. Stąd wspomaganie fotogrametryczne w postaci stosowanej dotychczas zostało zredukowane do absolutnego minimum – do wyjaśnienia wątpliwości pojawiających się w czasie pomiarów na chmurze punktów. Elementy skrajni pozyskano zatem za pomocą pomiaru wykonanego na przekrojach 2D utworzonych z chmury punktów (jak na rysunku 10).

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



Rys. 10. Przekrój 2D