

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

Kolej na wdrożenie

Po etapie prac badawczych, który obejmował wybór systemu pomiarowego i opracowanie koncepcji bazy danych, przyszła pora na wdrożenie i przetestowanie nowych rozwiązań. Efektem tych działań jest stworzenie systemu pomiarowego skrajni budowli oraz informatycznego systemu zbierania, przetwarzania i przekształcania danych w informacje przydatne do podejmowania odpowiedzialnych decyzji.

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

Realizację drugiego etapu projektu pt. „Opracowanie innowacyjnej metodyki i informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej” powierzono w drodze przetargu konsorcjum w składzie: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie (lider), Geotronics Polska Sp. z o.o. oraz EC Systems Sp. z o.o. Umowę o wartości 8,4 mln zł netto pod-

Jak zarządzać kolejami?

W niniejszym artykule przedstawione zostaną funkcjonalności rozwiązania pomiarowego i informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej po dokonaniu wdrożenia. 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, oraz z GEODETY 9/2015, gdzie pokazana została koncepcja budowy bazy danych i implementacji procedur kodyfikacji linii kolejowej.

pisano w listopadzie 2014 roku, a termin zakończenia prac przewidziano na 28 sierpnia br.

Dobór konsorcjantów nie był przypadkowy. Akademia Górniczo-Hutnicza była wykonawcą I etapu przedsięwzięcia, o charakterze badawczym. Spółka Geotronics Polska zrealizowała projekt modernizacji systemu UPS-80 do pomiaru skrajni kolejowej – rozwiązania fotogrametrycznego firmy GRAW, rozwijanego przez ponad 10 lat przy współdziałaniu pracowników Katedry Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska AGH (prof. Regina Tokarczyk i dr Sławomir Mikrut z AGH). Natomiast firma EC Systems ma ponad 10 lat doświadczenia w dostarczaniu rozwiązań bazodanych dla firm na całym świecie, dzia-



Rys. 1. Widok pojazdu EM-120 z zainstalowanymi urządzeniami pomiarowymi



Rys. 2. Wnętrze dreżyny z zainstalowanymi urządzeniami do integracji i przechowywania danych (macierze dyskowe pozwalające na zrzut danych z systemu pomiarowego)

łąjąc w ramach tzw. EC Grupy – jednej z najbardziej dynamicznie i wielokierunkowo rozwijających się firm inżynierskich w Polsce, skupiającej ponad 300 inżynierów.

Jak wspomniano w poprzednich dwóch artykułach (GEODETA 8 i 9/2015), I etap projektu obejmował prace badawcze, których celem był wybór prototypu systemu pomiarowego i propozycji bazy danych. II etap projektu – wdrożenie prototypu – składał się z trzech części.

W ramach pierwszej należało zbudować i wdrożyć system pomiarowy skrajni na kolejowym pojeździe pomiarowym EM-120. Część druga dotyczyła wdrożenia systemu informatycznego do analiz

wyników pomiarów oraz prowadzenia procedur kodyfikacji linii kolejowych. Część trzecia obejmowała testowanie i wdrożenie całości systemów. W jej ramach należało dokonać interaktywnej kodyfikacji dla fragmentu linii kolejowej C-30/1 (odcinek linii nr 96 Tarnów – Muszyna).

• System pomiarowy bazujący na pojeździe EM-120

Istotą części pierwszej było zainstalowanie urządzeń pomiarowych na pojeździe EM-120, który używany jest przez PKP do pomiarów geometrii torów. Oba rozwiązania, czyli nowe do pomiarów skrajni i istniejące do diagnostyki torów, zbudowane przez firmę GRAW, należało zintegrować tak, aby wzajemnie się wspomagały, a wyniki podawane były we wspólnym układzie związanym z osią toru. Ponadto system do pomiaru geometrii toru musiał mieć możliwość niezależnego działania względem systemu do pomiaru skrajni. Ponieważ pojazd EM-120 posiadał tzw. licznik drogi w postaci encodera, nową platformę pomiarową „dowiązano” do tego licznika, aby operator systemu mógł dokonywać korekty licznika drogi.

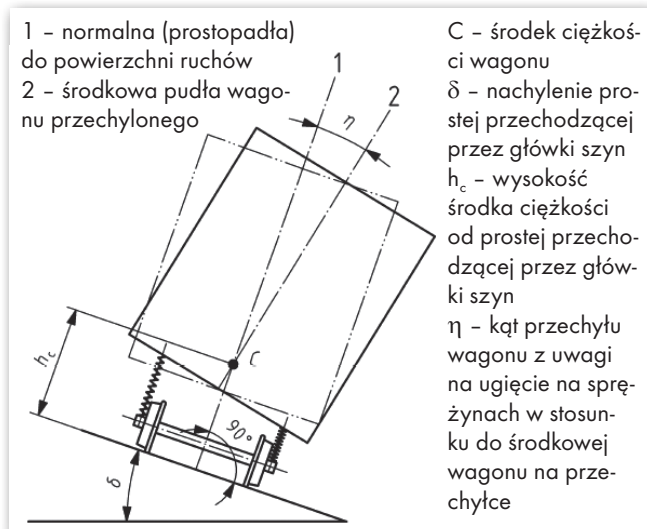
Po montażu na platformie EM-120 przeprowadzono jazdy testowe w celu zbadania poprawności działania systemu zarówno od strony sprzętowej, jak i informatycznej. Zbudowanie systemu informatycznego do obsługi i integracji wszystkich urządzeń pomiarowych było dużym wyzwaniem dla wykonawców projektu.

Zgodnie z założeniami I etapu system do pomiarów skrajni został wyposażony w dwa skanery, cztery kamery do kolorowania chmury punktów oraz moduł fotogrametryczny (dwie kamery na pod-

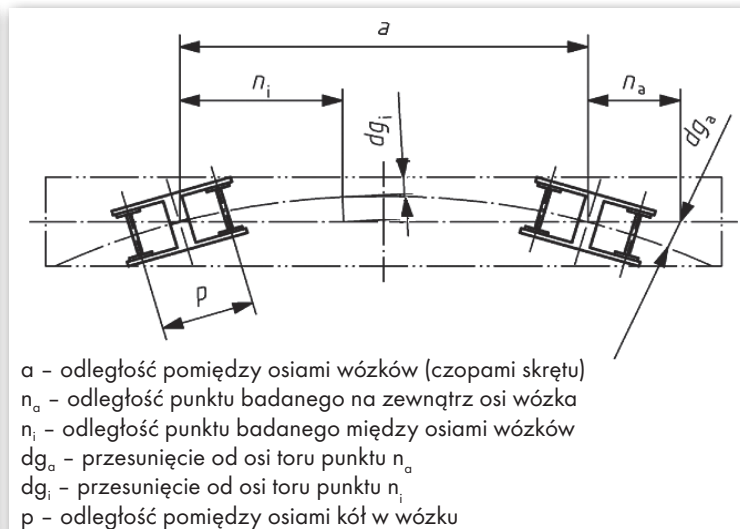
Wybrane parametry techniczne systemu pomiarowego (VMX – 450 RAIL) oraz kamer NIR

2 skanery VQ-450	
maksymalna efektywna szybkość pomiaru	1 100 000 pomiarów/s (2 x 550 000 pomiarów/s)
minimalny zakres pomiaru	1,5 m
dokładność	8 mm
precyzja	5 mm
IMU/GNSS	
pozycjonowanie (bezwzględne)	20-50 mm
pozycjonowanie (względne)	10 mm
kąty roll & pitch	0,005°
azymut	0,015°
4 kamery CS6	
rozdzielczość	2452 x 2056 (H x V) px
wielkość piksela	3,45 mm
typ sensora	2/3" kolor CCD
pole widzenia	80° x 65°
ekspozycja	38 μs do 60 s
2 kamery Basler NIR	
rozdzielczość	2048 x 2048 px
wielkość piksela	5,5 μm
spektrum	rejestracja powyżej 780 nm
typ sensora	CMOS
filtr	IR Longpass – 850 nm

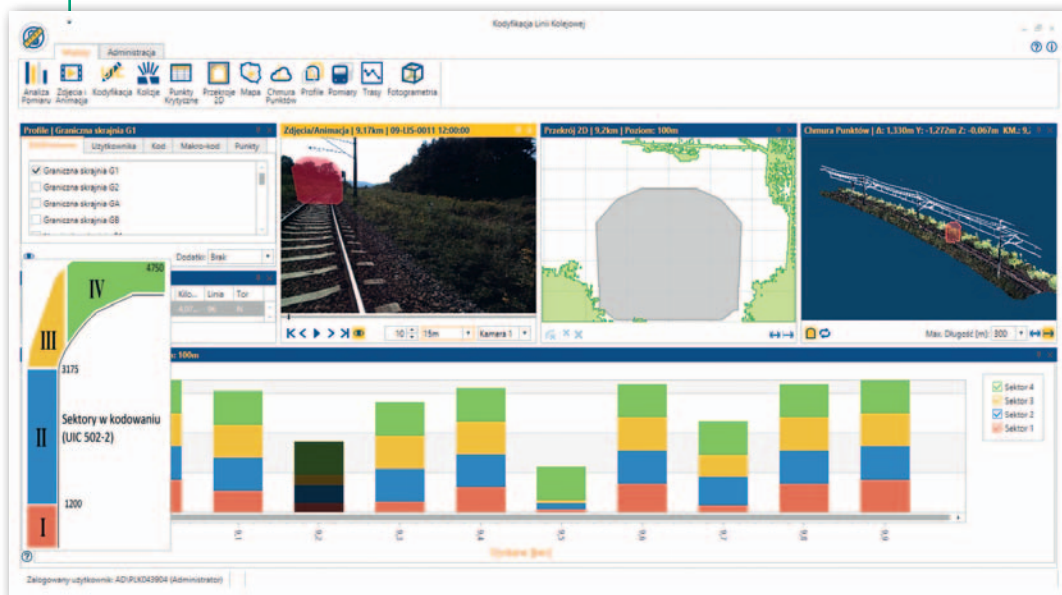
czwień), który umożliwia pozyskiwanie danych w trybie nocnym (szczegóły w tabeli). Wykonawca dodatkowo zobowiązany był do opracowania procedur kalibracji takiego systemu. Zintegrowany system zainstalowany na pojeździe



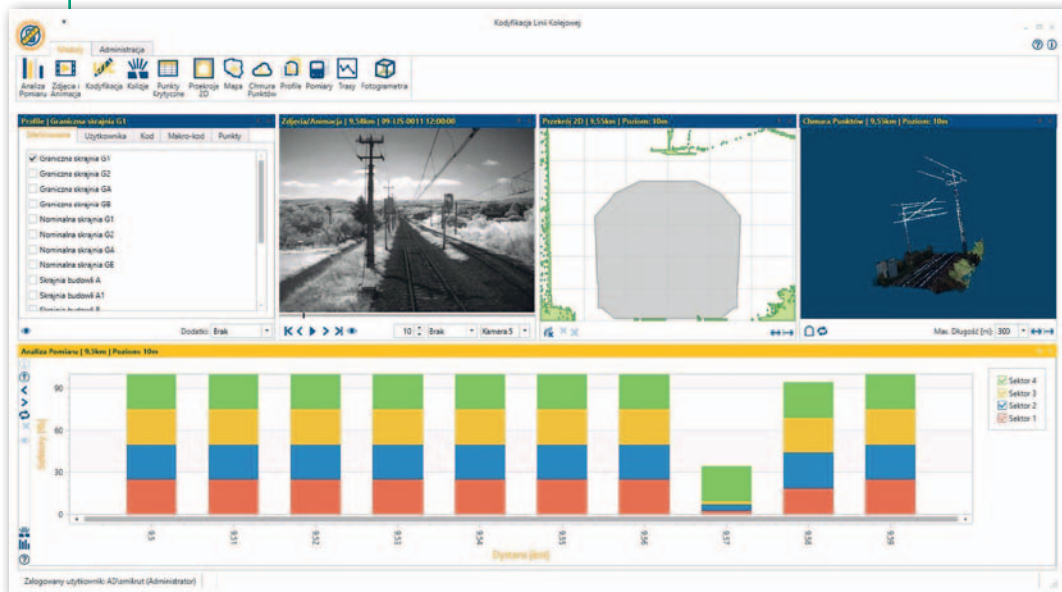
Rys. 3. Przesyłka na łuku [źródło: norma PN-EN-15273-1-2010]



Rys. 4. Problem jazdy „po łuku” [źródło: norma PN-EN-15273-1-2010]



Rys. 5. Widok okna aplikacji w trakcie wyświetlania fragmentu trasy (zdjęcie, obrys skrajni oraz wybrany fragment chmury punktów, a poniżej informacja o sektorach kodyfikacji i pionowe słupki mówiące o możliwości kolizji)



Rys. 6. Inny przykład widoku okna aplikacji w trakcie wyświetlania fragmentu trasy

EM-120 w czasie wykonywania pomiarów testowych pokazano na rysunku 1, a wewnątrz pojazdu na rysunku 2. Urządzenia umiejscowiono w taki sposób, aby umożliwić pozyskiwanie danych zarówno w czasie jazdy w przód, jak i do tyłu.

Istotnym elementem systemu pomiarowego jest oprogramowanie integrujące dane i pozwalające na:

- wyrównanie obserwacji GNSS/INS dla minimum dwóch stacji referencyjnych,
- obliczenie współrzędnych XY punktów pozyskanych metodą skaningu laserowego w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych 1992 i 2000 oraz wysokości H w układzie wysokościowym PL-KRON86-NH,

- obliczenie elementów orientacji wewnętrznej i zewnętrznej dla poszczególnych zdjęć.

Wszystkie pomiary związane ze skrajnią linii kolejowej muszą być ostatecznie podawane w układzie osi toru i uwzględniać jazdę oraz pochylenia przesyłki na łukach (rys. 3 i 4). Wymaga to dodatkowych obliczeń, w których brane są pod uwagę te parametry. Odróżnia to projekt kodyfikacji od typowego projektu geodezyjnego, gdzie definiujemy układ współrzędnych związany z terenem. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono geometrię przesyłki poruszającej się na łuku.

Należy wspomnieć, że zapis danych pomiarowych musi być powiązany z numerem linii kolejowej, numerem toru, kilometrem toru i danymi o geometrii toru

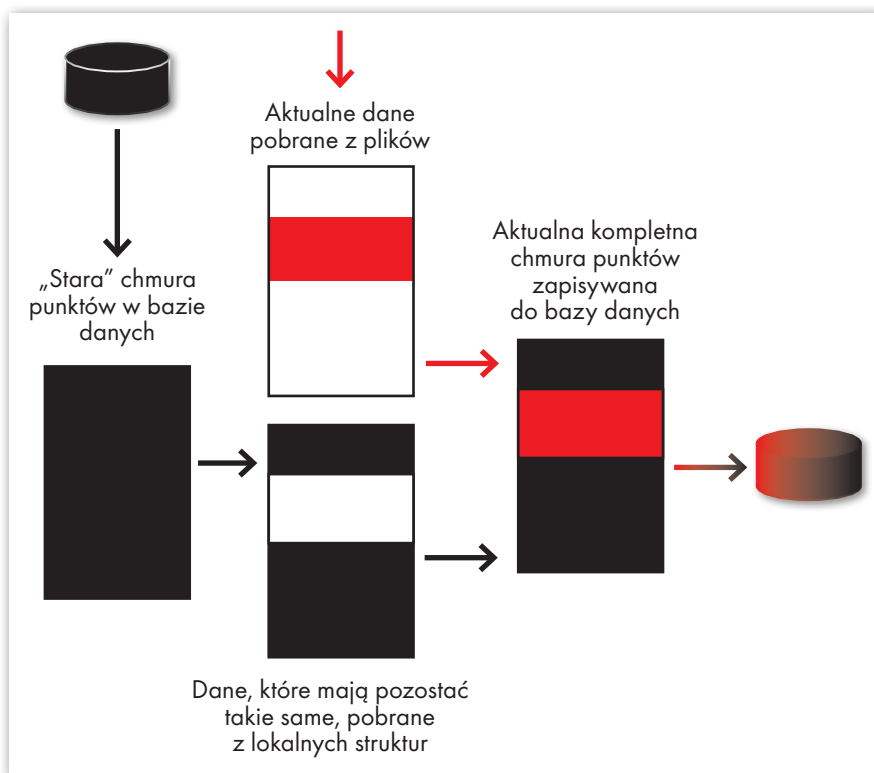
wyznaczonymi z systemu do pomiaru geometrii. Całość ma być zgodna z obowiązującymi instrukcjami funkcjonującymi w PKP PLK S.A. oraz normą PN EN 15273.

• System informatyczny

Dane pozyskane w procesie pomiarowym są gromadzone w tzw. kodyfikacyjnej bazie danych (KBD), która składa się z bazy analitycznej oraz operacyjnej. Zadaniem tej pierwszej jest przetwarzanie i wizualizacja chmur punktów zebranych przez platformę pomiarową, a także od razu ich redukcja do postaci kodów oraz przekrojów 2D. Natomiast zadaniem bazy operacyjnej jest przechowywanie danych oraz ich prezentacja dla użytkowników końcowych. Warto nadmienić, że w trakcie pomiaru odcinka 100 km rejestrowanych jest około 600 GB danych (chmura punktów z dwóch skanerów plus obrazy z 6 kamer).

System informatyczny zbudowano, wykorzystując bazę danych Oracle 11g R2 z dodatkiem Oracle Spatial, tak aby spełniał wymogi koncepcyjne wynikające z I etapu projektu. Jedną z ważniejszych możliwości bazy jest integracja powstałego systemu z istniejącymi już bazami POS (Prowadzenie Opisu Sieci) oraz SILK (System Informacji dla Linii Kolejowych). Polegała ona na synchronizacji wspólnych danych, co ma bardzo duże znaczenie dla rozwoju tego systemu w przyszłości.

Powstały system zapewnia budowanie makrokodów, kontrolę ich poprawności, a także ich składanie oraz wizualizację odpowiadających im konturów za pomocą obiektów Oracle Spatial. Umożliwia również podział linii kolejowej na sekcje, aby uwzględnić np. przejazd przesyłki przez stację kolejową, gdzie jest kilka lub kilkanaście torów. W związku z odchyleniami eksploatacyjnymi dostosowano procedurę wyszukiwania na trasie przejazdu miejsc z ograniczeniami prędkości (mniejsze odchylenie eksploatacyjne umożliwiłoby przyjęcie przesyłki do przejazdu). W trakcie budowy systemu poszukiwano również prostego sposobu wizualizacji wyników analiz.



Rys. 7. Schemat aktualizacji bazy danych

• Idea weryfikacji kolizji i aktualizacja bazy danych

Istotą systemu kodyfikacji jest w pierwszej kolejności automatyczne zweryfikowanie potencjalnych miejsc kolizyjnych za pomocą prostej, a jednocześnie skutecznej metody. Na rysunku 5 (lewy dolny róg) pokazano ideę weryfikacji kolizji. Sektorom kolizyjnym w kodowaniu przydzielono różne kolory, co ułatwia szybką weryfikację. Wykres słupkowy u dołu widoku (rys. 5 i 6) pokazuje, jakie jest prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji (tj. naruszenia przestrzeni analizowanej skrajni przez elementy infrastruktury kolejowej lub roślinność) oraz sektory, w których należy się jej spodziewać. Wysoki słupek oznacza, że odległości od przeszkód są duże. Brak jakiegokolwiek koloru w słupku oznacza wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji w danym sektorze.

Po wykryciu kolizji należy uruchomić proces ich weryfikacji, który polega na analizie dziesięciometrowych odcinków kolizyjnych. Analiza wykonywana jest z wykorzystaniem danych pomiarowych wyświetlanych w oknach Przekrój 2D, Zdjęcia/Animacja i Chmura Punktów. Do analizy należy wykorzystać chmurę punktów oraz zdjęcia pochodzące z kamery, na których najlepiej widoczna jest kolizja. Weryfikacja oprócz wizualnej oceny pozwala na wykonanie pomiaru odległości, a jej wynikiem jest określenie rodzaju obiektu powodującego kolizję oraz stwierdzenie, czy jest to element, który rzeczywiście uniemożliwia przejazd przesyłki.

Osobnym zagadnieniem było zaprojektowanie schematu aktualizacji bazy danych zasilanej pomiarami wieloczasowymi. Fragment nieaktualnej chmury punktów musi zostać zastąpiony w bazie nowymi danymi. Na rysunku 7 pokazano schematycznie, jak przebiega ten proces. Po nałożeniu nowej chmury punktów pojawiają się nowe miejsca kolizyjne. System po zrobieniu aktualizacji bierze pod uwagę nowe dane i wskazuje te miejsca, które należy przeanalizować. Jeśli widok chmury punktów nie wystarcza do oceny kolizji, wtedy jako materiał pomocniczy mogą zostać wykorzystane zdjęcia. W przyszłości można rozbudować system o możliwość pomiaru „nowych” elementów bezpośrednio na chmurze lub zdjęciach.

System po zrobieniu aktualizacji bierze pod uwagę nowe dane i wskazuje te miejsca, które należy przeanalizować. Jeśli widok chmury punktów nie wystarcza do oceny kolizji, wtedy jako materiał pomocniczy mogą zostać wykorzystane zdjęcia. W przyszłości można rozbudować system o możliwość pomiaru „nowych” elementów bezpośrednio na chmurze lub zdjęciach.

• Dostawa sprzętu i szkolenia

W ramach projektu wykonawca dostarczył niezbędny sprzęt pomiarowy i informatyczny wraz z licencjami. Platforma pomiarowa została zaopatrzona w odpowiednie macierze dyskowe, pozwalające na zrzut danych z systemu platformy, wczytanie danych do KBD, przechowywanie danych pochodzących z platformy pomiarowej w postaci RAW, przechowywanie zdjęć z pomiarów oraz przekrojów 2D.

Dostarczona platforma sprzętowa miała zgodnie z wymogami projektu

umożliwiać odpowiedni poziom dostępności i bezpieczeństwa 24 godziny na dobę. Wykonawca zobowiązany był również do dostarczenia mechanizmów i procedur utrzymania ciągłości działania, a także wykonywania i odtwarzania kopii bezpieczeństwa.

W projekcie każda część kończyła się szkoleniami. Wykonawca w ramach projektu przeszkolił ponad 20 osób z zakresu pozyskiwania i obróbki danych fotogrametrycznych oraz obsługi systemu informatycznego. Szkolenia odbywały się w siedzibie PKP PLK S.A. Były one dobrą okazją do integracji twórców systemu z osobami, które będą go obsługiwać. Nie odbędzie się zapewne bez kontaktów w przyszłości, co gwarantuje dwuletnia gwarancja udzielona przez wykonawców w ramach realizowanej umowy.

• System o wielu możliwościach

Projekt, pomimo swojej złożoności, zakończył się zgodnie z planem. Zrealizowano założone cele, do czego z pewnością przyczyniła się wzorowa współpraca między zamawiającym (Biuro Nieruchomości i Geodezji Kolejowej PKP PLK S.A.) a wykonawcą.

W Polsce jest około 19 tys. km linii kolejowych, na które składa się ponad 37 tys. km torów. Kodyfikacja ma objąć wszystkie linie sieci kolejowej, na których przewidziany jest ruch pociągów towarowych. Optymalny wybór trasy przejazdu pociągów towarowych, zwłaszcza przewożących przesyłki z przekroczoną skrajnią ładunkową, wymaga dostępu do aktualnej bazy danych. Potrzebny jest wydajny system pomiarowy skrajni budowli oraz informatyczny system zbierania, przetwarzania i przekształcania danych w informacje przydatne do podejmowania odpowiedzialnych decyzji. Wydaje się, że wynik projektu jest załącznikiem budowy takiego systemu w Polsce.

Niewątpliwą dodatkową zaletą systemu kodyfikacji jest pełna cyfryzacja danych oraz możliwość inwentaryzacji wszystkich linii kolejowych w naszym kraju. Ma to ogromne znaczenie nie tylko dla systemu kodyfikacji, ale również w przyszłości dla dalszej rozbudowy tego rozwiązania pod kątem dodatkowych zastosowań, np. stworzenia systemu obsługi zarządzania przewozem przesyłek nadzwyczajnych (z przekroczoną skrajnią).

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