

Bożysław Bogdaniuk

# Wspomaganie decyzji przy utrzymaniu nawierzchni kolejowej

**Do zapewnienia bezpiecznej i sprawnej eksploatacji nawierzchni kolejowej konieczne jest nie tylko wykonanie jej z określonych materiałów i przy zachowaniu określonych tolerancji, lecz także odpowiedni system utrzymania zapewniający zarówno monitoring zmian w położeniu toków szynowych, jak i terminowe likwidowanie powstających w torze deformacji zagrażających bezpieczeństwu ruchu. Spowodowane warunkami eksploatacyjnymi zmiany w nawierzchni (odkształcenia, zużycie, czy deformacje) odpowiadają zwiększonym oddziaływaniom dynamicznym na pojazdy szynowe.**

Systemy diagnostyczne działając w sposób dyskretny, tj. pomiary przeprowadzane są na różnych liniach sieci kolejowej w różnych odstępach czasu, dostarczają w jednym czasie informacji o zróżnicowanym stanie nawierzchni wymagającym różnych działań utrzymania. Stąd też konieczność podejmowania różnych decyzji od ustalania dopuszczalnych prędkości, miejscowych ograniczeń prędkości poprzez ustalenie lokalizacji i rodzaju przeprowadzenia napraw, aż do awaryjnego wstrzymania ruchu.

W artykule przedstawionych zostanie kilka problemów decyzyjnych występujących przy utrzymaniu nawierzchni, które nadal czekają na wspomoczenia ich specjalistycznymi programami komputerowymi celem zwiększenia racjonalizacji decyzji przy zmniejszeniu wpływu czynników subiektywnych.

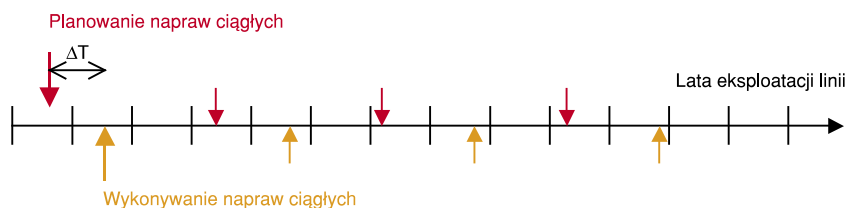
## Problemy decyzyjne przy utrzymaniu nawierzchni

Przy utrzymaniu nawierzchni w systemie napraw planowo-zapobiegawczych (rys. 1), gdzie naprawy zaplanowane z rocznym wyprzedzeniem przeprowadzane są w sposób ciągły, niezależnie od aktualnego stanu nawierzchni, zakres decyzji podejmowanych na podstawie wyników pomiarów diagnostycznych dotyczył w zasadzie jedynie problemów bezpieczeństwa ruchu i związanych z nimi naprawami awaryjnymi. System ten był jednak możliwy do stosowania w gospodarce nakazowo-rozdzielczej, w której trzeba było odpowiednio wcześniej zaplanować środki, a następnie – zgodnie z planem – je wydać, nawet gdyby uległy zmianie czynniki wymagające tych nakładów. Jak wynika z przeprowadzonych analiz [1] można szacować, że ponad 50% robót utrzymania wykonywano w torach nie wymagających takich robót. Z punktu widzenia efektywności były to więc środki zmarnowane.

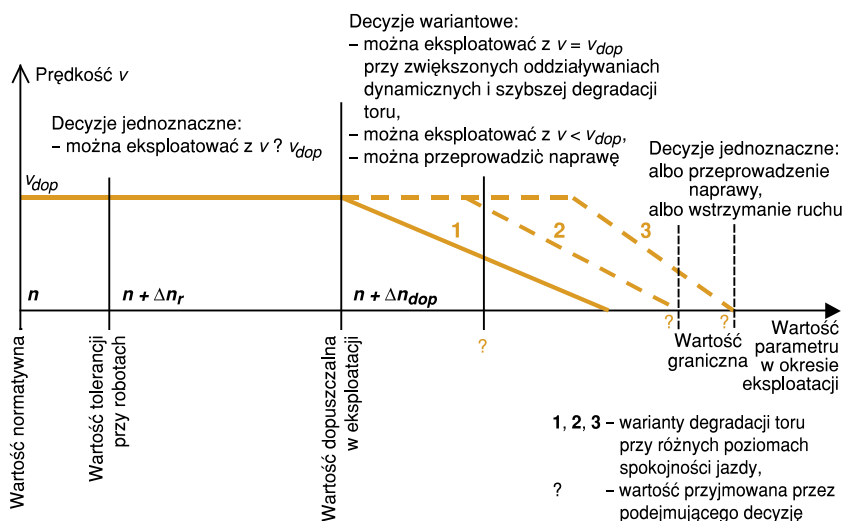
W gospodarce rynkowej, gdzie środki na utrzymanie pochodzą głównie z udostępniania linii kolejowych różnym przewoźnikom, konieczne jest

zapewnienie pełnej efektywności wydatkowanych środków finansowych. Sprawia to między innymi, że naprawy torów należy przeprowadzać jedynie w tych miejscach, które tego wymagają bądź z uwagi na poprawę spokojności biegu pociągów, bądź z uwagi na bezpieczeństwo ruchu. Tym samym wzrasta rola systemu diagnostycznego, który musi dostarczać informacji pozwalających na podejmowanie racjonalnych decyzji dotyczących eksploatacji i utrzymania. Takie wymagania spełnia koncepcja zintegrowanego systemu diagnostycznego, opracowana pod kierunkiem prof. H. Bałucha [2]. Pomijając strukturę systemu, warto zwrócić uwagę na dwa jego elementy związane bezpośrednio z procesem decyzyjnym: jeden to kwalifikowanie toru do napraw, drugi – ustalanie prędkości dopuszczalnej.

Istotną rolę przy kwalifikowaniu toru do napraw spełniają wartości odchyłek dopuszczalnych ustalone obligatoryjnie dla każdego z mierzonych parametrów. Zaproponowane przez prof. H. Bałucha, na podstawie wielokryterialnej analizy przy przyjętym poziomie spokojności jazdy, wartości dopuszczalne odchyłek [3] pozwalają na określenie obszarów podejmowania decyzji na podstawie wyników pomierzonych wartości określonego parametru toru, co schematycznie przedstawiono na rysunku 2. Po przekro-



Rys. 1. Planowanie napraw w systemie planowo-zapobiegawczym (rodzaj wykonywanych napraw zależy od cyklu podstawowego przyjętego w zależności od kategorii linii)  
 $\Delta T$  - okres między planowaniem a wykonaniem naprawy



Rys. 2. Problemy decyzyjne przy ocenie wyników pomiarów parametrów stanu toru

czeniu wartości dopuszczalnych nie zostaje wprowadzone zagrożenie bezpieczeństwem ruchu, ale ulega systematycznemu pogarszaniu spokojność jazdy oraz zwiększa się tempo degradacji toru, co sprawia, że dla zachowania wymaganego poziomu spokojności należałoby ograniczyć prędkość.

Przyjmując gorsze warunki jazdy, można dopuszczać dalszą eksploatację. Niestety, obecnie nie jest jeszcze możliwe przedstawienie tego parametrycznie, tak jak nigdzie nie opracowano metody wyznaczania granicznych wartości dopuszczalnych odchytek z uwagi na bezpieczeństwo ruchu. Taką decyzję musi się nadal podejmować indywidualnie, uwzględniając zarówno czynniki nawierzchniowe, jak i taborowe, które mogą wystąpić na danej lokalizacji toru. W tym przypadku wspomaganie decyzji jest ograniczone i nawet przy korzystaniu z pomocniczych programów eksperckich potrzebne jest duże doświadczenie osobiste decydenta.

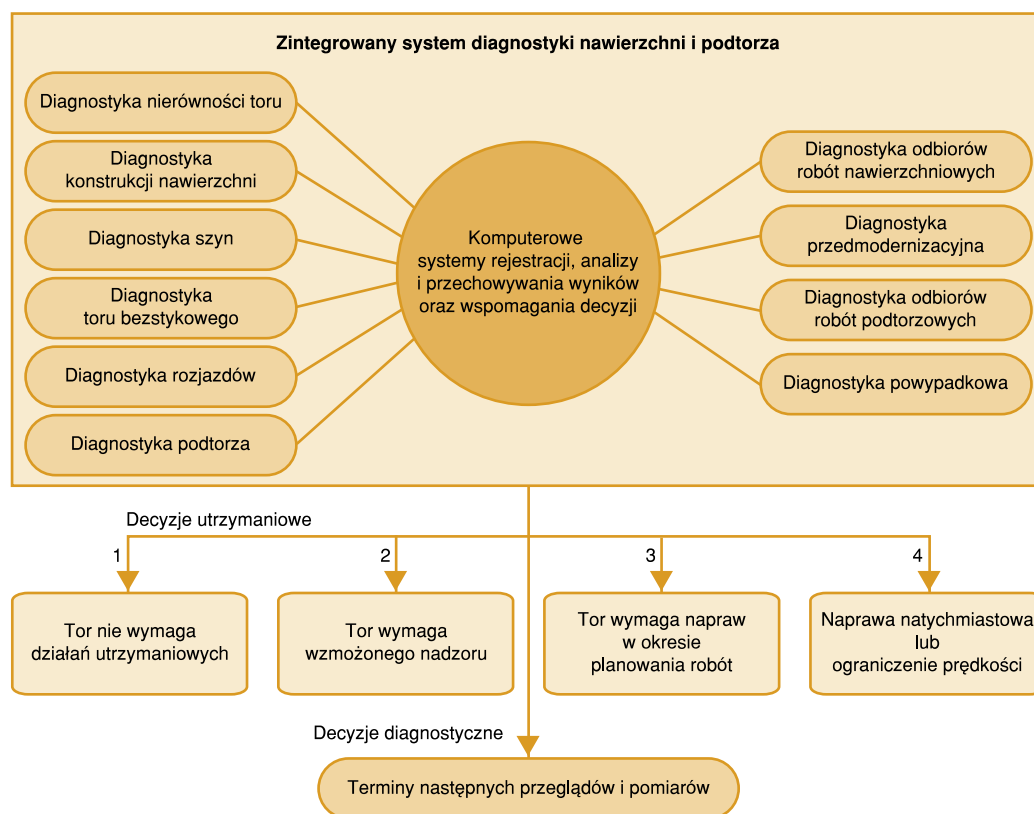
W koncepcji zintegrowanego systemu diagnostycznego każdy wykonany na odcinku toru cykl pomiarów diagnostycznych powinien się kończyć jedną z czterech konkluzji przedstawionych na rysunku 3. Oznacza to, że procedury diagnostyczne obejmują tylko te parametry, które mają istotny wpływ na warunki eksploatacyjne. Dla wyeliminowania wpływu ocen subiektywnych system tworzą procedury diagnostyczne, które określają sposób wykonywania pomiarów określonym sprzętem i ich komputerowe przetwarzanie oraz formułowanie jednoznacznych konkluzji.

Po każdym cyklu pomiarowym przeprowadzonym w rejonie sieci kolejowej powstaje zbiór potrzeb naprawczych. Jednak nie jest on jednoznaczny z programem napraw, ponieważ o możliwych do wykonania w określonym czasie napraw decyduje dysponowany potencjał naprawczy (bądź w postaci środków finansowych, bądź w postaci ludzi, maszyn i materiału).

Praktycznie w żadnym zarządzie kolejowym potencjał ten nie jest większy od zapotrzebowania, stąd też konieczność decyzji na których liniach przeprowadzana będzie naprawa, a na których trzeba ograniczyć prędkość. Zakwalifikowanie toru do naprawy łączy się z koniecznością poniesienia wydatków, ale nieprzeprowadzenie naprawy to ograniczenie prędkości, a tym samym zmniejszenie przepustowości i zmniejszenie wpływów za udostępnianie toru przewoźnikom. Przy podejmowaniu takich decyzji należy kierować się więc czynnikami eksploatacyjnymi, znaczeniem danej linii na sieci, natężeniem ruchu pociągów, procesem degradacji nawierzchni, a także analizą ekonomiczną, tak aby zapewnić maksymalną zdolność przewozową (maksymalne wpływy za udostępnianie linii) w danym rejonie sieci kolejowej.

Brak jest jeszcze programu wspomagającego podejmowanie takich decyzji, ale nie było też warunków do jego realizacji. Można bowiem to zagadnienie rozpatrywać wprowadzić globalnie jako problem optymalizacyjny, lecz prace te muszą być poprzedzone badaniami wielu czynników, między innymi takich, jak np. tempo degradacji toru w zależności od warunków eksploatacyjnych czy kryteria określania rzeczywistych wartości tras pociągowych udostępnianych przewoźnikom.

Stąd też przy decyzjach dotyczących utrzymania nawierzchni w dalszym ciągu korzysta się będzie z specjalistycznych programów wspomagających, zwanych też miniekspercowymi, których tworzenie, nie tylko w Polsce, zapoczątkował prof. H. Bałuch. Programy te służą do praktycznego stosowania przez liniowych pracowników inżynierskich, dotyczą wąskich zagadnień związanych z utrzymaniem nawierzchni i mają zastosowanie do pojedynczych problemów decyzyjnych. Możliwe są do zainstalowania na komputerach przenośnych, a zatem można je stosować również w warunkach polowych. Ich zaletą jest wymuszanie podawania na wej-



Rys. 3. Koncepcja zintegrowanego systemu diagnostycznego

## Warunki eksploatacyjne z uwagi na standard nawierzchni (klasy torów)

Nacisk osi [kN]		Dopuszczalne prędkości w klasach toru $v_{kr}$ [km/h]					
lokomotywy	wagony	0	1	2	3	4	5
221	221	100	100	80	70	50	30
	205	100	100	100	80	60	40
	190	120	120	100	80	60	40
	170	160	140	120	100	80	50
	140	200	160	140	120	80	50
205/210	221	100	100	80	70	50	30
	205	100	100	100	80	60	40
	190	120	120	100	80	60	50
	170	160	140	120	100	80	50
195	140	200	160	140	120	100	60
	221	100	100	80	70	50	40
	205	100	100	100	80	70	40
	190	120	120	100	80	70	50
	170	160	140	120	100	80	60
180	140	200	160	140	120	100	60
	221	100	100	80	70	50	40
	205	100	100	100	80	70	40
	190	120	120	100	80	70	50
jednostki elektryczne	170	160	140	120	100	80	60
	140	200	160	140	120	100	60
	221	100	100	80	70	50	40
	205	100	100	100	80	70	40
autobusy szynowe		140	120	120	100	100	70
jednostki lekkie <100 kN		100	100	100	100	100	80
Natéżenie przewozów [Tg/rok]		≤25	nie norm.	≤25	≤15	≤8	≤3
Kategoria linii							
magistralne							
pierwszorzędne							
drugorzędne							
znaczenia miejscowego							

ściu tylko informacji istotnych dla danego problemu, a na wyjściu podawanie jednoznacznej konkluzji, jako odpowiedź do podjęcia decyzji.

Przykładami takich programów są:

- określanie dopuszczalnych prędkości i nacisków osi – program UNIP,
  - ustalanie terminów wymian nawierzchni – program DONG,
  - kwalifikowanie toru do regulacji jego położenia – program SOHON,
  - ocena jakości wykonanych robót torowych – program JAKON
- Programy opracowane przez prof. H. Bałucha<sup>1)</sup> są szczegółowo omówione wraz z przedstawieniem ich struktury i podstaw teoretycznych w [3].

Nowy obszar problemów decyzyjnych pojawił się wraz z przyjęciem koncepcji odpłatnego udostępniania linii kolejowych różnym przewoźnikom. Warunki eksploatacji (prędkość, nacisk osi) proponowane przez zarząd kolei muszą odpowiadać oczekiwaniom przewoźnika. Oferta ta musi być stosunkowo prosta i elastyczna. Wydaje się, że najważniejszym punktem wyjścia będzie klasyfikacja torów głównych zasadniczych i dodatkowych zaproponowana przez prof. H. Bałucha, która łączy podstawowe typy pojazdów torowych eksploatowanych przez przewoźników oraz natężenie przewozów ze standardem konstrukcyjnym nawierzchni (tabl. 1).

O zakwalifikowaniu toru do jednej z sześciu klas decyduje zasadniczo standard konstrukcyjny nawierzchni określony w przepisach D1 dla każdej klasy [4]. Od parametrów wytrzymałościowych nawierzchni zależy bowiem zarówno prędkość pociągów o określonych naciskach osi lokomotywy i wagonów, jak też natężenie ruchu. Można też odwrócić zagadnienie – klasa toru pozwala na określenie standardu nawierzchni wymaganego przez przewoźników. Czynnikiem wiążącym te dwa punkty spojrzenia na klasę toru jest dopuszczalna prędkość.

Oprócz standardu nawierzchni i natężenia przewozów na wartość dopuszczalnej prędkości wpływają także ukształtowanie linii (w szczególności parametry łuków poziomych), jak też wartości rzeczywistych odkształceń w położeniu toków szynowych w poziomie i pionie (deformacje trwałe i sprężyste):

$$v_{dop.} = \min(v_{geom.}, v_{klasa\ toru}, v_{stan\ toru})$$

Stąd też ustalenie dopuszczalnej prędkości jest ważnym elementem decyzyjnym przy udostępnianiu tras kolejowych różnym przewoźnikom. Ona bowiem może decydować o podstawowych działaniach w zakresie utrzymania nawierzchni: gdzie należałoby dokonać modernizacji układu torowego, gdzie podniesienie standardu nawierzchni, a gdzie naprawy, co schematycznie obrazuje rysunek 4. Z jednej strony zarząd kolei oferuje trasę pociągową na torze o określonej klasie i prędkości dopuszczalnej, która w pewnych przypadkach może być niższa niż określona dla danej klasy wynikającej ze standardu, a z drugiej przewoźnik może żądać dla swojego taboru określonej klasy toru. Nie ma problemów, gdy klasy torów i dopuszczalne prędkości są zgodne. W przypadkach jednak, gdy wystąpią konflikty interesów, powstają istotne problemy w zakresie dostosowania toru do wymagań przewoźni-

ków. Sprowadzają się one do: potrzeb modernizacji układu torowego lub nawierzchni, przeprowadzenia napraw bądź też konieczności zaproponowania przewoźnikowi innej linii kolejowej.

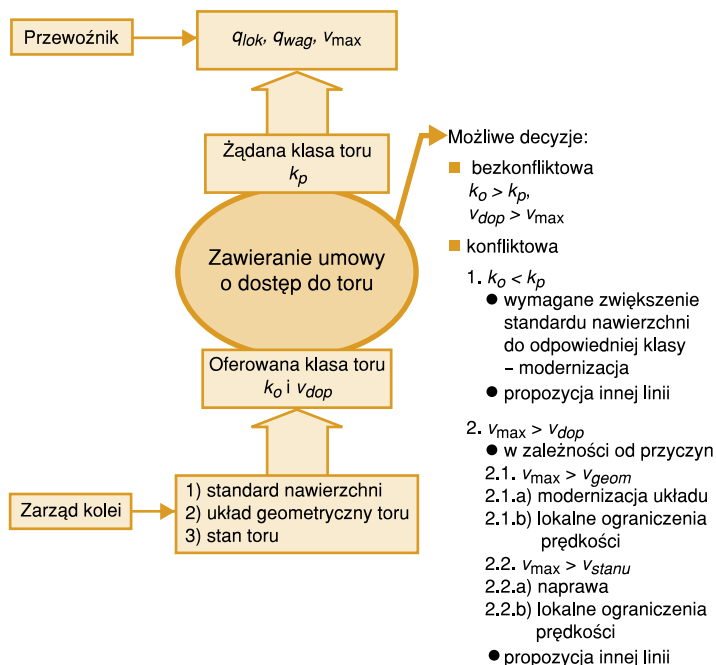
Te problemy wymagają wsparcia odpowiednim wspomaganie przy podejmowaniu decyzji.

Szczególnie istotny jest program wspomagający decyzje, gdzie z uwagi na warunki stawiane przez przewoźników należy przeprowadzić naprawę, a gdzie wystarczy ograniczyć lokalnie prędkość, jak rozdzielić posiadane środki na utrzymanie i jaka powinna być technicznie uzasadniona wartość jednostkowej trasy pociągowej na danej linii.

### Wnioski

Aktualny regres kolejnictwa spowodował odejście ze służby utrzymania dróg kolejowych wielu doświadczonych pracowników, których znajomość warunków eksploatacji pozwalała na trafne podejmowanie decyzji utrzymaniowych takich jak np. określanie dopuszczalnej prędkości z uwagi na stan toru. Na ich miejsce przyjdą pracownicy bez tego doświadczenia, a decyzje trzeba bę-

<sup>1)</sup> Oprócz przedstawionych, prof. Henryk Bałuch opracował systemy: KLAN (rozdziatu środków na utrzymanie), ORMOD (organizacja przedsięwzięć modernizacyjnych), REGRI (klasyfikowania szyn do szlifowania), DIRO (utrzymanie i naprawy rozjazdów), SONIT (do analizy wyników toromierzy mikroprocesorowych).



Rys. 4. Problemy decyzyjne przy udostępnianiu tras pociągów przewoźnikom

dzie podejmować. Dla zapewnienia bezpieczeństwa ruchu potrzebne będą szczegółowe procedury podejmowania decyzji przy wykorzystaniu komputerowych systemów doradczych. Jest więc najwyższy czas rozpocząć prace nad takimi procedurami. Istotne miejsce w tych procedurach będą zajmowały komputerowe systemy decyzyjne wsparte w wielu przypadkach wynikami zintegrowanego systemu diagnostycznego.

Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że konieczne są trzy typy komputerowego wspomaganie:

- 1) do automatycznego przetwarzania wyniki pomiarów czy oględzin, przedstawiając je do zadanej syntetycznej formy jednokowej dla całej sieci danego zarządu, przystosowanej do dalszego przetwarzania w komputerze stacjonarnym (najczęściej

będzie to więc oprogramowanie w jakie powinno być wyposażone urządzenie pomiarowe);

- 2) oprogramowanie komputerów stacjonarnych przeznaczone do przeprowadzania analiz zebranych danych, w tym również z baz danych, symulacji oraz innych działań związanych z procesem decyzyjnym,
- 3) systemy wspomagające decyzje (zwane też eksperckimi), które oprócz baz danych dysponują bazą wiedzy, tj zbiorem reguł wiążących określone wartości parametrów z konkluzjami, dostosowane do konkretnych problemów decyzyjnych jakie mogą wystąpić w procesie utrzymania nawierzchni.

Z przykrością trzeba stwierdzić, że stworzona przez prof. H. Bałucha metoda wspomaganie komputerowego nie znalazła w krajowych uczelniach technicznych szerszego grona kontynuatorów, mimo możliwości stosowania w nich nowoczesnych narzędzi, jakimi są przykładowo sieci neuronowe. Głównym powodem tego stanu rzeczy jest praktyczny brak zainteresowania ze strony przyszłych użytkowników, co z kolei sprawia pomijanie tej problematyki przez młodych pracowników nauki. Nawet istniejące programy są w minimalnym stopniu wykorzystywane w praktyce. W ostatnich kilku latach, dzięki twórczej pasji prof. H. Bałucha, zwiększyła się wprawdzie liczba programów wspomagających, jednak nadal wiele obszarów decyzyjnych przy utrzymaniu nawierzchni czeka na naukowe i techniczne opracowania.

#### Literatura

- [1] Bogdaniuk B.: *Model eksploatacyjny dróg kolejowych z uwzględnieniem systemów utrzymania* (grant KBN nr 7 S103 049 04). Raport końcowy 1994.
- [2] Bałuch H., Bogdaniuk B.: *Zintegrowany system diagnostyki nawierzchni i podtorza – program wdrożenia*. Gdańsk 1996.
- [3] Bałuch H.: *Wspomaganie decyzji w drogach kolejowych*. Kolejowa Oficyna Wydawnicza. Warszawa 1994.
- [4] Instrukcja D1. *Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych*. Warszawa 2002.

#### Autor

prof. dr hab. inż. Bożystaw Bogdaniuk  
kierownik Katedry Inżynierii Kolejowej, Politechnika Gdańska

## XI Ogólnopolska Wystawa KOLEJ NA KOLEJ

# ELEKTROTRAKCJA 2003

Zduńska Wola Karsznice. 22–23 maja 2003 r.

Nowoczesne urządzenia, materiały, rozwiązania techniczne, które mają zastosowanie w elektroenergetyce kolejowej, trakcji elektrycznej, taborze kolejowym, wyposażeniu zaplecza warsztatowego, przewożach kolejowych, sterowaniu i zabezpieczeniu ruchu kolejowego, telekomunikacji, informatyce, BHP

*Honorowy przewodniczący Komitetu Organizacyjnego Wystawy:* dr inż. Franciszek Wielądek – przewodniczący Rady nadzorczej PKP S. A., sprawujący funkcje honorowego Prezydenta UIC

*Patronat techniczny:* PKP ENERGETYKA Spółka z o.o. Centrala w Warszawie

*Patronat medialny:* Technika Transportu Szybowego, Nowe Sygnały

*Informacje:*

**Stowarzyszenie SEMAFOR**  
98-220 Zduńska Wola, ul. 1 Maja 7  
tel./fax (43) 823 07 10