

Ocena ryzyka operacyjnego oraz monitorowanie pojazdów kolejowych

W artykule opisano zastosowanie metody analizy rodzajów i skutków możliwych błędów (FMEA) do oceny ryzyka operacyjnego w transporcie kolejowym. Metodyka wypracowana przez Katedrę Transportu Szynowego Politechniki Śląskiej, w tym przyjęte progi akceptacji i wzory formularzy, zostały zaadaptowane w polskim kolejnictwie jako standard do oceny ryzyka operacyjnego przez przewoźników i zarządców infrastruktury. Reagując na rozwój wymagań w zakresie zarządzania bezpieczeństwem – Rozporządzenie KE nr 445 z 2011 r. [3] – Katedra zaproponowała wykorzystanie do nadzorowania pojazdów kolejowych wybranych elementów normy PN-EN 50126 [2] wraz z dodatkowymi parametrami związanymi z utrzymaniem. Rozwiązanie to jest obecnie wdrażane przez podmioty odpowiedzialne za utrzymanie w ramach budowy Systemów Zarządzania Utrzymaniem (MMS) dla wagonów towarowych. Artykuł ten dedykowany jest osobom, które zajmują się tematyką zarządzania bezpieczeństwem zarówno w przewozie towarów i osób, jak i utrzymywania pojazdów kolejowych.

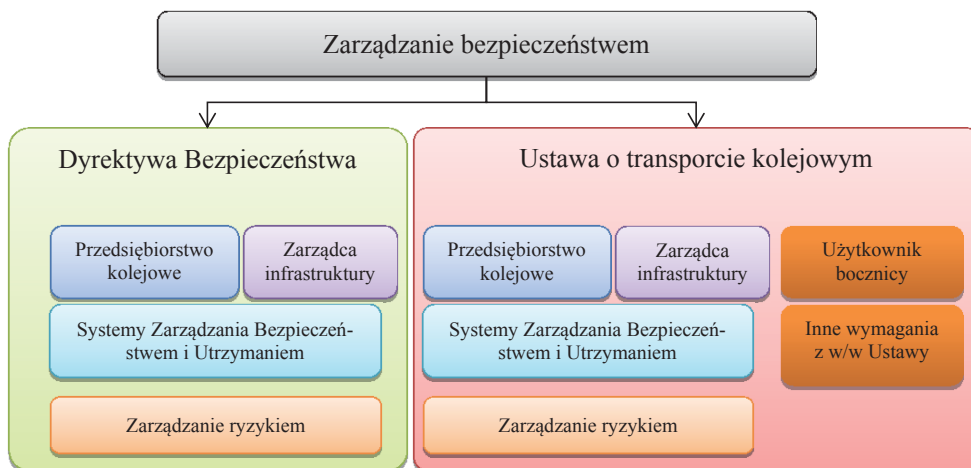
Wstęp

Wdrożona w 2004 roku Dyrektywa Bezpieczeństwa (2004/49) [1] nałożyła pełną odpowiedzialność za bezpieczeństwo w transporcie kolejowym na jego głównych, licencjonowanych wykonawców – przedsiębiorstwa kolejowe i zarządców infrastruktury. W Polsce w ramach transpozycji w/w dyrektywy przeniesiono tę odpowiedzialność na posiadaczy certyfikatów bezpieczeństwa (przewoźników) i autoryzacji bezpieczeństwa (zarządców infrastruktury). Dodatkową kategorią podmiotów na polskim rynku kolejowym są użytkownicy bocznic kolejowych, którzy ubiegają się o świadectwa bezpieczeństwa. Podstawową różnicą w kontekście zarządzania bezpieczeństwem pomiędzy tymi podmiotami (przewoźnik kolejowy, zarządca infrastruktury, użytkownik bocznic) jest obowiązek zbudowania przez dwóch pierwszych systemów zarządzania bezpieczeństwem – por. rys. 1.

Podstawowym narzędziem wykorzystywanym w systemach zarządzania bezpieczeństwem przez przewoźników i zarządców infrastruktury kolejowej do monitorowania efektywności ich funkcjonowania jest zarządzanie ryzykiem operacyjnym

w zakresie działalności, jaką dany podmiot wykonuje. Rozporządzenie KE 352 z 2009 [4] w sprawie przyjęcia wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka, jak również inne wymagania prawne określiły podejście do zarządzania ryzykiem, nie wskazując żadnych konkretnych rozwiązań. Stąd pierwszym etapem prac było rozwijanie wykorzystywanych w Polsce przez podmioty kolejowe metod szacowania ryzyka. Największe uznanie na rynku uzyskało podejście wykorzystujące FMEA i opisanie ryzyka za pomocą iloczynu trzech wskaźników dla każdego zagrożenia indywidualnie.

Kolejnym etapem rozwoju „zarządzania bezpieczeństwem” w transporcie kolejowym było sprostanie wymaganiom zawartym w Rozporządzeniu KE 445 z 2011 r., dotyczącym certyfikacji podmiotów odpowiedzialnych za utrzymanie wagonów towarowych. Dotyczyły one m.in. poszerzenia zakresu podmiotów zobowiązanych do zarządzania ryzykiem o podmioty odpowiedzialne za utrzymanie (ECM). Dodatkowo w/w Rozporządzenie kładzie duży nacisk na monitorowanie systemów technicznych, w tym pojazdów kolejowych (wagonów towarowych), których utrzymanie budowany system opisuje. W tym celu wykorzystano rozwiązanie zalecane przez autorów Standardu IRIS na potrzeby projektowania i budowania pojazdów kolejowych – normę PN-EN 50126: Zastosowania kolejowe – Specyfikacja niezawodności, dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa. Na podstawie zaleceń zawartych w tej normie zaproponowano narzędzie do zbierania danych eksploatacyjnych oraz odpowiednie ich przetwarzanie w celu obliczenia wskaźników związanych z niezawodnością, dostępnością i bezpieczeństwem wagonów towarowych. Zagadnienia te zostały omówione w rozdziale 2.



Rys. 1. Podmioty zobowiązane do zarządzania ryzykiem – Dyrektywa Bezpieczeństwa a Ustawa o transporcie kolejowym

Źródło: oprac. własne.

1. Ocena ryzyka operacyjnego z wykorzystaniem metody FMEA

Na potrzeby systemu zarządzania bezpieczeństwem (SMS) do oceny ryzyka operacyjnego w sposób innowacyjny dla Polski zastosowano metodę FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*). Opiera się ona na ocenie zidentyfikowanych wcześniej zagrożeń. Zagrożenia te są identyfikowane z wykorzystaniem opracowanego formularza (rys. 2) przez wszystkich pracowników w danym przedsiębiorstwie kolejowym (grupa ekspercka obejmująca przedstawicieli eksploatacji, utrzymania, szkoleń, kwalifikacji dostawców, bhp itd.). Następnie wyznaczona jednostka oceniająca (zgodnie z Rozporządzeniem KE 352/2009 może nią być wyodrębniona grupa osób w organizacji [4]) zajmuje się szacowaniem i oceną poszczególnych zagrożeń.

Do szacowania zidentyfikowanych zagrożeń wykorzystuje się trzy parametry:

- W – prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia,
- Z – łatwość wykrycia zagrożenia,
- S – skutek zagrożenia.

Dla w/w parametrów opracowano innowacyjne, ujednolicone i stosowane w Polsce tabele wartości (tab. 1–3). Wartości prawdopodobieństwa, łatwości wykrycia i skutków przydziela się w skali 1–10, a ich iloczyn stanowi poziom ryzyka dla danego zagrożenia.

Dane, które opisuje tabela 1, są propozycją autorów i odnoszą się do wykonanej przez przewoźnika kolejowego sumarycznej pracy przewozowej w zakresie przewozu rzeczy i osób. Wielkość danych wskazanych w kolumnie 2 tabeli powinna zależeć od wykonanej pracy przewozowej, przy czym pierwsza z podanych w kolumnie 2 wartości nieznacznie przekracza wielkość pracy przewozowej przewidywanej w skali roku.

W szacowaniu prawdopodobieństwa wykrycia zagrożenia należy uwzględnić najlepszy środek czy metodę kontroli, jaka jest aktualnie stosowana – tab. 3.

Dla poszczególnych zagrożeń należy przydzielić wartości z powyższych tabel oraz obliczyć poziom ryzyka dla danego zagrożenia:

$$R = W \cdot Z \cdot S \quad (1)$$

Następnie zajmujemy się oceną poszczególnych poziomów ryzyka. Do tego celu wykorzystywana jest macierz ryzyka przedstawiona w tabeli 4. Zaproponowane progi akceptacji ryzyka zostały uznane przez przedsiębiorstwa kolejowe w Polsce.

Jeśli poziom ryzyka dla danego zagrożenia przekracza przyjęty próg, jednostka określa scenariusz postępowania z konkretnym zagrożeniem. Przydzielona zostaje również osoba odpowiedzialna za wdrożenie działań. Po zrealizowaniu zaplanowanego scenariusza jednostka oceniająca sprawdza ponownie poziom ryzyka. Jeśli zostanie osiągnięty zadowalający poziom, proces zostaje zakończony. W innym wypadku zostają podjęte dodatkowe działania. Cały proces jest zapisywany na specjalnym formularzu (tab. 5).

Tab. 1. Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia

Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia W	Częstotliwość (błąd/ pociąg–kilometry)	Punktacja
Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia jest znikome, praktycznie nie wystąpi.	1 / 5 200 000	1
Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia jest niewielkie. Przyczyny zagrożenia występują bardzo rzadko.	1 / 4 500 000 1 / 3 800 000	2 3
Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia jest średnie. Przyczyny zagrożenia występują sporadycznie, co jakiś czas.	1 / 2 500 000 1 / 2 000 000 1 / 1 500 000	4 5 6
Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia jest wysokie. Przyczyny zagrożenia występują rzadko.	1 / 1 000 000 1 / 750 000	7 8
Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia jest bardzo wysokie. Jest niemal pewne, że dane zagrożenie wystąpi.	1 / 500 000 1 / 100 000	9 10

Źródło: oprac. własne.

Tab. 2. Prawdopodobieństwo wykrycia zagrożenia

Prawdopodobieństwo wykrycia zagrożenia Z	Punktacja
Prawdopodobieństwo wykrycia zagrożenia jest bardzo wysokie. Ujawnienie przyczyny błędu jest pewne.	1 2
Prawdopodobieństwo wykrycia zagrożenia jest wysokie. Stosowane środki kontroli pozwalają na ujawnienie przyczyny błędu. Zauważalne są symptomy wystąpienia przyczyny.	3 4
Istnieje przeciętne prawdopodobieństwo wykrycia zagrożenia. Stosowane środki kontroli być może pozwolą na ujawnienie przyczyny błędu. Można ustalić i określić symptomy wskazujące na możliwość wystąpienia zagrożenia.	5 6
Istnieje niskie prawdopodobieństwo wykrycia zagrożenia. Jest bardzo prawdopodobne, że stosowane środki kontroli nie pozwolą na ujawnienie przyczyny błędu. Ustalenie przyczyny błędu jest bardzo trudne.	7 8
Prawdopodobieństwo wykrycia zagrożenia jest znikome. Praktycznie niemożliwe jest ustalenie przyczyny błędu.	9 10

Źródło: oprac. własne.

Tab. 3. Skutki zagrożenia

Skutek zagrożenia S	Punktacja
Skutki wystąpienia zagrożenia nie mają znaczenia dla poziomu bezpieczeństwa (bez kosztów).	1
Skutki wystąpienia zagrożenia mogą być niewielkie i mogą doprowadzić jedynie do nieznacznego obniżenia poziomu bezpieczeństwa (np. zakłócenia w prowadzeniu ruchu) lub / oraz kosztów: w poz. „2” do 10 000 euro i w poz. „3” do 50 000 euro.	2 3
Skutki wystąpienia zagrożenia mogą być dość znaczne i mogą prowadzić do obniżenia poziomu bezpieczeństwa (np. incydent, ranni itp.) lub / oraz kosztów: w poz. „4” do 100 000 euro, w poz. „5” do 250 000 euro, w poz. „6” do 500 000 tys. euro.	4 5 6
Skutki wystąpienia zagrożenia mogą być poważne i mogą doprowadzić do wystąpienia znacznego obniżenia poziomu bezpieczeństwa (np. wypadek kolejowy, ciężko ranni itp.) lub / oraz kosztów: w poz. „7” do 750 000 euro, w poz. „8” do 1 000 000 euro.	7 8
Skutki wystąpienia zagrożenia mogą być bardzo poważne i mogą doprowadzić do wystąpienia drastycznego obniżenia poziomu bezpieczeństwa (np. poważny wypadek kolejowy, ofiary śmiertelne itp.) lub / oraz kosztów: w poz. „9” do 2 000 000 euro, w poz. „10” powyżej 2 000 000 euro.	9 10

Źródło: oprac. własne.

Rejestr zagrożeń								
Zagrożenie to stan, który może prowadzić do wypadku*								
Założono dnia: ... Odpowiedzialny za prowadzenie rejestru: ...								
Lp.	Data zgłoszenia	Zagrożenie	Prawdopodobne źródło zagrożenia	Przewidywane skutki	Podmiot odpowiedzialny za zagrożenie	Zgłaszający zagrożenie	Proponowane środki bezpieczeństwa	Uwagi

* Zgodnie z wymogami Rozporządzenia Komisji (WE) Nr 352/2009 z dnia 24 kwietnia 2009 w sprawie przyjęcia wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka.

Rys. 2. Form. MMS/06-1 Rejestr zagrożeń

Źródło: oprac. własne.

Tab. 4. Macierz ryzyka – poziom akceptowalności ryzyka w branży kolejowej

Klasa ryzyka	Ryzyko R	Poziom ryzyka
1	$R \leq 120$	AKCEPTOWALNE
2	$120 < R \leq 150$	TOLEROWANE
3	$R > 150$	NIEAKCEPTOWALNE

Źródło: oprac. własne.

Tab. 5. Formularz FMEA

Aktualna ocena ryzyka i środków kontroli				Dodatkowe środki kontroli										
Nr	Zagrożenie	Ewentualne konsekwencje istniejące środki kontroli	W	Z	S	R	Zalecane środki kontroli	Odpowiedzialny	Termin	W	Z	S	R	
1. PERSONEL														
2.1	Zły stan psychofizyczny pracownika	Niewłaściwe wykonywanie pracy	Nadzór przełożonego	5	5	5	125	Zakup alkohomatów i wyrywkowa kontrola pracowników	Dział utrzymania	30 dni	3	2	5	30
2.2	Brak kwalifikacji	Nienależyta realizacja planów utrzymaniowych	Kontrola przełożonych	2	4	3	24							
itd.														

Źródło: oprac. własne.

Zagrożenia są pogrupowane zgodnie z procesami zidentyfikowanymi w danym przedsiębiorstwie. Dla każdego zagrożenia określa się obszar jego występowania:

- ♦ bez wyróżnika – ryzyko własne,
- ♦ z wyróżnikiem w – ryzyko wspólne (w ramach systemu kolejowego),
- ♦ z wyróżnikiem p – pozostałe ryzyko.

Pozwala to na zarządzanie ryzykiem w poszczególnych obszarach. Ułatwia również komunikowanie się zaangażowanych stron (inni przewoźnicy, zarządcy infrastruktury czy np. dostawcy).

2. Nadzorowanie środków technicznych z wykorzystaniem PN-EN 50126 (RAMS)

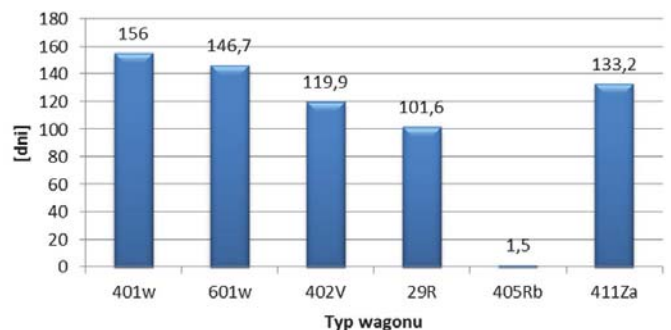
W trakcie opracowywania modelu systemu zarządzania utrzymaniem (MMS) do oceny ryzyka operacyjnego wykorzystano opisaną już metodę FMEA ze zmodyfikowanymi tablicami wartościowania ryzyka. Wymagania prawne poszerzyły jednak kryteria w zakresie nadzorowania środków technicznych. Do tego celu zaimplementowano podejście opisywane w normie PN-EN 50126. Skupiono się na nadzorowaniu parametrów niezawodności, dostępności, podatności na utrzymanie i bezpieczeństwa pojazdów kolejowych. W tym celu opracowano jedenaście wskaźników, które należy określać dla poszczególnych pojazdów (tab. 6).

Opracowano również wzory matematyczne (tab. 6), które pozwalają – w oparciu o podstawowe dane eksploatacyjne pojazdów kolejowych – wyznaczać poszczególne wskaźniki niezawodności, dostępności, podatności na utrzymanie i bezpieczeństwo. Te innowacyjne narzędzia mogą zostać zaimplementowane do dowolnego oprogramowania operacyjnego w przedsiębiorstwie. Jeśli firma nie wykorzystuje żadnego oprogramowania do monitorowania stanu taboru, wykorzystuje się opracowany dedykowany arkusz kalkulacyjny, opisujący podstawowe dane eksploatacyjne potrzebne do wyznaczenia kompletu wskaźników RAMS w oparciu o wytyczne normy PN-EN 50126. Arkusz ten – po wprowadzeniu danych dotyczących eksploatacji, takich jak daty wykonania poszczególnych czynności utrzymania czy przebiegu – pozwala na obliczenie wymaganych wskaźników. Zastosowanie w tym celu popularnego arkusza kalkulacyjnego pozwala na rozpowszechnienie tego narzędzia w przedsiębiorstwach kolejowych w Polsce.

Wyniki na potrzeby analizy eksploatowanego taboru można przedstawić w postaci raportów oraz na wykresach dla poszczególnych wskaźników. Na podstawie danych wprowadzonych przez przykładowego operatora sporządzono wykres średniego czasu pomiędzy uszkodzeniami – zob. rys. 3.

Analizując ten rysunek, zarządzający taborom może podjąć dodatkowe działania związane z utrzymaniem poszczególnych typów wagonów, np. sprawdzić, dlaczego wagon typu 29R ma o około 30% niższą niezawodność od typu 401w, jak również sprawdzić jakość zbieranych danych dla typu 405Rb (ze względu na bardzo duże odchylenie wyników na tle reszty taboru).

Opisane wyżej wskaźniki można również zastosować dla poszczególnych wagonów danego typu czy też dla konkretnych systemów technicznych wagonu kolejowego. Zwłaszcza ta ostatnia możliwość będzie przydatna dla podmiotów eksploatujących pojazdy zaprojektowane i zbudowane zgodnie ze standardem IRIS, gdzie informacja zwrotna z eksploatacji jest niezwykle istotna dla doskonalenia kolejnych konstrukcji.



Rys. 3. Średni czas pomiędzy uszkodzeniami taboru

Tab. 6. Przykład opracowanych wskaźników RAMS

Wskaźniki		Niezbędne dane	Sposób wyznaczenia wskaźnika
R – niezawodność			
FPMK	Liczba uszkodzeń na milion kilometrów	n – liczba awarii D _T – liczba przejechanych kilometrów w analizowanym okresie	$FPMK = \frac{n \cdot 1000000}{D_T} [-]$
A – dostępność			
AO	Dostępność operacyjna		$AO = 1 - [(1 - A_p) + (1 - A_N)]$
M - podatność na utrzymanie			
MTTR	Średni czas do przywrócenia	n – liczba napraw N _{pi} – data wycofania z eksploatacji, i = 1,2,... N _{zi} – data przywrócenia do eksploatacji, i = 1,2,...	$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n (N_{zi} - N_{pi})}{n} \text{ [dni]}$
S - bezpieczeństwo			
MTBSF	Średni czas pomiędzy uszkodzeniami systemowymi	n – liczba awarii D _{Aszsi} – data kolejnych awarii systemowych, i = 1,2,... Zagrożenia systemowe dotyczą: systemów hamulcowych, zestawów kołowych, urządzeń ciągowych, zbiorników i zaworów wagonów towarowych przeznaczonych do przewozu towarów niebezpiecznych.	$MTBSF = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (D_{Aszsi+1} - D_{Aszsi})}{n-1} \text{ [dni]}$

Źródło: oprac. własne.

Podsumowanie

Zastosowanie opisanych metod pozwala poszerzać wiedzę osób zajmujących się zarządzaniem bezpieczeństwem w poszczególnych przedsiębiorstwach na temat stanu bezpieczeństwa. Jest to możliwe dzięki stosowaniu jednolitego narzędzia do oceny ryzyka, pozwalającego lepiej identyfikować i oceniać wspólne zagrożenia pomiędzy poszczególnymi podmiotami i zapobiegać skutkom zdarzeń kolejowych lub chociaż zmniejszać je. Kolejnym aspektem poprawy bezpieczeństwa jest analiza historycznych danych eksploatacyjnych dotyczących taboru kolejowego. Na ich podstawie można doskonalić proces eksploatacji danego pojazdu, jak również – po opracowaniu odpowiednich rozwiązań z producentami – doskonalić proces projektowania i walidacji nowych konstrukcji.

Obecnie największego rozwoju procesu oceny ryzyka należy się spodziewać w obszarze ryzyka wspólnego. W Polsce większość podmiotów samodzielnie identyfikuje zagrożenia w tym obszarze.

Prezentowane metody są aktualnie (w zakresie MMS) analizowane przez Urząd Transportu Kolejowego, Państwową Komisję Badania Wypadków Kolejowych oraz Katedrę Transportu Szynowego Politechniki Śląskiej. Dodatkowo są one ciągle doskonalone przez podmioty kolejowe (zgodnie z filozofią systemów zarządzania bezpieczeństwem i utrzymaniem) [5, 6].

Bibliografia:

1. Dyrektywa 2004/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r.
2. PN-EN 50126:2002: Zastosowania kolejowe. Specyfikacja niezawodności, dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa.
3. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 445/2011 z dnia 10 maja 2011 r. w sprawie systemu certyfikacji podmiotów odpowiedzialnych za utrzymanie w zakresie obejmującym wagony towarowe oraz zmieniające rozporządzenie (WE) nr 653/2007.

4. Rozporządzenie Komisji (WE) nr 352/2009 z dnia 24 kwietnia 2009 r. w sprawie przyjęcia wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka, o której mowa w art. 6 ust. 3 lit. a) dyrektywy 2004/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady.
5. Sitarz M., *Bezpieczeństwo i technika w transporcie kolejowym*, Katowice 2012.
6. Sitarz M., Chrużik K., Mańka A., Wachnik R., *Zintegrowany system zarządzania bezpieczeństwem w transporcie kolejowym. Ocena ryzyka operacyjnego w aspekcie ryzyka technicznego. Część IX, „Technika Transportu Szynowego” 2011, nr 11.*

Autorzy:

prof. **Marek Sitarz** (e-mail: marek.sitarz@polsl.pl), dr inż. **Katarzyna Chrużik**, mgr **Rafał Wachnik**, mgr **Marzena Graboń** – Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Transportu Szynowego

Operational risk assessment and monitoring of rail vehicles

This paper presents an application of the method of analysis types and effects possible errors (FMEA) to evaluate the operational risk in railway transport. The methodology developed by the Department of Rail Transport Silesian University of Technology, including approval thresholds adopted, the model forms (hazard record, FMEA form) were adopted in the Polish railways as a standard to evaluate the operational risk for operators and infrastructure managers. Reacting to the development of requirements for security management – Regulation EC No 445 of 2011 [3] – Department of Rail Transport proposed the standard RAMS – PN-EN 50126 [2] to oversee rail vehicles. This solution is currently being implemented in several entities building maintenance management systems (MMS) for the wagons. This article is dedicated to the people who deal with issues of safety management both in the transport of goods and people as well as the maintenance of rail vehicles.