

Marek Sitarz, Ryszard Wachnik

Technologie transportowe. Badania, rozwój i utrzymanie – analiza tematyki bezpieczeństwa na konferencji „Railways 2016”

W dniach 5–8 kwietnia 2016 r. odbyła się we Włoszech (Cagliari-Sardynia) III Międzynarodowa konferencja „Railway Technology. Research, Development and Maintenance”. Jest to jedna z największych konferencji kolejowych na świecie, na którą przyjeżdżają przedstawiciele ze wszystkich kontynentów reprezentujący najlepsze ośrodki badawcze, uczelnie, komisje badania wypadków kolejowych, urzędy transportu kolejowego, metro, tramwaje, przemysł oraz organizacje kolejowe.

W ramach konferencji odbyła się sesja plenarna i 33 sesje tematyczne. W sesji plenarnej były wygłoszone 2 referaty: *Train Aerodynamics: Past, Present and Future* – prof. C. Baker oraz *Railway Wheelsets: History, Research and developments* – prof. A. Bracciali. Dużym wyróżnieniem dla polskiej nauki transportowo-kolejowej było prowadzone przez polskich przedstawicieli, tj. R. Bogacz (Politechnika Warszawska), P. Kozioł (AGH), J. Merkisz (Politechnika Poznańska), M. Sitarz (Wyższa Szkoła Biznesu w Dąbrowie Górniczej), R. Wachnik (UTK) niektórych sesji naukowych. Duża część uczestników reprezentowała Chiny i Japonię. Referaty, których było kilkaset dotyczyły kompleksowo całego obszaru transportu szynowego, tj. techniki, zarządzania, ekonomii i bezpieczeństwa. Sprawy bezpieczeństwa były omawiane głównie podczas 3 sesji, tj. *Accidents Analysis and R&D Safety Technologies, Methods for the Safety Improvement in Railway Transport* i *New Trends for Regulations, Norms and Legislation*.

Przegląd wybranych referatów na Railways 2016

W publikacji wykorzystano oryginalną numerację publikacji na konferencji, celem ułatwienia poruszania się po właściwych materiałach konferencyjnych.

W trakcie „The Third International Conference on Railway Technology – Railways 2016” (III międzynarodowa konferencja dotycząca technologii kolejowych – Railways 2016) przedstawiono 330 referatów w 38 sekcjach, na potrzeby niniejszej publikacji autorzy wybrali publikacje z trzech sekcji:

1. *Accidents analysis and R&D of safety technologies* (Analiza wypadków kolejowych oraz rozwój i badania technologii bezpieczeństwa), prowadzona przez: A. Masumoto, H. Nakamura.
2. *Methods for the safety improvement in railway transport* (Metody poprawy bezpieczeństwa w transporcie kolejowym), prowadzona przez: M. Sitarz, R. Wachnik.
3. *New trends for regulations, norms and legislation* (Nowe trendy w regulacji, normach i legislacji).

W pierwszej sekcji przedstawiono następujące referaty:

63. G. Diana, S. Bruni, E. Di Gialleonardo, R. Corradi and A. Facchinetti: *A study of the factors affecting flange-climb derailment in railway vehicles*.
64. A. Iwamoto, K. Matsumoto, K. Yano, T. Fukushima, A. Matsumoto, Y. Sato, H. Ohno, Y. Michitsuji, M. Tanimoto and D. Shinagawa: *Monitoring of derailment coefficients „Y/Q” for in-service trains and the analysis for the increase of curve safety*.

65. H. Tsunashima, H. Mori, M. Ogino, S. Azami and A. Asano: *The application of an on-board track condition monitoring system for local railways*.
 66. H. J. Parkinson and G. Bamford: *The potential for using big data analytics to predict safety risks by analysing rail accidents*.
 67. E. M. Mueller and X. Liu: *Investigation of a derailment and collision of a crude oil unit train in Casselton, North Dakota*.
 68. A. R. Hall and W. G. Rasaiah: *How accident investigation can influence railway technology*.
 69. R. Takagi and S. Sone: *Contribution of automatic train protection systems to the safety record of Japanese Railways*.
 70. Y. Saito, A. Asano, H. Nakamura and S. Takahashi: *A proposal for the design of integrated train control systems capable of improving reliability and safety*.
 71. C. Liang, M. Ghazel, E. M. El Koursi and O. Cazier: *Statistical analysis of collisions at french level crossings*.
 72. D. Wu and W. Zheng: *Safety analysis of a railway level crossing using coloured petri nets*.
 73. E. Castillo, Z. Grande, A. Calviño, M. Nogal and A. J. O'Connor: *Probabilistic safety analysis of high speed railway lines including human errors*.
 74. S. Matsuoka, K. Ishikami and M. Nagamoto: *Development of the derailment-rollover-crash detector and its derailment detection in actual accidents*.
 75. J. E. Paddison, J. Brackovic and M. Deuter: *Derailment detection and emergency brake systems for freight wagons*.
 76. M. Zimmermann, J. König, J. Winter and H. Friedrich: *Crash concepts for the next generation train intermediate wagon zones*.
 77. T. Yamashita and N. Ikeguchi: *Development of a device for detecting electric power failures on board Shinkansen trains*.
 78. S. Koga, K. Miyakawa, M. Kageyama and N. Shimada: *Development of a vehicle abnormal behaviour detection system*.
 79. H. Suzuki: *Analysis of train derailment caused by natural disasters in the railways of Japan*.
 80. S. Kanamori and G. Kobayashi: *Development of a high performance brake system for passenger safety during earthquakes*.
 81. P. A. Montenegro and R. Calçada: *Assessment of the running safety of a high-speed train moving over a bridge subjected to moderate earthquakes*.
- Druga sekcja obejmowała swoim zakresem następujące tematy:
211. X. Gao, C. Peng, Y. Zhang, J. Peng and K. Yang: *A phased array ultrasonic inspection technique for wheel set safety control*.
 212. M. Gonzva, B. Barroca, P.-A. Zitt, P.-E. Gautier and Y. Diab: *Improving the resilience of guided transport systems for natural risks*.
 213. F. Li and P. Wu: *Generation of a load spectrum for an electric multiple unit underfloor equipment bearing structure based on a kernel estimation method*.
 214. Z. Tang, Y.Y. Nie, J. Chang and J.J. Zhang: *A method for three-dimensional reconstruction of a train accident scene using photographs*.

- 215. A. Drzewiecki, A. Górnik and R. Wachnik: *The supervision benchmark as a tool for safety monitoring.*
- 216. G. Morel, M. Sciutto and G. Sciutto: *CWR continuous monitoring systems: risk reduction and economic benefits.*
- 217. B. Zheng, J. Zeng, L. Wei and Q.S. Wang: *A study on twisted test methods for high speed vehicles*

Autorzy na potrzeby publikacji podzielili publikacje na następujące kategorie celem ich przeanalizowania.

1. Analiza zdarzeń kolejowych.
2. Rozwiązania techniczne podnoszące poziom bezpieczeństwa.
3. Czynniki ludzkie w transporcie kolejowym.
4. Zarządzanie ryzykiem.
5. Systemy informatyczne.

Analiza zdarzeń kolejowych

W kontekście analizy zdarzeń kolejowych szczególnie interesujące były artykuły: 67, 68, 72 i 79.

W publikacji *Investigation of a derailment and collision of a crude oil unit train in Casselton, North Dakota* doktor E. M. Mueller przedstawił przebieg postępowania NTSB (*National Transportation Safety Board*) po zderzeniu pociągów, jak przedstawia rysunek 1, z dość znaczącymi skutkami. W wyniku pęknięcia osi zestawu kołowego wagon uległ wykołeniu i wszedł w skrajnię przejeżdżającego pociągu wiozącego olej. Ze względu na lokalizację zdarzenia, na szczęście nikt nie zginął. Jednakże w jego wyniku, stwierdzono błędy w wykonaniu zestawów kołowych. W wyniku tego zdarzenia NTSB wydało zalecenie, aby wprowadzić badania NDT używanych zestawów kołowych w trakcie utrzymania pojazdów kolejowych.

W artykule *How accident investigation can influence railway technology* W. G. Rasiaiah, zaprezentował doświadczenia RAIIB (*Rail Accident Investigation Branch*) w zakresie badania zdarzeń kolejowych. Przedstawił jakie są możliwości wpływania dochodzeń po zdarzeniach na rozwój technologii stosowanych w kolejnictwie, w dość szerokim zakresie – rys. 3. Jednakże na chwilę obecną zastosowanie znajdują jedynie 2 pierwsze ścieżki, czyli te związane z określeniem przyczyny zdarzenia (A) oraz wynikające z rekomendacji (B). Jako potencjalne pozostają ścieżki: (C) związane z rekomendacjami, które nie są wdrożone oraz możliwy rozwój technologii nie związany z formalnymi rekomendacjami (D).

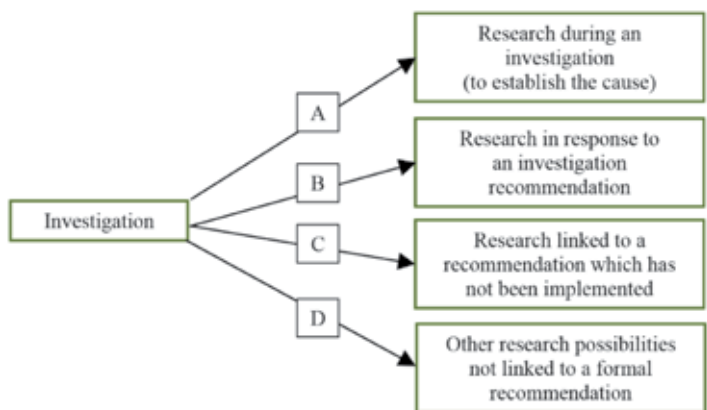
Ponadto przedstawiono przykłady rozwiązań technicznych poprawiających bezpieczeństwo w zupełnie niezamierzony sposób.



Rys. 1. Ilustracja skutków zdarzenia [<https://www.youtube.com/watch?v=ljkbxn7j628>]



Rys. 2. Pęknięte zestawy kołowe, w stanie po zdarzeniu [67]



Rys. 3. Ścieżki wpływu badania wypadków na badania naukowe i rozwój technologii [68]

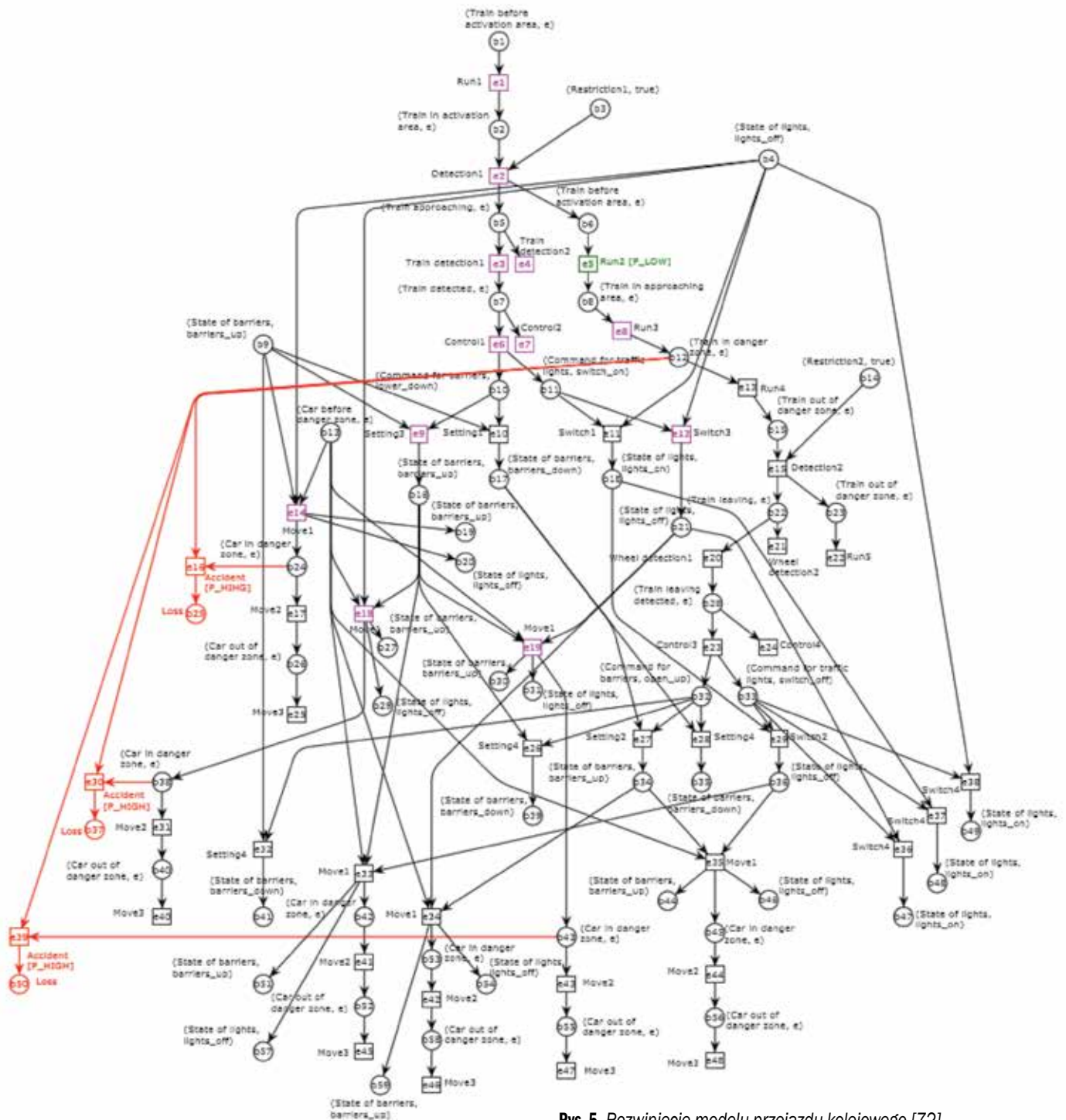
Przykładem może być przejechanie pod wiaduktem pojazdu po wykołeniu (zejściu koła z główki szyny), ze względu na umieszczenie tarczy hamulcowej na osi zestawu – rys. 4

W artykule *Safety Analysis of a Railway level crossing using coloured Petri Nets* Wu Zeng przedstawił możliwość wykorzystania modyfikacji sieci Petriego do zamodelowania i analizy bezpieczeństwa przejazdu kolejowego – rys. 5.

W artykule *Analysis of train derailment caused by natural disasters in the railways of Japan* H. Suzuki przedstawił wpływ działań organizacyjno-technicznych kolei Japońskich na zmniejszenie wpływu środowiska naturalnego (katastrof) na liczbę zdarzeń kolejowych. Analizując rysunek 6, można zauważyć znaczący spadek wpływu środowiska naturalnego na bezpieczeństwo transportu kolejowego w Japonii. Osiągnięto go głównie dzięki konsekwentnej polityce nacisku na zwiększanie poziomu bezpieczeństwa oraz realizacji szeregu projektów to wspomagających,



Rys. 4. Wykołenie w Barrow, uszkodzony przód pociągu (po lewej); prowadzenie zapewnione przez tarcze hamulcowe (po prawej) [68]



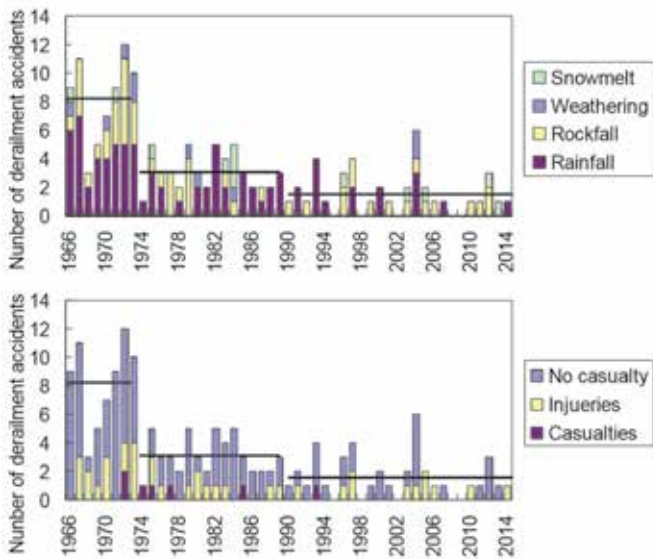
Rys. 5. Rozwinięcie modelu przejazdu kolejowego [72]

od barier technicznych (np. przedłużeń tuneli oraz zabezpieczenia zbroczy nad liniami kolejowymi, po organizacyjne związane z monitorowaniem występowania zdarzeń i przekazywania tych danych do operatorów pojazdów, co poprzez zmniejszenie prędkości jazdy, wydatnie zwiększało czas dostępny na podjęcie odpowiedniej reakcji, a tym samym zmniejszyło potencjalne skutki uczestnictwa pojazdu w zdarzeniu.

Rozwiązania techniczne podnoszące poziom bezpieczeństwa
 Badaniem wpływu innowacyjnych rozwiązań technicznych na szeroko rozumiane bezpieczeństwo w transporcie kolejowym zajęli się autorzy w publikacjach: 63, 64, 69, 75, 76, 77, 78, 80 oraz 81.

Prof. S. Bruni w publikacji *A study of the factors affecting flange-climb derailment in railway vehicles* przedstawił stan wiedzy oraz opisał zjawisko związane ze wspinaniem się obrzeża koła na główkę szyny oraz jego wpływ na wykołnienie pojazdu. Ponadto autor przedstawił w publikacji analizę dwóch przypadków wykołnień, gdzie w wyniku nałożenia się szeregu czynników doszło do przekroczenia bezpiecznej wartości współczynnika Y/Q (sił poziomych do pionowych).

W publikacji *Monitoring of derailment coefficients „Y/Q” for in-service trains and the analysis for the Increase of curve safety* autorzy przedstawili możliwości praktycznego wykorzystania bieżącego monitorowania parametrów sił Y i Q dla poprawy bez-



Rys. 6. Liczba zdarzeń i ich skutki z podziałem na kategorie (roztopy, zwiertzenie, osuwiska skalne, ulewy) oraz (brak uszkodowanych, ranni i ofiary śmiertelne) [79]

w Japonii, wykazując przy tym ewidentny wpływ tego rodzaju systemów na poprawę jego poziomu.

J. Brackovic omówiła w artykule *Derailment detection and emergency brake systems for freight wagons* możliwości wykorzystania systemów monitorowania wykolejenia wagonów towarowych. Zagadnienie to jest o tyle trudne, że w stosunku do systemów wcześniej prezentowanych na wagonach towarowych problemem jest zasilanie tego typu urządzeń. W związku z powyższym firma Knorr-Bremse opracowała detektor mechaniczno-pneumatyczny – rys. 9. Jednakże ze względu na koszty oraz liczbę fałszywych alarmów rozwiązanie nie jest szeroko stosowane, ponadto w materiale omówiono wady i zalety zastosowania elektrycznych systemów hamulcowych, gdzie następuje zamiana nośnika informacji z powietrza na sygnał elektryczny.

H. Friedrich w publikacji *Crash concepts for the next generation train intermediate waggon* przedstawił koncepcję opracowywaną przez German Aerospace Center, modułowego pojazdu kolejowego wysokich prędkości, w którym zastosowano konstrukcję modułową, dzięki której możliwe jest rozpraszanie energii zderzenia i zmniejszanie przeciążeń działających na pasażerów. Przedstawiono również wyniki pierwszych testów rzeczywistych tego rozwiązania, jednak testy miały miejsce kilka

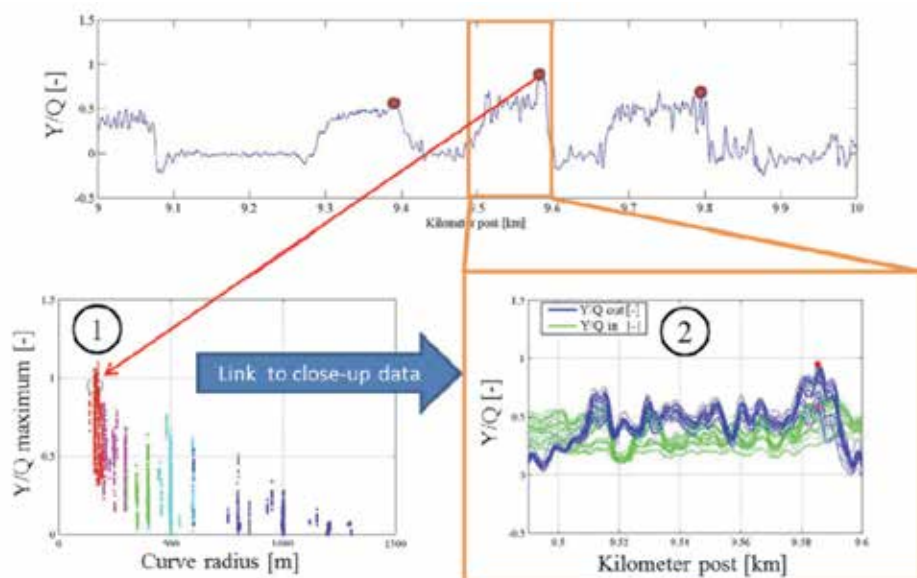


Rys. 7. Wózek pojazdu wyposażony w system monitorowania sił poziomych i pionowych [64]

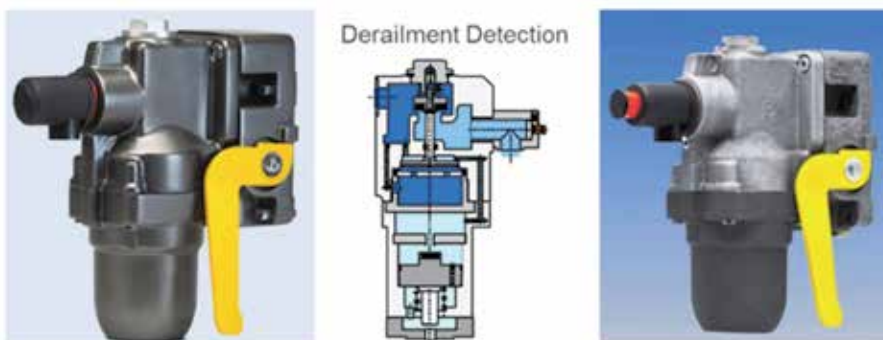
pieczeństwa ruchu kolejowego. Rysunek 7 przedstawia przykład wózka pojazdu wyposażonego w urządzenia na bieżąco monitorujące siły poziome oraz pionowe, co przy zestawieniu z informacjami o miejscu danego pomiaru pozwala zidentyfikować miejsca, w których pojazd osiąga bądź przekracza wartość współczynnika Y/Q uznana za bezpieczną – rys. 8.

Takie podejście daje zupełnie nowe spojrzenie na kwestie związane z precyzyjnym adresowaniem utrzymania zarówno na infrastrukturze, jak i w pojazdach kolejowych.

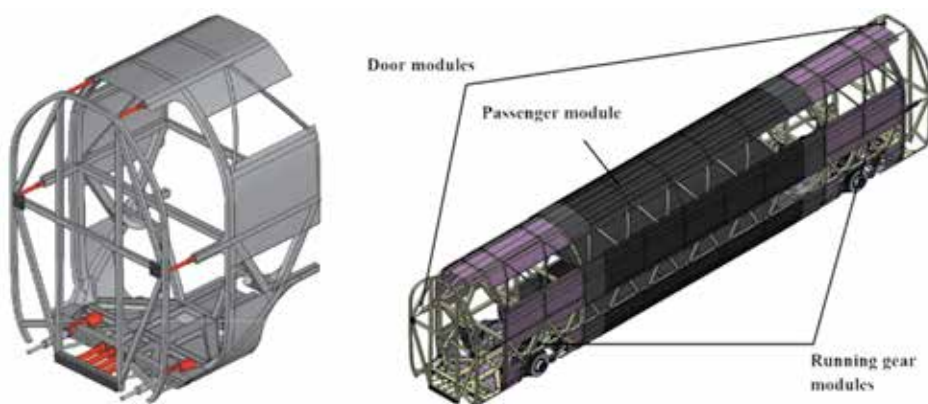
R. Takagi omówił w publikacji *Contribution of automatic train protection systems to the Safety Record of Japanese Railways* wpływ systemów ATP na bezpieczeństwo ruchu kolejowego



Rys. 8. Wyniki analizy danych [64]



Rys. 9. Detektor wykolejenia EDT101 [75]



Rys. 10. Koncepcja NGT HST – pojazdu o budowie modułowej, która pozwala na lepsze rozpraszanie energii zderzenia [76]

dni przed konferencją, w związku z czym nie było jeszcze możliwe opublikowanie ich wyników lub wniosków.

T. Yamashita w artykule *Development of a device for detecting electric power failures on board Shinkansen trains* przedstawił możliwości wykorzystania urządzenia, które znacząco przyspiesza reakcję systemu ATC (*Automatic Train Control*), dzięki któremu możliwa jest szybka reakcja na sytuacje niepożądane np. trzęsienia ziemi – rys. 11. Dzięki zastosowaniu urządzenia, które monitoruje zarówno zmiany wartości, jak i częstotliwości napięcia, możliwe było przyspieszenie uruchomienia automatycznego hamowania o 1,3 sekundy, co przy prędkości jazdy 300 km/h umożliwia skrócenie drogi hamowania o 110 metrów.

W artykule *Development of a vehicle abnormal behaviour detection system* autorzy przedstawili doświadczenie wynikające z zastosowania systemu monitorującego nietypowe zachowanie pojazdu, a następnie uruchomienie za pomocą radia w określonym obszarze hamowania pociągów (zasada działania podobna do systemu *RADIOSTOP*). Rysunek 12 przedstawia rodzaje sytuacji rejestrowane przez system, autorom udało się również ustalić próg przeciążeń pomiędzy normalnym użytkowaniem pojazdu a stanem niepożądanym – wartość tę określono jako 0,7 G (gdzie 0,79 G było

minimalną wartością przeciążeń przy wykolejeniu, a 0,51 G maksymalną wartością podczas normalnego użytkowania).

S. Kanamori przedstawił w artykule *Development of a high performance brake system for passenger safety during earthquakes* innowacyjne rozwiązanie układu hamulcowego, które ma wejść do eksploatacji od 2017 roku w pociągach Shinkansen. Rozwiązanie to opiera się na zmodyfikowanej tarczy hamulcowej oraz nowej konstrukcji klocka hamulcowego – rys. 14.

Dzięki zastosowaniu takiego rozwiązania możliwa była poprawa kontaktu pomiędzy tarczą a klockiem, co przyczyniło się do bardziej wydajnego hamowania, potwierdziły to również badania na stanowisku z rejestracją obrazu kamerą termowizyjną – rys. 16.

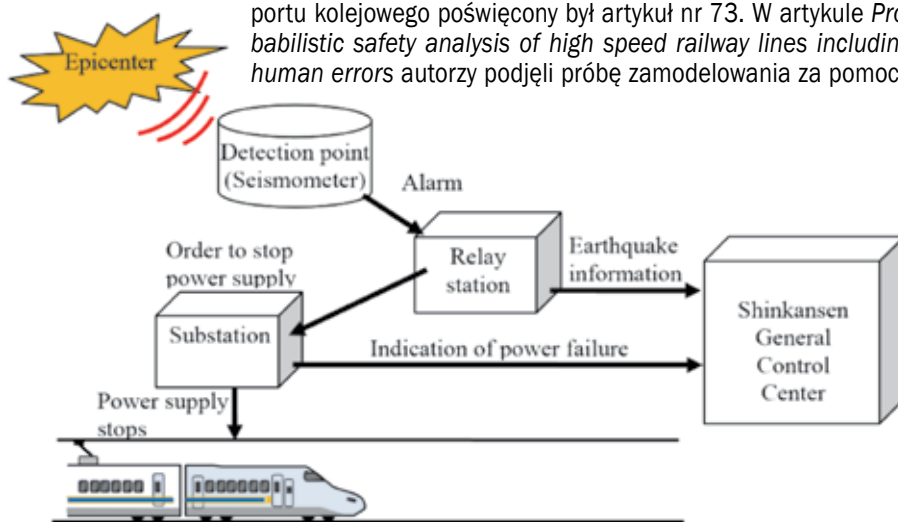
Zastosowanie próbne tego rozwiązania pozwoliło na potwierdzenia skrócenia drogi hamowania o 10% i było o 5% wyższe od zakładanego progu. Po przeprowadzeniu bardziej szczegółowych badań i analiz, system ten ma zostać wdrożony do eksploatacji w kolejnej generacji pociągu.

W publikacji *Assessment of the running safety of a high-speed train moving over a bridge subjected to moderate earthquakes* autorzy przedstawili wyniki badań bezpieczeństwa pociągu dużej prędkości jadącego po moście, na które

oddziałuje umiarkowane trzęsienie ziemi. Autorzy skupili się na utracie sztywności kolumn, poddanych działaniom takich trzęsień ziemi, które nie powodują zniszczenia właściwej konstrukcji. Zaznaczono jednak, że są to wstępne wyniki badań i muszą one zostać pogłębione, zarówno w kwestii pomiaru sił działających na taki układ – podpora, tor, pojazd, jak i precyzji samego modelowania takiego układu.

Czynnik ludzki w transporcie kolejowym

Analizie wpływu czynnika ludzkiego na bezpieczeństwo transportu kolejowego poświęcony był artykuł nr 73. W artykule *Probabilistic safety analysis of high speed railway lines including human errors* autorzy podjęli próbę zamodelowania za pomocą

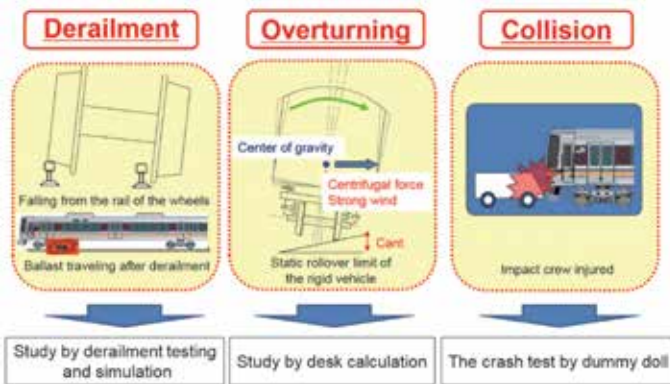


Rys. 11. Zasada działania systemu detekcji trzęsienia ziemi UrEDAS [77]

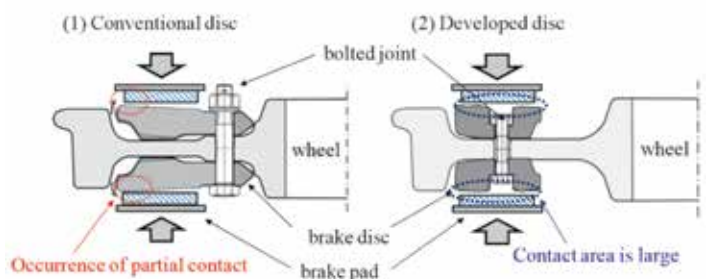
sieci Bayes'a czynnika ludzkiego w transporcie kolejowym, skupiono się na trzech stanach maszynisty (czujnym, uważnym i rozproszonym) w stosunku do różnego rodzaju sygnałów, z jakimi styka się w trakcie swojej pracy. Zbudowany model sprawdzono dla kilku linii kolejowych, m.in. w Hiszpanii oraz w Irlandii i zidentyfikowano dzięki temu nowe obszary zwiększonego ryzyka. Wydaje się to potwierdzać możliwość wykorzystania tego rodzaju narzędzi do zarządzania ryzykiem prowadzonych operacji.



Rys. 12. Urządzenia pomiarowe w czasie testów [77]



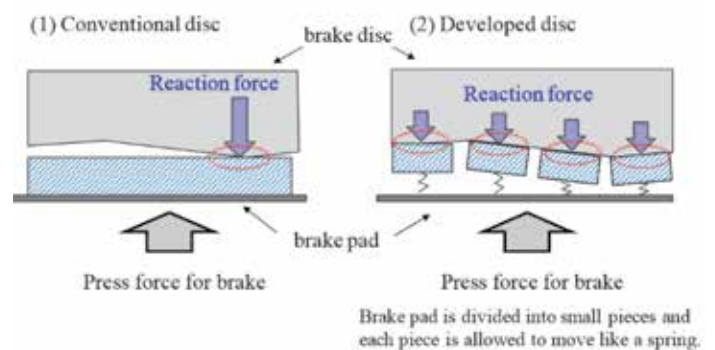
Rys. 13. Rodzaje sytuacji identyfikowanych przez system detekcji [78]



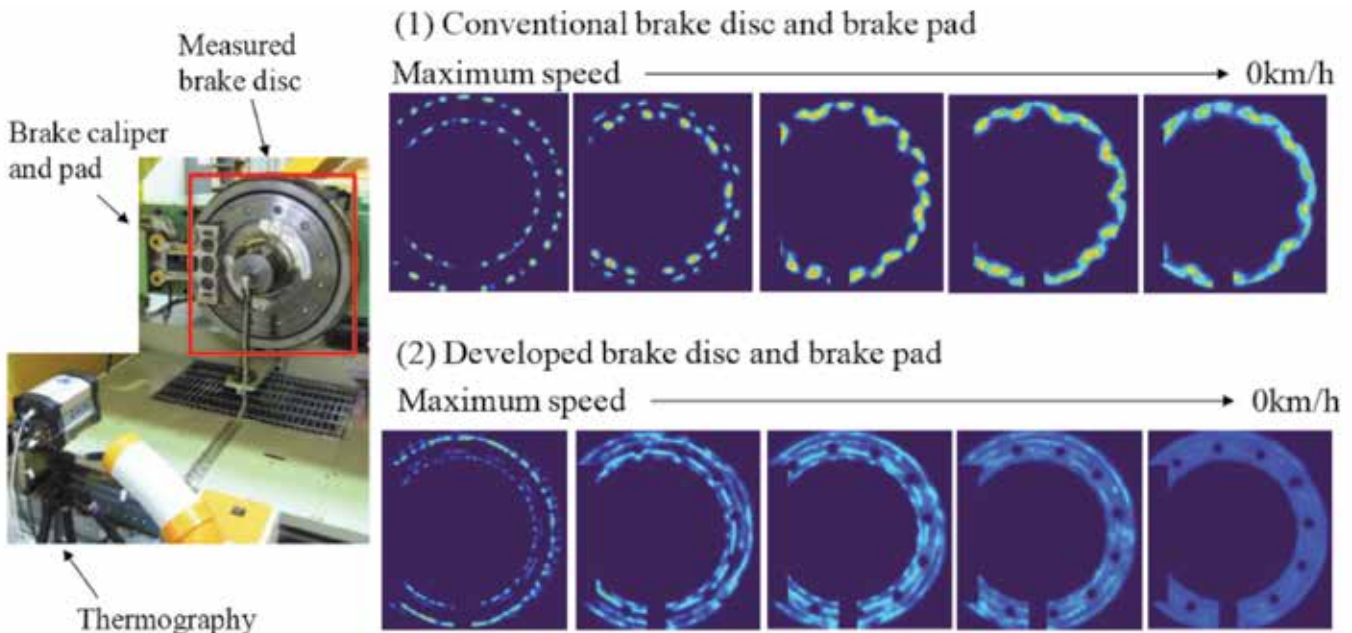
Rys. 14. Schemat porównawczy obu układów hamulcowych [80]



Figure 3: Configuration of brake pad



Rys. 15. Innowacyjna konstrukcja klocka hamulcowego oraz schemat działania [80]



Rys. 16. Obserwacja termowizyjna procesu hamowania [80]

Type of LC	Number	#Accident
SAL4	>600	>600
SAL2	>10000	>4000
SAL0	>60	>50
French crossbuck LC	>3000	>700

Rys. 17. Liczba zdarzeń na przejazdach poszczególnych kategorii (1976-2016) [71]

Zarządzanie ryzykiem

Zarządzaniem ryzykiem zajmowali się autorzy w publikacjach 71 oraz 212.

C. Liang w publikacji *Statistical analysis of collisions at french level crossings* przedstawiła wyniki badań związanych z oceną ryzyka na przejazdach we Francji w skali całego kraju. Na przejazdach 4 kategorii – rys. 18, w ciągu 40 lat odnotowano następującą liczbę zdarzeń – rys. 18.

Na podstawie danych statystycznych oraz danych dotyczących natężenia ruchu drogowego opracowano mapę znormalizowanego ryzyka zdarzenia z udziałem pojazdu drogowego na przejeździe dla całego kraju – rys. 19. Umożliwia to wstępną identyfikację obszarów, które wymagają bardziej szczegółowego badania i podejmowania środków zaradczych.

W publikacji *Improving the resilience of guided transport systems for natural risks* autorzy przedstawiają budowę metodologii jakościowej i systemowej, w celu oceny odporności systemów transportu kolejowego przed zagrożeniami naturalnymi. Aby zilustrować możliwości metodologii, wykorzystano zagrożenie powodzi.

Systemy informatyczne

Wykorzystanie systemów informatycznych w poprawie bezpieczeństwa transportu przedstawiono w publikacjach 65 i 66.

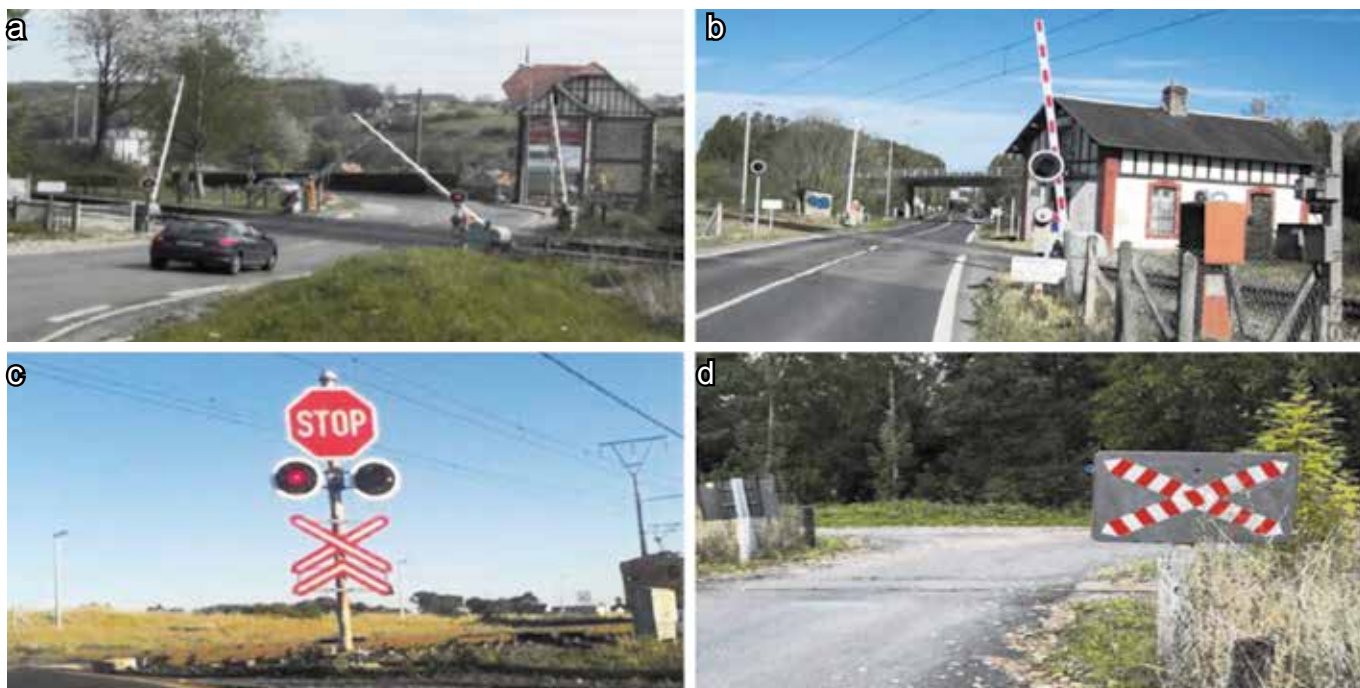
W publikacji *The application of an on-board track condition monitoring system for local railways* autorzy przedstawili



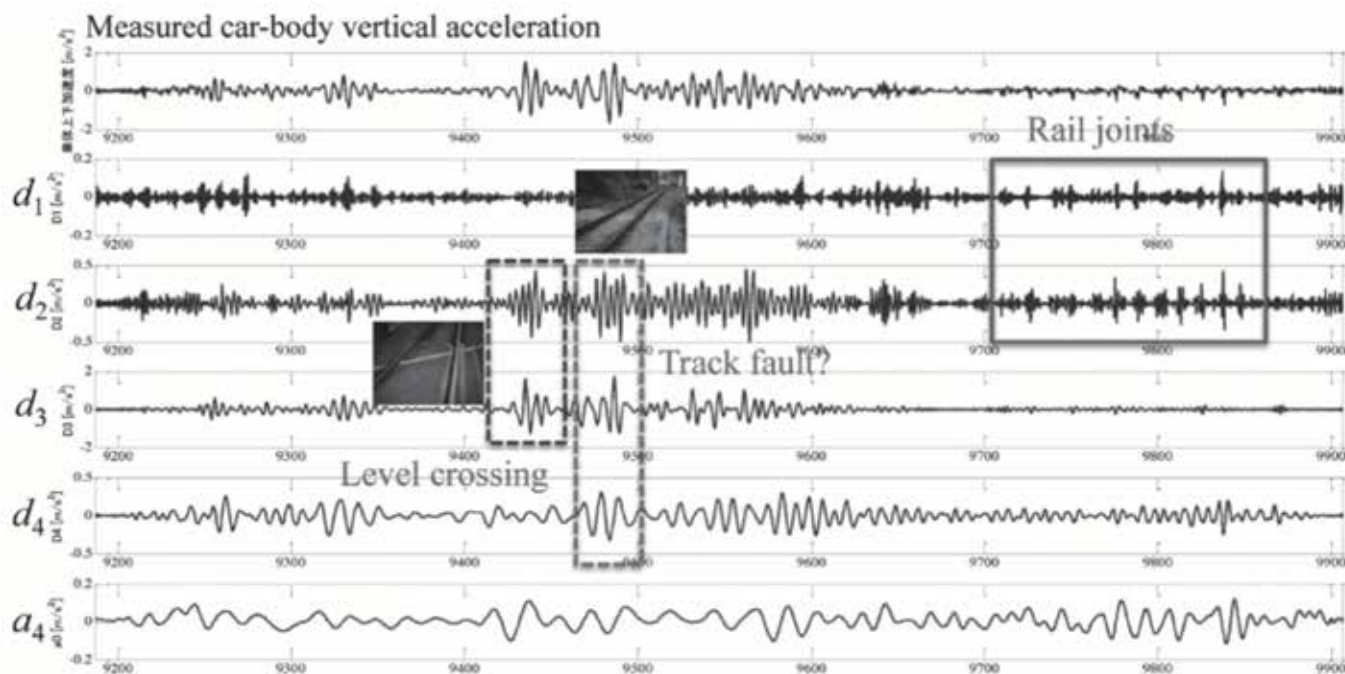
Rys. 19. Mapa znormalizowanego ryzyka związanego z kolizją pojazdów na przejazdach [71]

możliwość wykorzystania danych z analizy drgań mierzonych na pojazdach, po odpowiedniej obróbce i analizie częstotliwościowej do identyfikacji obszarów, które wymagają dokładnych pomiarów – celem weryfikacji spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa. Jednakże podstawową zaletą takiego rozwiązania jest możliwość realizowania czynności utrzymaniowych na infrastrukturze w miejscach, w których jest to konieczne – co znacznie poprawia ich efektywność.

W artykule *The potential for using big data analytics to predict safety risks by analysing rail accidents* dr H. J. Parkinson przedstawił możliwość wykorzystania analizy BowTie, do obróbki



Rys. 18. Przykłady przejazdów poszczególnych kategorii we Francji: a) SAL4, b) SAL2, SAL0, d) The French crossbuck LC [71]



Rys. 20. Szczegółowa analiza wyników monitorowania [65]

dużych baz danych i jednocześnie poprawy poziomu bezpieczeństwa poprzez odpowiednią analizę i przygotowanie danych istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa.

W sekcji *New trends for regulations, norms and legislation* bardzo interesujący był referat prof. A. Bracciali dotyczący badań dopuszczeniowych kolejowych zestawów kołowych, które są przeznaczone do pomiarów sił podczas eksploatacji systemu koło-szyna. Do tego celu zbudowano specjalistyczne stanowisko badawcze pozwalające na bardzo dokładną weryfikację możliwości pomiarowych takich zestawów.

Podsumowanie i wnioski

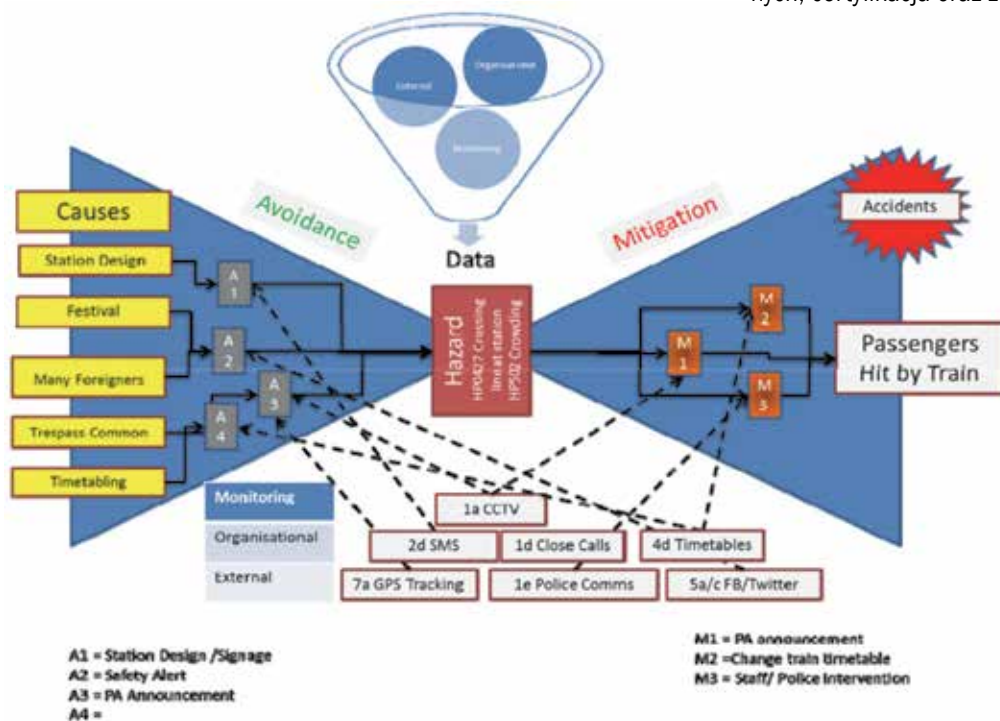
Podsumowując tematykę bezpieczeństwa na III Międzynarodowej Konferencji *Railway Technology. Research, Development and Maintenance* można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Tematyka bezpieczeństwa przewijała się prawie we wszystkich referatach i dyskusjach.
2. Specjalistyczne zagadnienia bezpieczeństwa były prezentowane i dyskutowane na trzech sesjach tematycznych.
3. Główne i najczęściej poruszane zagadnienia w referatach dotyczących bezpieczeństwa to zintegrowane systemy baz danych, certyfikacja oraz zarządzanie ryzykiem.

4. Szczególnie istotne w kontekście zarządzania bezpieczeństwem są innowacyjne rozwiązania techniczne z obszarów diagnostyki i detekcji stanów niebezpiecznych dla środków technicznych używanych w transporcie kolejowym.

5. Obserwując rozwiązania światowe w zakresie monitorowania i utrzymania, wydaje się, że przyszłościowymi rozwiązaniami są te bazujące na bieżącym monitorowaniu stanu technicznego oraz zarządzania ryzykiem związanym ze zidentyfikowanymi zagrożeniami.

6. Jednocześnie autorzy uważają, że istotnym dla rozwoju wiedzy w tym zakresie oraz dla podniesienia samego poziomu bezpieczeństwa jest organizowanie tego typu spotkań w Polsce, gdzie inżynierowie i praktycy kolejni wymieniają się wiedzą i doświadczeniami.



Rys. 21. Diagram ELBow Tie [66]