

# Zarządzanie ryzykiem w użytkowaniu dróg kolejowych

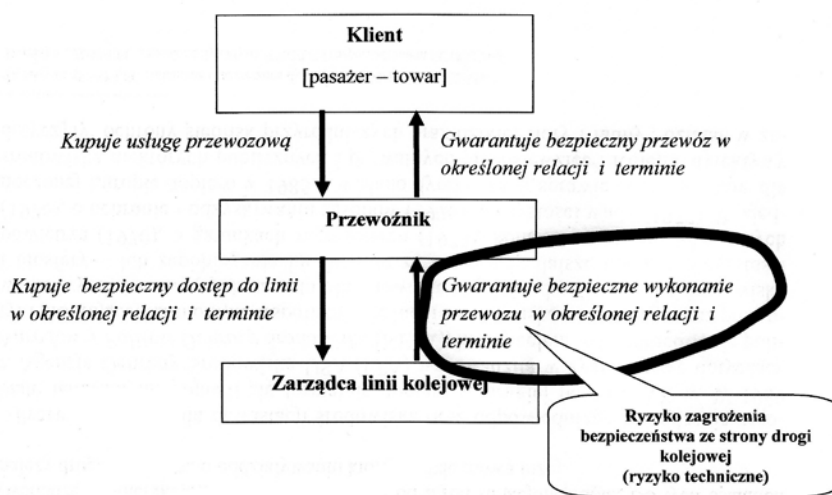
Bożysław Bogdaniuk

*W artykule przeprowadzono analizę źródeł zagrożeń bezpieczeństwa ruchu z uwzględnieniem stanów eksploatacyjnych nawierzchni, rozróżniając zagrożenia techniczne i poza techniczne. Dla zapewnienia bezpiecznego prowadzenia ruchu konieczne jest podejmowanie przede wszystkim decyzji w zakresie usuwania zagrożeń technicznych poprzez określenie bądź dopuszczalnej prędkości, bądź terminu i zakresu naprawy. Ponieważ decyzje te powodują określone skutki finansowe, konieczne jest ich wsparcie specjalistycznymi procedurami analitycznymi. We wnioskach proponuje się podjęcie grantu badawczego dla pełnego rozeznania zagrożeń i ustalenie ich wpływu na sprawność techniczną transportu kolejowego oraz opracowanie procedur wskazujących wielkość zagrożeń i skalę związanego z nimi ryzyka, przy współpracy z wyższymi uczelniami w zakresie kształcenia kadr.*



Prof. dr hab. inż.  
Bożysław Bogdaniuk  
Prof. em. Politechniki  
Gdańskiej

Użytkowanie dróg kolejowych obejmuje dwa obszary: eksploatację czyli prowadzenie przewozów kolejowych oraz utrzymanie czyli zapewnienie pełnego bezpieczeństwa wykonywanym przewozom. Utrzymanie w warunkach drogi kolejowej obejmuje: monitoring stanu nawierzchni i podtorza, procesy decyzyjne o lokalizacji, rodzaju, zakresie i terminie wykonania napraw, organizację wykonywania napraw przy utrzymaniu ciągłości ruchu pociągów lub okresowym jego wstrzymaniu oraz nadzór i ocena jakości wykonanych napraw. W celu wykonania powyższych działań zapewniających całkowite bezpieczeństwo wykonywanym przewozom niezbędne są środki finansowe w wysokości pozwalającej na pełne zrealizowanie zakresu działań utrzymaniowych. Dysponując ograniczonymi środkami finansowymi na utrzymanie konieczne jest podejmowanie decyzji o naprawach minimalizujących ryzyko zagrożenia bezpieczeństwa ruchu. W tym celu konieczne jest zidentyfikowanie źródeł zagrożeń oraz opracowanie procedur zarządzania ryzykiem w procesach decyzyjnych. W referacie przedstawiono istotne źródła zagrożeń, ryzyka powstające w przypadku ich niedostrzegania oraz możliwe środki przeciwdziałające w odniesieniu do trzech stanów nawierzchni kolejowej: E1, E2, E0. Na zakończenie zaproponowano podjęcie działań nad stworzeniem zintegrowanego systemu bezpieczeństwa w trans-



1. Schemat funkcjonowania przewozów kolejowych

porcie kolejowym, którego liczne elementy są już zrealizowane.

Rozdzielenie funkcji zarządcy linii kolejowych od wykonywania przewozów spowodowało, że transport kolejowy nabrał cech działalności rynkowej. Przewoźnicy zakupują od zarządcy określony dostęp do linii kolejowej i w ramach tego dostępu organizują przewozy, które oferowane są klientom. Przewoźnik oczekuje, że uzyskany dostęp do linii zapewni bezpieczny przejazd pociągu, natomiast klient oczekuje, że wykonany zostanie bezpieczny przewóz osób lub towarów na określonej relacji i w określonym czasie. Schematycznie przedstawiono to na rys.1. Zagrożenia bezpieczeństwa występują zarówno w stosunkach Zarządca – Przewoźnik jak i Przewoźnik – Klient. Pomijając jednak te ostatnie, w niniejszym referacie skupiono się wyłącznie na zagrożeniach bezpieczeństwa, jakie mogą wystąpić na drodze kolejowej, które powinien uwzględnić Zarządca linii kolejowej, udostępniający przewoźnikom bezpieczny tor kolejowy.

## Stany sprawności technicznej

Droga kolejowa jest specyficzną transportową konstrukcją inżynierską, w której ruch pojazdu jest kierowany układem geometrycznym toru. Podstawowymi parametrami charakteryzującymi dopuszczalne warunki eksploatacji toru są: prędkość i nacisk osi na szynę. Pozostałe parametry takie jak skrajnia czy natężenie przewozów, są zależne także od technicznego wyposażenia linii kolejowej. Biorąc pod uwagę bezpieczeństwo ruchu po torze kolejowym decydujący wpływ ma dopuszczalna prędkość i nacisk osi na szynę, jaką dopuszcza stan toru. Przyjęto, za prof. H.Bałuchem [1] wyróżnić trzy stany toru:

- Stan pełnej sprawności technicznej E1, w której:  $v_{\text{eksp}} \leq v_{\text{dop}}$  oraz  $q_{\text{eksp}} \leq q_{\text{dop}}$
- Stan ograniczonej sprawności technicznej E2, w której:  $0 < v_{\text{eksp}} < v_{\text{dop}}$  oraz / lub  $0 < q_{\text{eksp}} < q_{\text{dop}}$
- Stan niesprawności technicznej E0, w której  $v_{\text{dop}} = 0$  lub  $q_{\text{dop}} = 0$

Zakwalifikowanie do poszczególnych stanów następuje po analizie wyników uzyskiwanych różnymi metodami diagnostycznymi stosowanymi przez Zarządcę linii kolejowej. Metody te pozwalają na wykrycie lokalizacji usterek tak w układzie geometrycznym torów nie spełniających określonych wartości dopuszczalnych odchyłek dla danej prędkości jak i niektórych wad konstrukcyjnych oraz na określenie wymaganych robót naprawczych i terminów ich przeprowadzenia.

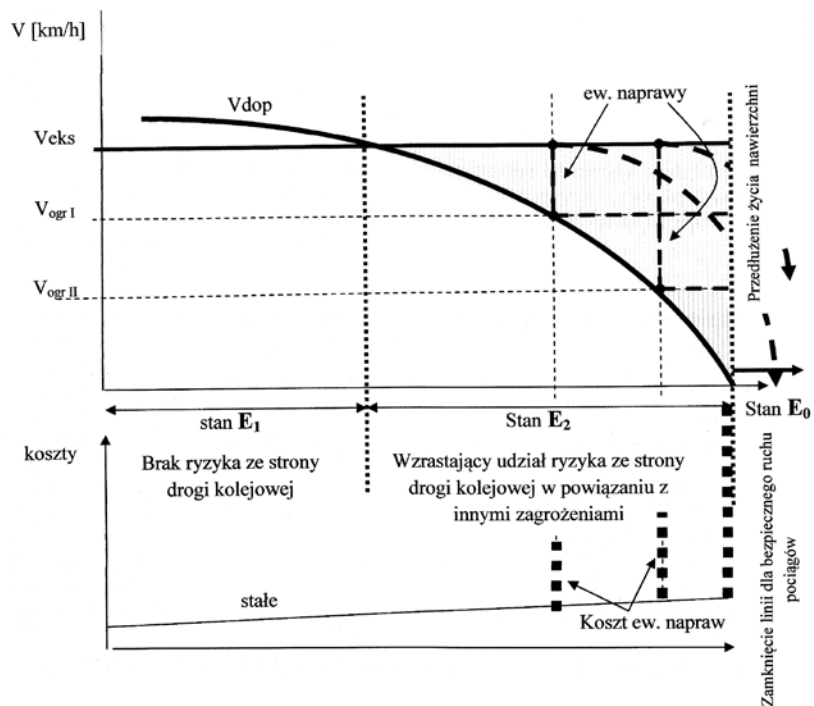
Na rys.2 przedstawiono okres życia nawierzchni od stanu pełnej sprawności technicznej do stanu jej niesprawności.

W okresie E2 możliwe jest wprowadzanie lokalnych ograniczeń prędkości z uwagi na stan toru bądź też przeprowadzanie wymaganych napraw, co wprawdzie wymaga poniesienia odpowiednich kosztów lecz równocześnie wpływa na przedłużenie życia technicznego nawierzchni. Przy ograniczonych środkach finansowych opracowanie optymalnej strategii prowadzenia napraw przy zachowaniu wymaganej zdolności przewozowej w warunkach maksymalnego bezpieczeństwa ruchu jest trudnym procesem decyzyjnym, w którym należy też uwzględniać inne czynniki mogące mieć istotny wpływ na bezpieczeństwo ruchu.

### Zagrożenia bezpieczeństwa przy różnych stanach sprawności technicznej

Przy pełnej sprawności technicznej nawierzchnia kolejowa tak pod względem konstrukcji jak i układu geometrycznego pozwala na bezpieczne eksploataowanie drogi kolejowej. Jednak i w tym stanie występuje szereg zagrożeń bezpieczeństwa, które należy uwzględnić w procesie utrzymania mimo, że nie są one powiązane ze stanem nawierzchni. Na rys.3 przedstawiono schematycznie zagrożenia powodowane tak stanem drogi kolejowej jak i tymi innymi czynnikami.

W stanie E1 układ torowy oraz konstrukcja nawierzchni nie jest źródłem technicznego ryzyka w trakcie eksploatacji. Jednak w tym stanie mogą występować poza techniczne zagrożenia bezpieczeństwa ruchu. Najistotniejszym źródłem tych zagrożeń jest sam człowiek, który podejmować musi na bieżąco różne decyzje utrzymaniowe jak też związane z prowadzeniem ruchu. Ogólnie można wyróżnić trzy grupy tych czynników. Pierwsza to przygotowanie zawodowe pracowników; ich stan wykształcenia i doświadczenie zawodowe, rzetelność wykonywanych działań, przestrzeganie wymogów technicznych i technologicznych. Druga to stan fizyczny – zdrowie, zmęczenie, stres, brak koncentracji itp. Trzecia to grupa czynników psychicznych w tym nastawienie do wykonywanych czynności, uleganie presji kierownictwa i innych pracowników, jawny



2. Zmiana stanów technicznych nawierzchni kolejowej

czy ukryty sabotaż, lekceważenie procedur i tp. Kolejną grupę zagrożeń stanowią przewoźnicy, którzy mogą dopuszczać do eksploatacji taboru i trakcji nie w pełni sprawny, z wadami ujawniającymi się w trakcie jazdy. Nie przestrzeganie wymogów technicznych w odniesieniu do taboru czy trakcji, jazda z płaskimi miejscami czy nalepami na kołach, nieszczelność wagonów itp. stwarzają duże ryzyko zagrożenia bezpieczeństwa ruchu, nawet w sprawnej technicznie nawierzchni. Dalszym źródłem ryzyka mogą być ukryte wady materiałowe nawierzchni lub podtorza nie wykrywane dotychczas stosowanymi metodami diagnostycznymi. Inne zagrożenia stwarzać mogą sporadyczni użytkownicy w punktach styku z drogą kolejową np. na przejazdach kolejowych, szczególnie nie strzeżonych. W ostatnich czasach pojawiło się nowe źródło zagrożenia jakim mogą być ataki terrorystyczne tak na samą sprawną drogę kolejową jak i na pociągi. Ostatnią grupę zagrożeń stanowią czynniki atmosferyczne – ulewne deszcze, śnieg itp.

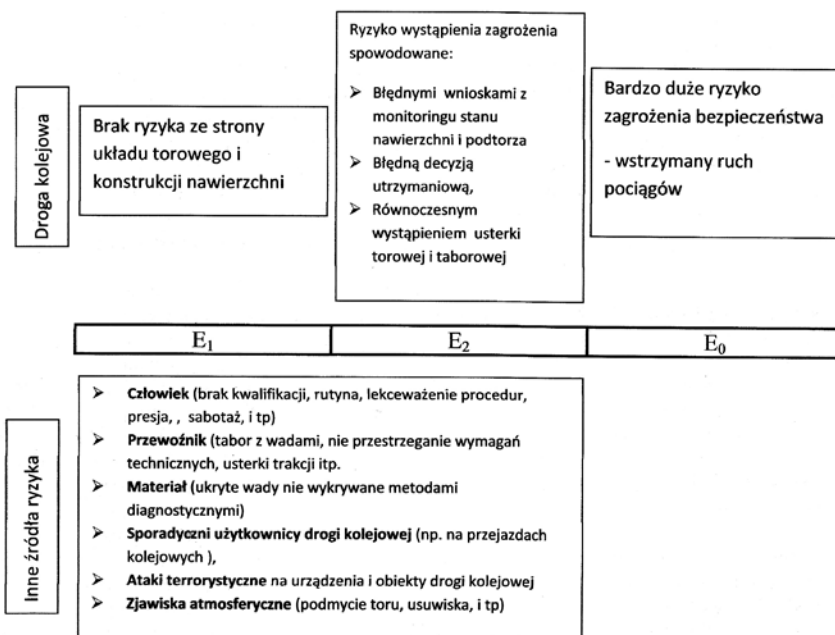
W stanie E2 pojawiają się deformacje układu torowego oraz ujawniają się usterki konstrukcyjne. Jest to najtrudniejszy okres w utrzymaniu drogi kolejowej, który związany jest z koniecznością podejmowania trudnych decyzji utrzymaniowych. Dysponując wynikami monitoringu i diagnostyki konieczne jest trafne oszacowanie ryzyka jakie stwarzać może stwierdzony stan toru. Błędne wnioski mogą bowiem prowadzić do:

- zagrożenia bezpieczeństwa ruchu,
- nieuzasadnionego ograniczenia zdolności przepustowej przez wprowadzanie lokalnych ograniczeń prędkości,

- nieuzasadnionych wydatków na dokonywanie napraw w miejscach ich nie wymagających.

Zarządca linii kolejowej musi podjąć możliwie najlepszą decyzję uwzględniającą zapewnienie bezpieczeństwa ruchu i przejezdność linii jak i posiadane środki finansowe i materiałowe na wykonywanie napraw. Decyzje te mają na celu przedłużenie okresu życia drogi kolejowej. Należy przy tym uwzględnić także ryzyko powodowane czynnikami poza technicznymi (takie jak przy stanie E1, które w pewnych przypadkach mogą się kumulować z czynnikami technicznymi).

Stan E0 oznacza koniec możliwości bezpiecznego użytkowania drogi kolejowej i konieczność jej odnowy poprzez wykonanie naprawy głównej. Decyzja o takiej naprawie i terminie jej wykonania, powinna być podjęta przed utratą sprawności technicznej. Zamknięcie linii dla ruchu generuje powstanie nowego ryzyka zagrożenia bezpieczeństwa ale w ruchu drogowym, który zostaje zwiększony o nowe zadania przewozowe przy zazwyczaj nie zmienionej infrastrukturze. Przykładowo: dla zastąpienia 1 pociągu regionalnego przewożącego 200 osób potrzeba 5 dodatkowych kursów autobusów lub blisko 50 samochodów zakładając, że w każdym będzie komplet pasażerów, zaś dla zastąpienia lekkiego pociągu towarowego przewożącego tylko masę 500 t potrzeba ponad 100 samochodów ciężarowych. Tak więc zamknięcie linii kolejowej generuje zwiększone ryzyko zagrożenia bezpieczeństwa w innych systemach transportu, ponieważ zapotrzebowanie na przejazd pozostało.



### 3. Zagrożenia bezpieczeństwa ruchu przy różnych stanach technicznych nawierzchni

#### Podejmowanie decyzji utrzymaniowych przy uwzględnieniu ryzyka

Specyfika transportu kolejowego – powiązania pojazdu z torem – spowodowała, że w procesie użytkowania drogi kolejowej konieczne jest – dla zapewnienia bezpiecznego ruchu pojazdów – istnienie dwóch rozbudowanych systemów: diagnozowania stanu drogi kolejowej (nawierzchni, podtorza, urządzeń srk i obiektów inżynierskich) oraz konserwacji i napraw (dokonywanych przy zachowaniu ciągłości ruchu). W diagnostyce do analizy wyników pomiarów bezpośrednich i pośrednich przeprowadzanych w określonych odstępach czasu wykorzystywane są liczne programy wspomagania komputerowego pozwalające na zminimalizowanie czynnika subiektywnego przy podejmowaniu decyzji, która musi się kończyć jedną z trzech konkluzji:

- tor może być nadal eksploatowany z daną dopuszczalną prędkością oraz naciskiem osi, co odpowiada stanowi E<sub>1</sub>
- trzeba ograniczyć prędkość i zaplanować przeprowadzenie naprawy w określonym terminie i zakresie, co odpowiada stanowi E<sub>2</sub>,
- wstrzymać prowadzenie ruchu, co odpowiada stanowi E<sub>0</sub>.

Uwzględniając tylko techniczne parametry określania stanu toru można stwierdzić, że:

- 1) przy stanie pozwalającym na eksploatację z dopuszczalną prędkością oraz naciskiem osi ryzyko zagrożenia bezpieczeństwa ruchu ze strony toru jest równe zero (co nie oznacza, że nie mogą wystąpić inne źródła zagrożeń),
- 2) przy wstrzymaniu prowadzenia ruchu,

ryzyko zagrożenia ruchu jest bardzo wysokie co może oznaczać prawie 100% pewność nastąpienia wykolejenia, które jednak może w pojedynczych przypadkach nie nastąpić.

W pośrednim stanie toru narasta zagrożenie ze strony starzejących się elementów nawierzchni i podtorza powodujące tym samym wzrost stopniowy ryzyka powiększany w pewnych przypadkach z ryzykiem powodowanym innymi czynnikami poza technicznymi – rys.4.

Ten obszar „życia drogi kolejowej”, posiada dość precyzyjnie określone granice ekstremalne, do czego służą systemy diagnostyczne, jednak działania utrzymaniowe w zakresie tych granic pozostają domeną intuicji, doświadczenia i szczęścia pracowników. Występowanie tego stanu obejmuje ok. 80% torów i urządzeń związanych z bezpieczeństwem ruchu. Pracownicy posiadający z jednej strony wyniki analiz diagnostycznych wspartych systemami komputerowymi a z drugiej ograniczone zasoby finansowe na wykonywanie napraw, muszą podejmować trudne decyzje utrzymaniowe – gdzie naprawiać, gdzie ograniczać, gdzie zamykać – wykorzystując wyłącznie swoje doświadczenie. Decyzje te są tym trudniejsze, że powodują one również poza kolejowe skutki ekonomiczne.

W analizie ryzyka rozróżnia się cztery zasadnicze stany, które należy uwzględnić w praktycznym działaniu. Zakłada się, że małe prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka w powiązaniu z możliwymi małymi stratami, może być pominięte, zaś przede wszystkim należy uwzględnić duże ryzyko powodujące duże straty – rys.5.

W drogach kolejowych nie ma określonej granicy między małym a dużym prawdopodobieństwem wystąpienia ryzyka, jak też trudne jest do skwantyfikowania pojęcie małe i duże. Podobnie jest z oszacowywaniem strat – pojęcie małe straty w odniesieniu do transportu kolejowego jest nieadekwatne; każda bowiem katastrofa to nie tylko straty bezpośrednie ale rozliczne straty pośrednie ponoszone przez przewoźników, klientów i zarządcę. W odniesieniu tylko do dróg kolejowych wydaje się prawidłowe zastosowanie przypadku małych i dużych prawdopodobieństw wystąpienia ryzyka powodujących duże straty nawet w przypadku jednorazowego wystąpienia. Oznacza to, że ryzyko należy bezwzględnie uwzględniać w użytkowaniu dróg kolejowych po przez wyposażenie pracowników utrzymania w odpowiednie ukierunkowane narzędzia wspomagające zastępujące intuicję techniczną. Podobnie jak rozbudowana została w okresie ostatnich trzydziestu lat baza komputerowych programów wspomagających diagnostykę, tak teraz jest odpowiedni czas na podjęcie prac nad stworzeniem bazy programów wspomagających podejmowanie decyzji w warunkach występowania ryzyka z uwzględnieniem realnych warunków eksploatacyjnych, organizacyjnych, strukturalnych i ekonomicznych a nie tylko technicznych. Powinny to być prace wielokierunkowe i powiązane z innymi, poza technicznymi dróg kolejowych, systemami wspomagającymi podejmowanie decyzji w transporcie kolejowym (a także drogowym jeżeli uwzględnić wpływ zamykania linii kolejowych na bezpieczeństwo na drogach kołowych). Stąd też proponuje się nazywać ten projekt „zintegrowanym systemem bezpieczeństwa dróg kolejowych”, prowadzącym do uzyskania narzędzi pozwalających na wyeliminowanie ocen subiektywnych czy wpływu na nie przewoźników, zarządców infrastruktury czy czynników politycznych.

#### Koncepcja zintegrowanego systemu bezpieczeństwa dróg kolejowych

Podjęcie prac nad samym systemem powinno być poprzedzone możliwie precyzyjną identyfikacją stanu zarządzania bezpieczeństwem w użytkowaniu dróg kolejowych, rozpoznaniem obszarów ryzyka możliwego do parametrycznego skwantyfikowania oraz wszystkich czynników mających bezpośredni i pośredni wpływ na decyzje związane z ryzykiem wraz ze skalą ich oddziaływania. W prowadzeniu tych prac pomocne będzie doświadczenie zdobyte przy tworzeniu bazy programów diagnostycznych, które nie tworzą wprawdzie zintegrowanego systemu ale przyczyniły się do rozwoju diagnostyki i jej skuteczności. Podjęta przed prawie 15 laty próba opracowania zintegrowanego



systemu diagnostyki nawierzchni i podtorza nie powiodła się z powodu podjęcia działań restrukturyzacyjnych PKP.

Równolegle do tych prac rozpoznania, powinny być podjęte prace w zespołach multibranżowych nad opracowaniem metod:

- wartościowania ryzyka w transporcie kolejowym wraz z określeniem kryteriów wartości dopuszczalnych parametrów decydujących o bezpieczeństwie ruchu pojazdów kolejowych,
- racjonalnego rozdziału środków na utrzymanie infrastruktury kolejowej w funkcji ryzyka i zadań przewozowych oraz źródeł ich pozyskiwania,
- zarządzania ryzykiem dostosowane do struktur organizacyjnych transportu kolejowego.

Uzyskane metody w powiązaniu ze stosowanymi systemami diagnostycznymi powinny być podstawą do opracowania trzech zintegrowanych ze sobą systemów:

- 1) System monitoringu i diagnostyki infrastruktury kolejowej,
- 2) System zbierania, przetwarzania, agregowania i archiwizacji danych o stanie infrastruktury kolejowej,
- 3) System nadzoru nad bezpieczeństwem transportu kolejowego w zakresie infrastruktury.

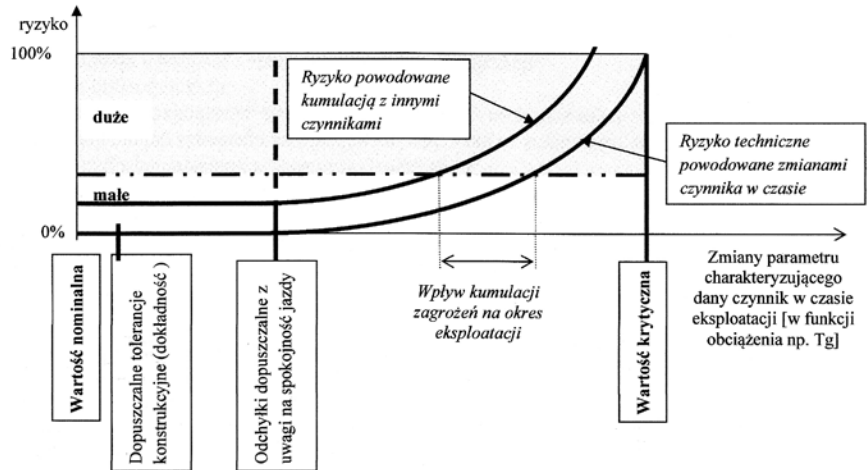
Powinien być także opracowany system niezależnego audytu infrastruktury kolejowej w zakresie bezpieczeństwa transportu, który prowadzony byłby przez jednostkę nadzorującą bezpieczeństwo w transporcie.

Niezależnym od powyższych ale mającym bardzo istotny wpływ na bezpieczeństwo byłby system kształcenia i certyfikacji kadr (wykonawczych i nadzoru) związanych z bezpieczeństwem transportu kolejowego w zakresie infrastruktury.

Prace nad tymi systemami powinny być planowane na okres co najmniej kilkunastoletni i tym samym powinny posiadać odpowiednie zrozumienie i priorytet u zmieniających się decydentów kolejowych.

## Wnioski

Ponad 80 % dróg kolejowych jest w stanie ograniczonej sprawności technicznej, co może sprawiać trudności w organizacji przewozów kolejowych przez przewoźników przewozów pasażerskich i towarowych. Dobre doświadczenia ze stosowania systemów doradczych w diagnostyce nawierzchni i podtorza, sugerują podjęcie prac nad systemami wspomagającymi podejmowanie decyzje w warunkach występowania ryzyka przy uwzględnianiu innych niż techniczne, czynników zagrożeń i skutków tych decyzji. Dostarczenie decydentom dróg kolejowych narzędzi w postaci takich systemów pozwoliłoby na bardziej racjonalne użytkowanie



4. Uwzględnianie ryzyka w eksploatacji drogi kolejowej

	Możliwe małe straty	Możliwe duże straty nawet w przypadku jednorazowego wystąpienia
Małe prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia	Ryzyko nie musi być uwzględniane bo nawet w przypadku wystąpienia zagrożenia nie spowoduje ono dużych strat	Ryzyko musi być uwzględniane i podejmowane działania jemu przeciw działające
Duże prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia	W przypadku pojedynczego wystąpienia zagrożenia można nie podejmować środków przeciwdziałających ryzyku. Jednak przy możliwości kumulacji wystąpień konieczne jest uwzględnienie ryzyka i podjęcie środków przeciwdziałających.	Należy bezwzględnie uwzględnić występowanie ryzyka i podejmować zdecydowane działania zmniejszające jego wpływ

## 5. Analiza ryzyka

linii kolejowych przy wykorzystaniu ograniczonych zasobów na wykonywanie w odpowiednich terminach napraw.

W 2004 r na sesji naukowej Katedry Inżynierii Kolejowej skierowałem pod adresem PKL jak i Urzędu Transportu Kolejowego wnioski, które związane z przedstawionym wyżej tematem, chciałbym jeszcze raz powtórzyć:

- 1) Wydaje się niezbędne uruchomienie celowego grantu badawczego dla pełnego rozeznania zagrożeń i ustalenie ich wpływu na sprawność techniczną transportu kolejowego...
- 2) Konieczna jest współpraca z wyższymi uczelniami w zakresie kształcenia kadr, szczególnie inżynierskich, do wymagań jakie niesie restrukturyzacja oraz różnych form zagrożeń, z którymi będą się spotykać w praktyce zawodowej.
- 3) Wskazane było opracowanie procedur wskazujących wielkość zagrożeń i skalę związanego z nimi ryzyka oraz włączenia ich do systemu diagnozowania i monitorowania warunków eksploatacji dróg kolejowych.

Na zakończenie: tam gdzie jeszcze fizycznie istnieje sieć kolejowa, powinno się dążyć do maksymalnego jej wykorzystania poprzez przygotowanie atrakcyjnej oferty przewo-

zowej z uwagi na proekologiczny charakter przewozów kolejowych. Każde niedopuszczenie do zwiększenia liczby autobusów i samochodów na drogach, to uratowanie kilkanastu osób przed śmiercią lub kalectwem. Linie kolejowe są społecznym bogactwem narodowym i nie powinno dopuszczać do jego marnotrawienia. ◀

## Materiały źródłowe:

- [1] H. Bałuch „Diagnostyka nawierzchni kolejowej”. WKŁ Warszawa 1978