

CELOWOŚĆ ZASTOSOWANIA METOD OCENY RYZYKA W BUDOWNICTWIE KOLEJOWYM¹

Henryk Bałuch

prof. dr hab. inż., Instytut Kolejnictwa, 04-275 Warszawa, ul. Chłopickiego 50

Maria Bałuch

dr hab. inż., prof. IK, Instytut Kolejnictwa, 04-275 Warszawa, ul. Chłopickiego 50

Streszczenie. Cechą nowoczesnego budownictwa kolejowego powinna być duża niezawodność budowli liniowych i obiektów inżynierskich. Osiągnięcie tej niezawodności zależy głównie od jakości projektu i poprawności procesów technologicznych budowy. Liczne przykłady dowodzą, że warunki te nie zawsze są obecnie spełniane. W projektach budownictwa kolejowego można doszukać się zwłaszcza braku koordynacji rozwiązań należących do różnych specjalności. Artykuł charakteryzuje dwie, spośród kilku częściej stosowanych, metod wykrywania zagrożeń na etapie projektowania, tj. metody HAZOP oraz list kontrolnych. Podano konkretne przykłady, w których zastosowanie tych metod w drogach kolejowych, pozwoliłoby uniknąć grubych błędów.

Słowa kluczowe: zagrożenia, ryzyko, listy kontrolne, projektowanie

1. Wstęp

W ostatnich latach zwiększył się zakres modernizacji linii kolejowych. Wzrosły też wymiany nawierzchni na pozostałych liniach, choć w dalszym ciągu są niewystarczające, aby poprawić odczuwalnie niezadowolający stan utrzymania sieci kolejowej w Polsce, szczególnie zaś usunąć duże ograniczenia prędkości pociągów. W tych okolicznościach szczególnie znaczenia nabiera jakość nowych obiektów, tj. układów torowych, podtorza, budowli inżynierskich, itp., od której będzie zależała ich niezawodność eksploatacyjna, osiągnięcie zakładanej trwałości i długości cykli naprawczych. Zagrożeniem dla tej jakości mogą być błędy w projektach, w planowaniu i organizacji robót, w ich wykonawstwie i odbiorach.

Pod wyrazem zagrożenie rozumie się warunkową możliwość lub źródło ujawniania się strat w wyniku jego rozwoju [15]. Są to więc nie tylko sytuacje prowadzące do zdarzeń katastroficznych, np. do wykolejeń, lecz każdy przypadek, który prowadzi do ryzyka, tzn. do zdarzenia niepożądanego, powodującego straty materialne, straty w środowisku lub uszczerbek na zdrowiu ludzi. Wychodząc z tego założenia należy stwierdzić, że zagrożenia, np. w nawierzchni kolejowej, to nie tylko duże odkształcenia torów, pęknięcie szyn i wybożenia. Zagrożenia mogą pojawić

¹ Wkład autorów w publikację: Bałuch H. 50%, Bałuch M. 50%

się nawet w nawierzchni nowej. Przykładem takim jest niedotrzymanie odchyłek dopuszczalnych przy odbiorze robót, ponieważ z bardzo dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że skróci to cykle naprawcze, a więc przyniesie straty.

Zagrożeniem są też błędy organizacyjne w modernizacji linii kolejowych polegające na niewłaściwej kolejności robót, np. wbijaniu słupów trakcyjnych po całkowitym zakończeniu prac nawierzchniowych, ponieważ powoduje to powstanie odkształceń podłoża, a więc konieczność powtórnego podbijania torów.

Problematyce jakości robót i zagrożeniom w drogach kolejowych poświęcono już liczne prace, np. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10]. Autorom nie jest znana natomiast żadna publikacja omawiająca zastosowanie metody HAZOP i list kontrolnych do celów zmniejszenia zagrożeń w budownictwie kolejowym.

2. Pojęcie ryzyka

W każdej działalności ludzkiej istnieje ryzyko. Jest ono definiowane w różny sposób. W języku naturalnym oznacza ono miarę lub ocenę zdarzenia niepożądanego, przy czym zdarzenie to może prowadzić do strat. Często można spotkać określenie, że ryzykiem jest prawdopodobieństwo statystyczne (losowe) wystąpienia niekorzystnego zdarzenia losowego dającego się oszacować. Obok ryzyka znane jest pojęcie niepewności, która występuje wówczas, gdy brak jest danych by obliczyć ryzyko.

W naukach technicznych i społecznych spotyka się różne rodzaje ryzyka. Wystarczy wymienić tylko kilka z nich. I tak np.:

- ryzyko projektowe oznacza opóźnienia, niepełne wykonanie projektowanego zadania i wzrost kosztu projektu,
- ryzyko zawodowe określa się jako prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanego zdarzenia związanych z wykonywaną pracą,
- ryzyko transakcyjne (kontraktowe) urzeczywistnia się w następstwie niedotrzymania zobowiązań umownych.

W studiach wykonalności oblicza się ryzyko wskaźnika ekonomicznego i finansowego.

W sensie matematycznym ryzyko jest iloczynem prawdopodobieństwa i częstotliwości występowania zagrożeń oraz skutków negatywnych dla zdrowia lub życia człowieka, środowiska naturalnego lub środków pracy (transportu). Ocena ryzyka R polega więc najczęściej na obliczeniu iloczynu jego prawdopodobieństwa P i skutków S :

$$R = P \cdot S \quad (1)$$

Znane są liczne modele obliczeń ryzyka oparte głównie na teorii prawdopodobieństwa, statystyce matematycznej i teorii użyteczności [20]². Z oceną ryzyka wiąże się określenie jego dopuszczalności. Znana jest w tym zakresie zasada

² Teorią użyteczności jest dział ekonomii i teorii gier dotyczący użyteczności, głównie postępowania osób w warunkach ryzyka.

ALARP (*As Low As Reasonably*), określająca obniżenie ryzyka do poziomu możliwie najmniejszego, lecz racjonalnie uzasadnionego czynnikami społecznymi, technicznymi i ekonomicznymi.

Przykłady zagrożeń zawarte w artykule nasuwają domniemanie, że wystąpiły one przy niepełnej wiedzy o możliwości ich zaistnienia lub skutkach, do jakich mogą doprowadzić.

3. Charakterystyka proponowanych metod

3.1. Metoda HAZOP

Do wykrywania zagrożeń i zmniejszenia związanego z nim ryzyka stosuje się kilka metod. Jedną z częściej stosowanych jest ocena ryzyka (*Risk assessment*) polegająca na dokładnym sprawdzeniu, co w danej działalności może stanowić zagrożenie dla ludzi, środowiska, itp. [13]. Jej celem jest sprawdzenie, czy podjęto wystarczające środki zapobiegawcze. Obejmuje ona identyfikację ryzyka, ustalenie, co lub kto może być zagrożony, w jaki sposób i określenie środków zaradczych. Wszystkie ustalenia są zapisywane oraz w miarę potrzeb aktualizowane i sprawdzane.

Metoda HAZOP (*Hazard and Operability Study*), nazywana analizą zagrożeń i zdolności operacyjnych, jest stosowana do analizy zagrożeń głównie w przemyśle, szczególnie zaś w przemyśle chemicznym, gdzie została zastosowana po raz pierwszy w latach 60. ubiegłego wieku. Jej celem jest znalezienie prawdopodobnych zdarzeń niebezpiecznych dla samego urządzenia, systemu, ludzi lub środowiska naturalnego. Bywa również używana do wykrywania potencjalnych strat, przy czym jako stratę traktuje się również obniżenie jakości [18]. Prowadzi ona od określania odchylenia od normalnych warunków pracy, przez identyfikację zagrożeń, ich przyczyn i skutków, do formułowania środków zaradczych.

Analizy rozpoczynają się od opracowanej dokumentacji urządzenia lub systemu i obejmują jego wszystkie elementy. Zespół specjalistów różnych dziedzin sprawdza wszystkie zaprojektowane elementy systemu pod kątem ich budowy, użytkowania, możliwych zmian w eksploatacji, niezawodności oprogramowania (np. sterowników), anomalii w programach komputerowych [14], itp. Wszystkie wyniki są zapisywane w ustalonym porządku, a więc powinny zawierać taką samą sekwencję, jak przy każdej analizie zagrożeń, tj.:

- 1) charakterystykę odchylenia od stanu nominalnego,
- 2) przyczyny odchylenia,
- 3) skutki,
- 4) środki zapobiegawcze,
- 5) działanie.

W metodzie tej występuje wiele cech typowych dla burzy mózgów stymulujących aktywność członków zespołu i ułatwiających tworzenie pomysłów. Zespół,

określający zagrożenia i proponowane środki zaradcze, powinien więc być zespołem interdyscyplinarnym. Zgłaszanych pomysłów nie należy krytykować, dopiero zespół oceniający zgłaszane pomysły powinien odrzucać pomysły nietrafne.

Po ustaleniu celu i zakresu analizy wykonywanej metodą HAZOP ustala się skład zespołu wyznaczając jego przewodniczącego, sekretarza i członków oraz rozpoczyna się prace przygotowawcze polegające na zbieraniu i przetwarzaniu informacji, opracowaniu harmonogramu studium i organizacji spotkań. Zasadniczą część analizy prowadzi się na spotkaniach zespołu. Zakończeniem tej analizy jest raport. Przeprowadzenie całości analizy HAZOP ułatwiają opracowane do tego celu programy komputerowe. Jednym z nich jest *Isograph Reliability Software*³.

Przechodząc do szeroko pojętych zagadnień budownictwa kolejowego można rozważyć dwie formy stosowania metody HAZOP w sprawdzaniu projektów, szczególnie zaś w sprawdzaniu ich kompletności i zgodności wszystkich składników poszczególnych specjalności (branż). Tymi formami mogłyby być:

- 1) Powoływanie zespołów do zbadania każdego dużego projektu na zasadzie burzy mózgów. Zespół taki po wykonaniu swego zadania, które obejmowałyby w pewnych przypadkach również śledzenie realizacji, byłby rozwiązany. Forma ta byłaby zatem zbliżona do zespołu koordynacyjnego budowy Centralnej Magistrali Kolejowej, powołanego na początku lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia przez wiceministra komunikacji mgr inż. Kazimierza Jacukowicza i działającego sprawnie pod Jego kierownictwem.
- 2) Stosowanie metody HAZOP w stałym i istniejącym już zespole oceny projektów działającym w Zarządzie PLK S.A.

3.2. Listy kontrolne

Listy kontrolne (*checklists*) są stosowane w różnych specjalnościach, m.in.: w technice, medycynie, zarządzaniu i wielu innych. Znajdujące się w nich zestawy pytań lub zadań służą do sprawdzania ustalonej kolejności operacji, które trzeba wykonać, np. przy starcie samolotu⁴ lub szczegółów, które powinny być sprawdzone, np. w badaniu wykolejenia pociągu przewożącego chemikalia. Są też listy dotyczące działań pojedynczych osób, np. przygotowań do podróży, znane są listy stosowane w samokontroli i w korekcie własnych działań. Najwięcej list kontrolnych dotyczy jednak różnorodnych zagrożeń, zwłaszcza zagrożeń występujących w przemyśle i budownictwie. Wiele list opracowuje się do analizy ryzyka na etapie projektu.

Listy kontrolne są niekiedy częścią sprawozdań z badań wypadków kolejowych [12]. Można też spotkać listy kontrolne w niektórych dokumentach regulujących zakres zadań diagnostycznych w nawierzchni kolejowej. Listę taką zawiera dokument [11]. Jest ona jednak bardzo syntetyczna i np. w odniesieniu do śrub łubkowych zawiera tylko trzy odpowiedzi: *poluzowane, brak, zgięte*.

³ www.isograph.com

⁴ Doskonałym przykładem zastosowań listy kontrolnej był relacjonowany przez telewizję skok Felixa Baumgartena z wysokości 39 km w dniu 14 października 2012.

W listach kontrolnych wymienia się często czynniki szkodliwe lub niebezpieczne, zaznaczając przy każdym z nich: czy występuje czy nie i podaje się środki zapobiegawcze. W większości przypadków listy kontrolne zawierają jednak tylko same pytania. Odpowiedzi na pytania mogą mieć charakter binarny (TAK, NIE) lub przedziałowy, np. w skali 5-stopniowej.

Podstawą opracowania list kontrolnych jest doświadczenie zdobyte w praktyce realizacji podobnych projektów w przeszłości oraz dokumentacja tych projektów. Dzięki listom kontrolnym można uniknąć często poważnych błędów i zagrożeń. Listy kontrolne nie powinny być zbyt długie. Jedną z najdłuższych, zawierającą 360 pytań, jest tzw. Lista Dortmundzka przedstawiona na II Kongresie Ergonomicznym w roku 1964.

4. Zastosowania

Zakres zastosowań scharakteryzowanych metod w projektach budownictwa kolejowego, zwłaszcza zaś w modernizacji linii kolejowych, może być bardzo szeroki, obejmować kilka specjalności i różne zakresy zadań – od dużych projektów całych węzłów kolejowych do zmian niewielkich układów torowych. Kilka wybranych przykładów ilustruje celowość zastosowania tych metod.

Często spotykaną wadą projektów modernizacji linii kolejowych jest brak koordynacji czasowej. Skutkiem tego są takie przykłady, jak pokazany na rysunku 1. Rozpoczęcie robót przy budowie obiektu inżynieryjnego po całkowitym zakończeniu budowy nawierzchni kolejowej wymagało w tym przypadku rozebrania nowołożonego toru głównego dodatkowego i ograniczenia prędkości pociągów do 30 km/h.



Rys. 1. Rozpoczęcie robót fundamentowych po ukończeniu robót w nawierzchni i podtorzu

Przypadek ten można tłumaczyć częściowo przesunięciem czasowym wynikającym z zasad finansowania, natomiast nic nie stało na przeszkodzie, by zachować właściwą kolejność robót na linii, na której najpierw zakończono wszystkie roboty torowe, a po nich przystąpiono do budowy przepustów metodą przecisku (rys. 2). Mimo pozornego nienaruszenia nawierzchni, po zakończeniu takiego przepustu trzeba powtórnie podbić tor i oprofilować podsypkę. Zmiana sztywności podłoża w strefie tej budowy skróci cykl do kolejnego podbicia toru.



*Rys. 2. Budowa przepustu metodą przecisku po całkowitym zakończeniu robót torowych
(fot. udostępniona przez Jerzego Zalewskiego)*

Bardzo duże znaczenie w projektach modernizacji linii kolejowych ma właściwe rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych. Rozwój technik badawczych w tym zakresie [16] wyprzedził jednak stosowane procedury. Znane są przykłady zaniechania robót podtorzowych lub ich niepełnego wykonania, czego skutkiem są szybkie odkształcenia nawierzchni kolejowej. Spotyka się przypadki braku odwodnienia w nowych torach, wskutek czego tory będą ulegały przedwcześnie dużym deformacjom (rys. 3). Są to więc takie przykłady, których nie da się tłumaczyć brakiem nakładów na utrzymanie a jedynym ich powodem jest brak kompletności robót, co świadczy o wadach projektu.

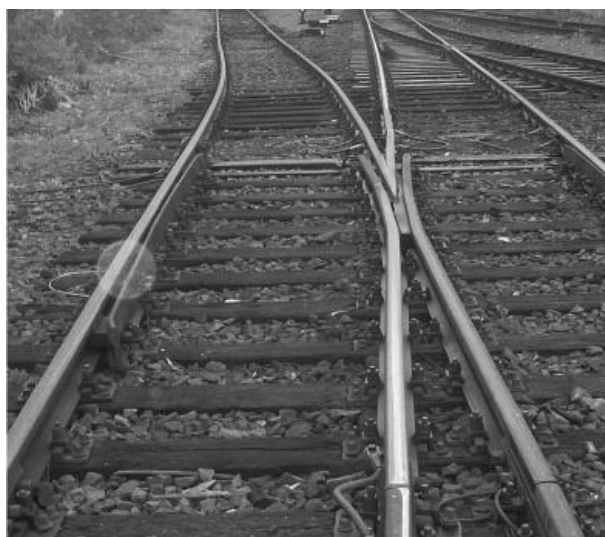
Liczne przykłady niewłaściwej kolejności robót w podtorzu i błędów w ich wykonawstwie można spotkać w innych publikacjach [17, 21, 22].

Przedstawione przypadki nie wystąpiłyby, gdyby ich projekty zostały sprawdzone na zasadach określonych w metodzie HAZOP. Wydatki, które trzeba by ponieść na takie sprawdzenie są niewspółmiernie małe w stosunku do strat, do jakich prowadzą błędy lub luki w projektach.



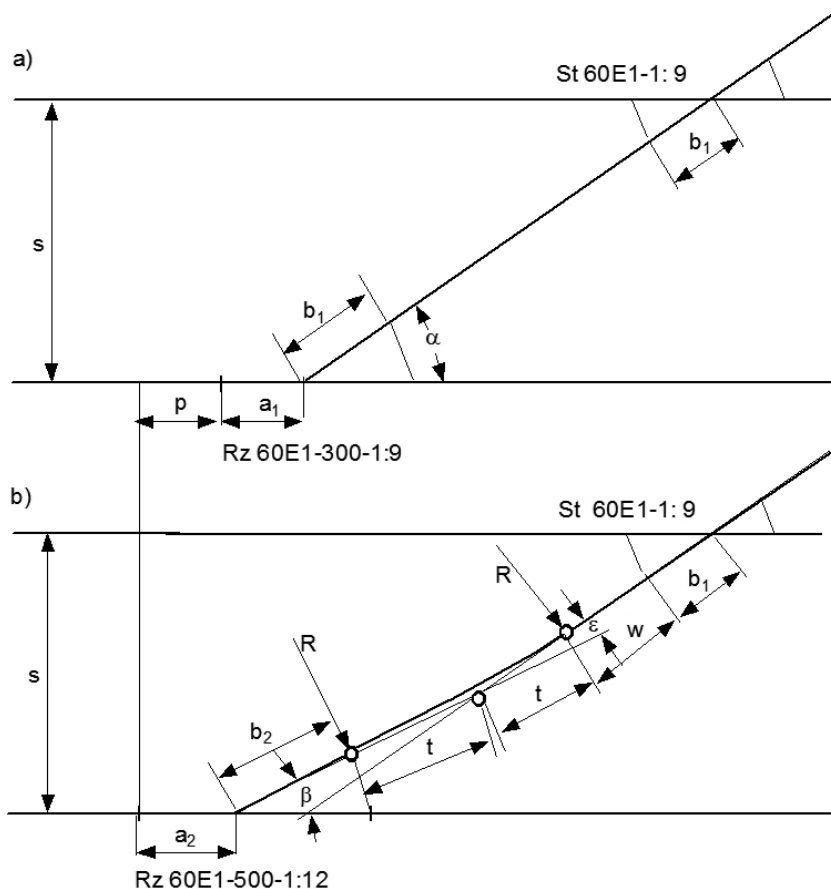
Rys. 3. Nowy tor, lawy torowiska do krawędzi podsypki pokrywa woda
(fot. ze zbiorów IK)

Kolejne trzy przykłady dotyczą mniejszego zakresu robót i wiążą się bezpośrednio z utrzymaniem nawierzchni. Pierwszy dotyczy projektowania układów torowych z rozjazdami łukowymi. Są przypadki, gdy zastosowanie tych rozjazdów zwiększa trwałość układu [8, 19]. W przeciwieństwie jednak do rozjazdów zwyczajnych, rozjazdy łukowe wymagają nietypowej rezerwy awaryjnej zwrotnic i krzyżownic, którą należy przygotować w odpowiednim czasie. Brak tej rezerwy powoduje, że zużyte zwrotnice i krzyżownice w rozjazdach łukowych zastępuje się nierzadko zwrotnicami i krzyżownicami rozjazdów zwyczajnych (rys. 4), co prowadzi do zwiększonych oddziaływań dynamicznych i w rezultacie do przedwczesnej ich wymiany.



Rys. 4. Rozjazd łukowy jednostronny z wymienioną prostą krzyżownicą;
zauważalny załom za prawą szyną dzioba tej krzyżownicy
(fot. D. Drozd)

Drugi przypadek przedstawia wymianę rozjazdu zwyczajnego o promieniu toru zwrotnego 300 m i skosie 1:9 na rozjazd o promieniu 500 m skosie 1:12 znajdujące się na posterunku odgałęźnym (rys. 5).



Rys. 5. Schemat układu: a) przed wymianą, b) po wymianie

Przed każdą wymianą rozjazdu należy wytyczyć ten rozjazd i – jeśli wymiana powoduje zmianę układu – również cały układ. Wytyczenie zmiany układu wymaga prostych obliczeń. W konkretnym przypadku należało wyznaczyć promień łuku R , jaki powstanie na wstawce między nowym rozjazdem i skrzyżowaniem toru.

Z równania:

$$s = (b_2 + t) \sin \beta + (t + w + b_1) \sin \alpha \quad (2)$$

wyznacza się długość stycznej t :

$$t = \frac{s - b_2 \sin \beta - (w + b_1) \sin \alpha}{\sin \beta + \sin \alpha} \quad (3)$$

a następnie kąt zwrotu łuku zaokrąglającego ε :

$$\varepsilon = \alpha - \beta \quad (4)$$

Mając ten kąt i długość stycznej oblicza się promień łuku:

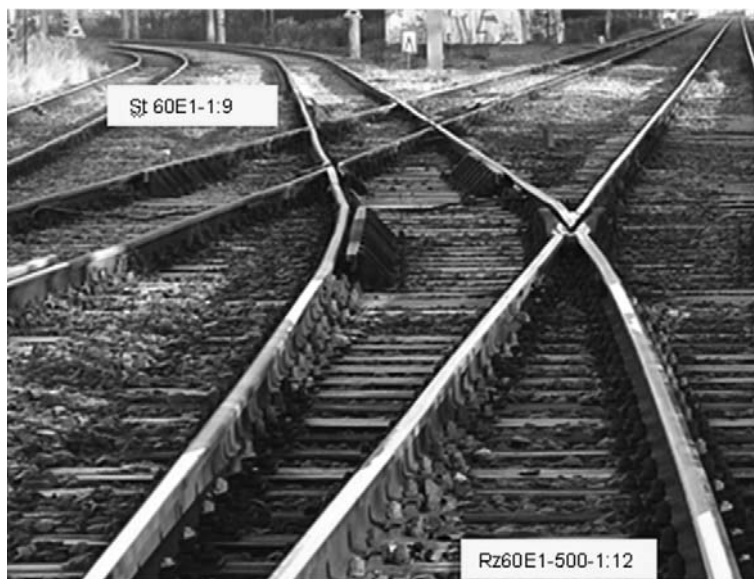
$$R = \frac{t}{\tan \frac{\varepsilon}{2}} \quad (5)$$

W rozpatrywanym przypadku występowały następujące dane:

$$s = 4,000 \text{ m}, b_1 = 16,615 \text{ m}, b_2 = 20,797 \text{ m}, \alpha = 6,34019^\circ, \beta = 4,76364^\circ.$$

W pierwszym kroku obliczeń przyjęto długość wstawki $w = 6,000$ m między końcem łuku i skrzyżowaniem toru. Wynik obliczeń, tj.: $t < 0$, spowodował rezygnację z wstawki prostej, tj. przyjęcie $w = 0$. Przy nowych wymiarach uzyskano: $R = 164,575$ m. Przy tak małym promieniu, niedopuszczalnym w torach głównych, prędkość odpowiadająca przyjętemu przyspieszeniu $a = 0,65$ m/s² wynosi 37 km/h. Wynik ten powinien więc jednoznacznie wskazać, że przy rozstawie torów 4,000 m wymiana rozjazdu o promieniu 300 m na rozjazd o promieniu 500 m nie ma sensu.

Po ułożeniu nowego rozjazdu wprowadzono na odgałęzieniu ograniczenie prędkości do 10 km/h. Kierowano się przy tym prawdopodobnie rzeczywistym kształtem tego układu, w którym nie widać równomiernie ukształtowanego łuku, lecz wyraźne załomy (rys. 6).



Rys. 6. Widok nowego układu; na pierwszym planie nowy rozjazd (fot. A.K.)

Deformacje tego rodzaju powstają często wskutek niewłaściwego przesunięcia styku przediglicowego nowego rozjazdu względem styku poprzedniego. W rozpatrywanym przypadku przesunięcie to określa równanie:

$$p = a_2 + (b_2 + t) \cos \beta + (t + w + b_1) \cos \alpha - \frac{s}{\tan \alpha} - a_1 \quad (6)$$

Przy konkretnych danych przesunięcie to powinno wynosić 9,928 m. Załomy widoczne na rysunku 6 mogły powstać wskutek mniejszego przesunięcia nowego rozjazdu (cofnięcia) niż obliczone.

Za małe przesunięcia styków przediglicowych wynikają niekiedy z powodu chęci zachowania niezmiennego położenia napędów lub innych przeszkód. W przypadku przedstawionym na rysunku 7 niepotrzebnie zaplanowano wymianę rozjazdu o promieniu 190 m na rozjazd o promieniu 300 m, nie biorąc zapewne pod uwagę, że wymiana ta spowoduje przesunięcie styku przediglicowego nowego rozjazdu o 6,092 m w kierunku przejazdu w poziomie szyn. Chcąc tego uniknąć ukształtowano łuk odwrotny między jego krzyżownicą i rozjazdem krzyżowym pojedynczym, a więc wprowadzono deformację toru o promieniu znacznie mniejszym niż 300 m.



Rys. 7. Niezasadniona wymiana rozjazdu 190-1:9 na rozjazd 300-1:9 (fot. D. Sikorski)

Nieprawidłowości w trzech ostatnich przypadkach można by uniknąć, posługując się następującą listą kontrolną:

1. Czy przy wymianie rozjazdu na rozjazd o innym skosie i promieniu został wytyczony nowy układ?
2. Czy w nowym układzie zmiana położenia styku przediglicowego jest możliwa?
3. Czy zaplanowano przesunięcie napędu?

4. Czy w obliczeniach stanowiących podstawę wytyczenia układu wyznaczono prędkość maksymalną?
5. Czy obliczone parametry kinematyczne przy planowanej prędkości nie przekroczą wartości granicznych?
6. Czy w projektach z rozjazdami łukowymi zwrócono uwagę na rezerwy awaryjne?
7. Przy jakim zużyciu należy zamawiać części zamienne do rozjazdów łukowych?
8. Kto dysponuje dokumentacją konstrukcyjną konkretnych rozjazdów łukowych?
9. Czy określono czas potrzebny na dostawy części zamiennych, licząc od złożenia zamówienia?
10. Gdzie będą zdeponowane części zamienne do rozjazdów łukowych?

5. Wnioski

Wielu zakłóceń w budowie i eksploatacji infrastruktury kolejowej można by uniknąć zwracając w odpowiednim czasie uwagę na kompletność, skoordynowanie i poprawność techniczną opracowywanych projektów, począwszy od dużych zadań inwestycyjnych do małych lokalnych zmian. Każdy błąd lub pominięcie w projekcie istotnych szczegółów niesie za sobą ryzyko. Tym ryzykiem mogą być dodatkowe roboty, których można by uniknąć, niepożądane zjawiska w eksploatacji dróg kolejowych, zakłócenia w organizacji robót, spory przy ich odbiorze i wiele innych negatywnych skutków.

Zastosowanie proponowanych sposobów analizowania projektów przy zastosowaniu metody HAZOP lub – w przypadku mniejszego zakresu robót – przy użyciu list kontrolnych jest dodatkowo uzasadnione z jednej strony stosunkowo łatwym i szybkim opracowywaniem dokumentacji dzięki technice komputerowej, z drugiej zaś żmudnymi procedurami związanymi z przygotowaniem procesu inwestycyjnego. W tych okolicznościach, nie wpływających korzystnie na twórcze podejście projektantów do rozwiązywanych przez nich zagadnień, można się również dopatrywać pewnych przyczyn uchybień.

Literatura

- [1] Bałuch H., Sterowanie jakością robót nawierzchniowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Budownictwo Lądowe 1995, nr 41.
- [2] Bałuch H., Jakość robót nawierzchniowych i metody jej oceny. Problemy Kolejnictwa 1998, z. 128.
- [3] Bałuch H., Zarządzanie jakością robót nawierzchniowych. Problemy Kolejnictwa 1999, z. 130.

- [4] Bałuch H., Ryzyko i niepewność w eksploatacji nawierzchni kolejowej. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP Oddział w Krakowie 2006, z. 132.
- [5] Bałuch H., Ryzyko w eksploatacji nawierzchni kolejowej. Problemy Kolejnictwa 2007, z. 145.
- [6] Bałuch H., Zagrożenia w nawierzchni kolejowej – model i wynikające z niego wnioski. III Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym” INFRA-SZYN, Zakopane 2010.
- [7] Bałuch H., Wpływ jakości robót na trwałość nawierzchni kolejowej. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Technologie modernizacji i utrzymania linii kolejowych – 50 lat doświadczeń”, Wrocław 2004.
- [8] Bałuch H., Bałuch M., Eksploatacyjne metody zwiększania trwałości rozjazdów kolejowych. CNTK, Warszawa 2009.
- [9] Bałuch H., Bałuch M., Układy geometryczne toru i ich deformacje. KOW, Warszawa 2010.
- [10] Bałuch M., Jakość robót jako wyznacznik cykli napraw nawierzchni. Problemy Kolejnictwa 2011, z. 152.
- [11] Canadian National Standards Practice Circular 3100. Railway Investigation Report Ro3To157, Transportation Safety Board, 2003.
- [12] Donaldsen K., Edkins G., A case study of systemic failure in rail safety: The Waterfall accident. International Rail Safety Conference, Perth, October 2004.
- [13] Fórmaniak A., Integracja gotowości i bezpieczeństwa systemów infrastruktury kolejowej na etapie projektowania. Przegląd Komunikacyjny 2006, nr 1.
- [14] Jarzębowicz A., Metoda wykrywania anomalii w wybranych modelach systemów informatycznych. Rozprawa doktorska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2007.
- [15] Kadziński A., Gill A., Pruciak K.: Rozpoznawanie źródeł zagrożeń jako ważny element metod zarządzania ryzykiem w komunikacji tramwajowej. Czasopismo Techniczne, Mechanika 2011, z. 4
- [16] Kiszka P., Nowak K., Propozycja usystematyzowania zakresu badań geotechnicznych i geofizycznych dla różnych etapów prac projektowych związanych z budową i modernizacją linii kolejowych w oparciu o Instrukcję „Warunki Techniczne Utrzymania Podtorza Kolejowego Id-3”. V Konferencja „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym”. INFRA-SZYN 2012, Zakopane 2012.
- [17] Krużyński M.: Kontrola odkształcalności i zagęszczenia gruntów podtorza. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy modernizacji i naprawy podtorza kolejowego” Żmigród-Węglewo 29 - 30 maja 2008.
- [18] Markowski A.S., Studium HAZOP dla stokażu skroplonych gazów toksycznych. Ochrona środowiska 1996, nr 2 (61).

- [19] Massel A., Projektowanie linii i stacji kolejowych. KOW, Warszawa 2010.
- [20] Mikolaj J., Risk quantification. Communications 2002, No. 4.
- [21] Radziwił A., Gajny R., Modernizacja linii E-30 w toku dotychczasowych doświadczeń prowadzenia inwestycji na terenie Zakładu Linii Kolejowych w Opolu. Konferencja Naukowo-Techniczna „Modernizacja Linii kolejowej E-30. Bolesławiec, 8 - 9 listopada 2007.
- [22] Skrzyński E., Stabilność podtorza na styku z podsypką tłuczniową. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy modernizacji i naprawy podtorza kolejowego” Żmigród-Węglewo 29 - 30 maja 2008.

