

Zagrożenia w nawierzchni kolejowej – badania i przeciwdziałanie

Henryk BAŁUCH¹

Streszczenie

Zaawansowany stopień degradacji nawierzchni na wielu odcinkach sieci kolejowej w Polsce, wymaga skupienia prac badawczych na sposobach wykrywania i zapobiegania różnym zagrożeniom. Szczególnym rodzajem zagrożeń są te, które prowadzą do wykolejeń. Oprócz zagrożeń katastroficznych, grożących wykolejeniami, takimi jak np. wybożenia torów, istnieje wiele innych zagrożeń w nawierzchni kolejowej, prowadzących do strat, m.in. zwiększających koszty cyklu jej życia oraz wynikających z zakłóceń normalnej eksploatacji. Wykolejenia powinny być badane, z początkowym założeniem, iż ich przyczynami może być splot wydarzeń i koincydencja uszkodzeń oraz wad. Na tle ogólnych postulatów inżynierii bezpieczeństwa, artykuł przedstawia wymagane etapy prac prowadzących do zmniejszenia zagrożeń w drogach kolejowych, proponowaną typologię uszkodzeń i wad nawierzchni kolejowej, zawiera wyniki ich ocen przeprowadzonych przez grupę specjalistów oraz wskazuje potrzebę doskonalenia tych umiejętności. Treścią artykułu jest również model hierarchii napraw nawierzchni kolejowej przy niewystarczających zasobach na usunięcie wszystkich występujących w niej wad. Końcowa część artykułu zawiera opis rozwoju uszkodzeń i wad nawierzchni, znaczenie wizualnej diagnostyki i rolę doskonalenia umiejętności.

Słowa kluczowe: nawierzchnia kolejowa, zagrożenia, typologia uszkodzeń, rozwój wad

1. Wstęp

W ostatnich latach szybko rozwija się inżynieria bezpieczeństwa, którą dzieli się już na liczne specjalności. W wielu wyższych szkołach powstały kierunki studiów o tej nazwie. Działa Polskie Towarzystwo Inżynierii Bezpieczeństwa, które wydaje czasopismo komputerowe oraz Fundacja Edukacyjna Inżynierii Bezpieczeństwa, organizowane są liczne konferencje, dotyczące bezpieczeństwa wybranych dziedzin [5].

Inżynierię bezpieczeństwa określa się jako dyscyplinę, której celem jest opracowywanie, doskonalenie i upowszechnianie metod oraz środków ochrony ludzi, środowiska

¹ Profesor dr hab. inż., Instytut Kolejnictwa; e-mail.hbaluch@ikolej.pl

naturalnego i narzędzi pracy. Cel ten osiąga się przez zapobieganie powstawaniu zagrożeń oraz przygotowywanie obiektów i systemów na wypadek wystąpienia zagrożeń. Krystalizują się pewne specjalności, w tym inżynieria bezpieczeństwa technicznego. Tworzy się też nowe odmiany dawno zdefiniowanych dyscyplin, jak np. logistykę w bezpieczeństwie, usiłując nadać im cechy naukowości [16].

Rozwój poszukiwań tego nurtu, skłania do postawienia pytania, czy inżynieria bezpieczeństwa powinna stać się częścią inżynierii lądowej lub w węższym ujęciu – częścią dróg kolejowych. Uszczegółowiając to pytanie, można zastanowić się, co jest obecnie ważniejsze – opracowywanie nowych technik, które wzbogacą znany już zbiór metod stosowanych w zakresie analiz bezpieczeństwa, jak np. metoda HAZOP, listy kontrolne, analiza przyczyn źródłowych i kilka innych, czy rozwiązywanie konkretnych problemów, z zastosowaniem sprawdzonych narzędzi i ich ewentualnym doskonaleniu na podstawie doświadczeń.

Z prakseologicznego punktu widzenia rację mają zwolennicy pierwszego nurtu, chcąc bowiem tworzyć nową specjalizację, trzeba ustalić jej ramy pojęciowe, dobrać lub opracować nowe narzędzia, techniki oraz metody badawcze i dopiero na takiej podstawie prowadzić badania o charakterze aplikacyjnym.

Bezpieczeństwo w drogach kolejowych przy nader ograniczonych zasobach na ich utrzymanie, wymaga przede wszystkim wczesnego rozpoznawania zagrożeń, umiejętności ich klasyfikowania [6] i znajomości sposobów przeciwdziałania. Duże znaczenie tych umiejętności wynika stąd, że nie jest obecnie i zapewne przez długi czas nie będzie możliwe usuwanie wszystkich zagrożeń, które są dostrzegane. Wymaga to więc skupienia uwagi na zagrożeniach, charakteryzujących się największym prawdopodobieństwem doprowadzenia do wypadków.

Przedstawiony stan logicznie prowadzi do odpowiedzi na pytanie, jakie poszukiwania badawcze, ukierunkowane na zwiększenie bezpieczeństwa w drogach kolejowych, są obecnie potrzebne. Czy mają to być prace o charakterze ogólnym, systemowym, które ewentualnie mogłyby doprowadzić do nowej specjalizacji, np. inżynierii bezpieczeństwa w nawierzchni kolejowej, czy należy wykonywać opracowania dotyczące tego, co jest najważniejsze, tzn. wykrywania i zapobiegania zagrożeniom. Odpowiedź autora jest jednoznaczna – specjalistyczny potencjał badawczy powinien się skupić na konkretnych zagrożeniach, wskazać sposoby ich zmniejszenia, a przy okazji niejako doskonalic metody, które po pewnym czasie pozwolą stwierdzić, że w drogach kolejowych istnieje również dział wiedzy, który można nazwać inżynierią bezpieczeństwa.

Za koniecznością pilnego zajęcia się rozwiązywaniem konkretnych problemów, zmniejszających zagrożenia w drogach kolejowych, przemawiają następujące okoliczności:

- 1) zły stan znacznej części infrastruktury kolejowej w Polsce,
- 2) retencja wiedzy, tj. odejścia z życia zawodowego doświadczonych pracowników i niewystarczająca liczba młodych, dobrze przygotowanych inżynierów,
- 3) niepełne umiejętności interpretacji wyników pomiarów oraz obserwacji stanu nawierzchni przez część osób zajmujących się problemami diagnostyki dróg kolejowych.

W kolejnictwie, w ostatnich latach powstało kilka opracowań systemowych, wymaganych prawem unijnym. Dotyczą one głównie zarządzania bezpieczeństwem. W niektórych artykułach omawiających opracowania z tego zakresu nadaje się im walory, których nie mają i ze swej natury mieć nie mogą. Przykładem może być stwierdzenie, że „...gwarancją zapewnienia bezpieczeństwa systemu kolejowego jest zaprojektowanie odpowiedniego modelu zarządzania opartego na powiązaniach pomiędzy poszczególnymi systemami zarządzania w transporcie kolejowym...” [12]. Pomijając strukturę tego zdania, należy stwierdzić, że nawet najlepszy model zarządzania, bez opracowania konkretnych narzędzi, technik i metod rozpoznawania zagrożeń i ich ograniczania, nie jest gwarancją bezpieczeństwa. Nie są również tą gwarancją wymienione opracowania dotyczące zagrożeń, chociaż ich wprowadzenie do praktyki projektowej, wykonawczej i eksploatacyjnej znacznie zwiększy bezpieczeństwo w kolejnictwie. Należy jednak pamiętać, że żaden system transportowy nie jest w 100% bezpieczny, nie jest więc nim również kolej.

Nie negując systemowych opracowań, należy jednak zwrócić uwagę na to, że w ostatnich latach w Polsce zauważa się prawie całkowity brak badań ukierunkowanych na ograniczanie zagrożeń, zarówno tych katastroficznych, prowadzących do wykolejeń, jak i tych, które prowadzą do ryzyka w postaci poniesienia innych strat. Takie opracowania są jednak wykonywane za granicą. Przykładem może być europejski program bezpieczeństwa wagonów towarowych, opracowany po wypadku pociągu towarowego we Włoszech, obejmujący m.in. kryteria utrzymania zestawów kołowych [9] lub metoda określania częstotliwości kontroli stanu technicznego pociągu oparta na ryzyku [18].

2. Pojęcie zagrożenia

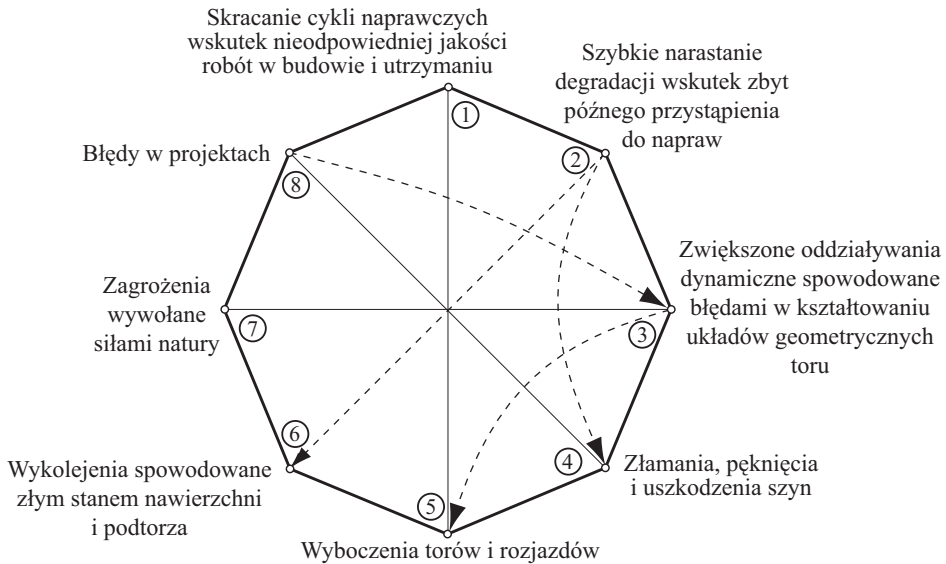
Znanych jest kilka pojęć zagrożenia. W szerszym znaczeniu, **zagrożeniem** w nawierzchni kolejowej można nazwać stan, który pod wpływem zewnętrznych czynników może doprowadzić do ryzyka. Ryzyko jest definiowane w różny sposób [10, 17]. W języku naturalnym oznacza ono miarę lub ocenę zdarzenia niepożądanego, przy czym zdarzenie to może prowadzić do strat². Wychodząc z tego założenia należy stwierdzić, że zagrożenia w nawierzchni kolejowej to nie tylko przypadki prowadzące do wykolejeń. Zagrożenia mogą pojawić się nawet w nowych drogach kolejowych. Przykładem takim jest niedotrzymanie odchyłek dopuszczalnych przy odbiorze robót. Z bardzo dużym prawdopodobieństwem można bowiem stwierdzić, że skróci to cykle naprawcze, a więc przyniesie straty.

Zagrożeniem dla nowej linii kolejowej dużych prędkości Pekin-Szanghaj (1318 km) na niektórych jej odcinkach, jest obniżanie zwierciadła wody gruntowej. Przewidziano bowiem, że osiadania obiektów inżynierskich w okresie 100 lat wyniosą na niej 10 mm,

² Ryzyko jest definiowane często jako miara stopnia zagrożenia, wyrażająca stopień szkodliwości oraz prawdopodobieństwo jego wystąpienia

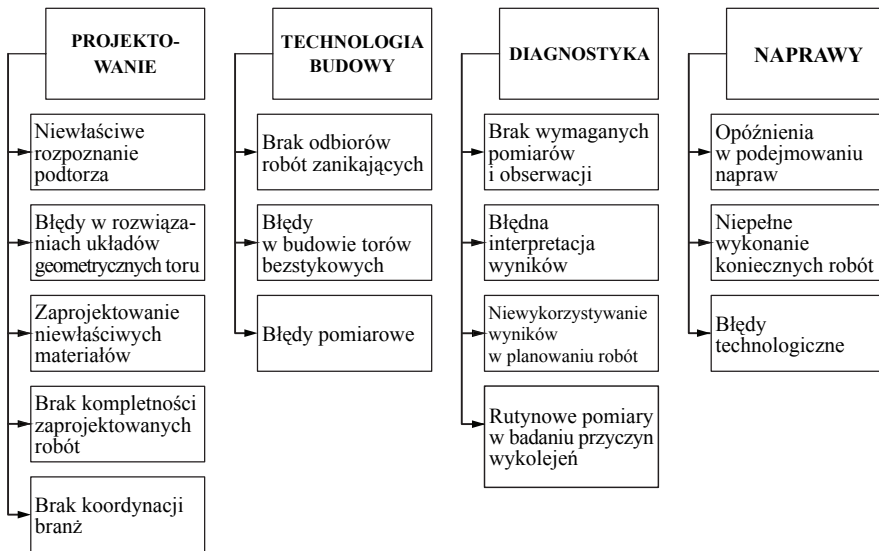
natomiast wody gruntowe obniżają się w ciągu roku o 50–70 mm [8]. Dla nawierzchni znajdującej się w dobrym stanie, zagrożeniami są też deformacje obiektów inżynierskich, na których się ona znajduje [7].

Zagrożeniem są również błędy organizacyjne w modernizacji linii kolejowych, polegające na niewłaściwej kolejności robót, np. wbijanie słupów trakcyjnych po całkowitym zakończeniu prac nawierzchniowych, czy też wykonywanie przepustów metodą przecisku po zakończeniu podbijania, co powoduje powstanie odkształceń podłoża, a więc konieczność powtórzenia tej operacji. To samo dotyczy wykonania robót torowych przed budową wiaduktów, co może wymagać nawet oczyszczenia podsypki, miejscowych napraw podtorza i podbijania torów. Spośród wszystkich zagrożeń można wyodrębnić zagrożenia prowadzące do wykolejeń, tj. zagrożenia katastroficzne, do których należą zagrożenia oznaczone na rysunku 1 liczbami 5 i 6 oraz częściowo 4. Rysunek ten przedstawia również powiązania między poszczególnymi zagrożeniami: szybkie narastanie deformacji wskutek zbyt późnego przystąpienia do napraw przyspieszy pęknięcie szyn, a błędy w projektowaniu układów geometrycznych toru spowodują zwiększenie oddziaływań dynamicznych [6].



Rys. 1. Podstawowe przyczyny i skutki zagrożeń w nawierzchni kolejowej

Wśród kilku możliwych podziałów zagrożeń w nawierzchni kolejowej, warto przedstawić ich podział ze względu na błędy popełniane przez człowieka (rys. 2). Błędy te są w dużej mierze skutkiem przyczyn wymienionych we wstępie, w punktach 2 i 3.



Rys. 2. Ważniejsze przyczyny zagrożeń w nawierzchni kolejowej zależne od człowieka

W nawierzchni kolejowej występują pewne cechy, które nie mają znamion zagrożeń przy ich oddzielnym rozpatrywaniu. Jednak w przypadku nałożenia się innych niekorzystnych okoliczności, mogą one doprowadzić nawet do wykołżeń. Z tego powodu podstawowym założeniem badań wykołżeń powinno być założenie, że dochodzi do nich w wyniku splotu zdarzeń i koincydencji, czyli nakładania się uszkodzeń, co symbolicznie można przedstawić w postaci relacji

$$W_0 \Rightarrow S \cap K, \quad (1)$$

$$\text{przy } S \cap K \neq 0 \quad (2)$$

gdzie:

W_0 – wykołzenie spowodowane splotem zdarzeń i koincydencją uszkodzeń (wad),

S – zbiór zdarzeń,

K – zbiór koincydencji.

Relacja (1) ma nie tylko znaczenie symboliczne, gdyż założenie koniunkcji zbiorów S i K , zawierających czynniki sprawcze wykołżeń, powinno stanowić zasadę analiz przyczyn źródłowych w badaniu tych wypadków. Badania te mogą jednak doprowadzić do zawężenia przyczyn tylko do zdarzeń lub tylko do uszkodzeń, a więc do alternatywy zbiorów

$$W_1 \Rightarrow S \cup K. \quad (3)$$

W szczególnym przypadku

$$W_2 \Rightarrow s_i, s_i \in S \quad (4)$$

$$W_3 \Rightarrow k_j, k_j \in K \quad (5)$$

gdzie:

W_1 – wykolejenie spowodowane tylko przez czynniki należące do zbioru zdarzeń lub do zbioru koincydencji,

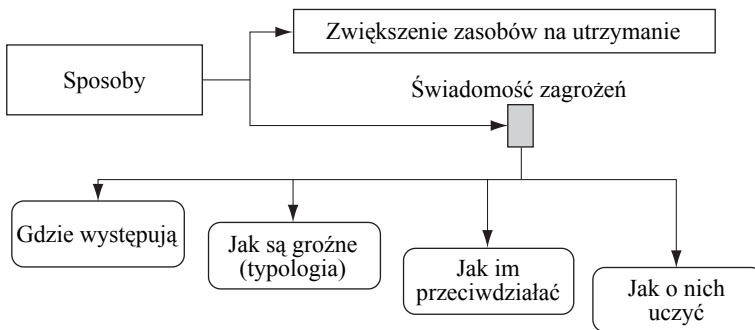
W_2 – wykolejenie spowodowane tylko przez jedno zdarzenie i ,

W_3 – wykolejenie spowodowane tylko przez jedno uszkodzenie (wadę) j^3 .

Przykładem wykolejenia W_2 może być wykolejenie spowodowane tylko rozmyciem nasypu wskutek nagłego przyboru wody, wykolejenia W_3 – złamanie szyny spowodowane dużymi naprężeniami własnymi, niewykrywalnymi podczas kontroli defektoskopowej.

3. Ważniejsze zadania prowadzące do zmniejszenia zagrożeń w drogach kolejowych

Prace badawcze ukierunkowane na zmniejszenie zagrożeń nie są w stanie zastąpić niezbędnych zasobów na utrzymanie nawierzchni. Przy tych samych zasobach, rozwiązania będące wynikiem tych prac mogą jednak te zagrożenia w pewnym stopniu zmniejszyć, głównie przez kształtowanie świadomości zagrożeń (rys. 3).

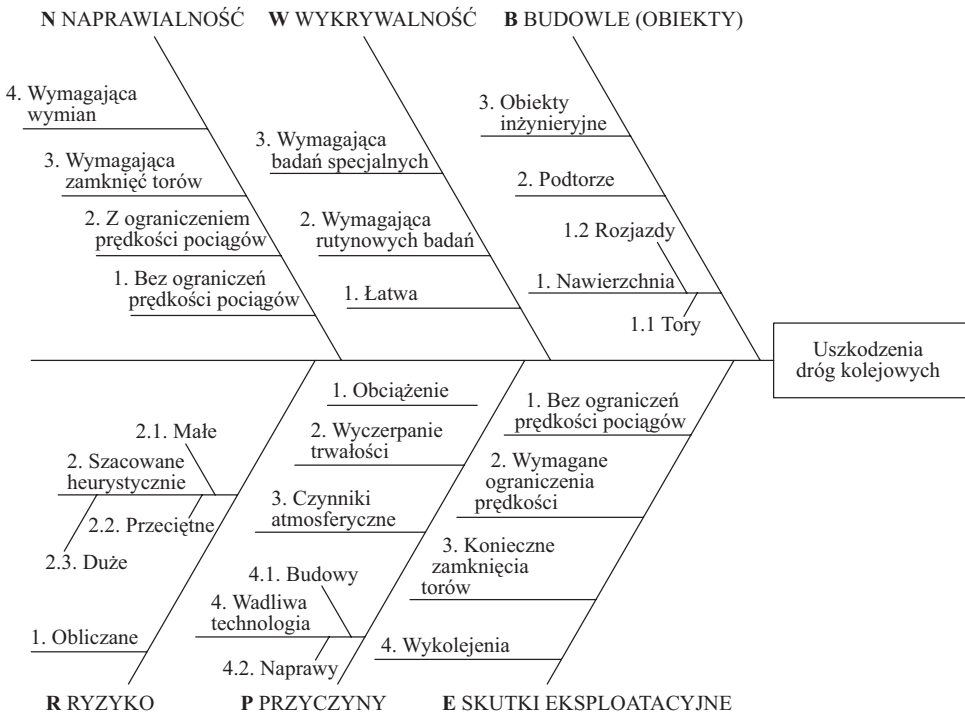


Rys. 3. Podstawowe składniki świadomości zagrożeń

Zagrożenie nie jest kategorią stałą i zmienia się zależnie od otoczenia. Otoczeniem jest prędkość pociągów, naciski osi, rodzaj i stan pojazdów szynowych oraz warunki atmo-

³ Zacierą się granica między *wadą* i *uszkodzeniem*. Według Słownika Języka Polskiego, wadą jest uszkodzenie obniżające wartość jakiegoś przedmiotu, *uszkodzony* zaś to zepsuty, częściowo zniszczony. Według Wielkiego Słownika Języka Polskiego *wada* to negatywna cecha obniżająca wartość i użyteczność czegoś. W katalogu [13] spotyka się określenia *wady spowodowane uszkodzeniem szyn*.

sferyczne. Spośród cech drogowych, zagrożenie w postaci uszkodzenia lub wady nawierzchni może być większe lub mniejsze, zależnie od układu geometrycznego toru, w którym występuje, od stosowanych metod diagnostycznych i sposobów posługiwania się nimi. Ocena tych wszystkich czynników jest uzależniona od wiedzy osób zajmujących się eksploatacją nawierzchni. Podstawowym celem badań prowadzących do rozpoznawania i ograniczanie zagrożeń powinno więc być wzbogacenie tej wiedzy. Oprócz szczegółowej wiedzy w zakresie nawierzchni kolejowej, konieczna jest też ogólna znajomość oceny wad i uszkodzeń dróg kolejowych (rys. 4).



Rys. 4. Podstawowe cechy uszkodzeń i wad w drogach kolejowych

W pracach badawczych nad zmniejszeniem zagrożeń w nawierzchni kolejowej, można wyróżnić następujące zakresy tematyczne:

- 1) podział zagrożeń na grupy typologiczne,
- 2) prognozowanie rozwoju zagrożeń,
- 3) opracowanie nowych metod monitorowania i oceny zagrożeń,
- 4) opracowanie środków zapobiegania zagrożeniom, głównie zaś zestawów list kontrolnych, łańcuchów zdarzeń, scenariuszy wypadków wraz z obliczaniem ryzyka i studiów przypadków poszukiwania przyczyn źródłowych,
- 5) przygotowanie zestawów materiałów szkoleniowych dla określonych grup odbiorców.

4. Podział zagrożeń na grupy typologiczne

Umiejętność klasyfikowania zagrożeń w nawierzchni kolejowej jest niezbędna zwłaszcza wówczas, gdy dysponowane zasoby są mniejsze od zasobów potrzebnych do ich usunięcia. Zachodzi wówczas potrzeba określenia hierarchii napraw, w dalszej kolejności zaś, jeśli ich w ogóle nie można wykonać – wprowadzenia ograniczeń prędkości pociągów.

Nawierzchnia kolejowa, w przeciwieństwie do takich systemów jak systemy sterowania ruchem kolejowym, które mogą znajdować się tylko w dwóch stanach – bezpiecznym lub niebezpiecznym, tj. w układzie zero-jedynkowym, charakteryzuje się stanami pośrednimi między stanem bez żadnych wad, aż do stanu niebezpiecznego. W ogólnym ujęciu można wyróżnić trzy stany nawierzchni [1]:

- pełnej zdatności eksploatacyjnej $E^{(1)}$,
- ograniczonej zdatności eksploatacyjnej $E^{(2)}$,
- niezdatności eksploatacyjnej $E^{(0)}$.

Podstawą zaliczenia każdego z nieskończenie wielu szczegółowych stanów nawierzchni E_1, E_2, \dots, E_p do jednego z trzech zbiorów stanów ogólnych, jest stosunek prędkości pociągów V_p z jaką mogą one jechać po analizowanym torze ze względu na jego stan, do prędkości maksymalnej V_{\max} , ustalonej dla tego toru

$$\begin{aligned} \frac{V_i}{V_{\max}} = 1 &\rightarrow E_i \in E^{(1)}, \\ 0 < \frac{V_i}{V_{\max}} < 1 &\rightarrow E_i \in E^{(2)}, \\ \frac{V_i}{V_{\max}} = 0 &\rightarrow E_i \in E^{(0)}. \end{aligned}$$

Do celów rozpoznawania zagrożeń ten podział byłby podziałem zbyt ogólnym. Biorąc pod uwagę, że klasyfikowanie uszkodzeń i wad nawierzchni często odbywa się w warunkach polowych, szczególnie podczas pomiarów wykonywanych toromierzami elektronicznymi, należy wprowadzić więcej podzbiorów uszkodzeń i odnosić je do oddzielnych części składowych (szyn, podkładów, przytwierdzeń, podsypki, rozjazdów), a później odpowiednio je syntetyzować. Jednostopniowa klasyfikacja n -członowa zbioru uszkodzeń U na podzbiory U_1, U_2, \dots, U_n powinna spełniać dwa warunki:

1) warunek adekwatności polegający na tym, że suma podzbiorów jest identyczna ze

$$\text{zbiorem } U \quad U_1 \cup U_2 \cup \dots \cup U_n = U, \quad (6)$$

2) warunek rozłączności oznaczający, że poszczególne zbiory nie mają elementów wspólnych

$$U_i \cap U_j = \emptyset \text{ dla wszystkich } i, j, \dots, n \text{ takich, że } i \neq j. \quad (7)$$

Warunek 1), oznaczający że żaden element nie pozostanie poza klasyfikacją, jest łatwy do spełnienia, prawdopodobieństwo spełnienia warunku 2) wymagającego, aby żadne

uszkodzenie nie było zaliczone do dwóch klas jest – jak wykazały to badania – bardzo małe. Z tego powodu zamiast klas, autor proponuje grupy typologiczne, co nie wymaga ścisłego spełnienia warunków (6) i (7). Należy natomiast przestrzegać, aby uszkodzenia należące do różnych grup były do siebie jak najmniej podobne, a do tej samej grupy – możliwie najbardziej podobne.

Kierując się tymi zasadami, do badań zgodności ocen, wprowadzono następujące grupy typologiczne:

1. Brak widocznych uszkodzeń, odkształceń i zużyć (nie ma zagrożeń)⁴.
2. Widoczne odchylenia od stanu normalnego, bez istotnego wpływu na spokojność jazdy. Zużycie w granicach dopuszczalnych (prawdopodobieństwo przyspieszonej degradacji).
3. Wyraźne objawy degradacji i osłabienia konstrukcji (wyraźna degradacja).
4. Daleko posunięta degradacja. Część elementów nie spełnia swego zadania (intensywna degradacja).
5. Stan zagrożenia.

Przyjmując taki podział stanu nawierzchni, tory znajdujące się na pewnym obszarze sieci kolejowej, np. w obrębie zakładu linii kolejowych, można by podzielić na poszczególne grupy typologiczne, tj. ustalić długości l_i (gdzie i oznaczenie grupy $i = 1, 2, \dots, 5$) i określić koszty napraw każdej grupy torów k_i , w wyniku których zagrożenia zostałyby usunięte. W podziale zagrożeń należy uwzględnić również rozjazdy, przeliczając je na ekwiwalentną długość torów, według wzoru

$$l_{ie} = \beta l_r, \quad (8)$$

gdzie:

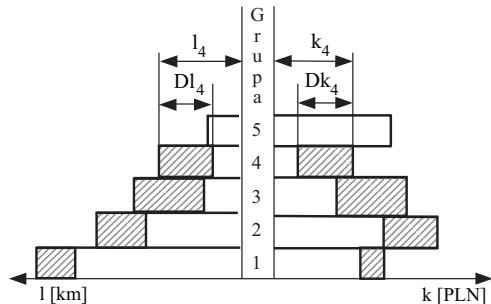
β – współczynnik zależny od konstrukcji rozjazdu,

l_r – długość rozjazdu.

Przy obecnych, skomplikowanych konstrukcjach rozjazdów, współczynnik β , należałoby przyjmować w granicach 3,5÷4,5.

Ustalenie hierarchii napraw wymaga jeszcze jednej informacji, tj. określenia, jaka część torów mających zagrożenia grupy i , przy braku napraw znajdzie się w następnym roku w grupie $i+1$. Oznacza to konieczność wyznaczenia odcinków torów o łącznej długości $\Delta l_1, \Delta l_2, \dots, \Delta l_4$ przy czym Δl_i jest częścią odpowiedniego l_i ($\Delta l_i \in l_i$).

Mając te informacje, można przedstawić stan rozpatrywanej grupy torów w postaci rysunku 5.



Rys. 5. Podział torów i kosztów napraw ze względu na grupy typologiczne zagrożeń

⁴ W nawiasach podano nazwy skrócone, które znajdują się na rysunkach.

Przy wystarczających zasobach, naprawy powinny doprowadzić do usunięcia wszelkich wad i uszkodzeń, tj. do sprowadzenia wszystkich torów do grupy 1. Przy braku tak określonych zasobów, minimalny zakres robót powinien objąć tory na długości

$$l_{\min} = l_s + \sum_1^4 \Delta l_i. \quad (9)$$

Taki zakres napraw usunąłby zagrożenia grupy typologicznej 5. i nie pogorszyłby stanu torów w pozostałych grupach. W przypadku, gdy dysponowane zasoby k_d są niewystarczające do wykonania minimalnego zakresu robót, tj. gdy

$$k_d < k_s + \sum_1^4 \Delta k_i \quad (10)$$

wybór strategii napraw odbywa się na zasadach heurystycznych. Warto się przy tym kierować zasadą, że w pierwszej kolejności usuwa się zagrożenia grupy 5, następnie zaś wykonuje roboty na odcinkach toru, na których nawierzchnia nie osiągnęła jeszcze nie-naprawialnego stanu.

5. Trafność rozpoznawania zagrożeń

Stopień wykorzystania proponowanej hierarchii napraw oraz zapobiegania zagrożeniom w dużej mierze będzie zależał od umiejętności podziału uszkodzeń i wad. W tym celu są konieczne odpowiednio prowadzone szkolenia z osobami mającymi już doświadczenie w eksploatacji nawierzchni o różnym stopniu degradacji. Do tych zajęć należy przygotować dużą liczbę fotografii uszkodzeń części składowych nawierzchni i pogrupować je w odpowiednie zestawy. Po wstępnych omówieniach, uczestnicy tych zajęć, powinni zakwalifikować każdy przypadek uszkodzenia do odpowiedniej grupy, nie konsultując się ze sobą.

Każdy zestaw poddawany ocenie składa się z sześciu obrazów. Obraz po lewej stronie w górnym rzędzie ma symbol **II**, obraz po prawej stronie w dolnym rzędzie – symbol **3p**. Oprócz zaliczenia do odpowiedniej grupy typologicznej, każdy obraz powinien być scharakteryzowany według następujących punktów:

- 1) jak można nazwać w skrócie oglądany obraz, używając poprawnej terminologii,
- 2) co jest powodem przedstawionego stanu,
- 3) jakie zagrożenia stwarza ten stan,
- 4) w jaki sposób, w konkretnych warunkach, można usunąć lub zmniejszyć te zagrożenia, jeśli one istnieją.

Duży nacisk należy położyć na jednolitość ocen. Na początku zajęć rozrzuty ocen są dość znaczne. Rysunek 6 przedstawia jeden z zestawów uszkodzeń szyn wraz z wynikami podziału przeprowadzonego przez grupę uczestników. W tym zestawie są również zawarte charakterystyki wszystkich uszkodzeń.

TESTOWANIE OBRAZÓW SZYN R01

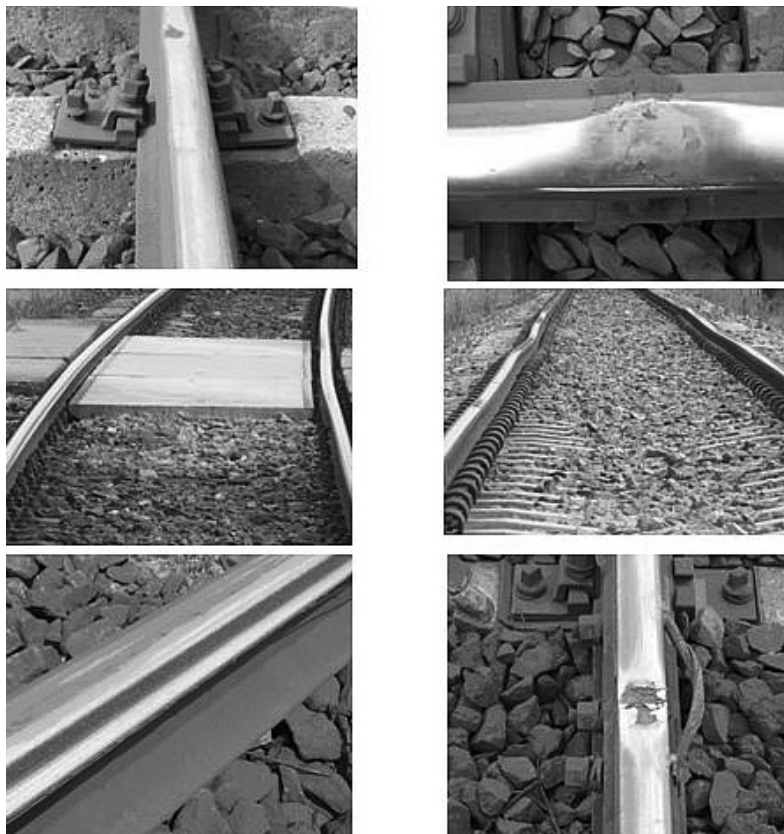
Skala: 1 – nie ma zagrożeń

2 – prawdopodobieństwo przyspieszonej degradacji

3 – wyraźna degradacja

4 – intensywna degradacja

5 – stan zagrożenia



Obraz	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe
<i>1l</i>	2,38	2	3	0,517
<i>1p</i>	3,38	2	5	0,992
<i>2l</i>	4,63	1	5	1,408
<i>2p</i>	4,25	1	5	1,964
<i>3l</i>	3,75	3	5	0,661
<i>3p</i>	2,36	2	3	0,484

Rys. 6. Wyniki ocen stopni zagrożenia w szynach

1l. Trwałe wygięcie podkładki na podkładzie betonowym, wystające wkręty bez pierścieni sprężystych, brak przekładki, zbyt małe wypełnienie okienek podsypką. Pierwotną przyczyną tych wad (z wyjątkiem wady dotyczącej podsypki) jest wykruszenie powierzchni tocznej szyny spowodowane wybuksowaniem. Wskutek zwiększonych

oddziaływań dynamicznych, uległa najpierw uszkodzeniu i wysunięciu przekładka, później popękały wkręty, a wyginające się ku górze zewnętrzne części podkładki spowodowały poderwanie wkrętów. Stan ten nie zagraża wykojeniem, wkrótce jednak spowoduje pęknięcie podkładu w strefie podszynowej. Naprawa jest jeszcze możliwa jeśli nie została wytarta powierzchnia betonu pod podkładką i nie są uszkodzone dyble. Po napawaniu szyny, należałoby wymienić cały węzeł przytwierdzenia. Ocena średnia, tj. 2,38 jest nieco zaniżona, właściwą powinna być ocena 3.

1p. Zagłębienie powierzchni tocznej i powierzchniowe pęknięcia w kształcie dwóch podków, rozwijające się od pionowej ciemnej rysy. Tę wadę powinno się nazywać wadą podkowiastą. W katalogu [13] i w codziennym użyciu występuje ona pod nazwą *squat* i ma nr 227. Gdy pęknięcia rozwijające się od powierzchni tocznej osiągną głębokość 3÷5 mm mogą zacząć penetrować w głąb główki i spowodować jej pęknięcie. Wady te stanowiły w 2011 roku jedną z najliczniejszych grup pęknięć szyn. Prawdopodobieństwo wykojenia w obecnym stanie jest niewielkie. Pozostawienie tego stanu spowoduje jednak szybki rozwój odkształceń podłoża, uszkodzenia węzła przytwierdzenia i jeszcze większe oddziaływania dynamiczne, co może doprowadzić do pęknięcia szyny (mniej groźne) lub jej złamania groźącego wykojeniem. Naprawa jest możliwa przez głębokie zeszlifowanie wady i miejscowe napawanie szyn poprzedzone kontrolą defektoskopową w celu upewnienia się, że w przekroju główki szyny nie rozwinęło się już pęknięcie zmęczeniowe. Średnia ocena 3,28 jest właściwa. Stosunkowo duża wartość odchylenia standardowego (0,992) wskazuje, że było dużo błędnych ocen, zwłaszcza zaliczeń do grupy 2.

2l. Nierówności poziome (szczególnie w toku wewnętrznym) i boczne zużycie szyn w toku zewnętrznym łuku, nie przekraczające jeszcze zużycia dopuszczalnego. Powodem zwiększonych nierówności toru w strefie przejazdu jest pominięcie tego odcinka przez podbijkę (nie usunięto płyt przed podbiciem). Ten stan, przy obowiązującej prędkości pociągów na tej linii wynoszącej 60 km/h, nie stanowi zagrożenia. Naprawa w kolejnym cyklu powinna doprowadzić do usunięcia widocznych nierówności. Średnia ocena 4,63 jest zawyżona, a rozrzut wyników bardzo duży. Ocena właściwą jest 3.

2p. Bardzo duże nierówności pionowe w obu tokach szynowych i również wyraźnie zauważalne nierówności poziome. W tym przypadku szczególną uwagę należy zwrócić na różnice nierówności pionowych w obu tokach, co oznacza istnienie wchrowatości toru. Przyczyną tych odkształceń jest nierównomierna sztywność podłoża i brak napraw w odpowiednim czasie. Ten stan zagraża wykojeniem, szczególnie wagonów o dużej wrażliwości na wchrowatość toru, tj. wagonów o dużej sztywności na skręcanie w płaszczyźnie poprzecznej, a zatem takich, jak próżne cysterny, wagony kryte, wagony do przewozu cementu luzem itp. Niektóre postacie nierówności pionowych, widoczne na tym obrazie, mogą się już okazać nienaprawialnymi, tzn. podbijką może ten tor podnieść i częściowo zmniejszyć jego odkształcenia, które jednak wskutek relaksacji, po niedługim

czasie powrócą do pierwotnego kształtu. Średnia ocena 4,63 jest zbliżona do prawidłowej 5. Rozrzut wyników jest bardzo duży.

3l. Zużycie boczne szyny w toku zewnętrznym łuku wynoszące 16 mm, dochodzące do dolnej krawędzi główki z odszczepieniem krótkiego odcinka. Kąt nachylenia powierzchni zużycia jest większy niż 60° , ale u samego dołu główki wytworzył się wyraźny zarys obrzeża, czyli popularnie zwana półka. Powód zużycia jest naturalny, tzn. współpraca koła z szyną przy małych promieniach łuków. Według badań prowadzonych w unijnym projekcie INNOTRACK⁵, opartych na obserwacjach i pomiarach kilkudziesięciu odcinków doświadczalnych, najpoważniejszym problemem eksploatacji szyn w łukach o promieniach do 700 m jest boczne zużycie szyn, w łukach o promieniach 700–5000 m – wady kontaktowo-zmęczeniowe [11, 15]. W konkretnym przypadku, przy założeniu, że w tym torze nie ma większych nierówności, zużycie szyny nie zagraża jeszcze wykolejeniem, ale ze względu na osiągnięcie granicy zużycia, szyna ta powinna zostać wymieniona w zaplanowanym trybie. Średnią wartość oceny 3,75 można uznać za właściwą.

3p. Pęknięcie szyny w miejscu wystąpienia wady *squat* zabezpieczone łubkami połączonymi trzema śrubami. To pęknięcie rozwijało się dość szybko, o czym może świadczyć brak uszkodzeń węzła przytwierdzenia na podkładzie (brak jednej śruby stopowej) i brak zanieczyszczeń podsypki wychłapkami. Średnia wartość oceny jest nieco zaniżona. Powinno być 3. Zgodność ocen jest w tym przypadku największa.

Duże rozrzuty ocen (od 2÷5) odnotowano również w przypadku podkładów (rys. 7). Średnie wartości różnic były jednak w tym przypadku zbliżone do prawidłowych.

Dużą trudność sprawiała ocena stanu przytwierdzeń szyn, szczególnie zaś obraz **II** na rysunku 8. Zwracając uwagę na wymiar luzu wynoszący 22 mm można było zaliczyć ten przypadek do całkowicie niegroźnych, tj. do grupy 1. Osoby, które były uczestnikami wcześniejszych zajęć (na których omawiano śmiertelny wypadek, jaki wydarzył się przy przecinaniu palnikiem szyn w torze bezстыkowy, który wypiętrzył się nagle na wysokość 1,5 m), zauważyły korozję na górnej powierzchni łubków i zrozumiały, że widoczny tu tor klasyczny, wskutek braku konserwacji komór łubkowych i rzadkiego używania, zamienił się w tor bezстыkowy, tylko o znacznie słabszej konstrukcji. Wykonywanie ręcznych robót w tym torze, w dodatnich temperaturach może więc zagrażać zdrowiu, a nawet życiu ludzi. Tym więc należy tłumaczyć rekordową różnicę ocen (1÷5).

Ocena zagrożeń w rozjazdach jest zwykle trudniejsza niż zagrożeń w torach. Na rysunku 9 skala ocen w dwóch przypadkach sięga od 1 do 5. Zawyżona jest zwłaszcza ocena obrazów **II** i **3l**. Zakwalifikowanie obrazu **2p** do grupy 1. jest dużym błędem – stan tej iglicy grozi wykolejeniem.

⁵ Projekt INNOTRACK, czyli *Innovative Track* prowadzony w latach 2006–2008 z udziałem 38 organizacji z 15 państw.

TESTOWANIE OBRAZÓW PODKLADÓW S01

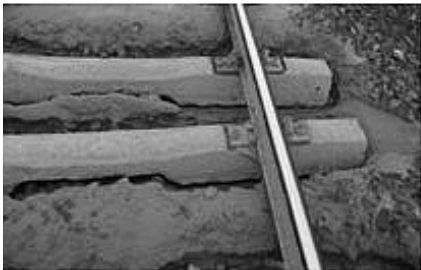
Skala: 1 – nie ma zagrożeń

2 – prawdopodobieństwo przyspieszonej degradacji

3 – wyraźna degradacja

4 – intensywna degradacja

5 – stan zagrożenia



Obraz	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe
<i>1l</i>	4,18	2	5	0,833
<i>1p</i>	3,00	2	4	0,406
<i>2l</i>	3,91	3	5	0,668
<i>2p</i>	3,86	2	5	0,900
<i>3l</i>	4,18	2	5	1,113
<i>3p</i>	1,45	1	3	0,656

Rys. 7. Wyniki ocen stopni zagrożenia w podkładach i podsypce

TESTOWANIE OBRAZÓW PRYZYTWIERDZEŃ F01

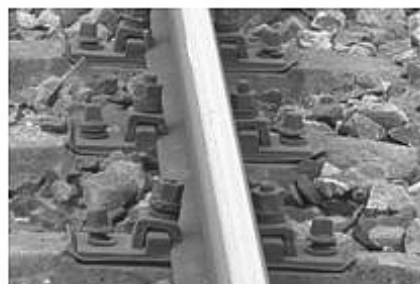
Skala: 1 – nie ma zagrożeń

2 – prawdopodobieństwo przyspieszonej degradacji

3 – wyraźna degradacja

4 – intensywne degradacja

5 – stan zagrożenia



Obraz	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe
<i>1l</i>	3,40	1	5	1,800
<i>1p</i>	4,40	3	5	0,663
<i>2l</i>	3,03	3	5	0,539
<i>2p</i>	4,70	4	5	0,458
<i>3l</i>	4,50	3	5	0,671
<i>3p</i>	2,60	2	4	0,805

Rys. 8. Wyniki ocen stopni zagrożenia w przytwierdzeniach szyn

TESTOWANIE OBRAZÓW ROZJAZDÓW T01

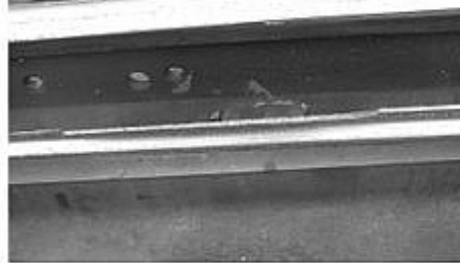
Skala: 1 – nie ma zagrożeń

2 – prawdopodobieństwo przyspieszonej degradacji

3 – wyraźna degradacja

4 – intensywna degradacja

5 – stan zagrożenia

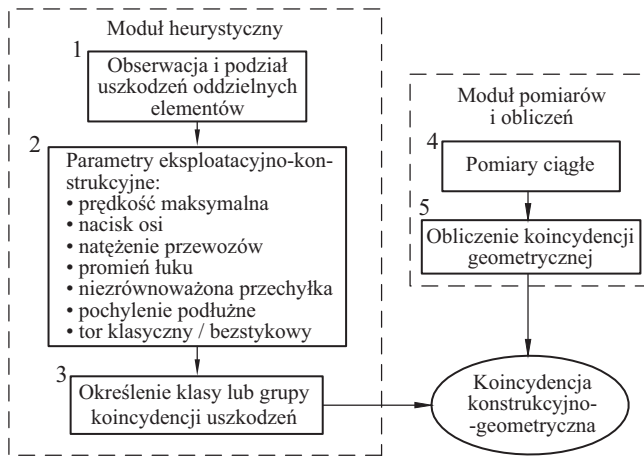


Obraz	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe
<i>1l</i>	4,18	2	5	0,963
<i>1p</i>	3,27	2	5	1,710
<i>2l</i>	2,55	2	4	1,157
<i>2p</i>	4,45	3	5	0,565
<i>3l</i>	2,73	1	5	1,601
<i>3p</i>	4,36	2	5	0,881

Rys. 9. Wyniki ocen stopni zagrożenia w rozjazdach

Przedstawione przykłady czterech zestawów uszkodzeń nawierzchni i kilkanaście innych, które przyniosły podobne wyniki, prowadzą do wniosku, że ocena różnych uszkodzeń nawierzchni jest dość zróżnicowana. Stwarza to obawę, że decyzje podejmowane przy planowaniu napraw lub ograniczeniach prędkości pociągów w przypadku, gdy tych napraw nie można wykonać, mogą być obarczone błędami. Błędów takich można by uniknąć lub przynajmniej znacznie je zmniejszyć, wprowadzając do programów doskonalenia umiejętności zawodowych z eksploatacji dróg kolejowych cykl zajęć poświęconych ocenie zagrożeń.

Umiejętności te nie mogą się ograniczać tylko do klasyfikowania oddzielnych obrazów uszkodzeń, przy których nie uwzględnia się żadnych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych. Konieczna jest ocena koincydencji uszkodzeń, przy czym należy brać pod uwagę podstawowe charakterystyki konkretnej linii kolejowej, tj. maksymalną prędkość, naciski osi i natężenie przewozów, parametry geometryczne (promień łuku, nierównoważoną przechyłkę, pochylenie podłużne) oraz rodzaj konstrukcji nawierzchni (tor klasyczny lub bezстыkowy). Może zdarzyć się, że przy nakładaniu się uszkodzeń, z których żadne oddzielnie nie stanowi zagrożenia, ich koincydencja staje się groźna. Biorąc to pod uwagę, stan zagrożenia na konkretnym odcinku linii kolejowej, scharakteryzowanej wymienionymi parametrami, powinien być definiowany według algorytmu przedstawionego na rysunku 10.



Rys. 10. Ogólny schemat definiowania stanu zagrożenia

Niezastąpioną metodą uczenia rozpoznawania zagrożeń są studia przypadków. Metoda ta wprowadza realizm do sal seminaryjnych, skłania do integrowania wiedzy praktycznej o drogach kolejowych z wiedzą teoretyczną, skłania do wnikliwego poszukiwania związków przyczynowo-skutkowych.

6. Ocena rozwoju uszkodzeń i wad

Rozwój uszkodzeń i wad nawierzchni kolejowej w funkcji czasu lub obciążenia może mieć trzy postacie:

1. Pojawianie się już znanych wad, które nie pogłębiają się lecz obejmują coraz dłuższe odcinki toru. Przykładem może być faliste zużycie szyny, w którym niekiedy głębokość i długość fal zmienia się bardzo nieznacznie, natomiast obejmuje ono nowe odcinki toru, na którym dotychczas nie występowało. Przypadek taki można określać zwiększaniem się rozciągłości wady.
2. Powiększanie się uszkodzeń miejscowych bez ich pojawiania się na sąsiednich odcinkach toru. Przypadki takie są typowe dla pęknięć podkładów betonowych w miejscu słabszego podbicia lub rozwoju wad na powierzchni tocznej szyn, zapoczątkowanych wybuksowaniami. Większość uszkodzeń i wad rozjazdów również należy do tej grupy, np. pionowe zużycie szyn skrzydłowych.
3. Jednoczesne powiększanie się już wcześniej zauważonych uszkodzeń oraz pojawianie się ich w miejscach, w których dotychczas nie występowały. Ta postać rozwoju jest najczęstsza, a jej typowym przykładem są uszkodzenia mechaniczne i biologiczne podkładów drewnianych, które rozwijają się od pojedynczych sztuk, nie mających większego wpływu na bezpieczeństwo, aż do całych gniazd (klastrow) zagrażających wykolejeniami.

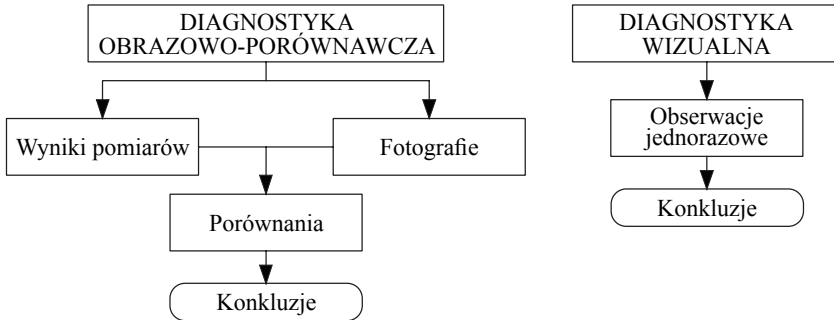
Wysoki stopień degradacji nawierzchni kolejowej wymaga rozpoznawania i oceny zagrożeń bez oczekiwania na kolejne okresy pomiarów. Nie umniejszając więc w jakimkolwiek stopniu znaczenia pomiarów, należy poznawać diagnostykę wizualną⁶. To nowe pojęcie, które trzeba wprowadzić do dróg kolejowych, w ich realnym stanie w Polsce, znane jest w innych dziedzinach, np. w dendrologii.

Różnica między diagnostyką obrazowo-porównawczą [2] a diagnostyką wizualną polega na tym, że w tej pierwszej, jako obrazy traktuje się nie tylko fotografię, lecz również wyniki pomiarów w postaci wykresów, tablic i innych zapisów, a do konkluzji dochodzi się przez porównania stanów z różnych okresów (rys. 11). Moduł porównywania pomiarów toru wykonywanych toromierzami elektronicznymi stanowi część znanego ogólnie systemu SOHRON.

W diagnostyce wizualnej trzeba polegać na wynikach jednorazowej obserwacji poczynionej bez użycia przyrządów pomiarowych, nie licząc lornetki. Wyniki obserwacji zbiera się w postaci notatek pisemnych, zapisów dyktafonowych i fotografii. Przy obecnym nasyceniu jednostek eksploatacyjnych aparatami cyfrowymi to zadanie nie powinno przysparzać większych trudności. Każda fotografia powinna być uzupełniona charakterystyką słowną i / lub liczbową. Szczególnym rodzajem zapisów jest wprowadzanie wyników

⁶ Pojęcia tego nie należy utożsamiać z oględzinami, które odbywają się według rutynowych zasad.

obserwacji do komputerów naręcznych, w postaci zaznaczania właściwych odpowiedzi, na z wcześniej opracowane pytania. Mimo pozornej prostoty, diagnostyka wizualna wymaga dużego doświadczenia i wiedzy teoretycznej, bez czego w stadium daleko posuniętej degradacji nawierzchni, nie można wyciągnąć właściwych wniosków.



Rys. 11. Istota diagnostyki obrazowo-porównawczej na tle diagnostyki wizualnej

7. Wnioski

Wypadki powodowane nieodpowiednim utrzymaniem nawierzchni kolejowej są zdarzeniami nagłymi, ale poprzedza je stan zagrożenia, który najczęściej nie pojawia się nagle. Główny wysiłek w podnoszeniu bezpieczeństwa eksploatacji nawierzchni powinien być zatem skupiony nie na wypadkach, lecz na zagrożeniach.

Umiejętność rozpoznawania zagrożeń jest w systemie bezpieczeństwa każdej dziedziny cechą najważniejszą. Nie ogranicza się ona jedynie do stwierdzenia, czy zagrożenie występuje lub go nie ma, lecz pozwala zgłębić jego przyczyny, znaleźć sposoby uniknięcia, ułatwia podejmowanie trudnych decyzji, dotyczących m.in. koniecznego ograniczenia prędkości pociągów [3]. Do takich trudnych decyzji należą decyzje dotyczące hierarchii napraw przy niewystarczających zasobach na ich wykonanie.

W pracy [19] położono nacisk na konieczność zmiany postrzegania zagrożeń przez ludzi, co powinno doprowadzić do zmiany kultury bezpieczeństwa, stanowiącej składnik rozwoju społecznego. Doskonalenie umiejętności dostrzegania zagrożeń w drogach kolejowych wymaga aktywnej edukacji począwszy od studiów, przez kursy specjalistyczne, aż do studiów podyplomowych. W tym zakresie wiele można udoskonalić [4, 14].

Bibliografia

1. Bałuch H.: *Diagnostyka nawierzchni kolejowej*, Warszawa, WKŁ, 1978.
2. Bałuch H.: *Diagnostyka obrazowo-porównawcza jako podstawa planowania napraw toru*. Przegląd Kolejowy, 1998, nr 4.
3. Bałuch H.: *Zagrożenia w nawierzchni kolejowej – model i wynikające z niego wnioski*, III Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym ”INFRASZYN 2010”, Zakopane, 2010.
4. Bałuch H.: *Kształcenie inżynierów dla potrzeb infrastruktury kolejowej*. Problemy Kolejnictwa, 2012, zeszyt 155.
5. Bałuch H.: *Splot zdarzeń i koincydencja wad w badaniu zagrożeń wykolejeniami*. XXVI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „EKOMILITARIS 2012” Inżynieria bezpieczeństwa – ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń. Zakopane, 3–6 września 2012.
6. Bałuch H., Bałuch M.: *Typologia błędów w kształtowaniu układów torowych*. Problemy Kolejnictwa, 2012, zeszyt 156.
7. Chang S. et al.: *The safety measures against deformation of the track. Safety and security in railway engineering*, Transactions of the Wessex Institute, 2010.
8. Dingding X., Wei X.: *Experts warm of subsidence threat along new rail*, China Daily, 2011–06–16.
9. Engelmann J., Wirtgen J., Nicolin J.: *Europäisches Aktionsprogramm für die Güterwagensicherheit*, Eisenbahntechnische Rundschau, 2010, nr 11.
10. Geisler M.: *Betriebliche und technische Risiken managen*, Deine Bahn, 2010, nr 10.
11. Girsch G., Jörg A.: *Heat-treated rails – technology and economic benefits*, Rail Technology Review, 2012, nr 1.
12. Jabłoński A., Jabłoński M., Lech A.: *Efektywne zarządzanie bezpieczeństwem – gwarancją rozwoju branży kolejowej*, Infrastruktura Transportu, 2012, nr 4.
13. *Katalog wad w szynach*, UIC 712 R, Wydanie IV, 2002.
14. Maleda R.: *Szkolenia w europejskim transporcie szynowym*, Infrastruktura Transportu, 2011, nr 4.
15. Platzer M.: *Lessons learned from INNOTRACK*, European Railway Review, 2011, nr 2.
16. Szymonik A.: *Logistyka w bezpieczeństwie*, Zagadnienia Inżynierii Bezpieczeństwa, Czasopismo Internetowe, 2011.
17. Welnic P.: *Zarządzanie ryzykiem przedsięwzięcia inwestycyjnego*, Technika Transportu Szynowego, 2012, nr 4.
18. Werf J. van der: *Risikogesteuerte Methode zur Bestimmung von Kontrollfrequenzen*, Eisenbahningenieur, 2010, nr 9.
19. *Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu*, tom I i II, Praca zbiorowa pod red. R. Krystka, Warszawa, WKŁ, 2009.

Dangers in railway permanent way – – Research and remedies

Summary

Advanced degradation of the permanent way on many sections of the railway network in Poland requires research on modes of different risk detection and prevention. Specific types of dangers are the ones leading to derailments. Besides the catastrophic dangers, such as e.g. track buckling, resulting in derailments, there are many other risks in railway permanent way leading to losses, among others increasing the life cycle costs or disturbing normal operation. Derailments should be examined very carefully assuming initially that the reason for the accident can be a combination of events and coincidence of damages and failures. Bearing in mind general postulates of safety engineering, the article presents required stages of works leading to the reduction of threats on railway tracks, typology of damages and failures in railway permanent way, contains results of their examination done by a team of specialists and indicates the need for further development in this field. The article also discusses a hierarchy model of maintenance works in railway permanent way in cases of a funding scarcity for elimination of all existing failures. The final part of the article contains a description of the development of damages and failures in permanent way, importance of visual diagnosis and improvement of diagnostic skills.

Key words: Permanent way, dangers, typology of damages, development of failures

Угрозы в верхнем строении железнодорожного пути – исследования и противодействие

Резюме

Высокая степень деградации верхнего строения пути на многих участках железнодорожной сети в Польше требует сосредоточения исследовательских работ на способах обнаружения и предотвращения разных угроз. Особенным видом угроз являются те, которые ведут к сходу с рельсов. Кроме катастрофических угроз, ведущих к сходу с рельсов, таких как напр. выброс пути, существует много других угроз в верхнем строении железнодорожного пути, ведущих к потерям, в этом увеличивающих издержки цикла его жизни, а также вытекающих из нарушения нормальной эксплуатации. Сходы с рельсов надо исследовать, начиная с исходного предположения, что их причиной может быть сочетание событий и совпадение дефектов и недостатков. На фоне общих требований по инженерии безопасности в статье представлены требуемые этапы работ, ведущих к уменьшению угроз в железных дорогах, предлагаемая типология дефектов и недостатков железнодорожного верхнего строения, содержатся результаты их оценок, проведённых группой специалистов, и указана необходимость совершенствования этих умений. В статье содержится также модель иерархии ремонтов верхнего строения пути при недостатке средств для устранения всех выступающих в нём неисправностей. Конечная часть статьи содержит описание развития дефектов и недостатков верхнего строения пути, значение визуальной диагностики и роль совершенствования умений.

Ключевые слова: верхнее строение железнодорожного пути, угрозы, типология дефектов, развитие недостатков