

# Ocena zagrożeń w eksploatacji nawierzchni kolejowej

Henryk Bałuch, Maria Bałuch

Artykuł dotyczy koincydencji nierówności toru i degradacji konstrukcji jako podstawy do oceny zagrożeń w eksploatacji nawierzchni kolejowej. Empirycznie określone klasy stanu konstrukcji i wyniki pomiarów toru będą tworzyły system z bazą wiedzy do przewidywania różnych stopni zagrożeń. System ten będzie miał znaczenie techniczne i psychologiczne.



Prof. dr hab. inż.  
Henryk Bałuch  
Instytut Kolejnictwa



Dr hab. inż. Maria Bałuch,  
prof. IK

Badania naukowe w zakresie bezpieczeństwa powinny obejmować przyczyny powstawania zagrożeń, metody ich wykrywania i oceny oraz sposoby eliminacji bądź łagodzenia. Jednym z podstawowych zadań wykrywania zagrożeń w nawierzchni kolejowej jest monitorowanie narastania jej degradacji od stanu pełnej zdadności eksploatacyjnej, poprzez stan pogarszający spokojność jazdy, aż do stanu zagrażającego bezpieczeństwu ruchu. Zagadnieniom bezpieczeństwa eksploatacji nawierzchni kolejowej poświęca się w Europie i na świecie coraz więcej uwagi, opracowując m.in. systemy oceny ryzyka [8]. Wynika to nie tylko stąd, że na kolejach europejskich zdarza się rocznie około 500 wykolejeń [6], przeważnie wagonów towarowych, lecz również ze względu na konieczność racjonalnego planowania napraw i wymian nawierzchni [10,14,15]. Jest to również zadanie wynikające z Kolejowej Dyrektywy Bezpieczeństwa UE 2004/49/EC.

Najczęściej spotykaną postacią degradacji nawierzchni kolejowej są odkształcenia

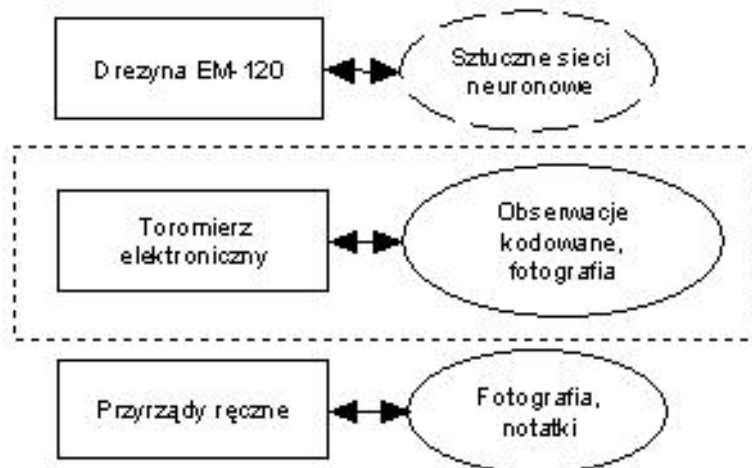
toków szynowych, nakładające się na wady w konstrukcji, które można podzielić na zużycie i zmęczenie. Zdecydowaną większość tych wad wykrywa się wizualnie. Wyjątkiem są wady wewnętrzne szyn, wykrywane techniką defektoskopową. Rozwijane są również systemy automatycznej wizualizacji stanu toru [7].

W przeciwieństwie do dobrze sparametryzowanej oceny nierówności toru, wady konstrukcji są opisywane przeważnie werbalnie lub przy użyciu umownych skal. Z wyjątkiem pewnych prób [3] nie ma metod powiązań mierzonych odkształceń toru z wadami konstrukcji.

Pełna ocena stanu toru pod kątem możliwych zagrożeń i – pośrednio – planowania jego napraw wymaga zdefiniowania kombinacji nierówności toru, powodujących zakłócenia jazdy, z wadami konstrukcji, głównie zaś z degradacją podkładów, która stanowi jedną z najczęstszych przyczyn wykolejeń. Kombinacja taka nazwana koincydencją geometryczno-konstrukcyjną toru, jest podstawą systemu oceny zagrożeń będącego przedmiotem tej pracy. Prace nad zdefiniowaniem koincydencji geometrycznej zostały rozpoczęte już w ubiegłym stuleciu [4] i znalazły praktyczne zastosowanie w systemie SOHRON [2].

## Założenia ogólne

Przydatność metod oceny obiektów wchodzących w skład inżynierii lądowej jest uwarunkowana powiązaniem tych metod z dostępnymi technikami diagnozowania. Powiązanie to jest konieczne również ze względu na weryfikację nowych metod ocen w zestawieniu z realiami eksploatacyjnymi. Z powiązań takich mogą oczywiście wynikać pewne wnioski dotyczące techniki diagnozowania i jej rozwoju, ryzykowne jest natomiast opracowywanie metod opartych jedynie na rozważaniach teoretycznych, bez odnoszenia ich do użytkowanych w danym czasie technik i narzędzi pomiarowych. Powiązanie metod oceny stanu dróg kolejowych z techniką pomiarową jest obecnie zasadą ogólnie uznawaną. Znane są takie systemy, które obejmują również powiązanie nawierzchni z podtorzem, jak np. system SuMM (Substructure Maintenance Management), w którym ocenia się stan podłoża za pomocą georadaru, jego sztywność i nierówności toru [9]. Nadzrędnym wskaźnikiem oceny jest w tym systemie stan geometryczny toru. Całość wyników znajduje się w jednej bazie. Rozbudowany system planowania napraw dróg kolejowych pod nazwą T-SPA stosowany jest w Anglii [13]. Znane są rozważania nad zastosowaniem do oceny ryzy-



1. Powiązanie pomiarów geometrycznych z obserwacjami

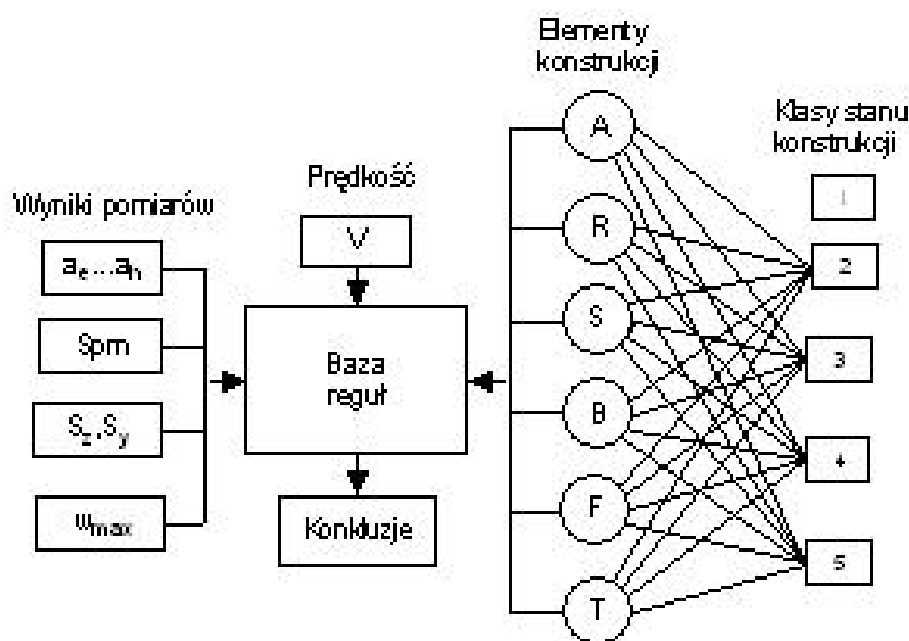
ka w infrastrukturze sztucznych sieci neuronowych i logiki rozmytej [1] nie zakończone jednak opracowaniem aplikacji użytkowych. W obecnej dekadzie w Polsce są stosowane trzy techniki pomiaru (rys.1). Są to pomiary wykonywane:

- drezyną EM-120, niepowiązane z jednocześnie z prowadzonymi obserwacjami; istnieje jednak możliwość powiązań tych pomiarów wykonywanych przez nowsze wersje drezyn z rejestracją obrazów toru i ich interpretacją przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych (od wielu już lat są eksploatowane drezyny EM-250),
- toromierzami elektronicznymi z możliwością zapisu obserwowanych uszkodzeń nawierzchni za pomocą odpowiednich kodów (piktogramów) wzbogaconych fotografiami,
- toromierzami ręcznymi, strzałkomierzami, niwelatorami itp. z zapisem wyników pomiarów w dokumentach papierowych lub w komputerach naręcznych i możliwością dokumentowania obserwowanego stanu zużycia nawierzchni w notatkach oraz fotografiach.

Pomijamy tu pomiary specjalne, jak np. falistego zużycia szyn przed ich szlifowaniem, dokładności złączy spawanych, przesunięć toków szynowych itp.

Identyfikacja stanu toru zarejestrowanego przez szybkie kamery zainstalowane na pojazdach szynowych za pomocą sztucznych sieci neuronowych znajduje się jeszcze w fazie eksperymentów, natomiast wzrokowa ocena tych obrazów jest bardzo pracochłonna.

W obecnym stanie rozpoznawania obrazów przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych metoda oparta na pomiarach drezynami nie spełniłaby oczekiwań. Ważniejszym jednak powodem skłaniającym do przyjęcia innego rozwiązania jest nieprzydatność drezyn do prowadzenia pomiarów w torach stacyjnych, na których stopień degradacji jest zwykle dużo większy niż na szlakach i gdzie zdarza się najwięcej wykolejeń. Odrzucając wariant pracochłonnego pomiarów wykonywanych toromierzami ręcznymi, należy więc opracować system oceny zagrożeń w nawierzchni oparty na koincydencji geometryczno-konstrukcyjnej z wykorzystaniem pomiarów wykonywanych toromierzami elektronicznymi. Jest to obecnie rozwiązanie najbardziej racjonalne mimo słabszych stron tych pomiarów, jak odtwarzanie kształtów nieobciążonego i tylko jednego toku szynowego, możliwość wystąpienia błędów w rozjazdach, długi czas, niedokładna ocena stanu konstrukcji przez mniej doświadczonego operatora itp. Część tych wad można jednak wyeliminować lub znacznie zmniejszyć, m.in. poprzez odpowiednio przygotowane szkolenia obejmujące również zajęcia praktyczne na torach.



2. Architektura systemu

### Model geometrycznego stanu toru

Geometryczny stan toru w ocenie zagrożeń jest przedstawiany przy zastosowaniu miar bezwzględnych, tj. niezależnych od prędkości pociągów i miar względnych, będących funkcją pomierzonych nierówności toru oraz przyjętych odchyłek dopuszczalnych. W ocenie zagrożeń wykolejeniami większe znaczenie mają cechy punktowe geometrycznego stanu toru niż cechy statystyczne, dlatego też wszystkie wyniki pomiarów powinny być analizowane we wzajemnym powiązaniu.

Miarą bezwzględną są odchyłki od wartości nominalnych, odchylenia standardowe oraz wskaźniki syntetyczne stanu toru  $J$  obliczane na każdym odcinku o długości 10 m. Reprezentacją stanu względnego są zaś wskaźniki maksymalnego przekroczenia odchyłek dopuszczalnych  $S_{pm}$ . Definicje tych miar i sposoby ich obliczania są zawarte m.in. w monografiach [2,5].

Zarówno wielkości bezwzględne jak i względne wyznacza się dla każdej z sześciu wielkości geometrycznych, tj.:

- szerokości toru  $e$ ,
- gradientu szerokości toru  $g$ ,
- wichrowatości  $w$ ,
- nierówności pionowych  $z$ ,
- nierówności poziomych  $y$ ,
- różnic wysokości toków szynowych (przechyłki)  $h$ .

Warunkiem poprawnej oceny jest odnoszenie pomiarów  $e, w, y$  oraz  $h$  do układu geometrycznego konkretnego odcinka toru.

### Model stanu konstrukcji

Stan konstrukcji jest kodowany i zaliczany do jednej z pięciu klas:

1. Brak widocznych uszkodzeń, odkształceń i zużyć.
2. Widoczne odchylenia od stanu normalnego niemające wpływu na spokojność jazdy. Zużycie w granicach dopuszczalnych.
3. Wyraźne objawy degradacji i osłabienia konstrukcji.
4. Daleko posunięta degradacja. Część elementów nie spełnia swego zadania.
5. Stan awaryjny.

Klasy 2 ÷ 5 są uzupełniane symbolami elementów, których scharakteryzowany stan głównie dotyczy. Literowe symbole wprowadzono od nazw angielskich, i tak:

- A. (All) – wszystkie – oznacza, że w danej klasie scharakteryzowany stan dotyczy wszystkich elementów,
- R. (Rail) – szyny – oznacza, że stan w danej klasie dotyczy głównie szyn,
- S. (Sleeper) – podkłady,
- B. (Ballast) – podsypka,
- F. (Fastenings) – przytwierdzenia,
- T. (Track bed) – podtorze.

W każdej z klas 2 ÷ 5 może więc być od jednej do czterech liter, np. kod 3SF oznacza wyraźne objawy degradacji i osłabienia konstrukcji, przy czym dotyczy to głównie podkładów i przytwierdzeń, kod 4BT symbolizuje daleko posuniętą degradację podsypki i podtorza a kod 2RSF wprowadzono, by zaznaczyć, że widoczne odchylenia od stanu normalnego nie mające wpływu na spokojność jazdy dotyczą szyn, podkładów i podsypki.

Kody stanu konstrukcji są wprowadzane przez upoważnionego diagnostę odpowie-

działnego za pomiary wykonywane toromierzem elektronicznym. Upoważnienie do wprowadzania kodów będzie polegało na wykazaniu się umiejętnościami interpretacji dziesiątków studiów przypadków przedstawiających różne stany torów. Treningi takie są konieczne biorąc pod uwagę zapewnienie rozłączności klasyfikacji.

## Architektura bazy wiedzy

Ocena zagrożeń stwarzanych przez nawierzchnię jest przedstawiana w postaci konkluzji lingwistycznych  $z_1, z_2, \dots, z_n$  tworzących zbiór  $Z$ . Każda reguła  $z_i$  jest zależna od trzech atrybutów

$$z_i = \varphi \langle V, P, K \rangle,$$

gdzie:

$V$  - prędkość maksymalna na rozpatrywanym odcinku toru,

$P$  - zbiór wyników pomiarów charakteryzujących dany odcinek toru,

$K$  - stan konstrukcji tego odcinka.

Wartościami atrybutu geometrycznego  $P$  są:

1) odchyłki od wartości nominalnych  $a_v, a_g, \dots, a_n$ ,

2) powiązania między wskaźnikami  $S_{pm}$ ,

3) odchylenia standardowe nierówności pionowych  $S_z$  i poziomych  $S_y$ ,

4) maksymalna wchrowatość toru  $w_{max}$ .

Stan konstrukcji opisuje atrybut  $K$ , którego wartościami są klasy 1 ÷ 5 ze wskazaniem elementów, jakich scharakteryzowany stan głównie dotyczy (rys.2).

Opracowane konkluzje będą dotyczyły głównie stanu zagrożeń, nie zaś szczegółów odnoszących się do planowania napraw nawierzchni. Liczba tych konkluzji będzie więc stosunkowo nieliczna. Przy każdej z nich będzie jednak można uzyskać uzasadnienie, z czego ona wynika.

## Zakończenie

Żaden system transportowy nie jest w 100 % bezpieczny [12]. Dotyczy to też kolei. W przeciwieństwie jednak do rozwiniętej działalności profilaktycznej w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego [11], działania podejmowane w kolejnictwie polskim są nader skromne. Brak jest zwłaszcza opracowań, które kończyłyby się opracowaniami nadającymi się do bezpośredniego wdrożenia.

System oceny zagrożeń, jakie stwarza określony stan nawierzchni kolejowej (przedstawiony tu w postaci częściowo uszczegółowionej koncepcji), będzie miał wartość nie tylko poznawczą, lecz przede wszystkim aplikacyjną spełniając dwie funkcje – techniczną polegającą na obiektywnym przedstawieniu skutków, do jakich może doprowadzić określony stan oraz psychologiczną. Funkcja psychologiczna będzie polegała na konkluzjach formułowanych

w postaci niepozostawiającej dwuznaczności w ocenie stanów krytycznych. Z takimi sformułowaniami powinni być zapoznawani nie tylko pracownicy odpowiedzialni bezpośrednio za utrzymanie dróg kolejowych, lecz również decydenci, którzy przeznaczają środki potrzebne na to utrzymanie. Będzie to więc swego rodzaju system rozkładający odpowiedzialność za zapewnienie bezpieczeństwa eksploatacji nawierzchni kolejowej na większą grupę osób, co być może, bezpieczeństwo to zwiększy. ◀

## Materiały źródłowe:

- [1] An M., Foyer P.: Railway maintenance and safety: artificial intelligence links. 4th International Conference RAIL ENGINEERING, London 2003
- [2] Bałuch H.: System geometryczno-kinematycznej oceny stanu toru kolejowego. Problemy Kolejnictwa 2002, zesz. 136
- [3] Bałuch H., Bałuch M.: Determinanty prędkości pociągów – układ geometryczny i wady toru. Instytut Kolejnictwa, Warszawa 2010
- [4] Bałuch M.: Wpływ koincydencji nierówności toru na wartość stosunku sił Y/Q. Problemy Kolejnictwa 1999, zesz. 129
- [5] Bałuch M.: Interpretacja pomiarów i obserwacji nawierzchni kolejowej. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2005
- [6] Ebreo L.: Zero tolerance for derailments. International Railway Journal 2010, No. 5
- [7] Judge T.: Automatic track inspection. Railway Track and Structures 2010, No. 11
- [8] Geisler M.: Betriebliche und technische Risiken managen. Deine Bahn 2010, No. 10
- [9] Hyslip J.P.: Substructure maintenance management: its time has come. HyGround Engineering, Williamsburg, Massachusetts, USA. September 2007
- [10] Kawaguchi A., Miwa M., Terada K.: Actual data analysis of alignment irregularity growth and its prediction model. Quarterly Report of RTRI 2005, vol. 46, No. 4
- [11] Krystek R. (red.): Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu. Tom I., WKŁ, Warszawa, 2009
- [12] Lesley L.: Under engineering for affordable track. 4th International Conference RAIL ENGINEERING, London 2003
- [13] Rhodes A., Harrison J., Temple A.: New decision support tool for track asset management. 3rd International Conference RAIL ENGINEERING, London 2002
- [14] Zacher M.: Rolling contact fatigue (RCF): models and experience of DB AG. European Rail Technology Review 2011, No. 1

- [15] Zaremski A.: How well do you know your rails? International Railway Journal 2010, No.11