Diagnostyka nawierzchni kolejowej

Eksploatacja dróg kolejowych obejmuje dwie zasadnicze grupy procesów: użytkowanie i utrzymanie. Na użytkowanie drogi kolejowej składają się procesy stanowiące ogólnie realizację zadań przewozowych, które są przedmiotem niniejszego artykułu tylko w symbolicznym zakresie, sprowadzającym się do stwierdzenia, że realizacja zadań przewozowych wpływa bezpośrednio na stan techniczny elementów składowych m.in. infrastruktury torowej, powodując utratę wymaganych właściwości o charakterze zużycia lub uszkodzenia, a tym samym wpływa na procesy utrzymaniowe.

Wstęp – zakres opracowania

Procesy składające się na utrzymanie (naprawianie) dróg kolejowych są grupowane w trzech blokach zagadnień określanych jako diagnostyka, konserwacja i naprawy.
Rozpoznaniem i oceną stanu technicznego, a w szczególności jego zmian spowodowanych użytkowaniem, zajmuje się diagnostyka przedstawiona w niniejszym artykule w zakresie dotyczącym jednej z dwóch głównych grup elementów składowych konstrukcji drogi szynowej, a mianowicie nawierzchni kolejowej.
Diagnostyka dotycząca drugiej grupy elementów składowych konstrukcji drogi kolejowej, tj. podtorza kolejowego nie jest przedmiotem niniejszego opracowania. Diagnostyka podtorza kolejowego operuje przeważnie metodami i urządzeniami pomiarowymi oraz metodami analiz wyników o uniwersalnym zastosowaniu w dziedzinie geotechniki – w szczególności w budownictwie komunikacyjnym (drogi i mosty), a nie tylko w kolejnictwie.
Ocena stanu technicznego nawierzchni kolejowej dokonywana w ramach badań diagnostycznych jest podstawą do planowania i realizacji innego bloku działań utrzymaniowych – napraw nawierzchni, które obejmują m.in. dwie zasadnicze podgrupy procesów: organizację napraw (zakres, harmonogramy, zamknięcia torów itp.) oraz technologię napraw (maszyny i urządzenia, następstwo operacji, nadzory i bieżące monitorowanie jakości robót) i nie są przedmiotem niniejszego artykułu.

Ogólne podstawy badań diagnostycznych nawierzchni kolejowej

Zgodnie z definicją diagnostyki nawierzchni kolejowej, sformułowaną w połowie lat 70. XX wieku przez twórcę teoretycznych podstaw tej gałęzi wiedzy w polskim kolejnictwie prof. Henryka Bałucha [1], diagnostyka stanowi całokształt metod i środków służących do określania stanu tej nawierzchni.
Użyte w tej definicji sformułowanie „określanie stanu nawierzchni” obejmuje szeroki zakres działań takich jak np.:

- badanie, ustalanie i klasyfikowanie symptomów zużycia nawierzchni polegające nie tylko na

analizowaniu procesów oddziaływań pomiędzy torem i pojazdem w zakresie skutków, lecz również w zakresie ich przyczyn

- opracowywanie częstotliwości badań, metod i urządzeń pomiarowych oraz sposobów analizy wyników pomiarów i wnioskowania na ich podstawie o stanie nawierzchni
- prognozowanie przebiegu zmian stanu nawierzchni i określanie jej trwałości eksploatacyjnej.

Wyszczególnione działania wskazują, że diagnostykę nawierzchni kolejowej należy kwalifikować jako dziedzinę wiedzy o charakterze teoretycznym, empirycznym i użytkowym stanowiącą usystematyzowaną metodę rozpoznawania i przewidywania stanów tej nawierzchni.

Badania diagnostyczne nawierzchni kolejowej można podzielić z uwagi na ich przedmiot na dwie podstawowe grupy: badania geometryczne toru i badania konstrukcji nawierzchni.
Badania diagnostyczne nawierzchni niezależnie od ich przedmiotu są realizowane według takiej samej zasady ogólnej, polegającej na następującej sekwencji podejmowanych działań:

- wybór przedmiotu badania, tj. wielkości przynależnej do jednej z dwóch wymienionych grup
- wybór metody i urządzenia pomiarowego odpowiednio do wybranej wielkości (parametru) i do zakresu ilościowego planowanych pomiarów
- wykonanie pomiarów i określenie zbioru ich wyników
- przetworzenie wyników pomiarów w celu określenia zbioru odchyłek, tj. różnicy pomiędzy wartościami zmierzonymi i nominalnymi ustalonych parametrów
- kwalifikacja odchyłek do zbioru odchyłek niedopuszczalnych (określonych dla poszczególnych parametrów w przepisach) i dopuszczalnych z ewentualnym ich podziałem na ustalone klasy
- określenie oceny stanu toru i prognozy rozwoju odchyłek dopuszczalnych
- kwalifikacja badanego odcinka toru do określonego zakresu i terminu działań naprawczych – tj. zaplanowanie naprawy.

Proces utrzymania nawierzchni kolejowej oraz jego część, jaką jest proces diagnostyczny są realizowane na sieci PKP na podstawie przepisów, a w szczególności na podstawie instrukcji PKP PLK S.A. [4, 5, 6].

Badania geometryczne toru

Badania geometryczne toru mają na celu określenie dokładności geometrycznej toru, wpływającej w znaczny sposób na ocenę stanu technicznego nawierzchni i tym samym na warunki jej eksploatacji. Od dokładności geometrycznej toru zależy bowiem spokojność jazdy, bezpieczeństwo ruchu i trwałość części składowych nawierzchni kolejowej.
Ocena dokładności geometrycznej toru stanowiącego układ dwóch toków szynowych ułożonych w ustalonej odległości między nimi jest dokonywana na podstawie badań diagnostycznych następujących wielkości (parametrów) podstawowych określonych na rys. 1:

a) szerokości toru (rys. 1a i rys. 1d): $e = |y_l - y_p|$ (1)

b) różnicy wysokości toków szynowych, określanej umownie przechyłką również poza łukami poziomymi (rys. 1b): $h = z_l - z_p$ (2)

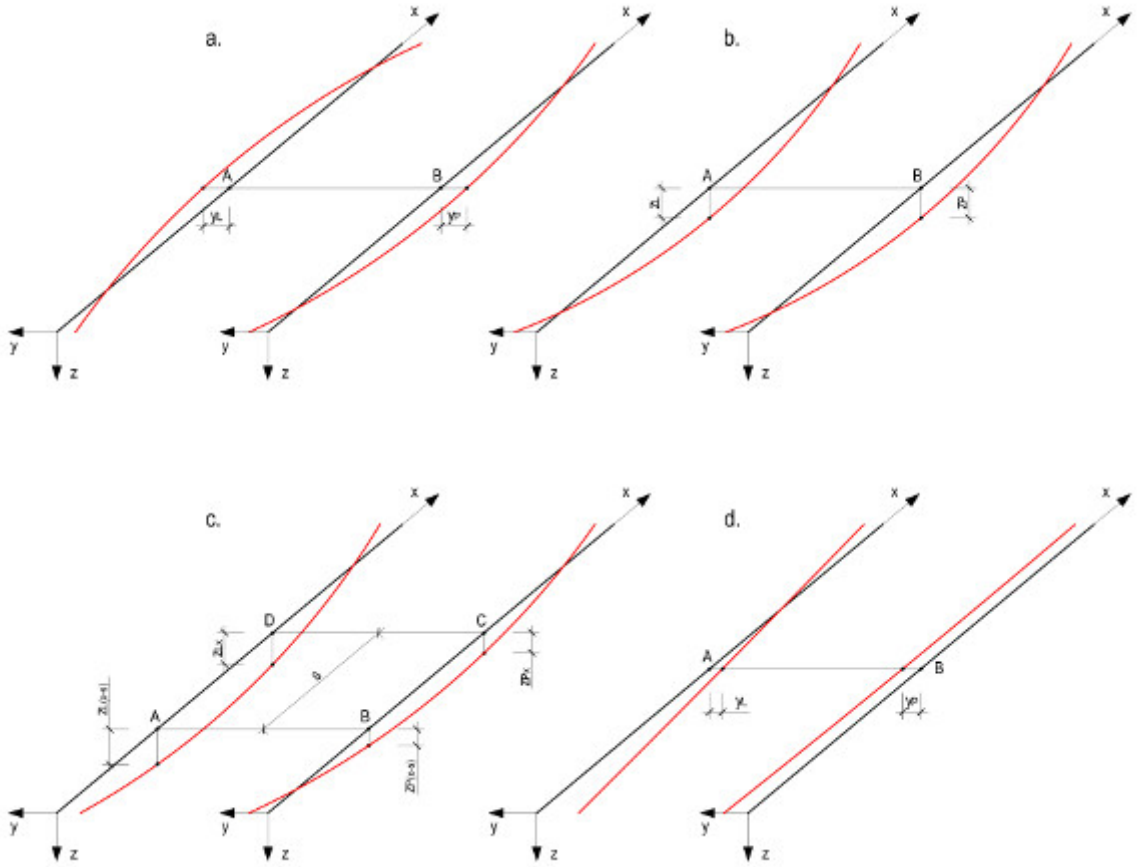
c) wichrowatości toru (rys. 1c): $g_{x,s} = h_z - h_{(x-s)}$ (3)

d) średniej nierówności podłużnej obu toków szynowych w płaszczyźnie pionowej (rys. 1b) określanej umownie nierównością pionową: $zs = 0,5\ (z_l + z_p)$ (4)

e) jednej z nierówności poziomych (rys. 1a): $f = 0,5\ (y_l + y_p)$ (5)

w torach na prostych oraz w torach położonych w łuku lub na krzywej przejściowej oddzielnie dla każdego toku szynowego

(rys. 1d): $f = y_l$ lub $f = y_p$ (6)



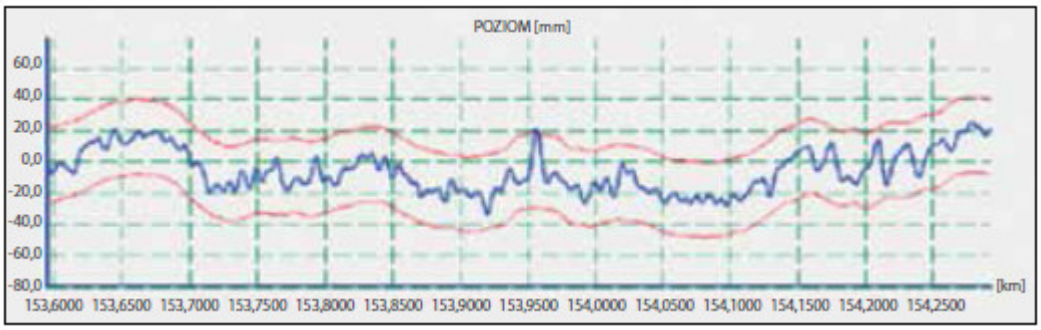
Rys. 1. Podstawowe wielkości charakteryzujące stan geometryczny toru [1]

Przedstawione na rys. 1 wielkości mierzone dla oceny stanu geometrycznego toru są odniesione do umownego układu osi x, y, z, odpowiadającego nominalnemu położeniu toków szynowych i wrysowanego cienką linią, przy symbolicznym oznaczeniu odkształconych toków szynowych linią pogrubioną o przebiegu odbiegającym od położenia nominalnego wskutek nierówności toru. Umowny charakter określania nierówności toru jako wielkości poziome lub pionowe polega na tym, że w rzeczywistości są one odnoszone nie do teoretycznych głównych płaszczyzn poziomej lub pionowej, lecz do nominalnej płaszczyzny „poziomej” główek szyn (PGS) i prostopadłej do niej płaszczyzny „pionowej” odbiegających np. w łukach z przechyłką od głównych płaszczyzn teoretycznych.

Pomiary wymienionych wielkości charakteryzujących stan geometryczny toru, których szczegółowe zasady i organizację określa instrukcja [6], są wykonywane jako pomiary bezpośrednie za pomocą przenośnych przyrządów pomiarowych (tzw. pomiary ręczne i wykonywane samorejestrującymi toromierzami elektronicznymi) lub jako pomiary pośrednie za pomocą pojazdów pomiarowych. Pomiary bezpośrednie są realizowane w sposób punktowy (nieciągły), tj. w ustalonych odległościach (z krokiem pomiarowym) np. co 5 lub 10 m mierząc tzw. toromierzem ręcznym (fot. 1a) albo w sposób określany jako bezpośredni ciągły, mierząc samorejestrującym toromierzem elektronicznym (fot. 1b) ustalone parametry rejestrowane automatycznie w odległościach co kilka mm. Pomiary pośrednie są bardziej efektywne w porównaniu do pomiarów bezpośrednich bowiem umożliwiają kompleksową ocenę stanu geometrycznego toru na długich odcinkach linii wykonując pomiar specjalnymi drezynami i wagonami pomiarowymi (fot. 2c) z prędkościami nawet do 250 km/h w warunkach toru obciążonego pojazdem, a więc w warunkach zbliżonych do rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych.

Fot. 1. Przyrządy i urządzenia pomiarowe do badań diagnostycznych stanu geometrycznego toru:
a) pomiar punktowy bezpośredni toromierzem ręcznym [8],
b) pomiar ciągły bezpośredni samorejestrującym toromierzem elektronicznym iTEC [8],
c) pomiar ciągły i pośredni drezyną pomiarową EM 120 [7]

Wyniki takich pomiarów są rejestrowane i przetwarzane elektronicznie w czasie pomiaru lub po jego zakończeniu i udostępniane w postaci tabelarycznych zestawień wartości odchyłek poszczególnych wielkości lub w postaci graficznej, tj. wykresów przebiegu wartości mierzonych parametrów na osi przebytej drogi (toru). Przykładowe wykresy z wynikami pomiaru ciągłego nierówności poziomych przedstawia rys. 2. Na wykresie tym oprócz linii przedstawiającej zmienny przebieg parametru na długości badanego odcinka toru są naniesione czerwone linie określające granice przedziału dopuszczalnych odchyłek danego parametru, co umożliwia bieżącą, wstępną ocenę jego stanu geometrycznego.



Rys. 2. Wykres z przykładowymi wynikami ciągłego pomiaru nierówności poziomych [2]

Na podstawie zarejestrowanych wyników pomiaru ocena stanu geometrycznego toru jest dokonywana poprzez określenie odchyłek i porównanie ich z wartościami dopuszczalnymi.
Ocenę stanu geometrycznego toru można dokonać albo w odniesieniu do wybranych parametrów (np. na krótkich odcinkach z powodu szczególnie złego stanu w zakresie takich parametrów), albo dla dłuższych odcinków kompleksowo, przy uwzględnieniu wszystkich z wymienionych powyżej pięciu parametrów charakteryzujących stan geometryczny. W przypadku kompleksowej oceny wykorzystuje się syntetyczne (łączne) wskaźniki zapewniające bardziej obiektywną ocenę w porównaniu do oceny pojedynczych parametrów. Do oceny syntetycznej stosowany jest przeważnie wskaźnik geometrycznej jakości toru J oparty ogólnie na zmienności poszczególnych parametrów i obliczany jako średnia ważona z wartości odchylenia standardowego każdego z parametrów, tj: nierówności pionowych (S_z), nierówności poziomych (S_y), wichrowatości toru (S_w) i szerokości toru (S_e) zgodnie ze wzorem:

$$J = (S_z + S_y + S_w + 0{,}5 \cdot S_e)/3{,}5 \qquad (7)$$

Inną formą syntetycznego wskaźnika jakości jest rzadziej stosowana wadliwość pięcioparametrowa W_5, obliczana na podstawie wadliwości W poszczególnych parametrów, określanych zgodnie z ogólną zasadą opartą na ilorazie liczby próbek przekraczających odchyłki dopuszczalne (n_p) do liczby wszystkich próbek (wyników pomiarów) na ocenianym odcinku (n): $W = n_p/n$. (8)
Wadliwość pięcioparametrowa jest obliczana na podstawie następującego wzoru:

$$W_5 = 1 - (1 - W_e)(1 - W_g)(1 - W_w)(1 - W_z)(1 - W_y) \qquad (9)$$

Ocena stanu toru z uwzględnieniem wadliwości pięcioparametrowej jest formułowana zgodnie z zasadą przedstawiona w tablicy 1 (według [4]).

Ogólna cena stanu technicznego linii kolejowych	Wartość W_5
Linie nowe	$W_5 \leq 0{,}1$
Linie o dobrym stanie	$0{,}1 < W_5 \leq 0{,}2$
Linie o dostatecznym stanie	$0{,}2 < W_5 \leq 0{,}6$
Linie o niedostatecznym stanie	$W_5 > 0{,}1$

Tablica 1. Wartości progowe wadliwości pięcioparametrowej W_5

Przedstawione zasady dokonywania ocen jednostkowych i syntetycznych stanu geometrycznego toru są stosowane do finalnego porównania wyników pomiarów przeprowadzonych na danym odcinku ze zbiorem wartości odchyłek dopuszczalnych określonych w instrukcji [4]. Odchyłki dopuszczalne określone w ramach pomiarów ciągłych (drezyną pomiarową lub toromierzem elektronicznym) – przedstawione w tablicy 2, różnią się od wartości niektórych odchyłek dopuszczalnych określonych w ramach pomiarów toromierzem ręcznym (tablica 3), co wynika z faktu ich pomiaru różnymi metodami.

Prędkość [km/h]	Nierówności		Wichrowatość na bazie 5 m [mm]	Odchyłki szerokości toru			Przechyłka względna [mm]	Wskaźnik J [mm]
	poziome [mm]	pionowe [mm]		poszerzenia [mm]	zwężenia [mm]	gradient [mm/m]		
200	4	3	5	4	3	1	5	1,3
180	5	4	6	5	3	1	6	1,6
160	6	6	8	6	4	1	8	2,1
140	7	8	10	8	5	1	12	2,7
120	9	10	12	9	7	1	12	3,3
100	13	14	14	10	7	2	15	4,3
80	17	18	16	10	8	2	20	5,3
70	20	21	18	12	8	2	20	6,1
60	24	25	19	15	8	2	25	7,0
50	29	30	21	17	8	3	25	8,2
40	35	35	23	20	9	3	25	9,6
30	44	40	25	25	9	3	25	11,2
20	53	50	30	32	10	4	25	14,5

Tablica 2. Wartości dopuszczalnych odchyłek podstawowych parametrów położenia toru (dla pomiarów wykonanych drezyną pomiarową
lub toromierzem elektronicznym)

Prędkość [km/h]	Różnica w nominalnej szerokości toru [mm]	Różnica w wysokości położenia toków [mm]	Różnice strzał. na cięciwie 10 m [mm]	Różnice w poziomie od znaków regulacji [mm]	Różnice niwelety od znaków regulacji [mm]	Różnica luzu w stykach: maks./min. [mm]
200	nie prowadzi się ręcznych pomiarów w celach diagnostycznych					
180	nie prowadzi się ręcznych pomiarów w celach diagnostycznych					
160	+6, -4	8	8	10	10	-
140	+8, -5	12	9	10	10	-
120	+9, -7	12	10	10	10	-
100	+10, -7	15	12	15	15	4
80	+10, -8	20	14	15	15	4
70	+12, -8	20	15	15	15	5
60	+15, -8	25	16	15	15	5
50	+17,-8	25	17	15	15	5
40	+20, -9	25	18	20	20	5
30	+25, -9	25	20	30	30	5
20	+35,-10	25	25	35	35	5

Tablica 3. Wartości dopuszczalnych odchyłek podstawowych parametrów położenia toru (dla pomiarów ręcznych)

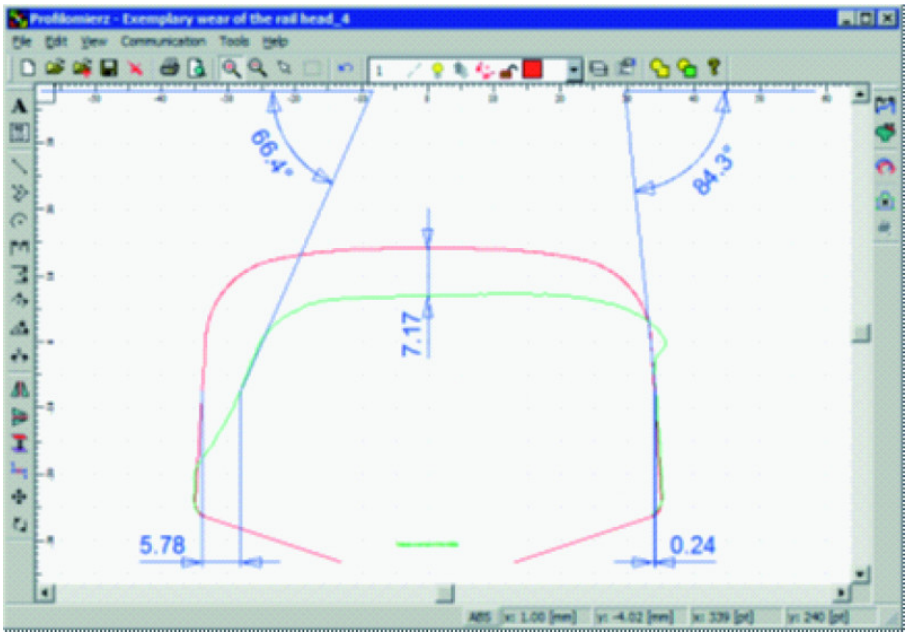
Badania konstrukcji nawierzchni

Badania diagnostyczne konstrukcji nawierzchni kolejowej mają ten sam główny cel, co badania układu geometrycznego toru, tj. ocenę stanu konstrukcji dla potrzeb właściwego zarządzania jej utrzymaniem i dla zapewnienia ustalonej klasy technicznej toru. Zakres badań określanych w uproszczeniu konstrukcyjnymi dotyczy wszystkich elementów składowych nawierzchni, a więc szyn, złączek, podkładów i podsypki proporcjonalnie jednak do intensywności ich zużywania się wskutek eksploatacji.
Ze względu na największe oddziaływania pomiędzy pojazdem i torem występujące na styku koło-szyna, gdzie kumuluje się wiele sił o charakterze dynamicznym, działających na toki szynowe masą pojazdu, siłami trakcyjnymi (hamowanie, napęd), niezrównoważonym przyspieszeniem w łukach i obciążeniem termicznym

w torze bezstykowym, zużycie szyn następuje najintensywniej. Powoduje to potrzebę odpowiednio częstych badań diagnostycznych szyn, których zużycie, uszkodzenia i wady mają różne symptomy takie jak np.:

- zużycie boczne i pionowe polegające na zmianie (zwykle ubytku) przekroju poprzecznego główki szyny
- zużycie faliste i uszkodzenia powierzchni tocznej w stykach szyn
- występowanie wad typu rysy, pęknięcia, złamania i wad kontaktowo-zmęczeniowych typu HEAD-CHECKING, SQAT.

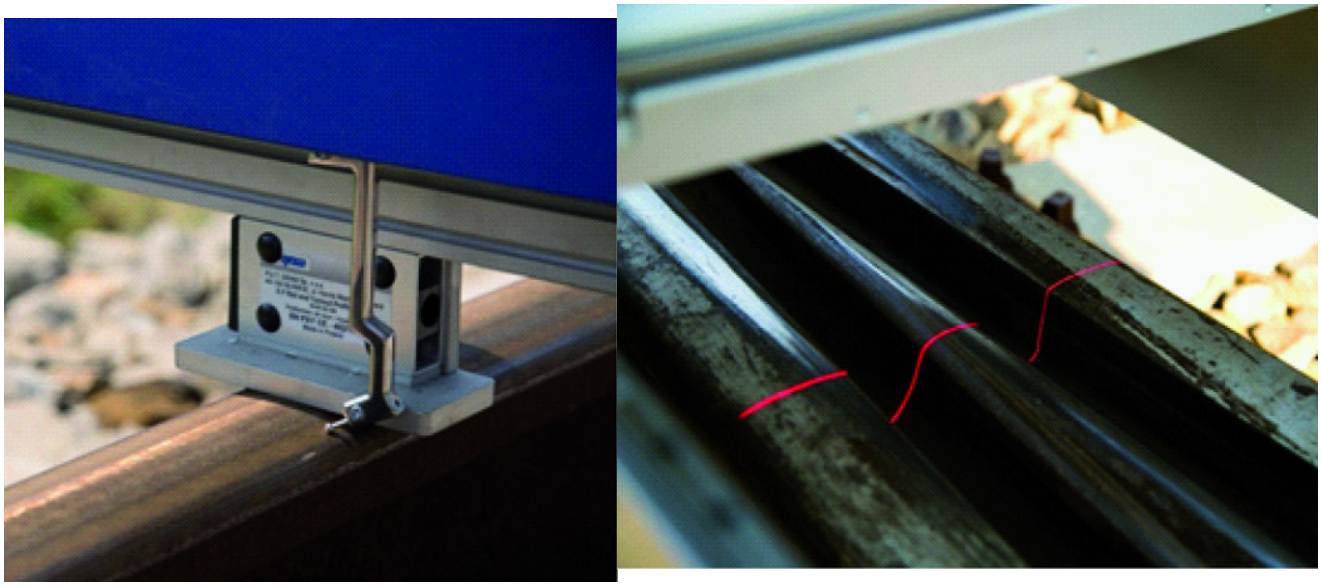
Wstępne badania powyższych symptomów są wykonywane poprzez obserwacje mające na celu ustalenie lokalizacji wykonania pomiarów. Do pomiaru wymienionych symptomów zużycia szyn są stosowane różne przyrządy pomiarowe działające zgodnie z ogólną zasadą określenia i utrwalenia kształtu zużytego i porównania go z kształtem nominalnym.



Rys. 3. Przetworzenie danych pomiarowych z profilomierza na graficzną postać wyniku dla oceny zużycia pionowego i bocznego szyny [8]

Do pomiarów pionowego i bocznego zużycia szyn są stosowane współcześnie tzw. profilomierze, działające na zasadzie mechanicznego odwzorowania zużytego profilu główki szyny przez poprowadzenie po jej badanej powierzchni (zwykle ręcznie) odpowiedniego wodzika, zamieniającego ruch jego końcówki na zapis elektroniczny, wyrażany w lokalnych współrzędnych, których odtworzenie w komputerze daje obraz możliwy do nałożenia porównawczo na profil nominalny i obliczenia różnic między dwoma konturami (rys. 3).

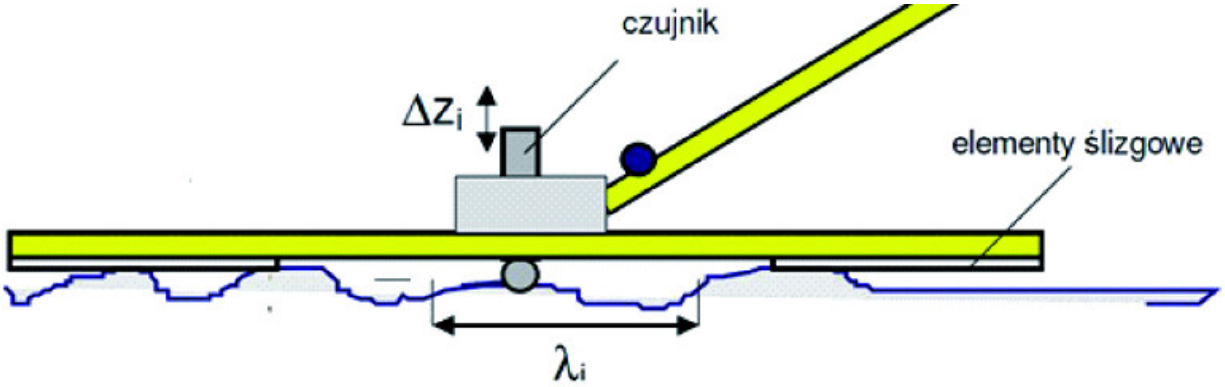
Nowsze wersje tej techniki pomiarowej zastępują mechaniczne (dotykowe) odtworzenie profilu zużytej szyny metodą bezdotykową za pomocą laserowych czujników pomiaru odległości. Opisane profilografy są przedstawione na fot. 2.



Fot. 2. Profilomierz X-Y do torów i rozjazdów – dotykowy i bezdotykowy (optyczny za pomocą czujnika laserowego) sposób odwzorowania kształtu profilu zużytego w wybranym przekroju kontrolnym [8]

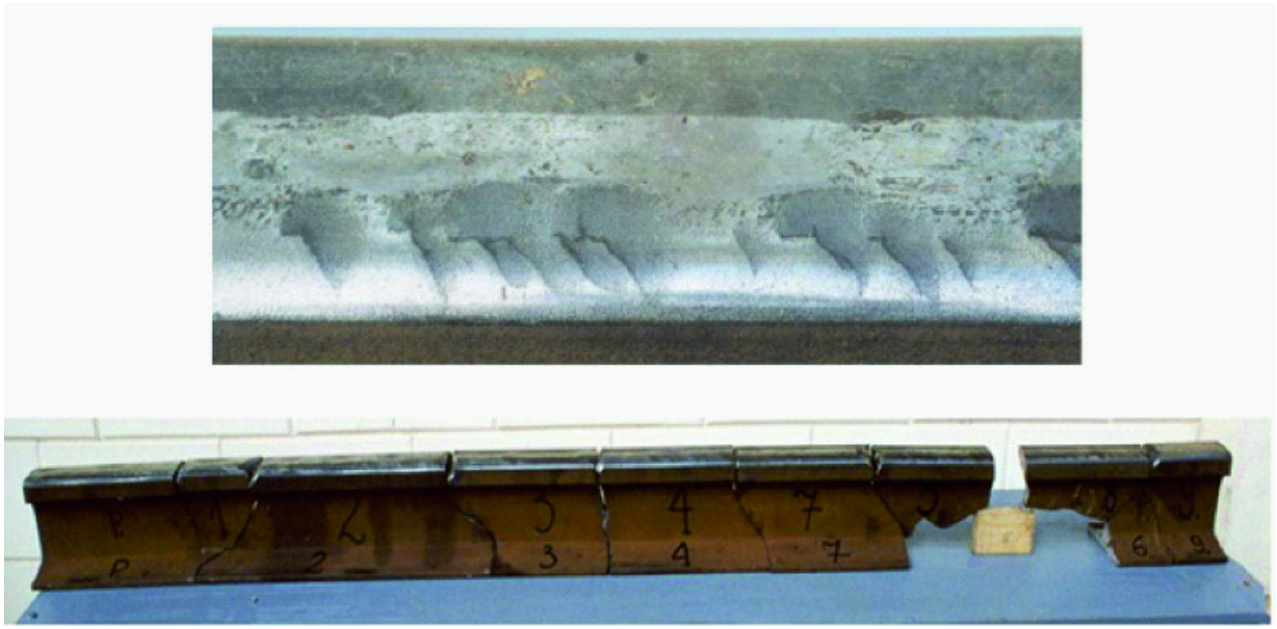
Na analogicznej zasadzie działają współczesne przyrządy pomiarowe (falistomierze lub prostomierze) do badania jednego z głównych czynników wywołujących emisję hałasu i wibracji podczas przejazdu pociągów, tj. zużycia falistego na powierzchni tocznej główki szyny. Przyrządy te służą także do badania prostości szyny w złączach szynowych (spoinach i zgrzeinach) nie tylko na powierzchni tocznej, lecz także na jej powierzchni bocznej – odwzorowują one nie poprzeczny, lecz podłużny profil szyny za pomocą czujników dotykowych lub bezdotykowych przemieszczanych wzdłuż szyny na częściowo nakładających się na siebie odcinkach o długości do ok. 1,5 m lub też przemieszczanych wzdłuż szyny w sposób ciągły na dłuższych odcinkach.

Fot. 3. Widok zużycia falistego na powierzchni tocznej główki szyny – jaśniejsze powierzchnie odpowiadają strefie wierzchołków fali [7]

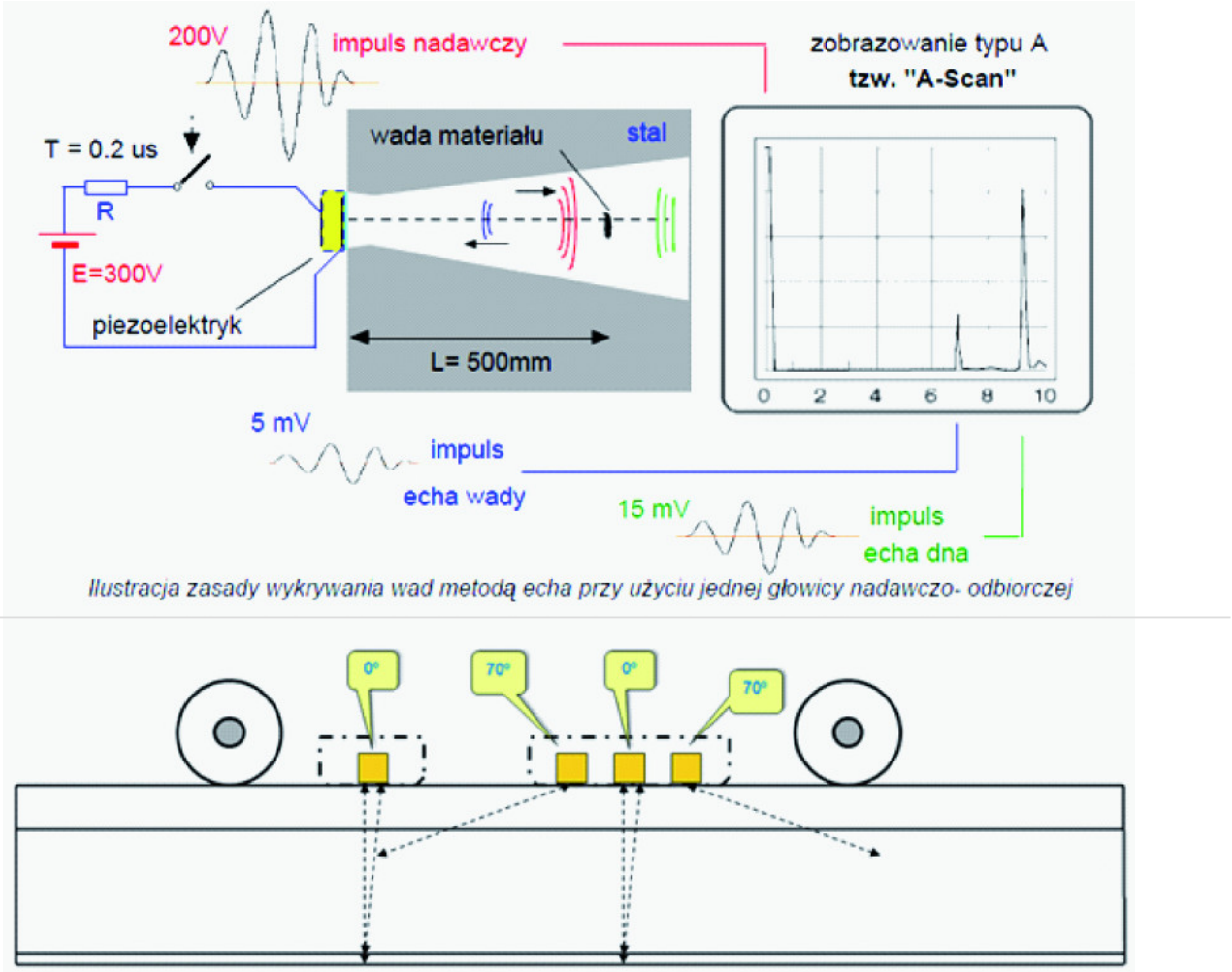


Rys. 4. Ogólna zasada pomiaru zużycia falistego za pomocą falistomierza z czujnikiem dotykowym [7]

Przykład zużycia falistego na powierzchni tocznej główki szyny przedstawia fot. 3, a zasadę pomiaru tego rodzaju przy zastosowaniu czujnika dotykowego mierzącego głębokość fali (rys. 4).
Oprócz zewnętrznych symptomów zużycia szyn, są prowadzone w skali całej sieci przez Centrum Diagnostyki PKP PLKP badania wewnętrznych wad materiałowych, pęknięć i rys występujących w szynach. Zaniechanie systematycznej kontroli stanu szyn w tym zakresie może prowadzić do nieoczekiwanych ich pęknięć, powodujących skutki w postaci wykolejeń lub nawet katastrof kolejowych. Badania takie są prowadzone pojazdami defektoskopowymi zapewniającymi wykrywanie wewnętrznych wad w szynach podczas jazdy z prędkościami co najmniej 80 km/h.
Przykład wielokrotnego spękania szyny wskutek niewykrytych w odpowiednim czasie wad wewnętrznych oraz wad kontaktowo-zmęczeniowych na powierzchni tocznej przedstawia fot. 4, a zasadę wykrywania takich wad za pomocą badań wagonem defektoskopowym przedstawia rys. 5.



Fot. 4. Przykład wad kontaktowo-zmęczeniowych na powierzchni tocznej szyny oraz widok wielokrotnego spękania szyny [7]



Rys. 5. Zasada wykrywania wewnętrznych wad szyn z zastosowaniem ultradźwiękowej metody echa w głowicach nadawczo-odbiorczych w wagonie defektoskopowym Centrum Diagnostyki PKP PLK [7]

Przedstawione metody podstawowych pomiarów wykonywanych w ramach badań diagnostycznych szyn są podstawą do oceny ich zdatności eksploatacyjnej i podjęcia decyzji o ewentualnej wymianie. Ocena ta powinna odnosić się do określonych przepisami [4] wartości dopuszczalnego zużycia szyn i innych kryteriów użytkowania szyn przedstawionych w tablicy 4.

Klasa torów	Dopuszczalna liczba pęknięć szyn na 1 km		Dopuszczalne zużycie pionowe [mm]			Dopuszczalne zużycie boczne [mm]	Kąt nachylenia pow. bocznej główki szyny α
	wszystkie n_{odop}	pierwotnych n_{pdop}	UIC60	pozostałe	UIC60	pozostałe	
0	6	2	12		14		65°
1	7	4	14	8	18	12	
2	8	5	16	10	20	14	60°
3	9	6	16	14	20	17	55°
4 i 5	10	7	20	16	22	19	55°
tory boczne	nie określa się		28	25	do dolnej krawędzi główki		55°

Uwagi:
1) w przypadku równoczesnego wystąpienia zużycia pionowego i bocznego, dopuszczalne zużycie pionowe należy zmniejszyć o połowę rzeczywistego zużycia bocznego
2) w torach klasy 0 niedopuszczalne jest, po osiągnięciu dopuszczalnego zużycia bocznego, przekładanie (zamienianie) szyn w tokach
3) w szynach przekładanych, po osiągnięciu dopuszczalnego zużycia bocznego, dopuszczalne zużycie pionowe należy zmniejszyć o połowę obustronnych zużyć bocznych

Tablica 4. Wartości graniczne dla kryteriów użytkowania szyn

Diagnostyka realizowana w odniesieniu do pozostałych elementów składowych konstrukcji nawierzchni kolejowej nie wymaga tak skomplikowanego sprzętu pomiarowego jaki jest stosowany w badaniach diagnostycznych szyn. Badania te polegają na zliczaniu uszkodzeń i ewentualnym pomiarze ich zakresu wykonywanym prostym sprzętem takim jak linijka, taśma lub suwmiarka. Szczegółowy opis wymagań i zasad kwalifikowania podkładów, złączek i podsypki do wymiany jest opisany w załączniku do instrukcji Id-1 [4]. W ramach badania tych elementów składowych nawierzchni (za wyjątkiem złączek) określa się dla każdego z nich odrębny stopień degradacji, który następnie jest brany pod uwagę przy obliczaniu wskaźnika syntetycznego degradacji, tj. wartości średniej ze wszystkich wyników cząstkowych.

Podsumowanie

Diagnostyka nawierzchni kolejowej jest ważnym elementem złożonego procesu utrzymania infrastruktury torowej na liniach kolejowych. Zakres i metody działania podejmowane w ramach badań diagnostycznych opisane w artykule wskazują, że jest to rozwojowy element procesu utrzymania, w którym są stosowane współczesne, zaawansowane techniczne metody pomiarowe oraz sprzęt umożliwiający efektywne dokonywanie na dużym obszarze sieci kolejowej miarodajnej i zobiektywizowanej oceny stanu nawierzchni kolejowej stanowiącej podstawę do racjonalnego zarządzania procesami jej utrzymania.

dr inż. Wojciech Oleksiewicz
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej
Instytut Dróg i Mostów

Bibliografia

1. Bałuch H., Diagnostyka nawierzchni kolejowej, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1978.
2. Grulkowski S., Kędra Z., Koc W., Nowakowski M. J., Drogi szynowe, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2013.
3. Kędra Z., Technologia robót torowych, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2013.
4. PKP PLK – Warunki utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1, 2005, www.plk-sa.pl/files/public/user_upload/pdf/Akty_prawne_i_przepisy/Instrukcje
5. PKP PLK – Instrukcja diagnostyki nawierzchni kolejowej Id-8, 2005, www.plk-sa.pl/files/public/user_upload/pdf/Akty_prawne_i_przepisy/Instrukcje
6. PKP PLK – Instrukcja o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów Id-14, 2010, www.plk-sa.pl/files/public/user_upload/pdf/Akty_prawne_i_przepisy/Instrukcje
7. Centrum Diagnostyki PKP PLK, www.plk-sa.pl/kontakt/centrum-diagnostyki/
8. www.facebook.com/grawcom/photos/