Pojazdy do diagnostyki infrastruktury drogi kolejowej w Niemczech

Janusz POLIŃSKI[1]

Streszczenie

W artykule opisano w ujęciu historycznym pojazdy wykorzystywane do diagnozowania różnych parametrów drogi kolejowej kolei niemieckich. Przedstawiono pojedyncze wagony, zespoły wagonów i pociągi pomiarowe. Skoncentrowano się na pojazdach wykorzystywanych do badań układu geometrycznego toru, konstrukcji nawierzchni drogi kolejowej, a także sieci trakcyjnej. Przedstawiono również pojazdy do diagnozowania sygnałów radiowych i hałasu występującego na drodze kolejowej. Wśród wielu pojazdów znalazły się także innowacyjne pojazdy ICE-S do monitorowania linii Kolei Dużych Prędkości (kdp) oraz określania dopuszczalnej prędkości jazdy na łukach. Zamieszczono także informacje o wdrażaniu nowych koncepcji monitorowania drogi kolejowej przez odpowiednio wyposażone pociągi, wykonujące planowe przewozy podróżnych na liniach dużych prędkości.

Słowa kluczowe: transport kolejowy, koleje DB AG, diagnostyka infrastruktury, wagony pomiarowe

1. Wstęp

DB Netz AG jest zarządcą infrastruktury kolejowej w Deutsche Bahn AG, odpowiadającym za sieć kolejową o długości 33 423 km, na której znajduje się 66 071 rozjazdów i skrzyżowań, 13 736 przejazdów drogowych, 745 tuneli o łącznej długości 592,9 km i 25 149 mostów kolejowych [4]. Głównym zadaniem zarządcy jest zapewnienie ponad 420 przedsiębiorstwom kolejowym „wysokiej jakości infrastruktury bez ograniczeń w dostępności oraz zarządzanie jej eksploatacją" [4]. Obejmuje to tworzenie harmonogramów badań i pomiarów dróg kolejowych w ścisłej współpracy z klientami. Do tego dochodzi dalszy rozwój infrastruktury kolejowej przez inwestowanie w istniejącą sieć, w nowoczesną technologię sterowania ruchem i bezpieczeństwo przewozów oraz w nowe i modernizowane linie [23].

W latach dwudziestych ubiegłego stulecia wzrastająca gęstość sieci kolejowej w Niemczech sprawiła, że wizualne i ręczne kontrole torów kolejowych stały się niewystarczające. Rosnąca częstotliwość ruchu pociągów wykluczała długie przerwy serwisowe związane z pomiarami i obserwacją torów. Jednocześnie systematyczne zwiększano prędkości pociągów, a w przewozach towarowych odnotowywano zarówno wzrost masy brutto pojedynczych wagonów, jak i całych pociągów. Wymagało to zapewnienia precyzyjnego utrzymania torów i niezbędnej diagnostyki zachowania parametrów techniczno-eksploatacyjnych.

Każdy proces diagnostyki tworzą cztery zasadnicze elementy:

- (…) *oględziny, badania i pomiary,*
- *analiza, ocena i interpretacja wyników,*
- *opracowanie wniosków i zaleceń eksploatacyjnych oraz utrzymaniowych,*
- *rejestracja i archiwizacja wyników badań i pomiarów.*

Metody badań diagnostycznych powinny bezpośrednio lub pośrednio pozwalać na ustalenie: dopuszczalnej prędkości, nacisku osi, skrajni budowli, dopuszczalnej masy pociągów oraz dopuszczalnego obciążenia skumulowanego (…) [7].

Bezpieczeństwo i zachowanie płynności przewozów oraz diagnostyka drogi szynowej na kolejach niemieckich jest jednym z najważniejszych celów działania DB Netz AG. Jak zauważył prof. H. Bałuch [2], diagnostyka (…) *jest całokształtem metod i środków służących do określenia jej stanu* (…). Z rozwojem diagnostyki są związane dwa nurty, z których pierwszy (…) *to budowa coraz doskonalszych urządzeń, wielosystemowych pojazdów pomiarowych i całych pociągów pomiarowych* (…) [2]. Drugi nurt (…) *stanowiący przedmiot zainteresowań licznych ośrodków badawczych, to poszukiwanie nowych metod oceny stanu nawierzchni kolejowej. Zainteresowania te wynikają stąd, że od wyników badań diagnostycznych nawierzchni, w tym również od wnikliwości jej oceny, zależy nie tylko bezpieczeństwo ruchu kolejowego, lecz również miejsce, czas i zakres koniecznych napraw – a za-*

[1] Dr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg kolejowych i Przewozów; e-mail: jpolinski@ikolej.pl.

tem nakłady ponoszone na utrzymanie dróg kolejowych (…) [2]. Wyniki badań diagnostycznych są podstawą decyzji dotyczących:

- (…) *wnioskowania trwałej lub okresowej zmiany parametrów techniczno-eksploatacyjnych toru (lokalne ograniczenia prędkości, zmiany dopuszczalnych nacisków osi itp.),*
- *określania rodzaju, zakresu, miejsca i terminu przeprowadzenia napraw,*
- *zmian terminów i zakresu systematycznie wykonywanych badań diagnostycznych,*
- *pozostawienia toru w dotychczasowej klasie* (…) [7].

Obecnie, w DB Netz AG do pomiaru drogi kolejowej i przyległej infrastruktury najczęściej stosuje się pojazdy wielofunkcyjne, które wykonują następujące zadania diagnostyczne [1]:

- *pomiar układu geometrycznego drogi kolejowej,*
- *badania diagnostyczne nawierzchni,*
- *pomiary i badania sieci trakcyjnej,*
- *pomiary i badania na liniach dużych prędkości,*
- *pomiary profilu powierzchni tocznej i zużycia szyn,*
- *pomiary skrajni budowli i jej ograniczeń* [1].

W artykule scharakteryzowano pojazdy pomiarowe stosowane na kolejach niemieckich do diagnozowania dróg kolejowych oraz wskazano kierunki rozwoju diagnostyki.

2. Badania układu geometrycznego drogi kolejowej

Układ geometryczny toru kolejowego ma charakter przestrzenny. Z tego względu jest rozpatrywany w trzech płaszczyznach [7]:

- pionowej (często nazywanej profilem podłużnym, w którym są wyróżniane odcinki toru o jednostajnym pochyleniu, a także łuki kołowe wyokrąglające załomy profilu podłużnego),
- poziomej, zwanej także planem sytuacyjnym, w którym podstawowymi elementami układu są odcinki proste toru, odcinki ułożone w łuku kołowym oraz odcinki w łukach o zmiennej krzywiźnie (tzw. krzywe przejściowe); wyróżnia się także tzw. wstawki proste, czyli krótkie odcinki proste toru ułożone między dwiema krzywymi przejściowymi lub dwoma łukami kołowymi,
- poprzecznej do osi toru, zwanej także przekrojem poprzecznym, w którym wyodrębnia się szerokość toru oraz różnicę wysokości toków szynowych, która na długości łuku kołowego jest stała i nosi nazwę przechyłki.

Ocena stanu toru jest przeprowadzana na podstawie wyników uzyskanych podczas pomiarów wielu parametrów położenia toków szynowych (rys. 1). Do ważnych parametrów z tego zakresu zalicza się szerokość toru i jej gradient, wichrowatość, nierówności poziome i pionowe toków szynowych, a także różnicę ich wysokości. Istotne jest również położenie toru w płaszczyźnie poziomej i pionowej odniesione do znaków regulacji toru, wartości luzów na stykach szyn w torze klasycznym lub wartości przesunięć toków szynowych w torze bezstykowym w stosunku do stałych punktów [7].

Rys. 1. Od pracowników kontrolujących stan torów wymaga się dużego doświadczenia i wysiłku fizycznego [27]

W Niemczech, jednym z pierwszych pojazdów do pomiarów układu geometrycznego torów był pojazd oznaczony symbolem Klv 82-96-23, za pomocą którego przeprowadzano pomiary na terenie ówczesnej Federalnej Dyrekcji Kolei w Essen (rys. 2).

Rys. 2. Jeden z pierwszych pojazdów do pomiarów układu geometrycznego torów [14]

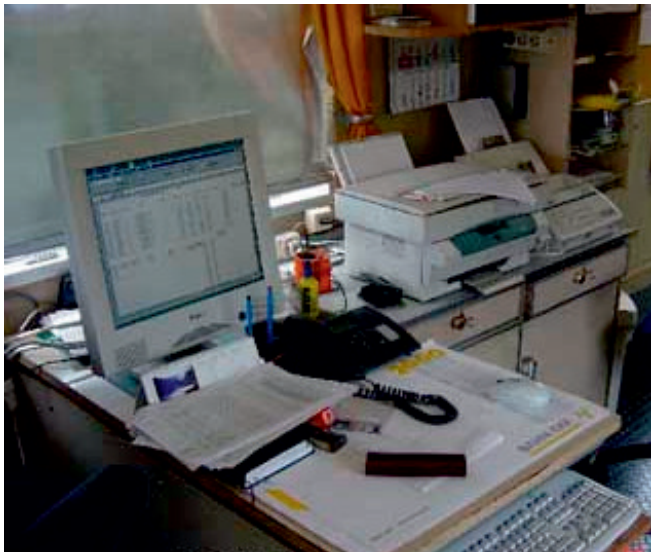
W latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia opracowano pojazd pomiarowy, który dokonywał pomiarów przez skanowanie torów. Dopiero w 1975 roku koleje niemieckie do pomiarów zastosowały pięć pojazdów diagnostycznych, oznaczonych jako GMTZ (od numerów 001 do 005). Służyły one do rejestrowania układu geometrycznego stanu torów i były stosowane na liniach kolejowych Niemiec. Warte podkreślenia jest opracowanie wówczas ujednolicony kryteriów oceny mierzonych wielkości. Pomiary sprowadzały się do badania położenia szyn względem siebie i układu geometrycznego toru. Obecnie, takie pomiary wykonuje się za pomocą laserowych przyrządów optycznych.

We współpracy z Federalnym Centralnym Urzędem Kolejowym w Monachium, zbudowano zespół pomiarowy VS 726 (GMTZ 004) z własnym napędem i wagonem doczepnym (rys. 3), wykorzystywany w ograniczonym zakresie do 2015 roku.

Pojazd do pomiaru układu geometrycznego toru składa się z pomieszczenia pomiarowego (rys. 4) i kabiny maszynisty. Jest wyposażony w urządzenia systemów *Sifa* oraz *Indusi*. System *Sifa* (skrót *Sifa*, to skrót od *Sicherheitsfahrschaltung*, po niemiecku „wyłącznik bezpieczeństwa jazdy") monitoruje czujność

maszynisty. Jest wyposażony w pedał i/lub duży przycisk, który maszynista musi wielokrotnie naciskać po ustalonym czasie; jeżeli tego nie zrobi, pociąg zatrzyma się w trybie awaryjnym. Uzupełnia zewnętrzne systemy bezpieczeństwa pociągów: PZB (*Punktförmige Zugbeeinflussung* – punktowy wpływ na pociąg), LZB (*Linienzugbeeinflussung* – liniowy wpływ na pociąg) i ETCS (Europejski system sterowania pociągiem).

Rys. 3. Pojazd VS 726 do pomiarów układu geometrycznego torów [fot. Gerd Rocco Behrendt]



Rys. 4. Wnętrze pojazdu pomiarowego VS 726 [fot. Peter Wagner]

System *Indusi* jest indukcyjnym systemem ochrony pociągu, który rozwijany w Niemczech od 1931 roku nie wymaga zasilania energią elektryczną, gdyż na lokomotywie jest zainstalowany generator częstotliwości. Po wielu ulepszeniach i modyfikacjach, od 1998 roku wszystkie pojazdy trakcyjne w Niemczech musiały być wyposażone w ten system. Używana w Niemczech krótka nazwa *Indusi* pochodzi od niemieckiego *Induktive Zugsicherung* („indukcyjna ochrona pociągu"). Późniejsze generacje systemu nazwane PZB (*Punktförmige Zugbeeinflussung*) były zainstalowane w szafce za kabiną maszynisty. Na środku pomieszczenia pomiarowego znajduje się stół pomiarowy, na którym analizuje się i ocenia wyniki pomiarów. Urządzenia radia torowego, panelu kontrolnego, gaśnicy, skrzynki ratunkowej i części zamiennych są umieszczone w szafie sterowniczej. Stół warsztatowy umożliwia zespołowi operacyjnemu przeprowadzanie drobnych napraw.

Zespół pomiarowy GMTZ 001 wycofano w 1999 roku, GMZT 005 – w 2008 roku, GMTZ 003 – w 2013 roku, GMTZ 002 i GMTZ 004 – w 2016 roku, chociaż ten ostatni używano do prowadzenia pomiarów jeszcze w 2015 roku. Pod koniec 2014 roku, firma Plasser & Theurer dostarczyła do DB Netzinstandhaltung nowy zespół wagonowy, oznaczony jako 725/726 101 (GMTZ 006) do pomiaru układu geometrycznego toru (rys. 5). Oprócz wymienionego pojazdu, do badań układu geometrycznego toru, koleje DB AG wykorzystują także pojazdy diagnostyczne typów VT 702 201 i 719/ 720 301 (rys. 6 i 7).

Rys. 5. Pojazd diagnostyczny 725/726 101 (GMTZ 006) [13]

Należy zauważyć, że pojazdy obecnie stosowane do pomiarów układu geometrycznego torów należą do pojazdów wielofunkcyjnych i służą także do pomiarów i badań innych składników infrastruktury, jak np. sieci trakcyjnej.

Rys. 6. Pojazd diagnostyczny 702 201 [10]

Rys. 7. Zespół diagnostyczny 719 301 [12]

Od dłuższego czasu, do badań stanu geometrycznego toru koleje niemieckie wykorzystują także dwa zestawy pomiarowe o nazwie RAILab[2], przerobione z wycofanych wagonów pasażerskich IC (rys. 8). Pomiary mogą być wykonywane na liniach dużych prędkości z maksymalną prędkością 200 km/h, m.in. za pomocą urządzeń laserowych.

Rys. 8. Wagon pomiarowy RAILab [26]

3. Badania konstrukcji nawierzchni drogi kolejowej

Badania diagnostyczne nawierzchni drogi szynowej obejmują ocenę stanu technicznego szyn, złączek (w przypadku toru klasycznego), podkładów i podsypki. Od wielu lat Deutsche Bahn AG wykonuje ultradźwiękowe testy szyn w celu wykrycia uszkodzeń wewnętrznych, które mogą zagrozić bezpieczeństwu ruchu pociągów. Oprócz badań ręcznych, prowadzi się przede wszystkim badania za pomocą pojazdów pomiarowych, wykonujących zmechanizowane i półautomatyczne badania ultradźwiękowe.

Uszkodzenia szyn mogą być spowodowane wadami podczas ich produkcji oraz różnego rodzaju naprężeniami powstającymi podczas eksploatacji, zwłaszcza pod koniec okresu ich użytkowania. Spotyka się wiele wad takich jak: niejednorodność struktury (wtrącenia niemetaliczne), wady podłużne (wady powstałe podczas walcowania), wady poprzeczne i pęknięcia (oddzielenia w strukturze), wady spawalnicze i pęknięcia zmęczeniowe. Małe pęknięcia, które najczęściej występują w większej liczbie na górnym wewnętrznym promieniu główki szyny, są rejestrowane podczas kontroli główek szyn przez dodatkowy test prądów wirowych, ponieważ nie można ich wiarygodnie wykryć za pomocą ultradźwięków.

Oprócz wykrywania wad wewnętrznych, diagnostyka szyn jest związana z pomiarami zewnętrznych wad i uszkodzeń: zużycia pionowego, bocznego, kąta zużycia główki szyny, falistego zużycia powierzchni tocznej oraz wykrywaniem wad zmęczeniowych, które mogą doprowadzić do pękania szyn.

W celu uniknięcia wpływu wad strukturalnych, nadmiernych zużyć i uszkodzeń, które mogą wpływać na bezpieczeństwo ruchu pociągów, szyny kontroluje się w regularnych odstępach czasu, zgodnie z wytycznymi DB (RIL 821). W zależności od maksymalnej dopuszczalnej prędkości jazdy na danym torze, badania wykonuje się w odstępach od czterech do trzydziestu miesięcy. Szyny na liniach dużych prędkości są sprawdzane co 4 miesiące. Przepisy wymieniają także kilka linii kolei dużych prędkości (kdp), na których pomiary są wykonywane co sześć miesięcy. Konieczne są również regularne kontrole linii, na których odbywa się ruch pociągów S-Bahn, z powodu dużej częstotliwość ich kursowania.

W DB Netz AG są stosowane różne pojazdy do pomiaru nawierzchni torowej. Początkowo nawierzchnia była sprawdzana i diagnozowana głównie za pomocą zmodernizowanych autobusów szynowych, np. takich jak seria 725/726 (rys. 3), jednak wraz z upływem czasu i większymi dopuszczalnymi prędkościami konieczne były bardziej nowoczesne i precyzyjne pojazdy do pomiaru torów. W 1975 roku federalne koleje niemieckie zamówiły pojazd do pomiaru torów serii 719 001 (rys. 9), określany także jako pociąg *Rail Test Express*, umożliwiający pomiary przy prędkości 50 km/h. W 1995 roku zaprojektowano inny pociąg pomiarowy serii 719 102 (rys. 10), w którym aparaturę pomiarową opracowano w niemieckim Instytucie Kolejnictwa w Minden.

Pojazd składa się z trzech wagonów i może wykonywać pomiary z prędkością do 70 km/h. Umieszczony w połowie długości środkowego wagonu wózek z głowicą pomiarową ma czujniki ustawione pod różnymi kątami, mogące wykrywać i rejestrować za pomocą kamery nawet małe nierówności torów. Wszelkie nieprawidłowości związane z szynami i złączami szynowymi są rozpoznawane i mierzone automatycznie.

[2] RAILab – to także nazwa programu wspomagającego projektowanie dróg kolejowych. Służy między innymi do optymalizacji doboru przechyłki, szczegółowej analizy kinematyczno-geometrycznej krzywej przejściowej i łuku kołowego. Umożliwia sprawdzenie, czy nie ma kolizji skrajni na liniach dwutorowych oraz obliczanie parametrów wygięcia rozjazdów łukowych i sprawdzenie wytrzymałości poprzecznej toru.

Rys. 9. (a) Pojazd diagnostyczny 719 001 [11], (b) wózek pomiarowy pojazdu 719 001 [29]

Rys. 10. (a) Pojazd diagnostyczny 719 102 [15], (b) wózek pomiarowy pojazdu 719 102 [30]

Stanowisko do analizy wyników badań ultradźwiękowych firmy Vogt Werkstoffprüfsysteme GmbH/ ScanMaster Systems Ltd. w kolejowym pociągu testowym DB Netz AG pokazano na rysunku 11. Aby zapewnić szybkie przypisanie wykrytych błędów do kilometrażu linii, przed rozpoczęciem jazdy testowej należy określić pozycję zespołu pomiarowego. Ze względu na zbyt dużą masę wagonów pomiarowych, zniekształcających wyniki pomiarów, z wagonów usunięto mechanizmy napędowe, a trójwagonowy zespół sprzęgnięto z dwiema lokomotywami. Dopiero w 2011 roku pociąg przerobiono na skład typu *push-pull* z jedną lokomotywą.

Wzrost odnotowywanych uszkodzeń szyn spowodował poszukiwania nowoczesnych technik ich badań i pomiarów. Osiągnięto to przez połączenie techniki defektoskopowej z techniką prądów wirowych. W opisanym wcześniej pociągu (…) *zastosowano 10 głowic ultradźwiękowych i 4 głowice prądów wirowych.* (…). *Rejestracja sygnałów jest dowiązana do kilometraża i współrzędnych GPS. Sygnały z 1 km zajmują ok. 20 MB pamięci, co wyklucza możliwość analizowania surowych wyników przez człowieka. Do preselekcji tych wyników zastosowano sztuczną sieć neuronową. Po każdym 1000 m sygnały są przetwarzane w czasie rzeczywistym, a sieć dzieli je na 4 grupy – z pierwszą OK i trzy typy uszkodzeń* (…) [2].

Rys. 11. Stanowisko do badań ultradźwiękowych w pociągu testowym 719 102 DB Netz AG [21]

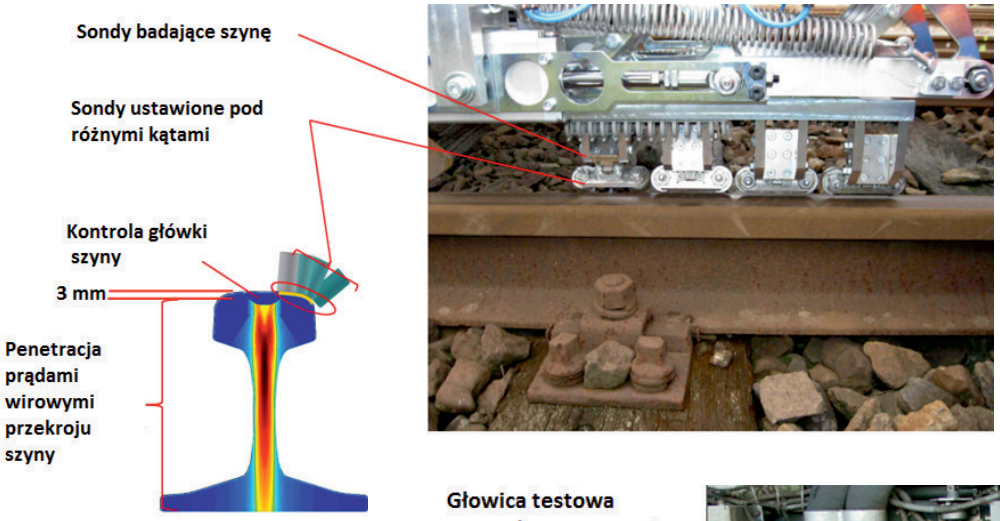
Na rysunku 12 pokazano fragment urządzenia wykonującego badanie szyn za pomocą prądów wirowych, a na rysunku 13 ultradźwiękowe badanie szyn. Przy badaniu prądami wirowymi górna warstwa szyny o grubości 3 mm jest niewidoczna dla aparatury.

Oprócz wad struktury materiału szyny, niewidocznych bez zastosowania przyrządów pomiarowych, występują wady spowodowane współpracą koła z szyną. Według [7, 22], do najczęściej spotykanych wad powierzchni tocznej szyn, zalicza się:

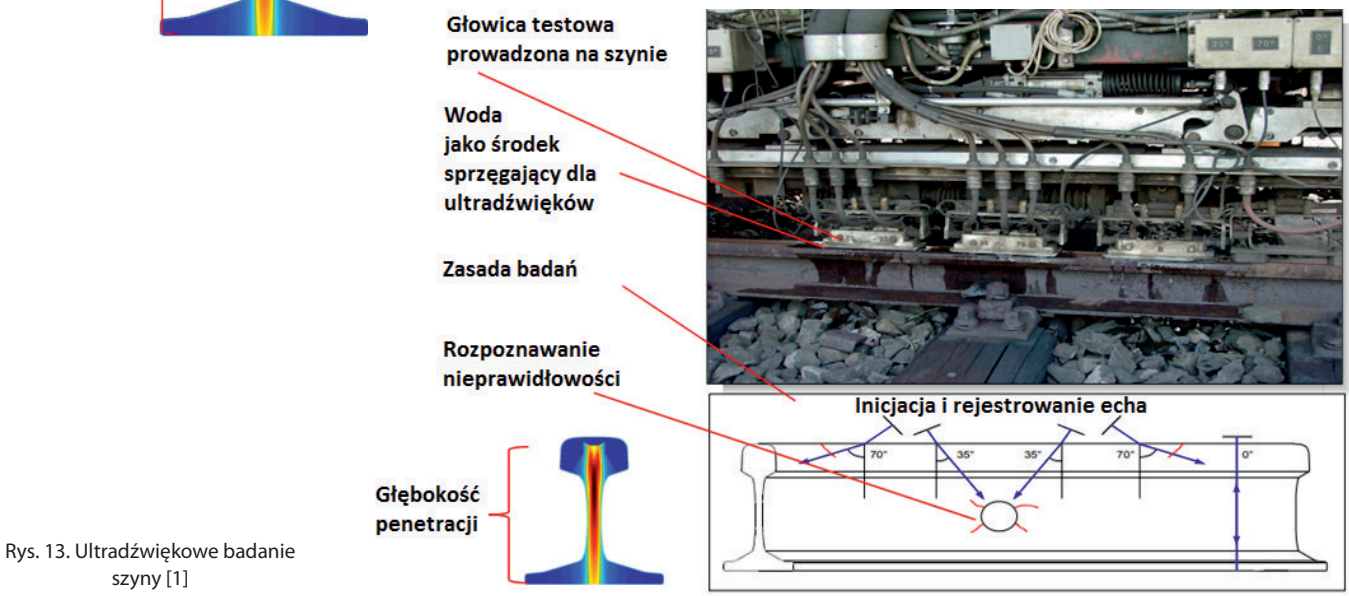
- wybuksowanie,
- zagłębienia (*squat*),
- rysy (*headchecks*),
- drobne, rozsiane zagłębienia na główce,
- łuszczenie blaszkowate (*shelling*) na wewnętrznej powierzchni główki szyny,
- wady technologiczne, w tym wady spoin.

Przykład pomiaru rejestrującego zużycie główki szyny przez ocenę nagrań profilowych laserów liniowych wzdłuż szyny i w poprzek szyny, umożliwiających analizę obrazów wideo, pokazano na rysunku 14.

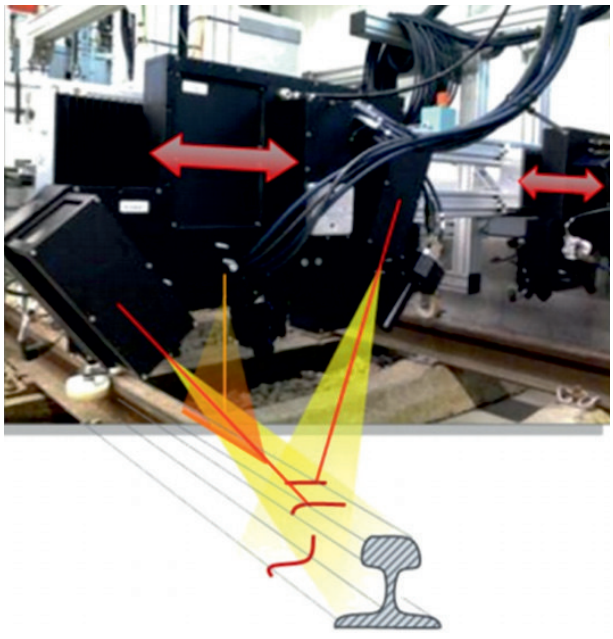
Do pojazdów pomiarowych trzeciej generacji zalicza się dostarczony w 2015 roku przez firmę Plasser & Theurer w Linzu, zespół pomiarowy serii 719 301 (rys. 7) zbudowany w formie modułowej. Składa się on z dwóch wagonów i ma własny napęd. W 2017 roku firma dostarczyła następny pojazd serii 719 302. Pojazdy te służą również do diagnostyki sieci trakcyjnej.



Rys. 12. Badanie szyny prądami wirowymi [1]



Rys. 13. Ultradźwiękowe badanie szyny [1]



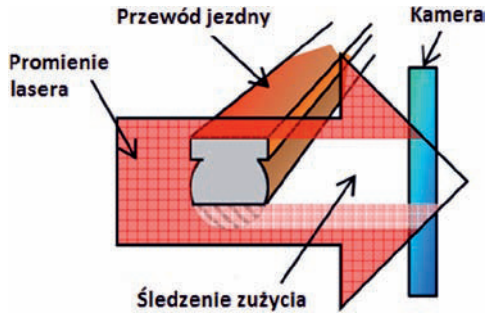
Rys. 14. Laserowy pomiar zużycia główki szyny [1]

4. Badania diagnostyczne sieci trakcyjnej

W latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku, sieć kolejowa Deutsche Bundesbahn była elektryfikowana w szybkim tempie. Stworzyło to potrzebę dysponowania nowym rodzajem pojazdów, które służyłyby do instalowania i utrzymania sieci trakcyjnej. W tym celu koleje niemieckie zamówiły 167 nowoczesnych, głównie dwusilnikowych pojazdów serwisowych VT 55 (od 1968 seria 701, rysunek 15) oraz VT 98 (od 1968 seria 798). Producentem była firma Waggon und Maschinenbau GmbH Donauwörth, która w 1971 roku weszła w skład koncernu Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH (MBB).

Firma MBB dostarczyła pięć pojazdów kontrolno-pomiarowych, opartych na wagonach serii 701/702. W porównaniu do poprzednich wagonów, w pojazdach wzmocniono nadwozia i zmodyfikowano zawieszenia, w celu uniknięcia wpływu na wyniki pomiarów wibracji pojazdu podczas jazdy. Za pomocą tych pojazdów pomiarowych mierzone jest, m.in. za pomocą przyrządów laserowych zużycie przewodu (rys. 16).

Rys. 15. Wagon pomiarowy sieci trakcyjnej [32]



Rys. 16. Zasada pomiaru zużycia przewodu jezdnego [1]

Równocześnie z opisanymi już pojazdami pomiarowymi, eksploatowano także wagon pomiarowy oznaczony jako 720 101, umożliwiający również wykonywanie pomiarów układu geometrycznego torów oraz badania nawierzchni, szyn oraz sieci trakcyjnej. Na rysunku 17 pokazano ten wagon doczepiony do lokomotywy, a za nim wagon socjalny.

Rys. 17. Pociąg z wagonem pomiarowym 720 101 i wagonem socjalnym [fot. Jürgen Stainhoff]

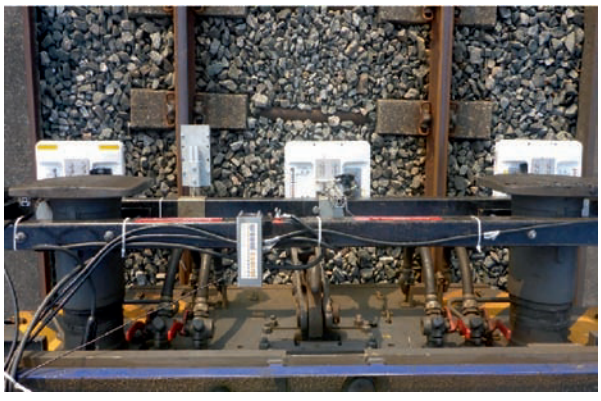
5. Badania diagnostyczne podtorza i podłoża

Bezpieczna eksploatacja linii kolejowych jest także związana z podtorzem i podłożem toru odpowiedniej jakości. Wiedza na temat stanu technicznego tych struktur jest zapewniana przez badania georadarowe, które pokazują grubości warstwy podsypki i warstwy ochronnej oraz ich strukturę. (…) *System badań georadarowych GPR (Ground Penetrating Radar) zapewnia identyfikację wad podtorza: niecki, osunięcia skarp nasypów i przekopów, wodnych zastoisk, osiadań nasypów na podatnych lub słabonośnych podłożach i na obszarach szkód górniczych. Bezinwazyjne badania georadarowe umożliwiają i zapewniają uzyskanie w krótkim czasie, bez wpływu na infrastrukturę kolejową czy rozkład jazdy pociągów, informacji dotyczącej stanu i struktury podtorza i jego podłoża* (…) [8].

Jednym z kilku rodzajów pojazdów pomiarowych z własnym napędem, używanych przez koleje niemieckie, jest pojazd EM-SAT 120 (rys. 18), opracowany przez austriacką firmę Plasser&Theurer. Pojazd składa się z dwóch części: drezyny pomiarowej EM i wózka pomiarowego SAT, zwanego satelitą (w czasie jazdy wózek znajduje się na drezynie). Najczęściej jest wykorzystywana drezyna pomiarowa EM120, jednak na uwagę zasługuje także wózek pomiarowy, umożliwiający pomiar układu geometrycznego toru za pomocą bezdotykowego, inercyjnego, nawigacyjnego systemu INAV (ang. *Non-Contact Inertial Navigational Track Geometry Measuring System*). Pojazd złożony z drezyny i wózka nosi nazwę EM Sat 120. Oprócz przyrządów do pomiarów układu geometrycznego toru, pojazd może być wyposażony w georadar.

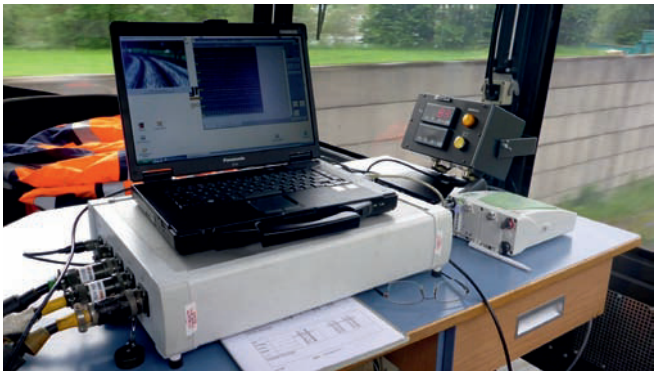
Rys. 18. Pojazd pomiarowy EM-SAT 120 [16]

Innym pojazdem używanym przez koleje niemieckie do badania podtorza jest drezyna, którą wyposażono w bezinwazyjne urządzenia georadarowe (rys. 19). Widok przeno-



Rys. 19. Drezyna wyposażona w urządzenia georadarowe [5, 24]

śnego sprzętu do rejestracji wyników pomiarów pokazano na rysunku 20.



Rys. 20. Wyposażenie do rejestrowania wyników pomiarów podtorza i podłoża [24]

6. Inne pojazdy wykorzystywane przez koleje niemieckie do diagnostyki drogi kolejowej

W Niemczech są produkowane kolejowe pojazdy diagnostyczne dla firm zajmujących się badaniami stanu torów. Przykładem jest zespół pomiarowy UST 02. Pojazdy tego typu są wykorzystywane m.in. przez firmę Eurailscout (*Eurailscout Inspection* & *Analysis*) – niemiecko-holenderską spółkę joint venture z siedzibą w Amersfoort i oddziale w Berlinie, specjalizującą się w monitorowaniu różnymi metodami stanu linii kolejowych. Oprócz Holandii i Niemiec, pojazdy pomiarowe Eurailscout są wykorzystywane w Szwajcarii, Danii, Wielkiej Brytanii, Szwecji, Norwegii, Włoszech, Słowenii i Chorwacji. Każdy zarządca infrastruktury kolejowej, jak np. DB Netz AG, jest zobowiązany do wykonywania pomiarów stanu torów w określonych odstępach czasu. Do tego celu wykorzystuje zarówno własne pojazdy pomiarowe, jak również pojazdy od prywatnych firm, takich jak np. Eurailscout.

Konstrukcję i wyposażenie pomiarowe zespołu pomiarowego UST 02 opracowano w 2002 roku, a kilkanaście pojazdów zbudowano w latach 2003–2005 w GBM *Gleisbaumechanik* w Kirchmöser w Brandenburgii. Czoło pojazdu jest typowe dla pojazdów tego producenta. Pojazd UST 02 służy do badania szyn za pomocą ultradźwięków i prądów wirowych oraz wielu innych pomiarów, takich jak badania podtorza i podłoża toru, a także jego układu geometrycznego. Dwuczęściowy zespół pomiarowy z własnym napędem może przemieszczać się z maksymalną prędkością 120 km/h i przeprowadzać pomiary z prędkością do 100 km/h. Widok pojazdu pomiarowego oraz jego wnętrze pokazano na rysunku 21.

Koleje DB AG dysponują wagonem diagnostycznym, służącym do pomiarów radiowych (rys. 22). Ponieważ pojazd nie ma własnego napędu, podczas jazd pomiarowych musi być przyłączony do lokomotywy i dlatego został wyposażony w elementy sterowania typu *push-pull*, co umożliwia jazdę w obu kierunkach. Dzięki pojazdowi można dokonywać pomiarów zasilania radiowego wzdłuż linii kolejowej, poziomu zasilania GSM dla GSM-R i operatorów publicznych, a także przeprowadzać analizę usterek (identyfikacja przyczyn zakłóceń / usterek w zasilaniu radiowym). Dzięki zainstalowanej aparaturze, można wykonać m.in. pomiary poziomu dostarczanych sygnałów radiowych i innych usług radiowych. Pojazd wyposażono w czternaście anten (o częstotliwości od 87 MHz do 5,87 GHz), a także w różne odbiorniki testowe, analizatory sieci i telefony komórkowe.

Rys. 22. Pojazd do pomiarów radiowych [25]

a)

b)

Rys. 21. (a) Widok pojazdu pomiarowego UST 02 [31], (b) widok części pojazdu służącej do opracowywana wyników pomiarów [18]

Innym interesującym pojazdem jest wagon pomiarowy do określania jakości akustycznej powierzchni tocznej szyny (rys. 23). Wagon jest elementem pociągu pomiarowego, w którego skład wchodzi wagon dla personelu badawczego oraz lokomotywa. Pociąg monitoruje odcinki linii kolejowych, sklasyfikowanych jako „specjalnie monitorowany tor", pod względem jakości akustycznej odcinków linii przed i po szlifowaniu szyn, a także służy do oceny efektów stosowania innowacyjnych rozwiązań redukcji trwałego hałasu drogi kolejowej. Pomiary mogą być prowadzone dla zakresu prędkości od 80 km/h do 200 km/h.

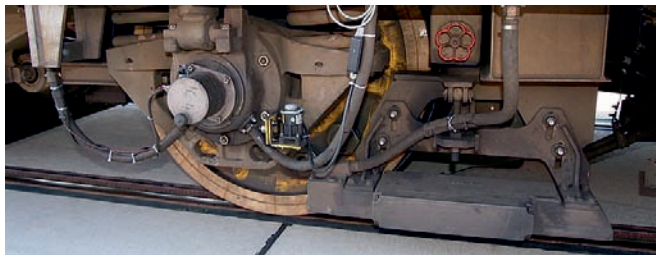
Rys. 23. Pociąg pomiarowy do określania jakości akustycznej powierzchni tocznej szyny [25]

Innym rodzajem pociągów pomiarowych są pociągi używane do przejazdów kontrolno-pomiarowych na liniach dużych prędkości. Zgodnie z przepisami kolei DB AG, przejazdy każdą linią kolei dużych prędkości odbywają się od dwóch do trzech razy w roku. Oprócz pomiarów układu geometrycznego torów zgodności z normą EN 13848 (Kolejnictwo/Tor – Jakość geometryczna toru), w trakcie przejazdu dokonywane są pomiary sił występujących między kołem i szyną, a także sprawdzana jest współpraca pantografu z siecią trakcyjną oraz jej położenie względem osi toru.

Przykładem takiego laboratorium jest specjalnie wyposażony skład ICE-S (rys. 24), który wybudowano w 1997 roku na bazie pociągu ICE-V. Z założenia, skład miał być podstawą badań elementów konstrukcji pociągów ICE trzeciej generacji. Pociąg zbudowano w konfiguracji modułowej tak, aby można było wykorzystać poszczególne elementy do badań eksploatacyjnych różnych typów wagonów, w tym włączenia wagonów pomiarowych [20].

Rys. 24. Pociąg pomiarowo-testowy ICE-S [17]

Pociąg ma dwa wagony napędowe, na których zamocowano po jednym pantografie. Pociąg ma wiele zmodyfikowanych rozwiązań. Ze względu na jego małą długość, nie wolno podnosić obu pantografów, ponieważ tylny pantograf nie miałby niezawodnego kontaktu z wibrującym przewodem sieci trakcyjnej, dlatego zasilanie obu wagonów odbywa się za pomocą specjalnego przewodu, zasilanego z jednego pantografu. Środkowe wagony pomiarowe (mogą być trzy wagony), zostały wyposażone w wózki stosowane w pociągach ICE-3, które po zmodyfikowaniu wyposażono w dodatkowy osprzęt pomiarowy (rys. 25). Dane z 96 kanałów pomiarowych są przekazywane kablami światłowodowymi do urządzeń rejestrujących zmierzone wartości (rys. 26), gdzie są przetwarzane i rejestrowane.



Rys. 25. Czujniki zainstalowane na wózku pociągu pomiarowego ICE-S [28]

Pociąg jest również wykorzystywany do testowania i sprawdzania pod względem zgodności ze specyfikacjami interoperacyjności nowych technologii zastosowanych na zmodernizowanych lub wybudowanych od podstaw liniach kolejowych [9, 16].

Rys. 26. Fragment wnętrza wagonu pomiarowego pociągu pomiarowo-testowego ICE S [28]

Innym pojazdem, interesującym ze względu na możliwości wykonywania pomiarów, jest pociąg pomiarowy NeiTech (VT 612) przedstawiony na rysunku 27. Za pomocą tego pojazdu można przeprowadzać badania przechyłki toru na łukach o różnych promieniach, a także określać dopuszczalną prędkość ich pokonywania.

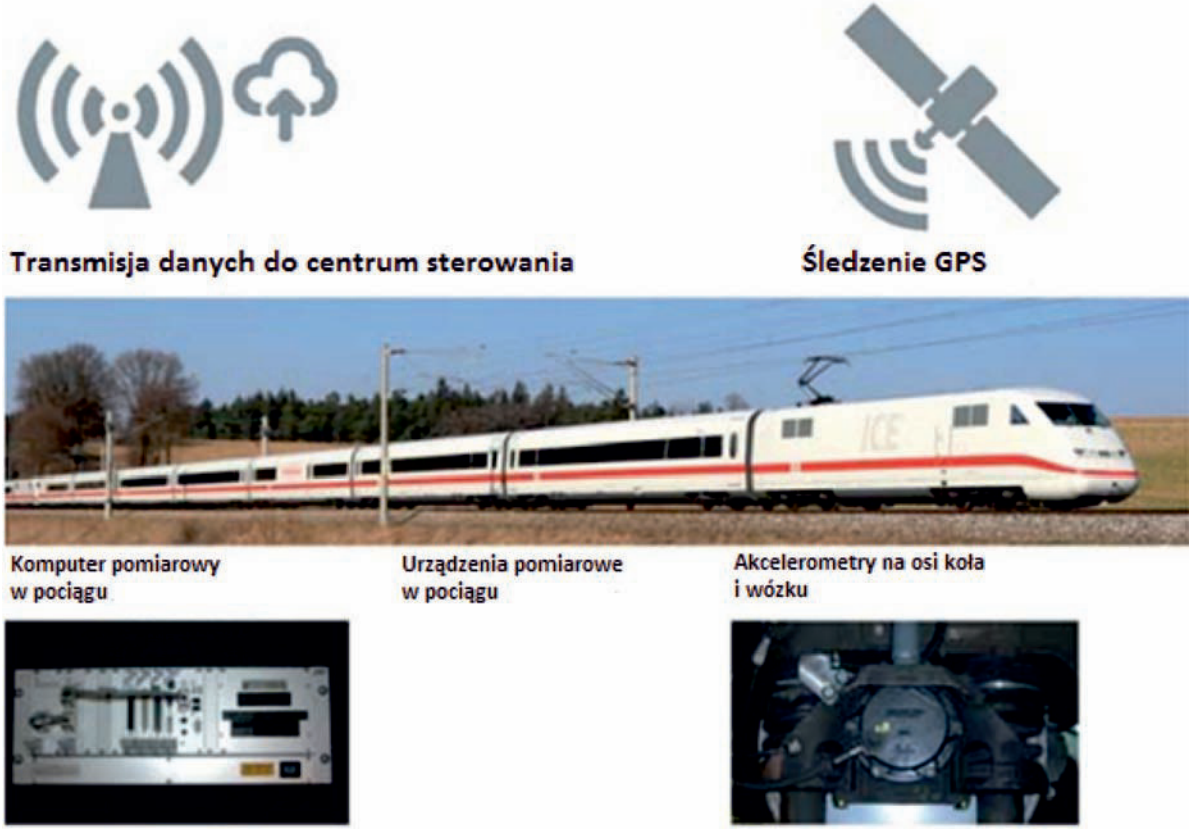
Rys. 27. Pociąg pomiarowy NeiTech (VT 612) [22]

Ten pociąg jest wykorzystywany do regularnych przeglądów linii kolejowych w zakresie sprawdzenia ich parametrów techniczno-eksploatacyjnych, w tym do badań współdziałania pantografu z siecią trakcyjną oraz zużycia szyn i analizy ich uszkodzeń, a także pomiaru sił na styku koło – szyna na „krętych" odcinkach linii kolejowych, zwłaszcza na liniach górskich.

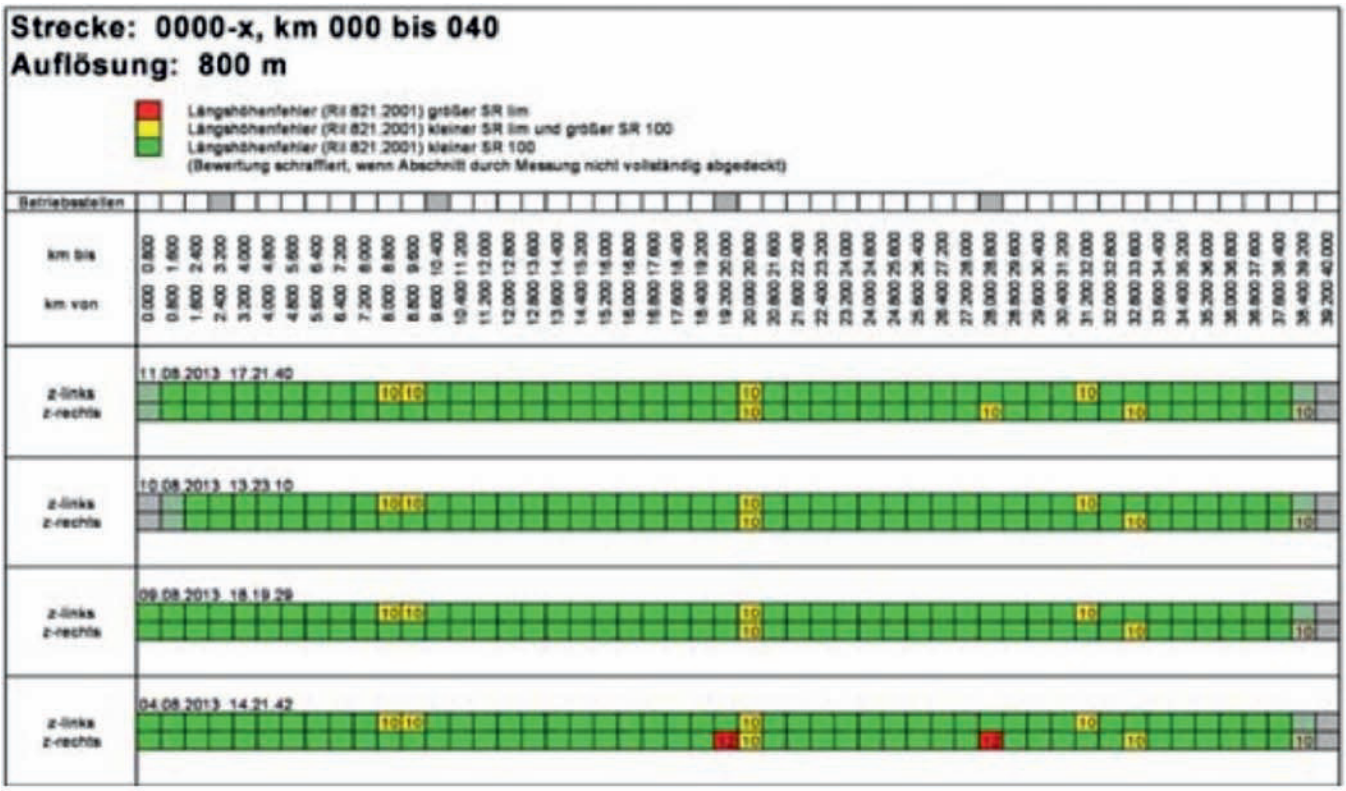
Należy także zauważyć, że w dążeniu do ekonomicznie uzasadnionej efektywnej konserwacji eksploatowanych linii kolejowych, jest rozwijana cyfryzacja procesów zapobiegawczych, oparta na monitoringu stanu drogi kolejowej, do czego wykorzystuje się regularnie kursujące pociągi. Koleje DB AG realizują w tym względzie strategię konserwacji naprawczej i zapobiegawczej, sprowadzającą się docelowo do sytuacji, w której mała liczba pojazdów monitoruje całą sieć. W tym celu firma DB Systemtechnik opracowała skuteczną metodę ciągłego monitorowania stanu technicznego linii kolejowych, ich parametrów, a nawet działania niektórych urządzeń. Oprócz rozwiązań konwencjonalnych w postaci różnorodnych pojazdów pomiarowych, w urządzenia do monitoringu zaczęto wyposażać pociągi wykonujące pracę przewozową. Ten kierunek będzie w najbliższych latach dalej rozwijany. Dzięki temu uzyskano:

- zapewnienie ciągłej kontroli układów torowych,
- podniesienie jakości pracy,
- możliwość efektywniejszego planowania prac konserwacyjnych (oszczędność czasu i pieniędzy),
- ciągłe zapewnienie jakości dróg kolejowych,
- zapewnienie komfortu przewozów, zgodnie z rozkładem jazdy.

Funkcjonowanie tego rozwiązania jest zapewnione przez specjalny system transmisji danych i ich analizy (rys. 28). W efekcie zarządca infrastruktury ma możliwość zdalnego, stałego monitorowania stanu torów. Przykład interaktywnego dziennika odcinka toru pokazano na rysunku 29. Dzięki wyposażeniu odbieraka prądu w specjalne czujniki, rejestruje się również wiele elementów związanych z poprawnością współpracy pantografu z siecią trakcyjną.



Rys. 28. Zasada działania monitorowania stanu technicznego drogi kolejowej [6]



Rys. 29. Interaktywny dziennik odcinka toru [6]

System pomiarowy spełnia wymagania normy EN-13848-2: Kolejnictwo/Tor – Jakość geometryczna toru 2. Systemy pomiarowe – pojazdy rejestrujące parametry toru. Ważnym elementem jest możliwość zdalnego sterowania systemem. Urządzenia diagnostyczne zainstalowane na jednym pociągu ICE-2 umożliwiają przeprowadzenie w ciągu roku diagnostyki na 5 mln. km linii. Według danych firmy DB Systemtechnik, jak dotąd nie odnotowano usterek w systemach pomiarowych, a systemy nie spowodowały utrudnień w normalnej pracy składu pociągu, wpływających na odchylenia od rozkładu jazdy.

7. Podsumowanie

W artykule nie opisano pojazdów kontrolno-diagnostycznych do pomiarów ograniczeń skrajni występujących na kolejach niemieckich, gdyż te zagadnienia są przedmiotem publikacji [19]. Te dwa artykuły dają pełny obraz różnorodności pojazdów diagnostycznych wykorzystywanych do monitorowania dróg kolejowych naszego zachodniego sąsiada.

Z przeprowadzonego w artykule przeglądu narzędzi służących do diagnozowania linii kolejowych obserwuje się proces ukierunkowania diagnostyki na wykorzystywanie pojazdów służących do przeprowadzania kompleksowego badania drogi kolejowej.

Przy obecnym wykorzystywaniu przepustowości linii kolejowych bardzo istotne jest jak najmniejsze ingerowanie w uruchamianie dodatkowych pociągów pomiarowych, co może wpływać na jakość zadań przewozowych i punktualność przewozów. Z tego względu, oprócz przechodzenia na wykorzystywanie wielozadaniowych pojazdów diagnostycznych, koleje DB AG wykorzystują do diagnozowania linii pociągi wykonujące planowe przewozy. Jest to możliwe zarówno dzięki nowoczesnym rozwiązaniom przyrządów pomiarowych, jak i cyfryzacji procesów. Tworzenie specjalnych narzędzi przekazywania wielu danych w czasie rzeczywistym i wielkich zbiorów danych oraz coraz powszechniejsze metody obróbki zgromadzonych danych, są niewątpliwie przyszłością nowoczesnego utrzymania dróg kolejowych, prowadzenia konserwacji i napraw przy minimalnych nakładach na ten cel i zapewnieniu bezpieczeństwa przewozów.

Bibliografia

1. Allweil M.: *Veranstaltung DMG Bezirksgruppe Mitte*. Fahrwegmessung bei der DB Netz AG. DB Netz AG 2014.
2. Bałuch H., Bałuch M.: *Determinanty prędkości pociągów – układ geometryczny i wady toru*, Monografia Instytutu kolejnictwa. Warszawa, 2010.
3. Bałuch H.: *Zagrożenia w nawierzchni kolejowej*. Monografia Instytutu Kolejnictwa. Warszawa, 2017.

4. Deutsche Bahn AG. Raport roczny, stan na kwiecień, 2020 r.
5. Drezyna do pomiaru podtorza i podłoża. https://saferailsystem.com/de/media.html [dostęp: 30.07.2020].
6. Efficient maintenance: Monitoring the infrastructure using regularly scheduled trains. DB Systemtechnik 2018.
7. Grulkowski S. et.al.: *Drogi szynowe*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 2013.
8. Kampczyk A.: *Integracja techniki GPS i metody georadarowej we współczesnych pomiarach inżynierskich*. TTS Technika Transportu Szynowego, 1-2/2010.
9. Pociąg testowo-pomiarowy ICE-S. https://de.wikipedia.org/wiki/ICE_S. [dostęp: 21.07.2020].
10. Pojazd diagnostyczny 702 201. https://www.bahnbilder.de/bild/Deutschland~Unternehmen~DB+Netz/1165138/db-netz-instandhaltung-mit-dem-fahrwegmesszug.html [dostęp: 14.05.2020].
11. Pojazd diagnostyczny 719 001. http://www.bahnstatistik.de/Bilder/7/719001-501geFahrweg4.jpg [dostęp: 15.05.2020].
12. Pojazd diagnostyczny 719 302. https://rail.lu/materiel/dbschienenpruefexpress.html [dostęp: 14.05.2020].
13. Pojazd diagnostyczny 725/726 101 (GMTZ 006), WWW https://karow900.startbilder.de/bild/DB~Bahndienstfahrzeuge~Diverse+Gleisbaufahrzeuge+und-maschinen/597858/db-netz-instandhaltung-mit-dem-gleismesstriebzug.html [dostęp: 14.05.2020].
14. Pojazd Klv 82-96-23. http://www.sauerlandbahnen.de/bts/2811/2811-880228-M3.htm [dostęp: 12.05.2020].
15. Pojazd pomiarowy 712 102, http://www.bahnstatistik.de/Bilder/7/719102-101ge.jpg [dostęp: 15.05.2020].
16. Pojazd pomiarowy EM-SAT 120. https://www.eisenbahndienstfahrzeuge.de/messen/emsat120/emsat120.htm [dostęp: 30.07.2020].
17. Pojazd pomiarowy ICE-S. https://de.wikipedia.org/wiki/ICE_S#/media/Datei:Mannheimer_Hauptbahnhof-_auf_Bahnsteig_zu_Gleis_10-_Richtung_Heidelberg_(ICE_S)_24.2.2009.JPG [dostęp: 21.07.2020].
18. Pojazd pomiarowy UST 02 z wyposażeniem służącym do opracowywania wyników pomiarów. http://www.eurailscout.com/fleet/ndt/ust02/ [dostęp: 01.08.2020].
19. Poliński J.: *Pomiary ograniczeń skrajni budowli na kolejach niemieckich*. Problemy Kolejnictwa, 2020, z. 189.
20. Rusak R.: *Pociągi dużych prędkości w Niemczech*. TTS Technika Transportu Szynowego, 10/2007.
21. Stanowisko pomiarowe w pojeździe diagnostycznym 719 102 DB Netz AG. https://www.ndt.net/article/v09n10/vogt/fig3.jpg [dostęp: 16.05.2020].
22. Stencel G.: *Ocena powierzchni tocznej szyn na podstawie pomiarów falistości*. Problemy Kolejnictwa, 2016, z. 170.
23. Strona kolei niemieckich DB Netz, https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/unternehmen/db_netz_ag/wirueberuns-1368710 [dostęp: 01.05.2020].
24. Urządzenia georadaru umieszczone na drezynie pomiarowej kolei niemieckich. https://saferailsystem.com/de/technologie.html [dostęp: 30.07.2020].
25. Wagon do pomiarów radiowych oraz wagon do pomiarów hałasu. https://www.db-systemtechnik.de/dbst-en/competences_with_testcener/testcenter/vehicles-test-1677224 [dostęp: 21.07.2020].
26. Wagon pomiarowy RAILab https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/RAILab_Siegburg.jpg [dostęp: 29.07.2020].
27. Wizualne sprawdzanie geometrii toru, WWW https://www.bulletin.ch/de/news-detail/kuenstliche-intelligenz-auf-schienen.html [dostęp: 12.05.2020].
28. Wnętrze wagonu pomiarowego. https://de.wikipedia.org/wiki/ICE_S#/media/Datei:ICE-S_Mittelwagen.jpg [dostęp: 21.07.2020].
29. Wózek pomiarowy pojazdu 719 001. http://www.bahndienstwagen-online.de/bahn/BDW/TFZ/719_0tfz.html [dostęp: 15.05.2020].
30. Wózek pomiarowy pojazdu 719 102. https://www.eisenbahndienstfahrzeuge.de/7er/719_1/719_1.htm [dostęp: 15.05.2020].
31. Zespół pomiarowy UST 02. https://www.bahnbilder.de/bild/deutschland~bahnhoefe-a---e~bergen-rugen/316732/zwischenstop-fuer-den-oesterreichischen-messzug-97.html [dostęp: 29.07.2020].
32. Zmodernizowany wagon pomiarowy sieci trakcyjnej 701. https://i2.wp.com/bahnblogstelle.net/wp-content/uploads/2018/03/db2111.jpg?ssl=1 [dostęp: 21.07.2020].