

*Dr inż. Henryk Sanecki,
Dr inż. Zbigniew Cichocki,
Mgr inż. Sławomir Walczak,
Dr inż. Paweł Urbańczyk,
Inż. Zbigniew Jeleśniański,
Mgr inż. Andrzej Zbieć,
Mgr inż. Grzegorz Wysocki
Instytut Kolejnictwa*

ROZWÓJ METOD BADAWCZYCH WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH TABORU W SZEŚĆDZIESIĘCIOLETNIEJ HISTORII INSTYTUTU KOLEJNICTWA

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie
2. Badanie zderzeniowe (*crash testy*)
3. Badanie i rozwój techniki hamowania pociągu
4. Badania dynamiki jazdy na przestrzeni lat
5. Podsumowanie

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono rozwój techniki kolejowej, a w następstwie rozwój możliwości badawczych Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa w zakresie własności mechanicznych pojazdów szynowych. Omówiono badania własności wytrzymałościowych gwarantujących bezpieczeństwo biernej obsługi i pasażerów, techniki hamulcowej i dynamicznego oddziaływania pojazdów z torem kolejowym. Zaprezentowano rys historyczny prowadzenia badań oraz stan aktualny. Opisano bazę stanowiskowo-pomiarową wykorzystywaną w czasie badań oraz ich potencjalny zakres.

1. WPROWADZENIE

Rozwój gospodarczy i wynikający z niego wzrost wymiany towarowej i ruchliwości społeczeństw powoduje coraz większe zapotrzebowanie na wydajne i efektywne eko-

onomicznie środki transportu, zarówno pasażerskiego jak i towarowego. Od połowy ubiegłego stulecia daje się zaobserwować intensywny rozwój transportu kolejowego, wyrażający się zwiększaniem udziału tego transportu w całkowitym wolumenie transportu lądowego. Przeciążenie sieci drogowej i wynikające z niego wydłużenie czasu przejazdu na różnych trasach, wysokie koszty transportu drogowego zarówno pasażerskiego, jak i towarowego, a także względy ochrony środowiska wskazywały na możliwość podjęcia przez transport kolejowy konkurencji z transportem drogowym. Warunkiem skuteczności tej konkurencji było dostosowanie możliwości transportu kolejowego do rosnących wymagań użytkowników, co stało się podstawowym czynnikiem wymuszającym organizacyjny i techniczny postęp w transporcie kolejowym. Ten postęp następuje we wszystkich dziedzinach techniki składających się na całość systemu kolejowego, a więc również w bardzo istotnym stopniu w dziedzinie techniki taboru kolejowego.

Rozwój techniki taborowej zmierzał i nadal zmierza do realizacji następujących celów:

- zwiększenie prędkości przewozów i wynikające stąd skrócenie czasu przejazdu, zarówno w ruchu pasażerskim, jak i towarowym,
- zwiększenie masy przewożonych towarów i wzrost liczby pasażerów,
- optymalizacja oddziaływania pojazdu na tor i dynamicznego zachowania pojazdu w torze w aspekcie bezpieczeństwa jazdy, szeroko pojętego zużycia toru i układu jezdnego taboru, a także komfortu pasażerów,
- ochrona pasażerów i obsługi pociągu (głównie maszynistów) w przypadku zderzenia, czyli zapewnienie w możliwie największym stopniu tzw. **bezpieczeństwa biernego**,
- obniżenie kosztów eksploatacji, to jest użytkowania i utrzymania taboru,
- zapewnienie możliwości kursowania wszelkiego rodzaju taboru (trakcyjnego i wagonowego) na całej sieci kolei europejskich, czyli tzw. interoperacyjności, zgodnie z odpowiednimi regulacjami prawnymi Unii Europejskiej.

Realizacja tych celów wymaga stałego doskonalenia istniejących, a także wprowadzania nowych rozwiązań konstrukcyjnych w taborze kolejowym. Rozwój technik komputerowych w znacznym stopniu ułatwia i przyspiesza opracowania konstrukcyjne, jednak podstawową rolę w ocenie prawidłowości przyjętych rozwiązań spełniają badania rzeczywistych obiektów. Rozwój techniki taborowej w wymienionych kierunkach wymusza rozwój i doskonalenie technik badawczych zarówno w badaniach o charakterze rozwojowym, jak też badaniach mających na celu weryfikację prawidłowości przyjętych rozwiązań, a także spełnienie wymagań norm, przepisów lokalnych i regulacji europejskich. Te ostatnie wymagają stosowania ściśle określonych procedur badawczych, realizowanych przez akredytowane laboratoria.

Ze względu na coraz bardziej złożony charakter badań taboru, objęcie przez jedno laboratorium całego zakresu badań nie jest praktycznie możliwe. Dlatego, aby osiągnąć odpowiedni poziom technik i procedur badawczych, konieczna jest specjalizacja laboratoriów w wybranych dziedzinach. Wychodząc z tego założenia, Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa podjęło specjalizację w trzech wybranych dziedzinach, a mianowicie:

- badań wytrzymałościowych, w tym odporności zderzeniowej (*crashworthiness*) konstrukcji nadwozi pojazdów szynowych,
- badań w zakresie techniki hamowania pociągu,
- badań dynamiki i bezpieczeństwa współpracy taboru z torem oraz badań komfortu i hałasu.

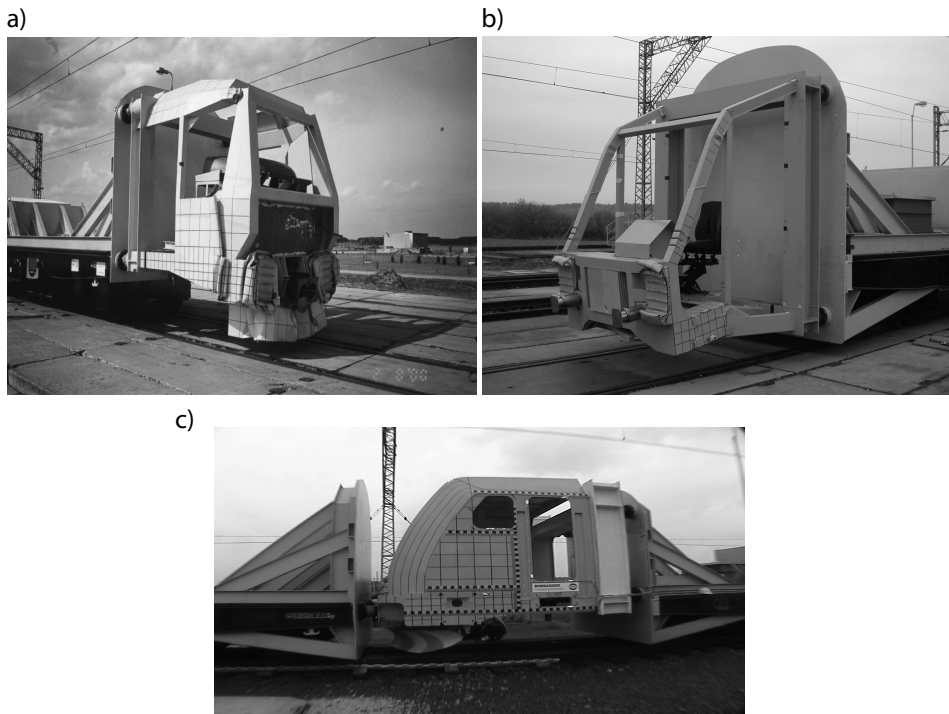
W następnych rozdziałach niniejszego artykułu będzie omówiona szczegółowo działalność i osiągnięcia Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa w tych dziedzinach.

2. BADANIA ZDERZENIOWE (CRASH TESTY)

Jak wykazują badania statystyczne prowadzone w Europie i na świecie, najgroźniejsze w skutkach wypadki, w których uczestniczą pojazdy szynowe to te, w których dochodzi do zderzenia czołowego oraz te, którym towarzyszą wykolejenia pojazdów. Lokomotywy i pasażerskie pojazdy szynowe są obecnie projektowane w taki sposób, aby sprostać wymaganiom mającym na celu zabezpieczenie ludzi przed skutkami kolizji lub katastrof. Wymagania te są określane w skrócie jako bezpieczeństwo bierne. Sprawdzenie bezpieczeństwa biernego może odbywać się na podstawie prac teoretycznych, ale najlepsze rezultaty zapewniają tzw. *crash testy*, stanowiące bardzo dobre narzędzie do weryfikacji proponowanego rozwiązania konstrukcyjnego. Walidacja pojazdów zaprojektowanych z zachowaniem reguł bezpieczeństwa biernego jest skomplikowana i kosztowna, dlatego tak ważne jest gromadzenie doświadczeń uzyskanych podczas każdego tego typu eksperymentu i rozpowszechnianie ich w formie publikacji [1, 3, 11, 12], a także dokumentów normatywnych, takich jak normy [2, 6, 7].

Instytut Kolejnictwa, jako jeden z nielicznych ośrodków badawczych w Europie, dysponuje torem doświadczalnym w Żmigrodzie koło Wrocławia (OETD – Ośrodek Eksploatacji Toru Doświadczalnego). Oprócz innych badań pojazdów szynowych takich, jak np. badania hamulców czy różnego rodzaju jazdy próbne, do tej pory przeprowadzono na nim wiele zaawansowanych eksperymentów typu *crash test* na różnych obiektach w skali 1:1. Należy tu wymienić przykładowo:

- testy zderzeniowe w sierpniu i w listopadzie 2000 r. w projekcie SAFETRAIN (odporność zderzeniowa pociągów europejskich) finansowanym przez Komisję Europejską i UIC) (rys. 1a),
- testy zderzeniowe w listopadzie 2003 r. w projekcie SAFETRAM (bezpieczeństwo bierne w tramwajach europejskich) finansowanym przez Komisję Europejską w programie *Competitive and Sustainable Growth* (rys. 1b),
- wiele innych wysokoenergetycznych testów na prototypach kabin pojazdów szynowych.



Rys. 1. Kabin testowe uczestniczące w *crash testach*; a) odkształcona kabina lokomotywy, projekt SAFETRAIN [9], b) odkształcona kabina tramwaju aglomeracyjnego, projekt SAFETRAM [10], c) kabina lokomotywy TRAXX, projekt Bombardier Transportation [1]

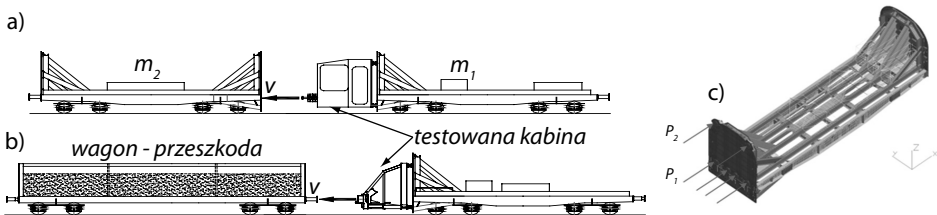
Przygotowano i wykonano *crash testy*, m.in. na kabine lokomotywy TRAXX Bombardier Transportation (rys. 1c), kabinie EMU V250 według projektu włoskiej firmy AnsaldoBreda, kabinie EMU ED74 firmy PESA i inne. Prowadzono też odrębne badania na komponentach układów pochłaniających energię. Oprócz wspólnych europejskich projektów badawczych, podjęto współpracę z innymi europejskimi i światowymi ośrodkami badawczymi, jak np. KRRI z Korei Płd. Doświadczenie w dziedzinie tych badań przekazywano w formie publikacji, referatów oraz opinii dotyczących projektów bazujących na teoretycznych badaniach zderzeniowych (np. projekt ezt 19WE firmy NEWAG, czy też ezt 22WE, 27 WE i 32WE firmy PESA). Przykładowe konfiguracje testów zderzeniowych przeprowadzanych w Żmigrodzie zilustrowano na rysunku 2. Dzięki tym projektom osiągnięto wysoki poziom *know-how* w dziedzinie przygotowywania i wykonywania testów zderzeniowych w skali 1:1.

Dla przykładu scharakteryzowano projekt badawczy SAFETRAM. W przedsięwzięciu uczestniczyło pięciu wiodących europejskich producentów pojazdów szynowych, czterech operatorów linii tramwajowych i kolejowych, dwie instytucje badawcze i dwie uczelnie. Były to firmy z Francji, Niemiec, Włoch, Polski, Portugalii, Szwajcarii oraz Wielkiej Brytanii.

Obiektem badań w projekcie SAFETRAM były dwa typy tramwajów: miejskie (*city*) – kursujące w granicach miasta oraz aglomeracyjne (*periurban*) – przewożące pasażerów ze stref podmiejskich do centrum miasta i wykorzystujące konwencjonalne tory kolejowe. W projekcie zdefiniowano strefy konstrukcji nośnych tych pojazdów przeznaczone do zgniotu, przez co mogą być chronione przestrzenie, w których znajdują się pasażerowie lub motorniczy. Zastosowano wymienne aparaty absorbujące energię, będące zresztą jednymi z najważniejszych podzespołów testowanych w zderzeniach.

Część projektu SAFETRAM dotycząca badań w OETD w Żmigrodzie była prowadzona przez grupy robocze WP4.2 i WP7, które koordynował zespół badawczy kolei niemieckich DB. Ze strony Instytutu Kolejnictwa realizację badań koordynowały Zakład Pojazdów Szynowych i Laboratorium Badań Taboru. Instytut przygotował ogólne i szczegółowe programy organizacyjne zderzeń, projekty pojazdów testowych (rys. 2c) oraz programy pomiarów parametrów przeprowadzanych eksperymentów.

Instytut zapewnił wykonanie wielu prac dotyczących pojazdów, w tym np. montaż badanych kabin, umieszczenie balastów regulujących masy pojazdów, instalacje różnego rodzaju urządzeń pomiarowych, specjalistyczne filmowanie przebiegu eksperymentu itd. Grupa WP7 opracowała wyniki badań oraz współpracowała z grupą WP4.4 w zakresie korelacji symulacji numerycznych z wynikami doświadczalnymi.



Rys. 2. Przykładowe konfiguracje testów [12]:

- a) zderzenie ze sztywną ścianą symulującą symetryczny pojazd,
- b) zderzenie z wagonem towarowym,
- c) model MES wagonu testowego

W tabelicy 1 porównano parametry wybranych testów zderzeniowych przeprowadzonych przez Instytut Kolejnictwa. Widać dużą różnorodność mas, prędkości zderzeń oraz energii przejmowanych przez absorbery i konstrukcje nośne testowanych kabin. Cechą charakterystyczną *crash testów* są duże koszty wykonania stanowisk badawczych oraz konieczność minimalizacji ryzyka niepowodzenia. Świadczy to o tym, jak duże wyzwanie organizacyjne stanowią dla wykonawcy.

Efektom projektów SAFETRAIN, SAFETRAM i innych prac badawczych w tym zakresie jest wkład do niektórych wytycznych normy europejskiej EN 12663 [7], a przede wszystkim normy EN 15227 [2] zawierającej wymagania zderzeniowe dla pudeł pojazdów szynowych.

Tablica 1

Parametry testów zderzeniowych wykonanych przez Instytut Kolejnictwa (rys. 2);
 V_k – prędkość konstrukcyjna, E – energia pochłaniana przez część czołową pojazdu,
 S – przemieszczenie względne pojazdów z absorpcją energii

PROJEKT	TEST	Scenariusz	Kategoria	V_k	V	m_2	m_1	E	S
SAFETRAIN	Test 1	2a	C-I		73.5	45	45	4.6	1800
	Test 2	2b			36	80	45	1.44	400
	Test 2	–			54	90	70	1.4	660
SAFETRAM	City Tram	2a	CIV		14	35	35	0.133	450
	Periurban	2b	CIII	100	25	80	55	0.586	720
Bombardier Transportation	TRAXX	2a	C-I	160	62	46	86	4.5	1007
AnsaldoBreda, Włochy	EMU V250	2a	C-I	250	74	45	71	5.8	2190
PESA Bydgoszcz	EMU ED74	2a	C-I	160	36				

3. BADANIA I ROZWÓJ TECHNIKI HAMOWANIA POCIĄGU

3.1. Wstęp

Pojawienie się w początkach XIX wieku lokomotyw parowych oraz ich stopniowy rozwój, spowodowało rozwój urządzeń sterujących ruchem pociągów oraz doskonalenie hamulców kolejowych. Pierwszymi hamulcami stosowanymi w kolejnictwie były hamulce ręczne obsługiwane przez hamulcowych. Pracą hamulcowych kierował maszynista za pomocą sygnałów dźwiękowych. Ponieważ taki sposób hamowania, zwłaszcza przy większych prędkościach i masach oraz długościach ówczesnych pociągów, był zawodny i coraz mniej skuteczny, prowadzono liczne prace mające na celu udoskonalenie techniki hamowania pociągu. Pierwszym udanym hamulcem, umożliwiającym centralne hamowanie wszystkich zaopatrzonych w hamulec pojazdów pociągu, a także samoczynne hamowanie wagonów w wypadku rozerwania pociągu, był hamulec pneumatyczny skonstruowany w roku 1872 przez George'a Westinghouse'a. Ograniczenia patentowe oraz żywiołowy rozwój techniki w zakresie taboru szynowego sprawiły, że obok hamulca Westinghouse'a zaczęły pojawiać się inne ich rodzaje, oparte jednak na podobnej zasadzie działania. Duża różnorodność spotykanych rozwiązań utrudniała swobodne kursowanie wagonów, zwłaszcza w ruchu międzynarodowym. W związku z tą sytuacją przewoźnicy kolejowi uznali za konieczne powołanie międzynarodowej organizacji, której

zadaniem było między innymi ustalanie wymagań dotyczących budowy pojazdów kolejowych biorących udział w ruchu międzynarodowym.

W 1907 roku w Bernie na trzeciej międzynarodowej konferencji Jedności Technicznej w Kolejnictwie, utworzono specjalną komisję hamulcową, która w 1909 roku ustaliła tak zwany „Program Berneński”. Podano w nim warunki działania hamulców powietrznych oraz wskazówki dotyczące wykonywania doświadczeń z hamulcami. „Program Berneński” nie rozstrzygał wyboru rodzaju hamulca. W tym czasie w zakresie hamowania długich pociągów towarowych konkurowały w Europie jednokomorowy hamulec ze sprężonym powietrzem i hamulec próżniowy. Komisja hamulcowa prowadziła badania zmierzające do wyboru rodzaju hamulca, który miał być docelowo stosowany w taborze kolejowym. Prace te zakłóciła I Wojna Światowa. W czasie wojny Rzesza Niemiecka forsowała wprowadzenie na swoich kolejach hamulca własnego systemu, a mianowicie hamulca Kunze-Knorra. Po przegranej wojnie Niemcy zobowiązały się w układzie wersalskim zaopatrzyć swe wagony w układy hamulcowe, pozwalające wstawiać je do pociągów kursujących na liniach państw zjednoczonych i sprzymierzonych, biorących udział w „Programie Berneńskim”.

Utworzony w 1922 roku Międzynarodowy Związek Kolejowy UIC, obejmujący koleje normalnotorowe, przystąpił do opracowania warunków, jakie powinien spełniać hamulec wagonów towarowych. W tym celu przeprowadzono na liniach kolei włoskich i szwajcarskich doświadczenia z najbardziej rozpowszechnionymi w tym czasie rodzajami hamulców. Na podstawie tych doświadczeń, Związek UIC ustalił 33 warunki opublikowane w czerwcu 1935 r., dotyczące hamulców pociągów towarowych. Następnie Związek UIC ustalił 29 warunków opublikowanych w styczniu 1939 r. dotyczących hamulców pociągów pasażerskich. W miarę rozwoju techniki kolejowej, w tym hamulców kolejowych, te przepisy zawarte w kartach UIC systematycznie uaktualniano. W tych kartach są zawarte zarówno wymagania dotyczące wykonania, jak i badania własności dopuszczonych do ruchu urządzeń hamulcowych i ich elementów.

Na przełomie XX i XXI wieku Wspólnota Europejska przyjęła tzw. „Strategię ożywienia kolei Wspólnoty”. W 2001 roku Parlament Europejski i Rada uchwałyły Dyrektywę 2001/16/WE w sprawie interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnej. Dyrektywa 2001/16/WE, a następnie jej nowelizacja 2008/57/WE ustanawia warunki, które mają być spełnione, aby osiągnąć interoperacyjność transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnej na terytorium Wspólnoty. Warunki te dotyczą projektowania, budowy, uruchomienia, modernizacji, odnowy, eksploatacji i utrzymania tego systemu, jak również kwalifikacji zawodowych i warunków dotyczących zdrowia i bezpieczeństwa kadry związanej z jego eksploatacją. Zważywszy rozmiary i złożoność transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnej, wykazano konieczność – z przyczyn praktycznych – rozbicia go na podsystemy. Dla każdego z tych podsystemów zostały wyszczególnione zasadnicze wymagania i specyfikacje techniczne dla całej Wspólnoty. Wymagania dotyczące hamulców kolejowych zawarte są w tak zwanych Technicznych Specyfikacjach Interoperacyjności, dotyczących podsystemów „tabor kolejowy – wagony towarowe” oraz „tabor kolejowy – lokomotywy i tabor pasażerski”.

3.2. Rys historyczny badań hamulców w Instytucie Kolejnictwa

Badania hamulców kolejowych były prowadzone w Instytucie Naukowo-Badawczym Kolejnictwa (INBK) od początku jego istnienia. Wykonywał je Zakład Pojazdów Szynowych, koncentrując się głównie na badaniach stacjonarnych i ruchowych hamulców w celu określenia zgodności z wymaganiami UIC oraz wyznaczaniu tak zwanych **ciężarów hamujących**, zgodnie z metodyką określoną przez UIC. W 1970 roku ówczesny Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Kolejnictwa (COBiRTK) zawarł umowę z Instytutem Pojazdów Szynowych Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej o współpracy naukowo-technicznej w zakresie wszelkich prac związanych z hamulcami pojazdów szynowych i niezawodnością pojazdów szynowych.

Umowa przewidywała między innymi oddelegowanie pracowników COBiRTK do pracy w zespole zajmującym się zagadnieniami hamulcowymi w Instytucie Pojazdów Szynowych PK. Korzystna współpraca COBiRTK z IPSz PK doprowadziła w 1973 roku do powołania w Zakładzie Pojazdów Szynowych COBiRTK, zamiejscowej Pracowni Hamulców z siedzibą w Krakowie, przy Instytucie Pojazdów Szynowych PK.

Do zakresu działania Pracowni należały prace badawcze związane z kompleksową problematyką wszystkich rodzajów hamulców kolejowych, obejmujące również sprawy sterowania i współpracy poszczególnych systemów hamowania, a w szczególności:

- badania tarciovo-zużyciowe materiałów ciernych stosowanych do produkcji wstawek hamulcowych i okładzin ciernych,
- badania i ocena istniejących układów hamulcowych,
- badania układów hamulcowych prototypowych lub modernizowanych,
- opracowywanie wytycznych do modernizacji istniejących układów hamulcowych,
- modernizacja układów hamulcowych,
- opracowywanie wytycznych do nowych rozwiązań układów hamulcowych,
- ocena założeń do nowych projektów wykonywanych przez przemysł,
- badania w zakresie eksploatacji, utrzymania i napraw układów hamulcowych, zwłaszcza z uwzględnieniem trwałości i niezawodności ich elementów,
- bieżące śledzenie kierunków badań i tendencji rozwojowych nowoczesnych układów hamulcowych w przodujących ośrodkach badawczych i zarządach kolejowych.

Początkowo Pracownia nie dysponowała zapleczem laboratoryjnym, a badania były wykonywane w jednostkach i na liniach kolejowych PKP oraz w hali laboratoryjnej IPSz Politechniki Krakowskiej. W latach siedemdziesiątych rozpoczęto budowę hali laboratorium do badania układów hamulcowych na terenie PKP w Krakowie Prokocimiu, w sąsiedztwie Lokomotywowni Kraków Prokocim. Po ukończeniu budowy, na początku lat osiemdziesiątych Pracownia Hamulców przeniosła się z pomieszczeń Politechniki do nowo wybudowanej hali laboratoryjnej. Hala była wyposażona we własną sieć sprężonego powietrza, tor z kanałem rewizyjnym, suwnicę i instalację teletechniczną. W hali były wydzielone pomieszczenia dla sprężarki powietrznej i stanowisk badaw-

czych oraz pomieszczenia biurowe, magazynowe, sanitarne i socjalne dla obsługi. W nowej siedzibie, dawna Pracownia Hamulców COBiRTK funkcjonowała jako Laboratorium Hamulców Pojazdów Szynowych CNTK.

W drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych, w związku z rozwojem i szerokim rozpowszechnieniem komputerów oraz dostępnością nowoczesnej aparatury pomiarowej, rozpoczęto modernizację stanowisk w zakresie wprowadzenia wspomagania komputerowego do pomiarów i rejestracji przebiegów mierzonych parametrów w czasie oraz charakterystycznych parametrów pracy hamulca.

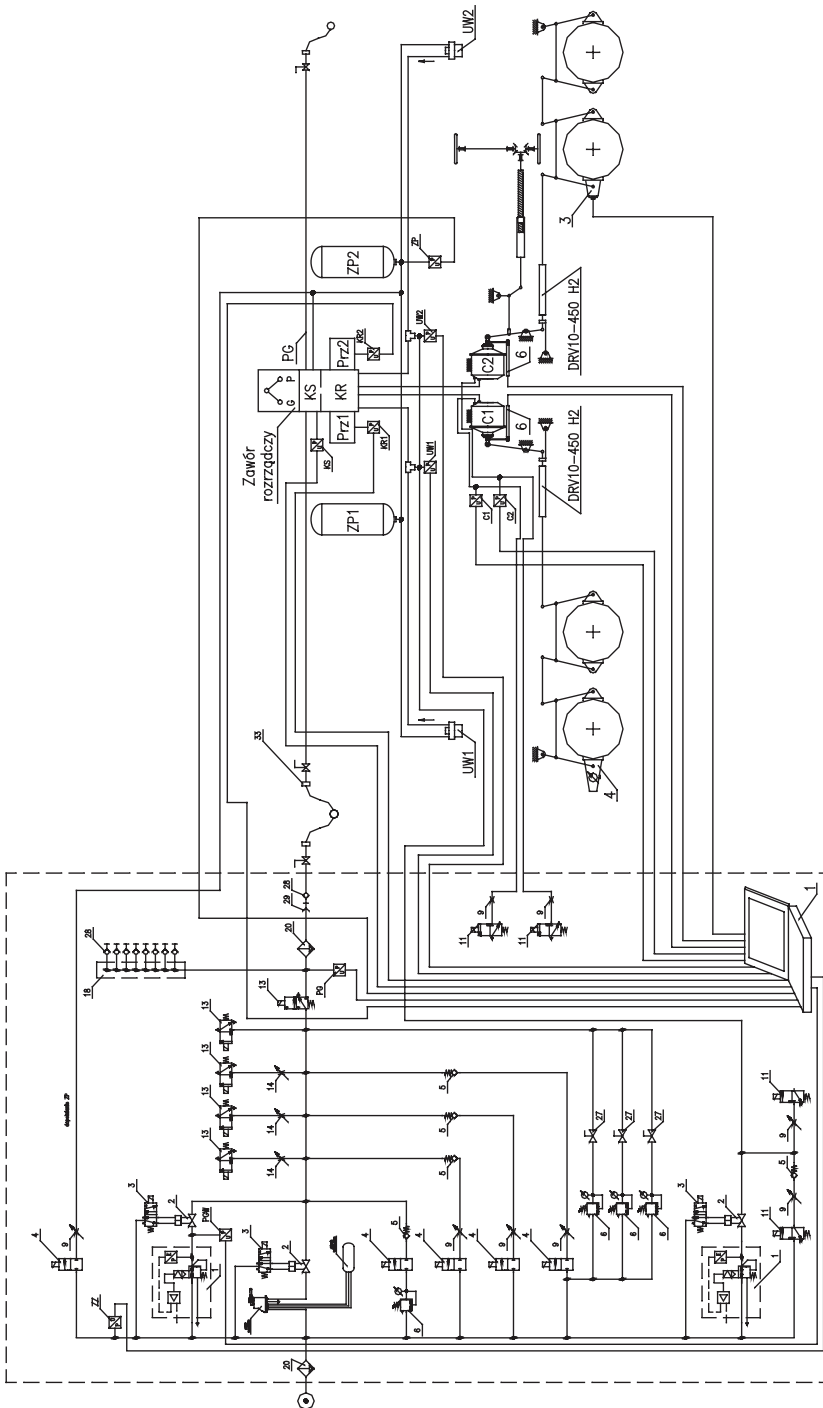
W procesie badania i oceny hamulców kolejowych istotną rolę odgrywają badania poligonowe, prowadzone na rzeczywistych obiektach na liniach kolejowych. Badania te, prowadzone na normalnie eksploatowanych liniach, powodują zakłócenia w planowym ruchu pociągów oraz stwarzają zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu. W związku z tym już w latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia rozważano budowę toru doświadczalnego, na którym można prowadzić badania eksperymentalne. Opracowano wiele koncepcji takiego obiektu, rozważając różne miejsca jego lokalizacji. Ostatecznie zdecydowano o lokalizacji toru doświadczalnego na terenie Dolnośląskiej DOKP w miejscowości Węglewo, w odległości 3 km od stacji Żmigród, znajdującej się na linii kolejowej Wrocław – Poznań w odległości 50 km od Wrocławia. Budowę toru rozpoczęto w połowie 1987 roku, a w 1996 roku doprowadzono go do stanu umożliwiającego rozpoczęcie badań eksperymentalnych. Od chwili oddania toru doświadczalnego do użytku, badania ruchowe układów hamulcowych są prowadzone zasadniczo na tym torze. Wyjątkiem są badania z dużymi prędkościami, prowadzone na wybranych liniach PKP PLK, umożliwiających kursowanie pociągów, np. z prędkością 200 km/h.

3.3. Aktualne możliwości Instytutu Kolejnictwa w zakresie badań hamulców kolejowych i ich elementów

3.3.1. Badania stacjonarne układów hamulca pojazdów szynowych lub jego elementów

Badania stacjonarne układów hamulcowych pojazdów szynowych i ich elementów są wykonywane w Pracowni Hamulców Laboratorium Badań Taboru w Krakowie. Do tych badań wykorzystuje się stanowisko do badań stacjonarnych. Stanowisko to jest przeznaczone do wykonywania prób stacjonarnych układów hamulca wszystkich rodzajów pojazdów szynowych, a także badań samodzielnych armatury hamulcowej (zawory rozrządowe, zespoły hamulcowe, przekładniki ciśnienia, tablice pneumatyczne, zawory maszynisty, dodatkowe zawory maszynisty itp.). Stanowisko zbudowano z wykorzystaniem dotychczas stosowanej stacji, sterowanej ręcznie za pomocą zaworu maszynisty, z modernizacją układu pneumatycznego, elektronicznego, komputerowego, urządzeń wspomagających i wykonawczych.

Część aparaturowa umieszczona jest w strefie działania stanowiska, z wyjątkiem przetworników pomiarowych przeznaczonych do pomiaru ciśnień, które są podłączone



Rys. 3. Schemat pneumatyczny stanowiska IK służącego do badań stacjonarnych hamulca.

bezpośrednio do przestrzeni pneumatycznego układu hamulcowego oraz czujników sił i czujników przemieszczeń liniowych, które są instalowane na czas pomiarów na badanym obiekcie. Część pneumatyczna układu sterowania znajduje się w przewoźnej konstrukcji. Stanowisko wyposażone jest w zestaw przewodów i złączy przyłączeniowych oraz króćców kontrolnych i symulacyjnych. Stanowisko służy do diagnostyki układów hamulca oraz badań stacjonarnych układów hamulca. Uproszczony schemat układu pneumatycznego stanowiska przedstawiono na rysunku 3, a jego widok na rysunku 4.



Rys. 4. Stanowisko do badań stacjonarnych hamulca. Badania nadajnika hamulca zespolonego z panelem zaworu maszynisty DAKO BSE

Układ pomiarowy stanowiska zawiera 48 napięciowych torów pomiarowych. W zależności od rodzaju badanego obiektu i zastosowanych czujników, tory te można wykorzystać do pomiaru:

- ciśnienia: z wykorzystaniem przetworników ciśnienia,
- sił: z wykorzystaniem przetworników sił nacisku,
- przemieszczeń liniowych: z wykorzystaniem przetworników przemieszczeń liniowych.

W skład układu rejestracji i sterowania stanowiska wchodzi:

- zestaw komputerowy z kartami laboratoryjnymi,
- moduł wykonawczy: szesnastokanałowy wzmacniacz sygnałów logicznych sterowania zaworów elektropneumatycznych.

Na potrzeby diagnostyczne i badawcze opracowano własne programy specjalistyczne, umożliwiające przeprowadzenie wymaganych prób stacjonarnych układu hamulca pojazdów szynowych. Stanowisko umożliwia wykonywanie prób ze sterowaniem:

- automatycznym: wykonuje się próby, które polegają wyłącznie na zmianie (z określoną prędkością spadku lub wzrostu) poziomów ciśnienia w przewodzie głównym badanego obiektu,
- manualnym: wykonuje się próby, które wymagają dodatkowych czynności przestawczych, regulacyjnych, nastawczych.

Bez względu na sposób sterowania prób, przebiegi (w funkcji czasu) ciśnień, sił i skoków tłoka są rejestrowane.

3.3.2. Badania ruchowe układów hamulcowych pojazdów szynowych

Podstawowym celem badań ruchowych jest określanie skuteczności hamulca pojazdu szynowego, która wyrażana jest przez wartość masy hamującej. Badania ruchowe hamulca polegają na:

- odczepianiu w ruchu badanego pojazdu od pociągu pomiarowego (lokomotywy i wagonu pomiarowego) z samoczynnym wdrożeniem hamowania nagłego – dla badań pojedynczych wagonów towarowych i pasażerskich (rys. 5),



Rys. 5. Badania ruchowe hamulca z odczepianiem wagonu w ruchu (fot. Z. Cichocki)

- wdrożeniu przez maszynistę podczas jazdy hamowania nagłego – dla badań pojazdów trakcyjnych i pociągów.

Podczas badań ruchowych wykonywane są pomiary i rejestracja:

- prędkości pojazdu,
- drogi i czasu hamowania,
- ciśnienia powietrza w przestrzeniach roboczych części pneumatycznej układu hamulcowego (przewód główny, zbiornik pomocniczy, zbiornik sterujący, urządzenia ważące, zbiornik rozprężny, cylinder hamulcowy itp.),

- temperatury elementów ciernych hamulca.
Aparatura pomiarowa i urządzenia stosowane podczas badań ruchowych:
- wagon pomiarowy, przystosowany do badań układów hamulcowych pojazdów szynowych, wyposażono w automatyczny sprzęg badawczy służący do rozłączania pojazdów szynowych podczas ruchu z równoczesnym wdrożeniem hamowania nagłego w badanym pojeździe,
- przetworniki ciśnienia powietrza,
- pirometry przenośne i montowane na badanym pojeździe,
- przetwornik radarowy do pomiaru prędkości i drogi hamowania,
- komputer przemysłowy z kartami pomiarowymi, służący do przetwarzania i rejestracji danych.

Aparatura pomiarowa jest montowana na badanym pojeździe, a podczas badań z odzepianiem wagonu w ruchu rejestrowane dane są przekazywane drogą radiową do wagonu pomiarowego. Badania ruchowe, których celem jest wyznaczenie mas hamujących, wykonywane są zgodnie z metodyką podaną w przepisach międzynarodowych (TSI oraz UIC). W tych badaniach są wykonywane również próby działania urządzeń przeciwpoślizgowych.

3.3.3. Badania odporności hamulca na obciążenia cieplne

Celem badań odporności układu hamulcowego na obciążenia cieplne jest sprawdzenie odporności układu hamulcowego, a w szczególności elementów pary cierniej, na obciążenia cieplne występujące podczas następujących po sobie dwóch hamowań nagłych i podczas długotrwałego hamowania ciągłego (symulacja zjazdu z przełęczy św. Gotharda). Badania te są wykonywane zgodnie z wymaganiami TSI WAG.

Podczas badań ruchowych wykonuje się pomiary i rejestrację:

- prędkości pojazdu,
- drogi,
- czasu hamowania,
- siły na haku badanego wagonu,
- temperatury elementów ciernych hamulca,
- ciśnienia powietrza w cylindrze hamulcowym i innych punktach układu pneumatycznego hamulca,
- liniowego zużycia ściernego wstawek hamulcowych.

Ponadto wykonuje się szczegółową dokumentację fotograficzną stanu wstawek hamulcowych i kół zarówno przed rozpoczęciem, jak też po zakończeniu badań odporności na obciążenia cieplne.

3.3.4. Stanowiskowe badania par ciernych hamulców pojazdów szynowych

Badania elementów par ciernych hamulców pojazdów szynowych są wykonywane w Pracowni Badań Stanowiskowych Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa na stacjonarnym stanowisku bezwładnościowym, służącym do badań par ciernych ha-

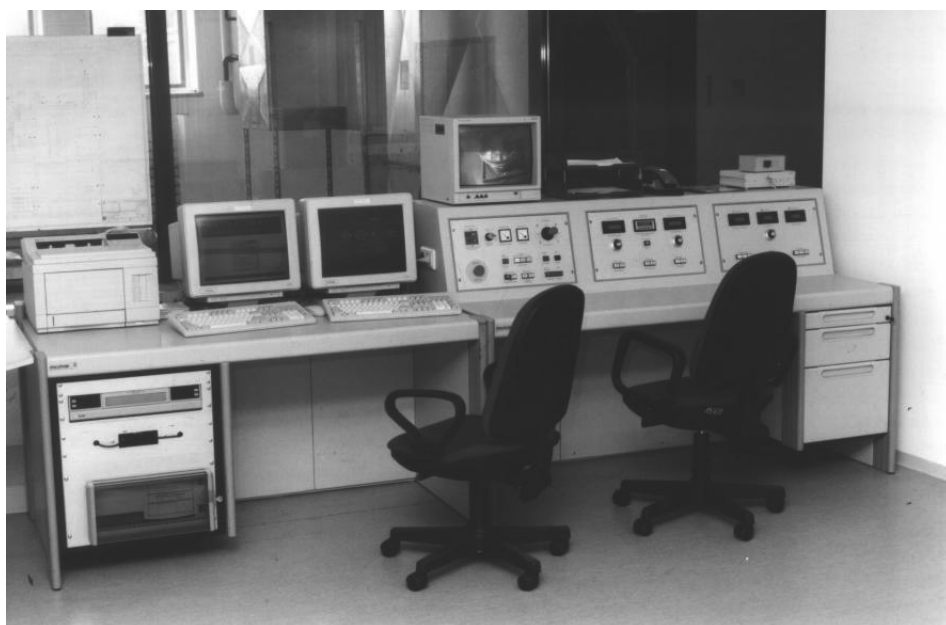
mulców pojazdów szynowych (rys. 6, 7). Stanowisko zostało wykonane w latach 1994–1997 przez firmę Zahnradfabrik Passau GmbH. W latach 1998–2001 na stanowisku zostały przeprowadzone przez UIC testy homologacyjne. Od 2001 roku stanowisko ma homologację UIC kategorii „D” do prędkości 350 km/h. W 2005 roku przeprowadzono pierwsze badania weryfikacyjne stanowiska (tylko dla hamulca tarczowego z $V_{\max} = 350$ km/h). W latach 2009–2010 wykonano drugie badania weryfikacyjne (badania dla tarczy hamulcowej z $V_{\max} = 500$ km/h).

Wyposażenie i parametry stanowiska umożliwiają realizację:

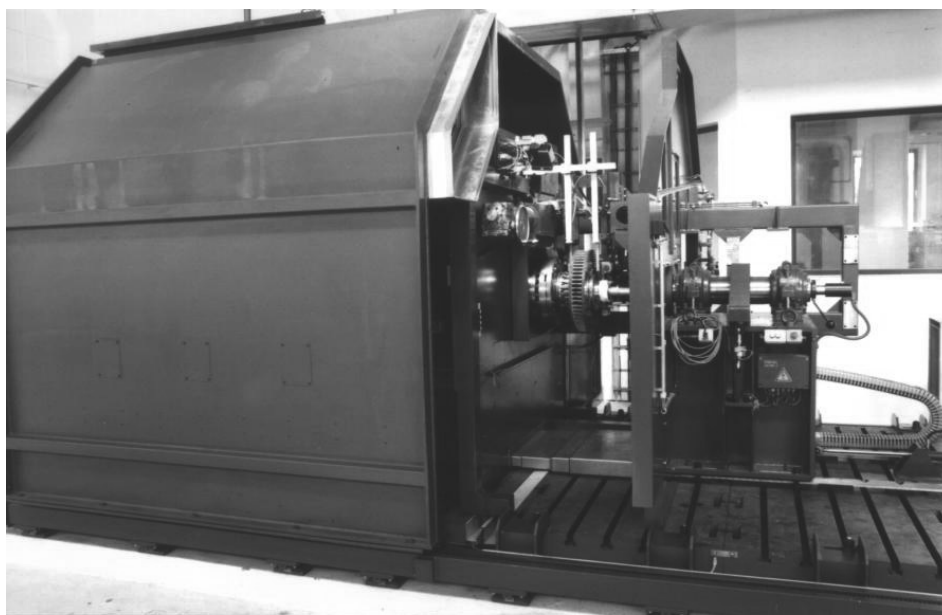
- programów badań homologacyjnych materiałów ciernych określonych w TSI oraz obowiązujących i nowelizowanych kartach UIC,
- obecnie opracowywanych programów badań dotyczących:
 - okładzin ciernych (organicznych i ze spieków metali) do wagonów pasażerskich o prędkości maksymalnej 140 i 200 km/h,
 - okładzin ciernych (organicznych i ze spieków metali) do wagonów towarowych o prędkości 160 km/h,
 - okładzin ciernych (organicznych i ze spieków metali) do pociągów zespolonych o prędkości maksymalnej 300 km/h,
 - wstawek klocków hamulcowych z tworzywa typu K,
 - wstawek klocków hamulcowych ze spieków metali,
- programów badań homologacyjnych kół jezdnych w celu zbadania ich odporności na obciążenia termiczne, powstające podczas hamowania hamulcem klockowym,
- badań tarcz hamulcowych w celu określenia ich własności tribologicznych oraz odporności na obciążenia termiczne, powstające podczas hamowania,
- badań żeliwnych wstawek klocków hamulcowych, mających na celu określenie ich własności tribologicznych oraz odporności na obciążenia wynikające z hamowania,
- programów badań dotyczących własności tribologicznych, doboru i optymalizacji par ciernych dla różnych zastosowań i parametrów ruchu.

Stanowisko umożliwia:

- symulację prędkości jazdy pojazdu szynowego do 420 km/h, dla koła o średnicy tocznej 890 mm,
- płynną, mieszaną symulację masy hamowanego pojazdu szynowego (mechaniczną + elektroniczną), maksymalnie do 15 ton masy przypadającej na jedną parę cierną (koło toczne bądź tarczę hamulcową),
- symulację oddziaływania na badaną parę cierną czynników atmosferycznych w postaci opadu deszczu, zamieci śnieżnej oraz oddziaływania wiatru,
- hamowania do zatrzymania z możliwością sterowania siłą docisku elementów ciernych, ciśnieniem w cylindrze hamulcowym, bądź momentem hamującym (ze stałym opóźnieniem hamowania),
- realizację hamowania ciągłego (symulacja zjazdów z pochyłości, czyli tzw. hamowanie ze stałą mocą) z symulacją stałej prędkości pojazdu szynowego za pomocą silnika



Rys. 6. Sterownia stanowiska do badania par ciernych hamulców pojazdów szynowych



Rys. 7. Otwarta komora badawcza stanowiska do badania par ciernych hamulców pojazdów szynowych.

napędowego oraz ze sterowaniem momentem hamującym (maksymalny moment hamujący 4,45 kNm),

- pomiar temperatur w maksymalnie sześciu punktach tarcz hamulcowych lub trzech punktach kół tocznych podczas realizacji hamowań badawczych, w zakresie $0 \div 1000^{\circ}\text{C}$,
- regulację objętościowego wydatku wody zraszającej badaną parę cierną podczas symulacji opadu deszczu lub opadu śniegu, w zakresie $(2 \times) 5 \div 25 \text{ dm}^3/\text{h}$,
- regulację prędkości oddziaływania wiatru na badaną parę cierną, w zakresie $0,5 \div 28,0 \text{ m/s}$,
- pomiar hałasu emitowanego przez badaną parę cierną podczas realizacji procesu badawczego,
- ocenę wpływu iskrzenia pary ciernej (szczególnie dla przypadku zablokowanego w pozycji zahamowania hamulca klockowego) na ściółkę podłoża symulowanego przez znormalizowany materiał łatwopalny,
- rejestrację zużycia masowego, objętościowego i względnego okładzin hamulcowych oraz wstawek klocków hamulcowych,
- rejestrację stanu technicznego elementów składowych badanej pary ciernej za pomocą cyfrowego aparatu fotograficznego,
- rejestrację wideo zachowania pary ciernej podczas hamowań badawczych w celu udokumentowania istotnych dla procesu zjawisk wizualnych.

Stanowisko jest wyposażone w następującą aparaturę pomiarową:

- do pomiarów ciśnienia w cylindrze hamulcowym:
 - tensometryczny czujnik ciśnienia,
 - wzmacniacz pomiarowy prądu stałego,
- do pomiaru sumarycznej siły normalnej do powierzchni roboczych oraz momentu hamującego, występujących pomiędzy współpracującymi elementami par ciernych:
 - tensometryczny czujnik siły,
 - wzmacniacze pomiarowe prądu stałego,
- do pomiaru prędkości obrotowej:
 - optyczny detektor obrotów,
 - wzmacniacz pomiarowy prądu stałego,
- do pomiaru prędkości powietrza wentylującego parę cierną:
 - 2 punkty pomiarowe (nawiew, wyciąg) do pomiaru ciśnienia dynamicznego powietrza,
 - wzmacniacze pomiarowe prądu stałego,
- do pomiaru temperatur powierzchni ciernych tarcz hamulcowych lub powierzchni tocznej kół jezdnych:
 - czujniki temperatury NiCr-NiAl,
 - wzmacniacze pomiarowe prądu stałego,
 - kolektor obrotowy do przesyłu sygnałów.

3.3.5. Stanowisko badawcze układów sterowania hamulca pociągów kolejowych

Przemysł, ośrodki badawczo-rozwojowe, komisje i grupy robocze UIC prowadzą w zakresie problematyki hamulców kolejowych liczne badania o dużej rozpiętości tematycznej. Wśród podejmowanych tematów brakuje jednak szczegółowych analiz teoretycznych i badań układów sterowania hamulcem pneumatycznym całych pociągów. Taki stan rzeczy usprawiedliwiają częściowo duże trudności, jakich nastęrcza skomplikowany opis matematyczny tego układu oraz brak opracowań tego zagadnienia w literaturze fachowej. Jednakże z uwagi na uniwersalność metod teoretycznych, względy ekonomiczne i poznawcze, prace teoretyczne muszą być prowadzone. W związku z tym powstała idea zbudowania stanowiska badawczego układów sterowania kolejowego hamulca zespolonego samoczynnego. Badania prowadzone na stanowisku dają wyniki powtarzalne, obciążone niewielkimi błędami i nie wymagają kosztownego i dezorganizującego ruchu kolejowy wyłączenia znacznej liczby wagonów, które w dodatku do takich prób muszą być przygotowane (sprawdzenie działania hamulca, usunięcie ewentualnych usterek, montaż aparatury pomiarowej) oraz zajmowanie toru na czas badań.

Stanowisko, zwane również – ze względu na jego istotę – „stanowiskiem całopociągowym”, znajduje się w hali laboratoryjnej Pracowni Hamulców Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa w Krakowie (rys. 8). Ma ono budowę członową, a poszczególne człony tworzą układy pneumatyczne rzeczywistych układów hamulcowych stosowanych w wagonach kolejowych.



Rys. 8. Stanowisko całopociągowe w Pracowni Hamulców w Krakowie

W skład pojedynczego członu wchodzi następujące elementy:

- przewód główny w postaci rury stalowej o średnicy 1" (wagony osobowe) lub 5/4" (wagony towarowe) zakończony kurkami końcowymi i sprzęgami hamulcowymi, umożliwiającymi łączenie poszczególnych członów w celu zamodelowania pociągu,
- wspornik zaworu rozrządczego,
- zawór rozrządczy,
- cylinder hamulcowy,
- zbiornik pomocniczy,
- zbiornik sterujący, współpracujący z zaworem rozrządczym.

W skład stanowiska wchodzi 24 członki reprezentujące wagony osobowe i 125 członków odpowiadających wyposażeniu hamulcowemu typowych wagonów towarowych dwu- i czteroosiowych. Konstrukcja stanowiska umożliwia wymianę elementów pneumatycznych w zależności od aktualnych potrzeb badawczych, np. w razie potrzeby wykonania badań nowego systemu hamulca lub badań współdziałania hamulców różnych systemów w obrębie jednego pociągu.

Opisane stanowisko umożliwia prowadzenie wszechstronnych badań stacjonarnych układu sterowania hamulcem kolejowym, w tym również sterowania elektrycznego tym hamulcem w różnych składach wagonów. Można na nim wykonywać m.in. następujące badania:

- szybkości i przebiegu fali hamowania,
- działania hamulca w poszczególnych wagonach (chwila rozpoczęcia napełniania cylindra hamulcowego, czas tego napełniania, ciśnienie w cylindrze) przy różnych spadkach ciśnienia w przewodzie głównym, różnej liczbie i usytuowaniu w pociągu wagonów z wyłączonym hamulcem oraz analogicznie działania hamulca podczas odhamowania,
- wpływu różnych zaworów rozrządczych (np. systemu Fablok, Knorr, Oerlikon, Sab Wabco) oraz sposobu ich obsługi na działanie hamulca,
- wpływu pojemności przewodu głównego na przebieg hamowania,
- różnic czasu osiągnięcia pełnej siły hamowania w poszczególnych wagonach w pociągu,
- różnic w wartości najwyższego ciśnienia w cylindrach hamulcowych w długich pociągach przy różnych sposobach hamowania,
- przebiegu hamowania i odhamowania (nagłego, I-go stopnia, służbowego, stopniowego, pełnego) długich pociągów,
- uruchamiania się hamulców w pociągach towarowych łączonych (lokomotywa drugiego pociągu dołączona do końca pierwszego),
- zachowania się hamulców w przypadku występowania nieszczelności przewodu głównego lub innych stanów awaryjnych,
- wpływu konstrukcji armatury hamulcowej (kurki końcowe, sprzęgi hamulcowe, średnica przewodu głównego) na zachowanie się hamulca w czasie hamowania i odhamowania,
- badania hamulca elektropneumatycznego.

Stanowisko całopociągowe wykorzystane jest również do badań homologacyjnych nowych systemów hamulcowych, m.in. dla nowych konstrukcji zaworów rozrządnych, w tym sterowanych elektronicznie.

4. BADANIA DYNAMIKI JAZDY NA PRZESTRZENI LAT

Od czasu powstania, koleje żelazne stały się podstawowym środkiem transportu, łączącym ze sobą miasta oraz przedmieścia z miastami. Jedną z dziedzin, będących przedmiotem zainteresowania inżynierów, było badanie oddziaływania drgań wynikających z poruszania się taboru kolejowego na odczucia pasażerów (początkowo bez uwzględniania czasu narażenia na oddziaływanie drgań). Koleje zrzeszone w UIC stosowały w tym celu wyznaczanie współczynnika spokojności biegu W_z na podstawie wzoru opracowanego przez Sperlinga:

$$W_z = \sqrt[10]{\sum_{i=1}^{n_f} W_{z_i}^{10}},$$

gdzie:

n_f – liczba wszystkich częstotliwości dyskretnych, określona za pomocą szybkiej transformaty Fouriera (FFT);

W_{z_i} – wskaźnik spokojności biegu dla i -tej częstotliwości

$$W_{z_i} = \sqrt[6,67]{a_i^2 \cdot B^2(f_i)},$$

gdzie:

a_i – amplituda pików przyspieszeń i -tej częstotliwości, mierzona na podłodze,

$B(f_i)$ – współczynnik wagi

$$B(f_i) = k \cdot \sqrt{\frac{1,911f^2 + 0,0625f^4}{(1 - 0,277f^2)^2 + (1,563f - 0,0368f^3)^2}},$$

gdzie:

$k = 0,737$ dla przyspieszeń poziomych i $0,588$ dla przyspieszeń pionowych.

Uzyskane wartości oceniano następująco:

W_z	Ocena
1	ledwo zauważalne
2	wyraźnie odczuwalne
2,5	silne, ale wciąż komfortowe
3	silne, nieprzyjemne, ale wciąż tolerowane
3,25	bardzo nieprzyjemne
3,5	wyjatkowo nieprzyjemne, dokuczliwe, nietolerowane przy dłuższym oddziaływaniu
4	bardzo dokuczliwe, przy dłuższym oddziaływaniu szkodliwe

Badanie spokojności biegu za pomocą określania współczynnika W_z stało się historycznym pierwowzorem badania dynamiki jazdy przeprowadzanego według Karty UIC 518, chociaż zamiast badania spokojności biegu przeprowadza się dzisiaj badanie komfortu jazdy według Karty UIC 513, a sam współczynnik W_z został zastąpiony parametrem N_{MV} (w metodzie uproszczonej) lub parametrami N_{VA} i N_{VD} (w metodzie pełnej). W miarę rozwoju metod badawczych, ORE (*Office des Recherches et d'Essais* – Biuro Prób i Badań UIC), a później ERRI (*European Rail Research Institute* – **Europejski Kolejowy Instytut Badawczy**) prowadziło prace nad opracowaniem metod oceny zachowania się nowobudowanego lub modernizowanego taboru kolejowego podczas jazdy po prostej i w łukach o różnych promieniach. Chodziło o wpływ prędkości jazdy, parametrów toru (luzu w torze, nierówności pionowych i poziomych, przechyłki itd.) oraz parametrów samego pojazdu (budowa wózka, usprężynowanie, budowa nadwozia itd.) na jego ocenę podczas jazdy. Pierwsza, tymczasowa wersja karty UIC 518 została wydana w lipcu 1995 r. i zawierała tylko niektóre ze stosowanych dzisiaj parametrów oceny. Jednakże od samego początku były one podzielone na trzy grupy:

- parametry związane z bezpieczeństwem jazdy,
- parametry związane z oddziaływaniem na tor,
- parametry związane z dynamicznym zachowaniem się pojazdu.

Pierwsze wydanie nie zawierało podziału na pełną i uproszczoną metodę badawczą. Podział taki pojawił się od drugiego wydania (październik 1999 r.).

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że Techniczne Specyfikacje Interoperacyjności powołują się na powstałą na podstawie Karty UIC 518 normę PN-EN 14363, której pierwsze wydanie miało miejsce w 2005 roku, a obecnie obowiązujące jest z roku 2007 [4].

W tabelicy 2 zestawiono parametry oceny z pierwszego wydania Karty UIC 518 (lipiec 1995 r.) i najnowszego – 4 wydania (wrzesień 2009 r.).

Tablica 2

Parametry I i IV wydania Karty UIC 518

Parametr	I wydanie	IV wydanie	
		metoda pełna	metoda uproszczona
bezpieczeństwo jazdy	$\Sigma Y, Y/Q$	$\Sigma Y, Y/Q, \text{rms}(\Sigma Y), \eta$	$H, \ddot{z}_s^*, \text{rms}H, \text{rms} \ddot{y}_s^*, \ddot{y}_s^+, \ddot{y}_s^-, \text{rms} \ddot{y}_s^+$
oddziaływanie na tor	$Q, Y_{qst}, Q_{qst'}$	$Q, Y_{qst}, Q_{qst'}, B_{qst}$	
dynamiczne zachowanie się pojazdu	$\ddot{y}^*, \ddot{z}^*, \text{rms} \ddot{y}^*, \text{rms} \ddot{z}^*$	$\ddot{y}_q^*, \ddot{z}_q^*, \text{rms} \ddot{y}_q^*, \text{rms} \ddot{z}_q^*, \ddot{y}_{qst}^*$	

Symbole użyte w tabeli oznaczają:

Y – poprzeczna siła oddziaływania koła na tor,

Q – pionowa siła oddziaływania koła na tor,

H – poprzeczna siła oddziaływania zestawu kołowego na tor,

Y_{qst} – kwazistatyczna poprzeczna siła oddziaływania koła na tor w łukach,

Q_{qst} – kwazistatyczna pionowa siła oddziaływania koła na tor w łukach,

B_{qst} – kwazistatyczna siła oddziaływania na tor w łukach,

\ddot{y}^* – przyspieszenie poprzeczne na pudle pojazdu,

\ddot{y}_s^+ – przyspieszenie poprzeczne na wózku pojazdu,

\ddot{y}_s^* – przyspieszenie poprzeczne na pudle pojazdu,

\ddot{y}_q^* – kwazistatyczne przyspieszenie poprzeczne na pudle pojazdu,

\ddot{y}_{qst}^* – kwazistatyczne przyspieszenie poprzeczne na pudle pojazdu,

\ddot{z}^* – przyspieszenie pionowe na pudle pojazdu,

\ddot{z}_s^* – przyspieszenie pionowe na pudle pojazdu,

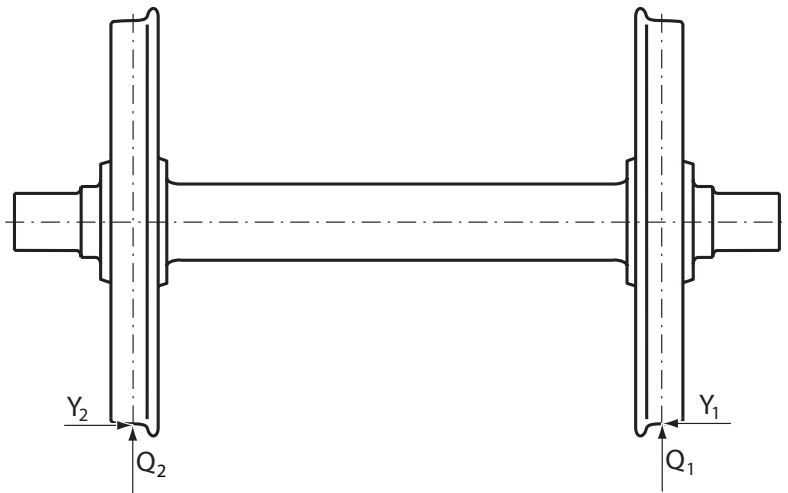
\ddot{z}_q^* – kwazistatyczne przyspieszenie pionowe na pudle pojazdu,

η – współczynnik przewrócenia pojazdu,

rms – wartość średniokwadratowa danej wielkości.

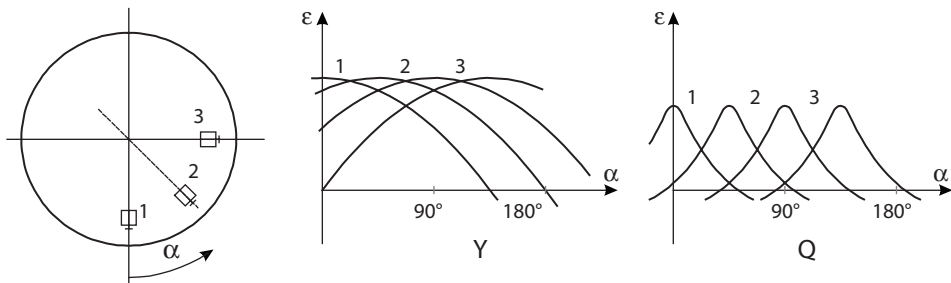
Wielkości te przed dalszą obróbką podlegają filtrowaniu odpowiednimi filtrami.

Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa od początku pojawienia się karty UIC 518 wdrażało przedstawione w niej metody badawcze. W okresie poprzedzającym wprowadzenie tej karty prowadziło prace nad wdrożeniem metody badawczej, polegającej na pomiarze podczas jazdy sił Q (pionowej) i Y (poprzecznej) w strefie kontaktu koła z szyną (rys. 9).



Rys. 9. Pomiar sił Q i Y za pomocą zestawu kołowego

Próby wdrożenia pomiarów sił kontaktowych Q i Y na styku koła i szyny rozpoczęto w CNTK w 1977 r. Początkowo pomiar ten opierał się na pomiarze naprężeń na tarczy koła, wywołanych odkształceniami tarczy pod działaniem sił Q i Y . Odkształcenia te mierzono za pomocą układu tensometrów oporowych, naklejonych w specjalnie dobranych miejscach na tarczy koła (rys. 10). Dzięki temu było możliwe uzyskanie ciągłego sygnału podczas pełnego obrotu koła.



Rys. 10. Zasada pomiaru sił Q i Y za pomocą tensometrów rozmieszczonych na tarczy koła

Odształcenia w tarczy koła są funkcją sił Q , Y , położenia punktu pomiarowego na promieniu tarczy oraz przesunięcia kąтового tego punktu w stosunku do miejsca działania siły. Możliwe jest wybranie takich miejsc na tarczy koła, w których odształcenia wywołane siłą Q są bliskie zeru, a jednocześnie odształcenia wywołane siłą Y mają dużą wartość i odwrotnie. Umieszczenie na każdej tarczy dwóch niezależnych układów tensometrycznych dla sił Q i Y umożliwiało w dużym stopniu eliminację ich wzajemnego wpływu. Metoda ta, wdrożona w 1980 r., wówczas okazała się mało dokładna i charakteryzowała się zafalowaniem sygnału wyjściowego, zależnością odczytu wartości siły Q od kąta obrotu zestawu oraz zauważalnego wpływu siły Q na siłę Y .

Kolejnym krokiem wdrożenia pomiarów sił kontaktowych Q i Y była podjęta w 1982 r. próba określenia tych sił na podstawie pomiarów naprężeń na szprychach kół szprychowych. Ze względu na duży wpływ odczytu sił Q na Y i odwrotnie, ta metoda nie znalazła zastosowania.

W 1987 roku CNTK nawiązało współpracę z instytutem badawczym Niemieckich Kolei Federalnych w Minden, a następnie wykorzystując opracowaną dokumentację, rozpoczęło wdrażanie metody pomiaru sił kontaktowych Q i Y na podstawie pomiaru naprężeń w osi koła [5]. Obciążenia działające na zestaw kołowy powodują powstawanie momentów gnących na osi, które można określić na podstawie pomiaru odształceń, a następnie obliczyć siły Q i Y (rys. 11).

Sygnały pomiarowe są przekazywane z zestawu pomiarowego za pomocą kolektorów, pozwalających przenieść sygnał z poruszającego się ruchem obrotowym zestawu kołowego na elementy nieobrotowe i dalej za pomocą kabli pomiarowych do komputera.

W celu umożliwienia odczytu i zapisu mierzonych sił kontaktowych, w Laboratorium Badań Taboru powstało odpowiednie oprzyrządowanie elektroniczne, oparte początkowo na analogowym przetwarzaniu sygnałów pomiarowych, a następnie od 2001 roku – na przetwarzaniu cyfrowym.

Także w Laboratorium Badań Taboru, w Pracowni Obliczeń i Rozwoju Techniki Pomiarowych powstało specjalistyczne oprogramowanie komputerowe do obróbki mierzonych sygnałów sił i przyspieszeń. W miarę upływu lat i zmianach w metodyce pomiarowej, mającej swoje odzwierciedlenie w zapisach kolejnych wydań Karty UIC 518, to oprogramowanie podlegało wielokrotnym nowelizacjom.

Badanie pojazdów według Karty UIC 518 jest podstawowym badaniem, informującym o bezpieczeństwie jazdy i wzajemnym oddziaływaniu pojazdu szynowego z torrem. W chwili obecnej jesteśmy jedynym w Polsce ośrodkiem badawczym mogącym przeprowadzać badania zgodnie z Kartą UIC 518 przy zastosowaniu normalnej metody badawczej (pomiar z rejestracją sił Q i Y oraz przyspieszeń) i mamy w tym zakresie uznanie niemieckiego EBA, a wykonywane przez Instytut Kolejnictwa badania są akceptowane w wielu krajach europejskich.



Rys. 11. Zestawy pomiarowe zamontowane w wagonie towarowym

5. PODSUMOWANIE

Instytut Kolejnictwa od początku swego istnienia prowadzi badania z zakresu własności mechanicznych pojazdów szynowych. Dysponuje wysoko wykwalifikowaną kadrą i odpowiednią bazą stanowiskowo-pomiarową. Pracownicy badawczy i inżynierjno-techniczni zajmujący się badaniami i oceną pojazdów szynowych śledzą na bieżąco rozwój techniki, jak i zmiany przepisów mających zastosowanie przy ocenie, certyfikacji i dopuszczaniu do stosowania nowych rozwiązań w taborze kolejowym. Stosowane techniki pomiarowe są stale unowocześniane w miarę postępu technicznego w tej dziedzinie. Wysoka jakość prowadzonych badań pozwoliła uzyskać na podstawowe procedury badawcze uznanie przez EBA (*Eisenbahn-Bundesamt*) badań w zakresie pojazdów szynowych według wymagań kart UIC, jak również uregulowań według przepisów niemieckich EBA, następnie akredytacji PCA (Polskie Centrum Akredytacji) oraz na podstawie autoryzacji Urzędu Transportu Kolejowego notyfikacji Unii Europejskiej do prowadzenia badań zgodnie z wymaganiami TSI (Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności).

BIBLIOGRAFIA

1. Carl F.B., Schneider S., Wolter W.: *Crashworthy locomotives – special requirements and their practical application on example of the locomotive family TRAXX of Bombardier Transportation*. „ZEVrail Glasers Annalen” 128 (2004) 9 September.
2. EN 15227 *Railway applications – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies*.
3. Groll W., Sanecki H.: *Crash tests – theory and practice*. „UNESCAP Ministerial Conference on Transport 2006”. Busan (S. Korea), 2006, November 8–9.
4. Karta UIC 518 *Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour – Safety – Track fatigue – Running behaviour*.
5. *Opis metod pomiaru sił na styku koło szyna stosowanych w CNTK*. Laboratorium Badań Taboru CNTK, Warszawa, marzec 2003.
6. PN-EN 14363 *Kolejnictwo – Badania właściwości dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu – Badanie właściwości biegowych i próby stacjonarne*.
7. PN-EN 12663:2010 *Railway applications. Structural requirements of railway vehicle bodies*.
8. Rohan J.T., Sathyanarayanan S., Bhima Shankar S.: *A study on Vibrations and Ride Comfort on Railway Passenger Trains*. Dostępny w World Wide Web: <http://www.scribd.com/doc/49936339/Ride-Comfort-Final>.
9. SAFETRAIN Project, Train Crashworthiness for Europe, Railway Vehicle Design and Occupant Protection. BRPR-CT97-0457, BE-3092.
10. SAFETRAM Project, Passive safety of Tramways for Europe. G3RD-CT-2001-00492. SPR KE (Competitive and Sustainable Growth Programme).
11. Sanecki H.: *Experience in Full Scale Tests of Passive Safety Assessment of Rolling Stock*. „SAMNET. Workshop on Railway Safety Management Systems”. Warsaw, June, 30th 2005.
12. Sanecki H.: *Metodyka przygotowywania pojazdów testowych do wysokoenergetycznych badań zderzeniowych kabin pojazdów szynowych*. „Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów”. Politechnika Warszawska 2 (61)/2006, s. 161–170.

Od Redakcji

W artykule pt. „Rozwój metod badawczych własności mechanicznych taboru w sześćdziesięcioletniej historii Instytutu Kolejnictwa” zamieszczonym w 153 Zeszycie „Problemy Kolejnictwa”, w wyniku pomyłki technicznej pominięto istotny fragment rozdziału 2 „Badania zderzeniowe (crash testy)” autorstwa mgr inż. Witolda Grolla. W związku z tym, ponownie zamieszczamy rozdział 2 artykułu, tym razem w pełnym brzmieniu. Za zaistniałą pomyłkę przepraszamy zarówno Autora pominiętego tekstu, jak i Czytelników.

Redakcja

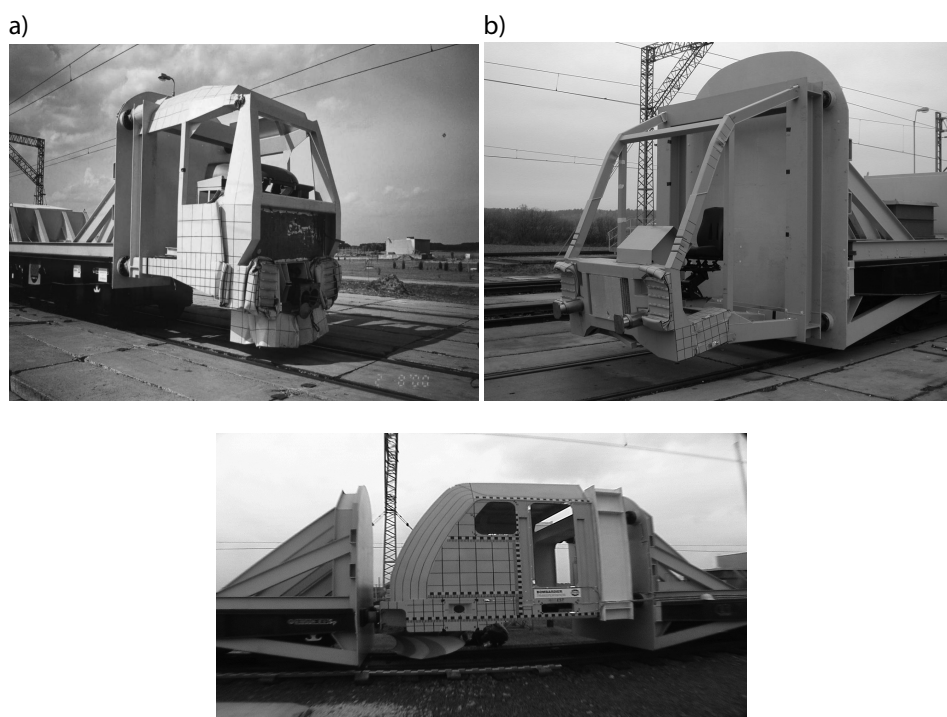
2. BADANIA ZDERZENIOWE (CRASH TESTY)

Jak wykazują badania statystyczne prowadzone w Europie i na świecie, najgroźniejsze w skutkach wypadki, w których uczestniczą pojazdy szynowe to te, w których dochodzi do zderzenia czołowego oraz te, którym towarzyszą wykolejenia pojazdów. Lokomotywy i pasażerskie pojazdy szynowe są obecnie projektowane w taki sposób, aby sprostać wymaganiom mającym na celu zabezpieczenie ludzi przed skutkami kolizji lub katastrof. Wymagania te są w skrócie określane jako bezpieczeństwo bierne. Sprawdzenie bezpieczeństwa biernego może odbywać się na podstawie prac teoretycznych, ale najlepsze rezultaty zapewniają tzw. *crash testy* stanowiące bardzo dobre narzędzie do weryfikacji proponowanego rozwiązania konstrukcyjnego. Walidacja pojazdów zaprojektowanych z zachowaniem reguł bezpieczeństwa biernego jest skomplikowana i kosztowna, dlatego tak ważne jest gromadzenie doświadczeń uzyskanych podczas każdego tego typu eksperymentu i rozpowszechnianie ich w formie publikacji [1, 3, 11, 12], a także dokumentów normatywnych, takich jak normy [2, 6, 7].

Instytut Kolejnictwa, jako jeden z nielicznych ośrodków badawczych w Europie, dysponuje torem doświadczalnym w Żmigrodzie koło Wrocławia (OETD – Ośrodek Eksploatacji Toru Doświadczalnego). Oprócz innych badań pojazdów szynowych takich, jak np. badania hamulców czy różnego rodzaju jazdy próbne, do tej pory przeprowadzono na nim wiele zaawansowanych eksperymentów typu *crash test* na różnych obiektach w skali rzeczywistej 1:1. Należy tu wymienić przykładowo:

- testy zderzeniowe w sierpniu i w listopadzie 2000 r. w projekcie SAFETRAIN (odporność zderzeniowa pociągów europejskich) finansowanym przez Komisję Europejską i UIC (rys. 1a),
- testy zderzeniowe w listopadzie 2003 r. w projekcie SAFETRAM (bezpieczeństwo bierne w tramwajach europejskich) finansowanym przez Komisję Europejską w programie *Competitive and Sustainable Growth* (rys. 1b),
- wiele innych wysokoenergetycznych testów na prototypach kabin pojazdów szynowych.

Przygotowano i wykonano *crash testy* m.in. na kabinie lokomotywy TRAXX Bombardier Transportation (rys. 1c), kabinie EMU V250 według projektu włoskiej firmy Ansaldo-Breda, kabinie EMU ED74 firmy PESA i innych. Prowadzono też odrębne badania na komponentach układów pochłaniających energię. Oprócz wspólnych europejskich projektów badawczych, podjęto współpracę z innymi europejskimi i światowymi ośrodkami badawczymi, jak np. KRRI z Korei Płd. Doświadczenie w dziedzinie tych badań przekazywano w formie publikacji, referatów oraz opinii dotyczących projektów bazujących na teoretycznych badaniach zderzeniowych (np. projekt ezt 19WE firmy NEWAG, czy też ezt 22WE, 27 WE i 32WE firmy PESA).



Rys. 1. Kabin testowe uczestniczące w *crash testach*; a) odkształcona kabina lokomotywy, projekt SAFETRAIN [9], b) odkształcona kabina tramwaju aglomeracyjnego, projekt SAFETRAM [10], c) kabina lokomotywy TRAXX, projekt Bombardier Transportation [1]

Dzięki tym projektom osiągnięto wysoki poziom *know-how* w dziedzinie przygotowywania i wykonywania testów zderzeniowych w skali rzeczywistej 1:1.

W badaniach zderzeń pojazdów na Torze Doświadczalnym w Żmigrodzie, stale doskonalono zarówno metody badawcze, które zapewniały możliwość przeprowadzenia zderzeń z coraz większą niezawodnością, jak i sprzęt pomiarowy służący do rejestracji wyników badań. I chociaż sama logika przeprowadzania zderzeń pojazdów nie zmieniła się od lat, to system służący do prawidłowego przeprowadzenia zderzeń ewoluował

wraz z dostępnością nowych rozwiązań technicznych. Jako główne składniki systemu wykorzystywanego do przeprowadzania zderzeń pojazdów należałoby wymienić:

- system zabezpieczeń pozwalający na przejazd pojazdu po odcinkach kontrolnych ze ściśle określonymi prędkościami, tak aby w punkcie zderzenia osiągnąć wymaganą prędkość,
- system służący do rozprzęgania (odczepiania) wagonu taranu w trakcie jazdy,
- urządzenia do pomiaru prędkości zainstalowane na poruszającym się pojeździe,
- urządzenia do pomiaru prędkości umożliwiające pomiar prędkości pojazdu(ów) z zewnątrz (pomiar prędkości chwilowej),
- system służący do samoczynnego hamowania pojazdu po zderzeniach,
- system do rejestracji filmowej procesu zderzenia,
- system akwizycji danych pomiarowych.

Od roku 1990 (pierwsze zderzenia na torze doświadczalnym) do chwili obecnej w każdym z wymienionych składników systemu, nastąpił znaczący postęp w rozwiązaniach technicznych. Postęp ten jest widoczny szczególnie w dwóch składnikach systemu – rejestracji filmowej procesu zderzenia oraz w akwizycji danych pomiarowych. Jako przykład można podać porównanie, że w trakcie pierwszych zderzeń rejestracja sygnałów pomiarowych wewnątrz zderzanych pojazdów odbywała się za pomocą magnetofonu szpulowego, usadowionego na specjalnej mechanicznej konstrukcji, która w momencie zderzenia umożliwiała przesuwanie się rejestratora magnetycznego wzdłuż pojazdu ruchem jednostajnie opóźnionym z opóźnieniem mniejszym od tego, jakie uzyskiwał badany pojazd, bądź za pomocą systemu kabli połączonych z centrum rejestracji za pomocą specjalnych szybkozłączek. Obecnie wykorzystuje się rejestratory cyfrowe odporne na wysokie opóźnienia, zapisujące do swojej pamięci dane pomiarowe z wszystkich rejestrowanych sygnałów niezależnie (na osobnych kanałach), tak aby w razie awarii jednego z kanałów nie nastąpiła utrata danych na innych kanałach. Nawet w wypadku zaniku napięcia zasilającego, aparatura ta zapewnia zachowanie zarejestrowanych do tego momentu danych. Podstawowe dane rejestratora:

- rozdzielczość przetwarzania A/C – 16 bitów,
- częstotliwość próbkowania 8 kHz,
- próbkowanie jednoczesne bez multiplexera,
- liczba kanałów do zapisu danych – 32.

Również przejście z techniki filmowania na taśmie filmowej na szybkie kamery cyfrowe, stanowiło istotny krok w ulepszaniu metod pomiaru. Prędkość filmowania takimi kamerami wynosi od 500 do 1000 klatek/sekundę, a wielomegowe pamięci kamer pozwalają na uchwycenie całego procesu zderzenia bez konieczności wykorzystywania specjalnego systemu wyzwalającego kamerę. Użycie kamer cyfrowych pozwoliło również na zastosowanie znacznie słabszego dodatkowego oświetlenia. Zaletą kamer cyfrowych jest również możliwość przeprowadzenia analizy obrazu. Wyniki tej analizy są istotnym narzędziem poznawczym zachowania się konstrukcji w trakcie zderzenia.

Do sterowania procesem zderzeń pojazdów opracowano urządzenie systemu oddziaływania tor – pojazd. Urządzenie składa się z części nadawczej znajdującej się w torze i części odbiorczej znajdującej się w lokomotywie rozpędzającej. W skład urządzenia przytorowego wchodzi:

- nadajnik transmisji,
- nadajnik pętli szynowej,
- elektromagnes SHP.

W skład urządzenia odbiorczego wchodzi:

- anteny odbiorcze umieszczone na zgarniaczach lokomotywy rozpędzającej,
- odbiornik znajdujący się w kabinie maszynisty,
- pulpit maszynisty z układem logiki znajdujący się w kabinie sterowniczej.

Informacje sygnałowe są generowane przez odpowiednie układy w urządzeniach przytorowych i za pośrednictwem szyn transmitowane do urządzeń pokładowych w lokomotywie rozpędzającej.

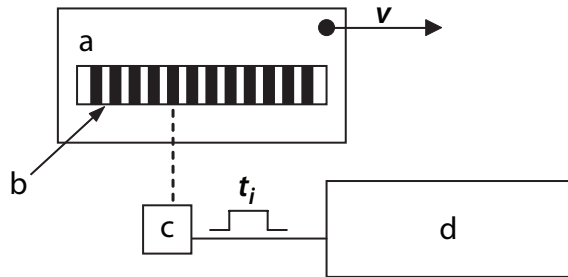
Informacje punktowe są przekazywane do urządzeń odbiorczych lokomotywy rozpędzającej przez niezależny elektromagnes torowy SHP oraz krótką pętlę szynową, w których inicjują:

- kontrolę zezwalającą na wykonanie jazdy zderzeniowej,
- kontrolę osiągnięcia zadanej prędkości ΔV ,
- kontrolę przejazdu nad pętlą szynową i realizację wczepienia wagonu taranu w ciągu 2 sekund,
- kontrolę realizacji samoczynnego hamowania lokomotywy rozpędzającej po czasie 2 sekund od momentu najechnia nad pętlę szynową,
- wywołaną (w każdej chwili) przez kierownika badań kontrolę realizacji hamowania lokomotywy rozpędzającej, przy warunku transmisji sygnału zezwalającego na jazdę,
- kontrolę połączenia lokomotywy z wagonem taranem poprzez specjalny sprzęg – – zamknięcia rygli i połączenia pneumatycznego,
- kontrolę zaniku transmisji przez nagłe zahamowanie lokomotywy rozpędzającej.

Do lokomotywy rozpędzającej są przekazywane sygnały torowe „stój” i „wolna droga” za pomocą anten odbiorczych zamocowanych na zgarniaczach. W lokomotywie znajduje się odbiornik i dodatkowy pulpit maszynisty, służący do sterowania procesem wyczepienia wagonu taranu w momencie uzyskania zadanych parametrów podczas przejazdu nad pętlą szynową. W pulpicie maszynisty jest umieszczony wyświetlacz sygnałowy i układy logiki.

Wyczepienie wagonu zapewnia specjalny sprzęg, zaprojektowany i wykonany w Instytucie Kolejnictwa. Jest to sprzęg mechaniczno-pneumatyczny, tzn. umożliwiający przenoszenie sił pociągowo-hamujących, a jednocześnie zapewniający pneumatyczne połączenie układu hamulcowego wagonu z lokomotywą w trakcie sprzężenia mechanicznego i rozłączenie pneumatycznych układów hamulcowych lokomotywy i wagonu po mechanicznym odzepieniu wagonu, bez wywoływania hamowania nagłego.

Pomiar prędkości liniowej w trakcie zderzenia jest realizowany za pomocą dwóch niezależnych systemów. Podstawowym systemem jest układ z listwą pomiarową i układem fotokomórek, dodatkowym zaś – układ wykorzystujący fotoradar. Zasadę pomiaru prędkości z zastosowaniem listwy pomiarowej przedstawia rysunek 1.1.



Rys. 1.1. Zasada pomiaru prędkości

Do poruszającego się obiektu (a), jest zamocowana listwa, na której są umieszczone paski folii odblaskowej (b), o ściśle określonej szerokości (L). Obiekt, poruszając się prostopadłe do wiązki promieniowania czujnika laserowego (c), powoduje generację impulsów elektrycznych na wyjściu czujnika w momentach, gdy promieniowanie jest odbijane przez paski folii odblaskowej. Czas trwania impulsów jest mierzony przez system mikroprocesorowy (d) i przeliczany na wartość prędkości (V) poruszającego się obiektu. Czas trwania impulsów wyjściowych (t_i) czujnika jest proporcjonalny do prędkości poruszającego się obiektu.

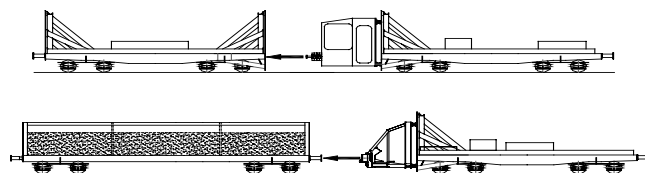
W latach 2004–2005 wprowadzono do systemu kontroli parametrów zderzeń technikę wykorzystującą przesył fal radiowych. Umożliwiło to zdalne hamowanie w dowolnej chwili składu rozpędzanego lub „wypuszczonego” już wagonu. Opisane udoskonalenia systemu pomiarowego i systemu kontroli procesu zderzenia są unikalnym wkładem pracowników Instytutu Kolejnictwa w rozwój metod badań zderzeń pojazdów w skali rzeczywistej 1:1.

Dla przykładu scharakteryzowano projekt badawczy SAFETRAM. W przedsięwzięciu uczestniczyło pięciu wiodących europejskich producentów pojazdów szynowych, czterech operatorów linii tramwajowych i kolejowych, dwie instytucje badawcze i dwie uczelnie. Były to firmy z Francji, Niemiec, Włoch, Polski, Portugalii, Szwajcarii oraz Wielkiej Brytanii.

Obiektem badań w projekcie SAFETRAM były dwa typy tramwajów: miejskie (*city*) – kursujące w granicach miasta oraz aglomeracyjne (*periurban*) – przewożące pasażerów ze stref podmiejskich do centrum miasta i wykorzystujące konwencjonalne tory kolejowe. W projekcie zdefiniowano przeznaczone do zgniotu strefy konstrukcji nośnych tych pojazdów, przez co mogą być chronione przestrzenie, w których znajdują się pasażerowie lub motorniczy. Zastosowano wymienne aparaty absorbujące energię, będące zresztą jednymi z najważniejszych podzespołów testowanych w zderzeniach.

Część projektu SAFETRAM dotycząca badań w OETD w Żmigrodzie była prowadzona w grupach roboczych WP4.2 i WP7, które koordynował zespół badawczy kolei niemieckich DB. Ze strony Instytutu Kolejnictwa realizację badań koordynowały Zakład Pojazdów Szynowych i Laboratorium Badań Taboru. Instytut przygotował ogólne i szczegółowe programy organizacyjne zderzeń, projekty pojazdów testowych (rys. 1) oraz programy pomiarów parametrów przeprowadzanych eksperymentów.

Instytut Kolejnictwa zapewnił wykonanie wielu prac dotyczących pojazdów, w tym np. montaż badanych kabin, umieszczenie balastów regulujących masy pojazdów, instalacje różnego rodzaju urządzeń pomiarowych, specjalistyczne filmowanie przebiegu eksperymentu itd. W grupie WP7 opracowano wyniki badań oraz współpracowano z grupą WP4.4 w zakresie korelacji symulacji numerycznych z wynikami doświadczalnymi. Przykładowe konfiguracje testów zderzeniowych przeprowadzonych w Żmigrodzie przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowe konfiguracje testów [12]:
a) zderzenie ze sztywną ścianą symulującą symetryczny pojazd,
b) zderzenie z wagonem towarowym,

W tablicy 1 porównano parametry wybranych testów zderzeniowych przeprowadzonych przez Instytut Kolejnictwa. Widać dużą różnorodność mas, prędkości zderzeń oraz energii przejmowanych przez absorbery i konstrukcje nośne testowanych kabin. Cechą charakterystyczną *crash testów* są duże koszty wykonania stanowisk badawczych oraz konieczność minimalizacji ryzyka niepowodzenia. Świadczy to o tym, jak duże wyzwanie organizacyjne stanowią dla wykonawcy.

Efektom projektów SAFETRAIN, SAFETRAM i innych prac badawczych w tym zakresie jest wkład do niektórych wytycznych normy europejskiej EN 12663 [7], a przede wszystkim normy EN 15227 [2] zawierającej wymagania zderzeniowe dla pudeł pojazdów szynowych.

Tablica 1

Parametry testów zderzeniowych wykonanych przez Instytut Kolejnictwa;
 V – prędkość zderzenia, E – energia pochłaniana przez część czołową pojazdu,
 S – przemieszczenie względne pojazdów z absorpcją energii,
 m_1 m_2 – masy zderzanych pojazdów

Projekt	Test	Scenariusz	Kategoria	V [km/h]	m_2 [t]	m_1 [t]	E [MJ]	S [mm]
SAFETRAIN	Test 1	4.2a	C-I	73,5	45	45	4,6	1800
	Test 2	4.2b		36	80	45	1,44	400
	Test 2	–		54	90	70	1,4	660
SAFETRAM	City Tram	4.2a	CIV	14	35	35	0,133	450
	Periurban	4.2b	CIII	25	80	55	0,586	720
Bombardier Transportation	TRAXX	4.2a	C-I	62	46	86	4,5	1007
AnsaldoBreda, Włochy	EMU V250	4.2a	C-I	74	45	71	5,8	2190
PESA Bydgoszcz	EMU ED74	4.2a	C-I	36	–	–	–	–