

# Modernizacja stanowiska dynamometrycznego do badania par ciernych hamulca kolejowego w Instytucie Kolejnictwa

Jacek KUKULSKI<sup>1</sup>

## Streszczenie

W artykule opisano prace modernizacyjne zrealizowane w Laboratorium Badań Taboru, obecnego Instytutu Kolejnictwa. Modernizacja, przeprowadzona w 2023 roku, dotyczyła stanowiska dynamometrycznego do badania par ciernych hamulca kolejowego. Stanowisko badawcze zbudowano w latach dziewięćdziesiątych XX wieku w ówczesnym Centrum Naukowo-Technicznym Kolejnictwa. Do przeprowadzenia modernizacji przygotowano specyfikację Warunków Zamówienia (SWZ) oraz uzyskano dofinansowanie z programu RPOWM, a także ze środków własnych Instytutu Kolejnictwa. Jedną z przyczyn podjęcia tego projektu modernizacyjnego były ograniczone możliwości badań wykonywanych na tym stanowisku, zużycie eksploatacyjne podzespołów elektronicznych oraz automatyki, w tym sterowania stanowiskiem. W artykule przedstawiono zakres modernizacji oraz wyniki skróconych badań weryfikacyjnych wymaganych normą IRS 50548 dla stanowisk homologowanych przez UIC. Prezentowane wyniki badań były wykonane przed modernizacją i po modernizacji stanowiska.

**Słowa kluczowe:** stanowisko hamulcowe, badania dynamometryczne, pary cierne

## 1. Wstęp

Historia stanowiska badawczego par ciernych hamulca kolejowego w Instytucie Kolejnictwa (wcześniej w CNTK – Centrum Naukowo-Technicznym Kolejnictwa) sięga lat 90-tych XX wieku. Rozwój taboru kolejowego w latach 90-tych ubiegłego wieku spowodował zwiększone zapotrzebowanie producentów taboru na badania hamulców pojazdów szynowych w tym jego podzespołów i par ciernych hamulca. Takie stanowiska w ówczesnych latach miały nieliczne instytucje takie, jak koleje niemieckie DB, francuskie SNCF, producenci par ciernych takich jak Becorit, BSI (Bergische Stahl Industrie), Textar.

Od stanowisk dynamometrycznych oczekiwano już większych możliwości badawczych m.in. w zakresie elektronicznej symulacji masy hamowanej (do czasu modernizacji stosowano jedynie symulację mechaniczną za pomocą mas bezwładnościowych). Decyzję o budowie nowoczesnego stanowiska hamulcowego podjęto w CNTK, będącego wówczas w strukturach PKP, w połowie lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Wykonawcą stanowiska na potrzeby instytutu badawczego została niemiecka firma ZFP (*Zahnradfabrik Passau GmbH*). Przed realizacją tego zadania producent był wykonawcą kilku innych stanowisk w Europie. Stanowisko miało być zlokalizowane w Zakładzie Mechaniki

Taboru (obecnie Laboratorium Badań Taboru). Koordynatorem prac był m.in. Adam Osiak pracownik CNTK, a następnie PKP Cargo S.A. oraz wieloletni ekspert UIC w obszarze par ciernych hamulców kolejowych. Na usytuowanie stanowiska wykorzystano halę, potocznie nazywaną „hamownią”, na której przeprowadzano badania silników spalinowych i prądnic (z wykorzystaniem opornika wodnego). Nazwa ta funkcjonuje do dzisiaj, mimo że budynek nie pełni już roli hamowni silników spalinowych (rys. 1).

## 2. Wyposażenie i możliwości badawcze stanowiska

Budowę stanowiska dynamometrycznego ukończono w 1997 roku, a w 2001 roku, po wieloletnich badaniach sprawdzających i weryfikacyjnych, stanowisko otrzymało pierwszą homologację UIC (kategorii D do  $V_{\max} = 420$  km/h). Stanowisko, jako jedno z niewielu stanowisk w Europie, otrzymało także świadectwo dopuszczenia. Wcześniej taką homologację miały m.in. stanowiska: DB-Minden; FS (ITCF)-Florence; dwa stanowiska SNCF-Vitry.

Po uzyskaniu homologacji, na stanowisku wykonywano głównie badania według dwóch dokumentów normatywnych takich, jak karty UIC 541-3 [4] oraz UIC 541-4 [5]. Były to jedyne

<sup>1</sup> Dr hab. inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Taboru; e-mail: jkukulski@ikolej.pl.



Rys. 1. Widok budynku hamowni podczas oraz montażu aparatury w 1997 r. [archiwum CNTK]

dokumenty, w których określono wymagania dla nowych elementów ciernych, takich jak wstawki hamulcowe oraz okładziny hamulca tarczowego. Podstawowe parametry techniczne zbudowanego stanowiska przedstawiono w tablicy 1.

Stanowisko badawcze było wyposażone w kilka podzespołów i układów umożliwiających jego sterowaniem oraz obróbką i prezentacją wyników badań. Główne podzespoły

i układy stanowiska zbudowanego w latach dziewięćdziesiątych XX wieku, składają się z:

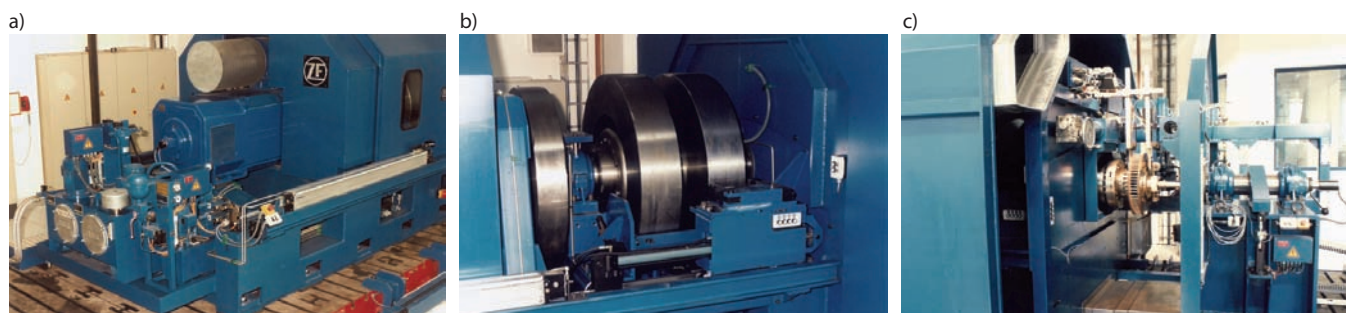
- Maszyny dynamometrycznej, posadowionej na istniejącym fundamencie żelbetowym ze stalowymi i gumowymi elementami tłumiącymi, obejmującej m.in. zespół napędowy (silnik, masy zamachowe, wał oraz łożyska), ram hamulcowych (rys. 2).

Tablica 1

#### Parametry techniczne bezwładnościowego stanowiska badawczego

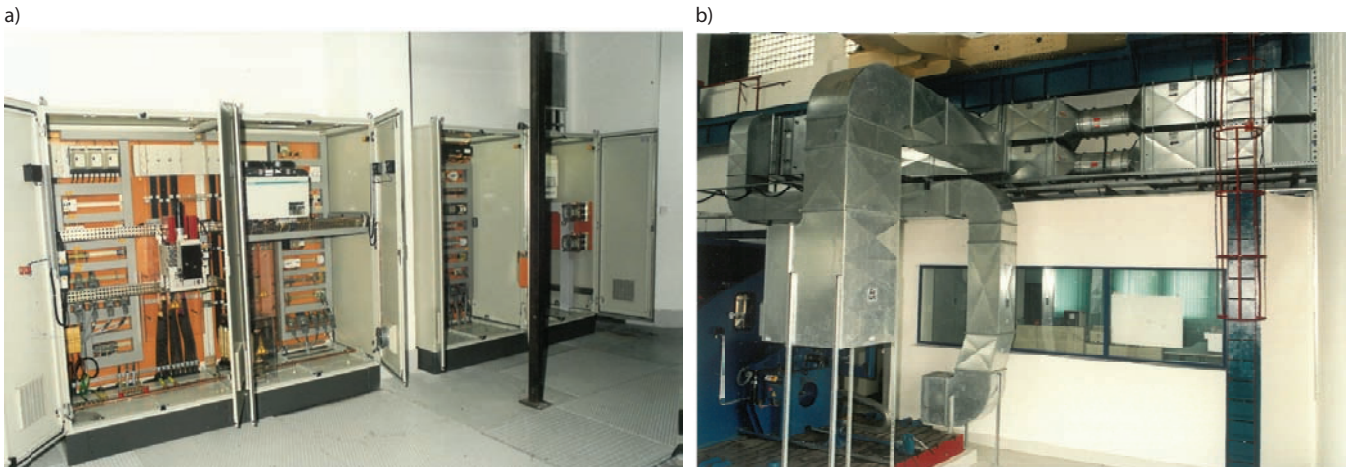
L.p.	Parametr	Wartość
1.	Zakres prędkości pojazdu (dla koła $\varnothing$ 890 mm)	3,5÷420 km/h
2.	Maksymalna prędkość obrotowa	2500 obr./min.
3.	Moc silnika napędowego przy 1150 obr./min	536 [kW]
4.	Moment obrotowy do 1150 obr./min.	4450 [Nm]
5.	Maksymalny moment hamowania: – hamowanie do zatrzymania – hamowanie ciągłe	3000 [Nm] 4450 [Nm]
6.	Zakres momentów bezwładności mas z elektryczną symulacją	150÷3000 kg·m <sup>2</sup>
7.	Maksymalna symulowana masa przypadająca na parę cierną	15 [t]
8.	Zakres regulacji sumarycznej siły docisku szczęk hamulcowych w: – hamulcu tarczowym – hamulcu klockowym	0÷60 [kN] 0÷60 [kN]
9.	Zakres pomiarowy temperatury tarczy hamulcowej (koła jezdne)	0÷1000 [°C]

[Opracowanie własne].

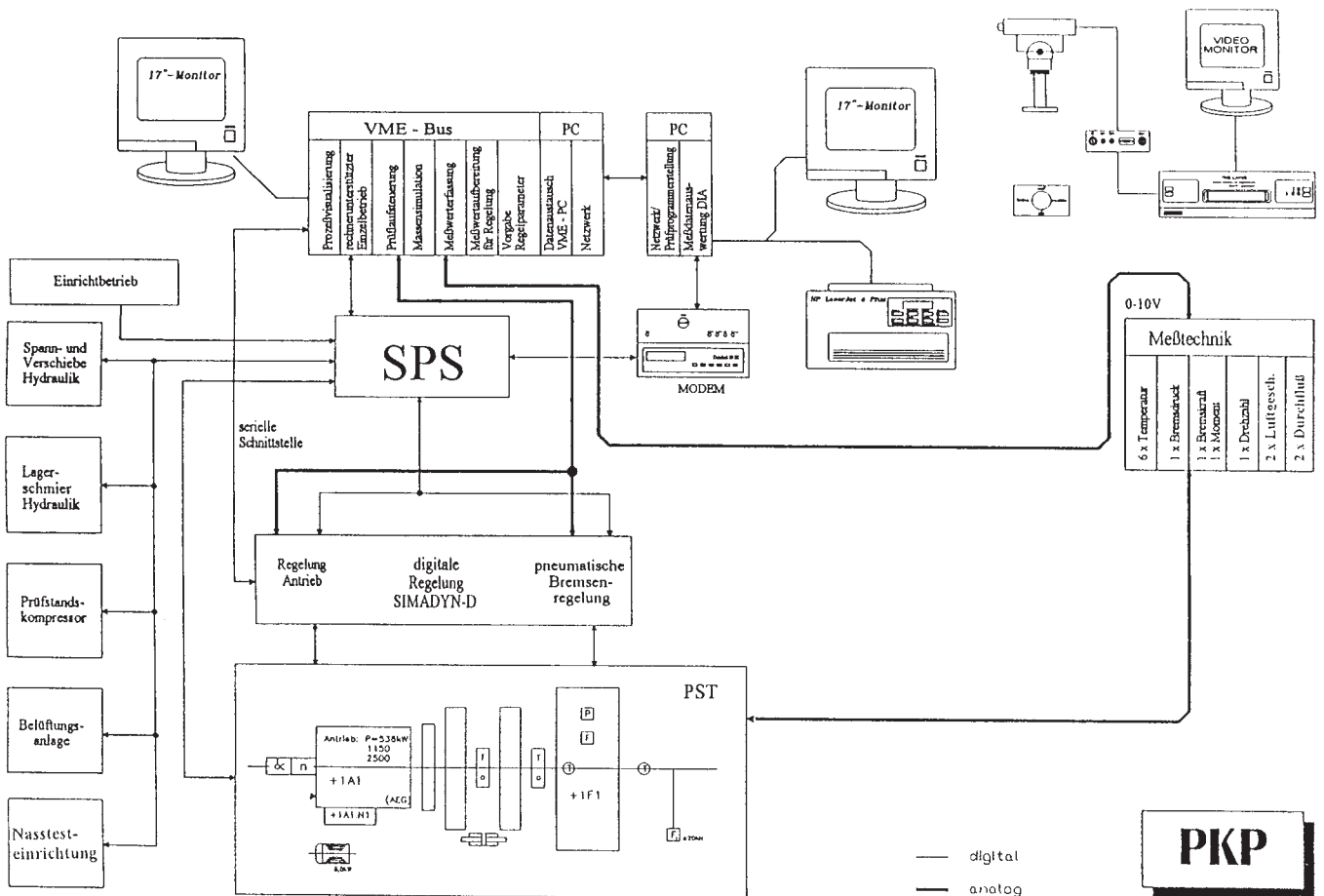


Rys. 2. Maszyna dynamometryczna na stanowisku wybudowanym w 1997 roku: a) fundament żelbetowy z posadowioną maszyną, b) masy zamachowe, c) kabina badawcza z zainstalowaną ramą do hamulca tarczowego [archiwum CNTK]

- Maszyny elektrycznej (stanowisko było napędzane przez maszynę bocznikową prądu stałego, pracującą jako silnik albo jako prądnica wykonująca pracę rekuperacyjną). Maszyna była zasilana przez przekształtnik rezystorowy. Do systemu wentylacji par ciemnych podczas badań (kanały wentylacyjne) wykorzystywano wentylatory instalacji nawiewu i wyciągu zasilane przez przetwornice częstotliwości (rys. 3).
- Agregatów pomocniczych (układ hydrauliczny ciśnieniowego smarowania olejowego i chłodzenia łożysk wału głównego), układ pneumatyczny zasilania hamulca głównego.
- Układu sterowania i regulacji stanowiska (rys. 4).
- Stanowiska obsługi z komputerem obsługi, rejestracji, sterowania oraz obróbki danych pomiarowych (rys. 5).



Rys. 3. Szafy zasilania i sterowania maszynami elektrycznymi stanowiska wybudowanego w 1997 roku (a), kanały wentylacyjne wraz z wentylatorami nawiewu i wyciągu (b) [archiwum CNTK]



Rys. 4. Poglądowy schemat blokowy stanowiska badawczego (przed modernizacją) obejmujący sterowanie i regulację [7]



Rys. 5. Stanowisko obsługi po wybudowaniu w 1997 roku [archiwum CNTK]

Informacje dotyczące szczegółowego wyposażenia stanowiska opisano m.in. w pracy [6] oraz w dokumentacji technicznej stanowiska [7].

### 3. Modernizacja stanowiska badawczego

Celem modernizacji stanowiska było unowocześnienie i osiągnięcie badań wyższej jakości, odpowiadającej standardom unijnym, wzmocnienie współpracy sektora nauki i gospodarki w obszarze badań tribologicznych oraz w zakresie bezpieczeństwa elementów taboru. Może to mieć wpływ na rozwój nowych technologii i nowych rozwiązań konstrukcyjnych, które umożliwią zwiększenie oferty na innowacyjne produkty, rozwój przemysłu oraz rozwój transportu szynowego.

#### 3.1. Zakres modernizacji

Projekt modernizacyjny dotyczył wymiany przestarzałej aparatury elektronicznej i automatyki wykazującej znaczne zużycie eksploatacyjne objawiające się częstymi awariami i usterkami. Powodowało to przestoje w realizowanych projektach badawczych. Zakres modernizacji dotyczył pięciu głównych systemów:

- 1) opracowania i zastosowania nowego systemu programowania stanowiska z możliwością importu plików wsadowych;
- 2) opracowania i zastosowania nowego systemu rejestracji i obróbki danych pomiarowych otrzymanych z badań;
- 3) opracowania i zastosowania systemu sterowania i kontroli stanowiska dynamometrycznego;
- 4) opracowania i zbudowania systemu zraszania par ciernych hamulca symulujących zachowanie się tych elementów podczas badań w warunkach mokrych, jak i zimowych;
- 5) opracowania i zastosowania nowego systemu monitoringu i diagnostyki elementów wyposażenia stanowiska dynamometrycznego.

Wymienione zadania wykonano i zaimplementowano do istniejącego stanowiska badawczego. W kolejnych rozdziałach przedstawiono efekty tej modernizacji wraz z nowymi możliwościami badawczymi oraz zrealizowanymi wynikami badań weryfikacyjnych i sprawdzających.

#### 3.2. Możliwości badawcze po modernizacji

Przeprowadzone prace modernizacyjne zachowały dotychczasowe możliwości badawcze oraz umożliwiły rozszerzenie zakresu badawczego i przygotowanie bazy na kolejne implementacje i rozbudowę stanowiska. Istotną zmianą po modernizacji jest to, że zastosowany system sterowania stanowiskiem jest systemem otwartym. Umożliwia to budowanie własnych modułów sterowania, rejestracji, a także kalibracji czujników wraz z wprowadzeniem krzywej kalibracyjnej dla wykorzystywanych czujników (m.in. ciśnienia, siły stycznej, normalnej itp.). Wykonawca wdrożył własne rozwiązanie dotyczące oprogramowania sterująco-rejestrującego wykorzystywanego na takich stanowiskach badawczych. Pozwala ono na indywidualne dostosowanie interfejsów do wymagań klientów. System RENK/RDDS (*RENK Dynamic Data System*) został opracowany i zaprojektowany specjalnie pod względem wymagań systemów testowych. Pełne sterowanie, gromadzenie i obróbka danych szybkich zdarzeń, jak również jednoczesne monitorowanie różnych wartości granicznych wpływało na potencjalną wydajność tego systemu.

Proponowany system RDDS wykorzystuje architekturę typu klient – serwer, której zadaniem jest umożliwienie użytkownikowi dostępu do informacji bez względu na jej lokalizację w sieci. Działający kontroler (serwer) obsługuje wszystkie aplikacje czasu rzeczywistego w środowisku czasu rzeczywistego TwinCAT<sup>®</sup>3 firmy Beckhoff. Wizualizacja stanowiska badawczego odbywa się na komputerze klienta. Dzięki architekturze klient – serwer możliwe jest korzystanie z baz wielu klientów w ramach jednego testu: zarządzanie konfiguracjami testów, danymi, logowaniem itp. z wykorzystaniem baz danych SQL. Zastosowane oprogramowanie oferuje następujące funkcje i możliwości:

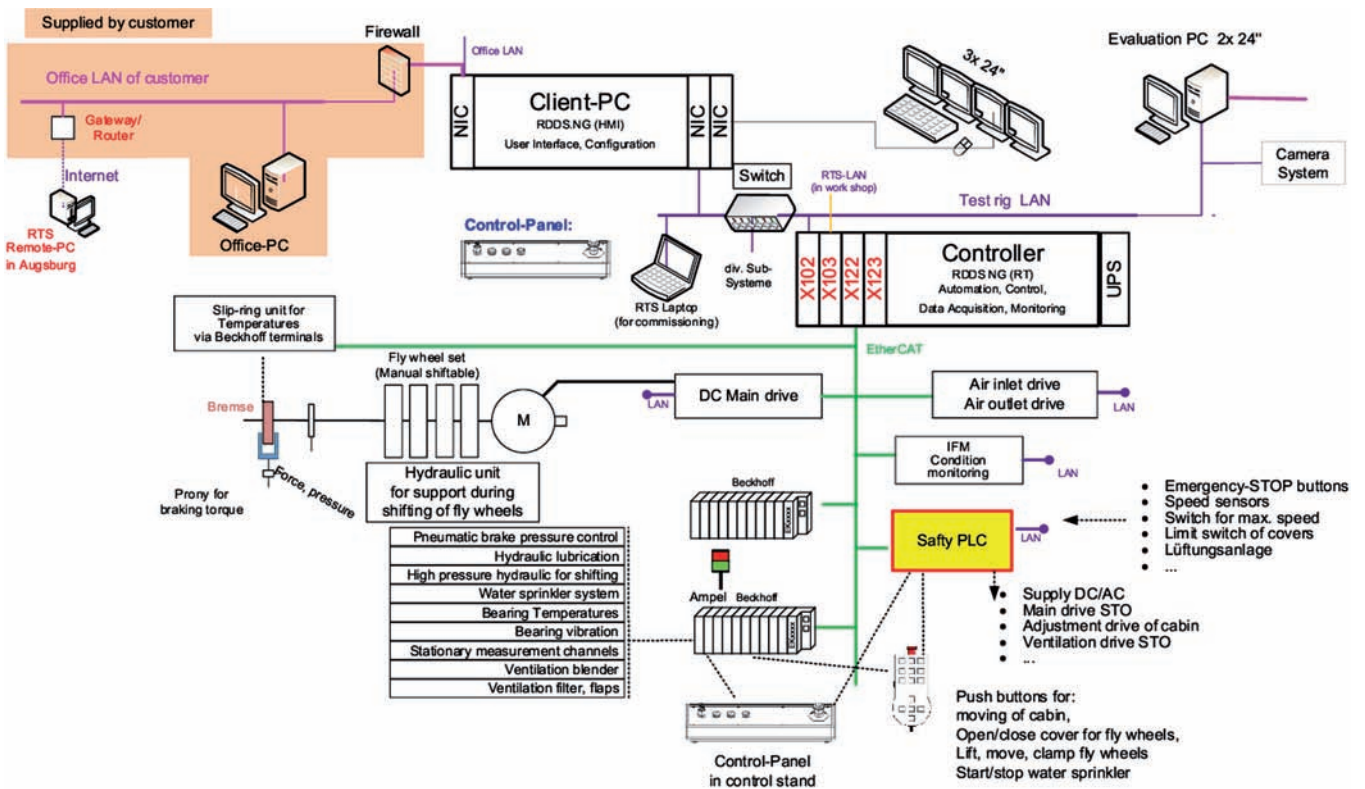
- ciągły przepływ informacji, danych pomiarowych oraz zarządzanie tymi danymi;
- integrację urządzeń pomiarowych, np. pomiaru NVH, systemu DTV, kamer na podczerwień i kamer monitorujących;
- większą elastyczność stanowiska i możliwość jego rozbudowy;
- możliwość konfiguracji programu testowego z intuicyjnymi edytorami graficznymi i dużą elastycznością, np. w zakresie wyboru trybów sterowania;
- możliwość wykorzystania otwartej architektury systemu (np. w celu przyszłej integracji sprzętu lub systemu zarządzania testami);
- sterowanie urządzeniami peryferyjnymi (np. zespół napędowy, urządzenia mocujące, ciśnienie hamulca pneumatycznego itp.);
- monitorowanie obiektu badań oraz samego stanowiska badawczego;

- wykorzystanie numerycznego i graficznego wyświetlacza on-line;
- diagnostykę urządzeń zastosowanych na stanowisku badawczym;
- generowanie raportów, wyników badań w formatach numerycznych, pdf itp. pomiarowe).

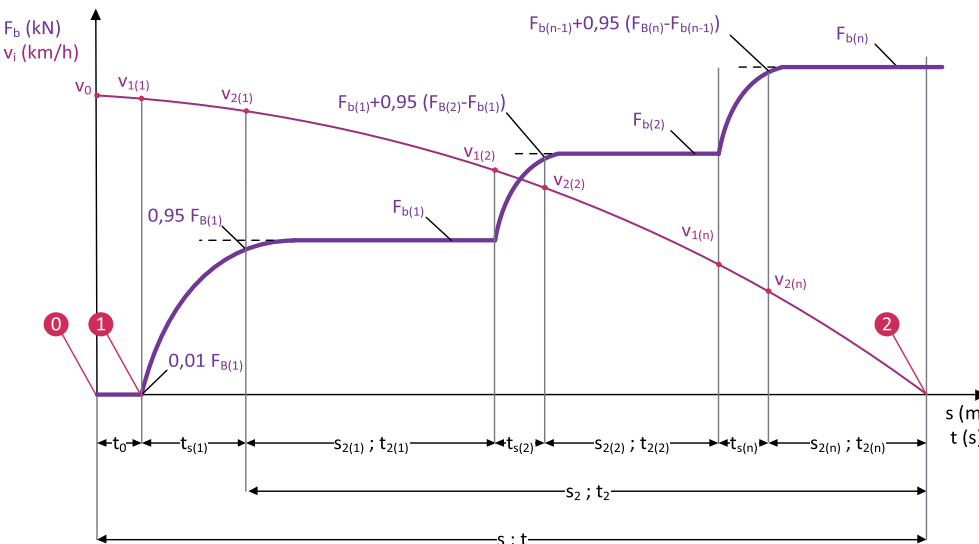
Rozplanowanie ogólne układu sterowania i zarządzania zmodernizowanym stanowiskiem badawczym przedstawiono na rysunku 6.

Podczas modernizacji istotną była zmiana systemu sterowania wykorzystywanego m.in. do elektronicznej symulacji masy hamowanej, co uwidacznia się na stabilności symulowanej masy, jak również w wynikach współczynnika tarcia. Istotnym elementem w nowym systemie sterowania jest również możliwość realizacji hamowań wielostopniowych (rys. 7), co wcześniej było trudne do wykonania zgodnie z wymaganiami norm [4, 3, 8].

Ważną zmianą, którą uzyskano przez modernizację jest realizacja badań w celu wyznaczenia statycznego



Rys. 6. Układ sterowania i zarządzania zmodernizowanym stanowiskiem badawczym [materiały RENK]

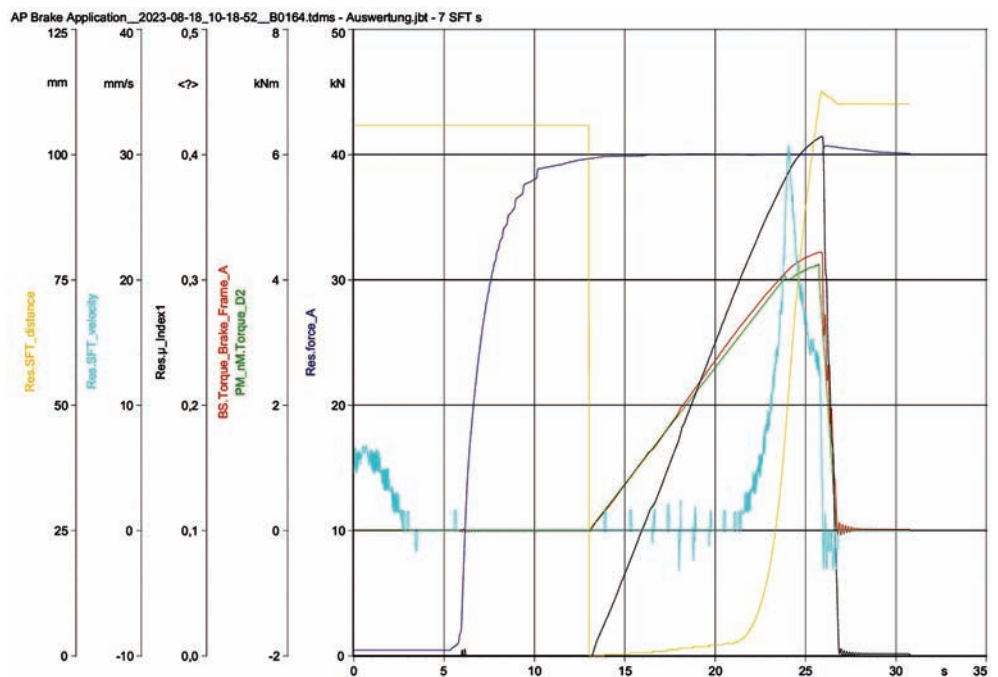


Rys. 7. Ewolucja siły przyłożenia (wielostopniowe hamowanie) w funkcji czasu i odległości [8]; 0 – impuls rozpoczęcia hamowania, 1 – początek zwiększania siły nacisku okładzin, 2 – zatrzymanie

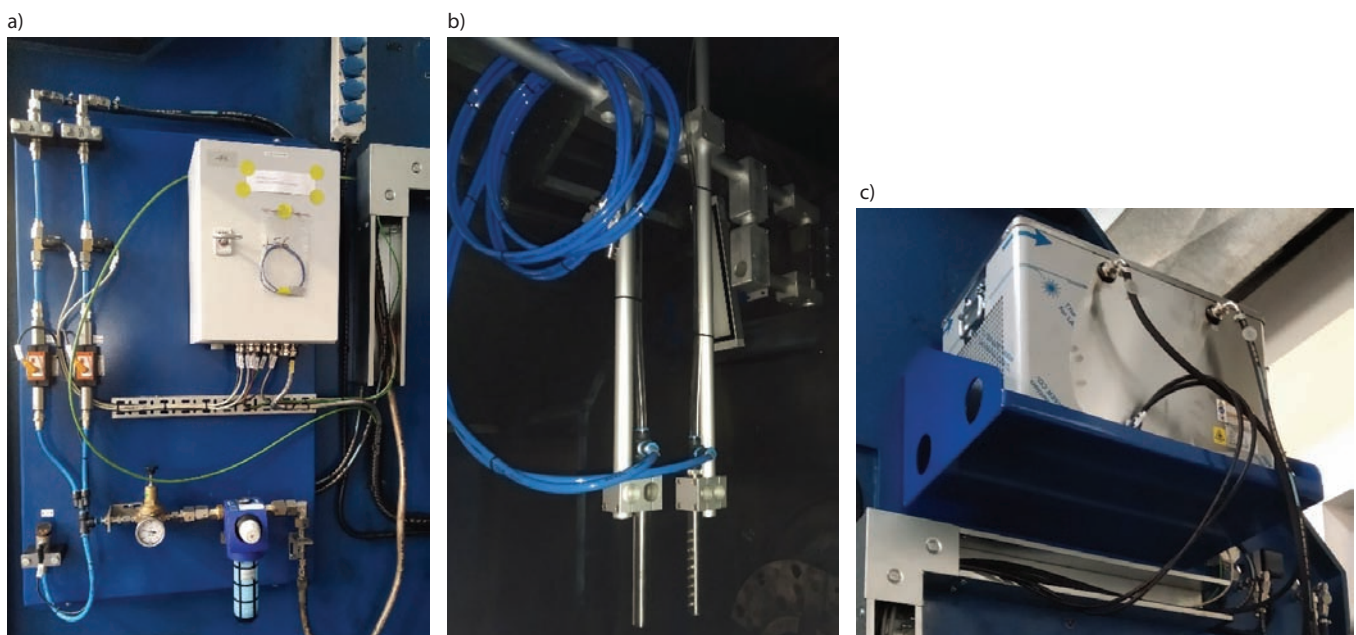
współczynnika tarcia [1, 2, 5, 4]. Jest to jeden z podstawowych programów homologacyjnych lub certyfikacyjnych przy dopuszczaniu wstawek lub okładzin hamulcowych do eksploatacji. Istotnym elementem jest precyzyjne sterowanie napędem celem zerwania przyczepności zahamowanej wstawki lub okładziny z zachowaniem dopuszczalnej prędkości narastania momentu hamującego. Badania tego typu są istotne dla hamulców postojowych zapewniających utrzymanie pojazdu lub wagonu na znacznym pochyleniu, np. na torach postojowych. Na rysunku 8 przedstawiono

przykładowy wynik próby w celu wyznaczenia statycznego współczynnika tarcia okładziny hamulcowej.

Istotnym elementem nowego wyposażenia stanowiska po modernizacji była budowa nowego systemu zraszania par ciernych hamulca wraz ze schładzaniem wody. Rozwiązanie przedstawione na rysunku 9 pozwala na zraszanie par ciernych hamulca symulując warunki opadów atmosferycznych. Czynniki wody może negatywnie wpływać na właściwości cierne materiałów stosowanych w układzie hamulcowym. Może znacznie obniżyć współczynnik tarcia



Rys. 8. Wyznaczenie statycznego współczynnika tarcia przy sile hamowania  $F_b = 40$  kN [opracowanie J. Kukulski]



Rys. 9. Nowy system zraszania par ciernych hamulca wraz ze schładzaniem wodą; a) sterowanie wydatkiem wody, b) dysze zraszające parę cierną, c) system schładzania wody do zraszania [fot. J. Kukulski]

i tym samym wydłużyć drogę hamowania. Badania stanowiskowe umożliwiają sprawdzenie zachowania się par ciekłych w warunkach mokrych, a także umożliwiają wykrycie aquaplaningu, czyli tzw. poślizgu wodnego. Jest to zjawisko bardzo niebezpieczne, ponieważ może pojawić się tarcie mieszane, a nawet brak tarcia ze względu na utworzenie się filmu wodnego pomiędzy tarczą hamulcową a okładzinami hamulcowymi. Nowy system zraszania par ciekłych umożliwia precyzyjne dozowanie wymaganego strumienia wody z dysz natryskowych (wydatku wody zgodnie z wymaganiami). Istotna jest również jakość i temperatura wody chłodzącej parę ciekłą.

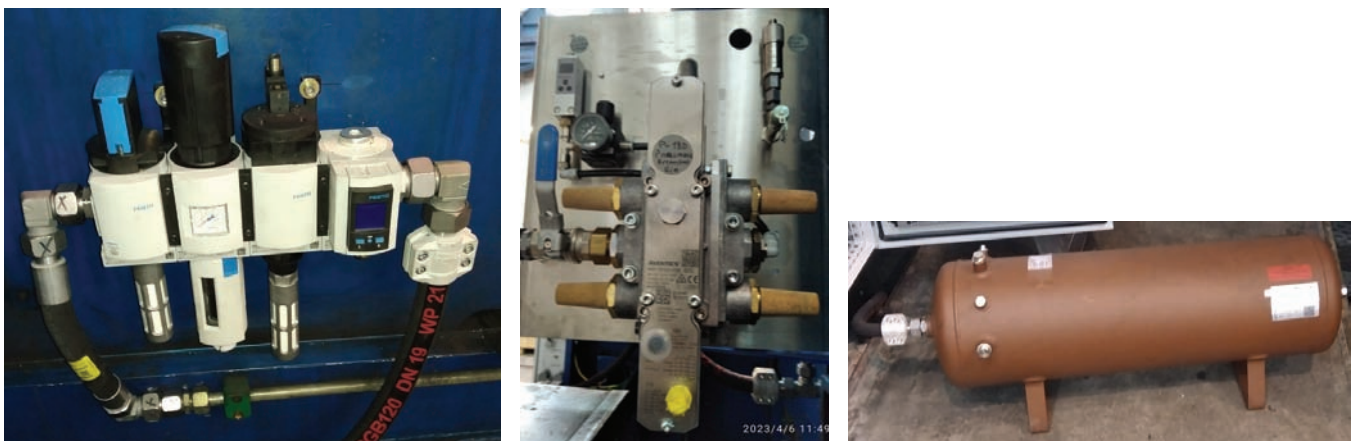
Nieodzownym elementem nowych systemów automatyki sterowania są systemy diagnostyczne i monitoringu. W przypadku modernizowanego stanowiska zastosowano

nowoczesne rozwiązania sterowania podzespołów elektrycznych, pneumatycznych, jak i hydraulicznych wykorzystywanych podczas użytkowania stanowiska dynamometrycznego. Na rysunkach 10–13 przedstawiono nowe wyposażenie w postaci szaf sterowania, jak też parametry diagnostyczne samego stanowiska i badanych obiektów, które parametry mogą być prezentowane w czasie rzeczywistym.

Jednym z ważnych elementów dla obsługi stanowiska jest pulpit sterowania stanowiskiem badawczym (rys. 14). Pulpit składa się z pięciu monitorów spełniających funkcje diagnostyczne, przygotowywania programów, obróbki wyników pomiarowych. Ułatwieniem jest również łatwiejsze dostosowanie stanowiska badawczego do nowych i niestandardowych programów badawczych w tym importu wybranych parametrów profilu linii kolejowej do programu.



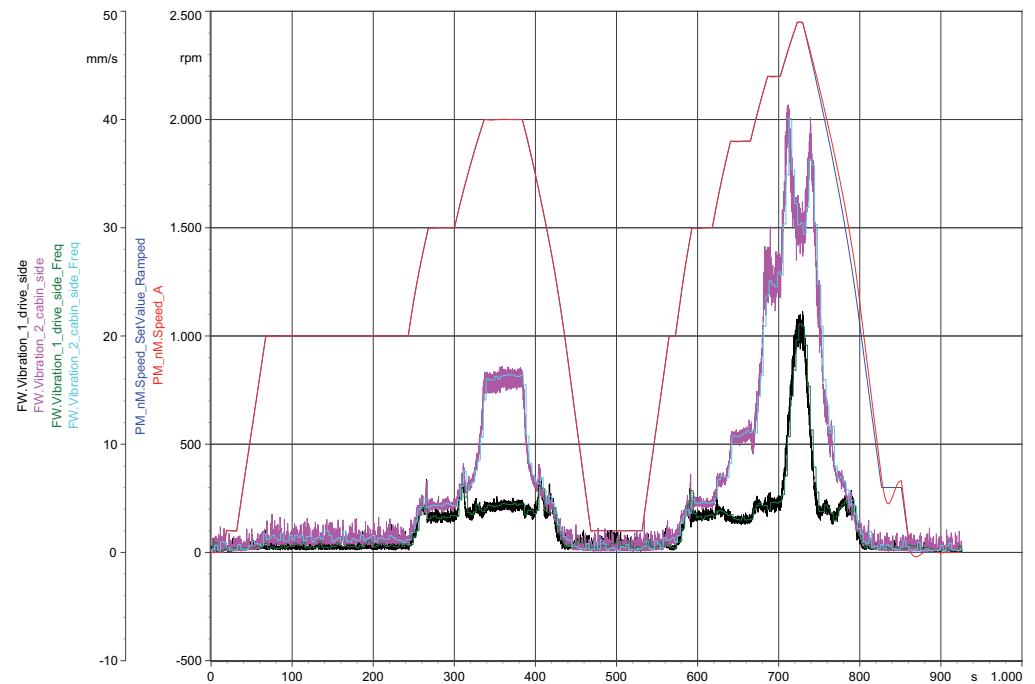
Rys. 10. Szafa sterowania silnika napędowego stanowiska [fot. J. Kukulski]



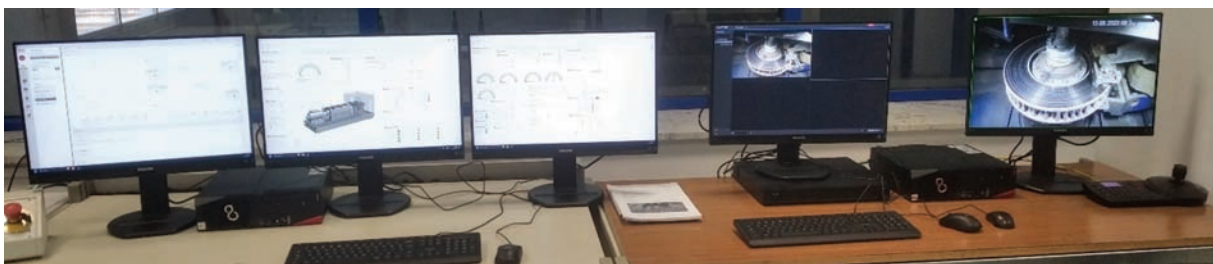
Rys. 11. System sterowania hamulcem pneumatycznym [fot. J. Kukulski]



Rys. 12. Okno wyświetlanych podstawowych parametrów hamowania oraz wybranych parametrów systemu diagnostyki stanowiska w czasie rzeczywistym [opracowanie J. Kukulski]



Rys. 13. Pomiary diagnostyczne drgań na łożyskach w funkcji prędkości obrotowej [opracowanie J. Kukulski]



Rys. 14. Pulpit sterowania stanowiskiem badawczym [fot. J. Kukulski]

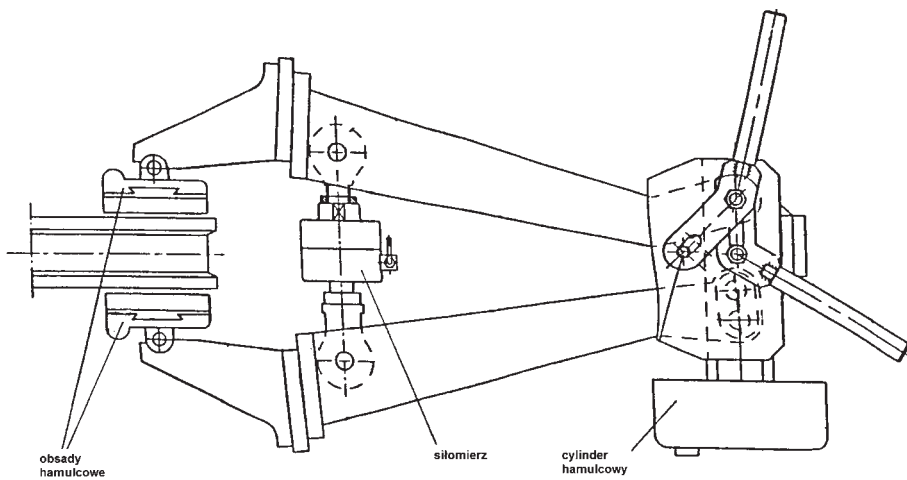


#### 4. Badania weryfikacyjne porównawcze

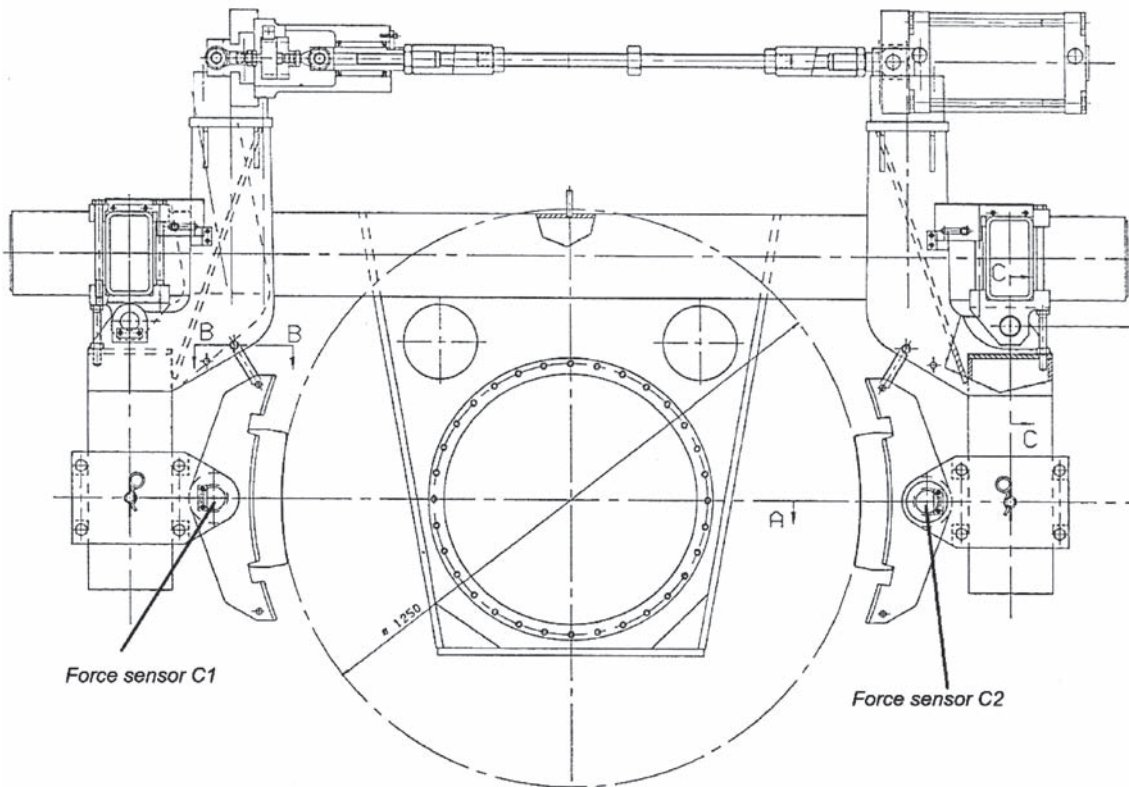
W celu zapewnienia oraz zachowania wysokiej jakości badań po modernizacji stanowiska, podczas końcowego odbioru wykonano liczne badania sprawdzające i weryfikacyjne. Pierwszą fazą sprawdzeń stanowią badania z wykorzystaniem aparatury wzorcującej ze świadectwem (wzorcowania AP), będącej na stanie Laboratorium Badań

Taboru. Badaniom sprawdzającym poddano prędkość obrotową wału silnika, siły nacisku zarówno dla hamulca klockowego, jak i tarczowego oraz wydatek wody podczas zraszania par ciernych hamulca. Na rysunkach 15–17 przedstawiono lokalizację czujników wykorzystanych do sprawdzenia i wzorcowania toru pomiarowego.

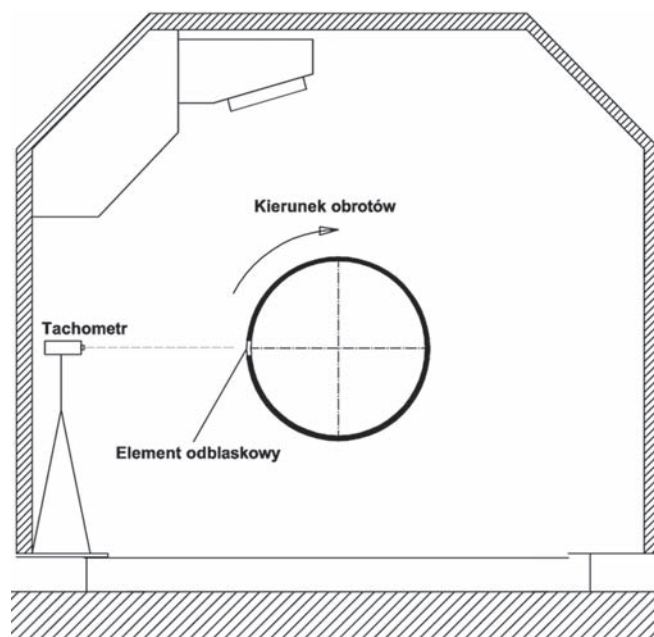
Uzyskane wyniki 18 badań sprawdzających przedstawiono w tablicach 2–3 oraz na wykresach (rys. 18–20).



Rys. 15. Zacisk hamulca tarczowego z zamieszczonymi czujnikami wzorcowymi C1 i C2; opracowanie własne na podstawie [7]



Rys. 16. Zacisk hamulca klockowego z zamieszczonymi czujnikami wzorcowymi C1 i C2; opracowanie własne na podstawie [7]



Rys. 17. Lokalizacja tachometru i badanego obiektu w kabynie  
[opracowanie J. Kukulski]

Tablica 2

#### Wyniki sprawdzenia wydatku wody do zraszania par ciernych hamulca

Wydatek wody dla zadanego ustawienia wydatku [l/h]							
Zraszacz	Zadany wydatek l/h	pomiar 1	pomiar 2	pomiar 3	$q$	$s(q)$	Błąd pomiaru [l/h]
L	12,5	12,6	12,8	12,7	<b>12,7</b>	0,09	0,17
P	12,5	12,4	12,4	12,4	<b>12,4</b>	0,03	-0,11
L	14	14,1	14,1	14,1	<b>14,1</b>	0,02	0,09
P	14	14,1	14,0	14,1	<b>14,1</b>	0,05	0,07
L	25	24,9	25,1	24,7	<b>24,9</b>	0,21	-0,11
P	25	25,4	25,2	25,3	<b>25,3</b>	0,11	0,29
L	29	29,1	29,6	29,3	<b>29,4</b>	0,26	0,35
P	29	29,1	29,3	29,1	<b>29,2</b>	0,09	0,15

[Opracowanie J. Kukulski].

Tablica 3

#### Wyniki sprawdzenia prędkości liniowej zadawanej w programie badawczym

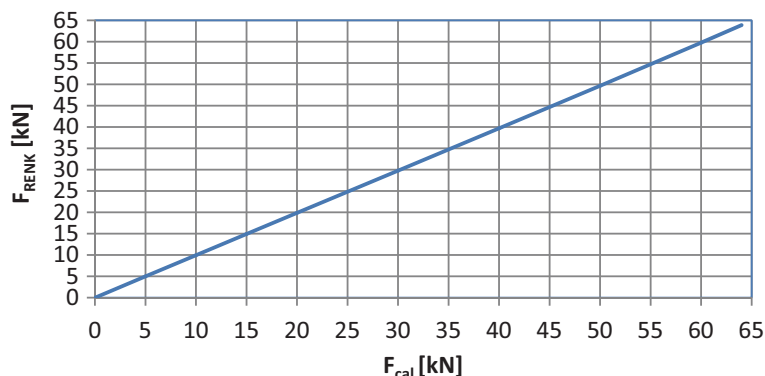
L.p.	Zadawana prędkość liniowa [km/h]	Uzyskana prędkość obrotowa wału silnika z czujnika prędkości obrotowej [obr./min.]	Zmierzona wartość prędkości obrotowej wału silnika tachometrem [obr./min.]	Obliczona prędkość liniowa [km/h]
1	50	303,2	303,2	<b>49,98</b>
2	80	485,0	484,9	<b>79,93</b>
3	100	606,3	606,2	<b>99,93</b>
4	120	727,6	727,4	<b>119,92</b>
5	140	848,9	848,7	<b>139,92</b>
6	160	970,1	970,3	<b>159,96</b>
7	200	1212,7	1212,9	<b>199,96</b>
8	250	1515,8	1516,0	<b>249,93</b>

[Opracowanie J. Kukulski].

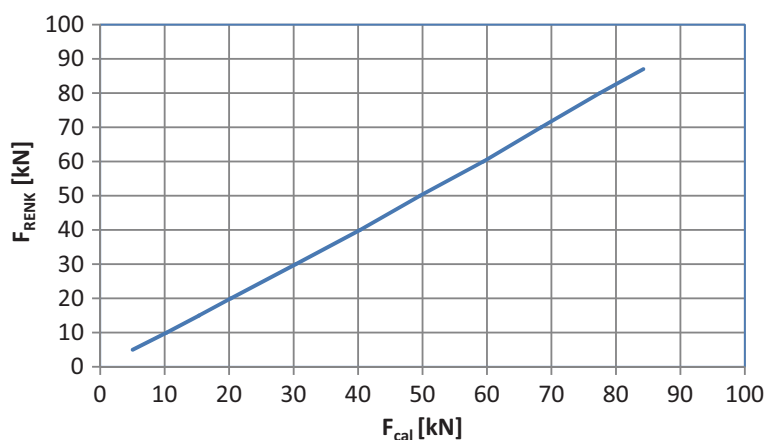
Najistotniejszą weryfikacją stanowiska po modernizacji były badania próbek wzorcowych (wykorzystywanych do badań homologacyjnych tego stanowiska), które są wykonywane co 5 lat według programu badawczego (tabl. 4).

W badaniach zastosowano tarczę hamulcową stalową o wymiarach 640/350/80 mm oraz spiekane okładziny

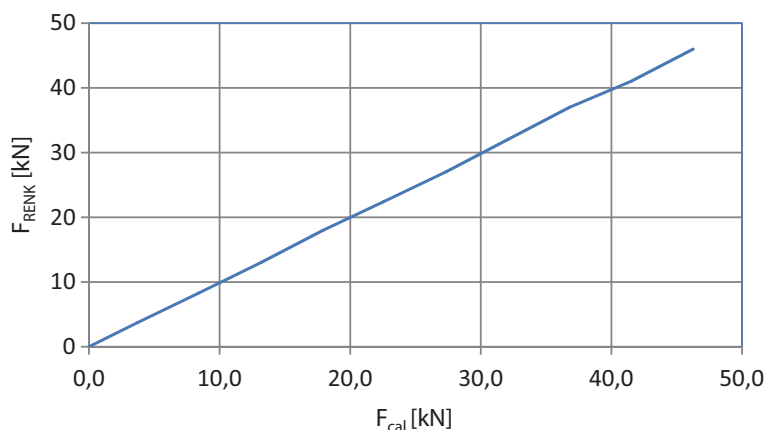
hamulcowe. Należy podkreślić, że takie badania przeprowadzono również przed modernizacją, aby móc porównać m.in. uzyskane wyniki współczynnika tarcia (rys. 21). Otrzymane wyniki pomiarów zostały ocenione w specjalnym kalkulatorze UIC do oceny współczynnika tarcia podczas badań weryfikacyjnych.



Rys. 18. Wartość siły zadanej programowo (FRENK) w funkcji siły pomierzonej zamieszczonymi czujnikami wzorcowymi C1 i C2 do hamulca tarczowego (Fcal) [opracowanie J. Kukulski]



Rys. 19. Wartość siły zadanej programowo (FRENK) w funkcji siły pomierzonej zamieszczonymi czujnikami wzorcowymi C1 i C2 do hamulca tarczowego (Fcal) – konfiguracja 2Bg [opracowanie J. Kukulski]

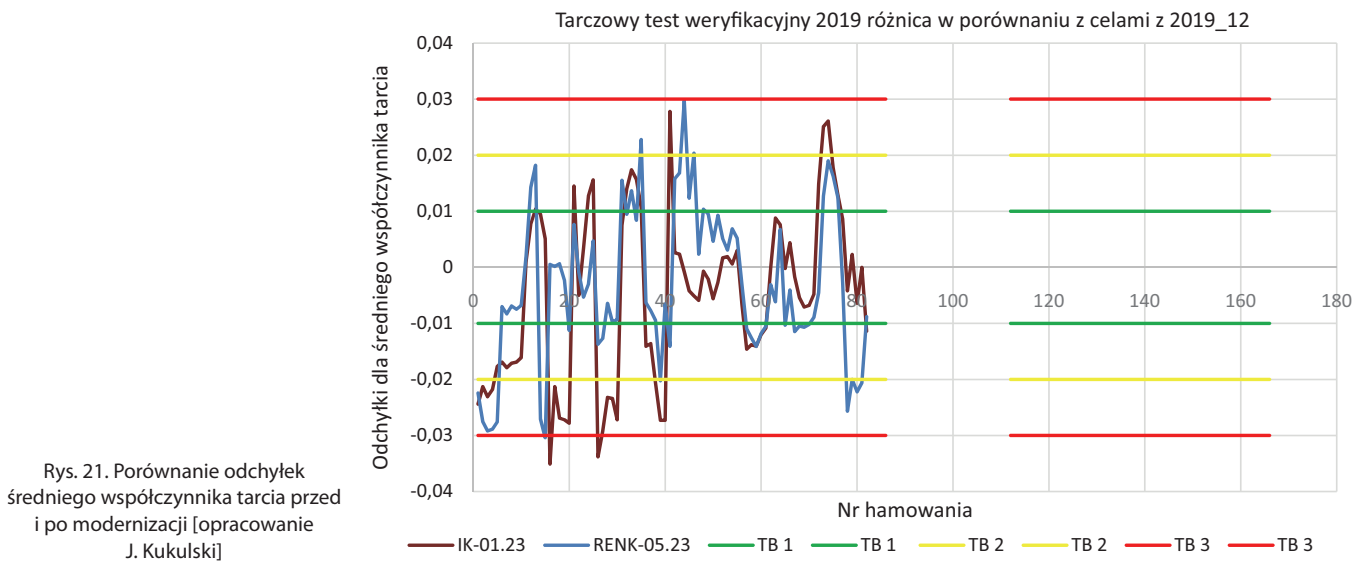


Rys. 20. Wartość siły zadanej programowo (FRENK) w funkcji siły pomierzonej zamieszczonym czujnikiem wzorcowym C2 do hamulca klockowego – konfiguracja 1Bg [opracowanie J. Kukulski]

Tablica 4

**Skrócony program badawczy G3 –według normy IRS 50548 [8]**

<b>Test program for brake pads</b> <b>Comparison et periodic verification tests of dynamometer tests rigs</b> <b>Sintered brake pads on steel discs with reduced fan capacity</b>						
<b>General conditions of the test</b>  <b>Mass per brake disc: m = 4 and 7,5 t</b> <b>Maximum speed: v = 500 km/h</b> <b>(each test rig at its maximum speed e.g. 175 km/h for 200)</b>				<b>Sintered brake pads</b>  <b>Type of disc: Alloyed steel disc with reduced fan capacity</b>  <b>Dimensions: 640 x 80 mm</b> <b>Medium braking radius: 247 mm</b> <b>Wheel diameter: 890 mm</b> <b>Thickness of sintered friction elements: max. 30 mm</b>		
Type of braking	Number of brakings	Brake application No.	Initial speed [km/h]	Application force $F_B$ [kN]	Initial temperature $\theta_0$ [°C]	Remarks
FA	(X = 200) x ≥ 100	R1 to Rx	120	31	20-100	x brake applications to bed-in the brake pads up to at least 70 % contact area (the leading edges of the rubbing element must be in contact). m = 7,5 t / disc
FA	5	1-5	50	8	20-60	Dry brake applications  m = 7,5 t / disc
"	5	6-10	50	16	20-60	
"	5	11-15	120	8	50-60	
"	5	16-20	120	46	"	
"	5	21-25	160	16	"	
"	5	26-30	160	46	"	
"	5	31-35	200	16	"	
"	5	36-40	200	46	"	
FM	1	41	60	-	20-30	25 kW / 20 min; dry brake applications
FA	10	42-51	120	31	20-100	m = 4 t / disc; dry brake applications
FA	5	52-56	120	25	20-60	Dry brake applications  m = 4 t / disc
"	5	57-61	50	25	20-60	
"	5	62-66	120	18	50-60	
"	5	67-71	50	18	50-60	
"	5	72-76	120	8	50-60	
"	5	77-81	200	18	50-60	
"	5	82-86	200	25	50-60	



Rys. 21. Porównanie odchyłek średniego współczynnika tarcia przed i po modernizacji [opracowanie J. Kukulski]

Analizując uzyskane wyniki, widać większą stabilność współczynnika tarcia uzyskanego w badaniach po modernizacji. Dodatkowo większa liczba uzyskanych wyników mieści się w dopuszczalnych polach tolerancji, co jest bardziej wyeksponowane w kalkulatorze oceny na rysunkach 22 i 23.

tolerancji mieści się aż 85% uzyskanych wyników różnica wynosi o 4,7 % w stosunku do stanu przed modernizacją. Różnice te mogą wynikać m.in. z bardziej precyzyjnego sterowania silnikiem napędowym oraz symulacją masy hamowanej podczas badań.

Fill in: IK test bench	
<b>results of violations against toleranceband V 2.5_E</b>	
Brakepad T30S 16_01_2019	target
Number of violations against tolerance band 1	41
Compliance percentage	> 50%
Number of violation against tolerance band 2	16
Compliance percentage	> 85%
Number of violation against tolerance band 3	<=3
Number of all dry tests performed (without wet and 5 dry Br)	127
Deviation from target value greater than 0,06	0

Rys. 22. Ocena wyników średniego współczynnika tarcia uzyskanych przed modernizacją w kalkulatorze UIC; opracowanie własne na podstawie [8]

Fill in: IK test bench	
<b>results of violations against toleranceband V 2.5_E</b>	
Brakepad T30S 16_01_2019	target
Number of violations against tolerance band 1	38
Compliance percentage	> 50%
Number of violation against tolerance band 2	10
Compliance percentage	> 85%
Number of violation against tolerance band 3	<=3
Number of all dry tests performed (without wet and 5 dry Br)	127
Deviation from target value greater than 0,06	0

Rys. 23. Ocena wyników średniego współczynnika tarcia uzyskanych po modernizacji w kalkulatorze UIC; opracowanie własne na podstawie [8]

W przypadku pola tolerancji (50%) wyniki uzyskane po pracach modernizacyjnych są korzystniejsze w stosunku do badań wykonanych przed modernizacją. Uzyskane współczynniki tarcia po modernizacji są o 2,4% wyższe w stosunku do badań przed modernizacją. Z kolei w polach

## 5. Podsumowanie

Zrealizowany projekt modernizacyjny umożliwił poprawę jakości uzyskiwanych wyników badań. Nowoczesny system sterowania stanowiskiem, system programowania i rejestracji wyników umożliwiają także rozszerzenie zakresu badawczego stanowiska dynamometrycznego w Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa. Zastosowane systemy diagnostyki i monitorowania stanu technicznego istotnych elementów stanowiska pozwala na szybsze zdiagnozowanie stanów awaryjnych. Prace modernizacyjne pozwoliły również na przygotowanie bazy pod dalszą rozbudowę o nowe systemy i moduły, co umożliwi zastosowane oprogramowania RDDS, które ma charakter oprogramowania otwartego na rozbudowę dodatkowych modułów sterowania oraz dodatkowej aparatury pomiarowej.

Zrealizowany projekt skraca czas badania większości badanych materiałów ciernych hamulca kolejowego, prototypowych materiałów oraz elementów konstrukcyjnych, a także wyposażeniowych, charakteryzujących się innowacyjnością w zakresie rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych. Krótszy czas realizacji badań przy zastosowaniu zakupionego wyposażenia pozwoli na zwiększenie liczby prac badawczych realizowanych w ciągu roku, co wpłynie na zwiększenie oferty dla innowacyjnych produktów. Ponadto, wykonane prace badawcze przyczynią się do zwiększenia doświadczenia i kompetencji realizujących je ekspertów, a wyniki ich badań publikowane na międzynarodowych konferencjach oraz w czasopiśmie o międzynarodowym zasięgu, w istotny sposób wpłyną na

zwiększenie bezpieczeństwa transportu szynowego, między innymi przez wkład do legislacji europejskiej w obszarze TSI oraz normalizacji CEN oraz UIC.

## Bibliografia

1. ERA/TD/2013-02/INT ver. 3.0: Friction elements for wheel tread brakes For freight wagons. 27-11-2015.
2. PN-EN 16452:2015-08: Railway applications – Braking – Brake blocks.
3. PN-EN 14535-3:2016-02: Railway application – Brake discs for railway rolling stock – Part 3: Brake discs, performance of the disc and the friction couple, classification.
4. UIC 541-3: Brakes – Disc brakes and their application – General conditions for the certification of brake pads. 8th edition, April 2017.
5. UIC 541-4: Brakes – Brakes with composite brake blocks – General conditions for certification of composite brake blocks, 5th edition, January 2017.
6. Osiak A.: *Stanowisko badawcze par ciernych hamulców Centrum Naukowo-Technicznego Kolejnictwa w Warszawie*. Prace CNTK zeszyt nr 129/1999, s. 39–44.
7. Dokumentacja techniczna stanowiska. CNTKT 1-7, 1997 R.
8. IRS 50548-2020: Requirements of friction test benches for the international certification of brake pads and brake blocks.