

Koncepcja rozszerzenia zakresu badawczego stanowiska dynamometrycznego przez zastosowanie zacisków hamulcowych sterowanych ciśnieniem

Jacek KUKULSKI¹

Streszczenie

W artykule opisano prace, wykonane w ramach projektu własnego, obejmujące rozszerzenie zakresu badawczego stanowiska do badania par ciernych hamulca. Cel osiągnięto przez zbudowanie systemu pomiarowego ciśnienia i konwertera na wartość siły zadanej w układach hamulcowych (kompaktach), sterowanych ciśnieniem powietrza. Jedną z przyczyn podjęcia tego projektu były dotychczasowe bariery ograniczające możliwości badawcze stanowiska podczas realizacji niektórych badań. Przed wdrożeniem nowego rozwiązania, w badaniach stosowano standardowy, ramieniowy układ hamulcowy, z zamontowanym czujnikiem siły pomiędzy zaciskiem hamulcowym. Nowy system obsługuje również kompaktowe układy hamulcowe, w których nie można zbudować czujników do pomiaru siły docisku. Umożliwia także zwiększenie symulowanego nacisku okładzin hamulca tarczowego do wartości 100 kN.

Słowa kluczowe: badania dynamometryczne, zaciski hamulcowe, pary cierne

1. Wstęp

Przyczyną podjęcia opisywanego projektu własnego były ograniczenia badawcze stanowiska dynamometrycznego przy realizowaniu niektórych programów badawczych, zawartych w różnych dokumentach normatywnych. Głównym celem pracy było zbudowanie systemu pomiarowego ciśnienia i konwertera na wartość siły zadanej w układach hamulcowych, m.in. w kompaktach sterowanych ciśnieniem powietrza, wykorzystywanych w badaniach dynamometrycznych par ciernych hamulca kolejowego. Rozwiązania istniejące przed zastosowaniem systemu, bazowały na standardowym układzie hamulcowym ramieniowym z zamontowanym czujnikiem siły pomiędzy zaciskiem hamulcowym i cylindrem hamulcowym. Rozwiązanie konstrukcyjne umożliwiało badanie par ciernych hamulca z maksymalną siłą docisku okładzin 60 kN.

Obecnie stosowane programy badawcze, zawarte w normach europejskich, kartach UIC i specyfikacjach badawczych, wymagają maksymalnej siły docisku okładzin wynoszącej nawet 100 kN. Zbudowany system będzie również obsługiwał układy hamulcowe kompaktowe, w których nie można zbudować czujników do pomiaru siły docisku. Należy nadmienić, że europejscy producenci par ciernych hamulca w swoich specyfikacjach badawczych,

często zalecają w badaniach stanowiskowych okładzin i tarcz hamulcowych, zastosowanie zacisku hamulcowego używanego w konkretnym pojeździe szynowym. Ma to na celu zachowanie jak najbardziej zbliżonych do rzeczywistości warunków pracy badanych obiektów. W celu uzyskania wartości siły docisku okładzin, sterowanie ciśnieniem wymagało stosowania różnych mnożników, co wydłużało prace badawcze i obróbkę wyników. Powodowało to również pewne trudności w realizacji niektórych programów badawczych ze względu na dużą niedokładność sterowania ciśnieniem powietrza w cylindrze hamulcowym w stosunku do sterowania siłą hamowania. Nowy, innowacyjny system sterowania, będący przedmiotem projektu własnego, zbudowano jako całkowicie nową konstrukcję, współpracującą z obecnie wykorzystanymi elementami sterowania stanowiska.

2. Stanowisko dynamometryczne Instytutu Kolejnictwa

2.1. Podstawowe parametry techniczne

Stanowisko dynamometryczne Instytutu Kolejnictwa jest wykorzystywane do badań homologacyjnych według kart

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

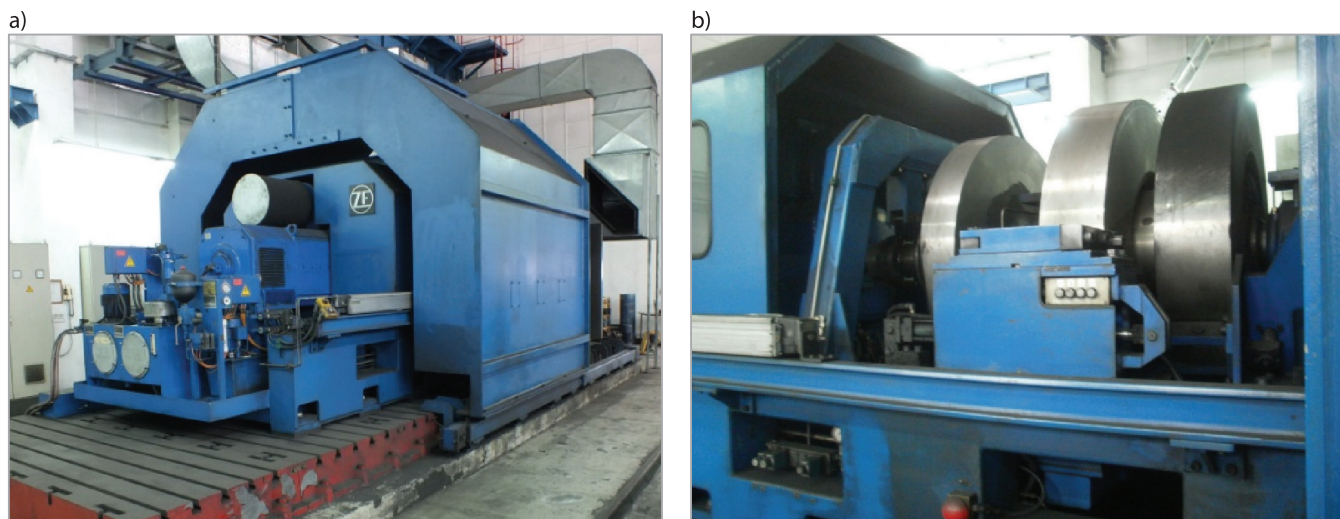
UIC [7–9], norm europejskich dotyczących badań kół kolejowych [2], wstawek hamulcowych [3] oraz tarcz hamulcowych [4]. Innymi dokumentami normatywnymi, dotyczącymi badania par ciernych hamulca klockowego, są Techniczne Specyfikacje Interoperacyjności [5, 6] oraz dokument Europejskiej Agencji Kolejowej [1], które są powiązane z wcześniej wymienionymi kartami i normami europejskimi.

Konstrukcja stanowiska umożliwiła badanie par ciernych hamulców pneumatycznych kolejowych do pociągów zespolonych dużych prędkości, zespołów trakcyjnych, lokomotyw i autobusów szynowych w naturalnej wielkości, odpowiadającej warunkom rzeczywistym. Na rysunku 1 przedstawiono stacjonarne stanowisko badawcze oraz widok na mechaniczne masy zamachowe.

Podstawowe parametry techniczne dynamometrycznego stanowiska badawczego przedstawiono w tablicy 1.

2.2. Obiekty poddane pracom adaptacyjnym

Na stanowisku dynamometrycznym do badania par ciernych hamulca tarczowego są wykorzystywane dwie konstrukcje ram badawczych, natomiast do badania hamulca klockowego jest stosowane inne rozwiązanie techniczne. Konstrukcje te składają się z cylindra hamulcowego i obsad hamulcowych, w których są mocowane okładziny cierne lub wstawki hamulcowe. Na podstawowej ramie badawczej (rys. 2) dodatkowo jest zamontowany siłomierz służący do pomiaru siły docisku okładzin do tarczy hamulcowej. Na drugiej dodatkowej ramie (rys. 3) w tzw. kompakcie hamulcowym, nie ma długich ramion umożliwiających jak w ramie podstawowej zamontowanie siłomierza. W kompakcie hamulcowym sterowanie docisku okładzin hamulcowych do tarczy jest możliwe jedynie za pomocą ciśnienia powietrza w cylindrze hamulcowym.



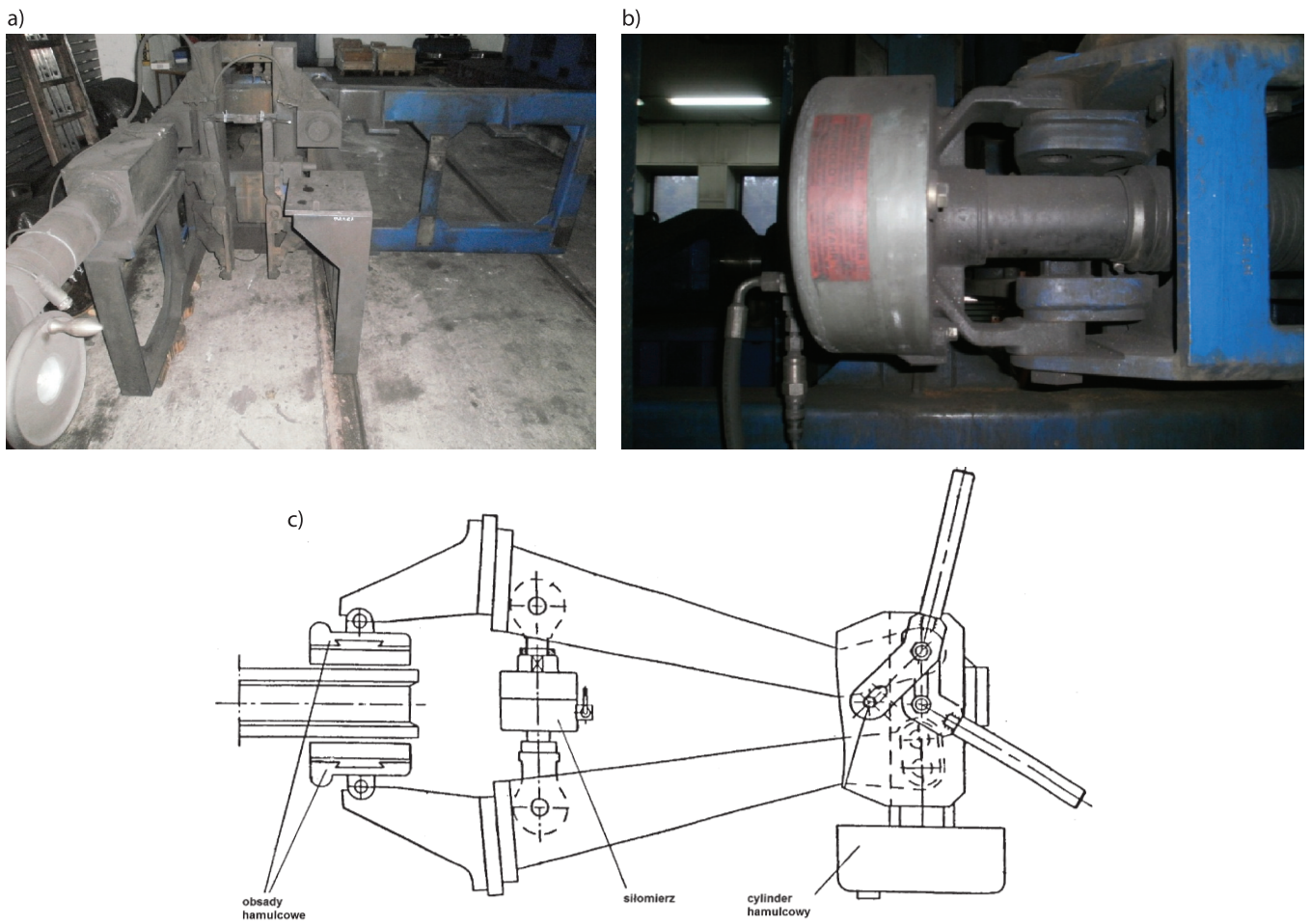
Rys. 1. Dynamometryczne stanowisko badawcze: a) widok ogólny, b) masy zamachowe [fot. J. Kukulski]

Tablica 1

Parametry techniczne bezwładnościowego stanowiska badawczego

Parametr	Wartość
zakres prędkości pojazdu (dla koła \varnothing 890 mm) [km/h]	3,5÷420
maksymalna prędkość obrotowa [obr./min]	2500
moc silnika napędowego przy 1150 obr./min [kW]	536
moment obrotowy do 1150 obr./min [Nm]	4450
maksymalny moment hamowania [Nm]:	
• hamowanie do zatrzymania	3000
• hamowanie ciągłe	4450
zakres momentów bezwładności mas z elektryczną symulacją [kgm ²]	150÷3000
maksymalna symulowana masa przypadająca na parę cierną [t]	15
zakres regulacji sumarycznej siły docisku szczęk hamulcowych w [kN]:	
• hamulcu tarczowym	0÷60
• hamulcu klockowym	0÷100
zakres pomiarowy temperatury tarczy hamulcowej (koła jezdnego) [°C]	0÷1000

[Opracowanie własne].



Rys. 2. Podstawowa rama badawcza hamulca tarczowego: a) widok ogólny, b) cylinder hamulcowy, c) schemat szczęki hamulcowej [fot. J. Kukulski]



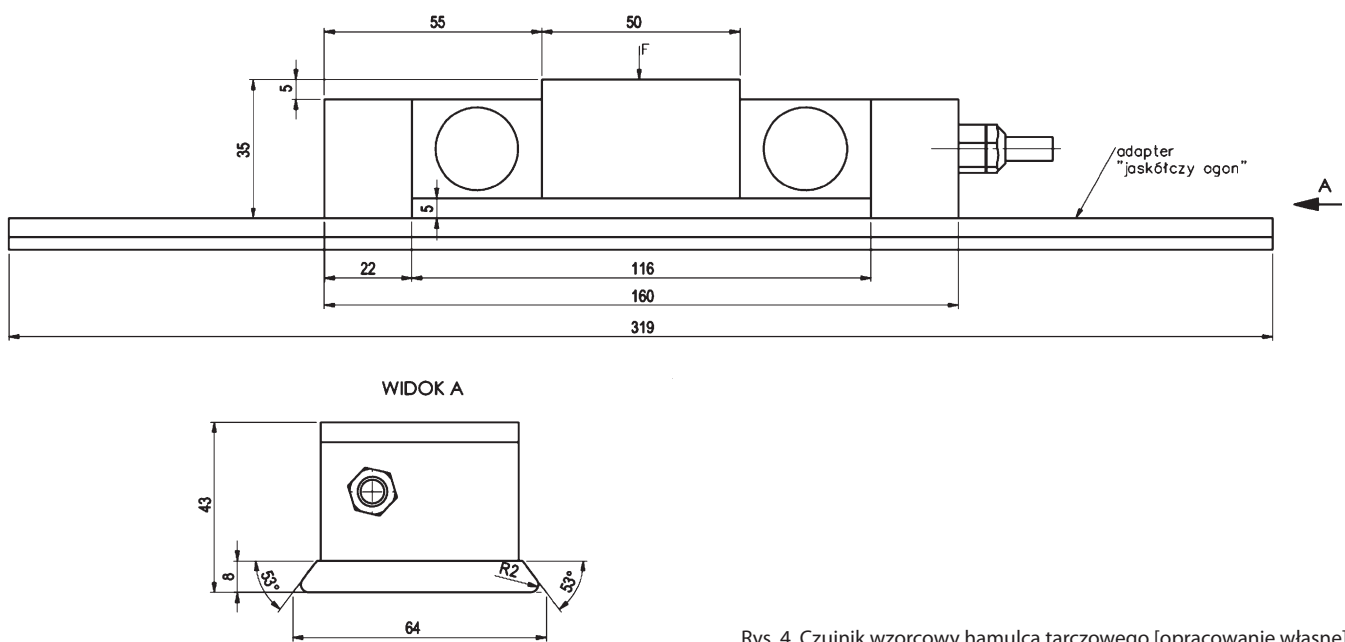
Rys. 3. Dodatkowa rama badawcza hamulca tarczowego: a) widok obsady hamulca, b) widok szczęki hamulcowej [fot. J. Kukulski]

3. Badanie systemu sterowania ciśnieniem, siłą oraz korelacje pomiędzy tymi wielkościami

Pierwszym etapem projektu było wykonanie pomiarów kalibracyjnych sił docisku okładzin hamulcowych do tarczy w funkcji ciśnienia. W tym celu zastosowano specjalnie wykonane czujniki montowane w miejsce okładzin hamulcowych (rys. 4). Czujniki zostały wywzorcowane i mają świadectwo wzorcowania wykonane przez Labo-

ratorium wzorcujące ZEPWN (Zakład Elektroniki Pomiarowej Wielkości Nielektrycznych), akredytowane przez Polskie Centrum Akredytacji (AP 172). Czujniki umożliwiły precyzyjne pomiary siły docisku po obu stronach tarczy hamulcowej w funkcji zadawanego ciśnienia w cylindrze hamulcowym.

Uzyskane wyniki pomiarów siły oraz ciśnienia (tabl. 2–4) umożliwiły określenie korelacji pomiędzy tymi wielkościami. Na podstawie wyników przedstawionych w tych tablicach, sporządzono wykresy zależności ciśnienia w funkcji siły dla poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych (rys. 5).



Rys. 4. Czujnik wzorcowy hamulca tarczowego [opracowanie własne]

Tablica 2

Zestawienie wyników sprawdzenia korelacji pomiędzy siłą i ciśnieniem dla podstawowej ramy badawczej hamulca tarczowego

Wymagana siła [kN]	Ciśnienie [Bar]	Uzyskana siła – wzorzec-C1 [kN]	Uzyskana siła – wzorzec-C2 [kN]	Uzyskana sumaryczna siła [kN]
5	0,604	2,5	2,5	5,0
10	1,122	5,0	4,9	9,9
15	1,630	7,5	7,4	14,9
20	2,170	9,9	9,9	19,8
30	3,204	14,9	14,9	29,7
40	4,178	19,8	19,8	39,6
50	5,380	24,8	24,8	49,6
60	6,410	29,8	29,9	59,7

[Opracowanie własne].

Tablica 3

Zestawienie wyników sprawdzenia korelacji pomiędzy siłą i ciśnieniem dla dodatkowej ramy badawczej hamulca tarczowego (kompakt hamulcowy)

Wymagana siła [kN]	Ciśnienie [Bar]	Uzyskana siła – wzorzec-C1 [kN]	Uzyskana siła – wzorzec-C2 [kN]	Uzyskana sumaryczna siła [kN]
1	0,51	0,5	0,5	1,0
7	1,02	3,5	3,6	7,0
13	1,51	6,4	6,4	12,8
24	2,50	12,1	12,1	24,3
36	3,50	18,1	18,1	36,2
54	5,00	27,0	27,0	53,9
65	6,01	32,7	32,6	65,3
77	7,00	38,7	38,6	77,2
88	7,99	44,0	44,0	88,0

[Opracowanie własne].

Tablica 4

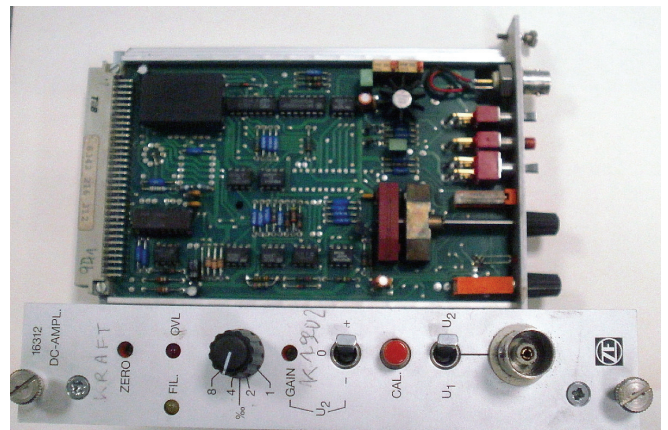
Zestawienie wyników sprawdzenia korelacji pomiędzy siłą i ciśnieniem dla ramy badawczej hamulca klockowego

Wymagana siła [kN]	Ciśnienie [Bar]	Uzyskana sumaryczna siła [kN]
1	0,20	0,6
3	0,51	3,9
5	0,60	5,2
10	1,30	11,7
15	1,71	16,3
20	2,10	21,1
25	2,60	26,6
30	2,90	30,5
35	3,20	33,7
40	3,80	40,1
45	4,00	43,3
50	4,90	51,5
55	5,20	55,1
60	5,60	59,0
65	6,20	65,0
70	6,50	68,5
75	7,40	76,8
80	7,80	80,5
85	7,82	82,5
90	8,77	88,2
92	9,41	91,9

[Opracowanie własne].

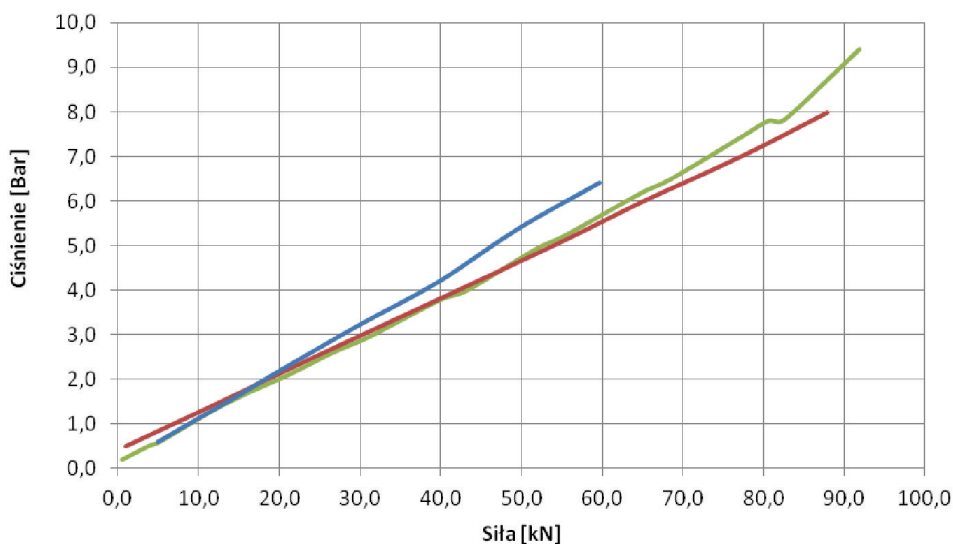
4. Projekt urządzenia pomiarowego ciśnienia identyfikującego wielkość siły

Dotychczasowe rozwiązanie, stosowane przed zbudowaniem nowego systemu, bazuje na wzmacniaczach siły E400 IMTRON 16312 (rys. 6). Jest to konstrukcja, która powstała na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Długi okres eksploatacji spowodował niestabilność napięciową wzmacniacza oraz konieczność częstej kalibracji toru pomiarowego.



Rys. 6. Wzmacniacze siły E400 IMTRON 16312 [fot. J. Kukulski]

Zaproponowano nowe rozwiązanie, dopasowujące rodzaj konstrukcji ramy do systemu pomiarowego, w postaci specjalnej wkładki pomiarowej. Jest to urządzenie oparte na mikroprocesorze z dopasowanymi peryferiami, umożli-



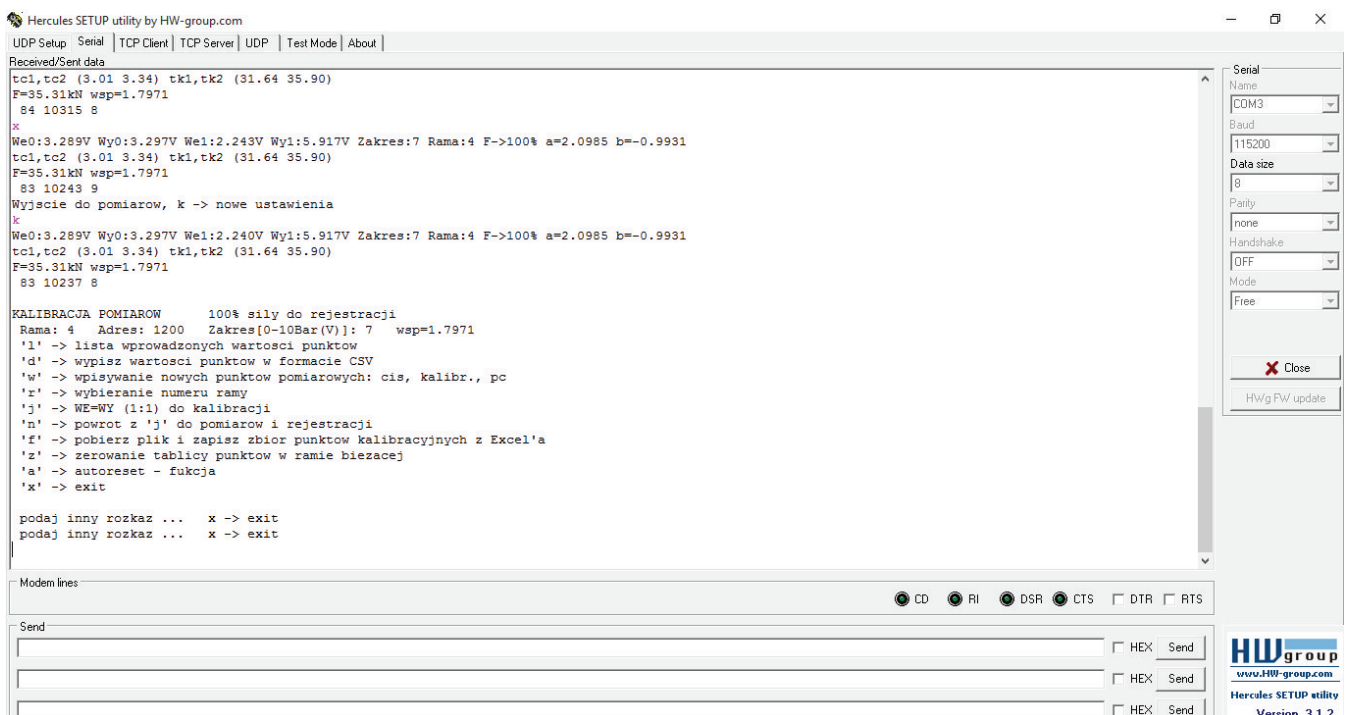
Rys. 5. Zależności ciśnienia w funkcji siły dla poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych: — rama hamulca klockowego, — rama dodatkowa hamulca tarczowego, — rama podstawowa hamulca tarczowego [opracowanie własne]

wiające dynamiczny pomiar parametrów materiałów ciernych. Praktycznie można go użyć jako interfejs, dopasowując każdy typ użytej ramy roboczej z dowolnymi czujnikami ciśnienia i siły, do głównego stanowiska pomiarowego. Urządzenie jest programowane punktami pomiarowymi za pomocą kalibratora zewnętrznego. Dane tych punktów są zapamiętane w pamięci nieulotnej, które można przywołać po wybraniu odpowiedniego numeru ramy roboczej i są dla niej unikatowe. W ten sposób można uzyskać aproksymację charakterystyki pomiarowej przyłączonej ramy. Taka korekta jest przesyłana do głównego systemu rejestrującego. Nowa konstrukcja powstała z myślą o dostosowaniu nowych ram pomiarowych, które nie mogą być obsługiwane przez dotychczasowy system. Nową konstrukcją można umieścić w dotychczasowej szafie wzmacniaczy pomiarowych. Konstrukcja jest kompatybilna złączowo z główną szyną przemysłowego systemu automatyki E-BUS i poziomami napięć zasilających oraz jest dopasowana wymiarowo i elektrycznie do bieżących modułów elektronicznych (rys. 7).

Programowanie urządzenia pomiarowego odbywa się przez połączenie komputera przewodem mikro USB. Wykorzystywana jest do tego bezpłatna aplikacja „Hercules.exe”, umożliwiająca m.in.: dokonywanie ustawień, kalibrację układu, wczytywanie danych kalibracyjnych. Okno startowe aplikacji, z wykazem czynności możliwych do realizacji, przedstawiono na rysunku 8.



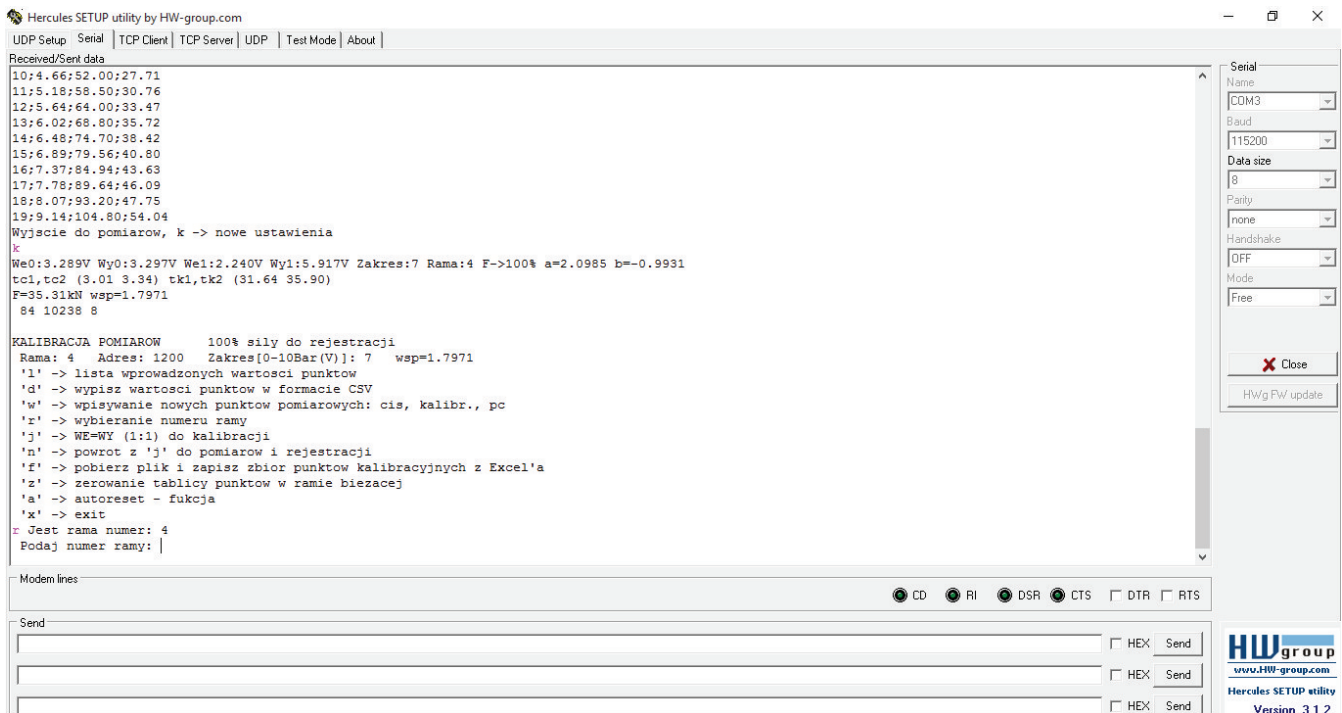
Rys. 7. Wkładka urządzenia pomiarowego ciśnienia identyfikującego wielkość siły [fot. J. Kukulski]



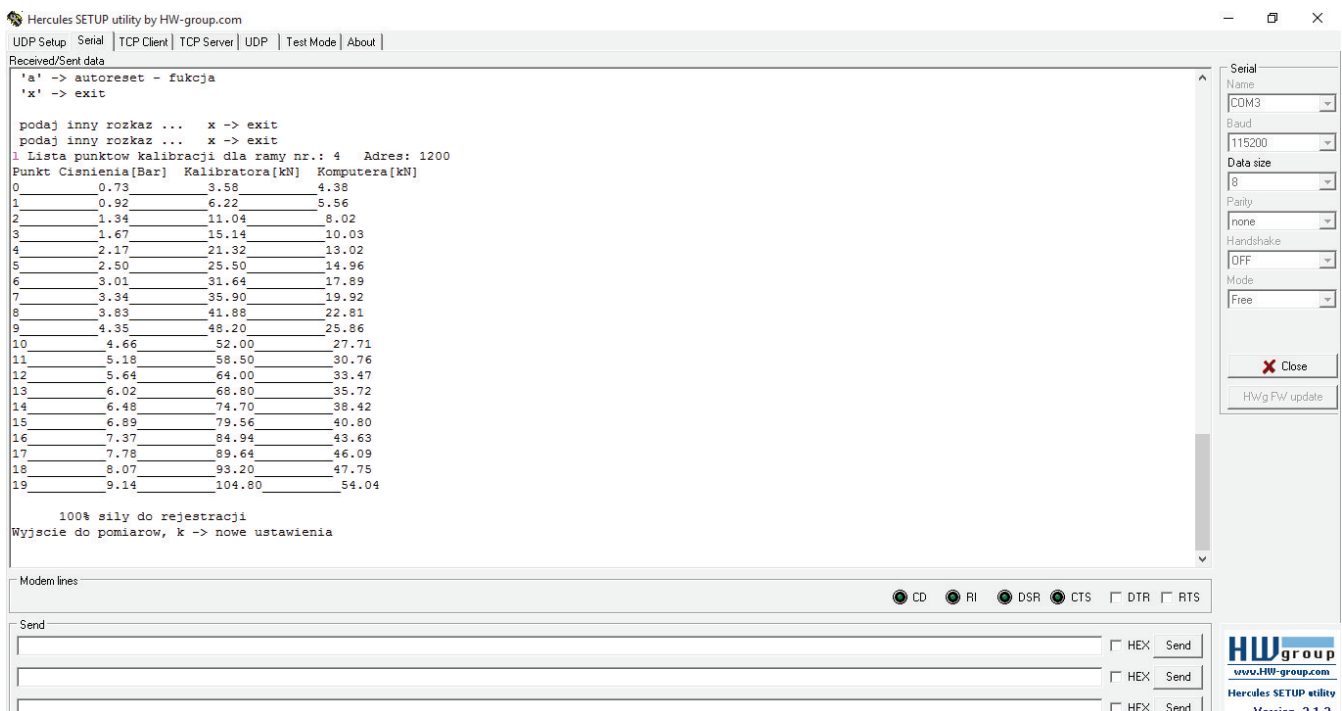
Rys. 8. Okno startowe aplikacji z wykazem czynności możliwych do realizacji [opracowanie własne]

W tej aplikacji można zaprogramować ustawienia dla wszystkich rozwiązań konstrukcyjnych (ram) stosowanych na stanowisku dynamometrycznym (rys. 9). Obecnie możliwe jest ustawienie sześciu kombinacji badawczych.

Wszystkie te przypadki, po przeprowadzeniu stosownych wzorcowań, będą zaprogramowane i wprowadzone ręcznie do systemu zaimportowanego z pliku z rozszerzeniem „.csv” (rys. 10).



Rys. 9. Wybór numeru konstrukcji (ramy) [opracowanie własne]



Rys. 10. Wczytany plik „.csv” z wynikami kalibracji [opracowanie własne]

5. Badania modułu sterującego na stanowisku

Obecnie, nowy moduł sterujący jest poddawany badaniom i testom na stanowisku badawczym. Próby obejmują badania statyczne z wykorzystaniem wywzorcowanych siłomierzy oraz badania dynamiczne, wykonane z wykorzystaniem tych samych partii produkcyjnych okładzin hamulcowych spiekanych i organicznych. W badaniach porównawczych zastosowano takie same tarcze hamulcowe oraz ten sam program badawczy. Przykładowe wyniki badań średniego współczynnika tarcia w funkcji hamowania badawczego przedstawiono na rysunkach 11 i 12.

Badania hamulca tarczowego wykazały dużą zbieżność wyników pomiarów średniego współczynnika tarcia, uzyskanych po zastosowaniu nowego układu (modułu sterowania) w porównaniu do starego rozwiązania. W celu uzyskania większej liczby danych, należy kontynuować bada-

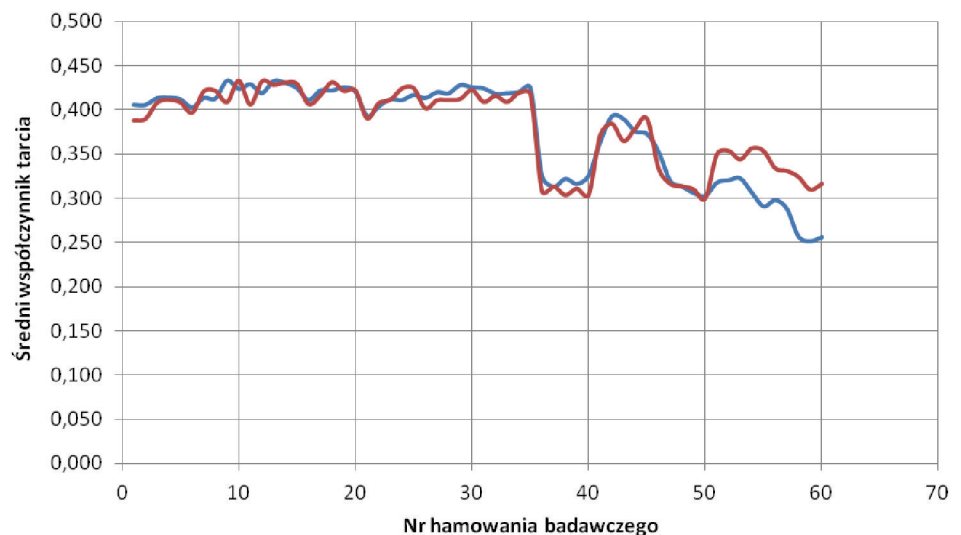
nia, aby móc wykluczyć błędy w oprogramowaniu lub module urządzenia sterującego. Będą również wykonywane badania hamulca klockowego, dla którego również można zastosować opracowany moduł.

6. Podsumowanie

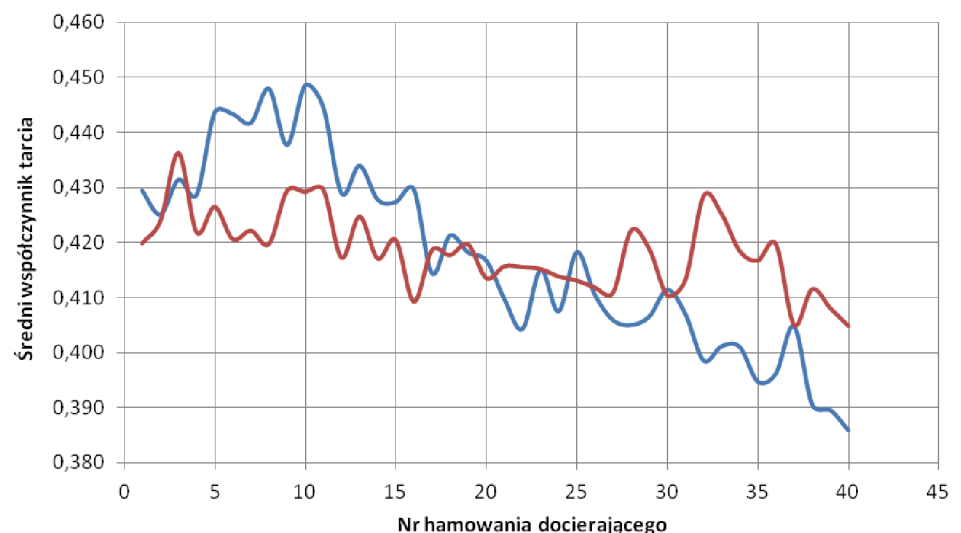
Zrealizowany projekt własny umożliwił rozszerzenie zakresu badawczego stanowiska dynamometrycznego Instytutu Kolejnictwa. Podjęto również prace zmierzające do kompleksowej modernizacji tego stanowiska. Wymaga to jeszcze oszacowania kosztów oraz czasu w celu przeprowadzenia szczegółowej analizy celowości podjęcia takiego wyzwania środkami gospodarczymi z zaangażowaniem krajowego przemysłu.

Prace realizowane we wcześniejszych etapach są pierwszym krokiem modernizacji stanowiska badawczego. Inten-

Rys. 11. Porównanie wyników badań współczynnika tarcia dla hamulca tarczowego z zastosowaniem starego i nowego modułu sterowania (okładziny spiekane): — stary układ, — nowy układ [opracowanie własne]



Rys. 12. Porównanie wyników badań współczynnika tarcia dla hamulca tarczowego z zastosowaniem starego i nowego modułu sterowania (okładziny organiczne): — stary układ, — nowy układ [opracowanie własne]



sywne wykorzystywanie stanowiska w badaniach powoduje zużywanie się elementów mechanicznych, elektronicznych oraz automatyki. Również oprogramowanie sterowania, rejestracji i obróbki wyników pomiarów nie spełnia oczekiwań użytkowników i wymagań klientów. Z tego względu jednym z etapów niniejszego projektu była koncepcja kompleksowej przebudowy stanowiska.

Opracowany obecnie nowy moduł pomiarowy (moduł sterowania), współpracujący ze starym systemem pomiarowym, umożliwi rozszerzony pomiar parametrów o zakresie wartości poprzednio niezyskiwanych w wersji oryginalnej bloku pomiarowego i jest dostosowany do wszystkich dotychczasowych i nowych wersji ram pomiarowych używanych w tym urządzeniu.

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 13979-1+A2:2011: Kolejnictwo zestawy kołowe i wózki – koła monoblokowe procedura dopuszczenia – część 1: Koła kute i walcowane.
3. PN-EN 16452:2015-08: Railway applications – Braking – Brake blocks.
4. 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.
5. TSI „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” (Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r.).
6. TSI „Tabor kolejowy – wagony towarowe” (Rozporządzenie Komisji (UE) nr 924/2015 z dnia 5 czerwca 2015 r.).
7. UIC 510-5 – Technical approval of monoblock wheels – Application document for standard. May 2007.
8. UIC 541-3: Brakes – Disc brakes and their application – General conditions for the certification of brake pads. 8th edition, April 2017.
9. UIC 541-4: Brakes – Brakes with composite brake blocks – General conditions for certification of composite brake blocks – 5th edition, January 2017.