

Rafał KAJKA<sup>1</sup>  
Wojciech KOWALSKI<sup>1</sup>  
Zbigniew SKORUPKA<sup>1</sup>

### WYBRANE PROBLEMY TEORETYCZNO BADAWCZE W PROCESIE PROJEKTOWANIA HAMULCÓW POJAZDÓW OPANCERZONYCH

*Pojazdy opancerzone stanowią ważny element wyposażenia współczesnej armii. Niezawodność tych pojazdów stanowi o bezpieczeństwie przewożonych nimi ludzi i towarów. Ze względu na wysoką masę własną pojazdów opancerzonych problemem staje się zapewnienie optymalnie działających hamulców, zapewniających z jednej strony rozsądną drogę hamowania a z drugiej akceptowalne koszty wytworzenia i użytkowania. Proces doboru parametrów, projektowania oraz późniejszej weryfikacji laboratoryjnej gotowego wyrobu jest procesem trudnym i czasochłonnym. Niniejsza praca przedstawia wybrane problemy teoretyczno badawcze w procesie projektowania i badania hamulców pojazdów opancerzonych na przykładzie projektu wykonanego w Pracowni Podwozi Lotniczych ILOT.*

### SELECTED THEORETHICAL, RESEARCH AND DEVELOPMENT PROBLEMS OF ARMOURED VAN BRAKES

*This paper contains numerical analysis of brake system for heavy transport car. Analysis was performed in order to correct existing non optimal brakes in mentioned car. Analysis was based on results of the brake system dynamic tests made in Landing Gear Laboratory Institute of Aviation in Warsaw, Poland. Authors describe analytical analysis as well as testing procedures of armoured van brakes.*

#### 1. WSTĘP

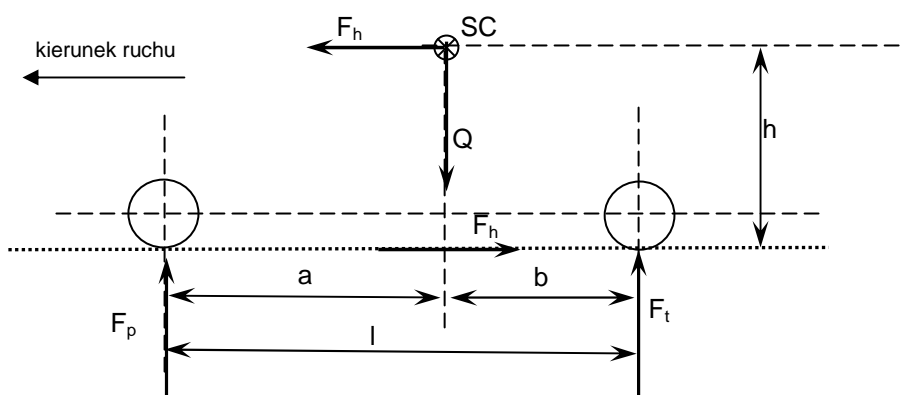
Proces doboru parametrów, projektowania oraz późniejszej weryfikacji laboratoryjnej gotowego wyrobu jest procesem trudnym i czasochłonnym. Ze względu na specyfikę w eksploatacji pojazdu opancerzonego, w warunkach bezpośredniego zagrożenia życia, niezbędne jest kompleksowe przeanalizowanie parametrów eksploatacyjnych oraz konstrukcji projektowanego lub modyfikowanego pojazdu. Niniejsza praca przedstawia wybrane problemy teoretyczno badawcze w procesie projektowania hamulców pojazdów opancerzonych na przykładzie projektu wykonanego w Pracowni Podwozi Lotniczych ILOT.

---

<sup>1</sup>Institut Lotnictwa, Pracownia Podwozi Lotniczych, 02-256 Warszawa, al. Krakowska 110/114,  
Tel: + 48 22 846 00 11 wew 219, Fax: + 48 22 846 37 52  
E-mail: Rafal.KAJKA@ilot.edu.pl, Wojciech.KOWALSKI@ilot.edu.pl, Zbigniew.SKORUPKA@ilot.edu.pl

## 2. IDENTYFIKACJA ORAZ ANALIZA TEORETYCZNA PARAMETRÓW HAMULCA

Proces przebadania istniejącego układu hamulcowego i zaproponowanie jego optymalizacji wymagało przeprowadzenia analizy podstawowych parametrów statycznych oraz dynamicznych obiektu oraz jego obecnego układu hamulcowego. W tym celu zbudowano model analityczny symulujący pojazd, jako bryłę sztywną ze pozycjonowanym środkiem ciężkości oraz zdefiniowanymi warunkami brzegowymi. Jednym z istotnych parametrów była analiza m.in. opóźnienia pojazdu oraz nacisków na osie w funkcji współczynnika tarcia między oponą a gruntem.



Rys. 1. Rozkład obciążeń pojazdu

Tab. 1. Użyte oznaczenia

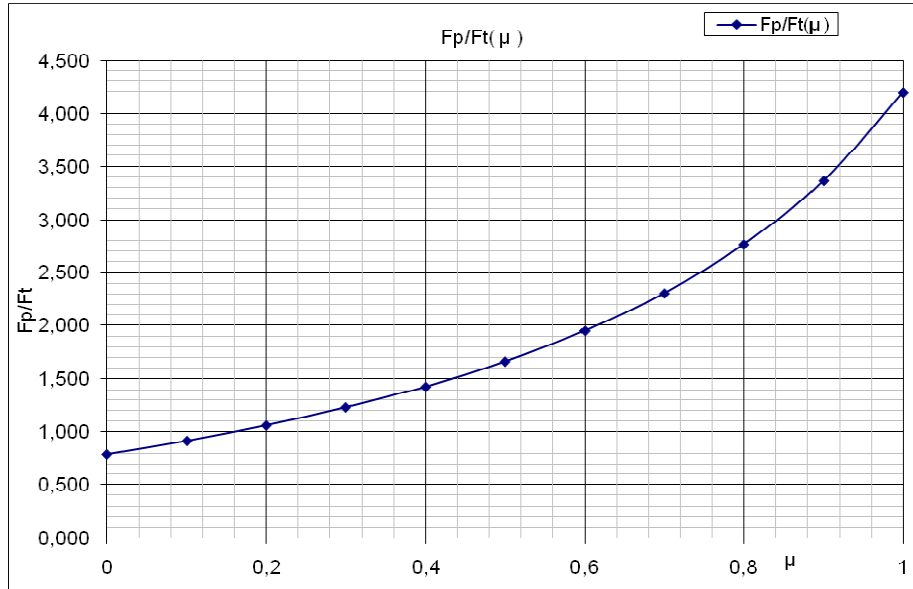
Q	- ciężar pojazdu	[N]
$F_p$	- reakcja statyczna na oś przednią ( na dwa koła)	[N]
$F_t$	- reakcja statyczna na oś tylną ( na dwa koła)	[N]
$F_h$	- siła hamowania (cztery koła)	[N]
l	- rozstaw osi pojazdu	[mm]
h	- odległość środka ciężkości od podłoża	[mm]
a	- odległość osi przedniej od środka ciężkości	[mm]
b	- odległość osi tylnej od środka ciężkości	[mm]
m	- masa własna pojazdu	[kg]
$m_1$	= masa przypadająca na oś przednią	[kg]
$m_2$	= masa przypadająca na oś tylną	[kg]
g	= przyspieszenie ziemskie = 9,81	[ m/s <sup>2</sup> ]

Tab. 2. Parametry charakteryzujący analizowany obiekt

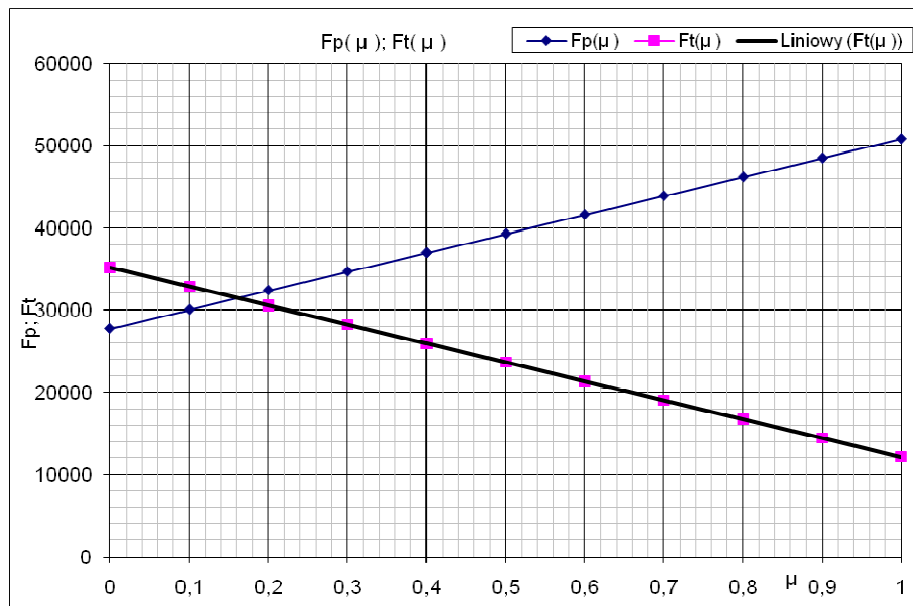
m	62931,2	[N]
m <sub>1</sub>	27615,2	[N]
m <sub>2</sub>	35316,0	[N]
h	1169	[mm]
a	1783	[mm]
l	3191	[mm]
Q	62931,2	[N]
a	1783	[mm]
h	1169	[mm]
b	1408	[mm]
F <sub>p</sub>	27767,8	[N]
F <sub>t</sub>	35163,3	[N]
r	0,426	[m]
F <sub>p</sub> /F <sub>t</sub>	0,790	

Tab. 3. Parametry hamowania dla różnych współczynników tarcia między oponą i gruntem

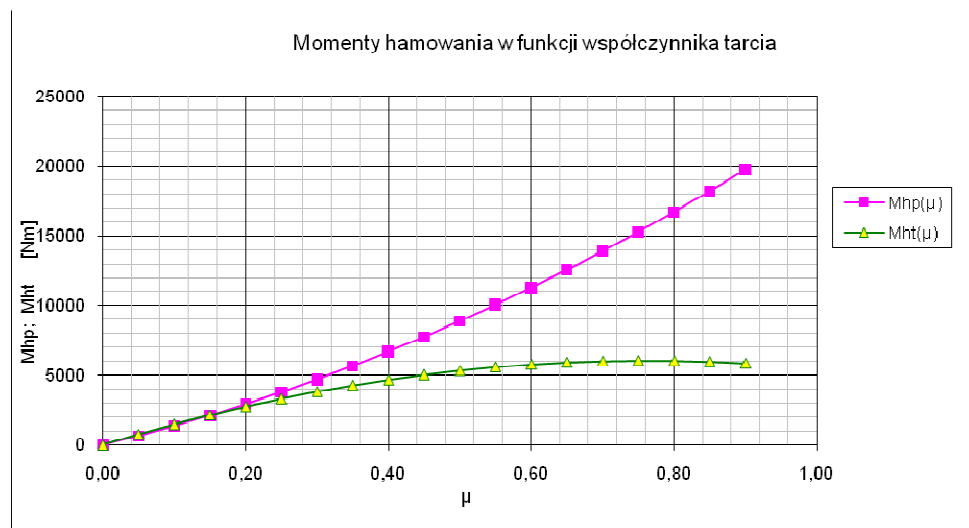
$\mu$	Fh	a	Fp	Ft	Fp / Ft
	[N]	[m/s <sup>2</sup> ]	[N]	[N]	
0	0	0	27767,8	35163,3	0,790
0,1	6293,115	0,981	30073,24	32857,9	0,915
0,2	12586,23	1,962	32378,68	30552,5	1,060
0,3	18879,35	2,943	34684,12	28247,0	1,228
0,4	25172,46	3,924	36989,55	25941,6	1,426
0,5	31465,58	4,905	39294,99	23636,2	1,662
0,6	37758,69	5,886	41600,43	21330,7	1,950
0,7	44051,81	6,867	43905,87	19025,3	2,308
0,8	50344,92	7,848	46211,3	16719,8	2,764
0,9	56638,04	8,829	48516,74	14414,4	3,366
1	62931,15	9,81	50822,18	12109,0	4,197



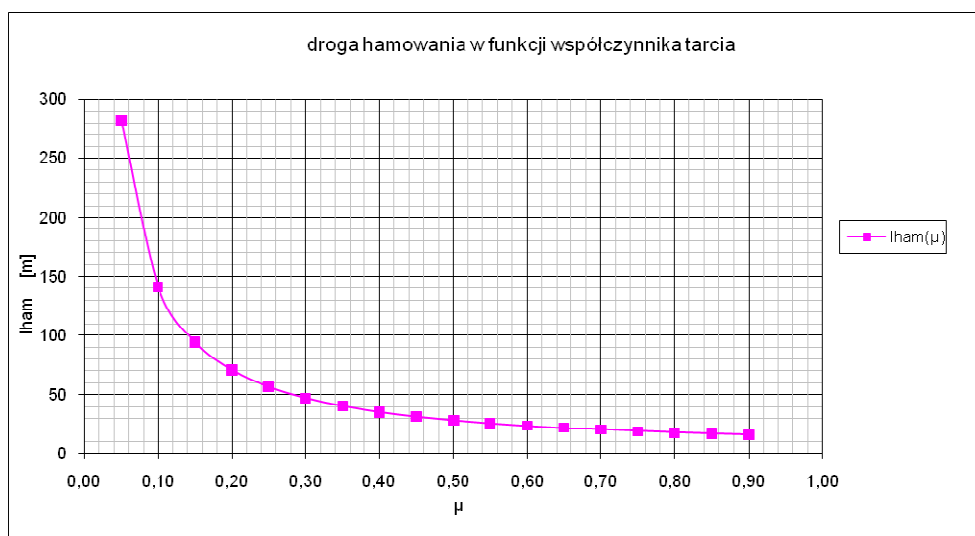
Rys. 2. Zależność reakcji pionowych na osiach  $F_p/F_t$  w funkcji rozwijanego współczynnika tarcia pomiędzy oponą a podłożem ( $\mu$ )



Rys. 3. Dynamiczne wyważenie samochodu – naciski na oś przednią i oś tylną w procesie hamowania w funkcji współczynnika tarcia pomiędzy oponą a gruntem



Rys. 4. Momenty hamowania w funkcji współczynnika tarcia



Rys. 5. Droga hamowania w funkcji współczynnika tarcia

Bazując na powyższych analizach oraz uzyskanych wynikach w postaci przebiegów parametrów charakteryzujących zachowanie pojazdu oraz dysponując wynikami homologacyjnymi analizowanego pojazdu możliwe było wyznaczenie parametrów prób hamulców przedniego i tylnego na stanowisku w Pracowni Podwozi Lotniczych.

Opracowane zostały również parametry dla prób laboratoryjnych hamulców (przedniego i tylnego) pojazdu, przedstawione w tabelach poniżej

*Tab. 4. Warunki próby dla hamulców osi przedniej*

Lp.	Parametr	Jednostka	Warunki próby dla referencyjnej prędkości samochodu	
			60 [km/h]	100 [km/h]
1	nb	obr/min	273	455
2		obr/s	4,55	7,58
3	ωb	1/s	28,58	47,65
4	Vrzeczywista	m/s	20	33,35
5		km/h	72	120
6	a	m/s <sup>2</sup>	6,7	6,7
7	t	s	2,99	4,97
8	s	m	30	83
9	Fciągna	N	10298	10298
10	Mh	Nm	5149	5149
11	Qkosza	daN	1965	1965
12	Ib	kgm <sup>2</sup>	843	843
13	Eham	J	344178	955994

Ze względu na za mały dysponowany moment bezwładności bieżni, dla zachowania wymaganej energii, przyjęto większą prędkość obwodową bieżni (patrz tabela 4)  
Eham – jest energią bieżni, którą rozprasza hamulec

*Tab. 5. Warunki próby dla hamulców osi tylnej*

Lp.	Parametr	Jednostka	Warunki próby dla referencyjnej prędkości samochodu	
			60 [km/h]	100 [km/h]
1	nb	obr/min	228	379
2		obr/s	3,804	6,32
3	ωb	1/s	23,9	39,7
4	Vrzeczywista	m/s	16,7	27,8
5		km/h	60	100
6	a	m/s <sup>2</sup>	4,65	4,65
7	t	s	3,6	5,97
8	s	m	30	83
9	Fciągna	N	5592	5592
10	Mh	Nm	2565	2565
11	Qkosza	daN	1180	1180
12	Ib	kgm <sup>2</sup>	588	588
13	Eham	J	167752	464120

### 3. BADANIA LABORATORYJNE UKŁADU HAMULCOWEGO

W celu określenia sposobu działania oraz efektywności układu hamulcowego w odniesieniu do danych teoretycznych dostarczonych przez producenta samochodu, niezbędne było wykonanie serii badań stanowiskowych hamulca.

Aby uzyskać informacje o danym hamulcu jako o obiekcie wyizolowanym przebadano poszczególne hamulce osobno na stanowisku z bieżnią obrotową. Badania wyizolowanych hamulców pozwoliły na uzyskanie wysokiej powtarzalności wyników oraz umożliwiły zbadanie w takich samych warunkach różnych konstrukcji hamulców umożliwiając ich bezpośrednie porównanie. Wykorzystane stanowisko badawcze służy do badań hamulców lotniczych. Specyfika badań polega na poddaniu próbom wyizolowanych układów wykonawczych hamulców przy zachowaniu powtarzalnych warunków próby. Ponadto można wykonywać badania kontrolowane zmieniając parametry procesu dzięki czemu można szybko określić graniczne warunki pracy hamulca a także wyznaczyć jego charakterystyki np. przy zmiennym ciśnieniu w instalacji hydraulicznej hamulca.

Proces badawczy polega na wykonaniu określonej ilości hamowań docierających służących stabilizacji parametrów hamulca (najczęściej momentu hamowania) a następnie wykonania serii hamowań z nominalnymi parametrami prędkości i ciśnienia hamowania przy zachowaniu powtarzalnej prędkości początku hamowania oraz energii rozpraszanej przez hamulec. Parametrami mierzonymi lub wyznaczanymi w trakcie prób są: czas, moment hamowania, droga hamowania, opóźnienie hamowania oraz dodatkowo średnie liniowe zużycie materiału ciernego oraz zużycie wagowe przeliczone na jedno hamowanie.

Badania stanowiskowe zostały przeprowadzone przy ustaleniu parametrów próby zgodnych z parametrami eksploatacyjnymi pojazdu. W pierwszej fazie testów przebadano oryginalne hamulce wraz z oryginalnym kołem oraz parą cierną.

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano charakterystyki hamulca oraz określono zużycie pary cierniej. Badania potwierdziły zaobserwowane w eksploatacji problemy wynikające ze zbyt niskiego momentu hamowania oraz zbytniego zużycia okładzin ciernych.

#### 3.1 Stanowisko badawcze MŁOT 3T z BIEŻNIĄ

Młot służy do badania amortyzacji podwozi lotniczych w warunkach zbliżonych do warunków lądowania oraz kołowania, badania shimmy podwozi, jak również do badania hamulców, kół i ogumienia. Stanowisko umożliwia także zadawanie obciążeń dynamicznych w postaci przejazdu przez przeszkodę.



Rys. 6. Stanowisko badawcze Mtot 3T z bieżnią

DANE TECHNICZNE:

Maksymalna masa obiektu badań wraz z niezbędnymi elementami mocującymi - 3T

Maksymalna siła pionowa przy zrzucie - 118 kN

Maksymalne ciśnienie odboju - 1,96 MPa

Maksymalna prędkość obrotowa bieżni - 800 obr/min (13,3 obr/s)

Maksymalna prędkość obwodowa bieżni - 211 km/h (58,6 m/s)

Zewnętrzna średnica bębna bieżni - 1400 mm

Szerokość bębna bieżni - 530 mm

Wartość siły wyporu (odbój) 0 – 22,2 kN

Momenty bezwładności bieżni:

I1 = 294 kg•m<sup>2</sup>

I2 = 550 kg•m<sup>2</sup>

I3 = 588 kg•m<sup>2</sup>

I4 = 843 kg•m<sup>2</sup>

Badania wykonano na stanowisku do badań podwozi lotniczych wyposażone w bieżnię o maksymalnej energii 3MJ.

### 3.2 Badania stanowiskowe hamulca koła tylnego.

Przedmiotem prób był hamulec tylny (bębnowy) pojazdu opancerzonego. Do prób użyto koło kompletne z hamulcem i kompletem nowych okładzin ciernych zainstalowane na stanowisku badawczym.





Rys. 7. Koło z hamulcem zainstalowane na stanowisku badawczym

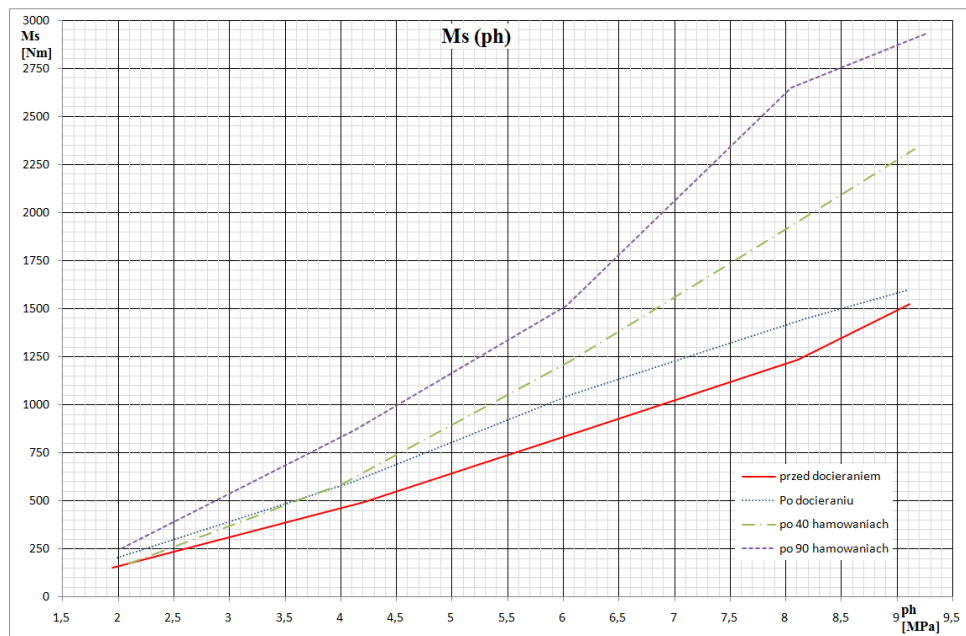
Wykonano hamowania docierające, a następnie serię hamowań kwalifikacyjnych rejestrując przebiegi parametrów podczas hamowań statycznych oraz dynamicznych.

### 3.3 POMIAR MOMENTU STATYCZNEGO.

Parametry próby:

- ciśnienie w ogumieniu  $p_1 = 0,45$  MPa
- ciśnienie robocze w instalacji hamulcowej  $p_h = 1,95 \div 9,28$  MPa
- obciążenie statyczne  $Q = 1180$  daN

Moment statyczny ( $M_s$ ) mierzony był przed hamowaniami docierającymi, po hamowaniach docierających, po 40 hamowaniach pomiarowych, po 90 hamowaniach pomiarowych. Pomiary momentu statycznego ( $M_s$ ) zostały przeprowadzone dla 5 różnych ciśnień w instalacji hydraulicznej hamulca. Wyniki pomiarów przedstawiono poniżej:



Rys. 8. Wykres przedstawiający charakterystykę momentu statycznego ( $M_s$ ) w zależności od ciśnienia oleju ( $p_h$ ) w instalacji hamulcowej

### 3.4 POMIAR MOMENTU DYNAMICZNEGO.

Pomiar momentu dynamicznego ( $M_D$ ) wykonany został na tym samym stanowisku co pomiary momentu statycznego. Łącznie wykonano 102 próby dynamiczne z czego:

- 10 to hamowania docierające wykonane w celu dostosowania się geometrii okładzin ciernych do geometrii bębna a za czym idzie ustabilizowania się charakterystyki hamulca.
- 92 to hamowania pomiarowe przeprowadzone na ustabilizowanym (dotartym) hamulcu w celu określenia zużycia okładzin ciernych.

Próby dynamiczne wykonane zostały dodatkowo z dwoma energiami odpowiadającymi dwóm prędkościom pojazdu (60km/h i 100km/h):

- 12 prób dla prędkości 60km/h z energią hamowania  $E_{h60}=166667$  [Nm]
- 90 prób dla prędkości 100 km/h z energią hamowania  $E_{h100}=462963$  [Nm]

Sumaryczna energia hamowania dla 102 prób wyniosła

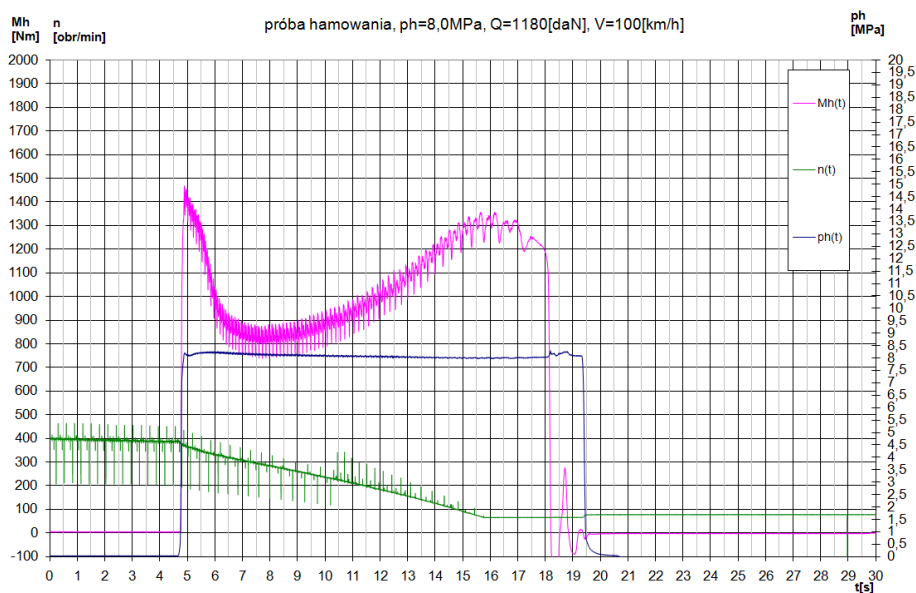
$$\sum E_h = 43666674 \text{ [Nm]}$$

co daje średnią energię dla jednego hamowania  $E_{h\text{sr}} \approx 428105$  [Nm]

Parametry próby:

- ciśnienie w ogumieniu  $p_1 = 0,45 \text{ MPa}$
- ciśnienie robocze w instalacji hamulcowej  $p_h = 6 \div 8 \text{ MPa}$
- obciążenie statyczne  $Q = 1180 \text{ daN}$
- promień bieżni  $R_B = 0,7 \text{ m}$
- moment bezwładności bieżni  $J_B = 588 \text{ kgm}^2$
- ugięcie statyczne ogumienia  $\delta = 25 \text{ mm}$
- obroty bieżni początkowe  $n = 379 \text{ lub } 227 \text{ obr/min}$
- obroty bieżni końcowe  $n = 0 \text{ obr/min}$

Przykładowe wyniki prób hamowania dynamicznego



Rys. 9. Próba hamowania hamulca bębnowego nr dzh\_066

### 3.5 POMIAR ZUŻYCIA OKŁADZIN HAMULCA BĘBNOWEGO.

Przed i po wykonaniu hamowań dokonano pomiaru grubości okładzin ciernych w celu określenia ich zużycia. Pomiary zostały wykonane przed złożeniem hamulca do docierania oraz po zakończeniu prób. Łącznie zostały wykonane 102 hamowania z łączną energią  $E_h = 43783824 \text{ [Nm]}$

Pomiary zużycia materiału ciernego szczęk zostały wykonane przez pomiar zmiany grubości okładzin ciernych ze względu na nierównomierne zużycie oraz zbyt wiele punktów pomiarowych przedstawione zostaną wyniki zużycia wagowego szczęk i bębna.

Tab. 6 Pomiar zużycia wagowego szczęk

Symbol szczęki	Masa początkowa $Q_1$	Masa po 102 hamowaniach $Q_2$	Zużycie $\Delta Q$ na 102 hamowania	Średnie zużycie $\Delta Q$ na jedno hamowanie
-	g	g	g	g
E <sub>2</sub>	1385,7	1380,7	5	0,04902
E <sub>3</sub>	1145,2	1142,7	2,5	0,02451

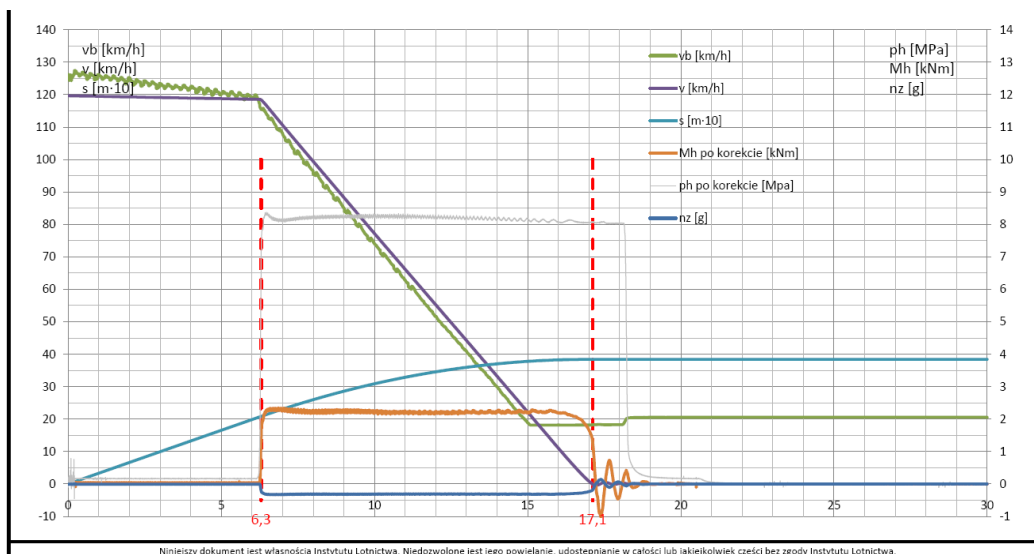
Tab. 7. Pomiar zużycia wagowego bębna

Masa początkowa $Q_1$	Masa po 102 hamowaniach $Q_2$	Zużycie $\Delta Q$	Średnie zużycie $\Delta Q$ na jedno hamowanie
g	g	g	g
14643	14638	5	0,04902

### 3.6 Badania stanowiskowe hamulca koła przedniego.

Analogiczne badania jak w przypadku hamulca tylnego bębnowego przeprowadzono na oryginalnym hamulcu przednim.

Przykładowy wynik hamowania dynamicznego hamulca przedniego pokazano na poniższym wykresie.



Rys. 10. Próba hamowania hamulca tarczowego nr dhp\_083

#### 4. WNIOSKI

W artykule przedstawiono proces analizy i badań układu hamulcowego. Wykonane zadania analityczne i badawcze pozwoliły w dalszym etapie na wytypowanie obszarów optymalizacji i przeprowadzenie procesu projektowania analiz oraz budowy i badań prototypów nowego układu hamulcowego będącego alternatywą do istniejącego oryginalnego układu hamulcowego.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1].Raport 26/LW/2009/RAP: *Badanie sektorów ciernych hamulców pojazdów opancerzonych z wykorzystaniem termowizji na maszynie IL-68*, Instytut Lotnictwa, Warszawa 2009.
- [2].Raport nr 27/LW/2009/RAP: *Raport z badań Hamulca bębnowego do pojazdów opancerzonych na młocie 3T z bieżnią*, Instytut Lotnictwa, Warszawa 2009.
- [3].Raport 36/BZ/2009/RAP: *Analityczne wyznaczenie parametrów na potrzeby Wstępnych Warunków Technicznych układu hamulcowego pojazdu opancerzonego*, Instytut Lotnictwa, Warszawa 2009.
- [4].Raport 07/BZ/2010/RAP: *Wstępne Wymagania Techniczne układów hamulcowych nowej generacji zwiększających manewrowość i przeżywalność pojazdów opancerzonych na polu walki*, Instytut Lotnictwa, Warszawa 2010.
- [5].Raport 39/BZ/2010/RAP: *Opracowanie hamulców do pojazdów opancerzonych z wykorzystaniem kompozytów o dużej energochłonności i skuteczności hamowania*, Instytut Lotnictwa, Warszawa 2010
- [6].Reński A.: *Budowa samochodów Układy hamulcowe i kierownicze*, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.