

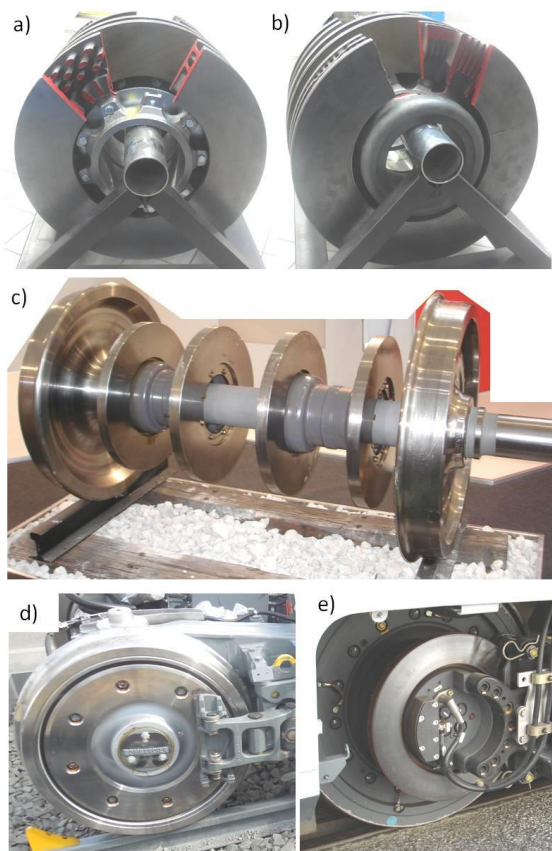
Wojciech SAWCZUK

BADANIE I MODELOWANIE WYBRANYCH PARAMETRÓW PROCESU HAMOWANIA DLA TARCZY HAMULCOWEJ Z NOWYM PROFILEM POWIERZCHNI CIERNEJ

W artykule przedstawiono model zmienności współczynnika tarcia i temperatury z nowym profilem powierzchni ciernej z otworami wykonanymi w linii spiralnej o jednym zwoju. Taka koncepcja tarczy po wcześniejszych badaniach symulacyjnych tj. z nawierceniami zgodnie ze spiralą Archimedesesa o jednym zwoju jest kompromisem między stabilnym przebiegiem chwilowego współczynnika tarcia w funkcji prędkości hamowania a zużyciem materiału ciernej. Badania na tarczach nawierczanych i nacinanych w istotny sposób poprawiają charakterystyki ciernej hamulca w aspekcie poprawy skuteczności hamowania, niewielkich wahań chwilowego współczynnika tarcia czy stałej wartości opóźnienia hamowania jednak pogarszają takie parametry jak zużycie materiału ciernej, wzrost hałasu w pierwszych sekundach hamowania oraz pylenie materiału ciernej.

WSTĘP

Wszystkie obecnie eksploatowane tarczowe układy hamulcowe zarówno pojazdów samochodowych jak i szynowych cechują się różnorodną konstrukcją tarczy hamulcowej (pierścienia ciernej), co przedstawia rysunek 1.

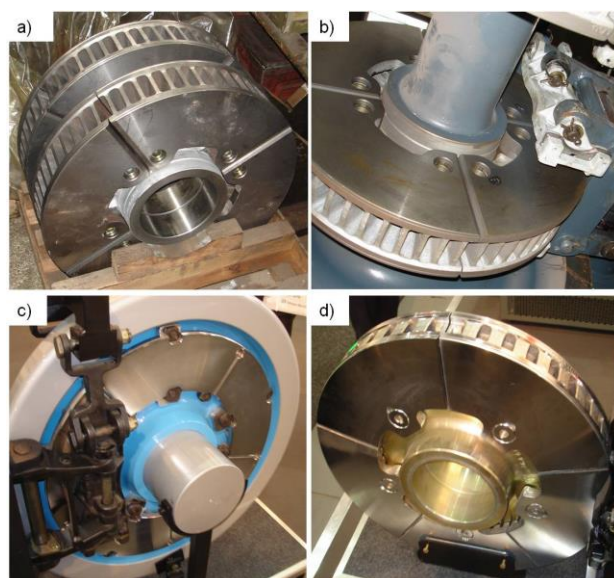


Rys. 1. Tarcze hamulcowe pojazdów szynowych: a) podwójna z wentylującymi łopatkami [3], b) podwójna z wentylującymi prętami

[1], c) pojedyncza pełna, d) jednostronna na kole, e) jednostronna na zewnątrz koła

Z tych względów tarcze hamulcowe dzieli się na jednostronne, bezpośrednio mocowane do tarczy koła oraz dwustronne, w których dwa pierścienie cierne zostały odsunięte od siebie w celu umożliwienia przepływu czynnika chłodzącego. Ponadto ze względu na skuteczność odprowadzenia ciepła hamowania do otoczenia stosuje się tarcze niewentylowane oraz wentylowane. Tarcze wentylowane dzieli się ze względu na kształt łącznika między pierścieniami ciernymi na wentylowane za pomocą łopatek lub wentylowane za pomocą prętów o przekroju kołowym lub eliptycznym. Natomiast ze względu na ilość tarcz, na osi zestawu kołowego możliwy jest montaż jednej lub maksymalnie czterech tarcz.

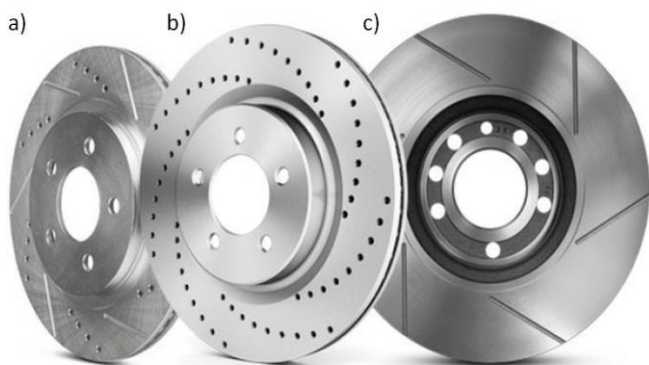
W technice kolejowej tarcze hamulcowe wytwarza się jako monolityczne (pełne) oraz dzielone. Na rysunku 2 przedstawiono kilka rozwiązań dzielonych tarcz hamulcowych.



Rys. 2. Tarcze hamulcowe dzielone: a) 141 BK, b) 141 BK na osi zestawu kołowego, c) Poli na kole zestawu kołowego, d) Poli na osi

Pierwszą wersją tarcz dzielonych są tarcze, w których połówki skręcane są wewnątrz za pomocą specjalnych śrub lub łączone są z piastą kołkami sprężystymi. Takie rozwiązanie tarczy wymaga bardzo dokładnego ustalenia dwóch lub większej ilości segmentów tarczy względem siebie, gdyż w przeciwnym razie odstające krawędzie spowodują wrywanie materiału okładziny ciernej, przyspieszając jej zużycie, a w skrajnych przypadkach powodują nawet zniszczenie. Odmienną konstrukcją tarczy dzielonej z wentylującymi łopatkami, w której poszczególne segmenty tarczy nie są łączone za pomocą śrub, lecz przez poprzecznie wciśnięte sworznie, jest włoska tarcza typu Poli oraz polska tarcza 141 BK. Włoska tarcza hamulcowa Poli co przedstawia rysunek 2d) składa się z piasty montowanej na osi zestawu kołowego, z pięciu lub siedmiu segmentów ciernych, tworzących pierścień hamulcowy oraz elementów łączących. Każdy segment jest mocowany promieniowo do kołnicza piasty za pomocą sworznia i jest połączony obwodowo (na powierzchni czołowej) z sąsiednim segmentem za pomocą pary kołków. Segmentowa tarcza 141 BK, co przedstawia rysunek 2a) i 2b) składa się z czterech segmentów z wentylowanymi łopatkami, osadzonymi na piaście oraz z ośmiu poprzecznie montowanych sworzni sprężystych zabezpieczonych pierścieniami osadczymi.

Badania wykazały, że tarcze segmentowe w przeciwieństwie do tarcz pełnych, wykazują większe zużycie okładzin ciernych o około 30%. Wynika z to z faktu istnienia poprzecznych krawędzi (podział na 5 lub 4 segmenty) na pierścieniu ciernym, które powodują wrywanie materiału okładziny [11]. W związku z tym tarcze dzielone charakteryzujące się dodatkowymi krawędziami na powierzchni ciernej zarówno montowane na kole czy na osi zestawu kołowego mimo łatwej wymiany względem tarcz monolitycznych są rzadziej stosowane. W przeciwieństwie do tarcz pojazdów samochodowych co przedstawia rysunek 3, tarcze nacinane lub nawiercane są stosowane, w szczególności w układach hamulcowych pracujących przy większych obciążeniach cieplnych.



Rys. 3. Tarcze hamulcowe wentylowane pojazdów samochodowych: a) nawiercane i nacinane, b) nawiercane, c) nacinane [7]

Według opracowań zawartych w [6, 7 i 8] tarcze nacinane w pojazdach samochodowych (rys. 3a)) wpływają na skuteczne usuwanie pyłu okładzinowego z pary ciernej hamulca, przez co w kolejnych hamowaniach uzyskuje się odnowioną powierzchnię okładzin (klocków) hamulcowych. Tarcze wiercone najlepiej wpływają na zarówno oczyszczanie okładzin ciernych z produktów zużycia jak również z odgazowania klocków po ich wyżarzeniu na etapie produkcji (zjawisko fadingu) oraz wody (zjawisko akwaplaningu). Jednak otwory po wierceniu przez całą grubość pierścienia ciernego (do przestrzeni wentylacji w środku tarczy) zmniejszają pojemność cieplną, co przy częstych hamowaniach przy realizacji dużych mocy hamowania może wpływać na ich odkształcenia. Ponadto otwory w dłuższej eksploatacji tarcz hamulcowych przyczyniają się do po-

wstawiania pęknięć termicznych (mikropęknięć) oraz istotnie zwiększają zużycie okładzin ciernych. Stąd kompromisem są tarcze nacinane i nawiercane, w których otwory (w przypadku tylko tarcz nawiercanych) są tylko do określonej głębokości.

1. PROPOZYCJA NOWEGO PROFILU TARCZY HAMULCOWEJ

Na podstawie literatury dotyczącej tarczowych układów hamulcowych oraz własnych rozważań autora opracowano profil pierścienia ciernego z rowkiem w kształcie spirali Archimedesesa o jednym zwoju. Takie założenie jest kompromisem w zakresie ustabilizowania procesu hamowania związanego ze stałym przebiegiem chwilowego współczynnika tarcia w funkcji czasu hamowania a zużyciem okładzin ciernych. Spirale Archimedesesa we współrzędnych biegunowych można zapisać w następującej postaci [1]:

$$R(\varphi) = \frac{(k \cdot \varphi + \Delta k)}{2\pi} \cdot (\varphi + \Delta\varphi) \quad (1)$$

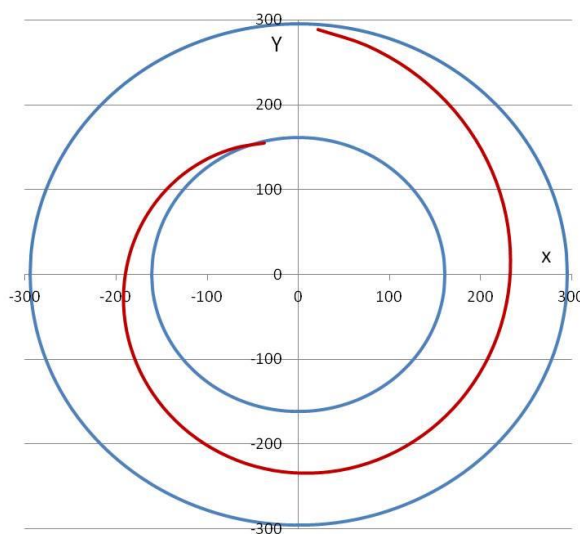
gdzie: φ – zmienna kąta wyrażonego w radianach,
 $R(\varphi)$ – funkcja zależności promienia od kąta φ ,
 k – parametr określający przyrost odległości pomiędzy poszczególnymi zwojami spirali Archimedesesa,
 Δk – parametr przesuwający promień wodzący funkcji o zadaną wartość,
 $\Delta\varphi$ – parametr przesuwający kąt początkowy spirali Archimedesesa.

Równanie parametryczne spirali Archimedesesa przedstawia układ równań (2) [1].

$$\begin{cases} x = \frac{k \cdot \varphi + \Delta k}{2\pi} \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi) + \Delta x \\ y = \frac{k \cdot \varphi + \Delta k}{2\pi} \cdot \cos(\varphi + \Delta\varphi) + \Delta y \end{cases} \quad (2)$$

gdzie: Δx – przemieszczenie w osi x,
 Δy – przemieszczenie w osi y.

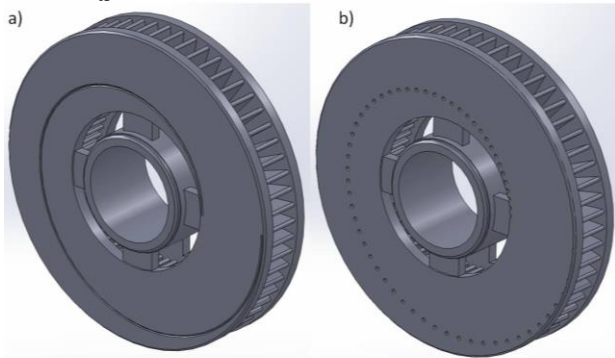
Na rysunku 4 przedstawiono zarys spirali Archimedesesa na tarczy hamulcowej typu 590 po zastosowaniu równań (1-2).



Rys. 4. Spirala Archimedesesa na powierzchni pierścienia ciernego tarczy hamulcowej

Przedstawione rozwiązanie profilu tarczy hamulcowej z jednym zwojem spirali Archimedeasa zostało zgłoszone do Urzędu Patentowego RP w celu uzyskania ochrony patentowej na wynalazek [9].

Na rysunku 5 przedstawiono przykłady modeli tarcz wykonania spirali Archimedeasa na pierścieniu ciernym tarczy jako jedno nacięcie lub ciągu otworów.



Rys. 5. Modele tarczy ze spiralą Archimedeasa w środowisku Solid-Works: a) w kształcie jednego nacięcia, b) z nawierceniami

Pierwszą tarczę do badań wykonano według złożenia jak na rysunku 5b), na pierścieniach ciernych (strona prawa i lewa) wykonano nawiercenia na głębokość 4mm (przy całkowitej grubości pierścienia 20mm) wzdłuż linii spiralnej. Na rysunku 6 przedstawiono widok gotowej tarczy hamulcowej z nawierceniami do badań stanowiskowych.



Rys. 6. Widok tarczy hamulcowej typu 590x110 z wykonanymi nawierceniami w kształcie spirali Archimedeasa

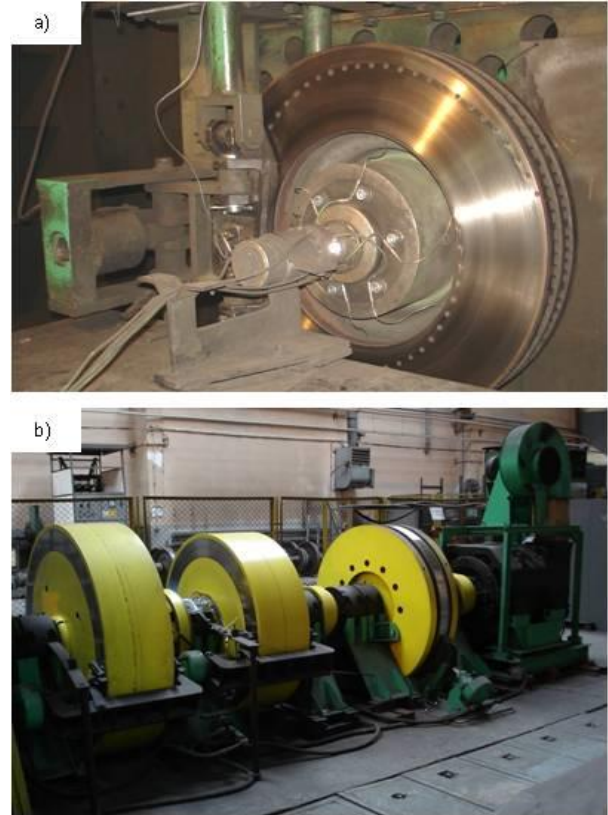
2. METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Badania o charakterze trybologicznym (gdzie rejestrowano zmianę współczynnika tarcia oraz temperatury tarczy w czasie hamowania) przeprowadzone zostały w Instytucie Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu na bezwładnościowym stanowisku do badań hamulców klockowych i tarczowych pojazdów szynowych. Obiektem badań były dwie tarcze hamulcowe typu 590x110 z wentylującymi łopatkami. Pierwsza tarcza gładka, druga z nawierceniami w kształcie spirali Archimedeasa o jednym zwoju (rys. 6) współpracujące z organicznymi okładzinami typu 175 FR20H.2 firmy Frenoplast.

Do badań wykorzystano program badawczy 2B2 (I) zgodnie z załącznikiem C.2 zawartym w Kodeksie UIC 541-3. Dla wspomnianego programu przeprowadzono hamowanie zatrzymujące z prędkości $v=50, 80, 120, 160$ i 200 km/h . Nacisk okładziny do tarczy hamulcowej wyniósł 25 kN a symulowana masa do wyhamowania wyniosła $5,7\text{ t}$ zgodnie z [2].

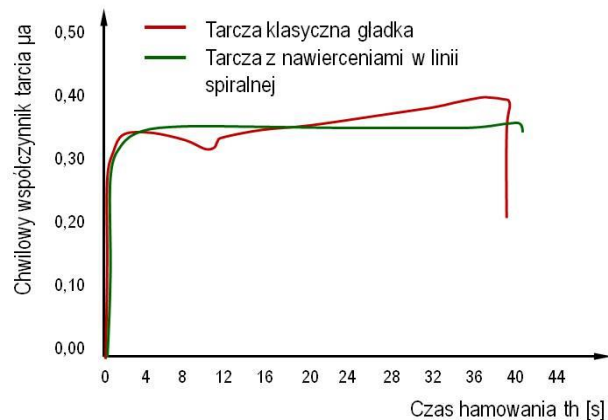
Pomiar temperatury tarczy hamulcowej przeprowadzono przy pomocy 6-ciu termopar zamocowanych do tarczy hamulcowej zgodnie z [5]. Badanie na stanowisku hamulcowym wykonano zgodnie z założeniami eksperymentu czynnego opisanego w [4].

Na rysunku 7 przedstawiono widok stanowiska hamulcowego z zamocowaną tarczą hamulcową z nacięciami wzdłuż linii spiralnej



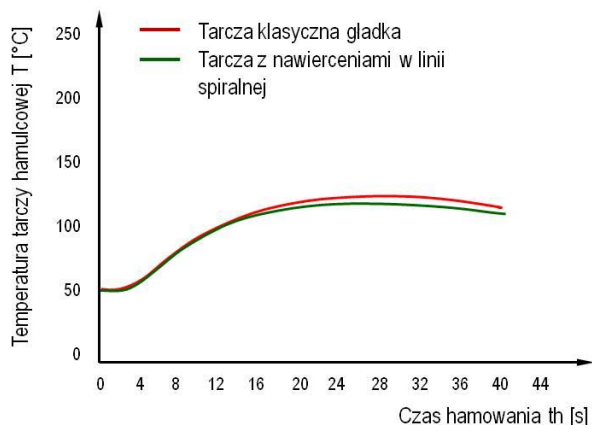
Rys. 7. Obiekt badań na stanowisku hamulcowym kolejowego hamulca tarczowego: a) tarcza hamulcowa typu 590x110 z rowkiem spiralnym, b) widok na część napędową stanowiska hamulcowego z masami wirującymi

Ponadto podczas badań stanowiskowych zastosowano kamerę termowizyjną typu FLIR e60 do oceny rozkładu temperatury na okładzinach ciernych. Wyniki z badań trybologicznych, charakterystyki chwilowego współczynnika tarcia w funkcji czasu oraz średniego współczynnika tarcia w funkcji prędkości hamowania przedstawione zostały na konferencji TransComp 2016 i opublikowane w pracy [10]. Przykładową zależność $\mu=f(t)$ oraz $T=f(t)$ dla prędkości hamowania $v=120\text{ km/h}$ przedstawiają rysunki 8 i 9.



Rys. 8. Przebieg chwilowego współczynnika tarcia przy hamowaniu z prędkości $v=120\text{ km/h}$ z naciskiem $N=25\text{ kN}$ uzyskany na tarczach

klasycznej (kolor czerwony) oraz z nawierceniami w linii spiralnej (kolor zielony)



Rys. 9. Przebieg temperatury tarczy hamulcowej przy hamowaniu z prędkości $v=120$ km/h z naciskiem $N=25$ kN uzyskany na tarcz klasycznej (kolor czerwony) oraz z nawierceniami w linii spiralnej (kolor zielony)

3. MODELOWANIE ZMIAN WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA I TEMPERATURY

Na podstawie wyników badań chwilowego i średniego współczynnika tarcia μ_m oraz temperatury tarczy podjęto próbę zamodelowania zmienności tych parametrów na podstawie następujących takich parametrów wejściowych jak typ tarczy hamulcowej (gładka lub nawiercana), grubość okładzin ciernych, prędkość początku hamowania oraz nacisk okładziny do tarczy hamulcowej. Do modelowania wybranych parametrów procesu hamowania zastosowano model regresji wielorakiej nazywanej również regresją wielomianową. Jest to metoda, w której wartość zmiennej losowej Y zależna jest od k -tych cech niezależnych (X_1, X_2, \dots, X_k). Na podstawie danej próby wyników badań dokonano wyznaczenia niezmiennych parametrów $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k$ stosując metodę najmniejszych kwadratów. Dla wyznaczenia współczynnika tarcia zaproponowano następującą zależność (6):

$$\mu_m = \alpha_1 S_T + \alpha_2 G_O + \alpha_3 v^2 + \alpha_4 v + \alpha_5 N + \alpha_0 \quad (3)$$

- gdzie: S_T – rodzaj tarczy hamulcowej (1-gładka, 57-ze spiralą Archimedesesa z 57 otworami),
 G_O – grubość okładzin ciernych (nowa $G_1=35$ mm, zużyte do grubości $G_2=25$ mm i $G_3=15$ mm),
 v – prędkość początku hamowania ($v=50, 80, 120, 160$ i 200 km/h),
 N – nacisk okładziny do tarczy hamulcowej ($N=25$ i 36 kN).

Warunki brzegowe do modelu regresji wielorakiej wyznaczenia współczynnika tarcia kolejowego hamulca tarczowego na podstawie parametrów wejściowych zostały zapisane w tabeli 1.

Tab. 1. Warunki brzegowe

Rodzaj tarczy hamulcowej	$S_T \in \langle 1:57 \rangle$
Grubość okładzin ciernych	$G_O \in \langle 15:35 \rangle$
Prędkość początku hamowania	$v \in \langle 50:200 \rangle$
Nacisk okładziny do tarczy hamulcowej	$N \in \langle 25:36 \rangle$

Współczynniki $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_6$ wyznaczono wykorzystując program Excel 2012 i Matlab z zakładką analiza danych. W tabeli 2 przedstawiono wyliczone parametry regresji wielorakiej.

Tab. 2. Współczynniki regresji wielorakiej

Współczynnik	Wartość			
	μ_{min}	μ_{max}	μ_m	T
α_1	$5,59 \cdot 10^{-5}$	-0,00017	$-4,71 \cdot 10^{-5}$	-0,14
α_2	0,002	0,0018	0,0019	0,44
α_3	$4,49 \cdot 10^{-5}$	0,00043	0,00014	0,74
α_4	$-2,29 \cdot 10^{-6}$	$-2,36 \cdot 10^{-6}$	$-2,39 \cdot 10^{-6}$	0,002
α_5	0,00036	0,00033	0,00036	1,31
α_0	0,27	0,29	0,28	-18,45

Natomiast w tabeli 3 przedstawiono wyniki dla statystyki regresji wielorakiej.

Tab. 3. Statystyki regresji sporządzonej dla analizowanych danych

Parametr	Wartość			
	μ_{min}	μ_{max}	μ_m	T
Wielokrotność R	0,927	0,808	0,917	0,988
R^2	0,859	0,653	0,842	0,977
Dopasowanie R^2	0,846	0,621	0,827	0,975
Błąd standardowy	0,014	0,014	0,013	11,019
Obserwacje	60	60	60	60

Zależności (4)-(7) prezentuje końcową postać modelu regresji dla minimalnego, maksymalnego, średniego współczynnika tarcia oraz temperatury tarczy z wyliczonymi współczynnikami (parametrami niezmiennymi):

$$\mu_{min} = 5,59 \cdot 10^{-5} S_T + 0,002 G_O + 4,49 \cdot 10^{-5} v + -2,29 \cdot 10^{-6} \cdot v^2 + 0,00036 N + 0,27 \quad (4)$$

$$\mu_{max} = 0,0017 S_T + 0,0018 G_O + 0,00043 v + -2,36 \cdot 10^{-6} v^2 + 0,00033 N + 0,29 \quad (5)$$

$$\mu_m = -4,71 \cdot 10^{-5} S_T + 0,0019 G_O + 0,00014 v + -2,39 \cdot 10^{-6} v^2 + 0,00036 N + 0,28 \quad (6)$$

$$T = -0,14 S_T + 0,44 G_O + 0,74 v + 0,002 v^2 + 1,31 N - 18,45 \quad (7)$$

Następnie sprawdzono współczynnik korelacji liniowej Pearsona zgodnie z zależnością (12) dla analizowanych zmiennych tj. rodzaj tarczy (gładka lub z nacięciem w linii spiralnej), grubości okładzin ciernych, prędkości początku hamowania oraz nacisku okładziny do tarczy hamulcowej.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

gdzie: \bar{y}, \bar{x} – wartości średnie cechy x i cechy y,
 y_i, x_i – zmienne opisujące.

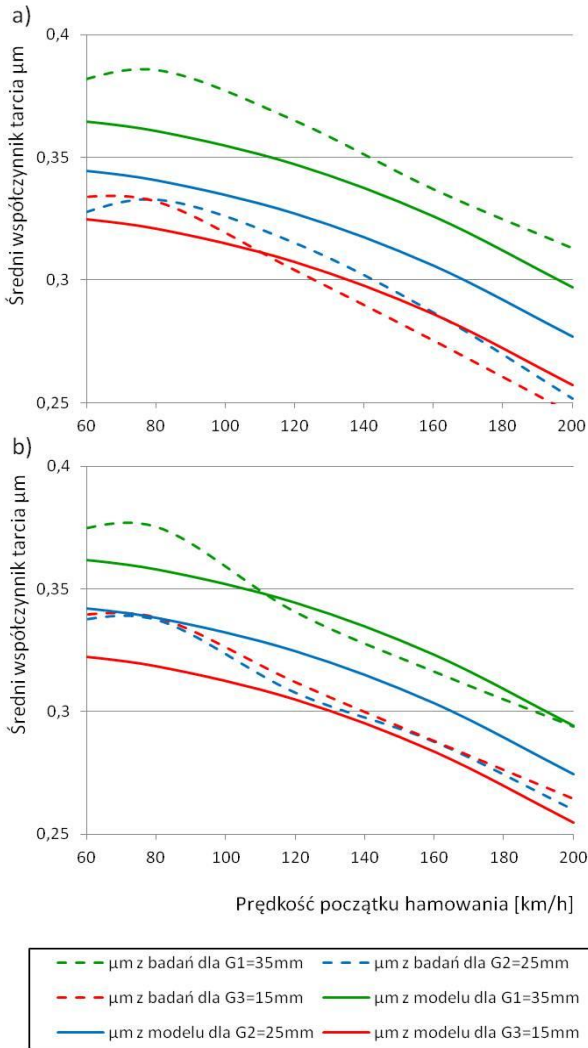
W tabeli 4 przedstawiono macierz korelacji (Pearson) dla analizowanych zmiennych na przykładzie μ .

Tab. 4. Macierz korelacji

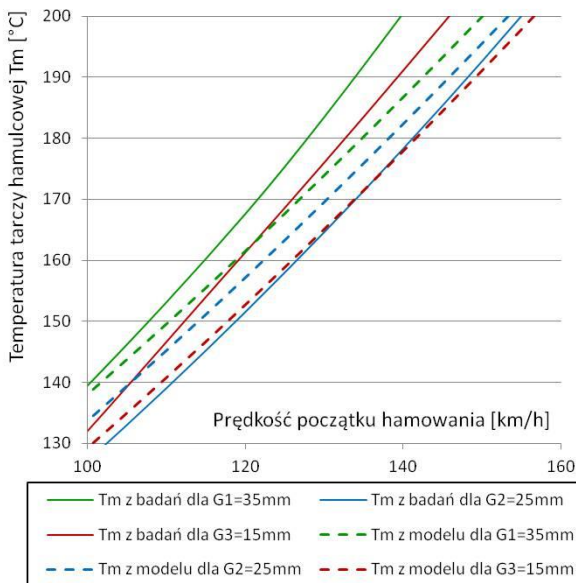
Zmienna	S_T	G_O	v	v^2	N	Wsp. korelacji
S_T	1,0	0	0	0	0	-0,2833
G_O	0	1,0	0	0	0	-0,0723
v^2	0	0	1,0	0,9855	0	0,8783
v	0	0	0,9855	1,0	0	0,8644
N	0	0	0	0	1,0	-0,0056
Wsp. korelacji	-0,2833	-0,0723	0,8783	0,8644	-0,0056	1,0

Analizując wartości współczynnika korelacji z tabeli 4 stwierdza się, że na zamiany (wahania) wartości współczynnika tarcia i temperatury największy wpływ ma prędkość początku hamowania ($r=0,87$) oraz rodzaj powierzchni tarczy hamulcowej (gładka lub ze spiralą Archimedesesa) tj. $r=0,28$. Najmniejszy wpływ ma nacisk okładziny do tarczy ($r=0,0056$) i zużycie okładzin ciernych ($r=0,0723$).

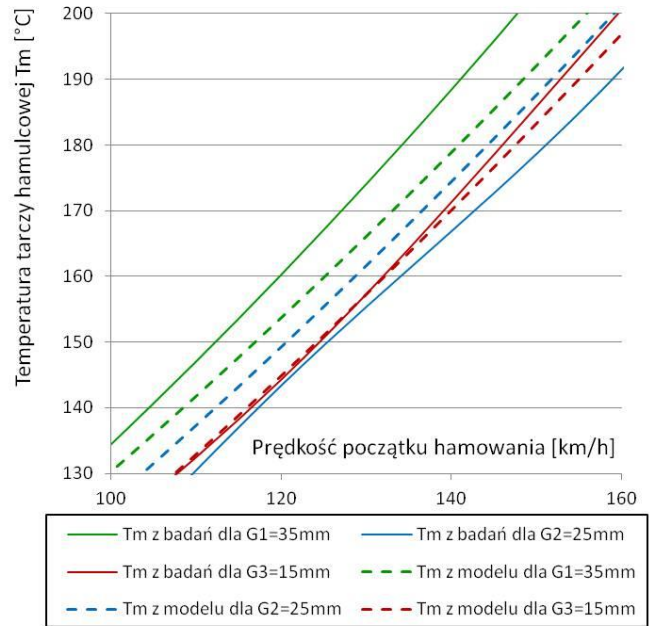
Modele zapisane zależnościami (8)-(11) można uprościć eliminując wpływ tych dwóch zmiennych.



Rys. 10. Zależność średniego współczynnika tarcia z badań oraz z uwzględnieniem modelu regresji wielorakiej przy hamowaniu z $N=36kN$, $M=5,7t$: a) dla tarczy klasycznej (gładkiej), b) tarcza z rowkiem w linii spiralnej



Rys. 11. Zależność średniego temperatury tarczy hamulcowej z badań oraz z uwzględnieniem modelu regresji wielorakiej przy hamowaniu z $N=36kN$, $M=5,7t$ dla tarczy klasycznej (gładkiej)



Rys. 12. Zależność średniego temperatury tarczy hamulcowej z badań oraz z uwzględnieniem modelu regresji wielorakiej przy hamowaniu z $N=36kN$, $M=5,7t$ dla tarczy z rowkiem w linii spiralnej

Na rysunku 10 przedstawiono przykładową weryfikację modelu regresji zgodnie z zależnością (6) do wyników badań średniego współczynnika tarcia uzyskanego na stanowisku hamulcowym dla jednego typu hamowania (nacisk i masa do wyhamowania). Należy stwierdzić, że dla tarczy z rowkiem w linii spiralnej obserwuje się lepsze dopasowanie modelu do wyników badań względem tarczy gładkiej oraz mniejsze wahania współczynnika tarcia dla trzech grubości materiału ciernego.

Natomiast na rysunkach 11 i 12 przedstawiono zależność średniej temperatury tarczy hamulcowej (gładkiej oraz z linią spiralną) od prędkości początku hamowania uzyskaną na podstawie wyników z badań stanowiskowych oraz wyników z modelu regresji wielorakiej. Analizując wyniki średniej temperatury tarczy stwierdza się, że rowek spiralny wpływa na obniżenie temperatury tarczy.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania stanowiskowe pary cierniej kolejowego hamulca tarczowego na dwóch typach tarcz tj. klasycznej (gładkiej) oraz z nawiercenia wzdłuż linii spiralnej wykazały, że rowek spiralny wpływa na stabilny (płaski) przebieg chwilowego współczynnika tarcia w funkcji czasu hamowania. Od początku hamowania chwilowy współczynnik tarcia możliwy jest do opisanie funkcją stałą, dopiero w dalszym czasie hamowania nieznacznie wrasta aż do zatrzymania. W przypadku tarczy klasycznej chwilowy współczynnik tarcia zmienia się od początku hamowania aż do zatrzymania tworząc przebieg zbliżony do odwróconej litery „s”. W szczególności w chwili zatrzymania obserwuje się jego obniżenie.

Ponadto temperatura tarczy hamulcowej z nawierceniami jest nieznacznie niższa względem tarczy klasycznej, może być to spowodowane większą powierzchnią wymiany ciepła przez otwory na tarczy hamulcowej oraz bardziej intensywnym efektem promieniowania cieplnego. Na otworach które nie biorą udziału w tarcu emisyjność jest większa, co ułatwia wymianę ciepła.

Zarówno zmiany współczynnika tarcia jak i temperatura tarczy hamulcowej możliwa jest to zamodelowania stosując model regresji

wielorakiej pozwalający na oszacowanie wartości tych parametrów przy znanych warunkach początkowych jak typ tarczy (gładka lub z nawierceniami), prędkość początku hamowania oraz nacisk okładziny do tarczy hamulcowej. W równaniu regresji dodatkowo uwzględniono wpływ zużycia okładzin ciernych powodujący obniżenie współczynnika tarcia.

Projekt jest finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, program LIDER V, umowa nr LIDER/022/359/L-5/13/NCBR/2014

BIBLIOGRAFIA

1. Bronsztejn I.N., Siemiendajew K.A., *MATMATYKA poradnik encyklopedyczny, część pierwsza*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1990.
2. Kodeks UIC 541-3. Hamulec-Hamulec tarczowy i jego zastosowanie. Warunki dopuszczenia okładzin hamulcowych. Wydanie 7, czerwiec 2010.
3. KOVIS Zavorni Disc – oferta odlewów tarcz hamulcowych.
4. Leszek W. *Wybrane zagadnienia metodyczne badań empirycznych*. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2006, 142-153.
5. Polska Norma PN-EN 14535-3 Kolejnictwo – Tarcze hamulcowe kolejowych pojazdów szynowych – Część 3: Tarcze hamulcowe, właściwości tarczy i pary cierniej, klasyfikacja. Warszawa luty 2016.
6. Strona internetowa:
7. <https://brakestock.pl/news/view-fazy-tuningu-hamulcow.html>
8. Strona internetowa:
9. <http://www.rgarage.pl/index.php/modyfikacje/brakes/tarcze-wiercone-czy-nacinane8>.
10. Strona internetowa:
11. <http://mojafirma.infor.pl/moto/eksploatacja-auta/uklad-hamulcowy/271667,Co-daja-nawiercane-tarcze-hamulcowe-czy-mozna-je-montowac-w-kazdym-aucie.html>
12. 9. Sawczuk W., *Tarcza hamulcowa*. Zgłoszenie o udzielenie patentu oznaczonego numerem P.418361 z dnia 16.08.2016.
13. 10. Sawczuk W., *Koncepcja nowej tarczy hamulcowej do pojazdów szynowych*. Technika Transportu Szynowego TTS 12/2016, 490-495.
14. 11. Suwalski R., Segmentowa tarcza hamulcowa typu 141BK dla pojazdów kolejowych. Pojazdy Szynowe 117/94.

Testing and modeling of selected parameters of brake process for brake disc with new surface profile

The article presents a model of friction coefficient and temperature variation with a new friction surface profile with holes made in a spiral line with one roll. Such a shielding concept after previous simulations of drilling in accordance with Archimedes spiral of one coil is a compromise between the stable course of instantaneous coefficient of friction as a function of braking speed and the wear of friction material. Testing on drilled and severed discs significantly improves the friction characteristics of the brake in terms of improved braking performance, slight fluctuations in the instantaneous friction coefficient or constant braking delay but deteriorates parameters such as wear of friction material, noise increase in the first braking seconds and dusting of friction material.

Autorzy:

Dr inż. **Wojciech Sawczuk** – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Zakład Pojazdów Szynowych, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3, Tel. 61 224-4510, Fax. 61 665-2204, e-mail: wojciech.sawczuk@put.poznan.pl.