

Bohdan BUŁCHAK, Aleksander PROWOTOROW, Krzysztof OSUCH

WRAŻLIWOŚĆ OKŁADZIN CIERNYCH HAMULCA TARCZOWEGO NA OBECNOŚĆ WODY W OBSZARZE TARCIA

Streszczenie. W artykule omówiono problemy związane z utratą hamowności hamulców tarczowych spowodowane obecnością wody w parze czarnej, tzw. akwaplaningu. Omówiono warunki sprzyjające powstawaniu tego zjawiska. Zaproponowano praktyczne sposoby zapobiegania jego pojawianiu się.

SENSIVITY OF FRICTIONAL MATERIALS OF DISC BRAKES ON PRESENCE OF WATER IN FRICTIONAL ZONE

Summary. Article describes problems of loosing of braking efficiency of disc brakes caused by presence of water in frictional zone. Conditions that causes such phenomenon have been described. Authors suggested practical methods to protect brakes from loosing of braking efficiency.

1. WPROWADZENIE

1.1. Utrata hamowności w złych warunkach atmosferycznych

Już w okresie intensywnego wprowadzania do eksploatacji pojazdów z hamulcem tarczowym, a zwłaszcza w okresie kształtowania się zuniifikowanych wymagań odnośnie do hamulca tarczowego zwykłych wagonów pasażerskich (lata sześćdziesiąte), liczne zarządy kolejowe sygnalizowały zjawisko obniżania skuteczności działania hamulca tarczowego w niekorzystnych warunkach atmosferycznych. Na podstawie doświadczeń zebranych w eksploatacji oraz w wyniku prób stanowiskowych stwierdzono, że zagrożenia pojawienia się w sposób nieoczekiwany nagłej utraty hamowności i w jej wyniku, wielokrotnego (15–20-krotnego) przekroczenia normalnych długości dróg hamowania: wiążą się zawsze z obecnością dużej ilości wody w obszarze tarcia oraz zwiększają się w przypadku występowania temperatur bliskich zeru.

Rozpowszechniła się wówczas również opinia (często skądinąd podważana), że utrata hamowności związana jest z typem okładziny, a nawet z określoną partią produkcyjną danego typu. Mówiono o okładzinach wrażliwych i mało wrażliwych na obecność wody w obszarze tarcia. Okładziny wrażliwe na obecność wody mogą przy tym charakteryzować się idealnymi własnościami ciernymi przy hamowaniu suchym.

Wynikiem tych opinii było wprowadzenie do programu badań homologacyjnych okładzin – sekwencji hamowań „na mokro”, a potem całego odrębnego „programu mokrego”. Celem tej operacji było dokonywanie - w trakcie badań stanowiskowych – porównania oraz jakościowej i ilościowej oceny „wrażliwości” określonych typów okładzin na niekorzystne warunki atmosferyczne, a w efekcie niedopuszczenie do eksploatacji wyrobów mogących stwarzać zagrożenie podczas hamowania w złych warunkach atmosferycznych.

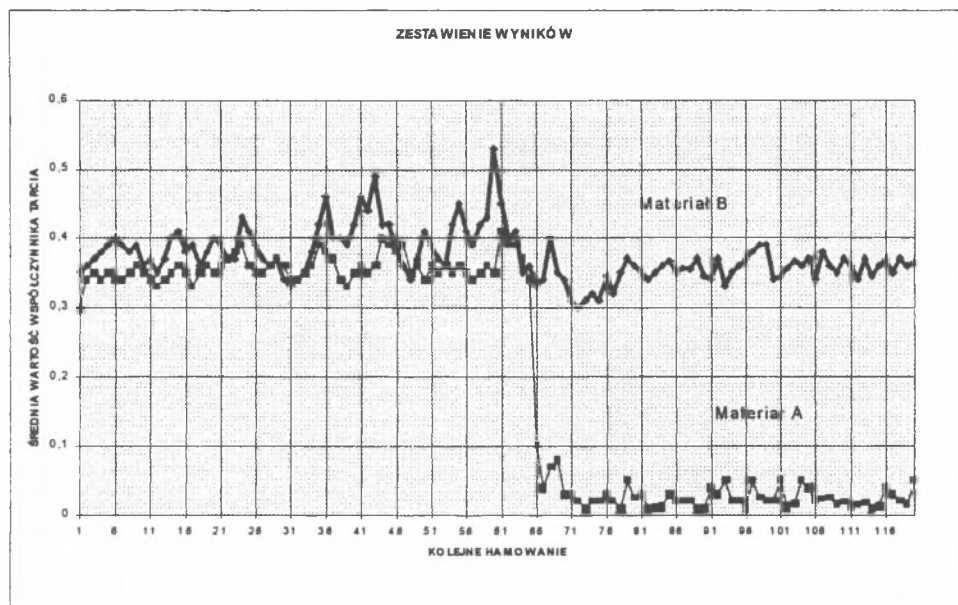
Rysunek 1 przedstawia dwa różne przebiegi hamowań w programie homologacyjnym:
A – przy użyciu okładziny wrażliwej,
B – przy użyciu okładziny niewrażliwej na obecność wody.

Nawiasem mówiąc, w tym bardzo trudnym programie hamowań okładziną A jest materiał spiekany z proszków metali, a okładziną B - klasyczny materiał organiczny.

1.2. Podsumowanie stanu wiedzy, obowiązujące warunki, definicje

Obecność wody w obszarze tarcia w hamulcu tarczowym może w pewnych przypadkach prowadzić do bardzo poważnych zakłóceń. Tarcie suche może wówczas przekształcić się w tarcie mieszane, a nawet w tarcie płynne, zwane - w tym przypadku - akwaplaningiem, przy którym siły hamowania osiągają wartość minimalną.

Ustalono, że o akwaplaningu można mówić wówczas, gdy zmierzona wartość współczynnika tarcia spadnie poniżej 10% wartości uzyskiwanej przy tarcu suchym.



Rys. 1. Przebiegi hamowań w programie homologacyjnym

Fig. 1. The appearance of braking curves during certification process

Tak więc umownym warunkiem akwaplaningu jest:

$$\mu_{\text{Akwapl.}} \leq 0,1 \mu_{\text{Such.}}$$

Ponieważ zunifikowane wymagania dla kolejowego hamulca tarczowego z okładzinami ciernymi typu H nakazują uzyskiwanie:

$$\mu_s = 0,35 \pm 0,04$$

zatem akwaplaning pojawia się, gdy:

$$\mu_A \cong 0,035.$$

- a) Oczywiście, w praktyce eksploatacyjnej nie można dopuścić do takiego spadku wartości współczynnika tarcia, akwaplaning jest tu pojęciem teoretycznym. Wprowadzone do programu badań homologacyjnych hamowania ze zraszaniem tarczy wodą mają na celu ujawnienie tendencji do tworzenia się poślizgu wodnego i dopuszczają wartości współczynników tarcia jedynie o 20% niższe od wartości uzyskiwanych bez zraszania.
- b) Za absolutną granicę, której żadna okładzina nie powinna w trakcie prób przekroczyć, jest wartość współczynnika tarcia $\mu = 0,20$.

2. GŁÓWNE PRZYCZYNY AKWAPLANINGU, WPŁYW CZYNNIKÓW KONSTRUKCYJNYCH I EKSPLOATACYJNYCH

Tworzenie się wodnego klina smarującego między tarczą a okładzinami ciernymi hamulca i zmniejszanie się średniej wartości współczynnika tarcia aż do wartości μ_A jest uwarunkowane:

- a) możliwością zaistnienia potrzebnego luzu między elementami trącymi,
- b) możliwością nierównoległego ułożenia się powierzchni trących,
- c) obecnością wystarczającej ilości wody w obszarze tarcia.

Jeśli te warunki są spełnione, to dla przypadku okładzin hamulcowych o powierzchni 200 cm^2 i tarcz o średnicy 640 mm obowiązuje następująca zależność hydrodynamiczna:

$$h^2 \approx 0,01 \frac{v \cdot \eta}{p}$$

gdzie: h - minimalna teoretyczna grubość warstewki wody rozdzielającej tarczę i okładzinę,
 v - prędkość poślizgu, na „promieniu tarcia”,
 p - średnie ciśnienie w warstewce hydrodynamicznej,
 η - współczynnik lepkości dynamicznej wody, zmieniający się z jej temperaturą.

Oznacza to, między innymi, że przy prędkości poślizgu odpowiadającej prędkości jazdy 160 km/h, przy temperaturze wody 10°C i przy naciskach roboczych nie większych niż 10 N/cm² - przy spełnionych warunkach a, b, c, - może się wytworzyć między okładziną i tarczą film wodny o grubości nie mniejszej (grubość w najcieńszym miejscu) od 60 μm. Taka grubość warstwy wodnej jest prawie zawsze równoznaczna z utratą bezpośredniego kontaktu między okładziną i tarczą hamulcową.

3. MOŻLIWOŚCI KSZTAŁTOWANIA ODPORNOŚCI NA WODĘ

Podana poprzednio zależność może być naruszona w wyniku oddziaływania kilku czynników. Są to głównie:

- a) zwiększenie nacisku okładziny na tarczę,
- b) wymuszona zmiana ułożenia okładziny na powierzchni tarczy,
- c) zmniejszenie się ilości wody w obszarze tarcia,
- d) wzrost temperatury wody i przez to zwiększenie się jej lepkości,
- e) pojawienie się w szczelinie między okładziną a tarczą cząstek stałych przewyższających swym rozmiarem nominalną grubość szczeliny.

Pierwsze dwa czynniki są związane ze zmianą reżimu hamowania, może to być na przykład hamowanie pulsacyjne, stosowane z powodzeniem w pojazdach drogowych w przypadku zagrożenia poślizgiem wodnym. Jest to jednak niezmiernie trudne do przeprowadzenia w pojazdach szynowych.

Istotne zmiany, korzystne lub szkodliwe, związane z rozkładem ciśnienia w warstwie wodnej może wywoływać odkształcanie się powierzchni ciernych bądź w wyniku działających obciążeń, bądź na skutek np. zmiennej nasiąkliwości.

Dwa kolejne zagadnienia c) i d) są jeszcze mniej "sterowalne". Można tu liczyć na pewien, ograniczony bardzo, jak wskazuje praktyka, wpływ ukształtowania powierzchni okładziny poprzez wykonanie różnego rodzaju rowków odwadniających, można liczyć na korzystny wpływ otworów w tarczy (jak to się robi w hamulcach motocykli), można wreszcie wprowadzić kosztowne i problematyczne podgrzewanie tarczy (np. zalecane w przewidywanych zagrożeniach pogodowych okresowo uruchamianie hamulców pociągowych dla utrzymania odpowiednio wyższej temperatury).

Należy jednak zauważyć, że obecność cząstek, o których mowa w punkcie d) - może spowodować pożądaną zakłócenia równowagi, prowadzące zarówno do wzrostu temperatury, jak też i przerwania ciągłości filmu wodnego.

Stąd już bardzo blisko do wniosku, że czynnikiem ograniczającym występowanie akwaplaningu jest chropowatość powierzchni ciernych. Wniosek taki jest też konsekwencją analogii pracy hamulca w obecności wody z pracą łożyska ślizgowego.

Wykonawca okładziny cierniej może zatem wywierać wpływ poprzez:

- zapewnienie odpowiedniej sztywności okładziny i odporności na nasiąkanie,
- kształtowanie formy powierzchni cierniej,
- sterowanie zagadnieniami zużycia i odtwarzania stanu powierzchni cierniej, w celu zapewnienia pożądaną chropowatości.

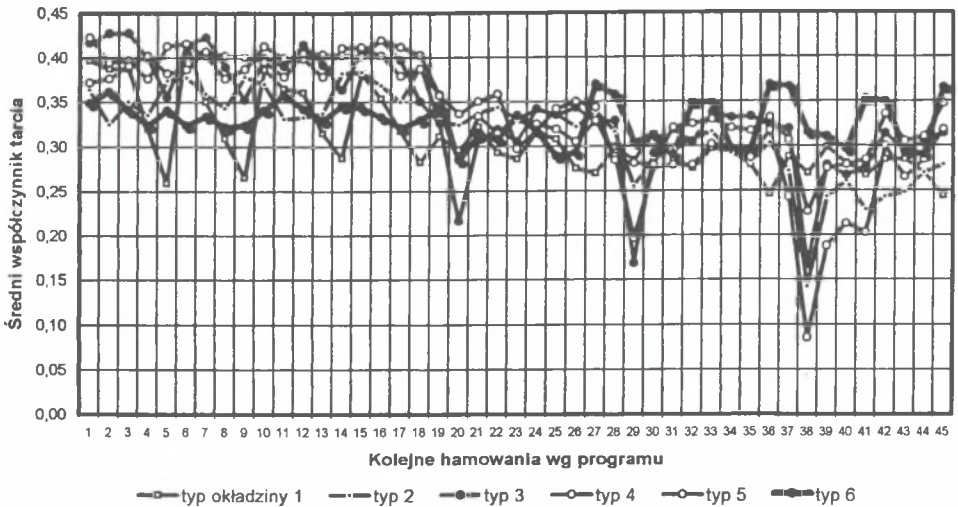
Wyniki praktyczne wynikające z wykorzystania wymienionych wyżej „narzędzi”, uzyskane przez konkurujące firmy europejskie produkujące okładziny ciernie z tworzyw organicznych, tzw. kompozytów, przedstawione są na rysunkach 2 i 3.

Na rysunku 2 podano zestawienie średnich wartości współczynników tarcia sześciu typów okładzin ciernych w kolejnych 45 hamowaniach programu „mokrego”, stanowiącego część

procesu homologacji okładzin w celu dopuszczenia do ruchu międzynarodowego. Jak widać, rozbieżności wyników są dosyć znaczące; niektóre z okładzin są w zasadzie nie do przyjęcia, gdyż średnia wartość współczynnika tarcia przekracza umowną dolną dopuszczalną granicę 0,20.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań porównawczych pięciu typów okładzin w bardzo trudnych warunkach „zimowych”, stworzonych sztucznie na stanowisku w Wiedniu Arsenale. Widać wyraźnie różnice w pracy okładzin na sucho i w warunkach śnieżenia. W tych ostatnich warunkach w pełni zadowalające wyniki prezentują jedynie okładziny typu O, które są spiekami z proszków metali. Spośród okładzin organicznych tylko typ T może zapewnić dostateczną skuteczność hamowania.

Porównanie uzyskanych średnich współczynników tarcia w programie UIC 3

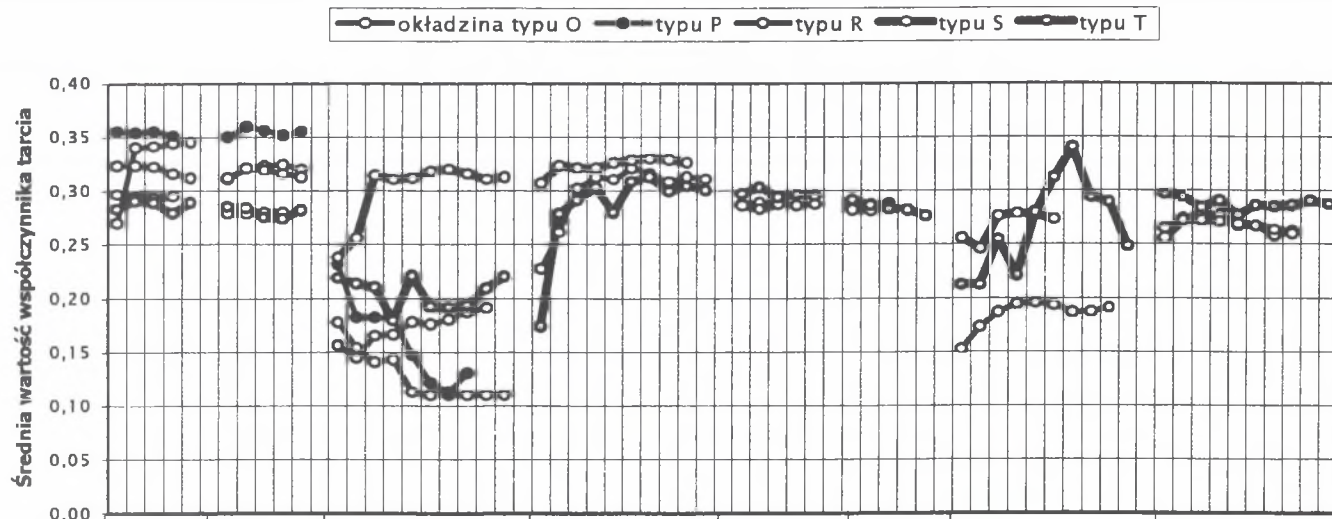


Rys. 2. Średnie wartości współczynników tarcia sześciu typów okładzin ciernych
Fig. 2. Average values of frictional coefficients for six types of frictional materials

WNIOSEK

Stosując podobne kompozycje, składające się z ograniczonego kręgu materiałów wyjściowych, można uzyskać różne praktyczne skutki. Szczególnie ważne jest, że dzięki odpowiednim zabiegom technologicznym można zapewnić materiałom ciernym hamulca zwiększoną odporność na obecność wody w obszarze tarcia i tym samym zapewnić skuteczność hamowania pociągów w trudnych warunkach klimatycznych i pogodowych.

Badania w warunkach zimowych na stanowisku Wien Arsenal



	seria A	seria B	seria C	seria D	seria E	seria F	seria G	seria H
Fb [kN]	48	48	48	48	21	21	21	21
V [km/h]	80	120	80	120	80	120	80	120
Śnieżenie	--	--	+	+	--	--	+	+

Serie hamowań

Rys. 3. Wyniki badań porównawczych pięciu typów okładzin w bardzo trudnych warunkach „zimowych”

Fig. 3. Results of comparative tests of five types of frictional materials in very difficult, “winter” conditions

Abstract

Since beginning of using disc brakes in rail vehicles problems with rapid reducing of frictional coefficient caused by weather have appeared. It resulted in significant (ten to twenty times) increase of braking distance. This article describes problems of loosing of braking efficiency of disc brakes caused by presence of water in frictional zone. Conditions that cause such phenomenon have been described. Authors suggested practical methods to protect brakes from loosing of braking efficiency.

Recenzent: Dr hab. inż. Marek Sitarz
Profesor Politechniki Śląskiej