ARCHIWUM MOTORYZACJI
1. pp. 3-18 (2001)

Hamulce tarczowe i bębnowe, porównanie właściwości na obecnym etapie rozwoju techniki samochodowej

LEON PROCHOWSKI

Instytut Pojazdów Mechanicznych, Wojskowa Akademia Techniczna

Konstruktorzy, dążąc do zwiększenia efektywności środków transportu, proponują m.in. nowe rozwiązania układów hamulcowych. Wprowadza się wysokowydajne systemy sterowania i wspomagania kierowcy w czasie hamowania. Trwają prace nad elektrycznymi układami hamulcowymi. Te zmiany w układach sterowania hamulcami mają istotny wpływ na konstrukcję i funkcjonowanie mechanizmów hamulcowych, tj. tych zespołów, które są bezpośrednio związane z kołami jezdnymi.

W pracy opisano właściwości tarczowych i bębnowych mechanizmów hamulcowych, a przede wszystkim zwrócono uwagę na możliwości skrócenia długości drogi hamowania i zwiększenia momentu tarcia w hamulcach poprzez wprowadzenie zmian konstrukcyjnych i nowych materiałów. W dalszym ciągu poważnym problemem pozostaje nagrzewanie się hamulców i spadek efektywności ich działania w wysokiej temperaturze.

W końcowej części pracy zestawiono w sposób porównawczy charakterystyczne właściwości nowych rozwiązań tarczowych i bębnowych mechanizmów hamulcowych.

1. Wprowadzenie

Stałe dążenie do wzrostu efektywności środków transportu drogowego prowadzi do konieczności ich przystosowywania do ruchu z coraz to większą prędkością. Osiąganie wysokiej prędkości eksploatacyjnej w warunkach wzrastającego zagęszczenia ruchu drogowego wymaga częstego przyspieszania i hamowania samochodu. Dążąc do spełnienia tych oczekiwań, a jednocześnie w celu podniesienia poziomu bezpieczeństwa ruchu samochodów, konstruktorzy proponują różnorodne rozwiązania dla poprawienia funkcjonowania układów hamulcowych, skrócenia długości drogi hamowania, zmniejszenia czynności obsługowych i zapewnienia wysokiej niezawodności działania hamulców w każdych warunkach drogowych.

Praca została przygotowana w ramach Projektu Badawczego PB 1544/T12/99/16, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

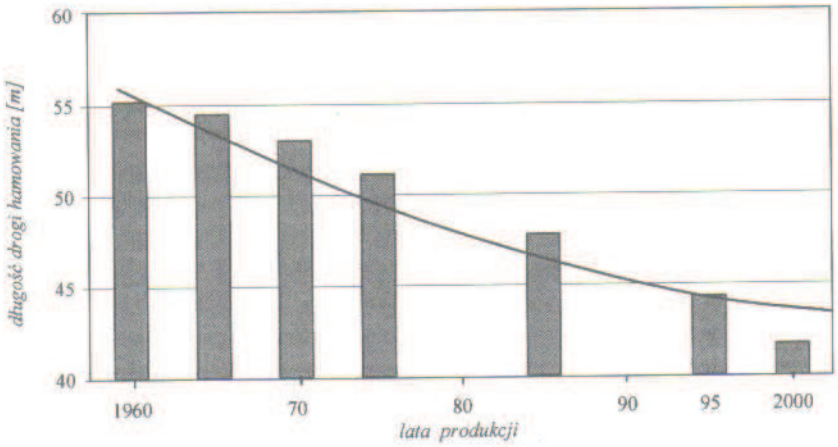
W celu polepszenia efektywności hamowania samochodów wprowadza się obecnie m.in.: systemy wspomagania kierowcy w czasie hamowania, układy sterowania rozkładem sił hamowania między osiami jezdnymi i kołami samochodu, elektro-pneumatyczne układy uruchamiania mechanizmów hamulcowych w samochodach ciężarowych i autobusach. Trwają szeroko zakrojone prace nad elektrycznymi układami hamulcowymi. Wymienione udoskonalenia dotyczą przede wszystkim układów sterowania hamulcami. Nie pozostają one bez wpływu na rozwój konstrukcji mechanizmów hamulcowych, tj. tych zespołów układu hamulcowego, które są związane bezpośrednio z kołami jezdnymi. W tym względzie dominują w dalszym ciągu dwa zasadnicze rozwiązania konstrukcyjne: bębnowe i tarczowe mechanizmy hamulcowe. Porównanie ich właściwości na obecnym etapie rozwoju techniki samochodowej stanowi zasadniczy cel niniejszego opracowania. W pracy pominięto opisy stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, ponieważ zostały one podane w innych opracowaniach [1, 2, 6, 7, 10].

W ostatnich latach w wielu modelach samochodów producenci stosując bębnowe mechanizmy hamulcowe jednocześnie proponują, jako opcję, osie jezdne i mosty z hamulcami tarczowymi. Często ma to miejsce w samochodach ciężarowych średniej i dużej ładowności oraz autobusach. Dokonanie racjonalnego wyboru pomiędzy obu typami mechanizmów hamulcowych może nastąpić na podstawie porównania ich właściwości oraz oceny korzyści w aspekcie wzrostu efektywności wykorzystania pojazdu i bezpieczeństwa ruchu drogowego.

2. Długość drogi hamowania

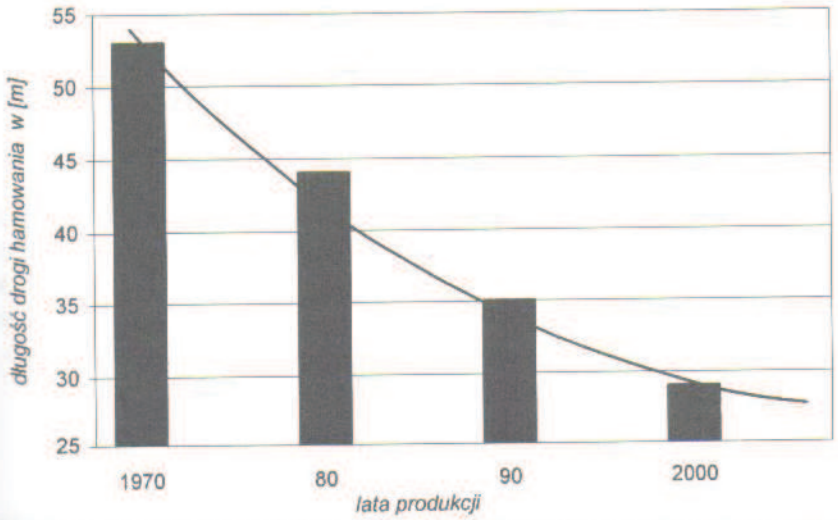
Długość drogi hamowania jest ważnym wskaźnikiem eksploatacyjnych właściwości samochodu. W ustalonych warunkach drogowych długość tej drogi w decydującym stopniu zależy od układu hamulcowego, ogumienia i sprawności działania kierowcy. Badania kilku firm samochodowych (Volvo, Mercedes, Ford) wskazują, że udział wypadków drogowych podczas hamowania wynosi 40–45% ogólnej liczby wypadków. Większość z nich była do uniknięcia, gdyby długość drogi hamowania można było skrócić o kilka metrów.

Na rysunku 1 pokazano proces zmniejszania długości drogi hamowania, który nastąpił w rezultacie rozwoju konstrukcji samochodów od początku lat sześćdziesiątych. Przedstawione wyniki dotyczą samochodów osobowych średniej klasy i zebrane zostały na podstawie okresowo zamieszczanych w prasie fachowej wyników badań. Znaczne skrócenie długości drogi hamowania na początku lat 70. to przede wszystkim rezultat wprowadzenia opon o konstrukcji radialnej. Lata 1970...1980 to okres powszechnego wprowadzania hamulców tarczowych do samochodów osobowych średniej klasy. Wprowadzanie nowych konstrukcji i technologii bieżników ogumienia, zwiększanie średnicy obręczy kół jezdnych i powiększanie średnicy hamulców doprowadziło do dalszego skrócenia drogi hamowania nie tylko w samochodach osobowych ale także w samochodach ciężarowych (rys.2). Nie należy przy tym pomijać faktu, że w omawianym okresie nastąpiło także wyraźne udoskonalenie technologii nawierzchni drogowych.



Rys. 1. Obniżenie długości drogi hamowania w samochodach osobowych klasy średniej; warunki pomiaru: samochód z pełnym obciążeniem, prędkość początkowa $v = 100$ km/h.

Fig. 1. Reduction of braking distance in middle class passenger cars, measurement conditions: full loaded car, initial velocity $v = 100$ km/h.



Rys. 2. Zmniejszenie długości drogi hamowania samochodów ciężarowych średniej ładowności, prędkość początkowa $v = 80$ km/h (materiały firmy Meriton i Rockwell).

Fig. 2. Reduction of braking distance middle load trucks, initial velocity $v = 80$ km/h.

Oceniając obecnie osiągany postęp w aspekcie skrócenia długości drogi hamowania samochodów warto wyniki przedstawione na rys. 1 i 2 odnieść do rezultatów obliczenia długości drogi hamowania z ogólnie znanej zależności

$$s_{H.\mathrm{MIN}} = \frac{v^2}{2g\mu}$$

gdzie v – prędkość początkowa hamowania, μ – współczynnik przyczepności.

Przyjmując dla samochodów osobowych $v = 100$ km/h otrzymano

$$s_H = 48{,}5 \text{ m} \quad \text{przy} \quad \mu = 0{,}80,$$

$$s_H = 43{,}2 \text{ m} \quad \text{przy} \quad \mu = 0{,}90.$$

Wykonując podobne obliczenia dla samochodów ciężarowych przyjęto $v = 80$ km/h. Otrzymano

$$s_H = 31{,}1 \text{ m} \quad \text{przy} \quad \mu = 0{,}80,$$

$$s_H = 27{,}7 \text{ m} \quad \text{przy} \quad \mu = 0{,}90.$$

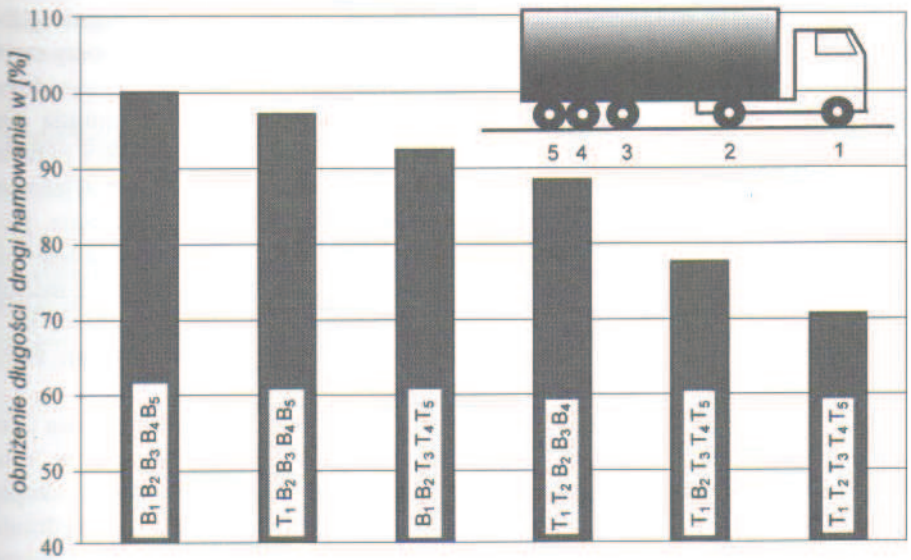
W tabeli 1, opracowanej z wykorzystaniem pracy [12], zamieszczono wartości które wskazują na możliwości skrócenia długości drogi hamowania poprzez przenoszenie najnowszych osiągnięć techniki od najbardziej rozwiniętych konstrukcji samochodów wyścigowych do samochodów osobowych i użytkowych. Oczywiście, podczas analizy

Tabela 1. Zestawienie długości drogi hamowania samochodów od prędkości początkowej $v = 100$ km/h
Table 1. Statement of car's braking distance from velocity $v = 100$ km/h.

Typ samochodu	Długość drogi hamowania w [m]	Hamulce
Formuła 1	28,0	Tarczowe – kompozyt
Indy Car	28,0	Tarczowe – kompozyt
Samochód osobowy – wersja sportowa Audi S, BMW M5	37,0	Tarczowe
Porsche 968	37,5	Tarczowe
Samochód osobowy Mercedes 400 SE	39,4	Tarczowe
Opel Astra GT	44,5	Tarczowe/bębnowe
Polonez	48,0	Tarczowe/bębnowe
Polski Fiat 126p	55,0	Bębnowe
Samochód ciężarowy (krajowy) średniej ładowności	65,0	Bębnowe

liczb przedstawionych w tablicy należy brać pod uwagę, że samochody wyścigowe były badane na nawierzchniach asfalto-betonowych o innej technologii wykonania i teksturze niż samochody przedstawione w dolnej części tablicy. Brakuje jednak szczegółowych informacji o właściwościach tych nawierzchni. Także rodzaj ogumienia, specyficzny dla poszczególnych grup pojazdów, ma duży wpływ na długość drogi hamowania.

Wprowadzenie tarczowych mechanizmów hamulcowych na przednie osie jezdne samochodów ciężarowych dużej ładowności i ciągników siodłowych rozpoczęło się w latach 1982–1984. W latach 1990–1998 pojawiały się oferty nowych konstrukcji samochodów ciężarowych i zestawów ciągnik siodłowy-naczepa, w których kilka, a nawet wszystkie osie jezdne były wyposażone w hamulce tarczowe. Na rys. 3 pokazano możliwości skrócenia długości drogi hamowania zestawu: ciągnik siodłowy-naczepa



Rys. 3. Obniżenie długości drogi hamowania w rezultacie wprowadzenia tarczowych mechanizmów hamulcowych w miejsce hamulców bębnowych w zestawie drogowym: ciągnik siodłowy-naczepa trójosiowa (opracowano na podstawie materiałów firmy Rockwell).

Fig. 3. Reduction of braking distance in result of bringing disk brakes into practice instead of drum brakes in cars: truck – tractor and triaxial semi – trailer.

poprzez wprowadzenie hamulców tarczowych w miejsce bębnowych. Zastosowano tam oznaczenia: hamulce bębnowe B_i a tarczowe T_i, gdzie i jest numerem osi kół jezdnych. Wykres słupkowy wskazuje na efektywność wprowadzania hamulców tarczowych, którą wyrażono w procentach skrócenia długości drogi hamowania. W pięcioosiowym zestawie drogowym można w ten sposób skrócić długość drogi hamowania o ok. 30%.

3. Doskonalenie konstrukcji hamulców bębnowych i tarczowych

Konstrukcja tarczowych i bębnowych mechanizmów hamulcowych jest różna. Hamulce bębnowe mają zwartą budowę o zamkniętej przestrzeni roboczej. Zamknięcie przestrzeni roboczej ogranicza dostęp zanieczyszczeń, które najczęściej wpływają na obniżenie wartości współczynnika tarcia w hamulcach. Jednak takie rozwiązanie utrudnia chłodzenie pary ciernej podczas hamowania.

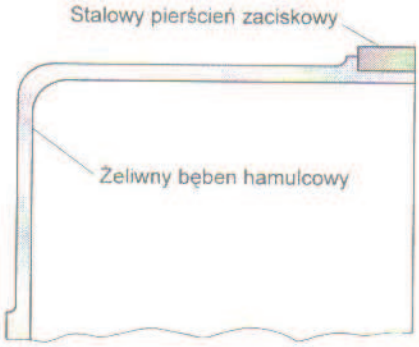
Widoczną tendencją ostatnich lat rozwoju konstrukcji hamulców bębnowych jest zwiększenie pola powierzchni okładzin ciernych. Przy znanych ograniczeniach średnicy kół jezdnych i ich obręczy, zwiększeniu ulega szerokość bębna i szczęk hamulcowych. Zwiększenie pola powierzchni okładzin sprzyja uzyskiwaniu wysokich przebiegów międzyobsługowych. Jednak wraz ze zwiększaniem szerokości bębna pogarszają się możliwości chłodzenia hamulca i nadmiernie wzrasta temperatura pracy okładzin ciernych przy długotrwałym hamowaniu.

Ograniczone możliwości chłodzenia mechanizmów hamulcowych są obecnie główną przeszkodą na drodze do dalszego zwiększania efektywności ich działania przy ograniczonej przestrzeni wewnątrz kół jezdnych.

Hamulce tarczowe mają mniejszą masę niż hamulce bębnowe i zajmują mniej miejsca. Ma to szczególne znaczenie podczas projektowania zawieszenia kół przednich w samochodach osobowych. Wprowadzanie nowych konstrukcji zawieszeń wielowahaczowych, połączone niekiedy z tendencją do zmniejszania promienia zataczania, powoduje, że na mechanizm hamulcowy jest bardzo mało miejsca. Zatem zastosowanie hamulca tarczowego w miejsce bębnowego ułatwia wprowadzanie nowych konstrukcji zawieszenia kół kierowanych. Mniejsza masa hamulców tarczowych wpływa na obniżenie masy nieuresorowanej w samochodach, co prowadzi do korzystnego zmniejszenia drgań kół jezdnych i układu kierowniczego.

Ważnym kierunkiem prac konstrukcyjnych jest dążenie do skrócenia czasu uruchamiania (zadziałania) mechanizmu hamulcowego. Nie podejmując w niniejszym opracowaniu zagadnień funkcjonowania układów sterowania, uwagę skupiono na problemie reakcji mechanizmu hamulcowego na narastanie ciśnienia w hydraulicznym lub pneumatycznym układzie sterującym. Czas osiągania szczytowych wartości momentu hamowania w hamulcach bębnowych jest dłuższy niż w hamulcach tarczowych. Skracanie długości czasu narastania momentu tarcia w hamulcach bębnowych napotyka na poważne bariery. Wynikają one ze znacznej masy szczęk hamulcowych, a zatem i dużego oporu bezwładności oraz stosunkowo dużej odkształcalności grupy elementów tworzących zestawienie: siłownik pneumatyczny-szczęki-bęben hamulcowy.

Widząc istotny związek pomiędzy odkształcalnością elementów hamulca bębnowego a skutecznością jego działania, konstruktorzy podejmują kroki prowadzące do zmniejszenia oporu bezwładności szczęk i zwiększenia sztywności bębnów hamulcowych. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego, prowadzącego do znacznego zwiększenia sztywności bębna pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Usztywnienie bębna hamulcowego poprzez dodanie pierścienia stalowego.
Fig. 4. Stiffening of braking drum by adding stell ring.

Konieczność ograniczenia wartości momentu bezwładności szczęk hamulcowych wpływa na wartości średnicy czynnej hamulców bębnowych. Średnice bębnów hamulcowych zawierają się w przedziale:

samochody osobowe 180 – 280 mm

samochody ciężarowe 260 – 420 mm

i są wyraźnie mniejsze niż średnice tarcz hamulcowych [1, 9]. W tabeli 2 pokazano możliwości zwiększania czynnej średnicy hamulca poprzez stosowanie w samochodach osobowych obręczy kół jezdnych o coraz większej średnicy wewnętrznej z ogumieniem o obniżonym profilu.

Tabela 2. Zestawienie wartości średnic tarcz i bębnów hamulcowych w kołach jezdnych o różnej średnicy obręczy [7, 10].

Table 2. Statement of disks and brake's diameters in road wheels having various diameter rings.

Oznaczenie średnicy obręczy koła jezdnego (cale)	12	13	14	15	16	17
Możliwa średnica tarczy hamulcowej, mm	221	256	278	308	330	360
Możliwa średnica wewnętrzna bębna hamulcowego, mm	200	230	250	280	300	325

Stale widoczny postęp w konstrukcji hamulców tarczowych i bębnowych praktycznie nie zmienia jednej ważnej relacji: koszt produkcji bębnowego mechanizmu hamulcowego jest niższy o 40-50% niż hamulca tarczowego porównywalnej wielkości [7].

4. Moment tarcia w hamulcach

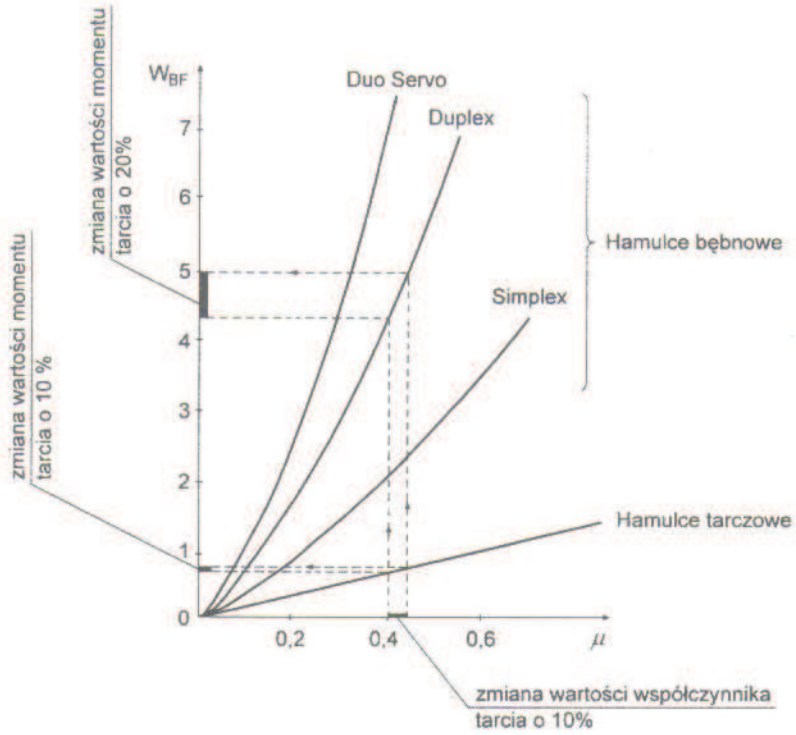
Skuteczność działania hamulców jest opisywana przede wszystkim poprzez możliwości uzyskania dużych wartości momentu tarcia. Moment tarcia hamulca zależy od jego konstrukcji i zastosowanych materiałów. Często stosowanym wskaźnikiem liczbowym, który w syntetyczny sposób może opisać te cechy hamulców jest iloraz (brake factor)

$$W_{BF} = \frac{F_{th}}{F_s}$$

gdzie F_s – siła oddziaływania od siłownika hamulca na element cierny; F_{th} – siła tarcia uzyskana w hamulcu.

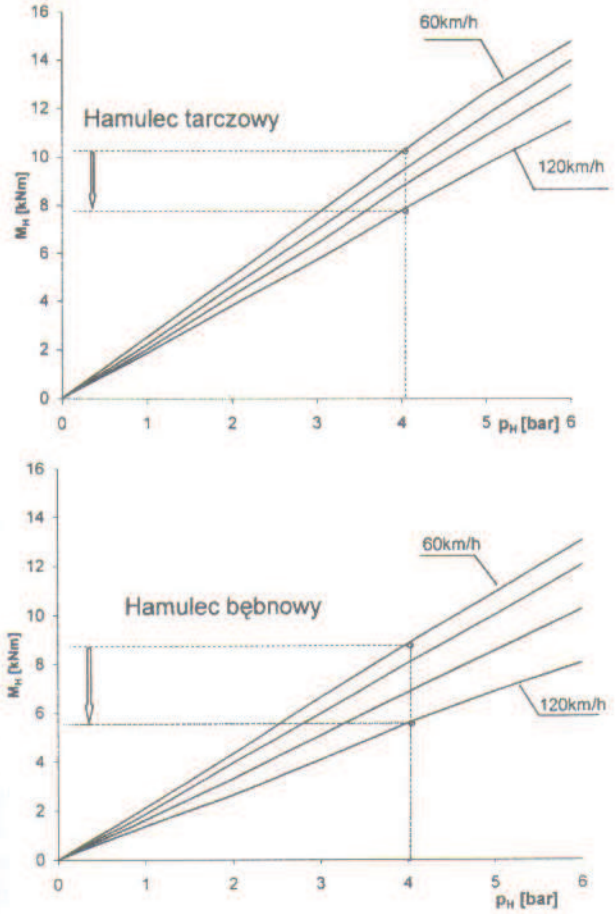
Przebieg linii na rys. 5 [7, 13] wskazuje na możliwość uzyskiwania wysokich wartości momentu tarcia w hamulcach bębnowych. Decydującą rolę w tym względzie

odgrywa tzw. proces „samowzmocnienia" momentu tarcia, szczególnie widoczny w hamulcach bębnowych ze szczękami w układzie duplex. Wysokie wartości wskaźnika W_{BF} efektywności hamulców bębnowych potwierdzają możliwość uzyskania dużego momentu tarcia przy ograniczonych wartościach nacisku od siłownika na szczęki i bęben hamulcowy. Zatem duży moment tarcia w hamulcach bębnowych może być uzyskany już przy umiarkowanych wartościach ciśnienia w hydraulicznym lub pneumatycznym układzie sterowania. Są to poważne zalety hamulców bębnowych. Jednak wysokie wartości wskaźnika W_{BF} wiążą się z obserwowanym niekiedy znacznym rozrzutem wartości momentu tarcia już przy niewielkich wahaniach wartości współczynnika tarcia w mechanizmie hamulcowym. Zaznaczony w sposób przykładowy na rysunku obszar zmian wskaźnika W_{BF}, który może być spowodowany np. obecnością zanieczyszczeń w obszarze pary trącej lub jej nagrzewaniem się, jest w hamulcach bębnowych kilkakrotnie większy niż w hamulcach tarczowych.



Rys. 5. Porównanie właściwości różnych konstrukcji mechanizmów hamulcowych.
Fig. 5. Confrontation of properties of different constructions of braking mechanisms.

W hamulcach tarczowych nie występuje proces „samowzmocnienia". Z tego powodu w hamulcach tych należy stosować wysokie wartości nacisku wkładek ciernych na tarczę hamulcową. W rezultacie w układach uruchamiania (sterowania) hamulców



Rys. 6. Spadek wartości momentu tarcia w hamulcach wraz ze zwiększeniem prędkości początkowej hamowania od 60 do 120 km/h; na wykresach zaznaczono wyniki pomiarów dla v = 60, 80, 100 i 120 km/h (opracowano na podstawie materiałów firmy Textar).

Fig. 6. Reduction of moment of friction while putting braking initial velocity speed on from 60 to 120 km/h; on diagrams were marked measurement results for v = 60, 80, 100 and 120 km/h.

tarczowych występują większe wartości sił oraz ciśnienia płynu niż w układach sterowania hamulcami bębnowymi. Osiągnięcie wysokich wartości nacisku wymaga wprowadzenia siłowników o średnicach większych niż stosowane w hamulcach bębnowych. Konieczne jest także stosowanie wysokowydajnych układów wspomagania w hamulcach tarczowych.

Brak samowzmocnienia momentu hamowania w hamulcach tarczowych ma jednak pewien korzystny aspekt. Mianowicie, w hamulcach tarczowych zachodzi praktycznie liniowy związek (niewielka histereza) pomiędzy wartościami siły docisku wywieranej na wkładki cierne a uzyskiwanym momentem tarcia. Potwierdza to liniowy charakter

przebiegu linii wykresu $W_{BF} = f(\mu)$ na rys. 5. Ta właściwość tarczowych mechanizmów hamulcowych jest w korzystny sposób wykorzystywana w celu uzyskania możliwości precyzyjnego sterowania procesem zmian wartości momentu tarcia w hamulcach, co jest konieczne w pracy urządzeń ABS, ASR i ESP.

Moment tarcia w mechanizmie hamulcowym w dużym stopniu zależy od temperatury pracy pary ciernej oraz prędkości ruchu względnego elementów roboczych hamulca. Zagadnienie nagrzewania hamulców tarczowych i bębnowych opisane zostało w następnym punkcie pracy.

Na rys. 6 pokazano wyniki badań wpływu prędkości początkowej hamowania, a zatem i prędkości poślizgu materiału ciernego względem bębna lub tarczy, na uzyskiwane wartości momentu tarcia w hamulcach. Zwiększenie prędkości początkowej hamowania od 60 do 120 km/h powoduje obniżenie wartości momentu tarcia:

— w hamulcach tarczowych o 20...25%,

— w hamulcach bębnowych o 35...40%.

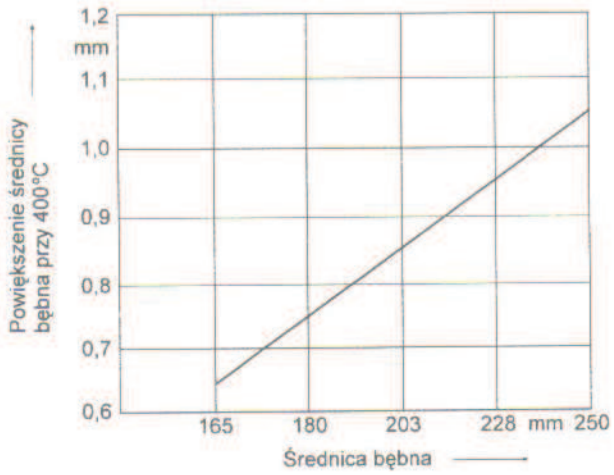
Strzałką na rys. 6 zaznaczono przykładowy przedział obniżenia wartości momentu tarcia przy ciśnieniu $p_H = 4$ bar w pneumatycznym siłowniku hamulca. Względny spadek momentu tarcia praktycznie nie zależy od wartości ciśnienia w układzie sterowania hamulców.

5. Nagrzewanie hamulców

Osiąganie wysokiej prędkości eksploatacyjnej przy wzrastającym zagęszczeniu ruchu drogowego zwykle jest połączone z koniecznością częstego przyspieszania i hamowania samochodu. Częste lub długotrwałe hamowanie, szczególnie pojazdów o dużej masie, powoduje intensywne nagrzewanie się hamulców. Zatem efektywność pracy hamulców nagrzanych do wysokiej temperatury jest jednym z bardzo ważnych wskaźników ich jakości i czynnikiem bezpieczeństwa ruchu drogowego.

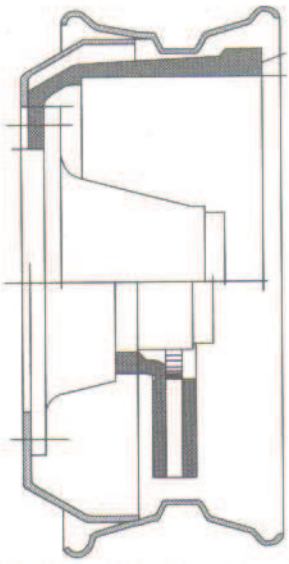
Podczas hamowania krótkotrwałego i z małą intensywnością, gdy nie występuje nadmierne nagrzewanie się pary trącej, hamulce bębnowe i tarczowe praktycznie są jednakowo skuteczne. Różna jest natomiast skuteczność hamulców w podwyższonej temperaturze.

Nagrzewanie bębna i przyrost jego wymiarów wraz ze wzrostem temperatury przy intensywnym hamowaniu powodują, że zwiększa on swoją średnicę i przyjmuje kształt stożkowy. Na tak odkształconej powierzchni bębna szczęki hamulcowe pracują praktycznie jedną krawędzią. To prowadzi do gwałtownego obniżenia wartości momentu tarcia w hamulcu bębnowym. Przyrost średnicy bębna w hamulcach samochodów osobowych sięga 0,7...1,0 mm przy jego nagrzaniu powyżej 400°C. W samochodach ciężarowych przyrost średnicy bębna sięga 2 mm. Taki przyrost średnicy bębna powoduje, że w celu zachowania tej samej siły docisku szczęk do bębna należy znacznie zwiększyć skok roboczy siłownika układu sterującego pracą hamulca. Przy zbyt małym zapasie skoku siłownika może wystąpić brak możliwości skutecznego hamowania.

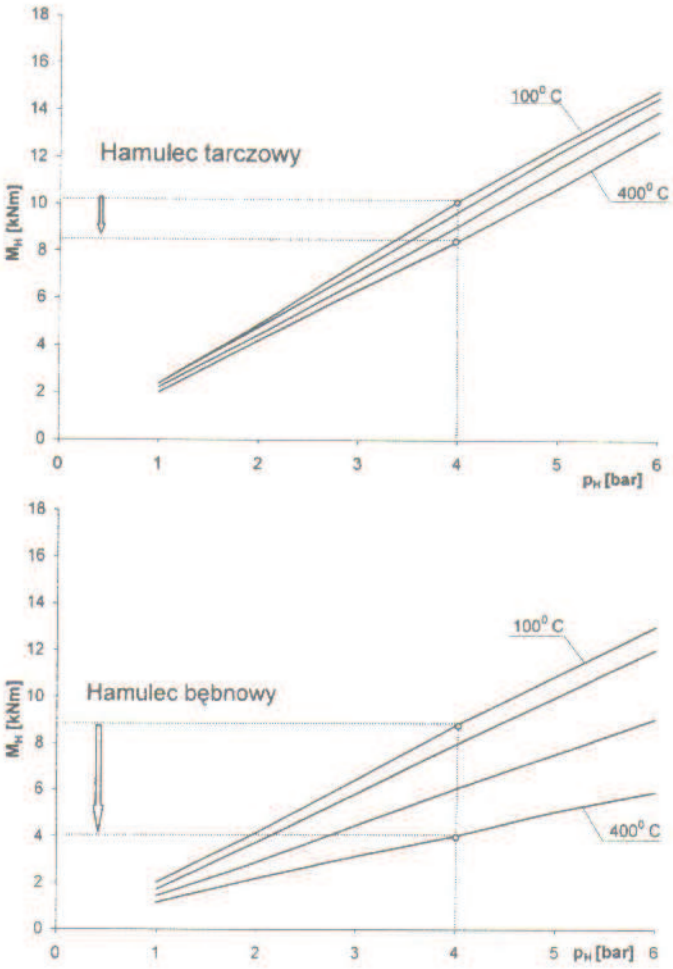


Rys. 7. Przyrost średnicy bębna hamulcowego podczas jego nagrzewania [6].
Fig. 7. Increase of drum diameter while heating [6].

Różny przebieg procesu nagrzewania się hamulców bębnowych i tarczowych jest związany z ich budową. Na rys. 8 pokazano umiejscowienie elementów roboczych, tj. bębna i tarczy hamulcowej wewnątrz obręczy koła. Hamulce tarczowe, posiadając otwartą konstrukcję, wykazują wyższą zdolność do rozpraszania energii cieplnej podczas hamowania niż hamulce bębnowe. W hamulcach tarczowych występuje znaczna wolna przestrzeń wewnątrz obręczy, która w połączeniu z kanałami wentylacyjnymi wewnątrz tarczy pozwala na intensywne chłodzenie hamulca.



Rys. 8. Umiejscowienie bębna i tarczy hamulcowej wewnątrz obręczy koła jezdnego.
Fig. 8. Location of brake's drum and disk inside ring of road wheel.



Rys. 9. Spadek wartości momentu tarcia w wyniku nagrzania hamulca (fading temperaturowy).
Fig. 9. Reducion of moment of friction resulting from brake heating.

Wzrost temperatury pary trącej powoduje obniżenie wartości momentu tarcia. Stopień obniżenia wartości momentu tarcia (tzw. fading temperaturowy) jest różny w hamulcach bębnowych i tarczowych. Pokazana na rys. 9 zależność momentu tarcia hamulca od wartości temperatury została przygotowana na podstawie materiałów firmy Textar (hamulce samochodu ciężarowego, sterowanie pneumatyczne). Przy zwiększeniu temperatury pary trącej od 100 do 400°C następuje spadek wartości momentu tarcia w hamulcach tarczowych o 16...20%, a w hamulcach bębnowych o 30...50%. Poszczególne linie na rysunku odnoszą się do różnej temperatury pracy pary trącej, która zmienia się od 100 do 400°C co 100°C.

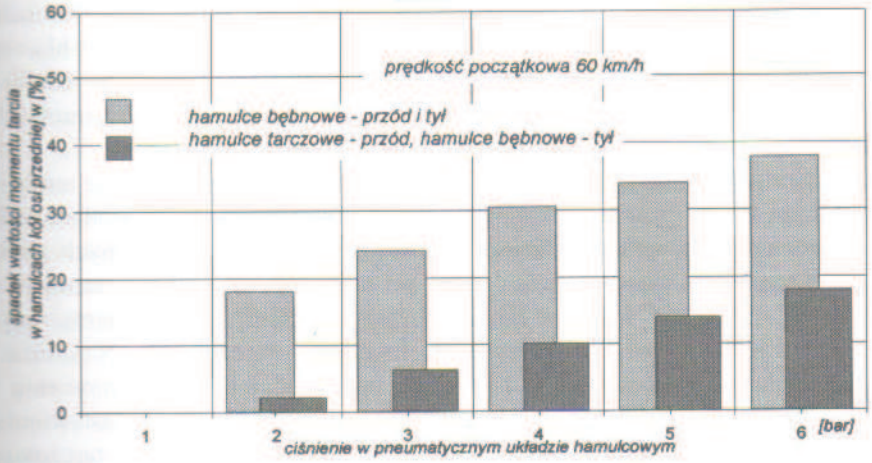
Różnorodne są przyczyny powodujące spadek wartości momentu tarcia wraz ze wzrostem temperatury hamulca. Można tu wymienić:

— rozszerzalność cieplną elementów, która w hamulcach bębnowych prowadzi do obniżenia nacisku pomiędzy bębnem a materiałem ciernym szczęk oraz zmniejszenia pola powierzchni styku bębna ze szczękami hamulca;

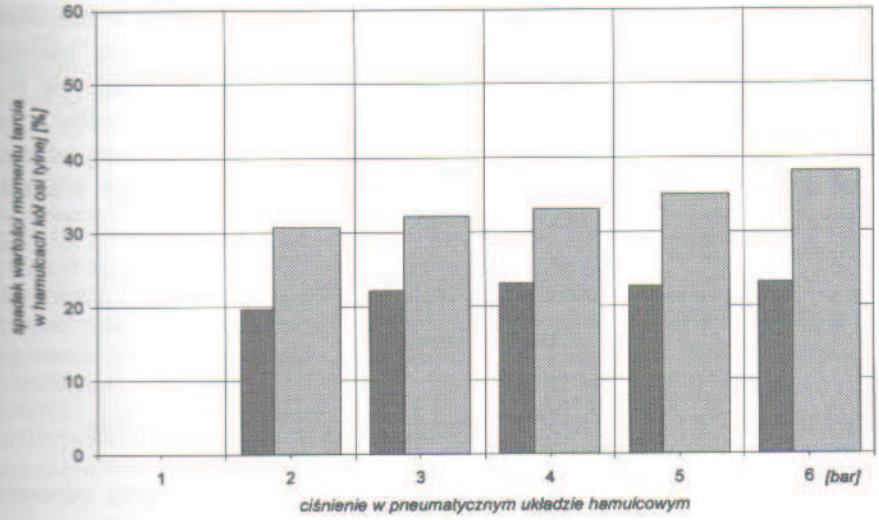
— spadek wartości współczynnika tarcia wraz ze wzrostem temperatury niektórych materiałów ciernych;

— powstawanie mikropoduszek gazowych pomiędzy elementami trącymi, pracującymi w temperaturze powyżej 300...500°C.

a)



b)



Rys. 10. Spadek wartości momentu tarcia w rezultacie nagrzania hamulców do temperatury ok. 400°C; poziom odniesienia ustalono podczas hamowania zimnymi hamulcami [4].

Fig. 10. Reducion of moment of friction resulting from brakes heating to temperature about 400°C: datum level was established while braking using cold brakes [4].

W pracach [4, 5] zamieszczono wyniki badań porównawczych, prowadzonych w aspekcie nagrzewania się hamulców dwuosiowego samochodu ciężarowego Mercedes Benz o masie 17 ton. Badając spadek momentu tarcia w hamulcach przy ich nagrzewaniu, w samochodzie tym w sposób wymienny na przedniej osi jezdnej montowano hamulce bębnowe i tarczowe. Przy wymianie mechanizmów hamulcowych zachowano tę samą wartość współczynnika konstrukcyjnego rozdziału sił hamowania na koła osi przedniej i tylnej. Pomiary wykonywano zadając stałe wartości ciśnienia powietrza w siłownikach hamulców od 2 do 6 barów. Na rys. 10a zestawiono wyniki pomiarów, które pozwalają na ocenę spadku wartości momentu tarcia w hamulcach kół osi przedniej po ich nagrzaniu do 400°C. Stwierdzono, że w badanym samochodzie ciężarowym, przy ciśnieniu 6 bara w pneumatycznym układzie sterowania, spadek wartości momentu tarcia po nagrzaniu hamulców bębnowych kół osi przedniej sięga 37%, gdy w tych samych warunkach obniżenie momentu tarcia w hamulcach tarczowych wynosi 17%.

Inne rezultaty otrzymano, gdy obserwacji poddano wartości momentu tarcia w hamulcach kół osi tylnej (rys. 10b). Okazuje się, że skuteczność działania hamulców kół osi tylnej po nagrzaniu zależy także od rodzaju hamulców zamontowanych na kołach przednich. Hamulce bębnowe kół osi tylnej po nagrzaniu wytwarzają moment tarcia mniejszy o ok. 23% niż w stanie zimnym (przy ciśnieniu $p_H = 6$ bara), gdy koła przednie są hamowane przy wykorzystaniu hamulców tarczowych. Natomiast przy zastosowaniu hamulców bębnowych na kołach osi przedniej, spadek momentu tarcia w hamulcach bębnowych kół tylnych (po ich nagrzaniu) sięga 38%. Zestawienie tych rezultatów badań wskazuje na duże korzyści ze stosowania hamulców tarczowych na kołach osi przedniej.

W celu ograniczenia nagrzewania się mechanizmów hamulcowych, w niektórych rozwiązaniach pojawiają się układy chłodzenia płynu hamulcowego w bezpośrednim sąsiedztwie siłownika lub kanały nadmuchu powietrza na mechanizm hamulcowy. Zmniejszenie niekorzystnych skutków nagrzewania się hamulców osiąga się poprzez wdrażanie nowych materiałów na tarcze hamulcowe. Podejmowane są próby szerszego wprowadzenia tarcz ceramicznych i kompozytowych o osnowie metalicznej (aluminium, miedź), tarcz z włókien węglowych oraz tarcz łączonych (rdzeń tarczy z aluminium a powierzchnia cierna z żeliwa lub ceramiczna).

6. Podsumowanie

Zalety hamulców bębnowych w porównaniu do hamulców tarczowych:

— wysoki przebieg międzyobsługowy i niski koszt produkcji;

— wysoki współczynnik „samowzmocnienia" momentu tarcia przy odpowiednim układzie szczęk hamulcowych;

— mała wrażliwość na brud i zanieczyszczenia wobec dość szczelnej obudowy;

— łatwe przystosowanie do pracy jako hamulec postojowy.

Zalety hamulców tarczowych w porównaniu do hamulców bębnowych:

— zachowanie wysokiej skuteczności hamowania przy nagrzanych hamulcach i mała podatność na zanikanie momentu tarcia podczas długotrwałego hamowania;

— możliwość skrócenia długości drogi hamowania (krótki czas zadziałania, wysokie tempo narastania momentu tarcia, niski fading temperaturowy);

— łatwe przystosowanie układu sterowania do współpracy z systemami ABS, ASR i ESP;

— wysoka niezawodność i prosta obsługa.

Najnowsze konstrukcje hamulców w dużych samochodach ciężarowych, eksploatowanych na długich trasach, osiągają przebieg [2]:

— ok. 300000 km przebiegu do wymiany okładzin w hamulcach bębnowych;

— ok. 150000 km przebiegu do wymiany wkładek ciernych hamulców tarczowych i 250000 km do wymiany tarcz hamulcowych.

Wiele czynników i przesłanek spowodowało, że hamulce tarczowe obecnie dominują na osiach kół przednich samochodów osobowych. Są wprowadzane do kół przednich autobusów i samochodów ciężarowych. Coraz więcej jest samochodów, w których hamulce tarczowe są na wszystkich kołach. Jednak hamulce bębnowe, głównie ze względu na niski koszt i wysoką trwałość oraz łatwość wprowadzenia uzupełniającego hamulca postojowego, są w dalszym ciągu dominującym rozwiązaniem w kołach tylnych osi jezdnych samochodów wszystkich typów.

Literatura

[1] BIEDRZYCKI L.: *Hamulce pojazdów w końcu XX w*, Auto-Technika Motoryzacyjna nr 9, 1997.

[2] BIEDRZYCKI L.: *Hamulce pojazdów użytkowych: od większej skuteczności po odzysk energii*, Transport-TM nr1/1998.

[3] BIEDRZYCKI L., OPASEWICZ W., OKNIŃSKI M.: *Kierunki rozwoju powietrznych układów hamulcowych na tle wymagań przepisów europejskich*, Autoprogress'93, Jachranka 1993.

[4] VON GLASNER E.C., PFLUG H.C.: *Contribution to the Braking and Steering Performance of Commercial Vehicles under Extreme Conditions*, SAE Paper nr 911019.

[5] GÖHRING E., VON GLASNER E.C.: *Contribution to the Improvement of the Braking and Handling Performance of Commercial Vehicles*, SAE Paper nr 905039.

[6] LEITNER R.: *Hamulce samochodów osobowych i motocykli*, WKiŁ, Warszawa 1998.

[7] LIMPERT R.: *Brake Design and Safety*, SAE International, USA 1999.

[8] LĘGIEWICZ J., SZELICHOWSKI S.: *Nowości na 70-tym Salonie Genewskim*, AUTO TM nr 4/2000.

[9] PROCHOWSKI L.: *Hamulce tarczowe, właściwości i tendencje rozwojowe*, Zeszyty Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej nr 1/2001 (w druku).

[10] REIMPELL J.: *Fahrwerktechnik, Stoßdämpfer*, Vogel-Buchverlag, Würzburg 1983.

[11] SAWICKI J.: *Dłuższa jazda na nowych osiach BPW*, Transport TM, nr 5/2000.

[12] SIERPOWSKI W.: *Jak hamują*, Motor nr 9/1998.

[13] *Materiały informacyjne firm Knorr, Meriton, Rockwell, Textar.*

Disk and drum brakes, properties confrontation at present stage of automobile engineering development

Summary

Constructors, endeavour after increasing means of transportation effectiveness, propose among other things innovations in braking systems. High – efficiency driver's control and aiding systems while braking are brought into practice. Works go on with electric braking systems. That modifications in brakes control systems have essential influence over braking mechanisms construction and work such as systems that are directly connected with wheels.

In the work properties of disk drum braking mechanisms were described. first of all attention was paid to possibilities of shorten braking distance and increase brake's moment of friction through bringing innovations as well as new materials into practice. All the time important problem is neating of brakes and decrease of their efficiency in high temperature.

In final part of the work distinctive properties of new disk and drum brake's mechanisms were compared.