

4

Układ hamulcowy

4.1

Wiadomości wstępne

W tym rozdziale dowiemy się:

- jakie są główne zadania układu hamulcowego,
- jakie wymagania stawia się współczesnym układom hamulcowym,
- jakie czynniki wpływają na przebieg i efektywność procesu hamowania,
- do czego służą korektory sił hamowania, a do czego układ ABS

Układ hamulcowy jest jednym z głównych układów mających decydujący wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Jego zadaniami są *zmniejszenie prędkości* lub *zatrzymanie pojazdu*, a także *unieruchomienie go na postoju*.

Współczesnym układom hamulcowym stawia się szereg wymagań, jak np.

- niezawodność działania,
- duża skuteczność w różnych warunkach drogowych,
- krótki czas uruchamiania (od momentu przyłożenia siły uruchamiającej do zadziałania układu),
- odpowiedni rozdział sił hamowania na poszczególne koła,
- stateczność ruchu pojazdu w trakcie hamowania, czyli zdolność pojazdu do utrzymania w trakcie hamowania założonego przez kierowcę toru jazdy (także w przypadku zablokowania koła),
- proporcjonalne, płynne zwiększanie siły hamowania w stosunku do wzrastającej siły uruchamiającej układ,
- pełne odhamowanie, czyli zanik efektu hamowania po odjęciu siły uruchamiającej hamulce,
- duża trwałość i łatwość obsługi,
- niski poziom hałasu

Na przebieg i końcowy efekt hamowania mają wpływ trzy ogniwa, biorące udział w tym procesie

- **kierowca**, decydujący o momencie uruchomienia hamulców i o intensywności hamowania,
- **pojazd**, a głównie stan techniczny jego układu hamulcowego (np. wielkości luzów i skoku jałowego pedału hamulca, stan elementów ciernych, szczelność układu hydraulicznego lub pneumatycznego itp.) oraz ogumienia,
- **droga**, czyli jej właściwości związane z przyczepnością koła do nawierzchni (np. warunki atmosferyczne, rodzaj nawierzchni, gładkość i nierówności profilu jezdni, usytuowanie drogi w terenie itp.)

Konstrukcja układu hamulcowego powinna zapewniać osiągnięcie odpowiednich sił hamowania na kołach bez nadmiernego zwiększania siły mięśni, związanej z wywieranym przez kierowcę naciskiem na pedał hamulca. Siły pomocnicze, wspierające kierowcę w trakcie hamowania, są generowane przez urządzenia wspomagające (podcisnieniowe lub nadcisnieniowe).

Tak jak w przypadku siły napędowej, wartość siły hamowania jest ograniczona przyczepnością koł do nawierzchni. W przypadku gdy siła hamowania przekroczy wartość siły przyczepności, dochodzi do zjawiska ślizgania się koł po nawierzchni drogi. Podczas hamowania zawsze występuje poślizg koł. Najbardziej efektywne hamowanie ma miejsce podczas niewielkiego poślizgu koła (około 15–30%), czyli w sytuacji, gdy siły hamujące zmniejszą prędkość obrotową koł o 15–30% w stosunku do prędkości obrotowej wynikającej z aktualnej prędkości jazdy. Wówczas współczynnik przyczepności koł do nawierzchni osiąga największą wartość. Większy poślizg, prowadzący do zablokowania koł, jest bardzo niebezpieczny z uwagi na możliwość zarzucenia pojazdu i niekontrolowanej zmiany kierunku jazdy. Urządzeniem zapobiegającym blokowaniu koł podczas hamowania jest **układ ABS** (ang. *Anti-Lock Braking System, Anti Blocking System*).

Maksymalna siła hamowania F_H musi spełnić warunek

$$F_H \leq T \quad \text{lub} \quad F_H \leq \mu \cdot G$$

gdzie

G – ciężar całego pojazdu [kN],

T – siła przyczepności [kN],

μ – współczynnik przyczepności koł do nawierzchni.

Maksymalne opóźnienie hamowania a_H musi spełnić warunek

$$m \cdot a_H \leq \mu \cdot mg \quad \text{skąd} \quad a_H \leq \mu \cdot g$$

gdzie

a_H – opóźnienie hamowania [m/s^2],

m – masa pojazdu [kg],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2].

Z powyższych zależności wynika, że aby proces hamowania był jak najbardziej efektywny, siły hamowania na poszczególnych kołach powinny być różne, uzależnione od ich obciążenia. Im większe obciążenie koła, tym większą można na nim wytworzyć siłę hamowania bez obawy, że nastąpi jego zablokowanie i poślizg.

Jeżeli środek masy pojazdu leży bliżej przedniej osi, to siła hamowania koł tylnych (ograniczona przyczepnością koł do nawierzchni) jest mniejsza niż maksymalna siła hamowania koł przednich. Dodatkowo powstająca w trakcie hamowania siła bezwładności dociąga przednie koła. Oznacza to, że zawsze wcześniej utracą przyczepność koła tylne niż przednie. Większe dociążenie w takim przypadku przednich koł (statyczne – wynikające z rozkładu masy i dynamiczne – wynikające z siły bezwładności) uzasadnia zastosowanie z przodu skuteczniejszych hamulców tarczowych. Z tego powodu w wielu samochodach producenci stosują hamulce tarczowe wyłącznie z przodu, ponieważ to właśnie one wykonują największą pracę związaną z wyhamowaniem pojazdu. Natomiast na tylnych, odciążonych kołach wystarczające jest zastosowanie hamulców bębnowych.

wiane mu wymagania są określone odpowiednimi przepisami prawa. W przypadku pojazdów osobowych, ciężarowych i przyczep, których maksymalna prędkość uwarunkowana konstrukcją przekracza 25 km/h, wymagane są trzy niezależne rodzaje układów hamulcowych **roboczy, awaryjny i postojowy**.

Układy hamulcowe roboczy i awaryjny oraz awaryjny i postojowy mogą być sterowane wspólnie. Niedopuszczalne jest wspólne sterowanie hamulca roboczego i postojowego.

Układ hamulca roboczego powinien być podzielony na niezależne obwody w taki sposób, aby w razie awarii jednego z nich pozostały zapewniały przynajmniej 30% całkowitej skuteczności układu. Rozdział sił hamowania na prawe i lewe koło każdej z osi przy dobrych warunkach przyczepności koł do nawierzchni powinien być symetryczny. Jeżeli współczynnik przyczepności z prawej i lewej strony osi jest zróżnicowany, to we współczesnych pojazdach wyposażonych w urządzenia przeciwblokujące (ABS) siły hamowania powinny odpowiednio dostosować się do warunków przyczepności.

Hamulec awaryjny powinien być tak sterowany, aby umożliwić kierowcy stopniowe powiększanie i zmniejszanie skuteczności hamowania.

W przypadku samochodu ciężarowego lub ciągnika samochodowego ciągnącego przyczepę uruchomienie hamulca roboczego lub awaryjnego powinno zapewnić odpowiednie dopasowanie procesu hamowania obu pojazdów tak, aby siła na sprzęgu pomiędzy nimi była bliska zeru.

Hamulec postojowy powinien umożliwiać utrzymanie pojazdu w spoczynku na wzniesieniu lub spadku terenu również w czasie nieobecności kierowcy w pojeździe. Siła utrzymująca pojazd powinna być uzyskana tylko środkami mechanicznymi, co oznacza, że elementy włączające muszą mieć stałe połączenie z mechanizmem hamulcowym, np. za pomocą linek lub cięgien. Jeżeli sterowanie układu hamulca roboczego i awaryjnego jest wspólne, to układ hamulca postojowego powinien być tak skonstruowany, aby umożliwiał użycie tego hamulca w czasie ruchu pojazdu. Skuteczność hamulca postojowego określa się za pomocą pochylenia podłużnego drogi, przy którym pojazd samochodowy lub zespół pojazdów może być utrzymany nieruchomo, w spoczynku. Dla całkowicie obciążonego pojazdu samochodowego wskaźnik ten wynosi co najmniej 16%, a dla zespołu pojazdów – 8% [93].

Ze względu na **sposób uruchamiania hamulców** można je podzielić na:

- **mechaniczne**, np. postojowe,
- **hydrauliczne**, np. zasadnicze stosowane w samochodach osobowych i dostawczych,
- **hydropneumatyczne**, np. zasadnicze stosowane w samochodach ciężarowych i autobusach,
- **pneumatyczne**, podobnie jak hydropneumatyczne stosowane w samochodach ciężarowych i autobusach,
- **elektropneumatyczne**, o działaniu przyspieszonym dzięki zastosowaniu elektropneumatycznych zaworów umieszczonych w pobliżu mechanizmów hamulcowych,
- **elektryczne** (dotyczy hamulców postojowych), w których silniki elektryczne wymuszają ruch linki lub bezpośrednio klocka hamulcowego, dociskając go do tarczy hamulcowej.

W zależności od **konstrukcji** można wyróżnić następujące mechanizmy hamulcowe:

- **bębnowe**,
- **tarczowe**,
- **taśmowe**.

4.3

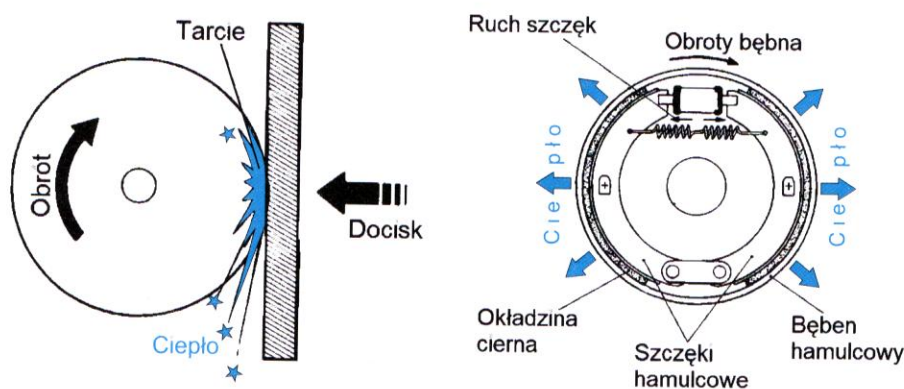
Ogólna budowa i zasada działania układu hamulcowego

W tym rozdziale dowiemy się

- jak jest zbudowany układ hamulcowy,
- jak działa układ hamulcowy,
- co to jest *fading*.

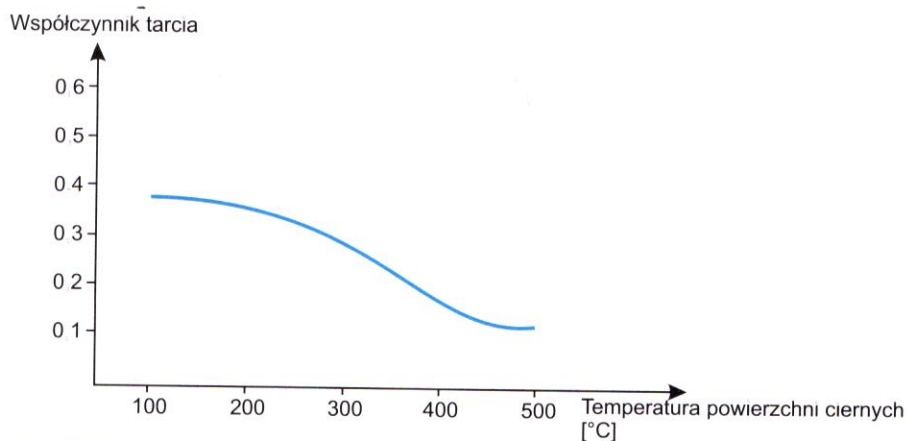
Hamulce działają na zasadzie odwrotnej niż układ napędowy pojazdu. W silniku spalinyowym następuje zamiana energii cieplnej na mechaniczną, natomiast w celu zatrzymania pojazdu należy zamienić energię mechaniczną (kinetyczną) na ciepłą.

Cierne mechanizmy hamulcowe wytwarzają momenty hamujące wskutek tarcia odpowiednich powierzchni współpracujących elementów (rys. 4.1). Są nimi nieruchome, związane z podwoziem takie elementy, jak klocki lub szczęki dociskane do obracających się bębnow lub tarcz, związanych kinematycznie z kołami jezdny. Zadaniem mechanizmu sterującego jest zwielokrotnienie i przeniesienie siły nacisku z pedału lub dźwigni hamulca (w przypadku uruchamiania ręcznego) do mechanizmu hamulcowego.



Rys 4.1 Wykorzystanie tarcia w celu uzyskania efektu hamowania [52]

Skuteczność hamulców, wynikająca z odpowiedniego współczynnika tarcia elementów ciernych o bęben lub tarczę hamulcową, zależy od panującej na ich styku temperatury (rys. 4.2). Niekorzystny proces ograniczenia tej skuteczności, spowodowany wzrostem temperatury, nosi nazwę *fading*. Malejący współczynnik tarcia materiału ciernego powoduje znaczne zmniejszenie siły tarcia, a tym samym ograniczenie siły hamowania i wydłużenie drogi hamowania. Zjawisko *fadingu* powstaje, gdy temperatura elementów ciernych przekroczy około 200°C, co ma najczęściej miejsce podczas długotrwałego działania hamulców (np. podczas długiego zjazdu ze wzniesienia). W takim przypadku należy wykorzystać inne możliwości wynikające z techniki jazdy, czyli hamowanie silnikiem lub przy użyciu



Rys 4.2 Zmiana współczynnika tarcia elementów ciernych hamulca w funkcji temperatury okładziny ciernej [52]

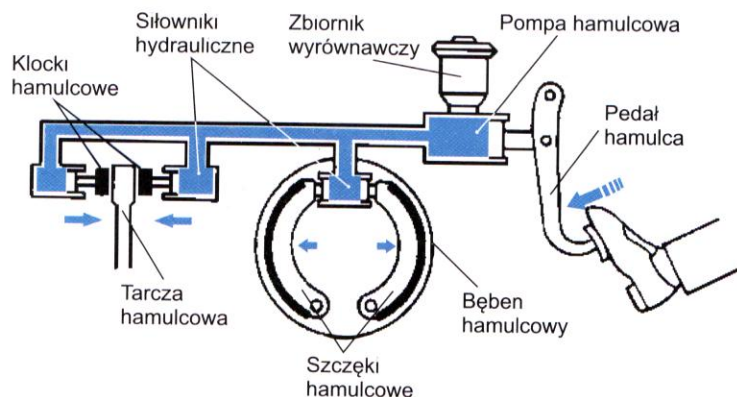
dotychczasowych hamulców (np. zwalniacza). Na zjawisko *fadingu* podatne są szczególnie starsze konstrukcje hamulców, zwłaszcza bębnowe lub z niewentylowanymi tarczami. Sprzyja mu również zastosowanie na okładziny cierne klocków lub szczęk gorszych jakościowo materiałów.

W każdym układzie hamulcowym można wyróżnić dwa podstawowe mechanizmy:

- **mechanizm hamulcowy**, powodujący powstawanie siły hamującej na kołach pojazdu,
- **mechanizm uruchamiający hamulce**.

W hamulcach zasadniczych mechanizm hamulcowy najczęściej tworzą szczęki dociskane do obracającego się bębna lub klocki dociskane do tarczy hamulcowej.

Stosowane w samochodach osobowych i dostawczych hydrauliczne mechanizmy uruchamiające hamulce działają na zasadzie przeniesienia za pośrednictwem cieczy siły nacisku wywieranej przez kierowcę na pedał do mechanizmu hamulcowego (rys. 4.3). Ciecz ta to specjalny płyn hamulcowy.



Rys 4.3 Zasada działania hydraulicznego układu hamulcowego [52]

Typowy **hydrauliczny układ hamulcowy** samochodu osobowego, przedstawiony na rysunku 4 4a, składa się z:

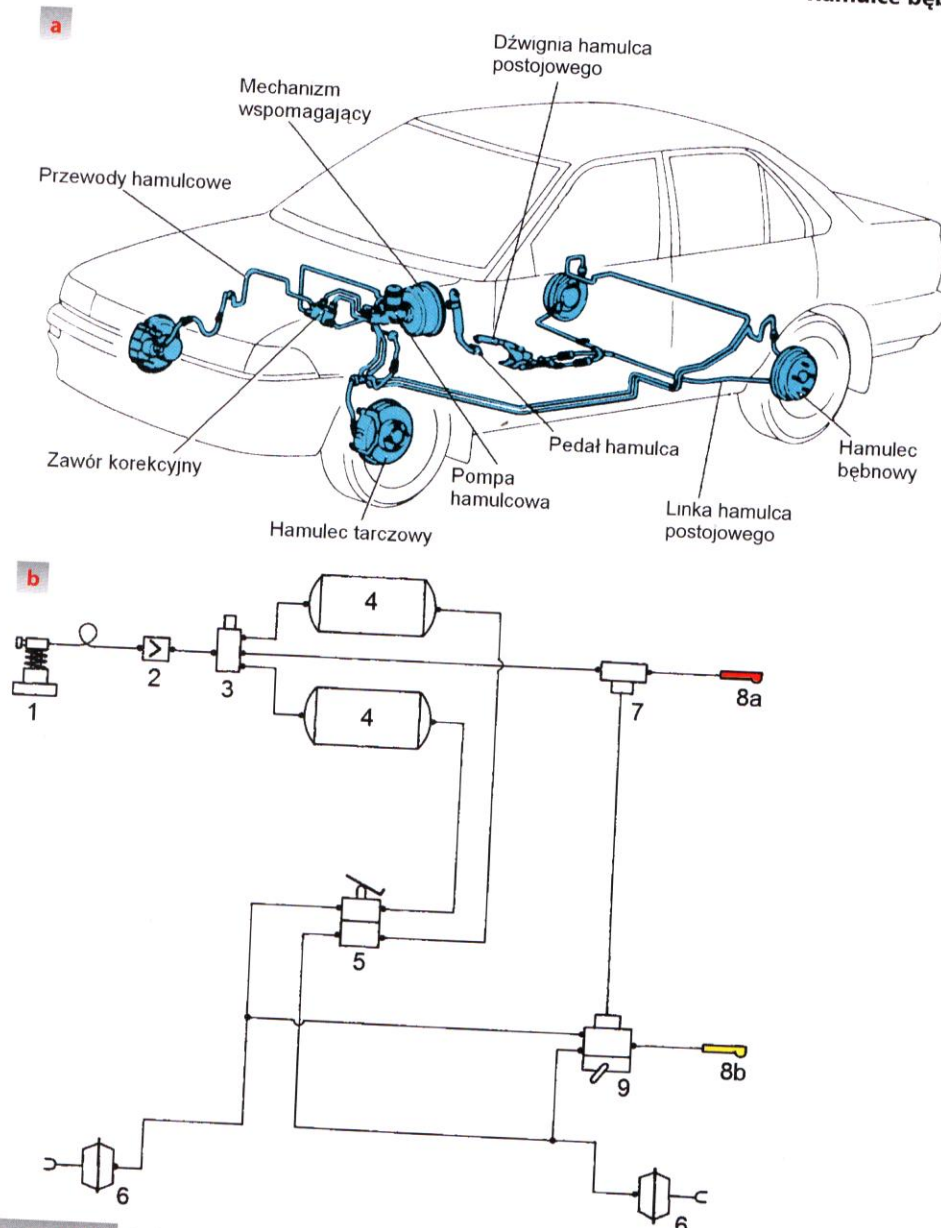
- mechanizmu hamulcowego (bębnowego lub tarczowego z siłownikami hydraulicznymi),
- mechanizmu uruchamiającego, w skład którego wchodzi
 - **pedał hamulca**,
 - **pompa hamulcowa ze zbiornikiem wyrównawczym płynu hamulcowego**,
 - **przewody hamulcowe** (elastyczne i sztywne),
 - **korektor siły hamowania**,
 - **mechanizm wspomagający**

Układy sterowane pneumatycznie, stosowane w samochodach ciężarowych lub autobusach, różnią się od hydraulicznych głównie mechanizmem uruchamiającym. Umożliwia on uzyskanie dużych sił hamowania, przy niewielkiej sile wywieranej przez kierowcę na pedał. Małą siłą nacisku na pedał hamulca wykorzystuje się wyłącznie do sterowania pneumatycznymi zaworami. Sprężone powietrze jest doprowadzane do siłowników pneumatycznych, które uruchamiają np. szczegółowy mechanizm hamulcowy. Przykładowy **pneumatyczny układ hamulcowy** przedstawiony na rysunku 4 4b składa się z:

- mechanizmu hamulcowego (np. bębnowego z siłownikami pneumatycznymi),
- mechanizmu uruchamiającego, w skład którego wchodzi
 - **sprężarka**,
 - **zbiorniki sprężonego powietrza**,
 - **pedał hamulca** połączony z **głównym zaworem sterującym**,
 - **regulator ciśnienia powietrza**,
 - **korektor siły hamowania**,
 - **przewody pneumatyczne**,
 - **złącza instalacji hamulcowej przyczepy**,
 - **zawory uruchamiające hamulce przyczepy**,
 - **urządzenia dodatkowe** (filtry, odmrażacze, odwadniacze, odolejacz, zawory, elementy kontrolne i regulacyjne).

W dawnych rozwiązaniach **instalacja pneumatyczna**, łącząca układ hamulcowy pojazdu z układem hamulcowym przyczepy była jednoprzewodowa. Obecnie jest wykonywana jako **dwuprzewodowa**. Stosuje się w niej dwa przewody: jeden doprowadzający powietrze do zbiornika przyczepy i drugi, służący do uruchamiania zaworu sterującego hamulcami przyczepy. Złącza zasilające i sterujące powinny być rozróżniane kolorami: czerwonym i żółtym.

Dawniej stosowano **jednoobwodowe układy hamulcowe** (zarówno hydrauliczne, jak i pneumatyczne), w których cała instalacja była wspólna dla wszystkich koł. Obecnie, ze względów bezpieczeństwa, stosuje się wyłącznie **układy dwuobwodowe**. Każdy z niezależnych obwodów zasilą inną część układu, np. oddzielnie tylne i przednie koła. W przypadku awarii jednego z obwodów drugi zapewnia możliwość zatrzymania pojazdu.



Rys 4.4 Schematy typowych układów hamulcowych [52]
a – układ hydrauliczny samochodu osobowego b – układ pneumatyczny (dwuprzewodowy) samochodu ciężarowego
1 – sprężarka 2 – zawór jednokierunkowy 3 – dwuobwodowy zawór zabezpieczający
4 – zbiorniki powietrza 5 – główny zawór sterujący połączony z pedałem hamulca
6 – siłowniki 7 – zawór odłączający układ hamulcowy przyczepy w przypadku nadmiernego spadku ciśnienia 8a – złącze obwodu zasilania instalacji hamulcowej przyczepy 8b – złącze obwodu uruchamiania hamulców przyczepy 9 – zawór uruchamiający hamulce przyczepy wyposażony w dźwignię hamulca ręcznego (sterowany niezależnie z obu obwodów dzięki czemu hamulce przyczepy są uruchamiane nawet w przypadku awarii jednego z obwodów samochodu)