

## 10.2. Układy hamulcowe

Zmniejszenie prędkości lub zatrzymanie pojazdu polega na zamianie jego energii mechanicznej (kinetycznej) na energię cieplną. Pojazd o masie całkowitej  $m$  poruszający się z prędkością  $v$  ma energię kinetyczną:

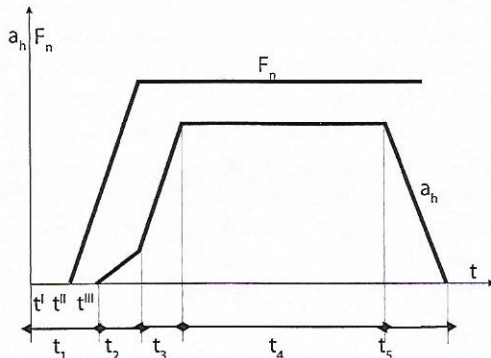
$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

gdzie:

$m$  – masa [kg],

$v$  – prędkość [m/s],

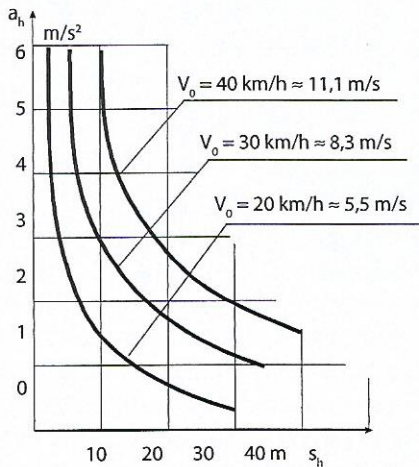
$E_k$  – energia kinetyczna [J].



**Rysunek 10.13. Przebieg procesu hamowania:**

$t_1$  – czas opóźnienia reakcji,  $t_2$  – czas opóźnienia hamowania,  $t_3$  – czas uruchamiania pełnego działania układu,  $t_4$  – czas pełnego hamowania,  $t_5$  – czas luzowania hamulców,  $F_n$  – siła nacisku na pedał,  $a_h$  – opóźnienie hamowania

Źródło: Pracownia techniczna. Praca zbiorowa 1973



**Rysunek 10.14. Wpływ prędkości początkowej na długość drogi hamowania:**

$a_h$  – opóźnienie hamowania,

$s_h$  – droga hamowania,

$v$  – prędkość początkowa

Źródło: opracowanie własne

W celu zatrzymania pojazdu niezbędna jest siła hamująca  $F_h$ . Od chwili wystąpienia siły  $F_h$  do chwili zatrzymania pojazd przebywa drogę  $s$ . Oznacza to, iż energia potrzebna do zahamowania pojazdu wynosi:

$$E_h = F_h \cdot s$$

gdzie:

$E_h$  – energia hamowania [J],

$F_h$  – siła hamowania [N],

$s$  – droga hamowania [m].

Aby zatrzymać pojazd, energia hamowania musi być równa energii kinetycznej pojazdu, tzn.:

$$E_h = E_k$$

Maksymalna wartość siły hamowania jest ograniczona wartością współczynnika przyczepności  $\mu$  oraz obciążeniem przypadającym na hamowane koła:

$$F_{hmax} = \mu \cdot g \cdot m$$

gdzie:

$F_{hmax}$  – maksymalna siła hamowania [N],

$\mu$  – współczynnik przyczepności (bezwymiarowy),

$g$  – przyspieszenie ziemskie [ $m/s^2$ ],

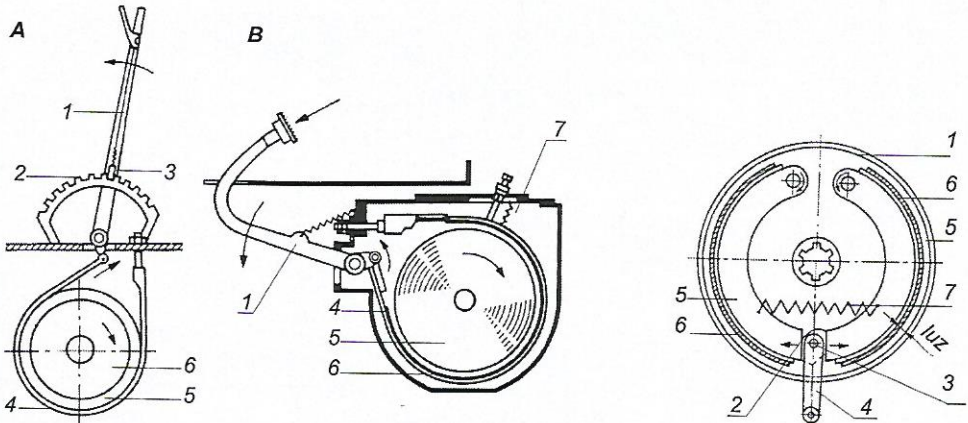
$m_n$  – część masy pojazdu, odpowiadająca obciążeniu kół hamowanych.

Na rysunku 10.13 przedstawiono wykres zmian opóźnienia pojazdu w poszczególnych fazach procesu hamowania, a na rysunku 10.14 wykresy średniej wartości opóźnienia dla różnych wartości prędkości początkowej.

Siłę hamującą pojazd wytwarzają hamulce cierne umieszczone w kołach lub na wałach napędowych. Hamulce cierne dzieli się na: taśmowe, szczękowe, klockowe i tarczowe.

**Hamulec taśmowy** (rys. 10.15) składa się z bębna 6 z okładziną cierną 5, wokół którego jest owinięta taśma stalowa 4. Hamowanie polega na zaciskaniu taśmy na bębnie za pomocą dźwigni 1. Po zwolnieniu hamulca sprężyna 7 odciąga taśmę od bębna. Hamulce taśmowe są stosowane w pojazdach wolnobieżnych.

**Hamulec szczękowy** (rys. 10.16) składa się z bębna 1, wewnątrz którego znajdują się szczęki 5 z okładzinami ciernymi. Końce szczęk hamulcowych najczęściej z jednej strony są osadzone na sworzniach. Z drugiej strony, tzn. między swobodnymi końcami szczęk, umieszczony jest rozpieracz mechaniczny (krzywkowy) 3 lub hydrauliczny. Siła tarcia (siła hamująca) powstaje na skutek dociskania szczęk do bębna przez rozpieracz. Po zwolnieniu docisku sprężyna 7 odciąga szczęki od bębna.



**Rysunek 10.15. Hamulec taśmowy:**

*A – ręczny, B – nożny:*

1 – dźwignia, 2 – wieniec zębaty blokady, 3 – zapadka,

4 – taśma zaciskowa, 5 – okładzina cierna, 6 – bęben

hamulca, 7 – sprężyna

Źródło: Nowacki 1972

**Rysunek 10.16. Hamulec szczękowy:**

1 – bęben hamulcowy,

2 – rozpieracz, 3 – oś obrotu roz-

pieracza, 4 – dźwignia rozpieracza,

5 – szczęki hamulcowe, 6 – okładzi-

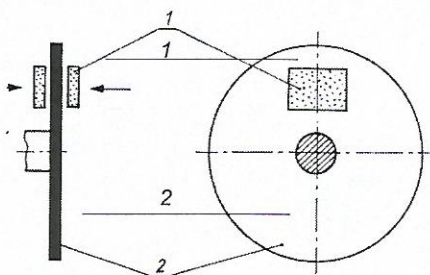
na cierna, 7 – sprężyna

Źródło: Nowacki 1972

W hamulcach taśmowych i szczękowych siła tarcia (siła hamowania) powstaje na powierzchni walcowej. W hamulcach tarczowych i klockowych, które można traktować jako tarczowe niepełne, siła tarcia powstaje na powierzchniach tarczy hamulcowych, tzn. na powierzchniach płaskich prostopadłych do osi obrotu.

**Hamulec klockowy**, czyli tarczowy niepełny, przedstawiono na rysunku 10.17. Docisk klocków 1 do tarczy 2 może być wywierany w sposób mechaniczny lub hydrauliczny.

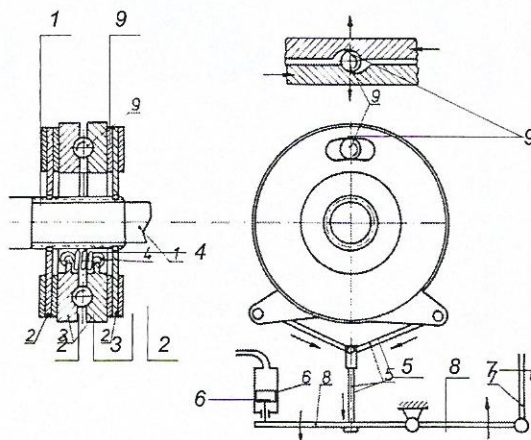
**Hamulec tarczowy** przedstawiono na rysunku 10.18 ma kulkowy mechanizm rozpierający. Elementami dociskowymi są dwie tarcze dociskowe 3, które można obracać względem siebie. Kulki 9 umieszczone między tymi tarczami w odpowiednio ukształtowanych zagłębieniach podczas obracania tarcz dociskowych powodują powstawanie siły docisku, działającej na tarcze cierne hamulca. Wzajemne przemieszczenie tarcz następuje, gdy są one rozepchnięte przez kulki. Tarcze 2 z okładzinami ciernymi znajdują się między tarczami dociskowymi a obudową hamulca.



**Rysunek 10.17. Hamulec klockowy:**

1 – klocki hamulcowe,  
2 – tarcza hamulca

Źródło: Skrobacki, Chochowski 1993



**Rysunek 10.18. Hamulec tarczowy:**

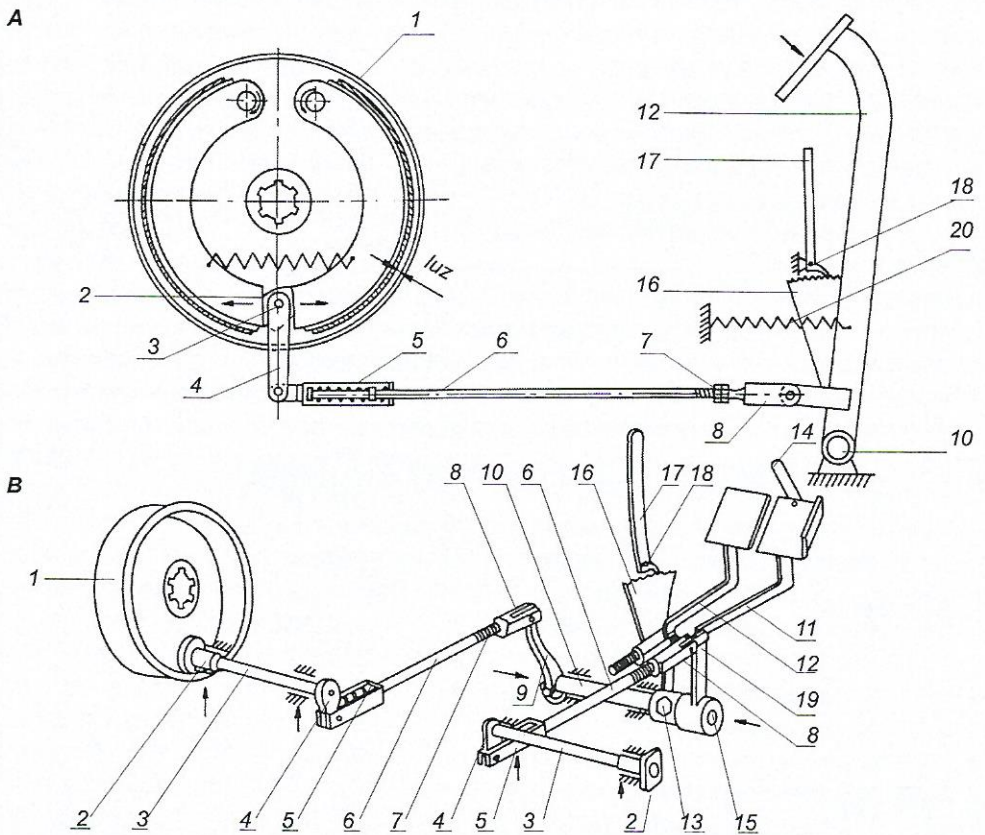
1 – półoś, 2 – tarcza cierna, 3 – tarcza dociskowa,  
4 – sprężyna, 5 – cięgła, 6 – siłownik, 7 – cięgło hamulca ręcznego, 8 – dźwignia, 9 – kulka rozpierająca

Źródło: Nowacki 1972

Hamulce pojazdu są uruchamiane przez kierowcę. Uruchomienie hamulca polega na naciśnięciu dźwigni nożnej (lub ręcznej). Siła ta zostaje przekazana do hamulca za pośrednictwem układu uruchamiającego. **Układy uruchamiania hamulców** dzieli się na mechaniczne, hydrauliczne, pneumatyczne i elektryczne.

W ciągnikach rolniczych stosuje się tzw. **hamulce niezależne**, które umożliwiają oddzielne hamowanie lewego lub prawego koła. Hamowanie jednego koła ciągnika stosuje się w celu zmniejszenia promienia skrętu ciągnika, co jest szczególnie ważne w czasie pracy na miękkim podłożu.

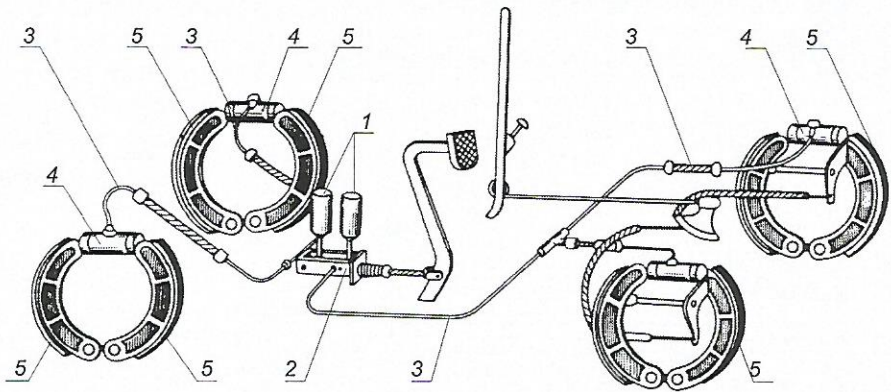
Na rysunku 10.19 przedstawiono przykład **mechanicznego układu uruchamiania hamulców**. Układ taki składa się z dwóch dźwigni i cięgieł sztywnych lub elastycznych. W układzie takim trudno jest tak wyregulować poszczególne cięgła, aby wszystkie koła były jednakowo hamowane.



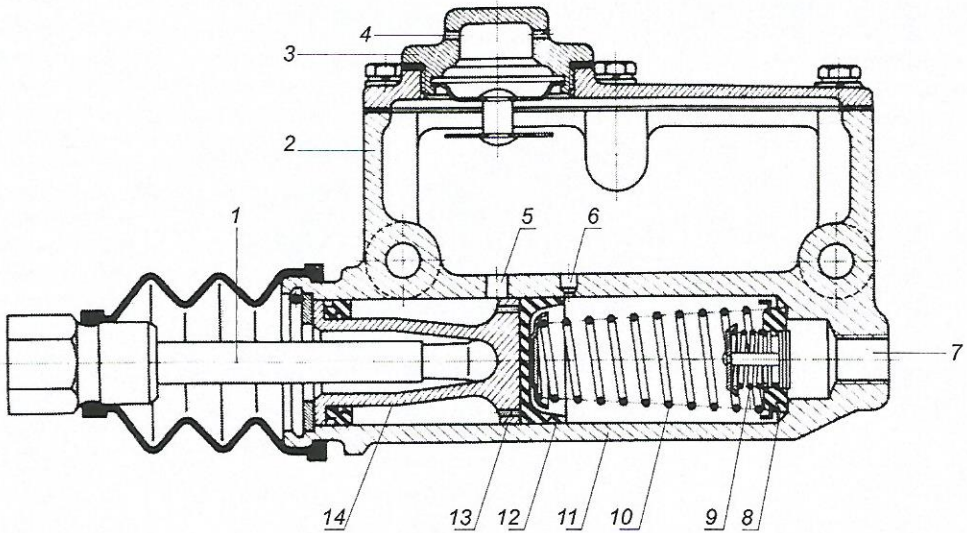
**Rysunek 10.19. Mechaniczny układ uruchamiania hamulców:** *A* – schemat, *B* – rysunek przestrzenny: 1 – bęben, 2 – krzywka rozpierająca, 3 – walek krzywki, 4 – dźwignia wałka, 5 – sprężyna amortyzująca, 6 – cieżko, 7 – nakrętki regulacyjne, 8 – widelki, 9 – dźwignia, 10 – oś obrotu pedałów, 11 – pedał lewy, 12 – pedał prawy, 13 – śruba mocująca pedał, 14 – zapadka łącząca pedały, 15 – smarownicza, 16 – zębátka, 17 – zapadka hamulca postojowego, 18 – oś obrotu dźwigni, 19 – zaczep cięgła zaworu pneumatycznego do hamowania przyczep, 20 – sprężyna  
 Źródło: Nowacki 1972

Wady tej pozbawiony jest **hydrauliczny układ uruchamiania hamulców** (rys. 10.20). Siła wywierana na pedał hamulca zostaje w tym układzie zamieniona na ciśnienie płynu hamulcowego, które jest przekazywane przewodami hamulcowymi do cylinderek hamulcowych w poszczególnych kołach. Układy takie znalazły szerokie zastosowanie w samochodach. Ich wadę stanowi zanik siły hamowania w przypadku zapowietrzenia układu. W celu zwiększenia bezpieczeństwa stosuje się układy dwuobwodowe.

Na rysunku 10.21 przedstawiono prostą **pompe hamulcową**. Naciskając pedał hamulca powoduje się przesuwanie popychacza 1, który przesuwá tłok 14 pompy. Tłok zmyka otwór 6, łączący zbiornik z cylindrem hamulcowym. Dalsze jego przesuwanie powoduje wzrost ciśnienia płynu hamulcowego w przewodach i rozpieraczach hydraulicznych. Na rysunku 10.22 przedstawiono pompę hydrauliczną dwuobwodowego układu uruchamiania hamulców, a na rysunku 10.23 – rozpieracz hydrauliczny.

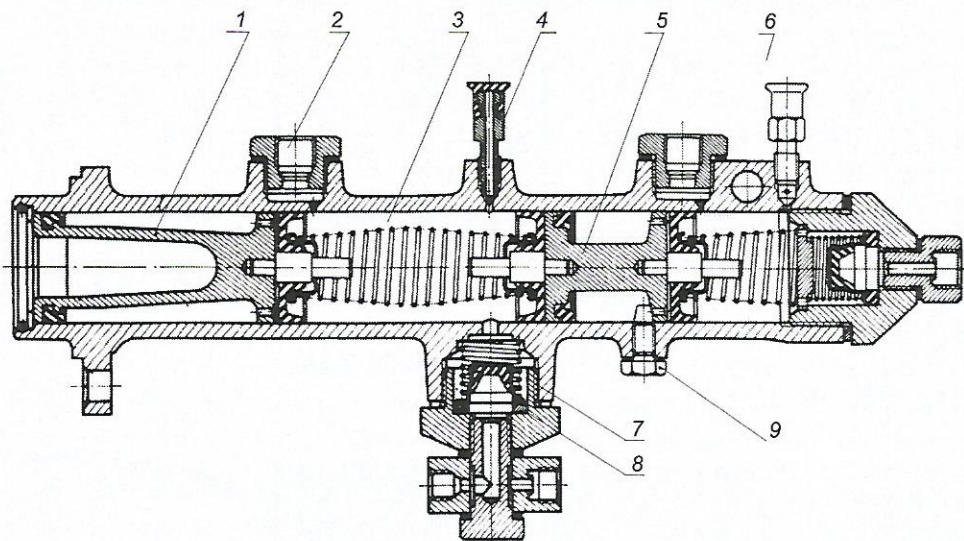


**Rysunek 10.20. Hydrauliczny układ uruchamiania hamulców:** 1 – zbiorniki na płyn hamulcowy, 2 – pompa hamulcowa, 3 – przewód hamulcowy, 4 – rozpieracz hydrauliczny, 5 – szczęki  
*Źródło: Nowacki 1972*

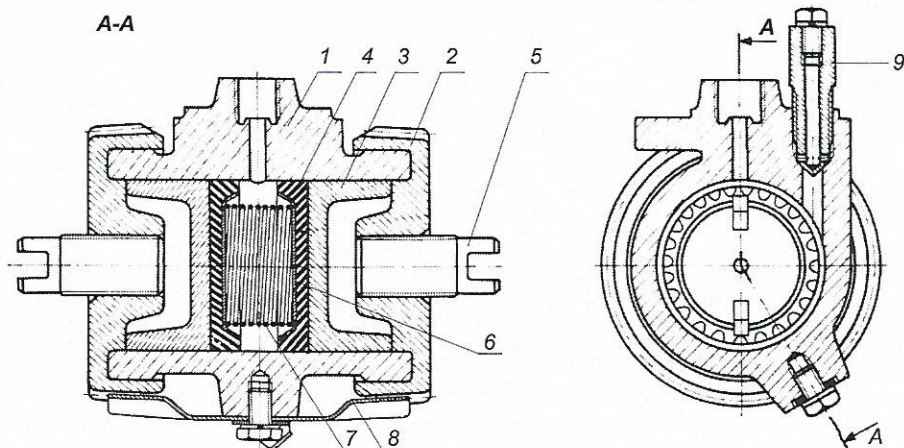


**Rysunek 10.21. Pompa hamulcowa:** 1 – popychacz, 2 – zbiornik płynu hamulcowego, 3 – korek wlewu, 4 – otwór odpowietrzający, 5 – otwór umożliwiający przepływ płynu w razie gwałtownego odhamowania, 6 – otwór do uzupełnienia płynu w cylindrze, 7 – otwór gwintowany do podłączenia przewodów hamulcowych, 8 – zawór zwrotny, 9 – zawór przepustowy, 10 – sprężyna zaworu zwrotnego i powrotu tłoka, 11 – cylinder pompy, 12 – uszczelka, 13 – otwory umożliwiające wyrównanie ciśnienia w obu częściach cylindra w razie gwałtownego odhamowania, 14 – tłok pompy  
*Źródło: Dajniak 1985*

Przedstawione układy uruchamiania hamulców mają jedną wspólną cechę, a mianowicie siła z pedału hamulca jest przekazywana do hamulca. W hydraulicznym układzie hamulcowym wymagane jest stosowanie specjalnych płynów. Ze względu na właściwości producent zaleca stosowanie płynu hamulcowego o odpowiedniej klasie. Płyny hamulcowe podzielono na trzy kategorie, w których podstawowym parametrem jest temperatura wrzenia płynu (tab. 10.1). Podstawowym składnikiem starszych



**Rysunek 10.22. Pompa hamulcowa układu dwuobwodowego:** 1 – tłok pompy, 2 – końcówka do przewodu zasilającego pompę, 3 – pompa zasilająca siłowniki hamulców kół tylnych, 4 – zawór odpowietrzający, 5 – pływający tłok pompy, 6 – pompa zasilająca siłowniki hamulców kół przednich, 7 – zawór przepustowy, 8 – zawór zwrotny, 9 – śruba ograniczająca skok tłoka pływającego  
 Źródło: Dajniak 1985



**Rysunek 10.23. Rozpierzacz hydrauliczny:** 1 – cylinder, 2 – nakrętka do regulacji luzu między szczęką a bębnem hamulca, 3 – tłoczek, 4 – uszczelka, 5 – trzpień rozpierający szczęki, 6 – tarcza uszczelki, 7 – sprężyna rozpierająca, 8 – sprężyna zabezpieczająca nakrętkę, 9 – zawór odpowietrzający  
 Źródło: Dajniak 1985

płynów hamulcowych jest glikol, który jest cieczą higroskopijną łatwo wchłaniającą wodę. Woda zawarta w płynie obniża temperaturę wrzenia płynu, zwiększając ryzyko wystąpienia „korków parowych”. Dodatkowo woda przyspiesza korozję elementów układu hamulcowego. Nowe płyny tworzone są na bazie hydrofobowych silikonów, dlatego mogą być dłużej eksploatowane bez obniżenia temperatury wrzenia.

Tabela 10.1. Oznaczenia i właściwości płynów hamulcowych (wg SAE 1703)

Oznaczenie	Podstawowy składnik	Temperatura wrzenia nowego płynu [°C]	Temperatura wrzenia płynu zanieczyszczonego wodą [°C]
DOT 3	Związki glikolu	205	140
DOT 4	Związki glikolu – mieszalny z DOT 3	230	155
DOT 5	Silikony lub związki syntetyczne – niemieszalny z DOT 4 i DOT 3	260	180

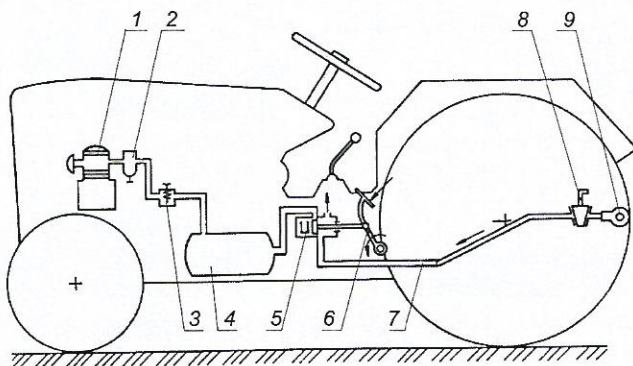
Źródło: opracowanie własne

Odmienne rozwiązanie jest pneumatyczny układ uruchamiania hamulców (rys. 10.24). Układ taki składa się ze: sprężarki 1, zaworu redukcyjnego 3, zbiornika na sprężone powietrze 4, zaworu sterującego 5, siłowników pneumatycznych 8 (rys. 10.25) i przewodów pneumatycznych. Naciśnięcie pedału hamulca 6 powoduje otwarcie zaworu 5 i sprężone powietrze ze zbiornika 4 do-

Rysunek 10.24. Pneumatyczny układ uruchamiania hamulców:

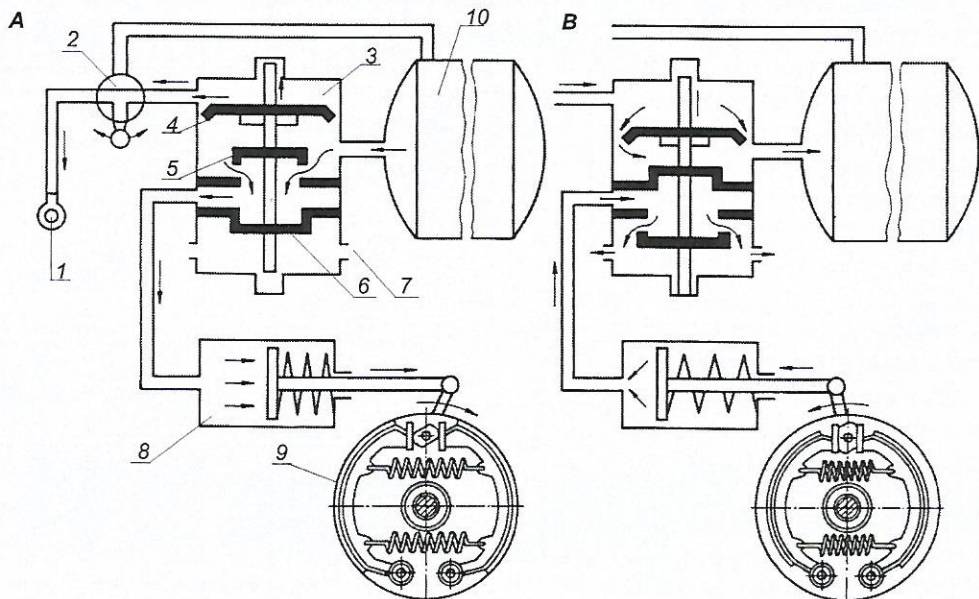
- 1 – sprężarka,
- 2 – odolejacz,
- 3 – zawór redukcyjny,
- 4 – zbiornik sprężonego powietrza,
- 5 – zawór sterujący,
- 6 – pedał hamulca,
- 7 – przewód pneumatyczny,
- 8 – zawór,
- 9 – złącze pneumatyczne

Źródło: Skrobacki, Chochowski 1993



staje się do siłowników pneumatycznych 8 (rys. 10.25). Naciśnięcie pedału inicjuje więc tylko działanie układu pneumatycznego, a siła przekazana do hamulców nie pochodzi od kierowcy. Pneumatyczne układy uruchamiania hamulców są powszechnie stosowane w dużych samochodach ciężarowych i autobusach. W rolnictwie układ taki znalazł zastosowanie w przyczepach i dlatego w Polsce wymagane jest wyposażenie ciągnika w instalację pneumatyczną. Podczas sprężania i rozprężania powietrza następuje skraplanie się pary wodnej. Należy więc pamiętać, szczególnie w sezonie zimowym, o czyszczeniu odwadniacza i zbiornika powietrza. Przyczepa ma własną instalację pneumatyczną, napełnianą sprężonym powietrzem sprężarką umieszczoną w ciągniku.

Na rysunku 10.25 przedstawiono zawór sterujący przepływem powietrza w instalacji przyczepy. Jeżeli z ciągnika jest podawane sprężone powietrze (w przewodzie panuje ciśnienie), to zawór kieruje je do zbiornika 10. Z chwilą rozpoczęcia przez kierowcę hamowania przerywa się dopływ sprężonego powietrza do instalacji hamującej przyczepy. Jednocześnie następuje połączenie przewodu ciągnik-przyczepa z otoczeniem (brak ciśnienia w przewodzie). Wówczas w zaworze sterującym 3 przyczepy przesuwają się suwaki, co powoduje zamknięcie połączenia przewodu zasilającego ze zbiornikiem oraz otwarcie połączenia zbiornik-siłowniki pneumatyczne 8. W ten



**Rysunek 10.25. Zawór pneumatyczny uruchamiania hamulców przyczepy: A – hamulce zahamowane, B – hamulce odhamowane: 1 – złącze, 2 – zawór trójdrożny, 3 – zawór rozdzielczy, 4 – kołnierz suwaka, 5 – grzybek górny, 6 – grzybek dolny, 7 – zawór odpowietrzający, 8 – siłownik pneumatyczny, 9 – hamulec szczękowy, 10 – zbiornik powietrza**  
*Źródło: Nowacki 1972*

sposób zostają uruchomione hamulce przyczepy. Hamulce przyczepy zaczynają działać również w przypadku odłączenia się przyczepy od ciągnika, ponieważ impulsem do zadziałania zaworu sterującego jest spadek ciśnienia w przewodzie łączącym ciągnik z przyczepą. W instalacji pneumatycznej przyczepy znajduje się zawór trójdrożny 2 (ręcznie sterowany), za pomocą którego można odblokować hamulce lub z powrotem je zablokować, gdy przyczepa jest odłączona od ciągnika.

Sprawne działanie hamulców i układu ich uruchamiania to podstawowy warunek bezpieczeństwa. Wraz ze wzrostem natężenia ruchu pojazdów na drogach pojawiło się zapotrzebowanie na systemy zapobiegające zjawisku blokowania kół podczas hamowania (ABS). W Europie wprowadzono obowiązek wyposażania w takie urządzenia autobusy dalekobieżne i turystyczne (o masie maksymalnej powyżej 12 ton) oraz pojazdy ciężarowe (powyżej 16 ton). Działanie **systemu przeciwblokującego** (rys. 10.26) polega na wykorzystaniu informacji o chwilowej prędkości koła przez elektroniczny moduł 3, sterujący modulatorem 4 ciśnienia w układzie hydraulicznego lub pneumatycznego uruchamiania hamulców. Dwustanowy modulator ciśnienia powietrza (rys. 10.27) składa się z dwóch komór połączonych kanałem i oddzielonych przeponą 3. W stanie spoczynku (rys. 10.27A) ciśnienie w obu komorach jest jednakowe i otwarty jest przepływ do siłownika pneumatycznego. Z chwilą wystąpienia tendencji do blokowania koła (rys. 10.27B) sygnał z modułu elektronicznego powoduje przepływ prądu przez cewkę 1 zaworu indukcyjnego. Zawór 2 otwiera połączenie komory górnej z otoczeniem i jednocześnie zamyka dopływ do niej sprężonego powietrza. Spadek ciśnienia w komorze górnej umożliwia przesunięcie przepony 3 do



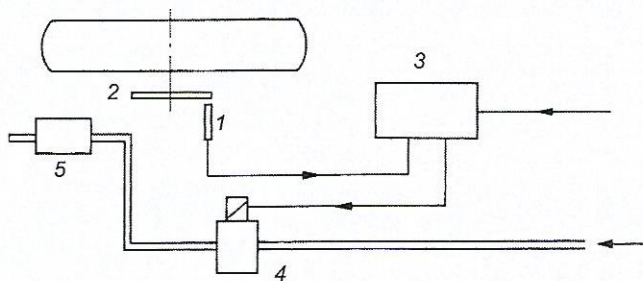
### Rysunek 10.26. Schemat układu

ABS:

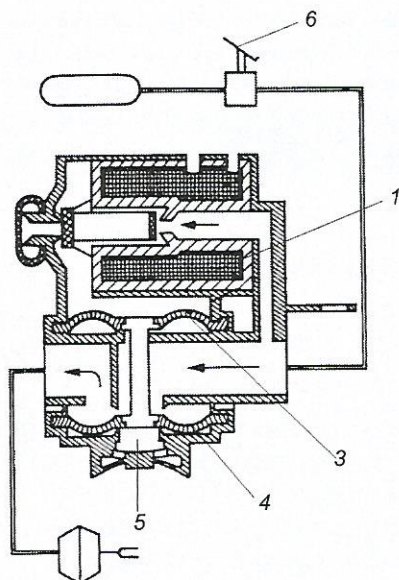
- 1 – indukcyjny czujnik prędkości,
- 2 – pierścień zębaty,
- 3 – elektroniczny moduł sterujący,
- 4 – modulator ciśnienia,
- 5 – siłownik hamulcowy,

Źródło: *Auto-Technika*

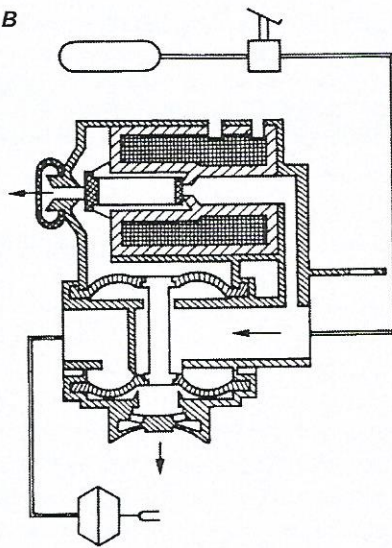
*Motoryzacyjna*



A



B



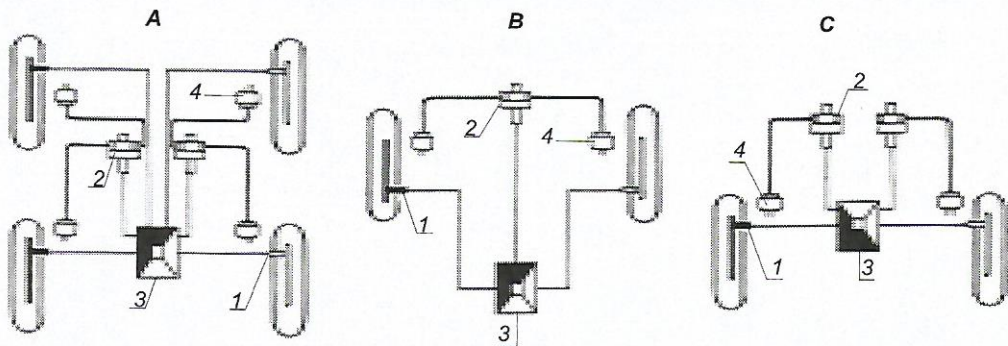
Rysunek 10.27. Dwustanowy modulator układu ABS: A – stan spoczynku, B – stan pracy:

- 1 – elektromagnes, 2 – zawór modulatora ciśnienia, 3 – przepona, 4 – przepona perforowana,
- 5 – kanał odpowietrzający, 6 – główny zawór hamulcowy

Źródło: *Auto-Technika Motoryzacyjna*

góry (pod wpływem sprężyny). Wówczas zostaje zamknięty przepływ sprężonego powietrza do siłownika, a otwarty kanał odpowietrzający 5. W siłowniku hamulca nastąpi spadek ciśnienia, a więc siła hamowania zmaleje.

Stosuje się różne systemy regulacji siły hamowania (rys. 10.28): **regulacja indywidualna (IR)**, **modyfikowana regulacja osi (MAR)** i **modyfikowana regulacja stron pojazdu (MSR)**. W przypadku regulacji indywidualnej każdym kołem steruje oddzielny obwód (czujnik 1, moduł 2, modulator 3). System taki dostosowuje siłę hamowania każdego koła do jego przyczepności, zapewniając uzyskanie minimalnej drogi hamowania. Obwód modyfikowanej regulacji osi (MAR) zawiera dwa czujniki i jeden modulator. W siłownikach obu kół jednej osi panuje takie samo ciśnienie. Modyfikowana regulacja stron pojazdu (MSR) polega na stosowaniu oddzielnego układu dla prawej i oddzielnego dla lewej strony pojazdu. Zastosowanie elektronicznego układu śledzenia prędkości kół zapobiega wystąpieniu poślizgu zarówno z



**Rysunek 10.28. Systemy regulacji siły hamowania: A – IR, B – MAR, C – MSR:**  
 1 – czujnik prędkości, 2 – moduł sterujący, 3 – modulator ciśnienia, 4 – siłownik hamulcowy  
 Źródło: Auto-Technika Motoryzacyjna

powodu blokowania koła podczas hamowania na gorszej nawierzchni, jak z powodu wystąpienia zbyt dużej siły napędowej (ASR). W tym ostatnim przypadku oddziałuje on na układ zasilania silnika.

Najbardziej zaawansowane elektronicznie systemy bezpieczeństwa jazdy zbierają informacje o: przełożeniu kół skrętnych, przyspieszeniach poprzecznych i kierunku siły poprzecznej (poślizg boczny). W wyniku analizy komputerowej chwilowego stanu pojazdu i wystąpienia odpowiedniej reakcji sił na poszczególnych kołach zapewniona jest stabilizacja ruchu pojazdu (ESP).