

VADEN[®]
ORIGINAL

Pneumatyczny układ hamulcowy — Poradnik techniczny

Kompletny i przystępny przewodnik po pneumatycznym układzie hamulcowym pojazdów użytkowych — każdy obwód i podzespół objaśniony, z diagnostyką i konserwacją.

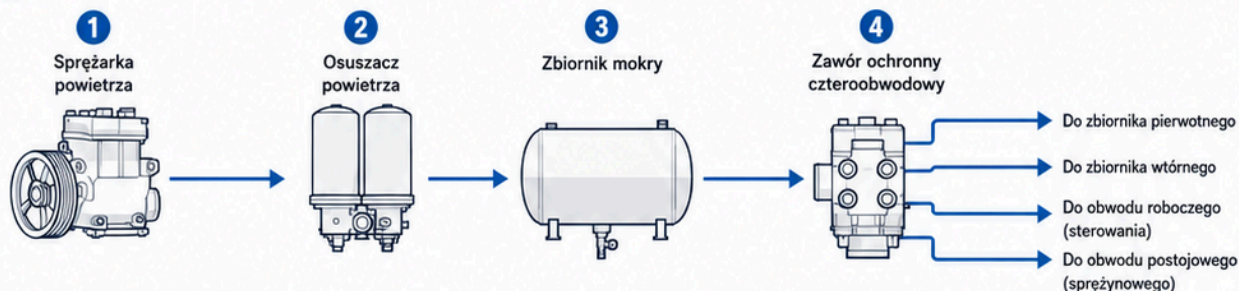
Wydanie 1 · Pojazdy użytkowe (ciężarówka · autobus · przyczepa) · vadenoriginal.com

Spis treści

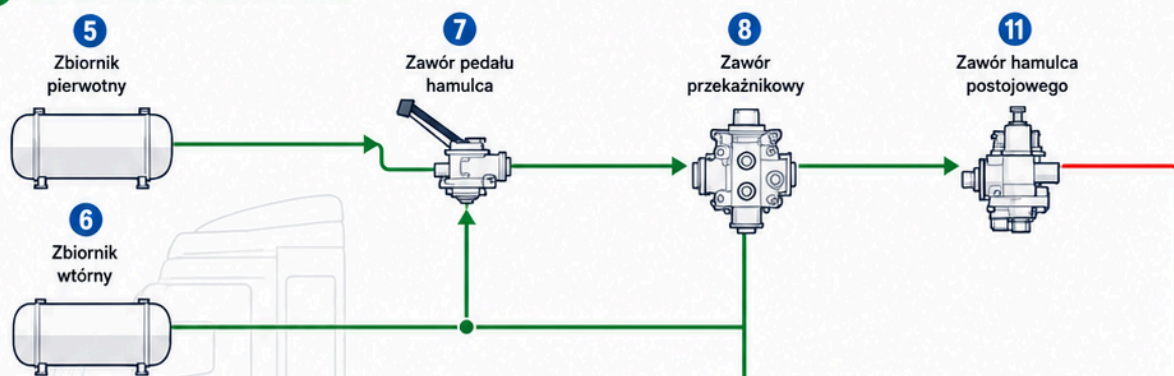
- 1 Wprowadzenie: jak działa pneumatyczny układ hamulcowy
 - 2 Obwód zasilania (napełniania) w sprężone powietrze
 - 3 Obwód hamulca roboczego (obwód uruchamiający)
 - 4 Hamulce postojowe i awaryjne (sprężynowe)
 - 5 Load Sensing & Air Suspension Control
 - 6 Elektroniczne układy hamulcowe ABS i EBS
 - 7 Obwód hamulcowy przyczepy
 - 8 Diagnostyka usterek i konserwacja
 - 9 Skrócony przegląd komponentów i słowniczek
-

Schemat pneumatycznego układu hamulcowego

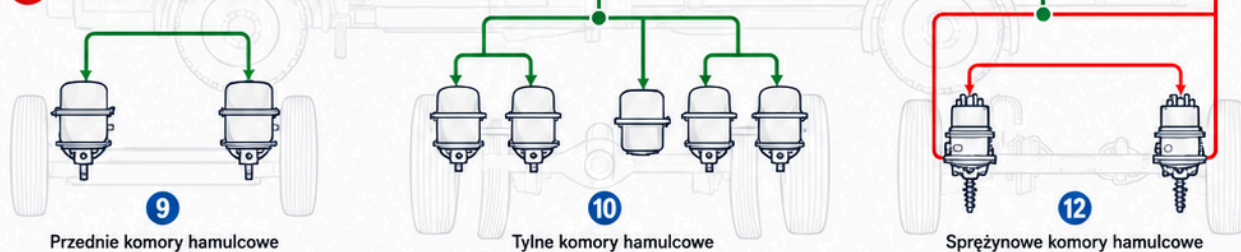
1 ZASILANIE POWIETRZEM



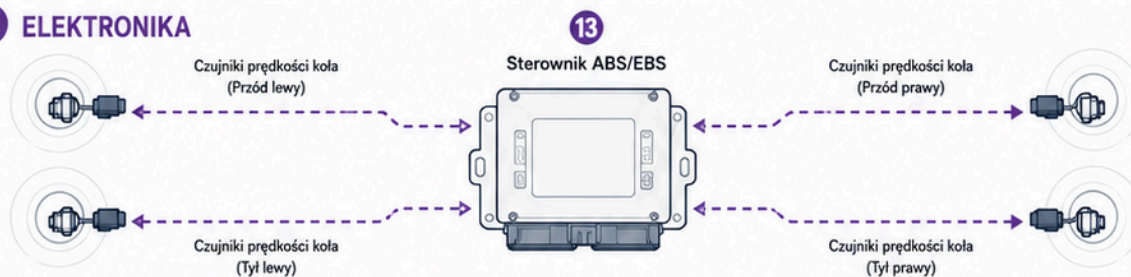
2 ZBIORNIKI I STEROWANIE



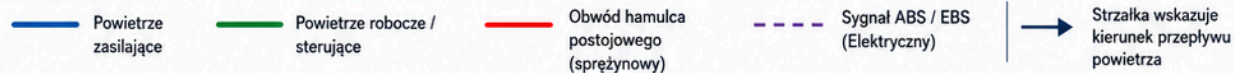
3 URUCHAMIANIE HAMULCA



4 ELEKTRONIKA



LEGENDA



Wprowadzenie: jak działa pneumatyczny układ hamulcowy

W pojazdach ciężkich — samochodach ciężarowych, autobusach i naczepach — do przenoszenia siły hamowania nie stosuje się płynu hamulcowego, lecz sprężone powietrze. Powód jest praktyczny: pojazd o masie kilkudziesięciu ton wymaga bardzo dużej i powtarzalnej siły na hamulcach każdej osi, a układ hydrauliczny takiej skali byłby wrażliwy na wycieki i zapowietrzenie. Powietrze jest za to darmowe, niewyczerpane i nieszkodliwe dla środowiska — drobna nieszczelność powoduje jedynie ubytek ciśnienia, a nie całkowitą utratę sprawności. Dodatkowo sprężonym powietrzem łatwo zasila się także układy naczepy poprzez szybkozłącza (główki sprzęgowe), co przy zestawach wielocłonowych jest rozwiązaniem wręcz koniecznym.

Zasada bezpieczeństwa: siłowniki sprężynowe

Sercem bezpieczeństwa całego układu jest siłownik sprężynowy hamulca postojowego (tzw. akumulator sprężynowy). Działa on odwrotnie niż intuicja podpowiada: to sprężone powietrze rozpręża potężną sprężynę i *zwalnia* hamulec, a hamowanie następuje wtedy, gdy sprężyna się rozpręża. Oznacza to, że każdy spadek ciśnienia — pęknięcie przewodu, awaria sprężarki czy zwykłe wyłączenie pojazdu — powoduje samoczynne zaciśnięcie hamulców. Układ jest więc z założenia „bezpieczny w razie awarii”: utrata powietrza nie odbiera pojazdowi zdolności do zatrzymania, lecz przeciwnie — automatycznie go unieruchamia.

Dwa oddzielne obiegi: napełniania i roboczy

W układzie funkcjonują dwa rozdzielone zadania. Obwód zasilania (napełniania) obejmuje sprężarkę, osuszacz powietrza z regulatorem ciśnienia oraz zbiorniki, w których gromadzony jest zapas sprężonego powietrza. Obwód roboczy pobiera powietrze z tych zbiorników i — sterowany zaworem hamulca nożnego — kieruje je do siłowników hamulcowych poszczególnych osi. Dzięki temu napełnianie zbiorników przebiega niezależnie od samego hamowania, a kierowca zawsze dysponuje gotowym zapasem energii do wielokrotnych, mocnych hamowań.

Podwójny obwód: główny i pomocniczy

Dla bezpieczeństwa obwód roboczy jest podzielony na dwa niezależne układy — pierwotny (główny) i wtórny (pomocniczy) — zwykle rozdzielone między osie przednią i tylną. Każdy ma własny zbiornik i własne przewody, oddzielone zaworem wieloobwodowym. Jeżeli jeden układ ulegnie rozszczelnieniu, drugi nadal działa i zapewnia hamowanie awaryjne. Ta redundancja sprawia, że pojedyncza usterka nigdy nie pozbawia pojazdu hamulców całkowicie.

- Sprężone powietrze zamiast płynu — duża, powtarzalna siła i odporność na drobne nieszczelności.
- Siłowniki sprężynowe — spadek ciśnienia = automatyczne zahamowanie.
- Rozdzielone obiegi napełniania i roboczy — stały zapas energii do hamowania.
- Podwójny układ główny/pomocniczy — awaria jednego obwodu nie unieruchamia hamowania.

Jak korzystać z tego przewodnika: kolejne rozdziały opisują poszczególne podzespoły — od sprężarki i osuszacza po zawory sterujące, moduły ABS/EBS oraz siłowniki — a zamieszczona dalej tabela referencyjna przypisuje im odpowiednie kategorie produktów VADEN ORIGINAL.

Obwód zasilania (napełniania) w sprężone powietrze

Obwód zasilania jest źródłem energii całego układu hamulcowego. Jego zadaniem jest wytworzenie, oczyszczenie i zmagazynowanie sprężonego powietrza, zanim trafi ono do obwodów roboczych hamulca roboczego i postojowego. Poniżej opisano kolejne zespoły tego obwodu wraz z ich funkcją oraz typowym objawem uszkodzenia.

Sprężarka powietrza

Sprężarka jest napędzana od silnika (poprzez koło zębate lub pasek) i pracuje nieprzerwanie, tłocząc powietrze do układu. Regulator utrzymuje ciśnienie w zakresie roboczym pomiędzy ciśnieniem załączenia (cut-in), przy którym rozpoczyna się tłoczenie, a ciśnieniem wyłączenia (cut-out), przy którym sprężarka przechodzi w stan odciążenia. Objaw uszkodzenia: bardzo długi czas napełniania zbiorników lub przenoszenie nadmiernej ilości oleju do układu (osady i emulsja w osuszaczu oraz zaworach), co świadczy o zużyciu pierścieni tłokowych.

Regulator ciśnienia (governor)

Regulator steruje pracą sprężarki, porównując ciśnienie w zbiornikach z nastawionymi wartościami cut-in i cut-out. Po osiągnięciu górnego progu przełącza sprężarkę w tryb odciążenia, a po spadku ciśnienia ponownie ją obciąża. Objaw uszkodzenia: sprężarka nie odciąża się i ciśnienie stale rośnie (zadziałanie zaworu bezpieczeństwa) albo cykle następują zbyt często, co przyspiesza zużycie sprężarki.

Zawór odciążający / regulator odciążenia

Zawór odciążający uwalnia sprężarkę od pracy tłoczenia w chwili osiągnięcia ciśnienia wyłączenia — najczęściej otwierając kanał ssący lub kierując powietrze do przedmuchu osuszacza. Dzięki temu sprężarka pracuje na biegu jałowym, nie zużywając zbędnej energii. Objaw uszkodzenia: sprężarka nie przechodzi w stan odciążenia, ciśnienie narasta ponad wartość roboczą, a układ ciągle upuszcza powietrze.

Osuszacz powietrza i wkład osuszający

Osuszacz usuwa z powietrza wilgoć oraz resztki oleju, zanim trafi ono do zbiorników. Powietrze przepływa przez wkład wypełniony granulatem osuszającym (desykantem), który pochłania parę wodną. Podczas cyklu regeneracji (przedmuchu) niewielka porcja suchego powietrza jest przepuszczana wstecz przez wkład, usuwając zebraną wilgoć i olej na zewnątrz wraz z charakterystycznym syknięciem. Objaw uszkodzenia: woda w zbiornikach, zamrażanie zaworów zimą lub brak cyklu przedmuchu — to sygnał, że wkład jest nasycony i wymaga wymiany.

Zawory jednokierunkowe (zwrotne)

Zawory zwrotne przepuszczają powietrze tylko w jednym kierunku i oddzielają poszczególne obwody od siebie. Zapobiegają cofaniu się powietrza, dzięki czemu awaria jednego obwodu (np. rozszczelnienie) nie powoduje utraty ciśnienia w pozostałych. Objaw uszkodzenia: spadek ciśnienia w jednym obwodzie pociąga za sobą opróżnianie sąsiedniego zbiornika lub słychać ciągły wyciek przy nieszczelnym gnieździe zaworu.

Zbiorniki: wstępny (mokry), pierwotny i wtórny

Zbiornik wstępny (mokry) jest pierwszym zbiornikiem za osuszaczem. Pełni rolę separatora — to w nim gromadzą się resztki kondensatu i oleju, które nie zostały zatrzymane wcześniej, dzięki czemu do obwodów roboczych trafia powietrze czystsze. Ze zbiornika wstępnego powietrze rozdzielane jest do niezależnych zbiorników: pierwotnego (zasilającego jeden obwód hamulca roboczego) oraz wtórnego (zasilającego drugi obwód). Taki podział zapewnia zapasowe hamowanie w razie awarii jednego obwodu. Skropliny należy regularnie spuszczać zaworami odwadniającymi — nagromadzona woda obniża pojemność zbiornika, koroduje jego wnętrze i może zamarzać. Objaw uszkodzenia: przy spuszczeniu wypływa duża ilość wody lub emulsji, a ciśnienie spada zbyt szybko po wyłączeniu silnika, co wskazuje na nieszczelność zbiornika lub zaworu odwadniającego.

W ramach obwodu zasilania VADEN ORIGINAL dostarcza sprężarki, osuszacze oraz wkłady osuszające, zapewniając powtarzalną jakość powietrza i długą żywotność całego układu.

Zespół	Funkcja w obwodzie zasilania	VADEN ORIGINAL category
Sprężarka powietrza	Wytwarza sprężone powietrze napędzana od silnika	Air Compressor
Osuszacz powietrza	Usuwa wilgoć i olej, prowadzi cykl przedmuchu	Air Dryer
Wkład osuszający	Granulat pochłaniający parę wodną, element wymienny	Air Dryer Cartridge

Obwód hamulca roboczego (obwód uruchamiający)

Obwód hamulca roboczego to ta część układu pneumatycznego, która na żądanie kierowcy zamienia sprężone powietrze zgromadzone w zbiornikach na siłę hamowania przy kołach. Naciśnięcie pedału nie działa bezpośrednio na koła — uruchamia jedynie zawór, który dozuje powietrze proporcjonalnie do siły nacisku. Sygnał pneumatyczny biegnie następnie przez zawory sterujące do siłowników hamulcowych przy każdej osi, a te poprzez mechanizm rozpierający dociskają okładziny do bębna lub tarczy. Poniżej opisano kolejno elementy, przez które przechodzi ten sygnał.

Nożny zawór hamulcowy dwuobwodowy

Sercem sterowania jest nożny zawór hamulcowy (zawór hamulca głównego), umieszczony pod pedałem. Ma on budowę dwuobwodową: jedna sekcja steruje osią przednią, druga osiami tylnymi, dzięki czemu awaria jednego obwodu nie pozbawia pojazdu hamowania w drugim. Zawór ten pracuje proporcjonalnie — im mocniej kierowca naciska pedał, tym wyższe ciśnienie sterujące przekazuje dalej, co daje płynne dawkowanie siły hamowania.

Zawory przekaźnikowe

Ponieważ przewód od pedału do tylnej osi jest długi, sam sygnał z zaworu nożnego napełniałby odległe siłowniki zbyt wolno. Zawór przekaźnikowy rozwiązuje ten problem: odbiera cienkim przewodem sygnał sterujący, a powietrze robocze pobiera z pobliskiego zbiornika i krótką drogą, dużym przekrojem podaje do siłowników. Skraca to czas reakcji i wyrównuje hamowanie na całej długości pojazdu oraz zestawu z przyczepą.

Zawory szybkiego spustu

Aby hamulce puszczały równie szybko, jak się zaciskały, w obwodzie stosuje się zawory szybkiego spustu (szybkiego odpowietrzania). Po zwolnieniu pedału odprowadzają one powietrze z siłowników wprost do atmosfery, tuż przy nich, zamiast zawracać je długim przewodem do zaworu nożnego. Dzięki temu koła są natychmiast odblokowane.

Siłowniki hamulcowe (membranowe)

Siłownik membranowy zamienia ciśnienie powietrza na siłę mechaniczną. Doprowadzone powietrze naciska na elastyczną membranę, ta ugina się i wypycha popychacz (tłoczysko) na zewnątrz. Siła popychacza jest wprost proporcjonalna do ciśnienia i do powierzchni membrany. Popychacz działa dalej na mechanizm rozpierający koła.

Automatyczne regulatory luzu (skoku)

Popychacz siłownika nie działa na krzywkę bezpośrednio, lecz poprzez dźwignię — automatyczny regulator luzu. Dźwignia ta zwielokrotnia siłę (działa jak ramię dźwigni), a jednocześnie automatycznie kasuje nadmierny skok jałowy powstający w miarę zużywania się okładzin. Utrzymanie stałego, niewielkiego luzu jałowego zapewnia szybką reakcję hamulca i równomierne hamowanie wszystkich kół.

Rozpierzacz krzywkowy typu S, bęben i szczęki

W hamulcu bębnowym regulator obraca wałek zakończony krzywką w kształcie litery S. Obracająca się krzywka S rozpira dwie szczęki hamulcowe, dociskając ich okładziny do wewnętrznej powierzchni wirującego bębna. Powstałe tarcie wytraca energię kinetyczną i zatrzymuje koło. Po zwolnieniu hamulca sprężyny odciągają szczęki od bębna.

Wariant z hamulcem tarczowym

Coraz częściej zamiast bębna stosuje się pneumatyczny hamulec tarczowy. Popychacz siłownika działa tu na mechanizm zacisku sterowanego pneumatycznie (zaciskowego), który przez wewnętrzną przekładnię dociska klocki do obracającej się tarczy z obu stron. Rozwiązanie to zapewnia lepsze odprowadzanie ciepła, stabilniejszą siłę hamowania i łatwiejszą obsługę, przy zachowaniu tej samej zasady sterowania powietrzem.

Droga sygnału od pedału do koła

Podsumowując przepływ: pedał → nożny zawór hamulcowy → (zawór przekaźnikowy) → siłownik membranowy → popychacz → automatyczny regulator luzu → krzywka S lub zacisk → okładziny → bęben/tarcza. VADEN ORIGINAL dostarcza kluczowe elementy tego obwodu — siłowniki hamulcowe, zawory oraz regulatory luzu — w jakości odpowiadającej częściom oryginalnym.

Element obwodu roboczego	Funkcja	VADEN ORIGINAL category
Nożny zawór hamulcowy dwuobwodowy	Dozuje ciśnienie sterujące proporcjonalnie do nacisku pedału	Foot Brake Valve
Zawór przekaźnikowy	Przyspiesza napełnianie odległych siłowników z pobliskiego zbiornika	Relay Valve
Zawór szybkiego spustu	Szybko odpowietrza siłowniki po zwolnieniu pedału	Quick Release Valve
Siłownik membranowy	Zamienia ciśnienie powietrza na siłę popychacza	Brake Chamber
Automatyczny regulator luzu	Zwielokrotnia siłę i kasuje nadmierny skok jałowy	Automatic Slack Adjuster

Hamulce postojowe i awaryjne (sprężynowe)

Układ hamulca postojowego i awaryjnego w pojazdach ciężarowych opiera się na siłownikach sprężynowych. W przeciwieństwie do siłowników roboczych, w których siłę hamowania wytwarza sprężone powietrze, tutaj hamowanie zapewnia potężna sprężyna śrubowa. Rozwiązanie to gwarantuje bezpieczeństwo funkcjonalne (fail-safe): pojazd zostaje unieruchomiony nawet po całkowitej utracie ciśnienia w instalacji.

Budowa i zasada działania siłownika sprężynowego

Siłownik sprężynowy stanowi zwykle drugą, tylną komorę siłownika kombinowanego (podwójnego). Wewnątrz znajduje się silna sprężyna, która stale dąży do wysunięcia drążka i zaciśnięcia hamulca. Podczas jazdy sprężyna jest utrzymywana w stanie ściśniętym (zwolnionym) przez ciśnienie powietrza doprowadzone do komory sprężynowej. Innymi słowy: to powietrze trzyma hamulec „odpuszczony”, a nie zaciśnięty.

Zadziałanie awaryjne i przy zerwaniu sprzęgu

Zaciągnięcie zaworu ręcznego hamulca postojowego odpowietrza komorę sprężynową — sprężyna rozpręża się i zaciska hamulec. Ta sama zasada zapewnia hamowanie awaryjne: każdy spadek ciśnienia poniżej wartości granicznej (nieszczelność, uszkodzenie przewodu) powoduje samoczynne zadziałanie sprężyn. W przyczepie realizuje to funkcja zabezpieczenia przed zerwaniem (breakaway) — oderwanie przyczepy przerywa zasilanie i natychmiast ją unieruchamia.

Zabezpieczenie przed sumowaniem sił oraz zawór inwersyjny

Jeśli kierowca wciśnie pedał hamulca roboczego, gdy sprężyna jest już rozprężona, na jeden mechanizm zadziałałyby dwie siły jednocześnie, przeciążając drążki i szczęki. Zapobiega temu funkcja anti-compounding: zawór zapobiegający sumowaniu sił kieruje ciśnienie robocze także do komory sprężynowej, ściskając sprężynę, tak aby wypadkowa siła nie przekroczyła wartości dopuszczalnej. Zawór inwersyjny (zawór odblokowania hamulca postojowego) odwraca sygnał sterujący i doprowadza powietrze do zwolnienia sprężyn, umożliwiając kontrolowane zwolnienie hamulca postojowego przyczepy.

Bezpieczne mechaniczne odblokowanie siłownika (do serwisu)

Aby wykonać obsługę bez ciśnienia w instalacji, sprężynę należy mechanicznie zwolnić za pomocą śruby odblokowującej:

- Zabezpiecz pojazd klinami — mechaniczne zwolnienie sprężyny znosi hamowanie postojowe.
- Wyjmij śrubę odblokowującą wraz z nakrętką i podkładką z gniazda w korpusie siłownika.
- Włóż śrubę w otwór denny i obróć o ćwierć obrotu, aby zablokowała się w tłoku.
- Dokręcaj nakrętkę kluczem, aż sprężyna zostanie ściśnięta, a drążek się cofnie.
- Po zakończeniu prac odwróć czynności i przywróć zasilanie powietrzem.

Uwaga bezpieczeństwa: ściśnięta sprężyna magazynuje ogromną energię. Nigdy nie rozcinaj ani nie demontuj korpusu siłownika sprężynowego — grozi to gwałtownym wyrzuceniem elementów i ciężkim urazem. Zawsze używaj oryginalnej śruby odblokowującej i wymieniaj siłownik jako kompletną jednostkę.

Zastosowanie	Kategoria produktu VADEN ORIGINAL
Siłownik postojowo-awaryjny	Spring Brake Chamber
Siłownik kombinowany (roboczy + sprężynowy)	Double Diaphragm Spring Brake Chamber
Sterowanie hamulcem postojowym	Hand Brake Valve
Zwolnienie sprężyn przyczepy	Park Release / Inversion Valve
Zabezpieczenie przed sumowaniem sił	Anti-Compound Valve
Szybkie odpowietrzenie komory	Quick Release Valve

Load Sensing & Air Suspension Control

Skuteczność i stabilność układu hamulcowego pojazdu użytkowego zależą nie tylko od siły nacisku na pedał, ale przede wszystkim od tego, jak ciśnienie hamowania rozkłada się względem rzeczywistego obciążenia osi. Ciężarówka, autobus czy naczepa mogą jechać puste lub w pełni załadowane, a różnica masy przypadającej na oś potrafi być kilkukrotna. Dlatego nowoczesne układy pneumatyczne wyposaża się w regulację siły hamowania zależną od obciążenia oraz w sterowanie wysokością zawieszenia pneumatycznego.

Korektor siły hamowania zależny od obciążenia (ALB)

Zawór korygujący siłę hamowania w funkcji obciążenia, oznaczany jako ALB (automatic load-dependent braking), dozuje ciśnienie doprowadzane do siłowników hamulcowych proporcjonalnie do nacisku na oś. W pojeździe z zawieszeniem mechanicznym (resory piórowe) sygnałem wejściowym jest ugięcie mierzone cięgiem łączącym zawór z osią; w pojeździe z zawieszeniem pneumatycznym korektor odczytuje ciśnienie w miechach powietrznych. Przy pełnym załadunku zawór przepuszcza pełne ciśnienie sterujące, a przy pustym pojeździe odpowiednio je ogranicza, tak aby koła nie blokowały się przedwcześnie.

Zawór poziomujący i ECAS

Zawór poziomujący (levelling valve) utrzymuje stałą wysokość nadwozia nad osią, napełniając miechy powietrzem przy dołożeniu ładunku i wypuszczając je przy jego ubytku. W układach elektronicznych funkcję tę przejmuje ECAS (Electronically Controlled Air Suspension), gdzie czujniki wysokości przekazują dane do ECU, a ten steruje elektrozaworami. Poprawna wysokość jazdy to nie tylko komfort — decyduje o właściwej geometrii, pracy zawieszenia oraz o wiarygodności sygnału obciążenia przekazywanego do układu hamulcowego, także w systemach ABS i EBS.

Dlaczego hamowanie proporcjonalne do obciążenia jest istotne

- Zapobiega blokowaniu i utracie przyczepności kół osi lekko obciążonych, ograniczając ryzyko poślizgu i złożenia zestawu.
- Wyrównuje udział poszczególnych osi w hamowaniu, co skraca drogę zatrzymania i poprawia stabilność kierunkową.
- Zmniejsza nierównomierne zużycie okładzin i tarcz oraz przeciążenie termiczne hamulców jednej osi.
- Stanowi bazę dla poprawnego działania nadrzędnych systemów ABS i EBS, które korzystają z informacji o obciążeniu.

VADEN ORIGINAL dostarcza zawory korygujące ALB oraz zawory poziomujące zapewniające prawidłowe dozowanie ciśnienia i stabilną wysokość zawieszenia w ciągnikach, autobusach i naczepach.

VADEN ORIGINAL category	Funkcja w układzie
ALB (Load Sensing) Valves	Regulacja ciśnienia hamowania proporcjonalnie do obciążenia osi (ALB)
Levelling Valves	Utrzymanie stałej wysokości nadwozia w zawieszeniu pneumatycznym, współpraca z ECAS

Elektroniczne układy hamulcowe ABS i EBS

Nowoczesne pneumatyczne układy hamulcowe pojazdów ciężarowych, autobusów i naczep są dziś nadzorowane elektronicznie. Dwa podstawowe rozwiązania to ABS (układ zapobiegający blokowaniu kół) oraz jego rozwinięcie — EBS (elektroniczny układ hamulcowy). Oba korzystają z tych samych elementów bazowych: czujników prędkości obrotowej kół, zaworów modulatorów i sterownika, lecz różnią się sposobem sterowania ciśnieniem hamowania.

Jak działa ABS

Sercem ABS są czujniki prędkości obrotowej koła. Każdy czujnik współpracuje z pierścieniem wzbudającym (kołem impulsowym) osadzonym na piaście. Zęby obracającego się pierścienia indukują w czujniku sygnał zmienny, którego częstotliwość odpowiada prędkości obrotowej koła. Sterownik ECU nieustannie porównuje sygnały ze wszystkich kół i wykrywa, kiedy koło zaczyna się blokować podczas gwałtownego hamowania.

Gdy grozi zablokowanie, ECU steruje zaworem modulatora ABS umieszczonym w przewodzie zasilającym cylinder hamulcowy danego koła. Logika sterownika realizuje trzy fazy pracy:

- **Zwolnienie ciśnienia (release)** — modulator upuszcza część powietrza, aby koło ponownie zaczęło się toczyć;
- **Utrzymanie ciśnienia (hold)** — modulator odcina dopływ, stabilizując siłę hamowania;
- **Ponowne dociśnięcie (re-apply)** — modulator przywraca ciśnienie do granicy przyczepności.

Cykl ten powtarza się wielokrotnie na sekundę, dzięki czemu koła nie blokują się, a kierowca zachowuje sterowność i skraca drogę hamowania na śliskiej nawierzchni. Prawidłowe działanie sygnalizuje kierowcy lampka kontrolna ABS: zapala się na chwilę po włączeniu zapłonu (autotest), a jej ponowne zaświecenie w trakcie jazdy oznacza usterkę i przejście układu w tryb awaryjny — sam hamulec roboczy działa wtedy jak w pojeździe bez ABS.

EBS — elektroniczny układ hamulcowy

EBS idzie o krok dalej: żądanie hamowania jest przesyłane do modulatorów sygnałem elektronicznym („brake-by-wire”), a nie jak dawniej wyłącznie ciśnieniem powietrza. Obwód pneumatyczny pełni rolę rezerwową. Dzięki temu EBS zapewnia znacznie krótszy czas reakcji, precyzyjniejsze dozowanie siły na poszczególnych osiach oraz płynniejszą współpracę ciągnika z naczepą.

Najważniejsze różnice względu do samego ABS:

- elektroniczne przekazywanie sygnału hamowania zamiast opóźnienia pneumatycznego;
- zintegrowane funkcje ASR (kontrola trakcji) oraz kontroli stateczności toru jazdy;
- elektroniczny rozdział siły hamowania w miejsce mechanicznego korektora ALB;
- stała diagnostyka i sygnalizacja stopnia zużycia okładzin.

W praktyce ABS jedynie zapobiega blokowaniu kół w sytuacji awaryjnej, natomiast EBS aktywnie zarządza całym procesem hamowania — od pierwszego dotknięcia pedału po stabilizację zestawu drogowego.

Modulatory i czujniki w ofercie VADEN ORIGINAL

VADEN ORIGINAL dostarcza kompletny zakres elementów elektronicznych układów hamulcowych — zarówno modulatory ABS/EBS, jak i czujniki prędkości obrotowej kół — dopasowane do popularnych ciągników, autobusów i nacze.

VADEN ORIGINAL category	Funkcja w układzie
ABS/EBS Modulator Valves	Regulacja ciśnienia w cyklu zwolnienie/utrzymanie/dociśnięcie na osi lub kole
Wheel Speed Sensors	Pomiar prędkości obrotowej koła współpracujący z pierścieniem wzbudzającym
ABS Sensor Cables & Clamping Bushes	Połączenie czujnika z ECU oraz pewne osadzenie w piaście

Obwód hamulcowy przyczepy

W zestawie drogowym hamowanie musi zostać przeniesione z pojazdu ciągnącego na przyczepę lub naczepę pneumatycznie, ponieważ oba pojazdy nie mają wspólnej instalacji mechanicznej. Sprzężenie realizują dwa niezależne przewody powietrzne, a nadzoruje je zawór zabezpieczający ciągnika (tractor protection valve). Zawór ten oddziela układ ciągnika od przyczepy i w razie utraty ciśnienia w zestawie samoczynnie zamyka zasilanie, chroniąc zbiorniki pojazdu silnikowego przed całkowitym opróżnieniem.

Główki złączne i przewody sterujące

Połączenie odbywa się przez dwie główki sprzęgające (gladhand). Główna **czzerwona** to przewód zasilający i awaryjny (supply/emergency) — dostarcza sprężone powietrze do napełnienia zbiorników przyczepy. Główna **żółta** to przewód sterujący i roboczy (service/control) — przenosi sygnał ciśnieniowy proporcjonalny do siły nacisku na pedał hamulca. Oba przewody są oznaczone kolorami i mają różne profile złączy, aby uniemożliwić ich zamianę podczas sprzęgania.

Sterowanie i wykonanie hamowania w przyczepie

Sygnał do przewodu żółtego wysyła zawór sterujący hamulcem przyczepy (trailer control valve), który reaguje na hamulec zasadniczy, a często również na osobny zawór ręczny w kabinie, pozwalający hamować samą przyczepę. Po stronie przyczepy sygnał ten trafia do zaworu przekaźnikowego (relay valve). Zawór przekaźnikowy nie steruje bezpośrednio, lecz otwiera dużą, krótką drogę powietrza z lokalnych zbiorników przyczepy do siłowników hamulcowych, dzięki czemu reakcja i zwolnienie hamulców są szybkie mimo dużej odległości od ciągnika. Powietrze robocze napełnia komory siłowników, a te przez drążki i mechanizm rozpierają szczęki lub dociskają klocki.

Zachowanie awaryjne przy zerwaniu przyczepy

Kluczową cechą tego układu jest bezpieczeństwo przy rozłączeniu. Jeżeli przyczepa oderwie się od ciągnika lub pęknie przewód czerwony, ciśnienie w linii zasilającej gwałtownie spada. Utrata tego ciśnienia powoduje samoczynne zadziałanie zaworu awaryjnego przyczepy, który kieruje zapas powietrza ze zbiorników przyczepy wprost do siłowników. Przyczepa hamuje wtedy samodzielnie, nawet całkowicie odłączona od pojazdu ciągnącego, i zatrzymuje się bez udziału kierowcy. To pasywne, „bezpieczne w razie awarii” działanie jest fundamentem konstrukcji pneumatycznych układów hamulcowych i wymaganiem prawnym w pojazdach ciężarowych.

Podzespoły VADEN ORIGINAL w obwodzie przyczepy

Funkcja w obwodzie	VADEN ORIGINAL category
Oddzielenie i ochrona układu ciągnika	Tractor Protection Valve
Sprzęganie przewodów czerwonego i żółtego	Gladhand Coupling Head
Sterowanie hamulcem przyczepy z ciągnika	Trailer Control Valve
Szybkie napełnianie i opróżnianie siłowników	Relay Valve
Wykonanie siły hamowania na osiach	Brake Chamber
Lokalny zapas sprężonego powietrza	Air Reservoir

Diagnostyka usterek i konserwacja

Niezawodne działanie pneumatycznego układu hamulcowego zależy od regularnej diagnostyki i planowej obsługi technicznej. Poniższa tabela zestawia najczęstsze objawy usterek z ich prawdopodobnymi przyczynami oraz zalecanymi czynnościami kontrolnymi i naprawczymi. W pojazdach wyposażonych w ABS, EBS lub ALB część usterek sygnalizowana jest elektronicznie, dlatego diagnostykę należy zawsze rozpoczynać od odczytu kodów błędów testerem, zanim przejdzie się do kontroli mechanicznej i pneumatycznej.

Objaw	Prawdopodobna przyczyna	Kontrola i naprawa
Powolny wzrost ciśnienia powietrza	Zużyta sprężarka o obniżonej wydajności, zapchany osuszacz powietrza, nieszczelności w układzie, zwężone lub załamane przewody, zbyt nisko ustawiony regulator ciśnienia.	Sprawdzić wydajność sprężarki i drożność przewodów, wymienić wkład osuszacza, zlokalizować i usunąć nieszczelności, skontrolować progi załączania i wyłączenia regulatora ciśnienia.
Nadmiar wilgoci (wody) w zbiornikach	Nasycony lub uszkodzony wkład osuszacza, brak fazy regeneracji (przedmuchu) osuszacza, nieregularne odwadnianie zbiorników.	Wymienić wkład osuszacza, sprawdzić zawór regeneracyjny i przebieg przedmuchu, regularnie spuszczać kondensat ze zbiorników sprężonego powietrza.
Hamulce ocierają lub nie zwalniają	Zatarty regulator luzu, osłabione sprężyny powrotne, zablokowany zawór przełącznikowy lub zawór szybkiego spustu, skorodowany siłownik hamulcowy, brak odpowietrzenia.	Sprawdzić odpowietrzanie na zaworze hamulcowym i przełącznikowym, uwolnić lub wymienić regulator luzu, wymienić sprężyny powrotne, przeprowadzić przegląd siłowników hamulcowych.
Słyszalny wyciek powietrza (nieszczelność)	Nieszczelne złącze lub przewód, zużyte uszczelnienia zaworów (zawór hamulcowy, zawór przełącznikowy), uszkodzona membrana siłownika.	Wykonać próbę wodą z mydłem, zlokalizować miejsce ujścia powietrza i wymienić uszkodzone złącze, przewód, zawór lub membranę siłownika.
Lampka ostrzegawcza ABS nie gaśnie	Uszkodzony czujnik prędkości koła, uszkodzony wieniec impulsowy (pierścień ABS), przerwa w okablowaniu, usterka ECU, zbyt niskie napięcie zasilania.	Odczytać kody błędów testerem diagnostycznym, sprawdzić szczelinę i okablowanie czujnika, skontrolować wieniec impulsowy oraz napięcie zasilania sterownika ECU.
Ostrzeżenie o niskim ciśnieniu / brzęczyk	Ciśnienie robocze poniżej progu, nieszczelność w układzie, sprężarka nie napełnia zbiorników, uszkodzony czujnik lub wyłącznik ciśnieniowy.	Sprawdzić ciśnienie w układzie manometrem, zlokalizować nieszczelności, skontrolować sprężarkę oraz wyłącznik i czujnik ciśnienia.
Nierównomierne hamowanie lub ściąganie pojazdu	Nierówny skok siłowników i źle wyregulowane regulatory luzu, okładziny zanieczyszczone olejem lub smarem, zatarty wał krzywkowy (krzywka S), nierównomierne zużycie okładzin i bębnow, wadliwy zawór ALB (korektor siły hamowania).	Wyrównać skok tłoczków siłowników za pomocą regulatorów luzu, sprawdzić okładziny i bębny, skontrolować tuleje wału krzywkowego, zweryfikować ustawienia ALB oraz EBS.

Interwały obsługowe

- **Spuszczanie kondensatu ze zbiorników** — regularnie odwadniać zbiorniki sprężonego powietrza, aby usunąć nagromadzoną wodę i olej; przy braku sprawnego osuszacza czynność wykonywać codziennie.
- **Wymiana wkładu osuszacza powietrza** — wymieniać wkład zgodnie z zaleceniami producenta (zwykle raz w roku lub po określonym przebiegu), aby utrzymać suche powietrze w układzie.
- **Kontrola luzu jałowego regulatora luzu** — sprawdzać skok jałowy dźwigni z regulatorem luzu oraz prawidłowe działanie automatycznej regulacji odstępu.

- **Kontrola skoku tłoczyska siłownika** — mierzyć skok tłoczyska siłowników hamulcowych i utrzymywać go w zakresie zalecanym przez producenta.
- **Przegląd okładzin i bębnow** — kontrolować grubość okładzin oraz stan bębnow i tarcz pod kątem zużycia, pęknięć i przegrzania.

Skrócony przegląd komponentów i słowniczek

Komponent	Funkcja	Kategoria VADEN ORIGINAL
Sprężarka powietrza	Wytwarza sprężone powietrze zasilające cały układ hamulcowy.	Air Compressors
Regulator ciśnienia (governor)	Utrzymuje ciśnienie robocze, sterując cyklami obciążania i odciążania sprężarki.	Pressure Regulators
Osuszacz powietrza / wkład	Usuwa wilgoć i olej ze sprężonego powietrza, chroniąc zawory przed korozją i zamarzaniem.	Air Dryers & Cartridges
Zawór odciążający	Odprowadza nadmiar powietrza i odciąża sprężarkę po osiągnięciu ciśnienia wyłączenia.	Unloader Valves
Zawór przekaźnikowy	Przyspiesza napełnianie i opróżnianie siłowników, skracając czas reakcji hamulców.	Relay Valves
Zawór szybkiego spustu	Umożliwia szybkie odpowietrzenie siłowników po zwolnieniu hamulca.	Quick Release Valves
Siłownik hamulcowy (membranowy)	Zamienia ciśnienie powietrza na siłę mechaniczną uruchamiającą hamulec roboczy.	Brake Chambers
Siłownik sprężynowy (postojowy)	Zaciąga hamulec postojowy i awaryjny siłą sprężyny przy braku ciśnienia.	Spring Brake Chambers
Regulator luzu hamulcowego (dźwignia)	Przenosi siłę na wałek rozpieracza i kompensuje zużycie okładzin, utrzymując stały skok.	Slack Adjusters
Zawór korekcyjny siły hamowania (ALB)	Dostosowuje ciśnienie hamowania osi do rzeczywistego obciążenia pojazdu.	Load Sensing Valves
Zawór poziomujący	Reguluje ciśnienie w miechach zawieszenia, utrzymując stałą wysokość pojazdu.	Levelling Valves
Modulator ABS/EBS	Reguluje ciśnienie w obwodach kół, zapobiegając ich blokowaniu podczas hamowania.	ABS/EBS Modulators
Hamulec wydechowy (silnikowy)	Spowalnia pojazd oporem spalin, odciążając hamulce zasadnicze.	Exhaust Brakes
Siłownik sprzęgła (serwo)	Wspomaga wysprzęglanie, zmniejszając siłę nacisku na pedał sprzęgła.	Clutch Servos

Słowniczek

- **cut-in/cut-out** — Ciśnienie załączania (cut-in) i wyłączania (cut-out): dolny i górny próg, przy których regulator ciśnienia ponownie obciąża lub odciąża sprężarkę, utrzymując ciśnienie robocze w zadanym zakresie (zwykle ok. 8–12,5 bar).

- **wet tank** — Zbiornik wstępny, zwany „mokrym”: pierwszy zbiornik za sprężarką i osuszaczem, który gromadzi resztki skroplin oraz oleju, chroniąc obwody robocze; wymaga okresowego odwadniania.
- **S-cam** — Krzywka w kształcie litery „S” w hamulcu bębnowym. Obracana przez wałek rozpieracza rozsuwa szczęki, dociskając okładziny do bębna.
- **gladhand** — Główna sprzęgająca łącząca przewody pneumatyczne ciągnika i naczepy — osobno dla obwodu zasilającego i sterującego, z uszczelką oraz zatraskiem zabezpieczającym.
- **anti-compounding** — Zabezpieczenie przed sumowaniem sił hamowania: układ zaworów zapobiegający jednoczesnemu działaniu hamulca roboczego i sprężynowego na ten sam siłownik, co mogłoby przeciążyć elementy mechaniczne.
- **free-stroke** — Skok jałowy siłownika: droga tłoczyska, zanim okładziny zetkną się z bębniem lub tarczą. Nadmierny skok jałowy oznacza zbyt duży luz i pogorszenie skuteczności hamowania.
- **ALB** — Automatyczny korektor siły hamowania dostosowujący ciśnienie w hamulcach osi do rzeczywistego obciążenia pojazdu, co ogranicza blokowanie kół przy małym załadunku.
- **fail-safe** — Zasada bezpieczeństwa układu: w razie spadku ciśnienia hamulec sprężynowy samoczynnie zaciąga koła siłą sprężyny, dzięki czemu awaria zasilania zatrzymuje pojazd, a nie go zwalnia.