

# HAMULCE ELEKTRYCZNE W POJAZDACH SAMOCHODOWYCH

Radosław GMYZ<sup>1</sup>, Mirosław ŚMIESZEK<sup>2</sup>

Praca opisuje obszar zastosowań hamulców elektrycznych stosowanych we współczesnych pojazdach samochodowych oraz w przyczepach. Przedstawiona jest rola hamulców w pojazdach oraz te aspekty pracy układów konwencjonalnych, które ujęte w zestawieniu z hamulcami elektrycznymi wskazują na korzyści wynikające z ich wprowadzenia w pojazdach samochodowych. Opisane są ponadto konstrukcje układów hamulcowych wykorzystujące rozwiązania oparte o hamulce elektryczne.

Work describes the area of uses of electric brakes applied in present car vehicles as well as in trailers. The part of brakes be introduced in vehicles as well as these aspects of work of conventional braking system captured in composition from electric brakes which show on resulting with their introduction in car vehicles advantages. Described are moreover the constructions of brake arrangements the using leaning about electric brakes solutions.

## 1. Wstęp

Od nowoczesnych konstrukcji pojazdów samochodowych wymaga się aby były bezpieczne i możliwie łatwe w użytkowaniu. Oznacza to potrzebę poprawy efektywności funkcjonujących obecnie układów oraz stałego rozwoju nowych systemów bezpieczeństwa w pojazdach. Jednym z podstawowych czynników wpływających na bezpieczne zachowanie pojazdu w ruchu drogowym jest jego zdolność do wytracania prędkości. Należy przy tym zaznaczyć, że zarówno warunki jak i parametry ruchu pojazdu nie zawsze są ustalone a zatem proces hamowania może okazać się trudny w realizacji, niejednokrotnie zaskakując kierowcę. Dążenia w odniesieniu do metody działania układów hamulcowych należy zatem kształtować tak, aby spełniając warunek łatwości użytkowania zapewnić najwyższą skuteczność, niezależną od warunków ruchu. Obserwując postęp w dziedzinie rozwoju elektronicznych systemów sterowania i regulacji można stwierdzić, iż stosowany obecnie łańcuch mechanicznego oddziaływania w układzie hamulcowym jest przyczyną znacznych ograniczeń. Aby niwelować ich ujemny wpływ na proces hamowania wprowadza się dodatkowe, złożone systemy regulacji ingerujące w pracę układu hamulcowego. Perspektywa użycia nośnika energii w postaci ładunków elektrycznych zapowiada znaczną swobodę zarówno, co do kształtowania procesu hamowania, jak i opóźniania pojazdu.

## 2. Rola hamulców w pojeździe

Pojazd pozostający w ruchu obdarzony jest energią kinetyczną, której wartość zależy od jego masy i prędkości. Stosowanym powszechnie sposobem na jej rozproszenie jest wygenerowanie ciepła będącego następstwem procesu tarcia. Służy do tego układ hamulcowy, którego celem jest zatrzymanie jadącego pojazdu, zmniejszenie prędkości jazdy oraz unieruchomienie go podczas postoju. Wykorzystując do tego celu przyczepność opon do nawierzchni, system hamulcowy wytwarza siłę tarcia pomiędzy wirującym elementem powiązany z kołem jezdny a nieruchomym elementem konstrukcji pojazdu. Tworzy się w tym celu pary cierne, najczęściej klocek hamulcowy - tarcza hamulcowa, lub okładzina szczęki hamulcowej - bęben hamulcowy i wywiera nacisk za pośrednictwem ciśnienia statycznego cieczy lub mechanicznego naciągu. Aby poprawić kierowalność w ruchu

---

<sup>1</sup> mgr inż. Radosław Gmyz - Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, doktorant, ul. W. Pola 2, PL – 35 959 Rzeszów

<sup>2</sup> dr hab. inż. Mirosław Śmieszek Prof. PRz - Politechnika Rzeszowska, Wydział Zarządzania, ul. W. Pola 2, PL – 35 959 Rzeszów

krzywoliniowym podczas hamowania stosuje się dodatkowo układ przeciwblokujący ABS(ang. Anti-Lock Braking System).

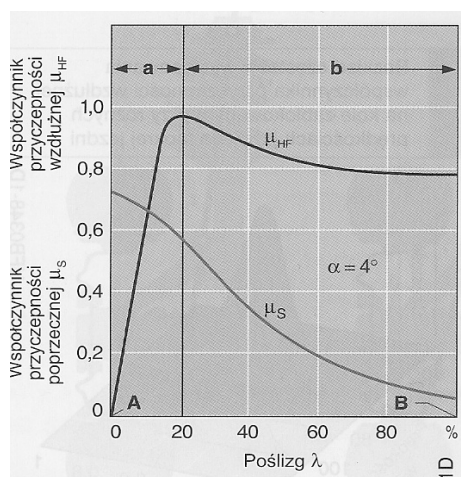
Główne wymagania dotyczące budowy układów hamulcowych i ich własności oraz metod badania są zamieszczone w jednolitych przepisach dotyczących homologacji pojazdów kategorii M, N i O w zakresie hamowania (Regulamin nr 13 EKG ONZ) [1]. W szczegółowych ustaleniach zawartych w normie PN-ISO 611 z 1997 roku opisano następujące rodzaje hamulców:

- roboczy (zasadniczy), który umożliwia kierowcy zmniejszanie prędkości pojazdu lub jego zatrzymanie;
- awaryjny (pomocniczy), uruchamiany w sposób niezależny, w przypadku awarii roboczego;
- postojowy, służący do utrzymywania samochodu w spoczynku, także na wzniesieniu, a w szczególności w czasie nieobecności kierowcy;
- dodatkowy, zwalniający (zwalniacz), który pozwala kierowcy na utrzymywanie stałej prędkości ruchu samochodu lub jej zmniejszanie, szczególnie na długim spadku drogi;
- automatyczny.

Według PN-S8/S-47000 za miarę skuteczności działania hamulców przyjmuje się przede wszystkim długość drogi hamowania i średnie opóźnienie hamowania, osiągane przy użyciu hamulca roboczego.

### 3. Charakterystyka pracy układu hamulcowego

Klasyczny układ hamulcowy wykorzystujący przyrost siły w procesie opóźniania pojazdu jest powszechny w nowoczesnych pojazdach. Posiada jednakże pewne wady, które zadecydowały o wprowadzeniu wielu dodatkowych systemów korygujących i wspomagających przebieg procesu hamowania. Rozważając sterowanie nim należałoby zagwarantować stateczność i kierowność w każdych warunkach drogowych, a to z punktu widzenia kierowcy podejmującego manewr hamowania, nie zawsze będzie osiągalne. Spełnienie tego założenia jest możliwe wyłącznie wtedy, gdy przyczepność danego koła do podłoża będzie maksymalna. Analizując rysunek 1 widzimy, że zwiększając poślizg koła a więc siłę przykładaną przez kierowcę do pedału hamulca zdecydowanie zmniejszamy zarówno współczynnik przyczepności wzdłużnej  $\mu_{HF}$  jak i poprzecznej  $\mu_S$ .

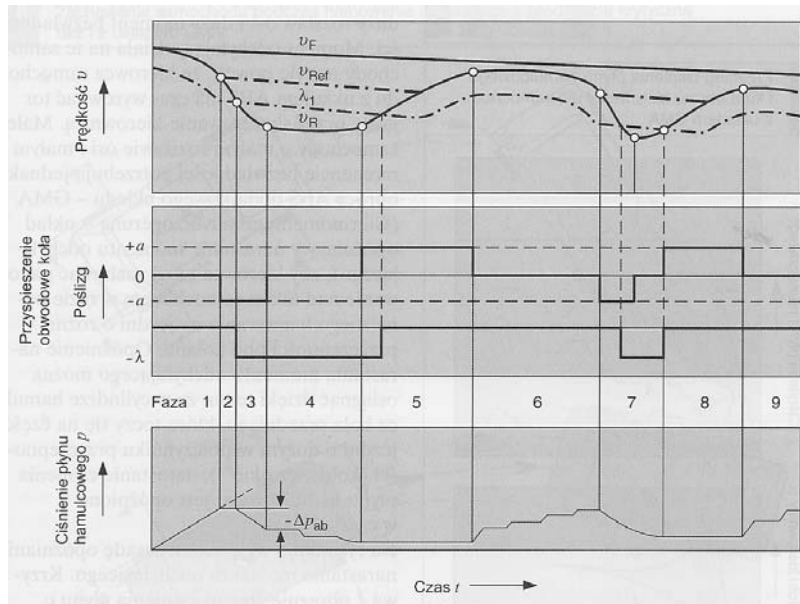


Rys.1. Zależność współczynnika przyczepności wzdłużnej  $\mu_{HF}$  i poprzecznej  $\mu_S$  od poślizgu [2]  
a - zakres stateczności, b – zakres niestateczności,  $\alpha$  – kąt boczny znoszenia, A - koło toczące się swobodnie

Niejednokrotnie awaryjne hamowanie pojazdem wyklucza precyzyjną regulację siły nacisku na pedał hamulca a to prowadzi do uślizgu kół. Podczas jazdy przy dużych prędkościach i

przy niesprzyjających warunkach atmosferycznych wspomniana, zbyt mała, wartość współczynnika tarcia może doprowadzić do zablokowania kół hamowanych, które w konsekwencji nie mogą przenosić sił bocznych, a pojazd traci kierowność.

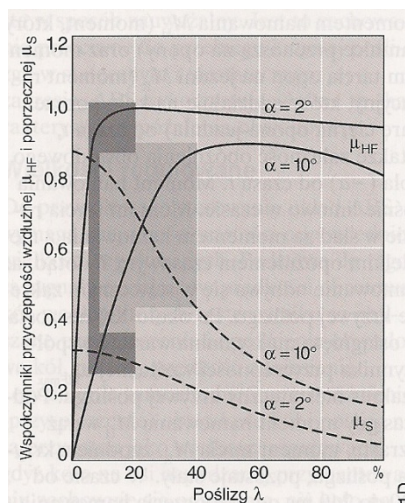
Wprowadzenie układu przeciwblokującego ABS miało na celu zapewnienie maksymalnego współczynnika przyczepności między kołami i jezdnią podczas hamowania. Konstrukcyjnie jednak, zagwarantowanie płynnej regulacji w systemie przeciwblokującym nie jest możliwe i wynika z faktu okresowego wzrostu, utrzymania i spadku ciśnienia roboczego w rozpieraczach układu hamulcowego (rys.2).



Rys.2. Sterowanie procesem hamowania przez układ ABS [2]

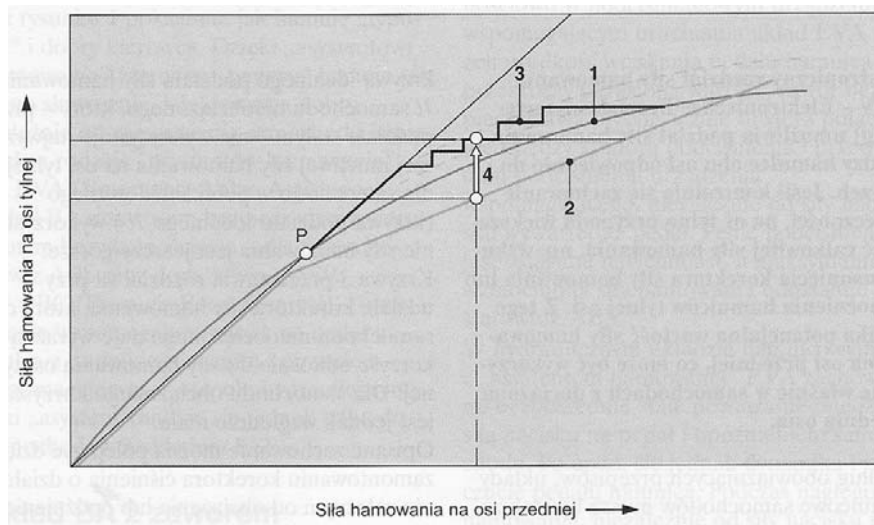
$v_F$  - prędkość samochodu,  $v_{Ref}$  - prędkość odniesienia,  $v_R$  - prędkość obwodowa koła,  $\lambda_1$  - wartość progowa poślizgu,  $-\Delta p_{ab}$  - spadek ciśnienia płynu hamulcowego

Uwzględniając dodatkowo fakt, iż w przypadku pojawienia się kąta znoszenia bocznego zmienia się zakres poślizgu koła gwarantujący maksymalne współczynniki przyczepności (rys.3), skokowo zmieniające się ciśnienie w układzie prowadzi do zmniejszenia precyzji w utrzymaniu maksymalnych współczynników przyczepności wzdłużnej i poprzecznej. Zastosowanie płynnej regulacji wynikającej ze zmiany metody kształtowania siły tarcia poprawiło by precyzję działania w całym zakresie pracy układu.



Rys.3. Zależność współczynnika przyczepności wzdłużnej  $\mu_{HF}$  i poprzecznej  $\mu_S$  od poślizgu  $\lambda$  i kąta bocznego znoszenia  $\alpha$  [2]

Dodatkowym aspektem utrudniającym proces hamowania jest konieczność przykładania do pedału hamulca dużych sił podczas nagłego hamowania. Zbyt powolny przyrost ciśnienia skutkuje wydłużeniem drogi hamowania. Niejednokrotnie jednak proces przyrostu siły uzależniony jest od doświadczenia i sprawności fizycznej kierowcy, a to w konsekwencji ich braku zmniejsza osiąganą skuteczność układu hamulcowego. Dołączany do wyposażenia pojazdu system BA (ang. **B**rake **A**ssist) wspomaga proces nagłego hamowania w konsekwencji wykrycia szybkiego wciśnięcia pedału hamulca. (Sterując siłą wspomagającą, może jednak omyłkowo zinterpretować niezamierzony szybki ruch dźwigni pedału, jako próbę nagłego zahamowania i spowodować zagrożenie w ruchu drogowym. Zastosowanie układu, w którym opór pedału hamulca jest wynikiem symulacji, zagwarantuje łatwość procesu hamowania EBV(ang. Electronic Brake Variator). Dzięki przetwarzaniu i ocenie sygnałów sterownik stale oblicza z dużą dokładnością różnicę poślizgu kół przedniej i tylnej osi pojazdu. Przy pojawieniu się granicznego granicznego stosunku poślizgu kół przednich do tylnych skokowo ogranicza przyrost siły hamowania osi tylnej (rys.5).



Rys.4. Elektroniczny rozdział siły hamowania [2]

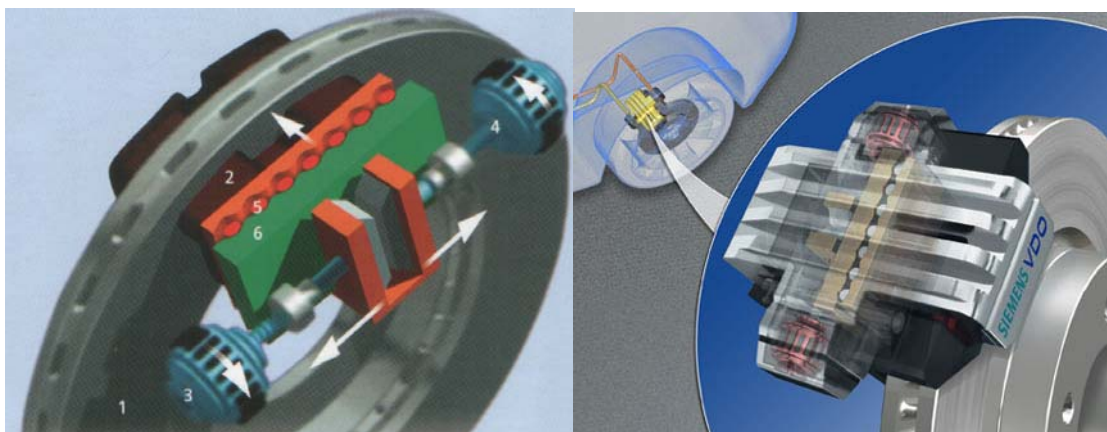
1-krzywa idealnego rozdziału siły hamowania, 2-krzywa rozdziału siły hamowania dla samochodu z korektorem, 3-Krzywa elektronicznego rozdziału siły hamowania, 4-przyrost siły hamowania na osi tylnej

Mimo tych zabiegów konstrukcyjnych podążanie wzdłuż krzywej idealnego rozdziału siły hamowania nie jest jednak możliwe a jedynym sposobem na jej precyzyjne odzwierciedlenie krzywą rzeczywistego rozdziału siły hamowania jest wprowadzenie układów hamulcowych o płynnej regulacji siły docisku elementów ciernych. Taką szansę stwarzają układy hamulcowe pojazdów.

### 3. Obszary zastosowań hamulców elektrycznych

#### 3.1. Hamulce robocze samochodu

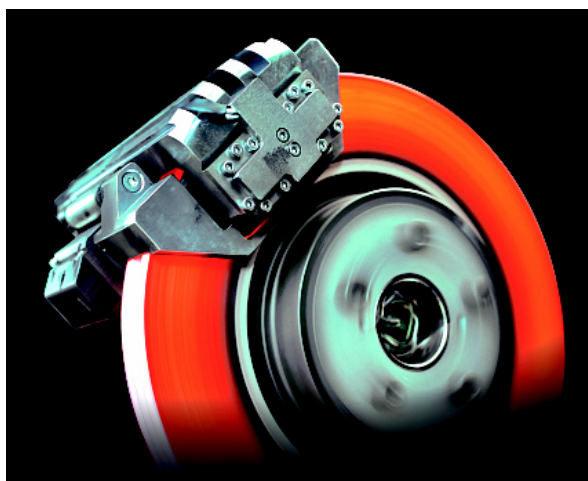
W rozwiązaniu proponowanym przez Siemens -VDO każde koło pojazdu jest wyposażone w urządzenie elektryczne sterujące ruchem klocków hamulcowych. W rozwiązaniu tym siła docisku klocków do tarcz nie zależy od siły nacisku na pedał hamulca. Kierowca, naciskając na pedał hamulca, wysyła do sterownika sygnał, który uruchamia hamulce klinowe. Do ich napędu zastosowano przy poszczególnych kołach oddzielne moduły o napędzie elektrycznym. Poprzez mechanizm rolkowy wymuszają one ruch roboczy klinów ciernych na podstawie informacji przekazywanych przez indywidualne czujniki rejestrujące prędkości obrotowe każdego z kół jezdnych. Przemieszczenie klina w płaszczyźnie prostopadłej do osi koła powoduje w wyniku szybko narastających sił tarcia dociśnięcie ze znaczną siłą elementów ciernych do tarczy.



Rys.5. Budowa hamulca EWB firmy Siemens VDO [4]

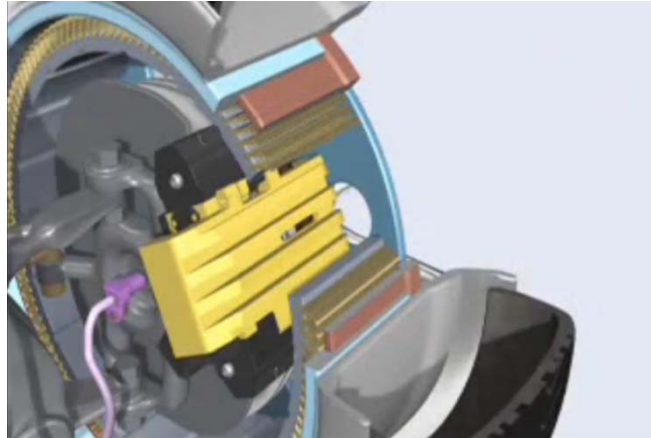
Tarcza (1) zostaje zahamowana przez klocek (2), który jest przemieszczany wzdłużnie przez dwa silniczki elektryczne (3, 4) poprzez kilka rolek (5), poruszających się po wieloklinowej powierzchni (6).

Czas zadziałania okazuje się znacznie krótszy (o ok. 40%) niż w przypadku hamulców uaktywnianych hydraulicznie. Jest to, bowiem układ uruchamiany na drodze elektromechanicznej (tzw. „brake-by-wire”). W razie awarii jednego z modułów siła hamująca pozostałych, nadal sprawnych modułów ulega automatycznej korekcie, tak by w miarę możliwości zapewnić stateczność i skuteczność hamowania pojazdu. Działanie systemu opiera się na przekazywanym drogą elektroniczną sygnale generowanym w wyniku nacisku na pedał hamulca. Zablokowania kół zapobiega odpowiedni moduł kontrolny. Praca układu nie wymaga, dużych nakładów energetycznych. Rezygnacja z przewodów hamulcowych, pompy hamulcowej, urządzeń wspomagających a także dodatkowych systemów nadzorujących pracę układu, umożliwi zmniejszenie masy, wzrost poziomu niezawodności oraz ograniczenie czynności obsługowych. Podnosi ponadto poziom bezpieczeństwa jazdy i obniża szkodliwy wpływ mechanizmu na środowisko naturalne.



Rys.6. Hamulec tarczowy z elektrycznie uruchamianym zaciskiem klinowym podczas pracy [8]

Dalsze korzyści według twórców systemu to łatwość rozbudowy o funkcję automatycznego hamulca postojowego, uniknięcie efektu pulsacji pedału charakterystycznego dla interwencji klasycznego układu ABS, łatwość automatycznej diagnozy systemu oraz redukcja ryzyka obrażeń podczas wypadku. W pełni elektryczne uruchamianie układu umożliwia zmniejszenie liczby jego części składowych, oraz zwiększenie przestrzeni pozostającej do wykorzystania w komorze silnika nawet o 22 dm<sup>3</sup> [8]. Hamulce elektryczne wydają się być także doskonałym rozwiązaniem w odniesieniu do pojazdów elektrycznych w których można je integrować z umieszczanymi w piastach kół napędowymi silnikami elektrycznymi.

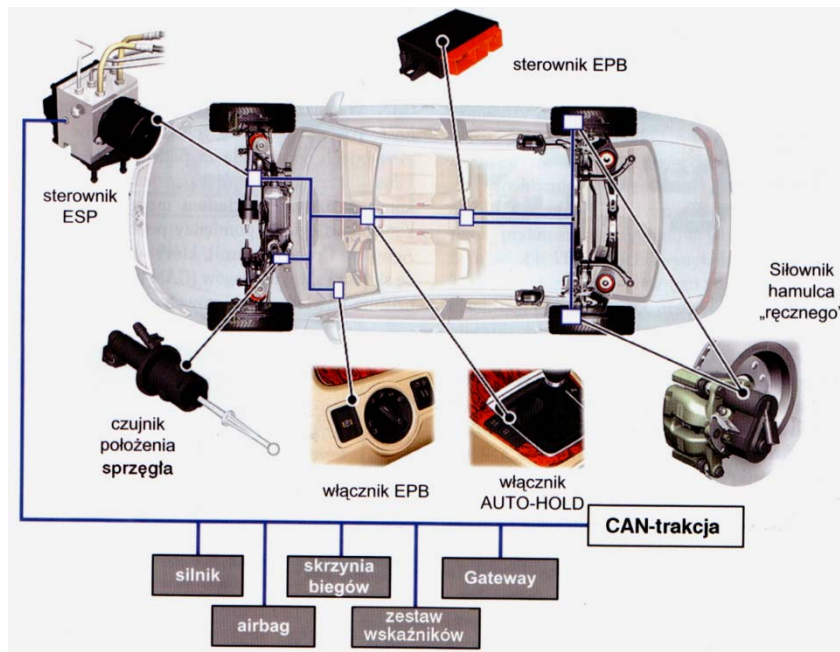


Rys.7. Moduł hamulca elektrycznego zintegrowany z silnikiem elektrycznym koła jezdneho [4]

Wykorzystanie hamulców klinowych w przyczepach ciężkich zestawów drogowych umożliwiłoby skrócenie czasu rozpoczęcia hamowania po jego zainicjowaniu przez kierowcę unikając w ten sposób opóźnienia sięgającego 1 sekundy.

### 3.2. Hamulec postojowy.

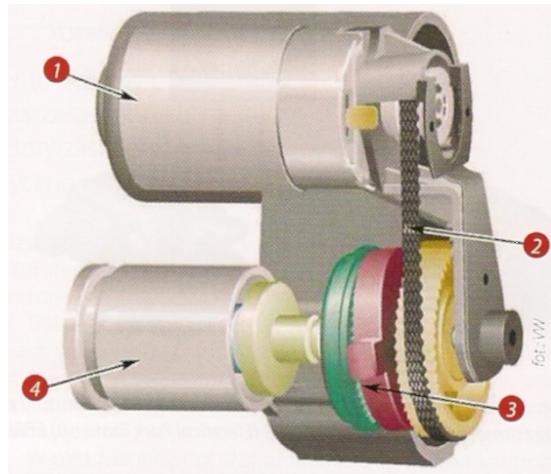
Mówiąc o łatwości użytkowania pojazdu należy wspomnieć o systemie, w którym przełączenie wyłącznika na konsoli sterującej pojazdu, uaktywnia mechanizmy hamulca postojowego. System taki o nazwie EPB (ang. Electrical Park Brake) [6] zaprezentowała firma TRW. Zastąpienie konwencjonalnych ciągnowo-dźwigniowych mechanizmów zaciskiem ze zintegrowanym silnikiem elektrycznym, przejmującym zadania hamulca postojowego, uniezależnia skuteczność działania tego hamulca do siły kierowcy potrzebnej do jego uruchomienia (rys.8.).



Rys.8. Komunikacja pomiędzy podzespołami mechanicznymi i sterownikami przy zastosowaniu magistrali CAN

W pojazdach z systemem EPB hamulec postojowy aktywowany jest najczęściej automatycznie po usunięciu kluczyka z stacyjki. Wyzwolenie sił hamujących na koła

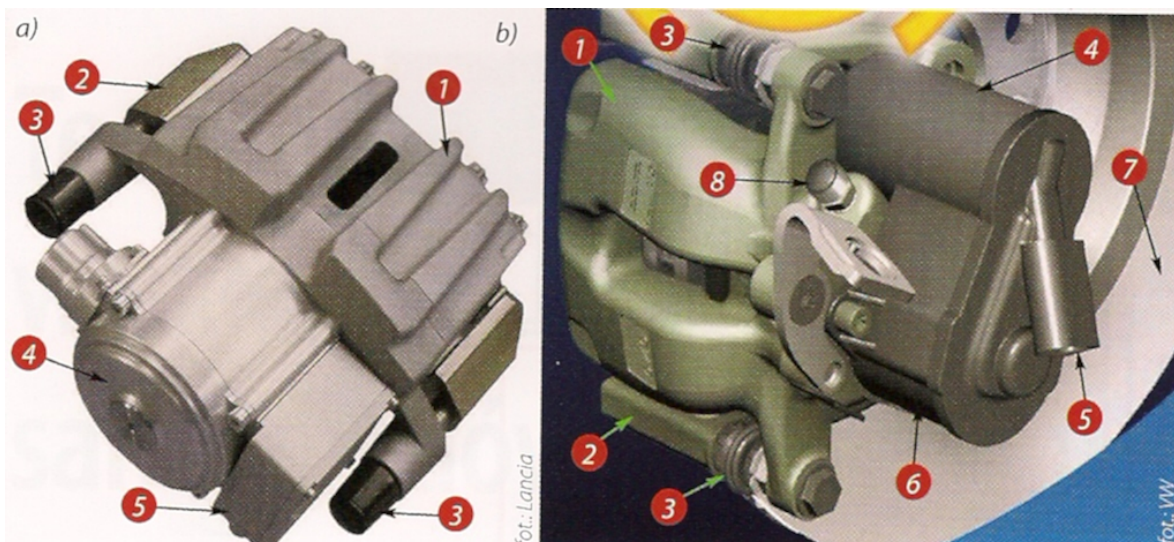
jezdne jest realizowane przez uruchomienie silnika elektrycznego, który poprzez pas zębaty napędzający wrzeciono dokonuje przesuwu tłoka hamulca (rys.10.)



Rys.9. Rozwiązanie napędu przesuwu tłoka hamulca w elektrycznym hamulcu postojowym TRW [3]  
1-silnik elektryczny, 2-pas zębaty napędu wrzeciona ze sprzęgłem, 3-sprzęgło, 4-tłok hamulca

Podczas jazdy możliwe jest stosowanie hamulca postojowego jako awaryjnego. Należy w tym celu przytrzymać przycisk wyłączający, co spowoduje zadziałanie hamulca z maksymalną siłą. Ponadto EPB posiada wiele przydatnych funkcji jak np. dynamiczny asystent ruszania, Auto-Hold oraz hamowanie awaryjne o zwiększonej sile.

Dynamiczny asystent ruszania pozwala na komfortowe ruszanie z miejsca samochodem podjeżdżającym pod wzniesienie. Nie ma potrzeby jak w przypadku konwencjonalnego rozwiązania z dźwignią jednoczesnego operowania pedałem sprzęgła, przyspieszenia i hamulcem. Jest zwalniany automatycznie w momencie, gdy moc silnika jest na tyle duża, że uniemożliwia stoczenie się samochodu. Funkcja Auto-Hold pozwala na unieruchomienie samochodu bez potrzeby stałego naciskania na pedał hamulca. Jest szczególnie przydatna podczas postoju w ruchu ulicznym i po zadziałaniu funkcji automatycznego unieruchamiania silnika Start-Stop.



Rys.10. Elektryczne hamulce postojowe EPB [3]

a - elektryczny hamulec postojowy samochodu Lancia Thesis; 1-zacisk, 2-jarzmo, 3-prowadniki, 4-silnik elektryczny, 5-moduł sterowania b – elektryczny hamulec postojowy firmy TRW; 1-zacisk, 2-jarzmo, 3-prowadniki, 4-silnik elektryczny, 5-złącze instalacji elektrycznej, 6-obudowa, 7-tarcza hamulcowa, zawór odpowietrzania hamulca głównego

### 3.3. Hamulec przyczepy

Aby zadziałał hamulec elektryczny przyczepy musi być ona holowana przez pojazd wyposażony w sterownik (kontroler) procesu hamowania. W odróżnieniu do hamulców najazdowych, hamulce elektryczne działają niezależnie względem pojazdu holującego. Kiedy naciśniemy na pedał hamulca w pojeździe, sterownik hamulca elektrycznego przyczepy otrzymuje sygnał do przełącznika świateł hamowania, co rozpoczyna proces hamowania w przyczepie. Powoduje to przesłanie prądu ze sterownika do hamulców przyczepy. Stopień przyrostu siły hamowania przyczepy uzależniony jest od algorytmu procesu sterowania zapisanego w pamięci sterownika. Kiedy kontroler wysyła prąd elektryczny do hamulców przyczepy, wzbudzony zostaje nastawnik magnetyczny, który przesuwając się względem tarczy koła do bębna hamulcowego. Przesuwany przez siłę oddziaływania pola magnetycznego nastawnik powoduje ruch powiązanych z nim szczęk hamulcowych. W konsekwencji dociskane do bębna szczęki hamulcowe powodują zahamowanie przyczepy. Siła hamowania zależy od wzbudzenia elementu magnetycznego i wynika z poziomu napięcia podawanego przez sterownik. Wartość tej siły uzależniona jest od wskazań wbudowanego w sterownik akcelerometru, na podstawie którego przebiega proces dopasowania siły hamowania do aktualnego opóźnienia pojazdu.



Rys.11. Widok zespołu hamulca elektrycznego przyczepy oraz nastawnika magnetycznego [7]

Przyczepy z hamulcami elektrycznymi wyposażane są w przełącznik awaryjnego rozprężnięcia. W przypadku zerwania połączenia ze sterownikiem do hamulców przyczepy automatycznie doprowadzane jest pełne napięcie zasilania, co gwarantuje awaryjne wyhamowanie przyczepy. Aby system mógł funkcjonować przyczepę wyposaża się w niewielki 12 woltowy akumulator.

### 4. Podsumowanie

Analizując działanie konwencjonalnych hydraulicznych układów hamulcowych stwierdzić możemy, iż bez dodatkowych systemów elektronicznych wspomagających ich pracę nie są one w stanie sprostać aktualnym założeniom co do bezpieczeństwa czynnego pojazdu. Wynika to przede wszystkim z faktu, iż hamowanie musi odbywać się płynnie z pewnym ustalonym poślizgiem. Warunku tego nie można spełnić w oparciu o system ABS ze względu na skokowo zmienne ciśnienie płynu hamulcowego wynikające z pracy elektrozaworów modulatora. Wprowadzenie hamulców elektrycznych w konstrukcję pojazdu może przyczynić się do wzrostu precyzji sterowania procesem hamowania. Dodatkowo system hamulców elektrycznych odznacza się niewielkimi rozmiarami ograniczonymi jedynie do elementów poruszających elementy cierne, sterownika oraz „elektronicznego” pedału



hamulca co znacząco wpływa na łatwość jego zabudowy. Tego typu hamulce znaleźć mogą szerokie zastosowanie w pojazdach o napędzie elektrycznym bez konieczności zabudowy w nim dodatkowych układów np. hydraulicznych. Ponadto w silnikach wysokoprężnych oraz nowoczesnych pozbawionych przepustnic silnikach o zapłonie iskrowym należy stosować urządzenia generujące podciśnienie do napędu urządzenia wspomagającego hamulca co stanowi zbędny wydatek energetyczny. Zabudowa w pojeździe hamulców elektrycznych wydaje się zatem doskonałym rozwiązaniem gwarantującym wzrost precyzji w działaniu układu oraz obniżenie kosztów jego produkcji i eksploatacji a także obiecujące perspektywy co do jego dalszego rozwoju. Dalszy rozwój motoryzacji musi się zatem wiązać ze stałym zwiększaniem udziału elektrycznych układów hamulcowych w pojazdach samochodowych.

## LITERATURA

- [1] Reński A.: Bezpieczeństwo czynne samochodu. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
- [2] Informator Techniczny BOSCH: Konwencjonalne i elektroniczne układy hamulcowe. WKiŁ, Warszawa 2006.
- [3] Kaparuk J.: Technologie brake-by-wire w układach hamulcowych samochodów osobowych. Auto Moto Serwis 3/2011: s. 38-41.
- [4] [http://www.autospectator.com/cars/automotive-industry-trends/0023493-siemens-vdo-starts-ecorner-development-car-motors-will-disappear-](http://www.autospectator.com/cars/automotive-industry-trends/0023493-siemens-vdo-starts-ecorner-development-car-motors-will-disappear)
- [5] <http://www.aalcar.com/library/2004/bf110412.htm>
- [6] [http://www.trw.com/media\\_center/press\\_kits/electric\\_park\\_brake\\_epb](http://www.trw.com/media_center/press_kits/electric_park_brake_epb)
- [7] [http://www.championtrailers.com/BRAKES\\_ELECTRIC.htm](http://www.championtrailers.com/BRAKES_ELECTRIC.htm)
- [8] [http://inventorspot.com/electronic\\_wedge\\_brake](http://inventorspot.com/electronic_wedge_brake)