

ZBIGNIEW GUNIA

Tendencje rozwojowe
systemów regulacji hamowania
i poślizgu kół napędowych
stosowanych w samochodach osobowych
w krajach Europy Zachodniej

1. WPROWADZENIE

Sprawa bezpieczeństwa jazdy, szczególnie w trudnych warunkach drogowych, jest zmartwieniem kierowców i stanowi od wielu lat główną troskę producentów pojazdów. Nie ulega wątpliwości, że jedną z najistotniejszych przyczyn utraty panowania nad pojazdem jest po prostu niedoskonałość konstrukcji układu hamulcowego. Niezależnie od refleksu i umiejętności kierowcy, zbyt gwałtowne hamowanie, względnie zmiana momentu napędowego, z reguły prowadzi do niebezpiecznego poślizgu samochodu. Istnieją oczywiście techniki wyprowadzenia pojazdu z niekontrolowanych poślizgów, jednakże zachodzi tu proste pytanie, ilu kierowców jest w stanie prawidłowo zareagować w tego typu awaryjnych sytuacjach drogowych? Problem ten jeszcze bardziej komplikuje się w przypadku ciężkich samochodów z przyczepami, naczepami, czy też ciągników siodłowych, zwanych popularnie trackami. Zjawisko "jack knifingu", czyli składania się wspomnianych pojazdów przez obrót wokół miejsca zamocowania naczepy, jest przyczyną wielu tragicznych wypadków i karamboli drogowych. Uświadomić sobie przy tym należy, że cały przebieg utraty panowania nad pojazdem trwa z reguły krócej niż 0,5 sekundy i tylko

wytrawny kierowca potrafi bez odpowiednich urządzeń antypoślizgowych wyprowadzić swój pojazd z zagrożenia.

Już od z górą 30 lat znane są w lotnictwie systemy zapobiegające blokowaniu kół lądujących samolotów odrzutowych, jednakże wymogi stawiane tego typu urządzeniom w przypadku samochodów są znacznie bardziej złożone i uzależnione od wielu skomplikowanych warunków i sytuacji drogowych.

Pod koniec lat sześćdziesiątych nastąpił bardzo szybki rozwój elektronicznych regulatorów hamowania, spełniających większość stawianych wymagań oraz reagujących na zmieniające się parametry jazdy samochodu. Wysoki koszt tych urządzeń sprawił jednakże, że znalazły się one w wyposażeniu głównie samochodów ciężarowych, samochodów specjalnych oraz osobowych najwyższej klasy. Dopiero w ostatnich dziesięciu latach notuje się stały wzrost produkcji seryjnej antyblokujących systemów hamulcowych, przeznaczonych dla samochodów osobowych średniej klasy. Tak długi okres rozwoju konstrukcyjnego tych urządzeń tłumaczyć należy przede wszystkim poszukiwaniami tańszych i bardziej niezawodnych rozwiązań. Ostatnie lata przyniosły w krajach Europy zachodniej istną eksplozję produkcji kilkunastu różnych systemów regulacji hamowania (skrót ABS) oraz poślizgu napędowego (skrótowo ASR), przy czym te ostatnie są dalszą konsekwencją rozwoju urządzeń antyblokujących. Według danych z 1986 roku jeden tylko producent, tzn. firma Bosch, wprowadziła na rynek zachodni ponad 1 milion regulatorów ABS.

Należy w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, iż głównym celem stawianym tego typu urządzeniom jest problem poprawienia sterowności i stabilności pojazdu, poruszającego się w najtrudniejszych warunkach drogowych (niejednorodność nawierzchni, zmienna przyczepność, zakręty, zróżnicowane obciążenie, błędy kierowcy itd.). W odniesieniu do tego kwestia skrócenia drogi hamowania w przypadku zastosowania ABS oraz sprawa polepszenia trakcyjności dzięki ASR uznane zostały jako drugorzędne.

2. WYBRANE ZAGADNIENIA TEORII HAMOWANIA

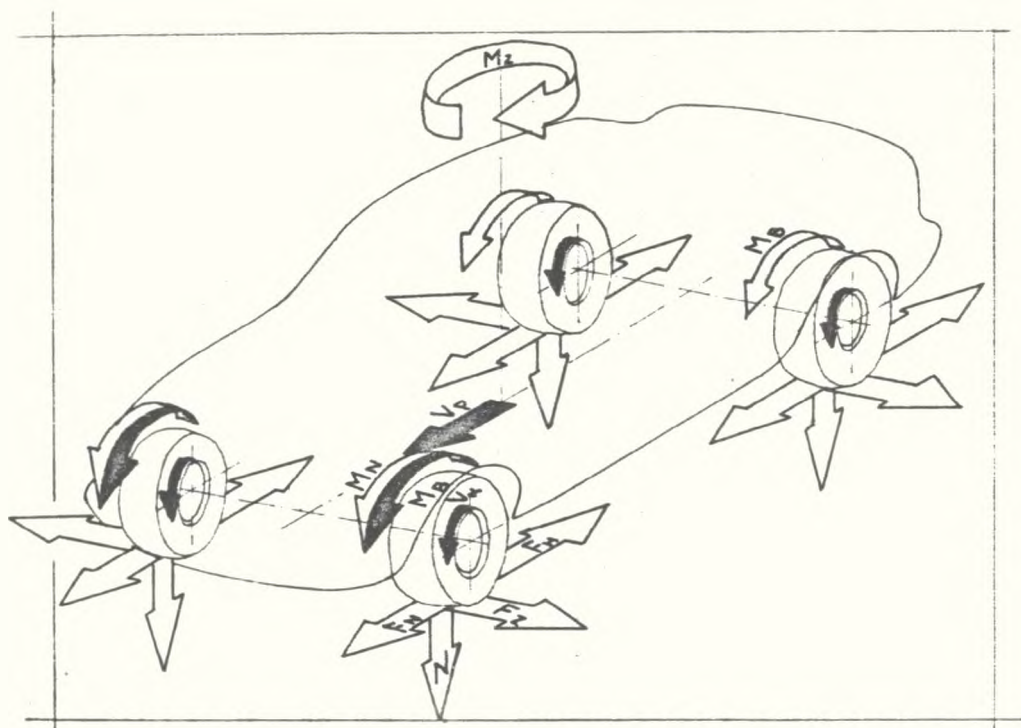
Procesy zachodzące na styku koła z jezdnią, podobnie jak inne procesy tarcia są przedmiotem wielu teorii i hipotez, przy czym dodać należy, iż mnogość i zmienność różnych czynników zewnętrznych oraz parametrów samej jazdy towarzyszących tym zjawiskom, bardzo utrudnia matematyczne ich ujęcie.

Jednym z dominujących parametrów dynamicznych jest poślizg koła, rozumiany jako różnica prędkości liniowej koła i pojazdu odniesiona do prędkości pojazdu.

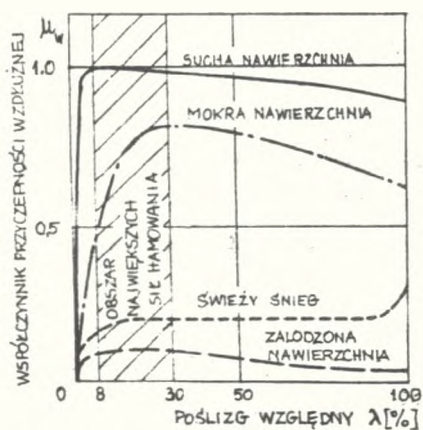
$$\lambda = \frac{v_p - v_k}{v_p} \cdot 100\%$$

Oczywiście w przypadku, gdy obie prędkości są sobie równe, koło toczy się bez poślizgu, natomiast gdy prędkość koła $v_k = 0$, wówczas poślizg wynosi 100%. Wielkość poślizgu uzależniona jest od całego szeregu złożonych parametrów technicznych samego pojazdu, m.in. od wartości sił i momentów obciążających ten pojazd (rys. 1) oraz od czynników zewnętrznych, takich jak rodzaj i jednorodność drogi, jej symetria i geometria, tor jazdy itd. Rodzaj i stan nawierzchni oraz ogumienia decyduje w przeważającej mierze o przyczepności (tarcu) układu koło - jezdnia, wyrażanej zazwyczaj przy pomocy współczynników przyczepności wzdłużnej oraz poprzecznej. Na rys. 2 zestawiono 4 typowe przebiegi zależności $\mu_w = f(\lambda)$, sporządzone w różnych spotykanych warunkach drogowych.

Obszar zakreskowany na wykresie, to zakres maksymalnych współczynników przyczepności wzdłużnej μ_w dla wszystkich czterech pokazanych krzywych, mieszczący się w granicach 8 - 30% poślizgu. Jeżeli punkt pracy hamulców będzie mieścić się w tym obszarze, to pojazd, niezależnie od warunków drogowych, będzie hamowany z największą możliwą siłą hamowania



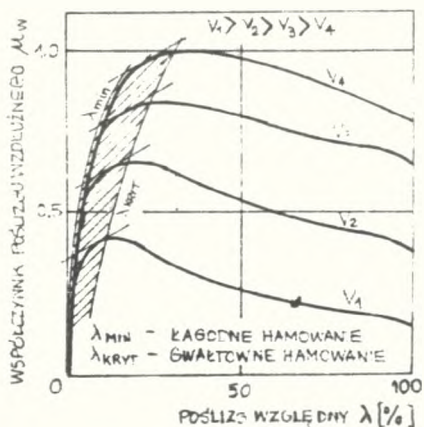
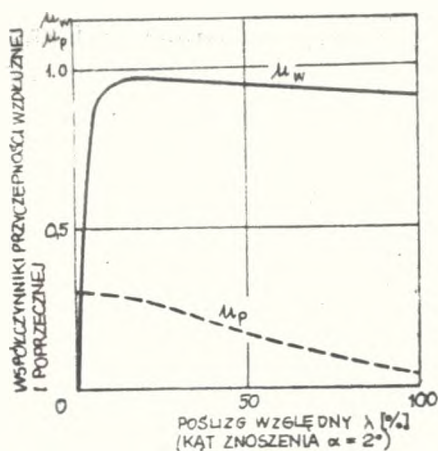
Rys. 1. Orientacyjny rozkład obciążeń działających na hamowany pojazd



Rys. 2. Typowe przebiegi charakterystyk przyczepności wzdłużnej μ_w w funkcji poślizgu

F_H , co oczywiście w efekcie pozwoli na uzyskanie najkrótszej drogi hamowania.

Siła hamowania, definiowana jako siła styczna do koła w miejscu styku opony z nawierzchnią, określa maksymalne chwilowe opóźnienie pojazdu. Rys. 3 przedstawia charakterystyki $\mu_w = f(\lambda)$ oraz $\mu_p = f(\lambda)$, zdjęte w warunkach ostrego hamowania na suchej asfaltowej jezdni. W porównaniu z analogiczną krzywą, pokazaną na rys. 2, widać odchylenie maksimum μ_w w kierunku większego poślizgu oraz obniżenie jego wartości, co należy tłumaczyć wpływem poślizgu poprzecznego. Na rys. 4 zaznaczono cienkimi liniami ukośnymi obszar optymalnych warunków pracy układu hamowania w przypadku pojazdu, poruszającego się z różnymi prędkościami po suchej nawierzchni. Krzywa λ_{\min} odpowiada hamowaniom z minimalnym poślizgiem (najmniejsze zużycie opon), natomiast krzywa λ_{kryt} obrazuje ostre hamowania (najkrótsza droga hamowania). Zadaniem układów regulacji hamowania jest zapewnienie w każdej sytuacji drogowej najkorzystniejszych warunków hamowania, tzn. takich, które przy możliwie najkrótszej drodze hamowania pozwolą na pełne zachowanie stabilności pojazdu.



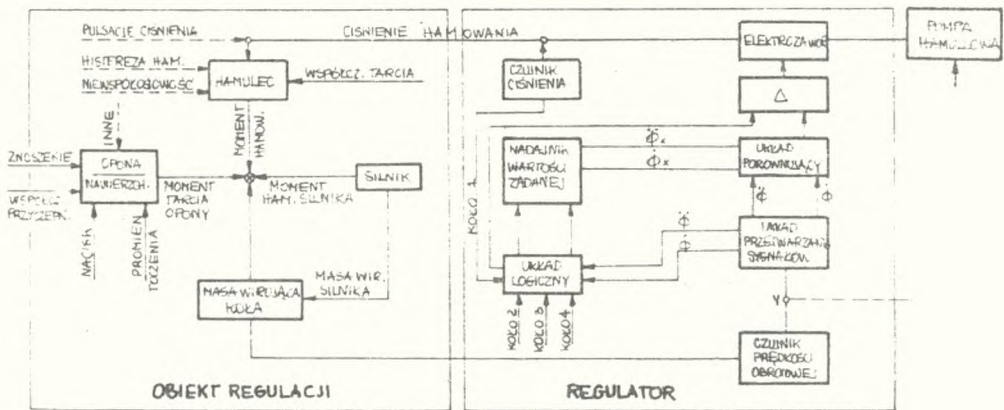
Rys. 3. Rozkład przebiegu charakterystyk przy czepności wzdłużnej oraz poprzecznej w funkcji poślizgu przy hamowaniu na suchej nawierzchni

Rys. 4. Obszar optymalnych charakterystyk dynamicznych hamowania pojazdu, poruszającego się z różnymi prędkościami po suchej nawierzchni

3. SYSTEMY REGULACJI HAMOWANIA

3.1. Ogólna koncepcja obwodu regulacyjnego

W myśl wszystkich wymienionych powyżej założeń i wymogów, stawianych tego typu urządzeniom, obwód regulacji hamowania musi składać się co najmniej z dwóch obiektów, tzn. kontrolowanego przedmiotu regulacji oraz samego regulatora. Na rys. 5 oba te bloki ograniczono linią przerywaną. W skład obiektu regulacji wchodzi układ hamulcowy, koło, droga oraz zespół napędowy silnika.



Rys. 5. Schemat blokowy typowego układu regulacji hamowania (Teldix - RFN)

Zaznaczono również najważniejsze czynniki wpływające na przebieg procesu hamowania, przy czym linią przerywaną wyróżniono tę z nich, które mogą zakłócać w sposób ciągły lub przypadkowy zakres regulacji.

Blok regulatora stanowią czujniki (zazwyczaj ciśnienia płynu hamulcowego i prędkości obrotowej koła), analogowe układy elektroniczne przetwarzania, porównywania i sterowania oraz elementy wykonawcze, z których najistotniejszym jest wielopłożeniowy zawór elektromagnetyczny.

3.2. Wielkości regulowane w układach ABS

Jak widać na rys. 2, obszar maksymalnych wartości współczynników μ_w w różnych warunkach drogowych odpowiada poślizgom λ kół w granicach 8 - 30%. W przypadku większości układów, w których za punkt odniesienia aktualnej sytuacji drogowej przyjęto poślizg koła pojazdu, uznano jako graniczną wartość $\lambda = 20\%$. Oznacza to w praktyce, iż dla skrajnych przebiegów charakterystyk $\mu_w = f(\lambda)$, punkt pracy układów nie osiągnie maksimum wartości współczynnika przyczepności i w efekcie siły hamowania będą większe lub mniejsze od optymalnych w danych warunkach.

Innym sposobem określenia aktualnej sytuacji pojazdu jest opóźnienie koła (ujemne przyspieszenie). Jednakże i w tym przypadku może dojść do znacznych zakłóceń procesu regulacyjnego, w szczególności, gdy hamowanie przebiega łagodnie (z małym opóźnieniem kół) i odbywa się na śliskiej nawierzchni poniżej przyjętej, progowej wartości opóźnienia.

Istnieje również możliwość oceny aktualnego stanu pojazdu przy hamowaniu w oparciu o bezpośredni pomiar opóźnienia samego pojazdu, jednakże sposób ten wymagałby, tak czy inaczej, znajomości opóźnienia, względnie poślizgu koła, co w sumie znacznie skomplikowałoby cały układ.

W rezultacie, w celu zwiększenia pewności działania układu regulacji hamowania, stosuje się w przypadku większości systemów ABS rozwiązania kombinowane, bazujące na stałym pomiarze prędkości obrotowej koła pojazdu. W przypadkach gwałtownego hamowania, wielkością regulowaną jest opóźnienie koła, natomiast w pozostałych przypadkach jako wielkość regulowaną przyjmuje się poślizg. Oczywiście we wszystkich przypadkach stosuje się jako wartość wiodącą regulacji określoną wartość progową regulowanej wielkości. Jak już wcześniej wspomniano, w celu określenia poślizgu koła niezbędna jest znajomość prędkości liniowej pojazdu. W regulatorach kombinowanych informację o tej prędkości uzyskuje się drogą po-

średnią, w postaci tzw. prędkości zastępczej obliczanej i korygowanej wielokrotnie w trakcie trwania procesu regulacji przez odpowiedni układ elektroniczny.

Rozwiązania konstrukcyjne takich układów, a także czujników pomiarowych, zaworów elektromagnetycznych i innych elementów wykonawczych stanowią oczywiście ścisłą tajemnicę producentów systemów ABS i praktycznie nie sposób znaleźć żadnych szczegółowych informacji o budowie tych urządzeń. Źródłem wiadomości są wobec tego przede wszystkim dane techniczne i uproszczone schematy zasady działania. Z początkiem lat osiemdziesiątych opublikowano dane nowego, uniwersalnego szybkościomierza radarowego, mierzącego szybkość pojazdu względem nawierzchni drogi oraz specjalnego czujnika magnetoindukcyjnego typu reluktancyjnego do pomiaru prędkości kątowej koła.

3.3. Spotykane rozwiązania systemów ABS

Według danych z 1987 roku oferowane obecnie na rynku zachodnim systemy antyblokujące ABS można podzielić, z uwagi na ich cechy konstrukcyjne, na dwie grupy:

- systemy rozdzielone,
- systemy zintegrowane.

W urządzeniach pierwszej grupy siłowniki hamulcowe są oddzielone od reszty systemu, natomiast w przypadku grupy drugiej, siłowniki wraz z całym systemem ABS stanowią wspólny zespół konstrukcyjny. Podstawowymi zaletami systemów rozdzielonych, decydującymi o ich masowej produkcji, są:

- względnie prosta budowa,
- duża niezawodność działania,
- szerokie możliwości wyboru miejsca zainstalowania na pojeździe poszczególnych elementów tego systemu.

Z kolei główną korzyść stosowania systemów zintegrowanych należy upatrywać w tym, iż w przypadku masowej produkcji określonego typu samochodu, montaż tego systemu jest

prostszy, nie wymaga żadnych zmian konstrukcyjnych pojazdu oraz nie zachodzi potrzeba dodatkowego rozłączania przewodów hamulcowych. Oczywiście w obu grupach systemów ABS czujniki prędkości kół stanowią odrębne elementy zespołów.

3.4. Sposoby regulacji poślizgu hamowania

Zgodnie ze stosowanymi w krajach zachodnich zasadami regulacji hamowania samochodów osobowych, systemy ABS dzieli się na dwa podstawowe rodzaje:

- systemy pełnej regulacji,
- systemy uproszczone (niepełne).

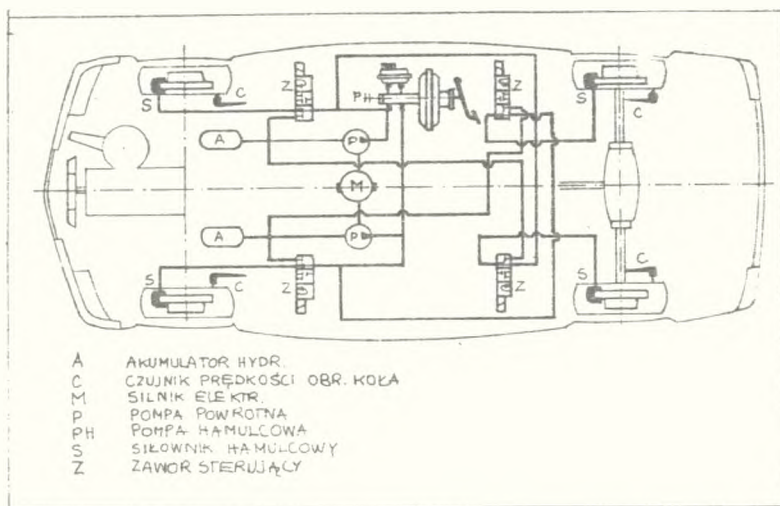
3.4.1. Systemy pełne

Systemy regulacji pełnej, określane jako systemy "High - Performance", stosowane są zarówno w konwencjonalnych typach pojazdów, jak i w pojazdach z napędem na wszystkie koła, niezależnie od rozwiązania konstrukcyjnego układu hamulcowego. W chwili obecnej systemy pełne produkowane są w krajach Europy zachodniej w dwóch wersjach, a mianowicie:

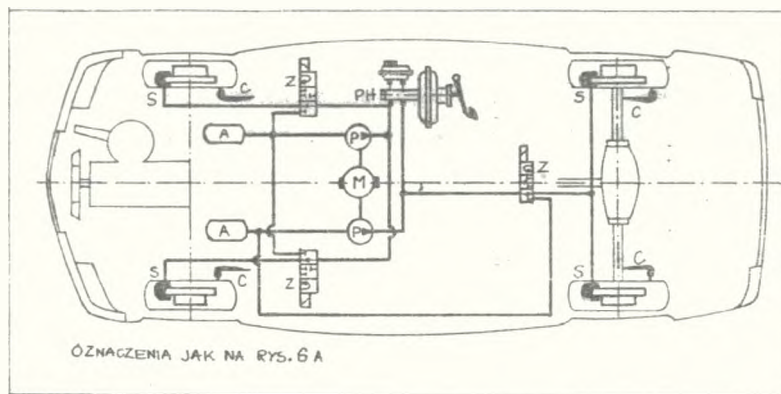
- ABS z indywidualną regulacją wszystkich kół,
- ABS z indywidualną regulacją kół przednich i regulacją typu "Select - low" kół tylnych.

Obie wersje stanowią oczywiście odmiany cztero- i trójkanałowego systemu regulacji pełnej. Na rys. 6 przedstawiono graficznie rozwiązania i zasadę działania obu wersji pełnych systemów ABS.

W systemie z indywidualną regulacją poszczególnych kół, każde koło ma własny kanał regulacji. Wyniki prób doświadczalnych dowodzą, że jest to system zapewniający największą stabilność pojazdu i najwyższy stopień wykorzystania przyczepności opon do nawierzchni (do 40%). Jest to jednakże system najdroższy i obecnie stosowany w zasadzie głównie w pojazdach z napędem na wszystkie koła i oczywiście ciężarowych.



Rys. 6 A. Układ ABS z niezależną regulacją wszystkich kół



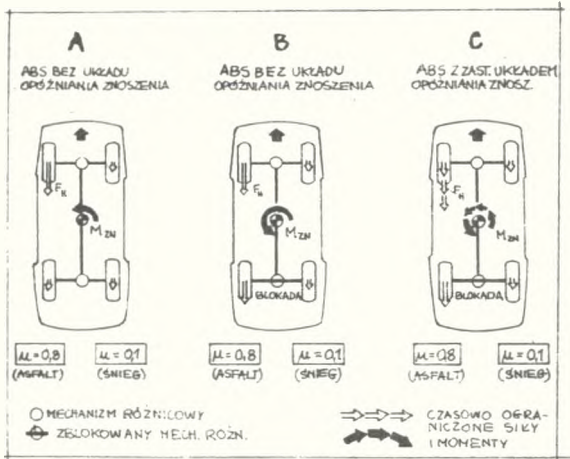
Rys. 6 B. Układ ABS z indywidualną regulacją kół przednich i regulacją "Select-low" kół tylnych

Najszerzej rozpowszechnionym sposobem regulacji pełnej jest wersja druga, tzn. z indywidualną regulacją kół przednich i regulacją "Select - low" kół tylnych. W tym przypadku moment zadziałania zaworu wykonawczego hamowania kół tyl-

nych określony jest przez koło, pracujące na nawierzchni o najniższym współczynniku przyczepności. Oczywiście ciśnienie płynu hamulcowego dla obu kół tylnych pozostaje zawsze takie samo. Metoda ta nie pozwala wprawdzie na skrócenie drogi hamowania, jednakże w znacznym stopniu wpływa na polepszenie stabilności pojazdu na niejednorodnej nawierzchni. Również w przypadku hamowania na łuku niejednorodnej jezdni, wzrasta stabilność samochodu, gdyż wskutek "niepełnego" hamowania (siła hamowania jest mniejsza od największej możliwej) tego z kół tylnych, które porusza się po nawierzchni o większej przyczepności, koło to jest w stanie dodatkowo przenieść znaczne siły poprzeczne, znoszące.

Opisana tu metoda regulacji znajduje zastosowanie prawie we wszystkich typach samochodów, produkowanych na zachodzie. Należy w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, że powszechne wprowadzenie systemów ABS wymusza na producentach samochodów spełnienie szeregu ostrych wymagań, dotyczących jakości i niezawodności niektórych części i zespołów (np. opon, siłowników hamulcowych, elementów zawieszenia i in.).

Dodatkowym, ale bardzo istotnym, warunkiem pełnego wykorzystania wszystkich możliwości, omówionej powyżej, metody regulacji ABS jest, aby koła samochodu nie były ze sobą zablokowane. W przypadku bowiem, gdy kierowca włączy blokadę, np. tylnego mostu w warunkach jazdy po częściowo zaśnieżonym podłożu, nastąpi tak znaczny wzrost momentu znoszącego, iż praktycznie w oparciu o zasadę "Select-low" przestaje istnieć możliwość regulacji kół tylnych. Sytuację taką przedstawiono na rys. 7 B. W efekcie zadziałania tak dużego momentu odchylającego dochodzi natychmiast do utraty stabilności pojazdu, również w przypadku samochodów o napędzie konwencjonalnym. Aby zapobiec temu zjawisku wprowadzono dodatkowo układ "opóźniania" znoszenia pojazdu (rys. 7 C). W tym celu system regulacji ABS doprowadza do krótkotrwałego zmniejszenia siły hamowania (tzn. "odhamowania") tego

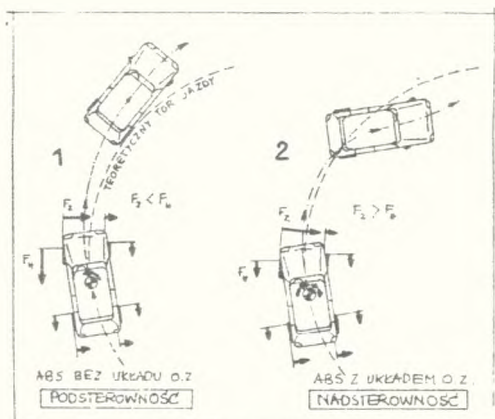


Rys. 7. Przykłady oddziaływania momentu znoszącego M_{ZN} w przypadku hamowania pojazdów z napędem na tylne koła, przy zastosowaniu układu opóźnienia znoszenia

koła przedniego, którego przyczepność w danej chwili jest większa. Aby nie wydłużać drogi hamowania, zaraz potem następuje ponowny, stopniowy wzrost ciśnienia hamowania w tym kole, aż do całkowitego ustabilizowania się na pewnym, odpowiednim poziomie. Intensywność efektu opóźnienia znoszenia jest oczywiście każdorazowo tak dopasowana do specyfiki pojazdu i jego prędkości, że stabilność i droga hamowania mieszczą się zawsze w optymalnych granicach.

Metoda opóźnienia momentu odchylającego jest bardzo użyteczna w warunkach, gdy przyczepność kół do nawierzchni jest różna dla lewej i prawej strony samochodu. Jednakże w sytuacji, kiedy pojazd porusza się z dużą szybkością po łuku drogi o jednorodnej nawierzchni i dochodzi do nagłego hamowania, może nastąpić, wskutek zadziałania układu opóźnienia znoszenia, utrata stabilności. Sytuację taką obrazuje rys. 8 w odniesieniu do samochodu 1 bez układu opóźniającego i samochodu 2 wyposażonego w taki układ.

Jak widać na rysunku, koło przednie zewnętrzne pojazdu 1 (poruszające się po większym łuku) przenosi znacznie większą siłę hamowania, aniżeli koło wewnętrzne, co z kolei jak wiadomo, w poważnym stopniu ogranicza wielkość siły poprzecznej, znoszącej, która powinna być normalnie przeniesiona przez to



Rys. 8. Przykłady zachowania się pojazdów, hamowanych przy dużej prędkości na zakręcie drogi o jednorodnej nawierzchni

koło. W efekcie mamy tu do czynienia z lekko podsterowanym, ale wystarczająco stabilnym zachowaniem się samochodu.

W przypadku samochodu 2 (z układem opóźniania znoszenia) w takich samych warunkach, koło zewnętrzne może przenieść znacznie większą niż normalnie siłę poprzeczną, jako że wskutek zadziałania układu opóźniającego, koło to zostaje chwilowo odhamowane. Prowadzi to do mocno nadsterowanego zachowania się całego pojazdu i niebezpieczeństwa utraty stabilności. W samochodach, zachowujących się szczególnie niekorzystnie w omówionych powyżej warunkach, wprowadzono dodatkowo czujnik przyspieszenia poprzecznego, którego zadaniem polega na odłączaniu w pewnych sytuacjach układu opóźniającego znoszenie.

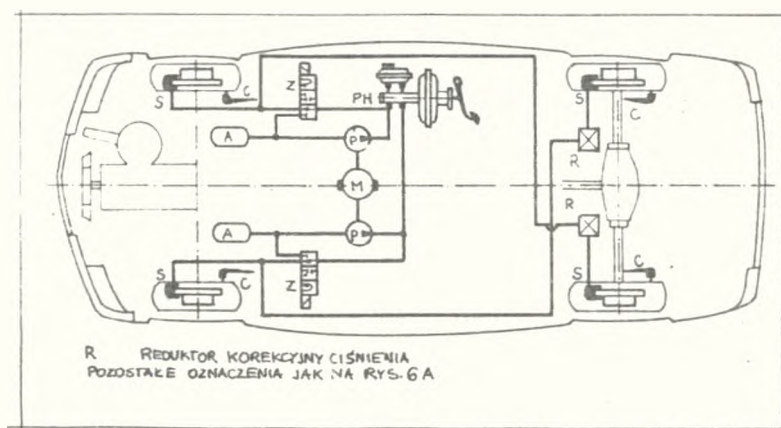
W przypadku samochodów z napędem na wszystkie koła, konieczne okazało się wprowadzenie specjalnego czujnika przyspieszenia wzdłużnego, którego działanie umożliwi pośrednio ocenę właściwości nawierzchni drogi. Czujnik ten, w postaci sensorowego przełącznika, pozwala na rozróżnienie wysokich i niskich wartości współczynnika przyczepności kół do nawierzchni i jest ogniwem pomocniczym w procesie obliczania prędkości samochodu, która niekoniecznie musi być zgodna z prędkościami kół. Oczywiście dużą rolę odgrywa tu fakt możliwości blokady kół, a tym samym, zwiększenia bezwładno-

ści całego zespołu kół a także oddziaływanie momentu napędowego silnika bezpośrednio na każde koło.

Czujnik przyspieszenia wzdłużnego spełnia jeszcze jedno zadanie, a mianowicie umożliwia ocenę zróżnicowanych wartości przyspieszeń lub opóźnień kół oraz odpowiednio do nich - pozwala na określenie koniecznych nastawów regulacyjnych. Jak wykazały badania, również w przypadku pojazdów z napędem na wszystkie koła, systemy ABS znakomicie spełniają swoje zadanie, z tym, że zachodzi tu znacznie większe prawdopodobieństwo powstania poślizgu napędowego, o czym będzie mowa w dalszych rozdziałach.

3.4.2. Systemy niepełnej regulacji

Wprowadzenie systemów uproszczonej regulacji poślizgu hamowania w samochodach osobowych nastąpiło niewątpliwie w wyniku nieustannych poszukiwań sposobu obniżenia kosztów tego typu urządzeń. Spośród różnych możliwych rozwiązań najczęściej preferowane są obecnie na zachodzie rozwiązania



Rys. 9. Układ ABS z dwukanałową niepełną regulacją

dwukanałowe. W systemie tego typu zastosowano pełną indywidualną regulację kół przednich, natomiast koła tylne regulo-

40

wane są bezpośrednio poprzez doprowadzenie do nich odpowiednich hydraulicznych impulsów, uzależnionych od sytuacji drogowej. Zasadę działania tego systemu pokazano na rys. 9. Problemy, jakie stwarza 2-kanałowy system uproszczonej regulacji, widoczne są na rys. 10. Rozkład sił hamowania w kołach przednich i tylnych zależy w znacznym stopniu od przyczepności nawierzchni oraz obciążenia samochodu. Rozkład ten musi być tak dobrany, ażeby w przypadku pojazdu nieobciążonego i przy współczynnikach przyczepności $\mu_w = 0,8$ koła przednie były hamowane wcześniej aniżeli tylne. Powoduje to jednak, że w samochodzie w pełni dociążonym, koła tylne są mocno niedohamowane, ponieważ ciśnienie płynu hamulcowego w kołach przednich i tylnych pozostaje w pewnym ustalonym stosunku. W celu częściowego wyeliminowania tego zjawiska i zmniejszenia drogi hamowania, konieczne jest zastosowanie reduktora ciśnienia, uwzględniającego stan obciążenia pojazdu.

Dwukanałowy system ABS ma jeszcze jedną istotną wadę, a mianowicie w sytuacji, gdy wskutek bardzo małej przyczepności nawierzchni przednie koła napędowe wpadną samoczynnie

w poślizg (np. przy gwałtownej zmianie momentu napędowego, redukcji biegów itd.), koła tylne, w momencie rozpoczęcia koniecznego tu hamowania, pozbawione są ciśnienia. Wynika to stąd, iż regulator systemu reaguje w danej chwili na objawy związane z kołami przednimi, a te są w poślizgu. Przez pewien okres produkowane były w niewielkich ilościach dwukanałowe systemy ABS,



Rys. 10. Diagram rozkładu sił hamowania kół przednich i tylnych w pojeździe z ABS 2-kanalowym

pozbawione czujników prędkości obrotowej kół tylnych. Wkrótce okazało się jednak, że tego typu "zubożony" system regulacji tylko wówczas spełnia swoje zadanie, gdy zostanie zapewnione całkowite wyeliminowanie czynników ubocznych, zakłócających rozkład sił hamowania - chodzi tu o takie czynniki, jak: fading (czyli zanik działania) hamulców kół przednich, różnego typu ogumienie kół przednich i tylnych (w tym ewentualne stosowanie łańcuchów śniegowych) oraz zróżnicowane wartości tarcia poszczególnych okładzin klocków hamulcowych. Oczywiście dotrzymanie takich warunków jest w zasadzie niemożliwe, co spowodowało, iż zaniechano dalszych poszukiwań uproszczeń i oszczędności idących w tym kierunku.

Zastosowanie 2-kanałowego systemu regulacji hamowania (oczywiście bez dodatkowych uproszczeń) w pojeździe, wykazującym dobry stan techniczny, pociąga za sobą, w porównaniu do systemu pełnego ABS oraz konwencjonalnego układu hamulcowego, wydłużenie drogi hamowania. Ażeby tego uniknąć, należałoby wyposażyć dodatkowo niepełny system ABS w skomplikowany układ elektroniczny, analizujący aktualną sytuację drogową hamowanego pojazdu oraz stan wszystkich hamulców. Z uwagi jednak na wzrost kosztów zrezygnowano z takich rozwiązań i obecnie produkuje się 2-kanałowe systemy ABS w wersji pokazanej na rys. 9, bez żadnych dodatkowych urządzeń, polepszających skuteczność działania systemu.

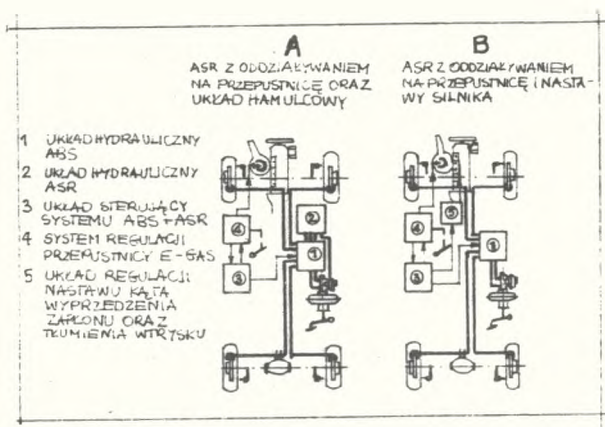
4. SYSTEMY REGULACJI POŚLIZGU KÓŁ NAPĘDOWYCH STOSOWANE W SAMOCHODACH OSOBOWYCH

Pod koniec 1986 roku weszły do seryjnej produkcji na zachodzie dwa różne systemy regulacji poślizgu napędowego ASR, a mianowicie:

- ASR z układem oddziaływania na przepustnicę gaźnika oraz na układ hamulcowy;

- ASR z układem oddziaływania na przepustnicę gaźnika oraz aparat zapłonowy i pompę wtryskową (w przypadku silników wysokoprężnych).

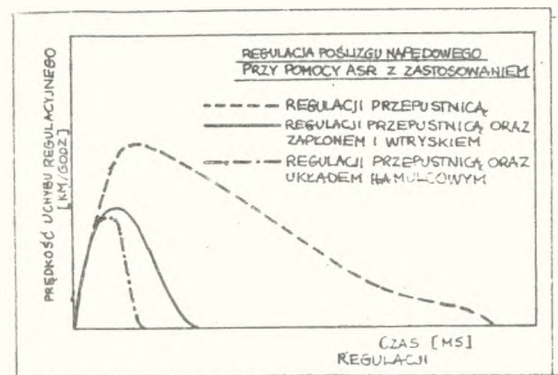
Uprozczone schematy tych systemów pokazane są na rys. 11, w połączeniu z zastosowanymi równoległe systemami ABS. Blok 2 na rys. 11 A jest układem hydraulicznym, pozwalającym na ingerencję systemu ASR w nastawy regulacyjne systemu ABS, natomiast blok 5 to układ elektroniczny, zapewniający (rys. 11 B) regulację zapłonu oraz wtrysku. Urządzeniem



Rys. 11. Schematy blokowe systemów regulacji poślizgu napędowego ASR

wspólnym dla obu systemów ASR jest układ regulacji przepustnicy gaźnika "E-Gas", przedstawiony na rysunku w postaci bloku 4. Zadania i funkcje, jakie spełnia ten układ, zostaną omówione w następnym rozdziale. Na rys. 12 przedstawiono praktyczne możliwości różnych sposobów regulacji poślizgu napędowego. Zestawiono tu 3 przebiegi krzywych prędkości uchybów regulacyjnych, zdjęte dla pierwszego cyklu regulacyjnego. Jak widać na wykresie, regulacja samą tylko przepustnicą daje przebieg o dość wysokich wartościach odchyżeń oraz względnie długim czasie regulacji, co oczywiście w znacz-

nym stopniu ogranicza korzyści płynące z samej regulacji. Zastosowanie systemu z dodatkową regulacją zapłonu lub wtrysku wyraźnie zmniejsza i skraca uchyby regulacyjne. Najkorzystniej prezentuje się tu przebieg odchylenia regulacyjnego z udziałem układu hamulcowego, trzeba jednak zaznaczyć,



Rys. 12. Przebiegi uchybów regulacyjnych w pierwszym cyklu regulacyjnym dla 3 systemów regulacji ASR

iz bardzo często z uwagi na komfort jazdy, ogranicza się dynamikę wzrostu ciśnienia w układzie hamulcowym, co oczywiście prowadzi do niepełnego wykorzystania możliwości regulacyjnych tego typu systemu. Liczne badania obu, wspomnianych tu systemów regulacji poślizgu napędowego (zamontowanych na różnych, seryjnie produkowanych samochodach) wykazały, iż w praktyce ich walory użytkowe są do siebie zbliżone i dlatego obecnie nie preferuje się specjalnie żadnego z nich.

4.1. System regulacji przepustnicy gaźnika "E-Gas"

Jak już wspomniano, w obu układach regulacji ASR oddziaływanie na przepustnicę gaźnika opiera się na systemie "E-Gas".

W systemie tym wyeliminowano całkowicie mechaniczne sterowanie przepustnicą bezpośrednio poprzez pedał przyspieszenia. Oczywiście kierowca samochodu, podobnie jak do tej pory, uzyskuje pożądaną prędkość pojazdu przez odpowiednie wychylenie pedału gazu, jednakże samo ustawienie przepustnicy odbywa się z udziałem specjalnego, elektrycznego silnika regulacyjnego. W sytuacji, gdy dojdzie do niespodziewanego poślizgu kół napędzających, funkcję sterowania momentem napędowym silnika przejmuje na siebie w ramach ASR układ "E-Gas" (już oczywiście bez udziału kierowcy). Układ ten reaguje natychmiastowo przez zadanie odpowiedniej wartości nastawczej kąta wychylenia przepustnicy i kontroluje tę wartość w sposób ciągły, stosownie do sytuacji i czasu trwania samej regulacji. System "E-Gas" wykonuje również inne, dodatkowe zadania, które w dużej mierze automatyzują proces kierowania samochodem i eliminują ewentualne błędy, popełniane przez prowadzącego pojazd. Ogólnie rzecz biorąc, system "E-Gas" spełnia następujące funkcje:

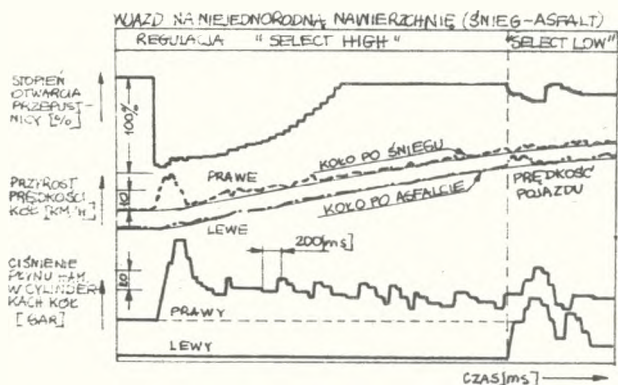
- zastępuje, dzięki zastosowaniu odpowiedniego układu elektrycznego, zespół cięgieł i dźwigni mechanicznego sterowania przepustnicą;
- ogranicza, względnie czasowo reguluje prędkość jazdy samochodu w sytuacjach awaryjnych;
- reguluje wolne obroty silnika oraz koryguje jego obciążenie;
- ogranicza prędkość obrotową silnika w razie nadmiernego wzrostu temperatury pracy;
- stanowi stały punkt odniesienia dla przebiegu procesu regulacji systemu ASR, związanego z selektywnym odłączaniem zapłonu, względnie tłumieniem wtrysku;
- prowadzi samokontrolę całego systemu ASR oraz nadzór nad bezpieczeństwem jazdy.

Dzięki zastosowaniu systemu "E-Gas" uzyskuje się możliwość dynamicznego ustawiania kąta otwarcia przepustnicy, co za-

pewnia skuteczność prowadzenia pełnej regulacji momentu napędowego silnika w szerokim zakresie. Jest to szczególnie istotne w sytuacjach, gdy koła napędowe, wskutek odjęcia gazu lub zmiany biegów, wpadną w poślizg na nawierzchni o słabej przyczepności, mogąc spowodować utratę stabilności samochodu. Szybkie i dynamiczne sterowanie przepustnicą pozwala z jednej strony na utrzymanie stabilności jazdy, z drugiej zaś na pełne wykorzystanie efektu hamowania silnikiem.

4.2. System ASR z udziałem układu hamulcowego

Dzięki ingerencji systemu w układ hamulcowy (z wykorzystaniem elementów systemu ABS) można, poprzez odpowiednie przyhamowanie koła wykazującego tendencję do poślizgu, doprowadzić praktycznie do sytuacji, w której moment napędowy przenoszony przez koła napędzające będzie dla każdego z kół jednakowy.



Rys. 13. Przykład przebiegu regulacji systemu ASR z oddziaływaniem na przepustnicę i układ hamulcowy

W efekcie system ten zapewnia pełną stabilność trakcyjną samochodu również w trakcie jazdy na zakrętach oraz

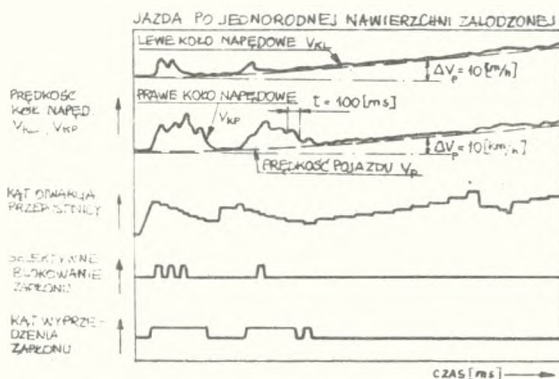
w przypadkach, gdy przyczepność kół lewej i prawej strony pojazdu jest wyraźnie zróżnicowana. W celu zobrazowania przebiegu procesu regulacji poślizgu napędowego z zastosowaniem omawianego tu systemu ASR przedstawiono na rys. 13 zapis zmian parametrów regulowanych, zdjęty podczas najazdu samochodu na niejednorodny odcinek nawierzchni drogi, częściowo pokrytej śniegiem. Jak widać na rysunku, lewe koło napędzające, toczące się po asfalcie, wykazuje nieznaczny poślizg, który jednak mieści się jeszcze w dopuszczalnym zakresie ($\lambda < \lambda_{gr}$), natomiast koło prawe, poruszające się w śniegu, wyraźnie przekroczyło dopuszczalny poziom ($\lambda = 20\%$), o czym świadczy znaczny wzrost prędkości tego koła. Reakcja systemu w takiej sytuacji jest natychmiastowa - przepustnica gaźnika zostaje gwałtownie przymknięta, a wzrost ciśnienia w hamulcu prawego koła powoduje jego chwilowe przyhamowanie. Dalszy przebieg regulacji prowadzi stopniowo do ustabilizowania się, wraz z zanikiem poślizgu, warunków jazdy. Przyhamowanie jednego z kół powoduje oczywiście jednocześnie wzrost momentu napędowego koła drugiego o wartość, odpowiadającą wartości momentu hamowania. Dzięki temu naturalnie polepsza się ciąg napędowy pojazdu, wyposażonego w tego typu system ASR.

Proces regulacji prowadzony jest przez układ tak długo, aż poziom odchylenia poślizgu spadnie poniżej wartości granicznej, względnie gdy drugie koło napędzające również wpadnie w poślizg. Warto zwrócić uwagę na charakterystykę pracy przepustnicy gaźnika, której przebieg (łagodnie, stopniowe zwiększanie kąta otwarcia) zapewnia utrzymanie stabilności jazdy samochodu.

4.3. System ASR z układem oddziaływania na przepustnicę gaźnika oraz aparat zapłonowy

W systemie tym regulacja poślizgu napędowego odbywa się dzięki ingerencji w niektóre parametry sterowania pracą silnika, tzn.: kąt otwarcia przepustnicy gaźnika (z udziałem

opisanego już systemu "E-Gas"), kąt wyprzedzenia zapłonu wraz z równoległym selektywnym blokowaniem samego zapłonu oraz, w przypadku silników Diesla, wielkość wtrysku paliwa. Taka regulacja nie prowadzi wprawdzie bezpośrednio do poprawienia trakcyjności pojazdu, niemniej jednak zapewnia w trudnych sytuacjach drogowych bardzo dobrą stabilność i sterowność samochodu. Zwiększenie ciągu napędowego możliwe tu jest jedynie na drodze dodatkowego wprowadzenia regulacji blokady mechanizmu różnicowego, co jednakże powoduje wydatny wzrost kosztów całego systemu ASR i w związku z tym nie jest raczej w praktyce stosowane. Na rys. 14 przedstawiono, w postaci wykresu zmian parametrów regulowanych, zasadę regulacji poślizgu napędowego opartą na omawianym tu systemie ASR.



Rys. 14. Przykład przebiegu regulacji ASR z udziałem samego silnika

Przebieg krzywych regulacji zdjęto w sytuacji, gdy nastąpił najazd badanego pojazdu na jednorodny, gładki odcinek drogi, pokryty lodem. Jak to widać na rysunku, wskutek nadmiernego w danej chwili momentu napędowego (zbyt duży kąt otwarcia przepustnicy) dochodzi do znacznego poślizgu obu kół napędowych, poruszających się już po oblodzonej nawierzchni.

W zależności od wielkości poślizgu i przyspieszenia kół następuje automatycznie natychmiastowe przykniecie przepustnicy. W przypadku gdy, jak na wykresie, jest to niewystarczające do opanowania poślizgu, uruchomiony zostaje układ regulacji kąta wyprzedzenia zapłonu oraz selektywnego blokowania zapłonu. Po zmniejszeniu się wartości poślizgu poniżej progowej, następuje ponowne wychylenie przepustnicy, zależne od prędkości kół, prędkości pojazdu oraz położenia pedału przyspieszenia, zadanego przez kierowcę samochodu. Prowadzi to zazwyczaj do ponownego wzrostu poślizgu i następnego cyklu regulacyjnego. Ingerencja systemu ASR w nastawy regulacyjne pracy silnika (zapłon, wtrysk) trwa w zasadzie aż do momentu, w którym już jedynie układ "E-Gas" jest w stanie samodzielnie przejąć dalszą regulację.

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie bardzo dobrych testów i wyników badań eksploatacyjnych pojazdów wyposażonych w systemy ABS, przeprowadzonych w różnorodnych warunkach jazdy, można stwierdzić, iż w najbliższej przyszłości nastąpi znaczne rozszerzenie stosowalności tego typu systemów w samochodach osobowych.

Większość znaczących na rynku zachodnim producentów wysokiej i średniej klasy jest bardzo zainteresowana tymi urządzeniami i coraz częściej wyposaża w nie seryjnie produkowane egzemplarze.

Systemy regulacji poślizgu kół napędzanych, które w zasadzie są rozwiązaniami bardziej kompleksowymi i uniwersalnymi aniżeli układy ABS, zostały wprowadzone w ostatnich latach do produkcji seryjnej i, co należy jednoznacznie stwierdzić, są w stanie znacznie podnieść bezpieczeństwo jazdy. Rozwiązania konstrukcyjne elementów układów ASR pozwalają na instalowanie ich w zasadzie w każdym samochodzie, przy

czym, jak na to wskazują praktyczne doświadczenia, są obecnie stosowane zawsze wspólnie z systemami ABS i taką też tendencję należy widzieć również w najbliższej przyszłości.

LITERATURA

- [1] B ę d k o w s k i L.: Hamulcowy układ optymalno-poślizgowy, Biuletyn PIMOT nr 4, 1977.
- [2] B u r c k h a r d t M.: Möglichkeiten und Grenzen verschiedener Brems- und Antriebsschlupf-Regelssysteme für PKW, Automobil-Industrie nr 5, 1987.
- [3] D e m e l H.: Möglichkeiten und Grenzen von Anti-blockiersystem, ATZ nr 1, 1975.
- [4] K o n o p i ń s k i M.: Elektronika w technice motoryzacyjnej, WKiŁ, Warszawa 1979.
- [5] W e b e r R.: Reifenführungskräfte bei schnellen Änderungen von Schaglauf und Schlupf, Habilitationsschrift TH, Karlsruhe 1981.