

Michał FILIPIAK\*  
Jarosław JAJCZYK\*

## BADANIA RADAROWEGO SYSTEMU ACC W WARUNKACH DROGOWYCH

W artykule omówiono budowę i zasadę działania systemu aktywnego tempomatu. Opisano elementy wchodzące w skład systemu ACC począwszy od czujników aż po systemy bezpieczeństwa czynnego takie jak ABS i ESP. Przedstawiono rozmieszczenie elementów i scharakteryzowano ich współpracę zapewniającą prawidłowe działanie systemu ACC. W badaniach drogowych, które zrealizowano w ramach pracy, sprawdzono zachowanie się pojazdu wyposażonego w układ ACC. Sprawdzono jego działanie podczas hamowania, zatrzymywania i przyspieszania pojazdu. Zbadano zachowanie systemu przy jeździe na łuku za innym pojazdem oraz sprawdzono reakcję systemu przy zajechaniu drogi przez pojazd wyprzedzający.

SŁOWA KLUCZOWE: bezpieczeństwo czynne, ABS, ESP, tempomat, ACC

### 1. WSTĘP

Rozwój techniki motoryzacyjnej w dużej mierze napędzany jest dzięki postępowi w dziedzinie elektroniki i informatyki. Rozbudowane systemy bezpieczeństwa biernego i czynnego oraz systemy komfortu możliwe są do realizacji dzięki postępowi w dziedzinie techniki mikroprocesorowej. Systemami, które zostały opracowane i zaimplementowane w pojazdach są między innymi: system zapobiegający blokowaniu się kół podczas hamowania (ABS) [10], system zapobiegania poślizgowi kół napędowych podczas ruszania (ASR), system stabilizacji toru jazdy (ESP) [2, 11], systemy utrzymujące zadaną prędkość pojazdu (tempomat), systemy pirotechnicznych poduszek powietrznych i napinaczy pasów, systemy wizyjne itd. Układy te mogły powstać i spełnić pokładane w nich oczekiwania dzięki szybkim układom mikroprocesorowym wykonującym w czasie rzeczywistym skomplikowane obliczenia. Analiza sygnałów z czujników przeprowadzona w wystarczająco krótkim czasie pozwala na wysterowanie odpowiednich elementów wykonawczych. Dzięki temu możliwe jest zapobieganie niebezpiecznym zdarzeniom drogowym, minimalizowanie negatywnych skut-

---

\* Politechnika Poznańska.

ków zdarzeń już zaistniałych bądź podniesienie komfortu podróżowania kierowcy oraz pasażerów.

Jednym z systemów zyskujących coraz większą popularność jest radarowy system kontroli prędkości, zwany aktywnym tempomatem (ACC – ang. *Adaptive Cruise Control*). Układ ten odpowiedzialny jest za utrzymywanie zadanej przez kierującego prędkości jazdy z zachowaniem żądanej odległości od pojazdów poprzedzających.

Badanie systemów samochodowych związanych z ruchem jest trudne do zrealizowania w warunkach laboratoryjnych. W takich sytuacjach niezbędne jest przeprowadzenie odpowiednich testów w warunkach drogowych. Możliwe jest wtedy zbadanie (przy zachowaniu należytej ostrożności) skuteczności danego systemu [3, 5].

W pracy przeprowadzono badania mające na celu wykazanie przydatności systemu aktywnej kontroli prędkości oraz wskazanie niebezpieczeństw związanych z jego eksploatacją [8, 9].

## 2. ZASADA DZIAŁANIA SYSTEMU ACC

Kierowca podczas załączania systemu aktywnego tempomatu (ACC) ma możliwość ustawienia maksymalnej prędkości jazdy oraz odległości od poprzedzającego pojazdu. Pozostałe funkcje takie jak przełączanie się systemu z tradycyjnego tempomatu do automatycznej regulacji prędkości, przyspieszanie, zwalnianie i hamowanie aktywowane są automatycznie.

Najważniejszym elementem systemu ACC jest radarowy zespół pomiarowy (rys. 1). Jest on odpowiedzialny za określanie odległości do obiektów w otoczeniu pojazdu oraz ich prędkości. System ACC nie jest układem autonomicznym. Wykorzystuje również sygnały niezbędne do prawidłowego i bezpiecznego utrzymania prędkości i odległości z innych układów wchodzących w skład wyposażenia pojazdu. Informacjami, z których korzysta system ACC [1,7] są (rys. 1):

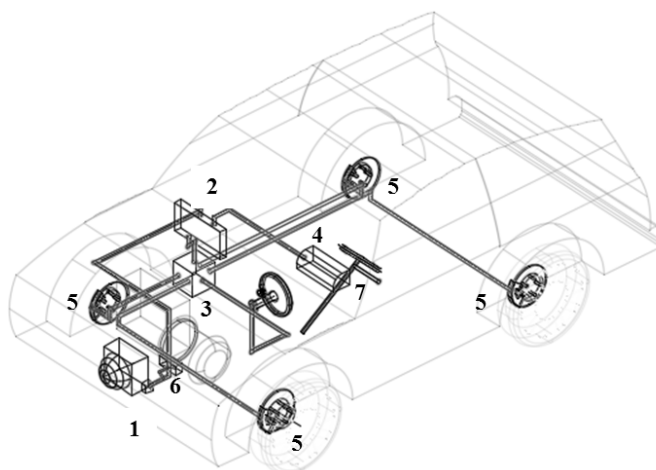
- prędkość pojazdu (czujniki prędkości obrotowej kół),
- przyspieszenie lub opóźnienie (czujnik przyspieszenia),
- kąt skrętu kierownicy (czujnik kąta skrętu kierownicy),
- ruch obrotowy pojazdu (czujnik przyspieszeń kątowych),

Ponadto, sterownik kontrolujący pracę aktywnego tempomatu uwzględnia zadane przez kierowcę ustawienia wprowadzone za pomocą zestawu wskaźników i elementów obsługi. Są to:

- maksymalna prędkość pojazdu,
- odległość od pojazdu poprzedzającego.

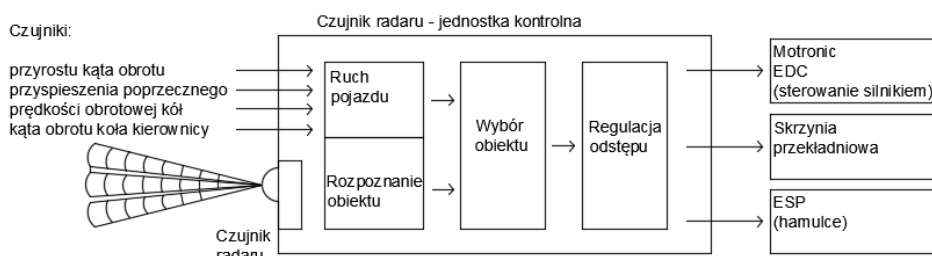
Na podstawie odczytanych wartości system przelicza parametry pracy układu i nastawia prędkość pojazdu poprzez zadanie momentu obrotowego silnika.

Taką możliwość stwarzają układy sterowania silników o zapłonie iskrowym (ZI) i samoczynnym (ZS). W tych pierwszych wyróżniamy system EGAS (układ z elektronicznym pedałem przyspieszenia ang. Electronic Glow Adjustable Switch) oraz MOTRONIC ME7 natomiast dla silników wysokoprężnych sterownik EDC (ang. Electronic Diesel-Control) [4, 6]. W przypadku, gdy konieczne jest znaczne zmniejszenie prędkości, uruchamiany jest bez ingerencji kierowcy (poprzez system ESP) układ hamulcowy. Jest to szczególnie przydatne rozwiązanie w pojazdach wyposażonych w automatyczną skrzynię biegów. Z układu sterowania automatycznej skrzyni biegów istotne są informacje o aktualnym stosunku mocy do momentu obrotowego.



Rys. 1. Budowa systemu adaptacyjnej regulacji prędkości jazdy (ACC) [1]: 1 – radarowy zespół układu ACC, 2 – sterownik silnika, 3 – układ hamulcowy z systemem ESP, 4 – zespolona tablica wskaźników i elementów obsługi systemu ACC, 5 – czujniki prędkości obrotowej kół, 6 – sterownik automatycznej skrzyni przekładniowej (opcja), 7 – czujnik kąta skrętu kierownicy

Współpracę wymienionych układów przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Struktura systemu ACC

Hamowanie pojazdu realizowane może być na dwa sposoby, poprzez:

- aktywny wzmacniacz siły hamowania – elektroniczne sterowanie pedałem hamulca,
- hydrauliczny nastawnik hamulców – sterowanie ciśnieniem w układzie hamulcowym poprzez elektroniczne wysterowanie pompy hamulcowej i elektrozaworów hydraulicznych systemu ABS/ESP.

Połączenie systemu ACC z automatyczną skrzynią biegów pozwala na całkowite zatrzymanie pojazdu, a w niektórych rozwiązaniach, gdy postój nie trwa dłużej niż kilka sekundy, jest możliwa ponowna jazda. W przypadku dłuższego postoju należy ponownie aktywować układ odpowiednim przyciskiem.

### 3. BADANIA W WARUNKACH DROGOWYCH

#### 3.1. Opis i cel badań

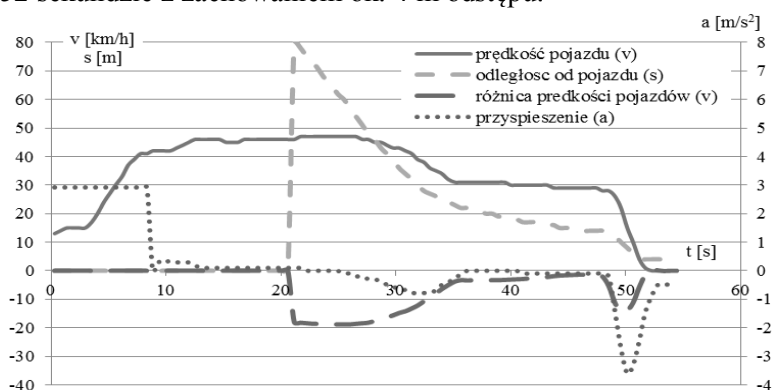
Badania w celu określenia faktycznego zachowania i czasu reakcji systemu ACC przeprowadzono w warunkach drogowych [5, 6]. Badanym systemem był układ firmy TRW (3C0 907 567 M) zamontowany w samochodzie osobowym Volkswagen Passat 2.0 TDI kombi wyposażonym w automatyczną skrzynię biegów. Układ zbadano w kilku typowych sytuacjach (m.in. takich jak zwalnianie pojazdu za innym pojazdem w różnych zakresach prędkości). Wykonano próby z zatrzymaniem pojazdu, włącznie z próbą detekcji stojącej przeszkody. Podczas podążania za innym pojazdem przeprowadzono test reakcji systemu przy nagłym zajęchaniu drogi przez pojazd wyprzedzający. Badania zostały przedstawione w postaci przebiegów czasowych takich sygnałów jak:

- prędkość pojazdu,
- odległość od poprzedzającego pojazdu,
- przyspieszenie lub opóźnienie pojazdu,
- różnica prędkości między pojazdami.

#### 3.2. Redukcja prędkości i zatrzymanie pojazdu

Wyniki badań (w postaci przebiegów czasowych) zachowania pojazdu podczas redukcji prędkości z 50 km/h do 30 km/h przedstawiono na rysunku 3. System ACC został aktywowany w 9 sekundzie pomiaru. Na charakterystyce przyspieszenia można zauważyć, że w tym momencie domyślna wartość przyspieszenia (przy nieaktywnym systemie aktywnego tempomatu wynosząca domyślnie  $2,919 \text{ m/s}^2$ ) skokowo zmalała do niemalże zera. Do około 15 sekundy pojazd przyspieszał do zadanej prędkości 50 km/h (prędkość wskazywana przez prędkościomierz jest zawsze o kilka procent wyższa niż rzeczywista, odczytana przez urządzenie diagnostyczne). Po 20 sekundzie nastąpiło wykrycie pojazdu

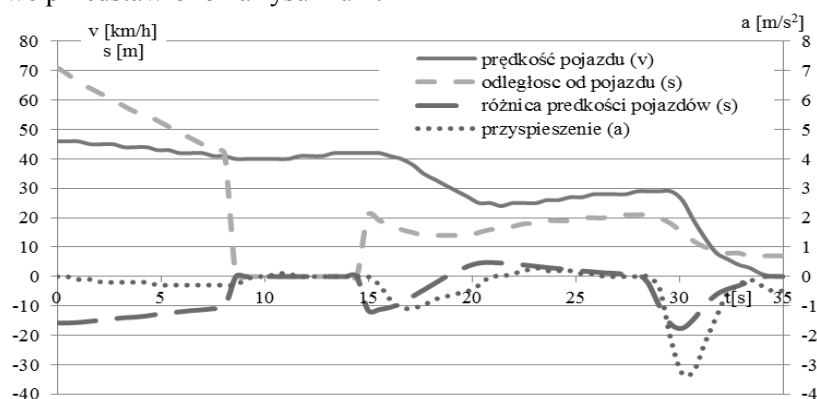
oddalonego o 80 m. W tym momencie system określił również różnicę prędkości między pojazdami (ok. 20 km/h). Sterownik systemu ACC zainicjował zwalnianie poprzez hamowanie silnikiem. W około 35 sekundzie nastąpiło wyrównanie prędkości. W około 47 sekundzie pojazd poprzedzający się zatrzymał. W pojeździe „śledzącym” spowodowało to, poprzez uruchomienie układu hamulcowego, zadanie dużego opóźnienia ( $3,6 \text{ m/s}^2$ ). Zatrzymanie pojazdu nastąpiło w 52 sekundzie z zachowaniem ok. 4 m odstępu.



Rys. 3. Przebiegi prędkości pojazdu, odległości od pojazdu poprzedzającego, różnicy prędkości oraz przyspieszenia podczas zwalniania

### 3.3. Jazda na łuku

Kolejna próba polegała na zaobserwowaniu zachowania systemu ACC podczas podążania za innym pojazdem po krętej drodze. Zarejestrowane przebiegi czasowe przedstawiono na rysunku 4.

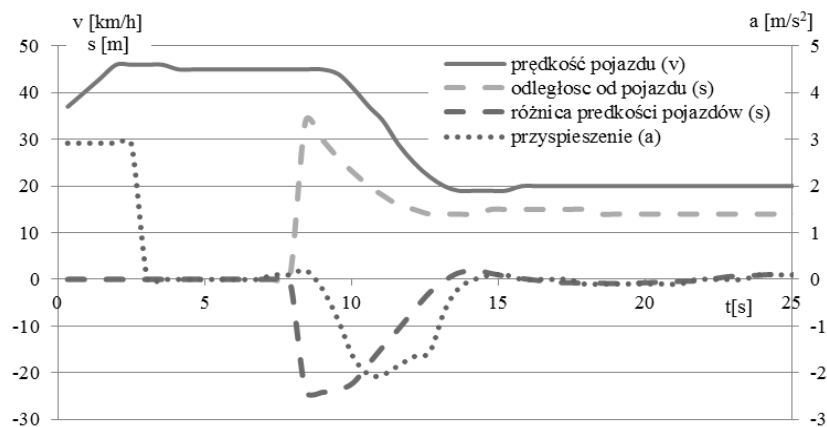


Rys. 4. Przebiegi prędkości pojazdu, odległości od pojazdu poprzedzającego, różnicy prędkości oraz przyspieszenia podczas jazdy za innym pojazdem po łuku

Zadana podczas próby prędkość jazdy wynosiła 50 km/h. W pierwszej części wykresu (do 8 s) obserwujemy doganianie pojazdu poprzedzającego i zwalnianie do prędkości ok. 40 km/h. W 8 s odległość od innego pojazdu gwałtownie obniża się do zera. Jest to moment rozpoczęcia się łuku drogi. Ze względu na fakt, że kąt łuku drogi jest zbyt duży, radar nie wykrywa żadnego obiektu. Pomimo tego prędkość nie ulega zmianie. Dopiero po zakończeniu się łuku (informacja z czujnika skrętu kierownicy) w ok. 15 sekundzie pojazd nieznacznie przyspiesza (o ok. 2 km/h) i wykrywa przed sobą obiekt jadący z mniejszą prędkością. Na skutek tego zwalnia (do 22 s) a następnie podąża za pojazdem poprzedzającym. W około 29 s pojazd poprzedzający zatrzymuje się co powoduje również zatrzymanie pojazdu z aktywnym systemem ACC.

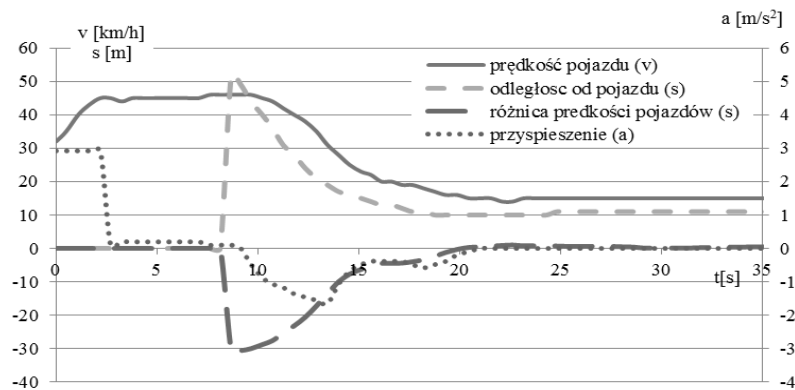
### 3.4. Zwalnianie i podążanie za pojazdem

W kolejnej części badań przeprowadzono analizę zachowania się pojazdu z aktywnym systemem ACC po wykryciu poprzedzającego obiektu poruszającego się z niższą, stałą prędkością. Próbę przeprowadzono dwukrotnie, dla różnych prędkości końcowych: 20 km/h (rys. 5) i 15 km/h (rys. 6). Prędkość początkowa wynosiła około 50 km/h. W obu przypadkach w 3 sekundzie następuje załączenie systemu ACC. W 8 sekundzie wykrywany jest pojazd poruszający się z niższą prędkością.



Rys. 5. Zwalnianie pojazdu z 50 km/h do 20 km/h z wyrównaniem prędkości

Porównując rysunek 5 i 6 zauważyć można różnice odległości w jakiej poprzedzający pojazd zostaje wykryty. Jest to odpowiednio 35 m i 53 m. Różnica ta wynika z odmiennych warunków drogowych i atmosferycznych w jakich badania zostały wykonane.



Rys. 6. Zwalnianie pojazdu z 50 km/h do 15 km/h z wyrównaniem prędkości

W pierwszym przypadku, ze względu na mniejszą odległość, reakcja systemu ACC jest bardziej zdecydowana. Następuje gwałtowne hamowanie z opóźnieniem  $-2 \text{ m/s}^2$ . W drugim przypadku opóźnienie wynosi około  $-1,5 \text{ m/s}^2$ . W około 15 s pierwszej próby i 20 s drugiej, prędkości pojazdów wyrównują się (różnica prędkości równa zero) i pojazdy poruszają się w stałej zadanej odległości.

### 3.5. Zatrzymanie pojazdu przed przeszkodą

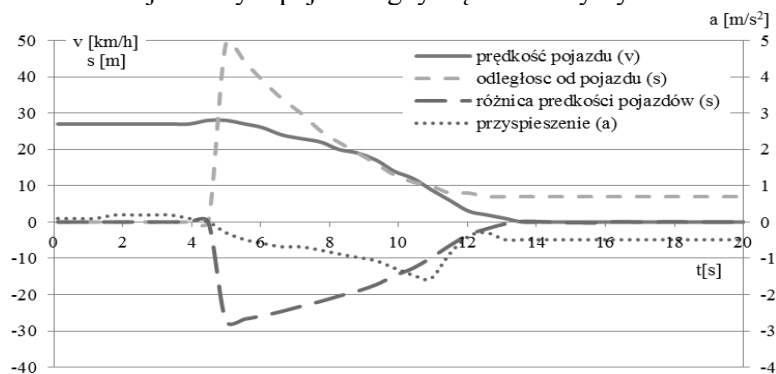
Systemy aktywnego tempomatu poza możliwością utrzymywania prędkości i dopasowywania jej do prędkości pojazdów wolniejszych mają również, w przypadku aut z automatyczną skrzynią biegów, możliwość całkowitego zatrzymania pojazdu. Zgodnie z instrukcją, producent badanego systemu nie przewiduje możliwości rozpoznawania obiektów nieporuszających, są one ignorowane.

Podczas badań systemu aktywnego tempomatu przeprowadzono próbę zatrzymania pojazdu przed nieporuszającą się przeszkodą (rys. 7 i rys. 8). W celu uniknięcia niebezpiecznych sytuacji pierwszą próbę przeprowadzono przy minimalnej prędkości jaką można nastawić w systemie ACC (30 km/h).

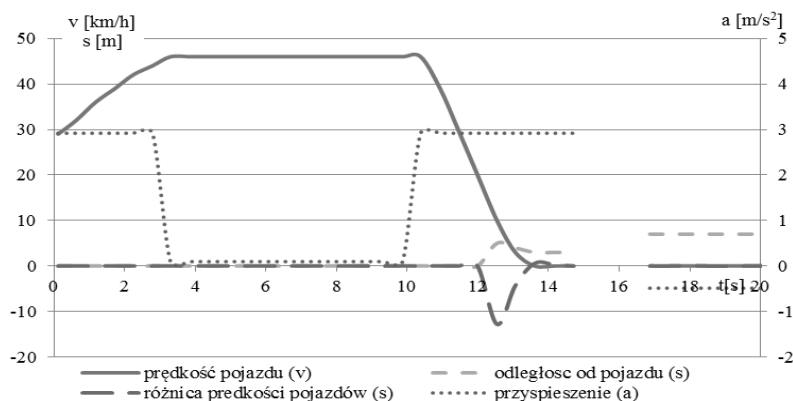
Analizując przebiegi zamieszczone na rys. 7 można zauważyć, że do 5 sekundy pojazd podąża ze stałą prędkością, a następnie wykrywa obiekt znajdujący się w odległości 50 metrów. W tym momencie następuje rozpoczęcie zwalniania i hamowanie pojazdu, aż do całkowitego zatrzymania.

W kolejnej próbie zwiększono prędkość poruszającego się pojazdu do 50 km/h. W tym przypadku po aktywowaniu w 3 sekundzie układu ACC pojazd podążał ze stałą prędkością i nie wykrył żadnego obiektu (rys. 8). W 10 sekundzie kierowca zainicjował hamowanie awaryjne w celu uniknięcia zderzenia.

Próby powtórzone dla różnych zadanych odległości między pojazdami. Nie przyniosło to żadnej zmiany – pojazd nigdy się nie zatrzymywał.



Rys. 7. Zatrzymanie pojazdu jadącego z prędkością 30 km/h przed pojazdem nieruchomym



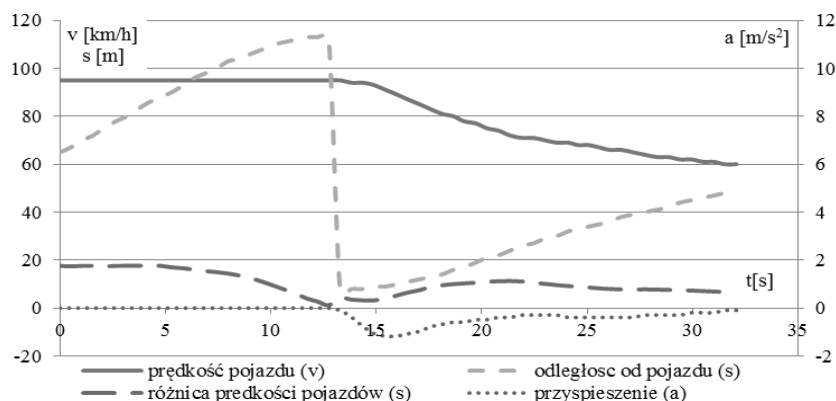
Rys. 8. Zatrzymanie pojazdu jadącego z prędkością 50 km/h przed pojazdem nieruchomym

### 3.6. Zajechanie drogi przez pojazd wyprzedzający

Ostatnia próba miała na celu sprawdzenie zachowania się systemu w momencie nagłego pojawienia się przeszkody. Sytuacja taka może mieć miejsce np. gdy pojazd wyprzedzający zajdzie drogę pojazdowi wyprzedzanemu wyposażonemu w system ACC. Na rysunku 9 przedstawiono zarejestrowane przebiegi. Zaobserwować można, że w 12 sekundzie podczas poruszania się z prędkością 100 km/h gwałtownie zmniejszyła się odległość do pojazdu poprzedzającego ze 110 metrów do około 10 metrów. System ACC w celu uniknięcia najechania pojazdu natychmiastowo zareagował obniżając moment obrotowy silnika (hamowanie silnikiem – opóźnienie około  $-1 \text{ m/s}^2$ ). W związku z tym, że odległość



między pojazdami zaczęła się zwiększać a różnica prędkości maleć (do wyrównania prędkości) układ zmniejszył opóźnienie do zera.



Rys. 9. Jazda na drodze ekspresowej i zajęcie drogi przez inny pojazd (wyprzedzenie)

#### 4. PODSUMOWANIE

Analizowany system aktywnego tempomatu można aktywować z minimalną nastawioną prędkością jazdy równą 30 km/h. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że układ pozwala na podążanie za innym pojazdem jadącym wolniej niż 30 km/h. Zauważono również, że system ACC może doprowadzić do zatrzymania pojazdu. Jest to możliwe dzięki wyposażeniu pojazdu w automatyczną skrzynię biegów.

W czasie jazdy na łuku za pojazdem poruszającym się wolniej niż zadana prędkość, układ ACC ze względu na ograniczoną szerokość wiązki radarowej ma tendencję do „gubienia” poprzedzających pojazdów. Sytuacja taka nie skutkuje jednak przyspieszeniem do zadanej wcześniej prędkości. System utrzymuje dotychczasową prędkość i przyspiesza dopiero po zakończeniu łuku drogi.

Zauważono, że odległość w jakiej system radarowy wykrywał inne obiekty w dużej mierze zależała od warunków drogowych (topologia drogi, warunki atmosferyczne) a także od prędkości jazdy i zadanej odległości. Podczas prób najmniejsza odległość w jakiej system wykrył obiekt to 35 m (rys. 5), a największa to około 110 m (rys. 9).

System aktywnego tempomatu w założeniu nie rozróżnia pojazdów nieporuszających się na drodze. Jednak podczas badań zauważono, że dla zadanej minimalnej prędkości (30 km/h) układ wykrył obiekt nieruchomy i zatrzymał przed nim pojazd (rys. 7). Przy poruszaniu się z prędkością wyższą (50 km/h) system nie podjął żadnej akcji (rys. 8)

Podczas próby zajęcie drogi przez pojazd wyprzedzający reakcja systemu ACC była prawidłowa. Początkowo spowodował on opóźnienie, aby zwiększyć

dystans do pojazdu poprzedzającego, a następnie dążył do utrzymania zadanej odległości.

Przeprowadzone badania potwierdziły przydatność radarowego systemu aktywnej kontroli prędkości, który wpływa korzystnie na komfort i bezpieczeństwo podróżowania.

### LITERATURA

- [1] Bosch Team, Adaptacyjna regulacja prędkości jazdy ACC, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
- [2] Filipiak M., Jajczyk J., Nawrowski R., Putz Ł.: Systemy bezpieczeństwa czynnego i ich diagnostyka, Poznan University of Technology Electrical Engineering Academic Journals, zeszyt 69, s. 219-226, Poznań, kwiecień 2012, s. 219-226.
- [3] Filipiak M., Jajczyk J., Nawrowski R., Putz Ł.: Urządzenia diagnostyczne w pojazdach samochodowych, Poznan University of Technology Electrical Engineering Academic Journals, zeszyt 69, Poznań, kwiecień 2012, s. 227-234.
- [4] Herner A., Riehl H.J., Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
- [5] KTS 570 User Manual.
- [6] Myszkowski S., Poradnik serwisowy. Diagnostyka pokładowa. Standard OBD II/EOBD, Instalator Polski, Warszawa 5/2003.
- [7] Schmidgall R., Zimmermann W., Magistrale wymiany danych w pojazdach. Protokoły i standardy, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008.
- [8] Sitek K., Syta S., Pojazdy samochodowe. Badania stanowiskowe i diagnostyka, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011.
- [9] Trzeciak K., Diagnostyka samochodów osobowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.
- [10] Konwencjonalne i elektroniczne układy hamulcowe, Praca zbiorowa, WKŁ 2006.
- [11] Układ stabilizacji toru jazdy, Praca zbiorowa, WKŁ 2000.

### TESTING OF THE RADAR SYSTEM ACC IN ROAD CONDITIONS

The article discusses the design and operation of the system of active cruise control. Describes the elements included in the ACC from the sensors to the active safety systems such as ABS and ESP. They show the distribution of elements and characterized their cooperation ensures proper operation of the ACC system. In studies of road, which was carried out in the context of work, checked the behaviour of the vehicle equipped with the ACC. Tested for its effectiveness during braking, stopping and acceleration of the vehicle. We examined the behaviour of the system when driving on a curve behind another vehicle and checked the reaction of the system when the road is blocked by the overtaking vehicle.

*(Received: 22. 02. 2016, revised: 4. 03. 2016)*