Nr 2 (172) 2014

DOI: 10.5604/17318157.1127101

BADANIA STATECZNOŚCI I KIEROWALNOŚCI POJAZDÓW PRZY POMOCY ROBOTA STERUJĄCEGO SR60 FIRMY ABDYNAMICS

Marcin GRUBEK*

* *Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej*
e-mail: marcin.grubek@witpis.eu

Artykuł wpłynął do redakcji 30.12.2012 r., Zweryfikowaną i poprawioną wersję po recenzjach i korekcie otrzymano w marcu 2014 r.

© Zeszyty Naukowe WSOWL

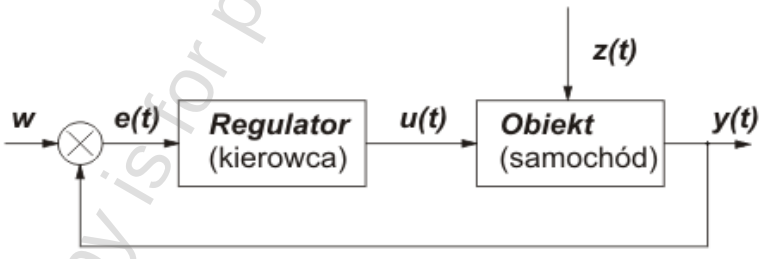
Stateczność i kierowalność to najważniejsze z właściwości pojazdów dotyczących bezpieczeństwa czynnego. Zwykle dla określenia stateczności pojazdu wykonywana jest próba podwójnej zmiany pasa ruchu, natomiast dla określenia kierowalności wykonywane są próby polegające na zadawaniu różnych wymuszeń na kole kierowniczym i badaniu reakcji pojazdu. Aby wyeliminować błędy czynnika ludzkiego oraz poprawić powtarzalność prób, zasadnym jest zastąpienie kierowcy automatycznym układem wykonującym czynności manipulacyjne za człowieka.

W niniejszym artykule przedstawiono robota sterującego SR60, jego budowę, funkcję oraz wykorzystanie w badaniach stateczności i kierowalności pojazdów.

Słowa kluczowe: *stateczność, kierowalność, pojazdy, roboty sterujące, SR60*

WSTĘP

Samochód i kierowcę, który nim steruje można określić jako system sterowania z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego, czyli system regulacji. W układzie tym samochód jest obiektem regulacji, a kierowca pełni rolę regulatora. Zewnętrzne otoczenie, tj. droga i powietrze, jest źródłem sił określających ruch samochodu.



Rys. 1. Schemat blokowy układu regulacji kierowca – samochód

Źródło: Opracowanie własne

This copy is for personal use only - distribution prohibited.

Jednak taki system, w którym człowiek jest regulatorem, niesie za sobą niski poziom dokładności i powtarzalności. W jednakowych warunkach różni kierowcy lub nawet ten sam kierowca, lecz w różnym stanie psychofizycznym, niejednakowo kierują samochodem. W ten sposób powstają rozbieżności między pożądanymi a rzeczywistymi parametrami ruchu, zależne od niedoskonałości kierowcy. Wyeliminowanie błędów człowieka wymaga zastosowania automatycznego systemu kierowania pojazdem. W Wojskowym Instytucie Techniki Pancernej i Samochodowej w tym celu wykorzystywany jest robot sterujący SR 60 firmy ABDynamics.

1. OPIS ROBOTA STEROWNICZEGO SR60

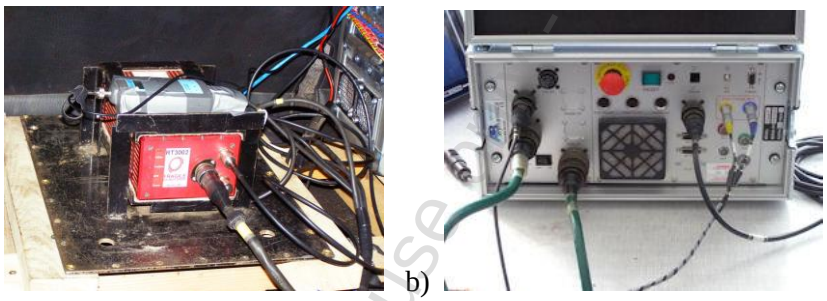
1.1. Budowa robota SR60

W budowie robota SR60 można wyróżnić cztery podstawowe układy składowe:

– układ zasilania;
– układ sterowania;
– układ ruchu;
– układ sensorów.

Widok robota przedstawiono na rysunku 2. Schemat blokowy robota przedstawiono na rysunku 3.

a) b)

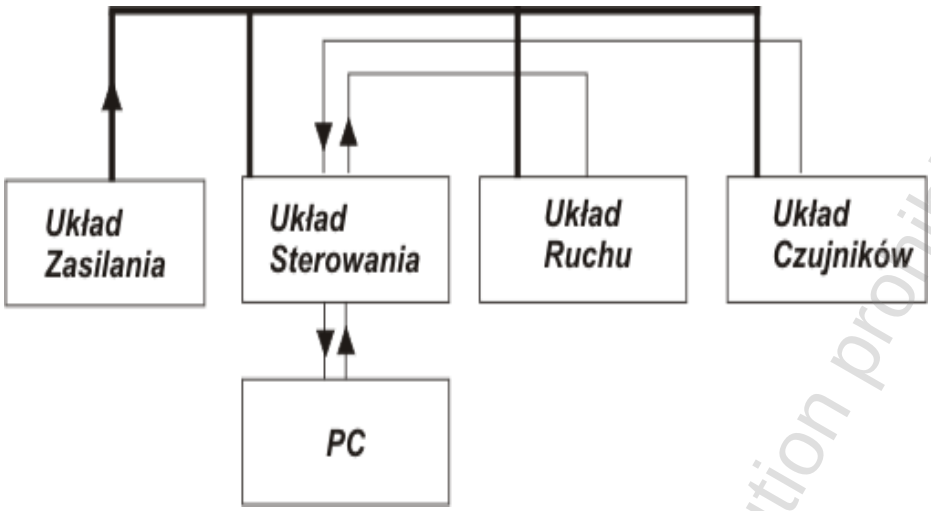


c)

Rys. 2. Robot sterujący. a) system inercyjno satelitarny RT 3002, b) jednostka centralna, c) kierownica pomiarowa z kolumną ustalającą

Źródło: [1]

This copy is for personal use only - distribution prohibited.



Rys. 3. Schemat blokowy robota sterującego SR60

Źródło: Opracowanie własne

SR60 posiada budowę modułową. Układy zasilania, sterownia, sensorów oraz jednostka kinematyczna znajdują się w osobnych urządzeniach. Robot zasilany jest z akumulatora badanego pojazdu. Dodatkowo posiada wbudowany akumulator 12 V oraz przetworniki, które umożliwiają zasilenie pozostałych układów robota.

Pracą robota steruje komputer o wysokiej mocy obliczeniowej. Niezawodność działania jednostki centralnej zapewnia zastosowany tu System Czasu Rzeczywistego.

Układ ruchu, zadający wymuszenia na kole kierowniczym, to bezszczotkowy silnik prądu stałego o maksymalnym momencie 70 Nm, maksymalnej prędkości obrotu 2500°/s oraz rozdzielczości kątowej 0,00076°.

Standardowo robot posiada sensory umożliwiające odczyt kąta obrotu kierownicy oraz momentu na kole kierowniczym. W takiej konfiguracji urządzenie nie otrzymuje informacji o stanie pojazdu, co pozwala jedynie na sterowanie pojazdem w otwartej pętli sprzężenia zwrotnego. Stosując nawigację inercyjno-satelitarną RT 3002 firmy OXTS robot jest w stanie sterować pojazdem w układzie z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego.

1.2 Metody programowania

Programowanie robota SR60 może odbywać się na trzy sposoby:

- Play-back;
- Off-line:
  - Teach-in;
  - Wbudowane makra.

W metodzie „Play-back" urządzenie jest uczone przez kierowcę sekwencji ruchów, które ma wykonać. Układ sterowania zapamiętuje co ok. 20 ms kolejne kąty obrotów i prędkości, z jakimi są wykonywane. Po przejściu do normalnego trybu pracy robot odtwarza zaprogramowane wymuszenie na kole kierowniczym.

This copy is for personal use only - distribution prohibited.

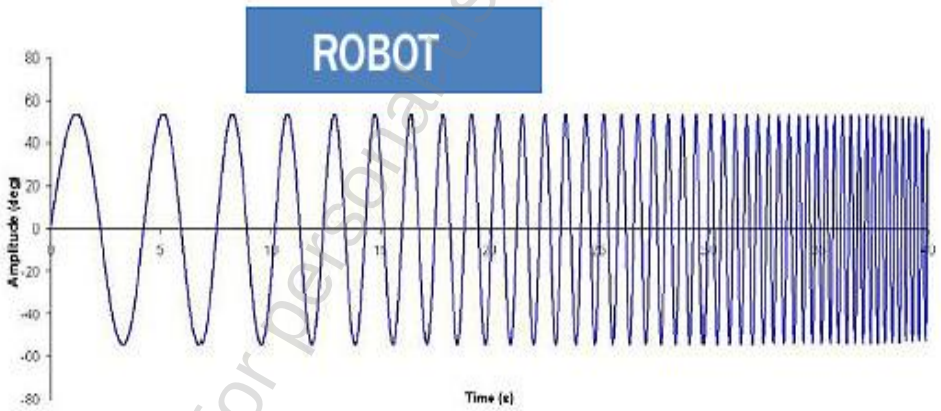
Podczas programowania „Teach-in” operator wytycza ścieżkę, po której ma poruszać się sterowany przez robota pojazd. W interaktywnym oprogramowaniu operator buduje trasę składającą się z odcinków, łuków, okręgów oraz innych kształtów. Jednostka sterująca robota przetwarza punkty ścieżki na współrzędne GPS, a następnie tak steruje ruchem kierownicy, aby poruszający się pojazd możliwie jak najdokładniej przebył zaprogramowaną trasę.

Oprogramowanie operatora umożliwia skorzystanie z biblioteki standardowych wymuszeń, np. wymuszenia okresowe, tj. przebieg sinusoidalny, trójkątny, prostokątny oraz inne. Operator, wybierając dane wymuszenie, ma możliwość modyfikowania go poprzez określanie takich parametrów, jak: amplituda, częstotliwość, ilość okresów, czasów narastania i opadania oraz opóźnień.

1.3. Dokładność i powtarzalność

Bardzo istotnymi parametrami opisującymi manipulatory i roboty są dokładność i powtarzalność. Z definicji dokładność manipulatora określa jak blisko manipulator może dojść do zadanego punktu w przestrzeni roboczej. Powtarzalność jest wielkością określającą jak blisko manipulator może dojść do pozycji uprzednio osiągniętej. W przypadku robota SR60 dokładnością możemy nazwać stopień zgodności między zaprogramowanym przebiegiem wymuszenia na kole kierowniczym a rzeczywistym przebiegiem wymuszenia. Powtarzalnością natomiast można nazwać stopień zgodności między kilkoma kolejnymi odtworzeniami tego samego wymuszenia.

Na rysunku nr 4 przedstawiono przykładowy przebieg wymuszenia sinusoidalnego o zmiennej częstotliwości i stałej amplitudzie, wygenerowany przez robota. Na rysunku nr 5 dokonano zestawienia tego przebiegu z wymuszeniem o z założenia takich samych parametrach, wykonanym przez kierowcę testowego.



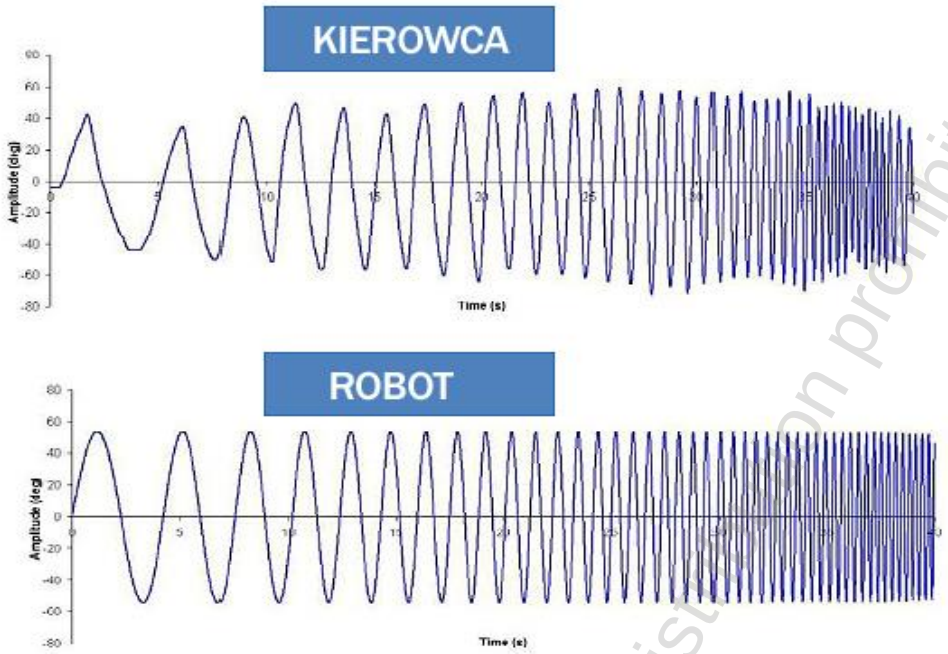
Rys. 4. Przebieg wymuszenia wygenerowanego przez robota

Źródło: [5]

Z przeprowadzonego porównania wynika, że robot wykazuje wysoką dokładność amplitudy, częstotliwości i kształtu sinusoidy.

Powtarzalność robota ukazuje porównanie wykonania manewru podwójnej zmiany pasa ruchu przez kierowcę i robota. Próba została wykonana 10 razy przez dwóch kierowców (każdy kierowca 5 razy) oraz 10 razy przez robota.

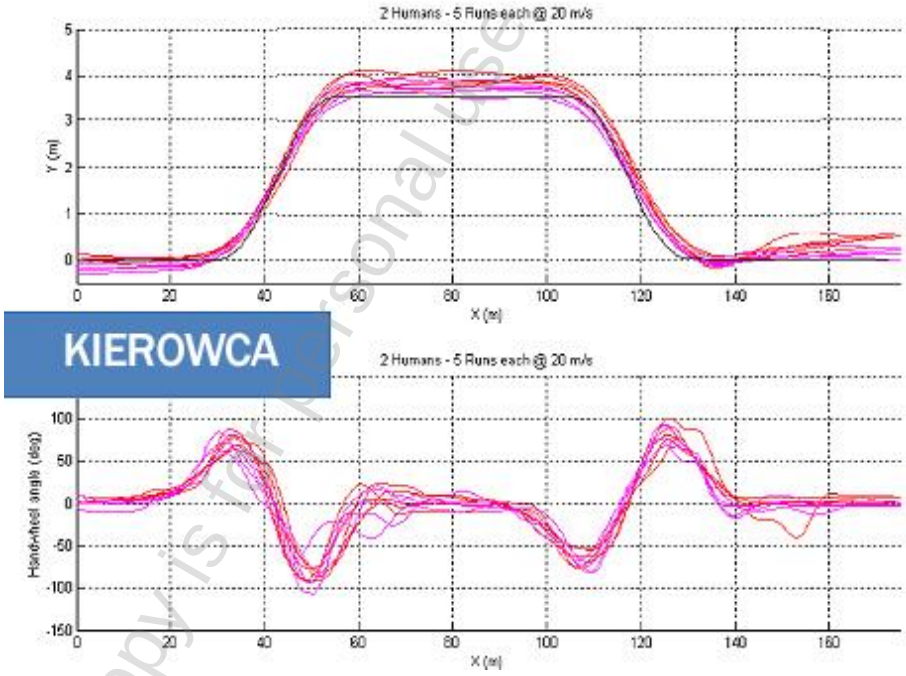
This copy is for personal use only - distribution prohibited.



Rys. 5. Zestawienie przebiegów wymuszeń wygenerowanych przez kierowcę i robota

Źródło: [5]

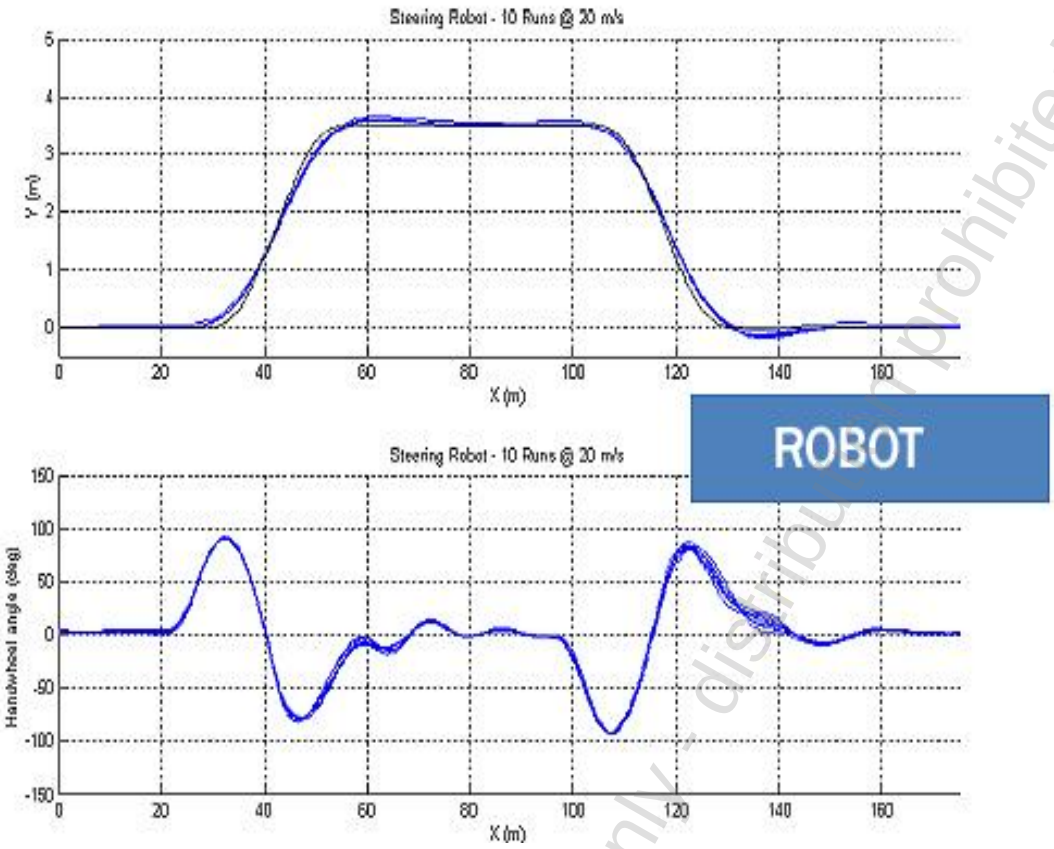
Analiza otrzymanych wyników wykazuje, że robot posiada od 5 do 10 razy większą powtarzalność niż człowiek. Przebiegi drogi oraz kąta obrotu kierownicy przedstawiono na rys 6 ÷ 7.



Rys. 6. Przebiegi drogi oraz kąta skrętu kierownicy - człowiek

Źródło: [5]

This copy is for personal use only - distribution prohibited.



Rys. 7. Przebiegi drogi oraz kąta skrętu kierownicy - robot

Źródło: [5]

2. BADANIA KIEROWALNOŚCI I STATECZNOŚCI POJAZDÓW

Badanie kierowalności i stateczności pojazdu wymaga poznania pewnej grupy jego właściwości, które charakteryzują możliwość zmiany kierunku ruchu i toru pojazdu przez kierowcę oraz zdolność do zachowania kierunku jazdy mimo działających zakłóceń.

Przy wykorzystaniu robota SR60 można wykonać następujące badania:

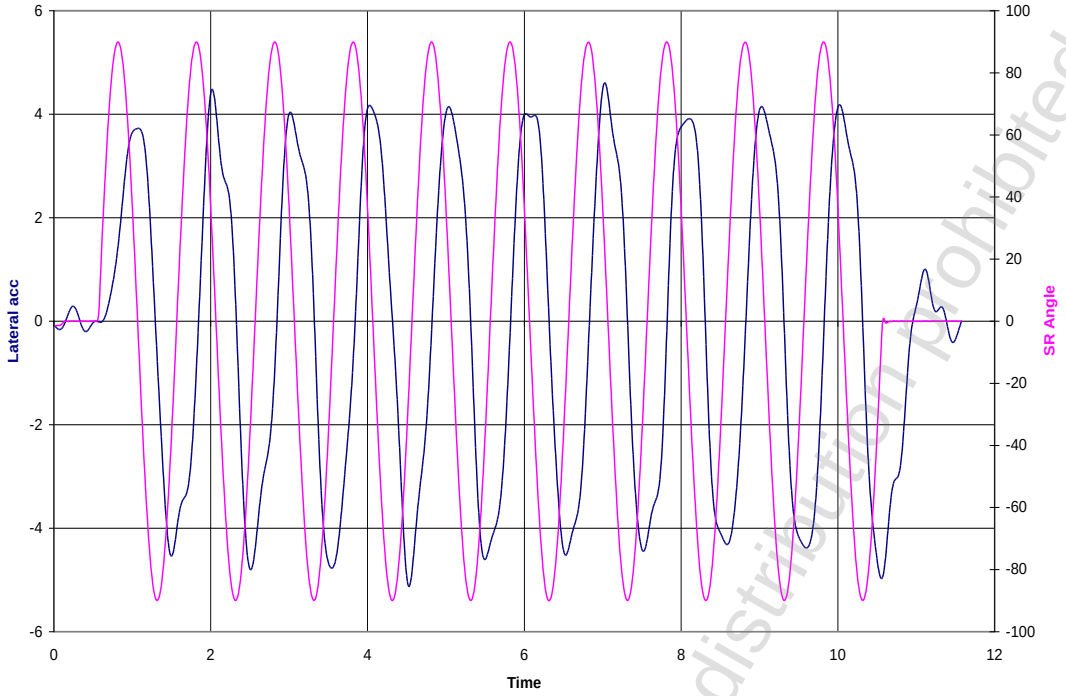
- zwrotności oraz sił na kole kierowniczym;
- stateczności poprzecznej;
- stateczności kierunkowej.

2.1 Badanie reakcji samochodu na ruchy kątowe kołem kierowniczym

Badanie odpowiedzi samochodu na wymuszenie na kole kierowniczym pozwala na określenie stateczności kierunkowej. Robot SR60 oferuje wiele zaprogramowanych wymuszeń, jak pozwala również definiowanie własnych.

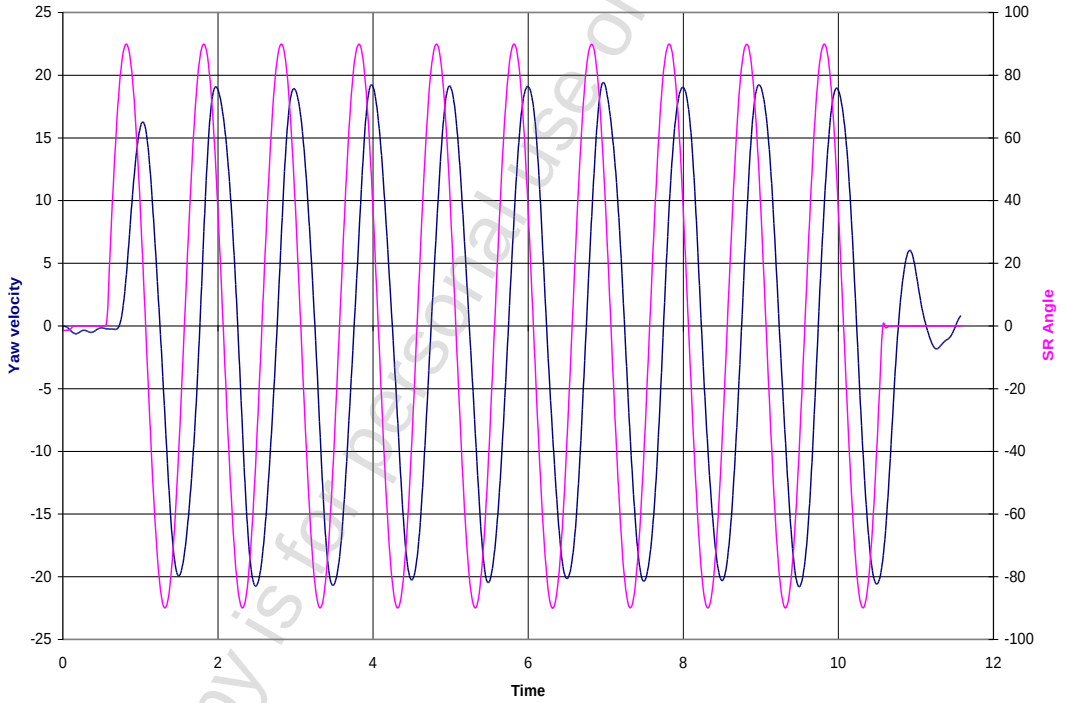
Poniżej przedstawiono wyniki badań odpowiedzi pojazdu (przyspieszenie poprzeczne, prędkość kątowa odchylania oraz kąt bocznego przechyłu nadwozia) JEEP J8 na wymuszenie sinusoidalne o amplitudzie 90° i częstotliwości 1Hz.

This copy is for personal use only - distribution prohibited.



Rys. 8. Przebiegi czasowe kąta skrętu kierownicy i przyspieszenia poprzecznego

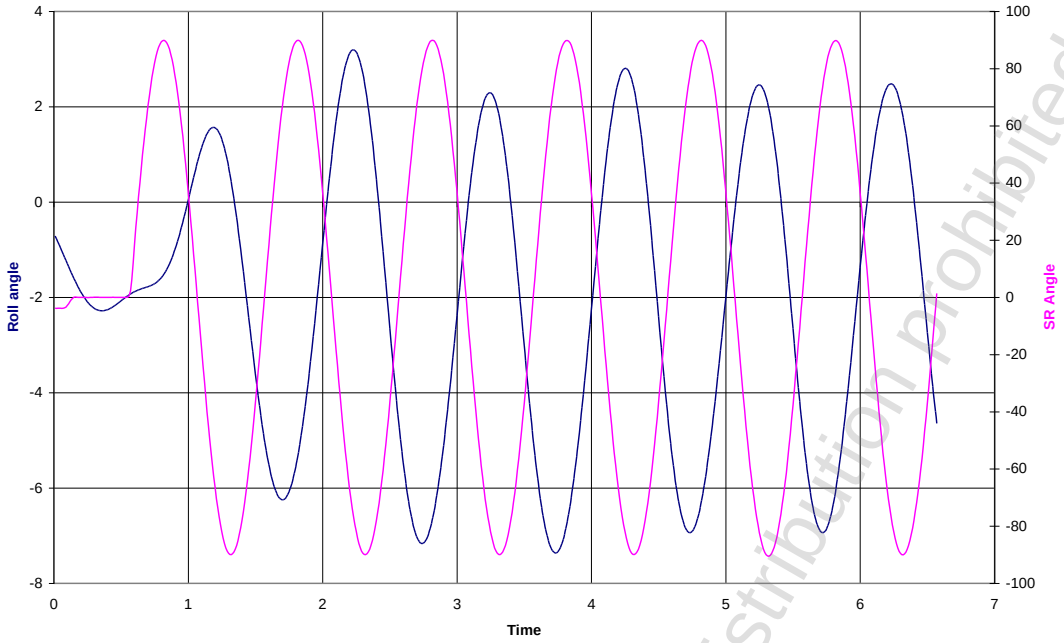
Źródło: [1]



Rys. 9. Przebiegi czasowe kąta skrętu kierownicy i prędkości kątowej odchylania

Źródło: [1]

This copy is for personal use only - distribution prohibited.



Rys. 10. Przebiegi czasowe kąta skrętu kierownicy i kąta bocznego przechyłu nadwozia

Źródło: [1]

W celu określenia powtarzalności badań jako miarę rozrzutu wyników przyjęto odchylenie standardowe wartości średniej wymuszenia (kąta skrętu kierownicy) oraz odpowiedzi (przyspieszenie poprzeczne i prędkość kątowa odchylania). Wyniki analiz przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Rozrzut wyników podczas testu wymuszenia sinusoidalnego

Parametr	Kierunek skrętu kierownicy	
	Strona lewa	Strona Prawa
Maksymalna prędkość kątowa skrętu koła kierownicy [°/s]	568	631
Maksymalny moment na kole kierownicy [Nm]	31,74	34,12
Średni kąt skrętu kierownicy [°]	89,89	89,98
Odchylenie standardowe kąta skrętu kierownicy	0,02	0,02
Średnia amplituda przyspieszenia poprzecznego [m/s/s]	4,45	4,92
Odchylenie standardowe przyspieszenia poprzecznego	0,08	0,1
Średnia amplituda prędkości kątowej odchylania [°/s]	21,94	23,27
Odchylenie standardowe prędkości odchylania	0,98	0,48

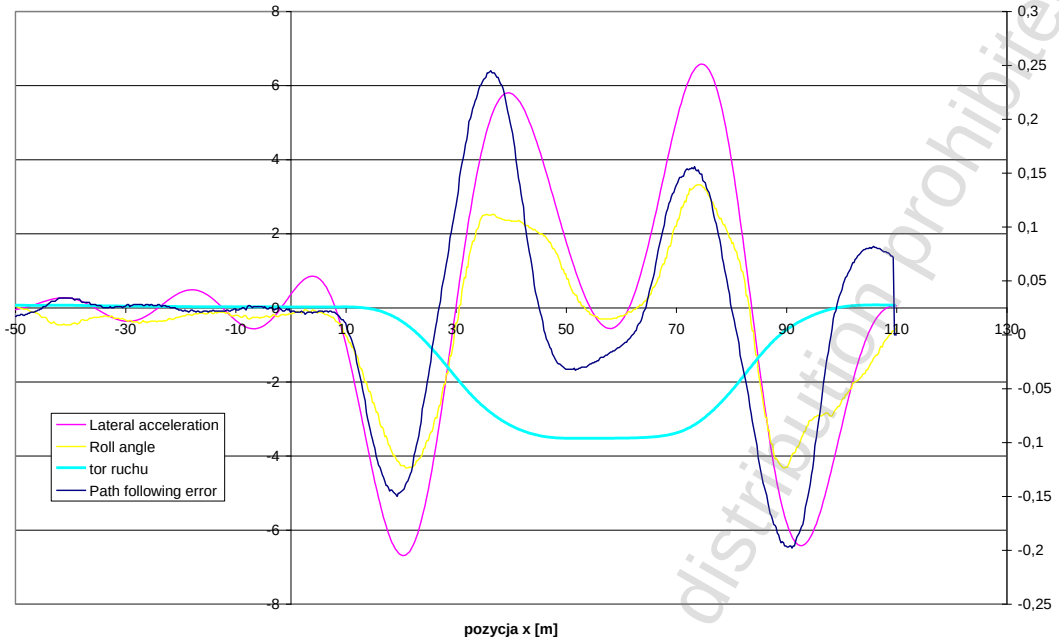
Źródło: [1]

2.2. Badanie stateczności poprzecznej

Celem wykonywania testu stateczności poprzecznej pojazdu jest określenie zdolności do przeciwstawiania się siłom mogącym spowodować jego wywrócenie podczas jazdy np. po łuku.

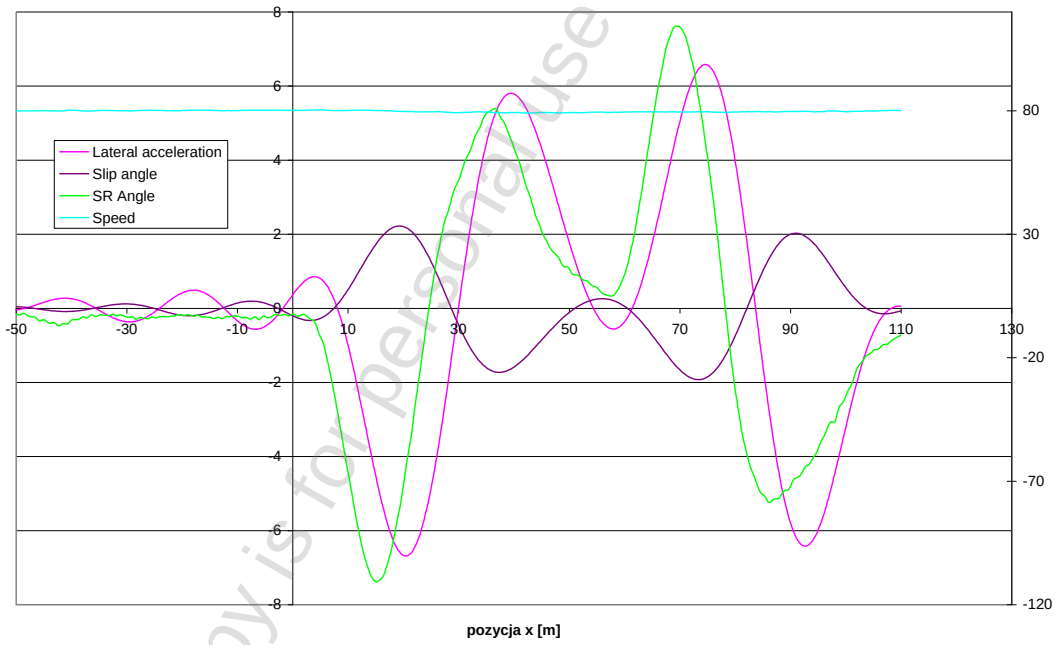
This copy is for personal use only - distribution prohibited.

Przykładowe przebiegi wyników testu podwójnej zmiany pasa ruchu przedstawiono na rys 11÷12.



Rys. 11. Przebiegi czasowe mierzonych parametrów podczas manewru podwójnej zmiany pasa ruchu

Źródło: [1]



Rys. 12. Przebiegi czasowe mierzonych parametrów podczas manewru podwójnej zmiany pasa ruchu

Źródło: [1]

This copy is for personal use only - distribution prohibited.

Analiza wyników pokazuje, że zachowanie się pojazdu przy prędkości 80 km/h jest stabilnie. Maksymalne kąty przechyłu bocznego nie przekraczają 4°, zaś błąd zachowania toru ruchu nie przekracza 25 cm.

PODSUMOWANIE

W badaniach kierowalności i stateczności pojazdów głównym problemem, powodującym małą powtarzalność wyników jest czynnik ludzki. Uwarunkowania psychofizyczne kierowcy, zmienne w czasie i zależne od wielu czynników powodują, że wyniki badań są obarczone dużą niepewnością. Użycie automatycznego urządzenia kierującego, jakim jest SR60 eliminuje ww. problem.

Bogaty układ dodatkowych sensorów robota pozwala na pomiar wielu parametrów, których znajomość jest niezbędna do określenia stateczności i kierowalności badanych pojazdów.

LITERATURA

1. Kupicz W., *Robot sterujący SR60 jako narzędzie weryfikacji modeli symulacyjnych kierowalności pojazdów,* [w:] „Postęp Nauki i techniki", no 14/2012, Lublin 2012.
2. Orzełowski S., *Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów,* WNT, Warszawa 1995.
3. Litwinow A., *Kierowalność i stateczność samochodu,* WKŁ 1975.

ŹRÓDŁA INTERNETOWE

1. www.asimo.pl.
2. www.abd.uk.com.

TESTS OF VEHICLES' STABILITY AND STEERABILITY WITH ABDYNAMICS SR60 STEERING ROBOT

Summary

Stability and steerability are the most important properties of a vehicle's active safety. Usually, to determine stability, a double lane change is carried out. To determine steerability, various tests are performed, which consist of imposing different extortions on the steering wheel and testing the vehicle's response. To eliminate human error and improve tests repeatability, it is recommended that an automatic system substitutes for the driver.

This paper presents the SR60 steering robot, its structure and function as well as its use in testing a vehicle's stability and steerability.

Keywords: *stability, steerability, vehicles, steering robots, SR60*

This copy is for personal use only - distribution prohibited.

NOTA BIOGRAFICZNA

mgr inż. Marcin GRUBEK - robotyk, pracownik Laboratorium Badań Pojazdów w Wojskowym Instytucie Techniki Pancernej i Samochodowej w Sulejówku. Główny obszar zainteresowań to robotyka i teoria sterowania. Współwykonawca wielu badań pojazdów kołowych.

This copy is for personal use only - distribution prohibited.