

Prof. dr hab. inż. Jerzy Osiński
Politechnika Warszawska

Mgr inż. Andrzej Zbrowski
Instytut Technologii Eksploatacji Radom

LEPKOSPREŻYSTY UKŁAD POMIAROWY NACISKU KOŁA NA NAWIERZCHNIĘ

W artykule zaprezentowano wyniki dynamicznych badań przenośnych wag samochodowych. Badaniom podlegały wagi opracowane w Instytucie Technologii Eksploatacji w Radomiu. W wagach tych zastosowano oryginalną konstrukcję hydraulicznych przetworników siły, umożliwiającą rejestrację dynamicznego sygnału pomiarowego. Teoretyczny model działania przetwornika opracowano modelując układ jako nieliniowo lepkospreżysty z zastosowaniem aproksymacji wielomianowej. Do obliczeń zastosowano Metodę Elementów Skończonych – systemem ANSYS. Przedstawione zostały wyniki w postaci dynamicznych charakterystyk ciśnieniowych, uwzględniających czas trwania sygnału pomiarowego. Badaniom poddano dwa rodzaje wag stosujących różne rozwiązania przetworników hydraulicznych: układ szeregowy trójmieszkowy typu Z, oraz jednomieszkowy typu P.

VISCOELASTIC MEASUREMENT SYSTEM OF THE WHEEL LOAD ON THE ROAD

The paper presents results of dynamic investigations of portable automotive weighers. Weighers developed at the Institute for Terotechnology in Radom were investigated. An original construction of hydraulic force transducers enabling to record a dynamic measurement signal was applied in these weighers. A theoretical model of the transducer's work was developed by modelling the system as a non-linearly viscoelastic system with the use of multinomial approximation. The Finite Elements Methods – ANSYS system was used for calculations. Results were presented in the form of dynamic pressure characteristics, taking into account the measurement signal's duration.

Two types of weighers using different solutions of hydraulic transducers were investigated. There were: a series three-bellows system of type Z and a single-bellows system of type P.

1. WSTĘP

Konieczność wyznaczania nacisku osi pojazdów samochodowych na podłoże w warunkach terenowych wymaga opracowania specjalnych konstrukcji układów pomiarowych. Elementy pomiarowe służące do przeniesienia siły muszą się charakteryzować następującymi cechami [L. 1, 2, 3, 4]:

- poziom sygnału powinien być wysoki - zwiększa to dokładność pomiaru,
- czas ustalania się sygnału mierzonego powinien być mały - korzystny może być układ lepkosprężysty z dużą wartością tłumienia,
- krótki czas reakcji układu w zastosowaniu do pomiarów dynamicznych,
- wysoka wytrzymałość zmęczeniowa układu przeniesienia siły
- w przypadku konstrukcji przenośnych układ pomiarowy powinien być lekki.

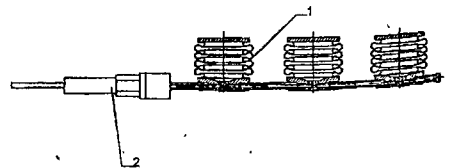
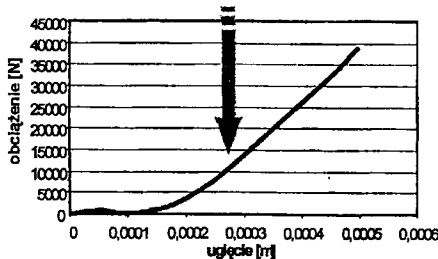
Możliwość realizacji pomiarów w sposób dynamiczny jest bardzo istotną cechą urządzenia ważącego samochody. Cecha ta umożliwia bowiem wykonanie pomiaru, bez konieczności zatrzymania koła pojazdu na pomoście wagi (szczególnie trudne w przypadku pojazdów ze znacznym obciążeniem). Waga dynamiczna określa ciężar w trakcie ruchu pojazdu. Prędkość pojazdu wynosi, wg przepisów Głównego Urzędu Miar, 2-5 km/h [L.5,6,7]. Dodatkową zaletą takiej konstrukcji jest znaczne skrócenie czasu kontroli.

2. OPIS KONSTRUKCJI

Badaniom poddano dwa rozwiązania konstrukcyjne wag różniące się między sobą rodzajem zastosowanego przetwornika ciśnienia [L.8]. W wadze o nominalnej nośności 10 ton zastosowano przetwornik składający się z szeregowo połączonych trzech mieszkań sprężystych szczelnie wypełnionych cieczą (RYS. 1). W wadze o nośności do 3,5 tony zastosowano przetwornik składający się z jednego mieszkania (RYS. 2). Liczba mieszkań zamontowanych pod pomostem wagi limituje nośność układu ważącego [L. 9]. Ze względu na zależność ciśnienia wewnętrznego w przetworniku od powierzchni czynnej mieszkania, zwiększenie liczby mieszkań zwiększa powierzchnię czynną, a co za tym idzie maksymalne obciążenie układu ważącego. Dlatego w wadze o zakresie do 10 ton' zastosowano trzy równoległe ustawione przetworniki trójmieszkowe typu Z, natomiast w wadze do 3,5 tony umieszczono cztery przetworniki jednomieszkowe typu P. Konstrukcja pozostałych elementów, składających się na całość urządzenia w obu przypadkach jest jednakowa.

Istotą rozwiązania jest określenie nacisku wywieranego przez przejeżdżający pojazd za pomocą zespołu hydraulicznych przetworników siły (RYS. 1, 2). Przetwornik składa się z zamkniętego układu mieszkań sprężystych (2) wypełnionych cieczą, której ciśnienie jest określane za pomocą przetwornika ciśnienia z mostkiem tensometrycznym (2). Miarą obciążenia jest charakter i wielkość zmian ciśnienia wewnątrz hydraulicznego układu pomiarowego rejestrowanych w funkcji czasu [L.10]. Hydrauliczne układy pomiarowe umieszczone i zamocowane są w korpusie urządzenia. Obciążenie jest przekazywane na przetworniki za pośrednictwem pomostu zintegrowanego z korpusem za pomocą zaczepów[L.11].

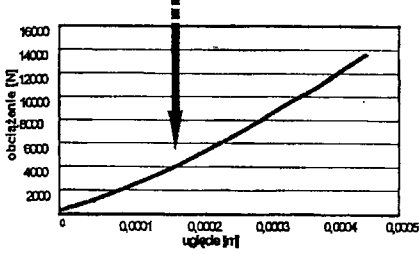
$$331134e^5x^5 - 12632065e^7x^7 + 5797097e^9x^9 - 829308e^6x^6 + 38710e^8x^8 + 201$$



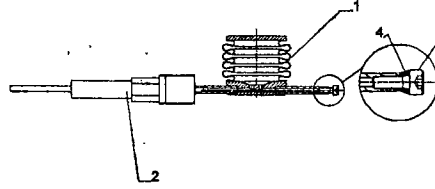
a) charakterystyka sztywności przetwornika b) konstrukcja przetwornika trójmieszkowego

Rys. 1. Trójmieszkowy szeregowy przetwornik siły typu Z

$$y = 1154234e^6 x^6 - 1389038e^7 x^7 + 572460e^8 x^8 - 57753e^9 x^9 + 23359e^{10} x^{10} + 201$$



1-mieszek sprężysty, 2-tensometryczny przetwornik ciśnienia, 3-wkręt zamykający, 4-uszczelnienie

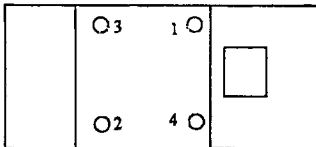
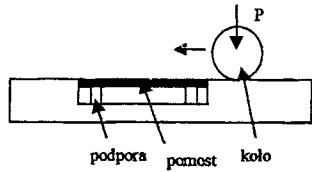


- a) charakterystyka sztywności przetwornika jednomieszkowego b) konstrukcja przetwornika

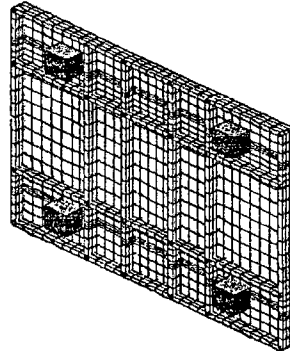
Rys. 2. Jednomieszkowy hydrauliczny przetwornik siły typu P

3. OPIS MODELU

Model układu pomiarowego w którym zastosowano cztery przetworniki jednomieszkowe, poddane dynamicznemu obciążeniu w postaci przetaczającego się koła samochodowego przedstawia RYS 3. Model składa się z pomostu podpartego na czterech podporach o sztywności nieliniowej [L. 8], po którym przetacza się walec obciążony pionową siłą P [L. 12, 13]. Sztywność walca odpowiada sztywności opony samochodowej [L. 14,15,16,17]. Pomiędzy powierzchnią pomostu, a powierzchnią najazdu nie występuje różnica wysokości, a szczelina pomiędzy pomostem i najazdem jest pomijalnie mała.



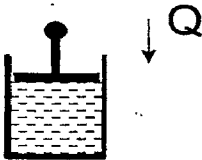
a) model fizyczny



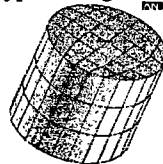
b) model MES

Rys. 3. Model układu pomiarowego na przetwornikach jednomieszkowych

Model opisujący pracę samego przetwornika hydraulicznego RYS. 4 można opisać jako ściskanie nieodkształcalnego cylindra zamkniętego tłokiem i wypełnionego cieczą [L. 18].



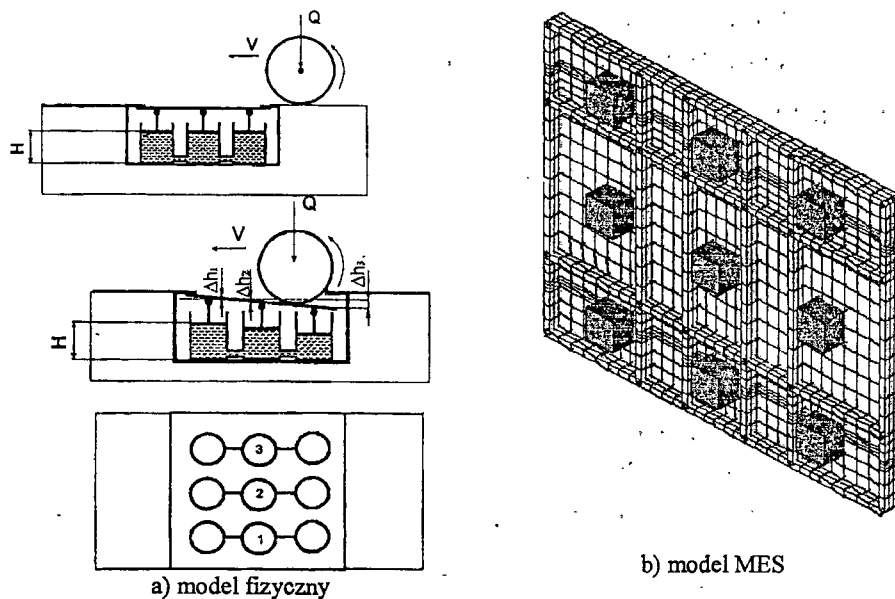
a) model fizyczny



b) model MES

Rys. 4. Model przetwornika

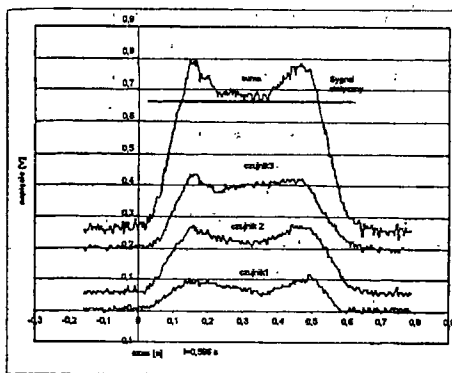
Model odpowiadający dynamicznej pracy trójczujnikowego układu pomiarowego z przetwornikami trójmieszkowymi przedstawia RYS. 5. Odpowiada on systemowi naczyń połączonych – cylindrów wypełnionych cieczą, zamkniętych tłokami, którym odebrano możliwość przesuwu pionowo w górę (wysokość słupa cieczy nie wzrasta powyżej poziomu H ustalonego w trakcie montażu). Przetaczające się koło powoduje różne w danej chwili ugięcia mieszków o wartości Δh_1 , Δh_2 , Δh_3 (RYS. 5). Przepływ płynu pomiędzy komorami mieszków został ograniczony do minimum, ze względu na całkowite wypełnienie objętości układu przez czynnik roboczy. Z pewnym uproszczeniem można zatem założyć, że występuje jedynie ściskanie określonej porcji płynu, szczelnie i całkowicie wypełniającego komory mieszków oraz łączące je rurki [L. 19].



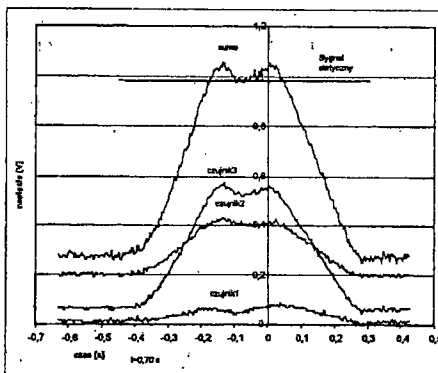
Rys. 5. Model układu pomiarowego z przetwornikami trójmieszkowymi

4. ANALIZA WYNIKÓW

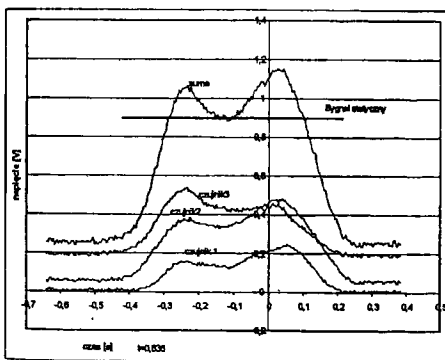
Przeprowadzona analiza wyników polegała na porównaniu przebiegu sygnału uzyskanego z pomiarów przeprowadzonych w warunkach dynamicznych z sygnałem zarejestrowanym podczas próby statycznej. Ze względu na fakt, że nie można porównać wydzielonego przebiegu sygnału generowanego przez przetwornik w próbie dynamicznej z odpowiadającym mu przebiegiem z próby statycznej, jako miarę przyjęto sumę sygnałów ze wszystkich przetworników (kanałów) zarówno w próbie statycznej, jak i dynamicznej. Uzyskane charakterystyki dynamiczne wagi z przetwornikami trójmieszkowymi przedstawia RYS. 6. Zamieszczone przykładowe charakterystyki zostały uzyskane przy różnych prędkościach i obciążeniach pojazdu.



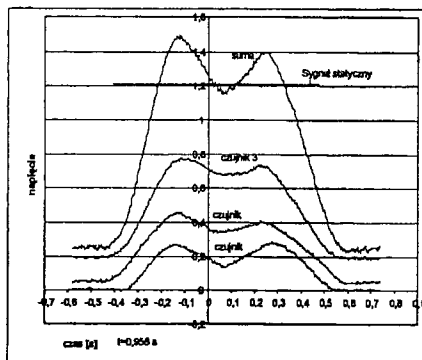
a) obciążenie 850kg, czas sygnału 0,59 s



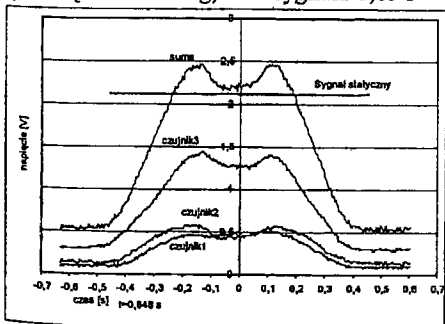
b) obciążenie 1150kg, czas sygnału 0,70 s



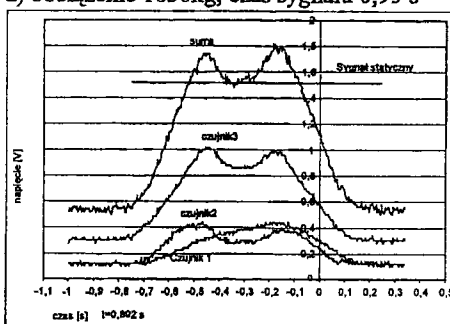
c) obciążenie 1300kg, czas sygnału 0,63 s



d) obciążenie 1650kg, czas sygnału 0,95 s



e) obciążenie 2150kg, czas sygnału 0,85 s



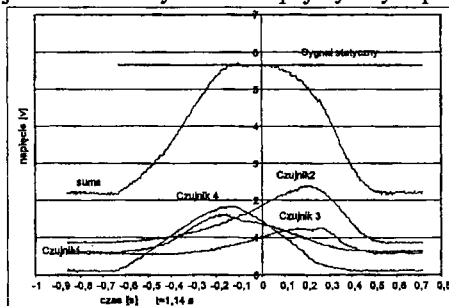
f) obciążenie 1450kg, czas sygnału 0,89 s

Rys. 6. Charakterystyka dynamiczna wagi z trzema przetwornikami trójmieszkowymi

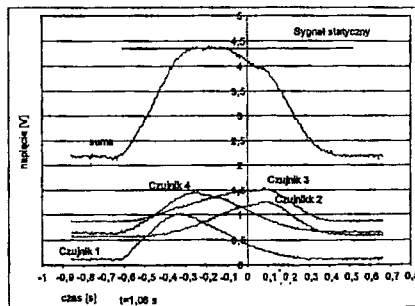
Przebieg sygnału dynamicznego charakteryzuje się stałą wartością początkową wynikającą ze wstępnego napięcia mieszków w konstrukcji wagi [L.11]. Wartość ta dla każdego kanału jest inna, ze względu na występujące różnice w sztywności przetworników hydraulicznych, ale przede wszystkim, ze względu na różnice w wysokościach mieszków. W chwili najazdu koła samochodowego na pomost wagi obserwowany jest wzrost poziomu (napięcia) sygnału generowanego, przez tensometryczny przetwornik ciśnienia. Sygnał osiąga wartość maksymalną w chwili, gdy całe koło znajdzie się na pomoście. W miarę przetaczania się koła

wartość sygnału maleje aż do chwili, gdy koło nie osiągnie środka pomostu. Po minięciu środka uzyskiwane jest zjawisko odwrotne – sygnał rośnie do wartości maksymalnej występującej, gdy koło znajduje się na przeciwległym skraju pomostu. Z chwilą opuszczania pomostu przez koło obserwuje się gwałtowny spadek sygnału, aż do osiągnięcia wartości początkowej wyznaczonej przez napięcie wstępne, co oznacza, że koło całkowicie utraciło kontakt z pomostem (RYS. 6,7). Występowanie zjawiska „falowania” sygnału w czasie przemieszczania się koła po pomoście można wytłumaczyć zjawiskiem „doładowania” ciśnienia. Zjawisko to powstaje w układzie szeregowym mieszkowego hydraulicznego przetwornika siły [L.11]. Dynamiczny sygnał sumaryczny jest odzwierciedleniem sygnałów składowych pochodzących z poszczególnych przetworników. Sygnał sumaryczny szczególnie uwypukla zjawisko „falowania” ciśnienia według zależności $\text{maksimum} \Rightarrow \text{minimum} \Rightarrow \text{maksimum}$.

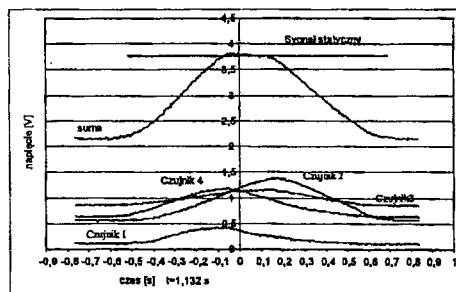
Uzyskane charakterystyki dynamiczne dla wagi z czterema przetwornikami jednomieszkowymi dla kół pojedynczych przedstawia RYS. 7.



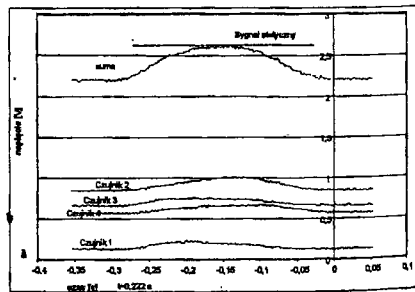
a) obciążenie 2400kg, czas sygnału 1,14 s



b) obciążenie 1450kg, czas sygnału 1,08 s



c) obciążenie 1200kg, czas sygnału 1,13 s



d) obciążenie 350kg, czas sygnału 0,22 s

Rys. 7. Charakterystyka dynamiczna wagi z czterema przetwornikami jednomieszkowymi (z krótkim pomostem dla kół pojedynczych)

Przebieg sygnału dynamicznego dla poszczególnych przetworników w tej konstrukcji charakteryzuje się narastaniem poziomu sygnału do osiągnięcia wartości maksymalnej, a następnie redukcją do osiągnięcia wartości początkowej. Podobnie jak w poprzednich przypadkach można zaobserwować różne wartości napięcia początkowego wynikające z różnych wysokości mieszków sprężystych. W układzie tym widać pewne przesunięcie w czasie wartości maksymalnych dla przetworników zamontowanych na początku pomostu (przetworniki 1 i 4), oraz dla przetworników zamontowanych na końcach pomostu (przetworniki 2 i 3). Ponieważ początek i koniec sygnału dla każdego przetwornika jest taki

sam wiąże się to z łagodniejszym narastaniem poziomu sygnału dla pary 2, 3 niż dla pary 1, 4. W związku z tym występuje też odwrotne zjawisko – łagodniejszy spadek poziomu sygnału dla pary 1, 4 niż dla pary 2, 3. Przebieg każdej z charakterystyk osiąga tylko jedną wartość maksymalną przypadającą na chwilę, gdy środek masy toczącego się koła znajduje się dokładnie nad przetwornikiem. Dzięki temu występuje zjawisko przesunięcia fazowego wartości maksymalnych. Sygnał sumaryczny charakteryzuje się tylko jedną wartością maksymalną utrzymywaną na znacznej długości (w stosunku do długości sygnału). Maksimum to występuje w chwili, kiedy koło znajduje się na środku pomostu - charakterystyki pary przetworników 1 i 4 przecinają się z charakterystykami pary 2 i 3. Można jednak zauważyć, że maksimum jest osiągnięte już znacznie wcześniej i jego wartość jest utrzymywana znacznie dłużej (RYS. 7).

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych prób określono dynamiczne charakterystyki wag samochodowych, w konstrukcji których zastosowano hydrauliczne mieszkowe przetworniki ciśnienia. Opracowana metoda wyznaczania charakterystyk spełnia wymogi określone w przepisach Głównego Urzędu Miar i Wag dotyczących dynamicznych wag samochodowych.

Przeprowadzona na podstawie wykonanych badań analiza wyników wykazała, że hydrauliczne przetworniki siły spełniają wymogi nakładane na przetworniki dynamiczne, ponieważ generowany przez nie sygnał był stabilny, bez zakłóceń oraz o odpowiedniej dla wykonywanych pomiarów czułości. Można stwierdzić, że w badanym zakresie prędkości 0,5-3 km/h, wagi w których zastosowano te przetworniki można zaliczyć do grupy wag dynamicznych. Sygnał generowany przez przetworniki jest proporcjonalny do obciążenia, pozbawiony zakłóceń i przekłamań spowodowanych dynamicznym charakterem wymuszenia. Z przeprowadzonych prób (ok. 250) wynika, że dokładność pomiarów dynamicznych jest mniejsza niż statycznych o ok. 20%. Na dokładność wyniku bardzo duży wpływ ma jakość pomiaru, przede wszystkim przejazd środkiem pomostu tak, aby wszystkie przetworniki wygenerowały sygnał na podobnym poziomie. Warunek ten jest łatwy do spełnienia w przypadku wykonania pomiaru ze startu zatrzymanego, gdy waga jest podkładana pod koło, którego nacisk ma zostać określony. W takim przypadku łatwe też będzie spełnienie warunku prędkości maksymalnej 3 km/h. Przeprowadzone doświadczenia wykazują, że bardzo trudno jest osiągnąć większą prędkość ze startu zatrzymanego, a w przypadku samochodu bardzo obciążonego jest to w zasadzie nie możliwe. Wyniki uzyskane przy prędkościach przejazdu do 3 km/h są w przypadku sygnału sumarycznego zbieżne z wynikami uzyskanymi przy pomiarach statycznych. Jest to bardzo ważna cecha, która eliminuje konieczność specjalnego cechowania wagi w sposób dynamiczny, bądź stosowania wyznaczonych doświadczalnie przeliczników uwzględniających wpływ prędkości. Dla przetworników szeregowych trójmieszkowych wartość sygnału dynamicznego odpowiadająca wartości sygnału statycznego przypada w środku sygnału, w ekstremum lokalnym określającym wartość minimalną (dolina fali). W przypadku przetworników jednomieszkowych wartość sygnału dynamicznego także zrównuje się z wartością sygnału statycznego w połowie długości, lecz jest to wartość maksymalna (jedyne ekstremum sygnału) ustabilizowana w pewnym odcinku czasu proporcjonalnym do długości całego impulsu.

Oba rodzaje przetworników zapewniają czytelny pomiar czasu trwania sygnału, który jest postawą do uznania go za poprawny pod względem prędkości pojazdu. Zbyt krótki sygnał (za dużą prędkość) osiąga znacznie niższy poziom, niż odpowiadający mu sygnał statyczny. Łatwa jest także klasyfikacja pomiaru pod względem jakości przejazdu. Przejazdy

niesymetryczne (RYS. 6b) są łatwo wykrywalne, kryterium poprawności może stanowić dopuszczalny stosunek sygnałów względem siebie.

LITERATURA

1. Jankowski J.: Wazenie samochodów w ruchu drogowym, Pomiary Automatyka Robotyka 9/1997
2. Osiński Z.: Tłumienie drgań. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 1997.
3. Osiński J, Skocki.: Modelowanie krzemowych czujników ciśnienia Metodą Elementów Skończonych. III Konferencja Naukowa Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne. Zegrze 1994. Str. 93-97
4. Rubinowicz W., Królikowski W.: Mechanika Teoretyczna. PWN. Warszawa 1995
5. Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa Nr 10 z dn. 27.12.1994
6. Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa Nr 31 z dn. 16.12.1995
7. Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa Nr 5 z dn. 21.03.1996
8. Majcher A, Mazurkiewicz A, Samborski T, Wojutyński J, Zbrowski A.: Badania modelu przenośnej wagi do wyznaczania nacisku osi pojazdów na nawierzchnie drogi. Problemy Eksploatacji 1999 nr 1.
9. Metallbalge – Das Handbuch der Metallbalge. Witzenmann GmbH Metallschlauch-Fabrik Pforzheim 1997
10. Majcher A., Mazurkiewicz A., Samborski T., Wojutyński J., Zbrowski A.: System pomiaru masy całkowitej pojazdu oraz nacisku jego osi na nawierzchnię. Problemy Eksploatacji 1999 nr 1
11. Samborski T., Zbrowski A.: Analiza układu pomiarowego w przenośnej wadze do wyznaczania nacisku osi pojazdu na podłoże. Problemy Eksploatacji 1999 nr 1.
12. Borkowski W., Konopka S., Prochowski L.: Dynamika maszyn roboczych. WNT. Warszawa 1996
13. Szczepaniak C.: Podstawy modelowania systemu człowiek – pojazd – otoczenie. PWN. Warszawa 1999
14. PN-75/C-94300.049. Ogumienie. Wymiary i charakterystyka techniczna opon radialnych do samochodów ciężarowych, autobusów i ich przyczep
15. PN-83/C-94300.051. Ogumienie. Wymiary i charakterystyka techniczna opon diagonalnych do samochodów ciężarowych, autobusów i ich przyczep
16. M. Mitschke.: Teoria samochodu. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1977
17. Studziński K.: Samochód – teoria konstrukcja i obliczanie. WKŁ. Warszawa 1980.
18. Nashif A., Jones D, Henderson J.: Vibration damping. A Wiley-Interscience Publication. 1985
19. Kamiński E., Pokorski J.: Dynamika zawiesznień i układów napędowych pojazdów samochodowych. WKŁ. Warszawa 1990.