MECHANIKA		1-M/2011
CZASOPISMO TECHNICZNE	WYDAWNICTWO	ZESZYT 2
<b>TECHNICAL TRANSACTIONS</b>	POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ	ISSUE 2
MECHANICS		YĒĀR 108

# MAREK ANTONI KSIĄŻEK, JANUSZ TARNOWSKI\*

# WPŁYW AMPLITUDY WIBRACJI NARZĘDZIA RĘCZNEGO ORAZ UKŁADU WIBROIZOLACJI NA PROCES STEROWANIA – BADANIA DOŚWIADCZALNE

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF INFLUENCE OF VIBRATION MAGNITUDE AND SYSTEM ISOLATION ON OPERATOR'S CONTROL

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych nad wpływem wibracji narzędzia wibroudarowego oraz zastosowanego systemu wibroizolacji rękojeści na sterowanie narzędziem przez operatora. Badania przeprowadzono na specjalnym stanowisku na grupie pięciu wolontariuszy. Wyniki analizy statystycznej przedstawiono graficznie.

Słowa kluczowe: wibroizolacja narzędzia ręcznego, sterowanie narzędziem ręcznym

Abstract

In the paper experimental investigations of influence of percussive tool vibration and handle isolation on operator control are presented. The investigations were done on special stand on group of five volunteers. Statistical analysis results were graphically presented.

Keywords: percussive tool isolation, hand tool control

<sup>\*</sup> Prof. dr hab. inż. Marek A. Książek, dr inż. Janusz Tarnowski, Instytut Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Ręczne narzędzia wibroudarowe należą do urządzeń powszechnie używanych. Ze względu na ochronę operatora przed wibracjami podczas pracy takim narzędziem celowe jest stosowanie układów wibroizolacji. Układy te stają się jednak przyczyną znacznego dyskomfortu odczuwanego przez operatora narzędzia. Dyskomfort ten polega na trudności w skutecznym operowaniu (sterowaniu) narzędziem, polegającym głównie na wywieraniu odpowiedniej siły nacisku na rękojeść. Opisywane badania doświadczalne stanowią kontynuacje i rozszerzenie prowadzonych z udziałem autorów prac majacych na celu uzyskanie danych do budowy takiego modelu człowieka-operatora, pracującego ręcznym narzędziem udarowym, który będzie opisywał nie tylko bierną dynamiczną reakcję na drgania, ale również zachowanie operatora jako układu sterującego w całym układzie człowiek narzędzie – podłoże [1, 2]. Model taki może stanowić podstawę do badań symulacyjnych i projektowania komfortowych aktywnych układów wibroizolacji [3, 4]. Badania przeprowadzone dotychczas z udziałem autorów pozwoliły na wykonanie pomiarów i znalezienie podstawowych parametrów sterowania narzędziem przez operatora w odpowiedzi na sygnał skokowy [5], sygnał harmoniczny [6], sygnał skokowy przy wibrującym narzędziu [7]. Parametry te stały się podstawą do budowy odpowiadających im modeli [8]. Etap badań opisywany poniżej stanowi rozszerzenie pozwalające na określenie podstawowych parametrów sterowania przy pracy z wibroizolacją o różnej sztywności oraz przy różnej amplitudzie wibracji narzędzia.

### 2. Opis stanowiska pomiarowego i metody badań

W opisywanych badaniach wykorzystano stanowisko pomiarowe składające się z ruchomej platform, na której stał badany człowiek, oraz przykręconej do fundamentu ramy, do której przymocowana była za pomocą systemu wzbudnika kinematycznego rękojeść narzędzia ręcznego (rys. 1). Zarówno rękojeść narzędzia, jak i platforma, na której stał badany człowiek, były połączone z pozostałymi elementami systemu przez tensometryczne czujniki siły umożliwiające pomiar siły wywieranej przez operatora na narzędzie oraz siły reakcji pomiędzy platformą a ramą. Zastosowane przeguby kulowe pozwoliły na pomiar wyłącznie siły wzdłużnej. Rękojeść narzędzia została specjalnie skonstruowana do potrzeb opisywanych badań. Wewnątrz rękojeści znajdowała się sprężyna pełniąca rolę układu wibroizolacji. Układ ten mógł podczas badań przyjmować cztery stany: stan zablokowany (bez udziału sprężyny) oraz trzy stany odpowiadające sprężynom o trzech współczynnikach sprężystości: c = 986 N/m, c = 1915 N/m, c = 4845 N/m. Wzbudnik kinematyczny napędzany przez silnik elektryczny sterowany falownikiem pozwalał na wymuszanie harmonicznego ruchu drgającego symulującego wibracje elementu roboczego narzędzia wibroudarowego. Zastosowany układ pozwalał zarówno na regulację amplitudy, jak i częstotliwości drgań.

Układ pomiarowy składał się z dwóch wspomnianych czujników tensometrycznych CL14s (produkcji ZEPWN Marki - Polska), wzmacniaczy i zasilaczy tensometrycznych, akcelerometru IPC, kondycjonera sygnału SC2345 (National Instruments), karty pomiarowej DAQCard 6024E (National Instruments) oraz komputera pomiarowego. Badany człowiek stawał w pozycji pionowej wykrocznej na platformie pomiarowej, trzymając

rękojeść narzędzia i wywierając na nią nacisk. Stojąc na platformie człowiek ten obserwował ekran monitora, na którym widoczne były dwa pionowe słupki – jeden z nich pokazywał wielkość siły zadanej do zrealizowania w procesie sterowania narzędziem, zaś drugi słupek pokazywał wielkość siły zrealizowanej w danej chwili przez nacisk operatora na rękojeść. Eksperyment polegał na zadaniu nagłej niespodziewanej siły w postaci skoku o wielkości 80 N, którą badany powinien jak najszybciej wywrzeć, zrównując oba obserwowane słupki. Zarówno generacja siły zadanej, jak i akwizycja, rejestracja i wizualizacja wszystkich badanych sygnałów została zaprojektowana i zrealizowana w środowisku programowym LabView (National Instruments). Tor pomiarowy przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Widok stanowiska pomiarowego Fig. 1. View of the experimental stand



Rys. 2. Schemat toru pomiarowego Fig. 2. Block diagram of instrumentation

### 3. Opis przeprowadzonych badań

Badania eksperymentalne wykonano na grupie pięciu wolontariuszy – mężczyzn w różnym wieku i o różnej budowie ciała. Przeprowadzono dwie serie badań. Pierwsza seria była wykonana bez symulacji ruchu drgającego elementu roboczego narzędzia. W czasie tej serii zmieniano sztywność sprężyny wibroizolatora. Każdy z wolontariuszy wykonywał kolejno trzy próby bez wibroizolacji i trzy próby z daną sztywnością wibroizolatora. Druga seria eksperymentów była wykonywana przy symulacji ruchu drgającego elementu roboczego narzędzia. Wykonywano próby dla trzech amplitud drgań: 0,8 mm, 1,2 mm, 1,6 mm oraz dla trzech częstotliwości 5, 10 i 15 Hz. Wszystkie próby drugiej serii badań były wykonywane bez wibroizolacji lub z wibroizolacją sprężyną o średniej sztywności. Każdy z wolontariuszy wykonywał kolejno pięć prób bez wibroizolacją dla każdej z badanych częstotliwości i każdej z badanych amplitud wibracji narzędzia.

Wyniki zarejestrowano w postaci przebiegów czasowych wszystkich badanych wielkości. Sygnały pomiarowe były próbkowane z częstotliwością 5 kHz. Rysunki 3 i 4 przedstawiają przykładowe przebiegi czasowe.



Rys. 3. Przykładowy przebieg czasowy dla wymuszenia 15 Hz bez wibroizolacji Fig. 3. Exemplary time history for excitation 15 Hz without isolation



Rys. 4. Przykładowy przebieg czasowy dla wymuszenia 15 Hz z wibroizolacją Fig. 4. Exemplary time history for excitation 15 Hz with isolation

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

#### 4. Analiza wyników badań

Analiza zarejestrowanych sygnałów była wykonana z użyciem pakietu programowego D-Plot firmy HydeSoft (USA). Rysunek 5 przedstawia przykładowy przebieg czasowy wraz z zaznaczonymi wielkościami, które były analizowane i obliczane dla wszystkich uzyskanych w czasie badań eksperymentalnych przebiegów czasowych. Jako główne wielkości obrazujące jakość sterowania narzędziem przez operatora w poszczególnych próbach przyjęto czas narastania sygnału, czas regulacji i przeregulowanie.





Po wykonaniu analizy wszystkich zarejestrowanych przebiegów czasowych zestawiono wyznaczone czasy narastania, czasy regulacji i przeregulowania i wykonano obliczenia statystyczne, których wyniki prezentują przedstawione dalej wykresy słupkowe.

Poniżej omówiono wyniki analizy obu wykonanych serii badań.

# Seria pierwsza – nieruchome narzędzie – trzy sztywności sprężyny wibroizolatora

Rysunek 6 przedstawia czasy narastania i regulacji dla wszystkich trzech sztywności zastosowanych wibroizolatorów. Wykresy słupkowe pokazują zakresy wyników uzyskane podczas wszystkich wykonanych prób dla danej sztywności wibroizolatora. Zaznaczone są również obliczone wartości median wyników dla każdej ze stosowanych sprężyn. Można zauważyć najkrótsze czasy narastania i regulacji dla twardej sprężyny wibroizolatora. Średnia twardość sprężyny wibroizolatora powoduje jednak najdłuższe czasy regulacji.

# Seria druga – narzędzie poddane wibracji w porównaniu z narzędziem bez wymuszenia wibracji

Rysunki 7 i 8 przedstawiają czasy narastania dla wszystkich badanych częstotliwości i amplitud ruchu harmonicznego narzędzia w porównaniu z czasami uzyskanymi przy próbach bez wymuszenia ruchu narzędzia. Każdy z rysunków pokazuje wartości



Rys. 6. Czasy narastania (po lewej) i regulacji (po prawej) dla różnych sztywności wibroizolatora Fig. 6. Rise time (left side) and settling time (right side) for different isolation spring stiffnesses







#### kolejne serie eksperymentu

Rys. 8. Czas narastania bez wymuszenia i z wymuszeniem 15 Hz Fig. 8. Rise time without excitation and with excitation 15 Hz

odpowiadające wymuszeniu ruchu o danej częstotliwości. Wykresy słupkowe przedstawiają zakresy wyników uzyskanych podczas wszystkich wykonanych prób dla danej amplitudy wymuszenia, zaznaczone są również obliczone wartości median.

Rysunek 9 pokazuje rozkład wyników uzyskanych czasów narastania dla wszystkich badanych częstotliwości i amplitud z wibroizolacją sprężyną o średniej twardości (lewa strona) oraz bez wibroizolacji (prawa strona).

Rysunek 10 przedstawia wykresy słupkowe prezentujące uzyskane przez badanych operatorów czasy regulacji dla wszystkich testowanych wartości amplitud wymuszenia na tle wyników czasów regulacji bez wymuszenia. Zaprezentowane zostały tylko wyniki dla częstotliwości 5 i 10 Hz, ponieważ dla częstotliwości 15 Hz większość badanych nie uzyskała poprawnej regulacji.



Rys. 9. Czas narastania w funkcji amplitudy i częstotliwości wymuszenia z wibroizolacją (po lewej) i bez wibroizolacji (po prawej)





i 10 Hz (po prawej)



### 5. Wnioski

Analiza wyników przeprowadzonych eksperymentów pozwala na postawienie następujących wniosków:

- współczynnik sprężystości wibroizolatora ma istotny wpływ na proces sterowania narzędziem,
- krótsze czasy regulacji i narastania uzyskiwane są przy zastosowaniu sztywniejszych wibroizolatorów, lecz nie ma prostej zależności "im sztywniejszy wibroizolator – tym krótsze czasy narastania i regulacji",
- wibroizolacja pogarsza czasy narastania, lecz przy wibracjach narzędzia w większości przypadków poprawia czasy regulacji,
- wzrost amplitudy wibracji narzędzi pogarsza czasy regulacji,
- wzrost częstotliwości wibracji narzędzia pogarsza czasy regulacji.

Ponieważ nie udało się uzyskać powtarzalnych regulacji przy częstotliwości ruchu narzędzia 15 [Hz], a badane były tylko trzy częstotliwości, wydaje się niezbędne rozszerzenie zakresu częstotliwości, by zbadać, czy wzrost częstotliwości ruchu narzędzia pogarsza sterowanie narzędziem, czy też pogorszenie to dotyczy tylko pewnych częstotliwości i jaka to jest zależność. Wydaje się też celowe przeprowadzenie dalszych badań na większej liczbie uczestników eksperymentu.

## Literatura

- [1] Sheridan T.B., Ferrell W., *Man-Machine Sytems*, The MIT Press, Cambridge 1974.
- [2] MacRuer D.T., Jex H.R., A review of quasi-linear pilot models, IEEE Transactions on Human Factors in Electronics, Vol. HFE 8, No. 3, September 1967, 231-249.
- [3] Basista Z., Książek M.A., Estimation of comfort parameters of an active vibration isolation system of handle of percussive power tool, Proc. INTERNOISE 2004 Prague, Czech Republic, August 22-25.
- [4] Basista Z., Symulacja eksperymentu dla zbadania wpływu układu wibroizolacji na jakość operowania ręcznym narzędziem udarowym, Folia Scientinarium Universitatis Technical Resoviensis, Nr 222, Rzeszów 2005, 11-18.
- [5] Basista Z., Książek M., Tarnowski J., Experimental investigations of human-operator as a pressure force regulator in man-hand tool system, Archives of Control Sciences, Vol. 19(LIV), No. 1/2009, Polish Academy of Sciences, Committee of Automatic Control and Robotics, 81-92.
- [6] Basista Z., Książek M., Tarnowski J., Testowe badania doświadczalne reakcji człowieka – operatora narzędzia ręcznego przy sinusoidalnym sygnale wejściowym, Czasopismo Techniczne, z. 1-M/2008, 233-240.
- [7] Basista Z., Książek M., Tarnowski J., Investigations of influence of vibration on human operator control functions, Mechanics and Control, Vol. 29, No. 1, 2010.
- [8] Basista Z., Książek M., Modelling of human-opeator and citeria of estimation of active vibration isolation system in hand-held percussive tools, Proceedings, 8<sup>th</sup> Conference on "Active Noise and Vibration Control Methods", Kraków-Krasiczyn, June 11-14, 2007.