

dr inż. PIOTR KOWALSKI (ORCID: 0000-0003-4066-9967)

mgr inż. JACEK ZAJĄC (ORCID: 0000-0003-2975-6680)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: pikow@ciop.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0014.5758

Szybka kamera w środowisku pracy – możliwości zastosowania przy pomiarach drgań mechanicznych

Artykuł dotyczy możliwości wykorzystania szybkiej kamery do pomiarów drgań mechanicznych w środowisku pracy. Zostały w nim przedstawione wyniki testów przeprowadzonych na 11 narzędziach ręcznych odniesione do wartości przyspieszeń drgań, zmierzonych standardowym układem pomiarowym bazującym na piezoelektrycznych przetwornikach drgań. Otrzymane różnice nie przekraczały 5,7%, co potwierdza możliwość zastosowania szybkiej kamery do badań drgań działających przez kończyny górne. W artykule zwrócono uwagę także na ograniczenia w zastosowaniu analizy obrazu do pomiarów drgań, wynikające m.in. z konieczności dużego powiększenia optycznego i zapewnienia stabilizacji położenia kamery.

Słowa kluczowe: szybka kamera, drgania mechaniczne, środowisko pracy

High-speed frame camera in work environment - possibilities of application for measuring mechanical vibration

The article focuses on the possibility of the use of a high-speed frame camera to measure mechanical vibration in work environment. It presents the results of tests carried out on 11 hand tools related to the values of vibration accelerations measured with a standard measuring system based on piezoelectric vibration transducers. The differences obtained did not exceed 5.7%, which confirms the possibility of the use of a high-speed frame camera for testing hand-arm vibration. The article also draws attention to the limitations in the use of image analysis for vibration measurements resulting, among others, from the need for high optical zoom and ensuring stabilization of the camera position.

Keywords: high-speed frame camera, mechanical vibration, work environment



Wstęp

Drgania mechaniczne w środowisku pracy są najczęściej czynnikiem niepożądanym: nie tylko ze względu na negatywne oddziaływanie na organizmy pracowników, ale również z uwagi na ich wpływ na eksploatację maszyn, urządzeń i narzędzi. Dość częste wykorzystywanie drgań w takich procesach technologicznych, jak zagęszczanie, ubijanie, kruszenie, czy rozbijanie powoduje, że są one obecne na wielu stanowiskach pracy. Potrzeba monitorowania narażenia pracowników na drgania, a także pracy i stanu technicznego urządzeń/narzędzi nie budzi wątpliwości.

W badaniach drgań, w zależności od przeznaczenia ich wyników (np. w diagnostyce technicznej, ocenie emisji drgań, ocenie

drgań podłoża, ocenie narażenia na drgania pracowników), są wykorzystywane różne techniki pomiarowe. Za podstawę najczęściej przyjmują one zastosowanie piezoelektrycznych przetworników drgań (mocowanych na urządzeniu/narzędziu), rzadziej – przetworników pojemnościowych, indukcyjnych, wiropędowych czy laserowych¹. W wielu sytuacjach informacja o amplitudzie przyspieszenia (lub prędkości czy przemieszczenia) drgań jest wystarczająca, jednak gdy jest konieczne określenie mechanizmu ich powstawania i/lub oddziaływania, potrzebne są dodatkowe dane. Najprostszym i często skutecznym sposobem

¹ Porównanie wyników uzyskanych przy pomocy układów pomiarowych (także zawierających wibrometry laserowe) innych niż piezoelektryczne przetworniki drgań będzie przedstawione w odrębnej publikacji.

ich pozyskiwania jest wzrokowa obserwacja zjawiska. W przypadku drgań mechanicznych jest to utrudnione ze względu na ograniczone możliwości ludzkiego oka. Drgania układów mechanicznych o częstotliwościach większych niż 20-30 Hz u większości osób są już niedostrzegalne, podobnie dzieje się, gdy zakres ruchu drgającego obiektu zmniejszy się do kilku mikrometrów. Ten problem można rozwiązać wykorzystując szybkie (szybkoklatkowe) kamery [1-8], pozwalające na rejestrację ruchów oscylacyjnych o bardzo małych przemieszczeniach i częstotliwościach, nawet kilkuset kHz.

Celem artykułu jest przedstawienie możliwości zastosowania szybkiej kamery do badań i oceny drgań w środowisku pracy. Autorzy artykułu przeprowadzili przy jej użyciu badania na 11 przykładowych narzędziach ręcznych.

Metoda badań

Wstępne testy pozwoliły na dobór parametrów zapisu, rodzaju oświetlenia i elementów optycznych, umożliwiających rejestrację obrazu ruchu punktów pomiarowych, zlokalizowanych na rękojeściach narzędzi. Główna część tych testów polegała na rejestracji specjalnie dobranych sygnałów testowych w różnych warunkach oświetleniowych i przy różnych parametrach pracy kamery oraz na analizie uzyskiwanych w ten sposób błędów pomiarowych. Kamerę skalibrowano metodą klasyczną, tj. przy użyciu wzorcowego źródła drgań.

Badania przedstawiane w artykule polegały na analizie zarejestrowanych szybko kamerą ruchów markerów graficznych, umieszczanych w punktach pomiarowych. Analizę ruchu prowadzono w trzech kierunkach X, Y, Z. Przykład lokalizacji punktu pomiarowego na rękojeści narzędzia, układ współrzędnych oraz sposób mocowania przetworników podczas badań przedstawiono na fot.

Podczas badań zostały zastosowane następujące parametry zapisu:

- prędkość zapisu: 2000 klatek/s
- rozdzielczość: 1024 x 1024 piksele
- czas trwania zapisu: 16,7 s.

Takie wartości pozwalają na rejestrację pojedynczych cykli pracy narzędzi i analizę drgań w zakresie częstotliwości od 1 do 1000 Hz. W zdecydowanej większości sytuacji jest to wystarczające do prawidłowej oceny drgań działających przez kończyny górne na stanowiskach pracy.

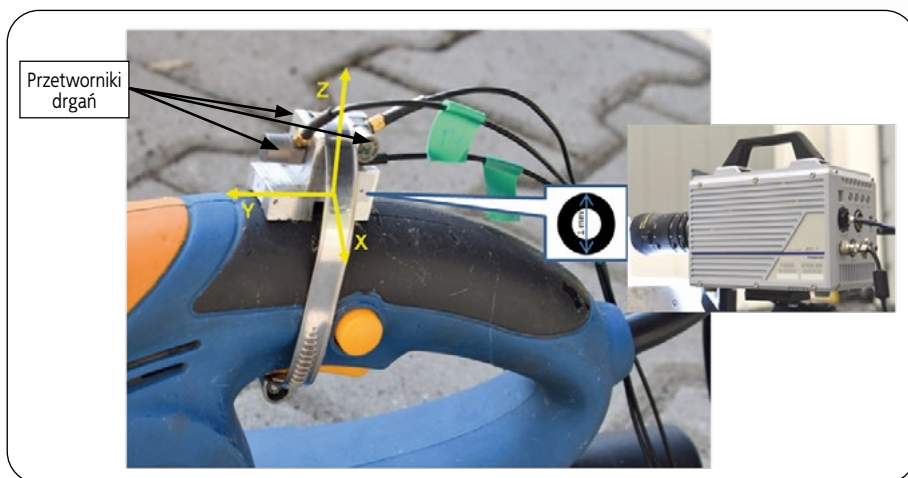
Przebiegi czasowe przemieszczenia drgań w punktach pomiarowych były tworzone po przeprowadzeniu operacji „śledzenia”, z zapisów wideo, dzięki wykorzystaniu specjalistycznego, dostępnego na rynku oprogramowania, służącego do analizy obrazu. Następnie, po ich dwukrotnym różniczkowaniu, wyznaczano widma przyspieszeń drgań. Po korekcy charakterystyką W_b (stosowaną podczas oceny drgań działających przez kończyny górne na stanowiskach pracy, zgodnie z PN-EN ISO 8041-1:2017-07) były obliczane skorygowane wartości całkowite przyspieszenia drgań, a następnie wartości sum wektorowych.

Równocześnie wykonywane były pomiary za pomocą układu standardowego stanowiącego układ odniesienia. Wykorzystano w nim 3 piezoelektryczne przetworniki drgań (fot.), wzmacniacz pomiarowy oraz multianalizator.

Pomiary metodą znormalizowaną [9] prowadzono w tych samych punktach pomiarowych i w tym samym układzie współrzędnych (X, Y, Z), co rejestracje wykonane szybko kamerą.

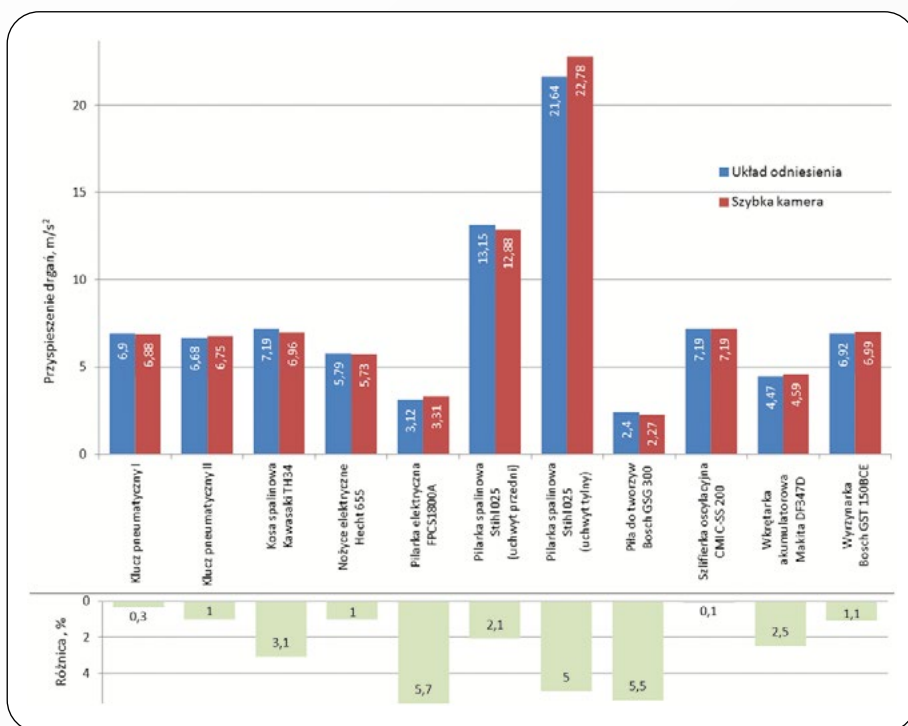
Wyniki badań

Porównanie wartości sum wektorowych skorygowanych wartości całkowitych przyspieszenia drgań uzyskanych na podstawie



Fot. Przykład lokalizacji punktu pomiarowego na rękojeści narzędzia, układ współrzędnych (X, Y, Z) oraz sposób mocowania przetworników podczas badań

Fig. Example of the location of the measurement point on the tool handle, coordinate system (X, Y, Z) and the method of mounting transducers during tests



Rys. Porównanie wartości sum wektorowych uzyskanych na podstawie rejestracji obrazu punktów pomiarowych i przy zastosowaniu układu odniesienia

Fig. Comparison of vector sum values obtained on the basis of recording image of measuring points and using a reference system

rejestracji obrazu punktów pomiarowych i przy zastosowaniu układu odniesienia zostało przedstawione na wykresie. W jego dolnej części zamieszczono obliczone różnice w procentach.

Analizując wyniki przedstawione na rys. można zauważyć, że wartości sum wektorowych skorygowanych wartości całkowitych przyspieszenia drgań wyznaczone na podstawie danych pochodzących z obu układów pomiarowych nie różnią się więcej niż o 5,7%. Tak małe różnice umożliwiają alternatywne

stosowanie obu układów pomiarowych. Podczas badań dodatkowo zaobserwowano, że na 11 badanych narzędzi ręcznych, tylko w przypadku piły do tworzyw nie została przekroczona wartość dopuszczalna dziennej ekspozycji na drgania działające przez kończyny górne, wynosząca 2,8 m/s² [10]. Oznacza to, że pozostałe zbadane narzędzia mogą być źródłami dużego narażenia operatorów na takie drgania.

Przeprowadzone w trakcie badań rejestracje ruchu drgającego przy użyciu szybkiej



Znajdziesz nas w Internecie: www.ciop.pl, e-mail: bpredakcja@ciop.pl

kamery były źródłem obserwacji możliwości jej zastosowania do badań drgań w środowisku pracy. Stwierdzono na tej podstawie, m.in., że, ze względu na potrzebę dużego powiększenia obrazu punktu pomiarowego, użycie kamery do analizy drgań jest ograniczone do sytuacji, w których zakres ruchu mieści się w kadrze. Analiza ruchu oscylacyjnego zarejestrowanego w zakresie 2-3 pikseli nie pozwala na uzyskanie wiarygodnych wyników. Przy częstotliwościach powyżej 50-70 Hz i amplitudach rzędu nm , użycie klasycznych obiektywów i innych elementów optycznych (telekonwerterów, pierścieni pośrednich) może okazać się niewystarczające. Prawidłowe działanie kamery wiąże się z zapewnieniem odpowiedniej stabilizacji położenia, co znacznie utrudnia użytkowanie jej w ruchu.

Podsumowanie

Wykorzystanie szybkiej kamery do pomiarów drgań mechanicznych pozwala uzyskiwać takie same lub bardzo zbliżone wyniki do tych, które są otrzymywane z klasycznych systemów pomiarowych. Przeprowadzone testy potwierdziły możliwość zastosowania szybkiej kamery do badań drgań, nawet przy małych przemieszczeniach.

Obserwacje dokonane podczas badań były źródłem informacji dotyczących warunków wykorzystania szybkiej kamery do pomiarów drgań mechanicznych.

Po uwzględnieniu opisanych ograniczeń, szybka kamera może być z powodzeniem stosowana do badań drgań w środowisku pracy. Główną zaletą badań drgań przy użyciu szybkiej kamery jest możliwość uzyskania dodatkowych informacji o zjawiskach obserwowanych podczas generowania drgań i ich wpływie na inne układy mechaniczne, często bez potrzeby dalszej identyfikacji, analizy i interpretacji. Dynamiczny rozwój technologii produkcji urządzeń do rejestracji obrazu, mikroprocesorów, pamięci komputerowych nowej generacji oraz technik opartych na rozpoznawaniu i analizie obrazów pozwala przypuszczać, że zastosowanie szybkich kamer również do analizy drgań będzie coraz szersze.

BIBLIOGRAFIA

- [1]BADER, R. and all. Measurements of friction instruments with high-speed camera and subpixel tracking. The Journal of the Acoustical Society of America 2015,138,(3): 1888-1888.
- [2]BEBERNISS, T.J., EHRHARDT, D.A. High-speed 3D digital image correlation vibration measurement: Recent advancements and noted limitations. Mechanical Systems and Signal Processing 2017,86: 35-48.
- [3]BRESSEL, E., SMITH, G., NASH, D. A comparison of vibration acceleration measured with high speed 3-d motion capture and triaxial accelerometers, 2010.
- [4]JENG, Y.-N., WU, CH.-H. Frequency identification of vibration signals using video camera image data. Sensors, 2012,12,(10): 13871-13898.
- [5]MAS, D., FERRER, B., ESPINOSA TOMÁS, J., PÉREZ RODRÍGUEZ, J., ROIG HERNÁNDEZ, A. B. & ILLUECA CONTRI, C. High speed imaging and algorithms for non invasive vibrations measurement, 2011.
- [6]SIEBERT, T., CROMPTON, M.J. Application of high speed digital image correlation for vibration mode shape analysis. Application of Imaging Techniques to Mechanics of Materials and Structures, 2013, 4: 291-298.
- [7]YAO, J., XIAO, X., LIU, Y. Camera-based measurement for transverse vibrations of moving catenaries in mine hoists using digital image processing techniques. Measurement Science and Technology 2016,27(3), 035003.
- [8]ZHANG, D., GUO, J., LEI, X., ZHU, C. A high-speed vision-based sensor for dynamic vibration analysis using fast motion extraction algorithms. Sensors. 2016,16(4),572.
- [9]PN-EN ISO 5349 – 1:2004 Drgania mechaniczne. Pomiar i wyznaczenie ekspozycji człowieka na drgania przenoszone przez kończyny górne. Część 1: Wymagania ogólne.
- [10] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286).

Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2017-2019), a wydano w ramach V etapu ww. programu wieloletniego (2020-2022), finansowanego w 2020 roku w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.