

WYZNACZENIE PRĘDKOŚCI LINIOWEJ BIJAKA TESTERA ZDERZEŃ

Artykuł dotyczy wyznaczenia prędkości liniowej bijaka testera zderzeń wykorzystywanego do badań materiałów przeciwwstrząsowych metodą swobodnego spadku. Zaproponowano procedurę wyznaczenia rzeczywistej prędkości liniowej wykorzystując zarejestrowane obrazy przemieszczenia bijaka za pomocą kamery szybkoobrotowej. Wyniki badań wykazują akceptowalną normatywnie powtarzalność. Umiejętność przewidywania prędkości liniowej bijaka tuż przed zderzeniem z badaną próbką pozwoli na uzyskanie wiarygodnych danych o właściwościach dynamicznych materiałów przeciwwstrząsowych.

WSTĘP

Zadaniem opakowania jest zapewnienie skutecznej ochrony zawartego w nim produktu przed mechanicznym uszkodzeniem, np. spowodowanym zderzeniem z nieodkształcalnym podłożem, z innymi ładunkami lub elementami wykonawczymi manipulatorów. W celu zweryfikowania, czy zaprojektowany prototyp opakowania posiada wymagane właściwości [2], wykonywane są badania eksperymentalne zgodnie z normami (ASTM [7], ISO [8], PN [9]).

Kluczową rolę w konstrukcji opakowań stanowią wypełnienia (struktury, elementy, układy) przeciwwstrząsowe, wykonane np. z polistyrenu spienionego (EPS). Zadaniem tych wypełnień jest pochłanianie i rozpraszanie energii kinetycznej wyzwolonej przy nagłym zatrzymaniu obiektu podczas zderzenia. W celu przewidywania zachowania tych struktur podczas zderzenia wykorzystuje się charakterystykę materiału, z którego są one zbudowane, tzw. krzywą amortyzacji (ang. cushion curve) [5]. Wyznaczane są one eksperymentalnie za pomocą tzw. testera zderzenia. Krzywa amortyzacji opisuje zależność pomiędzy obciążeniem statycznym wypełnienia (wyrażonym ilorazem siły ciężkości zawartości ładunku i powierzchni jego podparcia), a maksymalnym przyspieszeniem doznany przez ładunek podczas zderzenia przy swobodnym spadku z zadanej wysokości. Za pomocą tej krzywej można wyznaczyć przedział obciążenia statycznego, w którym materiał chroniący jest najbardziej efektywny, a także przedziały, których należy unikać, ze względu na zagrożenie uszkodzenia produktu wskutek wyzwolenia przyspieszeń, przekraczających odporność ładunku na zderzenie. W celu uzyskania wiarygodnych wyników badań materiałów przeciwwstrząsowych wymagana jest znajomość prędkości liniowej jaką uzyskuje bijak testera tuż przed zderzeniem z próbką.

Pomiar prędkości liniowej jest dużym problemem spotykanym w miernictwie oraz w robotyce [3]. Spowodowane jest to tym, że jego pomiar jest nieco inny w porównaniu z innymi wielkościami (siła, przemieszczenie itp.) oraz nie istnieje zbyt wiele rozwiązań technologicznych mierzących prędkość. Z powodu niewielkiej ilości rozwiązań użytkownik musi wykorzystywać swoją wiedzę w pomiarze innych parametrów oraz pomysłowości w celu stworzenia metody pomiaru prędkości liniowej.

Jedną z takich metod jest wyznaczenie prędkość poprzez pomiar przemieszczenia a następnie jego różniczkowanie lub poprzez pomiar przyspieszenia i następnie całkowanie. Te dwie metody należą do grupy metod pomiarowych prędkości liniowej, które odnoszą się do pomiaru wielkości pośrednich. Pomiar z tej grupy wykonywany jest instrumentami badawczymi, w których przynajmniej

jeden z komponentów jest zamocowany na ruchomym obiekcie oraz określony obszar w którym dokonywany jest pomiar [6].

Do grupy tej możemy zaliczyć również takie metody które opierają się na [6]:

- przekształceniu prędkości kątowej na liniową,
- efekcie Dopplera,
- interferencji światła.

Metody opierające się na pomiarze przemieszczenia oraz przekształceniu prędkości kątowej na liniową są najczęściej wykorzystywane z powodu prostych i tanich elementów, z których można korzystać przy budowie aparatury badawczej (enkoder, kamera) w porównaniu z innymi metodami. Najmniej ingerującą z przytoczonych metod pomiarowych w badany układ jest pomiar przemieszczenia za pomocą kamery. Przy tej metodzie wymagane jest tylko wyodrębnienie obszaru, który będzie rejestrowany przez kamerę. Jedynym problemem przy stosowaniu tej metody jest to, że rejestracja musi odbywać się w wystarczająco oświetlanym pomieszczeniu oraz trzeba zarejestrować zdarzenie z wystarczającą ilością klatek na sekundę.

Celem pracy jest przedstawianie metody pomiaru prędkości liniowej oraz wykorzystanie jej do wyznaczenia prędkości swobodnego spadku bijaka w testerze zderzeń. Przeprowadzone badania pozwolą na kalibrację urządzenia – powiązanie wysokości swobodnego spadku bijaka z jego rzeczywistą prędkości osiąganą tuż przed zderzeniem z próbką materiału przeciwwstrząsowego.

1. OBIEKT BADAŃ

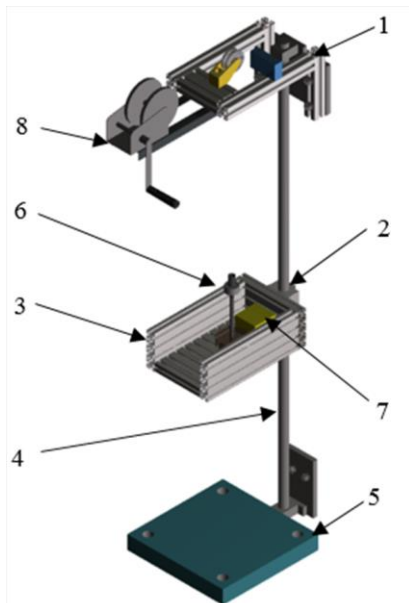
Obiektem badań jest tester zderzeń, który służy do badania właściwości dynamicznych materiałów przeciwwstrząsowym. Z powodu braku dostępu do testerów komercyjnych, ze względów finansowych, zaprojektowano i zbudowano własne rozwiązanie (rys.1). Urządzenie to składa się z bijaka (3) z rejestratorem przyspieszeń (7), swobodnie spadającego z zadanej wysokości na badaną próbkę, umieszczoną na podstawie (5). Rozpoczęcie opadania bijaka następuje poprzez rozłączenie elektromagnesu (6). Siła ciężkości oddziałująca na bijak powoduje jego opadanie oraz przyspieszenie w kierunku pionowym. Bijak jest zamocowany do prowadnicy (4), po której porusza się za pomocą łożyska liniowego (2). Ewentualny obrót bijaka względem płaszczyzny powierzchni próbki zniwelowano wskutek precyzyjnego ustawienia prowadnicy w pozycji pionowej i wyważenia bijaka. Tarcie między łożyskiem, a prowadnicą powoduje zmniejszenie rzeczywistej prędkości bijaka względem prędkości teoretycznej, którą uzyskuje się ze wzoru:

$$V = \sqrt{2gh} \quad (1)$$

gdzie:

g – przyspieszenie ziemskie [$\frac{m}{s^2}$],

h – wysokość z jakiej zrzucany jest bijak [m].



Rys. 1. Tester zderzeń: 1 – korona, 2 – łożysko liniowe, 3 – bijak, 4 – prowadnica, 5 – podstawa, 6 – elektromagnes, 7 – trójosiowy rejestrator przyspieszeń, 8 – wciągarka linowa.

2. METODA BADAWCZA

Do rejestracji zdarzenia posłużono się kamerą szybkoklatkową AOS Q-PRI (rys.2).



Rys. 2. Kamera szybkoklatkowa AOS Q-Pri

Posługując się tą kamerą zarejestrowano przemieszczenie bijaka w obszarze o wysokości 1.28 m i szerokości 0.77 m w rozdzielczości 888x1456 px z częstotliwością 1000 fps, spadającego z przyjętych czterech wysokości $h=[0.15, 0.3, 0.45, 0.6]$ m. Uzyskane

nagrania przetwarzane są w celu uzyskania przemieszczenia bijaka w funkcji czasu.

W celu dokonania analizy zarejestrowanego obrazu, na bijaku zamocowano czerwony znacznik w kształcie koła (rys.3a), który zostaje wykorzystany do odczytu zmiany położenia. Po wyodrębnieniu w strumienia danych Cr (jest to składowa chrominancji stanowiąca różnicę między luminancją a czerwonym) z modelu przestrzeni kolorów $YCbCr$ na nagraniu będzie głównie widoczny przy mocowany czerwony znacznik do bijaka. Strumień ten następnie zostaje przetworzony binarnie (na obraz czarno-biały, rys.3b). Dzięki temu procesowi zostaje wyodrębnione skupisko pikseli reprezentujące czerwony okrąg, który możemy poddać analizie. To skupisko pikseli nazywamy BLOB-em (Binary Large Object) [4]. Nazwa ta pochodzi od skupiska połączonych między sobą pikseli na obrazie. Obszar ten wykrywany jest poprzez wyszukiwanie połączeń pomiędzy pikselami, czyli gdy wartość sąsiadujących pikseli mają wartość równą 1. Po wykryciu obszaru następuje identyfikacja cech BLOB-a. Jedną z takich metod jest wyszukiwanie środka geometrycznego obiektu. Wyznaczana ona jest poprzez wyliczenie wartości średniej położenie pikseli w osi x i y [4].

Wykorzystując analizę położenia geometrycznego środka wykrytego obiektu w poszczególnych klatkach filmu uzyskujemy zmianę położenia s bijaka w funkcji czasu t . Wykorzystując uzyskane dane może wyznaczyć liniową prędkość z zależności:

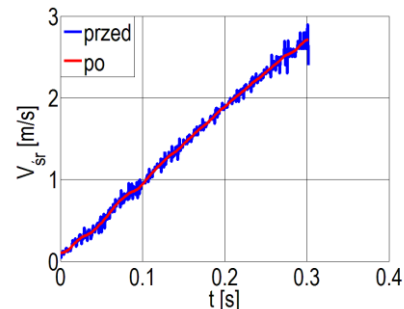
$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2)$$

gdzie:

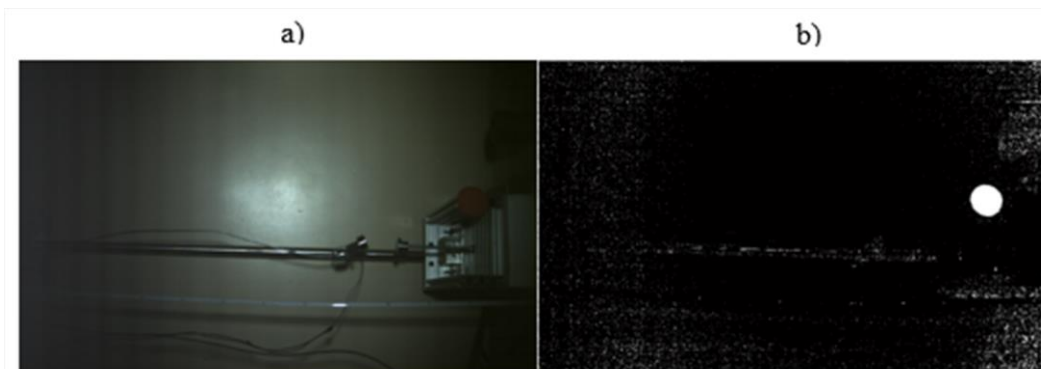
Δs – zmiana przemieszczenia [m],

Δt – przedział czasowy ($dt=0.001$ [s]) w którym następuje zmiana przemieszczenia [s].

Jednakże podczas różniczkowania przemieszczenia s pojawiają się skoki prędkości v (rys.4). W celu zmniejszenia zakłóceń wykres poddano wygładzeniu za pomocą funkcji spline zaproponowanej w [1].



Rys. 4 Wykres średniej prędkości liniowej w funkcji czasu przed filtracją i po filtracji



Rys. 3. Kadr z filmu: a) przed binaryzacją, b) po binaryzacji

3. WYNIKI I ANALIZA

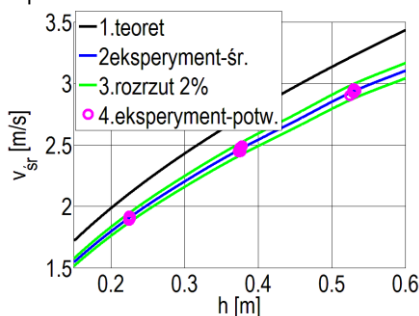
Z uzyskanych dziesięciu przebiegów prędkości liniowej swobodnego spadku bijaka dla każdej z wysokości $h_e = [0.15, 0.3, 0.45, 0.6]$ m wyodrębniono maksymalne wartości prędkości, osiągnięte tuż zderzeniem z próbką dzięki której utworzono krzywą – tj. prędkość bijaka testera zderzeń osiąganą przy zadanej wysokości (rys.5, krzywa oznaczona odnośnikiem (2)). Zgodnie z normą [7] prędkości liniowe bijaka uzyskane z zadanej wysokości muszą mieścić się w przedziale 2% względem średniej wartości prędkości która została uwzględniona na rys.5 jako odnośnik (3). Wartość tą wyznaczono wzorem:

$$V_{2\%} = V_{sr} \pm 0.02V_{sr} \quad (3)$$

gdzie:

- V_{sr} – średnia z dziesięciu maksymalnych wartości prędkości liniowej $[\frac{m}{s}]$.

W celu potwierdzenia uzyskiwania normatywnej dokładności wyznaczania prędkości rzeczywistej wykonano 10 prób zrzucania bijaka dla każdej wysokości $h_w = [0.225, 0.375, 0.525]$ m (odnośnik (4)). Wszystkie punkty z badań doświadczalnych mieszczą się we wspomnianym przedziale 2%.



Rys. 5 Wykres prędkości liniowej uzyskiwanej przez bijak testera zderzeń w zależności od wysokości zrzutu

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono metodę pomiaru prędkości średniej za pomocą kamery szybkołatkowej. Metoda ta została zweryfikowana poprzez uzyskanie charakterystyki prędkości liniowej testera zderzeń do badań materiałów przeciwwstrząsowych w zależności od wysokości zrzutu. Wyniki tych badań są w pełni zgodne z wymaganiami określonymi normą [7]. Znajomość rzeczywistej prędkości testera zderzeń pozwala na uzyskanie wiarygodnych wyników.

BIBLIOGRAFIA

1. Craven P., Wahba G., *Smoothing Noisy Data with Spline Function*, Numerische Mathematik, 47, s. 99-106, 1985.
2. Jiu-Hong J., Zhi-Wei W., *Dropping Damage Boundary Curves for Cubic and Hyperbolic Tangent Packaging Systems Based on Key Component*, Packaging Technology and Science, John Wiley & Sons, tom 25, nr 7, s. 397-411, 2012.
3. Liu G., *On velocity estimation using position measurement*, American Control Conference, 2002.
4. Moeslund T. B., *Introduction to Video and Image Processing*, Springer, 2012.
5. Young D. E., *Distribution Hazard Measurement*, w: Yam K.L., Encyclopedia of packaging technology. A John Wiley & Sons, 2009, s. 365-368.
6. Webster G. J., Eren H., *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, Second Edition: Spatial, Mechanical, Thermal and Radiation Measurement*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014.
7. ASTM D1596-97 (2011) – *Standard Test Method for Dynamic Shock Cushioning Characteristic of Packaging Material*.
8. ISO 2248:1985 – *Packaging: -- Complete, filled transport package – Vertical impact test by dropping*.
9. PN-EN 22248:2001P: *Opakowania -- Opakowania transportowe z zawartością -- Metoda badania odporności na uderzenia przy swobodnym spadku*.

Designating linear velocity of the impact tester

The paper concerns the determination of the linear velocity of impact tester used for research of the dynamic properties of cushioning materials according of the height of free fall. In proposed method the recorded images of the movement of the impactor with the high speed camera are used. The obtained results are normatively acceptable. Knowledge of the linear velocity allows to obtain reliable results with the impact tester when testing the dynamic properties of cushioning materials.

Autorzy:

mgr inż. **Przemysław Osowski** – Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Zakład Mechaniki Stosowanej, przemyslaw.osowski@utp.edu.pl.

dr hab. inż. **Tomasz Piątkowski** – Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Zakład Mechaniki Stosowanej, tomasz.piatkowski@utp.edu.pl.