

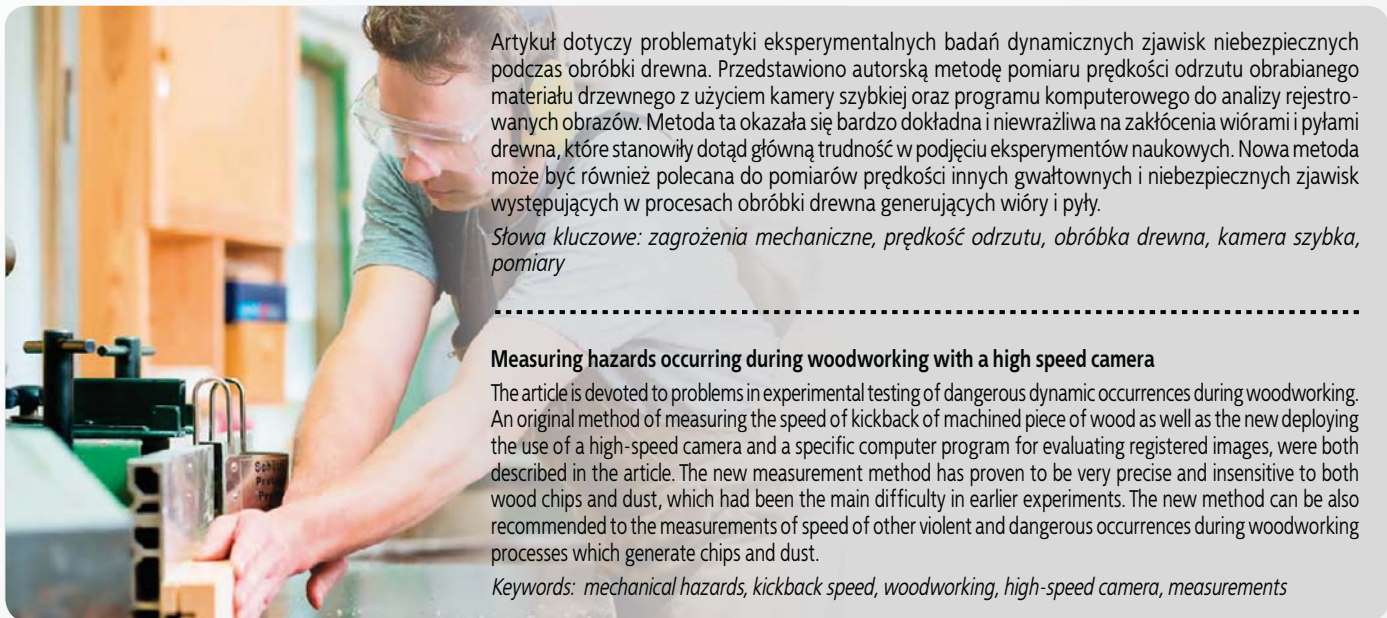
dr inż. MARIUSZ DĄBROWSKI

Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: madab@ciop.pl

DOI: 10.5604/01377043.1204750

# Badanie zagrożeń występujących przy obróbce drewna z zastosowaniem kamery szybkiej



Fot. Kzenon/BigstockphotoB

Artykuł dotyczy problematyki eksperymentalnych badań dynamicznych zjawisk niebezpiecznych podczas obróbki drewna. Przedstawiono autorską metodę pomiaru prędkości odrzutu obrabianego materiału drzewnego z użyciem kamery szybkiej oraz programu komputerowego do analizy rejestrowanych obrazów. Metoda ta okazała się bardzo dokładna i niewrażliwa na zakłócenia wiórami i pyłami drewna, które stanowiły dotąd główną trudność w podjęciu eksperymentów naukowych. Nowa metoda może być również polecana do pomiarów prędkości innych gwałtownych i niebezpiecznych zjawisk występujących w procesach obróbki drewna generujących wióry i pyły.

*Słowa kluczowe: zagrożenia mechaniczne, prędkość odrzutu, obróbka drewna, kamera szybka, pomiary*

## Measuring hazards occurring during woodworking with a high speed camera

The article is devoted to problems in experimental testing of dangerous dynamic occurrences during woodworking. An original method of measuring the speed of kickback of machined piece of wood as well as the new deploying the use of a high-speed camera and a specific computer program for evaluating registered images, were both described in the article. The new measurement method has proven to be very precise and insensitive to both wood chips and dust, which had been the main difficulty in earlier experiments. The new method can be also recommended to the measurements of speed of other violent and dangerous occurrences during woodworking processes which generate chips and dust.

*Keywords: mechanical hazards, kickback speed, woodworking, high-speed camera, measurements*

## Wstęp

Zagrożenia powodowane niebezpiecznymi zjawiskami występującymi podczas obróbki drewna w znacznej mierze przyczyniają się do, obserwowanej na przestrzeni lat, dużej wypadkowości przy pracach z zastosowaniem obrabiarek do drewna. To m.in. z tego względu stanowią one największą grupę wśród maszyn uznanych w dyrektywie 2006/42/WE za szczególnie niebezpieczne [1]. Do niebezpiecznych zdarzeń zaliczany jest zwłaszcza odrzut materiału obrabianego w niektórych typach maszyn stacjonarnych, a także odbicie przenośnych pilarek łańcuchowych do drewna.

Celem artykułu jest omówienie problematyki związanej z badaniem zagrożeń przy obróbce drewna, a zwłaszcza przedstawienie nowej metody pomiaru prędkości odrzutu materiału obrabianego, umożliwiającej oszacowanie poziomu powodowanych nim zagrożeń. Jedną z głównych

przeszkód w rozpoczęciu i prowadzeniu eksperymentalnych badań odrzutu był dotychczas brak odpowiedniej metody pomiarowej, odpornej na zakłócenia emisją wiórów oraz pyłu drzewnego, a więc nadającej się do praktycznego zastosowania przy badaniach niebezpiecznych zjawisk zachodzących podczas skrawania drewna. Zastosowanie do pomiaru prędkości odrzutu kamery szybkiej i dedykowanego oprogramowania komputerowego umożliwiło rozpoczęcie badań wpływu warunków skrawania na prędkość odrzutu, a nowo opracowana metoda może być użyta do pomiaru prędkości innych dynamicznych zjawisk niebezpiecznych występujących w procesach obróbki drewna.

## Definicje podstawowych pojęć

Definicje „odrzutu” i „wyrzutu” podają zharmonizowane z dyrektywą 2006/42/WE

normy europejskie, dotyczące tych obrabiarek do drewna. Zgodnie z nimi [2]:

- „wyrzut” to nieoczekiwany ruch przedmiotu obrabianego lub jego fragmentu, albo części maszyny podczas obróbki
- „odrzut” to specyficzna forma wyrzutu, polegająca na niespodziewanym przemieszczeniu się obrabianego materiału lub jego fragmentu podczas obróbki w kierunku przeciwnym do kierunku posuwu.

Pokrewnie do „odrzutu” zjawisko, nazywane w Polsce „odbiciem”, występuje przy obsłudze przenośnych pilarek z piłą łańcuchową. W tym przypadku jednak nie jest to ruch obrabianego materiału, lecz „nagły ruch pilarki w górę i do tyłu, który następuje, gdy będąca w ruchu piła łańcuchowa dotknie kłody lub gałęzi w pobliżu końcówki prowadnicy” [3].

## Przebieg wypadków i działania prewencyjne

Zapisy w wytycznych Międzynarodowej Organizacji Pracy i innych istotnych dokumentach międzynarodowych i europejskich na temat odrzutu świadczą, że jest on niebezpieczny i może powodować wypadki przy pracy [4].

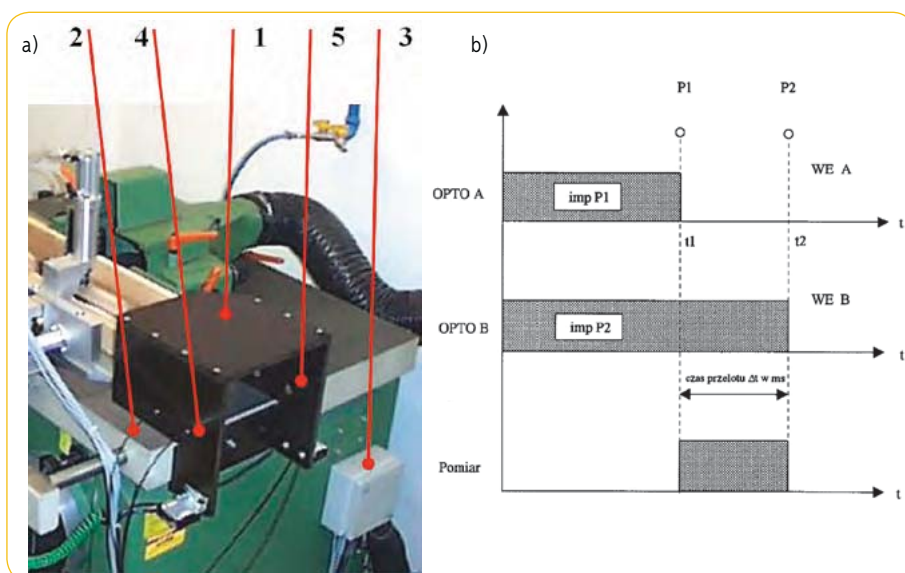
Nieliczne dotychczasowe badania naukowe dotyczące odrzutu przy obróbce drewna polegały głównie na gromadzeniu i analizie dostępnych danych, takich jak dane statystyczne dotyczące wypadków przy pracy, opisy zdarzeń wypadkowych i ankiety wypełniane przez osoby poszkodowane w wypadkach. Na przykład w wyniku analizy wypadków ciężkich i śmiertelnych przy obróbce drewna okazało się, że większość wypadków śmiertelnych powodowanych było uderzeniem ciała człowieka przez odrzucony materiał [5].

Z kolei w wielu wypadkach ciężkich, w których doszło do urazu wskutek bezpośredniego kontaktu części ciała operatora z pracującym narzędziem tnącym, odrzut stanowił przyczynę pośrednią, inicjującą sekwencję zdarzeń prowadzących do zdarzenia wypadkowego. Niespodziewane wystąpienie odrzutu powodowało wówczas utratę równowagi lub zachwianie się operatora, gdy obrabiany przedmiot „uciekał” mu spod ręki. Wówczas druga ręka, wskutek odruchowej próby utrzymania równowagi, wpadała w obracające się narzędzie i dochodziło do poważnych zranień palców i dłoni, które stanowią większość urazów przy maszynowej obróbce drewna. Taki właśnie przebieg wielu wypadków potwierdziły wyniki badań amerykańskich, prowadzonych w ostatnich latach wśród poszkodowanych operatorów pilarek do drewna [6].

Rozwój konstrukcyjny maszyn do obróbki drewna, zwłaszcza w zakresie wbudowanych w maszyny narzędzi tnących oraz zespołów prowadzących i dociskających materiał obrabiany w strefie obróbki, przyczynia się z pewnością do ograniczenia ryzyka powodowanego odrzutem, jednak pomimo to, od lat nie udaje się znaleźć całkowicie bezpiecznych rozwiązań konstrukcyjnych.

Podjęcie skutecznych działań prewencyjnych w tym zakresie wymaga wiedzy na temat wpływu różnych warunków skrawania związanych m.in. z narzędziem tnącym, obrabianym materiałem i parametrami obróbki na zagrożenie dla pracowników. W tym celu niezbędne jest określenie na drodze eksperymentalnej zmiany parametrów ruchu spowodowanych niebezpiecznym zjawiskiem, a więc np. zmierzenie prędkości ruchu wyrzuczonego z maszyny przedmiotu.

Pomysł wprowadzenia prędkości odrzutu jako miary zagrożenia powodowanego tym zjawiskiem, powstał w związku z opracowaniem normy europejskiej EN-847-1 [7]. W załączniku A do tej normy zaproponowano wykonywanie testu odrzutu przy okazji certyfikacji frezów, głowic frezowych i wałów nożowych, przeznaczonych do stosowania w maszynach do obróbki drewna z posuwem ręcznym. We wspomnianym



Rys. 1. Pierwsza wersja układu pomiarowego prędkości odrzutu: 1 – tunelowa obudowa układu; 2 – jeden ze światłowodów; 3 – pyłoszczelna obudowa czujników optoelektronicznych; 4, 5 – ścianki boczne obudowy: a) – elementy układu pomiarowego; b) – zasada działania czasomierza w układzie pomiarowym prędkości odrzutu

Fig. 1. The original version of kickback speed measuring system: 1 – tunnel housing of the system; 2 – fibre-optic cable; 3 – dustproof enclosure of optoelectronic sensors; 4, 5 – side walls of the cover: a) elements of the measuring system; b) modus operandi of chronometer in kickback speed measuring system

nej normie przedstawiono główne założenia i wymagania dotyczące stanowiska do badań eksperymentalnych oraz procedury badawczej.

W Unii Europejskiej powstało kilka stanowisk do przeprowadzania testu odrzutu zgodnie z wytycznymi normy EN-847-1. Zostały one zbudowane przez laboratoria świadczące usługi dla notyfikowanych jednostek certyfikujących narzędzia i maszyny do obróbki drewna oraz przez czołowych producentów narzędzi tnących.

Podczas przeprowadzania testów na wspomnianych stanowiskach, prędkość odrzutu, według przyjętych w normie założeń, miała być wyznaczana na podstawie czasu przemieszczenia się odrzuconej próbki na odcinku pomiarowym, mierzonego z użyciem dwóch fotokomórek oraz częstotliwościomierza.

Zaproponowana metoda pomiaru prędkości odrzutu okazała się jednak obciążona tak dużymi wadami, że spowodowało to konieczność poszukiwania alternatywy i doprowadziło do opracowania pomiaru opartego na analizie obrazów zarejestrowanych kamerą szybką.

### Pierwsza metoda pomiaru prędkości odrzutu stosowana na stanowisku w CIOP-PiB

Stanowisko do przeprowadzania testu odrzutu zostało zbudowane w latach 1996-1997 również w Polsce, w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy [8]. Układ pomiaru prędkości odrzutu stanowiska opracowano zgodnie z ogólnymi wskazówkami normy [7], jednak szczegółowe rozwiązania wymagały pogłębionej analizy projektowej. W układzie pomiarowym zastosowano czujniki optoelektroniczne działające w układzie nadajnik-odbiornik. Pożądanymi ze względów

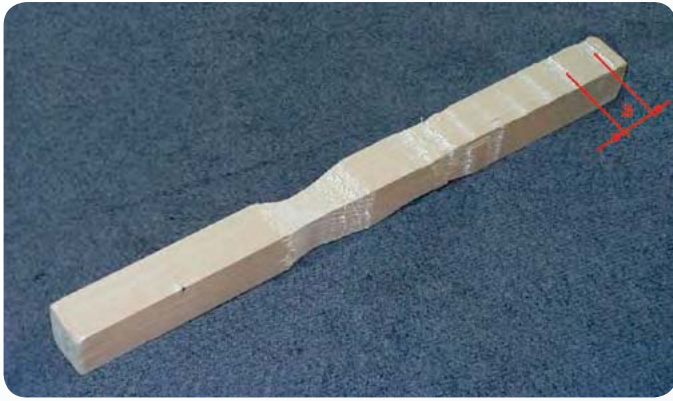
metrologicznych cechami czujników były ich duża szybkość działania oraz odpowiednio duży zasięg wykrywania odrzuconej próbki, niezbędny ze względu na możliwe odchylenie toru lotu.

Z tego względu ścianka boczna tunelowej obudowy układu pomiarowego (rys. 1a) ze światłowodami oświetlaczy została odsunięta o 240 mm od drugiej ścianki bocznej ze światłowodami odbiorników. W rzeczywistych badaniach odchylenia torów odrzuconych próbek okazały się znacznie mniejsze. W układzie zastosowano bardzo szybkie czujniki o częstotliwości przełączania 1000 Hz.

Odrzucona próbka, przemieszczając się wewnątrz tunelowej obudowy układu, przecinała kolejno strumienie światła ze światłowodów dwóch oświetlaczy czujników i zaśniała światłowód odbiornika pierwszego czujnika optoelektronicznego P1 (rys.1b), a następnie drugiego – P2. Czas przelotu czoła próbki między czujnikami  $\Delta t$  mierzony był przez zliczanie liczby impulsów o częstotliwości 10 kHz generowanych przez układ elektronicznego generatora podstawy czasu stabilizowanego rezonatorem kwarcowym. Zanik sygnału czujnika P1 uruchamiał, a czujnika P2 zatrzymywał licznik impulsów generatora. Wyznaczana w ten sposób prędkość odrzutu była ilorazem drogi  $l$  – tj. odległości między czujnikami (80 mm), oraz zmierzonego czasu  $\Delta t$ .

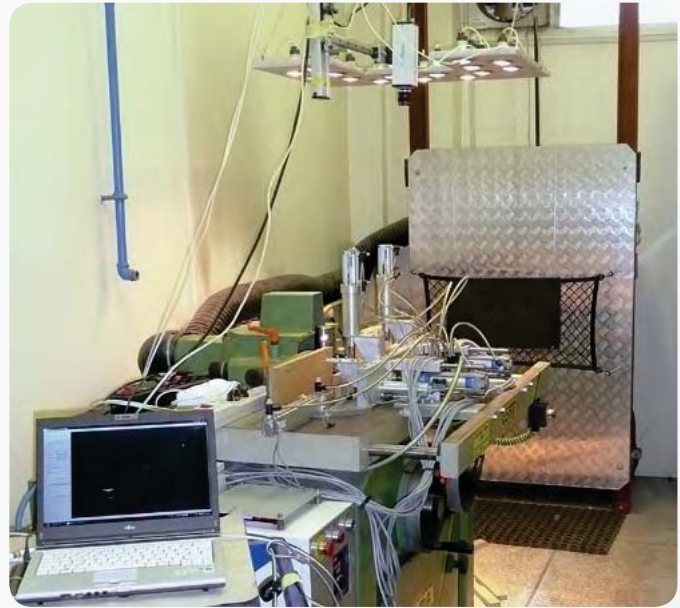
Podczas przeprowadzania prób odrzutu okazało się jednak, że obłoki pyłu i wiórów drzewnych (powstające podczas skrawania próbki) przemieszczały się wewnątrz tunelowej obudowy układu pomiarowego powodując przedwczesne (błędne) uruchamianie pomiaru czasu.

W celu zwiększenia dokładności układu i zmniejszenia jego wrażliwości na zakłócenia powodowane wiórami i pyłem zmieniono



Fot. 1. Próbkę świerkowa o wymiarach 40x40x500 mm po próbach odrzutu ze wskazaniem odległości „a” między ostatnimi śladami ostrzy narzędzia

Photo 1. A spruce probe, dimensions: 40x40x500 mm, after kickback tests. Distance “a” between last traces of cutting knives



Fot. 2. Zmodyfikowane stanowisko do badania odrzutu  
Photo 2. Modified workstation for kickback measurement

zasadę pomiaru. Mierzono czas  $\Delta t$ , w którym przelatująca próbka zasłania jednocześnie oba czujniki optoelektroniczne P1 i P2. Starano się w ten sposób wyeliminować zakłócenia, licząc, że powstające obłoki pyłu są krótsze niż odległość między czujnikami lub niejednorodne (nie zasłonią jednocześnie obu czujników). Droga  $l$  w liczniku wzoru na prędkość odrzutu była w tym wypadku różnicą pomiędzy długością próbki (500 mm) a odległością pomiędzy czujnikami (80 mm) i wynosiła 420 mm. Pomimo tej zmiany, zakłócenia powodowane najprawdopodobniej przez wióry i pył powstające już w fazie samego odrzutu i wyrzucane przed odrzucaną próbką lub tworzące za nią warkocz, nadal utrudniały rzetelne pomiary prędkości odrzutu.

Problem ten próbowano jeszcze rozwiązać z użyciem dwukanałowego oscyloskopu cyfrowego, na którym można było analizować sygnały oddzielnie z każdego z czujników, a wyznaczony w ten sposób czas przelotu oraz prędkość odrzutu próbki porównywano dodatkowo z prędkością wyznaczoną na podstawie ostatnich śladów ostrza narzędzia na powierzchni odrzuconej próbki (fot. 1.) ze wzoru:

$$V = a \frac{n \cdot z}{60000}$$

gdzie:

$V$  – prędkość odrzutu, [m/s]

$a$  – odległość śladów ostrzy na próbce, [mm]

$n$  – prędkość obrotowa, [obr/min]

$z$  – liczba ostrzy narzędzia, [-].

Wynik uznawano za poprawny, gdy prędkości te nie różniły się od siebie więcej niż  $\pm 10\%$ . Metoda ta była jednak niezmiernie czasochłonna i uciążliwa, więc rozpoczęto poszukiwania innej, niewrażliwej na wymienione zakłócenia.

Opisane wyżej problemy przy przeprowadzaniu testów odrzutu zostały zapewne dostrzeżone również w innych krajach UE, w których zbudowano takie stanowiska, gdyż w znowelizowanej

normie PN-EN 847-1 zrezygnowano z testu odrzutu [9].

### Metoda pomiaru prędkości odrzutu z zastosowaniem kamery szybkiej

Pomimo zniesienia obowiązku przeprowadzania testów odrzutu przy certyfikacji narzędzi do maszyn z posuwem ręcznym, to zbudowane w CIOP-PIB stanowisko postanowiono wykorzystać do prowadzenia eksperymentalnych prac badawczych nad narzędziami do frezowania drewna oraz nad zjawiskiem odrzutu.

W tym celu trzeba było dokonać w stanowisku wielu modyfikacji (fot. 2.), aby mogło być ono wykorzystywane do badań wpływu warunków skrawania, a więc umożliwiło stosowanie różnych narzędzi tnących, prędkości skrawania i obrabianych materiałów. Największym problemem do rozwiązania pozostawało jednak opracowanie innej metody umożliwiającej precyzyjny i wiarygodny pomiar prędkości odrzutu.

Ostatecznie do pomiaru prędkości zdecydowano się zastosować tzw. szybką kamerę, filmującą przebieg testu odrzutu. Rozwiązanie to okazało się niewrażliwe na zakłócenia, dokładne i wygodne w użyciu.

Na podstawie znanych już oraz przewidywanych warunków podczas prowadzenia badań określono rodzaj i parametry filmującej test kamery szybkiej, dotyczące m.in.:

- minimalnej szybkości rejestracji koniecznej do pomiaru prędkości odrzutu, wynikającej z rozmiarów rejestrowanego przez kamerę obrazu oraz przewidywanych maksymalnych wartości mierzonej prędkości

- wymaganych prędkości migawki. Ostrość obrazu odrzucanej próbki ma, ze względu na dynamikę rejestrowanego zjawiska, decydujący wpływ na dokładność pomiaru. Pożądane jest z tego względu jak najkrótsze otwarcie migawki, umożliwiające prawidłową rejestrację pojedynczej klatki, tj. o odpowiedniej jasności,

kontrastowości i ostrości obrazu próbki. Należy przy tym uwzględnić możliwe do uzyskania natężenie oświetlenia filmowanego obszaru oraz minimalną wartość przysłony obiektywu kamery, zapewniającą z kolei głębię ostrości obrazu potrzebną ze względu na przemieszczanie się próbki również w trzecim wymiarze podczas odrzutu

- matrycy o dużej czułości i rozdzielczości obrazu. Zdecydowano o wyborze matrycy monochromatycznej, ze względu na osiągnięcie lepszej ostrości rejestrowanego obrazu oraz uniknięcie problemów z dostosowaniem i ujednoczeniem temperatury barwowej oświetlenia na stanowisku badawczym, zwłaszcza przy oświetleniu mieszanym (dziennie-sztucznym)

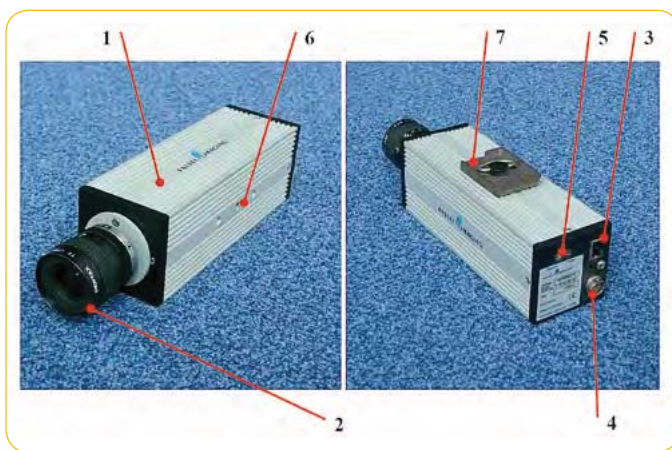
- pojemności pamięci umożliwiającej rejestrację kilkusekundowego filmu przy wymaganej szybkości rejestracji i rozdzielczości obrazu

- szybkiego przesyłania zarejestrowanego obrazu do komputera w celu jego dalszej obróbki.

Przy wyborze kamery brano były ponadto pod uwagę, poza względami ekonomicznymi, m.in. jej gabaryty i masa, szczelność i mechaniczna wytrzymałość obudowy oraz dostępność wyposażenia i serwisu.

Wybrana kamera (fot. 3.), po wyposażeniu jej w odpowiedni obiektyw, spełniała wszystkie wcześniej opisane uwarunkowania badawcze. Niektóre parametry kamery i obiektywu zestawiono w tabelach 1.-3.

Do obsługi kamery stosowano programy komputerowe, w szczególności programy do sterowania kamerą w procesie nagrywania, w celu rozpoczęcia i zakończenia nagrywania oraz uruchamiania i przesyłania zapisu nagrania z kamery do komputera, a także nastawiania parametrów kamery, tj. rozdzielczości obrazu, prędkości nagrywania i migawki oraz czasu trwania zapisu; oraz do odtwarzania zapisanych obrazów i określania położenia w płaszczyźnie obrazu ruchomych obiektów (podawanego w pikselach na osiach X i Y).



Fot. 3. Kamera szybka. Widok z dwóch stron: 1 – korpus kamery; 2 – obiektyw; 3 – gniazdo do szybkiej transmisji danych do komputera; 4 – gniazdo dwuzadaniowe, zasilania kamery prądem stałym 5 V z zasilacza zewnętrznego oraz wejścia sygnału wyzwalającego zapis; 5 – diodowe wskaźniki stanu kamery; 6 – standardowe otwory z gwintem 1/4-20; 7 – szybkozłączka do uchwytu kamery

Photo 3. High-speed camera. View from two sides: 1 – camera body; 2 – lens; 3 – RJ45 Gigabit Ethernet Port; 4 – inputs of 5VDC power supply and trigger signal; 5 – LED indicators; 6 – standard 1/4-20 tripod mounts; 7 – camera quick release plate



Fot. 4. Kamera i oświetlenie filmowanej powierzchni na stanowisku do badania odrzutu: 1 – kamera szybka; 2 – regulowany uchwyt kamery; 3 – oświetlenie halogenowe

Photo 4. The camera and lighting of pictured surface of the kickback test stand: 1 – high-speed camera; 2 – adjustable camera holder; 3 – halogen-lighting

W celu zapewnienia statecznego położenia kamery podczas filmowania z góry prób odrzutu, stanowisko badawcze wyposażono w specjalny uchwyt zamocowany do sufitu pomieszczenia laboratoryjnego (fot. 4.). Uchwyt ten umożliwia precyzyjną regulację położenia kamery w dwóch kierunkach: pionowym oraz poziomym równoległym do prowadnic obrabiarki.

Zastosowanie kamery szybkiej w układzie pomiaru prędkości odrzutu spowodowało konieczność doświetlenia filmowanego obszaru. Ze względu na niedostateczną luminancję oraz występowanie efektu pulsowania światła zwykłych lamp fluorescencyjnych zainstalowanych na suficie pomieszczenia i przeznaczonych do ogólnego oświetlenia laboratorium, zastosowano dodatkową fotograficzną lampę halogenową o mocy 1000 W świecąca światłem ciągłym. Wadą tego rozwiązania okazało się bardzo szybkie i silne nagrzewanie lampy ha-

logenowej, co wymuszało częste jej wyłączenie i powstawanie przerw w prowadzeniu badań. Aby tego uniknąć, opisane wcześniej oświetlenie punktowe filmowanego obszaru, zastąpiono panelem oświetleniowym z 15 reflektorkami halogenowymi małej mocy (każdy po 50 W). Panel ten podwieszono do sufitu laboratorium w taki sposób, żeby istniała możliwość zmiany wysokości jego podwieszenia oraz płynnej regulacji natężenia oświetlenia (fot. 4.).

Zmiana sposobu oświetlenia stanowiska badawczego umożliwiła nieprzerwane prowadzenie oraz rejestrowanie szybką kamerą prób odrzutu. Był to warunek konieczny realizacji dużej liczby powtórzeń prób badawczych z użyciem tego samego narzędzia i materiału oraz przy tych samych parametrach obróbki, w celu ograniczenia niepewności i wiarygodnego interpretowania wyników badań.

### Wyznaczanie prędkości odrzutu

Sfilmowane kamerą szybką próby odrzutu, nagrane i zapisane w formie pliku w pamięci komputera, można odtwarzać za pomocą programu (rys. 2.), który umożliwia m.in. odtwarzanie obrazu klatka po klatce, zatrzymywanie się na dowolnej klatce oraz pomiar położenia w dwóch osiach współrzędnych wybranego obiektu widocznego na obrazie. W tym celu należy za pomocą kursora przesunąć do mierzonego położenia widocznego na obrazie krzyż nitki i odczytać jego współrzędne w pikselach na osiach X i Y.

W przypadku pomiaru prędkości odrzutu uwzględniano zmianę położenia czoła próbki względem tylko jednej osi X, gdyż zmian położenia względem osi Y nie było albo były bardzo niewielkie (wynikały jedynie z odchylenia kąowego osi wzdłużnej próbki od osi X).

Tabela 1. Zestawienie niektórych danych technicznych kamery szybkiej

Table 1. The camera specifications

<b>Matryca</b>	CMOS 8 bitowy, rozdzielczość 640x480
<b>Prędkość migawki</b>	od 1/50 do 1/10000 s 1x, 2x, 3x, 4x, 5x, 10x lub 20x większa niż prędkość nagrywania
<b>Pamięć wewnętrzna</b>	512 MB
<b>Nagrywanie</b>	w pętli i magazynowanie obrazów w pamięci wewnętrznej do momentu otrzymania sygnału wyzwalającego; oprogramowanie umożliwia ustawienie liczby klatek zapamiętywanych przed oraz po sygnale wyzwalającym.
<b>Odtwarzanie</b>	klatka po klatce lub z prędkościami 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 25, 30, 50, 60, 125 lub 250 kl/s (do przodu lub do tyłu)
<b>Wyświetlacz</b>	kamera używa wyświetlacza komputera, do którego jest podłączona
<b>Sterowanie</b>	z komputera za pomocą programu komputerowego
<b>Wyzwalanie</b>	zamknięcie obwodu przewodowym wyzwalaczem kamery
<b>Mocowanie</b>	obiektywu typu C-mount kamery do statywu: gwint fotograficzny 1/4-20
<b>Wymiary</b>	60 x 60 x 170 mm
<b>Masa</b>	ok. 500 g

Tabela 2. Zestawienie rozdzielczości obrazu i czasu nagrywania kamerą w zależności od wybranej prędkości nagrywania

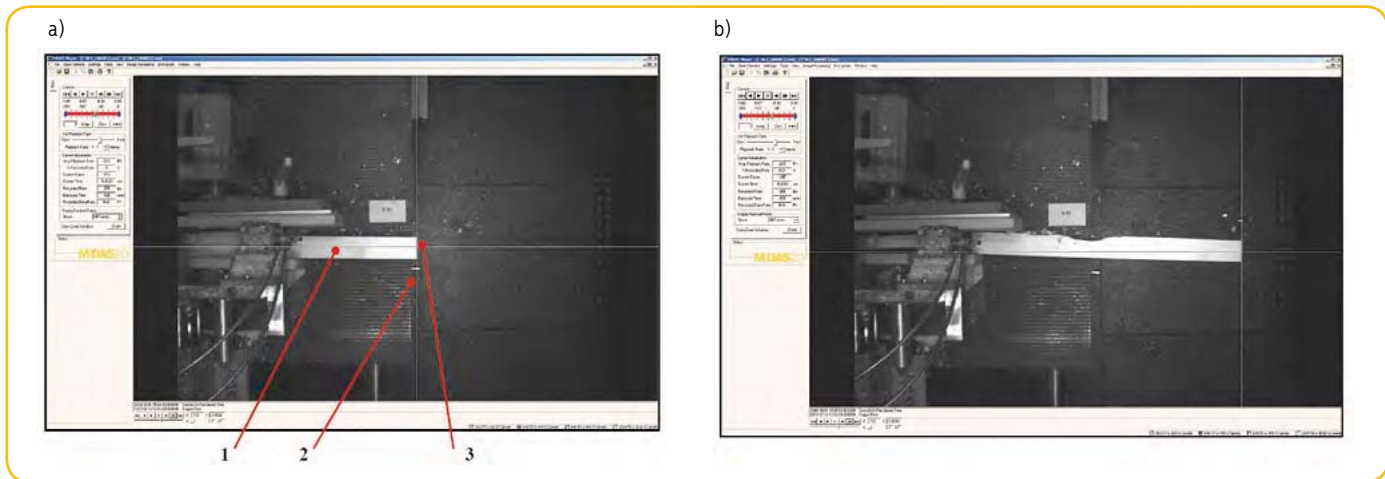
Table 2. Image resolution and record time for chosen speed of frame recording

Prędkość nagrywania [kl/s]	Rozdzielczość obrazu [pix]	Maksymalny czas nagrania [s]
50	640 x 480	43,7
60		36,4
125		17,5
250		8,7
500	640 x 240	
	440 x 330	
1000	320 x 240	

Tabela 3. Zestawienie wybranych parametrów obiektywu

Table 3. Selected lens parameters

<b>Ogniskowa</b>	6,0 mm
<b>Kąt widzenia (horyzontalny)</b>	56,9°
<b>Przysłona</b>	od 1,2 do całkowitego zamknięcia
<b>Zakres ostrości</b>	0,2 m – ∞
<b>Ustawianie ostrości i przysłony</b>	ręczne
<b>Minimalna liczba przysłony</b>	f/1,2
<b>Wymiary</b>	φ42 x 46 mm
<b>Masa</b>	125 g



Rys. 2. Dwie klatki filmu widoczne w programie do odtwarzania filmów nagranych w trakcie badań zjawiska odrzutu: a) początkowa i b) końcowa, z wyraźnie widocznym przesunięciem czoła wyrzucanej próbki, na podstawie którego obliczana jest prędkość odrzutu: 1 – próbka; 2 – brzeg stołu obrabiarki; 3 – krzyż nitek

Fig. 2. Two frames in the programme for redisplaying of kickback records: a) opening and b) closing, with significance displacement of the ejected probe's front, necessary for kickback speed evaluation: 1 – probe; 2 – machine table edge; 3 – cross-hairs

Wykorzystując możliwości programu do odtwarzania przebiegu próby odrzutu, otrzymuje się zmianę położenia próbki na kolejnych klatkach filmu, wyrażoną w pikselach. Do wyznaczenia prędkości konieczne jest zmierzenie rzeczywistych wymiarów liniowych na obrazie z kamery, co można osiągnąć dopiero po jego uprzednim wyskalowaniu. Jako wzorzec zastosowano w tym celu kątownik aluminiowy o rzeczywistej długości  $L$  wyrażonej w metrach, którego zmierzona na obrazie długość wyniosła  $L_p$  pikseli.

Otrzymana miara skali filmowanego obszaru wyrażona jest za pomocą rzeczywistej długości  $\Delta A$  odpowiadającej pojedynczemu pikselowi, według wzoru:

$$\Delta A = \frac{L}{L_p}$$

Prędkość odrzutu  $V$  obliczana jest na podstawie pomiaru przesunięcia położenia czoła odrzucanej próbki, widocznego na obrazach dwóch spośród kilku kolejnych klatek, ze wzoru:

$$V = \frac{(X_2 - X_1) \cdot \Delta A}{(n_2 - n_1) \cdot \frac{1}{N}}$$

Pozostałe wielkości występujące we wzorze oznaczają:

$n_1$  – numer początkowej klatki filmu, [-]

$n_2$  – numer końcowej klatki filmu, [-]

$N$  – szybkość filmowania (w klatkach na sekundę), [kl/s]

$X_1$  – początkową pozycję (wartość współrzędnej) czoła odrzucanej próbki (w pikselach od 0 do 640), [pix]

$X_2$  – końcową pozycję (wartość współrzędnej) czoła odrzucanej próbki (w pikselach od 0 do 640), [pix].

Obliczona wartość  $V$  jest w rzeczywistości wartością średnią prędkości odrzutu na drodze przesunięcia czoła próbki.

Niepewność pomiaru prędkości odrzutu została wyznaczona z uwzględnieniem zaleceń

PN-ISO 5725-1÷ 6 [10] oraz według wskazań przewodników EA-4/16 2003 [11] i GUM [12]. Przy oszacowaniu niepewności uwzględniono następujące źródła niepewności związane z wyposażeniem pomiarowym:

- dokładność wzorca pomiarowego (kątownik o długości zmierzonej suwmiarką)
- rozdzielczość obrazu (w pikselach)
- nieliniowość obrazu (różnice długości piksela w różnych miejscach obrazu)
- dokładność szybkości filmowania (według deklaracji producenta kamery).

Niepewność rozszerzona ( $k = 2$ ) pomiaru prędkości odrzutu  $V$ , związana z wyposażeniem wykorzystywanym w opisaną tu metodzie pomiaru, nie przekracza  $\pm 1,5\%$ .

### Podsumowanie

Zastosowanie kamery szybkiej do pomiaru prędkości odrzutu okazało się dobrym rozwiązaniem. Wyeliminowało ono występujące w poprzednio stosowanej metodzie pomiarowej problemy, związane z zakłóceniami powodowanymi pyłem i wiórami drewna powstającymi podczas jego skrawania. Nowe rozwiązanie zapewniło przede wszystkim dużą dokładność pomiarów prędkości odrzutu.

Dodatkowymi zaletami opracowanej metody z użyciem kamery szybkiej jest jej uniwersalność w zastosowaniach do wszystkich gwałtownych zjawisk niebezpiecznych, w których występują silne zakłócenia powodowane pyłem i wiórami drewna podczas jego skrawania, a także możliwość obserwacji tych zjawisk krok po kroku.

Kamery szybkie są obecnie coraz częściej stosowane w technice pomiarowej, a rozwój tej technologii, w tym zwłaszcza programów komputerowych przeznaczonych do zdalnej analizy filmowanego obrazu, umożliwił pomiary prędkości, kształtów, prędkości, przyspieszeń, częstotliwości drgań, zastępując z powodzeniem stosowane dotychczas w tym celu standardowe narzędzia i przyrządy pomiarowe.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Dyrektywa 2006/42/WE z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE
- [2] PN-EN 848-1:2007 Bezpieczeństwo obrabiarek do drewna – Frezarki jednostronne – Część 1: Frezarki dolnowrzecionowe jednowrzecionowe pionowe
- [3] PN-ISO 6531:2002 Maszyny dla leśnictwa – Pilarki łańcuchowe przenośne – Terminologia
- [3] *Code of practice on safety and health in the use of machinery. Programme on Safety and Health at Work and the Environment.* Międzynarodowa Organizacja Pracy, Geneva 2011
- [4] Dąbrowski M. *Zasady zapewnienia bezpieczeństwa na stanowiskach mechanicznej obróbki drewna.* Zadanie 2.11 w PCZ-16-21 pn. „System analizy wydarzeń wypadkowych w środowisku pracy dla potrzeb profilaktyki”, 2001-2004.
- [5] Chowdhury S., Paul C. *Survey of Injuries Involving Stationary Saws Table and Bench Saws 2007-2008.* Betscheda, U.S. Consumer Product Safety Commission, 2011
- [6] EN 847-1: 1997 Tools for woodworking – Safety requirements – Part 1: Milling tools, circular saw blades
- [7] Dąbrowski M., Derugo A. *Opracowanie stanowisk do badania czynników zagrożeń mechanicznych w obrabiarkach do drewna.* Zadanie 03.7.4 w Strategicznym Programie Rządowym SPR-1 pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” 1995-1998
- [8] PN-EN 847-1+A1:2008 Narzędzia do obróbki drewna – Wymagania bezpieczeństwa – Część 1: Frezy i piły tarczowe
- [9] PN-ISO 5725-1÷ 6:2002 Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów
- [10] *Wytyczne EA dotyczące wyrażania niepewności w badaniach ilościowych.* European co-operation for Accreditation, EA-4/16, Paris 2003
- [11] *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) 1995.* International Organization for Standardization – tłumaczenie polskie: *Wyrażanie niepewności pomiaru.* Przewodnik, Warszawa 1999

*Publikacja opracowana na podstawie wyników I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2008-2010 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wzyszego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*