

Pomiary czasu zadziałania bezdotykowych urządzeń ochronnych dla potrzeb ich certyfikacji

Praca wykonana w ramach Programu Wieloletniego (b. SPR-1) pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych

Ocena bezpieczeństwa maszyn

Z czysto funkcjonalnego punktu widzenia najlepsze są maszyny efektywnie realizujące funkcje technologiczne. Ale życie nie jest tak proste i maszyna musi być przede wszystkim bezpieczna (rys. 1). Ryzyko definiowane jest jako możliwość wystąpienia niebezpiecznego zdarzenia i ciężkości jego następstw, np. zranienie użytkownika lub nadwreżenie jego zdrowia. Ryzyko odnosi się do różnych zagrożeń:

- mechaniczne (np. przekłucie, przecięcie, odcięcie, zmiżdżenie itp.),
- elektryczne (np. porażenie prądem elektrycznym),
- fizykochemiczne (np. kontakt z niebezpiecznymi substancjami, hałas itp.).

Producent, importer lub dostawca odpowiedzialny jest za zapewnienie, że dostarczane maszyny i inne urządzenia techniczne są zgodne z podstawowymi wymaganiami bezpieczeństwa i ochrony zdrowia. Przepisy dotyczące bezpieczeństwa maszyn różnią się w poszczególnych państwach. Jednak postępujący proces

globalizacji wymaga, żeby regulacje prawne w różnych krajach były harmonizowane w celu usunięcia barier w przepływie wyrobów. W celu harmonizacji wymagań bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w obszarze UE oraz w celu usunięcia barier rynkowych ustanowiona została Dyrektywa Maszynowa, określająca szczegółowe wymagania dotyczące projektowania i konstruowania maszyn oraz ich właściwego instalowania i konserwowania. Dyrektywa podaje następującą hierarchię środków eliminacji ryzyka:

- projektowanie ukierunkowane na bezpieczeństwo – jeśli jest to możliwe, rozwiązania projektowe powinny zapobiegać powstawaniu zagrożeń. Jeśli nie jest to możliwe
- urządzenia ochronne – należy stosować np. osłony blokujące dostęp (osłony, płoty, drzwi), urządzenia wykrywające obecność, takie jak kurtyny świetlne lub maty czułe na nacisk. Wszelkie ryzyko nie usunięte tymi metodami powinno być wyeliminowane poprzez
- środki ochrony indywidualnej, organizację pracy, informację i szkolenia. Dostawca maszyny powinien określić jakie środki należy zastosować.

Obowiązkiem producenta jest wykazanie, że zastosowane metody redukcji ryzyka są właściwe i zgodne z wymaganiami. Aby upewnić się, że zastosowano właściwe środki bezpieczeństwa i że maszyna jest wystarczająco bezpieczna (rys. 2)

jej producent poddaje ją procedurze oceny zgodności. Niektóre rodzaje urządzeń podlegają specjalnym przepisom. Urządzenia te wymienione są w Załączniku IV do Dyrektywy Maszynowej. Są to maszyny szczególnie niebezpieczne, takie jak np. obrabiarki do drewna, prasy, wtryskarki, wyposażenie do prac pod ziemią itp. Załącznik IV wymienia także niektóre urządzenia ochronne, takie jak kurtyny świetlne i urządzenia oburęcznego sterowania.

Podstawą oceny zgodności są wyniki badań maszyny. Zazwyczaj badania obejmują różne parametry i właściwości badanego urządzenia. W wielu przypadkach zakres badań jest dokładnie określony w normach typu C. Często jednak wykonywane są one bezpośrednio na podstawie wymagań dyrektywy. Badania takie są skomplikowane i wymagają specjalistycznej aparatury i specjalnych metod badawczych. W UE działa wiele Jednostek Notyfikowanych przeprowadzających takie badania. Są one także wykonywane w laboratoriach badawczych w innych krajach. W przypadku badań zgodności istotne znaczenie ma ich dokładność, powtarzalność i odtwarzalność. Wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych sprecyzowane są w normie PN-EN 45001 oraz w przewodniku ISO/IEC 25. Metody badawcze opracowane zgodnie z wymaganiami tych dokumentów umożliwią porównywalność wyników



Rys. 1. Bezpieczeństwo przede wszystkim



Rys. 2. Dostawca jest odpowiedzialny za dostarczenie bezpiecznej maszyny

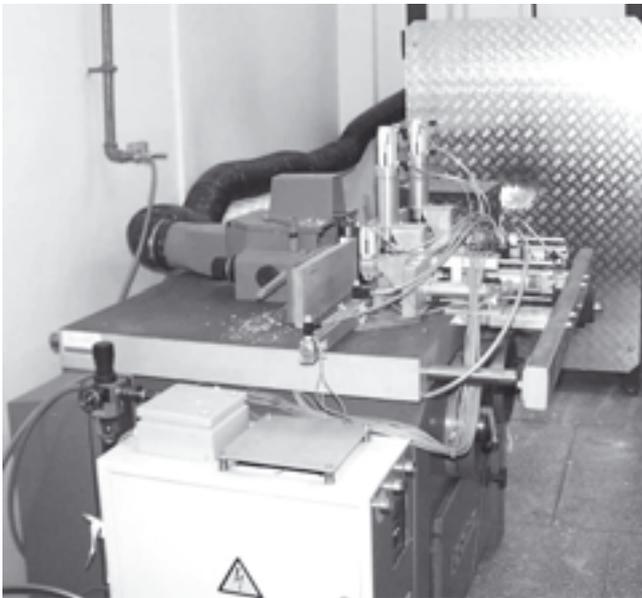
uzyskanych w różnych laboratoriach.

Opracowanie metod badania parametrów maszyn i urządzeń ochronnych jest odrębnym zadaniem badawczym. W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy od wielu lat prowadzone są prace naukowo-badawcze i wdrożeniowe, mające na celu stworzenie metod badań i stanowisk badawczych, zapewniających niezbędną dokładność, powtarzalność i odtwarzal-

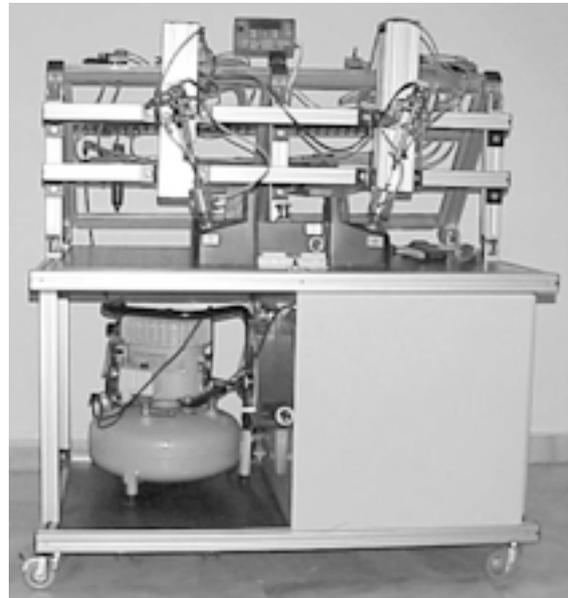
- bezdotykowych urządzeń ochronnych,
- urządzeń oburęcznego sterowania (rys. 4),
- kategorii elementów systemu sterowania według EN 954-1 itp.

W procesie badań bezdotykowych urządzeń ochronnych istotne znaczenie ma określenie czasu zadziałania. W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy opra-

Pomiar czasu reakcji odbywa się poprzez dwukrotne wnikięcie przesłony w strefę czułości. Wniknięcie pierwsze, dokonywane z małą prędkością v_m , umożliwia położenia granicy strefy czułości (rys. 5). Sygnał startu pomiaru uruchamia pomiar położenia przesłony. Po upływie czasu reakcji t_r od momentu przekroczenia granicy strefy, elementy te przełączają się. W tym momencie rejestrowany jest



Rys. 3. Stanowisko do badania odrzutu w obrabiarkach do drewna



Rys. 4. Stanowisko do badania urządzeń oburęcznego sterowania

ność wyników badań tak, aby ich wyniki umożliwiały one obiektywną ocenę właściwości badanych urządzeń. Szczególne wysiłki skierowano na badanie maszyn i urządzeń ochronnych wymienionych w Załączniku IV do Dyrektywy Maszynowej. Zwłaszcza złożone było opracowanie metod badania:

- czasów rozruchu i hamowania elementów ruchomych maszyn,
- sztywności dociskaczy we frezarkach dolnowrzecionowych,
- sprawności działania urządzeń przeciwozdrzutowych typu zapadkowego,
- właściwości osłon mostkowych w strugarkach do drewna,
- narzędzi do maszynowej obróbki drewna – test odrzutu (rys. 3),

cowana została specjalna metoda podwójnego wnikięcia do pomiaru czasu zadziałania ESPD (Dźwiarek, 1997 and 1998).

Opis metody

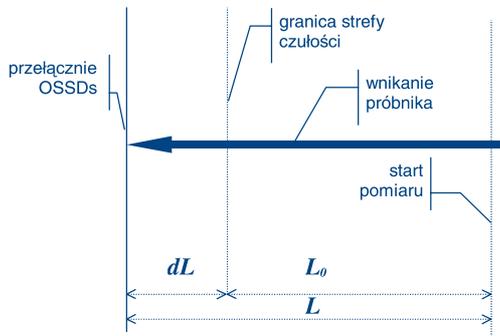
Dużym postępowaniem w zakresie bezpieczeństwa pracy przy obsłudze pras i stanowisk zrobotyzowanych było zastosowanie do ochrony operatora bezdotykowych urządzeń ochronnych (BUO). W tym przypadku istotny jest zwłaszcza sposób instalowania urządzenia. Parametrami decydującymi o (zapewniającym zachowanie odległości bezpieczeństwa) usytuowaniu BUO w stosunku do nadzorowanej strefy zagrożenia są: czas reakcji, rozdzielczość i wielkość pola ochronnego.

stan licznika położenia tłoczyska siłownika, który wskazuje jaką drogę przebyła przesłona od chwili startu pomiaru. Mamy wówczas:

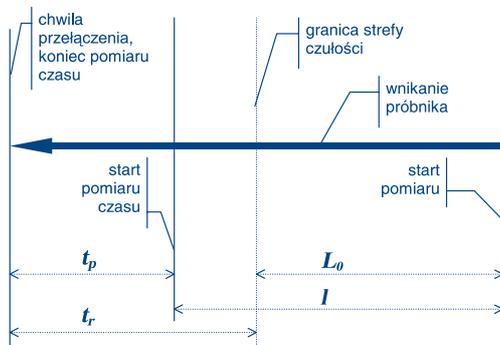
$$dL = v_m \times t_r \quad (1)$$

Następnego wnikięcia dokonujemy z dużą prędkością (v_d). W trakcie ruchu tłoczyska siłownika mierzone jest jego położenie, podobnie jak przy wnikianiu powolnym. W momencie zmiany stanu wyjściowych urządzeń przełączających badanego urządzenia zapamiętywany jest czas t_p (rys. 6). Możemy napisać:

$$t_r = \frac{t_p}{1 - \frac{v_m}{v_d}} + \frac{I - L}{v_d - v_m} \quad (2)$$

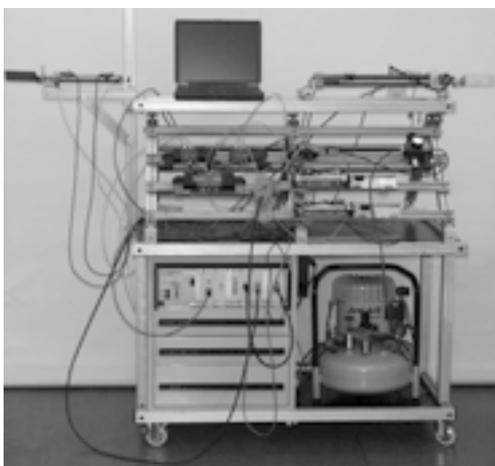


Rys. 5. Wnikanie z małą prędkością v_m



Rys. 6. Wnikanie z dużą prędkością $v_d > v_m$

Tak więc, czas reakcji możemy wyznaczyć, znając czas t_p i prędkości v_m i v_d . W praktyce pomiar odcinka czasu t_p z wystarczającą do naszych celów dokładnością jest łatwy do realizacji. Problemem natomiast jest pomiar prędkości. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na do-



Rys. 7. Stanowisko do badania ESPD

kładność pomiaru jest możliwość występowania różnicy czasu reakcji przy pierwszym i drugim wnikięciu. Obydwa te problemy można rozwiązać poprzez spełnienie warunków:

$$l = L \quad v_m \ll v_d \quad v_m \times t_r \approx 0 \quad (3)$$

W ten sposób obydwie problemy zostały rozwiązane i równanie (2) przyjmuje formę:

$$t_r = t_p \quad (4)$$

Stanowisko pomiarowe

Pomiar opisaną metodą realizowany jest na stanowisku pomiarowym SBUO1 (rys. 7). Zawór szybkiego spustu, regulujący wypływ powietrza z siłownika, pozwala regulować prędkość jego ruchu w zakresie 0,1 mm/s – 2500 mm/s. Położenie tłoczyska siłownika jest mierzone za pomocą przetwornika obrotowo-impulsowego. Do generowania sygnału startu pomiaru zastosowano wyłącznik krańcowy usytuowany w takim miejscu siłownika, aby poślizgi miały możliwie mały wpływ na dokładność pomiaru.

Czas w układzie mierzony jest za pomocą generatora synchronizowanego rezonatorem kwarcowym. Prędkość ruchu tłoczyska siłownika wyznaczana jest poprzez pomiar jego przesunięcia w określonym czasie. Proces pomiarowy sterowany jest za pomocą komputera. Należy zaznaczyć, że stanowisko zostało zbudowane tak, aby zapewnić wymaganą dokładność, powtarzalność i odtwarzalność pomiarów, co jest szczególnie istotne w tym przypadku.

Analiza błędów pomiaru

Wzór (2) opisuje zależność pomiędzy czasem reakcji a wartościami t_p , l , L , v_d i v_m . Tak więc, znając te wielkości można określić błąd pomiaru:

$$\Delta t_r = \left| \frac{\partial t_r}{\partial t_p} \Delta t_p \right| + \left| \frac{\partial t_r}{\partial v_m} \Delta v_m \right| + \left| \frac{\partial t_r}{\partial v_d} \Delta v_d \right| + \left| \frac{\partial t_r}{\partial l} \Delta l \right| + \left| \frac{\partial t_r}{\partial L} \Delta L \right| \quad (5)$$

Błędy pomiaru są najmniejsze, gdy spełnione są warunki (3) i (5), wówczas prowadzi się do postaci:

$$\Delta t_r = |\Delta t_p| + \left| \frac{\Delta l}{v_d} \right| + \left| \frac{\Delta L}{v_d} \right| \quad (6)$$

Tak więc, pomiar prędkości wnikanania nie jest konieczny. W celu określenia błędu pomiaru należy wyznaczyć Δl , ΔL i Δt_p . Teoretyczne określenie tego błędu można uzyskać na podstawie analizy wszystkich składników występujących w równaniu (6). Ostatecznie otrzymujemy:

$$-0,8 \text{ ms} \leq \Delta t_r \leq 0,35 \text{ ms} \quad (7)$$

Zawsze istotne jest wykazanie, że rzeczywisty błąd pomiaru mieści się w wyznaczonych granicach. W tym celu przeprowadzono cykl pomiarów w warunkach możliwie zbliżonych do rzeczywistych. Zostało to zrealizowane z wykorzystaniem specjalnego urządzenia kalibrującego, które symulowało działanie rzeczywistego ESPD z jednoczesnym precyzyjnym nastawianiem czasu zadziałania. Wielkość czasu zadanego dla każdego pomiaru ustalano w sposób losowy z zakresu 0 ÷ 65 ms przy zastosowaniu generatora liczb losowych o rozkładzie równomiernym. Ponieważ istotnym elementem całego pomiaru jest pomiar położenia promienia świetlnego, więc badania wykonano przy czterech różnych wartościach tego położenia. W tablicy zebrano częstości n występowania poszczególnych wartości błędu pomiaru Δt dla różnych przesunięć L .

Mamy więc:

$$\begin{aligned} P(\Delta t < -0,8) &< F_g(x_i) = 0,09 \\ P(\Delta t > 0,3) &< 1 - F_d(x_{30}) = 0,09 \end{aligned} \quad (8)$$

Otrzymane wyniki doświadczalne wskazują, że rzeczywiste błędy pomiaru mieszczą się w przedziale określonym we wzorze (7).

* * *

Metoda podwójnego wnikanania jest oryginalną, autorską metodą pomiaru czasu reakcji bezdotykowych urządzeń ochron-

CZĘSTOŚCI WYSTĄPIENIA POSZCZEGÓLNYCH WARTOŚCI BŁĘDU POMIARU

| L | Δt (ms) | | | | | | | | | | | | Δt_{ave} | $\sigma(\Delta t)$ |
|-------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|----|-----|-----|-----|------------------|--------------------|
| | -0,8 | -0,7 | -0,6 | -0,5 | -0,4 | -0,3 | -0,2 | -0,1 | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | | |
| 50 | 1 | 2 | 2 | 1 | 6 | 1 | 4 | 3 | 5 | 2 | 3 | 0 | -0,23 | 0,28 |
| 100 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | -0,14 | 0,31 |
| 150 | 1 | 3 | 4 | 1 | 7 | 0 | 5 | 0 | 1 | 5 | 2 | 1 | -0,28 | 0,32 |
| 200 | 0 | 2 | 6 | 2 | 4 | 1 | 3 | 5 | 2 | 2 | 2 | 1 | -0,027 | 0,29 |
| Razem | 3 | 9 | 14 | 6 | 17 | 4 | 15 | 11 | 12 | 13 | 12 | 4 | -0,23 | 0,31 |

L – wartość przesunięcia wyznaczona przy pierwszym wnikanu, Δt – błąd pomiaru, Δt_{ave} – wartość średnia błęd pomiaru, σ – odchylenie standardowe

nych. Została ona opracowana w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy w związku z potrzebą uzyskania kwalifikacji technicznych do przeprowadzania badań tych urządzeń dla potrzeb ich certyfikacji. Może być ona także wykorzystana w procesie projektowania do oceny prototypów różnych urządzeń ochronnych. Umożliwia ona wyeliminowanie wielu problemów związanych z pomiarami czasu zadziałania ESPD, takich jak: uciążliwość i pracochłonność pomiarów, ograniczone możliwości automatyzacji pomiaru, poważne problemy z pomiarami w warunkach narażeń środowiskowych itp. Jednocześnie redukuje ona liczne czynniki mające wpływ na błędy pomiaru.

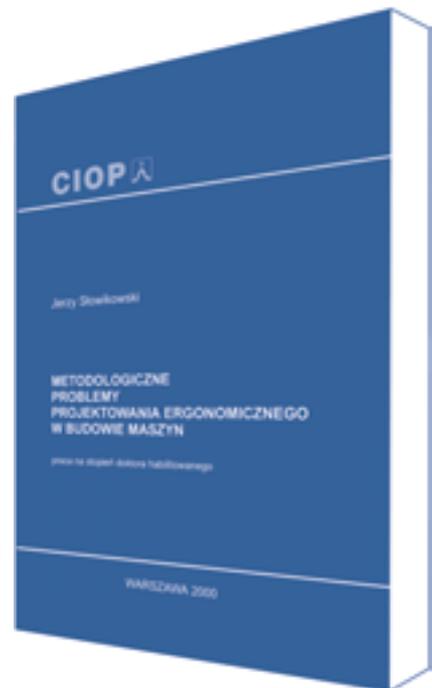
Stanowisko badawczo-pomiarowe SBUO-1 wyposażone w komputerowy system sterowania pomiarami zapewnia powtarzalność i odtwarzalność wyników pomiarów z jednoczesnym zredukowaniem ich kosztów. Struktura stanowiska umożliwia przeprowadzanie pomiarów na wytrząsarce, w komorze klimatycznej i warunkach narażeń elektromagnetycznych. Walidacja metody przeprowadzona została trzema sposobami:

- poprzez teoretyczną analizę dokładności pomiaru,
- kalibrację stanowiska z użyciem metody wzorcowania umożliwiającej porównanie uzyskanych wyników z wyznaczanymi obowiązującymi norm,
- przeprowadzenie wielu pomiarów znanego czasu zadziałania i wyznaczenie uzyskanych dokładności.

Program badań umożliwił porównanie dokładności pomiarów oraz ich powtarzalności i odtwarzalności określonych teoretycznie z wynikami doświadczalnymi oraz potwierdził ich całkowitą zgodność. Wyniki pomiarów pokazały, że całkowity błąd pomiaru mieści się w przedziale $\langle -0,8 \text{ ms}; 0,4 \text{ ms} \rangle$ w całym zakresie pomiarowym. Tak więc, metoda podwójnego wnikanu umożliwia wyznaczanie czasu zadziałania bezdotykowych urządzeń ochronnych z dokładnością, odtwarzalnością i powtarzalnością, wystarczającą do ich obiektywnej oceny.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Dei-Svaldi D., Kneppert M., Vautrin J.P.: *Presence sensing systems used as protective devices*. INRS, 1995
- [2] Dźwiarek M.: *A Method for Response Time Measurement of Electrosensitive Protective Devices*. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, vol. 2 No. 3, 234-242, 1997
- [3] Dźwiarek M.: *Measurement Accuracy of the Electrosensitive Protective Device Response Time When Using the Double Penetration Method*. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, vol. 4 No. 3, 363-384, 1998
- [4] Grigulewitsch W., Reinert D.: *Light barriers with test facility*. Information and operating specification sheet on safety, BIA, 1989
- [5] Dźwiarek M.: *Measurement of the response time of an electrosensitive protective device in the process of its certification*. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, vol. 4 No. 3, 363-384. Special Issue, 23-33, 2000



„Książka ta jest wyrazem głębokiego przekonania autora, że ergonomia, oprócz tego, czym jest – jest również integralnym elementem sztuki inżynierskiej. Teza ta może być niechętnie przyjęta zarówno w środowisku zawodowych ergonomistów, którzy (w ich liczbie i autor) potrafią obronić tezę, że ergonomia jest autonomiczną dyscypliną wiedzy, jak i wśród przedstawicieli dyscyplin inżynierskich, dzięki którym został zbudowany i rozwija się ogromny gmach wiedzy inżynierskiej, zgoła pod nieobecność ergonomii. Ergonomia, rozumiana jako dostosowanie systemów technicznych do psychofizycznych cech człowieka, już z samej definicji pełni dwie funkcje: niezwykle ekscytującą funkcję badawczą, której celem jest wydarcie naturze (wzbogaconej o kulturę, do której należy technika i jej wytwory) jej tajemnic, i funkcję aplikacyjną, która polega na zastosowaniu zdobytej wiedzy w rozwiązaniach technicznych.

Funkcja aplikacyjna ergonomii przejawia się w projektowaniu, rozumianym najogólniej jako koncepcyjne przygotowanie działania, a w praktyce inżynierskiej – co jest nie mniej fascynujące niż badania – opracowywaniu projektów określonych obiektów technicznych i systemów z nich złożonych, w celu zaspokojenia zidentyfikowanych wcześniej potrzeb. Książka ta poświęcona jest właśnie różnym aspektom udziału ergonomii w projektowaniu.”

Fragment z Przedmowy Autora