

## **Wpływ strefy tolerancji na pomiar czasu zadziałania laserowego urządzenia ochronnego (skanera)**

Laserowe urządzenia ochronne (skanery) są wyposażeniem, które podlega obowiązkowej certyfikacji na znak bezpieczeństwa B. Powinny one spełniać wymagania zawarte w normach EN-IEC 61496-1 i IEC 61496-3. Ich czas zadziałania jest najistotniejszym parametrem wymagającym wielokrotnego pomiaru podczas badań. W pracy przedstawiono wpływ strefy tolerancji na możliwość pomiaru czasu zadziałania oraz zmodyfikowaną metodę podwójnego wnikania pozwalającą na jego wykonywanie. Uzyskiwane rezultaty pomiarowe spełniają wymagania zawarte w normach.

### **Influence of Tolerance Zone Effect on Laser Scanner Response Time Measurement**

Laser scanners are safety equipment, which should be obligatory tested by third parties, to comply requirements given in the standards EN-IEC 61496-1 and IEC 61496-3. Their response time is the most important parameter, which is measured many times during assessment procedure. The paper presents the influence of tolerance zone on response time measurement method and modified double penetration method, which allows measurements. The measurement results fulfil the requirements given in the standards.

#### **1. WPROWADZENIE**

Skaner laserowy należy do grupy elektroczułych urządzeń ochronnych (ESPE) wykorzystujących aktywne urządzenia optoelektroniczne i czułych na rozproszone światło odbite (AOPDDR), dla których niedawno opracowywano normę IEC 61496-3:2000. Podstawowym elementem skanera laserowego jest dalmierz emitujący impulsy promieniowania laserowego w pasmie podczerwieni oraz dokonujący pomiaru odległości na podstawie pomiaru czasu powrotu impulsów promieniowania odbitego. Zasada jego działania polega na skanowaniu otoczenia w wybranej płaszczyźnie skanowania. Wykryte obiekty podlegają klasyfikacji według kryterium odległościowego na takie, które znajdują wewnątrz lub na zewnątrz strefy wykrywania (według normy IEC 61496-1:1997 jest to obszar, w którym określony próbnik testowy jest wykrywany przez ESPE). Gdy co najmniej jeden obiekt zostanie zaklasyfikowany jako znajdujący się w strefie wykrywania (naruszenie strefy przelączających (OSSD) w stan wyłączenia (OFF)). Kształt strefy wykrywania skanera laserowego jest ustalany programowo zgodnie z potrzebami użytkownika.

Ponieważ skanery laserowe są wykorzystywane do realizacji funkcji bezpieczeństwa, to powinny być szczególnie dokładnie badane w celu potwierdzenia ich parametrów użytkowych. Zwłaszcza istotne są tu następujące badania:

- badanie czułości i zdolności detekcji,
- badanie geometrii strefy wykrywania i dokładności zakresu wykrywania,
- badania wpływu czynników środowiskowych na zdolność detekcji,
- badanie nienaruszalności zdolności detekcji.

Podstawowym parametrem charakteryzującym urządzenia ochronne, i także skanery laserowe, jest czas zadziałania. Jest on określany jako maksymalny czas pomiędzy wystąpieniem zdarzenia prowadzącego do zadziałania układu wykrywania a przełączeniem OSSD do stanu OFF. Wszystkie wymienione wyżej badania polegają na wielokrotnym pomiarze czasu zadziałania w różnych sytuacjach i podczas oddziaływania różnych czynników środowiskowych. Wyniki pomiarów czasu zadziałania są podstawą do oceny przebiegu badań i następnie do wydania opinii (certyfikatu) o spełnieniu wymagań normy.

Precyzyjny pomiar czasu zadziałania skanera laserowego jest więc bardzo istotny w aspekcie jego oceny. Pewną trudność w tym pomiarze stanowi istnienie tzw. strefy tolerancji otaczającej strefę wykrywania skanera laserowego. W dalszej części pracy przedstawiono relację pomiędzy strefą wykrywania i strefą tolerancji oraz zaprezentowano sposób pomiaru czasu zadziałania z wykorzystaniem metody podwójnego wnikania zmodyfikowanej tak, aby wyeliminować problemy związane ze specyfiką strefy wykrywania skanera laserowego.

## 2. RELACJA POMIĘDZY STREFĄ WYKRYWANIA I STREFĄ TOLERANCJI.

Rozważmy sytuację, w której próbnik testowy umieszczony jest prostopadle do płaszczyzny skanowania w pewnej odległości od skanera. W kierunku od skanera do próbника określony jest zasięg strefy wykrywania  $z$ . Podstawą do stwierdzenia naruszenia strefy wykrywania jest spełnienie relacji:

$$x \leq k(z) \quad (1)$$

gdzie:  $x$  – chwilowy pomiar odległości do próbника testowego,

$k(z)$  – kryterium odległościowe stwierdzania naruszenia strefy wykrywania wyrażone jako funkcja jej zasięgu.

Pomiar odległości dalmierzem laserowym obarczony jest pewnym błędem przypadkowym wynikającym z działania wielu niezależnych czynników, z których każdy z osobna wywiera na ten pomiar stosunkowo niewielki wpływ. Dlatego też zakłada się, że wyniki pomiarów odległości do próbника testowego są zmienną losową  $x$  o rozkładzie normalnym. W omawianym przypadku, przy założeniu braku błędu systematycznego, funkcję gęstości zmiennej losowej  $f(x)$  można wyrazić wzorem:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-p)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

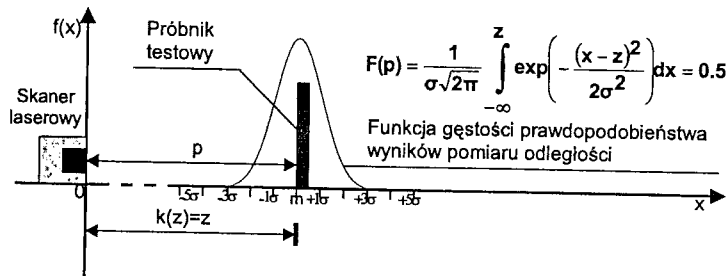
gdzie:  $p$  – położenie próbника testowego (w tym przypadku jest to wartość przeciętna pomiarów  $m$ ),

$\sigma$  – odchylenie standardowe.

Przy założeniu, że wartość odchylenia standardowego jest dużo mniejsza od rzeczywistej odległości próbника od skanera ( $\sigma \ll p$ ), prawdopodobieństwo stwierdzenia naruszenia strefy wykrywania przez próbnik testowy (prawdopodobieństwo wykrycia próbника) wyraża się wzorem:

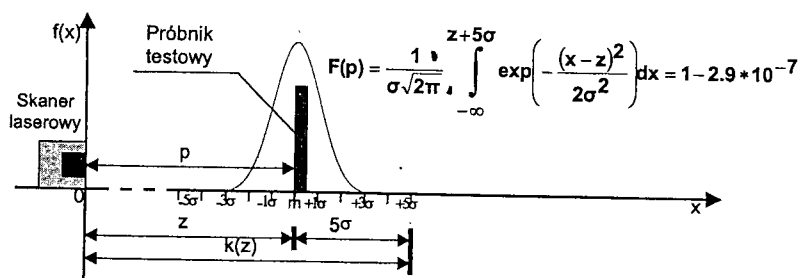
$$F(p) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{k(z)} \exp\left(-\frac{(x-p)^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (3)$$

Na rysunku 1 przedstawiono sytuację, w której próbnik testowy został umieszczony na granicy strefy wykrywania ( $p = z$ ). Przyjęto również, że kryterium wykrywania będzie zasięg strefy wykrywania ( $k(z) = z$ ). W tym przypadku prawdopodobieństwo wykrycia wynosi 0,5.



Rys. 1. Prawdopodobieństwo wykrycia próbnika dla  $p = z$ ,  $k(z) = z$ .

Wynik ten oznacza, że w przedstawionej sytuacji, statystycznie tylko połowa wykonywanych w czasie skanowania pomiarów odległości może wskazywać na obecność próbnika w strefie wykrywania. Takie prawdopodobieństwo wykrycia obiektów naruszających strefę wykrywania jest zdecydowanie za małe w stosunku do wymagań stawianych funkcji ochronnej skanera laserowego. Przyjęcie nominalnego zasięgu wykrywania jako kryterium wykrywania jest niewłaściwe. W normie IEC 61496-3:2000 wymagane jest, aby prawdopodobieństwo wykrywania obiektów naruszających strefę wykrywania skanerów laserowych wynosiło  $F(z) = 1 - 2,9 \cdot 10^{-7}$ . Warunek osiągnięcia odpowiedniej wykrywalności jest spełniony dla kryterium odległościowego określonego wzorem:  $k(z) = z + 5\sigma$  (rys. 2).

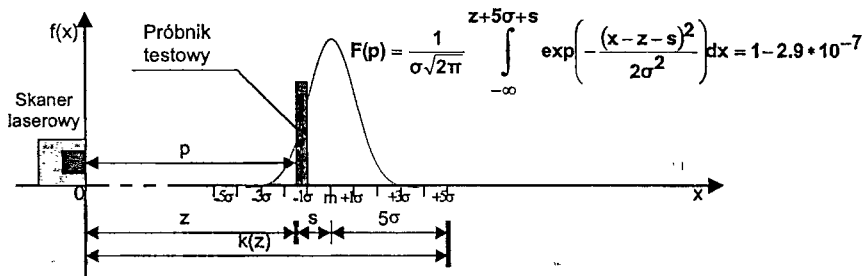


Rys. 2. Prawdopodobieństwo wykrycia dla  $p = z$ ,  $k(z) = z + 5\sigma$ .

Wartość odchylenia standardowego  $\sigma$  powinna zostać wyznaczona przez konstruktorów skanera z uwzględnieniem wszystkich czynników, które mogą mieć na nią wpływ w czasie

pracy urządzenia w różnych warunkach środowiskowych (temperatura, wilgotność, zanieczyszczenia, oświetlenie, rodzaj otoczenia itp.).

W praktyce pomiar odległości od próbnika obciążony jest również błędem systematycznym. Błąd ten może być powodowany między innymi konstrukcją skanera oraz czynnikami zewnętrznymi w tym. warunkami środowiskowymi np. oświetleniem, rodzajem powierzchni wykrywanego obiektu, itp., a także kształtem próbnika testowego. Do badań stosowane są próbniki cylindryczne, których położenie określane jest w odniesieniu do osi cylindra, a więc rzeczywista odległość powierzchni próbnika od skanera jest zmienna w zakresie promienia powierzchni tworzącej cylinder. Występowanie błędu systematycznego  $s$  powinno być uwzględnione w kryterium wykrywania w postaci dodatkowego składnika korekcyjnego, również wyznaczanego przez konstruktorów urządzenia. Kryterium wykrywania  $k(z) = z + 5\sigma + s$  uwzględniające występowanie błędu systematycznego przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Prawdopodobieństwo wykrywania w warunkach występowania błędu systematycznego dla  $p = z, k(z) = z + 5\sigma + s$ .

W praktyce w kryterium wykrywania uwzględniany jest jeszcze dobierany arbitralnie składnik  $r$  stanowiący dodatkowy margines bezpieczeństwa. Zabezpiecza on przed wyjątkowo niekorzystnym zbiegiem czynników środowiskowych wpływających na wynik pomiaru odległości, których nie udało się wywołać podczas testowania skanera. W przypadku ogólnym wyznaczane doświadczalnie wielkości ( $\sigma, s, r$ ) mogą być zależne od zasięgu strefy wykrywania. Otrzymujemy wtedy:

$$k(z) = z + 5\sigma(z) + s(z) + r(z) \quad (4)$$

Strefą tolerancji nazwano obszar przylegający (zewnątrznie) do strefy wykrywania o szerokości wyrażonej wzorem:

$$t(z) = 5\sigma(z) + s(z) + r(z) \quad (5)$$

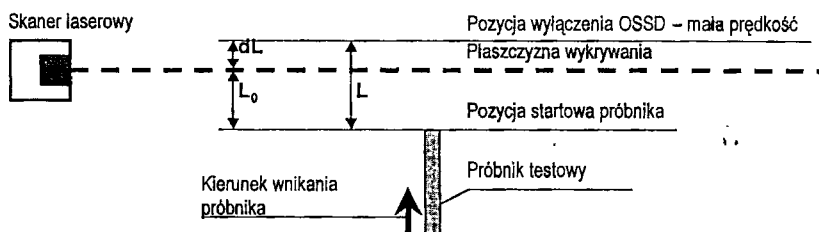
### 3. OPIS METODY POMIARU CZASU ZADZIAŁANIA SKANERA LASEROWEGO

Pomiar czasu zadziałania metodą podwójnego wnikania, opracowaną pierwotnie dla kurtyn świetlnych, przewiduje dwie fazy postępowania. W fazie pierwszej - wolnego wnikania - w czasie bardzo wolnego ruchu próbnika testowego wyznaczane jest położenie granicy obszaru wykrywania. W fazie drugiej - szybkiego wnikania - dokonywany jest właściwy pomiar czasu zadziałania.

Jak wyjaśniono powyżej, granica strefy wykrywania skanera laserowego nie jest definiowana jednoznacznie lecz poprzez prawdopodobieństwo z jakim może nastąpić stwierdzenie jej naruszenia. Zmiana stanu OSSD może występować już w strefie tolerancji lub też nawet przed nią i to z prawdopodobieństwem istotnie zależnym od szybkości wnikania w tę strefę. Podczas wolnego wnikania (ruch próbnika w kierunku skanera równoległe do płaszczyzny wykrywania) będzie rość prawdopodobieństwo wcześniejszego wykrycia (efekt wielokrotnego skanowania). Brak jest więc możliwości eksperymentalnego określenia rzeczywistego położenia granicy strefy wykrywania. Dlatego też w przypadku badania skanera laserowego wyznaczanie tej granicy należy zastąpić wyznaczaniem położenia płaszczyzny skanowania. Przebiecie płaszczyzny skanowania próbnikiem w obszarze nominalnie określonej strefy wykrywania jest jednoznaczne z jej naruszeniem (zgodnie z normą IEC 61496-3:2000 w tym przypadku prawdopodobieństwo wykrywania powinno wynosić co najmniej  $1 - 2,9 \cdot 10^{-7}$ ) i może być wykorzystane do pomiaru czasu zadziałania.

W fazie pierwszej pomiaru (rys. 4) sygnał startowy uruchamia wolny ruch próbnika testowego z prędkością  $v_m$  oraz pomiar przebytej drogi. Po przecięciu płaszczyzny wykrywania, a następnie po upływie czasu zadziałania  $t_r$  następuje przełączenie elementów OSSD w stan OFF oraz wyznaczane jest położenie  $L$ . Spełnione jest następujące równanie:

$$dL = v_m + t_r \quad (6)$$

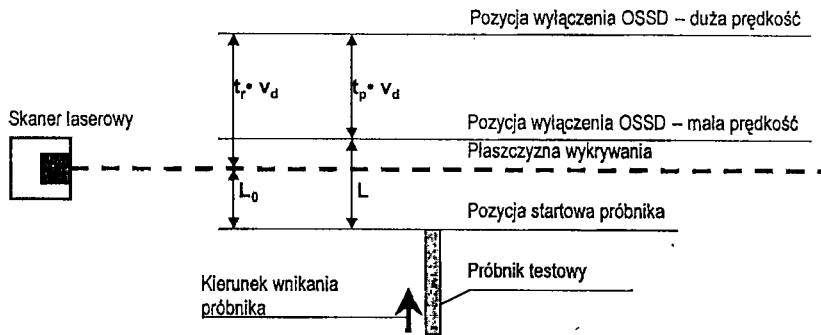


Rys. 4. Pomiar czasu zadziałania skanera – faza I – wolne wnikanie.

W fazie drugiej pomiaru (rys. 5) sygnał startowy uruchamia szybki ruch próbnika z prędkością  $v_d$ . Gdy próbnik znajdzie się w pozycji  $L$ , rozpoczyna się odmierzenie czasu  $t_p$  do chwili wyłączenia OSSD. Spełnione jest następujące równanie:

$$t_r = \frac{t_p}{1 - \frac{v_m}{v_d}}$$

Jeżeli  $v_m \ll v_d$  to uzyskujemy  $t_r = t_p$ , więc czas zmierzony w drugiej fazie pomiaru można uznać za rzeczywisty czas zadziałania skanera.



Rys. 5. Pomiar czasu zadziałania skanera – faza II – szybkie wnikanie.

#### 4. PODSUMOWANIE

Metoda podwójnego wnikania stosowana do pomiaru czasu zadziałania skanerów laserowych została praktycznie zweryfikowana (Dźwiarek, Strawiński, 1999) przy wykorzystaniu zmodyfikowanego stanowiska badawczego SBUO1, skonstruowanego w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy. Stanowisko umożliwia pneumatyczne przesuwanie próbnika testowego z bieżącym pomiarem położenia (dokładność 0,1 mm) oraz czasu (dokładność 0,1 ms). Prędkość przesuwu próbnika testowego jest regulowana w zakresie od 0,1 do 2500 mm/s. Proces pomiarowy jest sterowany komputerowo. W czasie badań skanerów przeprowadzono szereg cykli pomiarowych czasu zadziałania, których celem było sprawdzenie charakterystyk w odniesieniu do czułości i zdolności detekcji, geometrii strefy wykrywania, dokładności zakresu wykrywania, wpływu czynników środowiskowych na zdolność detekcji oraz nienaruszalności zdolności detekcji. Wyniki badań potwierdziły efektywność metody, uzyskanie wymaganej dokładności pomiarów ( $\pm 1$  ms) i powtarzalność wyników

#### LITERATURA

- [1] International Electrotechnical Commission: *IEC 61496-1:1997 Safety of machinery – Electro-sensitive protective equipment – Part 1: General requirements and tests.*
- [2] International Electrotechnical Commission: *IEC 61496-3:2000 Safety of machinery – Electro-sensitive protective equipment – Part 3: Particular requirements for equipment using active opto-electronic devices responsive to diffuse reflection (AOPDDRs).*
- [3] Dźwiarek, M.: *A Method for Response Time Measurement of Electrosensitive Protective Devices.* International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, vol. 2 No. 3/1997, s. 234-242.
- [4] 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. 3/1998, s. 363-384.
- [5] Dźwiarek, M., Strawiński, T.) *Badania funkcjonalne prototypu laserowego urządzenia ochronnego do nadzorowania stref niebezpiecznych maszyn i pojazdów.* Centralny Instytut Ochrony Pracy, 1999.