

Ocena podzespołów łącząco-amortyzujących sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości w warunkach dynamicznych



Fot. Krzysztof Baszczyński

Według PIP i GUS upadek z wysokości jest jedną z najczęstszych przyczyn wypadków w środowisku pracy. Praktyka organizowania stanowisk pracy na wysokości oraz wykonywania tam różnych czynności wskazuje, że ciągle jedną z podstawowych metod zabezpieczania pracowników jest stosowanie indywidualnego sprzętu ochronnego, takiego jak np. system powstrzymujący spadanie, którego najważniejszym składnikiem jest podzespół łącząco-amortyzujący. Jego sposób działania w warunkach powstrzymywania spadania jest uzależniony od charakterystyki siła obciążająca – wydłużenie. Niniejszy artykuł dotyczy opracowanej w CIOP-PIB metody badań takich charakterystyk zarówno składników indywidualnych systemów ochronnych, jak i surowców włókienniczych stosowanych do ich produkcji. Przedstawiono w nim również przykładowe wyniki przeprowadzonych badań linek bezpieczeństwa wykonanych z taśm włókienniczych.

Evaluation of connective-absorbing subassemblies of equipment protecting from fall from heights in dynamic conditions

According to the National Labour Inspectorate and the Central Statistical Office a fall from heights is one of the most frequent cause of accidents at work. A practice of organizing workplace at heights as well as performing various tasks at heights indicates that Personal Protective Equipment (PPE) is still one of the most basic means of protecting employees. One of the PPE element is a fall from heights protection system, which the most important part is the connective-absorbing subassembly. Its performance while deflecting free fall is dependent on its load force – elongation characteristics.

The following article describes a research method of such characteristics invented in CIOP-PIB, both in relation to PPE and fiber materials used in their production. It also shows exemplary results of research on safety ropes made from fiber bands.

Wstęp

Dane dotyczące poszkodowanych w wypadkach przy pracy, zamieszczane corocznie w sprawozdaniach Głównego Inspektora Pracy [1] z działalności PIP oraz Departamentu Pracy i Warunków Życia GUS [2] wskazują, że upadek z wysokości jest jedną z najczęstszych przyczyn wypadków w środowisku pracy, w których ludzie giną lub doznają poważnych obrażeń. Dotyczy to głównie takich sekcji przemysłu, jak budownictwo, energetyka i telekomunikacja. Praktyka organizowania stanowisk pracy na wysokości wskazuje, że ciągle jedną z podstawowych metod zabezpieczania pracowników jest stosowanie indywidualnego sprzętu ochronnego [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Jednym z najważniejszych składników systemu powstrzymującego spadanie jest podzespół łącząco-amortyzujący. Przykładami stosowanych obecnie powszechnie podzespołów są:

- linki bezpieczeństwa z amortyzatorami włókienniczymi [5, 6], w których energia kinetyczna spadającego człowieka jest przekształcana na pracę rozdierania dwu warstw taśmy amortyzującej oraz pracę rozciągania linki
- urządzenia samohamowne [7], w których energia kinetyczna jest przekształcana na pracę tarcia tarcz hamulca lub rozdierania elementu włókienniczego
- urządzenia samozaciskowe z giętką prowadnicą [4], w których energia kinetyczna jest przekształcana na pracę tarcia między prowadnicą a mechanizmem samozaciskowym, na odkształcenie prowadnicy lub innych specjalnie do tego przeznaczonych elementów.

Działanie podzespołu łącząco-amortyzującego podczas jego obciążania w warunkach dynamicznych, jest charakteryzowane przez dwie główne wielkości mechaniczne:

- siłę powstrzymującą spadanie
- drogę, na której powstrzymywanie to następuje.

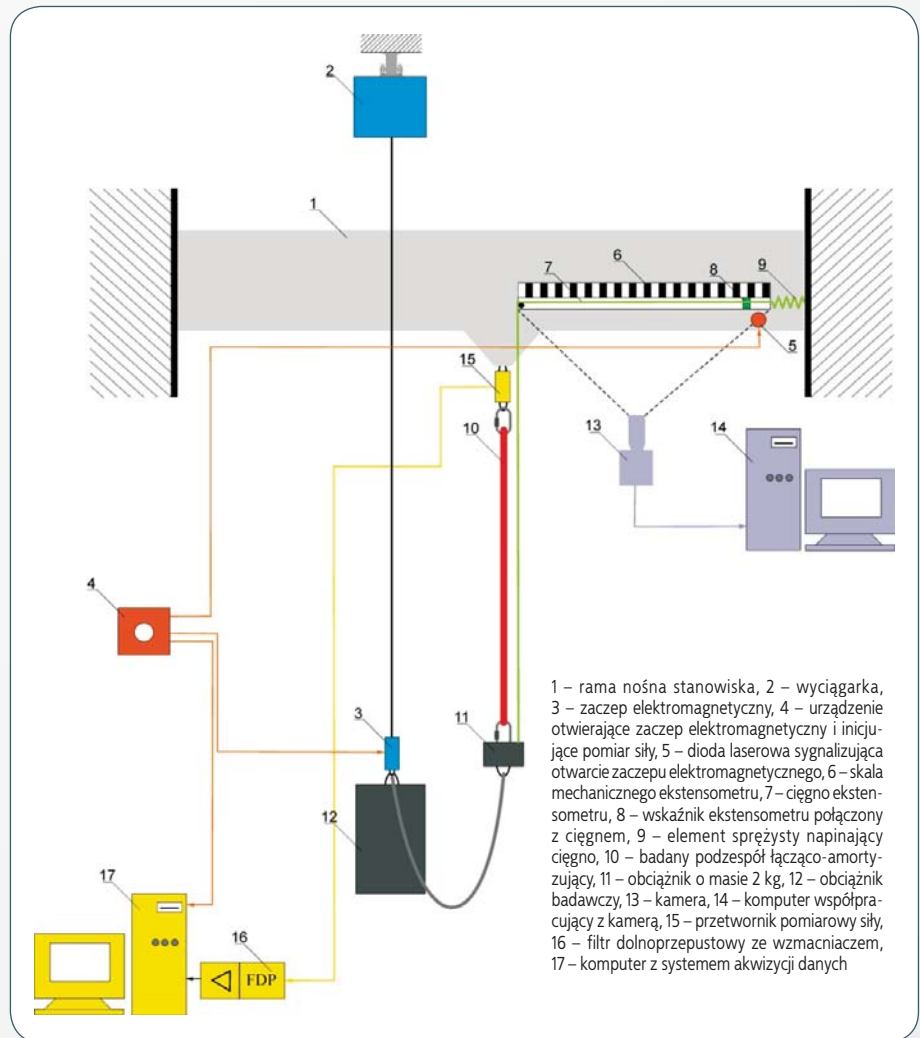
Wielkości te mają decydujący wpływ na bezpieczeństwo użytkownika sprzętu. Siła powstrzymująca spadanie wpływa bezpośrednio na poziom obciążeń, jakim jest poddawany organizm człowieka, a głównie przyspieszeń i nacisków, które mogą wywoływać obrażenia wewnętrzne, złamania itp. Drogę powstrzymywania spadania dla danego podzespołu określa dystans, na którym prędkość spadającego człowieka jest redukowana do zera. Oznacza to, że przestrzeń o tej wysokości znajdująca się pod stanowiskiem pracy musi być wolna od obiektów, które mogą być niebezpieczne dla człowieka podczas potencjalnej kolizji.

Znajomość obydwu tych wielkości pozwala na określenie charakterystyki „siła obciążająca – wydłużenie” podzespołu łącząco-amortyzującego, dzięki której można ocenić zachowanie sprzętu podczas powstrzymywania spadania z wysokości. Charakterystyka ta ma szczególnie duże znaczenie dla projektowania nowych składników sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości, a głównie podzespołów łącząco-amortyzujących, oraz opracowywania instrukcji ich instalacji i użytkowania. W związku z tym ważnym zagadnieniem staje się stosowanie odpowiedniej metody oraz stanowiska do badania charakterystyk „siła obciążająca – wydłużenie”.

Artykuł poświęcony jest opracowanej w Zakładzie Ochron Osobistych CIOP-PIB metodzie badań i unikatowemu w skali kraju, stanowisku badawczemu przeznaczonemu do oceny podzespołów łącząco-amortyzujących.

Metody badań wielkości dynamicznych charakteryzujących proces powstrzymywania spadania z wysokości

Pomiar siły działającej w podzespole łącząco-amortyzującym podczas powstrzymywania spadania nie stanowi obecnie poważnego problemu technicznego [9, 10]. Zgodnie z metodyką zawartą w normie PN-EN 364:1996 [10], pomiaru maksymalnej wartości siły dokonuje się w punkcie połączenia podzespołu z konstrukcją nośną stanowiska badawczego, podczas powstrzymywania spadania sztywnego obciążnika o masie 100 kg. Wysokość swobodnego spadania obciążnika jest ustalana zgodnie z wymaganiami, zawartymi w normie dotyczącej konkretnego rodzaju podzespołu łącząco-amortyzującego np. dla amortyzatora włókienniczego według PN-EN 355:2005 [6]. Do pomiaru siły stosuje się systemy pomiarowe, w skład których wchodzi najczęściej: przetwornik pomiarowy siły, np. tensometryczny lub piezoelektryczny, wzmacniacz, filtr analogowy oraz urządzenie do rejestracji przebiegu



Rys. 1. Schemat stanowiska do badań wydłużeń dynamicznych podzespołów łącząco-amortyzujących
Fig. 1. Stand for dynamic elongation tests of connecting and shock absorbing components

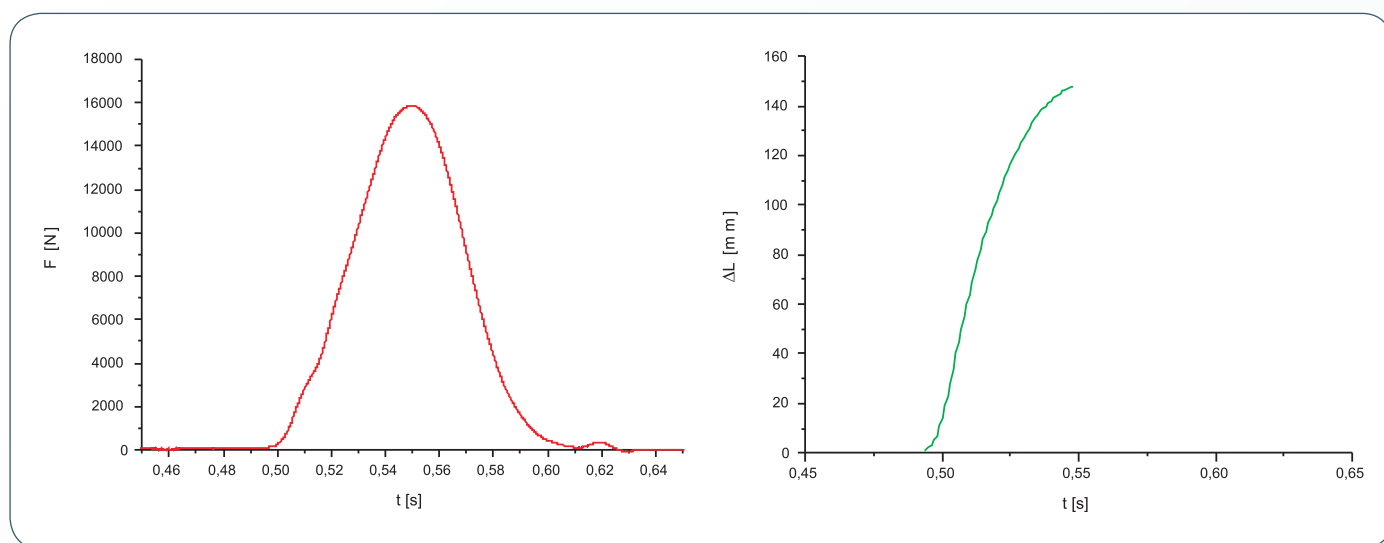
czasowego siły lub rzadziej samej wartości maksymalnej.

Stosowane obecnie w ocenie zgodności indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości z dyrektywą 89/686/EWG (wdrożoną rozporządzeniem Ministra Gospodarki z 21 grudnia 2005 r.) metody pomiaru drogi powstrzymywania spadania są bardzo przybliżone [11]. Zgodnie z normami PN-EN 353-2:2005 [4], PN-EN 355:2005 [6] i PN-EN 360:2005 [7] do badań dynamicznych podzespołów łącząco-amortyzujących jest stosowany sztywny obciążnik o masie 100 kg, dołączony do jednego z końców badanego podzespołu i zrzucany z wysokości określonej w odpowiedniej normie [4, 6, 7]. Droga, którą przebywa od chwili zwolnienia do zatrzymania przez badany podzespół jest wyznaczana jako różnica jego położenia mierzona w kierunku pionowym. Dolne położenie obciążnika jest efektem trwałego wydłużenia obiektu badań na skutek zaistniałego obciążenia

dynamicznego oraz wydłużenia sprężystego na skutek obciążenia masą 100 kg.

Oznacza to, że w stosowanych obecnie metodach badania nie jest mierzone rzeczywiste (maksymalne) wydłużenie dynamiczne podzespołu występujące podczas powstrzymywania spadania, a jedynie jego odkształcenie w warunkach statycznych, już po powstrzymaniu spadania obciążnika. Biorąc pod uwagę właściwości sprężyste sprzętu oraz to, że podczas powstrzymywania spadania może działać w nim siła rozciągająca o wartości do 6 kN [4, 6, 7, 8], a po powstrzymaniu spadania jedynie 0,981 kN, różnica w pomiarze drogi może być znacząca.

Inną metodą badania wydłużeń podzespołów łącząco-amortyzujących w warunkach dynamicznych jest zastosowanie przetworników przyspieszeń umieszczanych w sztywnym obciążniku. Metodę tę, polegającą na pomiarze przyspieszenia, a następnie przeprowadzeniu podwójnego całkowania jego czasowego przebiegu, stosowano w badaniach prowadzonych



Rys. 2. Przebieg siły powstrzymującej spadanie obciążnika o masie 100 kg oraz wydłużenia linki bezpieczeństwa wykonanej z taśmy z włókien poliamidowych o szerokości 45 mm i długości 2000 mm, zakończonej obustronnie zaszytymi pętlami. Oznaczenia: F – siła hamująca, ΔL – wydłużenie

Fig. 2. Time traces of the force arresting the fall of the test mass of 100 kg and the elongation of the lanyard made of a polyamide webbing. Parameters of the lanyard: the length of 2000 mm, the width of 45 mm, terminations - loops. F - braking force, ΔL - elongation

w Zakładzie Ochron Osobistych CIOP-PIB [12, 13, 14], miała ona jednak dwie poważne wady:

- była obciążona błędem wynikającym z identyfikacji chwili rozpoczęcia powstrzymywania spadania obciążnika (końca swobodnego spadania)

- ze względu na niszczący charakter badań częstym awariom ulegały przetworniki przyspieszeń, a szczególnie kable łączące je ze wzmacniaczami.

W związku z tym w CIOP-PIB została opracowana nowa metoda, oparta na zastosowaniu kamery do szybkich zdjęć do pomiaru wydłużeń oraz układu do pomiaru przebiegu czasowego siły hamującej.

Metoda i stanowisko do badania w warunkach dynamicznych charakterystyk „siła obciążająca – wydłużenie” podzespołów łącząco-amortyzujących

Opracowana w CIOP-PIB metoda wyznaczania charakterystyk „siła obciążająca – wydłużenie” podzespołów łącząco-amortyzujących polega na równoczesnym pomiarze wydłużenia obiektu badań (podzespołu łącząco-amortyzującego) oraz siły powodującej to wydłużenie. Badanie charakterystyki odbywa się w warunkach dynamicznych, to znaczy podczas powstrzymywania spadania przez obiekt sztywnego obciążnika o założonej masie. Siła działająca na obiekt, która powstrzymuje spadanie obciążnika, jest mierzona przez system pomiarowy z przetwornikiem siły zainstalowanym pomiędzy sztywną konstrukcją stanowiska badawczego a obiektem. Wydłużenie obiektu mierzy ekstensometr, którego

integralnym elementem jest cyfrowa kamera do szybkich zdjęć. Charakterystyka „siła obciążająca – wydłużenie” obiektu jest tworzona z zastosowaniem oprogramowania komputerowego z zarejestrowanych przebiegów siły obciążającej i wydłużenia.

Prowadzenie badań według tej metody umożliwia stanowisko, zbudowane w Zakładzie Ochron Osobistych CIOP-PIB (rys. 1.).

Głównym elementem mechanicznym stanowiska jest rama nośna (1), zamocowana w ścianach nośnych pomieszczenia laboratorium. Jej zadaniem jest przejęcie sił działających w badanym obiekcie (10) podczas powstrzymywania przez niego spadania obciążnika (12). Przetwornik (15), wzmacniacz (16) [15] oraz system akwizycji danych (SAD), (17) umożliwiają pomiary siły działającej w podzespołe łącząco-amortyzującym (10). Na ramie nośnej stanowiska umieszczono ekstensometr mechaniczny służący do pomiaru wydłużenia podzespołu łącząco-amortyzującego podczas powstrzymywania przez niego spadania obciążnika. Ruch wskaźnika ekstensometru (8) na tle skali (6) jest rejestrowany za pomocą kamery do szybkich zdjęć (13). Dzięki zastosowaniu odpowiedniego obiektywu szerokokątnego kamera obejmuje całą skalę ekstensometru (około 1,1 m), gwarantując zarazem rozróżnienie przemieszczenia wskaźnika o wartość 1 mm. Kamery połączono z komputerem (14) służącym do programowania jej trybu pracy, zapisania zarejestrowanych obrazów oraz przetwarzania ich.

Przedstawione stanowisko charakteryzują następujące parametry:

- maksymalna długość obiektu badań: ok. 4 m

- maksymalne wydłużenie obiektu badań: 1,1 m

- masa obciążnika badawczego: 10 ÷ 150 kg

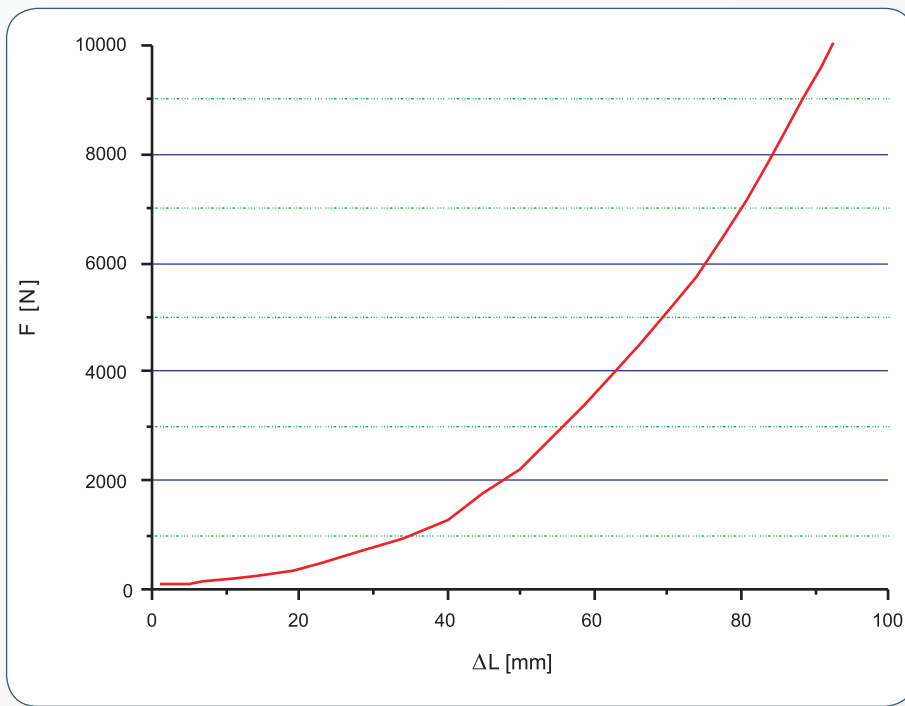
- maksymalna wysokość swobodnego spadania obciążnika badawczego (w zależności od długości wstępnej i wydłużenia obiektu): do 6 m

- częstotliwość próbkowania sygnału siły obciążającej: 1 ÷ 10 kHz

- częstotliwość rejestracji obrazów przez kamerę: 1000 ÷ 2000 klatek/s.

Opracowana metoda wraz ze stanowiskiem badawczym została poddana walidacji. Przeprowadzone badania sprawdzające wykazały, że metoda ta jest odpowiednia do wyznaczania charakterystyk „siła obciążająca – wydłużenie” podzespołów łącząco-amortyzujących sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości. Na podstawie uzyskanych wyników okazało się, że niepewność rozszerzona pomiaru [16, 17, 18] wydłużenia obiektu wynosi $\pm 2,75$ mm, a siły obciążającej ± 62 N (dla wartości mierzonej 6000 N). Wartości te są odpowiednie z punktu widzenia zastosowań opracowanej metody i stanowiska badawczego.

Przedstawioną metodę i stanowisko badawcze wykorzystano do przeprowadzenia badań podzespołów łącząco-amortyzujących wykonanych z różnego rodzaju materiałów, np. poliamidu, poliestru, włókien poliamidowych. Przykłady wyników badań najprostszyc podzespołów łącząco-amortyzujących, czyli linek bezpieczeństwa, przedstawiono na rys. 2. i 3. Linki bezpieczeństwa były przeznaczone do systemów powstrzymywania spadania z wysokości i wykonano je z taśmy z włókien poliamidowych (Nomex®, Kevlar®).



Rys. 3. Charakterystyka „siła obciążająca – wydłużenie” linki bezpieczeństwa wykonanej z taśmy z włókien poliamidowych o szerokości 45 mm i długości 2000 mm, zakończonej obustronnie zaszytymi pętlami

Fig. 3. Load - elongation characteristic of the lanyard. Parameters of the lanyard: the material – polyaramide webbing, the length of 2000 mm, width of 45 mm, terminations - loops.

Na rys. 2 przedstawiono przebieg siły, pomierzonej przez przetwornik pomiarowy działającej na obciążnik podczas powstrzymywania jego spadania przez linkę bezpieczeństwa. Analizując przebieg impulsu siły można zauważyć, że proces powstrzymywania spadania obciążnika, czyli fragment, gdzie siła narasta od wartości 0 do F_{max} , wynosi około 0,05 s. Na rys. 2. przedstawiono przebieg czasowy wydłużenia badanego obiektu, pomierzony i zarejestrowany za pomocą ekstensometru i kamery. Impuls wydłużenia towarzyszącego powstrzymaniu spadania obciążnika narasta również w czasie około 0,05 s. Wykorzystując ten efekt dokonano powiązania danych przebiegu $F(t)$ i $\Delta L(t)$, to znaczy utworzono pary próbek z tych przebiegów, pobranych w tej samej chwili. Pary te w postaci graficznej tworzą wykres (rys. 3.), który jest charakterystyką $F(\Delta L)$ „siła obciążająca – wydłużenie” zbadanego obiektu określoną dla warunków dynamicznych.

Charakterystyka $F(\Delta L)$ jest najważniejszą charakterystyką podzespołu łącząco-amortyzującego, pozwalającą na analizę jego zachowania podczas powstrzymywania spadania z wysokości.

Podsumowanie

Opracowana metoda i stanowisko badawcze stanowią cenne narzędzie do badania właściwości mechanicznych podzespołów łącząco-amortyzujących sprzętu chroniącego

przed upadkiem z wysokości. Dzięki niemu jest możliwe uzyskiwanie przebiegów czasowych sił i wydłużeń poszczególnych składników sprzętu podczas dynamicznego procesu powstrzymywania spadania. Na ich podstawie, z zastosowaniem odpowiedniego oprogramowania komputerowego, można uzyskać charakterystyki „siła obciążająca – wydłużenie” odnoszące się do warunków dynamicznych. Charakterystyki te są podstawą do tworzenia modeli numerycznych podzespołów łącząco-amortyzujących, dzięki którym, posługując się symulacjami komputerowymi, można przewidzieć zachowanie sprzętu podczas powstrzymywania spadania z wysokości. Zachowanie jest tu rozumiane jako zbiór zjawisk mechanicznych, takich jak np. wydłużenie, odkształcenie, siła, przyspieszenie itp. istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkownika. Modele numeryczne w zależności od stopnia komplikacji mogą umożliwić wprowadzanie takich wielkości wejściowych, jak masa człowieka używającego sprzęt, wysokość jego swobodnego spadania, długość podzespołu łącząco-amortyzującego itp. Dzięki temu uzyskiwane wyniki symulacji są bliższe rzeczywistym warunkom stosowania sprzętu.

Zaprezentowana metoda może być również stosowana do standardowych badań indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości wykonywanych dla potrzeb oceny zgodności z dyrektywą 89/686/EWG [11]. Jest to szczególnie cenne w przy-

padku badania amortyzatorów włókienniczych z linkami bezpieczeństwa, urządzeń samozaciskowych z giętkimi i sztywnymi przewodnikami oraz urządzeń samohamownych, gdyż pozwala na pomiar maksymalnej wartości siły działającej w punkcie kotwiczenia podzespołu oraz drogi powstrzymywania spadania.

PIŚMIENNICTWO

[1] Sprawozdanie Głównego Inspektora Pracy z działalności Państwowej Inspekcji Pracy w 2010 roku

[2] *Wypadki przy pracy w 2010 r.* Główny Urząd Statystyczny

[3] Sulowski A.C. *Fall protection systems – selection of equipment.* In: A.C. Sulowski (ed.), *Fundamentals of fall protection.* Toronto, Canada, International Society for Fall Protection 1991, pp. 303-320

[4] PN-EN 353-2:2005 Indywidualny sprzęt chroniący przed upadkiem z wysokości. Urządzenia samozaciskowe z giętką prowadnicą

[5] PN-EN 354:2010 Środki ochrony indywidualnej chroniące przed upadkiem z wysokości. Linki bezpieczeństwa

[6] PN-EN 355:2005 Środki ochrony indywidualnej chroniące przed upadkiem z wysokości. Amortyzatory

[7] PN-EN 360:2005 Środki ochrony indywidualnej chroniące przed upadkiem z wysokości. Urządzenia samohamowne

[8] PN-EN 795:1999/A1.2003 Ochrona przed upadkiem z wysokości. Urządzenia kotwiczące. Wymagania i badania

[9] Sulowski A.C. *Assesment of maximum arrest force in fall arresting systems.* In: A.C. Sulowski (ed.), *Fundamentals of fall protection.* Toronto, Canada, International Society for Fall Protection; 1991, pp. 165-192

[10] PN-EN 364:1996 Indywidualny sprzęt chroniący przed upadkiem z wysokości. Metody badań

[11] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla środków ochrony indywidualnej (DzU nr 259, poz. 2173) wprowadzone na mocy ustawy o systemie oceny zgodności z dnia 30 sierpnia 2002 r. (DzU nr 166, poz. 1360 z późn. zm.)

[12] Baszczyński K. *Influence of weather conditions on the performance of energy absorbers and guided type fall arresters on a flexible anchorage line during fall arresting.* "Safety Science" 2004, 42:519-536

[13] Baszczyński K., Zrobek Z. *Wydłużenia urządzeń samozaciskowych jako źródło zagrożeń.* „Bezpieczeństwo Pracy” 1998, 318,1:17-20

[14] Baszczyński K., Zrobek Z. *Dynamic Performance of Horizontal Flexible Anchor Lines During Fall Arrest – A Numerical Method of Simulation.* "International Journal of Occupational Safety and Ergonomics", 2000, 6, 4:521-534

[15] Recommendation for Use RfU CNB/P/1.024 (dokument Grupy Roboczej VG-11)

[16] PN-ISO 5725-2:2002 Dokładność (poprawność i precyzja). Część 2: Podstawowa metoda określania powtarzalności i odtwarzalności standardowej metody pomiarowej

[17] Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu. Dokument EA-4/02. Europejska współpraca w dziedzinie akredytacji. Dokument przetłumaczony w Głównym Urzędzie Miar, 2001

[18] PN-ISO 5725-1:2002 Dokładność (poprawność i precyzja). Część 1: Ogólne zasady i definicje

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 Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.