



dr inż. MARCIN JACHOWICZ (ORCID: 0000-0002-6402-6897)
 Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: majac@ciop.lodz.pl
 DOI: 10.54215/BP.2024.7.16.Jachowicz

Implementacja systemów elektronicznych w szelkach bezpieczeństwa i urządzeniach samohamownych

Fot. PramoteBigstock/Bigstockphoto



Celem artykułu jest omówienie zagadnień związanych z używaniem systemów elektronicznych w sprzęcie chroniącym przed upadkiem z wysokości. Stosuje się je zarówno jako moduły świetlne czy dźwiękowe, jak i zestawy czujników, detektorów lub bloków transmisji danych. Systemy te służą poprawie bezpieczeństwa pracy i stanowią wyposażenie środków ochrony indywidualnej. Takie środki określa się inteligentnymi. Ponadto celem artykułu jest zaprezentowanie prototypu urządzenia samohamownego do dynamicznego skracania drogi spadania. Urządzenie to, opracowane w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym, wyposażone jest w elektroniczno-mechaniczny system blokowania, który pozwala na jego dynamiczne uruchomienie, niezależne od zewnętrznej energii generowanej podczas spadania człowieka. Taka konstrukcja pozwala na redukcję drogi swobodnego spadania i tym samym sił działających na człowieka podczas powstrzymania spadania, a także na pracę urządzenia samohamownego w pozycji poziomej lub zbliżonej do poziomej i jego wykorzystanie jako urządzenia zapobiegającego rozpoczęciu spadania. W artykule zaprezentowano konstrukcję i sposób działania zaprojektowanego urządzenia oraz możliwości jego zastosowania.

Słowa kluczowe: praca na wysokości, sprzęt chroniący przed upadkiem z wysokości, sterujące systemy elektroniczne, inteligentne środki ochrony indywidualnej

Implementation of electronic systems in safety harnesses and self-braking devices

The aim of this publication is to discuss issues related to the use of electronic systems in equipment protecting against falls from height. They are used both in the form of light and sound modules, as well as in the form of sets of sensors, detectors, data transmission blocks, or even entire complex electronic systems. These systems are used to improve work safety, and personal protective equipment equipped in this way is called intelligent. The aim of the article is also to present the prototype of a self-locking device for the dynamic shortening of the fall path. The electronic-mechanical locking system in the self-locking device, developed at the Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, allows for its dynamic activation, independent of the external energy generated during the fall of a person. Thanks to this construction, it is possible to reduce the free fall path, and thus the forces acting on a person when stopping him, as well as work the self-locking device in a horizontal or close to a horizontal position and use it as a device preventing the start of a fall. The construction and operation of the designed device were shown, and the possibilities of its use were presented in the article.

Keywords: work at height, fall protection equipment, control electronic systems, intelligent personal protective equipment

Wstęp

Budownictwo, energetyka i telekomunikacja to sektory przemysłu, w których zagrożenie upadkiem z wysokości jest najczęstsze, aczkolwiek można się z nim spotkać również w innych sektorach gospodarki. Narażenie na upadek z wysokości występuje bowiem wszędzie tam, gdzie na stanowisku pracy lub w jego bezpośrednim otoczeniu istnieją miejsca usytuowane względem siebie na różnych poziomach, a pracownik znajduje się powyżej poziomu najniższego [1, 2]. W takiej sytuacji należy stosować kolejno następujące sposoby zabezpieczania pracowników:

- eliminację zagrożenia – z wykorzystaniem środków organizacyjnych i technicznych pozwalających na usunięcie konieczności wykonywania pracy w warunkach zagrożenia [3];
- ochrony zbiorowe – w postaci barier niedopuszczających do znalezienia się pracownika w zagrożonej strefie lub siatek ochronnych powstrzymujących spadanie;
- środki ochrony indywidualnej (ŚOI) – w postaci systemów chroniących przed upadkiem z wysokości w celu kontrolowania i powstrzymania spadania lub uniemożliwienia rozpoczęcia spadania (kontrolowania ryzyka spadania).

Zjawisko upadku z wysokości to inaczej końcowy etap spadania, którego skutkiem jest gwałtowne zatrzymanie spadającego w wyniku zderzenia z podłożem. Oczywiście upadek z wysokości zawsze jest poprzedzony spadaniem, a niebezpieczeństwo odniesienia urazu występuje także podczas spadania (np. w efekcie uderzeń o konstrukcję) lub podczas powstrzymywania spadania przez sprzęt ochronny (proces spadania sam w sobie stanowi zagrożenie). Z punktu widzenia bezpieczeństwa i zdrowia pracownika niezwykle istotny jest również czas od bezpiecznego powstrzymania spadania do ewakuacji pracownika, ponieważ czasami zachodzi konieczność przeprowadzenia specjalnej akcji ratowniczej w miejscu uniemożliwiającej samodzielną ewakuację.

Wspomniane zagrożenia związane z powstrzymywaniem spadania można jednak skutecznie ograniczyć dzięki zastosowaniu systemów elektronicznych, poprawiających bezpieczeństwo osób pracujących na wysokości. Ze względu na zmieniające się warunki pracy i większe możliwości techniczne, jakimi dysponują producenci sprzętu ochronnego, konstrukcje ŚOI są wciąż modyfikowane, przez co ich parametry ochronne są coraz lepsze. Konstruktorzy ŚOI używają obecnie wyspecjalizowanych systemów elektronicznych, które mogą się składać zarówno z elementów świetlnych i dźwiękowych, jak i z zestawów czujników, detektorów, modułów transmisji danych, a także tworzyć tzw. rozbudowane systemy elektroniczne. Tak wyposażone ŚOI nazywane są inteligentnymi.

Przykładowymi systemami elektronicznymi, stosowanymi w inteligentnych ŚOI, są [4, 5]:

- urządzenia do komunikacji i lokalizacji użytkownika;
- czujniki monitorujące czynniki fizjologiczne i środowiskowe (np. dla strażaków);

- elementy chłodzące i grzewcze, które działają wtedy, gdy jest to potrzebne, reagując zależnie od funkcji organizmu i temperatury zewnętrznej;
- aktywne systemy, które działają jak urządzenia zatrzymania awaryjnego – np. gdy urządzenia laserowe lub piły łańcuchowe zagrażają bezpieczeństwu użytkownika;
- elastyczne materiały emitujące światło, które poprawiają widoczność użytkownika.

Wykorzystywana w inteligentnych ŚOI elektronika wymaga często również bezprzewodowego łącza z urządzeniami zewnętrznymi. Pozwala ono osobie nadzorującej pracę zespołu, np. kierownikowi ds. bezpieczeństwa czy komendantowi straży pożarnej, interweniować w sytuacji, w której członek załogi powinien zostać ostrzeżony o zagrożeniu lub gdy potrzebuje pomocy.

Środki ochrony indywidualnej chroniące przed upadkiem z wysokości należą do III kategorii, obejmującej wyłącznie zagrożenia, które mogą mieć bardzo poważne konsekwencje, takie jak śmierć lub nieodwracalne szkody na zdrowiu człowieka. Z uwagi na te konsekwencje ŚOI tej kategorii nie są często poddawane modernizacjom powodującym bezpośrednią ingerencję w ich działanie. Dlatego też wprowadzane obecnie na rynek środki chroniące przed upadkiem z wysokości wyposażone są w elementy elektroniczne pełniące głównie funkcje pomiarowe czy informacyjno-alarmowe, takie jak: dokładne rejestrowanie czasu pracy, monitorowanie czynników atmosferycznych, na które są narażeni pracownicy, czy informowanie o położeniu pracownika [6–10].

Celem artykułu jest przegląd systemów elektronicznych stosowanych w sprzęcie ochronnym używanym podczas pracy na wysokości oraz zaprezentowanie urządzenia samohamownego do dynamicznego skracania drogi spadania, opracowanego w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym (CIOP-PIB).

Systemy elektroniczne w sprzęcie chroniącym przed upadkiem z wysokości

Szelki bezpieczeństwa

Elementem sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości, który występuje w każdym takim systemie ochronnym, są szelki bezpieczeństwa [11]. Przykładem implementacji elementów elektronicznych w takim sprzęcie są szelki bezpieczeństwa wyposażone w znacznik NFC (ang. *near-field communication*). NFC jest modułem umożliwiającym szybką i bezprzewodową komunikację pomiędzy dwoma urządzeniami, tj. połączenie między jednostką bazową (np. telefonem komórkowym) a szelkami bezpieczeństwa [12]. Umożliwia to nadzorowanie i identyfikację wyposażenia pracowników. Znacznik NFC jest zsynchronizowany z aplikacją (za pomocą której można odczytać m.in. dane dotyczące stanu szelki bezpieczeństwa, ich numer seryjny, datę kolejnego przeglądu oraz imię i nazwisko użytkownika)

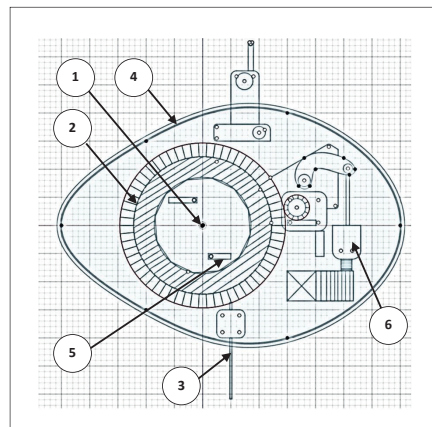
oraz zintegrowany z szelkami bezpieczeństwa i nie wpływa negatywnie na ich użytkowanie.

Kolejnym przykładem jest zastosowanie systemów elektronicznych w łącznikach. Takie systemy, wbudowane w szelki bezpieczeństwa, umożliwiają bezpieczne przepinanie się pomiędzy punktami kotwiczącymi podczas pracy na wysokości. Głównym celem takiego rozwiązania jest zapobieganie upadkom wynikającym z nieprawidłowego zapięcia łączników typu hak. Specjalnie zaprojektowany czujnik dołączony do haka jest połączony ze wskaźnikiem LED i informuje użytkownika o prawidłowym zapięciu łącznika. Wskaźnik LED świeci się na zielono, gdy hak zapięty jest poprawnie, a gdy jest niezapięty lub jest zapięty niepoprawnie, wskaźnik LED sygnalizuje to świeceniem na czerwono [13].

Urządzenia samohamowne

Przykładowym urządzeniem samohamownym wyposażonym w elementy elektroniczne jest DBI-SALA. Ma ono programowalny znacznik RFID (ang. *radio-frequency identification*) Connected Safety ID (CSID), który pozwala na śledzenie urządzeń i zarządzanie nimi za pomocą systemu Inspection and Asset Management System [14]. Do produkcji znacznika CSID wykorzystano technologię identyfikacji radiowej o wysokiej częstotliwości 13,56 MHz, która umożliwia łatwe rejestrowanie i uzyskiwanie dostępu do informacji dotyczących inwentaryzacji, użytkowania i śledzenia sprzętu. Technologia wykorzystująca znaczniki RFID umożliwia przesyłanie i odczytywanie danych w odległościach od kilkudziesięciu centymetrów do kilkunastu metrów [15].

Innym przykładem wykorzystania sterowania elektronicznego jest urządzenie samohamowne do automatycznego opuszczania człowieka po powstrzymaniu spadania [16]. Ogólny schemat tego urządzenia przedstawiono na rys. 1. Jego podstawowe elementy – takie jak: obudowa, oś główna, obrotowy bęben linowy z mechanizmem samohamownym, lina bezpieczeństwa



Rys. 1. Ogólny schemat urządzenia samohamownego do automatycznego opuszczania [16], gdzie: 1 – oś główna, 2 – bęben, 3 – lina bezpieczeństwa, 4 – obudowa, 5 – zapadka, 6 – elektrozamek

Fig. 1. General drawing of the self-locking device for automatic lowering [13], where: 1 – main axis, 2 – drum, 3 – safety rope, 4 – casing, 5 – pawl, 6 – electric lock

czy zapadki blokujące – są podobne do elementów, z których składa się klasyczne urządzenie samohamowne, natomiast główna różnica tkwi we wbudowanym zespole elektrozamka. W wersji sterowania manualnego zespół elektrozamka wraz z modułem sterowania blokuje działanie urządzenia poprzez obwód zaczepowy górny i przełącznik krańcowy. Wbudowany układ elektroniczny z własnym źródłem zasilania umożliwia także ustawienie zwłoki czasowej uruchamiającej elektrozamek.

W wersji uwzględniającej zdalne sterowanie zespół elektrozamka wyposażony jest w bezprzewodowy odbiornik sprzężony z modułem sterowania. Umożliwia to zdalne sterowanie urządzeniem samohamownym poprzez wymuszenie jego blokowania.

Opracowane w CIOP-PIB urządzenie samohamowne do dynamicznego skracania drogi spadania z elektronicznym systemem blokowania

Przedstawione wcześniej przykłady pokazują, że stosowane obecnie systemy elektroniczne w sprzęcie chroniącym przed upadkiem z wysokości są głównie systemami informującymi (np. o położeniu użytkownika), służącymi inwentaryzacji lub sygnalizacyjnymi. Dotąd nie były one wykorzystywane do aktywnego, dynamicznego oddziaływania na funkcjonowanie sprzętu. W przypadku urządzeń samohamownych występują problemy z szybkością ich blokowania podczas pracy w pozycji poziomej lub do niej zbliżonej. W trakcie pracy na dachu z niewielkim spadkiem po poślizgnięciu się użytkownika prędkość wysuwu linki może się okazać niewystarczająca do tego, aby uruchomić blokadę urządzenia samohamownego. Nie istnieją też rozwiązania, które mogą pracować jako sprzęt uniemożliwiający rozpoczęcie spadania (np. podczas czynności wykonywanych na dachu płaskim), tzn. dopuszczający pracę tylko w ściśle określonym, wyodrębnionym obszarze.

W celu rozwiązania powyższych problemów w CIOP-PIB zostało opracowane urządzenie do dynamicznego skracania drogi spadania w indywidualnych systemach chroniących przed upadkiem z wysokości, bazujące na urządzeniu samohamownym.

Elektroniczno-mechaniczny system blokowania w urządzeniu samohamownym umożliwia jego dynamiczne uruchomienie niezależne od zewnętrznej energii generowanej podczas spadania człowieka. Pozwala to na skrócenie drogi swobodnego spadania, a tym samym na zmniejszenie sił działających na człowieka podczas powstrzymywania spadania. Elektroniczny układ sterujący da się zaprogramować tak, by blokowanie następowało po przekroczeniu konkretnej wartości prędkości wysuwania linki, niższej niż prędkość wymuszająca blokowanie mechanicznie. Taka konstrukcja urządzenia samohamownego zapewnia również jego działanie w pozycji poziomej lub do niej zbliżonej oraz umożliwia jego

wykorzystanie jako urządzenia zapobiegającego rozpoczęciu spadania, co nie byłoby możliwe bez zastosowania elektroniki. Część elektroniczna z elementami wykonawczymi systemu blokowania jest integralną częścią obudowy urządzenia samohamownego (fot. 1).



Fot. 1. Urządzenie samohamowne z elektronicznym systemem sterowania blokowaniem linki

Photo 1. Self-locking device with electronic control system for locking the cable

Do sterowania urządzeniem wykorzystywany jest mikrokontroler. Zwijanie i rozwijanie linki z bębna jest dekodowane na podstawie odczytu sygnałów z fotosensorów refleksyjnych umieszczonych blisko zewnętrznej części bębna. Na tarczy bębna umieszczone są elementy refleksyjne (fot. 2).



Fot. 2. Widok tarczy bębna z elementami refleksyjnymi (oznaczonymi strzałką)

Photo 2. View of the drum disc with reflective elements (marked with arrow)

Dynamiczne blokowanie rozwijania linki urządzenia następuje w trzech przypadkach [17]:

- po osiągnięciu określonego wcześniej maksymalnego wysunięcia linki – zostaje ono zapamiętane w odbiorniku podczerwieni IR i mikrokontrolerze poprzez wywołany ręcznie (z wykorzystaniem nadajnika podczerwieni IR) sygnał;
- po przekroczeniu ustalonej wartości prędkości wysuwu linki, wpisanej do pamięci mikrokontrolera, mierzonej za pomocą fotosensorów oraz elementów odbijających światło na tarczy bębna;
- po zaniku zasilania, niezależnie od jego przyczyny (również po wyłączeniu urządzenia za pomocą przycisku).

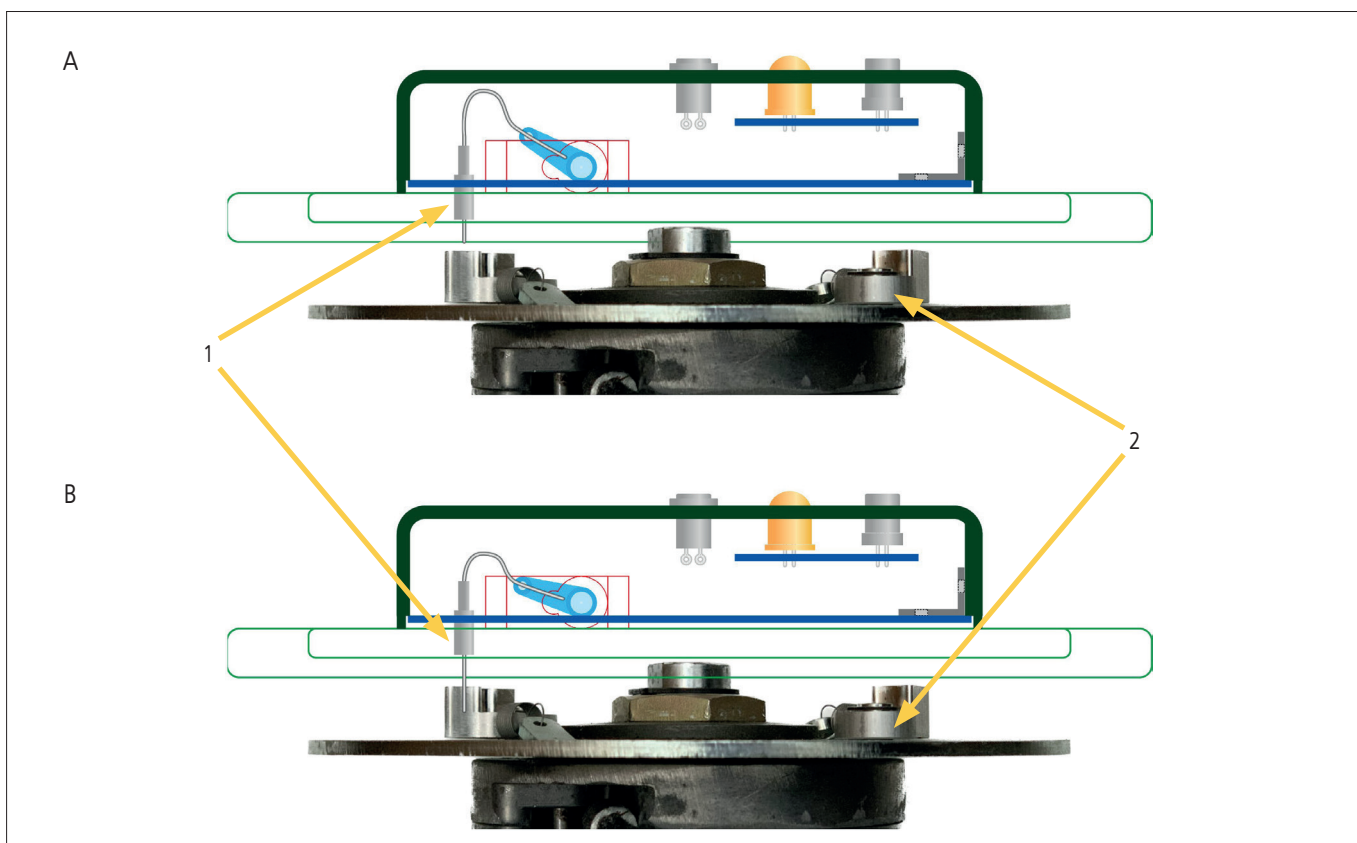
Do głównych elementów systemu należą serwomechanizmy z wysuwanymi trzpieniami oraz fotosensory i odbiornik podczerwieni IR z programowalnym mikrokontrolerem. Ten ostatni steruje serwomechanizmami na podstawie sygnałów otrzymywanych z fotosensorów refleksyjnych. Współpracują one z elementami odbijającymi światło (refleksyjnymi) umieszczonymi na tarczy bębna (fot. 2) urządzenia samohamownego, przez co możliwe jest dekodowanie zwijania i rozwijania linki z bębna urządzenia. Uzupełnieniem systemu jest nadajnik podczerwieni IR w postaci pilota, który pracownik nosi przy sobie. Za jego pomocą odbywa się zatwierdzenie dopuszczalnego wysunięcia linki, co jest potwierdzane błyskami pomarańczowej diody LED o wysokiej jasności, umieszczonej na obudowie urządzenia samohamownego. System zasilany jest z akumulatora litowo-jonowego, który zapewnia co najmniej 20 godzin ciągłej pracy.

Blokowanie z wykorzystaniem systemu elektronicznego (rys. 2) następuje wskutek uruchomienia dwóch serwomechanizmów z trzpieniami, które aktywują wbudowane, oryginalne zapadki urządzenia samohamownego.

Podsumowanie

Dzięki wyposażeniu ŚOI w systemy elektroniczne można znacznie zwiększyć ich funkcjonalność i poprawić bezpieczeństwo ich użytkowników – osób pracujących na wysokości. Jednakże obecnie brak jest odpowiednich regulacji prawnych czy normatywów dotyczących wymagań wobec tego typu systemów elektronicznych i metod ich badań.

Dzięki zastosowaniu systemu elektronicznego przedstawione urządzenie samohamowne z elektroniczno-mechanicznym systemem blokowania pozwala na jego dynamiczne uruchomienie niezależnie od zewnętrznej energii generowanej podczas spadania człowieka. Jest to możliwe dzięki serwomechanizmom, sterowanym mikrokontrolerem, który współpracuje z fotosensorem refleksyjnymi kodującymi długość i prędkość wysuwania linki. Taka konstrukcja zapewnia skrócenie drogi swobodnego spadania, a więc i sił działających na człowieka podczas powstrzymywania spadania. System ten pozwala także na pracę urządzenia samohamownego w pozycji



Rys. 2. Schemat działania blokowania z wykorzystaniem serwo mechanizmów. A – tryb niezablokowany, B – tryb zablokowany, 1 – serwo mechanizm z trzpieniem, 2 – zapadka
Fig. 2. Scheme of blocking operation with servo. A – unlocked mode, B – locked mode, 1 – servo with pin, 2 – pawl

poziomej lub zbliżonej do poziomej oraz na jego wykorzystanie jako urządzenia zapobiegającego rozpoczęciu spadania. Dzięki elektronicznemu systemowi blokowania wyposażonemu w akumulator nie ma potrzeby dostarczania energii kinetycznej z zewnątrz.

Podstawowy system blokujący, wykorzystujący siłę odśrodkową, działa niezależnie od systemu elektronicznego, co jest bardzo ważne z punktu widzenia bezpieczeństwa – funkcja ochronna występuje zatem podwójnie. W każdym przypadku blokada dynamiczna dotyczy tylko rozwijania liny, natomiast jej zwijanie jest zawsze możliwe. W przypadku braku zasilania zapadka zablokowana są automatycznie. Natomiast podczas całkowitej awarii części elektronicznej część mechaniczna systemu blokującego będzie pracowała bez zakłóceń, zachowa pełną funkcjonalność i zapewni pracownikowi bezpieczeństwo.

Opracowane w ramach projektu badawczego prowadzonego w CIOP-PIB urządzenie do dynamicznego skracania drogi spadania zgłoszono do Urzędu Patentowego RP do zastrzeżenia jako wzór użytkowy.

BIBLIOGRAFIA

[1] Praca na wysokości – podstawowe informacje, https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?_nfpb=true&_pageLabel=P30001831335539182278&html_tresc_root_id=19380&html_tresc_id=19538&html_klucz=19558&html_klucz_spis= [dostęp: 21.10.2022 r.].

[2] DĄBROWSKI A. Prace na wysokości – najczęstsze przyczyny wypadków. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*. 2004, 1: 2–6.

[3] DĄBROWSKI A. Wyposażenie i techniczne środki ochronne do prac na wysokości. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*. 2006, 11: 12–14 [4] <https://www.kan.de/pl/publikationen/kanbrief/przyszlosc-normalizacji/inteligentne-srodki-i-systemy-srodkow-ochrony-indywidualnej> [dostęp: 21.10.2022 r.].

[5] DĄBROWSKA A., BARTKOWIAK G., GRESZTA A. Systemy sygnalizacji zagrożeń do zastosowania w inteligentnej odzieży ochronnej dla strażaków. *Materiały informacyjne CIOP-PIB*. Warszawa 2019.

[6] <https://sklep.hanplast.energy/przewody-i-akcesoria/181-osobiste-urządzenie-samohamowne-3m-dbi-sala-194m> [dostęp: 21.10.2022 r.].

[7] <https://www.rfidpolska.pl/technologie-rfid-co-to-jest> [dostęp: 21.10.2022 r.].

[8] FANG W. i in. Falls from heights: A computer vision-based approach for safety harness detection. *Automation in Construction*. 2018, 91: 53–61.

[9] CARMEN REY-MERCHAN M., LOPEZ ARQUILLOS A., SOTO-HIDALGO J.M. Prevention of Falls from Heights in Construction Using an IoT System Based on Fuzzy Markup Language and JFML. *Applied Science*. 2022, 12(12): 6057.

[10] GOMEZ-DE-GABRIEL J. i in. Monitoring harness use in construction with BLE beacons. *Measurement*. 2019, 131: 329–340.

[11] PN-EN 361:2005. Środki ochrony indywidualnej chroniące przed upadkiem z wysokości – Szelki bezpieczeństwa.

[12] <https://www.upc.pl/blog/nfc-w-telefonie> [dostęp: 21.10.2022 r.].

[13] <https://en.safeon.kr/blank-1> [dostęp: 21.10.2022 r.].

[14] <https://sklep.hanplast.energy/przewody-i-akcesoria/181-osobiste-urządzenie-samohamowne-3m-dbi-sala-194m> [dostęp: 21.10.2022 r.].

[15] <https://www.rfidpolska.pl/technologie-rfid-co-to-jest> [dostęp: 21.10.2022 r.].

[16] Biuletyn Urzędu Patentowego PR. Wynalazki i Wzory Użytkowe. Nr 25. Warszawa, 2 grudnia 2019 r.

[17] Materiały informacyjne CIOP-PIB, https://m.ciop.pl/CIOPPortalWAR/file/95883/Urządzenie-do-dynamicznego-skarcania-drogi-spadania_III_PB_15_2022.pdf [dostęp: 21.04.2023 r.].

Opracowano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (projekt nr III.PB.15 pt. „Opracowanie urządzenia do dynamicznego skracania drogi spadania w indywidualnych systemach chroniących przed upadkiem z wysokości”), finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.