



dr hab. inż. KRZYSZTOF BASZCZYŃSKI (ORCID: 0000-0002-9572-2705)

mgr inż. MARTYNA MARSZAŁ (ORCID: 0009-0008-0828-0496)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: krbas@ciop.lodz.pl

DOI: 10.54215/BP.2024.12.26.Baszczynski

Elektroniczne systemy nadzoru bhp w pracach na wysokości

Fot. PramateBigstock/Bigstockphoto



Nieprzestrzeganie przez pracowników i pracodawców zasad bhp jest główną przyczyną dużej liczby wypadków w różnych sektorach przemysłu, w których praca odbywa się powyżej 1 m nad poziomem otoczenia (tzw. praca na wysokości). Z tego powodu potrzebne jest stosowanie dodatkowych zabezpieczeń, takich jak elektroniczne systemy nadzoru bhp, których celem jest zwiększenie bezpieczeństwa pracowników. Do najpopularniejszych funkcji tych systemów należy zaliczyć: śledzenie lokalizacji pracownika, w tym jego obecności w strefach niebezpiecznych, monitorowanie jego aktywności ruchowej, kontrolę stosowania i poprawności skompletowania sprzętu ochronnego, wykrycie powstrzymania spadania lub zawieszenia pracownika w szelkach bezpieczeństwa, a także nadzorowanie innych zdarzeń mogących zagrażać życiu i bezpieczeństwu człowieka. W artykule omówiono podstawowe problemy związane z pracą na wysokości, które wymagają monitorowania, oraz przedstawiono rozwiązania techniczne wykorzystywane w elektronicznych systemach nadzoru bhp, stosowanych do poprawy warunków pracy. Publikacja koncentruje się na stanowiskach pracy w budownictwie, gdzie nieraz jedynym możliwym do zastosowania zabezpieczeniem jest indywidualny sprzęt chroniący przed upadkiem z wysokości.

Słowa kluczowe: praca na wysokości, elektroniczne systemy nadzoru, monitorowanie zachowania pracowników

Electronic OHS supervision systems for work at heights

Failure of employees and employers to comply with occupational health and safety regulations is the main cause of a large number of accidents in various industrial sectors where work is carried out at a height of more than 1 m above ambient level. For this reason, it is necessary to use additional safeguards such as electronic health and safety monitoring systems, the purpose of which is to increase employee safety. The most popular functions of these systems include: tracking the employee's location, including their presence in dangerous zones, monitoring their physical activity, checking the use and correctness of the completion of protective equipment, detecting the arrest of a fall or suspension of an employee in a safety harness, as well as monitoring other events that may threaten human life and safety. The article discusses the basic problems related to working at height, which require monitoring, and technical solutions used in electronic health and safety monitoring systems used to improve working conditions. The publication focuses on workstations in construction, where often the only possible protection is individual fall protection equipment.

Keywords: work at height, electronic supervision systems, monitoring employee behavior

Wstęp

Jak wskazują dane dotyczące wypadków przy pracy, publikowane zarówno przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) [1], jak i Państwową Inspekcję Pracy (PIP) [2], upadek z wysokości jest jednym z najpoważniejszych zagrożeń, z jakim ludzie stykają się na stanowiskach pracy w Polsce. Według GUS [1] w 2022 r. wydarzyły się 4243 wypadki związane z upadkiem z wysokości, z czego 20 zakończyło się śmiercią człowieka, a 26 zakwalifikowano jako ciężkie. Analizując cytowane opracowania, można zauważyć, że z punktu widzenia branż przemysłowych najwięcej wypadków jest rejestrowanych w: budownictwie, przetwórstwie przemysłowym oraz transporcie i gospodarce magazynowej. Sprawozdanie z działalności PIP w 2022 r. [2] pokazuje zaś, że przyczyny wypadków przy pracy można podzielić na następujące główne grupy:

- ludzkie,
- techniczne,
- organizacyjne.

Przyczyny ludzkie obejmują m.in.: nieprawidłowe samowolne zachowania pracowników, niewłaściwe posługiwanie się czynnikiem materialnym, nieprawidłowości w stosowaniu sprzętu ochronnego oraz stan psychofizyczny pracownika niezapewniający bezpiecznego wykonywania pracy. Przyczyny techniczne dotyczą głównie czynnika materialnego w takim zakresie, jak: wady konstrukcyjne, wadliwe rozwiązania techniczne i ergonomiczne, zły stan, wady materiałowe itp. Do przyczyn organizacyjnych można natomiast zaliczyć niewłaściwą ogólną organizację pracy i stanowisk pracy oraz nieprawidłową eksploatację czynnika materialnego.

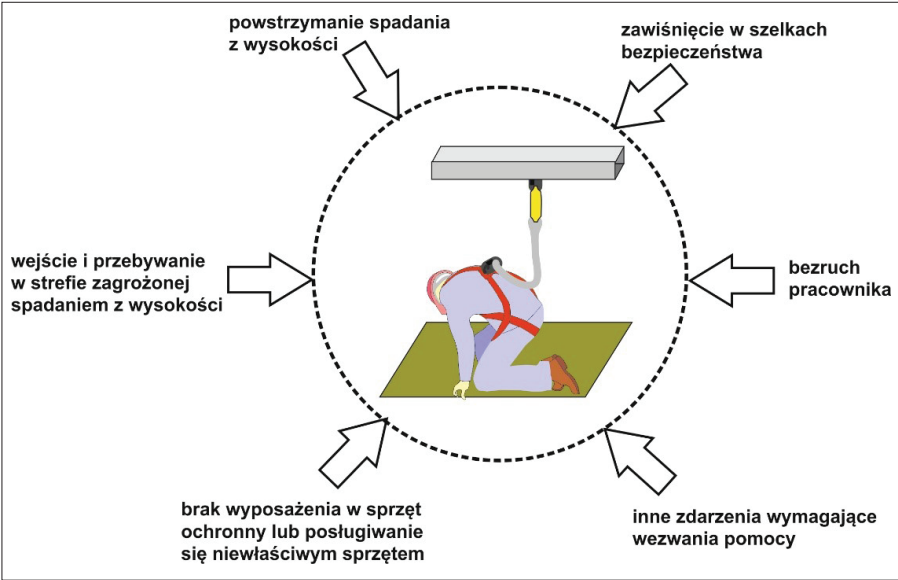
Różnorodność przyczyn wypadków pociąga za sobą konieczność podejmowania wielokierunkowych działań zmierzających do ograniczenia liczby najcięższych wypadków związanych z upadkiem z wysokości. Obserwowany w ostatnich latach rozwój elektroniki i informatyki, połączony ze sztuczną inteligencją, stworzył dogodne warunki dla opracowania rozwiązań technicznych umożliwiających podniesienie poziomu bezpieczeństwa ludzi pracujących na wysokości.

Celem tego artykułu jest zaprezentowanie rozwiązań, które przede wszystkim umożliwiają monitorowanie aktywności ludzi – w aspekcie ich bezpieczeństwa – na stanowiskach pracy usytuowanych na wysokości, a więc typowych dla branży budowlanej, w której jednym z podstawowych zabezpieczeń jest indywidualny sprzęt chroniący przed upadkiem z wysokości.

Monitorowanie pracy na wysokości

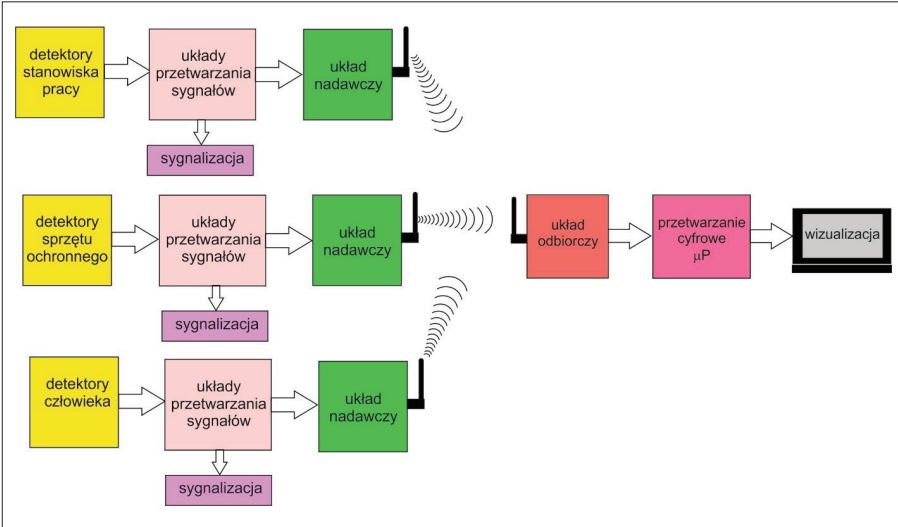
Biorąc pod uwagę warunki i metody pracy na placach budowy oraz dane dotyczące wypadków przy pracy [1, 2], wskazano obszary pracy (zob. rys. 1) wymagające stosowania monitoringu w celu podniesienia bezpieczeństwa pracowników. Obejmują one następujące niebezpieczne zjawiska i zagrożenia:

- wejście i przebywanie w strefie zagrożonej spadaniem z wysokości,



Rys. 1. Podstawowe zagrożenia i zjawiska związane z pracą na wysokości, które wymagają monitoringu w celu podniesienia bezpieczeństwa pracowników

Fig. 1. The basic threats and phenomena related to working at height that require monitoring to improve employee safety



Rys. 2. Schemat blokowy elektronicznego systemu nadzoru bhp stanowisk pracy na wysokości

Fig. 2. Block diagram of the electronic occupational health and safety monitoring system for workstations at height

- brak wyposażenia w sprzęt ochronny,
- posługiwanie się niewłaściwym sprzętem ochronnym,
- powstrzymanie spadania z wysokości,
- zawiśnięcie w szelkach bezpieczeństwa,
- bezzruch,
- inne zdarzenia wymagające wezwania pomocy.

Wymienione zagrożenia i zjawiska mogą być monitorowane przez elektroniczny system nadzoru bhp, którego ogólny schemat blokowy przedstawiono na rys. 2.

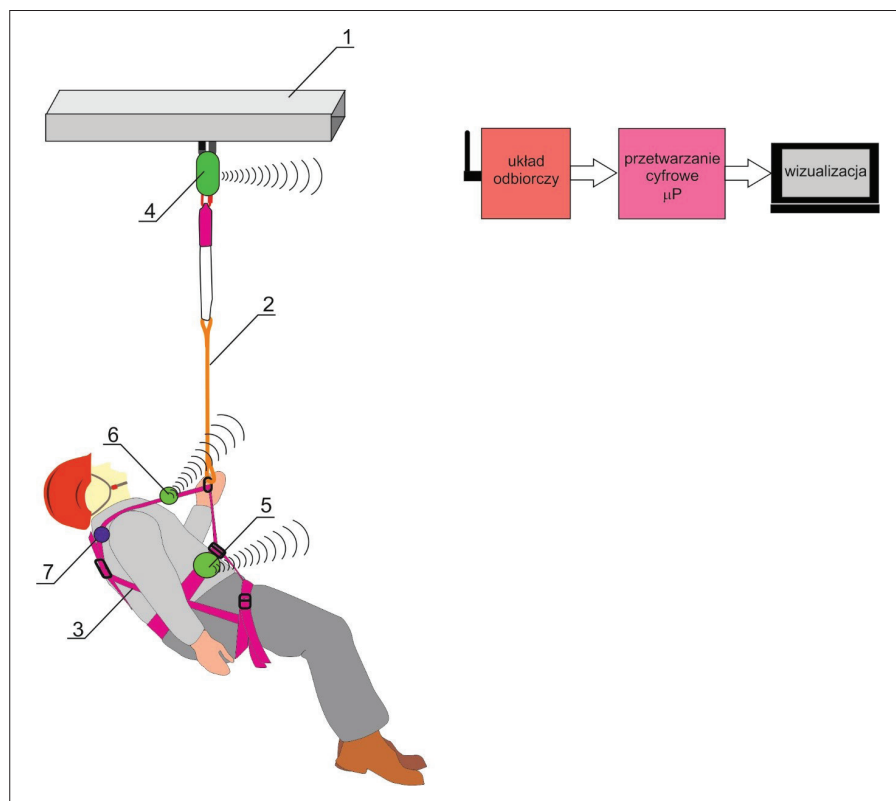
Powstrzymanie spadania z wysokości

Powstrzymanie spadania człowieka jest najbardziej krytyczną fazą działania indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości.

Ten sprzęt, a przede wszystkim jego podzespoły łącząco-amortyzujące, pochłania wówczas energię kinetyczną człowieka, uzyskaną we wcześniejszej fazie swobodnego spadania [3, 4]. Charakterystyki siła rozciągająca – wydłużenie podzespołów łącząco-amortyzujących [5–8] są tak dobierane, że podczas powstrzymywania spadania maksymalna wartość siły działającej na klamrę zaczepową szelk bezpieczeństwa nie może przekroczyć 6 kN. Tę wartość przyjmuje się jako bezpieczną dla człowieka podczas powstrzymywania jego spadania przez pełne szelki bezpieczeństwa.

Mimo takiego zabezpieczenia powstrzymywanie spadania wiąże się z ryzykiem odniesienia przez człowieka poważnych obrażeń, m.in. z powodu:

- uderzenia o elementy konstrukcyjne stanowiska pracy na skutek ruchu wahadłowego,
- zderzenia się z elementami sprzętu ochronnego,



Rys. 3. Detektory związane z człowiekiem i sprzętem chroniącym przed upadkiem z wysokości, wchodzące w skład elektronicznego systemu nadzoru bhp: 1 – element kotwiczący, 2 – podzespół łącząco-amortyzujący, 3 – szelki bezpieczeństwa, 4 – czujnik siły, 5 – akcelerometr + żyroskop, 6 – przycisk ręcznego wzywania pomocy, 7 – czujnik założenia szalek bezpieczeństwa

Fig. 3. Detectors related to human and equipment protecting against falls from a height in the electronic occupational health and safety monitoring system: 1 – anchor point, 2 – connecting and shock-absorbing element, 3 – safety harness, 4 – force sensor, 5 – accelerometer + gyroscope, 6 – manual help call button, 7 – safety harness wear sensor

- gwałtownego obrotu podczas spadania w innej pozycji niż pionowa nogami do dołu,
- nacisku elementów składowych szalek bezpieczeństwa na powierzchnię ciała.

Ze względu na przedstawione zagrożenia konieczne jest wykorzystanie sygnalizacji wystąpienia powstrzymywania spadania pracownika z wysokości. Ta sygnalizacja powinna mieć zasięg lokalny, tj. obejmujący najbliższe otoczenie stanowiska pracy, jak również docierać do odpowiednich służb bhp w danym przedsiębiorstwie.

Zaistnienie powstrzymywania spadania z wysokości przez indywidualny sprzęt ochronny najłatwiej stwierdzić na podstawie wystąpienia impulsu siły hamującej działającej na człowieka. Impuls ten może być zidentyfikowany przez pomiar siły $F_{\max}$ działającej w podzespole łącząco-amortyzującym lub przyspieszenia $a_{\max}$ ciała człowieka.

Pomiar siły jest najczęściej realizowany za pomocą przetwornika (element 4 na rys. 3), a pomiar przyspieszenia – za pomocą trójosiowego akcelerometru (element 5 na rys. 3) [9]. Typowe wartości graniczne identyfikujące powstrzymywanie spadania to: $F_{\max} = 2 \text{ kN}$ i $a_{\max} = 2g$.

Zawiśnięcie w szelkach bezpieczeństwa

Zdarzenia wypadkowe związane ze stosowaniem indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości – w warunkach

przemysłowych czy podczas uprawiania sportu i rekreacji – pokazują występowanie istotnego zagrożenia dla człowieka związanego z jego zawieszeniem w uprzęży [10–14]. Zagrożenie to może się pojawiać zarówno po powstrzymaniu spadania, jak i w sytuacji celowego zawieszenia, któremu nie towarzyszy obciążenie dynamiczne. Konsekwencjami takiego zjawiska, nazwanego po angielsku *suspension trauma*, może być np. utrata przytomności, a w skrajnych przypadkach nawet śmierć. Jego głównymi przyczynami są zaburzenia powstające w układzie krążenia i oddechowym człowieka. Na zjawisko to mają wpływ [12]: budowa anatomiczna człowieka, a zwłaszcza budowa klatki piersiowej, wymiary i masa ciała człowieka, stan psychofizyczny, kąt zawieszenia w szelkach bezpieczeństwa, ułożenie nóg, czas i bezruch w stanie zawieszenia, konstrukcja szalek bezpieczeństwa, w tym położenie klamry zaczepowej, dopasowanie szalek do sylwetki użytkownika oraz nacisk pasów szalek na ciało człowieka. Biorąc pod uwagę potencjalnie poważne skutki tego zjawiska, konieczne jest jego monitorowanie. Najbardziej intuicyjną, a jednocześnie efektywną metodą monitorowania jest pomiar siły działającej w punkcie kotwiczenia podzespołu łącząco-amortyzującego na stanowisku pracy. Gdy dochodzi do zawiśnięcia człowieka, w podzespole łącząco-amortyzującym (element 2 na rys. 3) działa siła o wartości wynikającej z masy tego człowieka, jego wyposażenia itp. Siła ta jest mierzona przez

przetwornik (element 4 na rys. 3), a informacja o jej wartości jest przekazywana do dalszej części elektronicznego systemu nadzoru i przetwarzana cyfrowo.

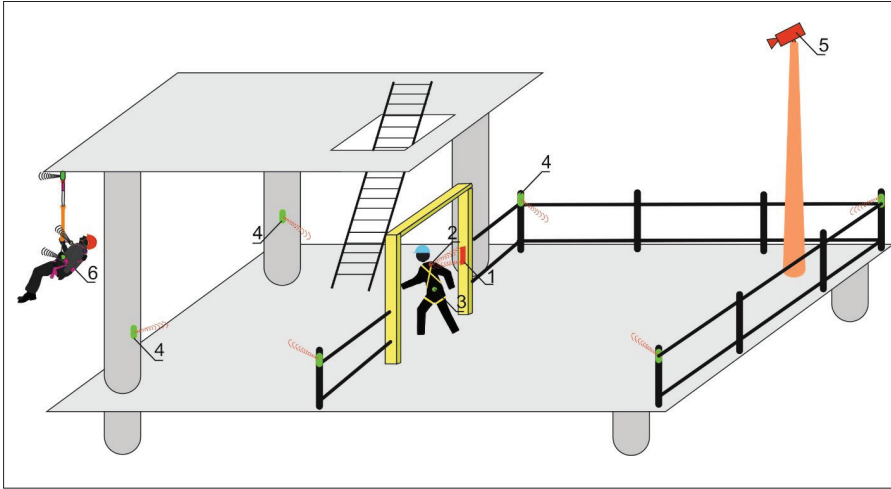
Stosowanie sprzętu ochronnego

Dane dotyczące wypadków przy pracy [2] wskazują, że częstą przyczyną tych zdarzeń jest brak sprzętu ochronnego, co może wynikać zarówno z niedopatrzenia pracodawcy, który nie wyposażył pracowników w odpowiedni sprzęt, lub z zaniedbania samych pracowników, którzy nie zastosowali powierzonych im środków ochrony (głównie środków ochrony indywidualnej). Z tego powodu w elektronicznych systemach nadzoru na placach budowy stosuje się układy umożliwiające kontrolę posiadania przez pracowników sprzętu ochronnego odpowiednio dobranego do ich stanowisk pracy. Rozwiązania te najczęściej opierają się na technologii RFID (ang. *radio frequency identification*) lub na technikach wizyjnych.

Systemy wykorzystujące technologię RFID składają się ze znaczników elektronicznych, z anten, czytników RFID oraz serwera z odpowiednim oprogramowaniem [15–17]. Znaczniki zawierające układ scalony z pamięcią elektroniczną i antenę są wbudowane w środki ochrony indywidualnej, np. szelki bezpieczeństwa czy urządzenia samohamowne chroniące przed upadkiem z wysokości. Antena znacznika przekazuje dane dotyczące sprzętu ochronnego do anteny z czytnikiem wbudowanym w bramkę, przez którą przechodzą pracownicy przed stanowiskiem pracy. Dane z czytnika są przekazywane do komputera, który dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu identyfikuje posiadanie przez pracownika sprzętu ochronnego. Informacja o braku sprzętu ochronnego wymaganego w danym otoczeniu może być przekazywana do odpowiednich służb bhp w przedsiębiorstwie oraz może generować sygnały alarmowe w chwili przekraczania bramki przez pracownika.

Rozwiązania bazujące na technologii RFID dzięki danym zapisanym w pamięci znaczników mogą być również wykorzystywane do nadzorowania środków ochrony indywidualnej, w tym np. do zliczania czasu użytkowania konkretnego egzemplarza sprzętu lub weryfikacji osiągnięcia daty jego wycofania z użytkowania. Realizacja takiej funkcji systemu RFID jest możliwa za sprawą oprogramowania i bazy danych dotyczących stosowanego sprzętu, zgromadzonych na serwerze.

Drugą grupą rozwiązań wykorzystywanych do monitorowania stosowania sprzętu ochronnego na stanowiskach pracy są systemy wizyjne [18, 19]. Ich głównymi elementami sprzętowymi są kamery przemysłowe (elementy 4 na rys. 4), rozmieszczone w niewrażliwych punktach terenu budowy i przekazujące rejestrowany obraz do komputera przetwarzającego dane. Głównym zadaniem komputera oraz jego oprogramowania jest rozpoznawanie obrazów. Dzięki algorytmom rozpoznawania obrazów da się ustalić, czy obserwowani pracownicy stosują wymagany sprzęt ochronny, np. hełmy przemysłowe i szelki bezpieczeństwa.



Rys. 4. Stanowisko pracy na wysokości wyposażone w elektroniczny system nadzoru bhp: 1 – system RFID, 2 – znacznik RFID na szelkach bezpieczeństwa, 3 – akcelerometr + żyroskop, 4 – elementy systemu BLE, 5 – system wizyjny, 6 – detektory związane z człowiekiem i ze sprzętem chroniącym przed upadkiem z wysokości

Fig. 4. Workplace at height equipped with an electronic health and safety monitoring system: 1 – RFID system, 2 – RFID tag on a safety harness, 3 – accelerometer + gyroscope, 4 – elements of BLE system, 5 – vision system, 6 – detectors related to human and equipment protecting against falls from a height

Obecność w niebezpiecznych strefach

Lokalizacja człowieka w trakcie wykonywania pracy przez nadzór elektroniczny pozwala uniknąć wielu wypadków, a w razie zdarzenia wypadkowego daje szansę na szybsze zlokalizowanie poszkodowanego i udzielenie mu pomocy przez służby ratunkowe. Systemy kontroli położenia użytkownika sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości najczęściej współpracują z innymi urządzeniami – takimi jak akcelerometry, żyroskopy i systemy alarmowe – przez co możliwe jest szybkie reagowanie w niebezpiecznej sytuacji. Monitorowanie lokalizacji pracownika może skutkować wysyłaniem – zarówno pracownikowi, jak i osobie go nadzorującej – informacji sygnalizującej jego obecność w strefie zabronionej lub wymagającej szczególnej ostrożności. Wybór sposobu kontroli położenia pracowników jest uzależniony m.in. od: liczby pracowników na placu budowy, wielkości obszaru poddanego nadzorowi, typu wykonywanej pracy oraz ewentualnej możliwości montażu urządzeń systemu nadzoru [20].

Dane literaturowe wskazują, że najpopularniejszą technologią wykorzystywaną w elektronicznych systemach nadzoru ludzi jest BLE (ang. *bluetooth low energy*) [20, 21]. Przykładowo szelki bezpieczeństwa są wyposażone w moduł bluetooth, który za pomocą komunikacji bezprzewodowej (fal elektromagnetycznych) łączy się z odbiornikami usytuowanymi wokół stref niebezpiecznych. Warunkiem koniecznym do wystąpienia połączenia jest odpowiednia odległość nadajnika od odbiornika, która zależy od wielu czynników, w tym np. od przeszkód (takich jak pracownik lub ściana) znajdujących się pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem lub od obecności innych urządzeń (np. sieci Wi-Fi czy telefonów komórkowych) emitujących fale elektromagnetyczne. Osoba nadzorująca bezpieczeństwo oraz

pracownik otrzymują powiadomienia (sygnały dźwiękowe i wibracyjne), gdy nastąpi połączenie między modułem na szelkach bezpieczeństwa a odbiornikami, co świadczy o obecności konkretnej osoby w obszarze niebezpiecznym [20]. Wykorzystanie technologii bluetooth w elektronicznych systemach nadzoru jest powszechne z uwagi na wiele zalet, do których można zaliczyć przede wszystkim łatwość użycia, szybkość, energooszczędność i niezawodność. Istotną zaletą jest również komfort użytkowania wynikający z niewielkiej masy urządzeń oraz braku przewodów, które mogłyby utrudniać wykonywanie pracy lub stać się przyczyną wypadków. Technologia bluetooth jest jednak podatna na zakłócenia i charakteryzuje się ograniczonym zasięgiem (do 1000 m w zależności od otoczenia), co może wykluczyć ją z użytkowania na rozległych placach budowy [21].

W przypadku otwartego terenu budowy zwykle stosuje się system nawigacji satelitarnej GPS (ang. *global positioning system*) – m.in. dlatego, że umożliwia jednocześnie monitorowanie dużej liczby pracowników [22]. Odbiorniki GPS mają niewielkie rozmiary, więc umieszcza się je w sprzęcie ochronnym i wewnątrz telefonów komórkowych, co pozwala na precyzyjne określenie położenia smartfona i jego właściciela zarazem. Przykładowo firma ASSECURO (polski producent sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości) proponuje aplikację FRIEND na smartfon z modułem GPS, która – jako dodatkowy element wyposażenia – monitoruje bezpieczeństwo osób pracujących na wysokości. W przypadku zaistnienia upadku człowieka z wysokości aplikacja samodzielnie powiadomi wskazaną przez użytkownika osobę oraz prześle jej dane dotyczące lokalizacji [23]. Funkcjonalność technologii GPS jest ograniczona z powodu możliwości zakłócenia lub przerywania sygnału np. wewnątrz budynków.

Na potrzeby identyfikacji położenia pracownika stosuje się również systemy bazujące na inteli-

gencji otoczenia Aml (ang. *ambient intelligence*) [24]. Jest to koncepcja polegająca na przechwytywaniu z otoczenia informacji na temat lokalizacji człowieka za pomocą czujników rozmieszczonych w obszarze podlegającym nadzorowi, a następnie – na przetwarzaniu tych danych. Inteligencja otoczenia integruje ze sobą rozwiązania technologiczne z różnych dziedzin, takich jak elektronika użytkowa, telekomunikacja i informatyka. Dzięki różnorodności technologii wykorzystanych do zabezpieczenia pracownika za pomocą Aml możliwa jest modyfikacja całego układu do konkretnego środowiska pracy. Przykładowo firma IMPEL [25] do inteligentnej ochrony pracowników na terenie budowy stosuje mobilne wieże monitorujące, czyli sieć kamer i czujników ruchu zdalnie monitorujących trudnodostępne i niebezpieczne obszary, zintegrowanych ze zdalną stacją alarmową. W przypadku wykrycia pracownika w miejscu zagrażającym jego życiu system automatycznie informuje o tym (za pomocą sygnałów dźwiękowych i świetlnych) osoby nadzorujące bezpieczeństwo. Główną zaletą tego typu rozwiązań jest zautomatyzowanie nadzoru nad pracownikami oraz szybkość reagowania na zagrożenia w miejscach, gdzie kontrola użytkownika w zakresie bezpiecznego wykonywania robót budowlanych jest trudna lub niemożliwa. Istnieje jednak ryzyko awarii jednego z komponentów systemu, co może skutkować niesprawnością całego układu zabezpieczeń [25].

Kolejną technologią, która znajduje zastosowanie w identyfikacji rozlokowania pracowników w środowisku pracy, jest modelowanie informacji o budynku BIM (ang. *building information modeling*). Według danych literaturowych w ostatnich latach odnotowano znaczący wzrost wykorzystania technologii BIM w trakcie budowania obiektów i można przypuszczać, że do 2030 r. wielkość rynku BIM podwoi się (z ok. 9 do ok. 17,5 mln dolarów) [26]. BIM zawiera wirtualny, trójwymiarowy model obiektu budowlanego, który obejmuje wszystkie informacje, które są niezbędne nie tylko na etapie projektowania i realizacji, lecz także podczas eksploatacji budynku. Model obiektu stanowi bazę danych dotyczących np. kosztorysu, wyposażenia, harmonogramu robót budowlanych, a także jest podstawą do podejmowania wszelkich decyzji w cyklu życia obiektu [27]. Wykorzystanie modelu BIM w trakcie powstawania i eksploatacji obiektu budowlanego wiąże się z integracją wielu technologii i urządzeń rozmieszczonych na terenie budowy, w tym: skanerów laserowych 3D, dronów z kamerami, projektorów multimedialnych, urządzeń wirtualnej rzeczywistości (do wizualizacji i monitoringu środowiska pracy), sprzętu komputerowego, routerów, nośników pamięci oraz dysków sieciowych (do składowania kopii plików czy zapewnienia łączności internetowej do przesyłania danych). Analiza informacji zawartych w modelu BIM we współpracy z innymi urządzeniami jest podstawą do określenia rozmieszczenia pracowników w trakcie wykonywania przez nich robót budowlanych [27].

Aktywność ruchowa pracownika

Jednym z sygnałów wskazujących na zdarzenie wypadkowe na stanowisku pracy może być zmiana aktywności ruchowej pracownika. Z doniesień literaturowych wynika, że najpopularniejszym rozwiązaniem technicznym służącym do monitorowania takiej aktywności są systemy bazujące na akcelerometrach. Analiza rozwiązań przeznaczonych do gromadzenia danych wykorzystywanych do wykrycia upadku pokazuje, że 26,7% analizowanych systemów bazuje wyłącznie na akcelerometrach, natomiast w ok. 21,1% przypadków stosowane są akcelerometry w połączeniu z innymi urządzeniami (np. żyroskopem, kamerą, czujnikiem siły) [28]. Akcelerometr w wyniku pomiaru przyspieszenia liniowego i kątownego pozwala na pomiar własnego ruchu, aczkolwiek najczęściej jest stosowany wraz z żyroskopem, który działa na zasadzie zachowania pędu i pozwala na określenie położenia w przestrzeni [29]. Ze względu na niewielkie rozmiary tych urządzeń możliwości ich połączenia ze środkami ochrony indywidualnej są niemal nieograniczone. Czujniki można umieścić – za pomocą pasków, naszywek, kieszeni, taśm – w takich miejscach, jak: nadgarstek, szyja, klatka piersiowa, uda, kolana [28]. Autorzy innych pozycji literaturowych zalecają montowanie czujnika najbliżej środka ciężkości człowieka, przy czym jako optymalne miejsce wskazują talię [9]. Sensory wbudowuje się również do powszechnie stosowanych telefonów komórkowych. Analiza ruchu telefonu, który pracownik podczas wykonywania pracy zwykle nieprzerwanie trzyma np. w kieszeni [30], dostarcza informacji na temat aktywności ruchowej użytkownika. Na rynku są również dostępne aplikacje współpracujące z czujnikami ruchu i upadku pracownika, które reagują na nietypowe sytuacje i wysyłają ostrzeżenia, umożliwiając szybkie udzielenie pomocy [31].

Interpretacja danych dostarczonych przez żyroskopy i akcelerometry pozwala na zidentyfikowanie stanu, w jakim znajduje się człowiek, np. stanu codziennej aktywności, bezruchu czy upadku [32]. Analizując te dane, przyjęto [29], że jednocześnie wykrycie przyspieszenia równego co najmniej 2,5g, wychylenia ciała człowieka powyżej 60° i bezruchu trwającego ponad 5 s, jest sygnałem, że pracownik się przewrócił lub spadł z wysokości i nie może samodzielnie wezwać pomocy. Skutkuje to uruchomieniem alarmu przez telefon komórkowy, w który wyposażony jest pracownik. Opracowany algorytm wykrywa zdarzenie wypadkowe także w sytuacji, gdy człowiek, upadając odruchowo, podeprze się ręką lub upadnie na kolano, a następnie uderzy resztą ciała o podłoże [29]. Według innych źródeł [33] wartością progową, której przekroczenie wskazuje na upadek (przewrócenie się), jest przyspieszenie równe 2,3g.

Udzielenie pomocy pracownikowi, którego upadek zidentyfikowano za pomocą żyroskopów i akcelerometrów, jest możliwe jedynie w przypadku zastosowania dodatkowej technologii,

k która daje sposobność poinformowania służb ds. bezpieczeństwa o zaistniałej sytuacji. Nowoczesne rozwiązania do wykrywania upadku są wspierane przez różne dziedziny techniki, zajmujące się przetwarzaniem informacji, tworzeniem programów komputerowych i systemów obliczeniowych, komunikacją, grafiką itp. Przykładowo wykrywanie upadku za pomocą akcelerometrów wbudowanych w dwa smartwatche jest oparte na sztucznej inteligencji i wykorzystaniu technologii bluetooth. Pomiar przyspieszeń nadgarstków użytkownika zarejestrowane przez akcelerometry są przesyłane za pomocą komunikacji BLE do komputera. Zgromadzone dane są analizowane przy użyciu aplikacji utworzonej w języku Python, a następnie operator otrzymuje raport o aktualnym stanie pracownika [9].

Inne niebezpieczne zjawiska

Praca na wysokości w warunkach placu budowy może się wiązać z zagrożeniami trudnymi do przewidzenia zarówno w zakresie przyczyn, jak i skutków. Przykładowo mogą to być: uderzenia przez poruszające się obiekty, upadki na tym samym poziomie bądź awarie techniczne skutkujące uszkodzeniami ciała. Bywa, że w takich sytuacjach konieczne jest wezwanie pomocy przez pracownika biorącego udział w niebezpiecznym zdarzeniu. Z tego powodu systemy nadzoru elektronicznego wyposaża się w urządzenia, które umożliwiają pracownikowi zdalne wezwanie pomocy. Integralnym elementem tych urządzeń jest przycisk umieszczony w zasięgu ręki człowieka, np. na pasie barkowym lub biodrowym szelek bezpieczeństwa, na odzieży ochronnej (zob. rys. 3). Naciśnięcie przycisku przez pracownika powoduje uruchomienie odpowiedniego nadajnika, którego sygnał jest odbierany przez układ odbiorczy systemu nadzoru, a informacja o wezwaniu pomocy jest przesyłana do wyznaczonej osoby, np. do pracownika służby bhp. W powiadomieniu tym zawarte są również dane identyfikacyjne osoby, która nadała sygnał, oraz dane dotyczące miejsca zdarzenia. Takie urządzenia służące do wzywania pomocy mogą współpracować z podzespołami sygnalizacyjnymi, np. świetlnymi lub akustycznymi, o bliskim zasięgu, tzn. w obrębie stanowiska pracy.

Podsumowanie

Przedstawione w artykule informacje wskazują, że elektroniczne systemy nadzoru bhp, oparte na nowoczesnych rozwiązaniach technicznych, mogą być bardzo cennym narzędziem poprawy bezpieczeństwa ludzi pracujących na wysokości. Dotyczy to zarówno dużych placów budowy, na których jest zatrudnionych wielu pracowników, jak i małych stanowisk pracy z kilkunastoma obsadą. Główną zaletą tych systemów jest automatyzacja nadzoru, która w znacznej mierze wspomaga tak pracowników, jak i ich przełożonych odpowiedzialnych za bezpieczeństwo. Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań

technicznych zapewnia monitorowanie działań pracowników, obejmujące niebezpieczne zdarzenia występujące w środowisku pracy – zwłaszcza takie, jak powstrzymanie spadania z wysokości, przewrócenie się człowieka i jego bezruch, będący skutkiem utraty przytomności. Jednym z najważniejszych proponowanych rozwiązań jest zastosowanie elektronicznych systemów nadzoru, opartych głównie na pomiarze sił działających w sprzęcie ochronnym, przyspieszeń i kąta pochylenia człowieka.

Zaprezentowane w artykule kontrolowanie stosowania indywidualnego sprzętu ochronnego oraz wchodzenia pracowników do niebezpiecznych stref pełni funkcje prewencyjne. Dzięki systemom wizyjnym oraz technologiom typu RFID, BLE, GPS i BIM możliwe jest wykrycie zagrożenia jeszcze przed wystąpieniem wypadku, np. spadania z wysokości, uderzenia przez ruchomy obiekt czy kolizji z pojazdami. Jest to niezwykle cenna właściwość elektronicznych systemów nadzoru bhp, pozwalająca na wymierne zwiększenie bezpieczeństwa pracowników, zwłaszcza zatrudnionych na dużych placach budowy. Podsumowując, przedstawione przykłady elektronicznych systemów nadzoru bhp, są wartościowym uzupełnieniem dotychczas stosowanych środków ochrony indywidualnej i zbiorowej, a ponadto służą jako narzędzie doskonalenia metod organizacji bezpiecznej pracy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wypadki przy pracy w 2022 r. Warszawa, Gdańsk: GUS, 2023.
- [2] Sprawozdanie z działalności Państwowej Inspekcji Pracy w 2022 r. Warszawa 2023.
- [3] BASZCZYŃSKI K. Ochrona przed upadkiem z wysokości – podstawowe zasady stosowania indywidualnych systemów powstrzymywania spadania. Praca i Zdrowie – Polskie Forum Ochrony Pracy. 2011, 2: 10–15.
- [4] SULOWSKI A.C. Fall arresting systems – selection of equipment. [W:] A.C. Sulowski (ed.), Fundamentals of fall protection. Toronto, Canada: International Society for Fall Protection, 1991.
- [5] PN-EN 354:2012. 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 353-2:2005. Środki ochrony indywidualnej chroniące przed upadkiem z wysokości – Część 2: Urządzenia samozaciskowe z giętką prowadnicą.
- [8] PN-EN 360: 2005. Środki ochrony indywidualnej chroniące przed upadkiem z wysokości – Urządzenia samohamowne.
- [9] DANILENKA A. et al. Real-Time AI-Driven Fall Detection Method for Occupational Health and Safety. Electronics. 2023, 12(20): 4257.

- [10] AMPHOUX M. Physiopathological aspects of personal equipment for protection against falls. [W:] A.C. Sulowski (ed.) Fundamentals of fall protection. Toronto, Canada: International Society for Fall Protection, 1991.
- [11] HEARON B.F., BRINKLEY J.W. Fall arrest and post-fall suspension: review and directions for further research. [W:] A.C. Sulowski (ed.) Fundamentals of fall protection. Toronto, Canada: International Society for Fall Protection, 1991.
- [12] SEDDON P. Harness suspension: review and evaluation of existing information. Contract Research Report 451/2002. Health and Safety Executive (HSE), 2002.
- [13] ORZECZ M.A. et al. Test program to evaluate human response to prolonged motionless suspension in three types of fall protection harnesses. Ohio, USA: Harry G Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory, Wright Patterson Air Force Base, 1987.
- [14] AMPHOUX M. Hanging after a fall: an extremely urgent rescue. Wuppertal, Germany, 1998.
- [15] GRALEWICZ G. System automatycznej identyfikacji i zarządzania środkami ochrony indywidualnej w zakładzie pracy. Zarządzanie Przedsiębiorstwem. 2014, 1: 31–36.
- [16] MUSU C., POPESCU V., GIUSTO D. Workplace Safety Monitoring using RFID Sensors. 22nd Telecommunications Forum TELFOR 2014, s. 656–659.
- [17] KELM A. et al. Mobile passive Radio Frequency Identification (RFID) portal for automated and rapid control of Personal Protective Equipment (PPE) on construction sites. Automation in Construction. 2013, 36: 38–52.
- [18] SHANTI M.Z. et al. Real-time monitoring of work-at-height safety hazards in construction sites using drones and deep learning. Journal of Safety Research. 2022, 83: 364–370.
- [19] FANG W. et al. Falls from heights: A computer vision-based approach for safety harness detection. Automation in Construction. 2018, 91: 53–61.
- [20] GOMEZ-DE-GABRIEL J. et al. Monitoring harness use in construction with BLE beacons. Measurement. 2019, 131: 329–340.
- [21] ZRADZIŃSKI P., KARPOWICZ J., GRYZ K. Charakterystyka emisji elektromagnetycznych związanych z użytkowaniem nasobnych urządzeń działających w technologii Internetu Rzeczy. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka. 2021, 5: 17–21.
- [22] AVOLUSI I., MARKS E., HALLOWELL M. Wearable technology or personalized construction safety monitoring and trending: Review of applicable devices. Automation in Construction. 2018, 85: 96–106.
- [23] Aplikacja FRIEND – alarm upadku NT001, <https://assecuro.pl/friend-fr002-alarm-upadku-aplikacja.html> [dostęp: 17.04.2024 r.].
- [24] PANUWATWANICH K. et al. Ambient intelligence to improve construction site safety: case of high-rise building in Thailand. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020, 17: 8124.
- [25] Strona internetowa Grupy Impel, 2024, <https://impel.pl> [dostęp: 17.04.2024 r.].
- [26] PADWAL P. Building Information Modeling (BIM) Market Size and Outlook. 2024.
- [27] PIWKOWSKI W. i in. Podręcznik BIM STANDARD PL. Polski Związek Pracodawców Budownictwa, 2020.
- [28] WARRINGTON D.J., SHORTIS E.J., WHITAKER P.J. Are wearable devices effective for preventing and detecting falls: an umbrella review (a review of systematic reviews). BMC Public Health. 2021, 21(2091); doi: 10.1186/s12889-021-12169-7.
- [29] HOU Y., LI N., HUANG Z. Triaxial accelerometer-based real time fall event detection. Sensors. 2012, 20(13): 3777.
- [30] YOUNG-GI W., TSAI S. Fall even detection by gyroscopic and accelerometer sensor in smart phone. Computers and Applications. 2015, 37(2): 60–66.
- [31] Aplikacja Oko BHP, <https://xafy.app/oko-bhp> [dostęp: 19.04.2024 r.].
- [32] AVOLUSI I., MARKS E., HALLOWELL M. Wearable technology or personalized construction safety monitoring and trending: Review of applicable devices. Automation in Construction. 2018, 85: 96–106.
- [33] TACCONI C., MELLONE S., CHIARI L. Smartphone-based applications for investigating falls and mobility. 5th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth) and Workshops, 2011; doi: 10.4108/icst.pervasivehealth.2011.246060.

Opracowano i wydano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy” (projekt nr II.PN.01 pt. „Elektroniczny system nadzoru nad bezpieczeństwem pracowników stosujących indywidualny sprzęt chroniący przed upadkiem z wysokości”), finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.



**Chroń siebie i innych
Noś półmaskę**

Ogólnopolska kampania społeczna mająca na celu poprawę świadomości w zakresie doboru oraz zasad stosowania półmasek filtrujących w życiu zawodowym i prywatnym



@nospolmaske



www.facebook.com/nospolmaske



www.ciop.pl/nos-polmaske

CIOP  **PIB**

