



dr inż. ANNA DĄBROWSKA (ORCID: 0000-0003-4295-3005)
 dr hab. inż. GRAŻYNA BARTKOWIAK (ORCID: 0000-0002-9292-0538)
 dr inż. SYLWIA KRZEMIŃSKA (ORCID: 0000-0002-3313-5898)
 mgr inż. AGNIESZKA GRESZTA (ORCID: 0000-0003-0183-5301)
 mgr inż. MONIKA KOBUS (ORCID: 0000-0003-3217-1050)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: andab@ciop.lodz.pl

DOI: 10.54215/BP.2022.09.24.Dabrowska

Badania wpływu zaawansowanej technologicznie odzieży ochronnej na stan psychofizyczny człowieka



Integracja mikroelektroniki i elektroniki noszonej ze środkami ochrony indywidualnej, w tym z odzieżą ochronną, z jednej strony sprawia, że można uzyskać zupełnie nowe funkcje tych środków, jednak z drugiej strony niewłaściwe ich zaprojektowanie może być potencjalnym źródłem zagrożenia dla użytkownika, np. przez spowodowanie nadmiernego obciążenia psychofizycznego. Z tego względu niezbędne jest badanie odzieży ochronnej wyposażonej w elektronikę noszoną pod kątem jej wpływu na obciążenie psychofizyczne człowieka.

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym podjęto działania w kierunku opracowania nowej metodyki badań, która pozwoliłaby ocenić wpływ aktywnej odzieży ochronnej, w tym z wbudowanymi czujnikami i modułami mikroelektronicznymi, na obciążenie psychofizyczne jej użytkownika w symulowanych warunkach przewidywanego stosowania.

Słowa kluczowe: inteligentne środki ochrony indywidualnej, aktywna odzież ochronna, obciążenie psychofizyczne, EEG, okulograf, przechwytywanie ruchu, platforma dynamograficzna, elektronika noszona

Studies on the impact of high-tech protective clothing on the psychophysical state of a human

The integration of microelectronics and wearable electronics with personal protective equipment (PPE) means that, on the one hand, completely new functions can be achieved, but on the other hand, their inappropriate design may be a potential source of danger for the user, e.g. by causing excessive psychophysical burden. For this reason, it is necessary to test protective clothing equipped with wearable electronics in terms of its impact on the psychophysical load of a human being.

At the Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, efforts were made to develop a new research methodology that would allow to fully investigate and evaluate the impact of smart protective clothing, including those with built-in sensors and microelectronic modules, on the psychophysical load of its user under simulated conditions of intended use.

Keywords: smart personal protective equipment, smart protective clothing, psychophysical load, EEG, eye tracker, motion capture, dynamographic platform, wearable electronics

Wstęp

Zorientowanie na człowieka (ang. *human centricity*) jest obecnie jednym z filarów założeń automatyzacji i cyfryzacji przemysłu. Potwierdza to raport Komisji Europejskiej z 2021 r. "Industry 5.0 Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry"¹. Wskazano w nim, że Przemysł 5.0 to zmiana podejścia w zakresie punktu startowego w pracach nad procesem produkcyjnym, polegająca na odejściu od skupienia się na powstających technologiach (ang. *emerging technologies*) i skoncentrowaniu się na potrzebach człowieka. Odchodzi się od założenia, że to pracownik przemysłowy powinien uzupełniać swoje kompetencje, aby nadążyć za szybko rozwijającymi się technologiami, a rzecz podejścia, że to technologia powinna dostosowywać proces produkcyjny do potrzeb człowieka. Wizja – zarówno Przemysłu 4.0, jak i 5.0 – wiąże się z szerokim wykorzystaniem technologii informacyjno-komunikacyjnych (ang. *information and communication technologies – ICT*) w bezpośrednim otoczeniu człowieka w celu jego monitorowania i na tej podstawie – odpowiedniego reagowania systemów zastosowanych w środowisku pracy. W związku z tym systemy te często są zintegrowane ze środkami ochrony indywidualnej (ŚOI), dobranymi na podstawie oceny ryzyka zawodowego na danym stanowisku pracy, a będąc w bliskim kontakcie z ciałem człowieka, mogą jednocześnie stanowić nośnik dla systemów ICT. Integracja mikroelektroniki i elektroniki noszonej z ŚOI powoduje, że z jednej strony można uzyskać zupełnie nowe funkcje tych środków, nieosiągalne w standardowych rozwiązaniach, jednak z drugiej strony niewłaściwe ich zaprojektowanie może być potencjalnym źródłem zagrożenia dla użytkownika, np. przyczyniać się do nadmiernego obciążenia psychofizycznego. Zgodnie z rozporządzeniem (UE) 2016/425 [1] dotyczącym ŚOI powinny być one tak zaprojektowane, aby wykluczały zagrożenia w przewidywanych warunkach użytkowania. Wszelkie utrudnienia związane z poruszaniem się, ze zmianą pozycji ciała i postzeganiem zmysłami w wyniku ich użytkowania należy zminimalizować. Dlatego konieczne jest, aby projektanci systemów ICT uwzględniali możliwości psychofizyczne człowieka.

Celem artykułu jest przedstawienie kierunków rozwoju metod badań do oceny wpływu zaawansowanych technologicznie ŚOI na obciążenie psychofizyczne człowieka – na przykładzie metod badań stosowanych w odniesieniu do aktywnej odzieży ochronnej.

Rynek zaawansowanych technologicznie środków ochrony indywidualnej

Obecnie dynamicznie rozwijającym się kierunkiem badań w zakresie ŚOI, a zwłaszcza

odzieży ochronnej, jest ich funkcjonalizacja przez wykorzystanie inteligentnych materiałów, jak również technologii informacyjno-komunikacyjnych. Rozwiązania te zakładają, że inteligentne ŚOI będą wspomagać człowieka w środowisku pracy przez dostosowywanie swoich właściwości ochronnych do poziomu zagrożenia, a także przez monitorowanie czynności życiowych pracownika i poziomu zagrożeń w środowisku pracy oraz stanu psychofizycznego pracownika (rys. 1) [2].

Wzrastającej tendencji rozwoju zaawansowanych ŚOI sprzyja znaczący postęp technologiczny. Technologie informacyjno-komunikacyjne są coraz częściej stosowane w odzieży inteligentnej, wskazywanej jako wiodący trend (źródło: www.digitaltrends.com)². W 2013 r. w Forrester Research Inc. [3] przeprowadzono badania ankietowe, z których wynika, że 44% respondentów stosowałoby elektronikę noszoną najchętniej jako element dołączany do odzieży. Wyniki te wskazują na wyraźną tendencję do wprowadzania na rynek wyrobów z elektroniką noszoną, która obecnie w głównej mierze dotyczy wyrobów sportowych. W obszarze ŚOI ten trend dotyczy głównie odzieży ochronnej.

Jednocześnie podkreśla się tendencję do znaczącego wzrostu produkcji ŚOI. Z raportu firmy Grand View Research [4], opublikowanego w 2021 r., wynika, że coraz większa świadomość w zakresie poprawy bezpieczeństwa, jak również rosnąca liczba śmiertelnych wypadków przy pracy, wynikająca z braku odpowiednich ŚOI, stają się motorem wzrostu światowego rynku ŚOI. W 2020 r. wielkość tego rynku oszacowano na poziomie ok. 77,36 mld dolarów,

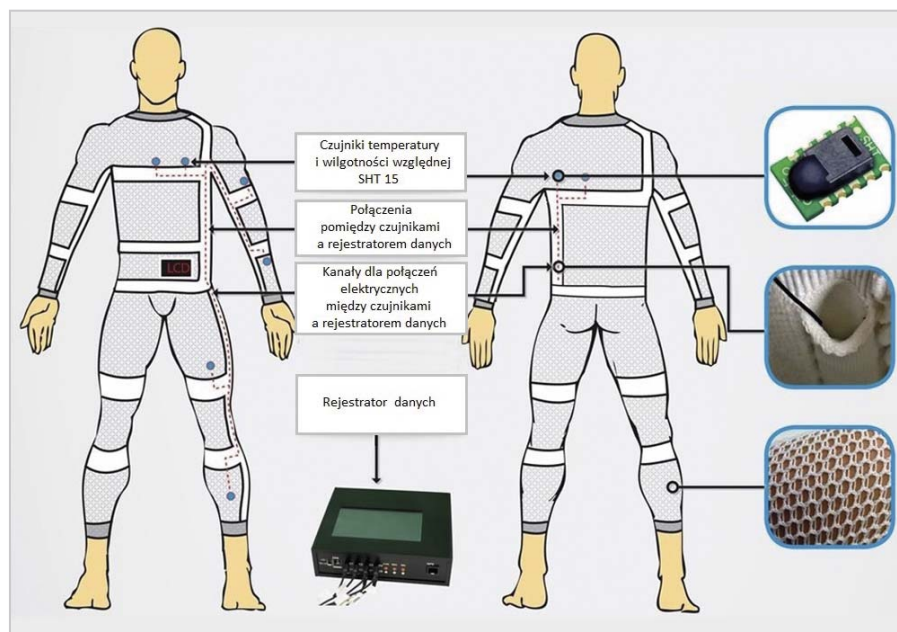
² M. Gokey. Why smart clothes, not watches, are the future of wearables. 2016. <http://www.digitaltrends.com/wearables/smart-clothing-is-the-future-of-wearables/> [dostęp: 10.12.2021].

natomiast w 2028 r. przewidyuje się wzrost do 112,07 mld dolarów. W celu zapewnienia bezpieczeństwa użytkownikom ŚOI zwraca się uwagę na potrzebę prowadzenia kompleksowych badań całych zestawów tych środków – analogicznie do „tradycyjnych” środków stosowanych w środowisku pracy.

Zaawansowane technologicznie środki ochrony indywidualnej

Mimo wzrastającego zapotrzebowania na zaawansowane technologicznie ŚOI wciąż istnieją bariery, które uniemożliwiają wprowadzenie ich na rynek. Tymi hamulcami są przede wszystkim nieunormowane metody badań i wymagań [5, 6]. Zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 [1] oraz rozporządzeniem w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy [7] ŚOI nie mogą powodować same z siebie zwiększonego zagrożenia. Z tego powodu wraz z implementacją w konstrukcję ŚOI materiałów inteligentnych i technologii informacyjno-komunikacyjnych pojawiają się nowe aspekty ich oceny. Dotyczy to przede wszystkim zagadnień związanych ze skutecznością i niezawodnością wykorzystanych zaawansowanych technologicznie rozwiązań oraz ich wpływu na właściwości ochronne i ergonomiczne ŚOI. Szczególnie ważne w tych badaniach jest zapewnienie warunków do oceny stanu psychofizycznego użytkownika w przewidywanych warunkach stosowania tych środków [2].

Potrzebę prowadzenia takich badań potwierdza m.in. raport dotyczący inteligentnych ŚOI (ang. *smart PPE*), opublikowany przez Fortune Business Insights w styczniu 2022 r. [8]. W raporcie tym podkreślono, że elektronika noszona wkracza na rynek ŚOI z uwagi na oczekiwaną przez pracodawców poprawę wydajności



Rys. 1. System do pomiaru parametrów mikroklimatu pododzieżowego (źródło własne)
Fig. 1. System for measuring the parameters of the undergarment microclimate (own source)

¹ [https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/468a892a-5097-11eb-b59f-01aa75ed71a1/](https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/468a892a-5097-11eb-b59f-01aa75ed71a1) [dostęp: 10.12.2021].

i bezpieczeństwa pracy oraz możliwe oszczędności wynikające z aktywnej prewencji wypadkowej. Szczególnie wysoki potencjał aplikacyjny wskazano w przypadku służb ratownictwa medycznego, górnictwa, przemysłu samochodowego, przemysłu petrochemicznego oraz sektora produkcyjnego.

Zagadnienie to zostało również dostrzeżone przez grupę CEN-CLC BT WG8 powołaną przez Komisję Europejską w ramach mandatu M/509 "Protective textiles and personal protective clothing and equipment" [5], która w swoim raporcie sformułowała potrzeby w zakresie prac normalizacyjnych dotyczących ŚOI. Zidentyfikowane priorytetowe obszary prac dotyczyły zwłaszcza nowych metod badań oraz kryteriów pozwalających na:

- kompleksową ocenę ŚOI (tj. „od stóp do głowy i od skóry do warstwy zewnętrznej”) w zakresie: kompatybilności ich zestawów, integracji dodatkowych elementów (np. elektroniki noszonej) z ŚOI oraz funkcjonalności tych środków, w tym z wbudowanymi czujnikami i modułami mikroelektronicznymi;
- ocenę skuteczności, niezawodności i trwałości inteligentnych ŚOI w przewidywanych warunkach ich użytkowania.

Problematyka nieistniejących obecnie wymagań oraz metod badań uwzględniających specyfikę określonego rodzaju inteligentnego środka ochrony indywidualnej została także poruszona w dokumencie przygotowanym przez Komisję Europejską pt. "Smart wearables: Reflection and Orientation Paper" [6]. Istotnym aspektem w obszarze bezpiecznego stosowania ŚOI jest ich akceptowalność przez potencjalnych użytkowników. W związku z tym konieczne jest prowadzenie badań obciążenia psychofizycznego wynikającego z zastosowania ŚOI [9-11].

Metody badań i oceny wpływu zaawansowanych technologicznie środków ochrony indywidualnej na obciążenie psychofizyczne człowieka

Mimo znaczących korzyści, jakie może przynieść integracja mikroelektroniki z odzieżą ochronną, nieprawidłowe zastosowanie tej technologii w odzieży ochronnej – zwłaszcza w warunkach ekstremalnych zagrożeń – może doprowadzić do zwiększenia obciążenia psychofizycznego użytkownika, np. na skutek: przeładowania informacyjnego, nieintuicyjnego interfejsu, nieprawidłowego rozmieszczenia mikroelektroniki w odzieży czy jej niedostosowania do warunków panujących w środowisku pracy. Problemem jest również ocena kompatybilności zestawów ŚOI z funkcjami aktywnymi w aspekcie zachowania cech ochronnych oraz zapewnienia wygody użytkownika.

Obecnie wskazuje się na czynnik ludzki jako kluczowy w zapewnieniu akceptowalności stosowania elektroniki noszonej, przy czym istnieje brak znormalizowanych metod badań, które

pozwołyby w pełni zbadać i ocenić wpływ danej aktywnej odzieży ochronnej, w tym odzieży z wbudowanymi czujnikami i modułami mikroelektronicznymi, na obciążenie psychofizyczne użytkownika w symulowanych warunkach przewidywanego stosowania. Jednocześnie w dążeniu do coraz lepszego poznania organizmu człowieka rozwijana jest nowoczesna aparatura, umożliwiająca realizację badań z zakresu biomonitoringu człowieka (np. elektroencefalograf, okulograf, system przechwytywania ruchów ciała). W tym kontekście niezbędne jest opracowanie nowej metodyki badań do oceny aktywnej odzieży ochronnej, w tym odzieży z wbudowanymi czujnikami i modułami mikroelektronicznymi, pod kątem jej wpływu na obciążenie psychofizyczne człowieka oraz uwzględnienie w tej metodyce nowoczesnej aparatury z zakresu biomonitoringu człowieka, a także ujęcie jej w realizacji badań i ocenie symulowanych warunków potencjalnego użytkowania.

Prace mające na celu opracowanie takiej metodyki zostały podjęte w CLOP-PIB. Jednym z aspektów badań jest ocena wpływu

aktywnej odzieży ochronnej i ewentualnego dodatkowego wyposażenia pracownika na ruch jego ciała oraz obciążenie w symulowanych warunkach ich użytkowania [9, 10]. Do tego celu są wykorzystywane: bezprzewodowy system do przechwytywania ruchu (ang. *motion capture*) oraz platforma dynamograficzna do oceny sił reakcji podłoża. Z kolei do oceny wpływu aktywnej odzieży ochronnej na odczucia i funkcje poznawcze uczestników służy elektroencefalograf. Ważne z punktu widzenia obciążenia psychofizycznego człowieka jest również badanie śledzenia ruchów gałek ocznych użytkownika. Doskonałym narzędziem do tego typu badania jest okulograf. W metodyce badań aktywnej odzieży ochronnej założono również wykorzystanie systemu telemetrycznego, umożliwiającego monitorowanie stanu zdrowia uczestników badań w czasie rzeczywistym w celu zapewnienia ich bezpieczeństwa. System ten jest również wykorzystywany do oceny obciążenia psychicznego, wynikającego np. z przeładowania informacyjnego spowodowanego zintegrowanymi z odzieżą systemami elektronicznymi.



Rys. 2. Przykładowe wykresy biomechaniczne: pozycja stojąca (a) i ćwiczenie „wykrok do przodu” (b) (źródło własne)
 Fig. 2. Examples of biomechanical charts: standing position (a) and exercise "step forward" (b) (own source)

System przechwytywania ruchów ciała (motion capture)

Celem badań aktywnej odzieży ochronnej z wykorzystaniem systemu przechwytywania ruchów ciała jest przeanalizowanie i ocena zakresu ruchów uczestnika w poszczególnych stacjach podczas ćwiczeń. Zakres wykonywanych ruchów wpływa na obciążenie psychofizyczne człowieka. Z kolei identyfikacja reprezentatywnych ruchów odzwierciedlających czynności zawodowe jest bardzo ważna w procesie ergonomicznego projektowania odzieży ochronnej.

System do przechwytywania ruchów ciała opiera się na technologii inercyjnej. Przechwytuje on ruch ciała za pomocą czujników inercyjnych przymocowanych do ciała człowieka i przetwarza je na format cyfrowy. Podczas badania pozycja awatara, wyświetlana w programie, na bieżąco odzwierciedla ruchy użytkownika (rys. 2).

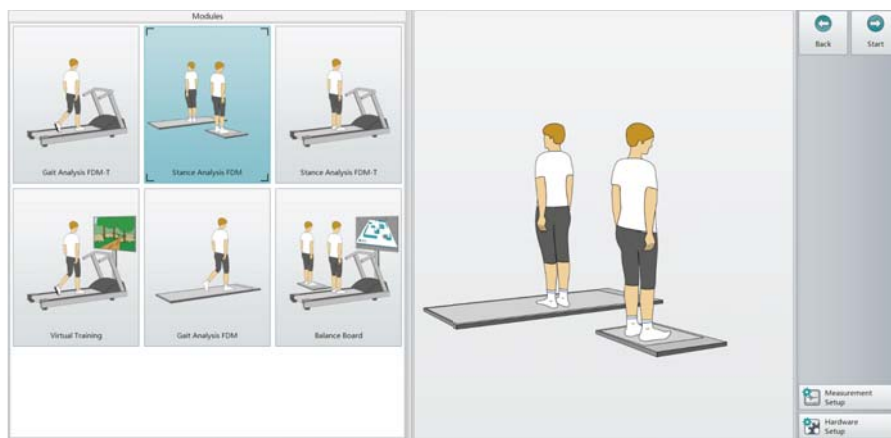
Platforma dynamograficzna

Zastosowanie platformy dynamograficznej pozwala ocenić wpływ aktywnej odzieży ochronnej na układ równowagi. Odzież ochronna zintegrowana z dodatkowymi elementami elektronicznymi (np. czujnikami, systemem ogrzewania, akumulatorami) może mieć wpływ na stabilność pozycji ciała użytkowników odzieży. Nadmierne obciążenie określonej strony sylwetki i zachwianie równowagi człowieka może wynikać z dodatkowej masy elementów elektronicznych w odzieży lub też z ich rozlokowania. Aktywność tych elementów również może powodować dekoncentrację użytkownika.

Platforma dynamograficzna będąca na wyposażeniu CIOP-PIB służy do pomiaru rozkładu gęstości sił statycznych i dynamicznych, powstających pod stopami w czasie stania i chodzenia, a także do rejestracji zmiany położenia punktu określanego jako środek nacisku stóp COP (ang. *centre of pressure*) w funkcji czasu. Powierzchnia pomiarowa charakteryzuje się rozkładem sensorów o wartości 1,4 sensora/cm². Integralną częścią platformy jest oprogramowanie służące do rejestracji przebiegu eksperymentu oraz analizy wyników badań (rys. 3 i 4).

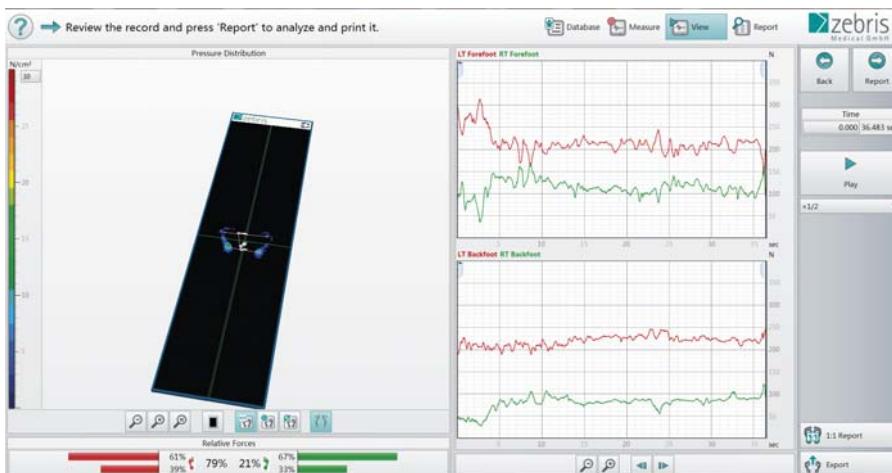
Elektroencefalograf (EEG)

Istotnym aspektem w obszarze bezpiecznego stosowania aktywnej odzieży ochronnej jest jej akceptowalność przez użytkowników. Właśnie dlatego w metodyce badań uwzględniono również badania obciążenia psychofizycznego z wykorzystaniem m.in. elektroencefalografu [11]. Aparatura ta ma zastosowanie w badaniach zaawansowanych technologicznie ŚOI, które z uwagi na zintegrowaną elektronikę i związane z nią generowanie sygnałów mogą powodować dodatkowe obciążenie dla człowieka w środowisku pracy. Badania z wykorzystaniem elektro-



Rys. 3. Widok ekranu głównego w programie (źródło własne)

Fig. 3. Main screen view in software (own source)



Rys. 4. Widok ekranu wyświetlanego w programie podczas rejestracji przykładowego pomiaru (źródło własne)

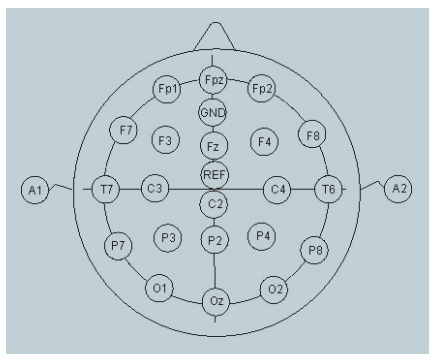
Fig. 4. View of the screen displayed in software while recording an exemplary measurement (own source)

Fot. 1. Czepek z elektrodami do badań EEG oraz schemat rozmieszczenia elektrod (źródło własne)

Photo 1. Cap with electrodes for EEG tests and a diagram of the placement of electrodes (own source)

encefalografu służyć do oceny wpływu aktywnej odzieży ochronnej, w tym z wbudowanymi czujnikami i modułami mikroelektronicznymi, na funkcje poznawcze mózgu uczestników badań (percepcję, uwagę, odczucia). Zmęczenie psychiczne pracownika jest niebezpiecznym zjawiskiem, gdyż może doprowadzić do wypadku w miejscu pracy.

Do badań elektroencefalograficznych w CIOP-PIB wykorzystywany jest system służący do rejestracji sygnału EEG, składający się z czepek z elektrodami żelowymi typu Ag/AgCl oraz bezprzewodowego 256-kanalowego wzmacniacza. Wzmacniacz służy do gromadzenia, przechowywania w pamięci wewnętrznej i przesyłania sygnałów aktywności bioelektrycznej mózgu użytkownika. Sygnały te są zbierane przez elektrody czepek zakładanego uczestnikowi (fot. 1), a następnie przekazywane są do wzmacniacza, który przekształca je do postaci cyfrowej. Sygnał EEG jest rejestrowany z częstotliwością próbkowania 256 Hz. Do akwizycji i analizy danych służy program



komputerowy, którego widok ekranu przykładowego zapisu EEG przedstawiono na rys. 5.

Okulograf (eye tracker)

Do doskonałym narzędziem do analizy ścieżki koncentracji wzroku w trakcie trwania eksperymentu jest okulograf. Może on znaleźć zastosowanie w ocenie ŚOI z funkcją sygnalizacji i wizualnych interfejsów, będących częścią odzieży (moduł zintegrowany lub w postaci aplikacji mobilnej na smartfonie).

Okulograf, który znajduje się na wyposażeniu CIOP-PIB, umożliwia śledzenie ruchu gałek

ocznych użytkownika (fot. 2) z częstotliwością 50 lub 100 Hz. Okulary pozwalają na obiektywny wgląd w to, na co dokładnie patrzy uczestnik w czasie rzeczywistym. Konstrukcja okularów zapewnia maksymalne pole widzenia, a dołączone czujniki akcelerometru i żyroskopu pozwalają rozróżnić ruchy głowy i oczu³. Integralną częścią okulografu jest oprogramowanie do rejestracji przebiegu eksperymentu i analizy wyników badań (fot. 3).

³ <https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-glasses-2> [dostęp: 29.10.2021].

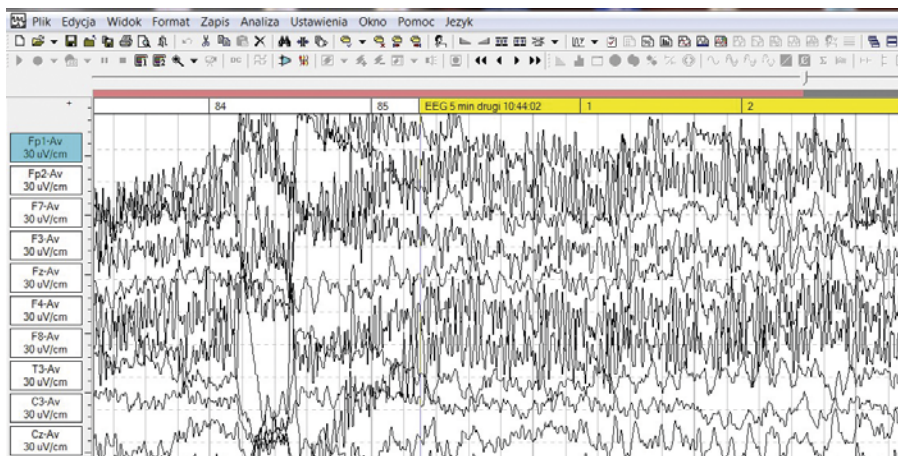
System telemetryczny do monitorowania stanu zdrowia

W metodyce badań aktywnej odzieży ochronnej założono również wykorzystanie systemu telemetrycznego, umożliwiającego monitorowanie stanu zdrowia uczestników badań w czasie rzeczywistym, w celu zapewnienia ich bezpieczeństwa.

Podstawowym celem badań jest ocena wpływu aktywnej odzieży ochronnej na stan fizjologiczny uczestnika badań. Badania takie mają znaczenie zwłaszcza przy ocenie aktywnej odzieży w środowisku zimnym (odzieży z funkcją ogrzewania) lub gorącym (odzieży z systemem chłodzenia). Nadmierny wzrost częstości skurczów serca czy częstości oddechów może wynikać nie tylko z obciążenia termicznego człowieka, lecz także z obciążenia psychicznego.

W CIOP-PIB do tego typu badań stosuje się system do monitorowania parametrów fizjologicznych (fot. 4). Umożliwia on monitorowanie częstości skurczów serca, częstości oddechów, temperatury skóry, pozycji i ruchu za pomocą połączonych monitora EKG i oddechu, wbudowanego termometru medycznego i trójosiowego akcelerometru. System bazuje na bezprzewodowej komunikacji z komputerem i charakteryzuje się niską masą⁴.

⁴ <https://www.equival.com/products/eq02-lifemonitor> [dostęp: 6.12.2021].



Rys. 5. Widok ekranu w programie podczas rejestracji przykładowego zapisu EEG (źródło własne)
Fig. 5. View of the screen in software during an exemplary EEG recording (own source)

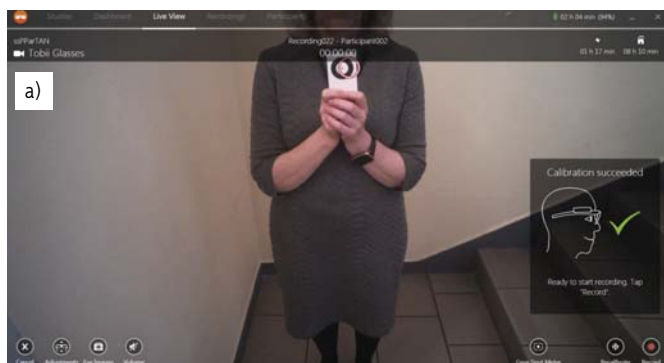


Fot. 2. Okulograf (źródło własne)
Photo 2. Eye tracker (own source)



Fot. 4. Kamizelka wraz z nadajnikiem zbierającym dane i zapewniającym bezprzewodową komunikację z programem komputerowym (źródło własne)

Photo 4. Vest with a transmitter collecting data and ensuring wireless communication with a computer software (own source)



Fot. 3. Widok ekranu programów do obsługi okulografu: a) do rejestracji badania, b) do analizy badania (źródło własne)
Photo 3. View of the screen of the eye tracker software: a) for study registration, b) for study analysis (own source)

Podsumowanie

Zaawansowane technologicznie ŚOI, w tym aktywna odzież ochronna wyposażona w elektronikę noszoną, mogą wspomagać człowieka w środowisku pracy przez dostosowywanie swoich właściwości ochronnych do poziomu zagrożenia, a także dzięki monitorowaniu czynności życiowych pracownika i poziomu zagrożeń w środowisku pracy. Niestety, mogą one prowadzić również do zwiększenia obciążenia psychofizycznego użytkownika, np. wskutek przeładowania informacyjnego, nieintuicyjnego interfejsu, nieprawidłowego rozmieszczenia mikroelektroniki czy jej niedostosowania do warunków panujących w środowisku pracy. Dlatego tak ważne jest, aby ŚOI wyposażone w elektronikę noszoną były badane pod kątem wpływu na obciążenie psychofizyczne ich użytkowników w symulowanych warunkach użytkowania. Obecnie nie ma znormalizowanych metod badań, co jest głównym problemem hamującym rozwój rynku inteligentnych ŚOI. Prace w kierunku opracowania nowej metodyki badań do oceny aktywnej odzieży ochronnej, w tym odzieży z wbudowanymi czujnikami i modułami mikroelektronicznymi, w aspekcie jej wpływu na obciążenie psychofizyczne człowieka zostały podjęte w CIOP-PIB. Do badań jest wykorzystywana nowoczesna aparatura z zakresu biomonitoringu człowieka:

- elektroencefalograf – do oceny wpływu aktywnej odzieży na percepcję i skupienie uwagi jej użytkownika,
- okulograf – do analizy ścieżki koncentracji wzroku podczas oceny odzieży ochronnej z funkcją sygnalizacji zagrożeń,
- system do przechwytywania ruchów ciała – do oceny wpływu aktywnej odzieży na ograniczenia ruchowe człowieka,
- platforma dynamograficzna – do oceny wpływu ŚOI na równowagę użytkownika,
- system telemetryczny – do monitorowania stanu fizjologicznego uczestnika badań w czasie rzeczywistym.

Kompleksowa metodyka badań zaproponowana przez naukowców z CIOP-PIB pozwala w pełni zbadać i ocenić wpływ aktywnej odzieży ochronnej na obciążenie psychofizyczne jej użytkownika w symulowanych warunkach przewidywanego stosowania. Uzyskane wyniki badań mogą posłużyć do zweryfikowania struktury aktywnej odzieży ochronnej oraz do jej udoskonalenia, a przez to – do zwiększenia jej akceptowalności przez przyszłych użytkowników.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 z dnia 9 marca 2016 r. w sprawie środków ochrony indywidualnej oraz uchylenia dyrektywy Rady 89/686/EWG.
- [2] PODGÓRSKI D. i in. Towards a conceptual framework of OSH risk management in smart

working environments based on smart PPE, ambient intelligence and the Internet of Things technologies. *International Journal of Occupational Safety and Health*. 2016, 23(1): 1-20, doi: 10.1080/10803548.2016.1214431.

[3] Forrester Research Inc., North American Technographics, Consumer Technology Survey, 2013.

[4] Grand View Research, Personal Protective Equipment Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Respiratory Protection, Protective Clothing), By End-use (Healthcare, Manufacturing), By Region, And Segment Forecasts, 2021-2028.

[5] CEN-CENELEC BT WG 8, Programming Mandate M/509: protective textiles and personal protective clothing and equipment, Final report, 2014.

[6] European Commission, Smart wearables: Reflection and Orientation Paper, 2016.

[7] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (t.j. Dz.U. z 2003 r. nr 169, poz. 1650 z późn. zm.).

[8] Fortune Business Insights. Smart PPE Technology Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Product Type (Smart Safety Gloves, Smart Shoes, Smart Eyewear, Smart Protective Clothing, Smart Earmuffs/Plugs, Smart Respirator, and Others), By Application (Healthcare & Medical, Fitness & Wellness, Infotainment, Industrial, Military, and Others), and Regional Forecast, 2021-2028.

[9] BARTKOWIAK G., DĄBROWSKA A. Ergonomia środków ochrony indywidualnej. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*. 2016, 1(532): 27-29.

[10] LIN X. i in. Ergonomic evaluation of protective clothing for earthquake disaster search and rescue team members. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2016, 28(6): 820-829, doi: 10.1108/IJCT-11-2015-0124.

[11] CHENG S.-Y., HSU H.-T. Mental Fatigue Measurement Using EEG, [W:] G. Nota (red.), *Risk Management Trends*, INTECH. 2011, 203-228, doi: 10.5772/16376.

Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny i Polityki Społecznej (zadanie nr 3.SP.01 pt. „Opracowanie metodyki badań i kryteriów oceny wpływu aktywnej odzieży ochronnej, w tym z wbudowanymi czujnikami i modułami mikroelektronicznymi, na obciążenie psychofizyczne człowieka w symulowanych warunkach użytkowania”). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

PRENUMERUJ
PRENUMERUJ
PRENUMERUJ
PRENUMERUJ
PRENUMERUJ

BEZPIECZEŃSTWO PRACY nauka i praktyka



WWW.CIOP.PL

e-mail:
bpredakcja@ciop.pl

PRENUMERUJ
PRENUMERUJ
PRENUMERUJ
PRENUMERUJ