

Anna Dąbrowska
Monika Kobus
Magdalena Młynarczyk



**ODZIEŻ
OCHRONNA
Z
FUNKCJĄ
AKTYWNEGO
CHŁODZENIA
WYKORZYSTUJĄCA
ZJAWISKO
TERMoeLEKTRYCZNE**

Materiały informacyjne

Opracowano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt nr III.PB.09 pt. *Opracowanie odzieży ochronnej z funkcją aktywnego chłodzenia wykorzystującą zjawisko termoelektryczne (ogniwa Peltiera)*

Koordinator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autorki: dr inż. Anna Dąbrowska, mgr inż. Monika Kobus, dr inż. Magdalena Młynarczyk
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2022

CIOP  **PIB**
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (48-22) 623 36 98, www.ciop.pl

Konspekt:

- Obciążenie cieplne podczas pracy w odzieży ochronnej – przyczyny i konsekwencje dla zdrowia.
- Wykorzystanie zjawiska termoelektrycznego jako metody ograniczania obciążenia cieplnego człowieka.
- Konstrukcja odzieży ochronnej z funkcją aktywnego chłodzenia.
- Aspekty związane z bezpieczeństwem prototypu odzieży ochronnej z funkcją aktywnego chłodzenia.
- Funkcjonalność i ergonomia odzieży ochronnej z funkcją aktywnego chłodzenia.

Praca w mikroklimacie gorącym może stanowić obciążenie dla organizmu człowieka. Jeżeli w wyniku warunków mikroklimatu, ciepło „produkowane” przez pracownika (zależne m.in. od ciężkości wykonywanej pracy oraz rodzaju stosowanej podczas pracy odzieży (Cul et al., 2012; Marszałek & Sołtyński, 2001) nie może zostać w pełni „odebrane” przez środowisko zewnętrzne, dochodzi wówczas do zaburzenia bilansu cieplnego organizmu. Konsekwencją długotrwałego przebywania (pracy) w mikroklimacie gorącym jest wzrost temperatury wewnętrznej powyżej bezpiecznej dla organizmu wartości 38 °C. Funkcją układu termoregulacji jest utrzymanie homeostazy termicznej¹, na poziomie temperatury wewnętrznej równej 37 °C ± 1 °C (Bogdan et al., 2012; Młynarczyk et al., 2021). Jedną z dróg zabezpieczającą organizm przed „przeegraniem” jest rozszerzenie naczyń krwionośnych, czemu zwiększa się powierzchnia wymiany ciepła pomiędzy organizmem

z otoczeniem. Praca w mikroklimacie gorącym znacząco wpływa również na efektywność wykonywanej pracy. Obserwuje się, że wraz ze wzrostem temperatury otoczenia występują większe trudności ze skupieniem się, zwiększa się liczba popełnianych błędów, a także zmniejsza się zdolność do wykonywania pracy fizycznej (Traczyk & Trzebski, 2001; Bogdan et al., 2012; Gwóźdź B., 2001). Najpoważniejszym zagrożeniem zdrowia mogącym wystąpić w czasie przebywania (pracy) w mikroklimacie gorącym jest udar cieplny, który występuje, gdy układ termoregulacji organizmu nie jest w stanie samodzielnie obniżyć temperatury wewnętrznej. Należy pamiętać, że udar cieplny wymaga natychmiastowej hospitalizacji.

Wciąż nie zostało opracowane rozwiązanie indywidualnego układu chłodzącego, które kompleksowo odpowiadałoby na istniejące potrzeby osób zatrudnionych w warunkach mikroklimatu gorącego. Znacząca miniaturyzacja i postęp technologiczny obserwowany w ostatnich latach w obszarze elektroniki noszonej sprawia, że obiecującym kierunkiem rozwoju systemów chłodzących wydaje się wykorzystanie do tego celu modułów Peltiera, bazujących na zjawisku termoelektrycznym. Zjawisko to objawia się tym, że przepływ prądu przez obwód złożony z różnych przewodników powoduje pochłanianie ciepła na jednym jego złączu (miejscu styku przewodników) i wydzielanie na drugim (Królicka et al., 2012). W wyniku czego jedna strona modułu, nazywana zimną, jest chłodzona, a strona przeciwna, gorąca, wymaga odprowadzania gromadzonego ciepła do środowiska. W tym celu stosowane są radiatory, które rozpraszają ciepło do otoczenia.

W Zakładzie Ochrony Osobistych CIOP-PIB, we współpracy z Katedrą Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej oraz firmą PW Krystian sp. z o. o. opracowano prototyp odzieży

¹ **Homeostaza** czyli zachowanie równowagi środowiska wewnętrznego organizmu niezależnie od zmiennych wpływów otoczenia

ochronnej z funkcją aktywnego chłodzenia wykorzystującą zjawisko termoelektryczne. Opracowana odzież ma formę szelek, których konstrukcja umożliwia dobre przyleganie odzieży do ciała, co pozytywnie wpływa na uzyskiwany efekt chłodzący. Funkcję chłodzącą w opracowanej odzieży pełni 6 elastycznych modułów termoelektrycznych firmy TEGway zintegrowanych z szelkami. Odzież zapewnia chłodzenie:

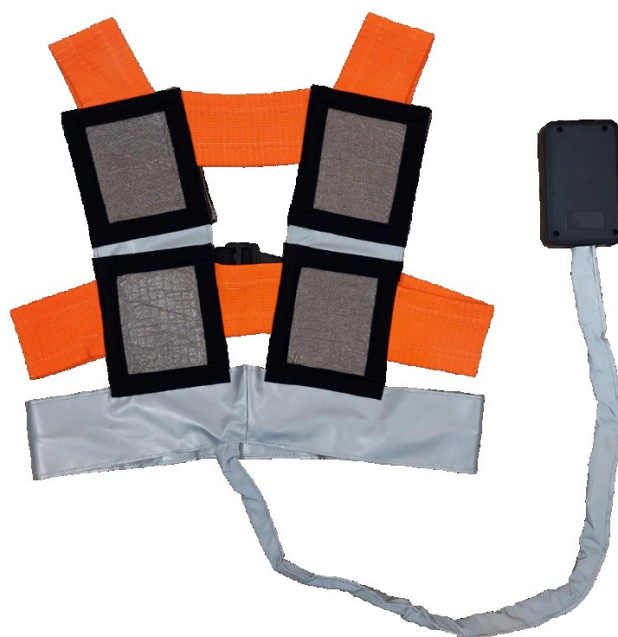
- klatki piersiowej – 2 moduły termoelektryczne umieszczone w górnej części szelek na przodzie,
- górnej części pleców – 2 moduły termoelektryczne umieszczone w górnej części szelek na tyle,
- środkowej części pleców – 2 moduły termoelektryczne umieszczone w dolnej części szelek na tyle.

Oprócz tego odzież wyposażona jest w czujnik temperatury mikroklimatu pododzieżowego, sterownik, umożliwiający sterowanie systemem chłodzącym, źródło zasilania oraz kieszeń na układ sterujący.

Opracowaną odzież ochronną z funkcją aktywnego chłodzenia przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Szelki umożliwiają użytkownikowi wybór jednego z pięciu poziomów chłodzenia za pomocą sterownika, zapewniając dostosowanie mocy chłodzącej do jego indywidualnych preferencji. Możliwe jest to dzięki zastosowaniu czujnika temperatury mikroklimatu pododzieżowego. Na tej podstawie moc chłodząca dobierana jest automatycznie do poziomu chłodzenia wybranego przez użytkownika. Sterownik wyposażony jest w przyciski włączania/wyłączania, zmiany poziomu chłodzenia oraz wskaźnik LED informujący o aktualnie wybranym poziomie chłodzenia. Sterownik zasilany jest za pomocą powerbanka np. o pojemności 15 000 mAh.



Rysunek 1. Prototyp odzieży ochronnej z funkcją aktywnego chłodzenia – przód

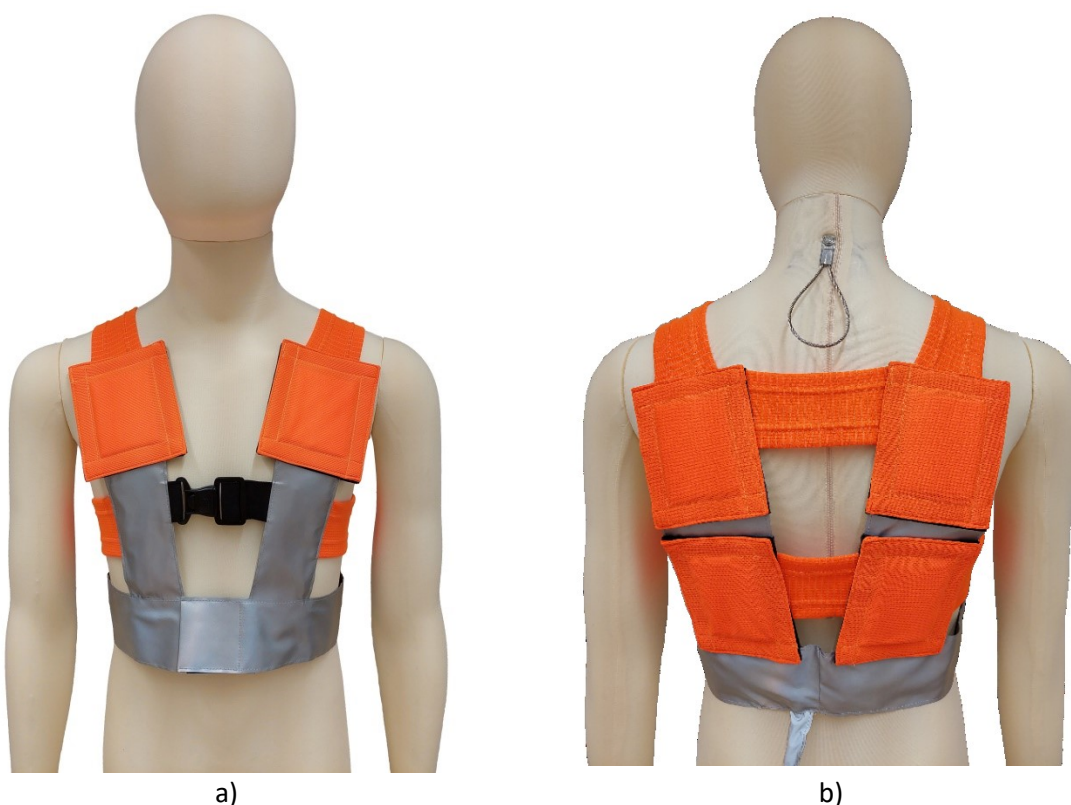


Rysunek 2. Prototyp odzieży z funkcją aktywnego chłodzenia – tył

Po włączeniu zasilania układu chłodzącego obniżana jest temperatura strony zimnej modułów termoelektrycznych znajdującej się przy ciele użytkownika odzieży, czego konsekwencją jest podwyższenie temperatury strony zewnętrznej modułów (strona gorąca modułów termoelektrycznych). Istotnym faktem w utrzymaniu efektu chłodzenia po stronie zimnej modułów jest odbieranie ciepła wydzielanego po ich stronie gorącej. W celu odbierania ciepła z zewnętrznej strony modułów termoelektrycznych stosowane są moduły rozpraszające ciepło, które wykonują to zadanie wykorzystując efekt parowania wody. W związku z tym przed rozpoczęciem działania systemu chłodzącego należy namoczyć moduły rozpraszające ciepło przez krótką chwilę w wodzie

o temperaturze pokojowej, a następnie umieścić w wyznaczonych miejscach na odzieży, tj. na modułach termoelektrycznych.

Opracowana odzież ochronna z funkcją aktywnego chłodzenia (Rysunek 3) charakteryzuje się niewielką masą (mniejszą niż 1 kg), prostym w obsłudze systemem sterującym oraz uniwersalnym źródłem zasilania. Istotnym czynnikiem decydującym o skuteczności chłodzenia opracowanego prototypu odzieży z funkcją aktywnego jest zapewnienie jak najlepszego przylegania modułów termoelektrycznych do ciała użytkownika. Z tego względu w opracowanym rozwiązaniu wprowadzono systemy regulacji oraz różne rozmiary odzieży. Dzięki temu możliwe będzie zapewnienie dobrego przylegania odzieży do sylwetki użytkowników o różnej budowie ciała, co byłoby niemożliwe stosując jeden, uniwersalny rozmiar.



Rysunek 3. Prototyp odzieży ochronnej z funkcją aktywnego chłodzenia wykorzystującej zjawisko termoelektryczne zaprezentowany na manekinie; a) przód; b) tył

Sterownik połączony jest bezpośrednio z modułami termoelektrycznymi wiązką kabli ukrytą w osłonie z taśmy odblaskowej. Wyprowadzenie wiązki kabli z szelek usytuowane jest na plecach, dzięki czemu nie stanowi ona problemu podczas wykonywanej pracy. Sterownik i powerbank umieszczone są w specjalnej kieszeni doczepianej do paska spodni. Kieszeń został wyposażona w rzep, który można doczepić do spodni, co zapobiega jej przemieszczaniu w trakcie pracy. Usytuowanie wyprowadzenia wiązki przewodów z tyłu szelek zwiększa mobilność położenia układu sterującego szelkami poprzez możliwość umieszczenia kieszeni dedykowanej na sterownik i zasilanie

po prawej lub lewej stronie, w zależności od wykonywanej pracy. Z uwagi na zintegrowane z odzieżą elementy elektroniczne, opracowana odzież ochronna z funkcją aktywnego chłodzenia nie może być poddawana praniu wodnemu, a jedynie czyszczeniu chemicznemu. W tym celu, przed poddaniem odzieży czyszczeniu chemicznemu, moduły termoelektryczne należy zabezpieczyć specjalną folią mocowaną na moduły za pomocą taśmy samoszczepnej.

Dzięki zastosowaniu w konstrukcji szelek taśm odbaskowych oraz elastycznej dzianiny fluorescencyjnej spełniają one wymagania normy PN-EN ISO 20471:2013-07+A1:2017-02 w komplecie z dedykowaną odzieżą ochronną o intensywnej widzialności okrywającą górną i dolną część tułowia, ramiona oraz nogi. Opracowane szelki chłodzące wraz z dedykowaną odzieżą ochronną o intensywnej widzialności zostały przedstawione na rysunku 4.



Rysunek 4. Prototyp odzieży ochronnej z funkcją aktywnego chłodzenia wykorzystującej zjawisko termoelektryczne zaprezentowany na manekinie wraz z dedykowaną do stosowania odzieżą ochronną o intensywnej widzialności; a) przód; b) tył

Na etapie projektowania konstrukcji prototypu odzieży ochronnej z funkcją aktywnego chłodzenia duży nacisk położono na aspekty związane z bezpieczeństwem opracowanego rozwiązania. Sterownik umieszczony został w obudowie z tworzywa izolacyjnego klasy IP40. Zapobiega ona kontaktowi użytkownika z częściami będącymi pod napięciem oraz utrudnia przenikanie wilgoci do obwodów elektronicznych sterownika. Zastosowano również szereg środków zabezpieczających, które sprawiają, że opracowane rozwiązanie jest bezpieczne dla człowieka. Na

szczególną uwagę zasługuje fakt, że system przeznaczony jest do zasilania z powerbanka napięciem stałym w standardzie USB 2.0 i nie zawiera podzespołów podwyższających napięcie. Oznacza to, że napięcia w nim nie mogą przekroczyć 5,5 V, co jest wartością bezpieczną dla człowieka, dużo niższą niż tzw. bardzo niskie napięcie bezpieczeństwa (ang. Safety Extra-Low Voltage, SELV) wynoszące 42 V zgodnie z normą IEC 60335-1. Wskazana wartość nie będzie przekroczona ani w sterowniku, ani w odzieży nawet w przypadku wystąpienia najbardziej niekorzystnych stanów awaryjnych. Ponadto, sterownik spełnia kryteria normy EN 50527 dotyczące kompatybilności z implantowanymi aktywnymi urządzeniami medycznymi (jak np. stymulator serca). Moc nadajnika w zastosowanym module (maksymalnie 2,51 mW) jest dużo mniejsza od granicznej wskazanej w normie (120 mW).

Funkcjonowanie i ergonomia opracowanej odzieży ochronnej z funkcją aktywnego chłodzenia została potwierdzona w badaniach laboratoryjnych i terenowych. Udowodniono, że rozwiązanie to pozwala odebrać z ciała człowieka ok. 50 W/m^2 , co można porównać ze zmianą poziomu metabolizmu towarzyszącą zmianie z pracy o ciężkości np. średniej na lekką, a skuteczność chłodzenia na tym poziomie utrzymuje się przez co najmniej 5 h. W konsekwencji zapewnienia chłodzenia z wykorzystaniem opracowanej odzieży możliwe jest obniżenie lokalnej temperatury skóry nawet o $4 \text{ }^\circ\text{C}$, co powoduje zdecydowaną poprawę subiektywnych wrażeń cieplnych użytkowników. Przeprowadzone badania laboratoryjne z udziałem grupy ochotników – osób pracujących w warunkach mikroklimatu gorącego, wykazały również pozytywny wpływ zastosowanego chłodzenia na ograniczenie wzrostu lokalnej temperatury skóry w miejscach, które nie były bezpośrednio chłodzone, co jest bardzo korzystnym efektem. Opracowana konstrukcja prototypu odzieży ochronnej z funkcją aktywnego chłodzenia charakteryzuje się również bardzo dobrymi właściwościami ergonomicznymi. Odzież ta jest lekka (masa poniżej 1 kg łącznie ze sterownikiem i powerbankiem), dopasowana do sylwetki użytkownika, wykonana z materiałów o bardzo dobrych właściwościach biofizycznych, a przy jej konstrukcji zostały uwzględnione wszystkie wymagania zgłoszone przez potencjalnych docelowych użytkowników.

Bibliografia

Cul A., Komorowicz T., Kupiec K.: Wymiana ciepła między człowiekiem a otoczeniem w mikroklimacie zimnym. Czasopismo Techniczne. Chemia, 2012.

Marszałek A., Sołtyński K.: Człowiek w warunkach obciążenia termicznego. CIOP-PIB, Warszawa, 2001

Bogdan A, Marszałek A, Bugajska J, Zwolińska M. Oddziaływanie środowiska termicznego na organizm człowieka. Warszawa: CIOP-PIB, 2012

Młynarczyk M., Orysiak J., Irzmańska E.: Wpływ ekspozycji na zimno na sprawność manualną pracownika używającego rękawic ochronnych. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka, 7/2021, 22-26, DOI: 10.5604/01.3001.0015.0304

Traczyk W., Trzebski A.: Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej. PZWL, Warszawa, 2001

Gwóźdź B.: Człowiek w środowisku wielkoprzemysłowym i elementy ergonomii. W: Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 2001

Królicka A., Haruban A. & Mirowska A.: Nowoczesne materiały termoelektryczne - przegląd literaturowy, 2012

Kierownik projektu:

dr inż. Anna Dąbrowska

e-mail: andab@ciop.lodz.pl