

dr hab. med. IWONA SUDOŁ-SZOPIŃSKA, mgr inż. ANDRZEJ SOBOLEWSKI
mgr DARIUSZ MŁOŻNIAK, dr hab. MARIA KONARSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Ocena niekorzystnego wpływu mikroklimatu

Środowisko termiczne, w jakim przebywa człowiek wykonujący pracę w warunkach obciążeń termicznych może mieć ujemny wpływ na jego zdrowie. Dotyczy to zarówno środowisk nadmiernie gorących jak i nadmiernie zimnych. Ciało ludzkie jest zaopatrzone w naturalne mechanizmy termoregulacji. Gdy zostaną przekroczone granice tolerancji organizmu na oddziaływanie tych czynników, konieczne staje się zapobieganie wystąpieniu negatywnych następstw. Aby chronić człowieka w środowisku pracy należy zapewnić mu odpowiednie środki ochrony. Zagrożenia tego typu można oceniać poprzez pomiar parametrów charakteryzujących dane środowisko i wyznaczenie odpowiednich wskaźników umożliwiających określenie stopnia zagrożenia ze strony stresu termicznego.

W tym celu w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym powstało Krajowe Centrum Badań Obciążeń Termicznych, którego działalność będzie miała na celu minimalizację lub eliminację tego typu zagrożeń.

An assessment of the unfavourable influence of microclimate – the Thermal Load Research Centre

The thermal environment in the workplace may have a negative influence on human health. This refers both to too hot and too cold environments. The human body is equipped with natural thermoregulation mechanisms. When tolerance limits on the influence of this exposure is exceeded, it becomes necessary to prevent negative consequences. To protect humans in the working environment it is necessary to provide them with suitable protection measures in the form of appropriate types of clothing and organization of their working time. Climatic and demographic changes favour the appearance of thermal loads. This type of risk can be assessed through measurements of parameters characterizing a given environment and calculation or assessment of appropriate rates.

To this end the Central Institute for Labour Protection – National Research Institute is in the process of setting up a National Centre on Research Dealing with Limiting Risks of Employees Resulting from Hot or Cold Environments. Its activity will target minimization or elimination of this type of hazard in the workplace.

– Centrum Badań Obciążeń Termicznych



Wstęp

Warunki środowiskowe, w których występuje obciążenie termiczne organizmu człowieka określane są w przyjętej w ergonomii terminologii jako mikroklimat gorący i zimny. Pojęcia te są definiowane następująco [1]:

– mikroklimat gorący – warunki środowiska pracy określone temperaturą powietrza w pomieszczeniu powyżej 30 °C i względną wilgotnością powietrza powyżej 65% lub bezpośrednim oddziaływaniem otwartego źródła promieniowania ciepłego w pomieszczeniach (piece hutnicze, odlewnicze itp.)

– mikroklimat zimny – warunki środowiska pracy określone temperaturą powietrza w pomieszczeniu poniżej 14 °C i względną wilgotnością powietrza powyżej 65%.

Między człowiekiem a środowiskiem zachodzi nieustanna wymiana ciepła. Odbywa się ona z udziałem czterech zjawisk fizycznych: przewodzenia, konwekcji, promieniowania oraz odparowywania wody wraz z potem i wydychanym powietrzem. O udziale każdego z wymienionych zjawisk w procesie wymiany ciepła decydują takie czynniki, jak: temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, ciśnienie pary wodnej i prędkość ruchu powietrza, a także ubiór oraz aktywność fizyczna.

Organizm człowieka wymaga utrzymania stałej ciepłoty ciała (tzw. homeotermii) w celu prawidłowego działania wszystkich jego

funkcji. Istnieją odpowiednie mechanizmy, które pozwalają organizmowi wytworzyć niezbędną ilość ciepła lub odprowadzić jego nadmiar. Uruchamiane są one za pomocą niezależnego procesu termoregulacji.

Nie zawsze jednak mechanizmy te, w sytuacji obciążeń termicznych ze strony środowiska, są w stanie utrzymać poziom równowagi cieplnej. Konsekwencją tego jest albo wzrost temperatury wewnętrznej ciała w środowisku gorącym, albo jej spadek w środowisku zimnym.

Ryzyko obciążeń termicznych

Mimo podejmowanych działań, mających na celu uchronienie człowieka znajdującego się w środowisku pracy od niekorzystnego wpływu mikroklimatu gorącego i zimnego, istnieją i będą w przyszłości istniały stanowiska pracy, na których ten typ obciążeń będzie występował. Według danych GUS [1], stan zatrudnienia w warunkach zagrożenia mikroklimatem gorącym i zimnym w Polsce w latach 2000 – 2004 kształtował się następująco (tabela obok):

Z przytoczonych danych wynika, że liczba osób narażonych na niekorzystne oddziaływanie mikroklimatu występującego w środowisku pracy jest wciąż duża, mimo że widoczny jest jej spadek w ostatnich latach. Trudno jednak przewidzieć, czy ten pozytywny trend

utrzyma się w przyszłości. Pewne dane wskazują, że problemy związane zwłaszcza z mikroklimatem gorącym, mogą stać się udziałem większej niż obecnie liczby osób.

Ochrona pracowników przed ryzykiem związanym z pracą w mikroklimacie zimnym lub gorącym zyskuje na znaczeniu, przede wszystkim w świetle obserwowanych przemian na rynku pracy oraz rosnącej świadomości potrzeby zapewnienia odpowiednich warunków

komfortu termicznego. O ile jednak powszechnie znane i wykorzystywane są metody służące określaniu i ograniczaniu ryzyka związanego ze stresem termicznym, dyskomfort termiczny stanowi zagadnienie nadal niedostatecznie postrzegane jako istotny problem.

Eksperti TCWH podkreślili istotny wzrost liczby zimnych lub mroźnych środowisk pracy, zwłaszcza w sektorach gospodarki związanych z żywnością (np. chłodnie), oraz

poprawiać jakość i zwiększać wydajność wykonywanej pracy. Wynikające z tego korzyści są więc obopólne.

Centrum Badań Obciążeń Termicznych

Aby umożliwić stałą analizę oraz kompleksową ocenę wpływu różnych warunków mikroklimatu środowiska pracy na wydolność psychofizyczną człowieka, w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym (CIOP-PIB) utworzono Centrum Badań Obciążeń Termicznych (zwane dalej „Centrum”).

Działalność tego Centrum wynika z zakresu zadań CIOP-PIB i obejmuje:

- badanie mechanizmów termoregulacji oraz zjawisk związanych ze stresem cieplnym
 - opracowywanie zaleceń dotyczących optymalizacji stanowisk pracy w celu redukcji obciążenia związanego z mikroklimatem środowiska pracy
 - promocję zagadnień i metod zmniejszających skutki obciążeń termicznych
 - rozwiązywanie problemów występujących w szczególnych przypadkach obciążeń termicznych, tj. wykraczających poza zakres określony w normach (określanie dla tych przypadków czasu ekspozycji, restytucji, rodzaju i właściwości odzieży ochronnej)
 - projektowanie oraz weryfikację rozwiązań konstrukcyjnych odzieży roboczej i ochronnej przeznaczonej do pracy w warunkach stresu cieplnego, w tym odzieży barierowej
 - organizowanie dla osób zatrudnionych w warunkach mikroklimatu gorącego lub zimnego, treningów w komorze klimatycznej w celu aklimatyzacji do tych środowisk termicznych
 - badanie wpływu temperatury środowiska pracy na wydolność fizyczną i sprawność psychomotoryczną pracowników.
- Realizacja tych zadań odbywa się w ramach 11 bloków zadaniowych (rys.).

LICZBA OSÓB ZATRUDNIONYCH W WARUNKACH ZAGROŻENIA MIKROKLIMATEM GORĄCYM I ZIMNYM
Number of workers employed in hot and cold microclimate

Typ mikroklimatu	Liczba osób w danym roku kalendarzowym				
	LATA				
	2000	2001	2002	2003	2004
Mikroklimat gorący	23954	26394	21340	19331	18399
Mikroklimat zimny	22730	21295	20958	17023	15396

ków pracy, gwarantujących wysoką jej jakość. Potwierdzeniem tego są m.in. opublikowane w grudniu 2005 r. wyniki analiz przeprowadzonych przez Topic Centre Research on Work and Health (TCWH) (Centrum Tematyczne Badań nad Zdrowiem i Bezpieczeństwem w Miejscu Pracy), ustanowione przez Europejską Agencję ds. Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy, w odpowiedzi na propozycję utworzenia „obserwatorium ryzyka”, przedstawioną w strategii UE na lata 2002-06. Celem działań podejmowanych przez TCWH było zidentyfikowanie, przez ekspertów posiadających co najmniej 5-letnie doświadczenie w problematyce bhp, nowych i zagrażających czynników ryzyka występujących w środowisku pracy [2].

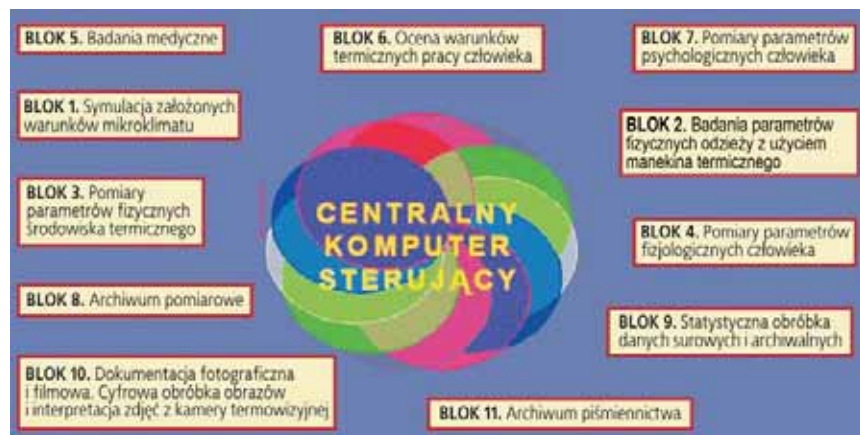
Wśród czynników ryzyka uznanych za najbardziej zagrażające, na czwartej i piątej pozycji eksperci TCWH wymienili:

- niedostateczny poziom świadomości pracowników o niskim statusie zatrudnienia na temat zagrożeń wynikających z oddziaływania środowiska termicznego (m.in. wśród pracowników migrujących, zatrudnionych w rolnictwie i budownictwie oraz pracowników szklarni i chłodni, wykonujących prace w czasie przekraczającym ustalone dla tych rodzajów warunków pracy limity godzinowe), a także
- brak odpowiednich środków ochrony oraz zaleceń w zakresie dyskomfortu termicznego w miejscach pracy.

Uczestniczący w TCWH eksperci zwrócili uwagę na ryzyko odległych skutków ubocznych pracy w warunkach narażenia na stres termiczny, jak również negatywny wpływ na jej jakość i bezpieczeństwo, w sytuacji dys-

w rolnictwie, transporcie i budownictwie, w których pracownik jest ekspozowany na działanie czynników pogodowych. Problem ten dotyczy głównie osób o niższym statusie zawodowym, które nie zawsze są świadome ryzyka, jakie powoduje obciążenie stresem termicznym. W tym przypadku inicjatywa należy do pracodawców, którzy powinni zapewnić pracownikom odpowiednie szkolenia, warunki pracy i środki chroniące, np. odzież i napoje. Istotne znaczenie ma w tym zakresie również właściwa organizacja pracy, uwzględniająca m.in. wprowadzanie przerw w celu ochrony pracownika przed negatywnym wpływem stresu termicznego. Jednocześnie właściwa ochrona zdrowia pracownika może

Tabela



Rys. Struktura Centrum Badań Obciążeń Termicznych
Fig. Structure of the Thermal Load Research Centre

BLOK 1.**Symulacja
założonych warunków mikro-
klimatu**

W ramach tego bloku są wykonywane badania w komorze klimatycznej, w której mogą być symulowane dowolne (mieszczące się w zakresach pracy komory) kombinacje parametrów fizycznych powietrza (temperatura, wilgotność, prędkość ruchu powietrza), określające różne rodzaje mikroklimatu stałego lub zmiennego w czasie, w tym:

- badania obciążenia organizmu człowieka podczas pracy w różnych warunkach środowiska termicznego, w różnego typu odzieży roboczej

- badania z użyciem manekina termicznego, w celu określenia wartości izolacji termicznej odzieży.

Istnieje również możliwość symulacji czynników klimatycznych i badanie ich wpływu na różnego typu wyposażenie i materiały, w celu sprawdzenia funkcjonalności lub możliwości przechowywania w ekstremalnych warunkach.

Pracownia Obciążeń Człowieka w Środowisku Pracy Zakładu Ergonomii CIOP-PIB dysponuje komorą klimatyczną najnowszej generacji, obecnie najnowocześniejszą w Polsce. Przeznaczona jest do badań z udziałem ludzi i manekina termicznego.

BLOK 2.**Badania parametrów fizycznych odzieży
z użyciem manekina termicznego**

Zakres działań realizowanych w ramach tego bloku obejmuje:

- wykonywanie pomiarów izolacji termicznej odzieży za pomocą manekina termicznego
- badania fizycznych parametrów odzieży, jak: przepuszczalność powietrza, AP (*air permeability*) i oporność na przenikanie wody, WP (*resistance to water penetration*).

Manekiny termiczne są trójwymiarowymi modelami człowieka, wykonanymi w skali naturalnej, których zadaniem jest symulacja procesu wymiany ciepła między człowiekiem i otoczeniem. Centrum posiada w swoim wyposażeniu badawczym żeński manekin termiczny Diana (fot. 1.). Jest to jedyny manekin termiczny w Polsce. Odtwarza on konwekcyjną i radiacyjną wymianę ciepła.

Manekin składa się z 16 segmentów, każdy wyposażony we własny system grzewczy i kontrolowany przez indywidualny układ sterowania. Z każdego segmentu uzyskiwana jest informacja o przebiegu lokalnej wymiany ciepła z otoczeniem w postaci wartości temperatury powierzchni segmentu i wartości przenikającego strumienia



Fot.1. Manekin termiczny wewnątrz komory klimatycznej

Fot. 1. *Thermal manikin inside the climatic chamber*

ciepła. Manekin wykorzystywany jest do pomiarów wartości izolacji termicznej odzieży zgodnie z postanowieniami norm europejskich [3, 4].

Izolacja termiczna odzieży jest bardzo ważnym parametrem uwzględnianym w analizie i bilansie cieplnym, niezależnie od rodzaju obciążenia termicznego, tj. zimna, gorąca lub strefy środowisk umiarkowanych, stanowi bowiem zawsze barierę izolującą człowieka od wpływu otoczenia. Określenie wartości izolacji termicznej odzieży ma tę samą rangę, co zebranie informacji o wartościach parametrów fizycznych środowiska i metabolicznej produkcji ciepła. W związku z tym w przypadku badań przydatności nowego typu odzieży, przeznaczonego do określonych warunków środowiska termicznego (zwłaszcza w zimnie), niezbędne jest wykonanie dokładnych pomiarów izolacji termicznej odzieży wg postanowień normy PN-EN ISO 15831:2004. Istnieją także metody szacowania izolacyjności odzieży na podstawie tablic, ale są one mniej dokładne.

Doskonalenie stosowane przez osoby cywilne, a także przez różne służby, specjalnej odzieży ochronnej, tzw. barierowej, staje się konieczne z uwagi na pojawiające się nowe zagrożenia (czynniki biologiczne, chemiczne i nuklearne). Głównym zadaniem tego typu odzieży jest odizolowanie człowieka od wpływu otaczającego środowiska. Ta bardzo pożądana właściwość odzieży barierowej jest zarazem jej wadą, ponieważ uniemożliwia ona lub ogranicza możliwość odprowadzania ciepła i pary wodnej. Sprawia to, że praca w odzieży barierowej przebiega w warunkach zbliżonych do panujących w środowisku gorącym, co może prowadzić do obniżenia sprawności psychofizycznej człowieka, a w skrajnych przypadkach może uniemożliwić wykonywanie pracy, bez odebrania nadmiaru skumulowanego ciepła. Ciągła praca w odzieży barierowej jest w efekcie praktycznie niemożliwa. W związku z tym,

planując jej wykorzystanie, należy mieć świadomość ograniczeń, zwłaszcza czasowych. Czas pracy zależeć będzie m.in. od warunków termicznych środowiska zewnętrznego, intensywności wysiłku i obciążenia psychicznego.

Badania fizycznych parametrów odzieży, w tym przepuszczalności powietrza przez odzież AP i oporności odzieży na przenikanie wody WP, są wykonywane w laboratorium Pracowni Odzieży Ochronnej – CIOP-PIB w Łodzi, która dysponuje odpowiednią specjalistyczną aparaturą badawczą. Badania parametru AP wykonuje się zgodnie z normą EN ISO 9237, zaś WP według normy EN 20811. Znajomość wartości tych wielkości ma istotne znaczenie do określenia własności izolacyjnych odzieży w zmiennych warunkach środowiskowych [3].

BLOK 3.**Pomiary parametrów fizycznych
środowiska termicznego**

Zakres działań realizowanych w ramach tego bloku obejmuje wykonywanie pomiarów podstawowych wielkości fizycznych charakteryzujących środowisko termiczne:

- temperatury powietrza, t_a , °C
- temperatury poczernionej kuli, t_{gr} , °C
- temperatury naturalnej wilgotnej, t_{nw} , °C
- temperatury powierzchni, t_s , °C
- wilgotności względnej powietrza, RH, %
- ciśnienia pary wodnej, p_a , Pa
- prędkości przepływu powietrza, v_a , m/s



Fot.2. Miernik mikroklimatu MM-01 produkcji polskiej we wnętrzu komory klimatycznej

Fot. 2. *Polish type MM-01 microclimate analyzer in the climatic chamber*

Do pomiarów wykorzystywane są mierniki mikroklimatu wyposażone w odpowiedni zestaw sond (fot. 2.).

Ze zmierzonych wartości parametrów fizycznych środowiska termicznego określone są inne pochodne wielkości, jak np.: temperatura operacyjna t_o , temperatura radiacyjna t_r , współczynnik wymiany ciepła dla konwekcji naturalnej h_c itp. Wielkości te obliczane są automatycznie przez nowoczesne mierniki, ze wzorów zamieszczonych w normie [5].

BLOK 4. **Pomiary parametrów fizjologicznych człowieka**

Zakres działań obejmuje wykonywanie następujących pomiarów parametrów fizjologicznych:

- termometria ciała człowieka
- pomiary temperatury powierzchni skóry, $t_{sk}, ^\circ\text{C}$
- pomiar temperatury wewnętrznej (w odbytnicy lub w zewnętrznym przewodzie słuchowym), $^{\circ}\text{C}$
- monitorowanie częstości skurczów serca, HR, uderzenia/min
- badanie EKG
- pomiar ciśnienia tętniczego krwi, mm Hg
- pomiar temperatury i wilgotności pod odzieżą, $^{\circ}\text{C}$
- pomiar wydatku energetycznego (metabolizmu), W
- pomiar masy człowieka przed i po eksperymencie, kg
- pomiar wysokości ciała człowieka, m
- pomiar i monitorowanie zadanego obciążenia pracą mechaniczną (cykloergometr, bieżnia), W.

Większość wymienionych parametrów fizjologicznych kontrolowana jest w eksperymentach wykonywanych w komorze klimatycznej, podczas badania wpływu środowiska termicznego na organizm człowieka izolowanego od otoczenia odpowiednią odzieżą i obciążonego pracą fizyczną. Celem tych badań jest określenie związków zachodzących między zmiennymi fizjologicznymi, obciążeniem pracą i parametrami środowiska termicznego. Do badań wykonywanych na stanowiskach pracy wykorzystywana jest aparatura przenośna Oxycon Mobile, umożliwiająca pomiary m.in. zużycia O_2 , wentylacji płuc i ich ciągłą rejestrację w warunkach naturalnych, tj. podczas wykonywania przez pracownika czynności związa-

nych z pracą, jak również aparatura do oceny termometrii ciała oraz pomiarów temperatury i wilgotności pod odzieżą.

Wszystkie badania wykonywane z udziałem ludzi przebiegają pod kontrolą lekarza. Także dopuszczenie ludzi do udziału w eksperymentach badawczych jest poprzedzone stosownymi badaniami lekarskimi. Poza tym, na wykonanie eksperymentów z udziałem ludzi niezbędna jest zgoda Komisji Etyki Badań Naukowych.

BLOK 5. **Badania medyczne**

Wymagania dotyczące badań z udziałem ludzi narzucają konieczność wyodrębnienia w strukturze Centrum bloku, w którym gromadzone są odpowiednie przepisy i normy obejmujące tematykę obsługi medycznej realizowanych eksperymentów.

BLOK 6. **Ocena warunków termicznych pracy człowieka**

Blok ten obejmuje procedury, algorytmy i programy obliczeniowe umożliwiające wykonanie różnorodnych analiz, zgodnie z postanowieniami odpowiednich norm międzynarodowych i najnowszymi osiągnięciami naukowymi w dziedzinie oddziaływania mikroklimatu na organizm człowieka.

BLOK 7. **Pomiary parametrów psychologicznych człowieka**

Obejmuje on obiektywne i subiektywne metody oceny komfortu termicznego, metody badania obciążenia psychicznego człowieka oraz inne narzędzia do oceny cech i sprawności człowieka, których poziom może ulegać zmianie pod wpływem różnorodnych parametrów fizycznych środowiska pracy (w tym mikroklimatu) lub obciążenia wysiłkiem fizycznym.

Poza merytorycznymi blokami tematycznymi, w Centrum są także archiwizowane dane pomiarowe, dokonywana jest statystyczna obróbka danych surowych i archiwalnych, gromadzona dokumentacja i piśmiennictwo.

Przedstawiona struktura Centrum jest odzwierciedleniem skomplikowanych relacji między człowiekiem a środowiskiem cieplnym pracy, które mają złożony charakter, wynikający z obecności licznych, wzajemnie na siebie działających czynników. Komplementarność

bloków Centrum umożliwia dokładne poznanie charakteru, zmienności i wartości tych oddziaływań, co stanowi podstawę skutecznych działań podejmowanych w zakresie ochrony człowieka przed skutkami obciążeń zawodowych występujących w klimacie zimnym i gorącym.

Poza wymienionymi na wstępie zasadniczymi celami Centrum, jego zakres może okazać się znacznie większy niż wynikało to z początkowych założeń. Pogląd ten ma źródło w obserwowanych zmianach, po części długofalowych, zachodzących obecnie w świecie, m.in. klimatycznych i demograficznych. Zjawiska te wiążą się z istotnym sposobem z problemem ochrony człowieka przed wpływem niekorzystnego oddziaływania mikroklimatu, przede wszystkim gorącego. Potwierdzeniem tego były obserwowane w ubiegłych latach w Europie (Francja, Hiszpania) fale upałów, które przyczyniły się do licznych zgonów osób w podeszłym wieku, i których skala wielokrotnie przekroczyła prognozy oszacowane dla tej pory roku na podstawie wieloletnich obserwacji meteorologicznych. Jak wskazują długofalowe prognozy klimatyczne, informujące przede wszystkim o globalnym wzroście temperatury, problem ten będzie się nasilał, z uwagi na obserwowane zmiany klimatu wywołane ludzką działalnością.

Podsumowanie

Zakres działalności Centrum Badań Obciążeń Termicznych jest związany z nową strategią europejską w zakresie zapobiegania zagrożeniom termicznym w środowisku pracy.

Realizowana i planowana działalność Centrum wpisuje się także w jeden z obszarów badawczych wymienionych w Krajowym Programie Ramowym (www.mnii.gov.pl) ustalonym przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji w 2005. W tym programie, jako jeden z priorytetowych kierunków badań wymieniony został temat *Uwarunkowania środowiskowe i ich wpływ na zagrożenia zdrowotne*. Zaprezentowane kierunki działań Centrum Badań Obciążeń Termicznych mają właśnie służyć człowiekowi i poprawie jego warunków w środowisku pracy.

PIŚMIENNICTWO

- [1] *Warunki pracy 2000-2004*; Wydawnictwa GUS
- [2] Flaspoler E., Reinert D., Brub E. *European Agency for Safety and Health At Work: Export forecast on emerging physical risks related to occupational safety and health*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg 2005
- [3] PN-EN 342:2005 (U) *Odzież ochronna. Zestawy i wyroby odzieżowe chroniące przed zimnem*
- [4] PN-EN ISO 15831:2004 (U) *Odzież. Skutki fizjologiczne. Pomiar izolacyjności cieplnej za pomocą manekina termicznego*
- [5] PN ISO 7726 *Ergonomia środowiska termicznego. Przyrządy do pomiaru wielkości fizycznych*

Publikacja opracowana w ramach zadania z zakresu służb państwowych pod nazwą „Utworzenie Krajowego Centrum Badań nad Ograniczaniem Ryzyka Zdrowotnego Pracowników Narazonych na Zimno i Gorąco” dofinansowywanego przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej w latach 2005-2007 r. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy