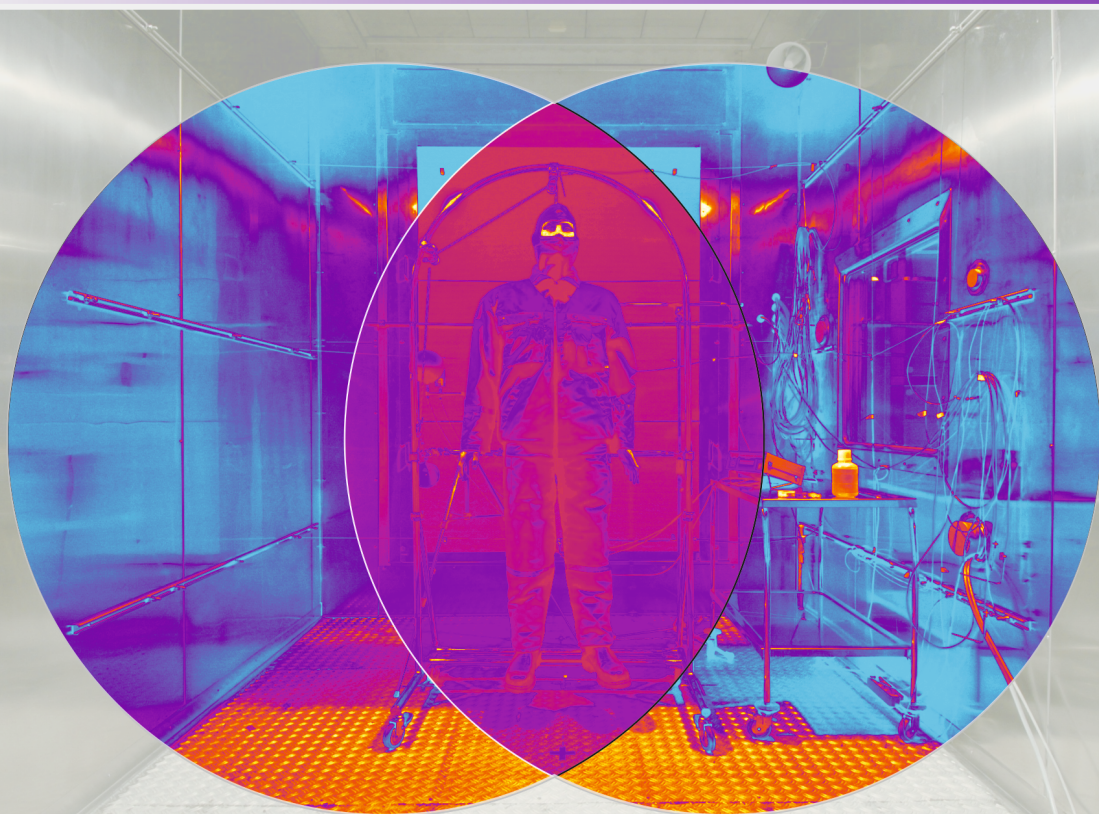


Anna Bogdan, Anna Marszałek
Joanna Bugajska, Magdalena Zwolińska

Oddziaływanie środowiska termicznego na organizm człowieka



Anna Bogdan, Anna Marszałek, Joanna Bugajska, Magdalena Zwolińska

Oddziaływanie środowiska termicznego na organizm człowieka

Warszawa 2012

CIOP  **PIB**

Opracowano i wydano w ramach programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (II etapu) finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Recenzent

prof. dr hab. med. Krystyna Nazar

Autorzy

dr hab. inż. Anna Bogdan, prof. CIOP-PIB, dr Anna Marszałek, dr Joanna Bugajska,
mgr inż. Magdalena Zwolińska – Zakład Ergonomii CIOP-PIB

Projekt okładki

Jolanta Maj

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2012

ISBN 978-83-7373-128-8

CIOP  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (22) 623 36 98, fax (22) 623 36 93, 623 36 95, www.ciop.pl

Spis treści

1. Wstęp	5
2. Wymiana ciepła między człowiekiem a otoczeniem	11
3. Termoregulacja człowieka	14
4. Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej	26
5. Ocena metabolizmu	36
6. Ocena izolacyjności cieplnej odzieży	54
7. Normatywna ocena oddziaływania środowiska termicznego na organizm człowieka.....	60
7.1. Środowisko gorące.....	61
7.2. Środowisko umiarkowane.....	68
7.3. Środowisko zimne	78
8. Normy związane z oceną środowiska termicznego.....	95
9. Problemy zdrowotne w środowisku gorącym i zimnym.....	106
9.1. Środowisko gorące.....	106
9.2. Środowisko zimne.....	110
10. Metody redukcji obciążenia termicznego	112
10.1. Środowisko gorące	112
10.2. Środowisko zimne.....	114
11. Podsumowanie	116
12. Literatura.....	117

1. Wstęp

Człowiek należy do organizmów stałocieplnych, które mają możliwość utrzymywania stałej temperatury wewnętrznej, mimo zmieniających się warunków środowiska termicznego. Są jednak pewne ograniczenia związane z czasem ekspozycji lub intensywnością jego oddziaływania. Najmniejsze obciążenie termiczne organizmu człowieka następuje w środowisku umiarkowanym, jednakże warunki środowiska pracy często odbiegają od tego stanu.

Praca w środowisku umiarkowanym (np. w pomieszczeniach biurowych) może wywołać u pracownika odczuwanie dyskomfortu ogólnego (dotyczącego całego ciała) lub też miejscowego (w odniesieniu do poszczególnych jego części). Odczuwanie dyskomfortu często traktowane jest przez pracowników marginalnie, jednak należy zwrócić uwagę, że długotrwała ekspozycja na niekomfortowe warunki środowiska pracy przekłada się na mniejszą wydajność pracy [Wyon, 2006]. Natomiast ekspozycja na środowisko gorące lub zimne w skrajnych warunkach może doprowadzić do zagrożenia zdrowia, a nawet życia pracownika. Z tej przyczyny szczególnie ważne jest monitorowanie i limitowanie tego rodzaju ekspozycji.

Ocena wpływu środowiska termicznego na organizm człowieka nie zawsze jest zagadnieniem skomplikowanym, jednakże ze względu na brak odpowiednich norm w języku polskim zdarza się, że jest ona wykonywana niepoprawnie. Z tej przyczyny w monografii przedstawiono kompleksowo zagadnienie oddziaływania środowiska termicznego na organizm człowieka i aspekty związane z oceną tego oddziaływania. Podano podstawowe informacje dotyczące wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem (rozdział 2.), termoregulacji i wpływu środowiska termicznego na organizm człowieka (rozdział 3.) oraz oceny metabolizmu (rozdział 5.). W rozdziale 4. przedstawiono wymagania odnośnie do aparatury pomiarowej, którą wykonywane są badania parametrów środowiska pracy, a w rozdziale 6. opisano sposoby wyznaczania izolacyjności cieplnej odzieży, istotnego czynnika obciążenia termicznego organizmu człowieka. Rozdział 7. zawiera opis metodyki prowadzenia oceny dyskomfortu/obciążenia termicznego, wzbogacony praktycznymi przykładami oceny. Uzupełniając informacje na temat pracy w środowisku gorącym

i zimnym, w rozdziale 8. w sposób syntetyczny przedstawiono normy dotyczące oceny środowiska termicznego, natomiast w rozdziale 9. – zagadnienia związane z problemami zdrowotnymi występującymi podczas pracy w środowisku gorącym i zimnym. Na zakończenie, w rozdziale 10., zaprezentowano dobre praktyki, które można wykorzystać podczas ekspozycji pracownika na środowisko gorące i zimne w celu ograniczenia obciążenia termicznego, a także metody osiągnięcia komfortu termicznego pracowników.

Istotne z punktu widzenia praktyki związanej z oceną obciążenia termicznego pracownika są rozporządzenia dotyczące najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) czynników szkodliwych w środowisku pracy oraz częstotliwości dokonywania pomiarów odnoszących się do środowiska termicznego. W ostatnim dziesięcioleciu nastąpiło wiele zmian w tym zakresie, głównie z powodu wejścia Polski do Unii Europejskiej i włączenia szeregu norm europejskich do normalizacji polskiej. W konsekwencji nastąpiło wycofanie lub aktualizacja podstawowych norm dotyczących oceny obciążenia środowiskiem termicznym. Dalszą komplikacją w tym zakresie jest powiększenie się liczby norm związanych ze środowiskiem termicznym oraz niedostępność w języku polskim norm opisujących podstawowe metody oceny środowiska termicznego.

W związku z koniecznością weryfikacji Polskich Norm, z powodów opisanych wyżej, nastąpiły również zmiany w treści obowiązujących aktów prawnych związanych z oceną środowiska termicznego. Podstawowa zmiana dotyczy włączenia konieczności oceny wskaźnika PMV¹⁾, w celu określenia zakresu środowiska termicznego, którego dotyczy ocena. Główne ustalenia zawarte w znowelizowanych rozporządzeniach przedstawiono poniżej.

Rozporządzenia dotyczące środowiska termicznego

- Podstawowe rozporządzenie: *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (DzU nr 217, poz. 1833; 2005, nr 212, poz. 1769; 2007, nr 161, poz. 1142).
- Rozporządzenie wprowadzające zmiany odnośnie do mikroklimatu gorącego: *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 16 czerwca 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (DzU nr 105, poz. 873).
- Rozporządzenie wprowadzające zmiany odnośnie do mikroklimatu zimnego: *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 16 grudnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń*

¹⁾ Omówienie znaczenia wskaźnika PMV w rozdziale 7.2.

i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU nr 274, poz. 1621).

Aktualnie obowiązujący, ujednolicony tekst rozporządzenia odnośnie do środowiska termicznego zawiera następujące uregulowania:

„C. Mikroklimat

1. Mikroklimat gorący

1.1. Kryterium klasyfikacji środowiska termicznego do obszaru mikroklimatu gorącego jest wartość wskaźnika PMV (przewidywana ocena średnia) w zakresie powyżej +2,0.

1.2. Obciążenie termiczne w mikroklimacie gorącym określa się za pomocą wskaźnika WBGT²⁾ wyrażonego w stopniach Celsjusza (°C).

1.3. Wartości WBGT nie mogą przekraczać w ciągu 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy wartości dopuszczalnych podanych w tabeli 2.

Tabela 2.

Klasa tempa metabolizmu	Tempo metabolizmu		Wartości dopuszczalne WBGT			
	odniesienie do jednostki powierzchni skóry W/m ²	całkowite (przy średniej powierzchni skóry 1,8 m ²) W	osoba zaaklimatyzowana w środowisku gorącym °C		osoba niezaaklimatyzowana w środowisku gorącym °C	
0 (spoczynek)	M ≤ 65	M ≤ 117	33		32	
1 (praca lekka)	65 < M ≤ 130	117 < M ≤ 234	30		29	
2 (praca średnio ciężka)	130 < M ≤ 200	234 < M ≤ 360	28		26	
3 (praca ciężka)	200 < M ≤ 260	360 < M ≤ 468	nieodczuwalny ruch powietrza 25	odczuwalny ruch powietrza 26	nieodczuwalny ruch powietrza 22	odczuwalny ruch powietrza 23
4 (praca bardzo ciężka)	M > 260	M > 468	23	25	18	20

1.4. Definicje pojęć i metody pomiaru określają Polskie Normy.

2. Mikroklimat zimny

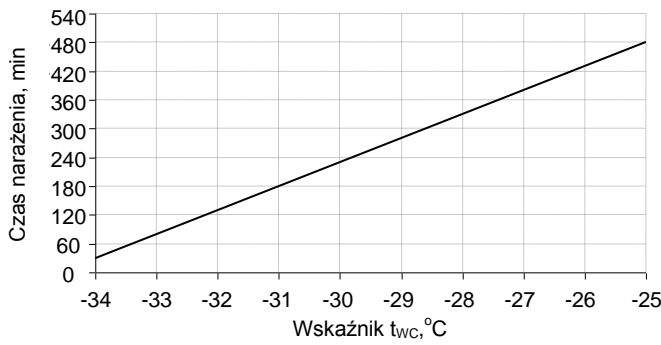
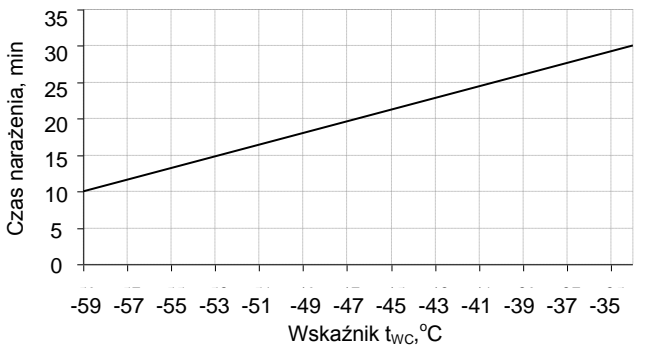
2.1. Mikroklimat zimny odnosi się do warunków środowiska termicznego, dla których wartość wskaźnika PMV (przewidywana ocena średnia) wynosi -2,0 lub mniej.

²⁾ Omówienie znaczenia wskaźnika WBGT w rozdziale 7.1.

2.2. Dopuszczalne wychłodzenie ogólne organizmu określa wartość wskaźnika $IREQ_{min}^3$ ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$), która zależy od warunków środowiska termicznego, metabolizmu (wydatku energetycznego) oraz parametrów odzieży (izolacyjności i przepuszczalności powietrza).

2.3. Dopuszczalne wychłodzenie miejscowe organizmu określa wskaźnik t_{WC}^4 ($^{\circ}C$). Wartości dopuszczalne czasu narażenia w zależności od wskaźnika t_{WC} określono w tabeli 2a.

Tabela 2a. Wartości dopuszczalne wskaźnika t_{WC} w zależności od czasu narażenia

Temperatura chłodzenia powietrzem t_{WC} ($^{\circ}C$)	Dozwolony czas narażenia
$t_{WC} > -24$	Ekspozycja ciągła
$-24 \geq t_{WC} > -34$	Ekspozycja skrócona 
$-34 \geq t_{WC} > -59$	Ekspozycja skrócona 
$t_{WC} \leq -59$	Ekspozycja zabroniona

³⁾ Omówienie znaczenia wskaźnika $IREQ_{min}$ w rozdziale 7.3.

⁴⁾ Omówienie znaczenia wskaźnika t_{WC} w rozdziale 7.3.

2.4. Definicje pojęć oraz metod pomiaru i oceny mikroklimatu zimnego są określone w Polskich Normach.”

W rozporządzeniu następuje odwołanie do aktualnych norm, którymi są:

- PN-EN 27243:2005 *Środowiska gorące -- Wyznaczanie obciążenia termicznego działającego na człowieka podczas pracy, oparte na wskaźniku WBGT*
- PN-EN ISO 7730:2006 *Ergonomia środowiska termicznego -- Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego (oryg.)*
- PN-EN ISO 11079:2008 *Ergonomia środowiska termicznego -- Wyznaczanie i interpretacja stresu termicznego wynikającego z ekspozycji na środowisko zimne z uwzględnieniem wymaganej izolacyjności cieplnej odzieży (IREQ) oraz wpływu wychłodzenia miejscowego (oryg.)*

W odniesieniu do środowiska umiarkowanego brakuje bezpośredniego dokumentu wskazującego prawidłowe postępowanie. Jedyne wymagania w tym zakresie zawierają następujące rozporządzenia:

- *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 1 grudnia 1998 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy na stanowiskach wyposażonych w monitory ekranowe (DzU 1998, nr 148, poz. 973)*, w którym zapisano, iż „wilgotność względna powietrza w pomieszczeniach przeznaczonych do pracy z monitorem ekranowym nie powinna być niższa niż 40%” (§11)
- *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (DzU 1997, nr 129, poz. 844) wraz z obwieszczeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 sierpnia 2003 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (DzU 2003, nr 169, poz. 1650)*, gdzie podano, iż: „w pomieszczeniach pracy, w których jest wykonywana lekka praca fizyczna, i w pomieszczeniach biurowych temperatura nie może być niższa niż 18 °C” (§30); „w pomieszczeniach pracy powinna być zapewniona wymiana powietrza wynikająca z potrzeb użytkowych i funkcji tych pomieszczeń, bilansu ciepła i wilgotności oraz zanieczyszczeń stałych i gazowych” oraz „wymagania dotyczące parametrów powietrza w pomieszczeniach pracy określają odrębne przepisy i Polskie Normy” (§32), „powietrze doprowadzane do pomieszczeń pracy z zewnątrz przy zastosowaniu klimatyzacji lub wentylacji mechanicznej

powinno być oczyszczone z pyłów i substancji szkodliwych dla zdrowia. Klimatyzacja nie może powodować przeciągów, wyziębienia lub przegrzania pomieszczeń pracy; strumień powietrza pochodzący z urządzeń wentylacji nawiewnej nie powinien być skierowany bezpośrednio na stanowisko pracy” (§35)

- *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (DzU 2002, nr 75, poz. 690), gdzie zapisano, iż „w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi, wentylowanych w sposób mechaniczny lub klimatyzowanych, wartości temperatury, wilgotności względnej i prędkości ruchu powietrza w pomieszczeniach należy przyjmować do obliczeń zgodnie z Polską Normą dotyczącą parametrów obliczeniowych powietrza wewnętrznego”.

2. Wymiana ciepła między człowiekiem a otoczeniem

Między organizmem człowieka a otaczającym go środowiskiem zachodzi ciągła wymiana ciepła. Na rysunku 2.1 przedstawiono procesy fizyczne biorące udział w oddawaniu ciepła z organizmu człowieka do otoczenia.

Równanie bilansu cieplnego zostało opracowane przez Fanger [Fanger, 1970], a obecnie, po wielu modyfikacjach, przyjmuje następującą postać [ASHRAE, 2009]:

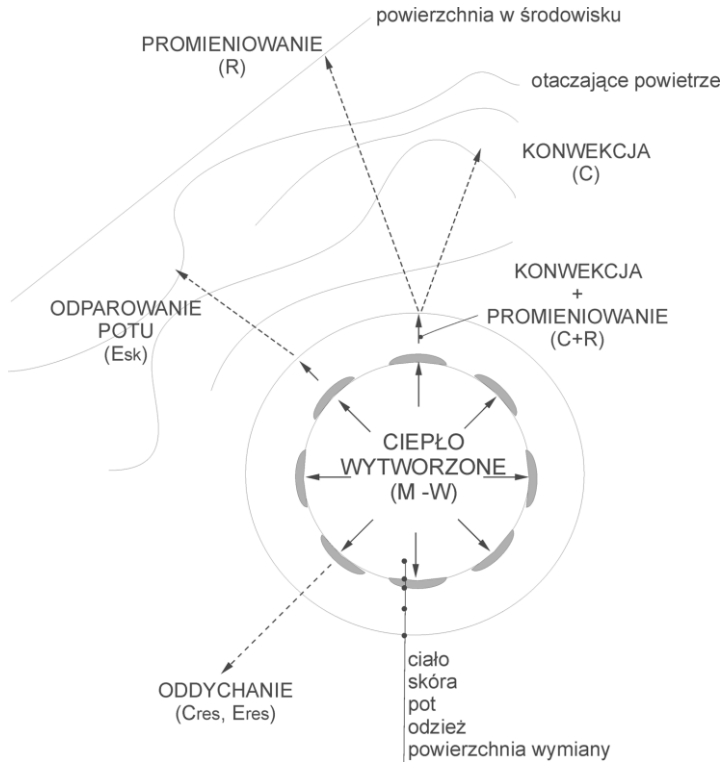
$$M - W = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + (S_{sk} + S_{cr}) \quad (2.1)$$

gdzie:

- M – tempo metabolizmu, W/m^2
- W – ilość ciepła zamieniana na moc mechaniczną, W/m^2
- $C + R$ – ilość ciepła oddawanego do otoczenia na drodze konwekcji i promieniowania (tzw. ciepło jawne), W/m^2
- E_{sk} – ilość ciepła oddawanego do otoczenia poprzez odparowanie potu z powierzchni skóry (tzw. ciepło utajone), W/m^2
- C_{res} – ilość ciepła oddawanego do otoczenia poprzez oddychanie, na drodze konwekcji, W/m^2
- E_{res} – ilość ciepła oddawanego do otoczenia poprzez oddychanie, na drodze odparowania, W/m^2
- S_{sk} – ilość ciepła akumulowanego w skórze, W/m^2
- S_{cr} – ilość ciepła akumulowanego w organizmie, W/m^2 .

W organizmie człowieka w wyniku przemian metabolicznych produkowana jest energia, która częściowo jest wykorzystywana do podtrzymania funkcji życiowych organizmu (tzw. metabolizm podstawowy), częściowo przeznaczana jest na wykonywanie pracy (metabolizm związany z aktywnością), a częściowo, w postaci

ciepła, przeznaczana jest na utrzymanie stałej temperatury wewnętrznej organizmu i w pozostałej części powinna być rozproszona w otoczeniu.



Rys. 2.1. Procesy wymiany ciepła pomiędzy organizmem a otoczeniem [ASHRAE, 2009]

Człowiek oddaje ciepło do otoczenia poprzez skórę (konwekcja, przenikanie i promieniowanie), wraz z wilgocią (lub potem) odparowującą z powierzchni skóry (odparowanie) oraz wraz z wydychanym powietrzem (konwekcja i odparowanie). Ciepło oddawane do otoczenia poprzez konwekcję i promieniowanie nazywane jest „ciepłem jawnym” (inaczej określanym jako „suche oddawanie ciepła”), natomiast ciepło przenoszone z organizmu wraz z odparowaniem wilgoci definiowane jest jako „ciepło utajone” (inaczej „wilgotne oddawanie ciepła”). W warunkach komfortu termicznego ilość ciepła, jaka pozostaje w organizmie, powinna być w całości rozproszona w otoczeniu. Jeżeli nie ma możliwości oddania ciepła do otoczenia, dochodzi do akumulacji ciepła w organizmie i do wystąpienia obciążenia termicznego, a w konsekwencji do wzrostu temperatury wewnętrznej. W odwrotnej sytuacji,

jeżeli ilość ciepła w organizmie jest zbyt mała w stosunku do ilości ciepła odbieranego z organizmu przez otaczające środowisko, w organizmie człowieka może dojść do obciążenia termicznego i do obniżenia temperatury wewnętrznej.

Na tej podstawie można określić, iż na bilans cieplny i w konsekwencji na wystąpienie dyskomfortu/obciążenia termicznego mają wpływ następujące parametry:

- ilość ciepła odbieranego przez otoczenie, tj. parametry otaczającego środowiska: temperatura powietrza, temperatura promieniowania, prędkość powietrza, wilgotność względna powietrza
- ilość ciepła generowanego przez człowieka i odprowadzanego z jego organizmu: metabolizm, wiek, aklimatyzacja, indywidualne czynniki psychofizyczne (stan zdrowia, poziom stresu itp.) oraz izolacyjność cieplna stosowanej odzieży.

Określając zatem, w jakim środowisku znajduje się pracownik, nie można ograniczać się do pomiaru jednego parametru, np. temperatury powietrza, gdyż stan środowiska zależy od wszystkich wymienionych powyżej elementów. Dla przykładu, w odniesieniu do osoby wykonującej lekką pracę fizyczną w pozycji siedzącej, z metabolizmem rzędu $1,2 \text{ met}^5$ oraz ubranej w odzież o izolacyjności cieplnej $0,5 \text{ clo}^6$, środowisko komfortowe termicznie oznacza zachowanie następujących parametrów powietrza w otoczeniu: temperatura $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$, względna wilgotność powietrza 50% , prędkość powietrza równa $0,1 \text{ m/s}$. Jeżeli ta sama osoba będzie wykonywała ciężką pracę fizyczną, z metabolizmem o wartości $2,2 \text{ met}$ i zostanie ubrana w odzież o izolacyjności cieplnej $0,8 \text{ clo}$, warunki komfortowe uzyska przy temperaturze otoczenia rzędu $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (prędkość i wilgotność względna powietrza nie ulegną zmianie), natomiast w temperaturze otoczenia równej $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$ będzie odczuwać otoczenie jako środowisko gorące, a w temperaturze otoczenia równej $6 \text{ }^\circ\text{C}$ będzie odczuwać otoczenie jako środowisko zimne. Jeżeli natomiast ta sama osoba zostanie cieplej ubrana, w odzież o izolacyjności cieplnej $1,7 \text{ clo}$, i będzie wykonywać pracę z metabolizmem wynoszącym $2,5 \text{ met}$, środowisko o temperaturze $6 \text{ }^\circ\text{C}$ będzie dla niej środowiskiem komfortowym, natomiast każda wyższa temperatura otoczenia będzie powodować odczuwanie gorąca. Tak więc nie zawsze można jednoznacznie wskazać konkretne wartości parametrów powietrza, które definiują środowisko zimne, gorące i umiarkowane.

⁵⁾ Met – jednostka tempa metabolizmu, $1 \text{ met} = 58 \text{ W/m}^2$

⁶⁾ Omówienie jednostki *clo* w rozdziale 6.

3. Termoregulacja człowieka

Środowisko życia i pracy człowieka działa na jego organizm poprzez cztery podstawowe parametry fizyczne powietrza otoczenia: temperaturę, jego ruch i wilgotność oraz temperaturę promieniowania. Od tych czynników zależy, czy człowiek odczuwa **komfort termiczny**, czy też jest mu zbyt ciepło lub zbyt zimno. Za komfort termiczny uważa się takie warunki środowiska, które nie wywołują żadnych reakcji termoregulacyjnych, wówczas skórny przepływ krwi jest umiarkowany, a średnia ważona temperatura skóry mieści się w zakresie $32 \div 34$ °C. Warunki takie odpowiadają **strefie termoneutralnej**. W przypadku lekko ubranego, pozostającego w spoczynku człowieka temperatura termoneutralna otoczenia wynosi $25\text{-}26$ °C, przy wilgotności względnej powietrza 50% i jednakowej temperaturze ścian i powietrza. Wartość ta dla człowieka bez ubrania jest większa i wynosi 28 °C. Temperatura komfortu obniża się, gdy jest wykonywany wysiłek fizyczny [Kozłowski, Nazar, 1999].

Człowiek, należąc do organizmów stałocieplnych, ma zdolność do utrzymania względnie stałej **temperatury wewnętrznej**, bliskiej 37 °C, pomimo zmian temperatury środowiska zewnętrznego. Jest to możliwe dzięki funkcjonowaniu złożonych **mechanizmów termoregulacji**. Ich działanie polega na dostosowywaniu ilości ciepła wytwarzanego w organizmie i ciepła wymienianego między organizmem a otoczeniem w celu zachowania homeostazy termicznej organizmu, w zmieniających się warunkach środowiska termicznego. Mechanizmy te są związane w pierwszym przypadku z **termoregulacją chemiczną**, a w drugim – z **termoregulacją fizyczną**.

Ekstremalne wartości temperatury wewnętrznej ciała, przy których możliwe jest przeżycie człowieka, mieszczą się w zakresie $24,0 \div 45,6$ °C. Zwykle jednak śmierć następuje, gdy temperatura ciała obniża się do 27 °C bądź przewyższa 42 °C.

Z punktu widzenia termoregulacji ciało człowieka można podzielić na cieplejsze wnętrze i chłodniejszą powłokę zewnętrzną.

Temperatura wewnętrzna ciała odzwierciedla zawartość ciepła w organizmie, jest ostatecznym wynikiem produkcji i eliminacji ciepła. Reprezentuje najważniejszą temperaturę ciała. Wnętrze ciała nie ma jednakowej temperatury w każdym miejscu. Optymalna temperatura, bliska 37 °C, musi być utrzymana w obrębie tułowia i głowy. Każde odchylenie temperatury wewnętrznej od tego punktu jest sygnałem do uruchomienia mechanizmów utraty lub magazynowania ciepła.

Zewnętrzna powłoka ciała obejmuje skórę i tkanki podskórne. Uczestniczą one w termoregulacji w różnym zakresie, zależnie od temperatury otoczenia. Temperatura powierzchni ciała jest pod silnym wpływem temperatury otoczenia i nie jest regulowana w wąskich granicach, jak temperatura wewnętrzna, chociaż reakcje termoregulacyjne zdecydowanie wpływają na temperaturę powierzchni ciała, szczególnie na jej zewnętrzną warstwę, którą stanowi skóra. Grubość powłoki ciała zaangażowanej w termoregulację zależy od warunków termicznych środowiska i potrzeb ciała człowieka do zachowania ciepła. W gorącym środowisku może to być powłoka cieńsza niż 1 cm, a u osób zachowujących ciepło w zimnym środowisku może rozszerzyć się do kilku centymetrów poniżej powierzchni skóry [Rhoades i Tanner, 1995].

Środowisko termiczne może oddziaływać na całe ciało, powodując zmiany temperatury wewnętrznej, wówczas mówi się o **działaniu ogólnym**. Inny rodzaj wpływu środowiska termicznego na człowieka to **działanie miejscowe**, czyli oddziaływanie na niektóre obszary ciała, np. kończyny, drogi oddechowe czy odkryte części ciała.

Tolerancja zimnego lub gorącego środowiska zależy w dużym stopniu od indywidualnych czynników, takich jak: wydolność fizyczna, wiek, budowa ciała i stan zdrowia. Dolegliwości sercowo-naczyniowe, obniżona funkcjonalność nerek, otyłość, zły stan zdrowia (infekcje, choroby tropikalne itp.), nadużywanie alkoholu lub leków są czynnikami przyczyniającymi się do zwiększonej nietolerancji środowiska termicznego. Niska wydolność fizyczna związana z wyczerpaniem fizycznym, odwodnieniem lub wygłodzeniem powoduje, że ludzie są bardziej wrażliwi na działanie gorącego i zimnego środowiska.

Budowa układu termoregulacji

Układ termoregulacji składa się z trzech głównych elementów, do których zalicza się:

- termoreceptory i termodetektory, czyli struktury wrażliwe na zmiany temperatury otoczenia lub temperatury wnętrza ciała

- ośrodek termoregulacji, który zbiera i przekształca informacje ze struktur wrażliwych na temperaturę
- efektor układu termoregulacji.

Informacje o zmianach temperatury są odbierane przez termoreceptory obwodowe i termodetektory ośrodkowe, które są termowrażliwymi neuronami. Termoreceptory obwodowe znajdują się głównie w skórze, ale występują też w narządach wewnętrznych: mięśniach, górnych drogach oddechowych, ścianach naczyń żylnych oraz niektórych odcinkach przewodu pokarmowego. Obecność termodetektorów stwierdzono np. w przedniej części podwzgórza i szyjnej części rdzenia kręgowego. Reagują one na podwyższenie temperatury tych struktur [Kaciuba-Uściłko, 2004].

Ośrodek termoregulacji jest umiejscowiony w podwzgórzu i składa się z dwóch połączonych ze sobą części. W przedniej części podwzgórza znajduje się ośrodek eliminacji ciepła, odpowiedzialny za jego utratę, a w części tylnej – ośrodek zachowania ciepła, który reguluje zatrzymanie ciepła w organizmie.

Efektorami termoregulacji fizycznej są układ krążenia i gruczoły potowe, a efektorami termoregulacji chemicznej – głównie mięśnie szkieletowe, wątroba i tkanka tłuszczowa, zwłaszcza brunatna. Zmiana stanu czynnościowego efektorów termoregulacji fizycznej wywołuje zwiększenie lub zmniejszenie utraty ciepła przez organizm. W przypadku efektorów termoregulacji chemicznej, ich zmienna aktywność prowadzi do zmniejszenia lub zwiększenia szybkości wytwarzania ciepła metabolicznego w organizmie. W termoregulacyjnym modyfikowaniu tempa metabolizmu mogą pośredniczyć hormony wywierające działanie ciepłotwórcze, do których należą np. hormony tarczycy – trijodotyronina (T3), aminy katecholowe i glukagon. Można je więc także zaliczyć do efektorów układu termoregulacji.

Reakcje termoregulacyjne w środowisku gorącym i zimnym

Pierwszą reakcją na warunki odbiegające od komfortowych są **reakcje behawioralne**. Polegają one na aktywności osoby eksponowanej na środowisko termiczne odbiegające od komfortu i obejmują m.in. unikanie lub skracanie ekspozycji na gorące lub zimne środowisko, regulowanie czasu trwania wysiłku, zakładanie lub zdejmowanie odzieży, izolowanie źródeł promieniowania cieplnego. Gdy reakcje behawioralne są niewystarczające, wówczas, w sposób automatyczny, następuje dostosowanie fizjologiczne mające na celu utrzymanie równowagi cieplnej, a zatem stałej, kontrolowanej temperatury wewnętrznej ciała.

Stres gorąca ma miejsce, gdy w organizmie człowieka jest nadmiar ciepła i nie może ono być uwolnione do otoczenia [Marszałek i in., 2007; Marszałek, 2011].

W **środowisku gorącym** mamy kilka źródeł ciepła, które jest kumulowane w organizmie osoby eksponowanej na takie warunki. Z jednej strony jest to ciepło metaboliczne związane z funkcjonowaniem organizmu. Z drugiej, ciepło pochodzące ze środowiska, jeśli temperatura powietrza jest wyższa od średniej ważonej temperatury skóry. Również podczas wysiłku fizycznego wytwarzane są duże ilości ciepła, ze względu na mały współczynnik pracy użytecznej ciała człowieka, wynoszący 20-25%. Oznacza to, że tylko ok. 20-25% energii chemicznej ulega przekształceniu w energię mechaniczną, a reszta zamienia się w energię cieplną. Podczas ciężkich, dłużej trwających wysiłków ilość wytwarzanego ciepła może sięgnąć 600-800 W, a podczas wysiłków krótkotrwałych o wysokiej intensywności może przekraczać 1000 W. Gdyby to ciepło nie mogło być rozpraszane do środowiska zewnętrznego, wzrost temperatury wewnętrznej ciała przekraczałby 1% w ciągu kilku minut. W takim przypadku nie byłoby możliwe kontynuowanie wysiłku przez okres dłuższy niż kilkanaście minut [Kozłowski i Nazar, 1999].

Podczas wykonywania **wysiłków fizycznych**, pomimo aktywacji mechanizmów termoregulacyjnych, temperatura wewnętrzna ciała podnosi się i po ok. 30-40 minutach stabilizuje na poziomie odpowiadającym ich intensywności. Poziom stabilizacji temperatury wewnętrznej ciała podczas pracy mięśniowej zależy głównie od wielkości obciążenia, a w mniejszym stopniu od temperatury otoczenia, w szerokim zakresie jej zmienności. Tak więc, podczas wysiłku fizycznego temperatura wewnętrzna jest precyzyjnie regulowana, lecz na poziomie wyższym, niż podczas spoczynku.

Ciepło zakumulowane w organizmie jest w nim przekazywane drogą przewodnictwa tkankowego z tkanek cieplejszych do chłodniejszych. Również krew przenosi ciepło po całym obszarze ciała, w tym również na powierzchnię ciała, czyli do rejonu skóry.

W reakcji na środowisko gorące **naczynia krwionośne skóry** rozszerzają się, czego skutkiem jest zwiększony przepływ krwi w skórze. Na powierzchni skóry następuje oddawanie ciepła do otoczenia drogą konwekcji i promieniowania, o ile temperatura powietrza jest niższa od średniej ważonej temperatury skóry. Gdy podwyższa się temperatura wewnętrzna ciała, wówczas, pod wpływem stymulacji ośrodkowych termodetektorów, następuje aktywacja gruczołów potowych, które umożliwiają chłodzenie skóry w wyniku **parowania wydzielonego potu**. Gdy

temperatura powietrza otoczenia jest wyższa od średniej ważonej temperatury skóry, wówczas konwekcja, promieniowanie i przewodzenie ciepła dostarczają ciepło do organizmu. W takich warunkach jedyną drogą oddawania ciepła do otoczenia jest parowanie potu na powierzchni skóry.

W warunkach spoczynkowych, w neutralnej temperaturze powietrza otoczenia, zachodzi parowanie niewidoczne i parowanie potu. Parowanie niewidoczne nie podlega kontroli fizjologicznej, jest to parowanie wody przedostającej się do skóry na skutek dyfuzji. Proces parowania zachodzi wtedy, gdy prężność pary wodnej na powierzchni skóry jest wyższa niż prężność pary w powietrzu. Znaczenie termoregulacyjne ma tylko parowanie potu. Efektywna utrata ciepła przez parowanie potu zachodzi wówczas, gdy ciśnienie parcjalne potu jest większe od ciśnienia parcjального pary wodnej zawartej w powietrzu. Całkowite wyparowanie 1 g potu powoduje usunięcie ok. 2,4 kJ ciepła z organizmu. Jednakże, gdy sytuacja odwraca się i w otoczeniu wilgotność powietrza jest większa od ciśnienia parcjального potu, wówczas pot dalej jest wytwarzany, ale następuje jego skraplanie, a pot ściekający po skórze nie ma znaczenia termoregulacyjnego. W takiej sytuacji zachodzi utrata wody i elektrolitów z organizmu, a ciepło nie jest usuwane [Kozłowski i Nazar, 1999].

Lokalne oddziaływanie środowiska gorącego może spowodować oparzenia skóry w wyniku dotknięcia gorących powierzchni ciał stałych. Skład komórek ciała człowieka jest taki, że przy temperaturze powyżej ok. 43 °C może nastąpić ich uszkodzenie, jeśli ekspozycja na tę temperaturę trwa wystarczająco długo. Generalnie, prawdziwe jest stwierdzenie, że jeśli temperatura skóry, będącej w kontakcie z powierzchnią stałą, jest mniejsza niż 43 °C, wówczas można nie odczuwać dyskomfortu i bólu oraz nie powstaną uszkodzenia skóry. Jednakże te ustalenia mają zastosowanie tylko do lokalnych temperatur skóry. Jeśli temperatura wewnętrzna ciała zbliży się do 42 °C, wówczas nastąpi załamanie termoregulacji, ponieważ bezpieczny poziom górnej granicy temperatury wewnętrznej znajduje się poniżej 38,5 °C [Parsons, 2003].

W celu określenia reakcji skóry na kontakt z gorącą powierzchnią niezbędne jest ustalenie natury tego kontaktu. Ciepło będzie przekazywane z gorącej powierzchni do chłodniejszej skóry. Kierunek przepływu ciepła wyznacza pierwsza zasada termodynamiki. Szybkość przekazywania ciepła będzie zależała od czasu trwania tego kontaktu i od tego, jak dokładny jest ten kontakt, to znaczy jak mocny jest nacisk wywierany przez ciało człowieka (skórę) na gorącą powierzchnię.

Stres zimna jest wynikiem nadmiernej, niezrównoważonej utraty ciepła z organizmu. Przyczyną takiej sytuacji jest znaczna różnica temperatury między powierzchnią ciała i temperaturą powietrza otoczenia, która sprzyja utracie ciepła drogą konwekcji i promieniowania.

Zimne środowisko pracy jest istotnym czynnikiem zagrożenia, występującym zarówno w pomieszczeniach, jak i na zewnątrz budynków. W pierwszym przypadku łączy się z oddziaływaniem zimna przez cały rok, przy czym w porze letniej różnice temperatury między warunkami pracy i aktualnymi warunkami środowiska życia mogą być znaczące. Warunki klimatyczne w pomieszczeniach są stałe, tak więc możliwe staje się tam zarządzanie ryzykiem. Z kolei praca na otwartej przestrzeni wiąże się z sezonową ekspozycją na zimne środowisko, przy czym narażenie na to środowisko może mieć zmienną intensywność [Makowiec-Dąbrowska i in., 2007; Marszałek, 2009, 2010, 2011, 2012].

Na otwartej przestrzeni kombinacja niskiej temperatury i ruchu powietrza (wiatru) stanowi znaczącą siłę chłodzącą i może stać się głównym czynnikiem ryzyka podczas pracy w środowisku zimnym. Najczęściej działanie zimna nie wiąże się z koniecznością chłodzenia poprzez parowanie potu. Należy jednak mocno podkreślić, że zalecane jest unikanie pocenia się w zimnym środowisku, aby utrzymywać odzież w stanie suchym, a zatem zapewniającym odczuwalne ciepło. Odzież ciepłochronna jest istotnym czynnikiem pozwalającym kontrolować równowagę cieplną. Zwiększona izolacyjność cieplna odzieży i możliwość jej regulowania pozwala dostosować konwekcyjną i radiacyjną utratę ciepła, zgodnie z wymogami uwarunkowanymi środowiskiem termicznym, ale też intensywnością wykonywanej pracy [Holmer, 2009].

W środowisku zimnym reakcje termoregulacyjne polegają na **zachowaniu ciepła** oraz jego **wytwarzaniu** wewnątrz ciała. Jeśli reakcje behawioralne są niewystarczające do utrzymania równowagi cieplnej, wówczas krążenie obwodowe, szczególnie w kończynach, zmniejsza się, aby ograniczyć utratę ciepła z wnętrza ciała. Przy bardziej nasilonym chłodzeniu zmniejsza się temperatura wewnętrzna ciała, co wywołuje kompensacyjną produkcję ciepła w wyniku drżenia mięśniowego, a więc odruchowych skurczy mięśni szkieletowych, niezależnych od woli człowieka.

Na skutek zwężenia naczyń skóry krew z żył powierzchniowych jest kierowana do żył głębokich, które przebiegają w sąsiedztwie tętnic. W ten sposób krew tętnicza wchodząca do kończyny, mająca stosunkowo wysoką temperaturę, oddaje ciepło chłodnej krwi żyłnej. Ten przeciwny sposób wymiany ciepła pozwala na zachowanie ciepła wewnątrz organizmu.

W sytuacji, gdy samo zachowanie ciepła nie wystarcza, uruchamia się jego wytwarzanie w organizmie. Jeśli niska temperatura utrzymuje się przez dłuższy czas, to następuje odruchowe pobudzenie mięśni szkieletowych, następnie pojawia się ich drżenie, które zwiększa wytwarzanie ciepła w wyniku **termogenezy drżeniowej**. Ilość ciepła, jak jest wytwarzana, może u dorosłego człowieka przekraczać 5-6 razy poziom jego spoczynkowej przemiany materii. Jednakże podwyższone tempo metabolizmu nie może być utrzymywane przez bardzo długi czas, w związku z tym obserwuje się wahania jego poziomu od wartości bardzo wysokich do bardzo niskich. Jeśli ten typ drżenia jest utrzymywany przez okres godziny i dłuższy, to wtedy uśrednione wytwarzanie ciepła jest wyższe od spoczynkowego o 50 ÷ 100% [Kaciuba-Uściłko, 2004].

Gdy człowiek znajduje się w warunkach niskiej temperatury otoczenia lub wówczas, gdy obniża się jego temperatura wewnętrzna, następuje pobudzenie układu współczulno-nadnerczowego, co powoduje zwiększenie stężenia amin katecholowych we krwi oraz wydzielania innych hormonów o działaniu ciepłotwórczym, to znaczy glukagonu i hormonu tarczycy. Hormony te, działając na tkanki i narządy organizmu, takie jak: brunatna tkanka tłuszczowa, mięśnie szkieletowe i wątroba, powodują wzrost ich tempa metabolizmu, a w konsekwencji zwiększenie wytwarzania ciepła na drodze **termogenezy bezdrżeniowej**.

Lokalne działanie zimnego środowiska obejmuje bezpośredni kontakt określonych partii ciała z zimnymi powierzchniami, a także chłodzenie nieosłoniętych obszarów skóry, głównie twarzy i rąk, wywołane ruchem powietrza. Do lokalnego oddziaływania zimnego środowiska należy także chłodzenie organizmu przez drogi oddechowe oraz chłodzenie kończyn.

Aklimatyzacja w środowisku gorącym i zimnym

Powtarzana ekspozycja na **środowisko gorące** może spowodować rozwój specyficznych dostosowań funkcjonalnych, czyli **aklimatyzacji**, które zmniejszają obciążenie fizjologiczne, jakiemu poddawana jest osoba eksponowana. W wyniku codziennych sesji wysiłku fizycznego, pocenia i dostosowania układu krążenia krwi następuje bardziej sprawna kontrola termoregulacyjna. Zdolność do wykonywania wysiłku fizycznego w warunkach środowiska gorącego jest zwiększona, jeśli jest poprzedzona okresem 7-10 dni aklimatyzacji. Podczas tego okresu następuje stopniowe eksponowanie osoby na coraz większe obciążenie cieplne. Pewien stopień aklimatyzacji do gorąca jest wykształcany zarówno w wyniku ekspozycji na środowisko gorące, jak i poprzez regularny, intensywny wysiłek fizyczny.

Jednakże, skuteczność aklimatyzacji jest większa, gdy obydwa te czynniki występują łącznie [Kaciuba-Uściłko, 2004].

Przejawem aklimatyzacji do środowiska gorącego są niższe poziomy częstotliwości skurczów serca i temperatury wewnętrznej, uruchamianie pocenia przy niższych poziomach temperatury wewnętrznej, niż u osób nieaklimatyzowanych, a także zmiana składu potu w kierunku oszczędzania jonów Na⁺. Zmiany te sprawiają, że wysiłek w środowisku gorącym można wykonywać dłużej.

Aklimatyzacja do gorącego środowiska jest stanem przejściowym. Zanika w takim samym okresie, w jakim powstawała, jeśli ekspozycje na środowisko gorące nie są powtarzane.

Rodzaj **aklimatyzacji do środowiska zimnego** zależy od natury ekspozycji na zimno. Częściowo z tego powodu istnienie u człowieka aklimatyzacji do zimna wydaje się kontrowersyjne. Prezentowana tu wiedza o takim przystosowaniu pochodzi z badań laboratoryjnych i badań populacyjnych wśród osób, które są zatrudnione lub żyją w warunkach środowiska zimnego. Tak więc najważniejsze aspekty przystosowania to:

- zmiany tempa metabolizmu. Wyniki wielu badań wskazują na występowanie reakcji polegającej na obniżeniu poziomu granicznej temperatury wewnętrznej, przy której zachodzi drżenie mięśniowe, a więc istnieje możliwość większego spadku temperatury wewnętrznej i mniejszej reakcji metabolicznej w zimnym środowisku bez oznak dyskomfortu. Taka reakcja oszczędza energię metaboliczną i może stanowić korzyść w środowiskach, które nie są na tyle zimne, aby niewielka reakcja metaboliczna mogła spowodować spadek temperatury wewnętrznej do poziomu niebezpiecznego
- zwiększona izolacyjność tkanek. W badaniach aklimatyzacji do zimnego środowiska często jest obserwowane mniejsze przewodnictwo między wnętrzem ciała a skórą, to znaczy występuje zwiększona izolacyjność powłoki ciała. Ta reakcja polega na mniejszym przepływie krwi w kończynach lub zwiększonej przeciwprądowej wymianie ciepła. Generalnie, stres zimny, który umożliwia mniejsze przewodzenie „wnętrze ciała – skóra” dotyczy zarówno zanurzenia w zimnej wodzie, jak i ekspozycji na zimne powietrze, które to środowiska są chłodne, ale nie tak zimne, aby spowodować odmrożenie kończyn, które mają silnie zwężone naczynia krwionośne w skórze
- indukowane zimnem rozszerzenie naczyń krwionośnych skóry. Gdy temperatura powietrza otoczenia spadnie poniżej 15 °C, wówczas naczynia

krwionośnie skóry dłoni i stóp zaczynają się **okresowo rozszerzać**. Ta reakcja została opisana pierwszy raz przez Lewisa. Nazywana jest **falami Lewisa**, ze względu na jej cykliczną naturę. Może ona występować u osób będących w stanie komfortu termicznego, jednakże w wyniku powtarzanej ekspozycji na środowisko zimne rozpoczyna się wcześniej, powoduje większy przepływ krwi i przyjmuje rytmiczny charakter powtarzanego skurczu i rozkurczu naczyń krwionośnych. Reakcja ta jest powszechna u osób, których ręce są eksponowane na zimno, np. u rybaków pracujących z sieciami, w kontakcie z zimną wodą. Ze względu na to, że zwiększa ona utratę ciepła z organizmu, dyskusyjne wydaje się, czy jest to rzeczywiście aklimatyzacja do środowiska zimnego. Jednakże powoduje korzystną sytuację dla organizmu, ponieważ pozwala utrzymywać kończyny cieplejsze, dając bardziej komfortowe odczucia cieplne, zapewnia sprawność kończyn, a także chroni je przed uszkodzeniami spowodowanymi zimnem (odmrożeniem).

Rola odzieży

Każda odzież noszona przez człowieka stanowi przeszkodę na drodze wymiany ciepła między ciałem człowieka i jego otoczeniem. Jednakże zastosowanie odzieży umożliwiło ludziom zasiedlenie, a także penetrację nowych środowisk, czasem znacznie różniących się od warunków komfortu termicznego, a nawet środowiska umiarkowanego.

Funkcjonalna rola odzieży jest związana z utrzymaniem ciała w akceptowalnym stanie cieplnym w różnych środowiskach. Nie bez znaczenia jest jednakże wygląd odzieży. Osoby, które powinny stosować odzież ochronną, zwracają dużą uwagę na jej aspekt estetyczny i często jest to przeszkodą w jej stosowaniu.

Oddziaływanie odzieży na jej użytkownika jest procesem złożonym, szczególnie gdy dotyczy wykonywania wysiłku. Nie zawsze można go opisać i określić ilościowo. Należałoby uwzględnić następujące zjawiska [Parsons, 2003]:

- izolacyjność cieplną odzieży
- transport wilgoci i pary wodnej przez odzież (np. pot, czynniki chemiczne w postaci płynnej)
- wymianę ciepła przez odzież (przewodnictwo, konwekcja, promieniowanie, parowanie i kondensacja)
- kompresję odzieży (np. przez silny wiatr)

- efekt pompowania, czyli przepływ powietrza pod odzieżą w wyniku poruszania się użytkownika odzieży
- penetrację powietrza (przez tkaninę, otwory konstrukcyjne, np. rękawy)
- pozycję ciała i inne.

Do scharakteryzowania odzieży najczęściej uwzględnia się jedynie jej izolacyjność cieplną i przepuszczalność pary.



Rys. 3.1. Przykład odzieży chroniącej przed płynnymi chemikaliami. Odzież wykonana z tkaniny powleczonej, nieprzepuszczalna dla powietrza i pary wodnej

W **środowisku gorącym** najlepiej byłoby nosić jak najmniej odzieży, aby maksymalnie usprawnić proces oddawania ciepła do otoczenia. Jednakże w warunkach na stanowiskach pracy, gdy występują różne czynniki zagrożenia (np. fizyczne – promieniowanie, chemiczne – szkodliwe płyny, pary lub gazy), należy chronić mniejsze lub większe partie ciała przed tymi czynnikami (rys. 3.1). W skrajnych warunkach osoba ekspozowana na czynniki szkodliwe zakłada szczelną odzież ochronną chroniącą całe ciało, ale uniemożliwiającą kontakt ze środowiskiem. W takich przypadkach osoba ekspozowana ma pod odzieżą ochronną butlę z powietrzem lub tlenem, aby mieć możliwość oddychania nieskażonym powietrzem lub tlenem [Marszałek, 2006; Bartkowiak i Marszałek, 2007].

W **środowisku zimnym** odzież ciepłochronna jest podstawowym środkiem zabezpieczenia organizmu przed stratami ciepła osoby przebywającej w tych warunkach. Odzież taka powinna umożliwiać dostosowanie jej izolacyjności do zmieniających się warunków środowiska i intensywności pracy [Marszałek, 2012].

Zastosowanie odzieży o wymaganej ciepłochronności ma zapobiegać hipotermii i obniżeniu temperatury wewnętrznej ciała nie więcej niż o 1,0 °C, czyli do 36,0 °C [PN-EN ISO 9886:2005]. W środowisku zimnym stosowana odzież jest grubsza i opór dla przenoszenia ciepła parowania się zwiększa. Akumulacja wilgoci w odzieży z powodu jej absorpcji i kondensacji potu pogarsza ochronne znaczenie izolacyjności odzieży. Powinno się unikać wystąpienia **pocenia**. Parowanie

potu jest zjawiskiem bardzo nieefektywnym w warunkach środowiska zimnego, gdyż większa część potu jest akumulowana w odzieży.

Mokra lub wilgotna odzież nie tylko powoduje niekomfortowe odczucia u użytkownika, ale wpływa na bilans cieplny organizmu poprzez fakt, że dostarcza mniejszej izolacyjności niż w stanie suchym. Wychłodzenie ciała może się wzmacniać po następujących po sobie okresach wysiłku i spoczynku, jeśli cały czas jest użytkowana ta sama odzież.

Naturalną strategią prowadzącą do zachowania **suchej odzieży** i kontrolowania pocenia do niezbędnego minimum jest utrzymanie dużego gradientu temperatury między powierzchnią ciała i temperaturą otoczenia w celu umożliwienia konwekcyjnej utraty ciepła z organizmu. Nie zawsze jednak jest to możliwe.

Mówiąc o zawilgoceniu odzieży, należy zauważyć pewien paradoks, jeśli w ocenie środowiska będziemy się kierować tylko wyznaczeniem temperatury otoczenia [Parsons, 2003]. Środowisko cieplne człowieka może być określone jako zimne i prowadzić do utraty ciepła z organizmu. Jednakże, gdy w środowisku o niskiej temperaturze powietrza, np. 5 °C, pracuje człowiek, którego odzież jest zbyt gruba, wówczas ta osoba będzie odczuwała warunki cieplne jako ciepłe lub gorące i może dojść do pocenia. W innej sytuacji, w tych samych warunkach otoczenia, gdy ten sam pracownik wykonuje w następnej kolejności pracę w pozycji siedzącej, może dojść do utraty ciepła i dyskomfortu, który będzie wywołany wilgotną odzieżą.

Przy ocenie środowiska termicznego człowieka można więc spotkać się z sytuacją, gdy osoba eksponowana na to środowisko zmienia swój stan cieplny od odczuć zimna do wrażenia gorąca – bez zmiany temperatury otoczenia. Nie wystarczy bowiem określić warunków środowiska fizycznego, ważne jest także dostosowanie odzieży i intensywności wykonywanej pracy, aby nie spowodować nadmiernej utraty lub akumulacji ciepła w organizmie.

Najbardziej korzystną sytuacją dla osoby przebywającej w środowisku zimnym byłoby zastosowanie takich ochron, które zapewniłyby komfort termiczny, mimo występowania niskich temperatur w otoczeniu.

Jak już stwierdzono, pomimo zwiększania się środowiskowego stresu zimna w zimnym otoczeniu możliwe jest występowanie zjawiska **gromadzenia ciepła** w organizmie, powodującego pojawienie się obciążenia termicznego. Zjawisko takie w środowisku zimnym jest dość powszechne, zwykle w przypadku wystąpienia trudności lub niemożności zmiany izolacyjności odzieży, wynikających ze zmian produkcji ciepła, co najczęściej wiąże się ze zmianą intensywności pracy.

Wykazały to wyniki pomiarów terenowych i laboratoryjnych [Rintamaki i Rissanen, 2006], które przeprowadzono z zastosowaniem odzieży chroniącej przed chemikaliami. Mała **przepuszczalność pary wodnej** i zwiększona izolacyjność cieplna są charakterystyczne dla większości materiałów używanych na tego typu odzież. Odzież chroniąca przed chemikaliami wraz z gumowymi rękawicami i obuwiem znacznie zaburza mechanizmy rozpraszania ciepła zachodzące na powierzchni skóry. Stwierdzono, że w środowisku zimnym ważne są zarówno zapewnienie odpowiedniej izolacyjności cieplnej odzieży, zależnej od intensywności pracy, jak i takie własności odzieży ochronnej, które umożliwią utratę ciepła z organizmu. Stale potrzebne są zatem prace nad doskonaleniem systemu pozwalającego na łatwe dostosowanie izolacyjności cieplnej odzieży do zmian aktywności fizycznej.

Należy jeszcze zwrócić uwagę, że w zimnym środowisku trzeba chronić także **ręce, stopy, oczy, uszy i policzki** z powodu dużej powierzchni w stosunku do ich masy, przez co są narażone na utratę ciepła bardziej niż inne obszary ciała. Poza tym takie obszary, jak policzki, należy chronić przed zimnem i wilgocią, gdyż może tu łatwo dojść do uszkodzeń skóry.

Miejsca pracy powinny być zabezpieczone przed działaniem **wiatru**, gdyż wiatr zwiększa konwekcyjną utratę ciepła, a wnikając między warstwy odzieży, zmniejsza ich własności ciepłochronne. W związku z tym zewnętrzne warstwy odzieży stosowanej na otwartej przestrzeni powinny być wiatrochronne.

W warunkach silnego wiatru również **ręce i głowa** są mocno narażone na utratę ciepła. Następuje to szczególnie wtedy, gdy ciało nagrzewa się w wyniku wykonywania pracy o dużej intensywności – wówczas nieosłonięta głowa i ręce są miejscami znacznej utraty ciepła.

Następnym aspektem, który należy wziąć pod uwagę przy projektowaniu odzieży chroniącej przed zimnem, jest jej **masa**. Ze względu na przeważnie dużą masę odzieży chroniącej przed zimnem, wykonywanie pracy staje się trudniejsze i mniej efektywne, niż w warunkach łagodniejszego środowiska termicznego.

4. Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej

Charakterystykę podstawowych przyrządów do mierzenia wielkości fizycznych kształtujących środowisko termiczne przedstawiono w normie PN-EN ISO 7726:2001 *Ergonomia środowiska termicznego. Przyrządy do pomiaru wielkości fizycznych*. W normie zostały omówione wymagania i metody dotyczące pomiarów przeprowadzanych w zależności od stopnia obciążenia termicznego. Zostały one podzielone na dwie klasy:

- klasa typu C dotyczy pomiarów prowadzonych w środowisku umiarkowanym, zbliżonym do warunków komfortu termicznego
- klasa typu S dotyczy pomiarów prowadzonych w środowisku o większym obciążeniu termicznym.

Środowisko termiczne może się cechować jednorodnym lub niejednorodnym rozkładem badanych wielkości fizycznych. Od poprawnego określenia rodzaju środowiska zależy prawidłowość przeprowadzonych pomiarów. Zgodnie z normą PN-EN ISO 7726:2001 środowisko jednorodne występuje wtedy, gdy odchyłki między każdą z mierzonych wielkości a średnią przestrzenną (mierzoną w różnych miejscach), nie przekraczają wartości uzyskanych przez pomnożenie wymaganej dokładności pomiaru i odpowiedniego czynnika X. Dokładności pomiaru poszczególnych wielkości fizycznych zostały opisane w dalszej części rozdziału, natomiast przykładowe wartości czynnika X zamieszczono w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Kryteria środowiska jednorodnego

Wielkość fizyczna	Czynnik X	
	klasa C	klasa S
T_a – temperatura powietrza	3	4
T_r – średnia temperatura promieniowania	2	2
V_a – prędkość przepływu powietrza	2	3

W przypadku stwierdzenia środowiska niejednorodnego pomiary należy wykonywać w kilku miejscach wokół badanego przedmiotu.

W zależności od mierzonych wielkości, środowiska czy klasy wymagań, pomiary należy wykonywać, w miarę możliwości, na określonych wysokościach, w miejscach, gdzie człowiek zwykle wykonuje swoją pracę (tab. 4.2). Należy uwzględnić również współczynniki wagowe do obliczania wartości średnich.

Tabela 4.2. Położenie miejsc pomiarowych

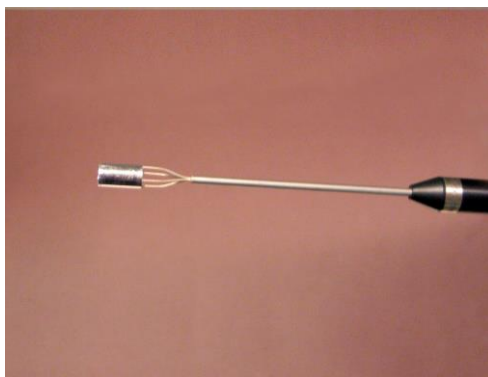
Poziomy położenia czujników	Współczynniki wagowe stosowane do obliczeń wartości średnich				Orientacyjne wysokości pomiarów m	
	środowisko jednorodne		środowisko niejednorodne		pozycja siedząca	pozycja stojąca
	klasa C	klasa S	klasa C	klasa S		
Głowa			1	1	1,1	1,7
Brzuch	1	1	1	2	0,6	1,1
Kostki			1	1	0,1	0,1

Jeżeli niemożliwe jest wykonanie pomiarów dokładnie w miejscu pracy, należy umieścić czujniki w takich miejscach, by symulowana wymiana ciepła była taka sama, jakiej podlegałby człowiek.

W normie podano również wymagania dotyczące mierników, które są stosowane do pomiaru konkretnych parametrów powietrza. W dalszej części rozdziału przedstawiono wybrane parametry uwzględniane w badaniach środowiska termicznego.

Temperatura powietrza

Temperatura powietrza powinna być mierzona w przypadku określania wymiany ciepła przez konwekcję na poziomie ciała człowieka. Temperatura powietrza to wielkość fizyczna, wyrażana w stopniach Celsjusza – t_a (°C) lub w kelwinach – T_a (K). Z racji, iż skala Kelvina jest oparta na skali Celsjusza, aby przeliczyć stopnie Celsjusza na kelwiny, należy dodać wartość +273,15.



Rys. 4.1. Sonda do pomiaru temperatury powietrza MM0034

Do pomiaru temperatury powietrza służą np. czujniki oporowe zbudowane z platyny Pt100. Rysunek 4.1 przedstawia przykładową sondę do pomiaru temperatury powietrza.

Podczas pomiarów należy pamiętać o bezwładności sond, a pomiar właściwy wykonywać po upływie przynajmniej 1,5 czasu reakcji czujnika. Wymagania odnośnie do aparatury pomiarowej dla klasy C i S zamieszczono w tabeli 4.3.

Tabela 4.3. Temperatura powietrza T_a – zakres i dokładność pomiarów

Klasa C (komfort termiczny)			Klasa S (stres cieplny)		
zakres pomiaru, °C	dokładność wymagana, °C	dokładność pożądana, °C	zakres pomiaru, °C	dokładność wymagana, °C	dokładność pożądana
10 ÷ 40	± 0,5	± 0,2	-40 ÷ 0	± (0,5+0,01 t_a)	± $\frac{\text{dokładność wymagana}}{2}$
			> 0 ÷ 50	± 0,5	
			> 50 ÷ 120	± [0,5+0,04(t_a -50)]	
Wymienione dokładności powinny być zagwarantowane dla odchyłki					$t_r - t_a < 20$ °C

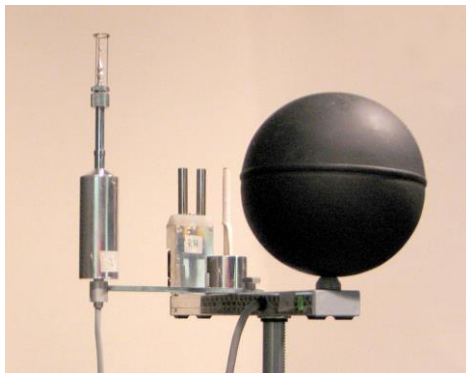
Podczas pomiarów temperatury powietrza należy jak najskuteczniej chronić czujnik przed wpływem promieniowania. Redukcja efektu promieniowania może następować m.in. poprzez zmniejszenie współczynnika emisyjności czujnika – czyli zastosowanie czujników wysoko polerowanych bądź stosowanie czujnika pokrytego farbą odblaskową. Redukcję efektu promieniowania można także osiągnąć poprzez wprowadzanie odblaskowych monitorów, np. o grubości 0,1-0,2 mm, wykonanych z odbijającego metalu (aluminium). Również zwiększenie współczynnika wymiany ciepła przez konwekcję w następstwie zwiększania prędkości przepływu powietrza za pomocą wentylacji wymuszonej powoduje redukcję efektu promieniowania.

Średnia temperatura promieniowania

Zgodnie z normą PN-EN ISO 7726:2001 ilość ciepła promieniowania netto jest definiowana jako suma wszystkich strumieni promieniowania docierających do odsłoniętych części sondy z różnych otaczających ją źródeł ciepła. Każdy z tych strumieni może być obliczany na podstawie znajomości takich wielkości, jak: wymiar, lokalizacja, właściwości cieplne źródła promieniowania (temperatura powierzchni i emisyjność) i narażonej części ciała. Średnia temperatura promieniowania wyrażana jest w °C (\bar{t}_r) lub w kelwinach (\bar{T}_r).

Średnia temperatura promieniowania mierzona jest za pomocą tzw. poczernionej kuli (*black globe thermometer*), która umożliwia wyznaczenie temperatury

promieniowania z jednocześnie obserwowanych wartości, takich jak: t_g – temperatura poczernionej kuli, t_a – temperatura powietrza oraz V_a – prędkość przepływu powietrza otaczającego kulę. Przykład poczernionej kuli zaprezentowano na rysunku 4.2.



Rys. 4.2. Przykład poczernionej kuli

Zewnętrzne ściany obudowy poczernionej kuli są zaciemnione za pomocą elektrochemicznej powłoki lub za pomocą warstwy czarnej matowej farby, by mogły jak najlepiej absorbować promieniowanie. Wewnątrz kuli umieszczony jest czujnik temperatury – termometr rtęciowy, termopara lub termometr z czujnikiem oporowym, umożliwiającą pomiar temperatury t_g .

Średnica poczernionej kuli również ma znaczenie. Nie jest ona odgórnie określona, jednak zaleca się stosowanie kuli o średnicy równej 0,15 m. Istnieje zależność pomiędzy uzyskanym wynikiem pomiaru a średnicą kuli. Należy pamiętać, że im mniejsza jest średnica poczernionej kuli, tym większy jest wpływ temperatury i prędkości powietrza powodujący zmniejszenie dokładności pomiaru średniej temperatury promieniowania.

W tabeli 4.4 zamieszczono właściwości przyrządów pomiarowych do pomiaru średniej temperatury promieniowania.

Średnia temperatura promieniowania wyznaczana jest po osiągnięciu równowagi cieplnej między wymianą ciepła pomiędzy ścianami obudowy i kuli poprzez promieniowanie a wymianą ciepła między powietrzem i poczernioną kulą na drodze konwekcji. Na podstawie wzorów zawartych w normie można wyprowadzić funkcję do obliczania średniej temperatury promieniowania $\overline{T_r}$:

$$\varepsilon_g \sigma (\overline{T_r}^4 - T_g^4) + h_{cg} (T_a - T_g) = 0 \quad (4.1)$$

gdzie:

ε_g – emisyjność poczernionej kuli

σ – stała Stefana-Boltzmann, $5,67 \cdot 10^{-8}$, $W/(m^2K^4)$

$\overline{T_r}$ – średnia temperatura promieniowania, K

T_g – temperatura poczernionej kuli, K

h_{cg} – współczynnik wymiany ciepła przez konwekcję na poziomie poczernionej kuli, W/m^2K .

Tabela 4.4. Średnia temperatura promieniowania t_r – zakres i dokładność pomiarów

Klasa C (komfort termiczny)			Klasa S (stres cieplny)		
zakres pomiaru, °C	dokładność wymagana, °C	dokładność preferowana, °C	zakres pomiaru, °C	dokładność wymagana, °C	dokładność referowana, °C
10 ÷ 40	± 2	± 0,2	- 40 ÷ 0	± (5+0,02 t_r)	± (0,5+0,01 t_r)
			> 0 ÷ 50	± 5	± 5
			> 50 ÷ 150	± [5+0,08(t_r -50)]	± [0,5+0,04(t_r -50)]
dla poczernionej kuli niedokładność pomiaru może wynieść ± 5 °C w zależności od środowiska i niedokładności t_a , V_a i t_g			dla poczernionej kuli niedokładność pomiaru może wynieść ± 20 °C w zależności od środowiska i niedokładności t_a , V_a i t_g		

Podczas pomiaru należy zwrócić również uwagę na panujące środowisko. W razie jego niejednorodności należy zastosować 3 poczernione kule. Należy pamiętać, iż jest to pomiar dla danego punktu, a nie dla całego pomieszczenia. Zgodnie z normą PN-EN ISO 7726:2001 poczernione kule należy ustawić na 3 różnych poziomach odpowiadających głównym częściom ciała: głowie, brzuchowi oraz kostkom.

W przypadku badań dla 3 poziomów, średnia temperatura promieniowania obliczana jest wg wzoru:

$$\overline{\tau}_\rho = \frac{\overline{\tau}_{\rho\text{-głowa}} + 2 \cdot \overline{\tau}_{\rho\text{-brzuch}} + \overline{\tau}_{\rho\text{-kostki}}}{4}, \quad ^\circ\text{C} \quad (4.2)$$

Należy również pamiętać, iż czas odpowiedzi – czas stabilizacji poczernionej kuli – wynosi 20 ÷ 30 min. Dopiero po tym czasie należy przeprowadzać badania właściwe. Z uwagi na długi czas odpowiedzi (czas stabilizacji) poczernionej kuli nie należy używać do badania zjawisk zachodzących gwałtownie.

Prędkość przepływu powietrza

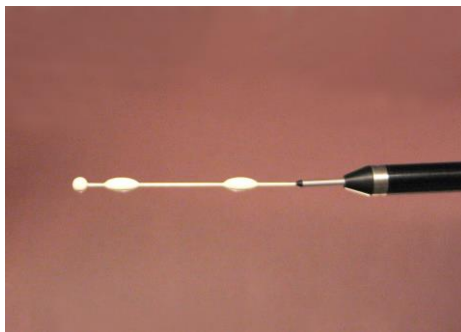
Przy określaniu wymiany ciepła przez konwekcję i parowanie należy uwzględnić prędkość przepływu powietrza. Podczas jej wyznaczania należy rozważyć trzy charakterystyczne właściwości urządzenia pomiarowego, od których zależeć będzie wynik pomiaru, mianowicie: czułość na kierunek przepływu powietrza, na wahania prędkości przepływu oraz możliwość uzyskania średniej prędkości przepływu powietrza i odchylenia standardowego w zadanym okresie pomiarowym. Należy pamiętać, iż na dokładność pomiaru prędkości powietrza wpływają również inne czynniki. Poprawna kalibracja urządzenia wpływa na dokładność średniej wartości przepływu powietrza. Czas odpowiedzi (reakcji) zarówno czujnika (sondy) jak i urządzenia pomiarowego ma wpływ na dokładność odchylenia standardowego. Natomiast w przypadku długiego czasu odpowiedzi urządzenie nie będzie w stanie zmierzyć poprawnie intensywności turbulencji.

Wyróżnia się dwa typy anemometrów: z czujnikiem wielokierunkowym, czujnym na przepływ powietrza bez względu na jego kierunek, oraz anemometr z trzema czujnikami kierunkowymi, które umożliwiają pomiar prędkości powietrza wzdłuż trzech osi: V_x , V_y i V_z . W takim przypadku prędkość przepływu powietrza obliczana jest wg wzoru:

$$V_a = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad (4.3)$$

W sytuacji, kiedy przepływ powietrza jest nieukierunkowany, możliwe jest użycie tzw. sondy czulej na jeden kierunek przepływu (np. anemometr łopatkowy).

Pomiar prędkości przepływu powietrza może być również prowadzony w przestrzeni, m.in. za pomocą anemometru: łopatkowego i kubkowego (pomiar kierunkowy), z gorącym drutem (pomiar kierunkowy) czy z gorącą kulą i termistorem (nieczuły na zmiany kierunku), który przedstawiono na rysunku 4.3.



Rys. 4.3. Sonda z gorącą kulą i termistorem

W tabeli 4.5 podano zakres i dokładność pomiaru przepływu prędkości powietrza.

Tabela 4.5. Prędkość przepływu powietrza V_a – zakres i dokładność pomiarów

Klasa C (komfort termiczny)			Klasa S (stres cieplny)		
zakres pomiaru, m/s	dokładność wymagana, m/s	dokładność pożądana, m/s	zakres pomiaru, m/s	dokładność wymagana, m/s	dokładność pożądana, m/s
0,05 ÷ 1,00	$\pm (0,05+0,05V_a)$	$\pm (0,02+0,07V_a)$	0,2 ÷ 20	$\pm (0,1+0,05V_a)$	$\pm (0,05+0,05V_a)$
	czas odpowiedzi: 0,5 s	czas odpowiedzi: 0,2 s			

Wilgotność bezwzględna i względna powietrza

Określając oddawanie ciepła z ciała człowieka przez parowanie, należy uwzględnić **bezwzględną wilgotność powietrza**. Duża wilgotność powietrza upośledza oddawanie ciepła przez odparowywanie potu, co wpływa na wzrost obciążenia termicznego dla człowieka.

Wilgotność bezwzględna powietrza charakteryzowana jest poprzez: współczynnik wilgotności W_a oraz cząstkowe ciśnienie pary wodnej p_a . Współczynnik wilgotności W_a określa się jako stosunek masy pary wodnej do masy suchego powietrza w badanej próbce. W normie PN-EN ISO 7726:2001 ciśnienie cząstkowe pary wodnej p_a wilgotnego powietrza opisywane jest jako „ciśnienie, które mogłaby wyrzucić para wodna, gdyby zajmowała całą objętość, jaką zajmuje wilgotność powietrza przy tej samej temperaturze”. Ciśnienie cząstkowe pary wodnej p_a oraz współczynnik wilgotności W_a opisywane są zależnością:

$$W_a = 0,6220 \frac{p_a}{p - p_a} \quad (4.4)$$

gdzie: p – całkowite ciśnienie atmosferyczne, kPa.

Wilgotność względna e jest ilorazem cząstkowego ciśnienia pary wodnej p_a w wilgotnym powietrzu oraz ciśnienia nasycenia pary wodnej p_{as} przy tej samej temperaturze i ciśnieniu całkowitym:

$$e = \frac{p_a}{p_{as}} \quad (4.5)$$

Wilgotność względna wyrażona w procentach jest oznaczana RH i obliczana następująco:

$$RH = 100 * e \quad (4.6)$$

W tabeli 4.6 podano wymagania odnośnie do aparatury do pomiaru wilgotności – jako cząstkowe ciśnienie pary wodnej p_a .

Tabela 4.6. Wilgotność bezwzględna wyrażona cząstkowym ciśnieniem pary wodnej p_a – zakres i dokładność pomiaru

Klasa C (komfort termiczny)		Klasa S (stres cieplny)	
zakres pomiaru	dokładność wymagana	zakres pomiaru	dokładność wymagana
0,5 ÷ 3,0 kPa	± 0,15 kPa dla różnicy $ t_r - t_a > 10 \text{ }^\circ\text{C}$	0,5 ÷ 6,0 kPa	± 0,15 kPa dla różnicy $ t_r - t_a > 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Wilgotność powietrza może być mierzona za pomocą higrometru lub psychrometru. Jest kilka rodzajów higrometrów: higrometr punktu rosy, higrometry oparte na zasadzie zmian przewodności elektrycznej (chlorkowo-litowe do pomiaru wilgotności bezwzględnej; pojemnościowe do pomiaru wilgotności względnej) czy higrometry absorpcyjne (włosowe – pomiar wilgotności względnej). Psychrometry natomiast działają na zasadzie „chłodzenia wilgotnego termometru w strumieniu powietrza poprzez parowanie” i służą do obliczeń wilgotności bezwzględnej.

Psychrometry zbudowane są z dwóch termometrów. Pierwszy termometr służy do pomiaru temperatury powietrza t_a – nazywanej temperaturą „suchą”, natomiast drugi termometr zbudowany jest z termometru owiniętego wilgotnym knotem. Zakończenie knotu umieszczone jest w zbiorniczku z wodą, która wznosi się na skutek zjawiska przyciągania kapilarnego. Uzyskany odczyt temperatury z tego termometru określa się mianem temperatury wilgotnej (psychrometrycznej) t_w .

Bezwzględna wilgotność powietrza p_a wyznaczana za pomocą psychrometru może być obliczona wg zależności:

$$p_a = p_{as,w} - Ap^*(t_a - t_w) \quad (4.7)$$

gdzie:

p_a – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu, kPa

t_a – temperatura powietrza, „sucha”, $^\circ\text{C}$

t_w – temperatura psychrometryczna, „wilgotna”, $^\circ\text{C}$

$p_{as,w}$ – ciśnienie pary nasyconej w danej temperaturze wilgotnej, kPa

- p – całkowite ciśnienie atmosferyczne, kPa
 A – współczynnik psychrometryczny, $A = 6,67 \cdot 10^{-4}, \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Podczas badań z wykorzystaniem psychrometru, zaleca się, by termometr wilgotny był wentylowany z prędkością co najmniej $4 \div 5$ m/s (np. za pomocą małego wentylatora o napędzie elektrycznym lub mechanicznym). Termometr, zarówno mokry jak i suchy, należy chronić przed promieniowaniem za pomocą ekranów. W celu zniwelowania błędów powstających w wyniku przewodnictwa cieplnego w termometrze zaleca się, by knot wokół termometru wilgotnego wystawał dość daleko. Knot należy zwilżać wodą destylowaną i utrzymywać go w czystości.

Bardzo ważny jest również pomiar ciśnienia barycznego, gdy znacząco odbiega od wartości 101,3 kPa, by móc korzystać z odpowiednich wykresów psychrometrycznych, na których zawarte są główne właściwości wilgotnego powietrza.

Temperatura operacyjna

W opracowaniach dotyczących mikroklimatu często używa się pojęcia „temperatura operacyjna”. W normie PN-EN ISO 7726:2001 temperatura ta jest określana jako „jednolita temperatura pomieszczenia, w którym człowiek wymieni taką samą ilość ciepła przez promieniowanie i konwekcję, jak w istniejącym niejednolitym środowisku”. Wyrażana jest ona wzorem:

$$t_o = \frac{h_c \cdot t_a + h_r \cdot \overline{t_r}}{h_c + h_r} \quad (4.8)$$

gdzie:

t_a – temperatura powietrza, $^\circ\text{C}$

$\overline{t_r}$ – średnia temperatura promieniowania, $^\circ\text{C}$

h_c – współczynnik wymiany ciepła przez konwekcję

h_r – współczynnik wymiany ciepła przez promieniowanie.

Dla małych wartości prędkości przepływu powietrza ($V_a < 0,2$ m/s) lub w miejscu, gdzie różnica pomiędzy temperaturą promieniowania a temperaturą powietrza jest mniejsza niż 4 $^\circ\text{C}$, temperatura operacyjna może być obliczana wg zależności:

$$t_o = At_a + (1 - A)\overline{t_r} \quad (4.9)$$

Wartości współczynnika A zależą od prędkości przepływu powietrza, podano je w tabeli 4.7.

Tabela 4.7. Wielkości współczynnika A

Prędkość powietrza V_a , m/s	< 0,2	0,2 ÷ 0,6	0,6 ÷ 1,0
Współczynnik A	0,5	0,6	0,7

Temperatura operacyjna może być również obliczana za pomocą wzoru:

$$t_o = \frac{t_a \sqrt{10V_a} + \bar{t}_r}{1 + \sqrt{10V_a}} \quad (4.9)$$

gdzie:

V_a – prędkość przepływu powietrza, m/s

\bar{t}_r – średnia temperatura promieniowania, °C.

5. Ocena metabolizmu

Wprowadzenie

Metabolizmem nazywamy całokształt reakcji chemicznych i związanych z nimi przemian energetycznych zachodzących w komórkach organizmu człowieka podczas jego funkcjonowania. Tempo tych przemian w organizmie jest odzwierciedlane poprzez ilość ciepła w nim wytwarzanego, którego miarą jest wydatek energetyczny. Wydatek energii związany z wykonywaniem jakiegokolwiek pracy równoważony jest przez odpowiednie zwiększenie szybkości metabolizmu komórkowego.

Na ilość energii zużywanej przez organizm w czasie wykonywania pracy składa się wydatek energetyczny podstawowej przemiany materii oraz energia zużytkowana na wykonanie danej czynności, czyli tzw. wydatek energetyczny pracy efektywnej. Podstawowa przemiana materii jest to ilość energii, jaką organizm zużywa podczas całkowitego spokoju, zarówno fizycznego, jak i psychicznego, w komfortcie cieplnym, w pozycji leżącej, na czczo, rano, po co najmniej 8 godzinach snu. Terminu tego często używa się do określenia ilości energii niezbędnej do podtrzymywania procesów życiowych. Poziom przemiany podstawowej zależy od płci, wieku, wzrostu, masy ciała, czynników genetycznych, a także diety, pory doby i temperatury otoczenia. U osób dorosłych przemiana podstawowa wynosi od 5900 do 8000 kJ na dobę. U mężczyzn, którzy mają ok. 30% większą masę mięśniową niż kobiety, jest ona wyższa. Dla osób o siedzącym trybie życia stanowi ona 60-80% całkowitego dziennego zapotrzebowania energetycznego, podczas gdy u osób aktywnych fizycznie może stanowić około 30-45% całkowitego wydatku energetycznego [Birch i in., 2008]. Ocena podstawowej przemiany materii wymaga rygorystycznego przestrzegania warunków, w których przeprowadzany jest pomiar, toteż w praktyce ocenia się zwykle spoczynkową przemianę

materii (metabolizm podczas spoczynku). Wielkość ta w niewielkim stopniu odbiega od podstawowej przemiany materii.

Przeciętne zużycie energii na wykonywanie zwykłych, codziennych czynności ocenia się na dodatkowe 1050 kJ/dobę u kobiet i ok. 1700 kJ/dobę u mężczyzn. Jeżeli przyjmiemy, że mężczyzna o masie ciała 70 kg zużywa na przemianę spoczynkową 7700 kJ w ciągu doby, to po dodaniu wydatku energetycznego na czynności dnia codziennego (chodzenie, mycie, jedzenie itp.) otrzymamy wydatek energetyczny wynoszący ok. 9400 kJ/dobę. U kobiet o masie ciała 65 kg wydatek energii na przemianę ogólną jest mniejszy i wynosi około 7000 kJ. Każda czynność związana z pracą zawodową powoduje wzrost tych wartości o energię konieczną do jej wykonania.

Praca fizyczna w niekorzystnych warunkach środowiska termicznego, np. w mikroklimacie gorącym czy zimnym, stanowi szczególne wyzwanie dla organizmu. Utrzymanie homeostazy organizmu w takich warunkach wymaga bowiem zwiększenia aktywności mechanizmów termoregulacji związanych z utrzymaniem bilansu cieplnego.

Energetyczne kryteria ciężkości pracy fizycznej

Analiza energetycznych zmian zachodzących podczas wysiłku jest często stosowaną metodą oceny obciążenia na stanowisku pracy, wynikającego z wykonywania pracy fizycznej z dużym komponentem dynamicznym wysiłku. Jest to praca związana ze znaczną aktywnością ruchową, która poza obciążeniem energetycznym organizmu wpływa również na pobudzenie wielu układów, w tym krążenia i oddechowego, oraz mechanizmów termoregulacji.

Podczas pracy fizycznej energia produkowana przez organizm jest zamieniana częściowo na pracę mechaniczną (5-25%), a w większości na energię cieplną. Wydatek energetyczny jest definiowany jako ilość energii produkowanej przez organizm podczas wykonywania czynności roboczej.

Zgodnie z układem jednostek SI wydatek energetyczny określa się w jednostkach pracy, czyli w dżulach (J) na jednostkę czasu lub w watach (W). Często również koszt energetyczny pracy przedstawiany jest w watach w przeliczeniu na powierzchnię ciała (W/m^2). Ponadto, ze względu na długoletnie określanie wydatku energetycznego w jednostkach kalorymetrycznych – kaloriach (cal) lub kilokaloriach (kcal) – jednostki te wciąż są używane do określania ciężkości pracy w praktyce przemysłowej, w przepisach czy podręcznikach. Wielkość wydatku

energetycznego przedstawionego w poszczególnych jednostkach można przeliczyć na inne, według następujących zasad:

$$\text{kcal} = \text{kJ} \cdot 0,2389$$

$$\text{kJ} = \text{kcal} \cdot 4,1855$$

$$W = \text{kcal/min} \cdot 69,78$$

$$\text{kcal/min} = W \cdot 0,0143$$

$$W = \text{J/s.}$$

Zużycie energii w ciągu zmiany roboczej często jest wykorzystywane do oceny ciężkości pracy fizycznej (tab. 5.1). Najmniejszym wydatkiem energetycznym charakteryzują się prace wykonywane w pozycji siedzącej, np. prace biurowe. Zapotrzebowanie energii podczas wykonywania tych prac wynosi na ogół mniej niż 8 kJ/min, w zakresie od 1,26 kJ/min (pozycja siedząca) do 7 kJ/min (prace wymagające przemieszczania się). W ciągu zmiany roboczej wydatek energetyczny takiej pracy wynosi od 1200 do 3500 kJ netto, a prace takie zalicza się do prac lekkich.

Tabela 5.1. Klasyfikacja ciężkości pracy na podstawie wartości efektywnego wydatku energetycznego w ciągu zmiany roboczej [wg: Makowiec-Dąbrowska, 1999]

Klasa ciężkości pracy	Mężczyźni				Kobiety			
	kcal/8 h	kcal/min	kJ/8 h	kJ/min	kcal/8 h	kcal/min	kJ/8 h	kJ/min
Bardzo lekka	≤ 300	≤ 1,2	≤ 1250	≤ 5	≤ 200	≤ 0,8	≤ 850	≤ 3,5
Lekka	> 300 ÷ ≤ 800	> 1,2 ÷ ≤ 2,2	> 1250 ÷ ≤ 3350	> 5 ÷ ≤ 10	> 200 ÷ ≤ 700	> 0,8 ÷ ≤ 1,8	> 850 ÷ ≤ 2900	> 3,5 ÷ ≤ 7,5
Średnio-ciężka	> 800 ÷ ≤ 1500	> 2,2 ÷ ≤ 4,5	> 3350 ÷ ≤ 6300	> 10 ÷ ≤ 20	> 700 ÷ ≤ 1000	> 1,8 ÷ ≤ 3,0	> 2900 ÷ ≤ 4200	> 7,5 ÷ ≤ 12,5
Ciężka	> 1500 ÷ ≤ 2000	> 4,5 ÷ ≤ 7,0	> 6300 ÷ ≤ 8400	> 20 ÷ ≤ 30	> 1000 ÷ ≤ 1200	> 3,0 ÷ ≤ 4,8	> 4200 ÷ ≤ 5000	> 12,5 ÷ ≤ 20
Bardzo ciężka	> 2000	> 7,0	> 8400	> 30	> 1200	> 4,8	> 5000	> 20

Do kategorii prac średnio ciężkich zalicza się prace związane z wykonywaniem czynności o wydatku energetycznym w granicach 8 ÷ 20 kJ/min. Przykładem takich prac są prace związane z obsługą większości maszyn i urządzeń oraz prace montażowe.

Prace ciężkie i bardzo ciężkie to takie, które wymagają dźwignia ciężarów (załadunek towarów) lub używania ciężkich narzędzi (łopata, kilof, młot pneumatyczny i inne). Wydatek energetyczny podczas wykonywania takich czynności wynosi $25 \div 50$ kJ/min, a wydatek energetyczny w ciągu zmiany roboczej – ok. 8400 kJ dla mężczyzn i 5000 kJ dla kobiet.

Stawianie kobietom takich samych wymagań jak mężczyznom może doprowadzić u kobiet do nadmiernego obciążenia organizmu, szczególnie układu sercowo-naczyniowego i układu mięśniowo-szkieletowego. Dla kobiet ustalono dopuszczalny poziom wydatku energetycznego wynoszący 5000 kJ w ciągu zmiany roboczej jako ten, powyżej którego nie mogą one wykonywać pracy. Ustalono również, że kobiety nie powinny wykonywać czynności roboczych podczas których wydatek energetyczny wynosi 20 kJ na minutę i więcej. Są to prace związane z wysiłkiem fizycznym i transportem ciężarów oraz wymuszoną pozycją ciała. Dla mężczyzn nie określono w przepisach dozwolonych norm wydatku energetycznego, ale powszechnie przyjmuje się, że stała praca o wydatku powyżej 10475 kJ (2500 kcal) jest pracą, która może prowadzić do trwałych zmian zwyrodnieniowych w układzie mięśniowo-szkieletowym oraz do ogólnego wyczerpania.

Specyficznym problemem dla pracowników służb bhp są zagadnienia związane z dźwigniem i przenoszeniem ciężarów. Są to powszechnie występujące elementy pracy, powodujące dużego stopnia zarówno obciążenie dynamiczne, jak i obciążenie statyczne organizmu. Zagadnieniom tym poświęcono osobną dyrektywę (*Dyrektywa 90/269/EWG w sprawie minimalnych wymagań dotyczących zdrowia i bezpieczeństwa pracy podczas ręcznego przemieszczania ciężarów w przypadku możliwości wystąpienia zagrożenia, zwłaszcza urazów kręgosłupa u pracowników*, 1992), zgodnie z którą pracodawcy są zobowiązani do eliminacji ręcznego przemieszczania ciężarów lub, jeżeli nie da się tego uniknąć, do zastosowania odpowiednich środków technicznych i organizacyjnych zmniejszających ryzyko związane z ich dźwigniem.

Element obciążenia dynamicznego przy dźwigniu jest stosunkowo łatwy do określenia przez pomiar wydatku energetycznego podczas dźwignia. Jednak problemu związanego z dźwigniem ciężarów nie można rozpatrywać wyłącznie z punktu widzenia wydatku energetycznego. Dźwignie ciężarów stwarza bowiem ryzyko przeciążenia układu mięśniowo-szkieletowego, spowodowane masą dźwiganego ciężaru oraz dużego stopnia obciążeniem statycznym mięśni, co powoduje zmiany zwyrodnieniowe mięśni, więzadeł, stawów, dysków międzykręgowych i kręgów kręgosłupa.

Analiza kosztu energetycznego lub zmian fizjologicznych nie jest wystarczająca do oceny ciężkości pracy o dużym stopniu powtarzalności ruchów. W tym przypadku o ciężkości pracy decyduje głównie jednostronne i najczęściej długotrwałe obciążenie statyczne mięśni, wynikające z powtarzalności ruchów i pozycji ciała. Praca taka może więc również prowadzić do zmian zwyrodnieniowych mimo niewielkiego wydatku energetycznego.

Metody określania wydatku energetycznego

Ocena kosztu energetycznego różnych czynności występujących w pracy zawodowej ma ważne znaczenie w ergonomii. Pomiary tego typu umożliwiają bowiem dokonanie charakterystyki stanowisk pracy i mogą być pomocne podczas oceny ryzyka zawodowego oraz w doborze pracowników do określonych prac. Należy jednak podkreślić, że ocena kosztu energetycznego złożonych operacji roboczych jest obciążona błędem, nawet przy zastosowaniu bezpośredniego pomiaru zużycia tlenu na stanowiskach pracy. Podczas standardowych, prostych czynności wykonywanych przez tego samego człowieka wyniki powtarzanych pomiarów różnią się przeciętnie o $\pm 5\%$, a przy złożonych operacjach – o $\pm 10\%$. Wartości wydatku energetycznego zmieniają się również ze względu na technikę pracy, staż, jej intensywność, doświadczenie zawodowe i rodzaj używanych narzędzi. To powoduje, że wartość wydatku energetycznego na takich samych stanowiskach i w tych samych warunkach pracy może się różnić dla poszczególnych osób nawet o $\pm 20\%$.

Jeszcze więcej trudności nastęrcza oszacowanie wydatku energetycznego podczas całej zmiany roboczej, ponieważ pomiary wiążą się z koniecznością stosowania masek lub ustników do zbierania powietrza wydychanego, co może być uciążliwe dla badanych. Pomiary przeprowadza się więc na ogół w ciągu zaledwie kilku minut, podczas wykonywania podstawowych czynności roboczych, a następnie sumuje się koszt energetyczny tych czynności. Trudności w ocenie czasu wykonywania poszczególnych czynności mogą być źródłem dodatkowego błędu. Zarówno konieczność notowania czasu przez samych badanych, jak i obecność obserwatora są czynnikami, które mogą zakłócać normalny tryb pracy.

Czynnikiem, który należy również uwzględnić przy ocenie kosztu energetycznego pracy jest środowisko termiczne, w jakim ta praca jest wykonywana. W środowisku gorącym następuje niewielki wzrost wydatku energetycznego spowodowany wzrostem temperatury ciała. Bardziej wzrasta wydatek energetyczny w środowisku zimnym, co spowodowane jest pojawieniem mechanizmu termogenezy drżeniowej i bezdrżeniowej, a także noszeniem ciężkiej odzieży [PN-EN 8996:2005].

Najbardziej godną polecenia metodą oceny kosztu energetycznego pracy jest obliczenie go na podstawie pomiarów wykonanych bezpośrednio na stanowisku pracy.

Metoda kalorymetrii pośredniej

Pierwsze próby oceny wydatku energetycznego człowieka podczas wysiłku odbywały się na podstawie pomiaru ilości ciepła wytwarzanego w organizmie metodą kalorymetrii bezpośredniej, wykonywanego w specjalnych kamerach kalorymetrycznych. Metoda ta, ze względów oczywistych, przeszła do historii ergonomii i nie nadaje się do stosowania na stanowiskach pracy.

Obecnie powszechnie stosowaną metodą oceny wydatku energetycznego podczas pracy jest kalorymetria pośrednia. Opiera się ona na zależności między ilością pobieranego przez organizm tlenu w jednostce czasu a ilością energii uwolnionej w procesach metabolicznych.

Kalorymetria pośrednia jest szczególnie przydatna w odniesieniu do wysiłków, w których przeważają procesy tlenowe (aerobowe). Ilość energii uzyskana w procesach metabolicznych przy użyciu 1 l tlenu jest różna, w zależności od rodzaju spalanej substancji, np. podczas spalania glukozy wynosi 21,1 kJ, a tłuszczów – 19,6 kJ. Tak więc wielkość równoważnika energetycznego 1 l tlenu

(niezbędna do przeliczenia ilości tlenu pobieranego podczas pracy na wielkość wydatku energetycznego) waha się od 19,6 do 21,1 kJ. Do wyboru odpowiedniego równoważnika konieczne jest określenie wielkości ilorazu oddechowego, czyli stosunku ilości wydalanego dwutlenku węgla do ilości pobranego w tym samym czasie tlenu. W tabeli 5.2 zestawiono wartości ilorazu oddechowego i odpowiadające im równoważniki 1 l tlenu.

Tabela 5.2. Równoważniki energetyczne 1 l tlenu w zależności od ilorazu oddechowego RQ

RQ	Równoważnik energetyczny 1 l tlenu	
	kcal	kJ
0,70	4,69	19,62
0,75	4,74	19,83
0,80	4,80	20,10
0,85	4,86	20,36
0,90	4,92	20,61
0,95	4,98	20,86
1,00	5,05	21,12

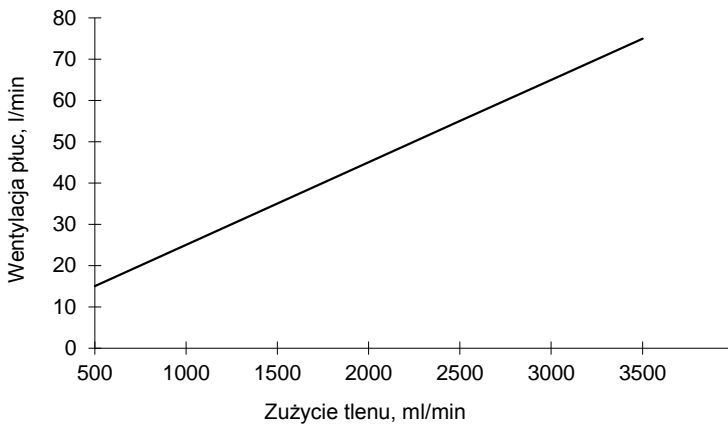
ki 1 l tlenu. Tak więc ocena wydatku energetycznego tą metodą sprowadza się do pomiaru objętości pobieranego przez organizm tlenu i wydalonego dwutlenku węgla, wyliczenia ilorazu oddechowego i pomnożenia objętości pobranego tlenu przez odpowiedni równoważnik energetyczny.

Metoda ta jest również polecana w normie PN-EN ISO 8996: 2005 *Ergonomia środowiska termicznego – Określanie tempa metabolizmu*.

W ostatnich latach do pomiaru zawartości tlenu w powietrzu wydychanym stosuje się techniki elektroniczne. W laboratoryjnej i klinicznej aparaturze stosuje się czujniki tlenowe lub elektroniczne do analizy gazów wydychanych (np. Oxylog lub MMC-Metabolic Measurement Cart).

Metoda oparta na pomiarze wentylacji płuc

Oznaczenie wydatku energetycznego na stanowiskach pracy klasyczną metodą kalorymetrii pośredniej (pomiar zużycia tlenu) wymaga odpowiedniej aparatury, doświadczenia osób wykonujących pomiar i w rzeczywistych warunkach, na stanowiskach pracy, nie zawsze jest możliwe. W praktyce przemysłowej do pomiaru wydatku energetycznego często stosuje się metodę opartą na wynikach pomiaru objętości wydychanego (lub wdychanego) powietrza, czyli wentylacji płuc. Pomiedzy wielkością zużycia tlenu podczas wysiłku i wielkością minutowej wentylacji istnieje wysoki współczynnik korelacji i prawie liniowa zależność (rys. 5.1).



Rys. 5.1. Współzależność wielkości zużycia tlenu i wentylacji płuc wg Hansena

Na podstawie zależności między wentylacją a zużyciem tlenu można obliczyć przybliżoną wartość wydatku energetycznego, posługując się równaniem:

$$E = 0,21 * V_{E(STPD)} \quad (5.1)$$

gdzie:

E – wydatek energii, kJ/min

$V_{E(STPD)}$ – wentylacja płuc, l/min, w warunkach STPD (objętość gazu suchego w temperaturze 0 °C i ciśnieniu atmosferycznym 101,3 kPa).

Za pomocą elektronicznego aparatu skonstruowanego w CIOP-PIB – miernika wydatku energetycznego WE – taki pomiar można wykonać w każdym zakładzie pracy.

Pomiar wydatku energetycznego miernikiem MWE

Pomiar wydatku energetycznego dokonany opracowanym w CIOP-PIB miernikiem MWE opiera się na opisanej wcześniej zależności liniowej i wysokim współczynniku korelacji pomiędzy wielkością wentylacji płuc, pobieraniem tlenu i wydatkiem energetycznym. Miernik wydatku energetycznego MWE jest przenośnym, lekkim, o małych wymiarach aparatem umożliwiającym dokonanie pomiaru wydatkowanej energii w czasie wykonywania pracy fizycznej dynamicznej na stanowisku roboczym, to znaczy w sytuacji, w której utrudnione jest bezpośrednie określanie ilości pobieranego tlenu i wydalanego dwutlenku węgla. Ponadto miernik MWE, ze względu na łatwość obsługi, jest przeznaczony do powszechnego stosowania w zakładach pracy przez przeszkolone osoby.

Badania porównawcze, laboratoryjne oraz terenowe wykazały dużą zbieżność wyników badań uzyskanych za pomocą miernika i aparatu umożliwiającego pomiar pobierania tlenu i wydalanania dwutlenku węgla, zwłaszcza w odniesieniu do oceny pracy lekkiej, średnio ciężkiej i ciężkiej [Konarska, 1993]. Różnice mogą się pojawiać przy pracy bardzo lekkiej lub w spoczynku. Zawyżone w tych okolicznościach wartości wentylacji płuc mogą być skutkiem wpływu innych czynników, głównie emocjonalnych, związanych z wykonywaniem badań. Różnice mogą się pojawić również przy pomiarze wydatku energetycznego podczas pracy bardzo ciężkiej, gdy wielkość wentylacji płuc przekracza 60 l na minutę. W tym przypadku jest to spowodowane przekroczeniem granic zależności liniowej między zużyciem tlenu a wentylacją płuc (hiperwentylacja). Dokładne zasady stosowania tego miernika wraz z tabelami zawierającymi przykładowe pomiary wydatku energetycznego na różnych stanowiskach pracy przedstawiono w publikacji J. Bugajskiej [2011].

Ocena ciężkości pracy na podstawie zmian fizjologicznych (częstości skurczów serca)

Istnieje duża korelacja pomiędzy wielkością metabolizmu i stopniem obciążenia układu krążenia podczas pracy fizycznej. Pobudzenie układu krążenia podczas pracy fizycznej wiąże się z potrzebą pokrycia zwiększonego zapotrzebowania pracujących mięśni na tlen i substraty energetyczne pochodzące ze źródeł pozamięśniowych oraz na efektywne usuwanie z mięśni produktów przemiany materii

i nadmiaru wyprodukowanej energii cieplnej, co zapobiega wzrostowi temperatury ciała. Stopień zmian parametrów określających czynność tych układów może więc być podstawą szacunkowej oceny intensywności pracy wykonanej przez organizm. Metody oparte na pomiarach wielkości pobierania tlenu i wentylacji zostały omówione przy okazji metod kalorymetrii pośredniej.

Parametrem często stosowanym do oceny kosztu energetycznego, a tym samym stopnia ciężkości pracy, jest analiza częstości skurczów serca podczas pracy. Metoda ta jest mniej złożona niż pomiar pobierania tlenu, ale dokładność jej jest stosunkowo mała. Częstość skurczów serca może być łatwo rejestrowana w sposób ciągły, na przykład metodami telemetrycznymi, lub mierzona ręcznie przez badanie tętna. Ten ostatni sposób zmniejsza dokładność i jest trudny do przeprowadzenia bez ograniczania swobody ruchów pracownika.

Częstość skurczów serca zależy od wielu czynników endo- i egzogennych. Największy wpływ na częstość skurczów serca ma wysiłek dynamiczny i stres cieplny. Nie można pomijać jednak również wpływu, jaki na częstość skurczów serca wywiera wysiłek statyczny, obciążenie psychiczne, hałas oraz stan zdrowia pracownika. Podsumowując, należy podkreślić, że metoda oceny wydatku energetycznego podczas pracy na podstawie pomiaru częstości skurczów serca ma zastosowanie jedynie w odniesieniu do pracy dynamicznej, z zaangażowaniem dużych grup mięśniowych, przy małym statycznym obciążeniu mięśni i przy braku wpływu stresu cieplnego i dużego obciążenia psychicznego pracownika podczas pracy (stresu).

Tabela 5.3. Zależność między poziomem metabolizmu, W/m^2 , a częstością skurczów serca HR (liczba uderzeń/min), w funkcji wieku i masy ciała (dla kobiet i mężczyzn), [PN-EN ISO 8996:2005]

Wiek (lata)	Masa ciała, kg				
	50	60	70	80	90
Kobiety					
20	$2,9 \cdot HR - 150$	$3,4 \cdot HR - 181$	$3,8 \cdot HR - 210$	$4,2 \cdot HR - 237$	$4,5 \cdot HR - 263$
30	$2,8 \cdot HR - 143$	$3,3 \cdot HR - 173$	$3,7 \cdot HR - 201$	$4,0 \cdot HR - 228$	$4,4 \cdot HR - 254$
40	$2,7 \cdot HR - 136$	$3,1 \cdot HR - 165$	$3,5 \cdot HR - 192$	$3,9 \cdot HR - 218$	$4,3 \cdot HR - 244$
50	$2,6 \cdot HR - 127$	$3,0 \cdot HR - 155$	$3,4 \cdot HR - 182$	$3,7 \cdot HR - 207$	$4,1 \cdot HR - 232$
60	$2,5 \cdot HR - 117$	$2,9 \cdot HR - 145$	$3,2 \cdot HR - 170$	$3,6 \cdot HR - 195$	$3,9 \cdot HR - 219$
Mężczyźni					
20	$3,7 \cdot HR - 201$	$4,2 \cdot HR - 238$	$4,7 \cdot HR - 273$	$5,2 \cdot HR - 307$	$5,6 \cdot HR - 339$
30	$3,6 \cdot HR - 197$	$4,1 \cdot HR - 233$	$4,6 \cdot HR - 268$	$5,1 \cdot HR - 301$	$5,5 \cdot HR - 333$
40	$3,5 \cdot HR - 192$	$4,0 \cdot HR - 228$	$4,5 \cdot HR - 262$	$5,0 \cdot HR - 295$	$5,4 \cdot HR - 326$
50	$3,4 \cdot HR - 186$	$4,0 \cdot HR - 222$	$4,4 \cdot HR - 256$	$4,9 \cdot HR - 288$	$5,3 \cdot HR - 319$
60	$4,4 \cdot HR - 180$	$3,9 \cdot HR - 215$	$4,5 \cdot HR - 249$	$4,8 \cdot HR - 280$	$5,2 \cdot HR - 311$

Poziom metabolizmu, w W/m^2 , może być wyliczony na podstawie częstości skurczów serca (liczba uderzeń/min) z zastosowaniem wzorów umieszczonych w tabeli 5.3. Stosując tę metodę, należy uwzględnić płeć, wiek i masę ciała pracownika.

W tabeli 5.4 przedstawiono kryteria oceny ciężkości pracy fizycznej w zależności od zmian fizjologicznych zachodzących podczas wysiłku, według E. Christiansena. Pod rozwagę wzięto obok zmian w częstości skurczów serca również zmiany w wielkości wentylacji płuc, ilości zużytego tlenu oraz temperaturze wewnętrznej ciała.

Tabela 5.4. Kryteria fizjologiczne oceny ciężkości wysiłku fizycznego (wg Christiansena)

Intensywność wysiłku fizycznego	Zużycie tlenu, l/min	Wentylacja płuc, l/min	Częstość skurczów serca na minutę	Temperatura ciała, °C
Bardzo lekki	$\leq 0,5$	≤ 10	≤ 75	$\leq 37,5$
Lekki	$>0,5 \div \leq 1,0$	$>10 \div \leq 20$	$>75 \div \leq 100$	–
Średni	$>1,0 \div \leq 1,5$	$>20 \div \leq 35$	$>100 \div \leq 125$	$>37,5 \div \leq 38,0$
Ciężki	$>1,5 \div \leq 2,0$	$>35 \div \leq 50$	$>125 \div \leq 150$	$>38,0 \div \leq 38,5$
Bardzo ciężki	$>2,0 \div \leq 2,5$	$>50 \div \leq 65$	$>150 \div \leq 175$	$>38,5 \div \leq 39,0$
Krańcowo ciężki	$> 2,5$	> 65	> 175	$> 39,0$

Metody tabelaryczne

W razie niemożności wykonania pomiaru wydatku energetycznego jedną z omówionych wcześniej metod można się posłużyć szacunkową metodą chronometrażowo-tabelaryczną, odczytując z tabel wartość wydatku energetycznego dla typowych czynności spełnianych w życiu codziennym i pracy zawodowej. Metoda szacowania wielkości wydatku energetycznego na podstawie gotowych tabel jest obarczona największym błędem. Może być stosowana jedynie w szczególnych przypadkach i z uwzględnieniem różnic wynikających ze specyfiki branż przemysłowych i zmian technologicznych, jakie się dokonały w ostatnich latach na ocenianych stanowiskach. Należy pamiętać, że wartość wydatku energetycznego w ciągu zmiany roboczej wyliczonego na podstawie gotowych tabel jest wartością szacunkową. Metoda ta jest polecana właściwie tylko do wstępnej kwalifikacji stanowisk, na których należy dokonać pomiaru wydatku energetycznego.

Szczególną formą szacowania wielkości wydatku energetycznego na stanowiskach pracy metodą chronometrażowo-tabelaryczną jest metoda Lehmana. Metoda ta uwzględnia pozycję i rodzaj grup mięśniowych zaangażowanych w wykonywanie pracy. Metoda Lehmana jest dwuetapowa. W etapie pierwszym ocenia się pozycję podczas pracy i na podstawie tabeli 5.5.a szacuje wydatek energetyczny

wynikający z utrzymania tej pozycji. W etapie drugim na podstawie analizy czynności roboczych ocenia się główne grupy mięśni wykonujących te czynności i według tabeli 5.5.b szacuje wydatek energetyczny wynikający z wykonywania rozpatrywanych czynności. Koszt energetyczny pracy określa się poprzez zsumowanie wyników uzyskanych w obu omówionych etapach.

Tabela 5.5. Uproszczona metoda szacowania wydatku energetycznego podczas pracy (wg Lehmana)

a)

Pozycja ciała	Wydatek energetyczny	
	kcal/min	kJ/min
Siedząca	0,3	1,26
Na kolanach	0,5	2,10
W kucki	0,5	2,10
Stojąca	0,6	2,51
Stojąca pochylona	0,8	3,35
Chodzenie	1,7 ÷ 3,5	7,12 ÷ 14,65

b)

Zakres obciążenia mięśni		Wydatek energetyczny	
		kcal/min	kJ/min
Praca palców, ręki i przedramienia	lekka	0,3 ÷ ≤0,6	1,3 ÷ ≤2,5
	średnia	>0,6 ÷ ≤0,9	>2,5 ÷ ≤3,8
	ciężka	>0,9 ÷ ≤1,2	>3,8 ÷ ≤5,0
Praca jednego ramienia	lekka	0,7 ÷ ≤1,2	2,9 ÷ ≤5,0
	średnia	>1,2 ÷ ≤1,7	>5,0 ÷ ≤7,1
	ciężka	>1,7 ÷ ≤2,2	>7,1 ÷ ≤9,2
Praca obu ramion	lekka	1,5 ÷ ≤2,0	6,3 ÷ ≤8,4
	średnia	>2,0 ÷ ≤2,5	>8,4 ÷ ≤10,5
	ciężka	>2,5 ÷ ≤3,0	>10,5 ÷ ≤12,6
Praca całego ciała (mięśni kończyn i tułowia)	lekka	2,5 ÷ ≤4,0	10,5 ÷ ≤16,7
	średnia	>4,0 ÷ ≤6,0	>16,7 ÷ ≤25,1
	ciężka	>6,0 ÷ ≤8,5	>25,1 ÷ ≤35,6
	bardzo ciężka	>8,5 ÷ ≤11,5	>35,6 ÷ ≤48,1

Uwzględniając różnice w wartościach wydatku energetycznego pomiędzy kobietami i mężczyznami, wynikające z różnej masy ciała, przy określaniu wydatku energetycznego dla kobiety należy wartość z tabel pomnożyć o współczynnik 0,8–0,85 (w zależności od budowy ciała kobiety).

Taka dwuetapowa metoda, uwzględniająca również pozycję ciała i grupy mięśniowe głównie zaangażowane w wykonywanie wysiłku (tab. 5.6), jest przedstawiona w normie PN-EN ISO 8996:2005 *Ergonomia środowiska termicznego – Określanie tempa metabolizmu*.

Tabela 5.6. Wydatek energii w przeliczeniu na 1 m² powierzchni ciała dla różnych pozycji ciała i rodzaju grup mięśniowych zaangażowanych w wykonywanie pracy, z wyłączeniem podstawowej przemiany energii (wg PN-EN ISO 8996:2005)

a)

Pozycja ciała	Wydatek energii, W/m ²
Siedzenie	10
Kłęczenie	20
Kucanie	20
Stanie	25
Stanie z pochyleniem	30

b)

Typ pracy	Wydatek energii, W/m ²	
	średnia wartość	zakres
Praca ręką		
lekka	15	≤ 20
średnia	30	>20 ÷ ≤35
ciężka	40	> 35
Praca jednym ramieniem		
lekka	35	≤45
średnia	55	>45 ÷ ≤65
ciężka	75	> 65
Praca dwoma ramionami		
lekka	65	≤75
średnia	85	>75 ÷ ≤95
ciężka	105	> 95
Praca tułowiem		
lekka	125	≤ 155
średnia	190	>155 ÷ ≤230
ciężka	280	>230 ÷ ≤330
bardzo ciężka	390	> 330

Warunki poprawnego wykonania pomiaru i wyliczenia wydatku energetycznego na zmianę roboczą

Do oceny wydatku energetycznego na zmianę roboczą niezbędne jest staranne przeprowadzenie następujących czynności:

- I: ustalenie chronometrażu pracy, z uwzględnieniem wszystkich czynności występujących na stanowisku pracy
- II: wykonanie pomiaru wydatku energetycznego na minutę dla poszczególnych czynności lub oszacowanie jego wielkości z zastosowaniem metody Lehmana
- III: wyliczenie wydatku energetycznego na zmianę roboczą na podstawie chronometrażu pracy.

Ustalenie chronometrażu dnia pracy polega na pomiarze czasu trwania poszczególnych czynności roboczych. Chronometraż powinien być opracowany dla

dni, w których rytm pracy jest przeciętny i obejmować typowe, powtarzające się czynności związane z obsługą stanowiska pracy. W dokumentacji wszystkie rodzaje czynności roboczych, jak również czynności pomocnicze i przerwy w pracy, powinny być pogrupowane w cykle podobne pod względem obciążenia wysiłkiem. Najlepiej, gdy chronometraż pracy jest opracowany wspólnie z pracownikiem, jego przełożonym i pracownikiem służb bhp. Pomiar czasu trwania poszczególnych czynności powinien być wykonany kilkakrotnie, dla różnych osób i przy różnej intensywności pracy, aby można było uzyskać charakterystyczną, uśrednioną „fotografię” dnia roboczego na określonym stanowisku.

Warunkiem prawidłowego wykonania pomiaru wydatku energetycznego jest staranne dopasowanie półmasksi do twarzy. Należy w tym celu uwzględnić wymiary oraz kształt twarzy i dobrać właściwy rozmiar półmasksi. Następnie należy ją dopasować, odpowiednio ściągając paski gumowe mocujące półmaskę na twarzy. Pomiar wentylacji płuc przeprowadza się kilkakrotnie, przez okres kilku minut i zawsze po kilku minutach pracy w półmasce, co jest niezbędne do przyzwyczajenia się pracownika do pracy w półmasce oraz unormowania oddechu zakłóconego w pierwszej fazie przez założenie półmasksi.

Po ustaleniu chronometrażu pracy dla danego stanowiska pracy wylicza się wartość wydatku energetycznego na zmianę roboczą. W tym celu należy pomnożyć wartość wydatku energetycznego na minutę dla danej czynności przez czas (w minutach) jej wykonywania podczas zmiany roboczej, a następnie dodać wartości otrzymane dla poszczególnych czynności. Szacując wydatek energetyczny na podstawie tabel, należy pamiętać o zastosowaniu współczynnika różnicującego wartość wydatku ze względu na płeć. Ponadto należy pamiętać, że tabele porównawcze często przedstawiają wartości wydatku energetycznego dla standardowej osoby, której dane prezentuje tabela 5.7.

Tabela 5.7. Podstawowa charakterystyka osoby standardowej

Dane	Mężczyzna	Kobieta
Wysokość ciała (H), m	1,7	1,6
Masa ciała (W), kg	70	60
Powierzchnia ciała (A_{DU}), m ²	1,8	1,6
Wiek (A), lata	35	35
Podstawowa przemiana materii, W/m ²	44	41

Wyliczona wartość wydatku energetycznego na zmianę roboczą odnosi się tylko do podanego chronometrażu pracy. Przy innym zestawie wykonywanych

czynności bądź przy innym okresie trwania poszczególnych czynności uzyskamy inną wartość wydatku energetycznego na zmianę roboczą.

Podanie wydatku energetycznego na minutę jest wygodną formą przedstawienia wyników pomiarów, gdyż na tej podstawie można dokonać ponownego wyliczenia w sytuacji, gdy na danym stanowisku pracy zajdą zmiany organizacyjne i zmieni się czas wykonywania czynności.

Regulacje prawne w zakresie organizacji stanowisk pracy fizycznej, pracy w warunkach mikroklimatu gorącego i zimnego

Badania profilaktyczne

Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy* (DzU nr 69, poz. 332) lekarz przeprowadza badanie profilaktyczne (wstępne lub okresowe) na podstawie skierowania wydanego przez pracodawcę. Skierowanie musi zawierać określenie stanowiska, na którym osoba badana ma pracować oraz opis czynników szkodliwych dla zdrowia lub warunków uciążliwych występujących na tym stanowisku (wraz z aktualnymi wynikami badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia, wykonanych na tym stanowisku).

Zakres takich badań w zależności od czynnika szkodliwego lub uciążliwych warunków pracy występujących na stanowisku, na którym ma pracować badana osoba, są określone we *Wskazówkach metodycznych*, stanowiących załącznik 1. do ww. rozporządzenia. Zgodnie z pkt 2 §2 omawianego rozporządzenia lekarz przeprowadzający badanie profilaktyczne może poszerzyć jego zakres o dodatkowe specjalistyczne badania konsultacyjne oraz badania dodatkowe, a także wyznaczyć krótszy termin następnego badania, jeżeli uzna, że jest to niezbędne dla prawidłowej oceny zdrowia osoby przyjmowanej do pracy lub pracownika.

Badania wstępne

Przed dopuszczeniem pracownika do **ciężkiej pracy fizycznej** (wydatek energetyczny powyżej 1500 kcal/8 h lub 3 kcal/min dla mężczyzn i powyżej 1000 kcal/8 h lub ponad 2 kcal/min dla kobiet) należy przeprowadzić:

- dokładny wywiad ze szczególnym uwzględnieniem czynników ryzyka chorób układu krążenia

- badanie lekarskie ogólne, ze szczególnym zwróceniem uwagi na układ ruchu, krążenia i oddechowy
- badanie elektrokardiograficzne, w zależności od wskazań: spirometria oraz próba wysiłkowa (poziomu ogólnej wydolności fizycznej – VO_2max).

Jest to szczególnie ważne w odniesieniu do osób prowadzących siedzący tryb życia, które bez przygotowania i adaptacji wykonują nagle znaczny wysiłek. Problem dotyczy szczególnie pracowników sezonowych lub innych zmieniających pracę na stanowiskach, w ramach których wykonywane są duże wysiłki fizyczne, np. w budownictwie.

Pomiar wydolności fizycznej pracownika (VO_2max) należy przyjąć jako obowiązujący, właściwy sposób kwalifikowania ludzi zdrowych do podjęcia ciężkiej pracy fizycznej.

Przed dopuszczeniem pracownika do pracy w **mikroklimacie zimnym** należy przeprowadzić dokładny wywiad, ze szczególnym uwzględnieniem czynników ryzyka chorób układu krążenia oraz badanie lekarskie ogólne i w zależności od wskazań badanie dermatologiczne. Przed dopuszczeniem do pracy w **mikroklimacie gorącym** należy przeprowadzić dokładny wywiad, ze szczególnym uwzględnieniem czynników ryzyka chorób układu krążenia, badanie lekarskie ogólne oraz dodatkowo wykonać badanie elektrokardiograficzne.

Badania okresowe

W przypadku osób wykonujących **ciężką pracę fizyczną** zakres postępowania podczas badań okresowych jest taki sam jak podczas badań wstępnych. Okres pomiędzy badaniami okresowymi wynosi 5 lat, a u osób po 45. roku życia – 3 lata.

W przypadku osób wykonujących pracę w **mikroklimacie gorącym** zakres postępowania podczas badań okresowych jest taki sam jak podczas badań wstępnych, okres pomiędzy badaniami okresowymi wynosi 3 lata, natomiast u osób po 45. roku życia – 2 lata.

W przypadku osób wykonujących pracę w **mikroklimacie zimnym** zakres postępowania podczas badań okresowych jest taki sam jak podczas badań wstępnych, a okres pomiędzy badaniami okresowymi wynosi 3 lata.

Profilaktyczne posiłki i napoje

Zgodnie z art. 232 znowelizowanego kodeksu pracy pracodawca jest obowiązany zapewnić pracownikom zatrudnionym w warunkach szczególnie uciążliwych,

nieodpłatnie, odpowiednie posiłki i napoje, jeżeli jest to niezbędne ze względów profilaktycznych. *Rozporządzenie z dnia 28 maja 1996 r. w sprawie profilaktycznych posiłków i napojów* (DzU nr 60, poz. 279) dokładnie określa warunki do ich wydawania, w tym również wielkość wydatku energetycznego. W myśl tego rozporządzenia pracodawca powinien zapewnić **posiłki profilaktyczne** pracownikom wykonującym prace:

- związane z wysiłkiem fizycznym, powodującym w ciągu zmiany roboczej efektywny wydatek energetyczny organizmu powyżej 2000 kcal (8374 kJ) u mężczyzn i powyżej 1100 kcal (4605 kJ) u kobiet
- związane z wysiłkiem fizycznym powodującym w ciągu zmiany roboczej efektywny wydatek energetyczny organizmu powyżej 1500 kcal (6280 kJ) u mężczyzn i powyżej 1000 kcal (4187 kJ) u kobiet, wykonywane w pomieszczeniach zamkniętych, w których ze względów technologicznych utrzymuje się stale temperatura poniżej 10 °C lub wskaźnik obciążenia termicznego (WBGT) wynosi powyżej 25 °C
- związane z wysiłkiem fizycznym, powodującym w ciągu zmiany roboczej efektywny wydatek energetyczny organizmu powyżej 1500 kcal (6280 kJ) u mężczyzn i powyżej 1000 kcal (4187 kJ) u kobiet, wykonywane na otwartej przestrzeni w okresie zimowym. Za okres zimowy uważa się okres od 1 listopada do 31 marca
- pod ziemią.

Gdy praca wykonywana jest w warunkach mikroklimatu zimnego, konieczne jest wyrównywanie bilansu cieplnego organizmu. Podawanie posiłków profilaktycznych w warunkach mikroklimatu zimnego jest uzasadnione wówczas, gdy wykonywana jest ciężka praca zarówno w pomieszczeniach zamkniętych jak i na otwartej przestrzeni w okresie zimowym.

Posiłek profilaktyczny powinien mieć wartość kaloryczną około 1000 kcal i być wydawany w formie jednego dania gorącego, w połowie zmiany roboczej (po 3-4 godzinach pracy), aby zrównoważyć wydatkowaną w tym czasie energię. Posiłek ten nie powinien zawierać zbyt wiele białek i tłuszczów. Z punktu widzenia zdolności do pracy mięśniowej najbardziej uzasadnione jest wzbogacenie zwykłej diety mieszanej węglowodanami. Posiłek profilaktyczny powinien zatem zawierać około 50-55% węglowodanów, 30-35% tłuszczów i 15% białek.

Niezależnie od podawania posiłków pracodawca powinien zapewnić **napoje profilaktyczne** zimne lub gorące pracownikom zatrudnionym:

- w warunkach środowiska gorącego charakteryzującego się wartością wskaźnika obciążenia WBGT powyżej 25 °C
- w warunkach środowiska zimnego charakteryzującego się wartością wskaźnika siły chłodzącej powietrza WCI) powyżej 1000
- przy pracach na otwartej przestrzeni w temperaturze otoczenia poniżej 10 °C lub powyżej 25 °C
- przy pracach związanych z wysiłkiem fizycznym powodującym w ciągu zmiany roboczej efektywny wydatek energetyczny organizmu powyżej 1500 kcal (6280 kJ) u mężczyzn i 1000 kcal (4187 kJ) u kobiet
- na stanowiskach pracy, na których temperatura spowodowana warunkami atmosferycznymi przekracza 28 °C.

Napoje powinny być odpowiednio zimne lub gorące, w zależności od warunków wykonywania pracy, a w przypadku wykonywania pracy w warunkach środowiska gorącego napoje powinny być wzbogacone w sole mineralne i witaminy, ze względu na obfite pocenie i utratę z potem zarówno wody jak i soli mineralnych.

Picie napojów w celu uzupełnienia strat płynów na skutek pocenia się wynikającego z wykonywania ciężkiej i bardzo ciężkiej pracy fizycznej, jak również pracy w warunkach środowiska gorącego, ułatwia utrzymanie bilansu cieplnego i zapobiega przegrzaniu organizmu. Dlatego też niezbędne jest uzupełnianie strat płynów na bieżąco, co oznacza stałą dostępność tych napojów dla pracownika, w ilości zaspokajającej jego potrzeby. Jest to szczególnie istotne w przypadku pracowników starszych, u nich bowiem występuje zmniejszone uczucie pragnienia, co sprzyja odwodnieniu organizmu.

Prace szczególnie uciążliwe lub szkodliwe dla zdrowia kobiet

W *Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie prac wzbronionych kobietom* (DzU nr 114, poz. 545; zmiany: DzU 2002, nr 127, poz. 1092) określono jako szczególnie uciążliwe lub szkodliwe dla zdrowia kobiet prace związane z wydatkiem energetycznym równym 5000 kJ w ciągu zmiany roboczej, a także prace dorywcze, w czasie których wydatek energetyczny wynosi 20 kJ na minutę.

Prace wzbronione młodocianym

Dopuszczalne granice obciążenia energetycznego młodocianych podczas pracy zostały ustalone w *Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy*

niektórych z tych prac (DzU nr 200, poz. 2047, ze zmianami). Przyjęte w rozporządzeniu wartości przedstawiono w tabeli 5.8.

Tabela 5.8. Dopuszczalne granice obciążenia energetycznego młodocianych podczas pracy

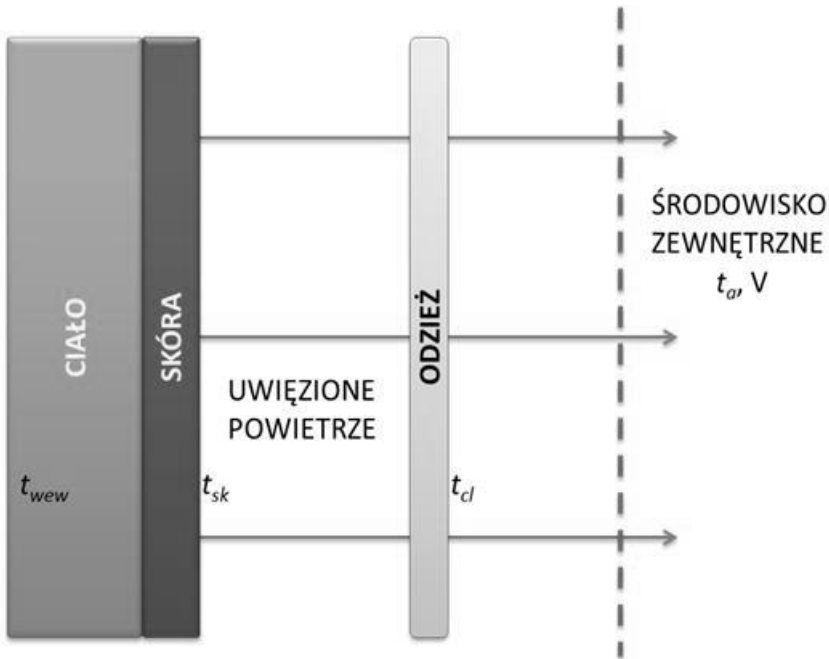
Wiek	Dziewczeta		Chłopcy	
	dorywczo kJ/min	kJ 6 h	dorywczo kJ/min	kJ/6 h
Od 16. do ukończenia 18. roku życia	10,5	2300	12,6	3030

6. Ocena izolacyjności cieplnej odzieży

Stosowanie odzieży przez człowieka pozwoliło na funkcjonowanie w warunkach odbiegających od środowiska umiarkowanego. Odpowiedni dobór odzieży pozwala na wykonywanie aktywności zawodowych i pozazawodowych, utrzymując komfort termiczny ciała. Prawidłowo dobrana odzież wpływa na wydłużenie czasu pracy, zmniejszenie ryzyka zawodowego czy absencji zawodowej. W środowisku zimnym odzież ciepłochronna chroni zarówno przed nadmiernym wychłodzeniem organizmu, jak i przed nadmiernym przegrzaniem, które może spowodować zawilgocenie odzieży, co przekłada się m.in. na zmianę jej własności izolacyjnych [Bogdan, 2009; Fanger, 1974]. W środowisku umiarkowanym czy gorącym źle dobrana odzież może prowadzić do przegrzania organizmu. Z tej przyczyny bardzo istotne jest dokładne określenie izolacyjności cieplnej zestawu odzieży stosowanego w danym środowisku pracy, co można przeprowadzić na podstawie wyników pomiarów z wykorzystaniem manekinów termicznych [Bogdan, 2010].

Izolacyjność cieplna to parametr określający opór cieplny poszczególnych warstw odzieży, czyli wpływ ilości ciepła wymienianego przez organizm ze środowiskiem zewnętrznym (strata ciepła jawnego i utajonego przez skórę) [Bogdan, 2010]. Jednostką izolacyjności cieplnej w układzie SI jest $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$. W 1941 r. Gage zaproponował nową jednostkę do opisu izolacyjności cieplnej – clo [Parsons, 2003], definiując ją następująco: „1 clo zapewnia izolacyjność cieplną odzieży niezbędną do utrzymania równowagi cieplnej pomiędzy organizmem człowieka a otoczeniem o temperaturze 21 °C, przebywającym w pozycji siedzącej”. Aby przeliczyć clo na jednostki w układzie SI, należy skorzystać z następującej zależności [Parsons, 2003]: $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ k}/\text{W}$.

Ciepło oddawane przez powierzchnię skóry przenika przez odzież do otaczającego go środowiska, a następnie jest odprowadzane do otoczenia przez konwekcję C i promieniowanie R (patrz rozdz. 2., rys. 2.1).

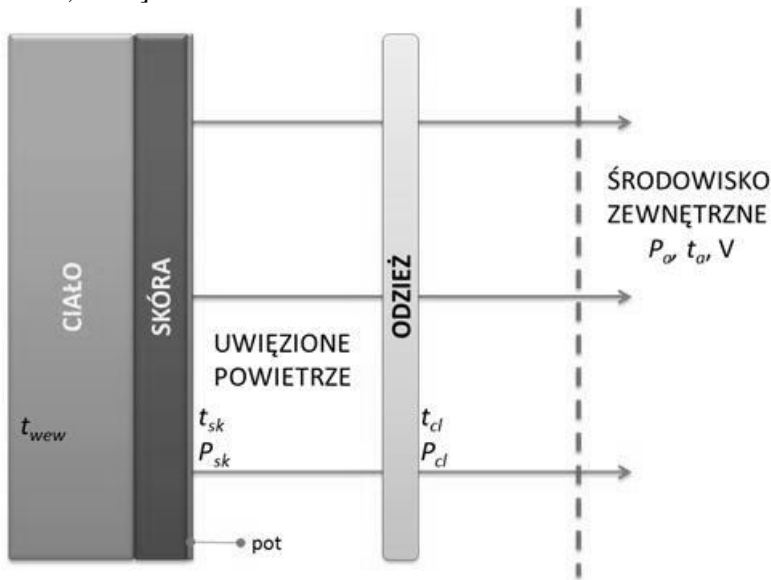


Rys. 6.1. Wymiana ciepła jawnego przez odzież. t_{wew} – temperatura wewnętrzna ciała, T_{sk} – temperatura skóry, t_{cl} – temperatura zewnętrznej warstwy odzieży, t_a – temperatura otoczenia, V – prędkość przepływu powietrza [Parsons, 2003]

Izolacyjność cieplną odzieży opartą na jawnej wymianie ciepła (rys. 6.1) można uwzględnić jedynie w odniesieniu do środowiska umiarkowanego (czy zimnego), w którym użytkownicy nie są narażeni na pocenie. W środowisku gorącym pojawiający się pot, parując, ochładza ciało. W tym wypadku siłą napędową przepływu ciepła do otoczenia jest różnica ciśnienia cząstkowego pary wodnej pomiędzy skórą a środowiskiem. Para wodna z potu przedostaje się przez odzież, która tworzy barierę utrudniającą ochłodzenie organizmu (rys. 6.2). Możliwość odparowywania potu ze skóry przez odzież jest charakteryzowana całkowitym oporem parowania [Parsons, 2003].

Na wartość izolacyjności cieplnej duży wpływ mają zatem: grubość materiału, rodzaj materiału i zawilgocenie. Ponadto pomiędzy skórą a odzieżą znajduje się warstwa powietrza tworząca dodatkową warstwę izolacyjności odzieży. Zmiana lokalizacji tej warstwy związana z ruchem człowieka oraz prędkością powietrza

w otoczeniu człowieka ma wpływ na wartość izolacyjności cieplnej odzieży [Havenith, 1999]. Podczas aktywności fizycznej użytkownika następuje wzrost wymiany powietrza z otoczeniem oraz przenikanie powietrza otaczającego człowieka przez poszczególne warstwy materiału, co powoduje obniżenie wartości izolacyjności cieplnej zestawu odzieży. W zależności od stopnia dopasowania odzieży do ciała człowieka zmienia się układ i wielkość przestrzeni (szczelin) powietrza pomiędzy skórą a odzieżą. Im większa szczelina, tym większy przepływ powietrza pod odzieżą, a tym samym – obniżenie wartości jej izolacyjności cieplnej [Havenith, 1999].



Rys. 6.2. Utajona wymiana ciepła. P_{sk} – ciśnienie pary wodnej przy skórze, P_{cl} – ciśnienie pary wodnej przy zewnętrznej części odzieży, P_a – ciśnienie pary wodnej w środowisku zewnętrznym [Parsons, 2003]

Również zmiany w postawie ciała oddziałują na izolacyjność warstwy powietrza w szczelinach. Przy pozycji siedzącej izolacyjność odzieży maleje, gdyż materiał, z którego wykonana jest odzież, ulega np. ściśnięciu na plecach czy udach. Zwykle przy tej pozycji następuje obniżenie wartości izolacyjności cieplnej zestawu odzieży o ok. 6-18% w stosunku do izolacyjności cieplnej odzieży określonej dla pozycji stojącej [Bernard i Matheen, 1999].

Z kolei siedzisko powoduje dodatkową izolacyjność cieplną na wysokości pleców, bioder i nóg użytkownika. Na podstawie badań z wykorzystaniem manekinów termicznych określono, iż w zależności od konstrukcji krzesła zmienia się wartość

izolacyjności cieplnej [Żukowska, 2005]. Podobnie pranie może zmieniać izolacyjność odzieży poprzez zmianę właściwości poszczególnych materiałów składających się na zestaw odzieży. Opór cieplny poszczególnych warstw materiałów może się zwiększyć w wyniku skurczenia się włókien w tkanym lub dzianym wyrobie odzieżowym bądź zmniejszyć na skutek zmniejszenia grubości po praniu [Have-nith, 1999].

W kilku normach i dokumentach, wymienionych niżej, można znaleźć wiele definicji izolacyjności cieplnej:

- PN-EN 342:2006/AC:2008 *Odzież ochronna -- Zestawy odzieży i wyroby odzieżowe chroniące przed zimnem*
- PN-EN ISO 9920:2009 *Ergonomia środowiska termicznego -- Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży*
- PN-EN ISO 15831:2006 *Odzież -- Właściwości fizjologiczne -- Pomiar izolacyjności cieplnej z zastosowaniem manekina termicznego*
- ASTM F1291 – 10 *Standard Test Method for Measuring the Thermal Insulation of Clothing Using a Heated Manikin*

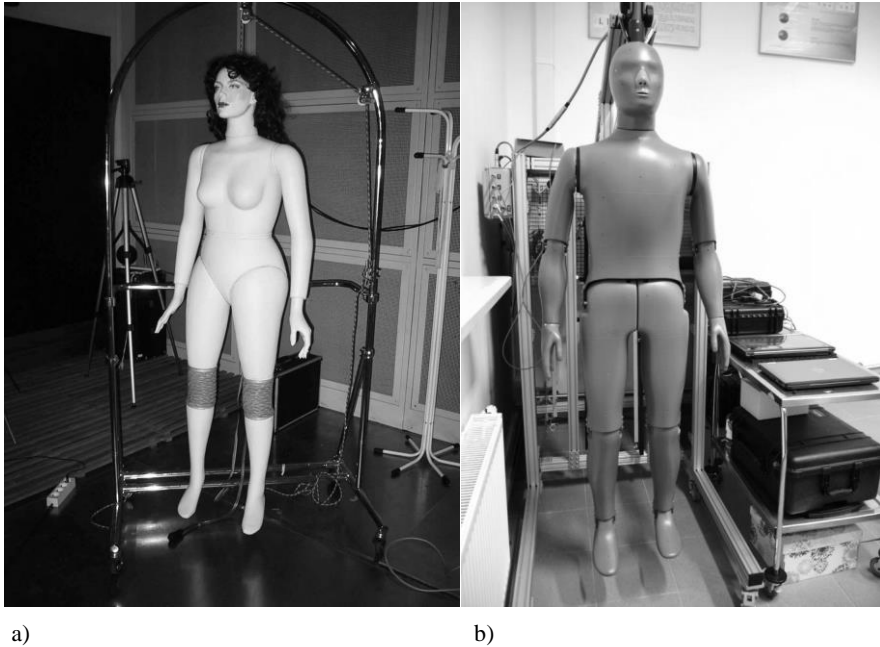
Zazwyczaj izolacyjność cieplna odzieży definiowana jest jako iloraz różnicy temperatury pomiędzy powierzchnią skóry użytkownika i otaczającą go atmosferą i powstający w jej wyniku, suchy strumień ciepła. Jednakże w przedstawionych wyżej normach wprowadzono różne definicje izolacyjności cieplnej odzieży w zależności od sposobu korzystania z odzieży.

Norma PN-EN 342:2006 dotyczy odzieży chroniącej przed zimnem. Również w tym dokumencie znajdują się różne definicje izolacyjności cieplnej: efektywnej podstawowej I_{cle} oraz efektywnej wynikowej I_{cler} . Przedstawiona jest również metoda przeliczania izolacyjności cieplnej podstawowej na wynikową (wg załącznika C).

Z kolei w normie PN-EN ISO 9920:2009 znajdują się m.in. definicje: izolacyjności cieplnej całkowitej (I_T), podstawowej (I_{cl}) i granicznej warstwy powietrza I_a , a także definicje uwzględniające utajoną wymianę ciepła, takie jak: całkowity opór pary wodnej $R_{e,T}$, podstawowy opór pary wodnej $R_{e,cl}$, opór powietrza dla pary wodnej $R_{e,a}$. Bardzo pomocne są zamieszczone w normie tabele, w których podano wartości izolacyjności cieplnej, oporu parowania, przepuszczalności powietrza i innych parametrów dla wielu zestawów odzieży roboczej, a także poszczególnych jej elementów.

Zasada pomiaru izolacyjności cieplnej z wykorzystaniem manekina termicznego została omówiona w normie PN-EN ISO 15831:2004. Na rysunku 6.3 zapre-

zestawiono manekiny termiczne (Diana i Newton) znajdujące się w CIOP-PIB. Zgodnie z normą, badania izolacyjności cieplnej należy prowadzić w komorze klimatycznej (rys. 6.4).



Rys. 6.3. Manekiny termiczne dostępne w CIOP-PIB. a) Diana, b) Newton



Rys. 6.4. Manekin termiczny w komorze klimatycznej

Jak wynika z normy PN-EN ISO 15831:2006, izolacyjność cieplną badanego zestawu odzieży można obliczyć albo dodając lokalną izolacyjność różnych segmentów manekina (model szeregowy, *serial*) albo w odniesieniu do całkowitego

strumienia ciepłego wypływającego z manekina (model równoległy, *parallel*). Korzystając z odpowiednich wzorów, można obliczyć izolacyjność wg modelu szeregowego (6.1) i równoległego (6.2):

$$I_t \text{ lub } I_{tr} = \sum_1^n f_i \left[\frac{(t_{si} - t_a) a_i}{H_{ci}} \right] \quad (6.1)$$

$$I_i \text{ lub } I_{tr} = \frac{(t_s - t_a) A}{H_c} \quad (6.2)$$

gdzie:

t_{si} – temperatura powierzchni i -tego segmentu manekina, °C

t_a – temperatura otoczenia, °C

H_{ci} – utrata ciepła i -tego segmentu manekina, W

a_i – pole powierzchni i -tego segmentu manekina, m²

A – całkowite pole powierzchni manekina, m²

f_i – część całkowitego pola powierzchni manekina, jaką stanowi pole powierzchni i -tego segmentu, $f_i = \frac{a_i}{A}$

t_s – średnia temperatura powierzchni manekina, °C, $t_s = \sum f_i t_{si}$

H_c – całkowita utrata ciepła przez całego manekina, W, $H_c = \sum H_{ci}$

W załączniku A *Obliczanie wyników badań* do normy PN-EN ISO 15831:2006 można znaleźć również definicje podstawowej izolacyjności cieplnej I_{cl} oraz wynikowej izolacyjności cieplnej I_{clr} . Znajomość różnic między tymi wartościami jest wymagana przy ocenie środowiska zimnego (rozdz. 7.3).

ASTM – czyli American Society for Testing and Materials – to ogólnoświatowa organizacja zajmująca się opracowywaniem norm w celu poprawienia jakości produktów, zwiększenia bezpieczeństwa oraz ułatwienia dostępu do rynku i handlu. W ramach ASTM powstał dokument dotyczący badania izolacyjności cieplnej za pomocą manekina termicznego. W dokumencie F1291-10 wymienione są izolacyjności cieplne, takie jak: izolacyjność cieplna warstwy powietrza wokół nagiego manekina I_a , całkowita izolacyjność cieplna odzieży I_t wraz z graniczną warstwą powietrza obliczana metodą równoległą (*parallel*).

7. Normatywna ocena oddziaływania środowiska termicznego na organizm człowieka

Zależnie od rodzaju środowiska termicznego ocenę obciążenia/dyskomfortu termicznego przeprowadza się na podstawie odpowiednich wskaźników, wyznaczonych wg normy:

Środowisko gorące	Środowisko umiarkowane	Środowisko zimne
Ocena obciążenia termicznego ogólnego za pomocą wskaźnika WBGT	Ocena komfortu termicznego – wskaźniki PMV i PPD Ocena dyskomfortu miejscowego – wskaźniki PD i DR	Ocena obciążenia termicznego ogólnego za pomocą wskaźnika IREQ Ocena wychłodzenia miejscowego za pomocą wskaźnika t_{WC}
PN-EN 27243:2005 <i>Środowiska gorące -- Wyznaczenie obciążenia termicznego działającego na człowieka podczas pracy, oparte na wskaźniku WBGT</i>	PN-EN ISO 7730:2006 <i>Ergonomia środowiska termicznego -- Analityczne wyznaczenie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego (oryg.)</i>	PN-EN ISO 11079:2008 <i>Ergonomia środowiska termicznego -- Wyznaczanie i interpretacja stresu termicznego wynikającego z ekspozycji na środowisko zimne z uwzględnieniem wymaganej izolacyjności cieplnej odzieży (IREQ) oraz wpływu wychłodzenia miejscowego (oryg.)</i>

Ogólnie, na ocenę środowiska termicznego składają się 3 etapy:

- I. Wizja lokalna, przygotowanie do badań, wyznaczenie punktów pomiarowych, ustalenie chronometrażu ekspozycji pracowników na zmienne warunki środowiska termicznego itp.

- II. Pomiar parametrów środowiska termicznego, ocena elementów indywidualnych pracowników, tj. tempa metabolizmu oraz izolacyjności cieplnej odzieży.
- III. Określenie wartości wskaźnika odpowiedniego dla danego rodzaju środowiska termicznego oraz porównanie tej wartości z wartościami dopuszczalnymi określonymi w normie.

W podrozdziałach 7.1÷7.3 przedstawiono szczegółowe informacje nt. postępowania wymaganego podczas oceny środowiska gorącego, umiarkowanego i zimnego.

7.1. Środowisko gorące

Zgodnie z obowiązującymi przepisami (rozdz. 1.) środowisko termiczne uznaje się za gorące, gdy wskaźnik PMW osiąga wartość powyżej +2,0. Ocena obciążenia termicznego w środowisku gorącym jest przedstawiona w normie PN-EN 27243:2005 i opiera się na wskaźniku WBGT. Nazwa wskaźnika pochodzi od angielskich nazw dwóch czujników stosowanych w pomiarach: *Wet Bulb* (czujnik do pomiaru temperatury wilgotnej naturalnej t_{mv}) oraz *Globe Temperature* (czujnik do pomiaru temperatury poczernionej kuli t_g). Wskaźnik ten został opracowany przez Yaglou i Miranda na podstawie badań przeprowadzonych z udziałem żołnierzy wykonujących swoją służbę na pustyni.

Metoda oceny obciążenia termicznego za pomocą wskaźnika WBGT, zgodnie z ogólną zasadą opisaną na wstępie rozdziału 7, składa się z 3 etapów.

Etap I. Wizja lokalna, określenie chronometrażu pracy, określenie punktów pomiarowych

Zgodnie z normą PN-EN 27243:2005 badania obciążenia termicznego powinny być prowadzone przez 1 godzinę, podczas której występuje maksymalne obciążenie termiczne pracowników. Jeżeli parametry środowiska w pomieszczeniach wynikają z warunków atmosferycznych (np. w pomieszczeniach występują powierzchnie przeszklone, wskutek czego zyski ciepła wynikają głównie z promieniowania słonecznego), badania powinno się prowadzić latem w środku dnia, kiedy występuje maksymalne promieniowanie słoneczne lub też wysoka temperatura powietrza. Jeżeli natomiast główną przyczyną występowania środowiska gorącego

jest realizacja technologii produkcji (np. w hutach), badania powinny być prowadzone w okresie, kiedy urządzenia są włączone.

Istotne jest również rozpoznanie trybu pracy pracowników. Jeżeli w ciągu 1 godziny, w trakcie której prowadzone będą badania, pracownik zmienia środowisko termiczne (np. część czasu spędza przy piecu, a pozostałą część w magazynie), badania należy przeprowadzić z uwzględnieniem czasu ekspozycji pracownika na poszczególne rodzaje środowiska. Analogiczna sytuacja występuje, jeżeli pracownik w ciągu 1 godziny zmienia intensywność pracy (wartość tempa metabolizmu), np. przez 30 min stoi przy piecu i 30 min układa produkty w magazynie (rozd. 5.). Z tej przyczyny istotne jest określenie chronometrażu wykonywania poszczególnych czynności.

Etap II. Pomiar parametrów środowiska

Wytyczne odnośnie do aparatury pomiarowej przestawiono w rozdziale 4. W zależności od lokalizacji stanowiska pracy pomiar parametrów środowiska powinien obejmować: temperaturę wilgotną naturalną t_{nw} , temperaturę poczernionej kuli t_g i w przypadku, kiedy badanie jest wykonywane na zewnątrz budynków, również temperaturę powietrza t_a . Na podstawie pomiaru tych 2 lub 3 parametrów oblicza się wartość wskaźnika WBGT, korzystając ze wzorów (7.1) lub (7.2):

- w pomieszczenia zamkniętych

$$WBGT = 0,7t_{nw} + 0,3t_g \quad (7.1)$$

- na zewnątrz budynków, przy obecności nasłonecznienia

$$WBGT = 0,7t_{nw} + 0,2t_g + 0,1t_a \quad (7.2)$$

Dodatkowo, bardzo często w środowisku gorącym występuje zróżnicowanie przestrzenne i uwarstwienie mas powietrza, tj. temperatura powietrza przy podłodze jest znacznie niższa niż temperatura powietrza w wyższych częściach pomieszczenia. W takim przypadku, kiedy niejednorodność środowiska jest większa niż 5%, należy pomiary parametrów powietrza przeprowadzić jednocześnie na 3 poziomach, odpowiadających położeniu kolejno głowy, brzucha i kostek u nóg pracownika. Z tej przyczyny mierniki należy umieścić na następujących wysokościach, licząc od podłogi:

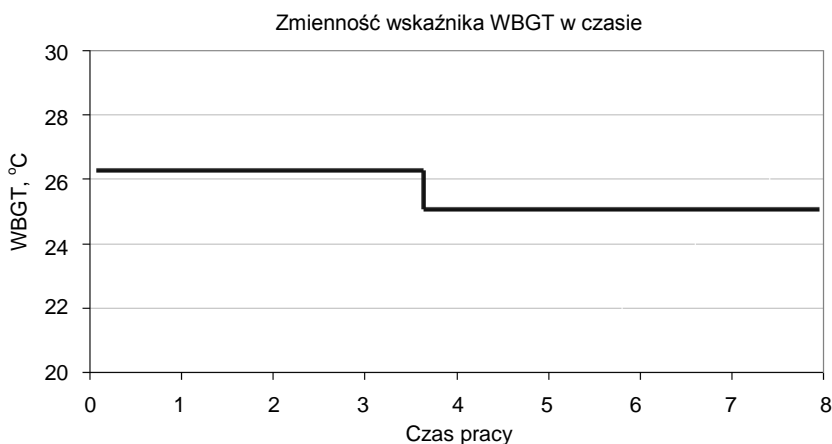
- dla pracownika stojącego: 0,1, 1,1 i 1,7 m
- dla pracownika siedzącego: 0,1, 0,6 i 1,1 m.

Następnie należy obliczyć wartości wskaźników WBGT dla każdego poziomu i podstawić do wzoru (7.3) w celu uzyskania wyniku uśrednionego:

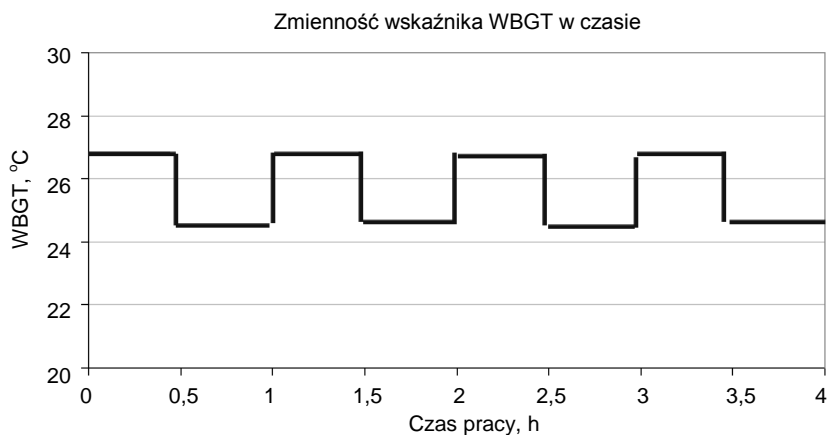
$$WBGT = \frac{WBGT_{\text{głowy}} + 2WBGT_{\text{brzucha}} + WBGT_{\text{kostek.nóg}}}{4} \quad (7.3)$$

Jeżeli natomiast pracownik podczas 1 godziny prowadzenia oceny zmienia środowisko (niejednorodność w czasie), wówczas należy obliczyć wartość uśrednioną WBGT, uwzględniając te zmiany.

Często pojawia się problem z wyborem okresu 1 godziny do prowadzenia badań. Aby wyjaśnić sposób podejścia do tego zagadnienia, rozpatrzmy sytuacje zilustrowane na rysunkach 7.1 i 7.2.



Rys. 7.1. Zmiana parametrów środowiska termicznego podczas 8-godzinnej zmiany roboczej



Rys. 7.2. Zmiana parametrów środowiska termicznego podczas 4-godzinnej zmiany roboczej

Z rysunku 7.1 wynika, że pracownik w czasie 8 godzin pracy przez pierwsze 4 godziny przebywa w środowisku cieplejszym, a następne 4 godziny –

w środowisku chłodniejszym. W takiej sytuacji badania należy przeprowadzić wyłącznie podczas 1 godziny pracy w środowisku cieplejszym. Jeżeli natomiast zachodzi sytuacja jak na rysunku 7.2, tzn. pracownik co pół godziny zmienia środowisko pracy, to badanie należy przeprowadzić i w środowisku chłodniejszym i cieplejszym, a następnie obliczyć wartość średnią ważoną po czasie ekspozycji na dane środowisko.

Średnią wartość WBGT dotyczącą zmienności w czasie oblicza się, korzystając ze wzoru:

$$\bar{p} = \frac{(p_1 \cdot t_1) + (p_2 \cdot t_2) + \dots + (p_n \cdot t_n)}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (7.4)$$

gdzie:

- p – parametr środowiska, który ulega zmianie
- t – czas ekspozycji na dane środowisko.

W badaniach wskaźnika WBGT najwygodniej jest prowadzić wyłącznie pomiary powietrza, a następnie wyliczać wartości WBGT samodzielnie, nie korzystając z gotowych rozwiązań, jakie oferowane są w miernikach mikroklimatu.

Etap III. Porównanie obliczonej wartości wskaźnika WBGT z wartościami dopuszczalnymi przedstawionymi w normie

W tabeli 7.1 przedstawiono wartości dopuszczalne zamieszczone w normie PN-EN 27243:2005. Wartości dopuszczalne (odniesienia) WBGT odpowiadają poziomom ekspozycji, na które mogą być ekspozowane prawie wszystkie osoby bez żadnych szkodliwych skutków, pod warunkiem, że nie stwierdzono u nich wcześniej występujących stanów chorobowych (odniesieniem jest dopuszczalna maksymalna temperatura wewnętrzna równa 38 °C). Wartości te opracowane zostały dla osoby zdrowej, ubranej w odzież o izolacji termicznej równej 0,6 clo. Jeżeli pracownik ubrany jest w zestaw odzieży o innej izolacyjności cieplnej, należy dokonać modyfikacji obliczonej wartości (zgodnie z normą PN-85/N-08011 *Środowisko gorące. Wyznaczenie obciążeń termicznych działających na człowieka w środowisku pracy, oparte na wskaźniku WBGT*), tzn.:

- dodać 2 do wartości dopuszczalnych WBGT, jeżeli pracownik ubrany jest w szorty
- odjąć 2 od wartości dopuszczalnych WBGT, jeżeli pracownik ubrany jest w marynarkę lub kurtkę nieprzepuszczalną dla pary wodnej

- odjąć 4 od wartości dopuszczalnych WBGT, jeżeli pracownik stosuje odzież normalnego rozmiaru nieprzepuszczalną dla pary wodnej i powietrza.

Wartości dopuszczalne nie uwzględniają szczytowego obciążenia termicznego, jakie może występować w ciągu krótkich (kilkuminutowych) okresów, w wyniku szczególnie gorącego otoczenia albo chwilowo bardzo intensywnej pracy. W przypadku ryzyka wystąpienia krótkotrwałego obciążenia termicznego ocenę jego wielkości powinno się przeprowadzić zgodnie ze szczegółowymi metodami przedstawionymi w normie PN-EN ISO 7933:2005 *Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczeń przewidywanego obciążenia termicznego* (oryg.).

Tabela 7.1. Wartości dopuszczalne WBGT (PN-EN 27243:2005)

Klasa tempa metabolizmu	Tempa metabolizmu, M		Wartość odniesienia WBGT			
	odniesione do jednostki powierzchni skóry W/m^2	całkowite (przy średniej powierzchni skóry $1,8 m^2$) W	osoba zaaklimatyzowana w środowisku gorącym $^{\circ}C$		osoba niezaaklimatyzowana w środowisku gorącym $^{\circ}C$	
0 (spoczynek)	$M \leq 65$	$M \leq 117$	33		32	
1	$65 < M \leq 130$	$117 < M \leq 234$	30		29	
2	$130 < M \leq 200$	$234 < M \leq 360$	28		26	
3	$200 < M \leq 260$	$360 < M \leq 468$	nieodczuwalny ruch powietrza	odczuwalny ruch powietrza	nieodczuwalny ruch powietrza	odczuwalny ruch powietrza
			25	26	22	23
4	$M > 260$	$M > 468$	23	25	18	20
UWAGA: Podane wartości ustalono, przyjmując dopuszczalną temperaturę $38^{\circ}C$ mierzoną w odbyticy osoby eksponowanej na środowisko gorące						

W celu określenia wartości dopuszczalnej zgodnie z tabelą 7.1, należy znać tempo metabolizmu pracownika, wiedzieć, czy jest on zaaklimatyzowany oraz czy odczuwa ruch powietrza. Klasę tempa metabolizmu można określić z tablicy 1. z normy PN-EN 27243:2005. Aklimatyzacja natomiast występuje średnio po ok. 7 dniach ekspozycji na środowisko gorące, jednak przystosowanie do takich warunków musi następować stopniowo, początkowo w niepełnym wymiarze godzin pracy, a przez kolejne dni czas ekspozycji jest zwiększany aż do osiągnięcia całej

zmiany roboczej. Ponadto, często jako granice odczuwania ruchu powietrza przyjmuje się prędkość powietrza równą 0,2 m/s, zatem i w tym przypadku wartość tę można przyjmować w celu dobrania odpowiedniej wartości dopuszczalnej WBGT.

Na podstawie porównania obliczonej wartości WBGT z wartością dopuszczalną można określić, czy możliwa jest praca przez całą zmianę roboczą. Jeżeli wartość WBGT na stanowisku pracy jest większa od dopuszczalnej, wówczas należy określić czas skróconej ekspozycji na podstawie normy PN-EN ISO 7933:2005. Jeśli to możliwe, należy dokonać zmian organizacyjnych na stanowisku pracy, tzn. obniżyć temperaturę powietrza i promieniowania w środowisku pracy lub też zmienić tempo metabolizmu pracownika (zastępując np. pozycję stojącą pozycją siedzącą) lub wprowadzić większą liczbę pracowników w celu ograniczenia narażenia pojedynczej osoby na działanie środowiska gorącego. Przy każdej zmianie należy dokonać ponownej oceny obciążenia termicznego.

Przykład 1. Ocena obciążenia termicznego pracownika na budowie drogi

Na ocenianym stanowisku pracownik pracuje na zewnątrz i jest poddany działaniu warunków atmosferycznych. Podczas całej zmiany pracownik przebywa przez 7,5 godziny na stanowisku pracy, w połowie dnia przebywa 0,5 godziny w pomieszczeniu socjalnym. Badania parametrów środowiska przeprowadzono w sierpniu ok. godziny 13:00. Ze względu na przypuszczalnie niejednorodne środowisko termiczne pomiary przeprowadzono jednocześnie na 3 wysokościach przyjętych dla stojącego pracownika. Wyniki pomiaru parametrów na poszczególnych wysokościach przedstawiono w tabeli 7.2.

Tabela 7.2. Wartości średnie parametrów mikroklimatu na ocenianym stanowisku pracy

Poziom pomiaru, m	Parametr		
	t_a , °C	t_g , °C	t_{nw} , °C
1,7	31,35	37,27	26,48
1,1	30,29	36,61	24,34
0,1	29,64	32,31	21,54

Ponieważ niejednorodność była wyższa niż 5%, obliczono wartości wskaźnika WBGT na poszczególnych poziomach, a następnie WBGT uśrednione (tab.7.3).

Na badanym stanowisku pracy wartość dopuszczalna WBGT wynosiła 26 °C. Ponieważ nie było możliwości zmiany parametrów środowiska pracy, zalecono, aby podczas gorących dni pracownik miał możliwość odpoczynku w chłodniejszym środowisku lub pracy z mniejszą intensywnością w chłodniejszym środowisku.

Tabela 7.3. Obliczone wartości WBGT

Poziom pomiaru, m	WBGT, °C
1,7	29,13
1,1	27,39
0,1	24,50
średnia	27,10

Przykład 2. Ocena obciążenia termicznego pracowników piekarni

Oceniana piekarnia składa się z 5 pomieszczeń: ciastowni, magazynu, pomieszczenia socjalnego, pomieszczenia z piecem obrotowym i pomieszczenia z piecem cyklotermicznym.

Pomiary obciążenia termicznego przeprowadzono dla następujących stanowisk pracy:

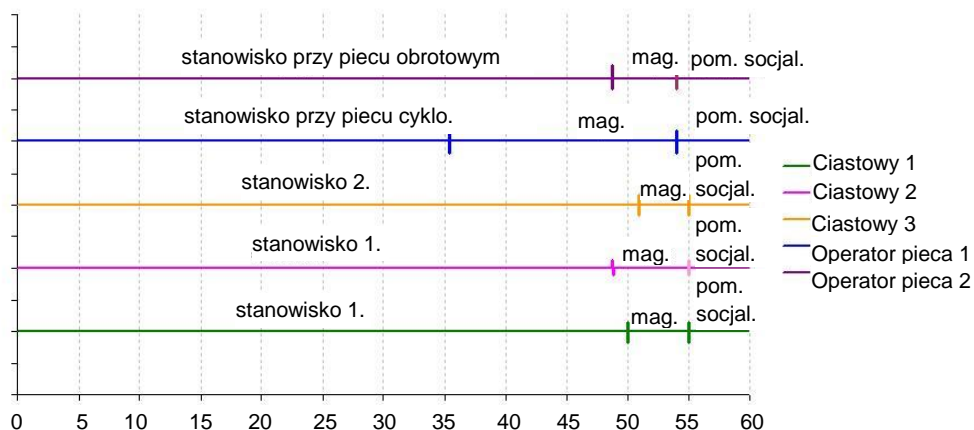
- ciastowy (dalej określany jako ciastowy 1.) i 2 pomocników (ciastowy 2. i 3.)
- operator pieca cyklotermicznego (operator 1.)
- operator pieca obrotowego (operator 2.).

Wszystkie pomieszczenia mają wentylację naturalną, tak więc parametry mikroklimatu w pomieszczeniach wynikają z warunków panujących na zewnątrz pomieszczeń oraz realizowanej technologii produkcji pieczywa.

W pierwszym etapie oceny przeprowadzono ocenę chronometrażu pracy na każdym stanowisku, a w szczególności dokonano określenia czasu przebywania pracownika w każdym pomieszczeniu. Wyniki zobrazowano na rysunku 7.3.

Następnie przeprowadzono pomiary mikroklimatu w każdym z wymienionych pomieszczeń. Pomiary prowadzono jednocześnie na 3 poziomach, jednak wykazały one wysoką jednorodność środowiska. Z tej przyczyny wartości WBGT obliczono, korzystając wyłącznie z parametrów zmierzonych na wysokości 1,1 m (tab. 7.4). Na tej podstawie i znając czas pracy każdego pracownika w pomieszczeniu, obliczono wartości średnie (zmienność w czasie) WBGT na stanowiskach pracy (tab. 7.5).

Wartość dopuszczalna wskaźnika WBGT dla wszystkich badanych pracowników wynosiła 28 °C. Na żadnym z zaobserwowanych stanowisk nie doszło do przekroczenia wartości dopuszczalnej. Zaobserwowano jednak, iż w piekarniach szczególnie uciążliwe może być krótkotrwałe występowanie wysokiego obciążenia termicznego, niestwierdzonego podczas badań wskaźnika WBGT. Z tej przyczyny zarekomendowano przeprowadzenie badań metodami bardziej szczegółowymi.



Rys. 7.3. Chronometraż przebywania pracowników na poszczególnych stanowiskach w piekarni w czasie 1 godziny

Tabela 7.4. Wartości wskaźników WBGT dla poszczególnych środowisk w piekarni

Środowisko pracy	Przy piecu cyklotermicznym	Przy piecu obrotowym	W ciastowni, stanowisko 1.	W ciastowni, stanowisko 2.	W magazynie	W pomieszczeniu socjalnym
WBGT, °C	27,56	28,92	25,17	24,77	22,17	21,95

Tabela 7.5. Wartości wskaźnika WBGT dla poszczególnych stanowisk w rozpatrywanej piekarni

Stanowisko pracy	Ciastowy 1.	Ciastowy 2.	Ciastowy 3.	Operator pieca 1.	Operator pieca 2.
WBGT, °C	24,65	24,55	24,36	25,38	27,54

7.2. Środowisko umiarkowane

Środowisko umiarkowane charakteryzuje się wartościami PMV od -2,0 do +2,0. Ocena wpływu środowiska termicznego na organizm człowieka w środowisku umiarkowanym opiera się na ocenie odczuwania komfortu/dyskomfortu termicznego człowieka. Aspekty te są przedstawione w normie PN-EN ISO 7730:2006 *Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczenie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego* (oryg).

Wskaźniki PMV i PPD

Do oceny komfortu termicznego całego ciała (tzw. ogólnego) został opracowany wskaźnik PMV (*Predicted Mean Vote* – przewidywana ocena średnia), opisujący średnią przewidywaną ocenę odczuć cieplnych dużej liczby osób przebywających w danym pomieszczeniu, dotycząca panujących w nim warunków termicznych [Fanger, 1970]. Wskaźnik ten wyraża różnicę pomiędzy rzeczywistą ilością ciepła oddawaną przez człowieka do otoczenia i odbieraną przez środowisko otaczające a optymalną ilością ciepła, która zostałaby oddana z organizmu do otoczenia w warunkach komfortu przy danej aktywności. Wskaźnik PMV oblicza się za pomocą równań (7.5) ÷ (7.8):

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \left\{ \begin{aligned} & (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ & - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ & - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \right\} \quad (7.5)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\} \quad (7.6)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (7.7)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases} \quad (7.8)$$

gdzie:

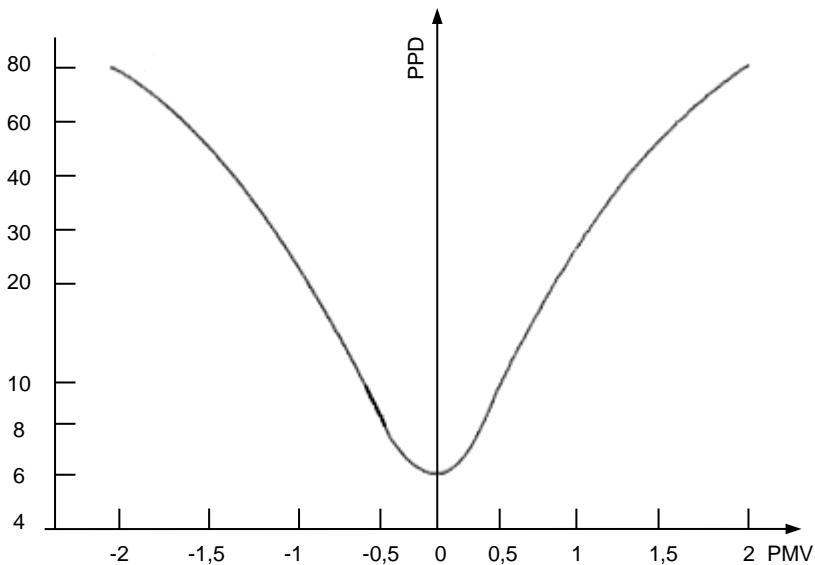
- M – tempo metabolizmu, W/m²
- W – efektywna praca mechaniczna, W/m²
- I_{cl} – izolacyjność cieplna odzieży, m²·K/W
- f_{cl} – współczynnik powierzchni odzieży
- t_a – temperatura powietrza, °C
- \bar{t}_r – średnia temperatura promieniowania, °C
- v_{ar} – prędkość powietrza, m/s
- p_a – ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa
- h_c – współczynnik konwekcji ciepła, W/(m²·K)
- t_{cl} – temperatura powierzchni odzieży, °C.

Wskaźnik PMV wyrażany jest w 7-stopniowej skali odczuć cieplnych (PN-EN ISO 7730:2006):

- +3 gorąco
- +2 ciepło
- +1 lekko ciepło
- 0 neutralnie
- 1 lekko chłodno
- 2 chłodno
- 3 zimno

Wskaźnik powinien być stosowany dla wartości PMV pomiędzy -2 i +2 oraz kiedy sześć głównych parametrów zawartych jest w następujących przedziałach:

- M : $46 \div 232 \text{ W/m}^2$ ($0,8 \div 4 \text{ met}$)
- I_{cl} : $0 \div 0,310 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ($0 \div 2 \text{ clo}$)
- t_a : $10 \div 30 \text{ }^\circ\text{C}$
- \bar{t}_r : $10 \div 40 \text{ }^\circ\text{C}$
- v_{ar} : $0 \div 1 \text{ m/s}$
- p_a : $0 \div 2\,700 \text{ Pa}$.



Rys. 7.4. Wykres PPD w zależności od PMV (PN-EN ISO 7730:2006)

Wskaźnik PMV określa jedynie przewidywane wrażenia cieplne osób przebywających w pomieszczeniu. Uzupełniającym wskaźnikiem, określającym negatywne opinie odnośnie do warunków środowiska termicznego, jest PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), tj. przewidywany odsetek niezadowolonych z grupy osób znajdujących się w danym pomieszczeniu. Określa on procentowy udział osób zdecydowanie nieusatysfakcjonowanych warunkami cieplnymi panującymi w pomieszczeniu pracy. Gdy PPD ma wartość niższą niż 10%, środowisko uznaje się za komfortowe, dla którego z kolei wskaźnik PMV zawiera się w granicach $\pm 0,5$. Zależność między PMV a PPD przedstawia równanie (7.9) i rysunek 7.4.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (7.9)$$

Wskaźniki DR i PD

W normie PN-EN ISO 7730:2006 wprowadzono podział na dyskomfort termiczny ogólny i lokalny. Kiedy w środowisku umiarkowanym pracownik wykonuje pracę o małej intensywności (środowisko to dotyczy zazwyczaj pomieszczeń biurowych), wówczas jest szczególnie wrażliwy na odczuwanie ciepła. Dyskomfort termiczny ogólny dotyczy odczuć cieplnych całego ciała, a dyskomfort termiczny lokalny opisuje odczucia dyskomfortu poszczególnych części ciała.

Przyczyny dyskomfortu lokalnego, opisanego w normie, to:

- przeciąg
- różnica temperatury powietrza w pionie
- asymetria promieniowania
- oddziaływanie ciepłej i chłodnej podłogi.

Do oceny dyskomfortu termicznego miejscowego stosowane są wskaźniki:

- DR (*Draught Rate*) – wskaźnik przeciągu
- PD (*Percentage of Dissatisfied*) – odsetek osób niezadowolonych, z powodu: zbyt ciepłej lub zbyt chłodnej podłogi, niekomfortowej różnicy między temperaturą powietrza na poszczególnych wysokościach w pomieszczeniu oraz różnicy (asymetrii) temperatury promieniowania powierzchni w pomieszczeniu.

Dyskomfort wynikający z przeciągu może być wyrażony jako odsetek osób przewidujących niezadowolenie z przeciągu. Wskaźnik przeciągu DR oblicza się za pomocą równania 7.10:

$$DR = (34 - t_{a,l}) (\bar{v}_{a,l} - 0,05)^{0,62} (0,34 \cdot \bar{v}_{a,l} \cdot Tu + 3,14) \quad (7.10)$$

dla $\bar{v}_{a,l} < 0,05$ m/s: zastosuj $\bar{v}_{a,l} = 0,05$ m/s

dla $DR > 100\%$: zastosuj $DR = 100\%$

gdzie:

$t_{a,l}$ – lokalna temperatura powietrza, $20 \div 26$ °C

$\bar{v}_{a,l}$ – lokalna średnia prędkość powietrza, $< 0,5$ m/s

Tu – lokalna intensywność turbulencji, $10 \div 60\%$ (jeśli nieznana, można przyjmować 40%).

Dodatkowe informacje na temat wpływu prędkości powietrza na odczucie dyskomfortu podano w załączniku G normy PN-EN ISO 7730:2006.

Duża różnica temperatury powietrza pomiędzy głową i kostkami może powodować dyskomfort. Wartość PD można obliczyć z równania (7.11) oraz rysunku 2. zamieszczonego w normie PN-EN ISO 7730:2006. Równanie (7.11) powinno być stosowane dla $\Delta t_{a,v} < 8$ °C:

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(5,76 - 0,856 \cdot \Delta t_{a,v})} \quad (7.11)$$

gdzie:

$\Delta t_{a,v}$ – różnica temperatury powietrza między głową i stopami, °C.

Jeżeli podłoga jest zbyt ciepła lub zbyt chłodna, użytkownicy mogą czuć się niekomfortowo z powodu odczuć ciepłych ich stóp. W przypadku osób noszących lekkie obuwie zewnętrzne, ważniejsza pod względem odczuwania komfortu jest temperatura podłogi niż materiału pokrywającego podłogę. Odsetek osób niezadowolonych z tego powodu można określić z rysunku 3. z normy PN-EN ISO 7730:2006 lub też korzystając z równania (7.12):

$$PD = 100 - 94 \cdot \exp(-1,387 + 0,118 \cdot t_f - 0,0025 \cdot t_f^2) \quad (7.12)$$

gdzie:

t_f – temperatura podłogi, °C.

Asymetria promieniowania może również powodować dyskomfort. Ludzie są najbardziej wrażliwi na asymetrię promieniowania powodowaną przez ciepłe sufity lub chłodne przegrody (okna). Wartość PD można określić dla asymetrii temperatury promieniowania powodowanej przez ciepły sufit, chłodną ścianę, chłodny sufit lub ciepłą ścianę (równania 7.13 ÷ 7.16):

$$\text{– ciepły sufit: } \Delta t_{pr} < 23 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{PD} = \frac{100}{1 + \exp(2,84 - 0,174 \cdot \Delta t_{pr})} - 5,5 \quad (7.13)$$

$$\text{– chłodna ściana: } \Delta t_{pr} < 15 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{PD} = \frac{100}{1 + \exp(6,61 - 0,345 \cdot \Delta t_{pr})} \quad (7.14)$$

$$\text{– chłodny sufit: } \Delta t_{pr} < 15 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{PD} = \frac{100}{1 + \exp(9,93 - 0,50 \cdot \Delta t_{pr})} \quad (7.15)$$

$$\text{– ciepła ściana: } \Delta t_{pr} < 35 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{PD} = \frac{100}{1 + \exp(3,72 - 0,052 \cdot \Delta t_{pr})} - 3,5 \quad (7.16)$$

gdzie:

Δt_{pr} – asymetria temperatury promieniowania, $^\circ\text{C}$.

Ocena komfortu/dyskomfortu termicznego

Zazwyczaj prowadzone są badania wyłącznie komfortu termicznego ogólnego, jednakże w niniejszym podrozdziale, w kolejnych punktach przedstawione będą również informacje nt. metod oceny dyskomfortu termicznego umiarkowanego.

Etap I. Wizja lokalna pomieszczeń, w których będą prowadzone badania

Należy przeprowadzić ocenę wizualną stanowisk pracy – gdzie są rozmieszczone, w jakiej odległości od okien i ścian zewnętrznych, jaka jest orientacja budynku i pomieszczeń w budynku, jak jest zorganizowany przepływ powietrza przez pomieszczenie, gdzie są umieszczone nawiewniki, czy pomieszczenia znajdują się na pierwszej lub ostatniej kondygnacji, czy powyżej lub poniżej danego pomieszczenia znajdują się pomieszczenia nieogrzewane itp.

Wskazane jest również przeprowadzenie wywiadu z pracownikami i przedstawicielami służb bhp celem uzyskania informacji, czy problemy dyskomfortu pojawiają się po rozpoczęciu pracy, czy w środku dnia, czy też pod koniec, którzy pracownicy odczuwają dyskomfort i jak go opisują (czy za chłodno, czy za sucho itp.). Warto również zapytać, czy pracownicy nie odczuwają przeciągu lub też nie marzną im stopy, a także czy nie odczuwają np. „chłodu, którego nie umieją zloka-

lizować”, gdyż taki opis często występuje w przypadku asymetrii temperatury promieniowania.

Wizja lokalna umożliwi wybranie metody pomiaru (długotrwała czy skrócona ocena komfortu termicznego ogólnego lub lokalnego), a także lokalizację punktów pomiarowych. Ocenę długoterminową prowadzi się, jeżeli pracownicy zgłaszają występowanie problemu np. wyłącznie nad ranem lub w południe bądź też np. tylko w poniedziałki rano.

Etap II. Prowadzenie badań

W przypadku dyskomfortu ogólnego miernik mikroklimatu powinien być umieszczony na wysokości reprezentującej brzuch siedzącej osoby, zatem ok. 0,7 m ponad podłogą. W trakcie badania prowadzi się pomiar: temperatury powietrza t_a , temperatury promieniowania t_r (można przeliczyć z temperatury poczernionej kuli zgodnie z zaleceniami przedstawionymi w rozdziale 4.), prędkości powietrza v , ciśnienia cząstkowego pary wodnej p_a oraz wilgotności powietrza rh . Należy również określić tempo metabolizmu pracowników – można w tym celu skorzystać z tabeli B.1 z normy PN-EN ISO 7730:2006 lub tabeli 7.6.

W tym etapie wymagane jest także określenie izolacyjności cieplnej odzieży stosowanej przez pracowników. W tym celu można się posłużyć danymi zawartymi w załączniku C do normy PN-EN ISO 7730:2006 lub w tabelach 7.7 i 7.8.

W przypadku tabeli 7.8 należy zsumować izolacyjności cieplne poszczególnych elementów odzieży składających się na zestaw. Można również uwzględnić izolacyjność cieplną krzeseł stosowanych w pomieszczeniu (tab. 7.9).

Tabela 7.6. Przykładowe wartości tempa metabolizmu (za PN-EN ISO 7730:2006)

Aktywność	Tempo metabolizmu	
	W/m ²	met
Spoczynek	46	0,8
Odpoczynek w pozycji siedzącej	58	1,0
Aktywność w pozycji siedzącej (biuro, miejsce zamieszkania, szkoła, laboratorium)	70	1,2
Niska aktywność w pozycji stojącej (robienie zakupów, laboratorium, lekki przemysł)	93	1,6
Średnia aktywność w pozycji stojącej (sprzedawca, praca domowa, praca mechaniczna)	116	2,0

Tabela 7.7. Izolacyjność cieplna wybranych zestawów odzieży (za PN-EN ISO 7730:2006)

Odzież robocza	I_{cl}		Odzież codzienna	I_{cl}	
	clo	$m^2 \cdot K/W$		clo	$m^2 \cdot K/W$
Bielizna, kombinezon, skarpety, buty	0,70	0,110	slipy, koszulka, szorty, lekkie skarpety, sandały	0,30	0,050
Bielizna, koszula, kombinezon, skarpety, buty	0,80	0,125	bielizna, koszula z krótkimi rękawami, lekkie spodnie, lekkie skarpety, buty	0,50	0,080
Bielizna, koszula, spodnie, kitel, skarpety, buty	0,90	0,140	slipy, halka, pończochy, spódnica, buty	0,70	0,105
Bielizna w krótkimi rękawami i nogawkami, koszula, spodnie, kurtka, skarpety, buty	1,00	0,155	bielizna, koszula, spodnie, skarpety, buty	0,70	0,110
Bielizna z długimi rękawami i nogawkami, kurtka termiczna, skarpety, buty	1,20	0,185	slipy, koszula, spodnie, kurtka, skarpety, buty	1,00	0,155
Bielizna z krótkimi rękawami i nogawkami, koszula, spodnie, kurtka, ciężka watówka oraz fartuch ochronny, skarpety, buty, czapka, rękawice	1,40	0,220	slipy, pończochy, bluzka, długa spódnica, kurtka, buty	1,10	0,170
Bielizna z krótkimi rękawami i nogawkami, koszula, spodnie, kurtka, ciężka watówka, skarpety, buty	2,00	0,310	bielizna z długimi rękawami i nogawkami, koszula, spodnie, sweter w serek, kurtka, skarpety, buty	1,30	0,200
Bielizna z długimi rękawami i nogawkami, kurtka termiczna i spodnie, kurtka z kapturem z ciężką watówką, fartuch ochronny z watówką, skarpety, buty, czapka, rękawice	2,55	0,395	bielizna z długimi rękawami i nogawkami, koszula, spodnie, kamizelka, kurtka, płaszcz, skarpety, buty	1,50	0,230

Tabela 7.8. Izolacyjność cieplna elementów odzieży (za PN-EN ISO 7730:2006)

Odzież	I_{clu}	
	clo	$m^2 \cdot K/W$
Bielizna		
Slipy	0,03	0,005
Kalesony	0,10	0,016
Podkoszulek	0,04	0,006
Bluzka	0,09	0,014
Koszula z długimi rękawami	0,12	0,019
Slipy i stanik	0,03	0,005
Koszule/bluzki		
Krótkie rękawy	0,15	0,023
Cienka, długie rękawy	0,20	0,031
Normalna, długie rękawy	0,25	0,039
Koszula flanelowa, długie rękawy	0,30	0,047

Tabela 7.8, cd.

Odzież	I_{clu}	
	clo	$m^2 \cdot K/W$
Lekka bluzka, długie rękawy	0,15	0,023
Spodnie		
Szorty	0,06	0,009
Cienkie	0,20	0,031
Normalne	0,25	0,039
Flanelowe	0,28	0,043
Sukienki/Spódnice		
Cienka spódnica (lato)	0,15	0,023
Gruba spódnica (zima)	0,25	0,039
Lekka sukienka, krótkie rękawy	0,20	0,031
Zimowa sukienka, długie rękawy	0,40	0,062
Kombinezon	0,55	0,085
Swetry		
Kamizelka bez rękawów	0,12	0,019
Cienki sweter	0,20	0,031
Sweter	0,28	0,043
Gruby sweter	0,35	0,054
Kurtka		
Lekka, letnia kurtka	0,25	0,039
Kurtka	0,35	0,054
Fartuch	0,30	0,047
Wysoka izolacja		
Kombinezon	0,90	0,140
Spodnie	0,35	0,054
Kurtka	0,40	0,062
Kamizelka	0,20	0,031
Odzież zewnętrzna		
Plaszcz	0,60	0,093
Kurtka	0,55	0,085
Plaszcz z kapturem	0,70	0,109
Fartuch	0,55	0,085
Dodatki		
Skarpety	0,02	0,003
Ciężkie skarpety do kostek	0,05	0,008
Cienkie podkolanówki	0,10	0,016
Rajstopy	0,03	0,005
Buty (cienka podeszwa)	0,02	0,003
Buty (gruba podeszwa)	0,04	0,006
Kalosze	0,10	0,016
Rękawice	0,05	0,008

Do badań dyskomfortu termicznego miejscowego należy zastosować specjalne mierniki uwzględniające możliwość jednoczesnego pomiaru temperatury powietrza na 2 wysokościach, asymetrię temperatury promieniowania czy też temperaturę

podłogi. Pomiary takie powinno się prowadzić w czasie 8 godzin lub w okresach, których dotyczyły problemy zgłaszane przez pracowników.

Tabela 7.9. Izolacyjność cieplna krzesła (za PN-EN ISO 7730:2006)

Rodzaj krzesła	I_{clu}	
	clo	$m^2 \cdot K/W$
Siatkowe/metalowe krzesło	0,00	0,00
Taboret drewniany	0,01	0,002
Standardowe krzesło biurowe	0,1	0,016
Krzesło dyrektorskie	0,15	0,023

Etap III. Obliczenie wartości odpowiednich wskaźników oraz porównanie z wartościami dopuszczalnymi

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analiz można obliczyć przede wszystkim wartości wskaźników PMV i PPD. W tym celu można zastosować program przedstawiony w załączniku D do normy PN-EN ISO 7730:2006 lub dostępne aplikacje (np. w programie STER CIOP-PIB) bądź też skorzystać z tabel przedstawionych w załączniku E normy. Następnie obliczoną wartość PMV należy porównać z zakresem komfortu przedstawionym w tabeli z normy PN-EN ISO 7730:2006. Natomiast w odniesieniu do dyskomfortu miejscowego obliczone wartości chwilowe należy wstawić do odpowiedniego wzoru i przeanalizować, czy w ciągu całego dnia (8 godzin) wystąpił dyskomfort miejscowy. Dopuszczalne wartości dyskomfortu miejscowego zamieszczono w tabeli 7.10. Korzystając z tabeli 7.10, należy pamiętać, iż kategoria A obejmuje pomieszczenia o szczególnie wysokich wymaganiach odnośnie do środowiska termicznego (np. szpitale, przedszkola), kategoria B – pomieszczenia biurowe, kategoria C – pomieszczenia biurowe o obniżonym standardzie.

Tabela 7.10. Dopuszczalne wartości komfortu/dyskomfortu ogólnego i miejscowego (za PN-EN ISO 7730:2006)

Kategoria	Stan cieplny organizmu jako całości		Dyskomfort lokalny			
	PPD %	PMV	DR %	PD, % powodowany:		
				różnicą temperatury powietrza w pionie	ciepłą lub chłodną podłogą	asymetrią promieniowania
A	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	- 0,7 < PMV < + 0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

W przypadku wystąpienia dyskomfortu ogólnego lub miejscowego na podstawie wyników badań można określić przyczynę i podać konkretne rozwiązania poprawiające warunki środowiska pracy, np. obniżenie temperatury powietrza w okresie lata czy obniżenie prędkości powietrza zimą, zastosowanie przysłon zaciemniających okna itp.

7.3. Środowisko zimne

Za środowisko zimne uznaje się takie środowisko termiczne, które cechuje się wskaźnikiem PMW o wartości poniżej -2,0. W takim przypadku do oceny obciążenia termicznego człowieka należy zastosować wskazania normy PN-EN ISO 11079:2008. Zgodnie z wymienioną normą ocenę obciążenia termicznego człowieka można podzielić na 2 elementy ze względu na specyfikę środowiska zimnego. Zagrożeniem człowieka w środowisku zimnym może być hipotermia, która wynika z wychłodzenia całego ciała, lub też miejscowe wychłodzenie organizmu, np. nieosłoniętych części ciała (twarz, ręce). Z tej przyczyny w normie PN-EN ISO 11079:2008 zawarto informacje dotyczące oceny obciążenia termicznego całego ciała człowieka (ocenianego za pomocą wskaźnika IREQ) oraz wychłodzenia miejscowego (ocenianego za pomocą wskaźnika t_{wc}).

W dalszej części rozdziału zostanie omówiona metoda prowadzenia badań z wykorzystaniem obu tych wskaźników.

Wskaźnik IREQ

Zgodnie z normą PN-EN ISO 11079:2008 wskaźnik IREQ (*Required Clothing Insulation* – wymagana izolacyjność cieplna odzieży) traktowany jest przede wszystkim jako:

- miara stresu cieplnego integrująca wpływ temperatury powietrza, średniej temperatury promieniowania, wilgotności względnej oraz prędkości powietrza dla określonych poziomów tempa metabolizmu
- metoda analizy wpływu środowiska termicznego oraz tempa metabolizmu na organizm człowieka
- metoda specyfikacji wymagań odnośnie do izolacyjności cieplnej odzieży, a w konsekwencji – doboru odzieży do stosowania w rzeczywistych warunkach środowiska

- metoda oceny możliwości wystąpienia zmian w elementach składowych bilansu cieplnego, stosowana w celu poprawy planowania czasu pracy oraz warunków pracy w środowisku zimnym.

Z tej przyczyny pośrednio poprzez izolacyjność cieplną odzieży, jaka ma być zastosowana podczas pracy w środowisku zimnym, można stwierdzić ilościowo, jak środowisko wpływa na organizm człowieka. Wskaźnik IREQ oblicza się według następującego wzoru (PN-EN ISO 11079:2008):

$$\text{IREQ} = \frac{\bar{t}_{\text{sk}} - t_{\text{cl}}}{R + C} \quad (7.17)$$

gdzie:

- \bar{t}_{sk} – średnia temperatura skóry, °C
- t_{cl} – temperatura powierzchni odzieży, °C
- R – strumień ciepła oddawanego przez promieniowanie, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
- C – strumień ciepła oddawanego przez konwekcję, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Zaleca się korzystanie z tego wskaźnika w sytuacji, gdy główne parametry środowiska mieszczą się w następujących granicach:

- $t_a \leq 10 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \leq v_a \leq 18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- $I_{\text{cl}} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1} (0,5 \text{ clo})$.

W normie PN-EN ISO 11079:2008 wprowadzono podział wskaźnika IREQ na dwa wskaźniki szczegółowe:

- IREQ_{min} ; określa minimalną izolacyjność cieplną odzieży wymaganą do utrzymania równowagi cieplnej organizmu na podnormalnym poziomie średniej temperatury organizmu. Minimalna wartość IREQ określa nieznaczne wychłodzenie organizmu, w szczególności wychłodzenie obwodowych części ciała. Podczas długotrwałej ekspozycji na środowisko zimne wychłodzenie kończyn może stać się czynnikiem ograniczającym jej czas
- $\text{IREQ}_{\text{neutral}}$; określany jest jako izolacyjność cieplna odzieży wymagana do zapewnienia warunków neutralnych cieplnie, tj. równowagi cieplnej utrzymywanej przy normalnym poziomie średniej temperatury ciała. Poziom ten charakteryzuje się brakiem lub minimalnym wychłodzeniem organizmu człowieka.

Szczegółowa interpretacja fizjologicznych kryteriów poszczególnych wskaźników została przedstawiona w załączniku B do normy PN-EN ISO 11079:2008.

UWAGA: Należy pamiętać, iż IREQ jest to wynikowa izolacyjność odzieży!

Informacje na temat wynikowej i podstawowej izolacyjności cieplnej odzieży przedstawiono w rozdziale 6.

Przyjmując wymienione dwa wskaźniki szczegółowe jako kryterium podziału środowiska zimnego, można w nim wyróżnić trzy przedziały:

I.	< IREQ _{min}	< II.	< IREQ _{neutral}	< III.
Nadmierne wychłodzenie organizmu		Strefa bezpieczna		Nadmierne przegrzanie organizmu

- I; jeżeli izolacyjność cieplna odzieży stosowanej na stanowisku pracy jest niższa od wartości IREQ_{min}, może dojść do obniżenia temperatury wewnętrznej w organizmie pracownika, zatem wymagane jest znaczne skrócenie czasu pracy lub też zmiana odzieży
- II; jeżeli izolacyjność cieplna odzieży stosowanej na stanowisku pracy zawiera się między wartościami IREQ_{min} i IREQ_{neutral}, izolacyjność cieplna odzieży jest prawidłowa, pracownik będzie odczuwał lekki chłód lub też będzie w stanie komfortu termicznego, można obliczyć dopuszczalny czas ekspozycji
- III; jeżeli izolacyjność cieplna odzieży stosowanej na stanowisku pracy jest wyższa od wartości IREQ_{neutral}, może dojść do przegrzania organizmu. Jeżeli pracownik jest zbyt ciepło ubrany, odczuwa środowisko jako środowisko gorące i w organizmie uruchamiane są mechanizmy termoregulacji występujące w środowisku gorącym, a więc rozszerzanie naczyń krwionośnych i pocenie. Wydzielany pot jest następnie wchłaniany przez warstwy odzieży i prowadzi do obniżenia wartości jej izolacyjności cieplnej. Tak więc zbyt ciepła odzież może de facto doprowadzić najpierw do przegrzania organizmu, a potem do nadmiernego wychłodzenia. Z tej przyczyny należy albo zmienić odzież, którą stosują pracownicy, albo uprzedzić pracowników, że jeżeli będą odbierać środowisko jako gorące i zaczną się pocić, to powinni przejść do innego (chłodniejszego) pomieszczenia lub zmienić odzież na suchą bądź lżejszą, albo też pracować z mniejszą intensywnością.

Wskaźnik D_{lim}

Wskaźnik D_{lim} (*Duration Limited Exposure* – czas ograniczonej ekspozycji) określa czas ograniczonej ekspozycji na środowisko zimne. Wskaźnik ten określa, ile czasu możliwa jest praca w środowisku zimnym, w którym występuje obciążenie termiczne organizmu człowieka. Podstawowe informacje nt. metod obliczania tego wskaźnika przedstawiono w punkcie 5.7 normy PN-EN ISO 11079:2008. Wskaźnik ten, obliczany na podstawie wskaźnika $IREQ_{neutral}$, określa, jak szybko dojdzie do wychłodzenia organizmu, jeżeli izolacyjność cieplna odzieży stosowanej na stanowisku pracy będzie mniejsza od wartości $IREQ_{neutral}$. Szczegółowe informacje nt. podstaw fizjologicznych określania D_{lim} zamieszczono w załączniku B do normy PN-EN ISO 11079:2008.

Wskaźnik t_{WC}

Wskaźnik t_{WC} (*Wind Chill Temperature* – temperatura chłodzenia powietrzem) określa temperaturę chłodzenia powietrzem, a więc „odczuwalną temperaturę powietrza”. Wskaźnik ten integruje zarówno odczucie wywołane zimnym środowiskiem jak i ruchem powietrza (jego prędkością); t_{WC} pozwala ocenić jeden z elementów wychłodzenia miejscowego ciała, tj. wychłodzenie poprzez konwekcyjne odbieranie ciepła. Pozostałe przyczyny wychłodzenia, tj. wychłodzenie poprzez przewodzenie i wychłodzenie kończyn, są tematem norm PN-EN ISO 13732-3:2009 *Ergonomia środowiska termicznego -- Metody oceny reakcji człowieka na dotknięcie powierzchni. Część 3: Powierzchnie zimne* (oryg.) oraz PN-EN 511:2009 *Rękawice chroniące przed zimnem. Wychłodzenie górnych dróg oddechowych* oceniane jest poprzez najniższą temperaturę powietrza zalecaną do oddychania. W temperaturze poniżej $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ zaleca się stosowanie ochron układu oddechowego w sytuacji dużego poziomu aktywności (przy zwiększonej objętości wentylacji). Przy temperaturze poniżej $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ochrona dróg oddechowych jest zdecydowanie zalecana.

Ogólne informacje nt. możliwości wychłodzenia miejscowego organizmu zawiera pkt 6. normy PN-EN ISO 11079:2008, natomiast w załączniku D znajdują się informacje dotyczące t_{WC} . Zgodnie z normą PN-EN ISO 11079:2008 temperatura chłodzenia powietrzem (t_{WC}) określa temperaturę otoczenia, przy której prędkość ruchu powietrza równa $4,2\text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ powoduje taką samą siłę chłodzącą (odczucie), jak rzeczywiste warunki środowiska. Temperatura chłodzenia powie-

trzem (w stopniach Celsjusza) jest określana następującym wzorem (PN-EN ISO 11079:2008):

$$t_{WC} = 13,12 + 0,6215t_a - 11,37v_{10}^{0,16} + 0,3965t_a v_{10}^{0,16} \quad (7.18)$$

gdzie:

t_a – temperatura powietrza, °C

v_{10} – standardowa wartość meteorologiczna mierzona na wysokości 10 m powyżej powierzchni gruntu. Wartość ta jest otrzymywana ze stacji meteorologicznych oraz prognoz pogody. Jeżeli lokalna wartość prędkości powietrza (v_{10}) jest mierzona na poziomie gruntu, należy ją pomnożyć przez 1,5 przed wstawieniem do wzoru (PN-EN ISO 11079:2008).

Wartości t_{WC} obliczone na stanowisku pracy należy porównać z wartościami przedstawionymi w tabeli D.1 z normy PN-EN ISO 11079:2008, natomiast w tabeli D.2 z normy oraz w tabeli 7.11 pokazano odniesienie t_{WC} do czasu zamarzania skóry.

Tabela 7.11. Temperatura chłodzenia powietrza t_{WC} oraz czas zamarzania narażonej skóry (za PN-EN ISO 11079:2008)

Klasyfikacja ryzyka	t_{wc} , °C	Efekt
1	-10 ÷ -24	nieprzyjemnie zimno
2	-25 ÷ -34	bardzo zimno, ryzyko zamarznięcia skóry
3	-35 ÷ -59	przenikliwe zimno, ekspozycja skóry może zamarznąć w ciągu 10 min
4	-60 i zimniej	ekstremalnie zimno, ekspozycja skóry może zamarznąć w ciągu 2 min

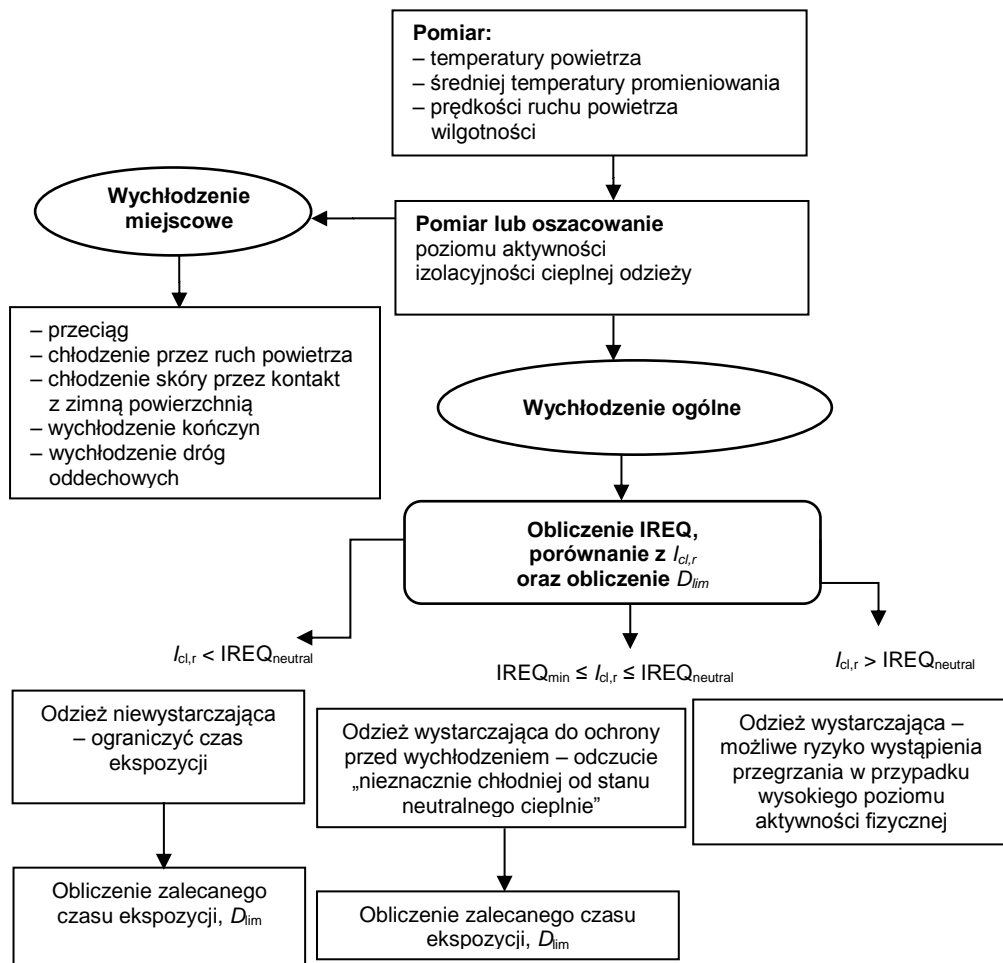
Ocena obciążenia termicznego i wychłodzenia miejscowego

Procedura oceny obciążenia termicznego za pomocą wskaźnika IREQ obejmuje etapy pokazane na rysunku 7.5.

Tak więc, zgodnie z rysunkiem 7.5 i wytycznymi normy PN-EN ISO 11079:2008, na ocenę obciążenia termicznego w środowisku zimnym składają się następujące etapy:

- etap I, obejmujący wizję lokalną, w tym pobieżną ocenę środowiska pracy, ocenę izolacyjności cieplnej odzieży pracowników, przygotowanie

chronometrażu czasu pracy (jeżeli pracownicy zmieniają miejsce swojej pracy, odzież lub pracują z innym tempem metabolizmu) oraz określenie prędkości przemieszczania się pracowników, prędkości jazdy wózka widłowego itp.



Rys. 7.5. Procedura oceny środowiska zimnego (za PN-EN ISO 11079:2008)

- etap II, obejmujący wykonanie:
 - pomiaru parametrów środowiska pracy, tj.: temperatury powietrza t_a , temperatury promieniowania t_r , prędkości powietrza v i wilgotności względnej powietrza RH. Pomiary te należy wykonywać na wysokości reprezentującej brzuch stojącego pracownika (1,1 m ponad podłogą).

Jeżeli pracownik przemieszcza się i zmienia środowisko pracy, pomiary należy przeprowadzić w każdym z tych środowisk

- pomiaru lub oceny tempa metabolizmu pracownika. Ocenę taką można przeprowadzić z wykorzystaniem tabeli C.1. z normy PN-EN ISO 11079:2008 lub też tabeli 7.12

Tabela 7.12. Klasyfikacja tempa metabolizmu dla poszczególnych rodzajów aktywności (za PN-EN ISO 11079:2008)

Klasa	$\frac{m}{W \cdot m^2}$	Przykłady
Odpoczynek	65	odpoczywanie, siedzenie
Bardzo niskie tempo metabolizmu	80	lekka praca wykonywana rękami (pisanie, rysowanie, inspekcja, montaż lub sortowanie bardzo lekkich materiałów)
Niskie tempo metabolizmu	100	praca dłońmi (niewielkie narzędzia); praca kończynami górnymi lub dolnymi (prowadzenie pojazdu w normalnych warunkach; obsługa pedałów); obróbka mechaniczna narzędziami o małej mocy; wolny spacer
Niskie do umiarkowanego tempo metabolizmu	140	praca kończynami górnymi z umiarkowanym tempem; montaż lekkich elementów
Umiarkowane tempo metabolizmu	165	ciągła praca kończynami górnymi (wbijanie gwoździ); praca z lekkim sprzętem i narzędziami; praca kończyną górną lub dolną (prowadzenie samochodów ciężarowych, traktorów lub maszyn budowlanych)
Umiarkowane do wysokiego tempo metabolizmu	175	praca kończynami górnymi i tułowiem; praca z młotem pneumatycznym; okresowe przenoszenie umiarkowanie ciężkich materiałów; pchanie lub ciągnięcie lekkich wózków lub tacek; chód z prędkością 4 – 5 km/h; prowadzenie pojazdu śnieżnego
Wysokie tempo metabolizmu	230	intensywna praca kończynami górnymi i tułowiem; przenoszenie ciężkich materiałów; ładowanie łopata; praca młotem oburęcznym; ścinanie drzew piłą łańcuchową; praca z kosiarką ręczną; chód z prędkością 5 – 6 km/h; pchanie lub ciągnięcie ciężko załadowanych wózków dwukołowych lub tacek; obróbka skrawaniem; układanie bloków betonowych; prowadzenie pojazdu śnieżnego w trudnym terenie
Bardzo wysokie tempo metabolizmu	290	bardzo intensywna aktywność w maksymalnym tempie; praca z siekierą; intensywne ładowanie łopata i kopanie; wspinanie się po schodach, pochylni lub drabinie; szybki chód małymi krokami; bieg; chód z prędkością przekraczającą 6 km/h; chód w głębokim śniegu
Bardzo, bardzo wysokie tempo metabolizmu (od 1 do 2 h)	400	bardzo intensywna aktywność ciągła; praca w stanie zagrożenia i akcja ratownicza z wysoką aktywnością

- określenie izolacyjności cieplnej odzieży. Informacje nt. izolacyjności cieplnej odzieży zamieszczono w rozdziale 6. Wartość ta może być określona szczegółowo na podstawie pomiarów z manekinem termicznym wykonywanych w jednym z akredytowanych laboratoriów badawczych (wynik takiego badania powinien być dostępny wraz z certyfikatem odzieży stosowanej na stanowisku pracy) lub też szacunkowo – korzystając z przykładów zestawów odzieży, zawartych w normie PN-EN ISO 9920:2009 *Ergonomia środowiska termicznego -- Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży* (oryg.), w tabeli C.2 w normie PN-EN ISO 11079:2008 lub też w tabeli 7.13

Tabela 7.13. Wartości podstawowej izolacyjności odzieży wybranych wyrobów odzieżowych mierzone na manekinie termicznym (za PN-EN ISO 11079:2008)

Lp.	Zestaw odzieży	I_{cl}	
		$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	clo
1.	Slipy, koszula z krótkimi rękawami, dopasowane spodnie, długie skarpety, buty	0,08	0,5
2.	Slipy, koszula, dopasowane spodnie, skarpety, buty	0,10	0,6
3.	Slipy, kombinezon, skarpety, buty	0,11	0,7
4.	Slipy, koszula, kombinezon, skarpety, buty	0,13	0,8
5.	Slipy, koszula, spodnie, fartuch, skarpety, buty	0,14	0,9
6.	Slipy, podkoszulek, koszula, fartuch, długie skarpety, buty	0,16	1,0
7.	Slipy, podkoszulek, koszula, spodnie, marynarka, kamizelka, skarpety, buty	0,17	1,1
8.	Slipy, koszula, spodnie, kurtka, kombinezon, skarpety, buty	0,19	1,3
9.	Podkoszulek, slipy, spodnie i kurtka ciepłochronna, skarpety, buty	0,22	1,4
10.	Slipy, bluzka z krótkimi rękawami, koszula, dopasowane spodnie, kombinezon ciepłochronny, długie skarpety, buty	0,23	1,5
11.	Slipy, podkoszulek, koszula, spodnie, marynarka, czapka, rękawice, skarpety, buty	0,25	1,6
12.	Slipy, podkoszulek, koszula, spodnie, marynarka, kurtka, spodnie zewnętrzne, skarpety, buty	0,29	1,9
13.	Slipy, podkoszulek, koszula, spodnie, marynarka, kurtka, spodnie zewnętrzne, skarpety, buty, czapka, rękawice	0,31	2,0
14.	Podkoszulek, slipy, spodnie ciepłochronne, kurtka ciepłochronna, spodnie zewnętrzne, kurtka zewnętrzna, skarpety, buty	0,34	2,2
15.	Podkoszulek, slipy, spodnie ciepłochronne, kurtka ciepłochronna, spodnie zewnętrzne, kurtka zewnętrzna, skarpety, buty, czapka, rękawice	0,40	2,6
16.	Zestaw odzieży przeznaczonej do warunków arktycznych	0,46 do 0,70	3 do 4,5

- określenie przepuszczalności powietrza przez zestaw odzieży. Informacje na ten temat można znaleźć albo w certyfikacie odzieży albo w normie PN-EN ISO 9920:2009. Jeżeli jednak nie ma możliwości określenia tego parametru, należy przyjąć, że odzież do pracy poza pomieszczeniami zamkniętymi jest zazwyczaj wykonana z wiatroszczelnych tkanin – w tym przypadku przyjmowana jest wartość standardowa $8 \text{ l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Odzież stosowana w pomieszczeniach zamkniętych może być wykonana również z materiałów przepuszczających znaczne ilości powietrza – w tym przypadku należy oszacować, czy przepuszczalność jest średnia ($50 \text{ l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) czy duża ($100 \text{ l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
- etap III, obejmujący wykonanie:
 - obliczenia wartości wskaźników IREQ_{min} i $\text{IREQ}_{\text{neutral}}$ oraz dopuszczalnego czasu ekspozycji D_{lim} .

W celu obliczenia poszczególnych wartości podwskaźników IREQ można zastosować wykresy zamieszczone w normie PN-EN ISO 11079:2008 (w załączniku E) lub też program dostępny bezpłatnie w Internecie. Link do programu podano w załączniku F do normy PN-EN ISO 11079:2008. Dostępna jest również nowsza wersja programu pod adresem:

http://wwwold.eat.lth.se/Research/Thermal/IREQ2009ver4_2.html.

W Internecie dostępne są jeszcze inne programy do obliczania wskaźnika IREQ (np. <http://www.ciop.pl/2569.html> – wstęp bezpłatny, wymagane jest wyłącznie zarejestrowanie się), jednakże w każdym przypadku, kiedy w obliczeniach stosowany jest program inny niż podany w normie, należy przed obliczeniami właściwymi sprawdzić poprawność działania tego programu. W tym celu w normie PN-EN ISO 11079:2008 (w tabeli F.1) przedstawiono przykładowe dane do wprowadzenia w program oraz wyniki, które powinny być obliczone przez program. Po pozytywnej weryfikacji nowego programu może on być stosowany w obliczeniach wskaźników IREQ i D_{lim} .

W dalszej części rozdziału omówiono sposób liczenia oparty na programie przedstawionym w normie PN-EN ISO 11079:2008. Na rysunku 7.6 pokazano widok ekranu tego programu.

**CALCULATION OF REQUIRED CLOTHING INSULATION (IREQ),
DURATION LIMITED EXPOSURE (Dlim),
REQUIRED RECOVERY TIME (RT),
and Wind Chill Temperature (twc)**

IREQ 2008 ver 4.2, Hakan O. Nilsson and Ingvar Holmer.

BOOKMARK THIS PAGE in order to ALWAYS use the LATEST VERSION of the code.

Disclaimer and references at the end of the document.

**CALCULATION OF REQUIRED INSULATION, IREQ AND
DURATION LIMITED EXPOSURE, Dlim**

116	M (W/m ²), Metabolic energy production (58 to 400 W/m ²)
0	W (W/m ²), Rate of mechanical work, (normally 0)
-15	T _a (C), Ambient air temperature (< +10 C)
-15	T _r (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
8	p (l/m ² s), Air permeability (low < 5, medium 50, high > 100 l/m ² s)
0	w (m/s), Walking speed (or calculated work created air movements)
0.4	v (m/s), Relative air velocity (0.4 to 18 m/s)
85	rh (%), Relative humidity
2.5	I _{cl} (clo), AVAILABLE basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m ² K)

IREQ & Dlim RESULTS (minimal to neutral)

Insulation Required, IREQ to (clo)

REQUIRED basic clothing insulation (ISO 9920), I_{cl} to (clo)

Duration limited exposure, Dlim to (hours)

Rys. 7.6. Widok ekranu – program do liczenia IREQ, D_{lim} i t_{wc}

W górnej części okna należy wpisać wartości otrzymane podczas realizacji etapu II, tj.:

- M, tempo metabolizmu
- W, ciepło przeznaczone na wykonywanie pracy, zazwyczaj równe 0
- T_a, temperaturę powietrza, poniżej 10 °C
- T_r, temperaturę promieniowania; wartość zazwyczaj zbliżona do temperatury powietrza, podawana również w °C
- p, przepuszczalność powietrza przez odzież, l/m²s
- w, prędkość przemieszczania się pracownika, m/s
- v, prędkość powietrza, m/s
- rh, wilgotność względną powietrza, %
- I_{cl}, podstawową izolacyjność cieplną odzieży stosowanej aktualnie na stanowisku pracy, clo.

Następnie naciska się przycisk i w oknach poniżej otrzymuje się wynik, tj. wartości $IREQ_{\min}$ i $IREQ_{\text{neutral}}$, które są wartościami izolacyjności cieplnej wynikowej:

IREQ & Dlim RESULTS (minimal to neutral)
Insulation Required, IREQ to (clo)

Wartości tych nie można porównać z podstawową izolacyjnością cieplną odzieży stosowanej aktualnie na stanowisku pracy (I_{cl}) wpisywaną wcześniej, z tej przyczyny w kolejnym wierszu przeliczono wartości $IREQ_{\min}$ i $IREQ_{\text{neutral}}$ na izolacyjność cieplną podstawową $I_{cl\min}$ i $I_{cl\text{neutral}}$:

REQUIRED basic clothing insulation (ISO 9920), I_{cl} to (clo)

Dopiero te wartości można porównać z podstawową izolacyjnością cieplną stosowanej odzieży I_{cl} .

W kolejnych okienkach obliczony zostanie również automatycznie dopuszczalny czas ekspozycji D_{lim} :

Duration limited exposure, Dlim to (hours)

W przypadku, gdy pracownik część pracy wykonuje w środowisku cieplejszym, a część w chłodniejszym, należy pomiary przeprowadzić w obu środowiskach, po czym obliczyć wartości średnie $IREQ_{\min}$ i $IREQ_{\text{neutral}}$, za podstawę przyjmując 1 godzinę przebywania w obu środowiskach. Obliczenia te są analogiczne do obliczeń prowadzonych w środowisku gorącym i przedstawionych w rozdziale 7.1.

Program umożliwi również obliczenie wartości wskaźnika t_{wc} . Pod oknami zawierającymi informacje nt. IREQ i D_{lim} znajduje się następujący formularz:

CALCULATION OF WINDCHILL TEMPERATURE, t_{wc}

<input type="text" value="6.8"/>	v (km/h), Meteorological wind speed (at 10 m)
<input type="text" value="-25"/>	Ta (C), Ambient air temperature
<input type="button" value="Calculate <math>t_{wc}</math>"/> <input type="button" value="Interpret <math>t_{wc}</math>"/>	
Wind chill temperature, t_{wc}	<input type="text" value="twc"/> (C)

W formularzu tym wstawiamy wartość meteorologicznej prędkości powietrza, wyrażoną w km/h. Jeżeli pomiary są prowadzone w pomieszczeniu zamkniętym, wartość zmierzonej prędkości powietrza należy w pierwszym etapie przemnożyć przez 1,5 (zgodnie z opisem pod wzorem (7.18), a następnie przez 3,6, w celu uzyskania prędkości wyrażonej w km/h. Przykład zamieszczono w tabeli 7.14.

Tabela 7.14. Metody przeliczania prędkości powietrza do obliczania wartości t_{WC}

Zmierzona prędkość powietrza w pomieszczeniu v , m/s	Standardowa wartość meteorologiczna v_{10} = m/s	Standardowa wartość meteorologiczna v_{10} = km/h
0,4	$0,4 \cdot 1,5 = 0,6$	$0,6 \cdot 3,6 = 2,16$

CALCULATION OF REQUIRED RECOVERY TIME, RT

90	M (W/m ²), Metabolic energy production, (normally lower!)
0	W (W/m ²), Rate of mechanical work, (normally 0)
25	Ta (C), Ambient air temperature, (normally warmer!)
25	Tr (C), Mean radiant temperature, (normally warmer!)
8	p (l/m ² s), Air permeability
0	w (m/s), Walking speed (normally lower)
0.4	v (m/s), Relative air velocity (normally lower!)
50	rh (%), Relative humidity
1.5	Icl (clo), Available basic clothing insulation, (normally lower!)

RT RESULTS (neutral)

Required recovery time (hours)

Dodatkowo program umożliwia obliczenia czasu odnowy (D_{rec}), który choć nie jest wymagany zgodnie z rozporządzeniem, jednak może być przydatny w celu organizowania czasu ekspozycji pracowników na środowisko zimne. Informacje nt. czasu odnowy zamieszczono w punkcie 5.7 normy PN-EN ISO 11079:2008. Czas odnowy (D_{rec}) jest obliczany w ten sam sposób, jak D_{lim} , z tym, że zastępuje się „warunki zimna” warunkami ekspozycji panującymi podczas okresu odnowy, tj. w cieplejszym pomieszczeniu.

Poniżej zamieszczono przykłady oceny środowiska zimnego w celu praktycznego zilustrowania przedstawionej procedury.

Przykład 1. Ocena obciążenia termicznego w pakowni zamrożonych owoców

Na podstawie wizji lokalnej stwierdzono, iż w całym pomieszczeniu występuje jednorodne środowisko termiczne, a wszyscy pracownicy stosują ten sam rodzaj odzieży i nie zmieniają podczas zmiany roboczej miejsca przebywania ani aktywności fizycznej (tempa metabolizmu).

Na podstawie pomiarów parametrów środowiska termicznego określono, iż temperatura powietrza równa jest $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura promieniowania wynosi $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, wilgotność powietrza – 25%, natomiast prędkość powietrza – 0,3 m/s. Pracownicy podczas pracy znajdują się w pozycji stojącej, metabolizm określono na poziomie 140 W/m^2 . Podstawowa izolacyjność cieplna odzieży zastosowanej na stanowiskach pracy wynosiła 1,9 clo. Przepuszczalność powietrza przez odzież oszacowano na poziomie $8\text{ l/m}^2\text{s}$, gdyż nie było możliwości znalezienia analogicznych zestawów odzieży w normie PN-EN ISO 9920.

Na tej podstawie, korzystając z programu przywołanego w normie PN-EN ISO 11079:2008, obliczono wartość wskaźnika IREQ.

Poniżej przedstawiono widok ekranu z formularzem zawierającym wprowadzone dane oraz uzyskane wyniki.

CALCULATION OF REQUIRED INSULATION, IREQ AND DURATION LIMITED EXPOSURE, Dlim	
140	M (W/m ²), Metabolic energy production (58 to 400 W/m ²)
0	W (W/m ²), Rate of mechanical work, (normally 0)
-4	Ta (C), Ambient air temperature (< +10 C)
-4	Tr (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
8	p (l/m ² s), Air permeability (low < 5, medium 50, high > 100 l/m ² s)
0.4	w (m/s), Walking speed (or calculated work created air movements)
0.4	v (m/s), Relative air velocity (0.4 to 18 m/s)
25	rh (%), Relative humidity
1.9	Icl (clo), AVAILABLE basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m ² K)
<input type="button" value="Calculate IREQ"/> <input type="button" value="Interpret IREQ"/>	
IREQ & Dlim RESULTS (minimal to neutral)	
Insulation Required, IREQ <input type="text" value="1.4"/> to <input type="text" value="1.7"/> (clo)	
REQUIRED basic clothing insulation (ISO 9920), Icl <input type="text" value="1.5"/> to <input type="text" value="1.8"/> (clo)	
Duration limited exposure, Dlim <input type="text" value="more than 8"/> to <input type="text" value="more than 8"/> (hours)	
<input type="text" value="AVAILABLE > REQUIRED MINIMAL & NEUTRAL basic clothing insulation"/>	

Należy zauważyć, iż program automatycznie wstawił prędkość powietrza o wartości 0,4 m/s oraz równą temu wartość prędkości przemieszczania się. Różnica w wartości wskaźników IREQ obliczona dla prędkości powietrza równej 0,2 m/s

oraz 0,4 m/s jest na tyle niewielka, że może być pomijalna, zatem korzystając z tego programu można uznać wartość 0,4 m/s za akceptowalną.

W wyniku obliczeń określono, iż $IREQ_{min}$ równe jest 1,4 clo, a $IREQ_{neutral}$ – 1,7 clo. Chcąc teraz porównać te wartości z podstawową izolacyjnością cieplną odzieży stosowanej na stanowisku pracy, należy spojrzeć niżej, gdzie określono, iż I_{clmin} wyniosło 1,5 clo, a $I_{clneutral}$ wyniosło 1,8 clo. Porównując te wartości z izolacyjnością cieplną odzieży stosowanej na stanowisku pracy (1,9 clo) można zaobserwować, iż odzież ta jest zbyt ciepła. Z tej przyczyny należało albo zmienić odzież, albo uprzedzić pracowników, iż w przypadku odczuwania gorąca lub/i pocenia należy zdjąć warstwę odzieży.

Oczywiście, w tym przypadku czas ograniczonej (D_{lim}) ekspozycji wyniósł powyżej 8 h.

Przykład 2. Ocena obciążenia termicznego i wychłodzenia miejscowego podczas pracy poza pomieszczeniami zamkniętymi

Oceniano stanowisko pracy przy budowie drogi. Na podstawie pomiaru parametrów powietrza określono, iż temperatura powietrza i promieniowania wynosiły -10 °C, prędkość powietrza – 15,7 m/s, natomiast wilgotność względna – 90%. Pracownik ubrany był w zestaw odzieży taki sam jak przedstawiony w punkcie 13. tabeli 7.13. Podstawowa izolacyjność cieplna tego zestawu wynosiła 2,0 clo. Pracownik pracował z wysokim tempem metabolizmu, na poziomie 230 W/m². Przepuszczalność powietrza przez odzież przyjęto na poziomie 8 l/m²s. Wyniki badań wprowadzono do programu przywołanego w normie i określono wartości $IREQ$ oraz t_{WC} :

CALCULATION OF REQUIRED INSULATION, IREQ AND DURATION LIMITED EXPOSURE, Dlim

230	M (W/m2), Metabolic energy production (58 to 400 W/m2)
0	W (W/m2), Rate of mechanical work, (normally 0)
-10	Ta (C), Ambient air temperature (< +10 C)
-10	Tr (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
8	p (l/m2s), Air permeability (low < 5, medium 50, high > 100 l/m2s)
0.9	w (m/s), Walking speed (or calculated work created air movements)
15.7	v (m/s), Relative air velocity (0.4 to 18 m/s)
90	rh (%), Relative humidity
2.0	Icl (clo), AVAILABLE basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m2K)

IREQ & Dlim RESULTS (minimal to neutral)

Insulation Required, IREQ to (clo)

REQUIRED basic clothing insulation (ISO 9920), Icl to (clo)

Duration limited exposure, Dlim to (hours)

CALCULATION READY!

CALCULATION OF WINDCHILL TEMPERATURE, t_{wc}

84.7 v (km/h), **Meteorological wind speed (at 10 m)**

-10 T_a (C), Ambient air temperature

Wind chill temperature, t_{wc} -24 (C)

Na podstawie analizy uzyskanych wartości $IREQ_{min}$ i $IREQ_{neutral}$ przeliczonych na podstawową izolacyjność cieplną można zaobserwować, iż izolacyjność cieplna odzieży stosowanej na tym stanowisku powinna wynosić co najmniej 2,2 clo. Zatem podczas dłuższej pracy dochodzi do wychłodzenia organizmu i powstaje ryzyko hipotermii. Czas ograniczonej ekspozycji wynosi zatem 2 godziny, przy założeniu, iż pracownik będzie odczuwał chłód. Jeżeli jest taka możliwość, najlepszym rozwiązaniem będzie zmiana zestawu odzieży, dobranej idealnie do wartości izolacyjności cieplnej równej 2,9 clo. Jeżeli nie ma takiej możliwości, pracownik po 2 godzinach powinien być bezwzględnie przeniesiony do pracy w środowisku cieplejszym.

Przykład 3. Ocena obciążenia termicznego w chłodniejszej mroźni i cieplejszym magazynie

Pracownik przewozi wózkiem widłowym produkty z mroźni do pomieszczenia magazynowego. Parametry powietrza w mroźni są następujące: temperatura powietrza i temperatura promieniowania wynosi $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, prędkość powietrza – 0,4 m/s, wilgotność powietrza – 10%. Parametry powietrza w magazynie wynoszą: temperatura powietrza i temperatura promieniowania wynosi $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, prędkość powietrza – 0,4 m/s, wilgotność powietrza – 27%. Prędkość wózka widłowego wynosiła 18 km/h (co równe jest w przybliżeniu 5 m/s). Tempo metabolizmu pracownika określono na poziomie 165 W/m^2 (tab.7.12); podstawowa izolacyjność cieplna stosowanej odzieży wynosi 1,4 clo (wg PN-EN ISO 9920:2009), wiatroszczelność odzieży wysoka i równa $5\text{ l/m}^2\text{s}$.

Na podstawie programu zamieszczonego w Internecie określono, iż dla warunków panujących w mroźni $IREQ_{min}$ oraz $IREQ_{neutral}$ wynosiły odpowiednio: 2,1 clo i 2,4 clo:

CALCULATION OF REQUIRED INSULATION, IREQ AND DURATION LIMITED EXPOSURE, Dlim

165	M (W/m ²), Metabolic energy production (58 to 400 W/m ²)
0	W (W/m ²), Rate of mechanical work, (normally 0)
-25	Ta (C), Ambient air temperature (< +10 C)
-25	Tr (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
5	p (l/m ² s), Air permeability (low < 5, medium 50, high > 100 l/m ² s)
1.2	w (m/s), Walking speed (or calculated work created air movements)
0.4	v (m/s), Relative air velocity (0.4 to 18 m/s)
10	rh (%), Relative humidity
1.4	Icl (clo), AVAILABLE basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m ² K)

IREQ & Dlim RESULTS (minimal to neutral)

Insulation Required, IREQ to (clo)

REQUIRED basic clothing insulation (ISO 9920), Icl to (clo)

Duration limited exposure, Dlim to (hours)

Zatem bez zmiany odzieży pracownik może przebywać w mroźni maksymalnie 0,5 godziny. Natomiast dla warunków panujących w magazynie $IREQ_{\min}$ wynosił – 0,7 clo, a $IREQ_{\text{neutral}}$ – 1,1 clo:

CALCULATION OF REQUIRED INSULATION, IREQ AND DURATION LIMITED EXPOSURE, Dlim

165	M (W/m ²), Metabolic energy production (58 to 400 W/m ²)
0	W (W/m ²), Rate of mechanical work, (normally 0)
5	Ta (C), Ambient air temperature (< +10 C)
5	Tr (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
5	p (l/m ² s), Air permeability (low < 5, medium 50, high > 100 l/m ² s)
1.2	w (m/s), Walking speed (or calculated work created air movements)
0.4	v (m/s), Relative air velocity (0.4 to 18 m/s)
27	rh (%), Relative humidity
1.4	Icl (clo), AVAILABLE basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m ² K)

IREQ & Dlim RESULTS (minimal to neutral)

Insulation Required, IREQ to (clo)

REQUIRED basic clothing insulation (ISO 9920), Icl to (clo)

Duration limited exposure, Dlim to (hours)

W rozważanym przykładzie izolacyjność cieplna zestawu odzieży umożliwiła pracę powyżej 8 godzin, jednakże przy założeniu, że pracownik jest poinformowany, co powinien zrobić, jeżeli wystąpi pocenie.

Jeżeli pracownik większą część dnia pracy spędzałby w magazynie, to zastosowany zestaw odzieży był odpowiedni. Jednakże, ponieważ w czasie każdej godziny pracownik spędzał w mroźni 30 minut i w magazynie 30 minut, to średnie wartości IREQ wynosiły: $IREQ_{\min} = 1,4$ clo oraz $IREQ_{\text{neutral}} = 1,7$ clo, a w przeliczeniu na podstawową izolacyjność cieplną: $I_{cl_{\min}} = 1,55$ clo oraz $I_{cl_{\text{neutral}}} = 1,95$ clo. W tym przypadku również izolacyjność cieplna używanego zestawu odzieży była zbyt mała. Jeżeli praca w magazynie trwała 30 minut, to po niej pracownik powinien znajdować się w środowisku o temperaturze co najmniej $+10$ °C, aby wyrównać powstały w organizmie „dług cieplny”.

8. Normy związane z oceną środowiska termicznego

Sposób oceny obciążenia termicznego w środowisku termicznym określają następujące podstawowe normy:

- **PN-EN 27243:2005** *Środowiska gorące. Wyznaczanie obciążenia termicznego działającego na człowieka podczas pracy, oparte na wskaźniku WBGT*
- **PN-EN ISO 7933:2005** *Ergonomia środowiska termicznego. Środowiska gorące. Analityczne wyznaczanie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczeń przewidywanego obciążenia termicznego (oryg.)*
- **PN-EN ISO 7730:2006** *Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego (oryg.)*
- **PN-EN ISO 11079:2008** *Ergonomia środowiska termicznego – Wyznaczanie i interpretacja stresu termicznego wynikającego z ekspozycji na środowisko zimne z uwzględnieniem wymaganej izolacyjności cieplnej odzieży (IREQ) oraz wpływu wychłodzenia miejscowego (oryg.)*

Metody oceny środowiska termicznego przedstawione w wymienionych normach zostały szczegółowo omówione w rozdziale 7.

Wiele spośród Polskich Norm dotyczy środowiska termicznego. Mają one charakter uzupełniający i odnoszą się do konkretnych przypadków. Niektóre z tych norm zostały pokrótce omówione w dalszej części rozdziału.

UWAGA: Podano rok wydania poszczególnych norm aktualny w momencie przygotowywania niniejszej publikacji. Rok wydania każdej normy należy weryfikować i posługiwać się wersją najnowszą.

Tematyka omawianych norm:

- zagadnienia ogólne: PN-EN ISO 7726:2001, PN-EN ISO 13731:2002, PN-EN ISO 11399:2005
- fizjologia i psychologia: PN-EN ISO 8996:2005, PN-EN ISO 9886:2005, PN-EN ISO 10551:2002, PN-EN ISO 12894:2002
- środowisko gorące: PN-N-08020, PN-EN ISO 13732-1:2009, PN-EN ISO 15265:2005
- środowisko umiarkowane: PN-EN ISO 14505-2:2007/AC:2009, PN-EN ISO 14505-3:2006
- środowisko zimne: PN-EN ISO 9920:2009, PN-EN ISO 15265:2005, PN-EN ISO 15743:2009, PN-EN ISO 13732-3:2009.

PN-N-08020:1994 *Ergonomia. Środowiska gorące. Metoda oznaczania obciążenia termicznego w krótkotrwałym polu promieniowania podczerwonego o wysokim natężeniu*

Przedmiotem normy jest metoda określania obciążenia termicznego działającego na człowieka znajdującego się w środowisku pracy, w którym występuje krótkotrwałe promieniowanie podczerwone. W normie podano rodzaj i klasę aparatury do oznaczania obciążenia termicznego, a także do oznaczania wskaźników fizycznych środowiska gorącego, w którym przebywa człowiek w trakcie prowadzenia badań. Określono dopuszczalny czas narażenia człowieka w środowisku gorącym o określonych parametrach temperaturowych. Norma nie ma zastosowania w przypadku, gdy pracownik jest ubrany w aluminiowaną odzież ochronną.

PN-EN ISO 7726:2001 *Ergonomia środowiska termicznego – Przyrządy do pomiaru wielkości fizycznych*

Norma zawiera opisy podstawowych właściwości przyrządów do mierzenia wielkości fizycznych charakteryzujących środowisko, jak również metody ich pomiaru. W normie zostały przedstawione następujące wielkości fizyczne charakteryzujące środowisko: temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, temperatura promieniowania płaszczyzny, bezwzględna wilgotność powietrza, prędkość powietrza, temperatura powierzchni, temperatura operacyjna. Normę stosuje się do badania wpływu na człowieka środowisk gorących, zimnych, umiarkowanych lub komfortowych. Wymagania i metody zawarte w omawianej normie zostały podzielone na dwie klasy, zależnie od szacowanego stopnia uciążliwości

termicznej. Wymagania i metody typu C dotyczą pomiarów prowadzonych w środowiskach umiarkowanych, zbliżonych do warunków komfortu. Z kolei wymagania i metody typu S dotyczą pomiarów przeprowadzanych w środowisku o większym, a nawet skrajnym obciążeniu termicznym. Wymagania i metody podane w każdej z tych klas określono ze względu na praktyczne możliwości wykonywania pomiarów na miejscu i możliwości wykonywania pomiarów z zastosowaniem obecnie dostępnych przyrządów pomiarowych.

PN-EN ISO 8996:2005 *Ergonomia środowiska termicznego – Określenie tempa metabolizmu (oryg.)*

Przedmiotem normy są różne metody wyznaczania tempa metabolizmu w kontekście ergonomii środowiska termicznego pracy. Opisane metody mogą być również zastosowane np. do oceny sposobu wykonywania pracy, oceny kosztu konkretnych prac i aktywności fizycznych, ogólnego kosztu aktywności. W normie uwzględniono cztery poziomy oceny:

- poziom 1.: badanie zgrubne; do zastosowania proponuje się dwie proste metody do szybkiej charakterystyki średniego obciążenia pracą, jedna na podstawie wykonywanego zawodu, druga – dla konkretnej czynności
- poziom 2.: wykorzystanie obserwacji; zaproponowano dwie metody do określenia uśrednionej wartości intensywności wykonywanej pracy. Pierwsza polega na dodaniu do podstawowego tempa metabolizmu wartości tempa metabolizmu zależnego od pozycji zajmowanej przy pracy oraz szybkości wykonywania pracy. Druga metoda związana jest z oceną tempa metabolizmu na podstawie tabel określających jego wartość dla różnych aktywności
- poziom 3.: analityczny; zaproponowano metodę, która jest możliwa do zastosowania przez osoby przeszkolone w zakresie ergonomii i zdrowia zawodowego przy narażeniu na środowiska termiczne. Metoda należy do pośrednich, wiąże się z określeniem zmian częstości skurczów serca w reprezentatywnym okresie podczas wykonywania pracy
- poziom 4.: ekspercki; zaproponowano trzy metody pomiaru parametrów fizjologicznych bezpośrednio związanych z wykonywanym wysiłkiem. Wymagają one specjalistycznego wyposażenia pomiarowego i dobrze przeszkolonego personelu.

W normie określono też przyczyny najczęściej popełnianych błędów pomiarowych.

PN-EN ISO 9886:2005 *Ergonomia. Ocena obciążenia termicznego na podstawie pomiarów fizjologicznych*

W normie opisano metody pomiaru i interpretacji następujących parametrów fizjologicznych: temperatury wewnętrznej ciała, temperatury skóry, częstości skurczów serca, ubytku masy ciała. W celu ułatwienia wyboru wskaźników i technik, porównano omawiane metody pod względem zakresu ich stosowania, złożoności technicznej, dyskomfortu i ryzyka, które może być z tym związane.

W normie określono warunki, które powinny być spełnione w celu zapewnienia dokładności uzyskiwanych wyników z zastosowaniem różnych metod. Podano również wartości graniczne omawianych parametrów, które nie powinny być przekraczane dla zapewnienia bezpieczeństwa osób badanych.

PN-EN ISO 9920:2009 *Ergonomia środowiska termicznego. Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży*

W normie przedstawiono metody szacowania charakterystyki termicznej (oporu przed utratą ciepła na sucho oraz straty ciepła przez parowanie) dotyczącej warunków równowagi cieplnej, a odnoszącej się do znanych wyrobów odzieżowych, ich zestawów oraz tekstyliów.

Norma nie dotyczy pewnych efektów, jakie wywołuje odzież, w szczególności adsorpcji wody i komfortu związanego z dotykiem odzieży. Nie wzięto pod uwagę wpływu opadów atmosferycznych (deszczu i śniegu) na charakterystykę termiczną. Nie uwzględniono też specjalnej odzieży ochronnej, np. ubiorów chłodzonych wodą, wentylowanych lub ogrzewanych, ani izolacyjności różnych części ciała i dyskomfortu spowodowanego asymetrią zestawu odzieżowego.

Gdy jest to możliwe, wartości izolacyjności i oporności na parę wodną konkretnej odzieży powinny być zmierzone z zastosowaniem specjalnych urządzeń, takich jak manekiny termiczne (wilgotne lub pocące się) lub w badaniach z udziałem ludzi. W załącznikach do omawianej normy podano procedury badawcze dotyczące pomiarów izolacyjności cieplnej i oporności na parę wodną. Jednakże, ze względu na koszty i potrzebę zastosowania specjalistycznego wyposażenia pomiarowego, można skorzystać z wyników pomiarów zamieszczonych w załączniku do normy. W odrębnych załącznikach podano wartości izolacyjności termicznej zestawów odzieży, pojedynczych ubiorów oraz wartości wskaźników przepuszczalności wilgoci.

PN-EN ISO 10551:2002 *Ergonomia środowiska termicznego – Ocena wpływu środowiska termicznego z zastosowaniem skal osądu subiektywnego (oryg.)*

Norma zawiera zestaw opisów technicznych dotyczących eksperckiej oceny komfortu termicznego określanego przez osoby ekspozowane na różne poziomy stresu cieplnego podczas przebywania w różnych warunkach środowiska termicznego w miejscu pracy. Opisane metody mogą być zastosowane do uzupełnienia metod fizycznych i fizjologicznych ocenianego obciążenia termicznego.

Osoby, które oceniają obciążenie pracownika środowiskiem termicznym, określają różne wskaźniki, np. PMV, PPD, WBGT. Wskaźniki te pozwalają przewidzieć średnie warunki środowiska termicznego, jakich doświadcza pracownik w wielu uogólnionych sytuacjach. W praktyce specyficzne przypadki często różnią się od sytuacji typowych, w obszarach dotyczących m.in. przestrzennej zmienności warunków termicznych, różnic lokalnych, fluktuacji w czasie, zależności od rodzaju stosowanej odzieży, charakterystyki fizycznej pracownika. Tak więc staje się niezbędne uzupełnienie ogólnej oceny przez bezpośrednie określenie subiektywnych doświadczeń osób pracujących w środowisku termicznym, odnośnie do ich indywidualnego stanu, który mogą ocenić i wyrazić.

W normie zaproponowano konstrukcję i sposób zastosowania skal osądu do wykorzystania w badaniach porównawczych dotyczących subiektywnych aspektów komfortu termicznego i stresu cieplnego. Skale odnoszą się do następujących ocen: percepcji cieplnej, komfortu termicznego, preferencji cieplnych, akceptowalności środowiska termicznego, tolerancji środowiska termicznego.

W załączniku do normy podano przykłady stosowania procedury oceny i skal osądu łącznie z analizą danych.

PN-EN ISO 11399:2005 *Ergonomia środowiska termicznego – Zasady i stosowanie związanych norm międzynarodowych*

W normie podano informacje umożliwiające prawidłowe i skuteczne stosowanie w praktyce norm międzynarodowych dotyczących środowiska termicznego. Omówiono zasady stanowiące podstawy ergonomii środowiska termicznego oraz wskazania dotyczące stosowania właściwych norm międzynarodowych do oceny środowisk termicznych. Scharakteryzowano podstawowe normy międzynarodowe dotyczące środowisk gorących, umiarkowanych środowisk termicznych i środowisk zimnych. Opisano normy międzynarodowe dotyczące dotyku skóry do powierzchni ciał stałych, normy międzynarodowe pomocnicze i uzupełniające, jak

również normy projektowane. W załączniku podano zasady praktycznej oceny środowisk termicznych.

UWAGA: Omawiana norma nie obejmuje aktualizacji norm, które nastąpiły po 2002 r., ale może być użyteczna dla osób rozpoczynających pracę związaną ze środowiskami termicznymi, gdyż podaje w prosty, skrócony sposób, zasady pomiaru i oceny obciążeń termicznych w poszczególnych zakresach środowisk termicznych.

PN-EN ISO 12894:2002 *Ergonomia środowiska termicznego. Opieka medyczna nad ludźmi ekspozowanymi na ekstremalne środowiska gorące i zimne (oryg.)*

Norma zawiera porady dla osób zainteresowanych bezpieczeństwem ludzi ekspozowanych na ekstremalne środowiska gorące i zimne. Ekstremalnymi środowiskami termicznymi są takie, które powodują szybki zysk lub utratę ciepła z organizmu. Można przyjąć, że granicznymi środowiskami ekstremalnymi są środowiska gorące, w których wskaźnik WBGT ma wartość powyżej 25 °C, i zimne – o temperaturze powietrza 0 °C lub niższej.

Norma może być pomocna dla osób odpowiedzialnych za nadzór medyczny w określonych wyżej środowiskach. Ma ona zastosowanie do ekspozycji laboratoryjnych i zawodowych. W każdym z tych przypadków powinien być określony spodziewany stres cieplny działający na osobę ekspozowaną, jednakże szczegółowa organizacja nadzoru medycznego będzie inna.

Badania laboratoryjne lub prowadzone w komorach klimatycznych, dla których ta norma ma zastosowanie, związane są z ekspozycją na wysoką lub niską temperaturę powietrza otoczenia lub lokalne grzanie lub chłodzenie. W szczególności takie badania mogą dotyczyć reakcji fizjologicznych lub psychofizycznych na środowiska ekstremalne lub wpływu odzieży albo innych środków ochronnych. W każdym przypadku należy uwzględniać kryteria etyczne prowadzonych badań, odpowiednio do krajowych ustaleń w tym zakresie.

Ekstremalne poziomy parametrów środowiska mogą dotyczyć tylko jednego składnika ogólnej reakcji fizjologicznej w prowadzonych badaniach. W takich przypadkach należy uwzględnić także wcześniejsze doświadczenia osoby badanej z czynnikami stresogennymi, np. narażeniem na wibrację ogólną.

W niektórych przypadkach badania prowadzone są w warunkach terenowych w celu udokumentowania fizjologicznych reakcji na czynniki środowiska pracy. Jeśli stwierdza się zwiększenie poziomów takich reakcji, omawiana norma może być zastosowana.

Norma nie dotyczy hipo- i hipertermii wynikającej z przebiegu leczenia lub badań medycznych.

W załącznikach podano przykłady formularzy zgody kandydatów na udział w badaniu oraz formularzy określających zakres wywiadu lekarskiego w przypadku ekspozycji na środowisko zimne lub gorące, a także opisano niekorzystne dla organizmu skutki oddziaływania takich środowisk na organizm i zasady nadzoru lekarskiego podczas ekspozycji osób na środowisko zimne lub gorące.

PN-EN ISO 13731:2002 *Ergonomia środowiska termicznego – Słownictwo i symbole* (oryg.)

Norma zawiera 122 definicje wielkości fizycznych z zakresu ergonomii środowiska termicznego. Podano także wykaz związanych z nimi symboli i jednostek.

Celem normy jest dostarczenie zestawu terminów, definicji, symboli i jednostek odnoszących się do wielkości, które są stosowane we wszystkich normach dotyczących ergonomii środowiska termicznego. Terminy, dla których definicja istnieje w oryginalnej normie, podano w jednym z rozdziałów, łącznie z ich definicjami. Nie uwzględniono definicji terminów ogólnie zrozumiałych na poziomie wymagającym dla norm środowiska termicznego.

W osobnym rozdziale zebrano symbole i jednostki związane z terminami. Ten zestaw zawiera symbole i jednostki, niezależnie od tego, czy istnieje definicja dla tego terminu w oryginalnej normie, czy nie. Na końcu normy znajduje się alfabetyczny spis podanych terminów.

PN-EN ISO 13732-1:2009 *Ergonomia środowiska termicznego - Metody oceny reakcji człowieka na dotknięcie powierzchni – Część 1: Powierzchnie gorące* (oryg.)

W normie podano informacje na temat granicznych wartości temperatury, przy której następuje oparzenie (progów oparzenia), w przypadku kontaktu skóry człowieka z gorącą powierzchnią ciała stałego. Opisano także metody oceny ryzyka wystąpienia oparzenia w razie dotknięcia przez człowieka gorącej powierzchni niezabezpieczoną powierzchnią skóry.

Norma dotyczy kontaktu z gorącą powierzchnią trwającego minimum 0,5 sekundy. Ma zastosowanie do gorących powierzchni każdego rodzaju: wyposażenia, produktów, budynków, obiektów naturalnych i innych. Wprowadzie w normie wspomniano tylko produkty, ale można ją odnosić także do innych obiektów.

Normę można stosować do produktów użytkowanych w każdym środowisku, tzn. w miejscu pracy, w domu itd. Odnosi się do gorących powierzchni, które mogą być dotknięte przez zdrowe, dorosłe osoby, dzieci, osoby starsze oraz osoby z niepełnosprawnościami fizycznymi.

Norma zawiera również zalecenia dotyczące ustalania granicznych wartości temperatury powierzchni gorących. Są to jedynie zalecenia, a nie zestaw granicznych wartości temperatur powierzchni. Norma nie dostarcza danych na temat ochrony przed dyskomfortem i bólem. W załącznikach podano podstawy naukowe, wytyczne odnoszące się do ustalania czasu kontaktu z gorącą powierzchnią, schemat prowadzenia oceny ryzyka oparzenia, ciepłne własności niektórych materiałów, przykłady środków chroniących przed oparzeniem, przykład oceny ryzyka wystąpienia oparzenia, przykłady ustalania granicznych wartości temperatury powierzchni, zestaw znaków bezpieczeństwa dotyczących powierzchni gorących.

PN-EN ISO 13732-3:2009 *Ergonomia środowiska termicznego - Metody oceny reakcji człowieka na dotknięcie powierzchni - Część 3: Powierzchnie zimne (oryg.)*

Przedmiotem normy są metody oceny ryzyka wystąpienia uszkodzeń ciała i innych, niekorzystnych dla organizmu, efektów wywołanych zimnem, zachodzących wówczas, gdy nastąpi dotknięcie zimnych powierzchni gołą ręką lub palcami.

Norma dostarcza danych ergonomicznych przydatnych do ustalania granicznych wartości temperatury zimnych powierzchni ciał stałych. Dane zawarte w normie można wykorzystać wszędzie tam, gdzie zimne powierzchnie ciał stałych w wyniku kontaktu z nieokrytą powierzchnią ręki lub palców mogą spowodować ryzyko uszkodzeń (odmrożenie lub uszkodzenia niewywołane mrozem).

Norma ma zastosowanie do zdrowej skóry osób dorosłych (kobiet i mężczyzn). W załącznikach do normy podano podstawy naukowe, zakres zastosowania oraz przykłady oceny ryzyka związanego z dotykiem powierzchni zimnych.

PN-EN ISO 14505-2:2007/AC:2009 *Ergonomia środowiska termicznego – Ocena środowiska termicznego w pojazdach. Wyznaczanie temperatury równoważnej (oryg.)*

Norma stanowi drugą część serii norm związanych z oceną środowiska termicznego w pojazdach. Zawiera zalecenia do oceny warunków cieplnych wewnątrz przestrzeni pojazdu. Może też być stosowana do innych zdefiniowanych przestrzeni, które charakteryzują się asymetrycznymi warunkami klimatycznymi. Pierwotnie norma była przeznaczona do oceny warunków cieplnych w przypadku,

gdy odchylenie od neutralności termicznej jest stosunkowo małe. W normie zdefiniowano temperaturę równoważną jako zintegrowaną wielkość fizyczną klimatu w pojazdach i przedstawiono metody jej określenia. Opisano zasadę wyznaczania temperatury równoważnej całego ciała, cząstkowej temperatury równoważnej, kierunkowej temperatury równoważnej i wielokierunkowej temperatury równoważnej. Podano 8 definicji.

Metodyka opisana w normie może być dołączona do metod zawartych w specyficznych normach do testowania systemu HVAC (ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja powietrza) w pojazdach i podobnych zamkniętych przestrzeniach.

PN-EN ISO 14505-3:2006 *Ergonomia środowiska termicznego – Ocena środowiska termicznego w pojazdach. Część 3 – Ocena komfortu termicznego z udziałem człowieka* (oryg.)

Przedmiotem normy są standardowe metody testowe, w których uczestniczy człowiek, a które dotyczą oceny komfortu termicznego w pojazdach. Zdefiniowano metody subiektywnej oceny efektów cieplnych. Zakres normy nie jest ograniczony do szczególnego pojazdu, ale obejmuje ogólne zasady, które umożliwiają szacowanie i ocenę.

Norma ma zastosowanie do wszystkich pojazdów, włączając samochody osobowe, autobusy, ciężarówki, tramwaje, statki, samoloty, łodzie podwodne, kabiny dźwigów i podobne przestrzenie, gdzie człowiek jest zamknięty wewnątrz pojazdu. Stosuje się również do osób ekspozowanych na warunki zewnętrzne, a więc do użytkowników rowerów, motocykli, samochodów sportowych, wózków widłowych bez kabin, gdzie prędkość pojazdu i warunki pogodowe mogą determinować reakcję.

Norma zawiera zasady szacowania i oceny komfortu termicznego w środowisku pojazdu. Może być też stosowana do projektowania i oceny pojazdów. Jest podstawową normą ergonomiczną, która może przyczynić się do rozwoju norm związanych ze specjalnymi pojazdami lub produktami. Podano w niej 7 definicji. Norma ma zastosowanie jedynie w przypadku, gdy są uwzględniane czynniki etyczne i akceptowane praktyki dotyczące człowieka, zgodne z normą PN-EN ISO 12894:2002.

PN-EN ISO 15265:2005 *Ergonomia środowiska termicznego – Strategia oceny ryzyka w celu zapobiegania stresowi lub brakowi komfortu podczas pracy w warunkach cieplnych* (oryg.)

W normie przedstawiono strategię oceny i interpretacji fizjologicznych ograniczeń lub dyskomfortu podczas pracy w środowiskach termicznych. Ma ona zastosowanie do każdej sytuacji pracy, w ustalonych lub zmieniających się warunkach środowiska termicznego, tempa metabolizmu lub rodzaju odzieży.

Nie opisano pojedynczej procedury, lecz strategię, która jest realizowana w trzech etapach. Mogą one być zastosowane kolejno po sobie, aby mieć dokładniejszy wgląd w warunki pracy. Taki sposób postępowania pozwala na określenie wniosków dotyczących ryzyka związanego z wykonywaniem konkretnej pracy oraz odnośnie do identyfikacji najlepszego poziomu kontroli i rodzaju środków zapobiegawczych.

Wspomniana identyfikacja poziomu kontroli jest skierowana na zapobieganie i/lub kontrolę problemów spotykanych w warunkach środowiska gorącego lub zimnego. Ryzyko wystąpienia uszkodzeń ciała i/lub dyskomfortu spowodowanych działaniem zimna lub gorąca jest oceniane tylko w takim zakresie, jaki jest wymagany do osiągnięcia zamierzonego celu.

Strategia omawiana w normie jest nakierowana na profilaktykę i projektowanie warunków pracy i dotyczy przeciętnej osoby. Różnice międzyosobnicze są brane pod uwagę podczas wywiadu lekarskiego (w krótkim okresie) i nadzoru medycznego (podczas dłuższego okresu), w ostatniej fazie realizacji każdego etapu strategii.

Strategia jest oparta na następujących etapach: 1. – obserwacja, 2. – analiza, 3. – ekspertyza. Dla każdego etapu opisano cele i sposób jego realizacji. Podano przykłady środków profilaktycznych.

PN-EN ISO 15743:2009 *Ergonomia środowiska termicznego – Zimne miejsca pracy – Ocena i zarządzanie ryzykiem* (oryg.)

W normach dotyczących ergonomii środowiska termicznego są opisane specyficzne metody (narzędzia i wskaźniki) stosowane do oceny wymaganej izolacyjności cieplnej odzieży do różnych ekspozycji w środowisku zimnym lub fizjologicznych i psychologicznych konsekwencji związanych z różnymi ekspozycjami cieplnymi, natomiast brakowało instrukcji do praktycznego zastosowania do środowiska zimnego.

Norma została ustanowiona w celu dostarczenia metody do oceny i zarządzania zdrowiem oraz ryzykiem zawodowym podczas pracy w środowisku zimnym. Podano w niej trzystopniową strategię oceny i zarządzania ryzykiem w warunkach środowiska zimnego. W szczególności przedstawiono:

- model i metody oceny ryzyka w środowisku zimnym
- listę kontrolną do rozpoznawania zagrożeń wynikających z zimnego środowiska pracy
- kwestionariusz do stosowania przez osoby zajmujące się zawodowo ochroną zdrowia pracowników, przeznaczony do rozpoznawania osób z objawami świadczącymi o ich zwiększonej wrażliwości na zimno
- zalecenia dotyczące ochrony osób przed działaniem zimna
- wytyczne dotyczące zastosowania różnych norm odnoszących się do środowiska termicznego oraz zwalidowanych metod naukowych związanych z oceną ryzyka w środowisku zimnym
- model i metody zarządzania ryzykiem w środowisku zimnym
- praktyczne przykłady ze stanowisk pracy w zimnym środowisku wewnątrz budynku.

Norma ma zastosowanie do warunków wewnątrz i na zewnątrz budynków. Praca w pomieszczeniach obejmuje także pracę w pojazdach. Praca poza budynkami obejmuje zarówno pracę na lądzie, jak i na wodzie. Nie stosuje się do warunków nurkowania i innych typów pracy wykonywanych pod wodą.

9. Problemy zdrowotne występujące w środowisku gorącym i zimnym

W wyniku oddziaływania zmiennej temperatury środowiska na organizm człowieka dochodzi w nim do zmian funkcjonalnych umożliwiających sprawną termoregulację zapewniającą utrzymanie stałej temperatury wewnętrznej ciała. Do najważniejszych należą zmiany w układzie krążenia, gruczołach potowych, układzie hormonalnym oraz w mięśniach szkieletowych. W skrajnych warunkach termicznych środowiska dochodzi do przekroczenia możliwości termoregulacyjnych organizmu, co prowadzi do wzrostu temperatury wewnętrznej ciała (hipertermii) lub jej obniżenia (hipotermii).

9.1. Środowisko gorące

Praca fizyczna powoduje podwyższenie temperatury wewnętrznej ciała wprost proporcjonalnie do intensywności wysiłku w zakresie od 0,5 °C podczas wysiłku umiarkowanego do 4 °C podczas wysiłku bardzo ciężkiego i długotrwałego (maraton). W warunkach normalnych temperatura ciała utrzymuje się w granicach 36-37 °C jako równowaga pomiędzy mechanizmami produkującymi ciepło i oddającymi go do otoczenia. Jednak ciężka praca fizyczna wykonywana w środowisku gorącym bez dostatecznej podaży płynów może spowodować ostre dolegliwości i objawy kliniczne, których przyczyną jest upośledzenie lub załamanie się mechanizmów termoregulacji doprowadzające do hipertermii organizmu. Hipertermią nazywamy stan podwyższonej temperatury ciała, spowodowany czynnikami zewnętrznymi (takimi jak słońce, gorąca kąpiel, wysoka temperatura środowiska pracy)

lub wewnętrznymi (nadprodukcja i zaburzone oddawanie ciepła w przebiegu chorób, ciężkiego wysiłku fizycznego), który wymaga podjęcia działań w celu ochłodzenia organizmu, w przeciwnym wypadku może dojść do uszkodzenia mózgu lub nawet śmierci.

Do bezpośrednich skutków hipertermii należą:

- 1) bolesne skurcze mięśni i inne dolegliwości ze strony mięśni, spowodowane zaburzeniem równowagi wodno-elektrolitowej, czyli odwodnieniem i hiponatremią (utrata chlorku sodu wraz z potem). Występują szczególnie u osób, które stratę płynów spowodowaną intensywnym poceniem się uzupełniają pijąc wodę lub inny płyn hipotoniczny. Bolesne skurcze ustępują samoistnie po uzupełnieniu płynów oraz elektrolitów
- 2) omdlenie cieplne, spowodowane ortostatycznym przemieszczaniem się krwi w rozszerzonym obwodowym łożysku naczyniowym, co prowadzi do obniżenia ciśnienia tętniczego krwi i omdlenia. Omdlenie cieplne bywa poprzedzone zamroczeniem i osłabieniem. W razie wystąpienia takich objawów lub omdlenia należy pracownika niezwłocznie wyprowadzić z pomieszczenia o wysokiej temperaturze, zdjęć odzież, ochładzać ciało oraz rozpocząć uzupełnianie niedoboru płynów i elektrolitów
- 3) zespół przegrzania (wyczerpanie cieplne). Cechuje się znacznym nasileniem odwodnienia i zaburzeń elektrolitowych oraz wzrostem temperatury wewnętrznej ciała do 38-41 °C. Do objawów opisanych w pkt 2. mogą dojść jeszcze bóle głowy, nudności i wymioty. Stwierdza się zwiększenie częstości skurczów serca, obniżenie ciśnienia tętniczego krwi, obfite pocenie. Stan ten wymaga hospitalizacji. W oczekiwaniu na pomoc lekarską osobę, u której podejrzewa się zespół przegrzania, należy umieścić w pozycji półsiedzącej w zacienionym miejscu z dostępem świeżego powietrza. Należy stosować zimne lub wilgotne okłady na głowę, a jeśli z osobą poszkodowaną jest logiczny kontakt, można rozpocząć podawanie napojów
- 4) udar cieplny (porażenie cieplne) spowodowane przekroczeniem możliwości termoregulacyjnych i porażeniem ośrodka termoregulacji (najczęściej jest groźny dla życia). Często, w razie niepodjęcia odpowiednich działań, zespół wyczerpania cieplnego może przejść w udar cieplny.

Wówczas temperatura wewnętrzna ciała wzrasta do 41-43 °C, dochodzi do załamania mechanizmów termoregulacji oraz pojawienia się dodatkowo takich objawów, jak zamroczenie, drgawki, a nawet śpiączka. Stan ten bezwzględnie wymaga hospitalizacji.

Zapobieganie skutkom hipertermii podczas pracy w środowisku gorącym polega na właściwej organizacji czasu pracy, uwzględniającej odpowiednio długie przerwy w pracy w środowisku gorącym, zastosowanie ochron osobistych oraz umożliwienie uzupełniania płynów i elektrolitów. Utrata płynów spowodowana nadmiernym poceniem się podczas pracy w środowisku gorącym prowadzi do odwodnienia organizmu, a w konsekwencji – do obniżenia zdolności do pracy, przyspieszenia częstości skurczów serca, upośledzenia termoregulacji i przyspieszenia powstawania hipertermii. Odwodnieniu organizmu można zapobiegać przez:

- podawanie napojów z dodatkiem soli. Napoje powinny być łatwo dostępne, powinny znajdować się w najbliższym otoczeniu pracownika, na stanowisku pracy
- uświadamianie pracowników, jak ważne znaczenie w zapobieganiu hipertermii i odwodnieniu podczas pracy w środowisku gorącym ma systematyczne (często i w małych ilościach) picie napojów z dodatkiem soli.

Pracownicy z reguły nie przyjmują odpowiedniej ilości płynów podczas pracy, co w przypadku pracowników starszych wynika z mniejszego uczucia pragnienia [Drinkwater, Horvath, 1979]. Mając to na uwadze, należy przypominać pracownikom, szczególnie starszym, o konieczności uzupełniania płynów.

Objętość wody potrzebna do pokrycia dziennego zapotrzebowania organizmu w celu zapewnienia prawidłowego funkcjonowania (homeostazy) zależy od wielu czynników, m.in. od klimatu, wieku, płci, stopnia aktywności fizycznej oraz masy ciała. Według zaleceń European Food Safety Authority (EFSA) z 2010 r. normy dziennego spożycia wody wynoszą:

- dla dorosłych mężczyzn w normalnych warunkach: 2,5 l
- dla dorosłych kobiet w normalnych warunkach: 2,0 l.

Powyższe normy dotyczą umiarkowanego środowiska termicznego i umiarkowanej aktywności fizycznej. Utrata wody w skrajnych warunkach środowiska gorącego lub podczas bardzo ciężkiej pracy fizycznej może wynosić nawet 8,0 l dziennie, co powinno być uwzględnione podczas uzupełniania płynów.

Z kolei Światowa Organizacja Zdrowia (2003, 2005) zaleca następujące normy dziennego spożycia wody:

dla dorosłych mężczyzn i kobiet preferujących siedzący tryb życia: 2,9 l i 2,2 l wody (odpowiednio), a w przypadku wykonywania pracy fizycznej w wysokiej temperaturze środowiska, bez względu na płeć: 4,5 l wody dziennie.

Do pracy w narażeniu na gorąco należy ze szczególną ostrożnością kwalifikować osoby otyłe (o masie przekraczającej o ponad 20% należną masę ciała), osoby powyżej 45. roku życia, jeśli dotychczas nie pracowały w gorącu, o małej wydolności fizycznej ($VO_2\max$ poniżej 35 ml O_2/kg m.c.), z chorobami układu krążenia, chorobami, które upośledzają czynność wydzielniczą gruczołów potowych [Zajac-Nędza, 2001].

Ekspozycja na gorąco może spowodować również inne, mniej poważne w skutkach objawy, takie jak zmiany skórne (potówki, upośledzenie funkcji wydzielania gruczołów potowych, odczyny zapalne spowodowane dodatkową infekcją skóry), które mogą wymagać okresowej antybiotykoterapii.

Należy pamiętać, że w przemyśle wiele procesów technologicznych, którym towarzyszy wysoka temperatura, jest również źródłem promieniowania podczerwonego, które może powodować negatywne skutki zdrowotne w obrębie oczu (zmiany degeneracyjne tylnego bieguna gałki ocznej, uszkodzenie soczewki, zaćma) i skóry (zaczerwienienie, ból, oparzenie).

Udar cieplny: objawy i pierwsza pomoc

Objawy

- ogólne osłabienie organizmu
- przyspieszony puls
- sucha, gorąca, zaczerwieniona skóra
- podwyższenie ciśnienia krwi
- ogólne wyczerpanie
- wymioty i nudności
- dreszcze
- drgawki
- bóle i zawroty głowy
- zaburzenia psychiczne
- możliwe zaburzenia świadomości
- utrata przytomności
- wysoka temperatura ciała, przekraczająca 41 °C.

Pierwsza pomoc

- osobę z podejrzeniem udaru słonecznego należy umieścić w pozycji półsiedzącej w zacienionym miejscu z dostępem świeżego powietrza, po czym robić jej zimne lub wilgotne okłady na głowę; wskazana jest chłodna kąpiel
 - podawać chłodne napoje (tylko w przypadku, gdy osoba poszkodowana jest przytomna), ale nie należy podawać: alkoholu, kawy czy herbaty
 - u osób nieprzytomnych zastosować pozycję boczną ustaloną i wezwać pogotowie
 - w przypadku braku oddechu zastosować resuscytację krążeniowo-oddechową, do czasu przybycia zespołu ratownictwa medycznego lub odzyskania oddechu przez poszkodowanego.
-

9.2. Środowisko zimne

Skutki zdrowotne działania środowiska zimnego na organizm człowieka zależą od tego, czy oziębieniu uległo całe ciało, czy tylko jego części. Wychłodzenie całego ciała najczęściej jest spowodowane długotrwałym przebywaniem w niskiej temperaturze, zwłaszcza w zimnej wodzie. Sprzyja temu brak aktywności fizycznej. Przechłodzenia i odmrożenia zdarzają się również w temperaturze powyżej 0 °C.

W przypadku ochłodzenia całego ciała mamy do czynienia z zespołem hipotermii, stanem, w którym temperatura wewnętrzna ciała obniży się poniżej 35-33 °C. W hipotermii bilans cieplny jest ujemny: ilość ciepła wytwarzanego w wyniku przemian metabolicznych jest mniejsza niż ilość ciepła traconego przez organizm.

Do objawów ogólnych występujących w zespole hipotermii należą: spowolnienie i niezdolność do ruchów, drażliwość, splątanie, omamy, zaburzenia oddychania i rytmu serca. Pojawiają się dreszcze, bóle w rękach i nogach, podwyższone tętno, płytki oddech. Hipotermia wpływa na zdolność właściwej oceny sytuacji, powoduje spowolnione reakcje, a także irracjonalne zachowania. Jeżeli oziębienie postępuje dalej, dezorientacja przechodzi w zubożenie, szczególnie niebezpieczne, ponieważ osoba przestaje się interesować własnym losem. Poniżej temperatury 34 °C może wystąpić utrata przytomności, poniżej temperatury 27 °C dochodzi do zatrzymania krążenia i migotania komór serca.

W hipotermii stopnia lekkiego, gdy poszkodowany jest w pełni przytomny, należy go bez zbędnego poruszania rozebrać, ułożyć w śpiworze, zawinąć dodatkowo w płachtę ratunkową, podawać ciepłe, słodkie napoje (nie wolno podawać jakiegokolwiek alkoholu!), ostrożnie wysuszyć (nie nacierając ręcznikiem ani nie masując, aby nie prowokować przepływu krwi z głębi ciała do naczyń podskórnych), ułożyć w pozycji bocznej ustalonej.

W hipotermii dużego stopnia, gdy poszkodowany traci przytomność, należy postępować tak, jak przy umiarkowanych objawach, ale nie podawać napojów. Chory w takim stadium hipotermii musi być koniecznie przewieziony do szpitala.

W przypadku ochłodzenia miejscowego mogą się pojawić zmiany miejscowe. Najczęściej są to odmrożenia rąk i stóp, rzadziej podudzi i nosa. Objawy odmrożenia I stopnia to fioletowe zabarwienie skóry, pęcherze i ból, przy odmrożeniach II stopnia: biała łamliwa skóra, po rozgrzaniu czerniejąca, brak czucia, zmniejszenie sprawności ruchowej rąk i stóp. W wyniku miejscowego działania niskich temperatur mogą wystąpić również objawy przeziębienia.

Zapobieganie skutkom ekspozycji na środowisko zimne polega na:

- używaniu odpowiedniej odzieży ochronnej, w tym obuwia, rękawic i nakrycia głowy
- stosowaniu rozwiązań izolujących pracownika od zimnego podłoża (drewniane podesty), uchwytów metalowych (pokrycie ich materiałem termoizolacyjnym)
- właściwej organizacji pracy uwzględniającej przerwy, umożliwiające ogrzanie się pracowników w ciepłym pomieszczeniu
- dostarczeniu ciepłych napojów.

Do pracy w środowisku zimnym nie powinny być przyjmowane osoby z chorobami układu krążenia, szczególnie z chorobą niedokrwienną serca, chorobami układu naczyniowego, układu oddechowego, skóry, w tym osoby z przeszczepami skóry, osoby, u których występuje zespół wibracyjny, a także osoby, u których wcześniej wystąpiły objawy nietolerancji zimna [Oalley, 2000; Agius i Seaton, 2006].

10. Metody redukcji obciążenia termicznego

Ogólnie, obniżenie obciążenia termicznego można realizować poprzez zmianę:

- parametrów środowiska pracy lub też czasu ekspozycji pracowników na środowisko gorące lub zimne (ochrona zbiorowa)
- tempa metabolizmu pracowników oraz izolacyjności cieplnej stosowanej odzieży (ochrona indywidualna).

Jednakże, w zależności od środowiska pracy zmiany te powinny obejmować trochę inny zakres. Poniżej przedstawiono dobre praktyki, jakie można wprowadzić w środowisku gorącym i zimnym w celu ochrony zdrowia pracowników.

10.1. Środowisko gorące

W każdym środowisku podstawą skutecznego odprowadzania ciepła z organizmu jest poprawnie funkcjonujący organizm. Z tej przyczyny należy zapewnić pracownikom zachowanie zdrowia. W środowisku gorącym należy przede wszystkim dbać o nawadnianie organizmu – należy wypijać minimum 2 l wody dziennie, a w okresie upałów zwiększyć ilość płynów nawet do 5 l, należy również wyrównywać niedobory wodno-elektrolitowe spowodowane intensywnym poceniem. Ponadto należy ograniczać obciążenie organizmu poprzez nagłe lub krótkotrwałe zmiany środowiska przebywania, np. poprzez wchodzenie do pomieszczenia o temperaturze znacznie niższej od temperatury w środowisku pracy (zalecana maksymalna różnica temperatury pomiędzy pomieszczeniami wynosi 3-6 °C). Pracując w środowisku gorącym, należy się wysypiać i nie przemęczać – brak odpoczynku powoduje zaburzenia procesu termoregulacji i nawet u zdrowej osoby może dojść do udaru cieplnego.

Pracownicy zatrudniani do pracy w warunkach środowiska gorącego powinni przejść wstępne badania stanu zdrowia (DzU 1996, nr 69, poz. 332). Po zakwalifikowaniu do pracy osoba rozpoczynająca pracę w środowisku gorącym powinna być zaaklimatyzowana do warunków na stanowisku pracy. Do dobrych praktyk należy również systematyczne poddawanie pracowników badaniom okresowym w celu sprawdzenia, czy nie nastąpiły zmiany mogące wpływać negatywnie na termoregulację organizmu w środowisku gorącym.

Przed rozpoczęciem pracy oraz w trakcie jej trwania powinny być prowadzone szkolenia z zakresu zagrożeń zdrowotnych wynikających z obciążeń termicznych, w tym przedstawienie objawów stresu termicznego, informowanie o możliwym wpływie stosowanych leków na percepcję termiczną i sprawność reakcji termoregulacyjnych oraz o prawidłowym stosowaniu środków ochrony indywidualnej. Należy również informować pracowników, iż podczas pracy dobrze jest być w ruchu, gdyż w pozycji wyprostowanej i nieruchomej dochodzi do zastania krwi w rozszerzonych naczyniach krwionośnych w kończynach, co może doprowadzić do omdlenia. Z tej przyczyny nawet nie zmieniając miejsca pracy powinno się nieznacznie poruszać kończynami.

Pracownicy zatrudnieni w środowisku gorącym powinni być poddawani okresowym badaniom tempa metabolizmu w trakcie wykonywanych czynności pracy i, jeżeli jest taka możliwość, należy wprowadzać częściową automatyzację stanowisk w przypadku przekroczenia dopuszczalnego tempa metabolizmu. Jednocześnie zaleca się, aby praca była realizowana w zespołach co najmniej 2-osobowych, w celu zapewnienia wzajemnej obserwacji. Powinny być również przestrzegane zalecane w normach limity czasu pracy oraz cyklów „praca – odpoczynek”.

Ze względu na promieniowanie słoneczne oraz warunki atmosferyczne powinno się unikać pracy na zewnątrz budynków w godzinach 11 ÷ 15.

W odniesieniu do odzieży ochronnej – należy pamiętać o częstej wymianie odzieży w celu zapobiegania uszkodzeniom naskórka i infekcjom skóry przez usztywnioną od potu i zanieczyszczeń odzież. Z tej przyczyny powinno się umożliwić pracownikom wzięcie prysznicza, tak aby usunęli z powierzchni skóry gromadzące się zanieczyszczenia. Do pracy w środowisku ekstremalnie gorącym stosowane są również różnego rodzaju rozwiązania zapewniające chłodzenie pracownika lub też zwiększające możliwość odparowania potu z przestrzeni pododzieżowej. Należy przestrzegać ogólnej zasady dotyczącej odzieży stosowanej w środowisku

gorącym – odzież powinna być jasna (biały kolor odbija promieniowanie ciepłe) oraz lekka (o niskiej izolacyjności cieplnej).

Rozwiązaniem z zakresu zmian parametrów środowiska pracy jest przede wszystkim obniżenie temperatury powietrza lub/i temperatury promieniowania powierzchni w pomieszczeniu. W środowisku gorącym często parametry powietrza nie wynikają z realizowanej technologii produkcji, ale z warunków atmosferycznych. Z tej przyczyny obniżenie temperatury powietrza w pomieszczeniu nie wpłynie negatywnie na jakość produktów, a znacznie poprawi warunki pracy. Zatem, jeżeli jest taka możliwość, w pomieszczeniach powinny być instalowane systemy klimatyzacji lub przynajmniej wiatraki/wentylatory – przepływające powietrze ma znacznie większą zdolność chłodzenia organizmu niż powietrze nieruchome, nawet jeżeli temperatura jest taka sama. Tam gdzie to możliwe należy rozważyć zastosowanie procesów produkcyjnych, maszyn i urządzeń nieemitujących ciepła lub emitujących małe ilości ciepła, a także izolować urządzenia będące źródłem ciepła (oddzielne pomieszczenia lub ich lokalizacja na zewnątrz budynku). Jeżeli nie ma takiej możliwości, rozwiązaniem może być chłodzenie i odgradzanie ekranami urządzeń (ekrany wodne, z materiałów izolacyjnych lub chłodzących, z płyt aluminiowych lub metalowych z folią aluminiową, ze szkła absorpcyjnego, ekranowanie z wymiennikami ciepła, w tym chłodzenie wewnętrzne ekranu powietrzem lub wodą). Można również stosować miejscową wentylację nawiewną lub klimatyzację dla pracowników. W odniesieniu do przegród budynku – na obniżenie parametrów środowiska wpłynie zmniejszenie wartości współczynnika przenikania ciepła przegród poprzez zastosowanie dodatkowych warstw izolacji, montowanie stropów podwieszanych, montowanie ekranów na zewnątrz budynków lub powlekanie zewnętrznej powierzchni ścian materiałami odbijającymi promieniowanie słoneczne, stosowanie podwójnie lub potrójnie szklonych okien wypełnionych gazem szlachetnym (najczęściej argonem) w celu zmniejszenia współczynnika ciepła. Obniżenie zysków ciepła spowodowanych promieniowaniem słonecznym możliwe jest również za pomocą ekranów/rolet/żaluzji montowanych po stronie zewnętrznej.

10.2. Środowisko zimne

W środowisku zimnym należy dążyć głównie do utrzymania ciepła w organizmie pracownika. Z tej przyczyny należy pracownikom umożliwić dostęp do napojów

rozgrzewających (z wyjątkiem płynów z dodatkiem kofeiny) oraz gorących i wysokokalorycznych potraw.

Odzież stosowana w środowisku zimnym powinna być szczególnie dobrana, pod kątem jej izolacyjności cieplnej (zgodnie z obliczonymi wartościami wskaźnika IREQ). Należy także umożliwić zmianę zapoconej odzieży z uwagi na obniżenie jej parametrów izolacyjności cieplnej.

Metodami ograniczenia oddziaływania środowiska zimnego na organizm człowieka są przede wszystkim: ograniczenie pracy na zewnątrz budynków w najzimniejszych okresach roku, ograniczenie wysiłku fizycznego w środowisku zimnym oraz zapewnienie w czasie przerw możliwości odpoczynku w cieplejszym środowisku. Najbardziej efektywnym sposobem optymalizacji stanowisk pracy pod kątem zmniejszenia występujących na nich zagrożeń wynikających z oddziaływania mikroklimatu zimnego jest ich odpowiednie zaprojektowanie, które powinno w pierwszej kolejności uwzględniać: kontrolę temperatury źródła zimna oraz kontrolę parametrów powietrza w strefie pracy. Szczególnie istotne jest odpowiednie zaprojektowanie maszyn, zapewniające możliwość ich obsługi bez konieczności zdejmowania rękawic ochronnych.

11. Podsumowanie

W monografii przedstawiono sposób oddziaływania środowiska termicznego na organizm człowieka oraz metody oceny tego oddziaływania. Zaletą tego opracowania jest przekazanie w syntetycznej formie zagadnień dotyczących środowiska termicznego, zgodnie z aktualnymi aktami prawnymi i normatywnymi higienicznymi. Dodatkowo, w celu przybliżenia i ułatwienia korzystania z wytycznych zawartych w normach, przedstawiono przykłady obliczeń obciążenia termicznego w różnych, rzeczywistych sytuacjach na stanowiskach pracy.

Wyrażamy nadzieję, iż niniejsza publikacja będzie przydatna dla osób zajmujących się zawodowo prowadzeniem pomiarów obciążeń termicznych, jak również dla badaczy poszukujących kompleksowej informacji na temat metod oceny oddziaływania środowiska termicznego na organizm człowieka.

12. Literatura

- Agius M.R., Seaton A. (2006) *Practical Occupational Medicine*. Hodder Arnold, UK.
- ASHRAE (2009) *HVAC Fundamentals Handbook*.
- Åstrand I., Åstrand P.-O., Hallback I., Kibom A. (1973) *Reduction in maximal oxygen uptake with age*. J. Appl. Physiol. 35, 649-654.
- Aw T.C., Gardiner K., Harrington J.M. (2007) *Occupational Health – pocket consultant*. Malden, USA, Blackwell Publ.
- Bartkowiak G., Marszałek A. (2007) *Znaczenie mikroklimatu pod odzieżą dla bezpieczeństwa i komfortu pracy*. Bezpieczeństwo Pracy, 3, 22-25.
- Bernard T., Matheen F. (1999) *Evaporative resistance and sustainable work under heat stress conditions for two cloth anticontamination ensembles*. International Journal of Industrial Ergonomics 23, 557-564.
- Birch K., MacLaren D., George K. (2008) *Fizjologia sportu*. Warszawa, Wydawn. Naukowe PWN.
- Bogdan A. (2009) *Ocena środowiska zimnego – według PN-EN ISO 11079:2008*. Bezpieczeństwo Pracy, 3, 2.
- Bogdan A., Zwolińska M. (2010) *Wpływ odzieży na wymianę ciepła między człowiekiem a otoczeniem*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 1, 27-31.
- Bugajska J. (2011) *Fizjologiczne kryteria zdolności do pracy fizycznej osób starszych – wydatek energetyczny*. Warszawa, CIOP-PIB.
- Chojnacka A., Sudół-Szopińska I. (2007) *Komfort termiczny w pomieszczeniach biurowych w aspekcie norm*. Bezpieczeństwo Pracy, 6, 16.
- Christensen E.H., Hansen O. (1939) *Scand. Arch. Physiol.*, 84, 172.
- Drinkwater B.L., Horvath S.M. (1979) *Heat tolerance and aging*. Med. Sci. Sports, 11(1), 49-55.
- EFSA (2010) *Scientific Opinion on Dietary Reference Values for Water*. EFSA Journal, 8(3), 1494.
- Fanger P.O. (1970) *Thermal Comfort – Analysis and Application in Environmental Engineering*. Copenhagen, Danish Technical Press.

- Fanger P.O. (1974) *Komfort cieplny*. Warszawa, Arkady.
- Górski J. (2001) *Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego*. Warszawa, PZWL.
- Havenith G. (1999) *Heat balance when wearing protective clothing*. Ann. Occup. Hyg., 43, 289-296.
- Holmer I. (2009) *Heat and cold stress*. W: Elgstrand K., Petersson N.F.: OSH for development – Occupational Safety and Health for Development. Stockholm, Royal Institute for Technology.
- Howard J., Bartman J. (2003) *Domestic water quantity, service level and health*. WHO/SDE/WSH/3/02.
- Januszewicz W., Kokot F. (red.) (2002) *Interna*. Warszawa, PZWL.
- Kaciuba-Uściłko H. (2004) *Termoregulacja*. W: Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej i stosowanej. Red. W.Z. Traczyk i A. Trzebski. Warszawa, PZWL.
- Konarska M. i in. (1993) *Application of pulmonary ventilation measurements to assess energy expenditure during manual and massive*. W: IEA'94, Proceedings.
- Kozłowski S., Nazar K. (1999) *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej*. Warszawa, PZWL.
- Lehmann G. (1966) *Praktyczna fizjologia pracy*. Warszawa, PZWL.
- Makowiec-Dąbrowska T. (1999) *Fizjologia pracy*. W: Higiena pracy. T. 1. Pod red. J.A. Indulskiego. Łódź, IMP.
- Makowiec-Dąbrowska T., Bogdan A., Kurczewska A., Stefko A., Kamińska W. (2007) *Bezpieczna praca w zimnym mikroklimacie*. Warszawa, CIOP-PIB.
- Marszałek A. (2006) *Fizjologiczne reakcje organizmu człowieka podczas pracy w odzieży ochronnej w gorącym środowisku*. Bezpieczeństwo Pracy, 3, 11-15.
- Marszałek A. (2009) *Czynniki kształtujące tolerancję zimnego środowiska*. Bezpieczeństwo Pracy, 4, 13-15.
- Marszałek A. (2010) *Praca w zimnym środowisku a wiek pracownika. Zalecenia higieniczne*. Warszawa, CIOP-PIB.
- Marszałek A. (2011) *Zimne środowisko – sposoby zabezpieczania organizmu przed oddziaływaniem zimna*. Bezpieczeństwo Pracy, 10, 18-21.
- Marszałek A. (2012) *Zagrożenie zimnym środowiskiem w aspekcie wieku pracownika i parametrów odzieży ciepłochronnej*. Bezpieczeństwo Pracy, 8, 20-23.
- Marszałek A., Bartkowiak G., Kamińska W., Stefko A. (2007) *Pracownicy starsi w warunkach gorącego środowiska*. Warszawa, CIOP-PIB.
- Oakley E.H.N. (2000) *Heat and Cold*. W: Hunter's Diseases of Occupations. P.J. Baxter, P.H. Adams, T.C. Aw, A. Cockcroft, J.M. Harrington (red). Hodder Arnold UK.
- Parsons K.C. (2003) *Human thermal environments. The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance*. London, and New York, Taylor & Francis.
- Rhoades R.A., Tanner G.A. (1995) *Medical physiology*. Boston, New York, Toronto, London, Little, Brown and Company.

Rintamäki H., Rissanen S. (2006) *Heat strain in cold*. Industrial Health 44, 427-432.

Traczyk W.Z., Trzebski A. (2001) *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*. Warszawa, PZWL.

WHO (2005) *Nutrients in drinking water*.

Wyon D.P., Wargocki P. (2006) *Indoor air quality effects on office work*. W: Creating the Productive Workplace. London, Taylor & Francis, 193-205.

Zając-Nędza M. (2001) *Skutki działania wysokiej i niskiej temperatury otoczenia*. W: Choroby zawodowe. Pod red. K. Marka. Warszawa, PZWL.

Żukowska D. (2007) *Czynniki wpływające na rozwój strugi konwekcyjnej generowanej przez siedzącego człowieka*. W: IX Ogólnopolskie Sympozjum: Zastosowanie mechaniki płynów w inżynierii i ochronie środowiska. Wisła.

Dyrektywa 90/269/EWG w sprawie minimalnych wymagań dotyczących zdrowia i bezpieczeństwa pracy podczas ręcznego przemieszczania ciężarów w przypadku możliwości wystąpienia zagrożenia, zwłaszcza urazów kręgosłupa u pracowników. W: Dyrektywy Europejskiej Wspólnoty Gospodarczej dotyczące ochrony pracy. Warszawa, CIOP, 1992.

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 217, poz. 1833; 2005, nr 212, poz. 1769; 2007, nr 161, poz. 1142.

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 16 czerwca 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 105, poz. 873.

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 16 grudnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 274, poz. 1621.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. DzU nr 69, poz. 332.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 28 maja 1996 r. w sprawie profilaktycznych posiłków i napojów. DzU nr 60, poz. 279.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 lipca 2002 r., zmieniające rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom. DzU nr 127, poz. 1092.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac. DzU nr 200, poz. 2047 (z późn. zmianami).

ASTM F1291-10 Standard Test Method for Measuring the Thermal Insulation of Clothing Using a Heated Manikin.

PN-EN 342:2006/AC:2008 Odzież ochronna – Zestawy odzieży i wyroby odzieżowe chroniące przed zimnem.

PN-EN 511:2009 *Rękawice chroniące przed zimnem.*

PN-EN 27243:2005 *Środowiska gorące – Wyznaczanie obciążenia termicznego działającego na człowieka podczas pracy, oparte na wskaźniku WBGT.*

PN-EN ISO 7726:2001 *Ergonomia środowiska termicznego – Przyrządy do pomiaru wielkości fizycznych.*

PN-EN ISO 7730:2006 *Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego (oryg.).*

PN-EN ISO 7933:2005 *Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczeń przewidywanego obciążenia termicznego (oryg.).*

PN-EN ISO 8996:2005 *Ergonomia środowiska termicznego – Określenie tempa metabolizmu (oryg.).*

PN-EN ISO 9886:2005. *Ergonomia. Ocena obciążenia termicznego na podstawie pomiarów fizjologicznych.*

PN-EN ISO 9920:2009. *Ergonomia środowiska termicznego. Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży.*

PN-EN ISO 10551:2002 *Ergonomia środowiska termicznego – Ocena wpływu środowiska termicznego z zastosowaniem skal osądu subiektywnego (oryg.).*

PN-EN ISO 11079:2008 *Ergonomia środowiska termicznego – Wyznaczanie i interpretacja stresu termicznego wynikającego z ekspozycji na środowisko zimne z uwzględnieniem wymaganej izolacyjności cieplnej odzieży (IREQ) oraz wpływu wychłodzenia miejscowego (oryg.).*

PN-EN ISO 11399:2005 *Ergonomia środowiska termicznego – Zasady i stosowanie związanych norm międzynarodowych.*

PN-EN ISO 12894:2002 *Ergonomia środowiska termicznego. Opieka medyczna nad ludźmi eksponowanymi na ekstremalne środowiska gorące i zimne (oryg.).*

PN-EN ISO 13731:2002 *Ergonomia środowiska termicznego – Słownictwo i symbole (oryg.).*

PN-EN ISO 13732-1:2009 *Ergonomia środowiska termicznego – Metody oceny reakcji człowieka na dotknięcie powierzchni – Część 1: Powierzchnie gorące (oryg.).*

PN-EN ISO 13732-3:2009 *Ergonomia środowiska termicznego – Metody oceny reakcji człowieka na dotknięcie powierzchni – Część 3: Powierzchnie zimne (oryg.).*

PN-EN ISO 14505-2:2007/AC:2009 *Ergonomia środowiska termicznego – Ocena środowiska termicznego w pojazdach. Wyznaczanie temperatury równoważnej (oryg.).*

PN-EN ISO 14505-3:2006 *Ergonomia środowiska termicznego – Ocena środowiska termicznego w pojazdach. Część 3 – Ocena komfortu termicznego z udziałem człowieka (oryg.).*

PN-EN ISO 15265:2005 *Ergonomia środowiska termicznego – Strategia oceny ryzyka w celu zapobiegania stresowi lub brakowi komfortu podczas pracy w warunkach ciepłych (oryg.).*

PN-EN ISO 15743:2009 *Ergonomia środowiska termicznego – Zimne miejsca pracy – Ocena i zarządzanie ryzykiem (oryg.)*.

PN-EN ISO 15831:2006 *Odzież – Właściwości fizjologiczne – Pomiar izolacyjności cieplnej z zastosowaniem manekina termicznego*.

PN-N-08011:1985 *Środowisko gorące. Wyznaczenie obciążeń termicznych działających na człowieka w środowisku pracy, oparte na wskaźniku WBGT*.

PN-N-08020:1994 *Ergonomia. Środowiska gorące. Metoda oznaczania obciążenia termicznego w krótkotrwałym polu promieniowania podczerwonego o wysokim natężeniu*.