

Andrzej SOBOLEWSKI

**Ocena obciążeń cieplnych
osób narażonych
na zmienne w czasie
środowisko termiczne**

Andrzej Sobolewski

Ocena obciążeń cieplnych osób narażonych na zmienne w czasie środowisko termiczne

CIOP  **PIB**

Warszawa 2014

Opracowano na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2011-2013), a wydano w ramach III etapu tego programu (2014-2016) finansowanego w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autor

dr inż. Andrzej Sobolewski

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Projekt okładki

Anna Antoniszewska

Opracowanie graficzne

Anna Borkowska

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2014

ISBN 978-83-7373-187-5

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.	Metody oceny obciążeń cieplnych działających na człowieka w środowisku termicznym charakteryzującym się zmiennością w czasie	6
2.1.	Metoda oparta na pomiarze zmienności w czasie temperatury wnętrza ciała pracownika, t_{cr} zmierzonej w rzeczywistych warunkach środowiska pracy	6
2.2.	Metoda oparta na pomiarach parametrów mikroklimatów lokalnych charakteryzujących stanowiska pracy i metodach analitycznych	7
3.	Ocena obciążenia cieplnego człowieka przebywającego w środowisku zmiennym termicznie oparta na pomiarach temperatury wnętrza ciała, t_{cr}	8
4.	Ocena obciążenia cieplnego człowieka przebywającego w środowisku zmiennym termicznie oparta na pomiarach parametrów mikroklimatów lokalnych (MKL) i metodach analitycznych	10
5.	Definicja pojęcia mikroklimat zastępczy (MKZ)	11
6.	Odzież o optymalnej izolacyjności cieplnej, $I_{cl\ opt}$	12
7.	Dopuszczalny czas ekspozycji w odzieży o izolacyjności $I_{cl\ opt}$ w warunkach skrajnych mikroklimatów lokalnych	14
8.	Sposób kwalifikowania mikroklimatu zastępczego do zakresu zmienności odpowiadającego środowisku cieplnemu zimnemu lub umiarkowanemu	15
9.	Wartości parametrów mikroklimatu zastępczego lub mikroklimatu lokalnego zawarte w zakresie przypisanym środowisku chłodnemu i zimnemu – opis przypadku	17

10.	Wartości parametrów mikroklimatu zastępczego zawarte w zakresie przypisanym środowisku cieplnemu umiarkowanemu – opis przypadku	21
11.	Wartości parametrów mikroklimatu lokalnego zawarte w zakresie zmienności przypisanym środowisku gorącemu – opis przypadku	24
12.	Kroki postępowania podczas doboru metodą analityczną odzieży o optymalnej izolacyjności cieplnej utrzymującej temperaturę wnętrza ciała pracownika w granicach dopuszczalnych i bezpiecznych dla zdrowia, w środowisku zmiennym termicznie	27
13.	Podsumowanie	30
	Piśmiennictwo	30

1. Wstęp

Broszura jest skierowana do osób zainteresowanych problemem oceny obciążeń cieplnych oddziałujących na człowieka w środowisku zmiennym termicznie. *Środowisko zmienne termicznie* jest skutkiem przemieszczania się pracownika między stanowiskami pracy o mikroklimatach lokalnych (MKL), których zróżnicowanie wynika z przyczyn technologicznych.

Przykładem warunków sprzyjających zmiennym obciążeniom cieplnym jest stanowisko pracy operatora wózka widłowego przemieszczającego się między pomieszczeniami, wewnątrz których ze względów technologicznych jest utrzymywana różna temperatura. Właściwością tego środowiska pracy są stosunkowo krótkotrwałe, kilkunasto- lub kilkudziesięciominutowe obciążenia cieplne, występujące naprzemiennie, zmienne co do znaku. Mogą one powodować akumulację ciepła lub jego stratę z organizmu, czemu towarzyszą wahania temperatury ciała. Po każdej zmianie stanowiska pracy obciążenie cieplne oddziałujące na pracownika może się zwiększyć, częściowo lub całkowicie zredukować albo zmienić swój charakter. Na przykład po akumulacji ciepła w organizmie spowodowanej pracą w środowisku gorącym następuje przyrost temperatury ciała. Zmiana środowiska pracy na chłodniejsze spowoduje rozproszenie ciepła do otoczenia i obniżenie temperatury ciała. Wynika to z drugiej zasady termodynamiki, której konsekwencją jest reguła głosząca, że ciepło musi przepływać z ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej. Wielkość zmian dających się zaobserwować zależy od czasu przebywania pracownika w nowym środowisku o odmiennym mikroklimacie lokalnym, obciążenia wykonywaną pracą oraz intensywności wymiany ciepła między organizmem i otoczeniem proporcjonalnej do różnicy ich temperatury regulowanej odpowiednią odzieżą.

Celem broszury jest objaśnienie zjawisk cieplnych zachodzących w organizmie człowieka pracującego w tym specyficznym środowisku i wprowadzenie do metodyki określania wynikających stąd obciążeń cieplnych. Jest

nim także przybliżenie zagadnień będących przedmiotem opracowania pt. „Procedura do oceny warunków występujących na stanowisku pracy w środowisku termicznym charakteryzującym się zmiennością w czasie. Zalecenia dla służb bhp i medycyny pracy odnośnie do organizacji warunków pracy w takich środowiskach” *.

Opracowana procedura służy do oceny obciążeń cieplnych oddziałujących na człowieka pracującego w środowisku zmiennym termicznie i ich minimalizacji do poziomu bezpiecznego dla jego zdrowia.

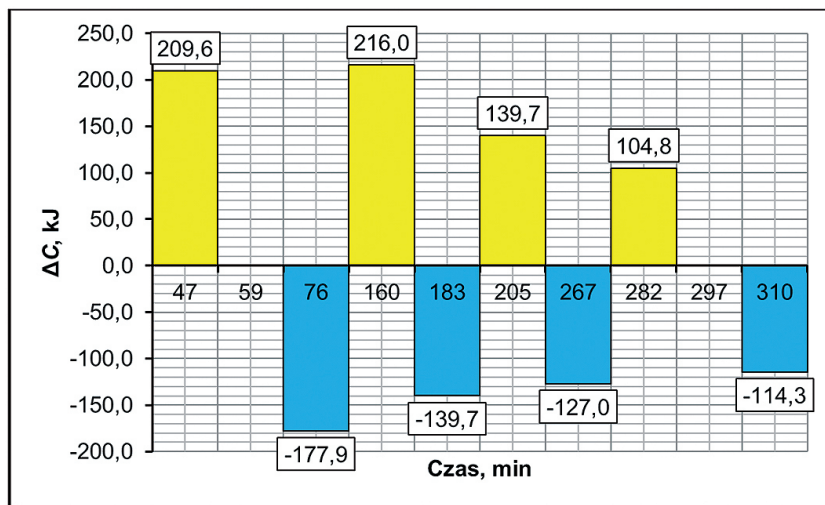
2. Metody oceny obciążeń cieplnych działających na człowieka w środowisku termicznym charakteryzującym się zmiennością w czasie

2.1. Metoda oparta na pomiarze zmienności w czasie temperatury wnętrza ciała pracownika, t_{cr} , zmierzonej w rzeczywistych warunkach środowiska pracy

W zależności od uzyskanych wyników pomiaru mogą być podjęte odpowiednie działania korygujące przebieg procesu pracy w celu redukcji obciążeń cieplnych do poziomu bezpiecznego dla zdrowia. Informację o zmianach temperatury wnętrza ciała pracownika zachodzących podczas pracy można wykorzystać do oceny wartości akumulacji i strat ciepła w jego organizmie oraz dynamiki tych zmian spowodowanych wykonywaną pracą i oddziaływaniem cieplnym środowiska, w jakim przebywa. Przykład zmienności

* CIOP-PIB, Warszawa [Praca niepublikowana].

w czasie obciążeń cieplnych działających na pracownika w jednym z zakładów pracy (które określono na podstawie zmian temperatury jego ciała) pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Wartości akumulacji i strat ciepła, $\pm\Delta C$, w organizmie pracownika huty na stanowisku pracy „kryształizacja” w czasie zmiany roboczej. Wartości obliczono na podstawie względnych przyrostów i spadków średniej temperatury ciała, Δt_c . Zmiany temperatury ciała są skutkiem oddziaływania na pracownika zmiennego środowiska cieplnego wynikającego z różnych mikroklimatów lokalnych (MKL) na stanowiskach pracy, między którymi się przemieszcza

2.2. Metoda oparta na pomiarach parametrów mikroklimatów lokalnych charakteryzujących stanowiska pracy i metodach analitycznych

Na podstawie wyników pomiarów parametrów mikroklimatów lokalnych charakteryzujących stanowiska pracy i przeprowadzonych obliczeń dobierana jest odzież ochronna o izolacyjności cieplnej dostosowanej optymalnie do warunków środowiska zmiennego termicznie.

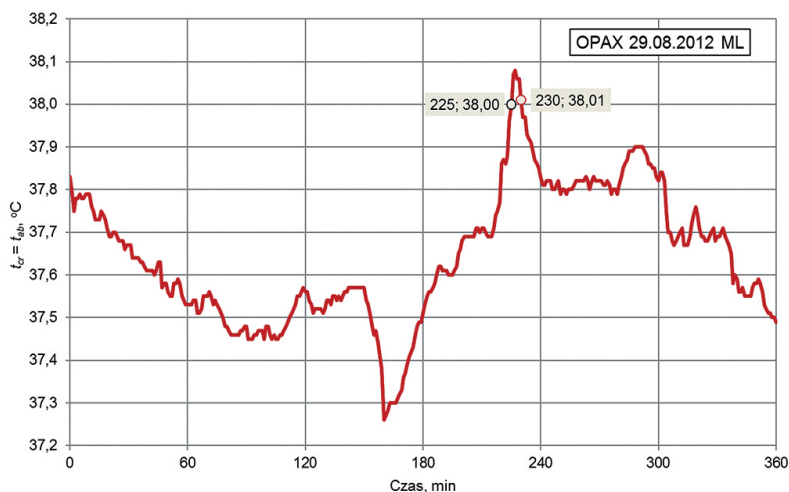
3. Ocena obciążenia cieplnego człowieka przebywającego w środowisku zmiennym termicznie oparta na pomiarach temperatury wnętrza ciała, t_{cr}

Do prostych i skutecznych metod oceny obciążenia cieplnego człowieka należy pomiar parametru fizjologicznego, jakim jest temperatura wnętrza jego ciała. W normie PN-EN ISO 9886 [6] przedstawiono metodykę pomiarów temperatury wnętrza ciała, t_{cr} (ang. *body core temperature*). Opisano tam kilka równouprawnionych metod określania tej temperatury za pomocą pomiarów wykonanych w różnych miejscach organizmu człowieka. Ze względu na swą prostotę, na uwagę zasługuje pomiar temperatury pod językiem – t_{or} (ang. *oral temperature*). We wspomnianej normie [6] podano limity temperatury t_{cr} ustalające dopuszczalne dla zdrowia poziomy obciążenia cieplnego organizmu człowieka. W środowisku gorącym $t_{cr} \leq 38$ °C, a w środowisku zimnym $t_{cr} \geq 36$ °C. W stosunku do optymalnej temperatury wnętrza ciała $t_{cr} = 37$ °C są to zmiany w zakresie ± 1 °C. Stosując podane w normie limity t_{cr} dla środowiska gorącego lub zimnego, ocenia się obciążenie cieplne człowieka występujące w danym otoczeniu. Jest to ocena jakościowa, umożliwiającą stwierdzenie, czy wystąpiło przekroczenie dopuszczalnych granic temperatury wnętrza ciała, czy też nie.

Pomiar temperatury pod językiem powinna wykonać u pracownika osoba o kwalifikacjach upoważniających do pracy ambulatoryjnej. Pomiar należy wykonywać zgodnie z instrukcją obsługi termometru lekarskiego, w jak najkrótszym czasie po zakończeniu pracy w środowisku danego mikroklimatu lokalnego. Co najmniej 30 min przed wykonaniem pomiaru pracownik nie może pić płynów, jeść, palić papierosów, zmieniać odzieży, zmieniać środo-

wiska, w którym wykonywał pracę. Zaistnienie wymienionych zdarzeń może istotnie zafałszować wynik badania. Pomiary należy rozpocząć przed podjęciem pracy i następnie wykonywać je przed każdą zmianą mikroklimatu lokalnego środowiska pracy. Pomiar należy wykonywać w pomieszczeniu, w którym temperatura nie jest niższa niż 18 °C.

Podczas trwania pomiaru pracownik ma zamknięte usta przez 8 min w środowisku o temperaturze otaczającego powietrza 18 – 30 °C i przez co najmniej 5 min w temperaturze wyższej niż 30 °C [6]. Wyniki pomiarów oraz czas ich wykonania i nazwy stanowisk pracy, na których je przeprowadzono, należy zapisywać. Na podstawie tych notatek sporządza się wykres zmienności temperatury t_{or} w czasie, który należy porównać z dopuszczalnymi limitami temperatury wnętrza ciała. Jeżeli wystąpi ich przekroczenie, trzeba skrócić czas pracy w środowisku danego mikroklimatu lokalnego albo, jeśli to możliwe, zmienić kolejność pracy na poszczególnych stanowiskach lub dobrać odzież o izolacyjności cieplnej dostosowanej do występujących warunków.



Rys. 2. Przykład zapisu zmienności w czasie temperatury wnętrza ciała, t_{ab} , zmierzonej w przewodzie pokarmowym pracownika

Na rysunku 2 pokazano przykład zapisu zmienności w czasie temperatury wnętrza ciała – t_{ab} (ang. *intra-abdominal temperature*), która została

zmierzona u pracownika wewnątrz przewodu pokarmowego. Ta kosztowna i unikalna jeszcze technika pomiaru umożliwia dużą częstotliwość próbkowania i w związku z tym uchwycenie niewielkich zmian temperatury t_{ab} w czasie.

Z przebiegu zmienności temperatury t_{ab} , przedstawionego na rysunku 2, wynika, że w analizowanym czasie pracy nastąpiło niewielkie (o 0,08 °C) i krótkotrwałe, trwające ok. 5 min, przekroczenie dopuszczalnej ze względu na zdrowie temperatury wnętrza ciała równej 38 °C. Można uznać, że odnotowane odchylenie od granicznego poziomu wynoszącego 38 °C mieści się w granicach błędu pomiaru temperatury t_{ab} , czyli 0,1 °C. A zatem, z punktu widzenia postanowień normy PN-EN ISO 9886 [6], podczas pracy nie nastąpiło u pracownika istotne przekroczenie dopuszczalnego obciążenia cieplnego organizmu.

4. Ocena obciążenia cieplnego człowieka przebywającego w środowisku zmiennym termicznie oparta na pomiarach parametrów mikroklimatów lokalnych (MKL) i metodach analitycznych

Metody analityczne stosowane do oceny obciążenia cieplnego człowieka w środowisku pracy opierają się na postanowieniach aktualnych norm [1, 2, 4]. We wszystkich przypadkach podstawę teoretyczną tych metod stanowi opis wymiany ciepła między organizmem człowieka stale wytwarzającym energię cieplną a otaczającym środowiskiem, którego parametry fizyczne wpływają na tę wymianę. Oparty jest on na równaniu bilansu ciepła

nego człowieka. Za pomocą tego równania można prognozować wartości potencjalnych obciążeń cieplnych, jakie wystąpią na danym stanowisku pracy. Stwarza to możliwość ich zminimalizowania dzięki doborowi odzieży ochronnej o optymalnej izolacyjności cieplnej dostosowanej do termicznie zmiennego środowiska i określeniu dopuszczalnych czasów ekspozycji pracownika w warunkach cieplnych mikroklimatów lokalnych (MKL). Należy zauważyć, że metoda analityczna oceny obciążenia cieplnego człowieka jest znacznie trudniejsza w zastosowaniu i bardziej skomplikowana od omówionej w rozdziale 3. Dlatego na końcu broszury umieszczono schemat blokowy pokazujący kroki postępowania związane z jej użyciem (rys. 7). Zaletą metody analitycznej jest – jak się wydaje – możliwość doboru do występujących zmiennych warunków termicznych jednego zestawu odzieży ochronnej o optymalnej izolacyjności cieplnej utrzymującej temperaturę wnętrza ciała pracownika w granicach dopuszczalnych i bezpiecznych dla zdrowia w przewidzianym czasie pracy.

5. Definicja pojęcia *mikroklimat zastępczy (MKZ)*

Na użytek analitycznej metody oceny obciążenia cieplnego człowieka w środowisku zmiennym termicznie i opracowanej według niej procedury wprowadzono pojęcie hipotetycznego *mikroklimatu zastępczego (MKZ)*. Pod tym pojęciem należy rozumieć zespół parametrów fizycznych, takich jak: temperatura powietrza, wilgotność, temperatura promieniowania, prędkość przepływu powietrza, zastępujących wartości rzeczywiste tych parametrów, zmierzone w środowiskach mikroklimatów lokalnych, ich wartościami średnimi ważonymi, obliczonymi z ośmiogodzinnej zmiany roboczej. Wagami

w tym przypadku są czasy pobytu, t_i , pracownika w środowisku danego mikroklimatu lokalnego MKL_i , określone w minutach.

Jeżeli pracownik przebywa:

- 1) w środowisku mikroklimatu lokalnego MKL_1 o średniej temperaturze powietrza t_{a1} przez t_1 minut
- 2) w środowisku mikroklimatu lokalnego MKL_2 o średniej temperaturze powietrza t_{a2} przez t_2 minut

.....
n) w środowisku mikroklimatu lokalnego MKL_n o średniej temperaturze powietrza t_{an} przez t_n minut,

to wartość średnia ważona temperatury powietrza środowiska mikroklimatu zastępczego, $\overline{t_{aMKZ}}$, jest obliczana z następującego wzoru:

$$\overline{t_{aMKZ}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} t_i \cdot t_{ai}}{\sum_{i=1}^{i=n} t_i}$$

W ten sam sposób należy określić wartości średnie ważone pozostałych parametrów charakteryzujących mikroklimat zastępczy (MKZ) oraz wartość średnią ważoną wydatku energetycznego M .

6. Odzież o optymalnej izolacyjności cieplnej,

$I_{cl \text{ opt}}$

Optymalizacja warunków pracy w *środowisku mikroklimatu zastępczego* polega na zminimalizowaniu występujących obciążeń cieplnych działających przez osiem godzin na człowieka. Cel ten zostanie osiągnięty w warunkach bliskich stanowi równowagi cieplnej organizmu z otoczeniem. Utrzymywanie stanu zbliżonego do równowagi cieplnej przez jak najdłuż-

szy czas trwania pracy jest możliwe w odzieży o *optymalnej izolacyjności cieplnej*, $I_{cl\ opt}$ (w clo), dostosowanej do warunków pracy w hipotetycznym mikroklimacie zastępczym (MKZ).

Wartość $I_{cl\ opt}$ nie jest znana i jest rozwiązaniem równania bilansu ciepłego człowieka spełniającym kryterium *quasi równowagi cieplnej* w warunkach klimatu zastępczego przy średnim ważonym metabolizmie człowieka \overline{M}_{MKZ} określonym z ośmiu godzin pracy.

W rzeczywistych warunkach środowiska zmiennego termicznie odzież o izolacyjności $I_{cl\ opt}$ jest zbyt mało ciepłochronna w skrajnym lokalnym środowisku zimnym (np. w chłodni) o temperaturze t_{min} , by utrzymać zrównoważony bilans cieplny organizmu człowieka przez dłuższy czas pracy, np. osiem godzin. W środowisku skrajnie ciepłym lub gorącym, o temperaturze t_{max} , odzież ta stanowi zbyt dużą izolację cieplną, co uniemożliwia rozpraszanie ciepła z organizmu do otoczenia i stwarza warunki sprzyjające jego akumulacji. Jednak częste zmiany środowiska termicznego chronią pracownika przed zbyt dużymi stratami ciepła z organizmu lub jego nadmierną akumulacją. Dopóki straty ciepła w środowisku chłodnym lub zimnym nie powodują spadku temperatury wnętrza ciała poniżej 36 °C, dopóty oddziałujące obciążenie nie jest szkodliwe dla zdrowia. Podobnie w środowisku gorącym – dopóki temperatura wnętrza ciała nie przekroczy 38 °C, dopóty obciążenie cieplne oddziałujące na organizm jest dopuszczalne ze względu na zdrowie [6]. Zachowując czas pracy zgodnie z ustalonym wcześniej chronometrażem, można oczekiwać, że w środowisku zmiennym termicznie, dzięki bezwładności cieplnej organizmu i odzieży izolującej go od wpływu otoczenia, jest możliwe zachowanie temperatury wnętrza ciała na poziomie nieprzekraczającym wartości granicznych.

7. Dopuszczalny czas ekspozycji w odzieży o izolacyjności $I_{cl\ opt}$ w warunkach skrajnych mikroklimatów lokalnych

W szczególnym przypadku pracy odbywającej się w warunkach mikroklimatu lokalnego o najniższej temperaturze otoczenia wynoszącej t_{min} użycie odzieży o izolacyjności cieplnej $I_{cl\ opt}$, niewystarczającej do ciągłej 8-godzinnej pracy w tych warunkach, jest dopuszczalne w ograniczonym czasie, tzn. dopóki temperatura wnętrza ciała na skutek wychłodzenia organizmu nie osiągnie 36 °C. Do oszacowania dopuszczalnego czasu ekspozycji w odzieży o niewystarczającej izolacyjności cieplnej w występujących warunkach środowiskowych służy program komputerowy [1] lub diagramy specjalnie opracowane na użytek procedury. Jeżeli dopuszczalny czas ekspozycji oszacowany z obliczeń lub diagramu przewyższa przewidywany chronometrażem rzeczywisty czas pracy w lokalnym środowisku zimnym, to przewidziany czas pracy w rozpatrywanym środowisku jest bezpieczny dla zdrowia pracownika. Zwykle tak jest. Jeżeli jednak warunek ten nie jest spełniony, należy skrócić czas pracy w tym środowisku albo zwiększyć izolacyjność cieplną odzieży.

W ten sam sposób trzeba postępować w przypadku środowiska mikroklimatu lokalnego o temperaturze otoczenia t_{max} . Jeżeli czas ekspozycji określony z odpowiedniego diagramu przewyższa przewidywany chronometrażem czas pracy w lokalnym środowisku ciepłym lub gorącym, to przewidziany czas pracy w rozpatrywanym środowisku w odzieży o izolacyjności cieplnej $I_{cl\ opt}$ jest bezpieczny dla zdrowia pracownika. W razie niespełnienia tego warunku należy skrócić czas ekspozycji w tym środowisku lub zmniejszyć izolacyjność cieplną użytej odzieży. Jeżeli izolacyjność cieplna odzieży, optymalna w warunkach mikroklimatu zastępczego, jest $I_{cl\ opt} > 1\ clo$, to dla warunków pracy w środowisku gorącym należy ją zredukować do wartości zawartych w przedziale $0,6 \leq I_{cl\ opt} \leq 1\ clo$. Wskaźnik *WBGT* powszechnie wykorzysty-

wany do oceny obciążeń cieplnych w środowisku gorącym dopuszcza, jak wiadomo, użycie odzieży o izolacyjności cieplnej nieprzekraczającej 0,6 clo. Ze względu na swoje ograniczenia w tym opracowaniu nie jest jednak brany pod uwagę jako wskaźnik miarodajny. Natomiast według normy PN-EN ISO 7933 [4] izolacyjność cieplna odzieży ochronnej używanej w gorącym środowisku pracy może się zmieniać się od 0,1 clo do 1 clo.

Kiedy warunki pracy w skrajnym mikroklimacie lokalnym o temperaturze otoczenia t_{\max} odpowiadają mikroklimatowi gorącemu, należy zawczasu rozważyć użycie odzieży składającej się z kilku warstw, co umożliwi wybór zestawu o łącznej izolacyjności cieplnej zawierającej się w przedziale 0,6 – 1 clo. Pracownik, zmieniając dotychczasowe miejsce pracy na stanowisko znajdujące się w mikroklimacie gorącym, może zdejmować określoną „nadmiarową” warstwę odzieży, żeby izolacyjność pozostałej zawierała się w granicach $0,6 \leq I_{\text{cl opt}} \leq 1$ clo. Opuszczając zaś „gorące” stanowisko pracy i przechodząc do chłodniejszego, ponownie może założyć na siebie zdjętą wcześniej warstwę odzieży.

8. Sposób kwalifikowania mikroklimatu zastępczego do zakresu zmienności odpowiadającego środowisku cieplnemu zimnemu lub umiarkowanemu

W zależności od wartości otrzymanej z obliczeń średniej ważonej temperatury powietrza, $\overline{t_{aMKZ}}$ (jest to średnia ważona z wartości zmierzonych w środowiskach mikroklimatów lokalnych *MKL*), którą można uważać za najważniejszy parametr mikroklimatu zastępczego, kwalifikuje się ona do za-

kresów zmienności odpowiadających jednemu z dwóch rodzajów środowisk ciepłych pracy, tj.:

- środowiska zimnego (jeżeli temperatura średnia ważona otoczenia $\overline{t_{aMKZ}}$ jest niższa niż $10\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- środowiska umiarkowanego (jeżeli temperatura średnia ważona otoczenia jest zawarta w przedziale zmienności $10\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \overline{t_{aMKZ}} \leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Należy zauważyć, że jest mało prawdopodobne, by średnia ważona wartość temperatury, $\overline{t_{aMKZ}}$, obliczona z wartości temperatury powietrza zmierzonych w środowiskach mikroklimatów lokalnych tworzących środowisko zmienne termicznie, została zakwalifikowana do zakresu odpowiadającego mikroklimatowi gorącemu. Jak wyjaśniono wcześniej, środowisko zmienne termicznie jest zbiorem stanowisk pracy o zróżnicowanych mikroklimatach lokalnych. Najbardziej prawdopodobna jest więc przeciętna temperatura powietrza określająca mikroklimat zastępczy zawierająca się w granicach $0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \overline{t_{aMKZ}} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, co odpowiada środowisku zimnemu, lub kiedy $\overline{t_{aMKZ}} \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, co odpowiada zakresowi przypisywanemu środowisku umiarkowanemu, aż do jego górnej granicy wynoszącej $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2].

W myśl przedstawionego rozumowania rozpatrzone zostały przypadki, w których wartości parametrów mikroklimatu zastępczego mieszczą się w zakresie przypisanym środowiskom ciepłym: *zimnemu* i *umiarkowanemu*. Natomiast problem określenia czasu ekspozycji pracownika w odzieży o izolacyjności cieplnej $I_{cl\ opt}$ przebywającego w danej chwili w środowisku mikroklimatu lokalnego (MKL), jest rozpatrywany w zależności od charakteru występującego w tym środowisku obciążenia cieplnego. W przypadku środowiska zimnego o temperaturze t_{min} określany jest dopuszczalny czas ekspozycji pracownika, ubranego w odzież o izolacyjności $I_{cl\ opt}$, którego zmierzony lub oceniony metabolizm w tym środowisku wynosi M_j (w W/m^2).

Kiedy mamy do czynienia z oddziaływaniem lokalnego środowiska gorącego o temperaturze t_{max} , określany jest dopuszczalny czas ekspozycji pracownika, ubranego w odzież o $I_{cl\ opt}$ lub zredukowanej izolacyjności $I_{cl\ opt} \leq 1\text{ clo}$, którego metabolizm w tym środowisku oceniono jako równy M_j (w W/m^2).

Do oceny obciążeń cieplnych oddziałujących na człowieka w określonych warunkach środowiskowych i przy określonym wydatku energetycznym opracowano diagramy służące do odczytu wartości izolacyjności cieplnej odzieży, $I_{cl\ opt}$ (w clo), oraz czasu ekspozycji (w godzinach) dopuszczalnego ze względu na zdrowie, w skrajnych warunkach mikroklimatów lokalnych.

9. Wartości parametrów mikroklimatu zastępczego lub mikroklimatu lokalnego zawarte w zakresie przypisanym środowisku chłodnemu i zimnemu – opis przypadku

Jeżeli wartość średniej ważonej temperatury powietrza mikroklimatu zastępczego $\overline{t_{aMKZ}}$ okaże się niższa niż $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, to przebywanie w tych warunkach wymaga odzieży o izolacyjności cieplnej przewidzianej do pracy w *środowisku zimnym* [1]. Zakres przedziałów zmienności wartości parametrów określających środowisko zimne zamieszczono w tabeli 1.

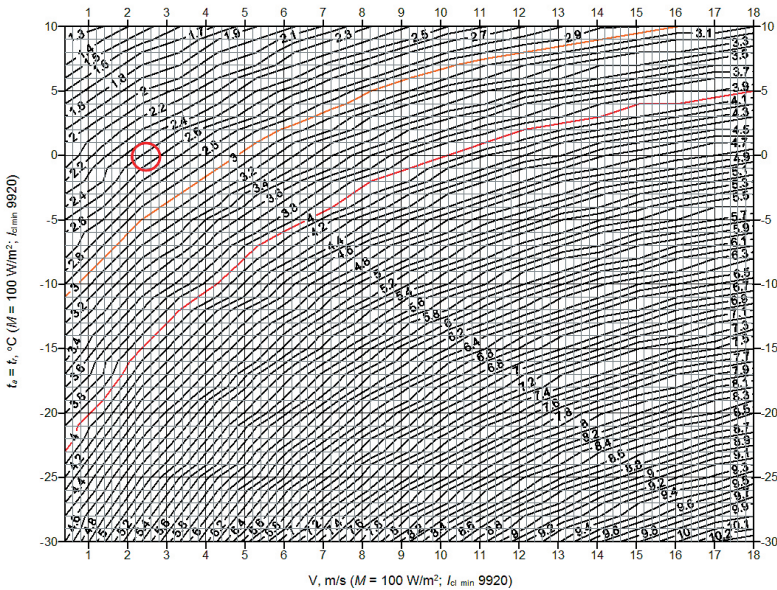
Na potrzeby procedury sporządzono wykresy (diagramy), z których odczytuje się wartości optymalnej izolacyjności cieplnej odzieży, $I_{cl\ opt}$ (w clo). Diagramy opracowano dla prędkości przepływu powietrza w zakresie zmienności $0,4\text{ m/s} \leq v \leq 18\text{ m/s}$ (oś X) i temperatury powietrza w zakresie zmienności $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t_a = t_r \leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (oś Y) oraz zakładając, że $t_a = t_r$, co często występuje w praktyce. Do obliczeń przyjęto stałą wartość przepuszczalności powietrza przez odzież, $p = 8$ (w $\text{l/m}^2 \cdot \text{s}$), która jest najczęściej stosowana w przypadku odzieży zimowej, oraz stałą wilgotność powietrza $rh = 85\%$.

Tabela 1. Przedziały zmienności parametrów mikroklimatu i metabolizmu przyjmowane w normie PN-EN ISO 11079 [1]

PARAMETR	OPIS PARAMETRU	PRZEDZIAŁ ZMIENNOŚCI
$M, \text{W/m}^2$	metabolizm	$58 \leq M \leq 290$
$I_{cl}, \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ (clo)	podstawowa izolacyjność cieplna odzieży	$I_{cl} \geq 0,078$ ($I_{cl} > 0,5$)
$t_a, ^\circ\text{C}$	temperatura otaczającego powietrza	$t_a \leq 10$
$t_r, ^\circ\text{C}$	temperatura promieniowania	przyjmuje się często $t_r = t_a$
$v, \text{m/s}$	prędkość przepływu powietrza	$0,4 \leq v \leq 18$
p_a, Pa	ciśnienie cząstkowe pary wodnej	≤ 1227

W środowisku zimnym wpływ wilgotności powietrza na straty ciepła w wyniku parowania potu, zwłaszcza w zakresie ujemnej temperatury, jest niewielki i w małym stopniu zależy od jej wartości. Diagramy sporządzono dla wartości metabolizmu $M = 100, 150, 200$ i 250 W/m^2 . Przykład takiego diagramu pokazano na rysunku 3. Przedstawia on zależność izolacyjności $I_{cl, \text{opt}}$ od temperatury środowiska zewnętrznego zmieniającej się w zakresie $-30 \text{ }^\circ\text{C} \leq t_a = t_r \leq 10 \text{ }^\circ\text{C}$ (oś Y) oraz prędkości przepływu powietrza $0,4 \text{ m/s} \leq v \leq 18 \text{ m/s}$ (oś X), dla ustalonej wartości wydatku energetycznego $M = 100 \text{ W/m}^2$. Kolorem pomarańczowym i czerwonym oznaczono izololinie izolacyjności cieplnej odzieży $I_{cl} = 3 \text{ clo}$ i $I_{cl} = 4 \text{ clo}$ określające graniczne, najwyższe wartości izolacyjności cieplnej odzieży produkowanej obecnie i, wg normy ISO 9920 [5], przeznaczonej do pracy w warunkach arktycznych.

Z wykresu można odczytać (środek okręgu zaznaczonego na rys. 3), że dla wydatku energetycznego wynoszącego 100 W/m^2 , w środowisku zimnym o temperaturze powietrza $t_a = t_r = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ i prędkości wiatru $v = 2,5 \text{ m/s}$, należy używać odzieży o izolacyjności cieplnej $2,5 - 2,6 \text{ clo}$. Zapewni ona użytkownikowi dostateczną i bezpieczną dla zdrowia ochronę w ciągu ośmiu godzin pracy, jednak będzie odczuwał w tym czasie zimno.

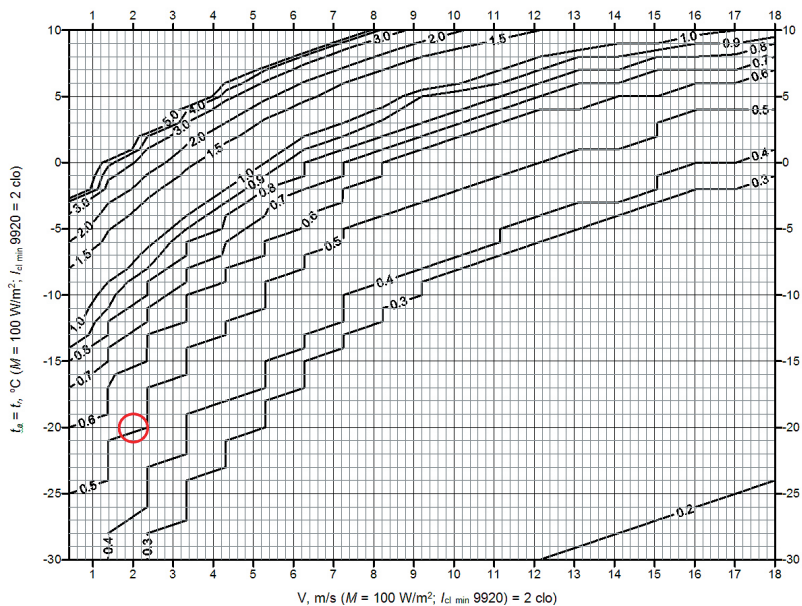


Rys. 3. Wartości izolacyjności cieplnej odzieży $I_{cl\text{opt}} = I_{cl\text{min}}$ (w clo), dla wydatku energetycznego $M = 100 \text{ W/m}^2$

Wykres, którym się posłużono w ramach tego przykładu, został opracowany dla odzieży o izolacyjności cieplnej oznaczonej symbolem $I_{cl\text{min}}$ 9920, tj. dla dużego obciążenia fizjologicznego odczuwanego jako „zimno”, dopuszczalnego dla zdrowia, ale osiąganego po zastosowaniu odzieży o *minimalnej* oporności cieplnej $IREQ_{\text{minimal}}$ [1, 5]. Odczucia neutralne, określane także jako komfort cieplny, zapewni użytkownikowi w tych samych warunkach odzież o większej izolacyjności cieplnej równej 2,9 – 3 clo. Wartość tę można określić z wykresu sporządzonego dla warunku $I_{cl\text{neutral}}$ 9920, tj. dla małego obciążenia fizjologicznego odczuwanego jako neutralne odczucie ciepłe, które jest osiąganego po zastosowaniu odzieży o izolacyjności $IREQ_{\text{neutral}}$, zapewniającej stan równowagi cieplnej przy minimalnym obciążeniu układu termoregulacji człowieka w występujących warunkach [1, 5].

Czas bezpiecznej ekspozycji w odzieży o izolacyjności cieplnej niewystarczającej w stosunku do warunków mikroklimatu lokalnego określa się z diagra-

mów sporządzonych dla wartości izolacyjności cieplnej $I_{cl} = 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3$ clo i następujących parametrów środowiska: $-30\text{ °C} \leq t_a = t_r \leq 10\text{ °C}$ (oś Y) i $0,4\text{ m/s} \leq v \leq 18\text{ m/s}$ (oś X). Przykład takiego diagramu pokazano na rysunku 4. Widoczne są na nim izolinie dopuszczalnego czasu ekspozycji (w godzinach) pracownika ubranego w odzież o izolacyjności cieplnej $I_{cl\text{ opt}} = 2$ clo i metabolizmie $M = 100\text{ W/m}^2$, w zależności od temperatury powietrza $t_a = t_r$ (w °C) i prędkości przepływu powietrza v (w m/s).



Rys. 4. Diagram służący do określania dopuszczalnego czasu ekspozycji (w godzinach) pracownika w odzieży o izolacyjności cieplnej $I_{cl\text{ opt}} = 2$ clo, dla wydatku energetycznego $M = 100\text{ W/m}^2$, w zależności od temperatury powietrza $t_a = t_r$ i prędkości przepływu powietrza v

Z wykresu odczytuje się (środek okręgu zaznaczonego na rys. 4), że w środowisku zimnym o temperaturze powietrza $t_a = -20\text{ °C}$ i prędkości wiatru $v = 2\text{ m/s}$, w odzieży o izolacyjności $I_{cl\text{ min}} = 2$ clo i dla wydatku energetycznego 100 W/m^2 , dozwolony czas pracy wynosi nieco więcej niż 0,5 godziny.

Diagramy opracowane dla mikroklimatu zastępczego i lokalnego **w zakresie przypisanym parametrom środowiska zimnego** zamieszczono w załączniku 1 do „Procedury...” (patrz rozdz. 1).

10. Wartości parametrów mikroklimatu zastępczego zawarte w zakresie przypisanym środowisku cieplnemu umiarkowanemu – opis przypadku

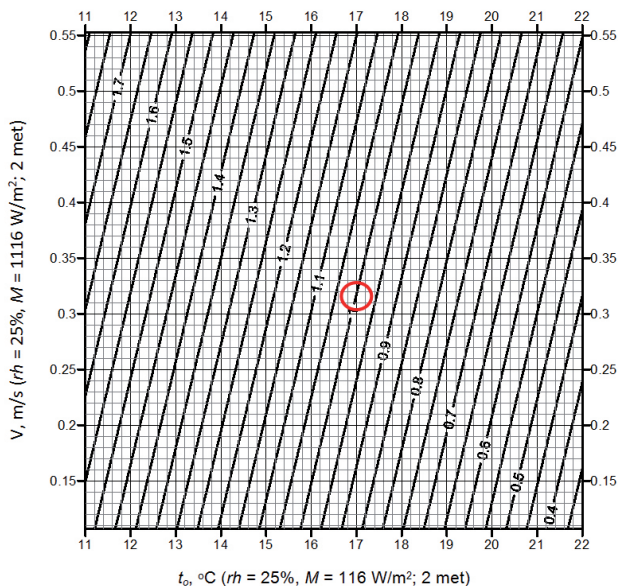
Środowisko cieplne określone jako umiarkowane jest opisane parametrami mikroklimatu i metabolizmem zmieniającymi się w zakresach podanych w tabeli 2.

Tabela 2. Przedziały zmienności parametrów mikroklimatu i metabolizmu przyjmowane w normie PN-EN ISO 7730

PARAMETR	OPIS PARAMETRU	PRZEDZIAŁ ZMIENNOŚCI
$M, \text{W/m}^2$	metabolizm	$46 \leq M \leq 232$
$I_{cl}, \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ (clo)	podstawowa izolacyjność cieplna odzieży	$0 \leq I_{cl} \leq 0,310$ ($0 \leq I_{cl} \leq 2$)
$t_a, ^\circ\text{C}$	temperatura otaczającego powietrza	$10 \leq t_a \leq 30$
$t_r, ^\circ\text{C}$	temperatura promieniowania	$10 \leq t_r \leq 40$
$v, \text{m/s}$	prędkość przepływu powietrza	$0 \leq v \leq 1$
p_a, Pa	ciśnienie cząstkowe pary wodnej	$0 \leq p_a \leq 2500$

Do oceny oddziaływania środowiska umiarkowanego na organizm człowieka stosowany jest wskaźnik *PMV* (ang. *predicted mean vote* – przewidywana średnia ocena). Opiera się on na wrażeniach cieplnych odczuwanych przez większość ludzi przebywających w danym środowisku cieplnym. Do wyrażania odczuć cieplnych i ich intensywności przyjęto 7-stopniową skalę: zimno (-3), chłodno (-2), lekko chłodno (-1), neutralnie (0), lekko ciepło (+1), ciepło (+2), gorąco (3) [2]. Wrażenia te odnoszą się do całego ciała człowieka. Ze wskaźnikiem *PMV* jest związany wskaźnik – *PPD* (ang. *predicted percentage of dissatisfied*) określający przewidywany procent osób niezadowolonych z odczuwanych wrażeń cieplnych. Optymalne warunki pracy w *środowisku cieplnym umiarkowanym* określa nierówność $-0,5 < PMV < +0,5$ [2]. Wyznacza ona granice tzw. *komfortu cieplnego*, sprzyjające utrzymaniu równowagi cieplnej organizmu człowieka z otoczeniem minimalnym kosztem fizjologicznym. W tych warunkach średnia ważona temperatura powierzchni skóry człowieka utrzymuje się w zakresie zmienności $32\text{ °C} \leq t_{sk} \leq 34\text{ °C}$, a temperatura wnętrza ciała na poziomie $t_{cr} \approx 37\text{ °C}$. Środowisko ciepłe jest wówczas odczuwane przez większość ludzi jako neutralne i 90% spośród nich jest zadowolonych z warunków cieplnych środowiska ($PPD = 10\%$).

Opierając się na wymienionych założeniach, sporządzono diagramy w celu znalezienia optymalnej wartości izolacyjności cieplnej odzieży $I_{cl\text{ opt}}$ (w clo) w zależności od kombinacji wartości temperatury operatywnej t_o (oś *X*), prędkości przepływu powietrza v (oś *Y*), wartości metabolizmu M i trzech ustalonych wartości wilgotności względnej powietrza $rh = 25, 50$ i 75% . Za normą PN-EN ISO 7730 [2] przyjęto ciąg zmienności wartości metabolizmu $M = 81, 93, 104, 116, 174, 232\text{ W/m}^2$. Dla każdej z wymienionych sześciu wartości metabolizmu istnieją zatem trzy diagramy. Różnią się przyjętą w obliczeniach wartością wilgotności względnej powietrza, rh . Wartości $I_{cl\text{ opt}}$ dla innych wilgotności powietrza należy określać metodą interpolacji lub, kiedy $rh < 25\%$ lub $rh > 75\%$, ekstrapolacji liniowej. Dalej przedstawiono przykład diagramu służącego do określenia wartości $I_{cl\text{ opt}}$ dla wydatku energetycznego $M = 116\text{ W/m}^2$ i względnej wilgotności powietrza $rh = 25\%$ (rys. 5).



Rys. 5. Optymalne wartości izolacyjności cieplnej odzieży, $I_{cl, opt}$, dla wydatku energetycznego $M = 116 \text{ W/m}^2$ i $rh = 25\%$ w zależności od wartości temperatury operatywnej t_o i prędkości przepływu powietrza v

Z wykresu można odczytać (środek okręgu zaznaczonego na rys. 5), że w odzieży o izolacyjności cieplnej $I_{cl, opt} \approx 1 \text{ clo}$, w temperaturze powietrza $t_a = t_r = 17 \text{ }^\circ\text{C}$, dla prędkości przepływu powietrza $v \approx 0,31 \text{ m/s}$ i wilgotności $rh = 25\%$ oraz metabolizmu $M = 116 \text{ W/m}^2$, 90% pracowników będzie miało w tym środowisku neutralne odczucia cieplne. Diagramy opracowane dla mikroklimatu zastępczego (MKZ) o zakresie zmienności parametrów przypisanym **środowisku cieplnemu umiarkowanemu** zamieszczono w **załączniku 2** do „Procedury...”.

11. Wartości parametrów mikroklimatu lokalnego zawarte w zakresie zmienności przypisanym środowisku gorącemu – opis przypadku

Cechą szczególną środowiska gorącego są warunki, w których oddawanie ciepła z organizmu człowieka do otoczenia jest możliwe tylko za pośrednictwem parowania potu, ponieważ temperatura powierzchni skóry często jest niższa od temperatury otoczenia. Na użytek omawianej procedury przyjęto, że praca w *środowisku gorącym* to krótkotrwały, kilkunastominutowy epizod, kiedy pracownik przebywa na stanowisku znajdującym się w mikroklimacie lokalnym (MKL) o tych właściwościach. Temperatura powietrza w tym środowisku osiąga wartość t_{max} , najwyższą wśród pozostałych MKL.

Do oceny obciążenia cieplnego organizmu człowieka w środowisku gorącym wykorzystano metodę zawartą w normie PN-EN ISO 7933:2005 [4].

Środowisko cieplne gorące w wymienionej normie jest zdefiniowane parametrami mikroklimatu oraz metabolizmem zmieniającymi się w zakresach zamieszczonych w tabeli 3.

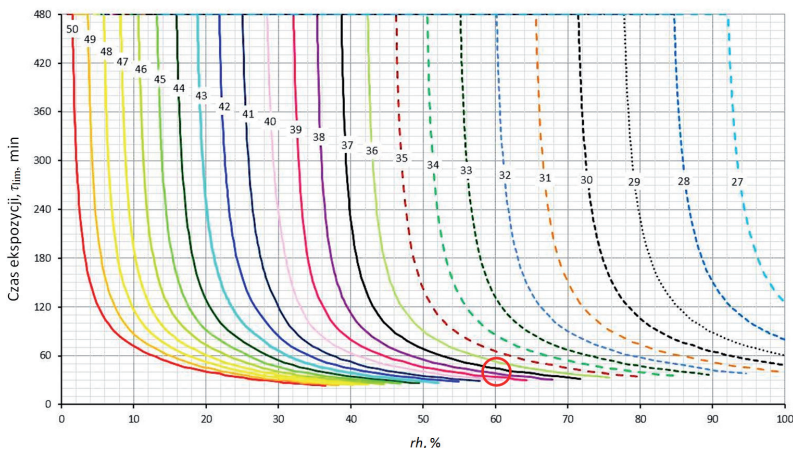
Dopuszczalny czas ekspozycji pracownika w środowisku gorącym oblicza się za pomocą programu komputerowego, którego postać źródłowa jest dostępna w normie PN-EN ISO 7933 [4]. Jest to prognozowany czas pracy, który w występujących warunkach i przy określonym wysiłku fizycznym upłynie od momentu rozpoczęcia pracy do chwili, kiedy temperatura wnętrza ciała pracownika ubranego w odzież o izolacyjności $I_{cl\ opt}$ osiągnie wartość 38 °C.

Opierając się na wynikach wykonanych obliczeń, sporządzono diagramy przeznaczone do określenia dozwolonego czasu ekspozycji pracownika τ_{lim} (oś Y diagramu), ubranego w odzież o izolacyjności $I_{cl\ opt} = 0,6$ oraz 1 clo, przy wydatku energetycznym M , w zależności od temperatury i wilgotności względnej powietrza rh (oś X). Obliczenia wykonano dla ciągu wartości

metabolizmu $M = 100, 150, 200, 250 \text{ W/m}^2$. Przykład diagramu przeznaczonego do określania dozwolonego czasu ekspozycji jako funkcji czterech zmiennych: $l_{cl} = 1 \text{ clo}$, $M = 150 \text{ W/m}^2$, $t_a = t_r$, rh , pokazano na rysunku 6.

Tabela 3. Przedziały zmienności parametrów mikroklimatu i metabolizmu w środowisku ciepłym gorącym przyjmowane w normie PN-EN ISO 7933 [4]

PARAMETR	OPIS PARAMETRU	PRZEDZIAŁ ZMIENNOŚCI
$M, \text{W/m}^2$	metabolizm	$100 \leq M \leq 450$
$l_{cl}, \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ (clo)	podstawowa izolacyjność cieplna odzieży	$0,0155 \leq l_{cl} \leq 0,155$ (0,1 $\leq l_{cl} \leq 1$)
$t_a, ^\circ\text{C}$	temperatura otaczającego powietrza	$15 \leq t_a \leq 50$
$t_r - t_a, ^\circ\text{C}$	różnica między temperaturą promieniowania i temperaturą powietrza	$0 \leq t_r - t_a \leq 60$
$v, \text{m/s}$	prędkość przepływu powietrza	$0 \leq v \leq 3$
p_a, Pa	ciśnienie cząstkowe pary wodnej	$0 \leq p_a \leq 4500$



Rys. 6. Diagram służący do określania (odczytu) dozwolonego czasu ekspozycji, τ_{lim} , pracownika ubranego w odzież o izolacyjności cieplnej $l_{cl} = 1 \text{ clo}$, przebywającego w środowisku o temperaturze zmieniającej się w zakresie $27^\circ\text{C} \leq t_a = t_r \leq 50^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej powietrza zawartej w przedziale $0\% \leq rh \leq 100\%$, dla wydatku energetycznego $M = 150 \text{ W/m}^2$

Poszczególne krzywe znajdujące się na diagramie, oznaczone różnymi kolorami, są izotermami o określonych na wykresie wartościach (w °C). Krzywe te odzwierciedlają związki łączące bezpieczny czas ekspozycji pracownika (oznaczony na osi Y wykresu; najmniejsza podziałka odpowiada 10 min) z warunkami określonymi czterema zmiennymi, tj. wartością izolacyjności cieplnej odzieży $I_{cl\ opt} = 1$ clo, metabolizmem $M = 150$ W/m², temperaturą otaczającego środowiska zmieniającą się w zakresie $27\text{ °C} \leq t_a = t_r \leq 50\text{ °C}$ i względną wilgotnością powietrza zawartą w przedziale $0\% \leq rh \leq 100\%$ (oś X).

Z wykresu można odczytać (środek okręgu zaznaczonego na rys. 6), że w odzieży o izolacyjności cieplnej $I_{cl\ opt} \approx 1$ clo, w temperaturze powietrza $t_a = t_r = 38\text{ °C}$, przy prędkości przepływu powietrza $v < 1$ m/s i wilgotności $rh = 60\%$ oraz wydatku energetycznym $M = 150$ W/m² dopuszczalny czas ekspozycji pracownika wynosi 40 min, natomiast jeśli wilgotność powietrza $rh = 35\%$, czas wydłuża się do 480 min. Diagramy opracowane dla mikroklimatu lokalnego, którego parametry mieszczą się w zakresie zmienności przypisanym **środowisku cieplnemu gorącemu**, zamieszczono w **załączniku 3** do „Procedury...”.

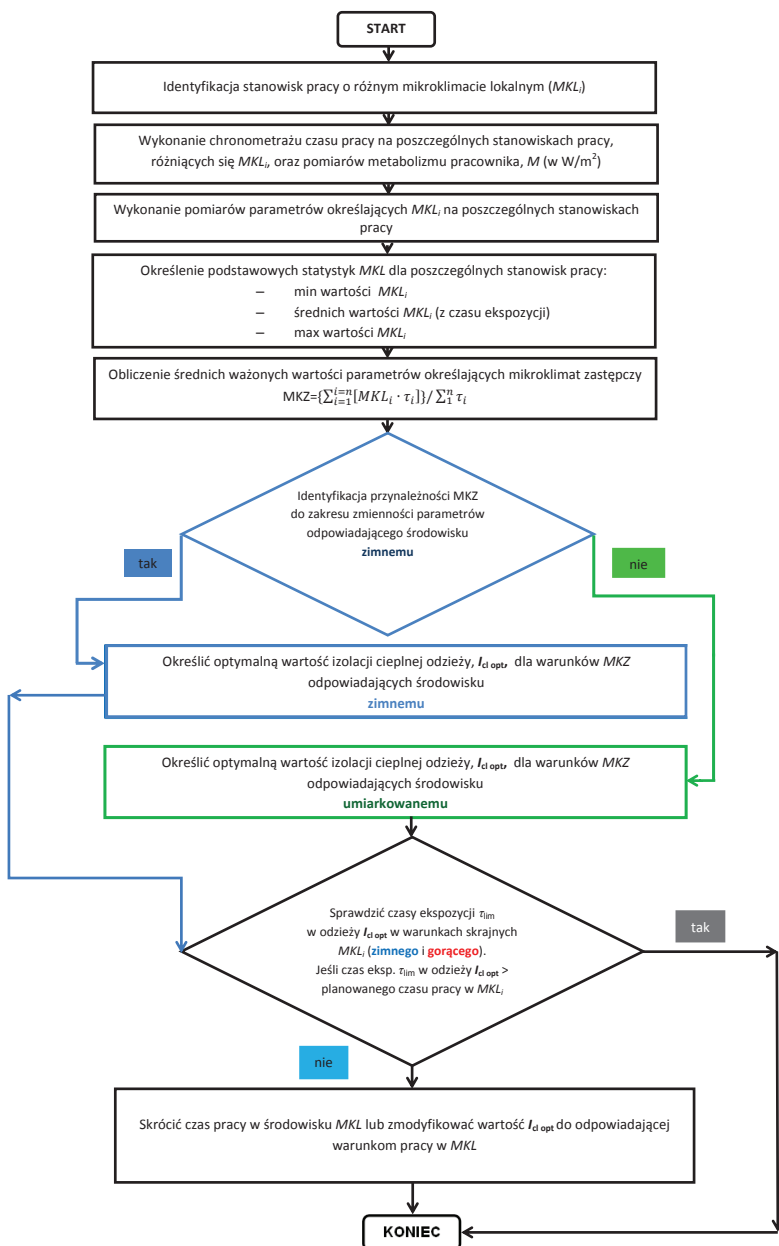
Opracowane diagramy służące do określenia dopuszczalnego czasu ekspozycji człowieka ubranego w odzież o izolacyjności cieplnej $I_{cl} = 1$ clo, przebywającego w środowisku gorącym, stwarzają dodatkowo możliwość przeprowadzenia ogólnej oceny obciążenia cieplnego człowieka. Wskaźnik *WBGT* nie nadaje się do tego celu. Jest on, jak wiadomo, powszechnie wykorzystywany do oceny obciążenia cieplnego oddziałującego na pracownika w środowisku gorącym w ciągu kilku godzin, ale dopuszcza użycie odzieży o izolacyjności cieplnej nieprzekraczającej 0,6 clo.

12. Kroki postępowania podczas doboru metodą analityczną odzieży o optymalnej izolacyjności cieplnej utrzymującej temperaturę wnętrza ciała pracownika w granicach dopuszczalnych i bezpiecznych dla zdrowia, w środowisku zmiennym termicznie

1. W środowisku pracy określanym ogólnie jako zmienne termicznie należy wyodrębnić stanowiska pracy różniące się mikroklimatami lokalnymi.
2. Należy określić czas przebywania pracownika na poszczególnych stanowiskach pracy różniących się mikroklimatem lokalnym. Poza tym trzeba określić wartości metabolizmu pracownika wiążące się z pracą wykonywaną na tych stanowiskach. Metabolizm najlepiej określić z bezpośrednich pomiarów wykonywanych na stanowiskach pracy. Można także przyjąć do obliczeń wartości odpowiadające wykonywanym czynnościom, wzięte z tablic.
3. W miejscach pracy wyróżniających się odmiennym mikroklimatem lokalnym należy wykonać pomiary podstawowych parametrów fizycznych określających mikroklimat lokalny, obejmujące: temperaturę powietrza t_a , temperaturę promieniowania t_r , prędkość przepływu powietrza v , wilgotność względną powietrza rh .
4. Opierając się na wynikach pomiarów wykonanych w n miejscach pracy o różnym mikroklimacie lokalnym, należy określić dla poszczególnych stanowisk pracy wartości średnie parametrów fizycznych środowiska. Spośród n rozpatrywanych stanowisk pracy

należy wybrać dwa skrajne o najniższej i najwyższej temperaturze otoczenia.

5. Należy obliczyć wartości średnie ważone parametrów określających mikroklimat zastępczy z wartości średnich parametrów fizycznych środowiska określających poszczególne środowiska pracy i czasów pracy określonych na tych stanowiskach.
6. Opierając się na obliczonych wartościach parametrów fizycznych określających mikroklimat zastępczy (*MKZ*) i średniej ważonej wartości metabolizmu \bar{M} , trzeba sprawdzić, czy należą one do zakresu zmienności przypisanego środowisku zimnemu. Jeżeli tak, to z diagramów opracowanych dla środowiska zimnego należy określić wartość izolacyjności cieplnej odzieży $I_{cl, opt}$ odpowiedniej dla warunków pracy w tym środowisku. Jeżeli nie, to z diagramów opracowanych dla środowiska umiarkowanego należy określić wartość izolacyjności cieplnej odzieży $I_{cl, opt}$ odpowiedniej dla warunków pracy w środowisku umiarkowanym.
7. Należy sprawdzić, czy czasy ekspozycji τ_{lim} pracownika ubranego w odzież o izolacyjności cieplnej $I_{cl, opt}$ w warunkach dwóch skrajnych mikroklimatów wyodrębnionych spośród n stanowisk pracy są większe od planowanych czasów pracy w tych środowiskach. Jeżeli są większe, to planowany czas ekspozycji pracownika w danym środowisku nie spowoduje akumulacji ciepła lub jego straty z organizmu przekraczających poziomy dopuszczalne ze względu na zdrowie. Po takim ustaleniu można zakończyć procedurę doboru odzieży o izolacyjności $I_{cl, opt}$ odpowiedniej do pracy w środowisku zmiennym termicznie. Czas τ_{lim} określa się z odpowiednich nomogramów.
8. Jeżeli czas τ_{lim} jest krótszy od planowanego czasu ekspozycji w danym środowisku pracy charakteryzującym się skrajnym mikroklimatem, należy zmodyfikować używaną odzież, zmieniając wartość jej izolacyjności cieplnej do odpowiadającej warunkom pracy w tym środowisku.



Rys. 7. Schemat postępowania przy doborze odzieży o optymalnej izolacyjności cieplnej

13. Podsumowanie

Przedmiotem przeprowadzonych badań było obciążenie cieplne pracowników zatrudnionych w warunkach środowiska zmiennego termicznie. Wykazano, że podczas częstych zmian środowiska cieplnego, wynikających ze specyfiki wykonywanej pracy, w organizmach pracowników dochodzi do występujących na przemian akumulacji i straty ciepła, a w konsekwencji temperatura wnętrza ich ciała ulega zmianie, lecz jest utrzymywana przez czas pracy w granicach zmienności dopuszczalnej dla zdrowia. Zmiany temperatury wnętrza ciała człowieka spowodowane oddziaływaniem środowiska zmiennego termicznie można w uproszczeniu przyrównać do zmian temperatury wnętrza kuli przemieszczającej się ruchem wahadłowym między środowiskiem o temperaturze $+t_c$ i środowiskiem o temperaturze $-t_c$. Temperatura wnętrza kuli nie zmieni się z upływem czasu, ponieważ ciepło zyskane przez nią w środowisku o temperaturze dodatniej zostanie zwrócone do środowiska o temperaturze ujemnej.

Jeśli utrzyma się czas pracy zgodnie z ustalonym wcześniej chronometrażem, można oczekiwać, że w środowisku zmiennym termicznie bezwładność cieplna organizmu człowieka i izolująca go od wpływu otoczenia odzież, odpowiednio dobrana do przeciętnych warunków określonych jako mikroklimat zastępczy, przyczynią się do zachowania temperatury wnętrza jego ciała na poziomie dopuszczalnym ze względu na zdrowie, tzn. w zakresie $36\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t_{cr} \leq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Piśmiennictwo

1. 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.*
2. 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.*

3. PN-EN 27243:2005 *Środowiska gorące – Wyznaczanie obciążenia termicznego działającego na człowieka podczas pracy, oparte na wskaźniku WBGT.*
4. PN-EN ISO 7933:2005 *Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczeń przewidywanego obciążenia termicznego (oryg.).*
5. PN-EN ISO 9920:2008 *Ergonomia środowiska termicznego. Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży.*
6. PN-EN ISO 9886:2005 *Ergonomia – Ocena obciążenia termicznego na podstawie pomiarów fizjologicznych.*