

dr inż. MAGDALENA MŁYNARCZYK (ORCID: 0000-0002-9218-9781)

dr JOANNA ORYSIAK (ORCID: 0000-0002-4998-2274)

dr hab. inż. EMILIA IRZMAŃSKA (ORCID: 0000-0001-8138-5552)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: m.mlynarczyk@ciop.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0015.0304

# Wpływ ekspozycji na zimno na sprawność manualną pracownika używającego rękawic ochronnych



Fot. Maridav/Bigstockphoto

Ekspozycja na środowisko zimne może negatywnie wpływać na organizm pracownika. Niekorzystne warunki mogą prowadzić do wychłodzenia części dystalnych, jak również organizmu, a nawet do hipotermii. W artykule skupiono uwagę na jednym z elementów wpływu środowiska zimnego na organizm człowieka, a dokładniej na sprawności manualnej. Przedstawiono w nim wpływ środowiska zimnego na zmiany sprawności rąk, co z kolei może się przekładać m.in. na zwiększenie liczby wypadków, a więc bezpieczeństwo pracy.

*Słowa kluczowe: środowisko zimne, sprawność manualna, ekspozycja na zimno*

## The impact of exposure to cold on manual skills of a worker using protective gloves

Exposure to a cold environment may have a negative effect on the worker's body. Unfavorable conditions can lead to the cooling of the distal parts as well as the body, and even to hypothermia. The following article focuses on one of the elements of the influence of the cold environment on the human body – on manual skills. It presents the influence of the cold environment on changes in hand dexterity, which in turn may translate into e.g. to increase the number of accidents, and therefore work safety.

*Keywords: cold environment, manual skill, exposure to cold*

## Wstęp

Mikroklimat zimny odnosi się do warunków środowiska termicznego, w których temperatura powietrza wynosi poniżej 10°C, a prędkość jego ruchu i wilgotność względna są większe odpowiednio od wartości 0,1 m/s i 5% [1]. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego w 2019 r. w środowisku zimnym zatrudnionych było ponad 9 tys. pracowników [2]. Należy zaznaczyć, że ok. 45% osób narażonych pracowało w handlu, a 41% w szeroko pojętym przemyśle (rys. 1.).

Osoby pracujące w mikroklimacie zimnym są narażone na wychłodzenia części dystalnych (maksymalnie zewnętrznych – przyp. red.) ciała, organizmu, prowadzące nawet do hipotermii. Zapobieżenie tej sytuacji wymaga od organizmu człowieka maksymalnej mobilizacji wszystkich mechanizmów adaptacyjnych. Dlatego poznanie odpowiedzi fizjologicznych organizmu w tym aspekcie jest tak istotne i może pomóc w niwelowaniu skutków oddziaływania środowiska zimnego na człowieka. Ta wiedza jest także kluczowa w procesach projek-

owania ochron rąk, zmierzających do usprawnienia ochrony termicznej i poprawy komfortu użytkownika w zimnym środowisku pracy.

Celem artykułu jest przeanalizowanie wpływu ekspozycji na zimno na wybrane aspekty sprawności manualnej pracownika, który używa rękawic ochronnych. Omówiono również kwestie doboru tego środka ochrony indywidualnej.

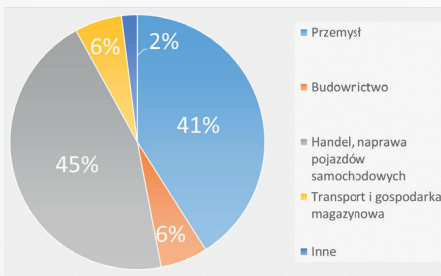
## Stres zimna

Osoby pracujące w mikroklimacie zimnym są narażone na występowanie tzw. stresu zimna, wychłodzenia organizmu (czyli długu cieplnego), zwanego także *cooling stress* (termin pochodzi z j. angielskiego), będącego wynikiem nadmiernej, nie zrównoważonej utraty ciepła z organizmu [3]. Przyczyną takiego zjawiska jest znaczna różnica między temperaturą powierzchni ciała i temperaturą powietrza, co sprzyja utracie ciepła drogą konwekcji i promieniowania [4]. Wychłodzenie może mieć charakter globalny (wychłodzenie całego ciała) lub lokalny (wychłodzenie niektórych obszarów ciała).

Do globalnego wychłodzenia dochodzi wtedy, gdy ilość ciepła produkowanego przez procesy zachodzące w organizmie w celu utrzymania homeostazy (temperatury wnętrza ciała na określonym poziomie 37±1°C) jest mniejsza niż ilość ciepła odbierana przez środowisko zewnętrzne. W środowisku zimnym podstawowymi reakcjami termoregulacyjnymi są zachowanie ciepła oraz jego wytwarzanie wewnątrz [4].

Najwcześniej uruchamianym mechanizmem oszczędzającym ciepło jest skurcz naczyń krwionośnych w skórze całego ciała, zwłaszcza w obszarach, które zostały wychłodzone (kończyny, nos, uszy, twarz) [5]. Powoduje to zmniejszenie krążenia obwodowego, a w konsekwencji – ograniczenie utraty ciepła z wnętrza ciała [4].

Drugim mechanizmem ułatwiającym zachowanie ciepła jest wzrost jego produkcji na drodze tzw. termogenezy bezdrżeniowej (pobudzanej przez współczulny układ nerwowy i hormony tarczycy) i drżeniowej (w której produkcja ciepła następuje w wyniku drżenia mięśni szkieletowych, niezależnie od woli człowieka) [4, 5].



Rys. 1. Procentowy podział pracowników zatrudnionych w środowisku zimnym w 2019 r. [2]

Fig. 1. Percentage distribution of employees working in a cold environment in 2019 [2]

Należy zaznaczyć, że obniżenie temperatury wnętrza ciała wpływa na efektywność wykonywanej pracy [5, 6], natomiast w skrajnych przypadkach zaburza także mechanizmy instynktu samozachowawczego [7].

Do lokalnego działania mikroklimatu zimnego można zaliczyć [7]:

- bezpośredni kontakt określonych partii ciała z zimnymi powierzchniami
- chłodzenie nieostryżonych obszarów skóry
- chłodzenie organizmu przez drogi oddechowe
- chłodzenie kończyn.

Pierwszymi efektami wychłodzenia lokalnego są: skurcz obwodowych naczyń krwionośnych oraz wychłodzenie części dystalnych. Przekładają się one na [7]:

- obniżenie zdolności do wysiłku
- wydłużenie czasu reakcji
- zmniejszenie siły skurczu mięśni
- upośledzenie precyzji ruchów
- utrudnienie utrzymania równowagi.

Można wtedy zaobserwować spadek wydajności pracy oraz wzrost częstości występowania wypadków. Warto podkreślić, że również praca manualna jest w takich warunkach wykonywana z mniejszą sprawnością, ponieważ zręczność palców i precyzja ruchów ulegają pogorszeniu [5].

## Temperatury krytyczne dla sprawności manualnej

Możliwości czynnościowe ręki ulegają znacznemu pogorszeniu w warunkach ekspozycji na zimno. Ze względu na małą masę i względnie dużą powierzchnię przez dłonie i palce (gdy temperatura ich skóry wynosi ok. 30-35°C) są tracone spore ilości ciepła [5]. Ważnym czynnikiem prognostycznym do oceny sprawności manualnej jest właśnie temperatura skóry ręki [8]. Ponieważ jednak na sprawność manualną wpływa wiele czynników, trudno jest dokładnie określić związek między temperaturą skóry rąk a przewidywanymi stratami funkcji sensorycznych i motorycznych [6, 9]. Sugeruje się, że istotne pogorszenie funkcji rąk występuje, gdy temperatura skóry spada poniżej 14-15°C (tab. 1.) [8, 10]. Kluczowe jest zatem niedopuszczenie do obniżenia temperatury skóry rąk poniżej przyjętego granicznego poziomu. Według PN-EN ISO 9886:2005 [13] minimalna temperatura skóry w zimnym środowisku wynosi 15°C (dotyczy to zwłaszcza twarzy, palców

i paluchów). Zmniejszenie sprawności manualnej obserwuje się już w zakresie temperatury skóry 12-20°C (tab. 2.) [6].

Należy pamiętać, że bezpośredni kontakt palców z zimnymi powierzchniami powoduje większy uraz termiczny niż ekspozycja na działanie niskiej temperatury powietrza.

## Wpływ ekspozycji na zimno na sprawność manualną

Ręce i stopy odgrywają ważną rolę w termoregulacji – służą jako „izolatory ciepłe” w środowisku zimnym [14]. Podczas pracy w niskiej temperaturze pracownicy napotykać dwa rodzaje problemów związanych z rękami.

Po pierwsze, temperatura rąk zostaje obniżona, co prowadzi do zmniejszenia sprawności manualnej pracownika [6, 11]. Pod wpływem zimna obserwuje się bowiem pogorszenie:

- czułości (wrażliwości) dotykowej
- funkcjonowania mięśni
- ruchliwości palców
- siły uścisku (chwytu)
- sprawności manualnej
- funkcji motorycznych rąk.

Zwiększenie bolesności i pobudzenia może też prowadzić do obniżenia ogólnej zdolności do wykonywania pracy [6, 14]. Zmniejszona sprawność manualna wpływa na pogorszenie efektywności pracownika, a poza tym może powodować wzrost liczby wypadków [10, 11].

Po drugie, pojawia się ryzyko uszkodzenia tkanek z powodu odmrożenia lub ryzyko innych

obrażeń, niespowodowanych odmrożeniem. Może się tak zdarzyć po długim chłodzeniu, w przypadku narażenia na silny wiatr lub nawet po krótkotrwałym dotykaniu zimnych powierzchni o wysokiej przewodności cieplnej [11].

Zdolność do wykonywania manualnych czynności zależy od wielu czynników, takich jak: szybkość chłodzenia i jego charakter (chłodzenie centralne lub peryferyjne) oraz rodzaj wykonywanego zadania [6]. Ogólnie można stwierdzić, że [6]:

- wolniejsze i długotrwałe chłodzenie prowadzi do większego spadku sprawności manualnej niż chłodzenie szybsze i krótkotrwałe
- chłodzenie peryferyjne obniża sprawność manualną w większym stopniu niż chłodzenie centralne
- jeśli jakaś część kończyny inna niż palce (np. przedramię) jest chłodzona, to mimo że palce są utrzymywane w cieple, sprawność manualna może zostać osłabiona
- wpływ zimna na palce wydaje się najbardziej widoczny podczas wykonywania prac precyzyjnych.

Dotychczasowe badania pokazują, że ekspozycja na zimno powoduje upośledzenie funkcji czuciowych, nerwowo-mięśniowych i stawów, a to skutkuje zmniejszeniem sprawności manualnej [6].

## Przypadki utraty sprawności manualnej

Dalej omówiono wpływ wybranych czynników (takich jak: rodzaj wykonywanej pracy, czucie

Tabela 1. Temperatury krytyczne dla różnych struktur fizjologicznych, powodujące znaczne pogorszenie sprawności manualnej [11, 12]

Table 1. Critical temperatures for various physiological structures, causing a significant deterioration in manual dexterity [11, 12]

Struktury fizjologiczne	Temperatura krytyczna [°C]
Receptory	10
Nerwy	20
Stawy	24
Mięśnie (zależnie od pracy/zadania)	28-38
Skóra	15

Tabela 2. Zmiany sprawności rąk w zależności od ich temperatury [5]

Table 2. Changes in the efficiency of the hands depending on their temperature [5]

Zakres temperatury [°C]	Funkcje rąk
32-36	Optymalne funkcje pracy ręki
27-32	Początek zmian zręczności, precyzji i szybkości
20-27	Obniżenie sprawności wykonywania prac polegających na manipulowaniu małymi przedmiotami, zmniejszona wytrzymałość
15-20	Obniżenie sprawności pracy całą ręką i palcami, sporadyczne odczuwanie bólu
10-15	Ograniczenie siły mięśni i koordynacji ruchów, odczuwanie ciągłego bólu
< 10	Zdrętwienie rąk, sprawność rąk ograniczona do prostych ruchów – ściskania, popychania, okresowe rytmiczne rozszerzenie naczyń skóry (fale Lewisa)
6-8	Blokada receptorów bólu i temperatury

skórne, prędkość przewodzenia nerwowego czy temperatura mięśni) na sprawność manualną.

### Rodzaj zadania (pracy)

Kiedy temperatura rąk się obniża (a przepływ krwi się zmniejsza), stopniowo pogarsza się sprawność manualna. Z tego powodu utrzymywanie temperatury (ciepła) palców, rąk i przedramienia jest ważne w kontekście prawidłowego funkcjonowania ręki [15]. Procentowy spadek efektywności w przypadku obniżonej temperatury skóry zależy od rodzaju wykonywanego zadania (tab. 3.). Zmniejszenie wydajności jest tym większe, im silniej wykonywana praca zależy od sprawności palców [11].

Tabela 3. Procentowa utrata wydajności (efektywności) w pracy w przypadku obniżenia temperatury skóry z 24°C do 7°C [11]

Table 3. Percentage loss of efficiency (effectiveness) at work, when the skin temperature is reduced from 24°C to 7°C [11]

Typ pracy (zadania)	% utraty wydajności
Napełnianie pudełek kostkami (2,5 cm)	11
Nawlekanie igły z nitką przez kostkę	22
Ręczne mocowanie śrub	26
Wiązanie liny	28
Mocowanie śrub za pomocą śrubokręta	36
Zakładanie pierścieni wokół szpilek	38

### Wrażliwość receptorów skórnych

Receptory wpływające na sprawność manualną są umiejscowione m.in. w skórze (receptory odpowiedzialne za odczucie bólu, dotyku, ucisku, temperatury). Blokada nerwowa (a więc „nie-wrażliwość” np. na ból) występuje, gdy temperatura skóry wynosi ok. 6°C.

Wrażliwość (czucie) spada bardzo szybko, gdy temperatura skóry wynosi 6-8°C. Gdy skóra dłoni i palców osiągnie 8°C, sprawność manualna zmniejsza się z powodu utraty wrażliwości (czucia). Powyżej tej temperatury wrażliwość skórna (czucie skórne) nie wpływa na wydajność podczas wykonywania zadań manualnych [11].

### Przewodnictwo nerwowe

Zimno wpływa na prędkość przewodzenia nerwowego. Blok nerwowy pojawia się przy temperaturze nerwów (a nie temperaturze skóry) poniżej 10°C. To oznacza, że w ogóle nie ma przewodzenia impulsu nerwowego, a przetwarzanie sygnału nerwowego jest niemożliwe [11].

### Układ mięśniowy

Układ mięśniowy dostarcza niezbędną moc (siłę), aby ręce mogły wykonać określone zadania. Optymalna temperatura mięśni zależy

od rodzaju wykonywanej pracy. Do długotrwałego wysiłku statycznego wymagana jest niższa temperatura mięśni niż do pracy dynamicznej. W przypadku długotrwałej pracy statycznej najwyższa wydajność (efektywność) jest osiągana przy temperaturze mięśni 28°C, a w przypadku krótkotrwałej (kilkusekundowej) maksymalnej pracy statycznej – 38°C [11].

### Ochrona rąk przed mikroklimatem zimnym

Podczas wykonywania prac w niskiej temperaturze lub podczas kontaktu z zimnymi powierzchniami bardzo ważne jest zapewnienie odpowiedniej temperatury skóry rąk, aby nie dopuścić do obniżenia ich sprawności lub do odmrożeń [5]. Pracownika należy zatem wyposażać w odpowiednie rękawice chroniące przed zimnem [5]. Rękawice powinny [5, 16]:

- charakteryzować się odpowiednim poziomem izolacyjności cieplnej
- być wykonane z materiałów elastycznych i nieulegających uszkodzeniom pod wpływem niskiej temperatury
- zapewniać wygodę użytkowania
- umożliwiać manipulowanie palcami rąk
- być dopasowane do ręki użytkownika.

Rodzaj materiału, z którego wytworzono rękawice, ma istotny wpływ na ich dopasowanie i ergonomię, a więc także na sprawność manualną i możliwość wykonania różnych zadań manualnych (zręcznościowych) [16-19]. Sprawność manualna zależy ponadto od rodzaju zadań zawodowych oraz kształtu i powierzchni przedmiotów obsługiwanych przez pracowników [20].

Jak wykazano wcześniej, ochłodzenie rąk obniża precyzję i szybkość wykonywania zadań zawodowych. Aby rękawice spełniały swoją podstawową funkcję w zimnym środowisku, powinny się charakteryzować nie tylko odpowiednimi właściwościami ochronnymi, lecz także właściwościami ergonomicznymi, umożliwiającymi wykonywanie pracy manualnej w takich warunkach [16].

Reakcja skóry na kontakt z zimnym przedmiotem zależy od szybkości wymiany ciepła między tymi dwiema powierzchniami. Ta z kolei zależy od właściwości samej skóry i właściwości przewodnictwa powierzchni, z którą się kontaktuje. Istotne są też czas kontaktu i nacisk wywierany przez rękę na daną powierzchnię. Jak wiadomo, w podobnych warunkach większa utrata ciepła nastąpi wskutek kontaktu ręki z powierzchnią metalową niż np. z drewnianą [21, 22].

W miejscach pracy, gdzie występuje ryzyko wychłodzenia dystalnych części ciała, stosuje się rękawice i obuwie o właściwościach izolacyjnych. Dotyczy to np. produkcji, magazynowania i dystrybucji produktów spożywczych, ponieważ w tym przypadku wymagane jest wykonywanie prac w pomieszczeniach, w których celowo utrzymywane są warunki środowiska zimnego (jako przykłady można podać prace w chłodniach,

tunelach zamrażalniczych w zakładach przetwórstwa mięsa, ryb, mleka i serów, lodów i mrożonek, a także prace przy sortowaniu mrożonych warzyw i owoców).

Tradycyjne rękawice ochronne są produkowane z materiałów włókienniczych, ewentualnie z udziałem skór wodoodpornych, lub z materiałów powlekanych (najczęściej polichlorkiem winylu, kauczukiem nitylowym lub poliuretanem), a zwiększenie izolacyjności cieplnej uzyskuje się poprzez zastosowanie dodatkowych wkładów/podszewek ocieplających.

Proponowanymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi do tego typu zastosowań są najczęściej rękawice skórzane lub typowe rękawice skórzano-tkaninowe, w których zastosowano dwoiną skórzaną bądź skórę licową w części chwytnej oraz tkaninę bawełnianą w części grzbietowej. Wewnątrz rękawic stosowany jest wkład izolacyjny wykonany z tkanin, dzianin lub włókien bawełnianych, poliestrowo-bawełnianych, akrylowych, poliestrowo-wiskozowych itp. Spotyka się również rękawice z wkładem izolacyjnym, wykonane z tkanin albo tkanin i dzianin powleczone tworzywami sztucznymi, gumą z kauczuku naturalnego lub kauczuków syntetycznych. W przypadku rękawic chroniących przed zimnem trudno osiągnąć kompromis między zapewnieniem wysokich wartości parametrów ochronnych a jak najmniejszym ograniczeniem zdolności manipulowania palcami rąk, czyli tzw. wygodą użytkowania. Aby uzyskać większą ochronę przed wychłodzeniem rąk, w konstrukcji rękawic ochronnych trzeba umieścić więcej warstw materiałów zapewniających odpowiednią izolacyjność cieplną [23]. Stosowane materiały często charakteryzują się dużą masą powierzchniową i grubością oraz niską elastycznością. To powoduje obniżenie właściwości ergonomicznych rękawic i ogranicza lub uniemożliwia swobodne manipulowanie palcami rąk, a więc utrudnia wykonywanie czynności zawodowych. Z tego powodu pracownicy nierzadko rezygnują ze stosowania rękawic podczas wykonywania czynności wymagających większej precyzji. Ponadto pod wpływem niskiej temperatury materiały zastosowane w rękawicach sztywnieją i szybko ulegają uszkodzeniom mechanicznym, co może wpływać na skrócenie czasu przydatności rękawic do stosowania [22].

### Wymagania normatywne i dobór rękawic

Rękawice stanowiące ochronę przed zimnem powinny spełniać wymagania normy PN-EN 511:2009 [24], według której jedno z podstawowych badań dotyczy izolacyjności cieplnej w niskiej temperaturze. W zależności od wartości tego parametru, uzyskanej w badaniach laboratoryjnych (fot.), rękawice można zakwalifikować do jednego z czterech poziomów skuteczności (tab. 4.).

Tabela 4. Wartości izolacyjności cieplnej dla poszczególnych poziomów skuteczności według wymagań normy PN-EN 511:2009 [24]

Table 4. Thermal insulation values for individual efficiency levels according to the requirements of PN-EN 511:2009 [24]

Poziom skuteczności	Izolacyjność cieplna rękawic $I_{TR}$ [ $m^2 \cdot K/W$ ]
1	$0,10 \leq I_{TR} < 0,15$
2	$0,15 \leq I_{TR} < 0,22$
3	$0,22 \leq I_{TR} < 0,30$
4	$0,30 \leq I_{TR}$

W przypadku rękawic ochronnych wymagania dotyczące właściwości związanych z ochroną przed zimnem obejmują – zgodnie z PN-EN 511:2009 [24] – takie parametry, jak izolacyjność cieplna (straty ciepła na drodze konwekcji) i opór cieplny rękawic oraz dodatkowo, w stosunku do rękawic wykonanych z materiałów powleczonych gumą lub tworzywami sztucznymi, odporność na wielokrotne zginanie w niskiej temperaturze i odporność na jedno zgięcie w niskiej temperaturze (odporność na działanie niskiej temperatury).

Poza tym norma podaje, że rękawice chroniące przed zimnem powinny spełniać wymagania PN-EN 420+A1:2012 [25] w zakresie wymiarów i wartości pH wyciągu wodnego materiału rękawic (w przypadku rękawic skórzanych) oraz charakteryzować się co najmniej pierwszym poziomem odporności na ścieranie i rozdieranie według PN-EN 388+A1:2019-01 [26]. Wartość pH wyciągu wodnego bada się w przypadku wszystkich typów rękawic ochronnych, gdy materiał rękawicy kontaktuje się ze skórą użytkownika. Według PN-EN 511:2009 [24] w odniesieniu do rękawic chroniących przed zimnem powinno się badać (jeżeli jest to dodatkowo wymagane) przepuszczalność wody przez materiał rękawicy.

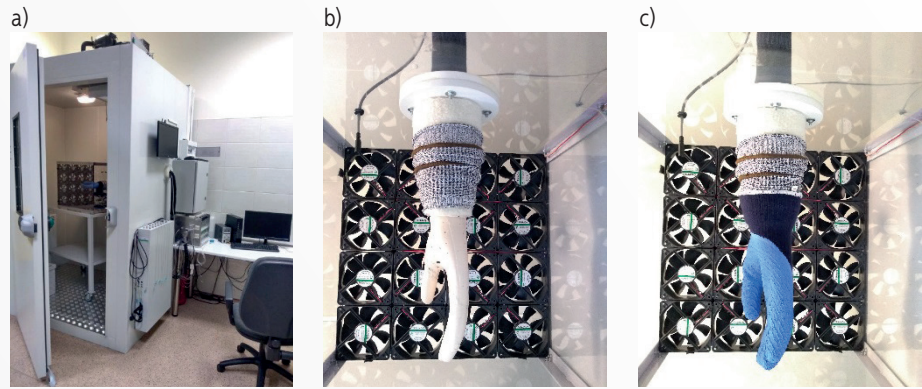
Warto również zwrócić uwagę na odpowiednie dopasowanie rękawicy do rąk użytkownika w celu zapewnienia mu odpowiedniej zręczności i możliwości wykonywania prac manualnych. Rozpatrując właściwości ochronne rękawic, trzeba ponadto wziąć pod uwagę czas ekspozycji na środowisko zimne oraz rodzaj powierzchni i kształty przedmiotów, którymi pracownicy manipulują podczas prac w rękawicach [22].

W celu prawidłowego doboru rękawic do warunków pracy niezbędna jest wiedza na temat:

- warunków ekspozycji (temperatury powietrza)
- zakresu temperatury wewnątrz rękawicy
- charakteru przedmiotów, z którymi kontaktują się ręce pracowników
- rodzaju wykonywanych czynności [16].

W zależności od rodzaju ekspozycji na zimno oraz czasu i temperatury tej ekspozycji chłodzenie rąk pracowników może następować z różną intensywnością i szybkością. Uzasadnione jest zatem stosowanie różnego typu rękawic ochronnych w zależności od warunków narażenia na zimno.

Wybierając rękawice chroniące przed zimnem, należy uwzględnić:



Fot. Termiczny model ręki do badań izolacyjności cieplnej rękawic wg PN-EN 511:2009: a) komora klimatyczna z umieszczonym w niej termicznym modelem ręki, b) kształt termicznego modelu ręki, c) rękawica ochronna założona na termiczny model ręki i przygotowana do badań izolacyjności cieplnej (zdjęcie: archiwum CIOP-PIB)

Photo. Thermal model of the hand for examining the thermal insulation of gloves according to PN-EN 511:2009: a) climatic chamber with the thermal model of the hand; b) shape of the thermal model of the hand; c) protective glove worn on the thermal model of the hand and prepared for the tests (photo: CIOP-PIB)

- parametry związane z warunkami ekspozycji zawodowej – np. czas ekspozycji, poziom aktywności pracownika (niska, średnia, wysoka aktywność) oraz możliwość kontaktu z zimnymi powierzchniami, z przedmiotami mokrymi lub suchymi
- czynniki związane ze środowiskiem – tj. temperaturę i wilgotność względną powietrza oraz prędkość przepływu powietrza
- indywidualne cechy pracownika – takie jak stan zdrowia, samopoczucie
- rodzaj innych stosowanych środków ochrony indywidualnej (np. odzież ochronną).

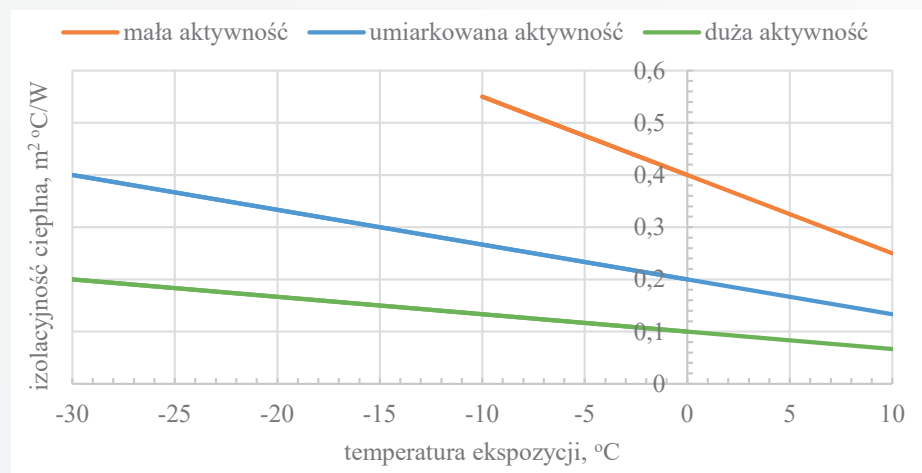
Przy doborze rękawic chroniących przed zimnem, charakteryzujących się odpowiednim poziomem skuteczności w zakresie izolacyjności cieplnej, można się kierować wytycznymi zawartymi w normie PN-EN 511:2009 (rys. 2.) [24].

## Podsumowanie

Rękawice ochronne zmniejszają straty ciepła rąk w środowisku zimnym o 60-90%. Straty ciepła są większe w przypadku palców niż w przypadku wewnętrznej części i grzbietu rąk [27]. Na tempe-

raturę skóry palców mają również wpływ przedmioty lub narzędzia, z których korzysta lub którymi posługuje się pracownik w środowisku zimnym. Szybkość zmiany temperatury skóry zależy od nacisku wywieranego przez palce, masy obsługiwanych przedmiotów, rodzaju materiału i grubości rękawicy [21, 28, 29], przy czym rękawice znacznie zmniejszają wrażliwość dłoni/palców na różne materiały [8, 16, 28]. Ponadto zaobserwowano m.in. spadek siły chwytu, sprawności manualnej i wrażliwości dotykowej właśnie z powodu noszonych rękawic [8]. Dlatego niektórzy pracownicy chłodni wykazywali niechęć do noszenia rękawic, wynikającą z przekonania, że zmniejszają one sprawność manualną – w konsekwencji dochodziło u nich do wychłodzenia rąk [30].

Podobnie osoby pracujące w innych zawodach (np. nurkowie) uważają, że w niektórych środowiskach operacyjnych rękawice są tak kłopotliwe, że należy je usunąć, aby móc wykonać zadania wymagające dobrej wrażliwości dotykowej lub precyzyjnej kontroli motorycznej [31]. Tymczasem zdjęcie rękawic przyspiesza chłodzenie rąk i może



Rys. 2. Wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej rękawic w zależności od wartości temperatury ekspozycji z uwzględnieniem różnych poziomów aktywności pracownika [24]

Fig. 2. Requirements for thermal insulation of gloves depending on the exposure temperature value, taking into account different levels of worker activity [24]

prowadzić do dalszego pogorszenia sprawności manualnej [8].

Trzeba przyznać, że chociaż rękawice ochronne ograniczają spadek temperatury skóry ręki, to np. grubość rękawicy może niekorzystnie wpływać na sprawność manualną (przewyższając wpływ niskiej temperatury). Z tego względu w procesie projektowania sprzętu dla pracowników muszą być uwzględniane także wytyczne ergonomiczne dotyczące rękawic – np. cieńsza rękawica poprawiłaby sprawność manualną kosztem niższej temperatury skóry palców i zmniejszonej wrażliwości dotykowej [8].

Trudno jest skorelować właściwości rękawic ocenione w laboratorium z faktyczną ochroną, jaką zapewniają pracownikom, biorąc pod uwagę różne warunki pracy i narażenia na zimno [16, 32], dlatego odzież ochronna oraz rękawice, zastosowane przy danym narażeniu na zimno, nie zawsze są wystarczające do utrzymania sprawności manualnej i równowagi termicznej (bilansu cieplnego) [8, 33].

Z punktu widzenia bezpieczeństwa pracownika bardzo istotne jest utrzymanie odpowiedniej temperatury skóry rąk, aby nie dopuścić do obniżenia zręczności i możliwości manipulowania palcami, co z kolei może być potencjalną przyczyną wypadków przy pracy (z uwagi na niewystarczającą zdolność do wykonywania czynności zawodowych). Ponadto przy kontakcie z zimnymi powierzchniami występuje ryzyko odmrożeń rąk. W związku z tym rękawice stosowane do prac związanych z ekspozycją na działanie niskiej temperatury powinny mieć odpowiednie właściwości izolacyjne, aby chroniły rękę przed stratami ciepła. Jednocześnie rękawica musi być dobrze dopasowana do ręki użytkownika oraz wykonana w taki sposób, aby zapewniała odpowiednią zręczność i możliwość wykonywania czynności zawodowych, lecz w rzeczywistości połączenie tych dwóch właściwości jest bardzo trudne.

Przy doborze odpowiedniej konstrukcji rękawic ochronnych pomocna jest wiedza na temat procesu wychładzania rąk (wyniki badań termowizyjnych), a głównie na temat szybkości i stopnia wychładzania poszczególnych części ręki. Z praktyki wiadomo, że w warunkach zawodowych uzasadnione jest stosowanie rękawic o różnych parametrach ochronnych (czyli różnych poziomach skuteczności wg PN-EN 511 [24]), dostosowanych do zagrożenia występującego na danym stanowisku pracy. W zależności od rodzaju ekspozycji na zimno oraz jej czasu i temperatury wychładzanie rąk pracowników może następować z różną intensywnością i szybkością.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 9 stycznia 2020 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. poz. 61).

[2] Warunki pracy w 2019 r. [Working conditions in 2019]. Warszawa, Gdańsk: Główny Urząd Statystyczny, 2020.

[3] PN-EN ISO 11079:2008 Ergonomia środowiska termicznego. Wyznaczenie i interpretacja stresu zimna z uwzględnieniem wymaganej izolacyjności cieplnej odzieży (IREQ) oraz wpływu wychłodzenia miejscowego.

[4] BOGDAN, A., et al. Oddziaływanie środowiska termicznego na organizm człowieka. Warszawa: CIOP-PIB, 2012.

[5] MAKOWIEC-DĄBROWSKA, T., et al. Bezpieczna praca w zimnym mikroklimacie. Warszawa: CIOP-PIB, 2007.

[6] RAY, M., et al. A review of cold exposure and manual performance: implications for safety, training and performance. Safety Science. 2019, 115: 1-11, doi: 10.1016/j.ssci.2019.01.014.

[7] MARSZAŁEK, A. Wpływ zimnego środowiska na organizm człowieka. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka. 2009, 1: 10-12.

[8] ZANDER, J., MORRISON, J. Effects of pressure, cold and gloves on hand skin temperature and manual performance of divers. European Journal of Applied Physiology. 2008, 104: 237-244.

[9] ENANDER, A. Performance and sensory aspects of work in cold environments: a review. Ergonomics. 1984, 27(4): 365-378, doi: 10.1080/00140138408963501.

[10] DAANEN, H.A. Manual performance deterioration in the cold estimated using the wind chill equivalent temperature. Industrial Health. 2009, 47(3): 262-270.

[11] HAVENITH, G., et al. The hand in the cold, performance and risk. Arctic Medical Research. 1995, 54 (Suppl. 2): 37-47.

[12] HEUS, R., et al. Physiological criteria for functioning of hands in the cold: a review. Applied Ergonomics. 1995, 26(1): 5-13.

[13] PN-EN ISO 9886:2005 Ergonomia – Ocena obciążenia termicznego na podstawie pomiarów fizjologicznych.

[14] CHEUNG, S.S. Responses of the hands and feet to cold exposure. Temperature. 2015, 2(1): 105-120, doi: 10.1080/23328940.2015.1008890.

[15] CHEN, W.L., et al. Hand and finger dexterity as a function of skin temperature, EMG, and ambient condition. Human Factors. 2010, 52(3): 426-440.

[16] IRZMAŃSKA, E., et al. Manual work in cold environments and its impact on selection of materials for protective gloves based on workplace observations. Applied Ergonomics. 2018, 68: 186-196, doi: 10.1016/j.apergo.2017.11.007.

[17] WANG, S.X., et al. Effect of moisture management on functional performance of cold protective clothing. Textile Research Journal. 2007, 77(12): 968-980.

[18] GENG, Q., et al. The effect of protective gloves on manual dexterity in the cold environments. JOSE. 1997, 3(1-2): 15-29.

[19] GENG, Q., et al. Tactile sensitivity of gloved hands in the cold operation. Applied Human Science. 1997, 16(6): 229-236.

[20] HOLMER, I. Work in the cold. International Archives of Occupational and Environmental Health. 1993, 65: 147-155.

[21] CHEN, F., et al. Finger cooling by contact with cold aluminum surfaces: effects of pressure, mass and whole body thermal balance. European Journal of Applied Physiology. 1994, 69: 55-60.

[22] IRZMAŃSKA, E., KROPIDŁOWSKA, P. Workplace survey of cold protective glove aging. Autex Research Journal. 2018, 19(4): 332-339.

[23] DOLEZ, P.I., VU-KHANH, T. Recent Developments and Needs in Materials Used for Personal Protective Equipment and Their Testing. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2009, 15(4): 347-362.

[24] PN-EN 511:2009 Rękawice chroniące przed zimnem.

[25] PN-EN 420+A1:2012 Rękawice ochronne – wymagania ogólne i metody badań.

[26] PN-EN 388+A1:2019-01 [32] Rękawice chroniące przed zagrożeniami mechanicznymi.

[27] SARI, H., et al. Glove thermal insulation: local heat transfer measures and relevance. European Journal of Applied Physiology. 2004, 92: 702-705.

[28] HAVENITH, G., et al. Pain, thermal sensation and cooling rates of hands while touching cold materials. European Journal of Applied Physiology. 1992, 65: 43-51.

[29] LOTENS, W.A. Simulation of hand cooling due to touching cold materials. European Journal of Applied Physiology. 1992, 65: 59-65.

[30] CEBALLOS, D., et al. Recommendations to Improve Employee Thermal Comfort When Working in 40°F Refrigerated Cold Rooms. Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2015, 12(9): D216-21, doi: 10.1080/15459624.2015.1047023.

[31] MORRISON, J., ZANDER, J. Factors influencing manual performance in cold water diving. Report CR 2007-165. Canada, Toronto: Defence R&D Canada, 2008.

[32] VOELCKER, T. Prediction of thermal comfort range of gloves in regard of individual thermal sensations. In: Conference Paper in Conference: 10th International Meeting for Manikin and Modelling, Tampere, Finland 2014.

[33] WIGGEN, Ø.N., et al. Effect of cold conditions on manual performance while wearing petroleum industry protective clothing. Industrial Health. 2011, 49(4): 443-451.

*Publikacja opracowana na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2021-2022 w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rozwoju, Pracy i Technologii.*

*Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*