

mgr inż. AGNIESZKA ANDRZEJEWSKA
dr inż. WIESŁAWA KAMIŃSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy

Termoizolacyjność obuwia przeznaczonego do pracy w niskiej temperaturze

Praca wykonana w ramach Strategicznego Programu Rządowego pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” finansowanego przez Komitet Badań Naukowych

Ochrony rąk i nóg chroniące przed zimnem są stosowane głównie przez pracowników przemysłu spożywczego, w chłodniach oraz do prac na otwartej przestrzeni w okresie zimy. Ze względu na ujemne oddziaływanie niskiej temperatury na organizm człowieka, pracownicy zatrudnieni w klimacie zimnym powinni stosować odpowiednią odzież, rękawice i obuwie ochronne, aby wewnętrzna temperatura ciała nie ulegała obniżeniu poniżej 36°C [1].

Zgodnie z wymaganiami podanymi w dyrektywie Europejskiej Wspólnoty Gospodarczej, dotyczącej środków ochrony indywidualnej 89/686/EWG [2], ochrony rąk i nóg zabezpieczające przed zimnem powinny charakteryzować się izolacyjnością cieplną i odpornością mechaniczną, odpowiednią do przewidywanych warunków użytkowania. Materiały, z których są one wykonane powinny charakteryzować się małym współczynnikiem przenikania strumienia cieplnego, przy czym zachowują w niskiej temperaturze elastyczność wymaganą do wykonywania prac i poruszania się [2]. Obuwie ochronne przeznaczone do prac w niskiej temperaturze powinno zapewniać pracownikowi komfort cieplny oraz chronić przed zagrożeniami występującymi w miejscu pracy.

Podstawowymi normami dotyczącymi wymagań dla obuwia przeznaczonego do stosowania w pracy są normy: PN-EN 345:1996 *Wymagania dla obuwia bezpiecznego do użytku w pracy*, PN-EN 346:1996 *Wymagania dla obuwia ochronnego do użytku w pracy* i PN-EN 347:1996 *Wymagania dla obuwia zawodowego do użytku w pracy* oraz norma PN-EN 344:1996 *Wymagania i metody badań obuwia bezpiecznego, ochronnego i zawodowego do użytku w pracy*, do której odwołują się bezpośrednio wcześniej wymienione trzy normy. W normie PN-EN 344 [3] zostały sprecyzowane wymagania dotyczące wskaźników charakteryzujących poszczególne rodzaje obuwia oraz podane metody ich wyznaczania. Wymagania zostały podzielone na podstawowe i dodatkowe. Wśród tych ostatnich znalazły się wymagania dotyczące izolacji od zimna. Obuwie przewidziane do prac w niskiej temperaturze może być zatem obuwiem bezpiecznym, ochronnym lub zawodowym zależnie od tego, czy spełnia wymagania podstawowe przewidziane dla danego rodzaju obuwia.

Omawiane obuwie - poza rolą ochronną - powinno charakteryzować się odpowiednimi właściwościami użytkowymi i higienicznymi. Dobre materiały wierzchnie na obuwiu mają za zadanie nie tylko odprowadzanie pary wodnej wytworzonej przez stopę, ale również chronienie jej przed działaniem czynników zewnętrznych, takich jak niska temperatura lub woda. Muszą one zatem dobrze odprowadzać parę wodną wydzielaną przez stopy i utrudniać dostęp wody zewnętrznej do stopy [4]. Jeżeli stopa nie ma możliwości odparowywania wilgoci, wówczas wzrasta jej temperatura. Staje się ona gorąca i wilgotna. Ilość wydzielanego potu przez ludzkie stopy zależy od temperatury otoczenia, intensywności ruchu oraz od indywidualnych skłonności organizmu. Według danych literaturowych [4], ilość wydzielanego potu przez stopę podczas użytkowania obuwia w stanie spoczynku i niewielkiego ruchu, mieści się w granicach 3-10 mg/cm²/h, zaś przy bardzo intensywnym ruchu wynosi ok. 30 mg/cm²/h. Zawilgocenie materiału wpływa na obniżenie właściwości izolacyjnych obuwia, wywołując jednocześnie uczucie dyskomfortu [5]. Właściwości izolacyjne buta zależą również od grubości i struktury materiału, z którego jest wykonany (np. ile powietrza znajduje się w materiale).

Bardzo ważny staje się zatem dobór odpowiedniego materiału, z którego wykonane będzie obuwie chroniące przed zimnem. Różne materiały stosowane na wierzchy obuwia mają różną zdolność przepuszczania i absorbowania pary wodnej. Najlepszym materiałem pod względem właściwości

higienicznych jest skóra naturalna. Charakteryzuje się ona nie tylko doskonałą przepuszczalnością pary wodnej, ale ma również zdolność do absorpcji i desorpcji wilgoci bez powodowania uczucia zawilgocenia. Skóra charakteryzuje się jednak dość wysoką wartością przewodnictwa cieplnego, co sprawia, że nie jest dobrym izolatorem [6]. Dlatego w procesie wyprawy skór dąży się do maksymalnego obniżenia ich przewodnictwa cieplnego. W celu poprawienia właściwości izolacyjnej skóry, przed działaniem wody poddaje się ją procesowi hydrofobizacji [7]. Należy jednak pamiętać, aby podczas procesów wyprawiania nadających skórze hydrofobowość, nie następowało osłabienie jej korzystnych właściwości mających wpływ na komfort użytkowania obuwia z niej wykonanego.

Analiza wyników badań i teoretyczne rozważania doprowadziły Nadiraschwili i współpracowników [8] do wniosku, że - z punktu widzenia komfortu (higieniczności) użytkownika - do produkcji obuwia zimowego powinny być stosowane materiały hydrofilowe z dobrze rozwiniętą strukturą porowatą lub materiały z otwartymi porami. Materiały hydrofobowe ze ścisłą warstwą utworzoną przy dużych gradientach temperatury mają w zakresie ujemnych wartości temperatury - przy niskiej przepuszczalności pary i dużych wartościach akumulowania wilgoci - niekorzystne właściwości cieplne. Takie materiały zastosowane do produkcji obuwia użytkowanego w warunkach zimowych nie zapewniają komfortu, a stopy szybko marzną [8].

Zapewnienie odpowiedniego komfortu cieplnego przez stosowanie właściwego obuwia jest bardzo istotne, gdyż stopy są bardziej wrażliwe na zimno w porównaniu z innymi częściami ciała, co jest głównie spowodowane ich dużą powierzchnią w stosunku do objętości. Stopy stanowią 5% całkowitej powierzchni ciała i tylko 1% całkowitej masy ciała [5]. Straty ciepła pochodzące z każdej stopy stanowią 3,5% ogólnych strat ciepła w warunkach zimnych i do 7% w warunkach gorących. Podając za Koellerem [6] zakłada się, że tolerowany przedział temperatury otoczenia stopy leży między 13 a 38°C, w tym strefa komfortu mieści się między 20 a 35°C. Inny autor - Hardy [6] podaje, że strefa komfortu to temperatura bliska temperaturze skóry, tj. 33°C i wilgotność względna mieszcząca się w przedziale 60-65% .

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy zbudowano, na podstawie metody opisanej w normie europejskiej EN 344:1992, stanowisko do badania termoizolacyjności obuwia przeznaczonego do pracy w niskiej temperaturze. W celu przetestowania zbudowanego stanowiska prowadzone są obecnie badania termoizolacyjności wybranych wzorów obuwia w niskiej temperaturze. Zasada badania polega na określeniu zmian temperatury wewnątrz obuwia w okolicy przedstopia po umieszczeniu go w komorze o temperaturze $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$. Obuwie przed badaniem aklimatyzuje się w ciągu siedmiu dni w temperaturze $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej powietrza równej $65\pm 2\%$. Po tym czasie wewnątrz obuwia umieszcza się termoparę na podpodeszwie w środkowej części przedstopia i wypełnia się wnętrze obuwia kulkami stalowymi (średnica kulek 5 mm, łączna masa 4 kg). Tak przygotowane obuwie aklimatyzuje się ponownie w wymienionych warunkach do czasu, aż temperatura na podpodeszwie będzie stała i wyniesie $20\pm 2^{\circ}\text{C}$. Bada się dwie półpary obuwia.

Badanie wykonuje się w pomieszczeniu o temperaturze $20\pm 2^{\circ}\text{C}$. Obuwie umieszcza się w komorze chłodniczej o ustalonej temperaturze $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ na płycie wykonanej ze stopu miedzi i cynku o grubości 5 mm. Zapewniono możliwość regulowania położenia płyty tak, aby górna krawędź wierzchu obuwia znajdowała się między warstwą materiału termoizolacyjnego o grubości 30 mm i przylegała do otworu, przez który wyprowadzony jest na zewnątrz komory przewód elastyczny miernika do rejestracji temperatury wewnątrz obuwia. Rejestruje się zmiany temperatury wewnątrz obuwia w ciągu 40 min, w odstępach 5-minutowych.

Dla każdej półpary obuwia sporządza się wykres zależności temperatury w funkcji czasu. Następnie oblicza się z dokładnością do $0,5^{\circ}\text{C}$ spadek temperatury wewnątrz obuwia po 30 min od chwili umieszczenia go w komorze chłodniczej. Do oceny termoizolacyjności obuwia przyjmuje się średnią wartość obniżenia temperatury wewnątrz obuwia otrzymaną dla dwóch półpar badanego obuwia. Wymagane jest, aby spadek temperatury na górnej powierzchni podpodeszwy w badanym obuwie nie był większy niż 10°C . Elementy termoizolacyjne powinny być wmontowane do obuwia w taki sposób, aby nie można było ich usunąć bez uszkodzenia spodu obuwia [3]. Ochrona cieplna, jaką daje obuwie, powinna uwzględniać straty ciepła spowodowane przewodzeniem przez podeszwy, konwekcją i promieniowaniem przez powierzchnię, wentylacją przez otwory i parowaniem przez materiał i przez otwory [5].

Metoda badania termoizolacyjności obuwia przedstawiona w normie europejskiej EN 344 nie uwzględnia wszystkich istniejących sposobów strat ciepła, jak również wpływu na wielkość tych strat czynników wynikających z użytkowania obuwia, jak np. intensywność ruchu podczas chodzenia. W literaturze [5]

spotyka się informacje dotyczące prób skonstruowania elektrycznie ogrzewanego modelu stopy do mierzenia izolacyjności obuwia w warunkach symulujących proces chodzenia, tj. w warunkach dynamicznych. Jeden z opisywanych modeli stopy wykonany z miedzi i ogrzewany elektrycznie, został podzielony na 29 termicznie izolowanych obszarów. Cały model jest pokryty materiałem wodoodpornym, paroprzepuszczalnym (politetrafluoroetylenem PTFE). Nacisk 70 kg na spód stopy symuluje nacisk występujący w procesie chodzenia. W Finlandii opracowano model stopy z symulacją procesów pocenia się [5]. Podjęto próbę oszacowania strat ciepła pochodzących od stopy. W tym celu opracowano model stopy podzielony na 16 obszarów, którego konstrukcja umożliwiła pomiar strumienia ciepła, pochodzącego z każdego obszaru. Strumień ciepła jest określany przez pomiar mocy, która musi być dostarczona, aby utrzymać stałą temperaturę w danym obszarze. Ponadto zastosowano również obciążenie w celu symulowania nacisku wywieranego na obuwie w czasie rzeczywistego użytkowania. Właściwości izolujące uzyskane przy zastosowaniu obciążenia są gorsze o 60-80% w stosunku do tych, które otrzymano nie stosując obciążenia.

Obecnie jednak metoda badania opisana w normie EN 344 jest jedyną znormalizowaną metodą badania izolacyjności obuwia. Obowiązująca dotychczas Polska Norma PN-92/O-01147 [9] opisująca metodę badania termoizolacyjności obuwia ochronnego w niskiej temperaturze jest zgodna z normą europejską EN 344. Różni się jedynie warunkami aklimatyzacji obuwia przed badaniem, tj. zaleca temperaturę $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ i wilgotność względną $50\pm 5\%$ oraz czas aklimatyzacji równy 48 h. Poza tym, według normy PN-92/O-01147 badania przeprowadza się dla trzech pólpar obuwia, natomiast według normy EN 344 tylko dla dwóch.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Marszałek A., Sołtyński K., Śpioch F.: *Mikroklimat gorący i zimny*. Bezpieczeństwo Pracy i Ergonomia, tom I, CIOP, Warszawa 1997
- [2] Dyrektywa Europejskiej Wspólnoty Gospodarczej dotycząca środków ochrony indywidualnej 89/686/EWG
- [3] PN-EN 344:1996 *Wymagania i metody badań obuwia bezpiecznego, ochronnego i zawodowego do użytku w pracy*
- [4] Matz A., Korowajczyk L.: *Ocena przepuszczalności pary wodnej skór naturalnych produkcji krajowej*. Przegląd Skórzany 50/1995
- [5] Bergquist K., Grahn S., Holmer I.: *A method for measuring the thermal protection provided by footwear*. Materiały Kongresu: International Congress on Physiological Anthropology, Kiel 1994
- [6] Dyck W.: *A review of footwear for cold/wet scenarios*. Part I: the boot (U), Defence Research Establishment, Technical note, Ottawa 1992
- [7] Weyland P.: *Finishing water-resistant leathers for footwear*. World Leather 7/1994
- [8] Nadiraschwili G., Todua N.: *Badania komfortu obuwia zimowego z cholewkami ze skór sztucznych i syntetycznych*. Materiały z Międzynarodowego Kongresu Przemysłu Skórzanego, Budapeszt 1990, t II. Przegląd Skórzany 46 1991
- [9] PN-91O-91147 *Obuwie ochronne. Wyznaczanie termoizolacyjności w niskich temperaturach*
- [10] PN-EN 345:1996 *Wymagania dla obuwia bezpiecznego do użytku w pracy*
- [11] PN-EN 346:1996 *Wymagania dla obuwia ochronnego do użytku w pracy*
- [12] PN-EN 347:1996 *Wymagania dla obuwia zawodowego do użytku w pracy*