

Wybrane metody oceny właściwości komfortu materiałów przeznaczonych na odzież zawodową stosowaną w środowisku zimnym – część badawcza

Selected methods of evaluating the comfort-related properties of materials designed to workwear applied in cold conditions – experimental part

Małgorzata Matusiak*, Dorota Szpak

Instytut Architektury Tekstyliów, Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów,
Politechnika Łódzka

Abstrakt

Celem badań była analiza porównawcza właściwości termoizolacyjnych wybranych asortymentów odzieży ochronnej, której funkcją podstawową jest ochrona przed zimnem. Badaniom poddano 5 losowo wybranych bezrękawników ochronnych oraz 1 kurtkę ochronną. Ponadto dla celów porównawczych wykonano badania pakietu materiałów włókienniczych pochodzącego z kufajki. Badania przeprowadzono za pomocą przyrządów Alambeta i Permetest. Uzyskane wyniki wykazały, że wyroby odzieżowe o podobnym wyglądzie i konstrukcji, zbliżonej strukturze materiałowej oraz zbliżonej cenie, charakteryzują się różnymi właściwościami termoizolacyjnymi. Szczególną uwagę należy zwracać na wartość oporu cieplnego oraz przepuszczalności pary wodnej, gdyż te dwa parametry są kluczowe dla zapewnienia komfortu termo-fizjologicznego użytkownika odzieży chroniącej przed zimnem.

Abstract

The aim of the work was a comparative analysis of thermal insulation properties of selected assortments of protective clothing, whose basic function is protection against cold. The study involved 5 randomly selected protective sleeveless jackets and 1 protective jacket. In addition, for the purposes of comparison, tests were carried out on a package of textile materials originating from a traditional donkey jacket. The tests were carried out using Alambeta and Permetest instruments. The obtained results showed that clothing products of similar appearance and construction, similar material structure and similar price, are characterized by different thermal insulation properties. Particularly, attention should be paid to the value of thermal resistance and water-vapor permeability, since these two parameters are crucial to ensure the comfort thermo-physiological of usage of clothing protecting against cold.

Słowa kluczowe: odzież ochronna, izolacyjność cieplna, opór cieplny, opór pary wodnej;

Keywords: protective clothing, thermal insulation, thermal resistance, water-vapor resistance;

1. Wstęp

Istnieje wiele metod i przyrządów pomiarowych do pomiaru właściwości materiałów włókienniczych wpływających na zdolność tych materiałów i wykonanej z nich odzieży do zapewnienia komfortu termo-fizjologicznego. Można tu wymienić takie przyrządy, jak: „model skóry”, Alambeta, Permetest, czy Thermo Labo II [1 – 6]. Przyrządy te zostały omówione w

* autor korespondencyjny: Małgorzata Matusiak: małgorzata.matusiak@p.lodz.pl

pierwszej części artykułu. W badaniach przedstawionych w niniejszym artykule wykorzystane zostały przyrządy firmy Sensora (Czechy): Alambeta i Permetest [2 - 5]. Oba przyrządy stosowane są do wyznaczania parametrów termoizolacyjnych materiałów włókienniczych i ze względu na fakt, że dzięki swojej konstrukcji, umożliwiają badania nieniszczące, mogą być one zastosowane do pomiaru wyrobów odzieżowych.

Celem przedstawionych w niniejszym artykule badań była analiza porównawcza właściwości termoizolacyjnych wybranych asortymentów odzieży ochronnej, której funkcją podstawową jest ochrona przed zimnem [7].

2. Materiał badawczy

W ramach pracy wykonano pomiary właściwości termoizolacyjnych wybranych, spośród oferowanych na rynku, asortymentów odzieży ciepłochronnej zawodowej: 5 bezrękawników ciepłochronnych oraz 1 kurtki ciepłochronnej. Dla celów porównawczych badaniom poddano również pakiet materiałów stosowanych w dawnej, tradycyjnej odzieży chroniącej przed zimnem - kufajce. Wszystkie wyroby były wyrobami wielowarstwowymi, składającymi się z trzech warstw; materiału wierzchniego, warstwy ocieplającej i podszewki. W badanych wyrobach warstwę ocieplającą stanowiła włóknina puszysta poliestrowa. Jedynie w pakiecie pochodzącym z kufajki, jako warstwę ocieplającą zastosowano watolinę.

W tabelach 1 i 2 przedstawiono podstawową charakterystykę wyrobów odzieżowych poddanych badaniom. Wobec planów kontynuacji badań z zastosowaniem manekina termicznego, wykonywano jedynie badania nieniszczące. Dlatego też charakterystyka poszczególnych materiałów jest niepełna. Korzystano z informacji dostępnych na stronie firm oferujących badane wyroby oraz dokonano analizy splotu i liczności nitek za pomocą lupy tkackiej.

Tabela 1. Zestawienie podstawowych danych charakteryzujących tkaniny wierzchnie w wyrobach odzieżowych poddanych badaniom (*b.d* – brak danych)

Wyrób	Symbol wyrobu	Surowiec	Splot	Gęstość osnowy, nitek/cm	Gęstość wątku, nitek/cm	Masa pow. g/m ²
Bezrękawnik 1	B1	PES	1/1	70	36	b.d.
Bezrękawnik 2	B2	PES65/CO35	1/1	52	34	270
Bezrękawnik 3	B3	PES/PU	1/1	54	34	b.d.
Bezrękawnik 4	B4	PES/PU	1/1	20	18	180
Bezrękawnik 5	B5	PES 65/CO 35	1/1	28	18	190
Kurtka	K	PES/PU	1/1	20	18	b.d.
Kufajka	F	CO	2/1 S	26	16	250

Tabela 2. Zestawienie podstawowych danych charakteryzujących tkaniny podszewkowe oraz warstwę ocieplającą w wyrobach odzieżowych poddanych badaniom (*b.d* – brak danych)

Wyrób	Symbol wyrobu	Podszywka			Warstwa ocieplająca		
		Surowiec	Splot	Gęstość osnowy, nitek/cm	Gęstość wątku, nitek/cm	Surowiec	Masa pow. g/m ²
Bezrękawnik 1	B1	PES	1/1	53	34	PES	200
Bezrękawnik 2	B2	PES	1/1	50	34	PES	b.d.
Bezrękawnik 3	B3	PES	Dzianina polar	-	-	PES	b.d.
Bezrękawnik 4	B4	PES	3/1 S	238	32	PES	160
Bezrękawnik 5	B5	PES	Dzianina polar	-	-	PES	b.d.
Kurtka	K	PES	1/1	34	33	PES	b.d.
Kufajka	F	CO	1/1	23	23	-	310

3. Metodyka badań

Wyroby poddano badaniom w zakresie właściwości wpływających na komfort termofizjologiczny ich użytkownika. Badania wykonano za pomocą przyrządów Alambeta i Permetest. Próbkę pobierano z takich obszarów, w których nie występują kieszenie, patki i inne elementy funkcjonalne wyrobu, gdyż ich obecność mogłaby wpływać na uzyskane wyniki. Zatem badania wykonano w trzech losowo wybranych miejscach położonych na tylnej części wyrobów, pokrywającej plecy użytkownika. Pomiary zostały przeprowadzone w warunkach klimatu normalnego po wcześniejszej aklimatyzacji próbek. Dla każdego wyrobu wykonano po 3 pomiary, następnie obliczono wartość średnią i odchylenie standardowe. Podczas badania za pomocą obu przyrządów wyroby były ułożone w taki sposób, że podszywka dotykała płyty grzejnej. W przypadku przyrządu Alambeta, płyta grzejna znajduje się u góry (Rys. 4), a zatem podczas badania wyroby były ułożone podszywką do góry. W przyrządzie Permetest płyta grzejna znajduje się u dołu, pod próbką. A zatem podczas badania wyroby ułożone były podszywką do dołu.

Uzyskane wyniki zostały przeanalizowane w programie STATISTICA firmy StatSoft. W pracy wykorzystano jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA. Analiza wariancji jest to narzędzie statystyczne umożliwiające ocenę wpływu jednego lub wielu czynników niezależnych na zmienną zależną. Zbadano wpływ jednego czynnika – rodzaju wyrobu odzieżowego – na wartość poszczególnych parametrów charakteryzujących ciepłochronność badanych wyrobów ustalając, czy uzyskane zależności są istotne statystycznie.

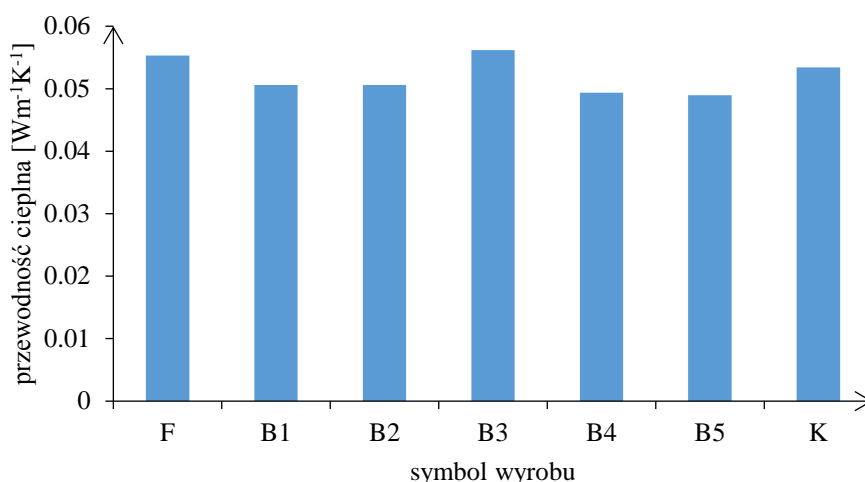
4. Uzyskane wyniki i ich analiza

Wyniki pomiarów właściwości termoizolacyjnych badanych asortymentów odzieży ochronnej chroniącej przed zimnem przedstawiono w Tabeli 3. Przewodność cieplna badanych wyrobów jest na zbliżonym poziomie i mieści się w przedziale od $0,0473 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ do $0,05617 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Różnica pomiędzy największą i najmniejszą wartością wynosi 16%. Najwyższą przewodność cieplną wykazuje bezrękawnik B3, natomiast najniższą – bezrękawnik B5. Zbliżona wartość przewodności cieplnej badanych wyrobów może wynikać z faktu, że w większości są one wykonane z tego samego materiału – poliestru. Przewodność cieplna jest bowiem właściwością materiału, a nie jego struktury.

Tabela 3. Wyniki pomiarów wyrobów ciepłochronnych za pomocą przyrządu Alambeta (SD (Standard Deviation) – odchylenie standardowe)

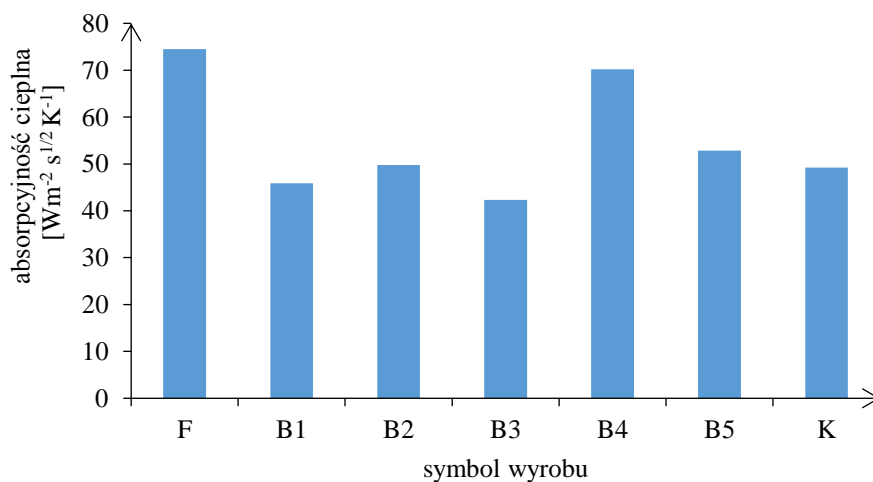
Symbol wyrobu	Miara	λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	b [$\text{Wm}^{-2} \text{s}^{1/2} \text{K}^{-1}$]	R [W^{-1}Km^2]	h [mm]
F	średnia	0,0553	74,47	0,1287	7,11
	SD	0,0019	4,30	0,0032	0,22
B1	średnia	0,0506	45,90	0,1927	10,21
	SD	0,0027	3,14	0,0125	0,60
B2	średnia	0,0506	49,77	0,1647	8,33
	SD	0,0030	3,25	0,0072	0,14
B3	średnia	0,0562	42,30	0,2173	12,30
	SD	0,0056	3,157	0,0237	2,53
B4	średnia	0,0494	70,17	0,1467	7,23
	SD	0,0042	3,62	0,0025	0,64
B 5	średnia	0,0489	52,87	0,1627	7,97
	SD	0,0019	4,72	0,0047	0,55
K	średnia	0,0534	49,23	0,1790	9,19
	SD	0,0057	1,16	0,0053	0,24

Trzeba zaznaczyć, że prezentowane wartości stanowią zastępczą, ekwiwalentną, przewodność cieplną pakietu materiałów. Jest to przewodność cieplna jednorodnego materiału o grubości równej grubości mierzonego pakietu (wyrobu), który w warunkach pomiaru zapewniałby przepływ ciepła na poziomie odnotowanym dla mierzonego wyrobu.



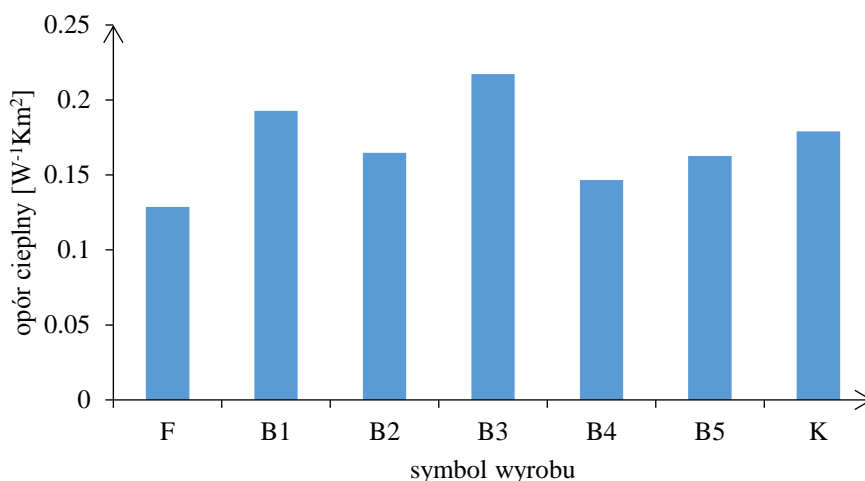
Rys. 1. Przewodność cieplna badanych wyrobów ciepłochronnych.

Na Rys. 2. porównano wartości absorpcyjności cieplnej badanych wyrobów odzieżowych. W przypadku absorpcyjności cieplnej odnotowano większe zróżnicowanie wartości, niż dla przewodności cieplnej. Wartości absorpcyjności cieplnej badanych wyrobów mieszczą się w przedziale od $42,3 \text{ Ws}^{1/2}\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$ do $74,47 \text{ Ws}^{1/2}\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$. Najwyższą wartość absorpcyjności cieplnej stwierdzono dla pakietu przeznaczonego na tradycyjną kufajkę. Oznacza to, że pakiet ten, spośród wszystkich badanych wyrobów, daje najbardziej zimne odczucie przy pierwszym kontakcie ze skórą użytkownika. Najniższe wartości absorpcyjności cieplnej, a tym samym najcieplejszy chwyt, odnotowano dla bezrękawników B3, następnie B1. Ciepłe odczucie przy dotyku jest korzystne z punktu widzenia komfortu cieplnego w warunkach przebywania w mikroklimacie zimnym.



Rys. 2. Absorpcyjność cieplna badanych wyrobów ciepłochronnych.

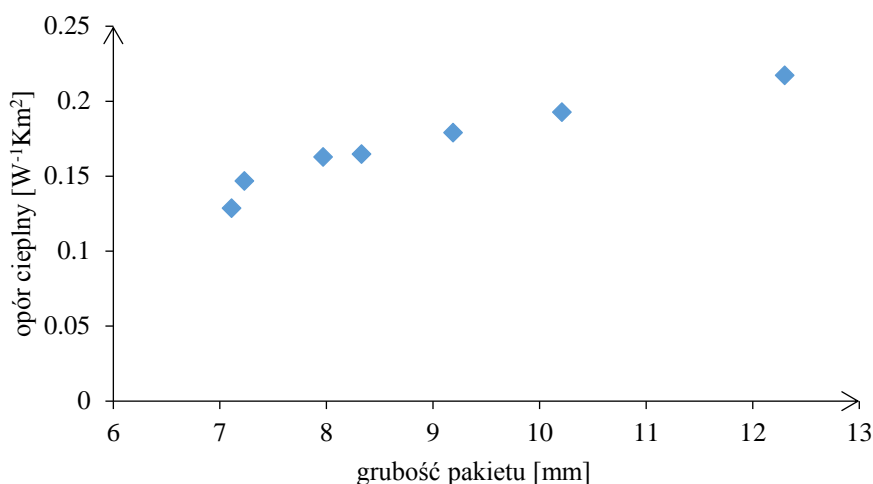
Na kolejnym wykresie (Rys. 3) przedstawiono opór cieplny badanych wyrobów. Z punktu widzenia przeznaczenia wyrobów, jako odzieży chroniącej przed zimmem, parametr ten należy traktować, jako kluczowy. Opór cieplny badanych wyrobów odzieżowych jest zróżnicowany i mieści się w przedziale od $0,1287 \text{ Km}^2\text{W}^{-1}$ do $0,2173 \text{ Km}^2\text{W}^{-1}$. Najwyższy opór cieplny wykazuje bezrękawnik B3, natomiast najniższy wyrób F, czyli pakiet materiałów z kufajki.



Rys. 3. Opór cieplny badanych wyrobów ciepłochronnych.

Liczne badania wykazały, że opór cieplny zależy od grubości materiałów. Uzyskane wyniki potwierdziły tę zależność (Rys. 4). Badane wyroby różnią się znacznie między sobą pod względem grubości, która wpływa, w sposób wprost proporcjonalny, na ich opór cieplny. Najgrubszym wyrobem jest bezrękawnik o symbolu B3 (Tabela 3). Jego grubość w miejscu pomiaru wynosi 12,3 mm. Z tego wynika najwyższy opór cieplny bezrękawnika B3. Bezrękawnik B1 oraz kurtka K są cieńsze o około 2 - 3 mm. Pozostałe bezrękawniki są podobnej grubości - około 7 - 8 mm.

Najniższy opór cieplny charakteryzuje kufajkę, jej grubość też okazała się najmniejsza. Pomiedzy grubością a oporem cieplnym wystąpiła silna i statystycznie istotna zależność korelacyjna – $R_{x,y} = 0,972$.



Rys. 4. Zależność oporu cieplnego badanych wyrobów od ich grubości.

W celu oceny statystycznej istotności różnic pomiędzy analizowanymi wyrobami ciepłochronnymi w zakresie ich właściwości termoizolacyjnych przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji. Jako czynnik główny przyjęto rodzaj wyrobu, jako zmienne zależne – parametry wyznaczone za pomocą przyrządu Alambeta. Wyniki analizy wariancji przedstawiono w Tabeli 4 (symbolem (*) oznaczono różnice statystycznie istotne przy poziomie istotności $p = 0,05$).

Tabela 4. Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji parametrów termoizolacyjnych wyrobów odzieżowych

Zmienna zależna	df _{efektu}	MS _{efektu}	df _{błędu}	MS _{błędu}	F	p
λ	7	0,0000299	16	0,000013	2,332	0,0762
b	7	444,957	16	11,27	39,481	0,000000064*
R	7	0,00253	16	0,00011	24,076	0,00000023*
h	7	10,637	16	0,95	11,14	0,000042*

MS – zmienność międzygrupowa (Mean Square), df – liczba stopni swobody, F – zmienna o rozkładzie F, p – istotność statystyczna.

Analiza statystyczna wykazała, że w większości przypadków różnice pomiędzy wartościami parametrów termoizolacyjności poszczególnych wyrobów odzieżowych poddanych badaniu są statystycznie istotne przy poziomie istotności $p = 0,05$. Jedynie zróżnicowanie przewodności cieplnej poszczególnych wyrobów jest statystycznie nieistotne. Jest to związane z faktem, iż przewodność cieplna jest to cecha uzależniona głównie od materiału, z którego wytworzony jest wyrób. A wszystkie wybrane do badań wyroby odzieżowe (za wyjątkiem pakietu materiałów z kufajki) są wykonane z materiałów (tkanin i włóknin) na bazie włóknin

poliestrowych.

W Tabeli 5 przedstawiono wyniki pomiarów, za pomocą przyrządu Permetest, względnej przepuszczalności i oporu pary wodnej badanych asortymentów odzieży. Oba parametry są bardzo ważne z punktu widzenia komfortu fizjologicznego użytkownika wyrobów odzieżowych, gdyż określają zdolność wyrobu do odprowadzania par potu z powierzchni skóry użytkownika.

Tabela 5. Wyniki pomiarów za pomocą przyrządu Permetest oporu pary wodnej (P) i względnej przepuszczalności pary wodnej (R_{et})

Symbol wyrobu	P [%]	R_{et} [Pa m ² W ⁻¹]
F	20,2	36,4
B1	22,8	40,5
B2	22,2	43,8
B3	0,0	-
B4	1,0	839,9
B5	21,4	31,5
K	2,0	888,9

Uzyskane wyniki są bardzo zróżnicowane w zależności od asortymentu poddanego badaniu. W przypadku bezrękawnika B3 nie uzyskano wyniku pomiaru oporu pary wodnej, gdyż podczas pomiaru (ustalony czas - 4 min.) nie nastąpiło ustabilizowanie przepływu pary wodnej. Po pomiarze stwierdzono obecność wilgoci na stronie próbki przylegającej do płyty pomiarowej przyrządu. Ponadto odczyt z przyrządu wykazał, że względna przepuszczalność pary wodnej wynosi 0%.

Bardzo małą względną przepuszczalność pary wodnej odnotowano dla wyrobów: bezrękawnika B4 i kurtki K. Względna przepuszczalność pary wodnej dla tych wyrobów wyniosła odpowiednio 1 i 2 %. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że oba wyroby: B4 i K nie przepuszczają pary wodnej. Potwierdzają to również bardzo wysokie wartości oporu pary wodnej, powyżej 800 Pa m²W⁻¹. We wszystkich trzech przypadkach (wyroby o symbolach B3, B4 i K) tkanina wierzchnia wyrobu została powleczona poliuretanem, co ograniczyło zdolność wyrobu do przepuszczania pary wodnej.

Najwyższą względną przepuszczalnością pary wodnej charakteryzuje się bezrękawnik B1. Zbliżoną wartość względnej przepuszczalności pary wodnej osiągają również: pakiet z kufajki F oraz bezrękawniki B2 i B5. Jednakże należy stwierdzić, że względna przepuszczalność pary

wodnej tych wyrobów nie jest zbyt wysoka i nie przekracza 25 %. Wynika to z przeznaczenia wyrobów, jako odzieży wierzchniej ciepłochronnej, w których występuje kilka warstw. Każda z warstw stanowi barierę dla pary wodnej. Ponadto, badane wyroby przeznaczone są do użytkowania na zewnątrz pomieszczeń, a zatem powinny chronić przed wiatrem i opadami. Do tej funkcji dostosowana jest struktura tkaniny wierzchniej – zwarta, bardzo zagęszczona, a przez to utrudniająca przenikanie pary wodnej.

5. Podsumowanie i wnioski

Celem pracy była analiza porównawcza właściwości termoizolacyjnych wybranych losowo asortymentów odzieży ochronnej chroniącej przed zimnem. Do analizy porównawczej wytypowano pięć bezrękawników ochronnych oraz jedną kurtkę ochronną. Ponadto, dla celów porównawczych, badaniom poddano również pakiet materiałów stosowanych w dawnej odzieży chroniącej przed zimnem – kufajce.

Badania przeprowadzono za pomocą przyrządów Alambeta i Permetest. Za pomocą przyrządu Alambeta wyznaczono: przewodność cieplną, absorpcyjność cieplną, opór cieplny oraz grubość wyrobów. Przyrząd Permetest umożliwił wyznaczenie oporu pary wodnej oraz względnej przepuszczalności pary wodnej. Badania zostały wykonane w warunkach klimatu normalnego. Pomiary przeprowadzono w 3 losowo wybranych miejscach na tylnej części wyrobu, na których nie występowały dodatkowe warstwy materiałów w postaci kieszeni, patek, pasków i innych elementów.

Wyniki uzyskane w ramach przeprowadzonych badań pozwoliły na wysunięcie następujących wniosków:

- **Pomiędzy grubością wyrobu odzieżowego, a jego oporem cieplnym występuje silna i statystycznie istotna zależność korelacyjna. Wraz ze wzrostem grubości rośnie opór cieplny. Najgrubszy bezrękawnik, oznaczony symbolem B3, charakteryzuje się najwyższym oporem cieplnym. Najniższy opór cieplny odnotowano dla pakietu materiałów F, pochodzącego z kufajki, charakteryzującego się najmniejszą grubością spośród wszystkich analizowanych wyrobów ciepłochronnych.**
- **Badanie oporu pary wodnej za pomocą przyrządu Permetest wykazało, że bezrękawniki B4 i kurtka K w bardzo małym stopniu przepuszczają parę wodną. Oba wyroby zostały wykonane z tkaniny typu OXFORD. Jest to materiał wodoodporny, powleczony PU. Bezrękawnik B3, wykonany również z tkaniny typu OXFORD, nie przepuszcza w ogóle pary wodnej. Biorąc pod uwagę wynik tego badania, wymienionych wyrobów nie**

zaleca się do stosowania podczas wykonywania prac fizycznych, ponieważ mogą wywoływać dyskomfort, szczególnie na stanowiskach, gdzie nie jest wymagany ruch wysiłkowy (np. operator wózka widłowego w chłodni). Właściwości tkaniny OXFORD wskazują, że wyroby są przeznaczone do stosowania w środowisku zewnętrznym, gdzie występuje ryzyko występowania opadów atmosferycznych.

- Analiza statystyczna z zastosowaniem jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA potwierdziła, że dla większości analizowanych właściwości termoizolacyjnych poza przewodnością cieplną, różnice pomiędzy badanymi wyrobami odzieżowymi są statystycznie istotne przy poziomie istotności $p = 0,05$. W przypadku przewodności cieplnej brak statystycznie istotnych różnic pomiędzy wyrobami wynika z faktu, że wszystkie bezrękawniki i kurtka wykonane zostały z materiałów (tkanin i włókien) poliestrowych.
- Wytypowane bezrękawniki skategoryzowane zostały, jako wyroby zapewniające pierwszy stopień ochrony, czyli dla minimalnych zagrożeń. Mogą być stosowane samodzielnie, lub jako część zestawu odzieży ochronnej.
- Analizowane bezrękawniki i kurtka zawierają szereg elementów w postaci kieszeni zewnętrznych, kieszeni wewnętrznych, listew zabezpieczających zapięcia oraz taśm odblaskowych. Wymienione elementy zwiększają funkcjonalność wyrobu. Jednocześnie ich obecność może wpływać na wartości parametrów charakteryzujących termoizolacyjność wyrobów.

Podsumowując całość wykonanych badań należy stwierdzić, że dobór właściwej, odpowiedniej do warunków pracy, odzieży chroniącej przed zimnem powinien być poprzedzony pomiarami właściwości termoizolacyjnych odzieży. Przeprowadzone badania wykazały, że wyroby odzieżowe o podobnym wyglądzie i konstrukcji, zbliżonej strukturze materiałowej – tkanina zewnętrzna, włóknina termoizolacyjna, podszewka (wszystkie materiały z włókien poliestrowych) oraz zbliżonej cenie, charakteryzują się różnymi właściwościami termoizolacyjnymi. Szczególną uwagę należy zwracać na wartość oporu cieplnego oraz przepuszczalności pary wodnej, gdyż te dwa parametry są kluczowe dla zapewnienia komfortu termo-fizjologicznego podczas użytkowania odzieży chroniącej przed zimnem.

Literatura

- [1] PN-EN ISO 11092:2014-11: *Tekstyliaria – Właściwości fizjologiczne - Pomiar oporu cieplnego i oporu pary wodnej w warunkach stanu ustalonego (metoda począcej się zaizolowanej cieplnie płyty)*.
- [2] Hes L., Sluka P.: *Uvod do komfortu textilií*, Technical University of Liberec, Liberec 2005.
- [3] Matusiak M.: *Ciepłochronność tkanin odzieżowych*, Instytut Włókiennictwa, Łódź 2011.
- [4] Hes L.: *Alternative methods of determination of water vapour resistance of fabrics by means of a skin model*, 3rd European Conference on Protective Clothing and NOKOBETEF 8, 10 – 12. 05. 2006, Gdynia.
- [5] Hes L., Doležal I., Hanzl J.: *Neue Methode und Einrichtung zur objektiven Bewertung der Thermokontakten Eigenschaften textiler Flaschengebilde*, Melliand Textilberichte, **9**, 1990, str. 679 – 681.
- [6] Yoneda M., Kawabata S.: *Analysis of transient heat conduction in textiles and its applications - Part II*, Journal of Textile Machinery Society of Japan, **31**, 1983, str. 73 – 81.
- [7] Szpak D.: *Analiza porównawcza właściwości termoizolacyjnych wybranych asortymentów odzieży ochronnej* - praca dyplomowa wykonana na Wydziale Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów PŁ, Łódź 2018.