
OPIS BADAŃ ORAZ UZYSKANE WYNIKI

Zaproponowane w pracy rozwiązanie w postaci aplikacji komputerowej przeznaczone jest do modelowania nowych rozwiązań konstrukcyjnych odzieży o wysokiej skuteczności termoizolacyjnej oraz dostosowanych parametrach użytkowych dedykowanych dla różnych grup użytkowników końcowych (m.in. pracowników chłodni, osób pracujących na otwartej przestrzeni w klimacie zimnym oraz uczestników wypraw wysokogórskich). Wykorzystane w aplikacji narzędzia analizy numerycznej uwzględniają optymalizację przepływu ciepła i rozkładu temperatury dla układu człowiek - odzież – otoczenie. Niezbędne do określenia wartości przed wykonaniem symulacji komputerowej umożliwiającej przeprowadzenie optymalizacji konstrukcji odzieżowej pod względem odczuwanego komfortu cieplnego to: strumień ciepła strefy antropometrycznej, własności termiczne (opór cieplny) i mechaniczne (grubość, sztywność zginania, wydłużenie przy rozciąganiu i siła zrywania) tkanin oraz sposób ich ułożenia.

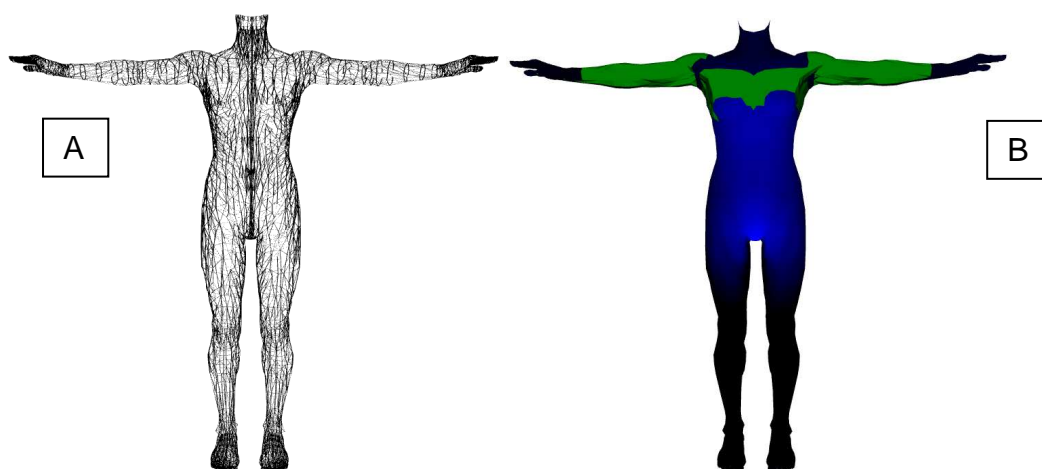
Etap 1

Opracowanie założeń numerycznego modelu wymiany ciepła dla wybranych materiałów termoizolacyjnych z wykorzystaniem badań antropometrycznych oraz przeprowadzenie wstępnej analizy w oparciu o modelowanie komputerowe.

W pierwszym etapie zadania opracowano założenia dla numerycznego modelu transportu ciepła w układzie: użytkownik (organizm człowieka) – odzież (pakiet materiałów) – otoczenie (środowisko zewnętrzne). Każdemu elementowi układu przypisano odpowiednie parametry fizyczne, dla których przewidziano wykonanie symulacji komputerowych. Zaproponowane równania analityczne dla opracowanego modelu transportu ciepła uwzględniają zjawiska przewodzenia ciepła oraz konwekcję i wraz z określonymi wartościami brzegowymi stanowią podstawę do dalszej analizy numerycznej wykorzystującej metodę elementów skończonych (MES).

W ramach wizualizacji rozkładu temperatur dla zdefiniowanego układu na podstawie danych pochodzących z aplikacji MakeHuman opracowano model wirtualnego manekina składającego się z 18 tysięcy węzłów siatki. Taka ilość węzłów siatki jest wystarczająca do skalowania wymiarów antropometrycznych i stanowi kompromis pomiędzy mocą obliczeniową komputera a dokładnością odwzorowania budowy antropometrycznej człowieka. Model manekina wirtualnego podzielono na 35 stref antropometrycznych, którym zostały przypisane odpowiednie części ciała (tj. klatka piersiowa, talia, ręce, etc.). Dzięki temu zmiana wymiaru powoduje deformację siatki wybranej strefy antropometrycznej

zgodnie z regułą dostosowywania masy. Oznacza to, że zmieniając wymiar antropometryczny modelu będzie on modyfikowany zgodnie z naturalnym przyrostem wagi człowieka (rys. 1).



Rys. 1. Siatka węzłów modelu manekina wirtualnego pozwalająca na odwzorowanie zadanych wymiarów antropometrycznych człowieka (a) oraz przykładowe strefy antropometryczne umożliwiające wizualizację rozkładu temperatur (b).

Pierwszy etap zadania obejmował również przeprowadzenie analizy właściwości termoizolacyjnych wybranych materiałów, uwzględnionych w modelu matematycznym opisującym zjawiska transportu ciepła w układzie człowiek – odzież – otoczenie. W związku z tym wykonano badania oporu cieplnego materiałów i ich pakietów z wykorzystaniem stanowiska symulującego skórę użytkownika (tzw. model sztucznej skóry). Badaniom poddano siedem wielowarstwowych pakietów odzieżowych, przeznaczonych do użytku w warunkach niskiej temperatury otoczenia.

W celu dostosowania sposobu wizualizacji wyników symulacji w aplikacji komputerowej oraz graficznego przedstawienia sylwetki użytkownika przeprowadzono w tym etapie wstępne badania z wykorzystaniem manekina termicznego w komorze klimatycznej będącej na wyposażeniu Pracowni Obciążeń Termicznych CIOP-PIB przy wykorzystaniu kamery termowizyjnej. Wzorując się na termogramach przedstawiających powierzchniowy rozkład temperatury na powierzchni odzieży założonej na manekina termicznego przyjęto taki sam sposób wizualizacji wyników symulacji komputerowych w aplikacji komputerowej.

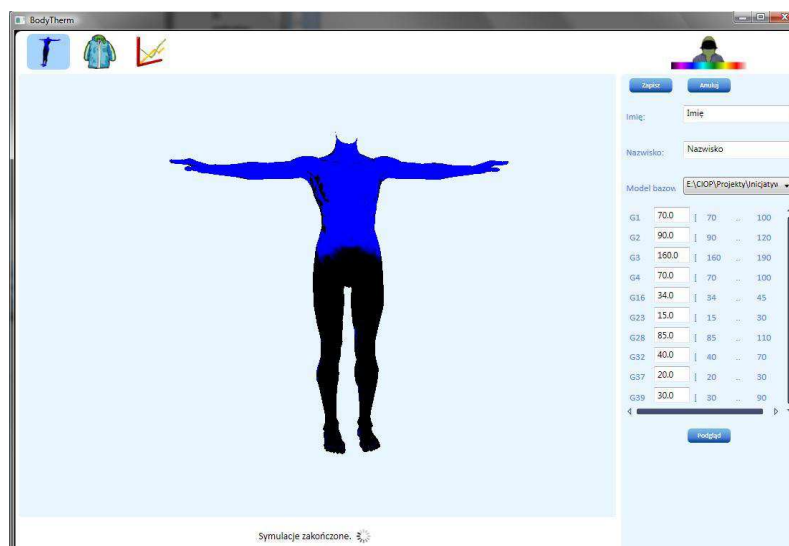
Zadanie 2

Budowa oraz weryfikacja zintegrowanego środowiska obliczeniowego dedykowanego dla odzieżowych konstrukcji termoizolacyjnych.

Drugi etap zadania obejmował prace związane z opracowaniem aplikacji komputerowej przeznaczonej do modelowania termoizolacyjnych konstrukcji odzieżowych. W celu zapewnienia możliwości określania komfortu termicznego dla wyrobów odzieżowych na podstawie danych określających parametry układu człowiek – odzież – otoczenie opracowano trzy moduły realizujące następujące funkcje:

- wprowadzanie rzeczywistych wymiarów antropometrycznych użytkownika odzieży do aplikacji komputerowej w celu konstrukcji modelu manekina wirtualnego (moduł I),
- wprowadzanie danych dotyczących parametrów opisujących poszczególne warstwy materiałowe i założenia konstrukcyjne dla wyrobu odzieżowego (moduł II),
- prezentację wyników symulacji komputerowych uwzględniających zdefiniowane warunki otoczenia (moduł III).

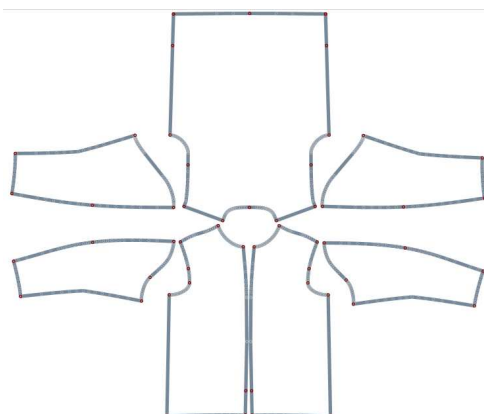
W celu ułatwienia pracy z modułem I aplikacji, obok aktualnej wartości każdego wymiaru antropometrycznego podano sugerowany zakres wartości dla tego wymiaru. Przykład wirtualnego manekina wygenerowanego na podstawie danych antropometrycznych przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Przykład wirtualnego manekina wygenerowanego na podstawie danych antropometrycznych

Parametry materiału odzieżowego wraz z danymi o odległości ubrania od modelu oraz wartościach strumienia ciepła generowanego przez daną strefę antropometryczną są wielkościami wpływającymi na wyniki prowadzonych symulacji. Poszczególne składowe pakiety materiałów odzieżowych mogą być rozmieszczane na dowolnie wybranych strefach antropometrycznych. Ich właściwe rozmieszczenie stanowi najważniejszy element w przygotowaniu odzieży do symulacji komputerowej, której wynikiem jest wizualizacja powierzchniowego rozkładu temperatury i określenie komfortu termicznego. Dodanie nowego wzoru odzieży do bazy danych wymaga wiedzy z zakresu właściwości termicznych i izolacyjnych definiowanych pakietów odzieżowych.

Dane do modułu II importowane są z pliku *.PLT, stanowiącego jeden z formatów cyfrowego zapisu informacji o konstrukcji wyrobów odzieżowych. W celu sprawdzenia poprawności wprowadzania danych wejściowych do aplikacji komputerowej wykonano przykładowe wykroje konstrukcji odzieżowych przygotowane w postaci plików cyfrowych zapisanych w formacie PLT (rysunek 3).

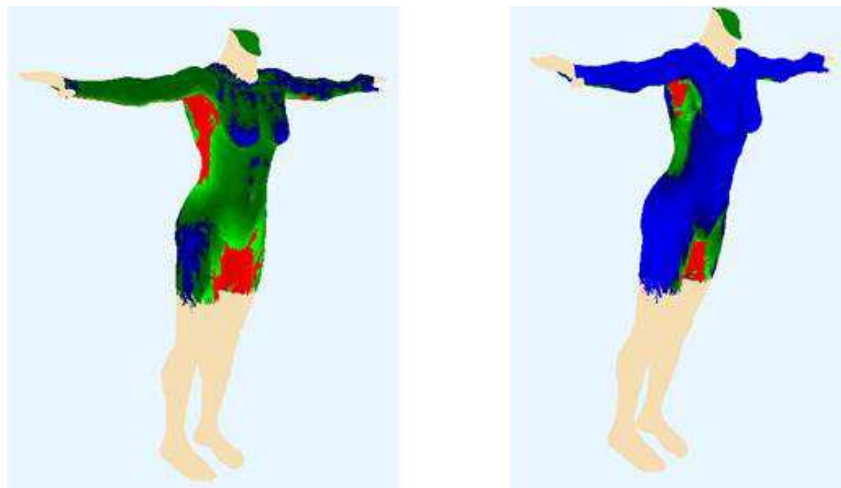


Rys. 3. Przykładowa konstrukcja odzieżowa bluzy polarowej zapisana w pliku PLT.

Łącznie przygotowano szesnaście plików zawierających dane uwzględniające różne warianty konstrukcyjne wyrobów odzieżowych (3 modele kurtek z membraną THERMOACTIVE, 2 modele kurtek puchowych, spodnie z membraną THERMOACTIVE, spodnie puchowe, 4 zestawy bielizny oddychającej, 2 modele bluz polarowych, bluzę puchową oraz 2 modele koszul). Opracowano również procedurę opisującą kolejne kroki postępowania podczas przygotowania plików do aplikacji komputerowej z danymi zawierającymi informacje o konstrukcjach odzieżowych.

Zakres prac zrealizowanych w etapie drugim obejmował opracowanie systemu bazy danych, umożliwiającej wprowadzanie i zapisywanie wymiarów użytkowników, definiowanie

modeli antropometrycznych, przechowywanie i uzupełnianie informacji na temat materiałów, ich pakietów oraz wzorów ubrań, zapisywanie i odtwarzanie wyników przeprowadzonych symulacji komputerowych. W ramach tych prac przygotowano także instrukcję użytkownika do opracowanej aplikacji komputerowej. Instrukcja zawiera szczegółowy opis modułów aplikacji oraz założenia i sposób postępowania podczas kolejnych etapów tworzenia modeli. Opracowano również algorytm, który umożliwia wizualizację przeprowadzonej symulacji komfortu termicznego na powierzchni skóry człowieka ubranego w projektowaną odzież. Przykładowe wyniki symulacji przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Wyniki symulacji komfortu termicznego dla przykładowego zestawu odzieżowego uwzględniającego bieliznę POLARTEC i kurtkę z membraną THERMOACTIVE (powierzchniowy rozkład temperatury; zielony – wychłodzenie, niebieski – optimum, czerwony - przegrzanie)

Drugi etap zadania obejmował również badania laboratoryjne polegające na ocenie rozprężalności wypełnień oraz określeniu stopnia elastyczności i termoizolacyjności materiałów tekstylnych i ich pakietów. W tym celu opracowano metodykę pomiarów stopnia elastyczności materiałów tekstylnych. Badania rozprężalności wypełnień stosowanych w konstrukcjach odzieżowych wykonano dla trzech różnych rodzajów puchu naturalnego i jednego wypełnienia syntetycznego. Dla różnych grubości wypełnień wykonano serię badań oporu cieplnego z wykorzystaniem stanowiska badawczego symulującego model sztucznej skóry.

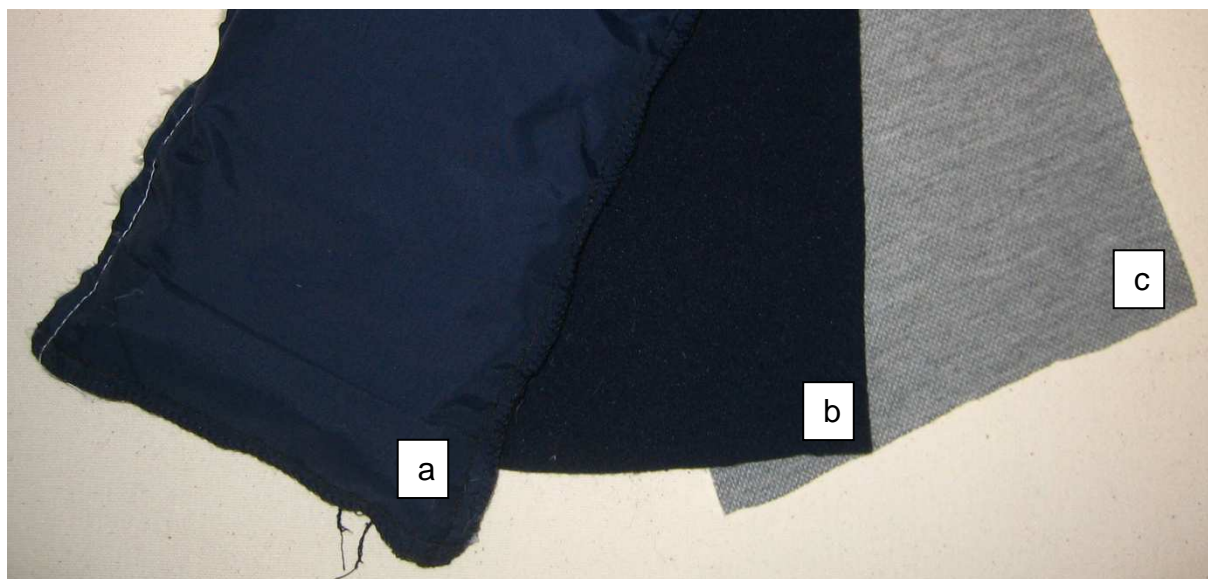
Następnie opracowano algorytmy komputerowe odpowiedzialne za przeprowadzenie procesu symulacji ułożenia konstrukcji odzieżowych na zdefiniowanej sylwetce manekina wirtualnego odpowiadającej wymiarom antropometrycznym użytkownika odzieży. Opracowane algorytmy zaimplementowano do aplikacji komputerowej, dzięki czemu

uzyskano możliwość oceny stopnia niedopasowania konstrukcji odzieżowych do wymiarów użytkownika oraz wpływ pododzieżowych warstw powietrza (kominów powietrznych) na zjawiska transportu ciepła.

Zadanie 3

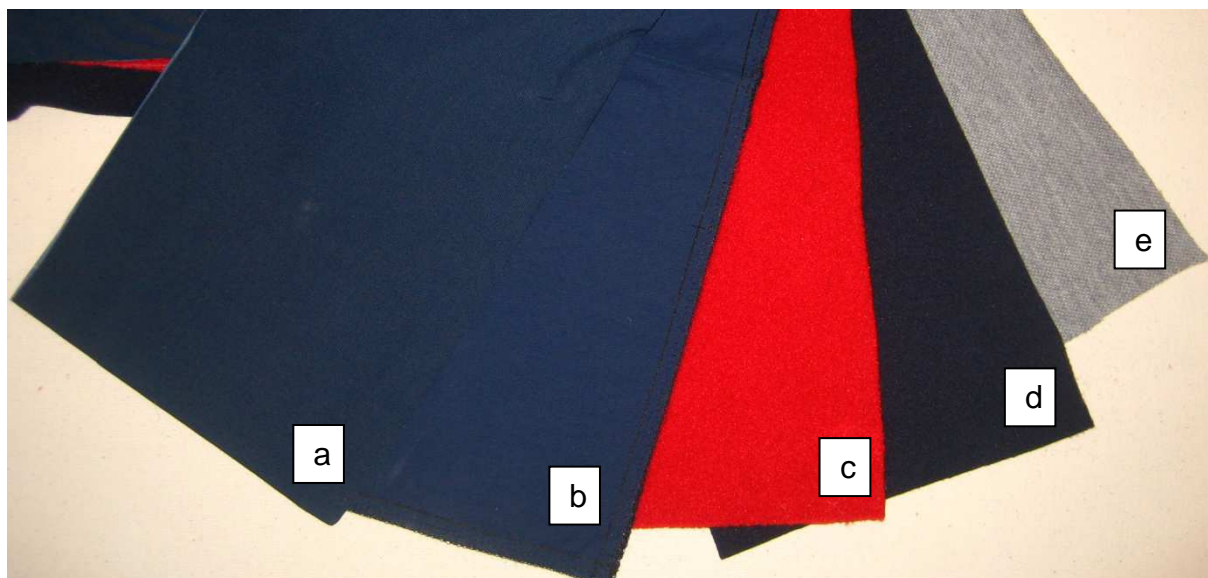
Opracowanie przykładowych rozwiązań odzieży termoizolacyjnej oraz aktualizacja oprogramowania wspomagającego jej projektowanie na podstawie badań eksploatacyjnych.

Badane zestawy odzieżowe:



Rys. 5 Układ materiałów tworzących zestaw 1

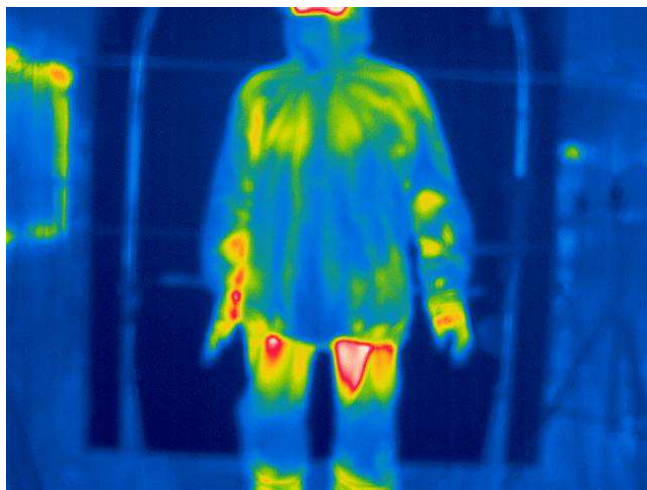
- a - tkanina THERMOACTIVE[®] 2L z czterokrotnie nakładaną membraną poliuretanową, wypełniona puchem gęsim o współczynniku rozprężania równym 650 cui
- b - mikroprzędza Polartec[®] 100 o masie powierzchniowej 138 g/m²
- c - wieloskładnikowa, dwuwarstwowa dzianina „antypotna” wykonana z mieszanki wełny oraz bawełny



Rys. 6 Układ materiałów tworzących zestaw 2

- a - tkanina THERMOACTIVE® 2L z czterokrotnie nakładaną membraną poliuretanową
- b - tkanina THERMOACTIVE® 2L z podszewką siatkową
- c - mikroprzędza Polartec® 200 o masie powierzchniowej 254 g/m²
- d - mikroprzędza Polartec® 100 o masie powierzchniowej 138 g/m²
- e - wieloskładnikowa, dwuwarstwowa dzianina „antypotna” wykonana z mieszanki wełny oraz bawełny

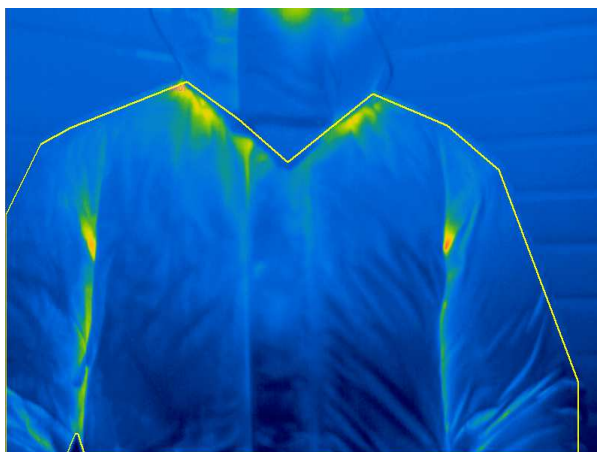
W ostatnim etapie projektu wykonano przykładowe konstrukcje odzieży z wykorzystaniem opracowanej aplikacji komputerowej. W celu sprawdzenia poprawności działania aplikacji komputerowej wykonano badania w komorze klimatycznej oraz kriokomorze z wykorzystaniem termowizji. Na tej podstawie porównano wartości temperatur uzyskane w wyniku symulacji oraz badań eksploatacyjnych. Przykładowy termogram zarejestrowany dla zestawu odzieżowego nr 1 przedstawia rys. 7.



Rys. 7 Termogramy dla zestawu odzieżowego nr I,
zakres temperatur: + 10,0 : + 23,6 °C.

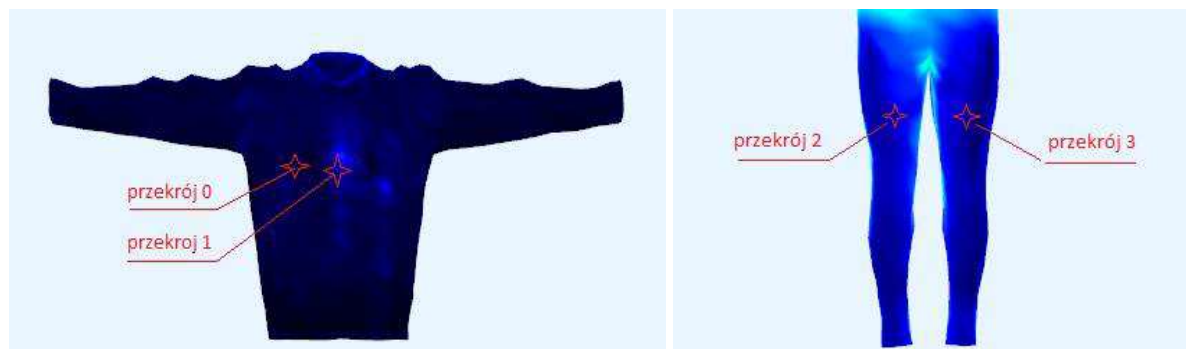
Badania przeprowadzone w komorze kriogenicznej pozwoliły na ocenę izolacyjności cieplnej zestawu odzieżowego nr II przeznaczonego do użytku podczas wypraw wysokogórskich w warunkach niskiej temperatury. Badania z wykorzystaniem termowizji przeprowadzono w temperaturze - 20 °C.

Aktualizacja opracowanej aplikacji komputerowej oraz weryfikacja symulacji termicznych dla wybranych konstrukcji odzieżowych zostanie przeprowadzona na podstawie porównania wyników otrzymanych z symulacji komputerowych oraz badań przeprowadzonych w komorze termicznej i w warunkach naturalnych. Termogram zarejestrowany podczas badań zestawu odzieżowego nr II w komorze kriogenicznej przedstawia rysunek 8.



Rys. 8 Termogram zestawu odzieżowego nr II obrazujący powierzchniowy rozkład temperatury podczas badań w komorze kriogenicznej.

Dla obu opisanych powyżej zestawów wykonano symulacje komputerowe ustalając warunki otoczenia takie, jakie występowały podczas badań w komorach klimatycznej oraz kriokomorze. Porównanie wyników symulacji w wybranych punktach z wynikami badań pozwoliło na ocenę poprawności działania aplikacji komputerowej i zastosowanych w niej algorytmów (rys. 9).



Rys. 9 Wybrane punkty na manekinie wirtualnym po wykonaniu symulacji.

Porównanie wartości temperatur powierzchniowych zmierzonych doświadczalnie podczas badań eksploatacyjnych w komorze klimatycznej oraz wyników symulacji wykonanych z wykorzystaniem aplikacji komputerowej dla zestawu odzieżowego nr I przedstawia tablica 1.

Tab. 1. Porównanie wartości temperatur w wybranych punktach zarejestrowanych podczas badań oraz otrzymanych w wyniku symulacji komputerowych

Strefa antropometryczna		Wynik symulacji T [°C]	Wynik badań T [°C]
Przekrój 0	Klatka piersiowa – punkt 1	13,57	15,1 ± 0,8
Przekrój 1	Klatka piersiowa – punkt 2	14,05	
Przekrój 2	Prawe udo	17,41	16,8 ± 1,8
Przekrój 3	Lewe udo	18,87	18,3 ± 3,0

W ramach ostatniego etapu przeprowadzono też badania ankietowe pozwalające ocenić jakość dopasowania odzieży do wymiarów antropometrycznych jej użytkownika oraz odczuwalny komfort termiczny w rzeczywistych warunkach użytkowania. Uszyte na wymiar konstrukcje odzieżowe opracowane z wykorzystaniem aplikacji komputerowej potwierdziły zarówno jakość dopasowania jak również komfort termiczny uzyskany w wyniku przeprowadzonych symulacji komputerowych.

W ramach ostatniego etapu przygotowano również instrukcję użytkowania dla potencjalnych użytkowników opracowanej aplikacji komputerowej przeznaczonej do modelowania termoizolacyjnych zestawów odzieżowych.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzenie symulacji komputerowych dla zestawów odzieżowych wymagało uwzględnienia parametrów określających właściwości termiczne i mechaniczne materiałów oraz ich układów. Pierwszy z parametrów decydujący o izolacyjności termicznej odzieży to opór cieplny materiałów tekstylnych. Wyniki badań oporu cieplnego dla składowych oraz całych konstrukcji odzieżowych wykazały, że opory cieplne poszczególnych warstw odzieży nie są wielkościami addytywnymi. Zarówno dla zestawu odzieżowego nr I jak i II, suma oporów cieplnych poszczególnych warstw materiałowych wchodzących w skład konstrukcji odzieżowych nie odpowiada wartościom oporu cieplnego zarejestrowanym dla gotowych konstrukcji odzieżowych. Dla przykładu zmierzony opór cieplny całego układu materiałów kurtki z zestawu odzieżowego nr I wynosi $0,053 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Natomiast suma oporów cieplnych poszczególnych materiałów wchodzących w skład konstrukcji kurtki wynosi $0,087 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ i jest większa od wartości oporu cieplnego całego układu o 64 %. Podobne różnice zaobserwowano w przypadku badań oporu cieplnego dla konstrukcji kurtki puchowej z zestawu odzieżowego nr II. Wartość oporu cieplnego pakietu materiałów w tym przypadku wynosi $0,597 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Z kolei suma oporów cieplnych poszczególnych materiałów osiąga wartość $0,774 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ i jest większa o ok. 30 %. Zaobserwowane zjawisko jest wynikiem występowania m.in. siły nacisku kolejnych warstw materiałów w badanym pakiecie tworzącym konstrukcję odzieżową oraz warstw powietrza występujących pomiędzy warstwami materiałów. Zaobserwowane zjawiska dotyczące oporu cieplnego dla pojedynczych oraz wielowarstwowych układów materiałów są zgodne z wynikami wcześniejszych prac opisanych m.in. przez O'Callaghana i Bhattacharjee.

Oprócz oporu cieplnego materiałów tekstylnych w pracy wykorzystano również wyniki badań dotyczące sztywności zginania, wydłużenia przy rozciąganiu i siły zrywającej. Parametry te posłużyły do określenia stopnia elastyczności materiałów i opracowania algorytmów odpowiedzialnych za przeprowadzenie symulacji komputerowych odzwierciedlających ułożenie odzieży na postaci manekina wirtualnego odpowiadającego wymiarom antropometrycznym użytkownika odzieży.

W celu dokładnego określenia parametrów materiałów decydujących o ich rozciągliwości wydłużenie przy maksymalnej sile oraz siłę zrywającą dla każdego materiału zbadano w trzech kierunkach, tj. wzdłuż próbki, w poprzek oraz pod kątem 45° . Największą siłę zrywającą we wszystkich trzech kierunkach odnotowano dla tkaniny z membraną THERMOACTIVE® 2L (w każdym przypadku powyżej $0,600 \text{ kN}$), natomiast najmniejszą dla tkaniny POLARTEC® 200 badanej w kierunku poprzecznym. Warto podkreślić, że tkanina

POLARTEC® 200 charakteryzuje się największymi różnicami siły zrywania w badanych kierunkach (wzdłuż: 0,461 kN, w poprzek zaledwie 0,155 kN, natomiast pod kątem 45° 0,260 kN. Niskie wartości siły zrywającej uzyskano również dla podszewki oczkowej (w każdym kierunku zbadana wartość nie przekroczyła 0,230 kN). W odniesieniu do wydłużenia materiału przy maksymalnej sile najwyższą wartość osiągnięto właśnie dla tkaniny POLARTEC® 200 badanej w kierunku poprzecznym, aż 132 mm. Najniższe wartości wydłużenia, nie przekraczające 25 mm w każdym z badanych kierunków, wykazała podszewka poliestrowa.

Kolejny parametr określający właściwości mechaniczne materiałów to sztywność zginania oceniana zgodnie z normą PN-P-04631:1973. Sztywność zginania materiałów wraz z wydłużeniem przy rozciąganiu decyduje o jakości ułożenia odzieży na użytkownika. Są to parametry, które obok przygotowania właściwego wykroju konstrukcji odzieżowej decydują o tworzeniu się przestrzeni i tzw. kominów powietrznych pomiędzy warstwami materiałów stosowanych w pojedynczych konstrukcjach i kompletnych zestawach odzieżowych.

Uzyskane wyniki badań potwierdzają, że najwyższą wartość sztywności zginania na poziomie 0,036 mNm, a co za tym idzie również modułu zginania (1661 kPa) uzyskano dla tkaniny z membraną THERMOACTIVE® 2L. Najniższą wartość odnotowano dla podszewki oczkowej, tj. 0,001 mNm, przy module zginania 24 kPa.

Przedstawione w pracy wyniki badań termowizyjnych w postaci termogramów zarejestrowanych dla obu zestawów odzieżowych badanych w komorze termicznej oraz w kriokomorze posłużyły do sprawdzenia poprawności przeprowadzonych symulacji komputerowych. Porównanie wartości temperatury powierzchniowej dla wybranych punktów uzyskanych w wyniku przeprowadzenia symulacji termicznych (rys. 9) z wykorzystaniem aplikacji komputerowej oraz badań wykonanych w komorze klimatycznej z manekinem termicznym przedstawiono w tablicy 2. Porównanie dotyczy zestawu odzieżowego nr I poddanego badaniom eksperymentalnym i symulacji w warunkach otoczenia: temperatura $T = 10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, prędkość obiegu powietrza: $V = 0,31\text{ m/s}$, wilgotność powietrza: $\text{RH} = 27,5\text{ \%}$.

Tab. 2. Porównanie wartości temperatur powierzchniowych zmierzonych doświadczalnie podczas badań eksploatacyjnych w komorze klimatycznej oraz wyników symulacji wykonanych z wykorzystaniem aplikacji komputerowej dla zestawu odzieżowego nr I.

Strefa antropometryczna		Wynik symulacji T [°C]	Wynik badań T [°C]
Przekrój 0	Klatka piersiowa – punkt 1	13,57	15,1 ± 0,8
Przekrój 1	Klatka piersiowa – punkt 2	14,05	
Przekrój 2	Prawe udo	17,41	16,8 ± 1,8
Przekrój 3	Lewe udo	18,87	18,3 ± 3,0

Wykorzystując ten sam schemat postępowania jak dla zestawu odzieżowego nr I przeprowadzono symulacje komputerowe i porównanie otrzymanych wyników z badaniami w komorze kriogenicznej z udziałem uczestnika badań dla zestawu odzieżowego nr II. Wyniki porównania zamieszczono w tablicy 3.

Tab.3. Porównanie wartości temperatur powierzchniowych zmierzonych doświadczalnie podczas badań w komorze kriogenicznej oraz wyników symulacji wykonanych z wykorzystaniem aplikacji komputerowej dla zestawu odzieżowego nr II.

Strefa antropometryczna		Wynik symulacji T [°C]	Wynik badań T [°C]
Przekrój 0	Klatka piersiowa	- 6,43	- 5,2 ± 2,0
Przekrój 1	Prawa ręka - ramię	- 4,85	- 4,0 ± 2,0
Przekrój 2	Lewa ręka - ramię	- 4,52	- 4,1 ± 2,0

Uzyskane w wyniku symulacji komputerowych wartości temperatury powierzchniowej w wybranych punktach dla zestawu odzieżowego nr I i II pokrywają się z wartościami uzyskanymi w wyniku przeprowadzenia badań eksploatacyjnych w komorze klimatycznej z wykorzystaniem manekina termicznego, jak również w komorze kriogenicznej z udziałem ochotnika badań. Zbieżność rozwiązania potwierdza poprawność wykorzystanej metody numerycznej i umożliwia prowadzenie symulacji komputerowych dla dowolnych konstrukcji i zestawów odzieżowych wprowadzonych do aplikacji komputerowej. Niezbędne jest jednak zapisanie informacji o wykroju odzieży w postaci cyfrowej oraz zdefiniowanie krawędzi pod względem połączeń.

Modelowanie komputerowe konstrukcji odzieżowych w celu wyznaczenia komfortu termicznego wymaga poprawnego zdefiniowania zjawisk transportu ciepła oraz określenia parametrów charakteryzujących materiały i ich pakiety zastosowane w poszczególnych konstrukcjach odzieżowych. Modelowanie zjawisk termicznych zachodzących w układzie użytkownik – odzież – otoczenie wymaga zastosowania algorytmów uwzględniających jakość dopasowania odzieży do wymiarów antropometrycznych użytkownika, jak również uwzględnienie przestrzeni powietrznych występujących pomiędzy poszczególnymi warstwami materiałów konstrukcyjnych odzieży. W zależności od stopnia uszczegółowienia opisu matematycznego, opisującego zjawiska transportu i wymiany ciepła, przy określaniu parametrów układu, tj. oporu cieplnego materiałów i ich pakietów należy zwrócić uwagę na fakt, że opór cieplny całego pakietu materiałów nie jest równy sumie oporów cieplnych poszczególnych materiałów tego układu. W związku z powyższym najbardziej dokładnym

opisem tego elementu modelu matematycznego jest wykonanie pomiaru oporu cieplnego dla całego układu materiałów.

Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku parametrów mechanicznych określających dopasowanie materiałów i ich układów do sylwetki użytkownika odzieży. Badania określające wydłużenie przy rozciąganiu oraz sztywność zginania zgodnie z procedurami opisanymi w przytoczonych normach wykonywane są dla pojedynczych materiałów. Aby możliwie dokładnie określić parametry modelu do symulacji układu materiałów należy przyjąć wartości uzyskane dla najgorszego materiału, tj. wartość zarejestrowane dla materiału o najniższej sztywności zginania i najmniejszym wydłużeniu przy rozciąganiu. Oznacza to, że układ materiałów jest tak rozciągliwy jak najmniej rozciągliwy materiał wchodzący w jego skład.

Wyniki ankiet dotyczących badań eksploatacyjnych w każdym przypadku potwierdziły poprawność dopasowania konstrukcji odzieżowych uszytych na miarę i braku odczuwanego dyskomfortu podczas użytkowania odzieży. Podobnie w przypadku komfortu termicznego zestawy odzieżowe opracowane z wykorzystaniem aplikacji komputerowej potwierdziły komfort termiczny odzieży podczas eksploatacji w zadanych warunkach otoczenia. Wyniki ankiet dla zestawów odzieżowych opracowanych zgodnie z numeracją S,M,L,XL, a nie uszytych na miarę wykazały dyskomfort podczas użytkowania w zadanych warunkach i znacznie mniejszy komfort termiczny wynikający z niedopasowania konstrukcji do wymiarów antropometrycznych uczestników badań. Dyskomfort termiczny odczuwany był szczególnie w miejscach takich jak pachwiny, pachy i okolice szyi.

Wyniki symulacji komputerowych wykonanych z wykorzystaniem opracowanej aplikacji potwierdzają zgodność z wynikami uzyskanymi doświadczalnie w warunkach symulujących warunki użytkowania odzieży. Zarejestrowane za pomocą kamery termowizyjnej termogramy pozwoliły na ocenę utraty ciepła w wyniku jego przenikania od ciała użytkownika do ostatniej warstwy odzieży pozostającej w bezpośrednim kontakcie z otoczeniem. Ponadto przeprowadzone w warunkach klimatu zimnego badania dla zestawów odzieżowych opracowanych z wykorzystaniem aplikacji komputerowej potwierdziły możliwość zamodelowania rozwiązań konstrukcyjnych zapewniających komfortu użytkowania nawet w ekstremalnych warunkach.