



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

dr inż. JAROSŁAW JANKOWSKI (ORCID: 0000-0002-4910-7904)

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

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: m.mlynarczyk@ciop.pl

DOI: 10.54215/BP.2022.08.21.Mlynarczyk

Określanie objętości przestrzeni powietrznych pod odzieżą z wykorzystaniem techniki skanowania 3D – studium przypadku

Fot. Rosengaard/Bigstockphoto



Wstęp

Stopień dopasowania odzieży do ludzkiego ciała ma wpływ na wartość jej izolacyjności cieplnej i tym samym – na poziom ciepłochronności. Nieodpowiednio dobrany rozmiar ubrania, które nosi pracownik podczas wykonywania swoich obowiązków, może zatem negatywnie wpływać na jego odczucia cieplne. Gorzej dopasowana, zbyt luźna odzież powoduje powstanie większych przestrzeni wypełnionych powietrzem – zamkniętych między warstwami materiałów, z których składa się zestaw odzieży, a także między skórą a warstwą materiału najbliższą ciału [1]. Zakłada się, że – zgodnie z modelem Wisslera [2] – już zmiana grubości zamkniętej warstwy powietrznej o 5 mm wywołuje zmianę wartości izolacyjności cieplnej (rys. 1).

W celu określenia wielkości przestrzeni powietrznych stosuje się technikę skanowania 3D, która pozwala na określenie całkowitej objętości przestrzeni wypełnionej powietrzem między odzieżą zewnętrzną a skórą. Do tych pomiarów stosuje się technikę skanowania 3D bezkontaktową aktywną, z wykorzystaniem skanowania laserowego lub projekcji światła strukturalnego [4, 5]. Całkowita objętość przestrzeni wypełnionej powietrzem informuje o „całej” objętości powietrza (wyrażonej w mm^3 lub litrach) zamkniętej w badanej warstwie pomiędzy ciałem a odzieżą. Średnia wielkość przestrzeni powietrznych (wyrażona np. w mm) opisuje natomiast średnią odległość warstwy pomiędzy ciałem człowieka a odzieżą.

Na podstawie wyników badań Lu i in. [4] stwierdzili, że wartość całkowitej objętości powietrza pod odzieżą jest jednym z parametrów określających przestrzenie powietrzne (rys. 2) i może dostarczyć informacji przydatnych w ocenie dopasowania odzieży. Z kolei Lee i in. [5] wykazali korelację między całkowitą objętością przestrzeni wypełnionej powietrzem a średnią wielkością przestrzeni powietrznych w przypadku badanych przez nich kamizelek.

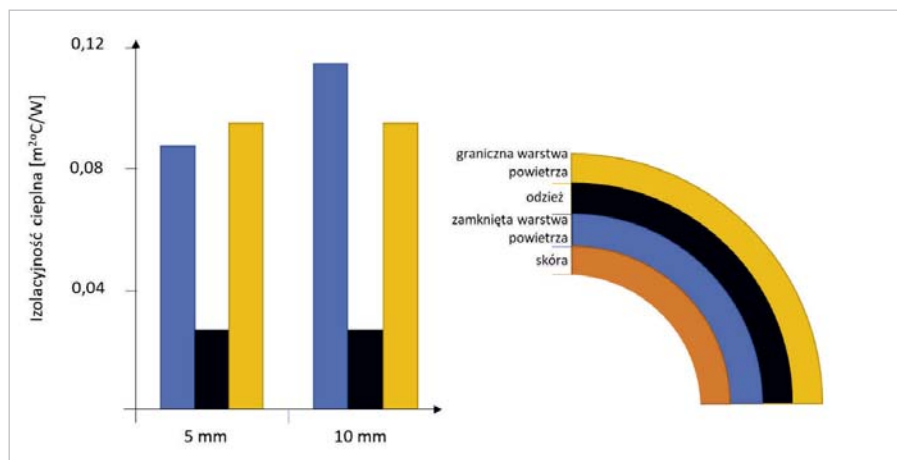
Stopień dopasowania odzieży do ludzkiego ciała ma wpływ na jej izolacyjność cieplną i tym samym – na poziom jej ciepłochronności. Określenie całkowitej objętości przestrzeni powietrznych pod odzieżą za pomocą techniki skanowania 3D może dostarczyć informacji przydatnych w ocenie dopasowania tej odzieży. W artykule przedstawiono sposób pomiaru przestrzeni powietrznych pod odzieżą z wykorzystaniem wspomnianej techniki oraz omówiono zależność między rozmiarem odzieży a stopniem jej dopasowania do sylwetki człowieka.

Słowa kluczowe: skanowanie 3D, dopasowanie odzieży, przestrzenie powietrzne, objętość przestrzeni powietrznych

Determining the volume of air spaces underneath clothing using the 3D scanning technique – a case study

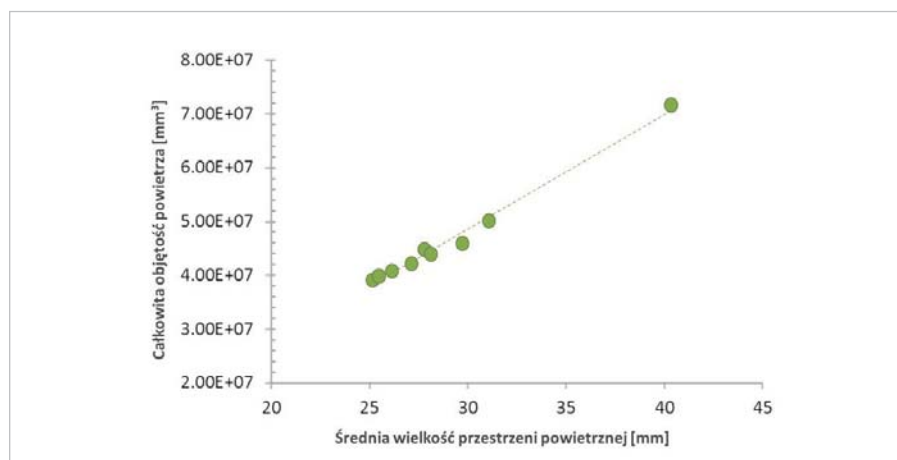
The degree of fit of the clothes to the human body affects its thermal insulation. The determination of the total volume of air spaces underneath clothing by means of a 3D scanning technique can provide information useful in assessing the fit of clothing. The article presents the method of measuring the air spaces underneath clothing with the use of the aforementioned technique and discusses the relationship between the size of the clothing and the degree of its fit to the human body.

Keywords: 3D scan, fit clothes, air gaps, air volume



Rys. 1. Izolacyjność cieplna poszczególnych warstw w systemie odzieżowym składającym się z tkaniny bawełnianej (o grubość ok. 1 mm), oddzielonych zamkniętą warstwą powietrza o grubości 5 mm i 10 mm, przy temperaturze skóry 24°C i temperatury powietrza 10°C, wraz ze schematem ułożenia poszczególnych warstw w systemie odzieżowym (opracowanie własne na podstawie [3])

Fig. 1. Thermal insulation of individual layers in a clothing system consisting of a cotton fabric (about 1 mm thick) separated by a 5 mm and 10 mm closed air gaps for a skin temperature of 24°C and an air temperature of 10°C, along with a diagram of the structure of individual layers in the clothing system (own work based on [3])



Rys. 2. Zależność między średnią wielkością przestrzeni powietrznych a całkowitą objętością powietrza (opracowanie własne na podstawie [4])

Fig. 2. Relationship between average air gaps and air volume (own work based on [4])

Celem artykułu jest przedstawienie sposobu pomiaru przestrzeni powietrznych pod odzieżą za pomocą techniki skanowania 3D oraz zależności między rozmiarem a dopasowaniem odzieży do sylwetki. Zaprezentowano wyniki dotyczące jednego zestawu odzieży.

Materiały i metody badawcze

Badana odzież

Pomiarom przestrzeni powietrznych poddano zestaw odzieży składający się z białej bielizny w rozmiarze S oraz kwasoodpornej odzieży

ochronnej (odzieży wierzchniej) w trzech różnych rozmiarach (fot. 1), wybranych z tabeli producenta. Odnoszą się one do manekina termicznego, którego zeskanowano, a można je określić jako: przylegający (rozmiar 50), prawidłowo dobrany (rozmiar 54) i zbyt luźny (rozmiar 56). Szczegółowy opis materiałów, z których wykonano poszczególne elementy odzieży, zamieszczono w tab. 1.

Technika skanowania 3D i skanowany obiekt

Do skanowania 3D zestawu odzieży wykorzystano tablet z dedykowaną przystawką skanującą (wykorzystującą skanowanie laserowe) i odpowiednim oprogramowaniem.

Skanowanym obiektem był manekin termiczny typu Newton, o kształcie ciała mężczyzny, składający się z 34 segmentów [10] i służący do oceny ciepłochronności odzieży. Manekin typu Newton cechuje się wzrostem 176 cm, obwodem klatki piersiowej 91 cm i obwodem w pasie ok. 74 cm. Manekin termiczny był ubrany w specjalistyczną skórę¹ i zawieszony na konstrukcji oraz umieszczony pośrodku przestrzeni laboratorium, a jego pozycja została oznaczona przyklejonymi na podłogę taśmami (fot. 2) – w ten sposób zapewniono porównywalne warunki podczas skanowania. Zastosowanie specjalistycznej skóry pozwoliło na „wygładzenie” powierzchni manekina, usunięcie nierówności przy łączeniach elementów.

Przebieg badań i uzyskane wyniki

Przebieg badań

W przypadku każdego zestawu odzieży osobno skanowano jej górę i dół – w dwóch powtórzeniach. Po ubraniu manekina w odzież roboczą skanowano więc jego górną część, a następnie dolną część przy zdjętej górnej części ubrania. Wszystkie skany wykonywała ta sama osoba, która podczas każdego pomiaru zajmowała określoną pozycję względem obiektu badań (oznaczoną na podłodze żółtą linią rozpoczęcia skanowania) i ustawiała objętość

¹ Specjalistyczna skóra (sweat skin fabric) – „skóra” manekina wykonana z dzianiny (372 Morea: 80% poliamid, 20% elastan) stosowana podczas pomiarów mokrej wymiany ciepła (przy procesach pocenia manekina).

Tabela 1. Opis odzieży zastosowanej do badań

Table 1. Description of the clothing used for the tests

Element odzieży	Opis	Skład materiałowy	Zgodność z wymaganiami normy	Zastosowanie
Bielizna (B)	koszulka z długim rękawem oraz kalesony	59% Protex® 39% bawełna 2% Negastat® 205 g/m ²	PN-EN ISO 13688:2013-12 [6] PN-EN ISO 11612:2015-11 (A1, A2, B1, C1, F1 ¹⁾) [7] PN-EN 1149-5:2018-10 [8]	branża gazownicza i paliwowa, strefa zagrożenia wybuchem
Zestaw odzieży (Z)	bluza kwasoodporna oraz ogrodniczki kwasoodporne	80% poliester 20% bawełna 225 g/m ²	PN-EN ISO 13688:2013-12 [6] PN-EN 13034+A1:2010 [9]	przemysł chemiczny

¹⁾ A1-A2 – ograniczone rozprzestrzenianie się płomienia; B1-B3 – ochrona przed ciepłem konwekcyjnym; C1-C4 – ochrona przed promieniowaniem cieplnym; F1-F3 – ochrona przed ciepłem kontaktowym



Fot. 1. Bielizna oraz kwasoodporna odzież ochronna zastosowane do badań (opracowanie własne)
 Photo 1. Tested underwear and acid-resistant protective clothing (own source)



Fot. 2. Stawisko skanowania (strzałką oznaczono pozycję osoby rozpoczynającej skanowanie)
 Photo 2. Scanning station (the arrow marks the position of the person who started the scan)

skanowania. Ta objętość jest w oprogramowaniu wyświetlana jako sześciian z podświetloną na czerwono podstawą. Przed uruchomieniem skanowania należało dopasować rozmiar podstawy sześciannu, aby znajdowała się ona w obszarze oznaczonym żółtą taśmą (fot. 3). Podczas skanowania należało manewrować skanerem w sposób zapewniający wygenerowanie przez program kompletnej siatki skanowanego obiektu – było to możliwe dzięki funkcji podglądu budowanej siatki w czasie

rzeczywistym (fot. 4). Uzyskane z pomiarów wyniki przeniesiono do oprogramowania graficznego. W pierwszej kolejności usunięto zbędne elementy siatki zeskanowanego obiektu, a następnie ustalono środek i orientację trójwymiarowego modelu zeskanowanej części sylwetki. Za pomocą operacji odejmowania bryłowego z przygotowanego modelu pozostawiono interesujący badaczy wycinek, na podstawie którego pozyskano informację o zmierzonej objętości (rys. 3).

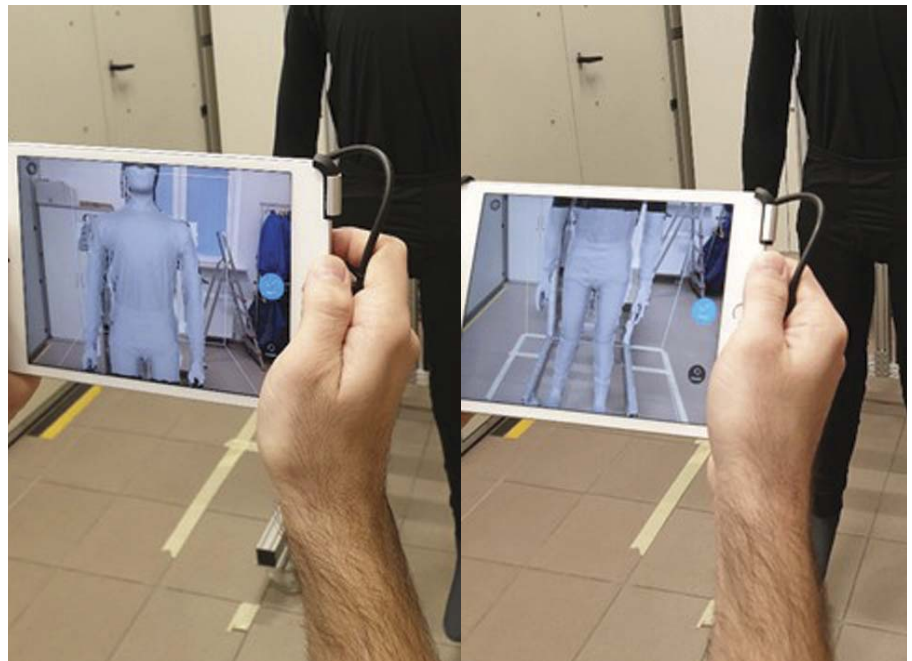
Bryły odejmowane od modelu w każdym przypadku były takie same, aby umożliwić porównywanie określonych objętości manekina: bez ubioru, ubranego w bieliznę oraz w ubraniu ochronnym.

Wyniki badań i dyskusja

Wyliczenia objętości przestrzeni powietrznych dla poszczególnych wariantów badania zamieszczono w tab. 2. Na tej podstawie



Fot. 3. Określenie objętości, w której oprogramowanie buduje trójwymiarową siatkę
 Photo 3. Determining the volume in which the software builds a three-dimensional mesh



Fot. 4. Uruchomienie skanowania 3D części górnej i dolnej manekina
 Photo 4. 3D scanning of the upper and lower part of manikin

obliczono różnicę między objętościami skanów (wielkości przestrzeni powietrznych) w poszczególnych wariantach badania (tab. 3).

Przedstawione wyniki badań potwierdzają, że za pomocą techniki skanowania 3D można określić wartość całkowitej objętości przestrzeni wypełnionej powietrzem pod odzieżą ochronną.

Ponadto wyniki wskazują na tendencję do zwiększania się całkowitej objętości przestrzeni powietrznych w przypadku zwiększania rozmiaru odzieży ochronnej. Jednakże w przypadku zbyt luźnej odzieży (w rozmiarze 56) obserwowano spadek tej objętości. Odzież była na tyle duża, że pod wpływem własnego ciężaru powodowała „przyleganie” do sylwetki manekina. Poza tym zamontowany w bluzie ściągacz nie pełnił już swojej funkcji i nie utrzymywał bluzy na biodrach manekina. Analizując uzyskane wyniki, należy więc zwracać uwagę na sposób układania się odzieży na manekinie.

Wyniki przeprowadzonych badań porównano z wielkościami całkowitej objętości przestrzeni powietrznych określonymi na podstawie skanowania termicznych jednoczęściowych kombinezonów roboczych [4]. Według Lu i in. [4] całkowita objętość przestrzeni powietrznych pod jednowarstwowym kombinezonem wynosi od 35 l do 60 l. To się pokrywa z wynikami badania, przy czym należy uwzględnić fakt lepszego dopasowania zastosowanego zestawu kwasoodpornej odzieży ochronnej (spodni typu ogrodniczki oraz bluzy ze ściągaczami).

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w celu uzyskania prawidłowego skanu należy:

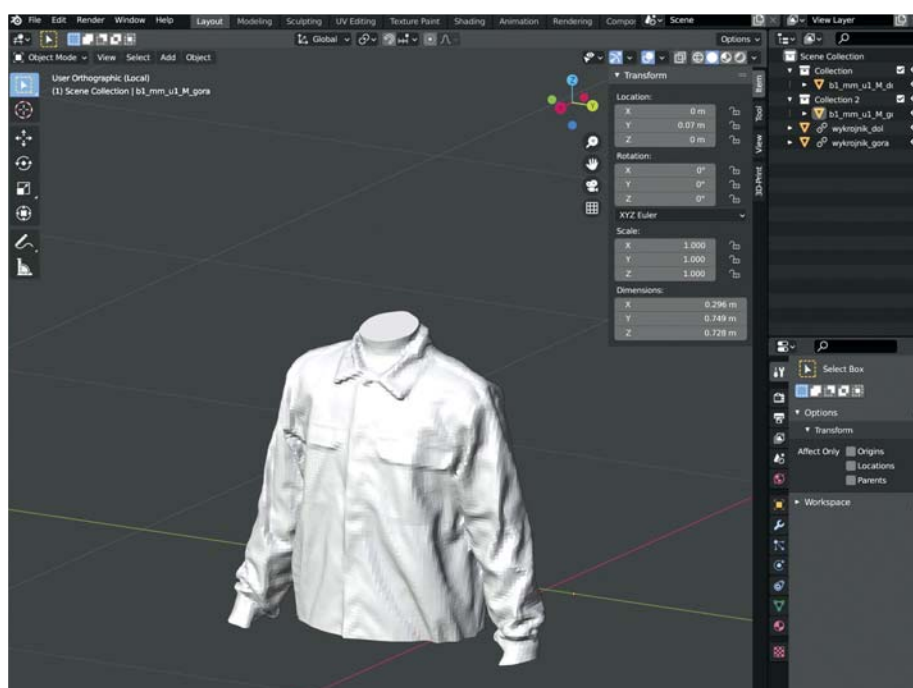
- ustalić odpowiednią odległość między skanowanym obiektem a skanerem,
- powierzyć wykonywanie skanów jednej osobie, aby zminimalizować ryzyko ewentualnych błędów wynikających z nieprawidłowego pomiaru,
- zakleić (zabezpieczyć) elementy odbłaskowe występujące na badanej odzieży,
- na potrzeby badań zapewnić pomieszczenie o odpowiedniej kubaturze (powierzchni), aby umożliwić osobie wykonującej skany swobodne przemieszczanie się wokół skanowanego obiektu,
- ustalić punkty odniesienia znajdujące się na skanowanym obiekcie – takie same dla każdego skanu.

Zaplanowano kontynuację badań nad objętością przestrzeni powietrznych w przypadku różnych rodzajów zestawów odzieży ochronnej, w tym zbadanie zależności między objętością przestrzeni powietrznych a wartościami izolacyjności cieplnej odzieży. Zostanie także podjęta próba określenia położenia przestrzeni powietrznych w analizowanych zestawach odzieży.

Tabela 2. Średnie wartości objętości skanów w wariantach: bielizna B (w rozmiarze S) oraz bielizna B (w rozmiarze S) w połączeniu z odzieżą ochronną Z (w trzech rozmiarach: 50, 54 i 56)

Table 2. Average values of the scan volumes in the following variants: underwear B (size S) and underwear B (size S) in combination with protective clothing Z (three sizes: 50, 54 and 56)

Analizowany wariant	Objętość [cm ³]		Objętość [l]	
	część górna	część dolna	część górna	część dolna
manekin ubrany w specjalistyczną skórę	40992,4	29997,1	41,0	30,0
B(S)	48183,3	34085,1	48,2	34,1
B(S)Z(50)	61241,6	44070,3	61,2	44,1
B(S)Z(54)	64548,5	47872,1	64,5	47,9
B(S)Z(56)	60356,9	47264,7	60,4	47,3



Rys. 3. Przykładowe obliczenia prowadzone w programie graficznym

Fig. 3. Sample calculations carried out in the graphics program

Tabela 3. Różnice objętości skanów (manekina ubranego w odzież i ubranego jedynie w specjalistyczną) w wariantach dla bielizny B (w rozmiarze S) w kombinacji z odzieżą ochronną Z (w trzech różnych rozmiarach: 50, 54 i 56)

Table 3. Differences in the volume of scans in variants for underwear B (size S) in combination with protective clothing Z (in three different sizes: 50, 54 and 56)

	manekin ubrany w specjalistyczną skórę	B(S)	B(S)Z(50)	B(S)Z(54)	
Różnica objętości [l] – część górna					manekin ubrany w specjalistyczną skórę
	7,2				B(S)
	20,2	13,1			B(S)Z(50)
	23,6	16,4	3,3		B(S)Z(54)
	19,4	12,2	-0,9	-4,2	B(S)Z(56)
Różnica objętości [l] – część dolna					manekin ubrany w specjalistyczną skórę
	4,1				B(S)
	14,1	10,0			B(S)Z(50)
	17,9	13,8	3,8		B(S)Z(54)
	13,2	3,2	-0,6		B(S)Z(56)

BIBLIOGRAFIA

[1] MŁYNARCZYK, M., ORYSIAK, J. Przestrzenie powietrzne pod odzieżą – ich pomiar i wpływ na poziom ciepłochronności. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka. 2021, 4: 22-25, doi: 110.5604/01.3001.0014.8321.

[2] WISSLER, E.H., HAVENITH, G. A simple theoretical model of heat and moisture transport in multi-layer garments in cool ambient air. European Journal of Applied Physiology. 2009, 105: 797-808.

[3] FRACKIEWICZ-KACZMAREK, J., PSIKUTA, A., ROSSI, R. Quantitative Analysis of the Air Gap

Between the Skin and the Clothing. International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland, 19-20 October 2010.

[4] LU, Y., SONG, G., LI, J. A Novel Approach for Fit Analysis of Protective Clothing Using Three-Dimensional Body Scann Proc. of the 4th International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Long Beach CA, USA, 19-20 November 2013.

[5] LEE, Y., HONG, K., HONG, S.A. 3D quantification of microclimate volume in layered clothing for the prediction of clothing insulation. Applied Ergonomics. 2007, 38 (3): 349-355.

[6] PN-EN ISO 13688:2013-12. Odzież ochronna – Wymagania ogólne.

[7] PN-EN ISO 11612:2015-11. Odzież ochronna – Odzież do ochrony przed czynnikami gorącymi i płomieniem – Minimalne wymagania dotyczące skuteczności.

[8] PN-EN 1149-5:2018-10. Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne – Część 5: Wymagania materiałowe i konstrukcyjne.

[9] PN-EN 13034+A1:2010. Odzież chroniąca przed ciekłymi chemikaliami – Wymagania dotyczące odzieży zapewniającej ograniczoną skuteczność ochrony przed ciekłymi chemikaliami (Typ 6 i Typ PB{6} odzieży).

[10] MŁYNARCZYK, M. Wpływ parametrów mikroklimatu na parametry termiczne odzieży ochronnej – badania z wykorzystaniem manekina termicznego newton. CIOP-PIB, 2019, <https://m.ciop.pl/CIOPPortalWAR/file/89414/Materialy-informacyjne-1-G-09-M-Mlynarczyk.pdf>

Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny i Polityki Społecznej (zadanie nr 3.SP.04 pt. „Badanie wpływu dopasowania odzieży na izolacyjność cieplną i opór pary wodnej w układzie odzież – źródło ciepła”). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

KONKURS PLASTYCZNY

TERMIN NADSYŁANIA PRAC

15 PAŹDZIERNIKA 2022

Więcej informacji: www.ciop.pl/konkursplastyczny

CIOP  PIB

PIERWSZA POMOC
MOJA SUPERMOC

