

mgr KRZYSZTOF MAKOWSKI
 dr inż. AGNIESZKA BROCHOCKA
 dr inż. EMILIA IRZMAŃSKA
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: krmak@ciop.lodz.pl
 DOI: 10.5604/01377043.1218436

Ocena komfortu użytkowania wybranych modeli środków ochrony indywidualnej z wykorzystaniem techniki 3D

Fot. Kentoh/Bigstockphoto



W artykule przedstawiono badania komfortu użytkowania obuwia roboczego, masek i półmasek indywidualnie dopasowanych do kształtu ciała użytkownika. Do wykonania modeli środków ochrony indywidualnej wykorzystano technikę cyfrowego odwzorowania 3D. Tak uzyskane modele poddano ocenie komfortu użytkowania, porównując je ze standardowymi wyrobami dostępnymi na rynku. W wyniku badań stwierdzono, że indywidualne dopasowanie ŚOI zmodyfikowanych z wykorzystaniem cyfrowego odwzorowania wymiarów antropometrycznych znacząco wpływa na poprawę komfortu ich użytkowania.

Słowa kluczowe: komfort użytkowania, środki ochrony indywidualnej, badania eksploatacyjne, obuwie ochronne, części twarzowe

Evaluating comfort of selected models of PPE with 3D digital mapping

This article presents a study on the comfort of footwear, masks and respirators individually fitted to the shape of the human body. 3D digital mapping was used to make models of personal protective equipment (PPE). Thus obtained models were evaluated for comfort by comparing them with standard products available on the market. The results showed that individual adjustment of PPE modified with digital mapping of anthropometric measurements significantly improved the comfort of their use.

Keywords: comfort, personal protective equipment, practical performance test, safety footwear, face pieces

Wstęp

Środki ochrony indywidualnej (ŚOI) stosowane w celu zapewnienia ochrony użytkownikom na stanowiskach pracy, oprócz spełnienia wymagań zasadniczych, zawartych w dyrektywie 89/686/EWG, przeniesionej do prawa polskiego na mocy rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r., powinny być tak konstruowane, aby można było je dopasowywać do wymiarów

użytkownika [1,2]. Niewłaściwe dopasowanie ŚOI do wymiarów użytkowników jest bowiem jedną z podstawowych przyczyn niestosowania ich lub nie zapewnianie przez nie właściwej ochrony przed zagrożeniami występującymi na stanowisku pracy.

Precyzyjna ocena osobniczych cech antropometrycznych człowieka to atrakcyjny obszar wykorzystania technik wspomagania komputerowego CAD oraz techniki skanowania 3D do projektowania elementów konstrukcyjnych środków ochrony

indywidualnej, takich jak ochrony nóg i układu oddechowego. Obserwowany w ostatnich latach rozwój technik komputerowych, jak również powiększające się możliwości techniczne nowych urządzeń optycznych oraz digitalizujących mają istotny wpływ na postęp badań nad symulacją konstrukcji i projektowanie, w szczególności wyrobów odzieżowych [3,4]. Powstała w ten sposób możliwość generowania wirtualnych modeli, m.in. kombinizonów dla skoczków narciarskich, ale także mniej skomplikowanych i złożonych rodzajów odzieży.

Obecnie stosowane techniki tworzenia wirtualnych modeli dotyczą głównie odzieży [5,6] i polegają na przetwarzaniu obrazu dwuwymiarowego (2D) do trójwymiarowego (3D), ograniczając się do opracowania modeli „jednorazowych”. Dokładność skanowania obiektów trójwymiarowych oferowana przez dostępne narzędzia optyczne, umożliwiają precyzyjne odwzorowanie kształtów twarzy oraz stopy [7], co pozwala na wykorzystanie techniki skanowania 3D do projektowania elementów konstrukcyjnych obuwia, jak również masek pełnych i półmasek, wymagających ścisłego dopasowania do wymiarów antropometrycznych użytkownika.

Największe zalety optycznej metody pomiarowej z wykorzystaniem skanera 3D to przede wszystkim wysoka jakość odwzorowania danych rejestrowanych w krótkim czasie, duża dokładność pomiarowa, uzyskanie informacji o geometrii i fakturze całej powierzchni mierzonego obiektu oraz możliwość bezpośredniego porównania z danymi CAD. Dzięki tym cechom skanery 3D mogą być użyte do skanowania kształtów o różnych rozmiarach i stopniach skomplikowania. Rozwój narzędzi i technik skanowania sprawił, że znalazły one zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, zarówno przy wspomaganiu projektowania i produkcji, jak również w procesach dotyczących kontroli jakości gotowych wyrobów.

Obecnie nie ma na rynku środków ochrony indywidualnej indywidualnie dopasowanych do wymiarów użytkownika. Najnowsze doniesienia literaturowe wskazują jednak na pojawianie się pierwszych prototypów wyrobów, które zostały zaprojektowane i wytworzone z wykorzystaniem

cyfrowego odwzorowania wymiarów antropometrycznych [8]. Wytworzono formy w druku 3D, na bazie których odlewano korpusy półmasek dopasowanych do jednego z 5 modeli cyfrowych głów, stanowiących podstawę definiowania wymiarów antropometrycznych głowy oraz twarzy, pochodzących z amerykańskiego Centers for Disease Control and Prevention. Zostały one opracowane przez zespół Zhuanga, Benson i Viscusi z National Institute for Occupational Safety and Health [9,10]. Dlatego też w CIOP-PIB podjęto prace w zakresie oceny komfortu użytkownika wybranych środków ochrony indywidualnej, opracowanych z wykorzystaniem techniki 3D, w porównaniu ze standardowymi wyrobami dostępnymi na rynku.

Celem pośrednim projektowania ŚOI w wykorzystaniu techniki skanowania 3D było wyeliminowanie dyskomfortu powodowanego uciskiem źle dopasowanego obuwia oraz obciążeń z tego wynikających, jak i uciskiem elementów uszczelniających część twarzową sprzętu i zagrożeń związanych z brakiem szczelności przylegania do twarzy podczas użytkowania sprzętu ochrony układu oddechowego.

Cele badań przedstawionych w artykule dotyczyły sprawdzenia możliwości wykorzystania skanera 3D do rejestracji wymiarów antropometrycznych stóp i twarzy użytkowników oraz opracowania na ich podstawie modeli dopasowanych środków ochrony indywidualnej.

Badania eksploatacyjne w kontekście oceny komfortu użytkownika ŚOI

Materiały

Spośród środków ochrony indywidualnej wykorzystanych do badań eksploatacyjnych, służących ocenie komfortu użytkownika, wytypowano:

- półmaskę dwufiltrową (spełniającą wymagania PN-EN 140:2001 [11]) łączoną z elementami oczyszczającymi w postaci filtrów klasy P3 R (zgodnie z PN-EN 143:2004 [12]) za pomocą łącznika bagnetowego
- maskę jednofiltrową spełniającą wymagania PN-EN 136:2000 [13], łączoną z elementami oczyszczającymi w postaci filtrów klasy P3 R (zgodnie z PN-EN 143:2004) za pomocą łącznika standardowego Rd 40x1/7" (zgodnie z PN-EN 148-1:2002 [14])
- oraz środki ochrony nóg w postaci obuwia roboczego – trzewików.

Półmaski z wymiennymi elementami oczyszczającymi są obecnie drugim, po półmaskach filtrujących, najczęściej stosowanym typem sprzętu ochrony układu oddechowego. Połączone z odpowiednio dobranymi do rodzaju zanieczyszczeń elementami oczyszczającymi (filtrami, pochłaniaczami lub filtropochłaniaczami), służą do ochrony przed zanieczyszczeniami w postaci aerozoli i/lub par i gazów. Półmaski składają się z następujących podstawowych elementów: korpusu wykonanego z gumy, silikonu lub mieszanki gumowo-silikonowej, regulowanego nagłowia, zaworów wydechowych i wdechowych, łączników, do których można zamontować odpowiedni element oczyszczający lub automat oddechowy. Poszczególne typy półmasek różnią się od siebie konstrukcją łączników do mocowania różnych elementów oczyszczających, kształtem czaszy, nagłowiem.

Półmaskę przedstawiono na fot. 1., a elementy filtrujące (filtry klasy P3 R) na fot. 2.

Maski to najbardziej typowa i najskuteczniejsza część twarzowa sprzętu ochrony układu oddechowego, która zakrywa całą twarz użytkownika, zapewniając ochronę nie tylko układu oddechowego, ale również oczu i twarzy. Typowa maska posiada korpus wykonany z mieszanki gumowej lub silikonowej. Integralną część korpusu stanowi półmaska wewnętrzna wyposażona w dwa symetrycznie umieszczone zawory wdechowe. W korpusie maski na wysokości ust umieszczony jest łącznik, zawór wydechowy oraz membrana foniczna. Maskę wyposażono w z reguły poliwęglanowy wizjer, osadzony w metalowych lub wykonanych z tworzywa sztucznego ramkach oraz pięciopunktowe, elastyczne nagłowie wyposażone w sprzączki umożliwiające jego płynną regulację. Maskę pełną przedstawia fot. 3., a filtry klasy P3 fot. 4.

Wytypowane do badań trzewiki (fot. 5.) to obuwie robocze męskie w kolorze czarnym, w rozmiarze 44. Zgodnie z klasyfikacją przyjętą w odniesieniu do modeli bezpiecznych (PN-EN ISO 20345:2012, [15]), ochronnych (PN-EN ISO 20346:2014-08, [16]) i zawodowych (PN-EN ISO 20347:2012, [17]), obuwie zostało przyporządkowane do modelu B, czyli o wysokości do stawu skokowo-goleniowego oraz przypisane do klasy I (wykonane ze skóry lub innych materiałów, z wyłączeniem obuwia całogumowego i całotworzywowego).

Wierzch obuwia został wykonany ze skóry licowej, a podeszwa, połączona z butem systemem klejonym, z kauczuku termoplastycznego. Wierzch składa się z przyszwycy oraz obłożyny, które zostały zszyte. Umieszczono w nim też otwory na sznurrowadła, a podeszwa jest nieznacznie urzeźbiona.

Obuwie nie posiada żadnych zadeklarowanych właściwości ochronnych, tzn. nie zostało wyposażone w podnoski czy ochrony górnej części śródstopia. Nie posiada również metalowych lub niemetalowych wkładek odpornych na przebicie.

W celu odwzorowania 3D korpusu półmaski oraz korpusu półmaski wewnętrznej maski pełnej konieczne było zeskanowanie w trójwymiarze ich wewnętrznych części z uwzględnieniem zawiniętego kołnierza uszczelnienia części twarzowych w miejscu kontaktu z twarzą użytkownika. Skanowanie przeprowadzono za pomocą urządzenia opartego na niebieskim świetle lasera skanującego serii ATOS CORE. Następnie dopasowano uzyskane obrazy do trójwymiarowego obrazu twarzy uczestnika badań. Działanie to było możliwe dzięki eksportowi uzyskanych danych antropometrycznych uczestnika badań do programu CAD, w którym manualnie dopasowano kształty korpusów do kształtu twarzy. Tak uzyskane modele cyfrowe 3D obu półmasek zostały wydrukowane za pomocą drukarki 3D, umożliwiającą drukowanie z rozdzielczością 0,01 mm. Materiał, z jakiego wykonano wydruki to mieszanina elastomerów o proporcjach dobranych tak, aby uzyskać twardość wg skali Shore'a A = 60 ° gotowego wydruku przy zachowaniu odpowiedniej elastyczności.

Dopasowany model buta zaprojektowano na podstawie wyników pomiarów uzyskanych dzięki cyfrowemu odwzorowaniu stóp uczestnika badań. Pobrane wymiary przekazano do specjalistycznego zakładu obuwniczego, w którym wykonane zostało obuwie robocze stosowane w badaniach. Główną różnicą w obuwii modelowym w porównaniu z obuwem standardowym była w wysokości podbicia oraz obwodzie i szerokości przodostopia.



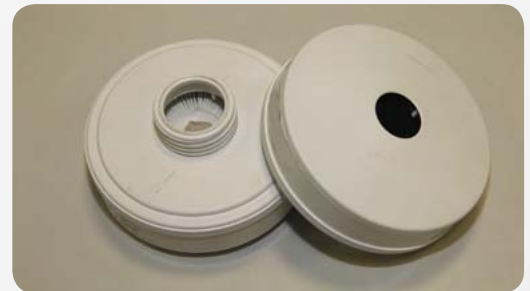
Fot. 1. Półmaska
Photo 1. Half mask



Fot. 2. Filtry klasy P3 R
Photo 2. Particle filters class P3 R



Fot. 3. Maska pełna
Photo 3. Full face mask



Fot. 4. Filtry klasy P3 R
Photo 4. Particle filters P3 R

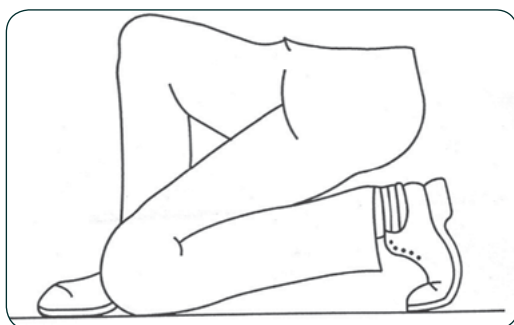


Fot. 5. Obuwie w formie trzewików roboczych
Photo 5. Footwear in the form of working ankle boots



Fot. 6. Kosz ze skrawkami gumy: A – napełnianie wiadra skrawkami gumy, B – wrzucanie skrawków gumy do kosza

Photo 6. Basket with rubber chippings: A – filling the basket with rubber chippings from a hopper, B – emptying the chippings back into the hopper



Rys. 1. Pozycja ciała podczas wykonywania testu „klękanie/kucanie” [EN ISO 20344:2012]

Fig. 1. Position of the human body during the kneeling/squatting test (EN ISO 20344:2011)

Charakterystyka uczestnika badań

Ze względu na wstępny charakter prowadzonych badań związany z indywidualnym dopasowaniem wymiarów badanych ochron do twarzy i stóp użytkownika oraz bardzo wysoki koszt wyprodukowania antropometrycznie dopasowanych modeli środków ochrony indywidualnej z wykorzystaniem technologii 3D, w badaniach uczestniczyła 1 osoba, która na co dzień ma bezpośrednią styczność ze sprzętem ochrony układu oddechowego oraz obuwiem ochronnym i roboczym – 33-letni ratownik ze straży pożarnej. Znajomość zasad funkcjonowania tych grup sprzętu oraz akceptacja obciążeń wynikających z ich stosowania ma szczególne znaczenie ze względu na powtarzalność wyników badań (przede wszystkim na równomierność cyklu oddechowego).

Metodyka badań eksploatacyjnych

Laboratoryjne badania eksploatacyjne były wykonywane w warunkach normalnych, tj. w tem-



Fot. 7. Chód na bieżni ergometrycznej (test bieżni)
Photo 7. Walking on a treadmill ergometer (treadmill test)

peraturze 20 ± 2 °C i wilgotności względnej powietrza $65 \pm 5\%$. Miały one na celu ocenę komfortu stosowania modeli części twarzowych i obuwia wykonanych z wykorzystaniem modeli 3D w odniesieniu do wyrobów oryginalnych, komercyjnie dostępnych na rynku.

Badania eksploatacyjne części twarzowych

Podczas badań maska i półmaska były subiektywnie oceniane przez użytkownika.

Badanie podzielono na dwie części:

1. Próba chodzenia

Uczestnik badania ubrany w zwykłą odzież roboczą i badany sprzęt maszerował ze stałą prędkością 6 km/h po poziomej bieżni. Badanie było przeprowadzone w sposób ciągły, bez zdejmowania półmasksi/maski przez 10 minut.

2. Próba symulowanej pracy

Podczas tego badania wymienione dalej czynności były wykonywane w celu symulacji rzeczywistego użycia sprzętu ochrony układu oddechowego. Badanie trwało 20 min. Uczestnik wykonywał następujące czynności:

- marsz po poziomej płaszczyźnie w tunelu o wysokości $(1,3 \pm 0,2)$ m przez 5 min
- pełzanie po poziomej płaszczyźnie w tunelu o wysokości $(0,70 \pm 0,05)$ m przez 5 min
- napełnianie małego kosza skrawkami gumy lub innym odpowiednim materiałem z pojemnika o wysokości 1,5 m i wysypywanie jego zawartości z powrotem do pojemnika (fot. 6.). Czynność była powtórzona 20 razy w czasie 10 minut.

Po badaniach uczestnik wypełniał ankietę z pytaniami kontrolnymi odnoszącymi się do podstawowych elementów oceny ergonomicznej maski.

Badania eksploatacyjne obuwia roboczego

Procedura badawcza składała się z dwóch testów, do których przyporządkowane były oddzielne kwestionariusze oceny subiektywnej. Pierwszym był test oceny ergonomicznej obuwia według EN ISO 20344:2012 [17], na który składały się typowe czynności wykonywane zwykle podczas pracy fizycznej:

- normalny chód z prędkością około 4-5 km/h przez 5 min



Fot. 8. Wejście i zejście po schodach (test schodów)
Photo 8. Ascending and descending stairs (stair-climbing test)

• wchodzenie po schodach (17 ± 3 stopnie) i schodzenie (17 ± 3 stopnie) przez maksymalnie 1 minutę

- klękanie i kucanie (rys. 1.)

Po zakończeniu testu nr 1, uczestnik udzielał odpowiedzi na pytania zawarte w kwestionariuszu zgodnym z normą [17]. Dotyczyły one stanu powierzchni obuwia, możliwości regulacji zapięć, utrudnień powodowanych przez użytkowane obuwie podczas marszu, wchodzenia i schodzenia po schodach, klękania i kucania.

Drugim był test oceny wygody użytkowania obuwia według procedury własnej, na który składały się następujące czynności:

- chód na bieżni przez 1 minutę z prędkością 7 km/h (test chodu po płaskim podłożu)
- wchodzenie/schodzenie po schodach – pokonanie łącznie 26 stopni, w 3 cyklach powtórzeniowych (test chodu po podłożu nierównym).

Wykonywane przez uczestnika czynności przedstawiono na fot. 7. i 8.

Po zakończeniu testu nr 2 uczestnik udzielał odpowiedzi na pytania zawarte w kwestionariuszach zaproponowanych przez autorów. Kwestionariusz opracowano oddzielnie w odniesieniu do chodu po płaskim podłożu oraz po podłożu nierównym. Pytania dotyczyły określenia dopasowania obuwia do stopy oraz komfortu użytkowania obuwia w zakresie komfortu zginania stopy w obuwiu w trzech miejscach, stopnia elastyczności obuwia w czterech miejscach, wymiarów obuwia w zakresie trzech parametrów.

Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań eksploatacyjnych części twarzowych

Wyniki badań eksploatacyjnych części twarzowych przedstawiono w tabelach 1 i 2. W większości przypadków badanych parametrów ocena była zbliżona zarówno dla części twarzowych oryginalnych, jak i tych zmodyfikowanych. Podstawowe różnice odnotowano w ocenie powstawania odgnieień i podrażnień skóry. Zmodyfikowane części twarzowe okazały się zdecydowanie lepiej dopasowane do twarzy użytkownika i nie powodowały odgnieień ani podrażnień skóry. Wyniki tej oceny przedstawio-

Tabela 1. Wyniki badań eksploatacyjnych półmaski

Table 1. Test results of practical performance tests for a half mask

Rodzaj uwagi	Półmaska standardowa		Półmaska modelowa – wydruk 3D	
	TAK	NIE	TAK	NIE
1. Czy taśmy nagłowia zabezpieczają odpowiednią szczelność przylegania części twarzowej?	X		X	
2. Czy w miejscach przylegania części twarzowej do twarzy nie powstają odgniecenia i podrażnienia skóry?		X	X	
3. Czy część twarzowa jest wygodna w użytkowaniu?	X		X	
4. Czy konstrukcja nagłowia umożliwia łatwe nałożenie i zdjęcie części twarzowej?	X		X	
5. Czy nagłowie jest łatwe do regulowania?	X		X	
6. Czy podczas użytkowania nie nastąpiło zerwanie połączeń taśm nagłowia z częścią twarzową lub samych taśm nagłowia?	X		X	
7. Czy część twarzowa nie wydziela ostrych i nieprzyjemnych zapachów?	X			X
8. Czy istnieje prawidłowe i niezawodne połączenie części twarzowych z innymi elementami sprzętu?	X		X	
9. Czy istnieje możliwość łatwego i bezpiecznego korzystania z połączeń i złącz bez stosowania narzędzi?	ND		ND	
10. Czy istnieje możliwość wyraźnego, słownego porozumiewania się podczas użytkowania części twarzowej?	X		X	
11. Czy urządzenia regulacyjne i kontrolne są umieszczone w zasięgu wzroku i rąk użytkownika? (jeśli istnieją)	ND		ND	
12. Czy użytkowanie części twarzowej nie utrudnia obserwację otoczenia?	X		X	
13. Czy nie występuje zniekształcenie obrazu?	ND		ND	
14. Czy wizjer nie zaparowuje?	ND		ND	
15. Czy nie występuje nadmierne ograniczenie pola widzenia?	X		X	
Ogólna ocena komfortu w skali od 1 do 10	5		8	

Tabela 2. Wyniki badań eksploatacyjnych maski

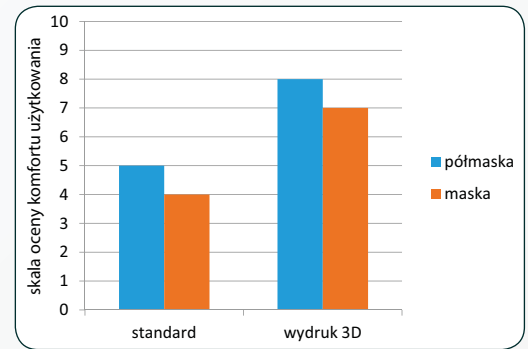
Table 2. Test results of practical performance tests for a full face mask

Rodzaj uwagi	Maska standardowa		Maska modelowa – wydruk 3D	
	TAK	NIE	TAK	NIE
1. Czy taśmy nagłowia zabezpieczają odpowiednią szczelność przylegania części twarzowej?	X		X	
2. Czy w miejscach przylegania części twarzowej do twarzy nie powstają odgniecenia i podrażnienia skóry?		X	X	
3. Czy część twarzowa jest wygodna w użytkowaniu?			X	
4. Czy konstrukcja nagłowia umożliwia łatwe nałożenie i zdjęcie części twarzowej?	X		X	
5. Czy nagłowie jest łatwe do regulowania?	X		X	
6. Czy podczas użytkowania nie nastąpiło zerwanie połączeń taśm nagłowia z częścią twarzową lub samych taśm nagłowia?	X		X	
7. Czy część twarzowa nie wydziela ostrych i nieprzyjemnych zapachów?	X			X
8. Czy istnieje prawidłowe i niezawodne połączenie części twarzowych z innymi elementami sprzętu?	X		X	
9. Czy istnieje możliwość łatwego i bezpiecznego korzystania z połączeń i złącz bez stosowania narzędzi?	ND		ND	
10. Czy istnieje możliwość wyraźnego, słownego porozumiewania się podczas użytkowania części twarzowej?	X		X	
11. Czy urządzenia regulacyjne i kontrolne są umieszczone w zasięgu wzroku i rąk użytkownika? (jeśli istnieją)	ND		ND	
12. Czy użytkowanie części twarzowej nie utrudnia obserwacji otoczenia?	X		X	
13. Czy nie występuje zniekształcenie obrazu?	ND		ND	
14. Czy wizjer nie zaparowuje?	ND		ND	
15. Czy nie występuje nadmierne ograniczenie pola widzenia?	X		X	
Ogólna ocena komfortu w skali od 1 do 10	4		7	

Tabela 3. Wyniki badań według PN-EN ISO 20344:2012

Table 3. Test results in accordance with PN-EN ISO 20344:2012

Rodzaj uwagi	Obuwie modelowe		Obuwie standardowe	
	TAK	NIE	TAK	NIE ¹⁾
1. Czy wewnętrzna powierzchnia obuwia jest wolna od nierówności ostrych lub twardych obszarów, które mogą spowodować skaleczenie lub podrażnienie* (sprawdzone ręcznie)?	TAK	NIE	TAK	NIE ¹⁾
2. Czy występują jakiegokolwiek wady, które mogłyby spowodować, że użytkowanie obuwia będzie niebezpieczne?	TAK	NIE	TAK	NIE
3. Czy wszystkie zapięcia (jeśli występują) mogą być właściwie wyregulowane?	TAK	NIE	TAK	NIE
4. Czy występują jakiegokolwiek trudności podczas marszu?				
Chodzenie	TAK	NIE	TAK	NIE
Wchodzenie po schodach	TAK	NIE	TAK	NIE
Kłęknięcie /kucanie	TAK	NIE	TAK	NIE

¹⁾ podrażnienie ze szczególnym wskazaniem na okolicę dużego palca

Rys. 2. Porównanie komfortu użytkowania dla półmaski i maski standardowej oraz ich modelowej wersji – wydruk 3D

Fig. 2. A comparison of the comfort of using a standard half mask and full face mask and their models – printed out on 3D printers

no na rys. 2. Spośród badanych części twarzowych (w wersji standardowej i modelowej) lepiej oceniona została półmaska.

Zarówno w przypadku półmaski, jak i maski odnotowano prawie dwukrotną poprawę komfortu użytkowania części twarzowej w zakresie prawidłowego dopasowania do twarzy użytkownika, lekkości i braku odgniecień. Potwierdzono wysoką ocenę komfortu użytkowania zmodyfikowanych części twarzowych wydrukowanych z użyciem technologii 3D. Jedynym elementem ocenianym negatywnie było wydzielenie się nieprzyjemnych zapachów z wydrukowanych modeli 3D części twarzowych. Ten element można jednak wyeliminować poprzez poszukiwanie nowego materiału do wydruku modeli.

Wyniki badań eksploatacyjnych obuwia roboczego

Wyniki badań komfortu użytkowania obuwia roboczego przedstawione w tabeli 3. (na niebiesko zaznaczono odpowiedzi uczestnika badań) i tabeli 4. ocenione zostały podczas badań eksploatacyjnych, które zostały podzielone na dwa niezależne testy. Pierwszy był przeprowadzony wg wymagań PN-EN ISO 20344:2012 [17], a drugi został przygotowany wg procedury własnej CIOP-PIB.

Na podstawie badań ergonomicznych obuwia wg PN-EN ISO 20344:2012 można stwierdzić, że obuwie modelowe oceniono pozytywnie (6 odpowiedzi pozytywnych) w porównaniu z obuwem standardowym (3 odpowiedzi pozytywne). Obuwie modelowe na podstawie skanów 3D, w ocenie użytkownika, nie posiadało ostrych lub twardych obszarów, powodujących skaleczenie lub podrażnienie oraz wad, które mogłyby spowodować, że użytkowanie go będzie niebezpieczne. Dodatkowo obuwie modelowe nie powodowało żadnych trudności w zakresie chodu, wchodzenia po schodach oraz kłęknięcia i kucania. Uczestnik wskazał, że obuwie standardowe podrażniało fragment stopy w okolicy palca dużego oraz powodowało trudności podczas chodu i wchodzenia po schodach.

Po zakończeniu testu nr 2 uczestnik udzielił odpowiedzi na pytania zawarte w kwestionariuszach, które dotyczyły oceny użytkowania obuwia oraz określenia:

- komfortu użytkowania obuwia w zakresie komfortu zginania stopy w obuwie w trzech miejscach, stopnia elastyczności obuwia w czterech miejscach, wymiarów obuwia w zakresie trzech parametrów

Tabela 4. Wyniki badań stopnia dopasowania obuwia do stopy (graficzne wskazanie miejsc luzu i ucisku w wybranych miejscach anatomicznych stopy) według procedury własnej: test bieżni i test schodów

Table 4. Test results of the degree of fitting footwear to the foot (graphic indication of too much or too little space in selected anatomical sites of feet) according to the author's procedure: treadmill test and stair-climbing test

a) Kwestionariusz według procedury własnej: test bieżni

Ocena dopasowania obuwia do stopy	
a.	Obuwie modelowe
Proszę zaznaczyć „X” miejsca odczuwania największej swobody ruchu (luz)	
Wewnętrzna strona – bok	Zewnętrzna strona – bok
Grzbiet	Spód/podeszwa
Proszę zaznaczyć „X” miejsca odczuwania największego ucisku (uwieranie)	
Wewnętrzna strona – bok	Zewnętrzna strona – bok
Grzbiet	Spód/podeszwa
b.	Obuwie standardowe
Proszę zaznaczyć „X” miejsca odczuwania największej swobody ruchu (luz)	
Wewnętrzna strona – bok	Zewnętrzna strona – bok
Grzbiet	Spód/podeszwa
Proszę zaznaczyć „X” miejsca odczuwania największego ucisku (uwieranie)	
Wewnętrzna strona – bok	Zewnętrzna strona – bok
Grzbiet	Spód/podeszwa

b) Kwestionariusz według procedury własnej: test schodów

Ocena dopasowania obuwia do stopy	
a.	Obuwie modelowe
Proszę zaznaczyć „X” miejsca odczuwania największej swobody ruchu (luz)	
Wewnętrzna strona – bok	Zewnętrzna strona – bok
Grzbiet	Spód/podeszwa
Proszę zaznaczyć „X” miejsca odczuwania największego ucisku (uwieranie)	
Wewnętrzna strona – bok	Zewnętrzna strona – bok
Grzbiet	Spód/podeszwa
b.	Obuwie standardowe
Proszę zaznaczyć „X” miejsca odczuwania największej swobody ruchu (luz)	
Wewnętrzna strona – bok	Zewnętrzna strona – bok
Grzbiet	Spód/podeszwa
Proszę zaznaczyć „X” miejsca odczuwania największego ucisku (uwieranie)	
Wewnętrzna strona – bok	Zewnętrzna strona – bok
Grzbiet	Spód/podeszwa

• stopnia dopasowania obuwia do stopy (graficzne wskazanie miejsc luzu i ucisku w wybranych miejscach anatomicznych stopy).

Wyniki badań komfortu użytkowania obuwia według procedury własnej przedstawiono na rys. 3 i 4.

Na podstawie uśrednionych wyników arytmetycznych w odniesieniu do obuwia modelowego (4,4) oraz obuwia standardowego (3,9) można stwierdzić, że komfort użytkowania obuwia modelowego, podczas chodu po płaskim podłożu jest o 11% większy w stosunku do obuwia standardowego. Z kolei wyniki średniej arytmetycznej w stosunku do obuwia modelowego (4,9) i obuwia użytkowanego (3,2) wskazują, że komfort użytkowania obuwia standardowego, podczas chodu po stopniach w górę i dół jest o 35% większy w porównaniu z obuwem standardowym. W związku z tym obuwie modelowe było dla użytkownika bardziej komfortowe, przede wszystkim w teście schodów, gdzie uczestnik wykonywał bardziej skomplikowane czynności biomechaniczne stopy (zginanie w śródstopiu, palcach, stawie skokowo-goleniowym). Fakt ten świadczy o prawidłowej elastyczności obuwia oraz dobrym dopasowaniu jego wymiarów do stopy. Wyniki badań stopnia tego dopasowania przedstawiono w tabeli 4.

Na podstawie przeprowadzonych testów bieżni i schodów uczestnik badań wskazał różnice w komforcie użytkowania obuwia modelowego i standardowego. W przypadku testu na bieżni, w odniesieniu do obuwia modelowego ankietowany wskazał, że największą swobodę ruchu odczuwa:

- po wewnętrznej stronie stopy na linii bocznej śródstopia
 - po zewnętrznej stronie w obszarze mięśni prostowników palców
 - w obszarze pomiędzy piętą a kośćmi palców, tzw. (podbicie),
- a największy ucisk (uwieranie) – po wewnętrznej stronie dużego palca stopy.

Natomiast w odniesieniu do obuwia standardowego ankietowany wskazał, że największą swobodę ruchu odczuwa:

- po wewnętrznej stronie stopy na linii bocznej śródstopia
 - po zewnętrznej stronie w obszarze mięśni prostowników palców
 - w obszarze pomiędzy piętą a kośćmi palców, tzw. (podbicie),
- natomiast największy ucisk (uwieranie) – po wewnętrznej stronie dużego palca stopy.

W tym teście widoczna jest różnica pomiędzy obuwem modelowym a standardowym w aspekcie odczuwania największej swobody ruchu w obszarze wierzchołów obuwia, ponieważ ankietowany zakreślił, że wykonując ćwiczenia na bieżni w obuwiu modelowym największy luz odczuwa po zewnętrznej stronie stopy – boku w obszarze mięśni prostowników palców. Świadczy to o tym, że obuwie modelowe jest głębsze, charakteryzuje się większą objętością, dając przez to większą swobodę ruchu. Natomiast w płaszczyźnie podeszwy nie ma różnic pomiędzy jednym a drugim obuwiem, gdyż ankietowany zaznaczył dokładnie takie same obszary największej swobody ruchu, jak i największego ucisku.

W badaniu przeprowadzonym jako test schodów, w odniesieniu do obuwia modelowego ankietowany wymienił takie same obszary odczuwania

największej swobody ruchu co w teście na bieżni. Natomiast jako miejsce największego ucisku wskazał obszar po zewnętrznej stronie w okolicach stawu skokowo-goleniowego.

W przypadku obuwia standardowego otrzymano odmienne wyniki. Ankietowany wskazał, że największą swobodę ruchu odczuwa tylko i wyłącznie po wewnętrznej stronie stopy na linii bocznej śródstopia. Natomiast największy ucisk jest doświadczany w obszarach

- po wewnętrznej stronie dużego palca stopy
- po zewnętrznej stronie w okolicach stawu skokowo-goleniowego
- w obszarze spodu/podeszwy dużego palca stopy.

Na podstawie tego testu można przyjąć, że obuwie modelowe jest lepiej dopasowane do stopy, ponieważ ankietowany wskazał tylko jedno miejsce największego ucisku, mianowicie po zewnętrznej stronie w okolicach stawu skokowo-goleniowego.

Podsumowanie

Analiza wyników badań i obserwacji, prowadzonych w zakresie użyteczności i funkcjonalności wybranych środków ochrony indywidualnej, potwierdziła słuszność założenia o poprawie komfortu ich użytkowania w efekcie ich projektowania z wykorzystaniem modeli 3D.

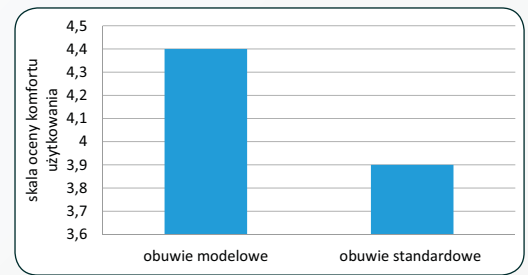
Modele części twarzowych wykonane na bazie wydruków 3D okazały się zdecydowanie lepiej dopasowane do twarzy użytkownika i nie powodowały odgnieień ani podrażnień skóry, co miało znaczący wpływ na wzrost komfortu użytkowania. Spośród badanych części twarzowych (w wersji standardowej i modelowej) lepiej oceniona została półmaska.

W przypadku oceny komfortu użytkowania obuwia roboczego obuwie dopasowane było dla użytkownika bardziej komfortowe, przede wszystkim w teście schodów, gdzie uczestnik wykonywał bardziej skomplikowane czynności biomechaniczne stopy (zginanie w śródstopiu, palcach, stawie skokowo-goleniowym). Fakt ten świadczy o prawidłowej elastyczności obuwia oraz dobrym dopasowaniu jego wymiarów do stopy. Na podstawie obu testów oceny komfortu użytkowania obuwia roboczego można stwierdzić, że obuwie dopasowane jest bardziej komfortowe oraz lepiej dopasowane do cech osobniczych użytkownika.

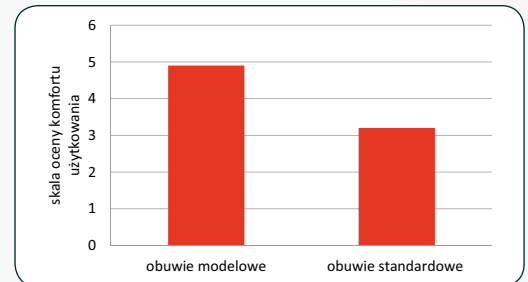
Indywidualne dopasowanie środków ochrony indywidualnej zmodyfikowanych z wykorzystaniem cyfrowego odwzorowania wymiarów antropometrycznych w dużym stopniu wpływa na poprawę komfortu użytkowania.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dyrektywa 89/686/EWG dotycząca środków ochrony indywidualnej
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla środków ochrony indywidualnej (Dz.U. Nr 259, poz. 2173)
- [3] D'Apuzzo N. *Intellifit revolutionary full body scanner*. "Human Body Measurement Newsletter" 2005,1,1
- [4] Peng F., Sweeney D., Delamore P. *Digital Innovation in Fashion How to 'Capture' the User Experience in 3D Body Scanning*. "IJEM", 2012, Vol. 3, No 4:233-240
- [5] Hasler N., Stoll C., Rosenhahn B., Thormahlen T., Seidel H.-P. *Estimating Body Shape of Dressed Humans*. academia.edu, SMI 2009



Rys. 3. Ocena komfortu użytkowania obuwia – test bieżni
Fig. 3. Assessment of usage comfort of footwear – the treadmill test



Rys. 4. Ocena komfortu użytkowania obuwia – test schodów
Fig. 4. Assessment of the comfort of footwear – the stair-climbing test

[6] Kyung SH., Ashdown S.P. *An Exploratory Study of the Validity of Visual Fit Assessment From Three-Dimensional Scans*. "Clothing & Textiles Research Journal" 2010,28,4

[7] PN-EN 140:2001 Sprzęt ochrony układu oddechowego – Półmaski i ćwierćmaski – Wymagania, badanie, znakowanie

[8] Paula S. Joe, Phillip C. Shum, David W. Brown & Claudiu T. Lungu *A Novel Method for Designing and Fabricating Low-cost Facepiece Prototypes*. "Journal of Occupational and Environmental Hygiene" 2014,11,10:665-671

[9] Zhuang Z., Viscusi D.J. *Anthropometrics for Developing Headforms for Testing Respiratory and Eye Protective Devices*. Conference Book of The XIV Conference of International Society for Respiratory Protection, Toronto, Canada

[10] Zhuang Z., Dennis, Groce D., Ahlers H. W., Iskander W., Landsittel D., Guffey S., Benson S., Viscusi D., Shaffer R. E. *Correlation between respirator fit and respirator fit test panel cells by respirator size*. Conference Book of The XIV Conference of International Society for Respiratory Protection, Dublin, Ireland

[11] PN-EN 143:2004 Sprzęt ochrony układu oddechowego – Filtry – Wymagania, badanie, znakowanie

[12] PN-EN 148-1:2002 Sprzęt ochrony układu oddechowego – Gwinty do części twarzowych – Część 1: Łącznik z gwintem okrągłym

[13] PN-EN ISO 20345:2012 Środki ochrony indywidualnej – Obuwie bezpieczne

[14] PN-EN ISO 20346:2014-08 Środki ochrony indywidualnej – Obuwie ochronne

[15] PN-EN ISO 20347:2012 Środki ochrony indywidualnej – Obuwie zawodowe

[16] PN-EN 136:2000 Sprzęt ochrony układu oddechowego – Maski – Wymagania, badanie, znakowanie

[17] PN-EN ISO 20344:2012 – Środki ochrony indywidualnej – Metody badania obuwia

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.