

dr inż. RAFAŁ HRYNYK

b. pracownik naukowy CIOP-PIB

prof. dr hab. inż. IWONA FRYDRYCH

Instytut Architektury Tekstyliów Politechniki Łódzkiej, konsultant naukowy CIOP-PIB

dr inż. AGNIESZKA CICHOCKA

Instytut Architektury Tekstyliów Politechniki Łódzkiej

Kontakt: iwona.frydrych@p.lodz.pl

DOI: 10.5604/01377043.1210102

Zastosowanie techniki skanowania 3D do pomiaru stóp (2)

Ocena dopasowania obuwia ochronnego



Fot. F.Z.Design/Bigstockphoto

Przy projektowaniu obuwia ochronnego ważnym zagadnieniem jest stopień jego dopasowania do stopy użytkownika, a co za tym idzie sposób stopniowania rozmiarów obuwia. W artykule przedstawiono metodologię projektowania obuwia ochronnego dopasowanego do określonych typoszeregów użytkowników lub obuwia spersonalizowanego, czyli przeznaczonego dla indywidualnego klienta. Wykorzystano do tego celu skaner ręczny 3D.

Słowa kluczowe: spersonalizowane obuwie ochronne, dopasowanie, skaner ręczny, parametry stóp

Application of 3D scanning for measuring feet (2). Protective shoe fit assessment

Shoe fit assessment is a very important step during the design stage of protective footwear, just as well as the shoe size grading. This paper presents a methodology for designing protective footwear, which fit a given group of users or personalized shoes for an individual client. A 3D hand scanner was used for this purpose.

Keywords: personalized protective footwear, fitting, hand scanner, foot parameters

Wstęp

Środki ochrony indywidualnej, stosowane w celu zapewnienia ochrony użytkownikom na stanowiskach pracy, oprócz spełnienia wymagań zasadniczych dyrektywy 89/686/EWG [1], rozporządzenia Ministra Gospodarki [2] oraz zharmonizowanych norm przedmiotowych powinny zapewniać możliwość ich dopasowania do wymiarów użytkownika.

Właściwe dopasowanie obuwia do kształtu stopy pracownika jest niezmiernie istotne z punktu widzenia zdrowia człowieka [3-7, 9]. Ocena dopasowania wyrobów obuwniczych do wymiarów antropometrycznych użytkowników powinna uwzględniać ułożenie elementów konstrukcyjnych obuwia na stopie użytkownika po uprzednim ich dopasowaniu i wyregulowaniu. Obuwie charakteryzuje się pewną elastycznością, zapewniającą jego użytkownikom dopasowanie i właściwą ochronę.

Nowo wyprodukowane obuwie wykazuje jednak zazwyczaj istotne odstępstwa od anatomicznego kształtu stopy i przyjmuje właściwy kształt dopiero po jednokrotnym założeniu lub nawet kilkukrotnym użyciu.

W związku z tym ocena dopasowania obuwia ochronnego do wymiarów stóp użytkowników ma sens w przypadku porównania ich wymiarów antropometrycznych do wielkości wzorców w postaci „kopyt”, stosowanych jako matryce do wytwarzania tego typu środków ochrony indywidualnej (ŚOI). „Kopyta” stosowane do wytwarzania obuwia przez producentów nie są jednakowe, stąd różnorodność form i kształtów dostępnych na rynku [10].

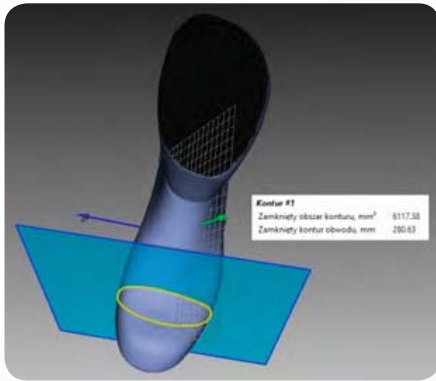
W pierwszej części artykułu [4] przedstawiono metodykę prowadzenia pomiarów kształtu stóp ze szczegółowym opisem sposobu pomiaru 15 parametrów (7 podstawowych i 8 dodatkowych) ich dotyczących. Zaprezentowano również wyniki

badań z udziałem ochotników w kontekście stopy odciążonej i dociążonej, zarówno przed wysiłkiem, jak i po wysiłku. Celem drugiej części artykułu jest przedstawienie praktycznych aspektów dokładności oceny dopasowania obuwia ochronnego do wymiarów stóp użytkownika.

Ocena dopasowania

W przedstawionym w artykule sposobie oceny dopasowania wyrobów obuwniczych do wymiarów antropometrycznych użytkowników za podstawę przyjęto porównanie zarejestrowanych wymiarów antropometrycznych stóp użytkowników z trzema modelami kopyt obuwia strażackiego stosowanego przez wszystkie grupy strażaków-ratowników [4].

W celu określenia największego podobieństwa stopy badanego ochotnika do zastosowanych wzorców stóp wykorzystano analizę skupień (ang. *cluster*



Rys. Wyznaczanie obwodu przodostopia na podstawie skanu 3D „kopyta”: na przykładzie rozmiaru nr 8

Fig. Determining forefoot perimeter on the basis of a 3D scan of a foot model: on the example of size 8

analysis), polegającą na określeniu największych podobieństw ze zbioru użytkowników, a następnie przypisanie ich do ustalonych grup (3 grupy stóp identyfikowanych na podstawie 15 równoważnych parametrów, przedstawionych w pierwszej części artykułu). Użyto w tym celu algorytmu hierarchicznego, którego istotą jest grupowanie ochotników w zbiorze z zastosowaniem miary podobieństwa wyznaczonej przez wzorce.

Następnie zastosowano metodę Wardana, wykorzystującą – przy wyodrębnianiu skupisk – zasadę minimalizacji wariancji.

Ocena dopasowania kopyt do stóp

Wykorzystane w przeprowadzonych badaniach „kopyta” uwzględniały wzór o trzech rozmiarach: 8, 10 i 12¹. W odniesieniu do egzemplarzy każdego z nich uzyskano obrazy cyfrowe za pomocą skanowania 3D, a następnie zmierzono parametry antropometryczne stóp ochotników biorących udział w badaniach, zgodnie z metodyką przyjętą i opisaną w pierwszej części artykułu. Przykład zdjęć obrazujących „kopyto” oraz pomiar obwodu przodostopia przedstawiono na rysunku.

Analiza wyników badań przeprowadzonych na grupie 55 osób, wykazała następującą przynależność pod względem wymiarów stopy:

- wzór „kopyta” o rozmiarze 8 – 9 strażaków-ratowników
- wzór „kopyta” o rozmiarze 10 – 34 strażaków-ratowników
- wzór „kopyta” o rozmiarze 12 – 12 strażaków-ratowników.

Ocena dopasowania obuwia do wymiarów stóp z zastosowaniem wymienionych „kopyt” pokrywa się z zaproponowaną numeracją w załączniku C do PN-EN ISO 20344:2012 [8], gdzie stopniowanie wymiarów obuwia według długości we Francji (FR) i Anglii (UK) określa tabela 1.

Przeprowadzony w ramach oceny wymiarów stóp wywiad z uczestnikami badań na temat komfortu użytkowania obuwia (przed i po wysiłku) potwierdził, że zaproponowane w normie skalowanie wymiarów obuwia nie wystarcza do zapewnienia komfortu podczas jego użytkowania. 8 spośród 55 badanych ochotników stwierdziło, że noszenie

Tabela 1. Stopniowanie wymiarów obuwia wg PN-EN ISO 20344:2012 [8]

Table 1. Shoe size grading according to PN-EN ISO 20344:2012 [8]

Wymiary obuwia		
Długość [mm] Numeracja FR		Numeracja UK
235	36 i mniej	do 3 ½
245	37 i 38	od 4 do 5 ½
255	39 i 40	od 6 do 6 ½
265	41 i 42	od 7 do 8 ½
275	43 i 44	od 9 do 10 ½
285	45 i więcej	10 ½ i więcej

Tabela 2. Optymalna liczba rozmiarów kopyt dla badanej grupy 55 ochotników ze stopniowaniem co 5 i co 10 mm

Table 2. Optimum number of foot models for the examined group of volunteers with shoe size grading every of 5 and 10 mm

Parametr	Proponowana liczba rozmiarów „kopyt”	
	Stopniowanie co 5 mm	Stopniowanie co 10 mm
Długość stopy [mm]	8	5
Szerokość przodostopia [mm]	5	3
Szerokość pięty [mm]	4	3
Obwód przodostopia [mm]	11	6
Wysokość palucha [mm]	3	2
Obwód kostki [mm]	6	4
Wysokość podbicia [mm]	4	2
Wysokość kostki zewn. [mm]	3	2
Obwód przez podbicie [mm]	10	5
Obwód przez piętę [mm]	9	5

Tabela 3. Wymiary 6 kopyt dla badanej grupy 55 ochotników

Table 3. Dimensions of six foot models for the examined group of volunteers

Parametr	Zalecane wymiary „kopyt”					
	1	2	3	4	5	6
Długość stopy [mm]	257,75	265,09	272,42	279,76	287,09	294,43
Szerokość przodostopia [mm]	101,05	105,55	110,04	114,54	119,03	123,53
Szerokość pięty [mm]	67,94	71,10	74,26	77,43	80,59	83,75
Obwód przodostopia [mm]	237,01	247,15	257,30	267,44	277,59	287,73
Wysokość palucha [mm]	19,98	21,63	23,28	24,92	26,57	28,22
Obwód kostki [mm]	59,94	62,78	65,62	68,47	71,31	74,15
Wysokość podbicia [mm]	4,66	7,43	10,19	12,96	15,72	18,49
Wysokość kostki zewn. [mm]	50,21	52,27	54,33	56,39	58,45	60,51
Obwód przez podbicie [mm]	237,72	246,48	255,24	264,01	272,77	281,53
Obwód przez piętę [mm]	325,72	334,07	342,42	350,77	359,12	367,47

wykorzystanego w badaniach obuwia powodowało u nich dyskomfort, który powiązany był z: niewłaściwym rozmiarem szerokości/obwodu przodków obuwia (2 przypadki określono jako „za luźne”, a 3 jako „za szerokie”), wysokością podbicia obuwia (3 przypadki zbyt ciasnego podbicia) oraz szerokością pięty (1 przypadek – za wąski obszar pięty i 1 – zbyt szeroki obszar pięty). W żadnym przypadku długość obuwia nie była wskazana jako przyczyna dyskomfortu.

W związku z tym kolejne typowanie optymalnych wymiarów kopyt z wykorzystaniem analizy skupień przeprowadzono uwzględniając skalowanie tylko 10 parametrów charakteryzujących wymiary stóp. Takie parametry, jak kąty α , β i Clarke’a oraz wysokość łuku podłużnego i obwód łydki nie miały istotnego znaczenia w przypadku dopasowania obuwia, dlatego zostały odrzucone na etapie wyznaczenia optymalnej liczby jego rozmiarów. W odniesieniu do obwodu łydki parametr ten, ze względu na łatwość zakładania i zdejmowania

obuwia z wysoką cholewą, zgodnie z informacjami pozyskanymi od producentów, powinien być zawyżony względem rzeczywistych wymiarów kończyny dolnej.

Rezultatem tak przyjętych kryteriów w badanej grupie było określenie zalecanej liczby rozmiarów „kopyt” w odniesieniu do każdego z badanych parametrów (tabela 2.).

Największe zróżnicowanie i liczbę rozmiarów uzyskano na podstawie parametrów „obwód przodostopia” i „obwód przez podbicie”, co jest zgodne z oceną dyskomfortu obuwia przeprowadzoną uzyskaną na podstawie wywiadów z ochotnikami badań. Przyjmując przy stopniowaniu rozmiarów „kopyt” krok 10 mm w odniesieniu do ocenianych parametrów, ich zalecana liczba w stosunku do badanej grupy ochotników wynosi 6. Zrezygnowano z kroku co 5 mm, gdyż wtedy liczba kopyt byłaby niemalże dwukrotnie wyższa, co powodowałoby znaczne zawyżenie kosztów produkcji. Wymiary poszczególnych „kopyt” przedstawiono w tabeli 3.

¹ Wg tzw. rozmiarówki brytyjskiej, czyli długości liczonej w calach.

Wytczne do projektowania obuwia ochronnego z zastosowaniem skanera 3D

Wytwarzanie obuwia o cechach ochronnych przebiega w procesach technologicznych związanych z formowaniem elementów na podstawie szablonów, którymi są „kopyta” stóp/nóg. W związku z tym najważniejszym etapem projektowania obuwia ochronnego jest stworzenie „kopyt” zgodnych z rzeczywistymi rozmiarami stóp użytkowników. Technika skanowania 3D pozwala w łatwy i precyzyjny sposób zarejestrować wymiary antropometryczne stóp użytkowników i, po ustaleniu warunków stopniowania „kopyt” w odniesieniu do danej grupy użytkowników, przygotować ich modele cyfrowe, na podstawie których opracowane zostaną fizyczne formy.

Procedura projektowania spersonalizowanego obuwia ochronnego z wykorzystaniem techniki skanowania 3D powinna uwzględniać następujące etapy:

- przygotowanie obiektu do cyfrowej rejestracji:
 - sprawdzenie oświetlenia
 - ustawienie optymalnych parametrów skanowania 3D
 - wykonanie próbných zapisów
 - rejestracja parametrów stóp z wykorzystaniem skanera 3D
 - przygotowanie obrazu cyfrowego 3D do dalszej obróbki numerycznej
 - analiza wymiarów antropometrycznych stóp na podstawie zapisanych obrazów 3D
 - wytypowanie kluczowych elementów konstrukcyjnych projektowanego obuwia
 - opracowanie tabeli rozmiarów dla elementów konstrukcyjnych obuwia
 - zaprojektowanie elementów konstrukcyjnych obuwia
 - skalowanie elementów konstrukcyjnych na podstawie istniejących szablonów projektowanego obuwia ochronnego z uwzględnieniem zarejestrowanych rozmiarów antropometrycznych
 - opracowanie form odlewniczych/wtryskowych dla elementów konstrukcyjnych obuwia ochronnego:
 - cyfrowa transformacja chmury punktów 3D do formatu typu CAD z wykorzystaniem narzędzi inżynierii odwrotnej
 - ocena jakości łączenia zaprojektowanych elementów konstrukcyjnych (eliminacja punktów i krawędzi kolizyjnych).

Projektowanie elementów konstrukcyjnych obuwia ochronnego na podstawie uśrednionych wartości zarejestrowanych wymiarów antropometrycznych stóp użytkowników może skutkować niedopasowaniem wyrobów w odniesieniu do większej grupy użytkowników, ze względu na możliwość występowania w badanej populacji osób charakteryzujących się istotnymi odstępstwami w zakresie jednego lub kilku wymiarów antropometrycznych. W związku z tym najlepszym rozwiązaniem jest wydzielenie w badanej grupie użytkowników charakterystycznych typów antropometrycznych i ustalenie odpowiedniego zakresu stopniowania rozmiarów „kopyt”, przy wykorzystaniu możliwie najszerszego zakresu parametrów. Należy przy tym zwrócić szczególną uwagę na osoby charakteryzujące się wyraźnymi odstępstwami w zakresie poszczegól-

nych wymiarów antropometrycznych. W takim przypadku zalecane jest opracowanie osobnego wzoru „kopyt” dla użytkowników wykazujących wyraźne odstępstwa od średniej.

Dzięki odpowiedniemu stopniowaniu istnieje możliwość zredukowania całkowitej liczby „kopyt” stanowiących podstawę projektowania i wytwarzania spersonalizowanych środków ochrony indywidualnej (tj. obuwia o cechach ochronnych), co wpływa na zmniejszenie kosztów produkcji.

Wysoki przy wprowadzaniu produkcji koszt wytwarzania obuwia spersonalizowanego (w tym obuwia o cechach ochronnych) z użyciem skanowania 3D spowodowany jest zakupem sprzętu (skanera z odpowiednim oprogramowaniem) i dużym nakładem pracy, wynikającym z przygotowania, na podstawie numerycznej obróbki, rejestrowanych obrazów 3D stóp – szczególnie, gdy metodologia postępowania nie była dotychczas znana. Jednak biorąc pod uwagę fakt częstego stosowania raz opracowanej metodologii oraz to, iż w pełni zautomatyzowane procedury obróbki danych numerycznych są już dostępne na rynku, poniesione przez producentów obuwia spersonalizowanego nakłady powinny się stosunkowo prędko zwrócić.

Podsumowanie

Skanowanie oraz rejestracja wymiarów antropometrycznych stóp uczestników badań [4] pozwoliła na wydzielenie podstawowych typów pod względem budowy stóp. Ważnym zadaniem w toku postępowania było ustalenie kroku stopniowania poszczególnych parametrów kopyt będących punktem wyjściowym do projektowania i wytwarzania obuwia o cechach ochronnych. Otrzymane w wyniku badań rozmiary „kopyt” stóp/nóg powinny gwarantować odpowiednie dopasowanie obuwia do wymiarów antropometrycznych badanej grupy ochotników. W przypadku poddanej badaniom grupy 55 strażaków-ratowników, było to odpowiednio 6 rozmiarów „kopyt” stóp. Należy zwrócić uwagę, że stosowanie zasady liniowego stopniowania wielkości kopyt na podstawie przyjętej umownie wielkości podstawowej [10] nie jest rozwiązaniem optymalnym i może skutkować niewłaściwym dopasowaniem obuwia do stopy użytkownika.

Projektowanie obuwia ochronnego z wykorzystaniem technik skanowania 3D powinno zapewnić dopasowanie obuwia ochronnego do indywidualnych wymiarów stóp użytkownika, dając możliwość wytworzenia obuwia spersonalizowanego, idealnie pasującego do wymiarów stóp konkretnej osoby. Podobny tok postępowania, pomimo dużych kosztów, stosowany jest w przypadku np. sportowców, gdzie jakoś dopasowania obuwia wpływa na uzyskiwane wyniki na bieżni czy boisku.

Biorąc pod uwagę bezpieczeństwo pracowników, a w szczególności grup ratowniczych, wytwarzanie spersonalizowanego obuwia ochronnego jest tym bardziej zasadne, gdyż ma istotny wpływ zarówno na bezpieczeństwo, jak również na skuteczność prowadzonych działań ratowniczych. Wysoki koszt wytwarzania obuwia spersonalizowanego (w tym obuwia o cechach ochronnych) z użyciem skanowania 3D spowodowany jest dużym nakładem pracy, wynikającym z przygotowania, na podstawie numerycznej obróbki, rejestrowanych

obrazów 3D stóp. Szybki postęp w dziedzinie informatyki może w istotny sposób skrócić ten proces dzięki zautomatyzowaniu rejestracji obrazów 3D stopy, obróbki plików cyfrowych oraz obliczania odpowiednich parametrów stopy. Takie w pełni zautomatyzowane procedury są już dostępne m.in. w dziedzinie oceny wad stóp z wykorzystaniem podoskopów i odpowiednich aplikacji komputerowych.

Projektowanie obuwia ochronnego z wykorzystaniem technik skanowania 3D przyczynia się do wytwarzania bardziej precyzyjnych (oddających kształt stopy) „kopyt”, stanowiących matryce do formowania i profilowania obuwia ochronnego w procesie wtryskiwania, wulkanizacji, czy zsywania. Obrazy 3D stóp użytkowników obuwia mogą być podstawą wytwarzania pojedynczych elementów składowych środków ochrony indywidualnej, czego dobrym przykładem są być wkładki do obuwia.

Taki rodzaj projektowania wyrobów spersonalizowanych umożliwia korygowanie wad postawy, jak również wad anatomicznych czy powypadkowych. Modelowanie i projektowanie elementów składowych ŚOI, np. wkładek do obuwia, może być również sposobem zapobiegania ograniczeniom zawodowym podczas wykonywania czynności na stanowiskach pracy, a nawet sposobem zapobiegania wykluczania osób z pracy z powodu niemożności wykonywania aktywności zawodowej.

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] Lichota M., Plandowska M., Mil P. *The Arches of the Feet of Competitors in Selected Sporting Disciplines*. „Pol. J. Sport Tourism.” 2013, 20:135-140
- [4] Hrynyk R., Frydrych I., Cichocka A. *Zastosowanie techniki skanowania 3D do pomiaru stóp (1). Metodyka i wyniki pomiarów*. „Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka” 2016, 536,6:12-16
- [5] Radzińska A., Szyper S., Bułatowicz I., Srokowski G., Kaźmierczak U., Strojek K., Kaliszewska M., Dzierżanowski M., Żukow W. *Prevention of Flat Feet in Preschool Children*. „Journal of Health Sciences” 2012, Vol. 2, No. 1 25-39
- [6] Srokowski G., Srokowska A., Bułatowicz I., Siedlaczek M., Pilecka-Rybka K., Radzińska A., Kaźmierczak U., Krajnik A. *Distribution of the compressive forces on the plantar side of the foot of the early school child*. „Journal of Health Sciences” 2013, 13,3:26-49
- [7] Rex C. *Clinical Assessment and Examination in Orthopaedics*. „JB Medical Publishers” (P) Ltd., New Delhi 2002
- [8] PN-EN ISO 20344:2012 Środki ochrony indywidualnej – Metody badania obuwia
- [9] Strzecha K. *Diagnostyka stóp i równowagi – konieczność łączenia anatomii z biomechaniką*. Materiały z VIII Ogólnopolskiej Konferencji Polskiego Towarzystwa Fizjoterapii, listopad 2012
- [10] Łuba R., Sobczyński J. *Podstawowe wymiary i kształt standardowego kopyta do produkcji obuwia męskiego do użytku zawodowego*. „Przegląd Skórzany” 1996,7,8:251-254