

# Komputerowo wspomagane wytwarzanie wyrobów uciskowych do rehabilitacji blizn pooparzeniowych i pooperacyjnych

## Computer aided manufacturing of compression garments used for rehabilitation of burn and post-operative scars

MICHAŁ KARPIUK  
MACIEJ MALIK  
MAGDALENA PRZYTOCKA  
KATARZYNA CZAJKOWSKA-SABAT  
WITOLD SUJKA\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.1.11>

W artykule opisano wdrożoną w firmie Tricomed S.A., wspomaganą komputerowo metodę wytwarzania opasek uciskowych, przeznaczonych do rehabilitacji blizn pooparzeniowych i pooperacyjnych. Etapy procesu technologicznego obejmują: skanowanie 3D, pobieranie parametrów sterujących autogenerującym szablonem CAD z pliku STL, przeliczenie wartości parametrów sterujących w zależności od stopnia kompresji i rodzaju dzianiny, generowanie plików DXF, będących daną wejściową dla maszyny tnącej wykroje, oraz szycie.

**SŁOWA KLUCZOWE:** CAD, CAM, skanowanie 3D, inżynieria odwrotna, kompresoterapia, bezdotykowe obmierowanie

*The article describes a computer-aided manufacturing of compression garments used for rehabilitation of burn and post-operative scars implemented in Tricomed S.A. company. Steps of manufacturing processes include 3D scanning, obtaining control parameters for a self-generating CAD templates from STL file, conversion control parameters depending on the degree of compression and type of knitwear, generating DXF files for the cutting machine, sewing.*

**KEYWORDS:** CAD, CAM, 3D scanning, reverse engineering, compression therapy, non-contact measuring

Coraz silniejsza konkurencja wymusza na firmach minimalizowanie kosztów, maksymalizowanie wydajności oraz oferowanie udoskonalonych, spersonalizowanych produktów i usług. Metodą zwiększania konkurencyjności jest m.in. takie doskonalenie procesu wytwarzania, aby

po zastosowaniu najnowszej dostępnej technologii uzyskać jak najbardziej innowacyjne produkty. Istotne jest także wdrożenie udogodnień dla klienta, takich jak możliwość zdalnego zebrania parametrów pacjenta i skrócenie do minimum czasu oczekiwania na wyrób.

Firma Tricomed S.A. zmodernizowała technologię wytwarzania ubrań uciskowych do leczenia blizn pooparzeniowych i pooperacyjnych oraz wprowadziła wyroby CODOPRESS® Premium. Tradycyjne wytwarzanie tego rodzaju wyrobów polegało na zszywaniu elementów dzianiny metrażowej, co każdorazowo wiązało się z rozrysowywaniem wykrojów papierowych na podstawie pomiarów wykonywanych metodą manualną (z wykorzystaniem miarki krawieckiej) w siedzibie firmy. Ta konwencjonalna metoda pomiarowa stosowana w krawiectwie jest czasochłonna i mało dokładna, a ponadto wymaga bezpośredniego kontaktu z ciałem pacjenta, co może powodować u niego dyskomfort. Zastosowanie innowa-

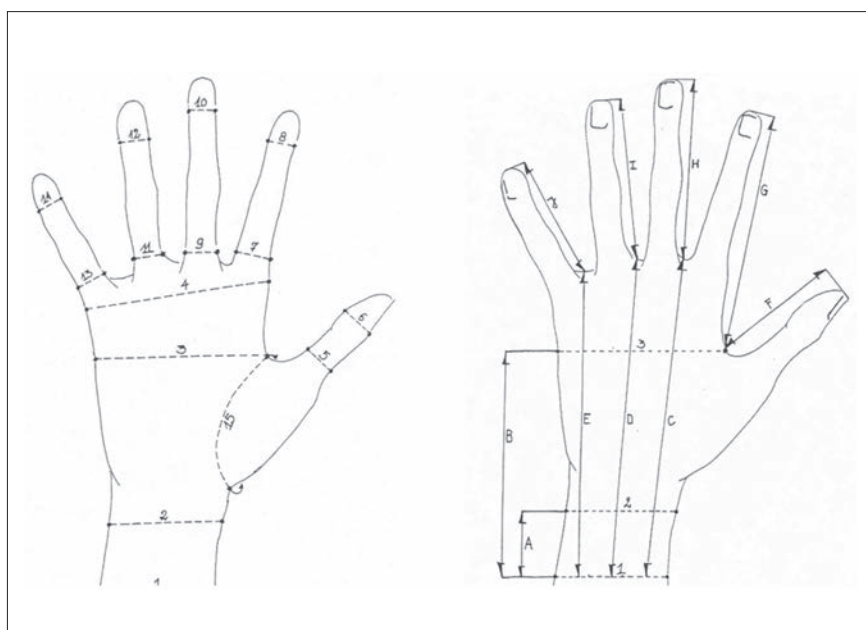
cyjnych technik inżynierii rekonstrukcyjnej w połączeniu z możliwościami systemu 3D CAD umożliwiła bezdotykowe i bezinwazyjne wykonanie pomiarów poszczególnych części ciała pacjenta oraz zautomatyzowanie etapu przygotowania wykrojów.

W niniejszym artykule te możliwości przedstawiono na przykładzie rękawicy uciskowej.

Spółka Tricomed S.A. we współpracy z Politechniką Krakowską i Politechniką Łódzką opracowała oraz wdrożyła komputerowo wspomaganą technologię wytwarzania całej gamy wyrobów kompresyjnych, m.in. opasek na przedramię, rękę, podudzie czy udo, a także skarpet, podkolanówek, pończoch, reform i koszulek.

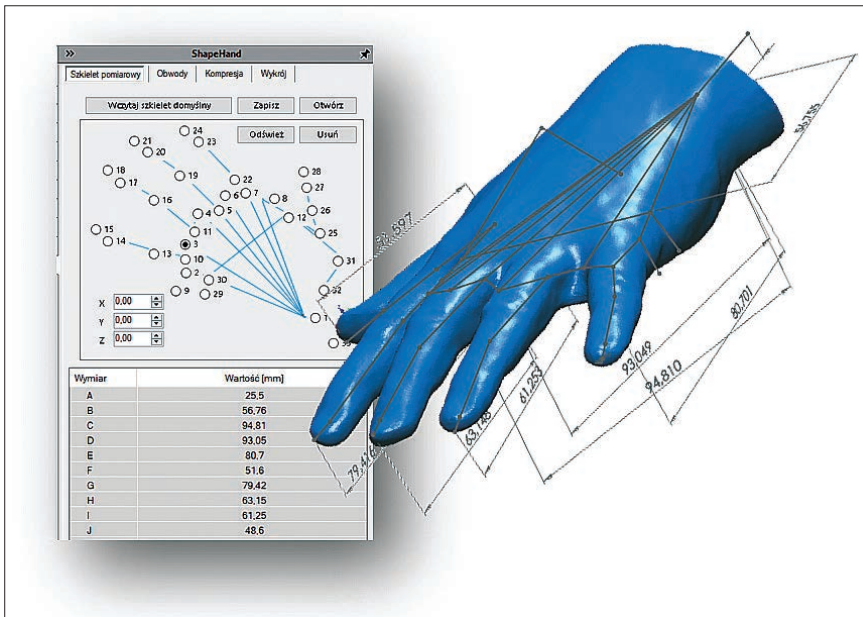
### Wytwarzanie wyrobów uciskowych stosowanych do rehabilitacji

Wytwarzanie wyrobów uciskowych przeznaczonych do rehabilitacji omówiono na przykładzie rękawicy CODOPRESS® Premium. Jest ona

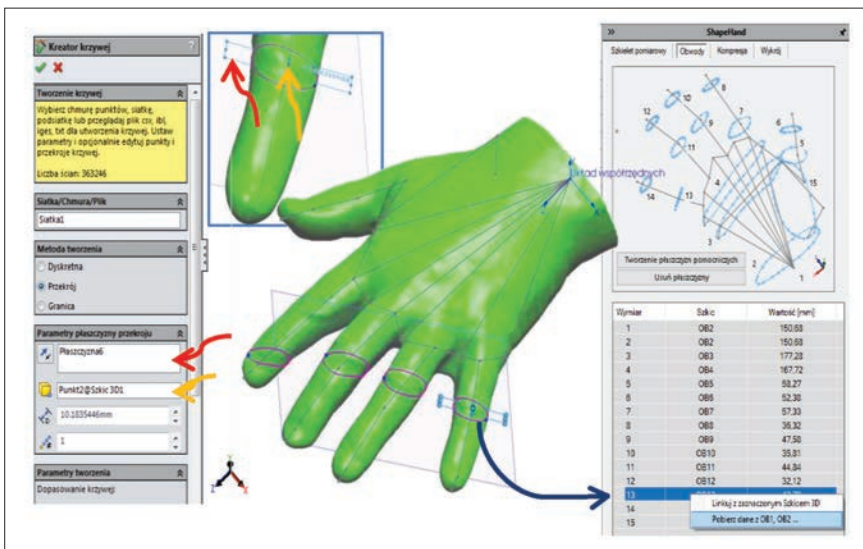


Rys. 1. Fragment protokołu pomiarowego rękawicy CODOPRESS®

\* Dr inż. Michał Karpiuk (karpiuk@mech.pk.edu.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Krakowskiej, Maciej Malik, Magdalena Przytocka – Koło Naukowe Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Krakowskiej; mgr inż. Katarzyna Czajkowska-Sabat (katarzyna.sabat@tricomed.com), dr inż. Witold Sujka (witold.sujka@tricomed.com) – Tricomed S.A.



Rys. 2. Zakładka „Szkielet pomiarowy” dodatku ShapeHand



Rys. 3. Zakładka „Szkielet pomiarowy” dodatku ShapeHand

zbudowana z czterech elementów. Bazą rękawicy jest wykrój odwzorowujący część zewnętrzną i wewnętrzną dłoni. Po złożeniu wzdłuż osi symetrii wykrój jest zszywany wraz z trzema wstawkami między palcami: małym i serdecznym, serdecznym i środkowym oraz środkowym i wskazującym.

Do każdego typu opaski (w tym rękawiczki) jest przypisany protokół pomiarowy, zawierający wymiary niezbędne do sporządzenia wykrojów. Miejsca i nazwy pomiarów przedstawiono na rys. 1. Obwody zostały oznaczone liczbami od 1 do 15, a długości – literami od A do J.

Stosowana dotychczas technologia wytwarzania opasek uciskowych opierała się na uzyskaniu wykroju przez wycinanie ręczne, na podstawie rozrysowanego wcześniej papierowego szablonu. W celu au-

tomatyzacji tego etapu procesu produkcyjnego papierowy pierwowzór został zastąpiony przez autogenerujący szablon CAD w postaci pliku SLDPART (SolidWorks Part). Zawiera on obrys wykroju w postaci szkicu – zwymiarowanego i wyposażonego w cechy umożliwiające przebudowanie modelu wraz ze zmianą parametrów sterujących (obwodów i długości). Pełna parametryzacja wymiarów w szablonie CAD była możliwa dzięki zastosowaniu zależności bazujących na wymiarach, zmiennych globalnych, właściwościach pliku, funkcjach matematycznych, regułach oraz wynikach innych zależności.

Zebranie danych wymiarowych pacjenta, niezbędnych do wygenerowania prawidłowego wykroju z autogenerującego szablonu, odbywa się w systemie 3D CAD. Konwencjonalna metoda pomiarowa została zastą-

piona metodą bezdotykową – skanowaniem 3D. Proces komputerowego wspomaganie procesu wytwarzania rozpoczyna się już na etapie pierwszego kontaktu z pacjentem.

Chmura punktów, będąca wynikiem skanowania 3D, jest poddawana odpowiedniej edycji, mającej na celu wyeliminowanie ewentualnych błędów. Następuje automatyczne rozpoznanie i wypełnienie ubytków w miejscach nieobjętych pomiarem, usunięcie niepotrzebnych fragmentów siatki oraz jej wygładzenie. Tak przygotowana siatka jest wczytywana do programu SOLIDWORKS, wyposażonego w zintegrowany z nim dodatek ScanTo3D.

Następnie do pliku z zaimportowaną siatką jest wczytywany domyślny szkielet pomiarowy w postaci szkicu 3D (rys. 2). Użytkownik musi dopasować go do modelu 3D. Omawianą funkcjonalność osiągnięto dzięki zastosowaniu dodatku ShapeHand, który został specjalnie zaprojektowany i oprogramowany dla firmy Tricommed S.A.

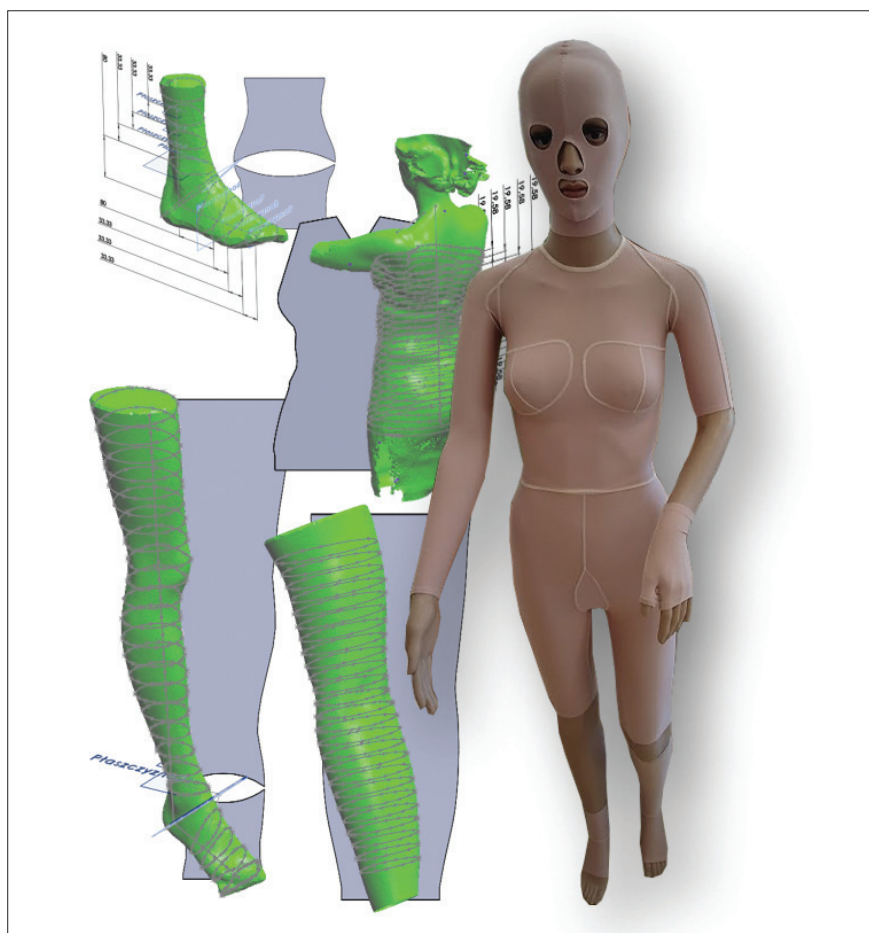
Dodatek ShapeHand umożliwia ponadto zaktualizowanie, usunięcie lub zapisanie bieżącego szkieletu do pliku. Z tak zmodyfikowanego szkieletu pobierane są wartości długości (oznaczone literami od A do J), które na dalszym etapie służą do przebudowy szablonu wykroju CAD.

Kolejnym etapem pozyskiwania danych, pozwalających na przebudowę szablonu wykroju CAD, jest pomiar obwodów w miejscach wskazanych w protokole pomiarowym. W przypadku rękawicy uciskowej są to obwody palców i dłoni.

W tym przypadku konieczne jest wygenerowanie krzywych za pomocą „Kreatora krzywej”, który jest dostępny w dodatku ScanTo3D, oraz wykonanie pomiaru ich długości (OB1... OB15) (rys. 3).

Ze względu na brak dostępu do API ten proces nie mógł zostać zautomatyzowany w tym obszarze. Niemniej jednak dodatek ScanTo3D umożliwia wygenerowanie krzywej typu splajn przez ustawienie „Przekroju” jako metody tworzenia oraz wybranie odpowiedniej płaszczyzny wraz z punktem należącym do szkieletu pomiarowego. „Kreator krzywej” generuje na jednym szkicu 3D krzywe przecinające model ręki (siatkę) w wybranej płaszczyźnie.

Użytkownik systemu musi pozostawić w szkicu 3D jeden obwód, zwymiarować go, a następnie pobrać do programu ShapeHand. Pobrane w ten sposób wartości długości i obwodów muszą zostać przeliczone



Rys. 4. Pomiar modeli 3D oraz autogenerujące szablony CAD wybranych wyrobów CODOPRESS® Premium

z uwzględnieniem stopnia kompresji i rodzaju wybranej dzianiny. W tym celu w dodatku ShapeHand została przygotowana zakładka „Kompresja”. Zaimplementowano również bazę materiałów, do której można dodawać nowe charakterystyki dzianin przez wprowadzenie ich nazw oraz współczynników charakteryzujących dany materiał.

Do przeliczenia kompresji wykorzystano metodę opartą na prawie Laplace'a, która opisuje związek między naciskiem jednostkowym, wywieranym na cylindryczny model, a siłą obwodową w pasku tkaniny [1]:

$$P = \frac{2\pi F}{G_1 s}$$

gdzie:  $P$  [hPa] – nacisk jednostkowy,  $F$  [cN] – siła obwodowa w pasku materiału o szerokości  $s$ ,  $G_1$  [cm] – obwód modelu w określonym miejscu,  $s$  [cm] – szerokość paska materiału.

Na podstawie tego związku oraz informacji o materiale wykorzystanym do produkcji ubrania uciskowego obliczana jest różnica między obwodem zmierzonym a obwodem po kompresji:

$$G_0 = \frac{(2\pi a)^{\frac{1}{b}}}{(PG_1 s)^{\frac{1}{b}} + (2\pi a)^{\frac{1}{b}}} G_1$$

gdzie:  $a$ ,  $b$  – współczynniki charakteryzujące dany materiał,  $s$  [cm] – szerokość paska materiału,  $G_1$  [cm] – zmierzony obwód części ciała,  $G_0$  [cm] – obwód modelu po kompresji,  $P$  [hPa] – nacisk jednostkowy.

Następną fazą procesu technologicznego wytwarzania opaski uciskowej jest wygenerowanie plików DXF na podstawie przygotowanego szablonu CAD wyкроju i wgranie go do urządzenia tnącego. Ten etap produkcji został w pełni zautomatyzowany. Wystarczy więc wywołać procedurę generowania pliku DXF przez kliknięcie jednego przycisku aplikacji ShapeHand, aby:

- uruchomił się odpowiedni wariant autogenerującego szablonu CAD,
- szablon CAD uzupełnił się wartościami parametrów sterujących i przebudował się na ich podstawie,
- w odpowiedniej lokalizacji, widocznej dla maszyny tnącej, wygenerowały się wszystkie pliki DXF wyкроju, wchodzące w zestaw wybranej opaski uciskowej.

## Podsumowanie

W przypadku opasek uciskowych, używanych w czasie rehabilitacji blizn pooperacyjnych i pooperacyjnych, zastosowanie skanera 3D umożliwia uzyskanie bardzo dokładnych pomiarów obwodów ciała. Bezdotykowa metoda pomiarowa, jaką jest skanowanie 3D, pozwala uniknąć niepożądanego ingerencji w ciało mierzonego pacjenta oraz wyeliminować błędy, które mogą wynikać ze stosowanej techniki manualnego zdejmowania miar. Zastosowanie skanowania 3D do szybkiego zbierania potrzebnych danych wymusiło opracowanie i wdrożenie w firmie specjalnej procedury skanowania. Pacjent musi być ustawiony w takiej pozycji i orientacji względem skanera, aby mierzona część ciała była ustabilizowana, a trudnodostępne miejsca były widoczne dla skanera [2].

Otrzymany w wyniku ulepszonego procesu technologicznego wyrób od razu jest odpowiednio wyprofilowany, więc nie musi być na późniejszych etapach kilkakrotnie dopasowywany do pacjenta. Produkt jest spersonalizowany i wymiarowo odpowiada konkretnemu pacjentowi, dlatego rozłożenie nacisku opaski na pożądane powierzchnie ciała jest równomierne. Osiągnięto to m.in. dzięki zastosowaniu zwiększonej gęstości pomiarów wykonywanych na modelu 3D w stosunku do gęstości przyjętej w protokołach pomiarowych (rys. 4).

Model szkieletu obwodów opaski można dowolnie modyfikować przez zmianę odpowiednich wartości. W przypadku gdy na ciele znajduje się miejsce, w którym ucisk jest niewystarczający, można manualnie powiększyć obwód odpowiadający temu miejscu (wykorzystując oprogramowanie). Uzyskane w ten sposób wymiary można przenieść na szablon wyкроju. Po wygenerowaniu pliku w formacie DXF szablon może być wycięty według wczytanej ścieżki na maszynach specjalnie dostosowanych do dzianin.

## LITERATURA

1. Iliska A., Kowalski K., Kłonowska M., Kowalski T.M., Sujka W. "Issues regarding the design of compression products for small body circumferences". *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2016. 24, 6(120) (2016): s. 116–120, DOI: 10.5604/12303666.1221745.
2. Kowalski K., Karbowski K., Kłonowska M., Iliska A., Sujka W., Tyczyńska M., Włodarczyk B., Kowalski T.M. "Influence of a compression garment on average and local changes in unit pressure". *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2017. 25, 6(126): s. 68–74. DOI: 10.5604/01.3001.0010.5374.