

Mgr inż. Ewa STACHOWIAK

ewa.stachowiak@polsl.pl

Katedra Biomechatroniki, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska

Dr inż. Wojciech WOLAŃSKI

wojciech.wolanski@posl.pl

Katedra Biomechatroniki, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska

dr hab. n. med. Dawid LARYSZ

dawilar@gmail.com

Centrum Onkologii - Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie Oddział w Gliwicach

dr hab. inż. Marek GZIK, prof. Pol. Śl.

marek.gzik@polsl.pl

Katedra Biomechatroniki, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska

## SKANOWANIE 3D JAKO NARZĘDZIE DO PROJEKTOWANIA KASKÓW KOREKCYJNYCH

**Streszczenie:** Wady kształtu głowy u dzieci występują o około 3% populacji. W artykule zaproponowano sposób leczenia plagiocefalii ułożeniowej za pomocą indywidualnie projektowanych kasków korekcyjnych. Omówiono kolejne etapy projektowania i produkcji kasków. Dodatkowo przedstawiono sposób diagnozowania deformacji kształtu z wykorzystaniem skanera 3D. Przeprowadzono również analizę antropometryczną oraz analizy porównawcze dostarczające informacji o wzroście głowy.

**Słowa kluczowe:** skanowanie 3D, wady kształtu głowy, kraniosynostoza, kaski korekcyjne

## 3D SCANNING AS TOOL FOR DESIGN OF CORRECTION HELMETS

**Summary:** Deformities of head shape in children occur in about 3% of the population. This paper proposes a method of treatment of positional plagiocephaly of using a custom-designed helmets correction. The steps of the design and manufacture of correction helmets are presented. In addition, methods of diagnosing head shape deformation using the 3D scanner are shown. This research shows also anthropometric analysis and comparative analyses, which provides information about the growth of the head.

**Keywords:** 3D scanning, head shape deformities, craniosynostosis, correction helmets

### 1. WPROWADZENIE

Plagiocefalia ułożeniowa dotyka około 3% dzieci w wieku niemowlęcym, natomiast kraniosynostozy występują u około 0,3% populacji. Kraniosynostozy charakteryzują się zbyt wczesnym zrośnięciem się szwów czaszkowych. Natomiast plagiocefalia ułożeniowa cechuje się nieprawidłowym, spłaszczonym kształtem głowy, powstającym na skutek permanentnego nacisku na głowę. Spłaszczenia pojawiają się zwykle z tyłu po jednej stronie głowy. Występujące deformacje są wynikiem powtarzających się naprężeń w tym samym obszarze głowy, powodując zahamowanie wzrostu. Wady te stanowią nie tylko problem estetyczny, ale przede wszystkim mogą powodować zaburzenia rozwoju psychomotorycznego [1], [6].

W ostatnich latach wzrosła zdecydowanie jakość usług medycznych, co związane jest z dynamicznym rozwojem techniki oraz współpracy środowiska lekarzy i inżynierów. Najnowsze osiągnięcia techniczne pozwoliły na opracowanie systemu, który wspomaga

leczenie i diagnostykę deformacji kształtu głowy u niemowląt [2]. System ten umożliwia kompleksowe diagnozowanie oraz monitorowanie deformacji i wzrostu głowy przy użyciu skanera 3D. Zastosowanie skanowania pozwala również na projektowanie indywidualnych kasków do korekcji kształtu głowy. Wyniki przeprowadzonych badań mogą wspierać lekarzy neurochirurgów w decyzji dotyczącej wyboru optymalnej metody leczenia. Zastosowana metoda pozwala na kontrolowaną obserwację wzrostu głowy niemowląt w przypadku dzieci z plagiocefalią ułożeniową, kraniosynostozą oraz w przypadku stosowania terapii z użyciem kasku.

## 2. DIAGNOZOWANIE KSZTAŁTU GŁOWY

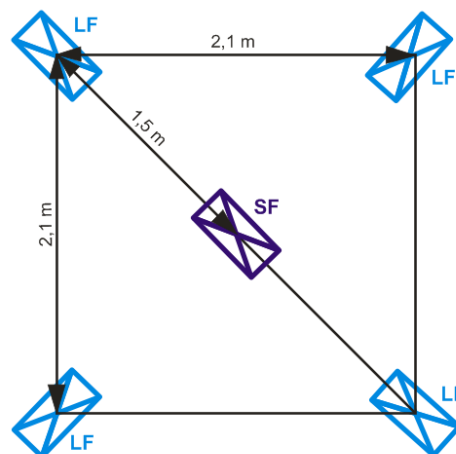
W przypadku deformacji głowy u niemowląt wczesna diagnoza ma kluczowe znaczenie [3], gdyż pomaga dokonać wyboru właściwej metody leczenia i jej optymalnych parametrów. W zależności od rodzaju choroby i wieku dziecka stosuje się różne sposoby leczenia m.in.: fizjoterapię, leczenie kaskiem lub poprzez zabieg chirurgiczny. We wszystkich przypadkach wykonanie tomografii komputerowej jest konieczne do sprawdzenia, czy szwy czaszki są zrośnięte. W przypadku zdiagnozowania kraniosynostozy stosuje się leczenie chirurgiczne. Terapia kaskowa jest stosowana jako leczenie w przypadku plagiocefalii ułożeniowej, bądź jest terapią uzupełniającą po zabiegu chirurgicznym.

Proponowana metoda diagnostyczna wykorzystująca skaner 3D jest pozbawiona szkodliwych czynników, takich jak promieniowanie rentgenowskie występujące podczas badania TK. Skanowanie umożliwia ilościową i jakościową ocenę wzrostu głowy, a także pozwala na uzyskanie trójwymiarowego modelu głowy dziecka. Stanowisko do skanowania wyposażone w skaner 3D MEGACAPTUROR II zostało przedstawione na rysunku poniżej (Rys. 2.1).

A)



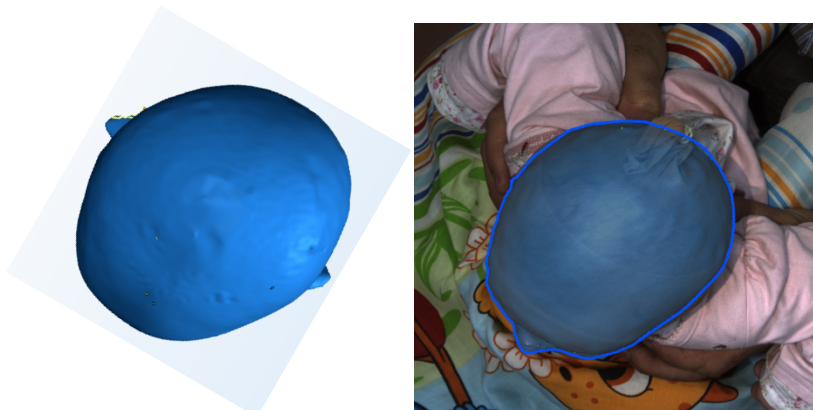
B)



Rys. 2.1 Stanowisko do skanowania 3D (A), rozmieszczenie głowic skanujących- widok z góry (B) [7]

Podczas badania dziecko znajduje się w centrum obszaru skanowania i wykonywana jest akwizycja z każdej 5ciu kamer. Następnie generowane są wirtualne powierzchnie, które są składowymi pełnego modelu głowy. Wykonane modele są weryfikowane przez analizę ilościową i jakościową. Analizę ilościową uzyskuje się przez porównanie obwodu głowy i obwodu modelu. Dla wszystkich pacjentów uzyskany błąd pomiaru jest mniejszy niż 2%. Analizę jakościową stanowi porównanie fotografii górnej powierzchni głowy z

kształtem modelu widzianym od góry. Przykład takiego porównania przedstawiono na rysunku 2.2.



Rys. 2.2 Jakościowa weryfikacja modelu otrzymanego na podstawie skanowania 3D

Wykonane modele 3D wykorzystywane są do uzyskiwania danych antropometrycznych. Skanowanie głowy odbywa się również w celu monitorowania wzrostu głowy lub projektowania kasków korekcyjnych. Do tej pory zostało przebadanych 27-ro dzieci w wieku od 3 do 25 miesięcy (w tym 9 dziewczynek i 18 chłopców).

W tabeli (Tab. 2.1) zaprezentowano wyniki analizy antropometrycznej przeprowadzonej dla jednego z pacjentów. Wyniki ilustrują ilościowe parametry określające wzrost głowy dziecka w przeciągu kilku miesięcy. Na ich podstawie można dobrać rodzaj leczenia, bądź też ocenić jego skuteczność [4][8]. Dla tego przypadku można zauważyć, że wyznaczone indeksy antropometryczne charakteryzujące odchyłki symetrii wraz z wiekiem ulegają poprawie.

Tab. 2.1 Wartości indeksów kraniometrycznych ilustrujące rozwój głowy dziecka

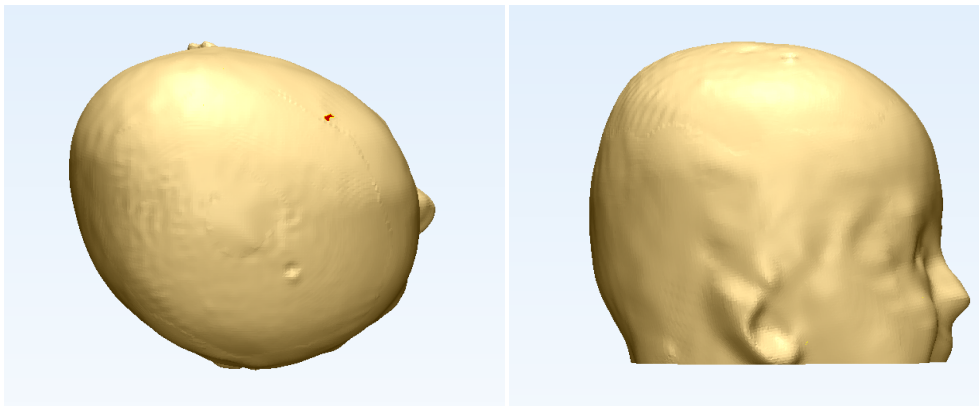
Indeks	5 miesięcy	10 miesięcy	Indeks normatywny
$l_1$	0,86	0,88	$0,73,75 \pm 25$ [9]
$l_2$	1,18	1,15	$1 \pm 0,1$ [7]
$l_3$	0,97	0,98	$1 \pm 0,1$ [7]
$l_4$	0,94	0,94	$1 \pm 0,1$ [7]
$l_5$	1,26	1,17	$1 \pm 0,1$ [7]
$l_6$	0,96	0,97	b.d.
$l_7$	0,91	0,93	b.d.

### 3. PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI KASKU KOREKCYJNEGO

W Europie Zachodniej i Stanach Zjednoczonych[11] istnieją już ośrodki stosujące z powodzeniem terapię kaskową [6][10][11]. Jednak przy tego rodzaju terapii często występują też powikłania takie jak: odleżyny, wypadanie włosów czy zapalenie skóry. Problemy te zainspirowały autorów pracy do opracowania nowej koncepcji ortezy.

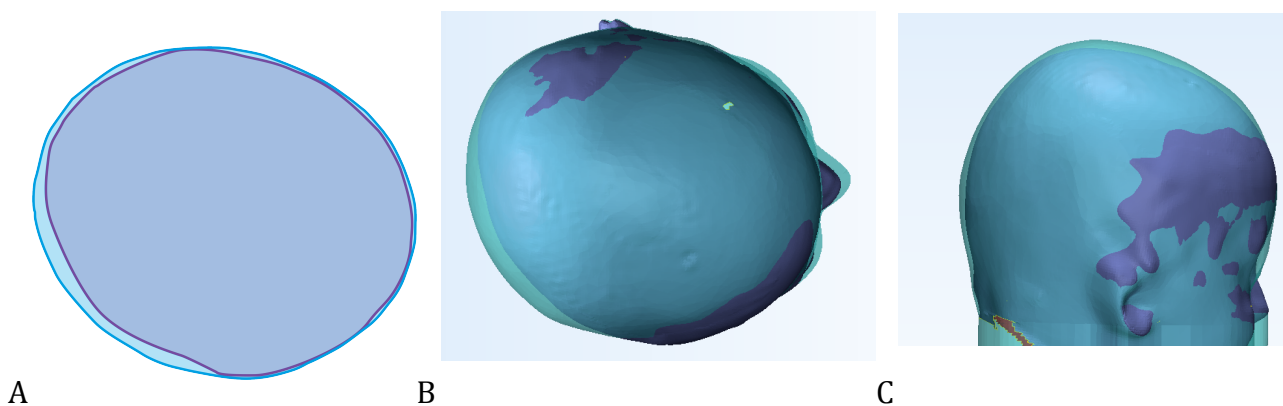
Pierwszym etapem procesu projektowania kasku korekcyjnego była identyfikacja parametrów geometrycznych głów dzieci. We współpracy z Górnośląskim Centrum Zdrowia Dziecka przeprowadzono badania morfometryczne przy użyciu skanera 3D. W badaniach uczestniczyli pacjenci, którzy byli kwalifikowani przez lekarzy Centrum i u których zdiagnozowane były wady kształtu głowy. Badania przeprowadzono

w laboratorium skanowania Katedry Biomechatroniki Politechniki Śląskiej. Na podstawie skanowania 3D otrzymywano trójwymiarowy model głowy (Rys. 3.1 Model głowy dziecka otrzymany w procesie skanowania).



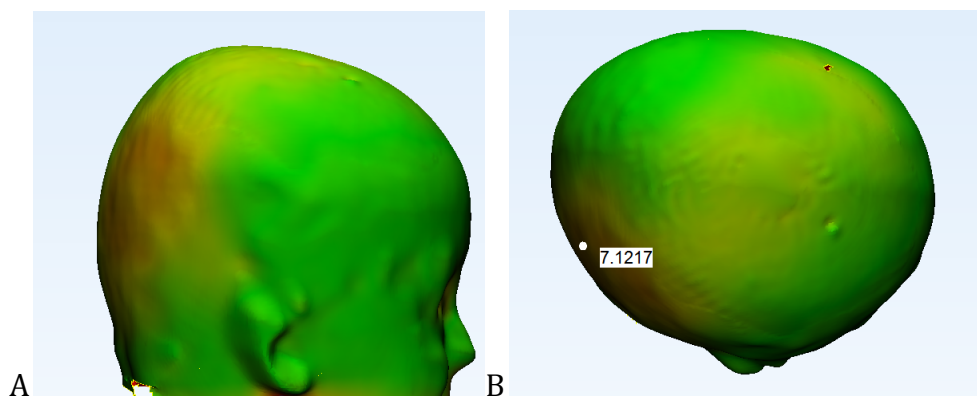
Rys. 3.1 Model głowy dziecka otrzymany w procesie skanowania

Na podstawie otrzymanego modelu 3D określano poprawny kształt głowy pacjenta, który powinien odwzorowywać symetrię głowy względem płaszczyzny strzałkowej. Na rysunku poniżej przedstawione zostały krzywe definiujące przekroje głowy, które wykorzystywano do projektowania wzorca głowy (Rys. 3.2 A) oraz model wzorca (Rys. 3.2 B,C). Wykonanie wzorca głowy oraz pomiarów antropometrycznych odbywało się w programie 3-matic firmy Materialise.



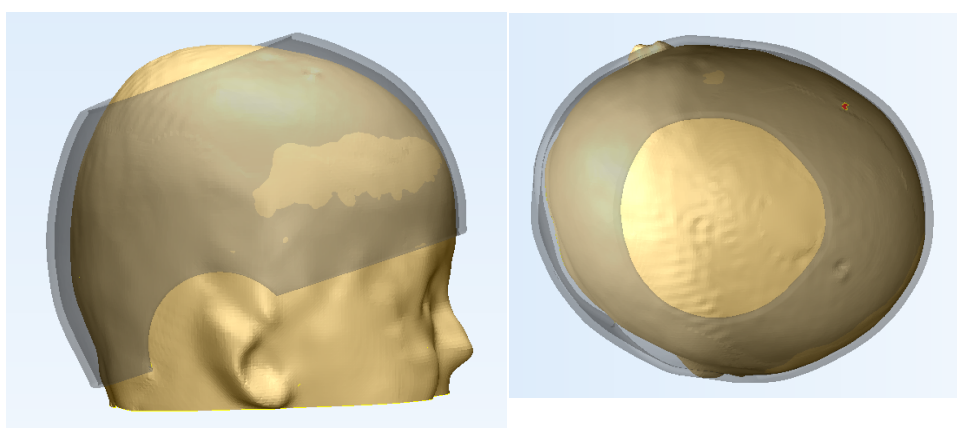
Rys. 3.2 Wzorzec prawidłowego kształtu głowy dziecka; A. Przekrój w płaszczyźnie poprzecznej, B porównanie głowy i stworzonego wzorca widok z góry, C porównanie głowy i wzorca widok boku

Metoda skanowania 3D umożliwia również przeprowadzenie analizy porównawczej ilustrującej najbardziej zdeformowane obszary głowy. Analizę wykonuje się na podstawie porównania kształtu głowy z jej wyznaczonym wzorcem. W efekcie otrzymuje się barwne mapy ilustrujące różnicę między ich powierzchniami (Rys. 3.3, najbardziej zdeformowane obszary oznaczone są kolorem pomarańczowym).



Rys. 3.3 Barwne mapy ilustrujące deformację głowy; A. widok z boku, B. widok z góry

Opracowany wzorcowy model głowy w drugim etapie posłużył do zaprojektowania optymalnego kształtu kasku dla danego dziecka. Kask powinien umożliwiać ukierunkowany wzrost głowy w miejscach spłaszczonych i hamować wzrost w miejscach zbyt wypukłych. Musi on być zaprojektowany tak, by przy spełnieniu powyższych kryteriów nie powodował jednocześnie ucisku na głowę. Na Rys. 3.4 przedstawiono przykład projektu ortozy dedykowany dla konkretnego dziecka.



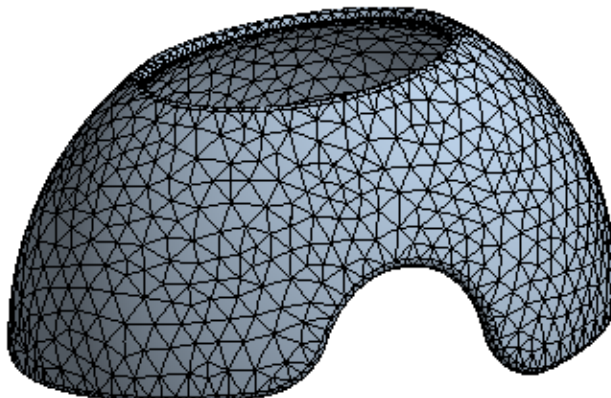
Rys. 3.4 Kształt kasku indywidualnie dobrany do pacjenta.

Przygotowany projekt ortozy posłużył do opracowania optymalnej konstrukcji kasku. Proponowane rozwiązanie składa się z dwóch warstw: warstwy wewnętrznej - miękkiej (pianka stosowana do celów medycznych) oraz zewnętrznej - twardszej stanowiącej zasadniczą konstrukcję kasku (wykonana z ABS, Tab. 3.1.). W celu doboru optymalnej grubości i cech geometrycznych kasku przeprowadzono analizę wytrzymałościową oraz redukcję masy konstrukcji z wykorzystaniem oprogramowania Ansys Workbench. Badania numeryczne ograniczono do analizy zewnętrznego korpusu kasku o grubości 5 mm, który jest główną konstrukcją ortozy.

Tab. 3.1. Podstawowe właściwości ABS

Własność materiału	Wartość
Moduł Younga	1900 MPa.
Moduł Poissona	0,4
Wytrzymałość na rozciąganie	45 MPa
Gęstość	1,7 g/cm <sup>3</sup>

Pierwszym etapem analizy wytrzymałościowej było wygenerowanie siatki elementów skończonych. Na potrzeby analizy przyjęto siatkę tetragonalną, rozkład elementów skończonych pokazano na Rys.3.5.



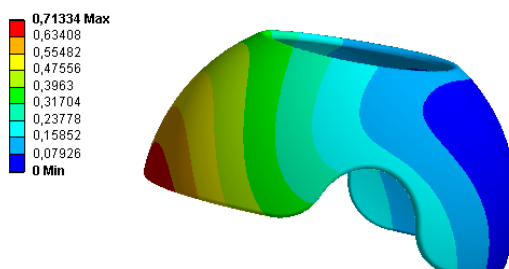
Rys.3.5. Podział korpusu kasku na elementy skończone

W symulacji numerycznej korpus kasku poddano obciążeniu, które jest równoważne sile wynikającej z symulacji korekcji łódkogłowia [9]. Siłę równą 30 [N] zadano do korpusu hełmu, a na przeciwległej jego stronie powierzchnię utwierdzono, tak jak pokazano to na rysunku Rys.3.6.

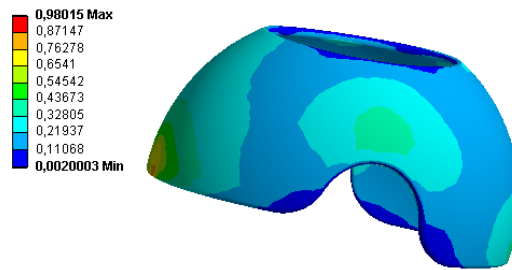


Rys.3.6. Warunki brzegowe

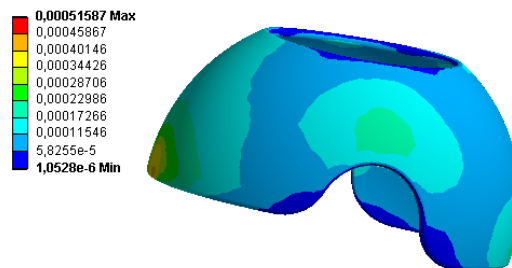
Przeprowadzone obliczenia wytrzymałościowe korpusu pozwoliły na wyznaczenie przemieszczeń, naprężeń i odkształceń kasku. Poniżej na rysunkach przedstawiono wyniki przeprowadzonej analizy wytrzymałościowej konstrukcji hełmu wykonanego z ABSu.



Rys.3.7. Wypadkowe przemieszczenia korpusu

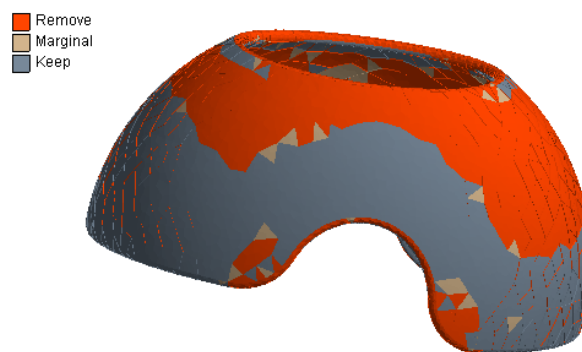


Rys.3.8. Naprężenia zredukowane wg hipotezy Hubera-Missesa-Henckiego



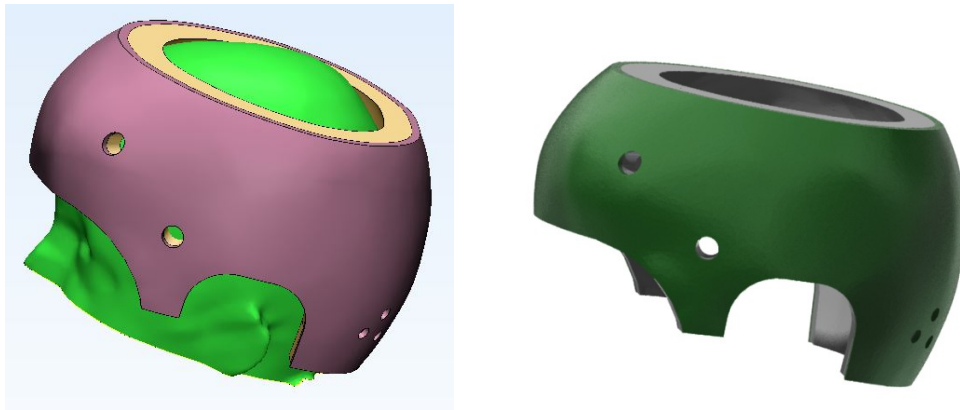
Rys.3.9. Odkształcenia zredukowane wg hipotezy Hubera-Missesa-Henckiego

Na podstawie wyników przeprowadzonej analizy wytrzymałościowej zauważono, że pierwotna konstrukcja kasku charateryzuje się dużą sztywnością i wytrzymałością. Zatem istnieje możliwość redukcji nadmiarowego materiału. W dalszej części przedstawiono wyniki optymalizacji masy korpusu ortozy. Proces ten przeprowadzono przy tych samych warunkach brzegowych, dla których zostały wykonane obliczenia wytrzymałościowe. Wyniki symulacji zaprezentowano w postaci barwnej mapy przedstawiającej nadmiar materiału konstrukcji korpusu. Całkowita masa korpusu przed optymalizacją wynosiła 0,387 kg, a 0,146 kg po optymalizacji. Stopień redukcji masy, jaki udało się uzyskać to 62% (0,241 kg naddatku masy).



Rys.3.10. Barwna mapa przedstawiająca nadmiar materiału konstrukcji korpusu

Na podstawie powyższych analiz przyjęto grubość korpusu równą 3 mm oraz wytypowano miejsca do wykonania otworów wentylacyjnych, koniecznych do odprowadzania wilgoci z głowy dziecka. W efekcie uzyskano ortezę jak na Rys. 3.11.

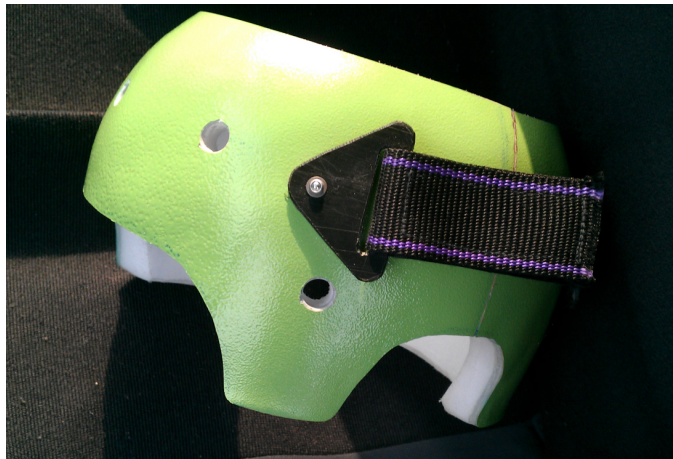


Rys. 3.11 Trójwymiarowy model kasku korekcyjnego oraz jego wizualizacja

Podczas opracowywania metody wytwarzania kasku korekcyjnego, duże znaczenie miał fakt, że jest to produkcja jednostkowa. Wytwarzanie kasku składa się z 4 etapów:

- wykonanie modelu 3D wzorca głowy metodą CNC,
- termoformowanie warstwy wewnętrznej
- termoformowanie warstwy sztywnej (zasadniczej),
- prace wykańczające: wykonanie otworów wentylacyjnych i mocowanie zapięcia.

Gotowy kask otrzymany w procesie produkcji został przedstawiony na Rys. 3. 12 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..**



Rys. 3.12 Finalny efekt projektu

#### 4. WNIOSKI

W ramach niniejszej pracy przedstawiono złożony proces projektowania spersonalizowanych kasków korekcyjnych oraz ilościową i jakościową ocenę wzrostu głowy. Opracowana metoda korekcji kształtu głowy jest odpowiedzią na potrzeby społeczeństwa, sygnalizowane przez lekarzy z Górnośląskiego Centrum Zdrowia Dziecka. Indywidualne podejście do pacjenta odgrywa w tym przypadku kluczową rolę, które jest możliwe dzięki zastosowaniu skanowania 3D. Celem przeprowadzonego projektu było zwiększenie dostępności do tego typu rozwiązań w naszym kraju.

Przedstawiona w artykule proponowana metoda projektowania kasków korekcyjnych bazuje na najnowszych osiągnięciach technologicznych. Wykorzystanie skanowania 3D skraca proces projektowania przy jednoczesnym zapewnieniu dokładności. Bezdotykowa metoda odwzorowywania kształtu głowy zapewnia również wysoki komfort pacjenta oraz



skrócenie czasu badania, co jest szczególnie istotne zwłaszcza w przypadku małych dzieci. W celu skorygowania negatywnych cech stosowanych dotąd tego typu rozwiązań t.j. powstawania odleżyn oraz braku wentylacji głowy opracowana została nowatorska konstrukcja kasku. Nowa konstrukcja cechuje się optymalnie dostosowaną sztywnością do terapii korekcji kształtu głowy oraz posiada system otworów wentylacyjnych odprowadzających wilgoć i umożliwiających wentylację skóry głowy. Dodatkowo, odpowiednio dobrana technologia wytwarzania sprawia, że powyższe cechy konstrukcyjne kasku mogą być zachowane przy niskich kosztach produkcji. Wstępna pozytywna weryfikacja konstrukcji od strony mechanicznej daje nadzieje na obiecujące wyniki przyszłych badań klinicznych.

## LITERATURA

- [1] Blecher Ch. "Nicht nur Ästhetik! Kopfdeformitäten bei Kindern", *Face*(30-33), 1/2009.
- [2] D'Apuzzo N, Mitchell H., "Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information", rozdział 31. Medical application, ISPRS Congress Book – Li, Chen & Baltsavias, Sciences:2008.
- [3] Hutchison B.L, Stewart A. W., Mitchell E. A., "Deformational plagiocephaly: a follow-up of headshape, parental concern and neurodevelopment at ages 3 and 4 years", *Archives of disease in childhood* 96,2011, str 85–90
- [4] Larysz D., Larysz P., Filipiek J., Wolański W., Gzik M., Kawlewska E.: "Morphometric analysis of the skull shape in children with hydrocephalus". *Computational vision and medical image processing IV. Proceedings of VIPIMAGE 2013 - IV ECCOMAS, Funchal, Portugal 2013*, str. 337-340.
- [5] Lipura A.B. Gordon S. Darvonn T.A. Van Pelt A.E., "Helmet Versus Active Repositioning for Plagiocephaly: A Three-Dimensional Analysis", *Pediatrics* 2010, str. 936-945.
- [6] Speltz M.L. Case-Control Study of Neurodevelopment in Deformational Plagiocephaly, *Pediatrics* Vol. 125 No. 3 March 1, 2010.
- [7] Stachowiak E., Gzik M., Wolański W., Larysz D.: "Nieinwazyjna metoda korekcji wad kształtu głowy u dzieci". *Postępy inżynierii biomedycznej*. Red. Lucyna Leniowska, Zbigniew Nawrat, Rzeszów 2013, str. 149-156.
- [8] Tejszerska D., Wolański W., Larysz D., Gzik M. Kawlewska E. "Morphological analysis of the skull shape in craniosynostosis", *Acta Bioengineering Biomechanics*. vol. 13 no. 2011, str. 35-40.
- [9] Wolański W., Larysz D., Gzik M., Kawlewska E. "Modeling and biomechanical analysis of craniosynostosis correction with the use of finite element method", *International Journal for Numerical Method in Biomedical Engineering*, 2013, str. 916-925.
- [10] [www.cranioform.de](http://www.cranioform.de)
- [11] [www.cranialtech.com](http://www.cranialtech.com)