

**Magdalena OŻÓG**, Koło Naukowe Biokreatywni przy Katedrze Biomechatroniki, Politechnika Śląska, Gliwice

**Wojciech WOLAŃSKI**, Katedra Biomechatroniki, Politechnika Śląska, Gliwice

**Dawid LARYSZ**, Katedra i Klinika Neurochirurgii, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

## **METODA IDENTYFIKACJI WŁASNOŚCI MATERIAŁOWYCH KOŚCI CZASZEK DZIECI**

**Streszczenie:** Celem badań było opracowanie metody wyznaczania parametrów wytrzymałościowych kości czaszek dzieci. Identyfikacja własności materiałowych obejmowała wyznaczenie modułu sprężystości i granicy wytrzymałości podczas próby rozciągania. Otrzymane wyniki z przeprowadzonych prób porównano z danymi literaturowymi oraz posłużyły do analitycznego wyliczenia modułu Younga. Na tej podstawie zostały określone odpowiednie warunki przeprowadzania badań i sposoby przygotowania próbek kości ze względu na rodzaj testu oraz ich wpływ na wyniki badań.

**Słowa kluczowe:** badania kości czaszki, własności materiałowe, próba rozciągania, moduł Younga

### 1. WSTĘP

Czaszka jest szkieletem głowy, który ochrania najważniejszy z narządów ciała człowieka, mózg [9],[10][9]. Składa się ona z dwóch części: mózgowczaszki odpowiedzialnej za ochronę mózgu oraz twarzoczaszki, która chroni m.in. narządy zmysłów, np. węch, smak i wzrok [9],[10]. W mózgowczaszce wyróżnia się osiem kości: kość czołową, kość sitową, dwie kości ciemieniowe, kość potyliczną, dwie kości skroniowe oraz kość klinową. Kości te są połączone szwami lub chrząstkozrostami [9],[10]. Natomiast do twarzoczaszki zalicza się kość łzową, lemiesz, małżowinę nosowo dolną oraz kość nosową, szczękę, kość jarzmową, kość podniebienną, żuchwę, kość gnykową, które stanowią grupę kości twarzy [9],[10].

Każda z kości, które zostały powyżej wymienione ma inną budowę, własności fizyczne oraz strukturę. Czynniki te decydują o ich cechach biomechanicznych. Ze względu na ich wielkość trudno jest przeprowadzić badania identyfikacyjne. Dlatego też jest mało pozycji literaturowych dotyczących badań biomechaniki głowy oraz własności materiałowych kości czaszki. Niemniej jednak można znaleźć w literaturze wyniki przeprowadzonych badań wytrzymałości kości czaszki [2], [3], [4], [6], [10].

Przykładem takich badań są testy wytrzymałościowe przeprowadzane na Uniwersytecie w Pensylwanii [2]. Własności materiałowe kości były wyznaczane dla próby trójpunktowego zginania. Próbki były pobrane z kości potylicznej i ciemieniowej, a następnie odpowiednio kształtowane. Z badań tych wynika, że duży wpływ na własności wytrzymałościowe odgrywa wiek kości. Zauważono również, że kości są bardziej wytrzymałe niż szwy czaszki. Porównując moduł sprężystości i graniczne naprężenia dla kości i szwów czaszkowych wartości wynoszą odpowiednio: 250 MPa dla kości i 20 MPa dla szwów czaszkowych. Powyższe badania dotyczyły kości czaszek dzieci poniżej 1 miesiąca życia.

Dlatego niniejsze badania ukierunkowana na identyfikację własności materiałowych kości czaszek starszych dzieci w wieku od 2 do 36 miesięcy.

## 2. BADANIA WŁASNOŚCI MATERIAŁOWYCH KOŚCI CZASZKI

Próba rozciągania jest jedną z podstawowych prób, podczas której określone są w prosty sposób cechy wytrzymałościowe oraz plastyczne [1]. Polega na osiowym rozciąganiu próbki ze stałą prędkością w temperaturze pokojowej. Podczas badania rejestrowane są takie parametry jak: wytrzymałość na rozciąganie, moduł Younga, umowna granica sprężystości oraz naprężenie zrywające [5], [8].

W niniejszych badaniach została wykorzystana maszyna wytrzymałościowa firmy MTS Insight 2, będąca na stanie Katedry Biomechatroniki Wydziału Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej.

Badanie składało się z trzech etapów:

- przygotowania próbki,
- mocowania próbki na maszynie wytrzymałościowej,
- testu wytrzymałościowego.

Przygotowania próbki do badań polegało na osuszeniu próbki, a następnie zmierzeniu jej grubości i szerokości. Jeżeli próbki różniły się od siebie to przycinano je na tę samą długość. Dbano o to, by każda próbka miała długość około 40 mm.

Kolejnym etapem było zamontowanie próbek w maszynie wytrzymałościowej. Próbki mocowano tak, by odległość pomiędzy szczękami maszyny wynosiła 20 mm, bądź 50 mm dla próbek pochodzących z kości płaskich. Ostatni etap badania polegał na rozciąganiu próbki ze stałą prędkością, która wynosiła 1 mm/min.

Materiałem badawczym były fragmenty kości czaszek dzieci w przedziale wiekowym od 2 do 36 miesięcy. Przechowywano je w dwóch cieczach, formalinie lub alkoholu o temperaturze pokojowej. Na rysunku (Rysunek 1) przedstawiono przykładową próbkę przygotowaną do próby rozciągania, a poniżej w tabeli (Tabela ) zestawiono wymiary niektórych próbek, które były poddane badaniom.



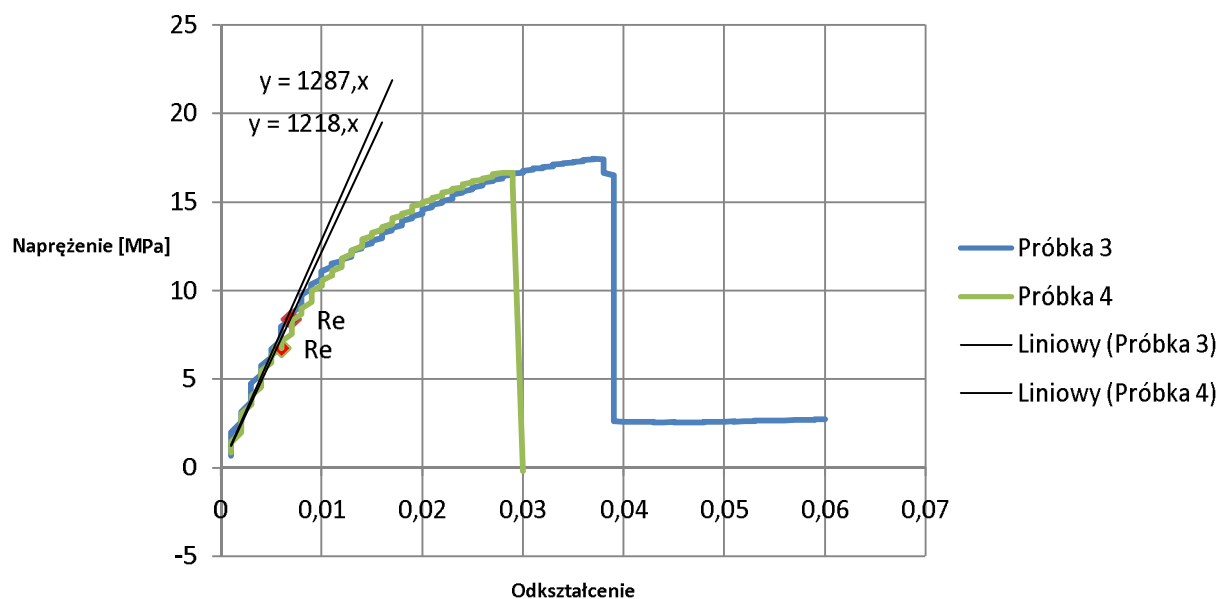
Rysunek 1. Przykładowa próbka kości czaszki

Tabela 1. Wymiary przykładowych próbek kości czaszki

Lp.	Nazwa próbki	Grubość [mm]	Szerokość [mm]	Wiek [miesiące]
1.	Próbka 3	1,5	9	5
2.	Próbka 4	1	6	
3.	Próbka 1	2	8	12
4.	Próbka 2	1,5	9	
5.	Próbka 5	2	6,5	12
6.	Próbka 6	2	7	

### 3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki badań zostały pogrupowane, ze względu na wiek dzieci, od których pochodziły próbki kości. Pierwszy przedział stanowią badania próbek kości czaszek dzieci w wieku od 2 do 6 miesięcy, drugi przedział 6 – 14 miesięcy, kolejny 14 – 24 oraz ostatni od 24 do 36 miesięcy. Na rysunku Rysunek 2 przedstawiono typowe wyniki próby rozciągania kości czaszki dzieci z przedziału wiekowego od 2 – 6 miesięcy. Wykres ten został opracowany w programie Excel z danych, które zostały uzyskane z maszyny wytrzymałościowej. Można zauważyć, że wartości testów nieznacznie się różnią pomimo tego, iż próbki pochodziły od tego samego dziecka. Przyczyną tego stanu jest pochodzenie próbek kości z dwóch różnych miejsc czaszki i dlatego też ich wytrzymałość nie jest taka sama.



Rysunek 2. Charakterystyka naprężenie – odkształcenie próbek kości czaszki dzieci w wieku od 0 do 6 miesięcy

W trakcie wyznaczania modułu Younga dla próby rozciągania wykorzystano prawo Hooke'a, które jest liniową zależnością między naprężeniem a odkształceniem:

$$\sigma = E * \epsilon$$

gdzie:

$\sigma$  – naprężenie

E – Moduł Younga

$\epsilon$  – odkształcenie względne

Z zależności tej wynika, że moduł Younga jest współczynnikiem proporcjonalności i dlatego wyznaczano go z wykresu naprężenie w funkcji odkształcenia dla umownej granicy plastyczności (na wykresach zaznaczona, jako  $Re_{0,2}$ ). Następnie z części wykresu do granicy plastyczności, wyznaczano linię trendu, której współczynnik jest modułem Younga. Umowną granicę plastyczności  $Re_{0,2}$  wyznaczono zgodnie z normą [8].

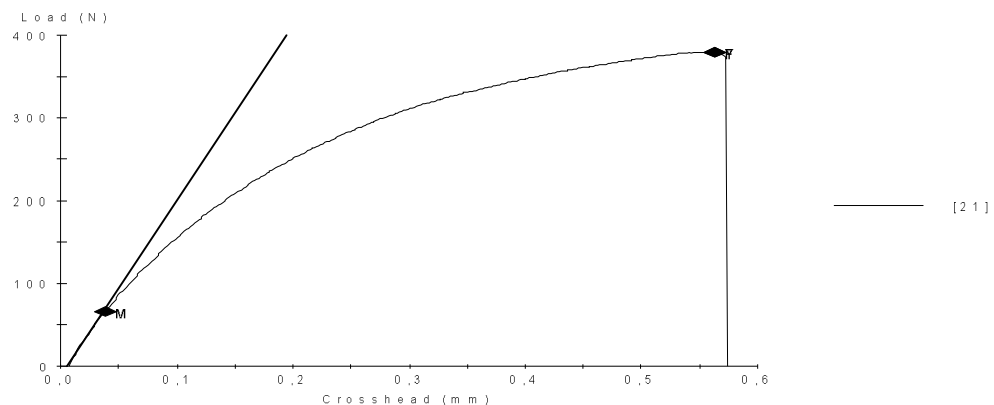
Moduły Younga (Tabela ) wyznaczone na podstawie wykresu i obliczone w programie obsługującym maszynę wytrzymałościową różnią się między sobą, ponieważ inaczej był wyznaczany punkt umownej granicy plastyczności oraz podczas badań były uwzględniane ujemne wyniki pomiarów. Natomiast przy tworzeniu wykresów w programie Excel zostały one pominięte.

Tabela 2. Uśrednione własności materiałowe kości czaszek dzieci

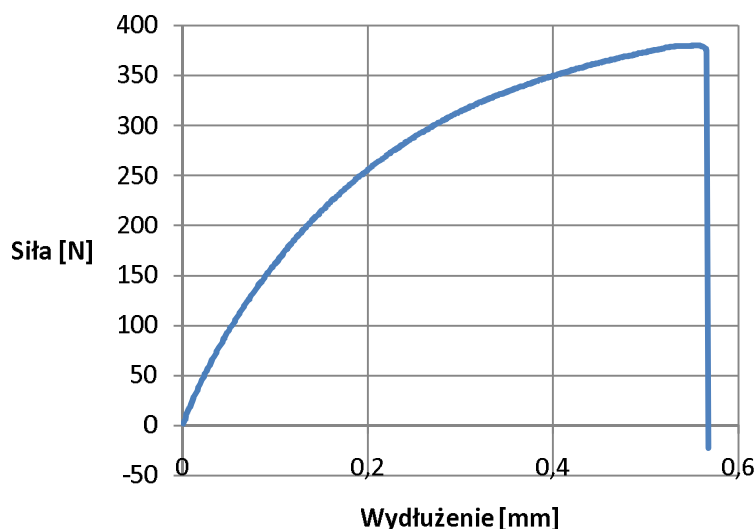
Przedział wiekowy	Obliczony moduł Younga [MPa]	Wyznaczony moduł Younga [MPa]	Maksymalna siła [N]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]
2 - 6 miesięcy	2854,624	4477,795	190,9945	13,2
6 - 14 miesięcy	3211,059	5544,44	193,2983	11,82353
14 -24 miesięcy	3955,3	7818,462	734,032	18,85
24 - 36 miesięcy	2674,6	7456,662	478,5307	10,3

W powyższej tabeli zamieszczono uśrednione własności materiałowe kości czaszek dzieci dla poszczególnych grup wiekowych. Można zauważyć, że wartości średnie parametrów materiałowych kości wzrastają wraz z wiekiem. Im dziecko jest starsze tym kości jego czaszki są bardziej wytrzymałe.

Poniżej na dwóch rysunkach Rysunek 3 i Rysunek 4 przedstawiono przykładowe wykresy siły rozciągającej w funkcji wydłużenia dla tej samej próbki. Pierwszy z nich jest wykresem pobranym z oprogramowania maszyny wytrzymałościowej, a drugi jest opracowanym w programie Excel.



Rysunek 3. Charakterystyka siła – wydłużenie z maszyny wytrzymałościowej dla próbki 23 kości czaszki



Rysunek 4. Charakterystyka siła – wydłużenie dla próbki 23 kości czaszki

#### 4. WNIOSKI

Na wyniki badań własności materiałowych kości czaszek dzieci bardzo duży wpływ ma przechowywanie próbek, ze względu na to, iż alkohol lub formalina nie zapewniają normalnych fizjologicznych warunków. Im dłużej były przechowywane próbki tym bardziej zmniejszały się ich właściwości materiałowe, kości stawały się bardziej kruche. Dlatego też, by uzyskać najbardziej prawidłowe wyniki należałoby przeprowadzać badania w bardzo krótkim czasie po pobraniu kości.

Próba rozciągania jest najprostszą metodą wyznaczenia własności materiałowych kości. W dużym przybliżeniu kości można zakwalifikować do materiałów sprężystych. Dzięki czemu jest możliwe zastosowanie prostego prawa Hooke'a, które odnosi się do takich właśnie materiałów. Na podstawie tego prawa można wyznaczyć moduł Younga, granicę wytrzymałości czy też siłę zrywającą. Z wyników badań można wywnioskować, że wartości materiałowe kości czaszki wraz z wiekiem dziecka zwiększały się, co można zauważyć w Tabeli. Średnia siła, która była potrzebna do zniszczenia próbki w przedziale wiekowym 2 – 6 miesięcy była o ponad 500N niższa niż dla grupy wiekowej 14 – 24 miesięcy. Natomiast średnie naprężenie zrywające w tych przedziałach różniło się o ok. 5 MPa. Każdy płat mózgowczaszki charakteryzuje się innymi własnościami materiałowymi. Spowodowane jest to różną grubością płatów oraz ich geometrią. Im grubsza była próbka to jej własności były większe.

Podczas badań nie uzyskano identycznych własności dla kości jednego dziecka ze względu na zróżnicowanie próbek pod względem grubości oraz miejsca pobrania. Wyniki badań uwiaryściły, że wytrzymałość kości różni się znacznie od wytrzymałości szwów czaszkowych. Największe średnie naprężenie dla szwu czaszkowego jest dwa razy mniejsze niż dla próbki kości. Największa siła zrywająca dla próbki ze szwem czaszkowym wynosiła około 60N, natomiast największa średnia dla kości wynosiła około 200N dla próbek tego samego dziecka.

## LITERATURA

- [1] Blicharski Marek, Wstęp do inżynierii materiałowej, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1998, 2001, str. 91-97.
- [2] Coats B, Margulies S.S., Material Properties of Human Infant Skull and Suture at High Rates, *Journal of Neurotrauma*, August 2006, Vol. 23, No. 8: 1222-1232
- [3] Gzik M., Wolański W., Tejszerewska D., Gzik – Zroska B., Koźlak M., Larysz D., Interdisciplinary Researches Supporting neurosurgical correction of Children head deformation, *Modelling and optimization of Physical Systems*, 2009, vol. 8, pp. 49-54.
- [4] Jaslow, C. R., Mechanical Properties of Cranial Sutures, *J. Biomech.* 1990, vol. 23, No. 4, pp. 313–321.
- [5] Marciniak J. (praca zbiorowa), Ćwiczenia laboratoryjne z metaloznawstwa, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001, 85 – 102
- [6] Margulies Susan S., Thibault Kirk L., Infant Skull and Suture Properties: Measurements and Implications for Mechanisms of Pediatric Brain Injury, *Journal of Biomechanical Engineering*, 2000, Vol. 122, pp. 364-371
- [7] Norma: PN – 74 H – 04327 Próba osiowego rozciągania – ściskania przy stałym cyklu obciążeń zewnętrznych.
- [8] Norma: PN - EN ISO 6892 – 1. Metale. Próba rozciągania. Część 1. Metoda badania w temperaturze pokojowej.
- [9] Sokołowska – Pituchowa J. (pod redakcją), *Anatomia Człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2005, str. 82 – 119
- [10] Wolański W., Gzik M., Larysz D., *Biomechanika głowy [W] Tejszerewska D., Świtoński E., Gzik M. :Biomechanika narządu ruchu człowieka*, Wyd. Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom, 2011.

**METHOD FOR THE IDENTIFICATION OF MATERIAL PROPERTIES  
THE SKULL BONE CHILDREN**