

**Bogna SZAMATOWICZ<sup>1</sup>, Anita KAJZER<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Katedra Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska, Zabrze

## WŁASNOŚCI MECHANICZNE UDOWYCH KOŚCI BYDŁĘCYCH O RÓŻNYM STOPNIU UWODNIENIA

**Streszczenie:** Celem pracy było określenie własności wytrzymałościowych bydłych kości udowych o różnym stopniu uwodnienia. Podczas realizacji pracy przeprowadzono statyczną próbę trójpunktowego zginania oraz statyczną próbę jednoosiowego ściskania. W konsekwencji wyznaczono wartości wytrzymałości na zginanie oraz ściskanie wszystkich grup badawczych. Stwierdzono, że zarówno stopień uwodnienia, jak i kierunek pobierania próbek znacząco wpływa na wartości własności wytrzymałościowych.

**Słowa kluczowe:** statyczna próba ściskania, statyczna próba zginania, bydła kość udowa

### 1. WSTĘP

Podstawowym oraz wstępnym warunkiem do teoretycznych oraz praktycznych przybliżeń w analizie funkcji fizjologicznych organizmu jest wiedza zależna od znajomości własności strukturalnych i mechanicznych tkanek miękkich oraz kostnych. Ze względu na wzrost liczby urazów w układzie kostnym, poznanie własności mechanicznych kości jest nieodzownym elementem podczas leczenia schorzeń oraz złamań nie tylko u ludzi, ale i zwierząt. W przypadku kreowania nowych postaci konstrukcyjnych implantu, bądź w celu analizy układu kość - implant badanie własności mechanicznych przeprowadzane jest na podstawie porównania „zachowania się” kości u zwierząt z tym samym złamaniem, przy czym część grupy badawczej posiada dodatkowo wszczepiony implant [1]. Badania takie realizowane są zgodnie z zaleceniem normy „Biologiczna ocena wyrobów medycznych” [2].

Ocenę własności mechanicznych kości zwierzęcych przeprowadza się na małych próbkach wypreparowanych z kości, jednakże brak jednoznacznej normy, według której badania te powinny być przeprowadzane wpływa na trudności w porównaniu wyników [3].

Celem pracy było wyznaczenie wpływu procesu suszenia oraz moczenia na własności wytrzymałościowe bydłych kości udowych podczas statycznej próby trójpunktowego zginania oraz jednoosiowego ściskania.

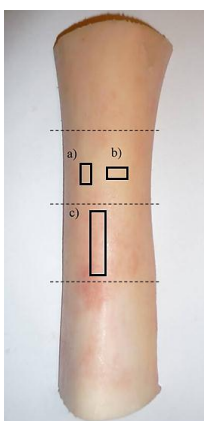
### 2. MATERIAŁ DO BADAŃ

Do badań wytypowano trzony bydłych kości udowych (rys. 1) pochodzące od dwuletniego byka o masie 500kg. W pierwszej kolejności kości oczyszczono z tkanek miękkich oraz powierzchniowo zdezynfekowano przy użyciu alkoholu.



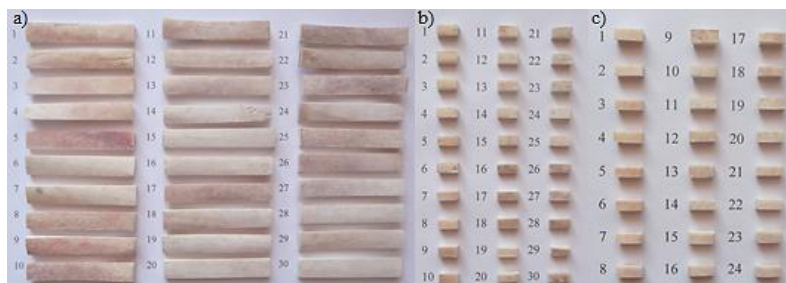
Rys. 1. Materiał do badań – bydlęca kość udowa

Następnie odcięto nasady kości, oczyszczono trzony ze szpiku kostnego oraz wstępnie podzielono na części (uwzględniono zaplanowane wymiary próbek) – próbki wycięto osiowo oraz promieniowo z wykorzystaniem stołowej przecinarki firmy Struers Secotom-15 z prędkością obrotową tarczy 2200 rpm oraz prędkością posuwu stolika 0,2 mm/s. Wybierając miejsca cięcia starano się unikać obszarów, w których kość ulegała zakrzywieniu powierzchni. Przykładowe miejsca wycięcia próbek przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Miejsca wycięcia próbek: a) do statycznej próby jednoosiowego ściskania – osiowo, b) do statycznej próby jednoosiowego ściskania – promieniowo, c) do statycznej próby trójpunktowego zginania – linie przerywane przedstawiają wstępnie podzielony trzon na części

W celu uzyskania założonych wymiarów próbki poddano procesowi ręcznego szlifowania na papierze ściernym o ziarnistości 120. W konsekwencji uzyskano materiał do badań o wymiarach: 60 mm x 10 mm x 4 mm do statycznej próby trójpunktowego zginania (30 próbek – rys. 3a) oraz 10 mm x 4 mm x 4 mm do statycznej próby jednoosiowego ściskania (30 próbek wycinanych osiowo – rys. 3b) oraz 24 próbki wycinane promieniowo – rys. 3c). Próbki podzielono na 3 grupy: I – próbki z kości świeżej, II – próbki z kości suszonej przez 30 dni oraz III – próbki z kości suszonej przez 30 dni oraz eksponowane na roztwór Ringera przez 2 dni.



Rys. 3. Próbki do: a) statycznej próby zginania, b) statycznej próby ściskania (próbki wycinane osiowo), c) statycznej próby ściskania (próbki wycinane promieniowo)

### 3. METODYKA BADAŃ

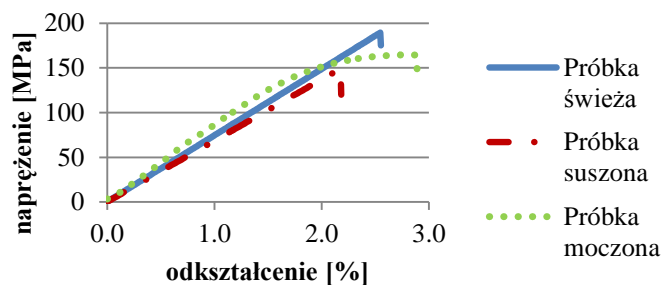
Statyczną próbę zginania realizowano z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej MTS Criterion model 45 z prędkością obciążania 2 mm/min, przy rozstawie podpór 40 mm – parametry dobrane zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 658-3:2004 [4]. Na podstawie otrzymanych charakterystyk naprężeniowo-odkształceniowych (rys. 4) wyznaczono wartości: siły obciążającej  $F_m$  [N], wytrzymałości na zginanie  $R_{f,m}$  [MPa] oraz strzałki ugięcia  $f$  [mm] (tab.1).

Statyczną próbę ściskania realizowano na tej samej maszynie wytrzymałościowej przy prędkości obciążania 4 mm/min – parametr określony na podstawie zaleceń normy PN-EN 658-2:2004 [5]. Na podstawie otrzymanych charakterystyk naprężeniowo-odkształceniowych (rys. 5a, 5b) wyznaczono wartości: siły obciążającej  $F_m$  [N] oraz wytrzymałości na ściskanie  $R_{c,m}$  [MPa] (tab. 2). W celu przedstawienia wyników każdej grupy pomiarowej przypisano indeks dolny oznaczający odpowiednio – „o” – próbki ściskane osiowo, „p” – próbki ściskane poprzecznie.

Badania przeprowadzano w temperaturze pokojowej ( $T = 23^\circ\text{C}$ ) do momentu pierwszego pęknięcia próbek. Wyniki przedstawiono w formie wykresów oraz w tabelach wraz z odchyleniem standardowym.

### 4. WYNIKI BADAŃ

Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań zostały odpowiednio pogrupowane, porównane oraz przedstawione w tabelach 1, 2 oraz na wykresach 4, 5a i 5b.

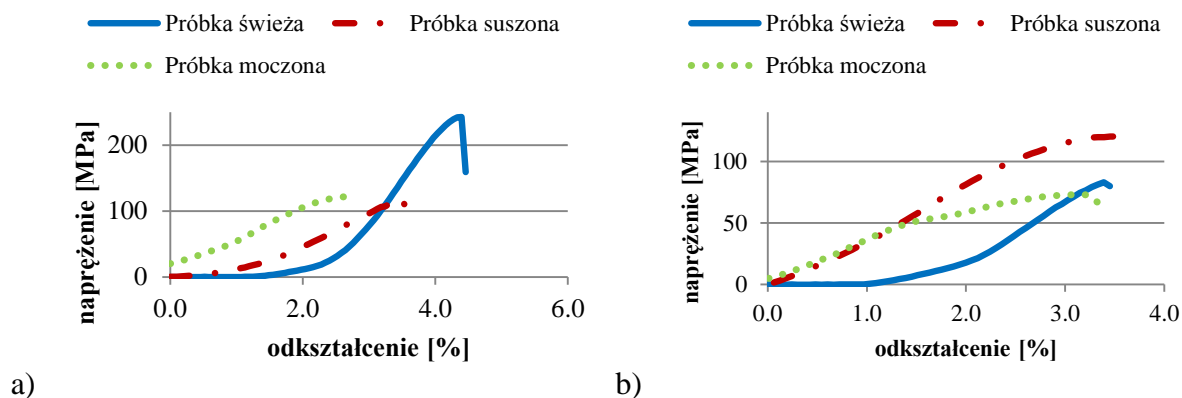


Rys. 4. Przykładowe charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowe próbek

Tabela 1. Parametry wyznaczone podczas statycznej próby trójpunktowego zginania

Grupa	Numery próbek	$F_m$ [N]	$R_{f,m}$ [MPa]	$f$ [mm]
I	1 ÷ 10	644 (115)	176 (46)	1,29 (0,23)
II	11 ÷ 20	569 (68)	149 (24)	1,14 (0,14)
III	21 ÷ 30	560 (113)	157 (21)	1,09 (0,10)

Na podstawie uzyskanych wyników (rys. 4, tab. 1) stwierdzono, że największą wytrzymałością na zginanie charakteryzują się próbki z kości świeżej  $R_{f,m} = 176$  MPa, a najmniejszą próbki z kości suszonej przez 30 dni  $R_{f,m} = 149$  MPa. Największą strzałkę ugięcia  $f$  zaobserwowano dla próbek z grupy I, a najmniejszą z grupy III.



Rys. 5. Przykładowe charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowe dla próbek:  
a) ściskanych osiowo, b) ściskanych poprzecznie

Tabela 2. Parametry wyznaczone podczas statycznej próby jednoosiowego ściskania

Grupa	Numery próbek	$F_m$ [N]	$R_{c,m}$ [MPa]
I <sub>o</sub>	1 ÷ 10	3052 (804)	174 (72)
II <sub>o</sub>	11 ÷ 20	2728 (630)	139 (22)
III <sub>o</sub>	21 ÷ 30	2414 (436)	125 (16)
I <sub>p</sub>	1 ÷ 8	1324 (341)	72 (15)
II <sub>p</sub>	9 ÷ 16	2350 (80)	132 (11)
III <sub>p</sub>	17 ÷ 24	1155 (135)	68 (9)

Na podstawie uzyskanych wyników (rys. 5a, tab. 2) dla próbek ściskanych osiowo stwierdzono, że największą wytrzymałością na ściskanie charakteryzują się próbki z kości świeżej  $R_{c,m} = 174$  MPa, a najmniejszą próbki z kości moczonej  $R_{c,m} = 125$  MPa. Podsumowując stwierdzono, że próbki z kości świeżej charakteryzują się największymi średnimi wartościami wyznaczonych parametrów. Na podstawie uzyskanych wyników (rys. 5b, tab. 2) dla próbek ściskanych poprzecznie zaobserwowano, że największą wytrzymałością na ściskanie charakteryzują się próbki z grupy II<sub>p</sub>  $R_{c,m} = 132$  MPa. Stwierdzono, że dla próbek suszonych przez 30 dni uzyskano największe średnie wartości wyznaczonych parametrów.

Porównując wyniki otrzymane dla próbek ściskanych osiowo oraz poprzecznie (tab. 2) stwierdzono, że próbki wycinane osiowo charakteryzują się większą wytrzymałością na ściskanie w stosunku do próbek wycinanych promieniowo. Największą wartość  $R_{c,m}$  uzyskano dla próbek z grupy I<sub>o</sub>  $R_{c,m} = 174$  MPa, a najmniejszą dla próbek z grupy III<sub>p</sub>  $R_{c,m} = 68$  MPa – tendencja zgodna z prawem Wolffa [6].

## 5. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wartości wytrzymałości na zginanie wg autorów [7] (dla próbek o wymiarach 40 mm x 10 mm x 2 mm) bydłych kości udowych wynoszą: dla próbek z kości świeżej  $R_{f,m} = 216$  MPa, dla próbek z kości suszonej przez 30 dni  $R_{f,m} = 127$  MPa. Inne wyniki uzyskali autorzy [8], u których wartości wytrzymałości na zginanie dla próbek o wymiarach 60 mm x 10 mm x 4 mm wynosiły: dla próbek z kości świeżej  $R_{f,m} = 193$  MPa, dla próbek z kości suszonej przez 68 dni  $R_{f,m} = 172$  MPa, dla próbek z kości suszonej przez 68 dni, a następnie moczonej w roztworze Ringera przez 1 dzień  $R_{f,m} = 177$  MPa. Porównując

otrzymane wyniki (dla próbek z grup: I  $R_{f,m} = 176$  MPa, II  $R_{f,m} = 149$  MPa, III  $R_{f,m} = 157$  MPa) oraz wartości uzyskane przez autorów [7, 8] zaobserwowano, że największymi wartościami wytrzymałości na zginanie charakteryzują się próbki z kości świeżych.

Wykazano, że kierunek pobierania próbek wpływa na wytrzymałość. Stwierdzono, że większe wartości wyznaczonych parametrów uzyskano dla próbek wycinanych osiowo w stosunku do próbek wycinanych promieniowo (różnica ok. 100 MPa w wytrzymałości na ściskanie). Kości podczas chodzenia obciążane są osiowo, więc w tym kierunku wykazują większą wytrzymałość.

Największą wartość strzałki ugięcia uzyskano dla próbek z grupy I  $f = 1,29$  mm, a najmniejszą dla próbek z grupy III  $f = 1,09$  mm. Na tej podstawie stwierdzono, że próbki świeże wykazały większą elastyczność. Wg autorów [9] wartość strzałki ugięcia dla próbek z kości świeżej wynosiła  $f = 0,35$  mm, a dla próbek z kości moczonej przez 30 dni w roztworze Ringera  $f = 0,46$  mm, tym samym wykazali oni, że dla kości moczonych uzyskano większe wartości w stosunku do kości świeżych, co różni się od wyników badań otrzymanych podczas realizacji pracy. Rozbieżności te mogą wynikać ze zróżnicowanego czasu moczenia oraz geometrii próbek do badań.

## 6. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz otrzymanych wyników potwierdzono, że kości cechuje anizotropia – większą wytrzymałością charakteryzują się wzdłuż kości. Wartości wytrzymałości na zginanie są większe w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie w każdej grupie badawczej. Największymi wartościami własności wytrzymałościowych charakteryzują się kości świeże. Zarówno proces suszenia, jak i moczenia wpływają na zmiany wartości wyznaczanych parametrów. Ostatecznie stwierdzono, że na porównywalność oraz jakość wyników wpływa przygotowanie, warunki przechowywania oraz geometria przygotowanych próbek.

## LITERATURA

- [1] Będziński R., Gawin E., Badanie właściwości mechanicznych struktur tkankowych [w:] Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000, pod red. Nałęcz M., tom 5 Biomechanika i inżynieria rehabilitacyjna, Warszawa, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 2004.
- [2] Norma PN-EN ISO 10993-1: Biologiczna ocena wyrobów medycznych. Ocena i badanie
- [3] Piątek A., Kromka-Szydek M.: Badania własności mechanicznych tkanki kostnej zwierzęcej w kontrolowanych warunkach procesu suszenia i moczenia, XI Konferencja Naukowa Majówka Młodych Biomechaników im. prof. Dagmary Tejszerskiej, Ustroń, 2014, s. 103-104.
- [4] Norma PN-EN 658-3:2004: Techniczna ceramika zaawansowana. Właściwości mechaniczne ceramiki monolitycznej w temperaturze pokojowej. Oznaczanie wytrzymałości na zginanie.
- [5] Norma PN-EN 658-2:2004: Techniczna ceramika zaawansowana. Mechaniczne właściwości kompozytów ceramicznych w temperaturze pokojowej. Oznaczanie właściwości przy ścisaniu.
- [6] Tejszerska D., Switoński E., Gzik M.: Biomechanika narządu ruchu człowieka, Wyd. 1, Radom, Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, 2011, s. 38-41.

- [7] Kajzer A., Kajzer W., Basiaga M., Kuna E.: Badania własności mechanicznych kości wołowych i wieprzowych, *Engineering of Biomaterials*, vol. 16, 2013, s. 45-50.
- [8] Rabij K., Kajzer A., Kajzer W.: Badanie własności mechanicznych bydlęcych kości udowych, *Aktualne Problemy Biomechaniki*, nr 9, 2015, s. 105-110.
- [9] Sadowska J., Kromka-Szydek M.: Zmiany własności mechanicznych kości zwierzęcych w zależności od stopnia nawilżenia preparatu, *Aktualne Problemy Biomechaniki*, nr 6, 2012, s. 111-116.

## **MECHANICAL PROPERTIES OF FEMORAL BOVINE BONES WITH VARYING DEGREES OF HYDRATION**

**Abstract:** The aim of the study was to determine the mechanical properties of femoral bovine bones with varying degrees of hydration. During the execution of the work conducted the static three-point bending test and a static uniaxial compressive test. Consequently, we determined the values of bending strength and ultimate compressive strength for all research groups. It was stated that the degree of hydration and direction of sampling significantly alters the study's strength parameters.