

# ZWIĄZKI GĘSTOŚCI PRZEŚWIETLENIOWEJ ORAZ ZAWARTOŚCI SKŁADNIKÓW MINERALNYCH W LUDZKIEJ KOŚCI BELECZKOWEJ Z JEJ WYTRZYMAŁOŚCIĄ

Adam MAZURKIEWICZ\*

\* Katedra Podstaw Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno - Przyrodniczy, ul. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz

fazipkm@utp.edu.pl

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań związków gęstości prześwietleniowej oraz zawartości składników mineralnych w ludzkiej kości beleczkowej z jej wytrzymałością. Dokonano oceny stopnia zgodności szacowania wytrzymałości kości na podstawie pomiaru gęstości prześwietleniowej kości, w porównaniu z szacowaniem wytrzymałości na podstawie zawartości składników mineralnych w kości.

## 1. WPROWADZENIE

W ocenie jakości kości metodą najczęściej stosowaną w praktyce klinicznej jest densytometria. Jako jedną z najczęściej stosowanych metod densytometrycznych (Badurski i inni, 1994; Keyak i inni, 1998), można wymienić DEXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry). Metoda ta polega na prześwietleniu badanego obszaru ciała dwiema wiązkami promieni o różnej energii. Na podstawie obliczeń osłabienia obu wiązek przy przejściu przez ciało oblicza się gęstość kości. Następnie odnosi się wynik pomiaru gęstości kości danego osobnika do gęstości kości w grupie kontrolnej ludzi młodych z prawidłową masą kostną. Na tej podstawie ocenia się spadek masy kostnej u danego osobnika. Różnica wartości obu tych gęstości jest wyznacznikiem jakości kości. W taki sposób ocenia się ryzyko wystąpienia złamania u danego osobnika, a więc także wytrzymałość kości. Jest to więc także pośrednia ocena wytrzymałości na podstawie oceny gęstości kości.

Poważną wadą tej grupy metod jest to, że nie uwzględnia ona indywidualnych cech osobniczych budowy ciała pacjentów. Przyjmuje się, że przy zbliżonym wieku czy wadze, budowa kości u osobników tej samej płci jest podobna, co nie zawsze jest prawdą.

Stąd w pracy podjęto próbę odpowiedzi na pytanie na ile dokładna jest ocena wytrzymałości kości przy pomocy pośredniego pomiaru BMD w porównaniu z oceną wytrzymałości, opartą na rzeczywistej zawartości składników mineralnych w kościach ludzkich.

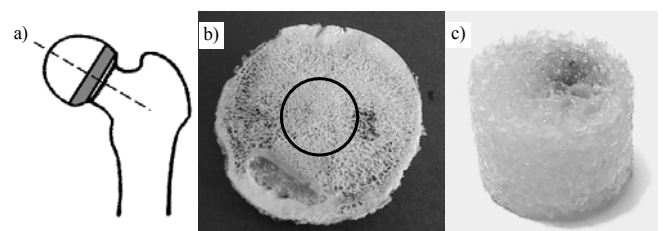
Rzeczywista zawartość składników mineralnych została określona metodą „in vitro” na podstawie badań próbek kostnych.

## 2. MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto 97 próbek ludzkiej kości beleczkowej w tym 46 osteoporotycznych oraz 51 koksartycznych pobranych z głów ludzkiej kości udowej. Preparaty, z których wykonano próbki, uzyskano w wyniku implantacji

stawu biodrowego. Ponieważ kości koksartyczne z reguły nie ulegają złamaniom, przyjęto założenie, że ich wytrzymałość jest co najmniej taka sama, jak kości zdrowych. Grupa ta została przyjęta jako grupa kontrolna o założonych własnościach mechanicznych nie gorszych niż dla kości zdrowej. Niestety pozyskanie preparatów z kości bez żadnych chorób kości nie było w tym przypadku możliwe.

Próbki były w kształcie walca o średnicy 10 i wysokości 8,5mm. Sposób pobrania próbki przedstawiono na Rys. 1. Z nasady głowy prostopadle do osi szyjki wycięto plaster o grubości 8,5mm a), następnie z centralnej części plastra wycięto walec o średnicy 10 i wysokości 8,5mm b). Ostateczny kształt próbki przedstawia rysunek c). Próbki te poddano spopieleniu w celu określenia tzw. „ash density” czyli gęstości popiołu, oznaczonej jako Ash.D oraz procentowej masowej zawartości fazy mineralnej w masie próbki, oznaczonej jako %Mma.

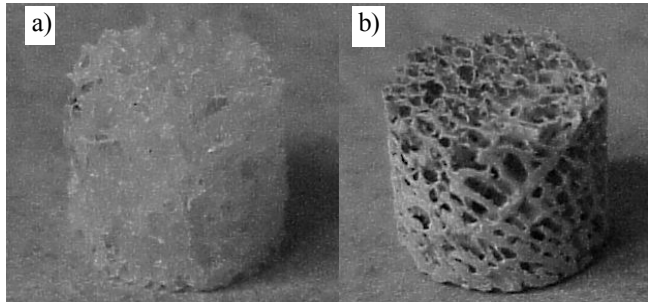


Rys. 1. Sposób pobrania próbek do badań

W celu pomiaru Ash Density spopielono próbkę w piecu, w temperaturze 500°C przez 18 godzin (Covin, 1999, Yuehuei i Draughn, 1999).

W tym czasie ulegają wypaleniu składniki organiczne kości takie jak włókna kolagenowe, nerwowe, szpik kostny czy krew. Popiół tworzą jedynie składniki nieorganiczne nie ulegające wypaleniu w tej temperaturze, czyli głównie kryształy hydroksyapatytu. Gęstość popiołu oblicza się jako iloraz masy popiołu pozostałej po spalaniu próbki do pierwotnej objętości próbki przed spalaniem. Na Rys. 2 przedstawiono obraz przykładowej próbki przed i po spopieleniu. Określono także masową zawartość składników mine-

ralnych w każdej próbce, którą zdefiniowano jako iloraz masy próbki po spoieleniu do jej masy początkowej, wyrażoną w procentach.



Rys. 2. Przykładowa próbka użyta do badań przed i po spoieleniu

Pomierzono także gęstość prześwietleniową BMD próbek metodą DEXA. Pomiar wykonano na aparacie Lunar Expert firmy General Electric.

Próba ściskania wykonana została na maszynie wytrzymałościowej MiniBionix858. W próbie określono wytrzymałość na ściskanie próbek oznaczoną jako US. Szczegółowy opis metodyki i wyników badań opisał Mazurkiewicz (2007) oraz zamieszczono w pracy (Cichański i inni, 2007).

**3. WYNIKI BADAŃ**

Tab. 1. Zakresy, wartości średnie, oraz odchylenia standardowe względne uzyskanych wyników dla próbek osteoporotycznych

	%Mma, %	Ash.D, g/cm <sup>3</sup>	BMD, g/cm <sup>2</sup>	US, MPa
Min.	15,992	0,113	0,134	2,309
Max.	65,545	0,592	0,343	19,894
Średnia	29,547	0,276	0,234	8,077
RSD	26%	29%	25%	50%
RSD – odchylenie standardowe względne				

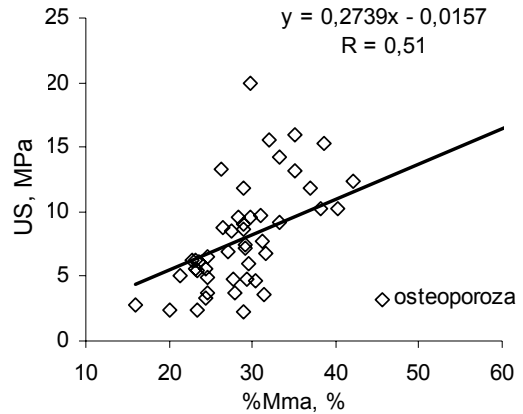
Tab. 2. Zakresy, wartości średnie, oraz odchylenia standardowe względne uzyskanych wyników dla próbek koksartrycznych

	%Mma, %	Ash.D, g/cm <sup>3</sup>	BMD, g/cm <sup>2</sup>	US, MPa
Min.	20,814	0,171	0,135	1,678
Max.	52,793	0,512	0,431	36,143
Średnia	36,626	0,327	0,292	12,675
RSD	18%	26%	29%	55%
RSD – odchylenie standardowe względne				

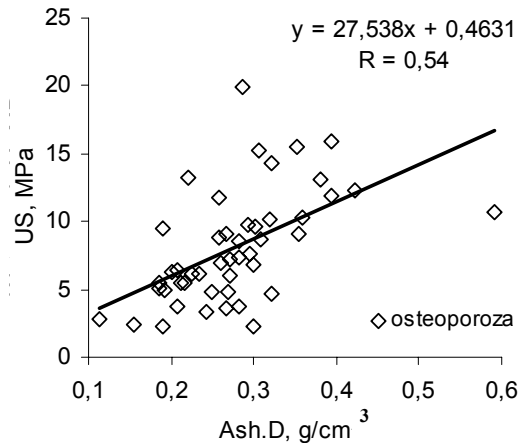
W tablicach 1-2 zestawiono zakresy, wartości średnie, oraz odchylenia standardowe względne uzyskanych wyników badań odpowiednio dla próbek osteoporotycznych i koksartrycznych. Odchylenie standardowe względne RSD jest ilorazem odchylenia standardowego i wartości średniej wyrażonym w %.

Na Rys. 3-5 przedstawiono zależności pomiędzy

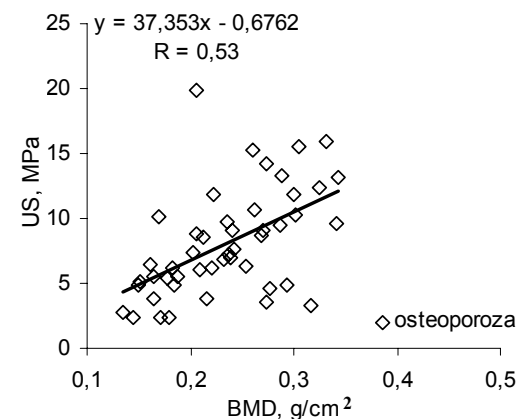
%Mma, Ash.D oraz BMD a wytrzymałością dla próbek osteoporotycznych. Na rysunkach 6-8 przedstawiono analogiczne zależności dla próbek koksartrycznych.



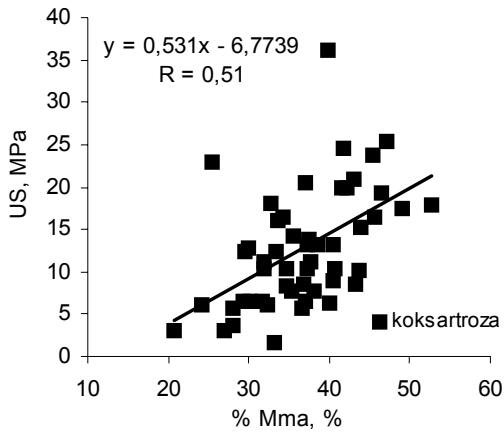
Rys. 3. Związek procentowej zawartości minerałów w masie próbki z wytrzymałością dla próbek osteoporotycznych



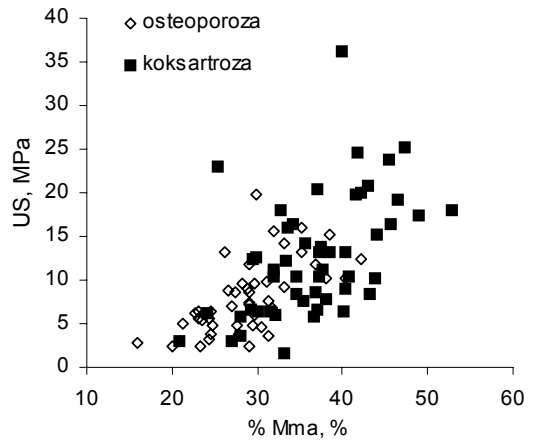
Rys. 4. Związek gęstości popiołu z wytrzymałością dla próbek osteoporotycznych



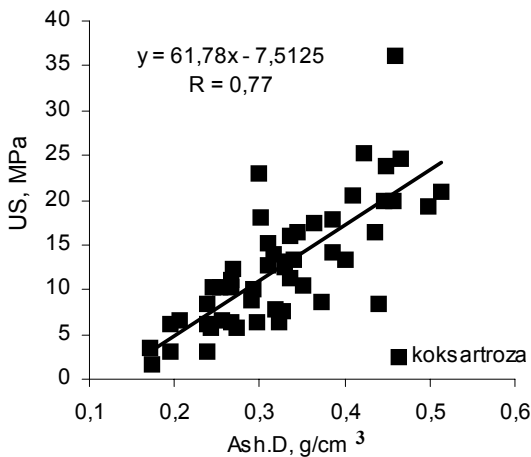
Rys. 5. Związek gęstości prześwietleniowej z wytrzymałością dla próbek osteoporotycznych



Rys. 6. Związek procentowej zawartości minerałów w masie próbki z wytrzymałością dla próbek koksartrycznych



Rys. 9. Zestawienie związków procentowej zawartości minerałów w masie próbki z wytrzymałością dla obu badanych grup próbek

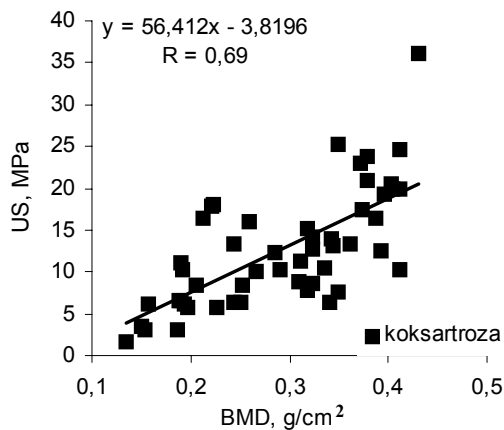


Rys. 7. Związek gęstości popiołu z wytrzymałością dla próbek koksartrycznych

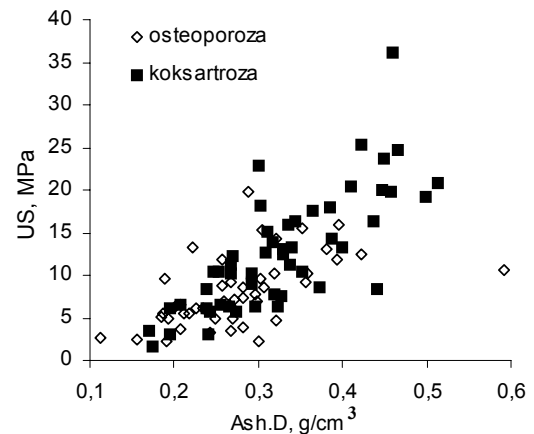
W tabelicy 3 zestawiono wartości uzyskanych współczynników korelacji pomiędzy badanymi wielkościami a wytrzymałością dla obu badanych grup próbek.

Tab. 3. Wartości współczynników korelacji pomiędzy %Mma, Ash.D, BMD a wytrzymałością na ściskanie US

	%Mma, %	Ash.D, g/cm <sup>3</sup>	BMD, g/cm <sup>2</sup>
Osteoporoza	0,51	0,54	0,53
Koksartroza	0,51	0,77	0,69



Rys. 8. Związek gęstości prześwietleniowej z wytrzymałością dla próbek koksartrycznych

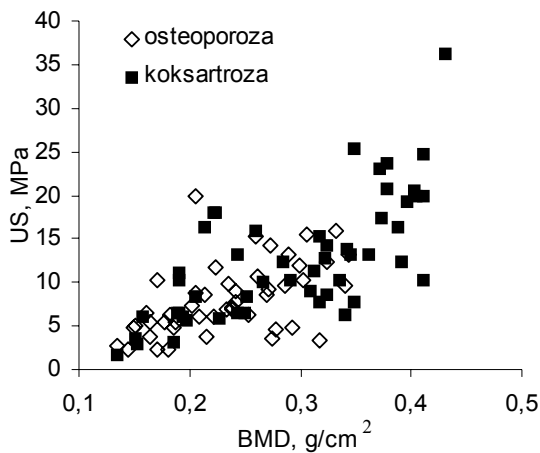


Rys. 10. Zestawienie związków gęstości popiołu z wytrzymałością dla obu badanych grup próbek

#### 4. ANALIZA OTRZYMANÝCH WYNIKÓW

Na rysunkach 9-11 przedstawiono zestawienie związków pomiędzy mierzonymi wielkościami a wytrzymałością łącznie dla obu badanych grup próbek.

W tablicach 1-2 przedstawiono wyniki uzyskane dla obu grup kości. Można zauważyć, że zakresy wyników uzyskane dla poszczególnych wskaźników pokrywają się w obu grupach. Uzyskane wartości średnie wyników były niższe dla grupy próbek koksartrycznych. Przyjawszy grupę próbek koksartrycznych jako grupę o własnościach reprezentatywnych dla kości zdrowej, spadek wskaźników %Mma, Ash.D oraz BMD w grupie osteoporotycznej wynosił odpowiednio 19, 16 oraz 20%. Największy spadek wartości średniej zaobserwowano dla wytrzymałości US, wynosił on 36%.



Rys. 11. Zestawienie związków gęstości prześwietleniowej z wytrzymałością dla obu badanych grup próbek

W uzyskanych wynikach badań można zaobserwować duży rozrzut. Wartości odchylenia standardowego względnego RSD są wprawdzie porównywalne w obu badanych grupach jednakże są dość znaczne. Podobnie jak w przypadku wartości średniej najwyższe wartości RSD uzyskano dla wytrzymałości na ściskanie. Wartości te wynoszą 50 i 55% odpowiednio dla próbek osteoporotycznych i koksartycznych. Świadczy to o dużym rozrzucie wyników badań. Potwierdzają to także współczynniki korelacji uzyskane dla związków mierzonych wskaźników z wytrzymałością na ściskanie, przedstawione na rysunkach 3-8. Wartości uzyskanych współczynników korelacji zestawiono w tabelicy 3. Dla procentowej masowej zawartości minerałów w masie próbki %Mma oraz Ash.D uzyskane współczynniki korelacji nie odbiegały od współczynników uzyskanych dla BMD w przypadku próbek osteoporotycznych. Podobnie jest z wartością współczynnika korelacji wskaźnika %Mma dla próbek koksartycznych.

W przypadku gęstości popiołu Ash.D oraz BMD dla próbek koksartycznych uzyskane wartości są wyższe niż analogiczne uzyskane w przypadku próbek osteoporotycznych. Jeżeli odniesiemy te wartości do grupy próbek osteoporotycznych to współczynniki korelacji będą wyższe o 0,23 oraz 0,16 odpowiednio dla Ash.D i BMD. Jednocześnie uzyskana wartość współczynnika korelacji dla Ash.D jest wyższa o 0,08 niż uzyskana dla BMD w tej grupie próbek, i wynosi  $R=0,77$ .

Na rysunkach 9-11 zestawiono uzyskane wyniki dla obu badanych grup próbek łącznie. Można tutaj zauważyć, że otrzymane wyniki nie umożliwiają opisu dokładnymi zależnościami związków pomiędzy badanymi wielkościami a wytrzymałością. Wyniki tworzą raczej „chmury punktów” częściowo się pokrywające, nie dające jednak dokładnego rozróżnienia pomiędzy badanymi grupami próbek.

## 5. WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników i przeprowadzonej ich analizy można przyjąć następujące wnioski:

1. Dla wszystkich zmierzonych wskaźników tj. %Mma, Ash.D, BMD oraz wytrzymałości na ściskanie US uży-

skano niższe wartości średnie w przypadku próbek osteoporotycznych.

2. Zakresy uzyskanych wyników dla poszczególnych wskaźników dla obu grup próbek częściowo się pokrywają. W obu badanych grupach zaobserwowano znaczne wartości odchylenia standardowego zwłaszcza dla wytrzymałości na ściskanie.
3. W grupie próbek osteoporotycznych nie uzyskano poprawy siły związków pomiędzy badanymi wskaźnikami, a wytrzymałością w odniesieniu do takich związków z BMD. W tym przypadku zwiększenie dokładności oceny wytrzymałości kości w porównaniu z oceną pośrednią poprzez pomiar BMD nie jest możliwe.
4. W grupie próbek koksartycznych podobnie jest dla wskaźnika %Mma. Dla Ash.D uzyskano wzrost wartości współczynnika korelacji w porównaniu z pomiarem BMD o 0,08. Stwarza to możliwości zwiększenia dokładności oceny wytrzymałości w porównaniu z oceną przy użyciu BMD w tej grupie próbek.
5. Należy tu jednak mieć na uwadze – o czym wspomniano w punkcie 2 pracy, że grupa próbek koksartycznych została uznana za grupę reprezentującą własności mechaniczne nie niższe niż kości zdrowe. Założenie takie poczyniono na podstawie tego, że kości te podobnie jak kości ludzi zdrowych bardzo rzadko ulegają złamaniom. Natomiast nie jest pewne czy zmiany chorobowe podczas koksartrozy nie działają w „drugą stronę”, tj. nie prowadzą do podwyższenia wytrzymałości w odniesieniu do kości zdrowych.

## LITERATURA

1. **Badurski J., Boczoń S., Sawicki A.** (1994), *Osteoporoza*, Wydawnictwo OSTEOPRINT, Białystok.
2. **Cichański A., Mazurkiewicz A., Topoliński T.** (2007), Określenie związków pomiędzy wartościami modułów Younga tkanki beleczkowej z próby ściskania a uzyskanymi metodą elementów skończonych, *Przegląd Lekarski*, 64.
3. **Covin S.** (1999), *Bone mechanics handbook-second edition*, CRC Press, New York.
4. **Mazurkiewicz A.** (2007), *Badanie wpływu wybranej struktury na jej wytrzymałość jako element diagnozowania nośności kości*, Rozprawa doktorska, UTP, Bydgoszcz.
5. **Yuehwei H., Draughn R.** (1999), *Mechanical testing of bone and the bone-implant interface*, CRC Press, New York.

## RELATIONS AMONG DEXA DENSITY, MINERAL CONTENT AND STRENGTH OF HUMAN TRABECULAR BONE

**Abstract:** In the paper, it was presented results of investigation relations between DEXA density, mineral content and strength of human trabecular bone. An agreement of evaluation strength of trabecular bone on the base DEXA density and mineral content of trabecular bone was proved.

Pracę wykonano w ramach realizacji projektu badawczego nr N N501 308934 finansowanego ze środków Komitetu Badań Naukowych.