

Marcin ZACZYK, Danuta JASIŃSKA-CHOROMAŃSKA

POLITECHNIKA WARSZAWSKA,
ul. Św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa

Pomiar wybranych parametrów biomechanicznych w trakcie realizacji eksperymentalnego badania połączenia implant-kość

Mgr inż. Marcin ZACZYK

Jest asystentem w Zakładzie Konstrukcji Urządzeń Precyzyjnych na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Zajmuje się inżynierią biomedyczną, pracuje nad eksperymentalnymi metodami badań wielkości biomechanicznych. Uczestniczy w realizacji wielu prac badawczo – rozwojowych, związanych ze sprzętem medycznym i aparaturą biomedyczną.



e-mail: zaczyk.m@gmail.com

Prof. nzw. dr hab. inż. Danuta JASIŃSKA-CHOROMAŃSKA

Ukończyła studia na Wydziale Mechaniki Precyzyjnej PW w 1975r. W 1983r. uzyskała stopień doktora (na Wydziale Mechaniki Precyzyjnej PW), a w 2001r. stopień doktora habilitowanego (na Wydziale Mechatroniki PW). Od 2006 roku kieruje Zakładem Konstrukcji Urządzeń Precyzyjnych w IMiF Wydziału Mechatroniki PW na stanowisku prof. nzw. PW. Jest autorką ponad 120 prac naukowych, w tym 2 monografii dotyczących zagadnień projektowania mechatronicznego.



e-mail: danuta@mchtr.pw.edu.pl

Streszczenie

Praca przedstawia jedną z metod badania osadzenia implantu w tkance kostnej. Opisano metodykę badań, dzięki której możliwa jest ocena jakości osadzenia implantu w tkance kostnej. W badaniach eksperymentalnych nowo poznawanych zjawisk kluczowe staje się odpowiednie dobranie aparatury pomiarowej. Poprawny dobór przyrządów pomiarowych pozwala na jednoznaczny opis badanego zjawiska lub obiektu.

Słowa kluczowe: pomiary biomechaniczne, eksperymentalne badania połączenia implant-kość, jakość osadzenia implantu w tkance kostnej.

Measurements of selected biomechanical parameters during experimental studies of an implant-bone connection

Abstract

The paper presents one of the methods of testing an implant mounting within the osseous tissue. It describes a methodology of the studies, which makes it possible to evaluate quality of the implant mounting within the osseous tissue. In the case of experimental studies of new phenomena being just investigated, it is crucial to appropriately select the measurement equipment. A correct selection of the measuring instruments allows one to unequivocally describe the studied phenomenon or object. A specific character of biomechanical properties of bones makes it impossible to carry out experiments using universal measuring machines, what results in a necessity of building custom test stations as well as special measurement systems based on well-developed measurement applications. As far as the described method of testing is concerned, there can be distinguished the following three stages:

- the first, including preparations of the objects for the studies,
- the second, including carrying out of measurements using the objects that have been prepared beforehand,
- the third, including analytical determination of numerical values of the studied parameters.

At the first stage, a minimum of the sample should be prepared, using an osseous tissue taken from a closer shaft of a cow thigh bone. After a pretreatment of the bone, a fragment of the tested mandrel should be mounted within it. The test station for experimental studies of the mandrel mounting within the osseous tissue must ensure a possibility of a real-time recording of the related displacements and load forces. The experiment was repeated many times in order to minimize the scatter of the indications. Basing on the obtained results, mutual correlations of particular data were determined, e.g. displacements of the mandrel within the bone in relation to the applied load. The obtained results make it possible to specify what kind of dynamics of the load applying influences the osseous tissue reaction rate.

Keywords: biomechanical measurement, experimental tests implant-bone.

1. Wprowadzenie

Niepohamowany rozwój ortopedii i traumatologii sprawia, że coraz większe wymagania stawiane są przed inżynierią biomedyczną.

Wymagania stawiane przez medycynę odnośnie weryfikacji rozwiązań inżynierii biomedycznej np. endoprotez sprawia, że wdrożenie nowych rozwiązań konstrukcyjnych dla implantologii wymaga szeregu badań, pomiarów i weryfikacji proponowanego rozwiązania [1, 2]. Analizę rozwiązań przeprowadza się przy użyciu modelowania, symulacji oraz na podstawie badań laboratoryjnych. Przeprowadzenie badań laboratoryjnych możliwe jest przez stworzenie systemu pomiarowego oraz opracowania metodyki badań eksperymentalnych. Specyfika własności biomechanicznych kości uniemożliwia wykonanie badań na uniwersalnych maszynach pomiarowych, co wymusza konieczność budowania stanowisk badawczych i specjalistycznych systemów pomiarowych opartych na rozbudowanych aplikacjach pomiarowych. Głównym celem pracy było opracowanie metodyki przeprowadzenia badania osadzenia trzpienia w tkance kostnej metodą eksperymentalną. Przeprowadzenie badań poprzedziło dobór aparatury pomiarowej koniecznej przy realizacji badań.

2. Badania eksperymentalne połączenia implant - kość

Badania eksperymentalne poprzedzone są opracowaniem metodyki badań. Wymagany jest również dobór odpowiednich narzędzi rejestrujących wartości liczbowe opisujące badane zjawisko. W trakcie doboru narzędzi rejestrujących należy uwzględnić cechy przyrządów pomiarowych np. czułość, zakres pomiarowy aby rejestrowane dane posiadały dużą dokładność. Zaufanie do uzyskanych wyników dają pomiary, które zostały wykonane przyrządami poprawnie dobranymi pod względem zakresu pomiarowego uwzględniając wartości prognozowane, które mogą wystąpić w trakcie pomiarów. Oszacowanie zakresu pomiarowego w którym należy rejestrować mierzoną wielkość stwarza wiele trudności gdyż często nie jest ono znane do końca.

Informacje na temat badanego zjawiska biomechanicznego uzyskać można przez pomiar bezpośredni albo metodami pośrednimi wykonując pomiary, za sprawą których możliwe jest wyznaczenie poszukiwanego parametru. Opisany poniżej przykład badań biomechanicznych zrealizowany został metodą pośrednią, ponieważ nie odnaleziono aparatury pomiarowej, która w sposób bezpośredni mogłaby określić jakość osadzenia trzpienia implantu w tkance kostnej [2, 3].

W pracy tej przedstawiono system pomiarowy opracowanego w Zakładzie Konstrukcji Urządzeń Precyzyjnych Politechniki Warszawskiej stanowiska do badań jakości połączenia implant-kość. Opisane stanowisko badań eksperymentalnych pozwala na weryfikację obecnie stosowanych rozwiązań w budowie implantów. Umożliwia weryfikację prototypowych rozwiązań konstrukcyjnych implantów.

3. Metodyka badań

Po wcześniejszej analizie możliwości technicznych aparatury pomiarowej stwierdzono że pomiar osadzenia trzpienia w tkance kostnej możliwy jest jedynie metodą pomiaru pośredniego. Zrealizowano go rejestrując w czasie rzeczywistym przemieszczenia trzpienia (odzwierciedlającego geometrię implantu) względem kości dla zadanej obciążenia.

W celu realizacji badań osadzenia trzpienia w tkance kostnej na stanowisku pomiarowym poniżej przedstawiono metodykę badań.

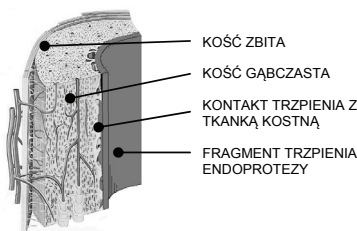
Opracowując metodykę badań założono możliwość wykonania danych badań kilkoma metodami pomiarowymi na tym samym stanowisku. Uniwersalność przeprowadzania badań możliwa była dzięki wykorzystaniu dwóch trybów pracy stanowiska:

- tryb pozwalający na pomiar przemieszczenia trzpienia implantu względem tkanki kostnej w granicach sprężystości tkanki kostnej, użytej do budowy próbki,
- tryb pozwalający na pomiar sił i nacisków w tkance kostnej wywołanych zadaną siłą na trzpień odzwierciedlającą geometrię implantu.

Badania osadzenia implantu podzielono na trzy etapy:

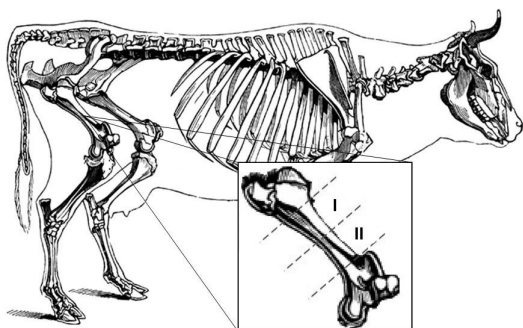
- etap pierwszy obejmujący przygotowania obiektów badań,
- etap drugi obejmujący wykonanie pomiarów na przygotowanych wcześniej obiektach badań,
- etap trzeci obejmujący analityczne wyznaczenie wartości liczbowych badanych parametrów.

W etapie pierwszym metody badań należy przygotować minimum 10 sztuk próbek o identycznych gabarytach trzpienia. Osadzenie trzpienia w tkance powinno być wykonane dla wszystkich próbek tą samą metodą, z taką samą precyzją (rys. 1).



Rys. 1. Struktura połączenia implantu z kością
Fig. 1. The structure of the implant-bone connection

Użyte materiały kostne powinny być pochodzenia zwierzęcego z tej samej hodowli. Wykorzystana tkanka kostna pochodziła z nasady bliższej wołowej kości udowej. Po wstępnej obróbce tej kości należy w niej osadzić fragment badanego trzpienia (rys. 2).



Rys. 2. Fragmenty kości zaproponowane do budowy obiektu badań
Fig. 2. Fragments of the bone proposed for the forming the object under tests

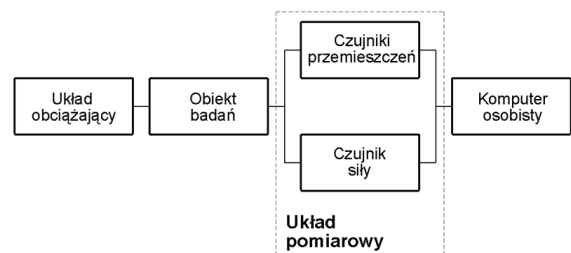
Proces osadzania trzpienia w tkance kostnej próbki powinien być realizowany identycznie z techniką osadzania endoprotezy w trakcie jej wszczepiania podczas zabiegu chirurgicznego [7, 9]. Osadzony fragment trzpienia implantu powinien wystawać powy-

żej powierzchni tkanki kostnej co umożliwi rejestrowanie przemieszczeń trzpienia względem tkanki kostnej (rys. 3).



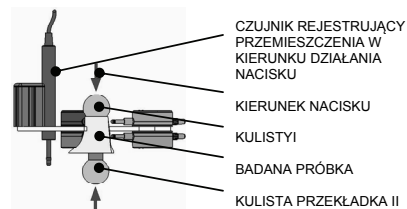
Rys. 3. Obiekt badań - badany trzpień osadzony w kości
Fig. 3. Object of the experiments – the mandrel under test mounted within the bone

Stanowisko do eksperymentalnych badań osadzenia trzpienia w tkance kostnej musi zapewnić możliwość rejestracji przemieszczeń i sił obciążenia w czasie rzeczywistym. Zapis automatyczny danych pozwala na dogodniejszą obróbkę uzyskanych w trakcie pomiarów danych. Stanowisko wykorzystywane w trakcie badań powinno zawierać niezależne układy pomiarowe wzdłuż wszystkich osi pomiarowych (rys. 4). Zastosowany układ generuje naciski od siły grawitacji, co umożliwia w prosty sposób odwzorować warunki zbliżone do warunków występujących w danym stawie podczas procesu chodu.



Rys. 4. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego
Fig. 4. Block diagram of the test station

Układ pomiarowy powinien zapewnić jednoznaczny pomiar sił obciążenia oraz pojawiających się przemieszczeń trzpienia względem tkanki kostnej podczas zadawania obciążenia [4]. Rejestracja przemieszczeń musi być realizowana w tym samym kierunku co zadane obciążenie (rys. 5).

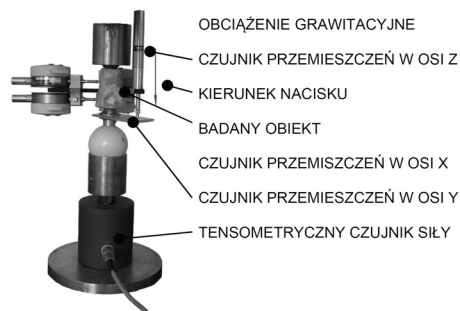


Rys. 5. Budowa układu do rejestracji przemieszczeń zgodnie z kierunkiem zadawanego obciążenia
Fig. 5. Structure of the system for the recording the displacements in line with the direction of applied load

Stanowisko do badań połączenia może być wykonane w postaci dwóch wzajemnie współpracujących ze sobą ram względem których możliwe są przemieszczenia powstałe na skutek zadanej obciążenia. Obiekt badań może wykazywać brak symetrii. Stąd rejestracja przemieszczenia w osiach X, Y, Z, powinna odbywać się na dwóch poziomach próbki wzdłuż jej długości aby możliwa

była rejestracja zjawiska wyboczenia próbki w kierunku działania obciążenia (rys. 5).

Wykorzystanie siły grawitacji podczas eksperymentu pozwoliło na uzyskanie zbliżonych do naturalnych sił występujących podczas normalnej eksploatacji (rys. 6).



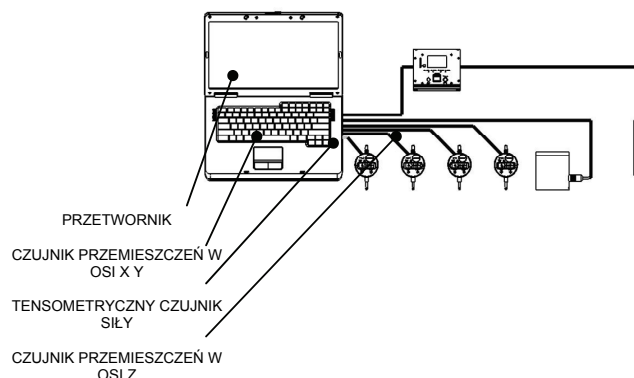
Rys. 6. Schemat realizacji rejestracji przemieszczeń w poszczególnych osiach
Fig. 6. Schematic of the displacement recording in particular axes

Dobór aparatury pomiarowej dla proponowanej metodyki badań został opracowany na podstawie analizy zjawisk biomechanicznych i biologicznych występujących w układzie implant-kość. Analiza ta pozwoliła dobrać aparaturę pomiarową która rejestrowała dany parametr w zakresie, w którym owe wielkości mierzone mogą wystąpić. W tabeli (tab. 1) zestawiono grupę przyrządów pomiarowych dzięki którym możliwe jest dokonanie pomiarów koniecznych do określenia jakości osadzenia trzpienia opisaną metodą.

Tab. 1. Zestawienie aparatury pomiarowej wykorzystanej w stanowisku
Tab. 1. List of the measurement equipment used in the test station

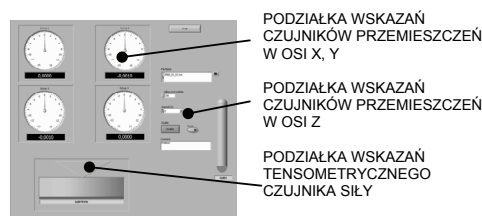
Lp.	Przeznaczenie zastosowanej aparatury pomiarowej	Typ przyrządu pomiarowego	Parametry przyrządu pomiarowego	
1	Pomiar reakcji tkanki kostnej	Tensometryczny czujnik siły CL 14 produkcji zakładów elektroniki pomiarowej wielkości nielektrycznych	Zakres pomiarowy	1 kN
			Klasa dokładności	0,5
			Czułość	1,1 mV,V
2	Pomiar przemieszczeń w kierunku działania obciążenia [OŚ Z]	Czujnik przemieszczeń produkcji SONY MANUFACTURING SYSTEM DG25B	Zakres pomiarowy	25 mm
			Powtarzalność	0,001 mm
			Rozdzielczość	0,0005 mm
3	Pomiar przemieszczeń w kierunku prostopadłym do działania obciążenia (OŚ X, Y)	Cyfrowy czujnik przemieszczeń firmy SYLVAC	Zakres pomiarowy	12 mm
Rozdzielczość			0,001 mm	
Powtarzalność			0,002 mm	

Aparatura pomiarowa powinna zostać zestawiona w układ pomiarowy umożliwiający jednoczesny pomiar przemieszczeń w trzech osiach oraz siły jakie przyjęła tkanka kostna (rys. 7). Rejestracja wszystkich parametrów w czasie rzeczywistym pozwala na wyznaczenie wzajemnych korelacji rejestrowanych danych, oraz rejestrację zmian danego parametru, zachodzących w czasie.



Rys. 7. Schemat rejestracji przemieszczeń w poszczególnych osiach
Fig. 7. Structure of the system for recording of the displacement recording in particular axes

W proponowanej metodyce uzyskane wyniki rejestrowano automatycznie ze wszystkich przyrządów pomiarowych w czasie rzeczywistym przekazując dane za pośrednictwem interfejsu opracowanego w LAB View bezpośrednio do komputera w formie elektronicznej (rys. 8).



Rys. 8. Przykładowy interfejs dzięki któremu możliwa jest rzeczywista rejestracja danych
Fig. 8. Exemplary interface enabling a real-time data recording

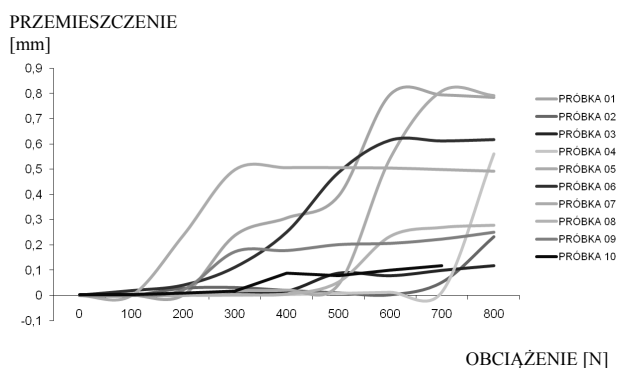
Na podstawie uzyskanych wyników możliwe jest określenie opisu reakcji tkanki kostnej na działanie osadzonego w niej trzpienia. Z uzyskanych wartości liczbowych z badań możliwe jest określenie:

- granicy równowagi sił reakcji tkanki kostnej a przyłożonym obciążeniem na trzpień,
- granicznych wartości, przy których następuje całkowity poślizg trzpienia względem tkanki kostnej.

4. Uzyskane rezultaty

W celu poznania zjawisk biomechanicznych wykonuje się szereg prób badawczych zarówno metodami analitycznymi jak i eksperymentalnymi. Metody eksperymentalne mają przewagę nad analitycznymi taką, że uzyskujemy wartości z rzeczywistych obiektów badań. Prace nad obiektami takimi jak kość są bardzo trudne. Kość jest materiałem ortotropowym, o własnościach lepkosprężystych, które wykazują nieliniowość [1]. Dla uzyskania wiarygodnych wyników konieczne staje się opracowanie metodyki takich badań. Wielokrotne próby tą sama metodą badań przy zachowaniu wcześniej opisanych procedur pozwoliły zminimalizować rozrzut wyników.

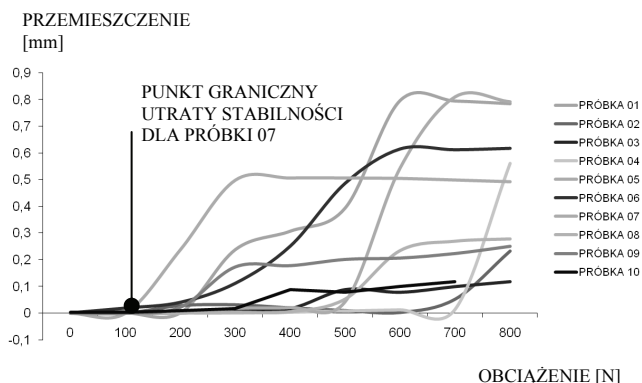
Poniżej przedstawiono wybrane wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych w celu weryfikacji zaproponowanej metodyki badań osadzenia trzpienia w tkance kostnej (rys. 9). Przygotowane próbki z tkanką kostną były przechowywane w warunkach o wilgotności 90% i temperaturze nie przekraczającej 7°C.



Rys. 9. Zależność przemieszczenia trzpienia w kości w funkcji zadanego obciążenia
Fig. 9. Dependency of the mandrel displacement in the bone versus applied load

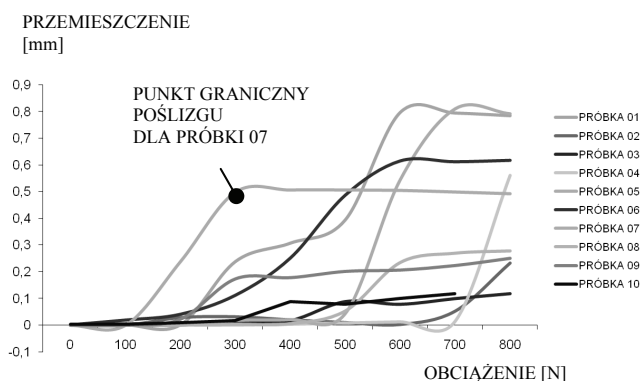
5. Analiza uzyskanych wyników

Na podstawie uzyskanych wyników możliwe jest wyznaczenie granicy utraty równowagi sił w układzie kość-implant (rys. 10). Punkt ten pokazuje przy jakim obciążeniu osadzony implant w tkance kostnej traci stabilność osadzenia. Wartość tej siły zależna jest od jakości tkanki kostnej i wielkości osadzenia. W przypadku opisanych prób powierzchnia osadzenia była jednokowa dla wszystkich próbek.



Rys. 10. Punkt utraty równowagi sił widoczny na charakterystyce przemieszczeń względem zadanego obciążenia
Fig. 10. Point of losing the equilibrium of forces, visible on the curve displacement vs. applied load

Z tych samych wyników możliwe było określenie granicznej wartości siły przy której następuje utrata kontaktu trzpienia względem tkanki kostnej (rys. 11).



Rys. 11. Punkt graniczny poślizgu dla wybranej próbki widoczny na charakterystyce przemieszczeń względem zadanego obciążenia
Fig. 11. Terminal point of the slippage for a selected sample, visible on the curve displacement vs. the applied load

Wartość ta informuje do którego momentu następuje magazynowanie energii przez tkankę kostną. Przekroczenie tej wartości świadczy o zniszczeniu połączenia implantu z tkanką kostną. Znajomość tej wartości kluczowa jest dla projektantów implantów, przy projektowaniu geometrii trzpienia implantu uwzględniając parametry wytrzymałościowe implant-kość. Uzyskane wyniki pokazały, że zaproponowana metodyka badań daje możliwość jednoznacznego określenia jakości osadzenia trzpienia w tkance kostnej.

6. Dyskusja

Metodyka badań jakości osadzenia trzpienia w tkance kostnej możliwa była jedynie po rozpoznaniu właściwości biomechanicznych tkanek kostnych, oraz zjawisk nierozzerwalnie im towarzyszących. Zdolność adaptacyjna tkanki kostnej do otaczającego środowiska opiera się na wrażliwości komórek na sygnały wytwarzane przez otaczające środowisko i zewnętrzne bodźce. Tkanka kostna funkcjonuje prawidłowo jedynie, kiedy otrzymuje pewien zasób energii mechanicznej w wyniku działania sił, których wielkość, czas trwania oraz częstość działania muszą mieścić się w odpowiednich granicach. W celu poznania zjawisk zachodzących na granicy implant-kość opracowano metodykę badań z wykorzystaniem zwierzęcych tkanek kostnych. Powyżej opisany charakter wymuszenia działania siły na połączenie implant-kość pokazuje, że niemożliwe jest wykonanie klasycznych prób ściskania. Maszyny wytrzymałościowe wymuszają przemieszczenia natomiast w badaniach osadzenia implantu znaczenie ma określenie punktów granicznych przy swobodnym obciążeniu bez wymuszanego przemieszczenia. Takie podejście pozwoli zarejestrować zarówno granicę utraty stabilności układu jak również punkt graniczny przy którym następuje już zniszczenie połączenia. W klasycznej próbie ściskania niemożliwe staje się wychwycenie punktu utraty stabilności. Niewiadomym staje się fakt w którym momencie następuje koniec magazynowania energii przez kość i od kiedy próbka ulega zniszczeniu. Zaproponowana metodyka ma taką przewagę nad klasyczną próbą ściskania, ponieważ dzięki zastosowaniu obciążenia grawitacyjnego pozwala wychwycić punkty graniczne. Przedstawione powyżej wyniki tego dowiodły.

7. Wnioski

Zaproponowana powyżej metodyka badań jakości osadzenia trzpienia spełnia założony cel. Zaproponowana aparatura w trakcie realizacji prób badawczych potwierdziła, że dobrane zakresy pracy poszczególnych czujników oraz ich klasy dokładności zostały prawidłowo dobrane. Dzięki uzyskanym wartościom liczbowym można wyznaczać wzajemne korelacje poszczególnych danych np. przemieszczeń trzpienia w kości względem zadanego obciążenia. Pozwala również określić jak dynamika zadawania obciążenia wpływa na szybkość reakcji tkanki kostnej. Wartość graniczna poślizgu trzpienia osadzonego w tkance kostnej może być parametrem służącym do porównań jakości połączenia implant-kość [2, 3, 4].

8. Literatura

- [1] Będziński R.: Biomechanika Inżynierska, zagadnienia wybrane, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
- [2] Zaczyk M., Jasińska-Choromańska D.: Zjawisko kontaktu endoproteza-kość. Materiały II seminarium inżynierii wytwarzania, Kalisz 2008.
- [3] Zaczyk M., Jasińska-Choromańska D., Miśkiewicz A.: Stanowiska do badań jakości osadzenia trzpienia implantu w tkance kostnej. Materiały konferencyjne Majówki Młodych Biomechaników, Ustroń 2010.