

ZESTAW POMIAROWY DO BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH PROTEZ ZĘBOWYCH*

Marek KUCHTA¹, Krzysztof KWIATOS¹, Krzysztof FOKOW²

¹Instytut Systemów Elektronicznych, Wydział Elektroniki, WAT
00-908 Warszawa, ul. Kaliskiego 2, e-mail: kkwiatos@wel.wat.edu.pl
²01-496 Warszawa, ul Rostworowskiego 14/2

Streszczenie

Referat przedstawia metodę i układ pomiarowy do obiektywnej oceny jakości materiałów użytych do konstrukcji protez szczękowych jak również samej jej konstrukcji. Opracowany specjalizowany zestaw pomiarowy umożliwia wykonywanie szerokiego zakresu badań statycznych i dynamicznych, w ściśle określonych warunkach, na protezach zębowych.

Słowa kluczowe: Protetyka stomatologiczna – diagnostyka, kinematyka protez, biomechanika stomatologiczna, system pomiarowy.

MEASURING SYSTEM FOR DIAGNOSTICS OF DENTAL PROSTHESES

Summary

The paper presents the method and measuring system for an objective assessment of materials used for the construction of prostheses and for the assessment of the constructions as well. The proposed system is capable of conducting wide range static and dynamic examinations of the prostheses.

Keywords: dental prosthetics – diagnostic, dentures kinematics, dental biomechanics, measuring system.

1. WSTĘP

Powiązanie analiz modelowych z badaniami eksperymentalnymi coraz częściej obejmuje zagadnienia związane z biomechaniką stomatologiczną. Badają one związki pomiędzy morfologią i fizjologią tkanki a mechanicznymi stymulatorami jej przebudowy np. w układzie proteza zębowa i tkanki wspierające podłoża.

Z mechanicznego punktu widzenia rekonstrukcja protetyczna ciągłości łuku zębowego oddziałuje na podłoże kostne za pośrednictwem aparatu zawieszeniowego ożębnej zębów naturalnych lub wszczepów śródkostnych albo błony śluzowej bezzębego obszaru wyrostka zębodołowego. W postępowaniu klinicznym szczególnie rodzaj podparcia mieszanego, ożębnowo-śluzówkowego szkieletowych protez zębowych, od dawna stanowi przedmiot licznych i różnie ukierunkowanych badań. Dotyczą one m. in. preferencji i ograniczeń w stosowaniu elementów konstrukcyjnych warunkujących zachowanie protezy podczas czynności żucia.

Powodem takiej sytuacji jest brak obiektywnej prognozy dystrybucji obciążeń przenoszonych przez protezę zębowa. Ponadto tkanki podporowe takie jak

kość, błona śluzowa czy ożębna jako ciała anizotropowe i niejednorodne o cechach reologicznych są trudne w ocenie wytrzymałościowej w porównaniu do materiałów konstrukcyjnych protez o stałych własnościach mechanicznych.

Referat przedstawia metodę i układ pomiarowy do obiektywnej oceny jakości materiałów użytych do konstrukcji protez szczękowych jak również samej jej konstrukcji. Opracowany zestaw pomiarowy umożliwia wykonywanie szerokiego zakresu badań statycznych i dynamicznych, w ściśle określonych warunkach, na protezach zębowych.

Zaprojektowany zestaw przeznaczony jest zasadniczo do badań gotowych protez zębowych. Możliwości pomiarowe zestawu są następujące:

- pomiary statyczne i dynamiczne ugięcia oraz odkształceń sprężystych protezy,
- możliwość pomiaru przy zadawaniu obciążenia w dowolnym punkcie uzębienia,
- zdolność do badania różnych typów protez zębowych,
- automatyczne sterowanie procesem pomiarowym wraz ze wstępnym przetwarzaniem informacji pomiarowej.

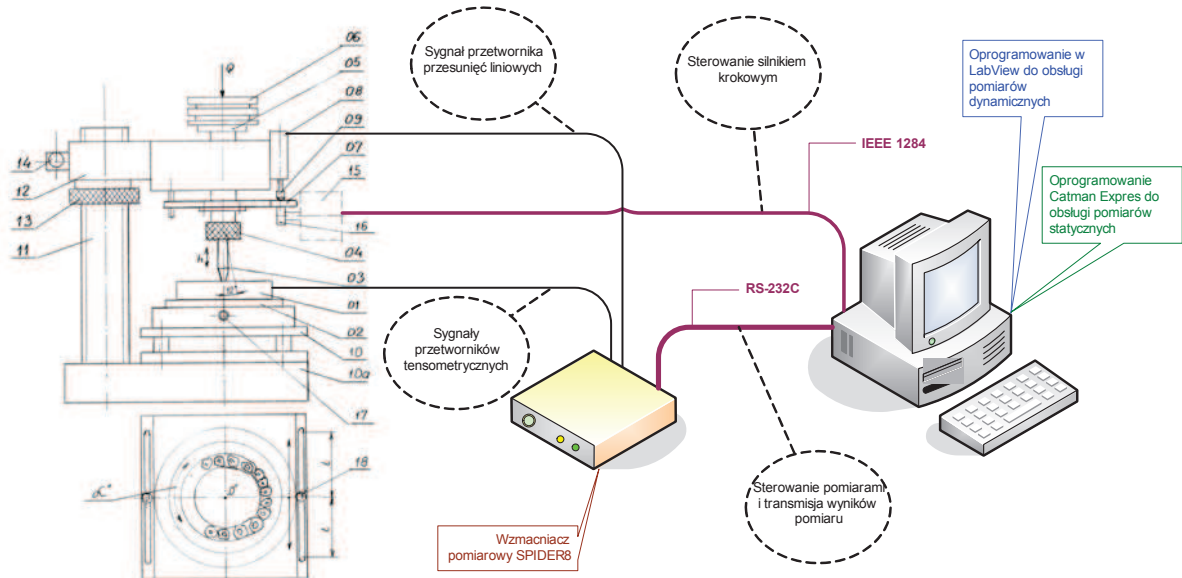
* Wykonano w ramach projektu nr: Grant 3T10C03326

2. BUDOWA I PARAMETRY TECHNICZNE

Zestaw pomiarowy składa się z części mechanicznej służącej do zadawania obciążeń statycznych lub dynamicznych oraz elektronicznej części pomiarowej, która steruje procesem pomiarowym oraz pozwala na archiwizację i przetwarzanie wyników pomiaru (rys. 1). Na rys. 2 pokazano widok stanowiska pomiarowego.

Zadaniem części mechanicznej jest odpowiednie zamocowanie badanej protezy wraz z możliwością zadawania zewnętrznych obciążeń w dowolnym punkcie uzębienia.

Badana proteza 01 umieszczona w odlewie gipsowym jest montowana (klejona) na stoliku 02 składającym się z cylindrycznego dekla umieszczonego obrotowo w prostokątnej przesuwnej ramce. Ramka umocowana jest na pochylnym, regulowanym trzema podporami dysku 10 a dysk połączony jest trwale z podstawą zestawu 10a. Ruchoma obejmka 12 przesuwa się po kolumnie 11 przy użyciu nakrętki 13. Wkrętem 14 zaciska się obejmę na kolumnie blokując ustawienie na odpowiedniej wysokości trzpienia 03.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny zestawu pomiarowego do badań protez zębowych



Rys. 2. Widok stanowiska pomiarowego

Trzpień dociskowy 03 z kolistą główką ma możliwość odchylenia wokół stożka o kącie $12^\circ + 12^\circ$. Położenie trzpienia ustala nakrętka 04. Siła nacisku Q przenoszona jest przez oś obciążników 05 ułożyskowaną wzdłużnym łożyskiem tocznym w obejmie 12. Obciążniki 06 nakładane są jeden na drugim z wykorzystaniem cylindrycznych zamków. Do trzpienia umocowana jest płytką 07, o którą opiera się końcówka pomiarowa 09 potencjometrycznego przetwornika przesunięć liniowych 08.

Uzupełnieniem konstrukcji są wkręty dociskowe 17 zabezpieczające przed obrotem stolik 02 po jego uprzednim ustaleniu w pozycji pomiarowej; 18 – dwa wkręty dociskające ruchomy suwak ramki ze stolikiem po jego ustaleniu wzdłuż osi poprzecznej w rowkach na odcinku L-L.

Obciążenia dynamiczne badanej protezy są realizowane poprzez podnoszenie i opuszczanie trzpienia z obciążnikami napędzanego silnikiem krokowym 15 z umieszczonym mimośrodowo na osi łożyskiem kulkowym 16.

Zadaniem części elektronicznej jest półautomatyczny pomiar wielkości mechanicznych w przypadku obciążeń statycznych lub w pełni automatyczny pomiar przy zadawaniu obciążeń dynamicznych.

Wzmacniacz pomiarowy Spider8 zasilany przetworniki pomiarowe (przesunięć liniowych i tensometryczne) jednocześnie wzmacniając i przetwarzając na postać cyfrową sygnały elektryczne z przetworników.

Do sterowania pracą wzmacniacza wykorzystywany jest interfejs RS-232C, za pomocą którego następuje konfiguracja kanałów pomiarowych wzmacniacza, wyzwalanie pomiaru oraz transmisja wyników pomiaru. Interfejs IEEE 1284 z buforem prądowym wykorzystywany jest natomiast do bezpośredniego sterowania silnika krokowego w trakcie zadawania obciążeń dynamicznych.

Archiwizacja oraz wstępne przetwarzanie wyników następuje w komputerze klasy PC. Do sterowania pomiarami przy obciążeniach statycznych wykorzystano firmowe oprogramowanie Catman Express dostarczane przez producenta wraz ze wzmacniaczem pomiarowym. Złożoność procesu pomiarowego przy obciążeniach dynamicznych narzucająca konieczność sterowania pracą silnika krokowego i wykonywania pomiarów za pośrednictwem wzmacniacza Spider8 w określonym reżimie czasowym wymagała stworzenia specjalizowanego oprogramowania. W tym celu wykorzystano platformę LabView, która jest dedykowana do rozwiązywania tego typu zadań.

3. PARAMETRY TECHNICZNE ZESTAWU

Zaprojektowany zestaw pomiarowy charakteryzuje się dużą uniwersalnością. Zależnie od

potrzeb i programu badań w konstrukcji zestawu przewidziano możliwość jego rekonfiguracji zarówno w części mechanicznej jak i elektronicznej. Podstawowe parametry techniczne zestawu są następujące:

- obciążenie osi (siła przenoszona na trzpień 03) od 150G do 2550G, stopniowane co 100G (minimalna wartość obciążenia 150G spowodowana jest masą układu przenoszenia obciążenia),
- zakresy zmiany punktu obciążenia protezy:
 - przesuw poprzeczny ramki stolika 02 – $L=2 \times 35\text{mm}$,
 - obrót stolika 02 – pełny kąt $\alpha=360^\circ$,
- zmiana kąta zadawania obciążenia poprzez pochylenie trzpienia 03 przy wywieraniu obciążeń osiowych i promieniowych $\pm 12^\circ$,
- regulacja pionowego położenia układu zadawania obciążenia – płynna do 100mm,
- nastawy obrotu i przesuwu – ręczne,
- pomiar ugięcia protezy – przetwornik potencjometryczny:
 - zakres pomiarowy – 8mm,
 - błąd pomiaru - 1%,
- pomiar odkształceń wybranych miejsc protezy – przetworniki tensometryczne:
 - zakresy pomiarowe: $\pm 5\mu\text{m/m}$, $\pm 12\mu\text{m/m}$, $\pm 500\mu\text{m/m}$ – wybór zdalny,
 - błąd pomiaru - 1%,
- częstotliwość zadawania obciążeń dynamicznych $0,6 \div 1,4$ cykli/s – regulacja płynna zdalna,
- częstotliwość próbkowania sygnałów z przetworników pomiarowych: 10Hz, 25Hz, 50Hz, 60Hz i 75Hz – wybór zdalny,
- konfiguracja kanałów pomiarowych (jeden kanał do pomiaru przesunięcia i do pięciu kanałów do pomiaru odkształcenia protezy) – zdalna,
- wyzwolenie pomiaru (pomiar statyczny) lub serii pomiarowej (pomiar dynamiczny) – zdalne,
- zalecana temperatura pracy $20 \pm 5^\circ\text{C}$,
- napięcie zasilania: 230V AC – komputer i wzmacniacz pomiarowy, + 12V DC – silnik krokowy.

4. METODYKA POMIARÓW

Zaprojektowane, wykonane i sprawdzone praktycznie stanowisko umożliwia wykonywanie pomiarów w szerokim zakresie. Zależnie od potrzeb mogą być prowadzone badania protez zarówno przy obciążeniach statycznych jak i dynamicznych.

Przeprowadzenie eksperymentu pomiarowego wymaga wykonania kilku czynności przygotowawczych. Stanowisko umożliwia zadawanie obciążenia nie tylko w kierunku prostopadłym do powierzchni protezy ale możliwa jest zmiana kąta zadawania obciążenia w obszarze 12° stożka kąтового. Do ustawienia żądanego kąta

pochylenia trzpienia służy specjalny ustawiak kątowy będący elementem wyposażenia stanowiska.

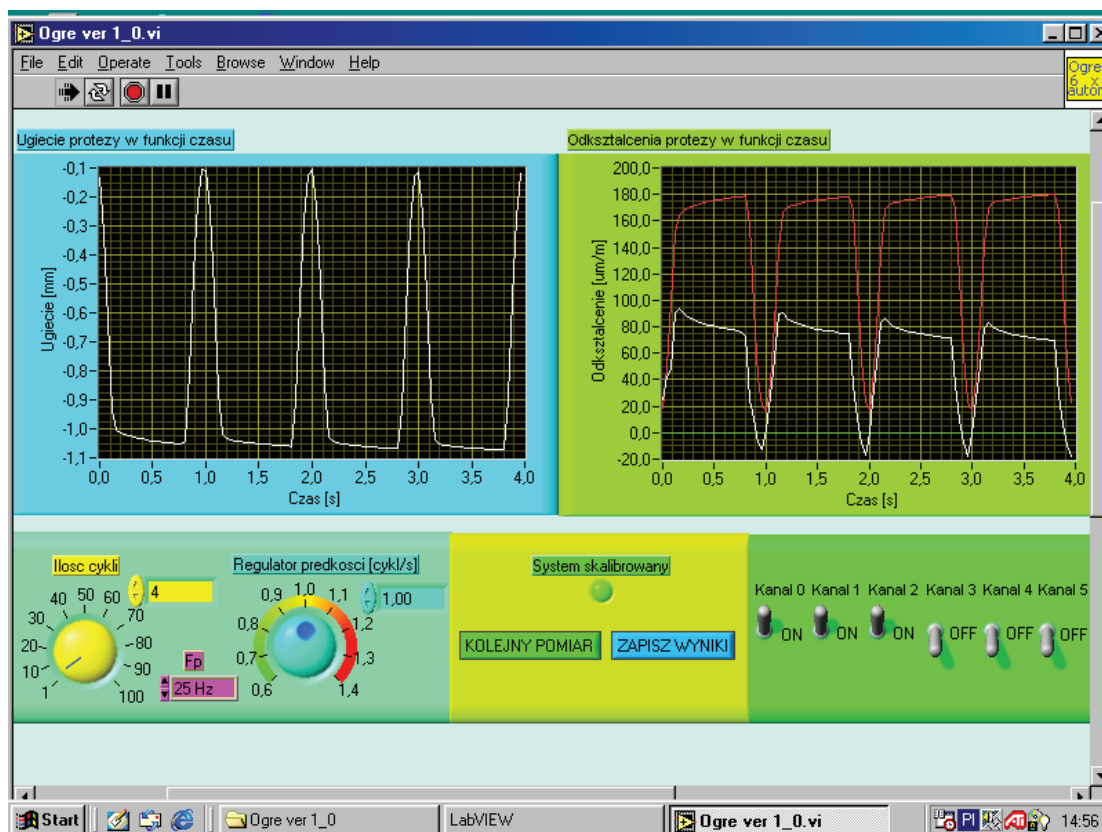
Po odpowiednim ustawieniu trzpienia należy przygotować badaną protezę do badań. W tym celu umieszcza się ją w odlewie gipsowym, który następnie jest montowany na cylindrycznym dekle. Całość umieszcza się w otworze przesuwnej stolika a przetworniki tensometryczne zamontowane na powierzchni protezy podłącza się do wybranych wejść wzmacniacza SPIDER8.

Wybór miejsca nacisku na protezę dokonywany jest za pomocą przesuwania stolika i obrotu cylindrycznego dekla. Wysokość położenia trzpienia przenoszącego obciążenie reguluje się poprzez podnoszenie lub opuszczanie całego układu do zadawania obciążenia. Po dokładnym ustawieniu miejsca nacisku na protezę należy zablokować wszystkie elementy regulacyjne za pomocą śrub blokujących. Po włączeniu urządzeń i skonfigurowaniu wzmacniacza pomiarowego zestaw jest praktycznie gotowy do przeprowadzenia eksperymentów pomiarowych. Zaleca się aby potencjometryczny przetwornik przesunąć ustawiony był wstępnie w połowie zakresu pomiarowego. Do regulacji ustawienia punktu pracy przetwornika wykorzystuje się wkręcaną - ruchomą końcówkę.

Wykonywanie pomiarów statycznych narzuca warunek wywołania stałego obciążenia. Uzyskuje się to poprzez ręczne nakładanie obciążników na

układ zadawania obciążeń. Oznacza to, że wyzwolenie pomiarów powinno również następować ręcznie po ustabilizowaniu się wartości obciążenia. Do realizacji tego typu zadań wykorzystano firmowe oprogramowanie CATMAN EXPRESS dostarczane przez producenta wraz ze wzmacniaczem pomiarowym SPIDER8. Zapewnia ono pełną obsługę pomiarów przy obciążeniach statycznych. Za jego pomocą konfiguruje się interfejs RS-232C oraz wzmacniacz pomiarowy w zakresie aktywacji poszczególnych kanałów pomiarowych, ich trybu pracy (współpracy z różnego typu przetwornikami pomiarowymi), zakresu pomiarowego i trybu wyzwalania pomiaru. Natomiast po wykonaniu założonej ilości pomiarów oprogramowanie umożliwia archiwizację wyników w różnych formatach (binarnych lub tekstowych).

Przy obciążeniach dynamicznych oprócz funkcji pomiarowych należy również zapewnić sterowanie pracą silnika krokowego. Firmowe oprogramowanie stosowane przy pomiarach statycznych nie jest w stanie zrealizować sterowania silnikiem krokowym. Z tego powodu opracowano własne oprogramowanie, które za pomocą interfejsu RS-232C steruje pracą wzmacniacza pomiarowego a poprzez interfejs IEEE-1284 steruje pracą silnika krokowego, który będąc mechanicznie sprzężonym z układem zadawania obciążenia powoduje powstawanie obciążeń zmiennych w czasie (rys. 2).



Rys. 2. Panel sterujący oprogramowania do pomiarów dynamicznych

Opracowane oprogramowanie powstało na bazie platformy programowej LabView, która jest bardzo wygodnym i elastycznym narzędziem do realizacji tego typu zadań. Z założenia przyjęto, że zestaw pomiarowy przed rozpoczęciem sesji pomiarowej powinien zostać skalibrowany i odpowiednio do potrzeb skonfigurowany w sposób automatyczny. Natomiast wybór parametrów pracy zestawu powinien się odbywać zdalnie. Jedyną czynnością wykonywaną ręcznie jest nakładanie obciążników na układ zadawania obciążenia wyznaczające maksymalną wartość obciążenia.

Przed rozpoczęciem pomiarów zestaw powinien zostać skalibrowany. Kalibracja odbywa się w sposób automatyczny po naciśnięciu przycisku „KALIBRACJA”. O tym, czy zestaw został skalibrowany, czy też czynność ta nie powiodła się sygnalizuje lampka kontrolna. W przypadku wystąpienia błędu w procesie kalibracji dalsze pomiary nie są możliwe. Przed rozpoczęciem pomiaru należy włączyć z panelu sterującego kanały, z których informacja pomiarowa ma być rejestrowana oraz wybrać parametry pracy zestawu:

- częstotliwość próbkowania,
- prędkość zadawania obciążenia,
- ilość cykli zadawania obciążenia w trakcie sesji pomiarowej.

Po wykonaniu powyższych czynności zestaw pomiarowy jest gotowy do rozpoczęcia pomiaru. Wyzwolenie serii pomiarowej następuje po naciśnięciu przycisku „START”. Silnik krokowy obraca się z zadaną prędkością wywołując obciążenia zmienne w czasie. Sygnały z przetworników pomiarowych we włączonych kanałach są próbkowane synchronicznie z wybraną częstotliwością. Za każdym razem gdy wykonany zostanie pełny cykl obciążenia zarejestrowane wartości sygnałów są transmitowane z bufora wzmacniacza pomiarowego do komputera poprzez interfejs RS-232C. Zadawanie obciążenia zmiennego w czasie wraz z równoległym próbkowaniem sygnałów w aktywnych kanałach

pomiarowych jest wykonywane aż do momentu gdy zostanie wykonana zadana ilość cykli obciążeń.

Następnie zarejestrowane sygnały są wyświetlane na wskaźnikach graficznych i udostępniana jest funkcja archiwizacji wyników pomiaru.

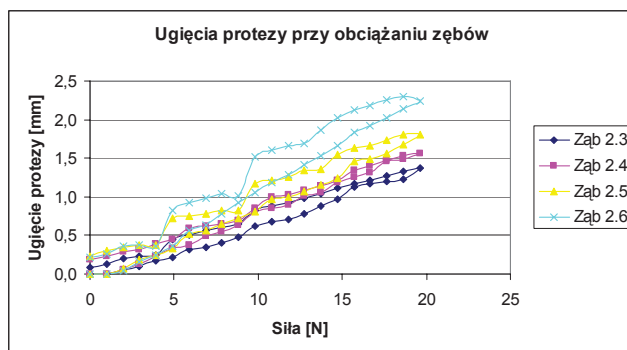
5. PRZYKŁADOWE WYNIKI POMIARÓW

Opisany powyżej zestaw pomiarowy był wykorzystywany wielokrotnie do przeprowadzania różnego typu eksperymentów. Poniżej przedstawiono wyniki pomiarów wykonane w warunkach statycznych (rys. 3, rys. 4). Badana była proteza metalowa z czterema zębami oznaczonymi jako 2.3, 2.4, 2.5, 2.6. Na metalowej powierzchni protezy od strony dwóch zaczepek mocujących zamontowany był przetwornik tensometryczny w układzie półmostka Wheatstone'a.

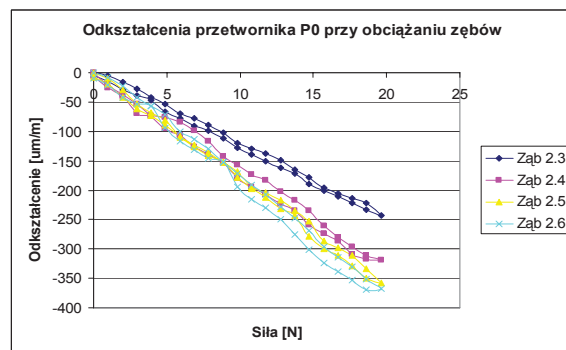
Po ustawieniu trzpienia do zadawania obciążenia nad wybranym zębem protezy, zwiększono obciążenie za pomocą obciążników do wartości 2kG. Następnie obciążenie było zmniejszane. Za każdym razem po zmianie obciążenia rejestrowane były sygnały z przetwornika przesunięć (ugięcie protezy) oraz z przetwornika tensometrycznego (odkształcenie wybranego obszaru protezy). Po zakończeniu serii pomiarowej trzpień był ustawiany nad kolejnym zębem protezy i czynności były powtarzane. Wyniki wykonanych pomiarów przedstawiono na poniższych rysunkach. Zostały one wykorzystane do weryfikacji modelu metalowej protezy dwuskrzydłowej.

6. WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzone dotychczas badania protez zębowych w pełni potwierdziły przydatność omawianego stanowiska do określania właściwości mechanicznych protez zębowych. W szczególności zestaw pomiarowy umożliwia badania ugięć i odkształceń sprężystych w zależności od miejsca



Rys. 3. Wyniki pomiaru ugięcia protezy funkcji obciążenia



Rys. 4. Wyniki pomiaru odkształcenia protezy funkcji obciążenia

przyłożenia obciążenia zarówno w warunkach statycznych jak i dynamicznych.

Automatyczne zadawanie obciążeń dynamicznych wraz z równoległym synchronicznym próbkowaniem pozwala na prowadzenie długotrwałych badań zmęczeniowych. Pozwala to na określanie trwałości protez wraz z szacowaniem czasu ich przydatności przy założonej ilości zgryzów. Opracowane oprogramowanie jest w pełni skalowane i pozwala na zadawanie praktycznie dowolnej liczby cykli obciążeń.

Do tej pory zestaw pomiarowy był wykorzystywany do zadawania obciążeń punktowych (sił skupionych). Planuje się zwiększenie funkcjonalności stanowiska poprzez doposażenie w trzpień do zadawania obciążeń powierzchniowych (sił rozłożonych).

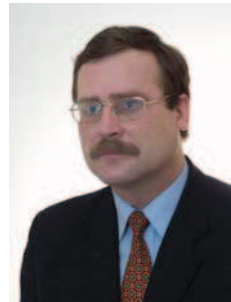
Z uwagi na zastosowane rozwiązania konstrukcyjne trwałość stanowiska jest praktycznie nieograniczona. W trakcie eksploatacji planowana jest okresowa wymiana trzpienia i łożyska mimośrodowo.

LITERATURA

- [1]. Instrukcja obsługi wzmacniacza pomiarowego SPIDER8, Hottinger Baldwin Messtechnik, Darmstadt 1999.
- [2]. Instrukcja użytkownika oprogramowania CATMAN[®] EXPRESS ver.3.0, Hottinger Baldwin Messtechnik, Darmstadt 1999.
- [3]. Instrukcja użytkownika platformy programowej LabView ver.6i, National Instruments, Austin Texas 2000.
- [4]. Instrukcja pomiarowa platformy programowej LabView ver.6i, National Instruments, Austin Texas 2000.
- [5]. Z. Parczewski, Teoria maszyn i mechanizmów, Warszawa, WNT 1978.
- [6]. Z. Orłoś, Doświadczalna analiza odkształceń i naprężeń, Warszawa, PWN 1977.
- [7]. Z. Orłoś, Pomiary naprężeń w budowie maszyn, Warszawa, PWN 1986.
- [8]. S. Timoszenko, Voynowsky-Krieger, Teoria płyt i powłok, Warszawa, Arkady 1982.



Marek KUCHTA urodził się w 1961r. Studia ukończył w 1987 r. na Wydziale Elektroniki WAT specjalność eksploatacja systemów łączności. Stopień doktora uzyskał w roku 1997 w dyscyplinie elektronika, specjalność metrologia. Pracuje na stanowisku adiunkta n-d na Wydziale Elektroniki WAT. Zajmuje się systemami pomiarowymi, modelowaniem układów biomechanicznych, przetwarzaniem sygnałów biomedycznych.



Krzysztof KWIATOS urodził się w 1961r. Studia ukończył w 1986 r. na Wydziale Elektroniki WAT specjalność eksploatacja systemów łączności. Stopień doktora uzyskał w roku 2000 w dyscyplinie elektronika, specjalność metrologia. Pracuje na stanowisku adiunkta n-d na Wydziale Elektroniki WAT. Zajmuje się systemami pomiarowymi, przetwarzaniem sygnałów biomedycznych.



Krzysztof FOKOW urodził się w 1963r. Studia ukończył na Wydziale Elektroniki WAT specjalność systemy radioelektroniczne. Długoletni pracownik tego Wydziału. Obecnie pracuje w BP Foxel. Zajmuje się projektowaniem automatycznych systemów kontrolno-pomiarowych i automatyką przemysłową.