

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH

Łódź 15-16 maja 1997 r.

Adam Wieczorek, Monika Gierzyńska-Dolna
Instytut Obróbki Plastycznej Metali i Tworzyw Sztucznych Politechniki Częstochowskiej

SYMULATOR DO BADAŃ TRWAŁOŚCI ENDOPROTEZ STAWU KOLANOWEGO CZŁOWIEKA

SŁOWA KLUCZOWE

endoproteza, staw kolanowy człowieka

STRESZCZENIE

Przedstawiono funkcjonalną strukturę hydrauliczną stanowiska do badań trwałości endoprotez stawu kolanowego człowieka. Omówiono budowę i zasadę działania układu. Określono jego najważniejsze użytkowe cechy na tle alternatywnych własnych rozwiązań na bazie kinematycznych mechanizmów ruchowych.

W STEP

Duża liczba stosowanych obecnie rozwiązań konstrukcyjnych endoprotez stawu kolanowego wskazuje na to, że problem optymalizacji pod względem ich własności użytkowych jest ciągle jeszcze otwarty. Prawdopodobnie proces tworzenia nowych konstrukcji, doboru materiałów, opracowywania szerokiego przedziału typowymiarów dla różnych ich rodzajów będzie trwał jeszcze długo. Rozwój inżynierii materiałowej wymusza coraz to nowsze rozwiązania konstrukcyjne i technologie ich montażu podczas zabiegu operacyjnego. Proces tworzenia nowych jakościowo rozwiązań wiąże się jednocześnie z koniecznością prowadzenia badań symulacyjnych każdej nowo opracowanej endoprotezy.

Dodatkowo w wielu przypadkach zanim endoproteza znajdzie się w organizmie człowieka przeprowadza się uprzednio badania z wykorzystaniem zwierząt. Ten ostatni sposób uzyskiwania informacji w nowoczesnych społeczeństwach staje się coraz bardziej kontrowersyjny. Prawdopodobnie w przyszłości zostanie on zabroniony. Zwłaszcza, że na obecnym poziomie światowej technologii praktycznie większość tego typu niezbędnej wiedzy jest możliwa do uzyskania innymi sposobami. Decydują często w tym względzie tylko środki finansowe.

W ramach prac naukowo badawczych prowadzonych w Instytucie Obróbki Plastycznej Metali i Tworzyw Sztucznych Politechniki Częstochowskiej opracowano symulator do badań trwałości endoprotezy stawu kolanowego człowieka.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SYMULATORA

Na rys. 1 przedstawiono schemat funkcjonalny stanowiska, które zostało opracowane głównie dla przeprowadzenia badań trwałości użytkowej różnych rodzajów endoprotez stawu kolanowego człowieka. Dodatkowo przewidziano również możliwość badań tribologicznych endoprotezy stawu biodrowego. Badania obu endoprotez w zależności od potrzeb mogą odbywać się na stanowisku jednocześnie lub osobno, w pojedynczym lub zdublowanym układzie ruchu.

Urządzenie symuluje warunki pracy biołożysk układu ruchowego człowieka podczas wykonywania przez niego przysiadów z dodatkowym obciążeniem. Symulowany w ten sposób ruch kończyn dolnych umożliwi prowadzenie przyspieszonych badań tribologicznych endoprotez. Badania zużycia tych elementów w warunkach zbliżonych do rzeczywistych są niezwykle czasochłonne. Dlatego też pewne przyspieszenie procesu zużycia poprzez zwiększenie w pewnych granicach nacisków jednostkowych pary trącej uznano za niezbędne.

Stanowisko umożliwia płynną nastawę obciążenia węzłów badanych oraz regulowany do pełnego zakresu kąt zgięcia endoprotezy stawu kolanowego. Zarówno nacisk, jak i wymuszenie ruchu elementów modelujących kość udową i piszczelową człowieka zrealizowano hydraulicznie.

Urządzenie umożliwia prowadzenie badań zużycia elementów ślizgowych endoprotez w warunkach smarowania lub na sucho dzięki zastosowaniu odpowiednich sztucznych torebek stawowych. Podstawowe charakterystyczne dane stanowiska są następujące:

~ Zakres płynnie nastawianego obciążenia osiowego $P = 0 \div 3500$ N, ~ Maksymalny kąt zgięcia kolana $\alpha = 110^\circ$,

1 Częstotliwość pracy wykonawczych zespołów ruchowych:

- a) w układzie pojedynczym ruchu: 0,36 Hz co odpowiada czasowi trwania pełnego cyklu zgięcia zamodelowanego kolana $T_p = 2,8$ s,
- b) w układzie podwójnym ruchu: 0,18 Hz odpowiada to czasowi trwania pełnego zgięcia $T_p = 5,6$ s,

1 Moc napędu hydraulicznego: $N_c = 2$ kW.

BUDOWA STANOWISKA

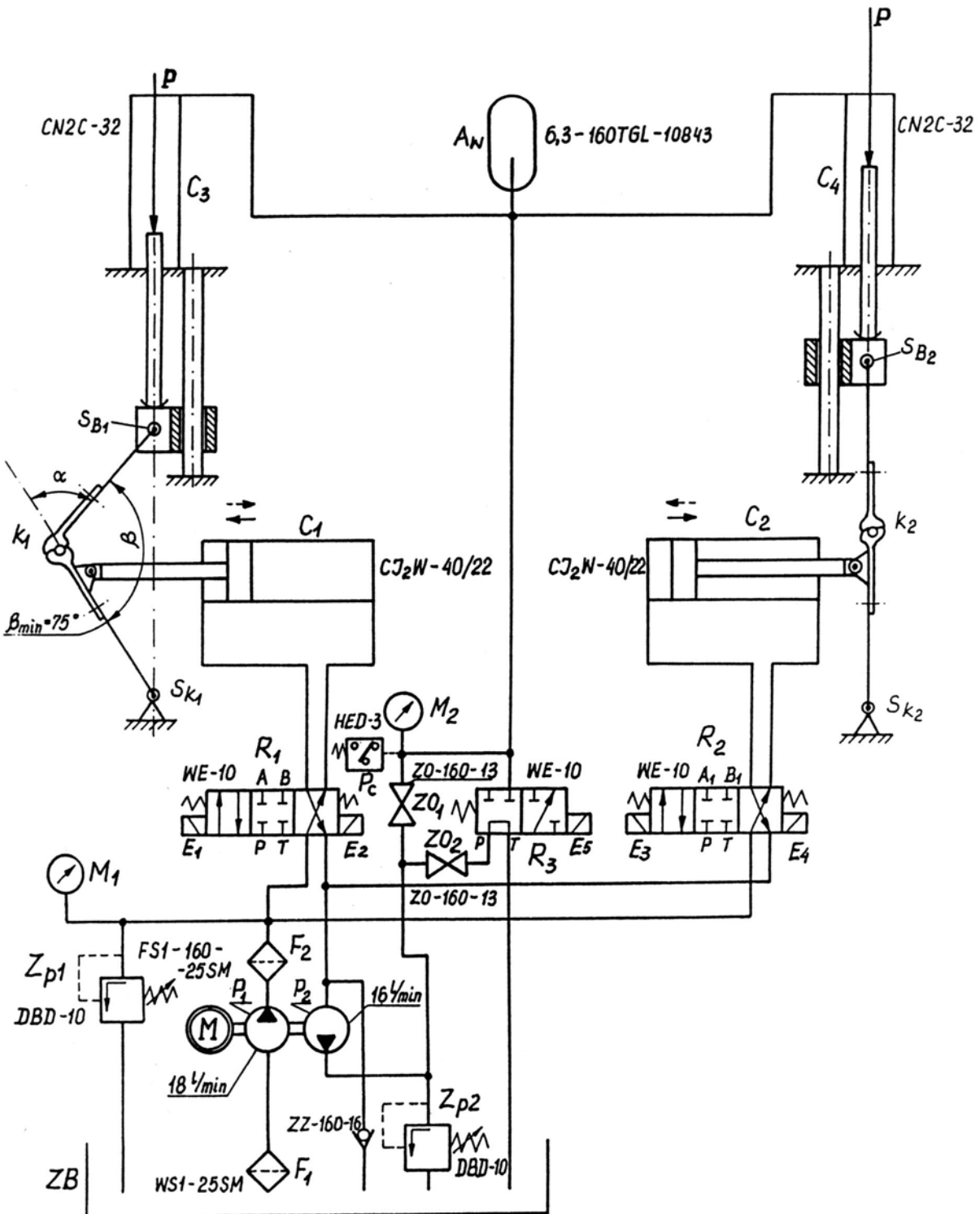
Całą strukturę funkcjonalną stanowiska można podzielić na trzy zasadnicze podzespoły, a mianowicie:

- 1) zasilacz hydrauliczny układu,
- 2) zespół wykonawczy,
- 3) zespół sterowania elektrohydraulicznego.

Zasilacz hydrauliczny układu

Podzespół ten służy do napędu siłowników hydraulicznych w układzie wykonawczym. Składa się z dwóch pomp o stałym wydatku P_1 i P_2 , dwóch filtrów wstępnego i dokładnego

oczyszczania F_1 , i F_2 zaworu przeciążeniowego Z_{p1} , zaworu zwrotnego Z_Z oraz manometru M_1 kontroli ciśnienia na wylocie pompy p_1 zbiornika ZB.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny stanowiska do badań trwałości endoprotezy stawu kolanowego człowieka

Pompa P_1 zasila cylindry siłowników napędu ruchu elementów modelujących kończyny dolne, natomiast P_2 podłączona w układzie zasilania „na wylocie” służy do wymuszania ruchów cylindrów C_3 lub C_4 w przypadku pracy w pojedynczym układzie. Natomiast w podwójnym służy tylko do zapewnienia stałego ciśnienia w obwodzie nastawianego zaworem Z_{p2} . Pomiar wartości tego ciśnienia umożliwia manometr M_2 .

Zespół wykonawczy

Zespół ten składa się z dwóch siłowników hydraulicznych dwustronnego działania C_1 i C_2 służących do wymuszania ruchów elementów modelujących kończyny dolne człowieka, dwóch siłowników hydraulicznych jednostronnego działania C_3 i C_4 służących do wywierania sił P modelujących składowe obciążenia kończyn dolnych człowieka w trakcie wykonywania przez niego przysiadów z obciążeniem oraz z akumulatora wyrównawczego A_w . Aparat ten służy do utrzymywania stałego ciśnienia w obwodzie, a dodatkowo spełnia rolę chłodnicy oleju.

Zespół sterowania elektrohydraulicznego

Składa się z dwóch rozdzielaczy elektrohydraulicznych trzypołożeniowych czterodrogowych R_1 i R_2 , jednego rozdzielacza elektrohydraulicznego dwupołożeniowego trzydrogowego R_3 , przełącznika ciśnienia P_c , dwóch zaworów odcinających Z_{O1} i Z_{O2} i manometru M_2 pomiaru ciśnienia w obwodzie wywierania sił obciążania węzłów badanych.

Rozdzielacze R_1 i R_2 służą do otwierania dróg przepływu oleju do części roboczych cylindrów C_1 i C_2 dla założonych naprzemiennych ruchów ich tłoczków w podwójnym układzie pracy lub do realizacji ruchów posuwisto zwrotnych tłoczków pracujących pojedynczo. Rozdzielacz R_3 służy do sterowania wydatkiem pompy P_2 w celu zapewnienia stałego ciśnienia w obwodzie cylindrów C_3 i C_4 . Przełącznik ciśnienia P_c służy do wyłączenia napięcia zasilania cewki elektromagnesu rozdzielacza R_3 po uzyskaniu ciśnienia nastawionego zaworem Z_{p2} . Zawór odcinający Z_{O1} służy do otwierania lub zamykania drogi bocznikowania rozdzielacza R_3 , natomiast Z_{O2} służy do zamykania lub otwierania drogi swobodnego przepływu oleju do zbiornika.

ZASADA DZIAŁANIA STANOWISKA

Należy wyróżnić dwie podstawowe nastawy układu, które w zależności od potrzeb umożliwiają pracę zespołów roboczych w pojedynczym albo podwójnym systemie ruchu.

Do pracy w układzie pojedynczym jeden z rozdzielaczy głównych tj. R_1 lub R_2 musu być odłączony od obwodu sterującego. Wtedy przyjmujący pozycję zerową jego tłoczek odetnie drogę przepływu oleju na odpowiadający mu cylinder C_1 lub C_2 w zależności od tego, który z nich powinien być wyłączony, a który przewidziany do pracy. Przykładowo przy wyłączeniu napięcia sterującego na cewki elektromagnesów rozdzielacza R_2 pompa P_1 zasilać będzie cylinder C_1 za pośrednictwem rozdzielacza R_1 . Jednocześnie pompa P_2 utrzymywac będzie ciśnienie w obwodzie cylindra C_3 nastawionego wcześniej zaworem Z_{p2} . Wtedy zawór odcinający Z_{O1} musi być otwarty natomiast Z_{O2} zamknięty. Akumulator hydrauliczny A_w spełnia tutaj dodatkową rolę chłodnicy.

W celu polepszenia ogólnej sprawności układu hydraulicznego można wykorzystać rozdzielacz pomocniczy R_3 do sterowania wydatkiem pompy P_2 . W tym przypadku zawór ZO_1 , musi być zamknięty, a otwarty ZO_2 . W chwili spadku ciśnienia w obwodzie cylindra C_3 odpowiednio nastawiony przełącznik ciśnienia P_c przesteruje rozdzielacz pomocniczy R_3 otwierając drogę przepływu oleju z pompy P_2 do tego obwodu. Główna część wydatku pompy za pośrednictwem zaworu przelewowego Z_{p2} przedostanie się do zbiornika. Po wytworzeniu w obwodzie ciśnienia nastawionego zaworem Z_{p2} przełącznik ciśnienia P_c przerywa obwód zasilania cewki elektromagnesu rozdzielacza R_3 sterując go do pozycji zerowej. Stan ten umożliwia swobodny przepływ do zbiornika całego wydatku pompy P_2 z pominięciem zaworu Z_{p2} .

W celu złagodzenia pulsacji ciśnienia wywołanego cyklicznym przemieszczaniem się nurnika w cylindrze siłowym wskazane jest stosowanie dużej pojemności akumulatora.

W układzie podwójnym, podczas ruchu oba rozdzielacze główne włączone są obwód sterowania.

W celu zminimalizowania wydatku oleju niezbędnego do zasilania wszystkich czterech cylindrów siłowych narzucono naprzemienny ruch nurników cylindrów C_3 i C_4 . Ograniczono w ten sposób niezbędny wydatek sprowadzony do zasilania tylko cylindrów siłowników C_1 i C_2 . Ruch naprzemienny tłoczyśk cylindrów C_3 i C_4 nie powoduje praktycznie zmian pojemności obwodu zasilania.

Ewentualne spadki ciśnienia wynikające z przecieków oraz z ograniczonej szczelności rozdzielacza R_3 zaworu ZO_1 kompensowane są częścią wydatku pompy P_2 . Umożliwia to podobnie jak w opisanym uprzednio przypadku współpraca rozdzielacza R_3 z przełącznikiem P_c przy zamkniętym zaworze ZO_1 , a otwartym ZO_2 .

PODSUMOWANIE

Przedstawiony schemat funkcjonowania stanowiska do badań trwałości endoprotez stawu kolanowego człowieka jest opracowaniem z wykorzystaniem napędu i sterowania elektrohydraulicznego. Rozwiązanie takie umożliwiło płynną nastawę obciążenia badanych elementów.

Również maksymalna założona jego wielkość ($P = 3500$ N) jaką uzyskano przy niewielkich gabarytach stanowiska należy przyjąć za cechę pozytywną opracowania.

Analizując problem pod kątem możliwych alternatywnych rozwiązań mechanicznych jakie wcześniej rozważano, stwierdzono spore problemy w realizacji możliwie dużego obciążenia badanej endoprotezy przy pełnym kącie zgięcia zamodelowanego kolana. Fakt ten głównie zadecydował o przyjęciu przedstawionego powyżej rozwiązania.

Poważnym mankamentem tego opracowania jest wysoka cena elementów hydrauliki, a tym samym kosztów budowy stanowiska.

LITERATURA

1. Wieczorek A.: Symulator ruchu kończyn dolnych człowieka. III Seminarium Mechanika w Medycynie, Rzeszów 1996.
2. Gierzyńska-Dolna M. i in.: Metodyka i wyniki wstępnych badań tribologicznych materiałów stosowanych na endoprotezy, II Ogólnopolska Konferencja Naukowa Inżynieria Powierzchni '96, Problemy Eksploatacji nr 4/96.

THE SIMULATOR FOR THE TESTING HUMAN KNEE PROTHESIS LIFE

Summary Functional hydraulic structure of the experimental stand of human prosthesis life has been presented. Construction and principle of operation of the system has been discussed.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan Burcan