



**FIRMA INNOWACYJNO
-WDROŻENIOWA**

Koszyce Małe, ul. Źródłana 8

33-111 Koszyce Wielkie

tel.: 0146210029, 0146360117, 608465631

fax: 0146210029, 0146360117

mail: biuro@elbit.edu.pl

www.elbit.edu.pl

**Stanowisko do pomiarów tarcia łożysk ślizgowych
0271.0.0.2000**



Spis treści.

Wstęp.....	3
Opis techniczny.....	4
Urządzenia wykonawcze:.....	5
Sterownik CPU07.....	5
Sterownik silnika BLDC BLD70	7
Budowa i działanie stanowiska.....	8
Część mechaniczna:	8
Część elektryczna i sterowanie.	10
Tarcie w łożyskach ślizgowych - teoria.	12
Instrukcja użytkowania	15
Instrukcja bezpieczeństwa i higieny pracy.....	15
Instrukcja obsługi.....	15
Załączniki:.....	16
Dokumentacja towarzysząca.....	16

Wstęp.

Stanowisko do pomiarów tarcia łożysk ślizgowych jest stanowiskiem dydaktycznym i służy do zobrazowania studentom wydziałów mechanicznych i mechatronicznych zjawisk występujących wewnątrz łożyska ślizgowego podczas ruchu.

Część teoretyczną dotyczącą zjawisk zachodzących w łożysku przytoczono za katalogiem firmy SKF.

Opis techniczny.

Parametry podstawowe:

Zewnętrzna temperatura pracy:	10÷40 ° C
Wilgotność:	do 50 %
Napięcie robocze:	230 VAC
Zasilanie:	jednofazowe
Długość kabla zasilającego:	2.2 m
Moc sumaryczna:	60W
Wymiary zewn. (głęb. x szer. x wys.):	400 x 370 x 530 mm
Waga:	ok. 7 kg
Zakres prędkości obrotowej silnika:	100÷3000 obr/min
Zakres przetwornika wagowego:	±1000g
Rozdzielczość przetwornika wagowego:	0.01g

UWAGA:

W urządzeniu występuje wysokie napięcie. Podczas pracy należy zachować ostrożność, a każdy przypadek niewłaściwego działania należy zgłaszać do producenta!

Przetwornik wagowy może zostać uszkodzony poprzez przyłożenie siły większej niż 1000g!

Poniżej przedstawiono wyciągi z dokumentacji i opisy ważniejszych podzespołów użytych do konstrukcji stanowiska.

Urządzenia wykonawcze:**Sterownik CPU07****Opis działania:**

Sterownik CPU07 został opracowany jako główna jednostka sterująca maszynami wytrzymałościowymi, ale równie dobrze sprawdza się w sterowaniu skomplikowanymi procesami przemysłowymi.

Sterownik posiada osiem wejść dwustanowych $0 \div 24$ V, szesnaście wyjść dwustanowych $0 \div 24$ V, dwa 12-bitowe wyjścia analogowych, cztery 12-bitowe wejścia analogowe oraz cztery 16-bitowe wejścia różnicowe.

Ponadto posiada sprzętowe układy do podłączenia kodera inkrementacyjnego lub liniału optycznego, urządzenia do komunikacji szeregowej (RS232 lub RS485), pamięć RAM, ROM oraz interfejsy klawiatury numerycznej i wyświetlacza graficznego lub LCD.

Sterownik przystosowany jest do zasilania z zewnętrznego źródła napięcia stałego, którego wartość powinna zawierać się w granicach od 10 V do 30 V.

Sterownik posiada wbudowany zestaw elementów przeciwprzepięciowych chroniących wszystkie wejścia i wyjścia od przepięć powstałych na liniach zewnętrznych.

Dane techniczne:

Zasilanie:	10 ÷ 30 Vdc
Pobór prądu:	0.1 ÷ 0.3A (zależny od ilości dołączonych modułów)
Sygnal wyjściowy	transmisja szeregową
Interfejs:	RS232 lub RS485
Protokół:	MODBUS RTU
Adres urządzenia:	ustawiany 1÷255
Prędkość transmisji:	2400, 4800, 9600, 19200, 28800, 57600 kbit/s
Maksymalny zasięg (RS485):	1200 m.
Stopień ochrony obudowy:	IP32
Temperatura pracy:	0÷70°C
Parametry wejść cyfrowych:	
punkt przełączenia:	11.8V;
maksymalna częstotliwość	
sygnału wejściowego:	500Hz
Parametry wyjść cyfrowych:	
maksymalna częstotliwość	
sygnału wyjściowego:	>2kHz
maksymalny ciągły prąd wyjściowy:	0.5A
zabezpieczenie przepięciowe i nadprądowe każdego wyjścia oddzielnie.	
Parametry wejść analogowych:	
przetwornik	12-bitowy;
częstotliwość kwantyzacji:	1kHz
Każde wejście analogowe może być w procesie produkcyjnym skonfigurowane następująco:	
○ 0 ÷ 5 V;	

- $0 \div 10 \text{ V}$;
- $0 \div 20 \text{ mA}$;

Parametry wyjść analogowych:

przetwornik 12-bitowy;

maksymalna częstotliwość

sygnału wyjściowego: $> 100 \text{ Hz}$

Każde wyjście analogowe może być w procesie produkcyjnym skonfigurowane następująco:

- $0 \div 5 \text{ V}$;
- $0 \div 10 \text{ V}$;

Sterownik silnika BLDC BLD70



Właściwości:

BLD-70 jest ekonomicznym, wysokowydajnym sterownikiem o małych gabarytach. Jest dostosowany do sterowania trójfazowych silników BLDC z maksymalnym prądem do 3A, wyposażonych w czujniki HALLA.

Silniki BLDC znajdują zastosowanie w aplikacjach, gdzie zależy nam na sterowaniu prędkością silnika, przy zachowaniu nominalnego momentu obrotowego. Ponadto sterowniki BLDC umożliwiają w łatwy sposób sterowanie kierunkiem obrotów oraz realizują funkcję rampy rozpędzania i hamowania silnikiem.

W sterownik BLD- 70 silnik może być sterowany za pomocą zewnętrznych przycisków lub przełączników podłączonych do złącz sterowniczych , możemy realizować następujące funkcje: Start/Stop silnika, zmiana kierunku obrotów oraz zmiana prędkości obrotowej silnika. Sterowanie prędkością silnika może odbywać się za pomocą wbudowanego potencjometru, zewnętrznego potencjometru lub zewnętrznego sygnału analogowego 0-5V BLD-70 współpracuje z szeroką gamą silników Nema 17, 23 i może być stosowany w wielu różnych maszynach, takich jak: napędy przenośników, napędy wrzecion obrabiarek, napędy ruchu robotów mobilnych. Jest to świetna alternatywa dla silników DC, oraz trójfazowych silników indukcyjnych małej mocy pracujących z przemiennikami częstotliwości. Szeroki zakres napięć zasilających 12 - 24 VDC, czyni BLD-70 uniwersalnym w zastosowaniu i umożliwia adaptację w różny gotowych systemach sterowania.

Dane techniczne

- napięcie zasilania 12-24V
- prąd ciągły 3A
- prąd w impulsie 6A
- do silników BLDC o mocy do 70W
- obroty do 20000rpm

Budowa i działanie stanowiska.

W stanowisku mierzy się siłę tarcia łożysk ślizgowych metodą bezpośrednią, poprzez pomiar momentu siły jaki wytwarza łożysko podczas pracy.

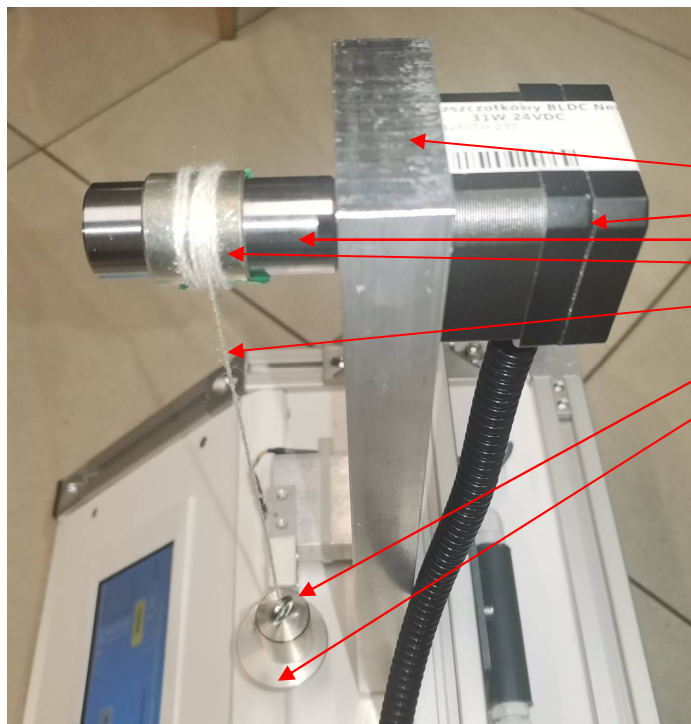
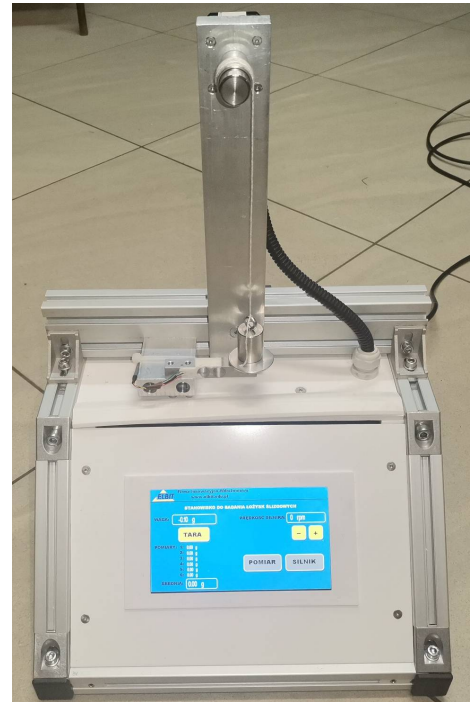
Część mechaniczna:

Stanowisko wykonane zostało w postaci nabiurkowej, mobilnej (zdjęcie obok).

Masywna podstawa zbudowana z profili aluminiowych 30x30 kryje w sobie całą potrzebną do badań elektronikę i układy zasilające.

Stanowisko posadowione jest na gumowych nóżkach antypoślizgowych. Do poprawnej pracy wymagane jest ustawienie stanowiska na poziomej powierzchni.

Główna część badawcza składa się z silnika elektrycznego bez szczotkowego (1), na którego osi bezpośrednio zakładany jest wałek pomiarowy (2). Na wałku zakładane są badane łożyska (3). Nawinięta ma łożysku nić (4) zakończona jest ciężarkiem (5) umieszczonym na szalce wagi (6).



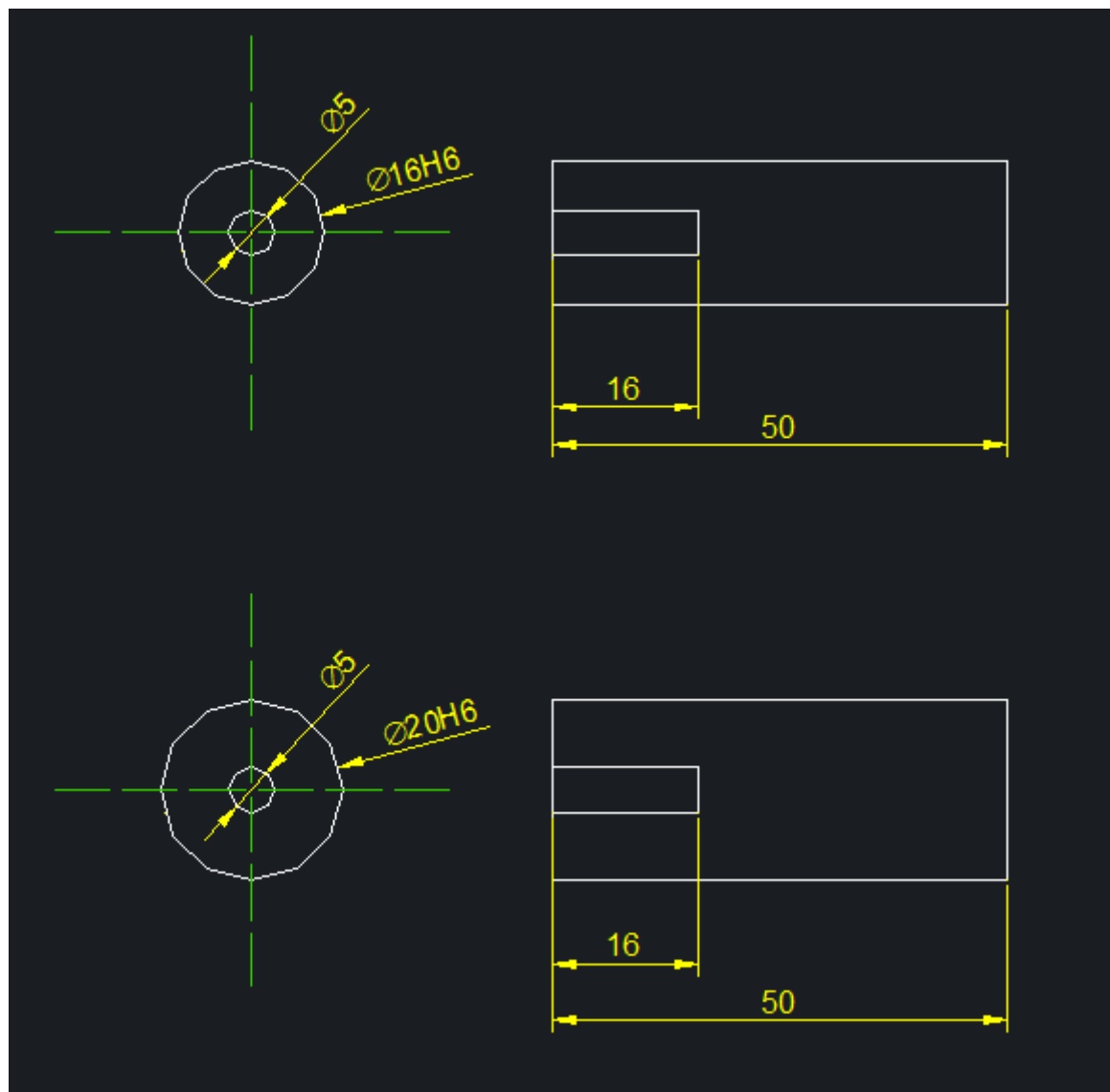
- 7. podstawa
- 1. silnik
- 2. wałek pomiarowy
- 3. łożysko
- 4. nić
- 5. ciężarek
- 6. waga

Całość badanego układu zamocowana jest na aluminiowej masywnej podstawie (7).

Wałki pomiarowe są wymienne. Ze stanowiskiem dostarczono następujące średnice wałków (rys poniżej):

- $\phi 16H7$;

- $\phi 20H7$.



Znając różnicę wagi ciężarka przy zatrzymanym i uruchomionym silniku można określić siłę pochodzącą od tarcia ślizgowego. Zaś znając zewnętrzną średnicę łożyska można obliczyć moment tarcia.

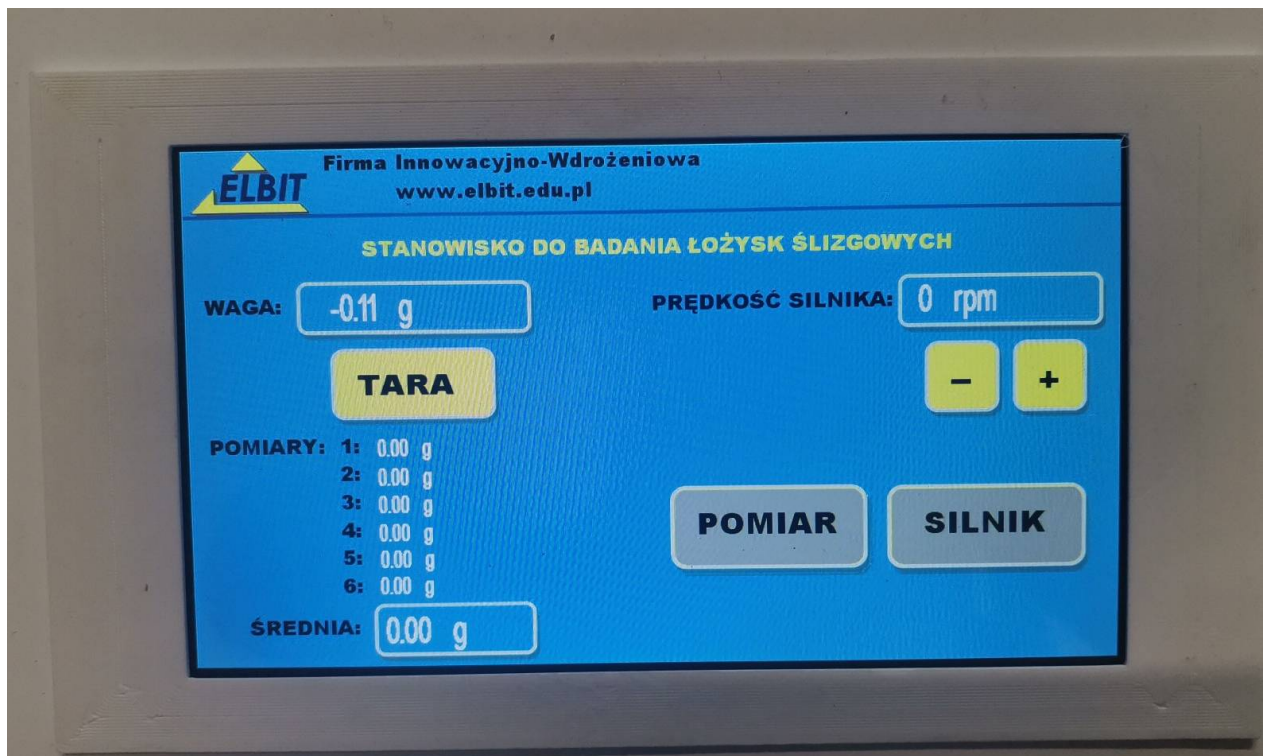
Część elektryczna i sterowanie.

Z prawej strony stanowiska umieszczono włącznik główny (zdjęcie obok). Załączenie zasilania sygnalizowane jest poprzez podświetlenie wyświetlacza na ścianie przedniej. Do zasilania wymagana jest instalacja elektryczna 230V.



Wewnątrz obudowy umieszczono sterownik przemysłowy, który realizuje wszystkie pomiary oraz prezentuje je na wyświetlaczu.

W stanowisku zastosowano 7-calowy wyświetlacz z rezystancyjnym ekranem dotykowym. Wygląd wyświetlacza pokazano na poniższym zdjęciu.



Z lewej strony wyświetlacza umieszczono wartość pomiarową z przetwornika wagowego. Rozdzielczość przetwornika wynosi 0.01g. Przy takiej rozdzielczości konieczne było założenie filtra cyfrowego o oknie 5s dla ustabilizowania wskazań. Tzn. poprawny pomiar uzyskujemy po 5s.

Badanie polega na określeniu różnicy siły wskazywanej przez wagę dla zatrzymanego i uruchomionego silnika.

Cały pomiar polega na automatycznym wykonaniu sześciu odczytów i wyliczeniu z nich średniej.

Pod oknem wagi umieszczono przycisk tarowania.

Z prawej strony wyświetlacza umieszczono elementy do sterowania silnikiem. Przyciski i umożliwiają ustawienie zadanej prędkości silnika w granicach od 100 do 3000 obr/min. Sterowanie silnikiem odbywa się w pętli sprzężenia zwrotnego więc wartość aktualna jest niemal identyczna z wartością zadaną.

W prawym dolnym rogu wyświetlacza umieszczono dwa przyciski sterujące: SILNIK i POMIAR.

Przycisk SILNIK uruchamia sterowanie silnikiem z zadaną prędkością, zaś przycisk POMIAR uruchamia sekwencję pomiarową, na którą składają się poszczególne kroki:

1. Uruchomienie silnika (jeśli nie był wcześniej uruchomiony).
2. Przez okres 5s następuje stabilizacja wskazań wagi.
3. Przez kolejne 6s sterownik wykonuje pomiary wagowe (co 1s), zapisując ich wyniki na ekranie.
4. Pomiar kończy się automatycznie po 11s lub można zakończyć go ręcznie poprzez powtórne naciśnięcie przycisku POMIAR.

Tarcie w łożyskach ślizgowych - teoria.

Moment tarcia ślizgowego można wyznaczyć ze wzoru:

$$M_{sl} = G_{sl} \mu_{sl}$$

gdzie

M_{sl} = moment tarcia ślizgowego [Nmm]

G_{sl} = zmienna (tabela 2a),

zależna od:

- rodzaju łożyska
- średnicy średniej łożyska d_m [mm] = $0,5 (d + D)$
- obciążenia promieniowego F_r [N]
- obciążenia osiowego F_a [N]

μ_{sl} = współczynnik tarcia ślizgowego

Wpływ smarowania na tarcie ślizgowe

Współczynnik tarcia ślizgowego dla warunków pełnego filmu smarnego i smarowania mieszanego może zostać wyznaczony ze wzoru:

$$\mu_{sl} = f_{bl} \mu_{bl} + (1 - f_{bl}) \mu_{EHL}$$

gdzie

μ_{sl} = współczynnik tarcia ślizgowego

f_{bl} = współczynnik wagowy dla współczynnika tarcia ślizgowego

$$f_{bl} = \frac{1}{e^{2,6 \times 10^{-8} (n v)^{1,4} d_m}}$$

e = podstawa logarytmu naturalnego $\approx 2,718$

n = prędkość obrotowa [obr/min]

v = lepkość kinematyczna oleju w temperaturze roboczej lub w przypadku smaru plastycznego

lepkość oleju bazowego w temperaturze roboczej [mm²/s]

d_m = średnica średnia łożyska [mm] = $0,5 (d + D)$

μ_{bl} = współczynnik zależny od rodzaju dodatków w środku smarnym, zwykle $\approx 0,15$

μ_{EHL} = współczynnik tarcia ślizgowego w warunkach pełnego filmu smarnego

Wartości dla μ_{EHL} są następujące:

- 0,02 dla łożysk walcowych
- 0,002 dla łożysk stożkowych

Inne łożyska:

- 0,05 dla smarowania olejami mineralnymi
- 0,04 dla smarowania olejami syntetycznymi
- 0,1 dla smarowania olejami (płynami) przekładniowymi

Tabela 2a

Zmienne zależne od geometrii i obciążenia, potrzebne do wyznaczania momentów tarcia tocznego i ślizgowego – łożyska poprzeczne

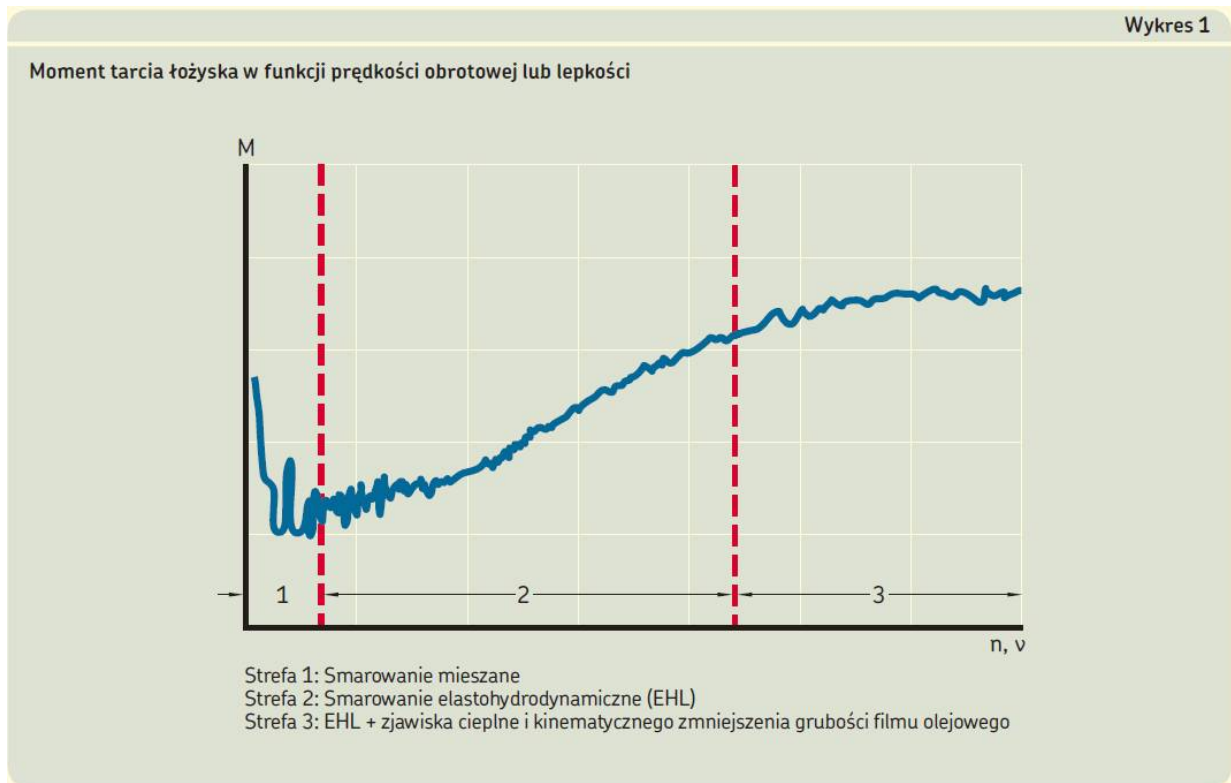
Rodzaj łożyska	Zmienna dla tarcia tocznego G_{rr}	Zmienna dla tarcia ślizgowego G_{sl}
łożyska kulkowe zwykłe	dla $F_a = 0$ $G_{rr} = R_1 d_m^{1,96} F_r^{0,54}$ dla $F_a > 0$ $G_{rr} = R_1 d_m^{1,96} \left(F_r + \frac{R_2}{\sin \alpha_F} F_a \right)^{0,54}$ $\alpha_F = 24,6 (F_r/C_0)^{0,24} [^\circ]$	dla $F_a = 0$ $G_{sl} = S_1 d_m^{-0,26} F_r^{5/3}$ dla $F_a > 0$ $G_{sl} = S_1 d_m^{-0,145} \left(F_r^5 + \frac{S_2 d_m^{1,5}}{\sin \alpha_F} F_a^4 \right)^{1/3}$
łożyska kulkowe skośne ¹⁾	$G_{rr} = R_1 d_m^{1,97} [F_r + F_g + R_2 F_a]^{0,54}$ $F_g = R_3 d_m^4 n^2$	$G_{sl} = S_1 d_m^{0,26} [(F_r + F_g)^{4/3} + S_2 F_a^{4/3}]$ $F_g = S_3 d_m^4 n^2$
łożyska kulkowe skośne jednorzędowe dwukierunkowe	$G_{rr} = R_1 d_m^{1,97} [F_r + F_g + R_2 F_a]^{0,54}$ $F_g = R_3 d_m^4 n^2$	$G_{sl} = S_1 d_m^{0,26} [(F_r + F_g)^{4/3} + S_2 F_a^{4/3}]$ $F_g = S_3 d_m^4 n^2$
łożyska kulkowe wahlwe	$G_{rr} = R_1 d_m^2 [F_r + F_g + R_2 F_a]^{0,54}$ $F_g = R_3 d_m^{3,5} n^2$	$G_{sl} = S_1 d_m^{-0,12} [(F_r + F_g)^{4/3} + S_2 F_a^{4/3}]$ $F_g = S_3 d_m^{3,5} n^2$
łożyska walcowe	$G_{rr} = R_1 d_m^{2,41} F_r^{0,31}$	$G_{sl} = S_1 d_m^{0,9} F_a + S_2 d_m F_r$
łożyska stożkowe ¹⁾	$G_{rr} = R_1 d_m^{2,38} (F_r + R_2 Y F_a)^{0,31}$	$G_{sl} = S_1 d_m^{0,82} (F_r + S_2 Y F_a)$
Współczynnik obciążenia osiowego Y dla łożysk jednorzędowych → tabele produktów		
łożyska barytkowe	$G_{rr,e} = R_1 d_m^{1,85} (F_r + R_2 F_a)^{0,54}$ $G_{rr,l} = R_3 d_m^{2,3} (F_r + R_4 F_a)^{0,31}$ dla $G_{rr,e} < G_{rr,l}$ $G_{rr} = G_{rr,e}$ w przeciwnym wypadku $G_{rr} = G_{rr,l}$	$G_{sl,e} = S_1 d_m^{0,25} (F_r^4 + S_2 F_a^4)^{1/3}$ $G_{sl,l} = S_3 d_m^{0,94} (F_r^3 + S_4 F_a^3)^{1/3}$ dla $G_{sl,e} < G_{sl,l}$ $G_{sl} = G_{sl,e}$ w przeciwnym wypadku $G_{sl} = G_{sl,l}$
łożyska toroidalne CARB	dla $F_r < (R_2^{1,85} d_m^{0,78} / R_1^{1,85})^{2,35}$ $G_{rr} = R_1 d_m^{1,97} F_r^{0,54}$ w przeciwnym wypadku $G_{rr} = R_2 d_m^{2,37} F_r^{0,31}$	dla $F_r < (S_2 d_m^{1,24} / S_1)^{1,5}$ $G_{sl} = S_1 d_m^{-0,19} F_r^{5/3}$ w przeciwnym wypadku $G_{sl} = S_2 d_m^{1,05} F_r$

Przykładowe ćwiczenia.

Na stanowisku można wykonać kilka interesujących rodzajów badań. Poniżej przedstawiamy przykłady.

Zależność momentu tarcia od prędkości obrotowej

Dla wybranego typu łożyska, w stałych warunkach temperaturowych wykonujemy pomiary momentu tarcia dla różnych prędkości. Zależność powinna przypominać krzywą:



Zależność momentu tarcia od okładzin trących

Dla wybranej średnicy wałka wykonać pomiary momentu tarcia dla różnych łożysk ślizgowych. Do stanowiska dołączono łożyska ślizgowe:

- polimerowe firmy IGUS;
- łożyska z brązu;
- łożyska mosiężne z grafitem
- łożyska teflonowe.

Zależność momentu tarcia od wielkości łożyska

Dla wybranego typu łożyska wykonać pomiary momentu tarcia dla różnych wałków.

Instrukcja użytkowania

Instrukcja bezpieczeństwa i higieny pracy.

Stanowisko powinno być ustawione w miejscu zapewniającym wygodną obsługę i dostęp do części mechanicznej i elektrycznej. Podłączając do sieci zasilającej należy zabezpieczyć obsługującego przed porażeniem prądem elektrycznym poprzez prawidłowe zerowanie i uziemianie. W czasie pracy stanowiska nie wolno dotykać żadnych części ruchomych. Na czas dłuższej przerwy w pracy należy wyjąć wtyczkę z gniazda. Podobnie należy postąpić w przypadkach przerw spowodowanych brakiem prądu. Wszelkie zauważone w czasie pracy nieprawidłowości działania należy niezwłocznie zgłaszać nadzorowi, przerywając pracę aż do chwili usunięcia usterki. Ponieważ stanowisko nie posiada osłon chroniących obsługę, podczas badania należy wyznaczyć jednometrową strefę bezpieczeństwa wokół stanowiska. Wewnątrz strefy może znajdować się tylko przeszkolony operator.

Instrukcja obsługi.

Obsługa stanowiska polega na podłączeniu do sieci prądu elektrycznego przewodu zakończonych wtyczką oraz uruchomieniu go za pomocą włącznika kołyskowego na boku obudowy. Lampa kontrolna sygnalizuje podanie napięcia zasilającego do części elektrycznej urządzenia.

Czynności niezbędne do wykonania poprawnie zarejestrowanej próby:

1. Zamontować badane łożysko na wałku pomiarowym.
2. Nakręcić kilka zwojów nici na łożysko.
3. Ustawić wymagane obroty silnika.
4. Zanotować temperaturę otoczenia.
5. Włączyć przycisk PRÓBA.
6. Po zakończeniu próby (ręcznym lub automatycznym) zanotować wyniki.
7. Dla dokonania nowej próby przy tych samych nastawach przejść do punktu 5, dla zakończenia działań wyłączyć stanowisko.

Załączniki:

Dokumentacja towarzysząca.

Spis rysunków technicznych:

0271.0.3.2000 Instalacja elektryczna.

Karty katalogowe ważniejszych podzespołów.