

BADANIA DOŚWIADCZALNE MINIATUROWYCH PROWADNIC ŚLIZGOWYCH

W artykule zaprezentowano stanowisko do badań miniaturowych prowadnic ślizgowych oraz przykładowe wyniki z przeprowadzonych prac doświadczalnych. Badania dotyczyły takich zagadnień jak zakleszczanie prowadnicy oraz wyznaczanie jej sprawności.

EXPERIMENTAL STUDIES OF MINIATURE SLIDING GUIDES

In the paper, there is presented a test station for studying miniature sliding guides. There are also provided exemplary results of the experimental studies carried out, which concerned such problems as seizure of the guide and determination of its efficiency.

1. WPROWADZENIE

Prowadnicą nazywamy współpracujące ze sobą części mechanizmu, które umożliwiają, zgodnie ze swym kształtem, zmianę położenia elementu prowadzonego względem prowadzącego w określonym kierunku. Zwykle jest to ruch prostoliniowy. W zależności od rodzaju tarcia występującego podczas pracy rozróżnia się prowadnice ślizgowe i toczne oraz prowadnice sprężyste.

Zastosowanie prowadnic ślizgowych, jako alternatywy dla prowadnic tocznych i sprężystych, przynosi następujące korzyści:

- możliwość uzyskania dużego zakresu ruchu,
- zapewnienie prostoliniowości ruchu,
- brak sił zwrotnych,
- prosta budowa zespołu,
- niska cena zespołu,
- możliwość uzyskania miniaturowych wymiarów,
- możliwość uzyskania małej bezwładności zespołu.

W pewnych przypadkach może się okazać, że np. ze względu na konieczność zachowania miniaturowych wymiarów budowanego urządzenia, możliwe jest zastosowanie jedynie takiego rodzaju prowadnic. Należy jednak wziąć wtedy pod uwagę niekorzystne aspekty związane z zastosowaniem takich prowadnic, a mianowicie możliwość występowania znacznych oporów ruchu (niska sprawność) oraz możliwość zakleszczenia się prowadnicy. Do analizy tych zagadnień najlepiej posłużyć się danymi uzyskanymi na drodze doświadczalnej. Konieczne staje się wtedy zbudowanie odpowiedniego stanowiska badawczego. Stanowisko takie zostało szczegółowo opisane w dalszej części artykułu.

2. ZAKLESZCZENIE PROWADNICY I JEJ SPRAWNOŚĆ

Prowadnice ślizgowe, w zależności od kształtu powierzchni prowadzących, dzieli się na prowadnice walcowe i pryzmatyczne. Sposób wyznaczenia oporów ruchu oraz warunki

pracy przewodnic ślizgowych w najbardziej ogólnym przypadku obciążenia omówiono w pracach [1,2]. Bardziej kompleksowe podejście do zagadnienia wykorzystano przy rozwiązywaniu tego zagadnienia metodami numerycznymi [3], gdzie nie jest konieczne ustalenie przypadku obciążenia przewodnicy w celu analizy jej działania.

Jedną z najprostszych i często stosowanych przewodnic ślizgowych jest walcowy pręt o średnicy d , prowadzony na długości czynnej l w nieruchomej tulei. W przypadku realizowanym w stanowisku badawczym przewodnica jest obciążona dwiema siłami leżącymi w jednej płaszczyźnie:

- siłą Q , pochodzącą od ciężaru pręta i związanego z nim zespołu (elementy 2, 3, 9 z rys. 4), prostopadłą do osi przewodnicy i przyłożoną w środku ciężkości zespołu przesuwnego oraz
- czynną siłą P , przyłożoną w punkcie odległym o odcinek (ramię) e od osi przewodnicy, działającą równoległe do tej osi.

Przy niewielkiej długości ramienia siły, tzn. gdy $e \leq e_{gr}$ (rys. 1), pręt będzie stykał się z tuleją wzdłuż tworzącej walca, a więc po jednej stronie otworu. Oznacza to, że oś pręta i otworu pozostaną równoległe. Sprawność przewodnicy będzie miała wtedy stałą wartość, którą wyznaczyć można na podstawie zależności [4]:

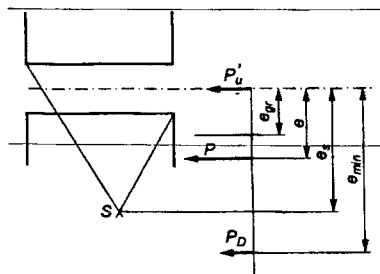
$$\eta = 1 - \mu \frac{Q}{P} \quad (1)$$

Taki stan będzie trwał aż do momentu, gdy ramię, na którym działa siła P osiągnie wartość $e > e_{gr}$. Wtedy to, wskutek istnienia luzu promieniowego, nastąpi oderwanie i przekoszenie pręta. Dalsze powiększanie odległości siły czynnej P od osi nie zmieni już położenia pręta, ale przy długości ramienia $e = e_{min}$ dojdzie do zakleszczenia przewodnicy.

Jeśli siła czynna P działa na ramieniu e zawartym w przedziale $e_{gr} < e < e_{min}$, wówczas do znalezienia siły użytecznej P_u' należy siłę P rozłożyć na dwie składowe (rys.1):

P_D – leżącą w odległości e_{min} od osi przewodnicy i równoważącą opory tarcia wynikające z niewspółosiowego działania siły czynnej,

P_u' – leżącą w osi przewodnicy i pokonującą jej opory bierne.



Rys. 1. Składowe siły czynnej P [4]

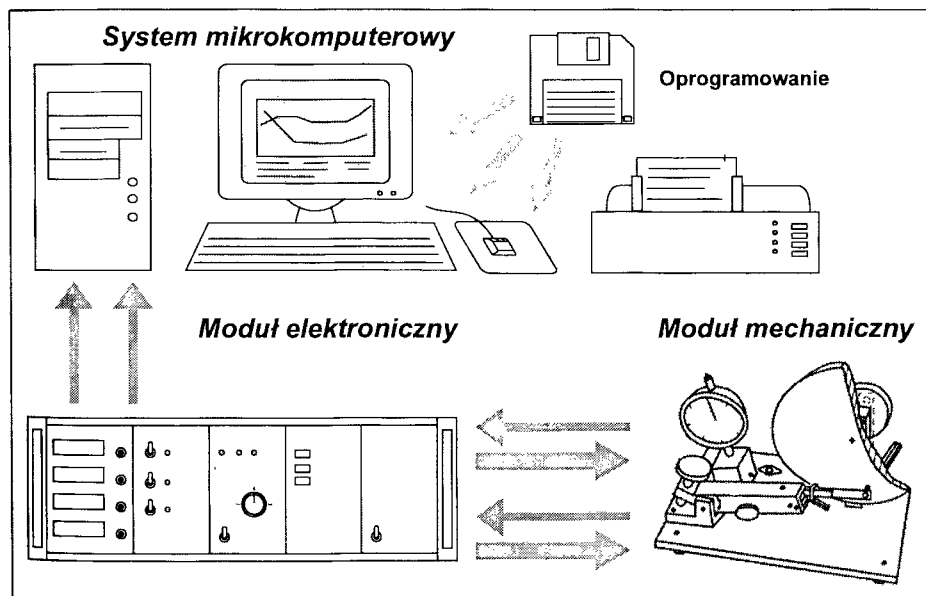
W tym przypadku sprawność przewodnicy maleje liniowo od wartości $(1 - \mu Q/P)$ dla długości e_{gr} do zera w chwili zakleszczenia przewodnicy, zgodnie z równaniem [4]:

$$\eta = \frac{P_u'}{P} = 1 - \frac{e}{e_{\min}} \quad (2)$$

3. STANOWISKO BADAWCZE

Stanowisko badawcze umożliwiające prowadzenie prac eksperymentalnych zostało schematycznie przedstawione na rys. 2. W jego skład wchodzi:

- moduł informatyczny,
- moduł elektroniczny,
- moduł mechaniczny.

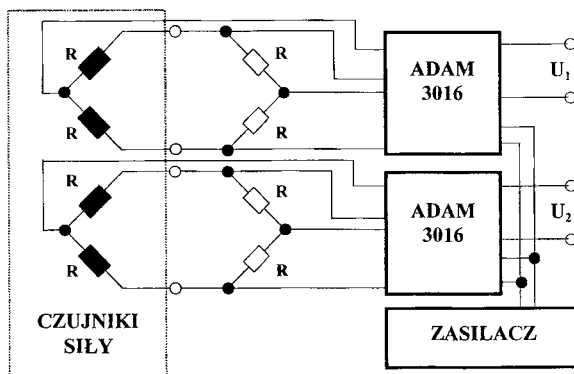


Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska badawczego

Poza standardowymi elementami modułu informatycznego (komputer, monitor, system operacyjny Windows) w jego skład wchodzi karta analogowo-cyfrowa oraz program sterujący jej pracą. Nasze doświadczenia wykazują, że korzystne jest stosowanie kart firmy Advantech (w tym przypadku przykładowo PCL 818L [5]), a program sterujący nią opracować w języku Visual Basic (przy wykorzystaniu gotowych sterowników) [6,7] bądź też wykorzystując oprogramowanie Genie firmy Advantech. Program sterujący umożliwia odczytywanie sygnałów pomiarowych generowanych w mechanicznej części stanowiska. Po zakończeniu badań uzyskane wyniki zapisywane są do pliku tekstowego, który można dalej przetwarzać za pomocą odpowiedniego oprogramowania, np. Statgraphics lub Microsoft Excel.

Za pośrednictwem karty analogowo-cyfrowej możliwe jest odczytywanie analogowych sygnałów napięciowych formowanych przez moduł elektroniczny. Moduł ten spełnia dwie funkcje. Zasila dwa mostki tensometryczne zastosowane w module mechanicznym

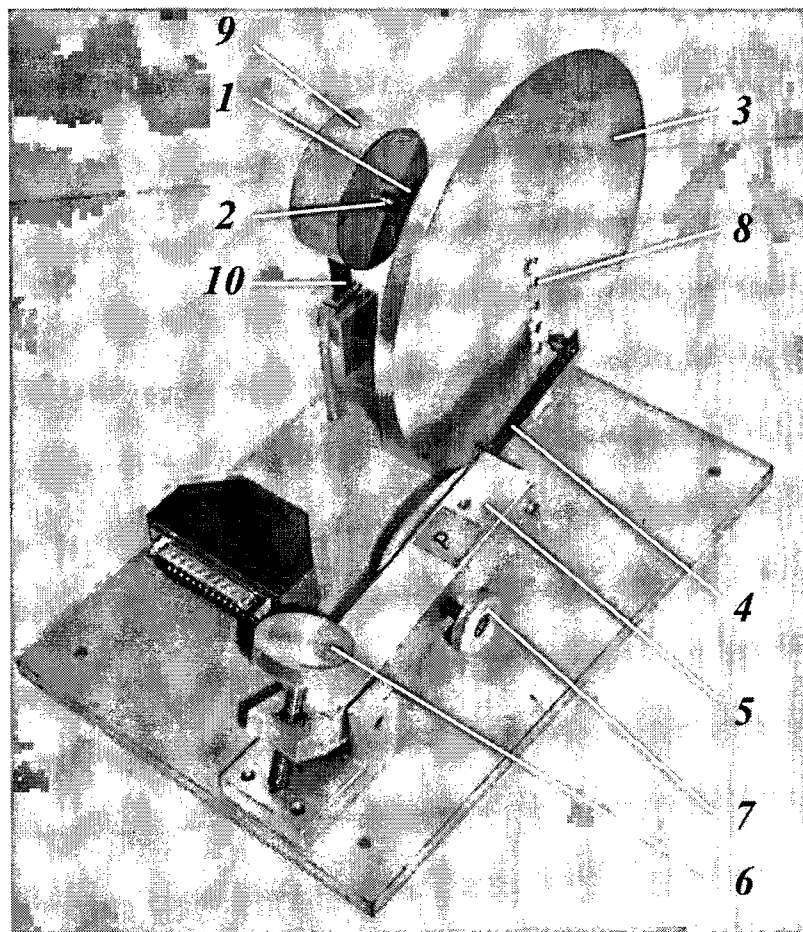
do pomiaru sił, a następnie formuje napięciowy sygnał wyjściowy z mostków. Przy budowie tego typu modułu zastosować można kilka różnych podejść. Można zbudować go przy zastosowaniu typowych wzmacniaczy operacyjnych. Innym rozwiązaniem jest wykorzystanie specjalizowanych układów scalonych, np. ADT 70 firmy Analog Devices. Najprościej jest jednak wykorzystać gotowe przetworniki współpracujące z mostkami tensometrycznymi, np. ADAM-3016 firmy Advantech. Zapewniają one uzyskanie niedokładności generowanego przez nie napięcia na poziomie nie przekraczającym 0,1 % zakresu napięć wyjściowych [8]. Takie rozwiązanie zaproponowano np. w [9]. Na rys. 3 przedstawiono schemat elektronicznego modułu stanowiska zbudowanego przy wykorzystaniu dwóch przetworników ADAM-3016.



Rys. 3. Schemat blokowy elektronicznego modułu stanowiska

Jak widać na schemacie, wykorzystanie przetworników ADAM-3016 wymaga zastosowania dodatkowego zasilacza. Ze względu na drgania mechaniczne tensometrycznych przetworników siły korzystne jest filtrowanie sygnałów pomiarowych U_1 i U_2 za pomocą dodatkowych filtrów dolnoprzepustowych. Ponieważ każdy z czujników siły stanowi sprężyny płaskie, na które nakleiono tylko po dwa tensometry (na rys. 3 czarne rezystory), do stworzenia pełnego mostka konieczne było zastosowanie dodatkowych rezystorów (białe rezystory).

Widok mechanicznej części stanowiska przedstawia rys. 4. Badaną prowadnicę stanowią: walcowy trzpień 2 przesuwający się w otworach nieruchomego korpusu 1. Zespół ten jest mocowany do podstawy stanowiska. Na wychylnym ramieniu 5 znajduje się dynamometr tensometryczny 4, służący do zadawania siły P przez wywieranie nacisku na tarczę 3 osadzoną na jednym końcu trzpienia 2. Na drugim końcu tego trzpienia znajduje się obciążnik 9, będący przeciwwagą tarczy 3, zaś za obciążnikiem - dynamometr tensometryczny 10. Do tarczy 3 przykładana jest siła czynna P pozioma lub równoległa do niej. Odległość e , punktu przyłożenia tej siły jest regulowana pokrętkiem 6 i może być odczytywana na podzielniku 8 lub przy wykorzystaniu dodatkowego czujnika zegarowego. Wartość siły nacisku P na tarczę 3 nastawiana jest pokrętkiem 7. Dynamometr tensometryczny 10 służy do pomiaru użytecznej siły P_u występującej w osi trzpienia 2. Może też być wykorzystany do uchwycenia chwili w której rozpoczyna się przesuw tego trzpienia w tulei korpusu 1.



Rys. 4. Mechaniczny moduł stanowiska badawczego

4. PRZYKŁADOWE WYNIKI BADAŃ

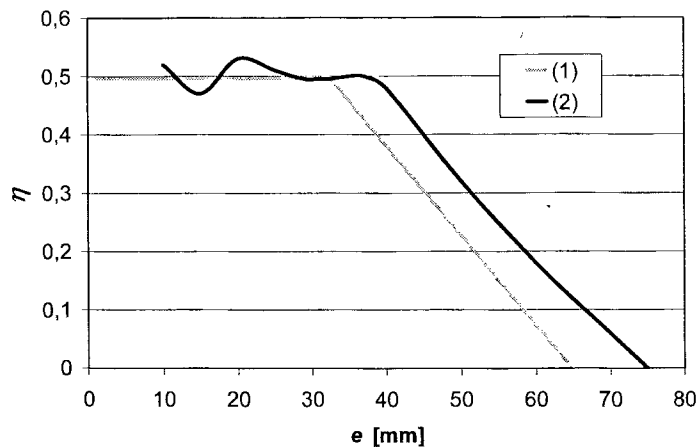
Na rys. 5 przedstawiono wykres sprawności walcowej przewodnicy liniowej w zależności od odległości e punktu przyłożenia siły czynnej P od osi przewodnicy.

Wykres (1) otrzymano przy założeniu stałej wartości współczynnika tarcia μ w całym zakresie ruchu przewodnicy, wyznaczając wartości e_{gr} oraz e_{min} z odpowiednich zależności [4]. Wartość współczynnika tarcia przyjęta do obliczeń w tych wzorach została wyznaczona doświadczalnie jako średnia z serii kilkunastu pomiarów. Badania wykonano w trakcie ćwiczeń laboratoryjnych, przy czym każdy pomiar przeprowadzał inny student.

Wykres (2) otrzymano doświadczalnie przez bezpośredni pomiar wartości siły użytecznej P_u' , przy czym za każdym razem siła czynna P nacisku na tarczę 3 zespołu ruchomego (rys. 4) miała taką samą wartość ale zadawana była na innym ramieniu e w przedziale od e_{min} do zera. Tu także każdy pomiar przeprowadzał inny student.

Charakter obu wykresów jest podobny w całym obszarze zmienności ramienia e działania siły czynnej P . Położenie punktów e_{gr} i e_{min} wykresu (1) zależy bardzo silnie od wartości współczynnika tarcia μ , a dokładność wyznaczenia wartości tego parametru nie jest zbyt duża. Pomiar polega na bardzo powolnym zwiększaniu siły nacisku na tarczę ustroju ruchomego przewodnicy i odczytaniu wartości tej siły w chwili ruszenia przewodnicy, a więc gdy drugi jej koniec dotknie do sprężyny dynamometru do pomiaru siły użytecznej P_u' . Określenie momentu rozpoczęcia ruchu przewodnicy jest dość trudne, wymaga bowiem jednoczesnej obserwacji wskazań dwóch mostków dynamometrycznych. Każdy pomiar wykonywał inny badacz, a więc inaczej „zadawał” siłę czynną: jeden szybciej a drugi wolniej. Zbyt szybkie narastanie siły nacisku P może spowodować wcześniejsze poruszenie przewodnicy.

Podobne są źródła błędów przy pomiarach sprawności przewodnicy. Gdy przewodnica nie jest już zakleszczona odpada konieczność uchwycenia początku jej ruchu, natomiast bardzo istotne staje się zadawanie siły czynnej P w taki sposób, aby nie przekroczyć jej ustalonej wartości (w tych badaniach $P = 2$ N). Nie ma bowiem możliwości skorygowania skutków zadania większej siły czynnej.



Rys. 5. Wykresy sprawności badanej przewodnicy

5. PODSUMOWANIE

Rezultaty uzyskane na drodze doświadczalnej są zgodne z oczekiwaniami wynikającymi z zaprezentowanych rozważań teoretycznych. Różnice pomiędzy teoretycznym a doświadczalnym wykresem sprawności badanej przewodnicy spowodowane są czynnikami wspomnianymi powyżej, a ponadto:

- niedokładnością wyznaczenia wartości statycznego współczynnika tarcia,
- niedokładnościami układu pomiarowego,
- niedokładnością wynikającą z przyjętej metody badawczej,
- brakiem kompensacji temperaturowej w mostkach tensometrycznych,
- drganiami czujników siły,

- obrotem kątowym tarczy przy korekcie wartości ramienia e działania siły P (a co za tym idzie zmianą obszaru powierzchni wałka współpracującego ciernie z otworami prowadnicy),
- różnicą pomiędzy wartością statycznego współczynnika tarcia (wykorzystywanego do wyznaczenia teoretycznego przebiegu sprawności) a kinetycznego współczynnika tarcia (występującego przy wyznaczaniu doświadczalnego przebiegu sprawności).

W najbliższym czasie planowana jest kontynuacja rozpoczętych badań doświadczalnych. Przyszłe prace związane będą z wyznaczeniem dokładności kinematycznej miniaturowych prowadnic ślizgowych. Wyniki takich badań pozwalają na określenie obszaru zastosowań, gdzie możliwe jest wykorzystanie prowadnic ślizgowych, gdy wymagana jest wysoka dokładność pozycjonowania. W takich przypadkach zazwyczaj stosowane są prowadnice sprężyste, których wadą jest ograniczony zakres ruchu, a w wielu przypadkach także brak możliwości zapewnienia ruchu prostoliniowego oraz występowanie sił zwrotnych. Inną alternatywą są prowadnice toczne, jednak takie rozwiązanie wiąże się ze zwiększonymi wymiarami tego zespołu, a także większą jego bezwładnością. Badania prowadzone będą na zaprezentowanym stanowisku badawczym, które zostanie wyposażone w dodatkowe oprzyrządowanie.

6. LITERATURA

- [1] Praca zbiorowa pod red. W. Oleksiuka: *Konstrukcja przyrządów i urządzeń precyzyjnych*. Warszawa, WNT, 1997, wyd. I, s. 413 – 416
- [2] W. Tryliński: *Drobne mechanizmy i przyrządy precyzyjne*. WNT, Warszawa, 1978, s. 311–314
- [3] J. Pawłowski: *Optimization of Friction, Non-Planar, Cylindrical Guides*. Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava. Metallurgical Series. Nr 1, 2005, r. XLVIII, s. 211–217
- [4] Praca zbiorowa pod red. W. Mościckiego: *Podstawy konstrukcji urządzeń precyzyjnych. Ćwiczenia laboratoryjne*. Warszawa, OWPW, 2002, s. 117–124
- [5] Advantech Co., Ltd.: *PCL - 818 L High-performance Low Cost Data Acquisition Card*. User's Manual, 1995
- [6] S. Łuczak: *Test Station for Studying Miniature Tilt Sensors*. International Conference Mechatronics 2000, Warszawa, 2000. Materiały konferencyjne Vol. 1, s. 253–256
- [7] S. Łuczak: *MEMS Tilt Sensor for Microrobots*. Konferencja Automation 2002, Warszawa, 2002. Materiały konferencyjne s. 339–346
- [8] Advantech Co., Ltd.: *ADAM-3016 Strain Gauge Input Module*. User's Manual, 1997
- [9] S. Łuczak: *Tensometryczny czujnik odchylenia od pionu*. Pomiar, Automatyka, Robotyka, nr 12/2003, Warszawa 2003, s. 12–14