

# METODA POMIARU DOKŁADNOŚCI KINEMATYCZNEJ PRZEKŁADNI ŚLIMAKOWYCH

Dariusz OSTROWSKI<sup>1</sup>, Tadeusz MARCINIAK<sup>1</sup>

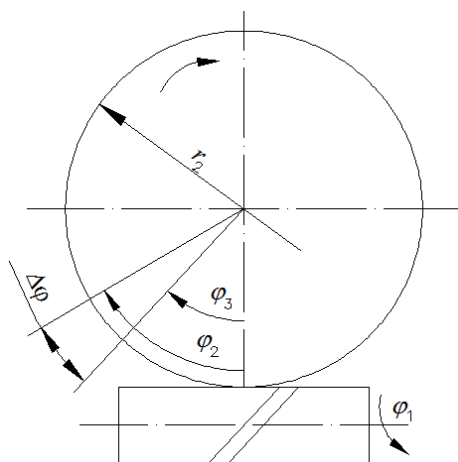
## 1. WSTĘP

Dokładność przeniesienia ruchu obrotowego w precyzyjnych przekładaniach ślimakowych zwanych kinematycznymi rozumiana jest jako różnica pomiędzy kątem obrotu wału biernego ślimacznicy, a kątem obrotu wału napędzającego ślimaka. W przekładniach tych szczególną uwagę zwraca się na uzyskanie zgodności ruchu rzeczywistego z ruchem założonym [1, 2, 3]. Pod pojęciem dokładności kinematycznej przekładni ślimakowej a w szczególności pod pojęciem odchyłki kinematycznej należy rozumieć poprawność wzajemnego powiązania ruchu wału czynnego ślimaka i wału biernego ślimacznicy. Wszelkie błędy tego ruchu wynikają z błędów wykonania i montażu elementów uzębionych i pozostałych elementów przekładni. Polska Norma [PN-80/M-88522.04] definiuje szereg odchyłek wykonania elementów wchodzących w skład przekładni ślimakowej. W normie tej dokładność kinematyczną określa się na podstawie odchylenia kinematycznego przekładni ślimakowej.

Odchylenie kinematyczne jest to różnica zaobserwowanego i nominalnego kąta obrotu ślimacznicy przy jednostronnym zazębieniu ze ślimakiem w zmontowanej przekładni, wyrażona długością łuku okręgu podziałowego i jest określane na pełnym obrocie koła ślimakowego. Największa różnica algebraiczna odchyłek kinematycznych przekładni  $F_{ior}^*$  występująca przy pełnym cyklu zmiany względnego położenia ślimacznicy i ślimaka nosi nazwę odchyłki kinematycznej i jest przedstawiona na rysunku 1.

---

<sup>1</sup> Politechnika Łódzka Instytut Obrabiarek i TBM, ul. Stefanowskiego 1/15 Łódź 90-924



$\varphi_1$  – zadany kąt obrotu ślimaka,

$\varphi_2$  – zaobserwowany kąt obrotu ślimacznicy,

$\varphi_3$  – nominalny kąt obrotu ślimacznicy,

$$\varphi_3 = \varphi_1 \cdot \frac{z_1}{z_2} \quad (1)$$

$z_1$  – liczba zwojów ślimaka,

$z_2$  – liczba zębów ślimacznicy,

$\Delta\varphi$  – odchylenie kinematyczne przekładni ślimakowej [°],

$$\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_3) \quad (2)$$

Rys. 1. Odchylenie kinematyczne przekładni ślimakowej

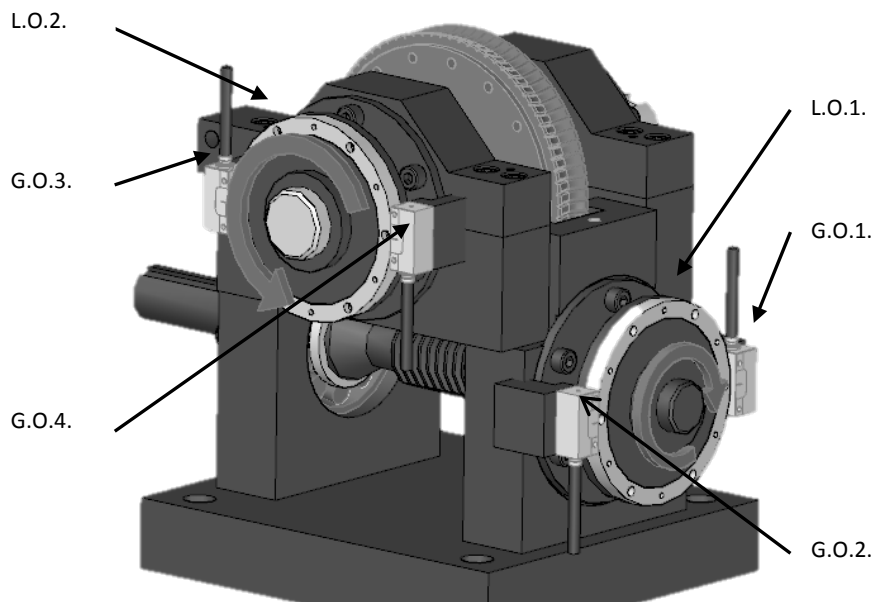
Na dokładność kinematyczną przekładni ma wpływ wiele zjawisk, które generowane są w procesie wytwarzania. Proces ten w zasadzie nie uległ zmianie od wielu lat, zmieniły się jedynie możliwości wytwórcze wynikające z powszechnego stosowania obrabiarek sterowanych numerycznie oraz zmieniły się możliwości kontroli poszczególnych podzespołów przekładni ślimakowej [4].

Jedną z możliwości uwzględniającą wszystkie błędy wykonania, jest metoda porównania kąta obrotu ślimaka i ślimacznicy w pełnym zakresie zmian względnego położenia elementów uzębionych przekładni. Sposób ten polega na pomiarze zadanego kąta obrotu wału ślimaka i zaobserwowanego kąta obrotu ślimacznicy. Pomiaru dokonuje się na zmontowanej przekładni. Na wale czynnym i biernym umieszcza się elektroniczne przetworniki położenia kąowego. Wartość rzeczywistego położenia wałów przekazywana jest do układu pomiarowego - licznika i dalej do komputera. Zadając wartość kroku pomiarowego wyznaczamy odchyłki okresowe, jak i odchyłki na zadanym kącie obrotu ślimaka jak również odchyłkę kinematyczną występującą przy pełnym cyklu zmiany względnego położenia ślimaka i ślimacznicy.

## 2. SYSTEM POMIAROWY

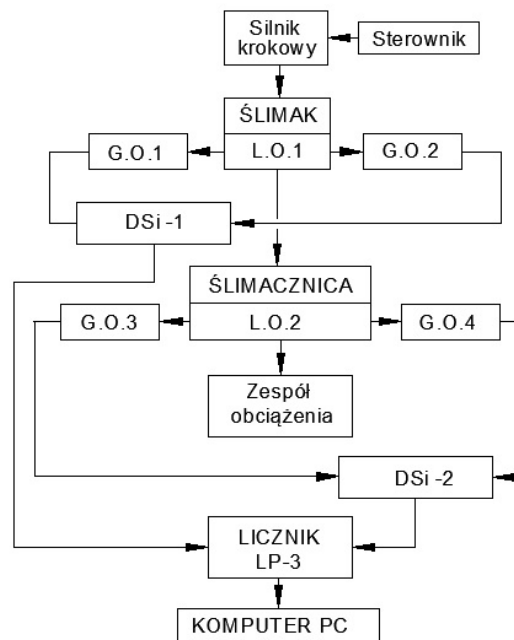
Pomiar odchyłki kinematycznej  $F'_{ior}$  przekładni ślimakowej odbywa się na przygotowanym stanowisku pomiarowym wyposażonym w obrotowe przetworniki położenia. Przetworniki przemieszczenia kąowego składają się z liniału optycznego L.O.1. oraz dwóch głowic odczytowych G.O.1 i G.O.2 dla wału ślimaka, analogicznie na wale ślimacznicy umieszczono liniał optyczny L.O.2, oraz dwie głowice odczytowe G.O.3 i G.O.4. Sygnał z głowic odczytowych położenia kąowego wału ślimaka przekazywany jest do interfejsu DSi-1, sygnał z głowic odczytowych

położenia kąтового wału ślimacznicy przekazywany jest do interfejsu DSi-2. Sygnały z interfejsów DSi-1 i DSi-2 przekazywane są do czytnika trzyosiowego LP-3, czytnik wyposażony jest w interfejs transmisji szeregowej RS-232C za pomocą, którego wartość rzeczywista położenia kąowego ślimaka i ślimacznicy przekazywana jest do komputera PC. Na komputerze zainstalowany jest program rejestrujący wartość rzeczywistego kąta obrotu ślimaka  $\varphi_1$  i zaobserwowanego kąta ślimacznicy  $\varphi_2$ . Zastosowany w układzie pomiarowym interfejs TONiC™ firmy Renishaw dokonuje podziału działki elementarnej liniału na 200 części stąd mamy interpolację sygnału z mnożnikiem x200 co daje 11,11 impulsów na 1" kątową. Głowica odczytowa TONiC™ ma układ dynamicznego przetwarzania sygnału, dzięki czemu następuje poprawa jakości i stabilności sygnału, co zapewnia ultra niski błąd cykliczny  $< \pm 30$  nm. Stanowisko badawcze przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Stanowisko do pomiaru odchyłki kinematycznej przekładni ślimakowej

Schemat blokowy zastosowanych układów pomiarowych, sterujących i napędowych przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat blokowy układu do pomiaru odchyłki kinematycznej

W tabeli 1 przedstawiono cechy systemu pomiarowego.

Tabela 1. Cechy systemu pomiarowego

Element systemu	Pierścień przetwornika położenia kąтового [L.O.1], [L.O.2]	Głowica odczytowa [G.O.1], [G.O.2]	Interfejs	Interfejs [DSi-1], [DSi-2]	Licznik [LP3]
Typ	RESM20USA115 Średnica $\varnothing$ 115mm	TONIC READHEAD 5M RESM T2011-50A	TONIC INTERFACE x200 (4MHz) TI0200A04A	DSI Signum interface DSI-QTL4	f-my LABSTE R
Cechy	Średnica pierścienia $\varnothing$ 115mm. Działka elementarna 20 $\mu$ m. Na obwodzie pierścienia znajduje się 18000 działek elementarnych	Dzieli działkę elementarną pierścienia na 200 części. 20 $\mu$ m: 200=0,1 $\mu$ m  Cykliczny błąd $\leq \pm$ 30 nm,		Sumuje sygnały z głowic odczytowych G.O.1 i G.O.2 ; G.O.3. i G.O.4	Wyświetlacz 3 ośtowy
Rozdzielczość systemu	18000x200x4= <b>14400000</b> impulsów na jeden pełen obrót ślimacznicy 14400000:(360° 60'·60")=11,11 impulsów na 1" kątową				
Wg f-my Renishaw system zapewniał pomiar z dokładnością +/- 1,74"					

### 3. METODYKA POMIARÓW

Przekładnia ślimakowa wykorzystywana w precyzyjnych mechanizmach podziału charakteryzuje się stałym przełożeniem w zakresie pełnego cyklu zmiany względnego położenia wału ślimaka i ślimacznicy [1]. Stałość przełożenia ma zapewnić brak przyspieszeń członów przekładni, a przyspieszenia elementów przekładni związane są z odchyłkami wykonania elementów uzębionych przekładni.

Zakładamy:  $\varphi_1$  – zadany kąt obrotu ślimaka,  $\varphi_2$  – zaobserwowany kąt obrotu ślimacznicy,  $i$  – przełożenie przekładni,  $\Delta\varphi$  – odchylenie kinematyczne przekładni ślimakowej. Dla mechanizmu reprezentującego przekładnię ślimakową prawdziwe będzie równanie [4].

$$\Delta\varphi = \frac{\varphi_1}{i} - \varphi_2 \quad (3)$$

Dla mechanizmu idealnego równanie przybierze postać:

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1}{i} \quad (4)$$

Dokładność kinematyczną przekładni ślimakowej można określić na podstawie porównania wartości rzeczywistego kąta obrotu  $\varphi_2$  elementu napędzanego, to jest ślimacznicy, z wartością rzeczywistego kąta obrotu  $\varphi_1$  elementu napędzającego ślimaka przy spełnieniu warunku, że zachowana jest nominalna wzajemna odległość osi i występuje jednostronny styk w zazębieniu.

### 4. POMIARY EKSPERYMENTALNE

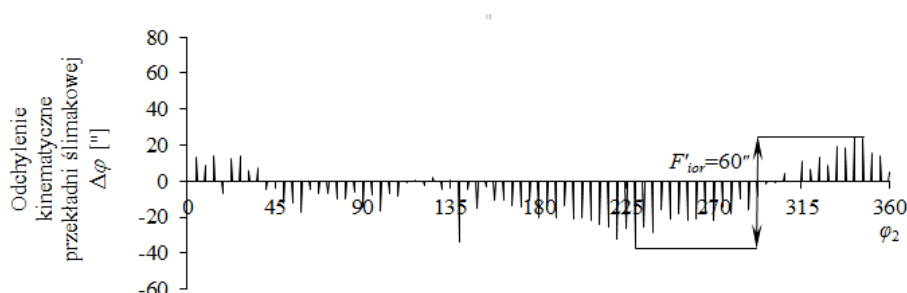
Podczas badań eksperymentalnych zadawano obroty na wał ślimaka. Za pomocą systemu pomiarowego rejestrowano wartość rzeczywistą kąta obrotu wału ślimaka  $\varphi_1$  i ślimacznicy  $\varphi_2$ . Podczas testowania układu przyjęto trzy kroki pomiarowe dla wału ślimaka. Jeden o wartości  $L_1=360^0$ , drugi  $L_1=30^0$ , trzeci  $L_1=1^0$ . Krok pomiarowy to odległość kątowa pomiędzy kolejnymi pomiarami. Na jej podstawie układ pomiarowy rejestruje wartość położenia kąтового ślimaka i opowiadające mu położenie kątowe ślimacznicy.

W tabeli 2 przedstawiono ilości pomiarów przypadających na pełen cykl zmiany wzajemnego położenia ślimaka i ślimacznicy dla kroku pomiarowego  $L_1=360^0$ ,  $L_1=30^0$ ,  $L_1=1^0$ , dla przekładni A80 o przełożeniu  $i=80$ .

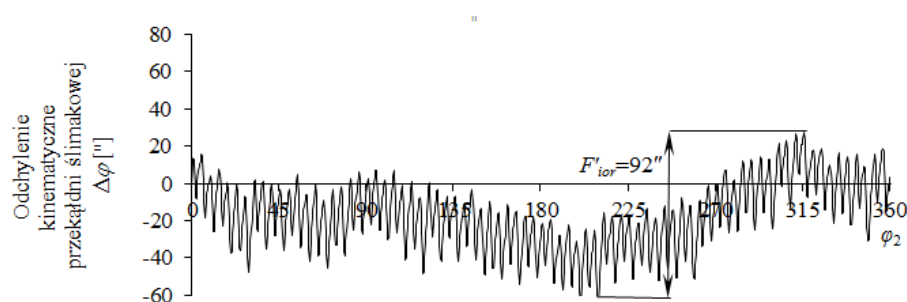
Tabela 2. Liczba pomiarów przypadających na pełen cykl zmiany wzajemnego położenia ślimaka i ślimacznicy dla kroku pomiarowego  $L_1=360^0$ ,  $L_1=30^0$ ,  $L_1=1^0$

Krok pomiarowy na wale ślimaka [ $L_1$ ]	Liczba pomiarów rzeczywistego kąta obrotu ślimaka przypadająca na jeden pełny obrót ślimaka $\varphi_1=360^0$ [ $K$ ]	Liczba pomiarów rzeczywistego kąta obrotu ślimacznicy przypadająca na jeden pełny obrót ślimacznicy [ $L_2$ ]
	$K = \varphi_1 / L_1$	$L_2 = K \cdot i$
$360^0$	1	80
$30^0$	12	960
$1^0$	360	28800

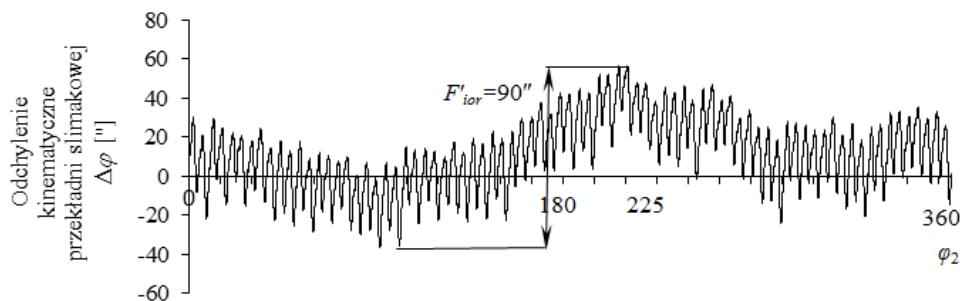
Jak wynika z tabeli 2 dla kroku pomiarowego  $L_1=30^0$  system pomiarowy rejestruje kąt obrotu  $\varphi_1$  ślimaka co  $30^0$ . W zakresie pełnego obrotu ślimaka  $0^0-360^0$ , układ dokona 12 pomiarów. Dla przekładni A80 ślimak wykona 80 obrotów, co odpowiada jednemu pełnemu obrotowi ślimacznicy. Z tego wynika  $12 \times 80 = 960$  punktów pomiarowych dla pełnego cyklu zmiany względnego położenia wału ślimaka i ślimacznicy. Na rysunkach 4-6 przedstawiono przykładowy wynik pomiaru odchylenia kinematycznego w funkcji kąta obrotu ślimacznicy  $\varphi_2$ , dla kroku pomiarowego  $L_1=360^0$ ,  $L_1=30^0$ ,  $L_1=1^0$  dla przekładni A80.



Rys. 4. Wyniki pomiarów odchylenia kinematycznego  $\Delta\varphi$  dla kroku pomiarowego  $L_1=360^0$



Rys. 5. Wyniki pomiarów odchylenia kinematycznego  $\Delta\varphi$  dla kroku pomiarowego  $L_1=30^0$



Rys. 6. Wyniki pomiarów odchylenia kinematycznego  $\Delta\varphi$  dla kroku pomiarowego  $L_1=1^0$

Po wielokrotnych próbach okazało się, że zmiana wartości kroku pomiarowego  $L_1$  ma wpływ na uzyskane wyniki odchyłki kinematycznej. Graniczną wartością w tym przypadku okazał się krok  $L_1=30^0$ . Pomiary dokonywane przy wartościach mniejszych niż  $L_1=30^0$  nie zmieniały znacząco wartości odchyłki kinematycznej. Wyniki te przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wartość odchyłki kinematycznej przekładni A80 dla różnych kroków  $L_1$

Krok [ $L_1$ ]	Zakres pomiarowy	Ilość punktów pomiarowych [ $L_2$ ]	Wartość odchyłki kinematycznej przekładni $F'_{ior}$
$360^0$	$0^0-360^0$	80	$60''$
$30^0$	$0^0-360^0$	960	$92''$
$1^0$	$0^0-360^0$	28800	$90''$

Następnie powtórzono pomiar odchyłki kinematycznej przekładni A80 w zakresie jednego pełnego cyklu zmiany względnego położenia ślimaka i ślimacznicy, oraz dwóch pełnych cykli zmiany względnego położenia dla kroku pomiarowego  $L_1=30^0$ . Wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Pomiar odchyłki kinematycznej przekładni A80 dla kroku pomiarowego  $L_1=30^0$

Pomiar nr	Zakres pomiarowy	Ilość punktów pomiarowych [ $L_2$ ]	Wartość odchyłki kinematycznej przekładni $F'_{ior}$
1	$0^0-360^0$	960	$92''$
2	$0^0-720^0$	1920	$91''$
3	$360^0-720^0$	960	$90''$

W oparciu o wyniki z tabeli 4 zdecydowano, że dla przekładni A80 należy prowadzić pomiary odchylenia kinematycznego z krokiem pomiarowym  $L_1=30^0$ .

## 5. PODSUMOWANIE

W referacie omówiono pomiar dokładności kinematycznej przekładni ślimakowych, z uwzględnieniem budowy i zasady działania stanowiska do pomiarów odchyłki kinematycznej przekładni. Przedstawiono metodę pomiaru dokładności kinematycznej przekładni, polegającą na bezpośrednim porównaniu kąta obrotu ślimaka i ślimacznicy w pełnym zakresie zmian względnego położenia elementów uzębionych. Zdefiniowano pojęcia: odchylenia kinematycznego i odchyłki kinematycznej przekładni ślimakowej. W pracy przedstawiono także przykładowe wyniki błędów kinematycznych przekładni A80 w zależności od przyjętego kroku pomiarowego. Efektem badań było określenie minimalnego kroku pomiarowego przypadającego na pełen obrót ślimaka  $L_1=30^0$ , większa rozdzielczość nie powodowała znaczących zmian wyniku pomiaru.

## LITERATURA

- [1] MARCINIAK T., *Technologia przekładni ślimakowych*. Naukowy Instytut Technologii Eksploatacji Radom, 2013.
- [2] MARCINIAK T., *Przekładnie ślimakowe walcowe*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 2001.
- [3] MARCINIAK T., OSTROWSKI D., *Zwiększenie dokładności kinematycznej ślimacznic metodą wiórkowania*. W: Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, vol. 28, nr 2, 2008, 19-28.
- [4] MARCINIAK T., OSTROWSKI D., *Badania dokładności kinematycznej ślimacznic w procesie wiórkowania*. W: Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, vol. 30, nr 2, 2010, 43-49.