



Zakład Podstaw Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn  
Instytut Podstaw Budowy Maszyn  
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych  
Politechnika Warszawska

dr inż. Benedykt Ponder  
dr inż. Szymon Dowkontt

Laboratorium Podstaw Konstrukcji Maszyn

## **Instrukcja do ćwiczenia 8:**

# **Badanie wpływu obciążenia na sprawność przekładni falowej**

(rok II, semestr 4)

(do użytku wewnętrznego)

Warszawa 2017  
Wersja: 20170504-01

Ta strona jest intencjonalnie pusta

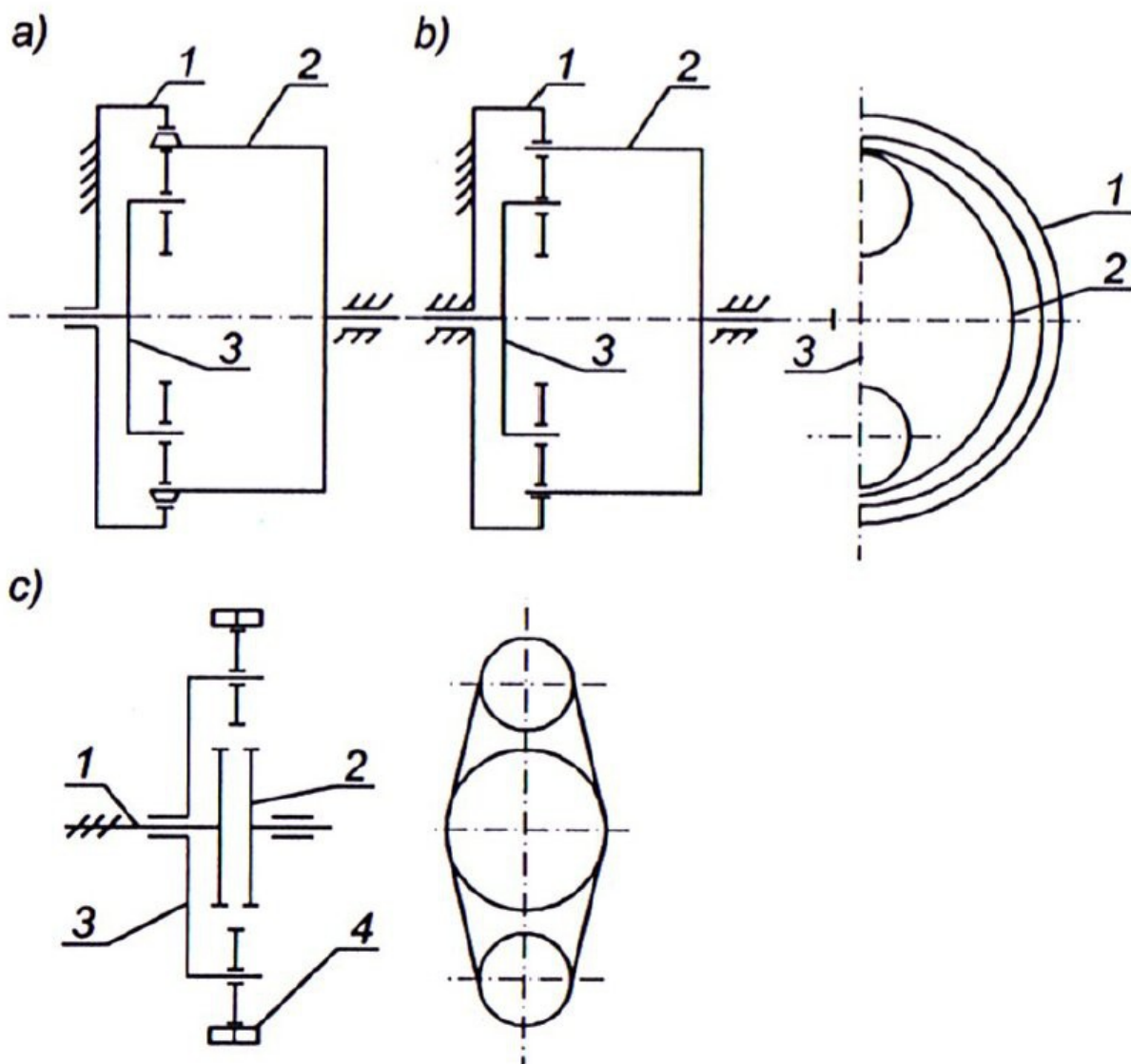
## Ćwiczenie 8

### Badanie wpływu obciążenia na sprawność przekładni falowej

#### 1.1. Wstęp

Ogólnie, ze względu na sposób przenoszenia obciążenia, przekładnie falowe można podzielić na zębate, cierne i łańcuchowe.

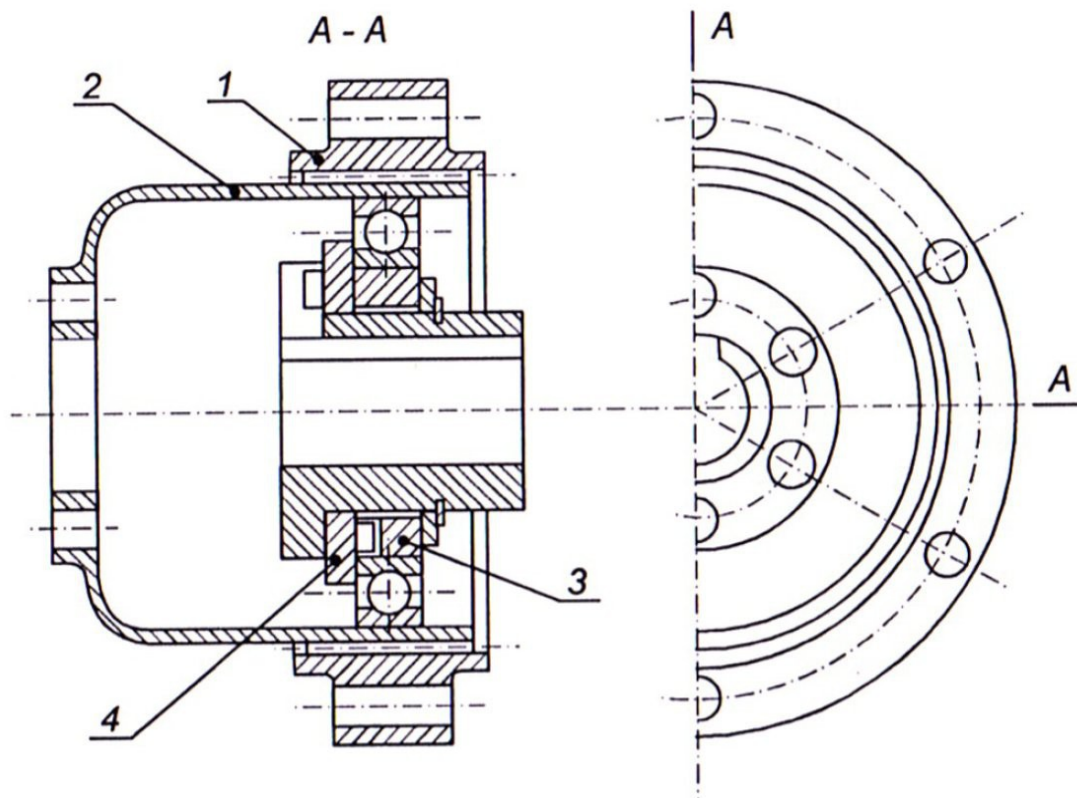
Schematy kinematyczne tych przekładni przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schematy przekładni falowych: a) zębatej, b) cierniej, c) łańcuchowej: a, b: 1 - koło sztywne, 2 - element podatny, 3 - generator fali; c: 1 - koło nieruchome, 2 - koło ruchome, 3 - generator, 4 - łańcuch.

W każdej z nich można wyróżnić trzy podstawowe elementy, tj. koło sztywne, element podatny i generator fali. W przypadku zębatych przekładni falowych koło sztywne i wieniec podatny są sprzężone kształtowo - za pomocą zębów, w przypadku przekładni ciernych następuje sprzężenie cierne, natomiast w łańcuchowych przekładniach falowych koła sztywne i ruchome są sprzężane za pomocą łańcucha rolkowego.

Budowę i zasadę działania zębatej przekładni falowej przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Budowa zębataj przekładni falowej (opis w tekście).

Najprostsza zębata przekładnia falowa składa się z wewnętrznje użębionego koła sztywnego (1), zewnętrznje użębionego wieńca podatnego (2) i generatora (3) wywołującego odkształcenia wieńca zębatego. Najczęściej stosowany jest generator dwufalowy, deformujący wieńiec podatny na owal o kształcie zbliżonym do elipsy. Na osi dużej owalu następuje zazębienie kół, a na osi małej zęby mijają się z określonym luzem wierzchołkowym. Generator (3) zazwyczaj wykonywany jest w postaci krzywki napędzanej poprzez sprzęgło Oldhama (4).

Najbardziej obciążonym elementem przekładni jest cienkościenna tuleja podatna, podlegająca ciągłej deformacji. Grubość podatnego wieńca w strefie użębionej wynosi około  $0,014 d$ , natomiast grubość części gładkiej tulei wynosi około  $0,009 d$ , gdzie  $d$  oznacza średnicę podziałową nieodkształconego (kołowego) wieńca zębatego. Zazębienie wykonywane jest najczęściej o zarysie ewolwentowym (rzadziej prostym lub innym) o modułach o  $d$  0,1 do 1 (1,5) mm.

W budowanych przekładniach podziałki użębienia wewnętrznego koła sztywnego i użębienia zewnętrznego wieńca podatnego są zazwyczaj równe, chociaż warunek ten nie musi być spełniony. Różne natomiast muszą być liczby zębów w obu kołach, dzięki czemu podczas ruchu generatora następuje obtaczanie się elementu podatnego wewnątrz wieńca sztywnego (czyli wywołany jest ruch obrotowy cienkościennej tulei). W zębataj przekładni falowej różnica liczb zębów w kole sztywnym i podatnym zwykle równa jest liczbie generowanych fal.

Przełożenie jednostopniowej przekładni przy nieruchomym kole sztywnym wynosi:

$$u = \frac{z_2}{z_1 - z_2} \quad (8.1)$$

gdzie:  $z_1$  — liczba zębów koła sztywnego,  
 $z_2$  — liczba zębów wieńca podatnego.

W przypadku nieruchomego wieńca podatnego przełożenie wynosi:

$$u = \frac{z_2}{z_2 - z_1} \quad (8.2)$$

Zębate przekładnie falowe charakteryzują się wieloma zaletami. Główne z nich to: możliwość uzyskiwania dużego przełożenia ( $u = 80 \div 300$ ) w jednym stopniu, zwarta budowa, prosta konstrukcja, stałe przełożenie, mała masa, cichobieżność, współosiowość wału czynnego i biernego, duża liczba par zębów współpracujących przy małych prędkościach wejścia w przypór, możliwość uzyskiwania rozwiązań hermetycznych, możliwość budowy nawrotnych przekładni „bezluzowych”.

Mimo wielu istotnych zalet przekładnie te jak dotychczas nie znalazły powszechnego zastosowania w budowie maszyn. Jest to związane ze znacznymi trudnościami technologicznymi, jakie pojawiają się podczas wykonania odkształcalnego wieńca zębatego oraz z wysokim jego kosztem. Są one stosowane w przypadkach technicznie i ekonomicznie uzasadnionych. Znajdują bardzo szerokie zastosowanie w technice kosmicznej i wojskowej (w mechanizmach raket, pojazdów kosmicznych), w układach automatycznej regulacji, a przede wszystkim w robotyce.

Dla tych potrzeb są budowane zazwyczaj zębate przekładnie falowe, charakteryzujące się podwyższoną dokładnością i płynnością ruchu, wysoką trwałością i niezawodnością. Wykorzystywanie tego typu przekładni w kosmonautyce oraz budowie różnego rodzaju robotów przemysłowych spowodowało, szczególnie w ostatnich latach, szybki rozwój konstrukcji i technologii ich wykonania.

Obecnie dość powszechnie buduje się również przekładnie falowe ogólnego przeznaczenia. Mają one zastosowanie w różnego rodzaju mechanizmach napędowych o dużych przełożeniach, np. w mechanizmach obrotu koparek, dźwigów budowlanych, w obrabiarkach itp.

## 1.2. Cel ćwiczenia

Głównym celem ćwiczenia jest poznanie budowy i zasady działania zębatej przekładni falowej oraz ustalenie wpływu wielkości obciążenia na jej sprawność. W czasie ćwiczenia będą również określone podstawowe parametry pracy przekładni falowych spełniających różne funkcje w układzie napędowym, to jest funkcję reduktora lub multiplikatora.

## 1.3. Stanowisko badawcze

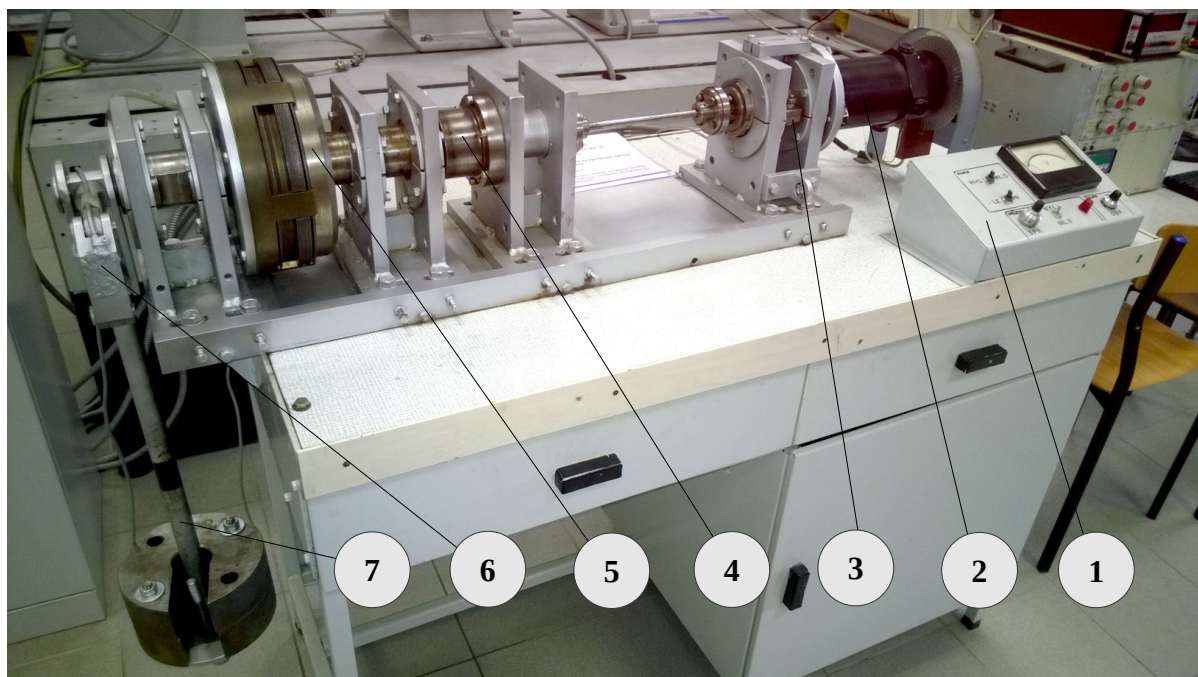
Widok stanowiska badawczego przedstawia rys. 3. Budowę stanowiska i jego możliwości badawcze omówiono w pracy [1]. Umożliwia ono badanie następujących parametrów i charakterystyk pracy przekładni:

- stałej sprężystości,
- luzu zwrotnego,
- momentu oporowego,
- statycznego i dynamicznego stanu naprężenia podatnej tulei obciążonej i nieobciążonej,
- wyznaczenie prędkości rezonansowej maksymalnej prędkości obrotowej przekładni,
- badanie wpływu stopnia zużycia na dokładność kinematyczną i trwałość przekładni,
- wyznaczenie sprawności przekładni pracującej jako reduktor i multiplikator,
- badanie trwałości przekładni.

W stanowisku można wyróżnić następujące zespoły:

- zespół napędowy składający się z silnika elektrycznego prądu stałego wraz z układem sterującym umożliwiającym płynną regulację prędkości obrotowej,

- zespół przekładni falowej pracującej jako reduktor,
- zespół hamujący składający się z sprzęgła elektromagnetycznego oraz ramienia z obciążeniem.



Rys. 3. Widok ogólny stanowiska (1 - panel sterowania, 2 - silnik, 3 - układ momentomierza napędu, 4 - badana przekładnia, 5 - sprzęgło układu obciążenia, 6 - układ momentomierza obciążenia, 7 - ramię z obciążeniem).

Konstrukcja zespołu hamującego umożliwia osiągnięcie w trakcie jednego cyklu pracy przekładni zmiennego obciążenia w zakresie od 0 do  $N_{\max}$ . Stanowisko w celach dydaktycznych zostało wyposażone w obciążniki umożliwiające osiągnięcie  $N_{\max} = 110 \text{ Nm}$ .

#### 1.4. Układ pomiarowy

Stanowisko badawcze zostało tak zaprojektowane aby był możliwy pomiar obrotowych momentów wejściowych i wyjściowych przekładni pracującej jako reduktor, co umożliwia między innymi badanie sprawności przekładni przy różnych prędkościach obrotowych i różnych obciążeniach.

Do pomiaru momentów skrętnych zastosowano metodę tensometryczną. Miejsca zamocowania siłomierzy tensometrycznych pokazano na rys. 3. Sygnały odwzorowujące stan obciążenia pochodzące z tensometrów, odpowiednio wzmacnione przez mostek i poddane konwersji analogowo – cyfrowej, są rejestrowane przez komputer.

Do pomiaru prędkości obrotowej zastosowano układ fotoelektryczny współpracujący z częstotściomierzem.

Szczegóły obsługi stanowiska i toru pomiarowego są wyjaśniane podczas zajęć przez prowadzącego ćwiczenie.

#### 1.5. Sposób wykonania ćwiczenia

Mostek tensometryczny powinien być włączony około pół godziny przed rozpoczęciem badań. Mostek tensometryczny jest wytarowany (tzn. wskazuje 0) dla stanu, w którym przekładnia

nie jest obciążona i napęd stanowiska jest wyłączony. Nie należy zmieniać ustawień mostka.

Badania sprawności przekładni falowych należy wykonać dla wskazanych przez prowadzącego zakresów zmian obciążenia i prędkości. Pomiary można wykonać tylko w obecności prowadzącego ćwiczenie. Po przeprowadzeniu badań opracować i przeanalizować uzyskane wyniki. W sprawozdaniu oprócz wyników, należy zamieścić merytoryczne wnioski wynikające z badań.

Kolejność czynności przy wykonywaniu ćwiczenia:

- Wyzerować tor pomiarowy (w oprogramowaniu rejestrującym dane pomiarowe).
- Upewnić się, że sprzęgło załączające obciążenie jest wyłączone.
- Włączyć napęd stanowiska. Ustawić żadaną prędkość obrotową.
- Rozpocząć rejestrację danych.
- Włączyć sprzęgło obciążenia. Zachować szczególną ostrożność i nie przebywać w pobliżu ramienia z obciążnikami. Uważać, aby przewody toru pomiarowego nie zaplątały się w mechanizm obciążenia.
- Po wykonaniu pełnego obrotu przez ramię z obciążnikami wyłączyć sprzęgło obciążenia.
- Zakończyć rejestrację i zabezpieczyć dane.
- Wyłączyć napęd stanowiska.
- Zmienić kierunek obrotów silnika (przełącznikiem).
- Powtórzyć w/w czynności dla pozostałych, zadanych prędkości obrotowych.
- Po zakończeniu pomiarów i omówieniu ich wyników obliczyć dla zadanych punktów pomiarowych sprawność przekładni.
- Wykonać wykresy, wyciągnąć wnioski, opracować sprawozdanie.

## **1.6. Obowiązujący zakres wiadomości do zaliczenia ćwiczenia**

1. Znajomość konstrukcji i zastosowań przekładni falowych.
2. Znajomość sposobu obliczania przełożeń przekładni falowych i planetarnych.
3. Znajomość pojęcia sprawności mechanicznej i związanych z tym wzorów obliczeniowych.

## **1.7. Literatura**

- [1] Wiesław Ostapski: Stanowisko do badań przekładni falowych. XIII Sympozjon PKM, Świnoujście 1987.
- [2] Wiesław Ostapski: „Przekładnie falowe”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.

Ta strona jest intencjonalnie pusta



## 1.8. Wzór sprawozdania

**Ćwiczenie 8: Badanie wpływu obciążenia na sprawność przekładni falowej** Data: .....

Zakład Podstaw Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn PW

Grupa: ..... Zespół: ....

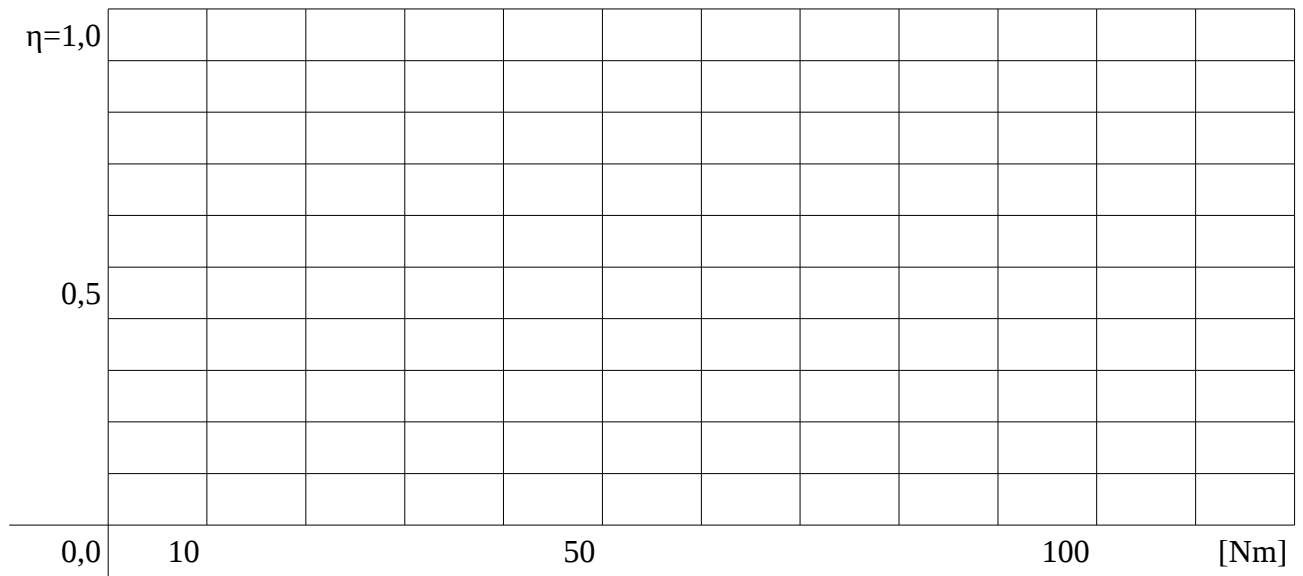
### 1. Skład zespołu:

- |         |          |          |
|---------|----------|----------|
| 1. .... | 6. ....  | 11. .... |
| 2. .... | 7. ....  | 12. .... |
| 3. .... | 8. ....  | 13. .... |
| 4. .... | 9. ....  | 14. .... |
| 5. .... | 10. .... | 15. .... |

### 2. Wyniki pomiarów i obliczeń:

L.P.	Prędkość obrotowa [obr/min.]	$M_s$ [Nm] Napędu	$M_s$ [Nm] Obciąż.	Sprawność ( $\eta$ )
1.	$n_1 = \dots\dots\dots$			
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.	$n_2 = \dots\dots\dots$			
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.	$n_3 = \dots\dots\dots$			
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				

3. Wykres sprawności przekładni w funkcji momentu skręcającego jej obciążenia:



4. Wnioski: