

Jakub Lisiecki\*, Paweł Rosa\*, Szymon Lisiecki\*

## STANOWISKOWE BADANIE ZESPOŁU PRZENIESIENIA NAPĘDU NA PRZYKŁADZIE WIELOSTOPNIOWEJ PRZEKŁADNI ZĘBATEJ

**Streszczenie.** Celem artykułu było opisanie stanowiskowego badania trwałości wielostopniowej przekładni zębatej. W opracowaniu przedstawiono budowę wraz z opisem tego rodzaju stanowiska, omówiono program badania w oparciu o który przeprowadzany był test. Głównymi parametrami programu były prędkość obrotowa na poszczególnych biegach, odpowiadający jej przy tym moment obrotowy, wartość przełożenia, czas trwania stopnia. Tego rodzaju badanie niesie za sobą szereg zalet, między innymi możliwość ustalenia i oceny przyczyn wystąpienia uszkodzeń, bez potrzeby wykonywania długotrwałych i kosztownych badań drogowych lub poligonowych. Badanie to wykonane zostało w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji (PIMOT).

**Słowa kluczowe:** badanie, przekładnia zębata, program badań, stanowisko badawcze, trwałość

### Wstęp

W PIMOT prowadzone są różnego rodzaju badania elementów i podzespołów pojazdów, między innymi stanowiskowe badania przekładni samochodowych.

Zaletą badań stanowiskowych jest to, że pozwalają na ocenę trwałości elementów wchodzących w skład zespołu, oraz ustalenie przyczyn wystąpienia ewentualnych uszkodzeń [3], bez konieczności wykonywania długotrwałych i kosztownych badań drogowych lub poligonowych. Obejmują one między innymi:

- statyczne i dynamiczne badania charakterystyk i trwałości elementów, podzespołów i kompletnych pojazdów,
- badania zespołów przeniesienia napędu np. mostów napędowych i skrzyń biegów samochodów osobowych, ciężarowych, autobusów i maszyn roboczych.

Producenci zamierzający wprowadzić swój wyrób na rynek chcą mieć wiedzę dotyczącą jakości tego wyrobu. Dlatego wykonuje się badania, których celem jest uzyskanie wyników pozwalających na ocenę wyrobu i technologii jego produkcji.

Podczas eksploatacji pojazdu lub maszyny dany zespół jest poddawany zmiennym obciążeniom. Na tej podstawie zostaje opracowany program badań stanowiskowych.

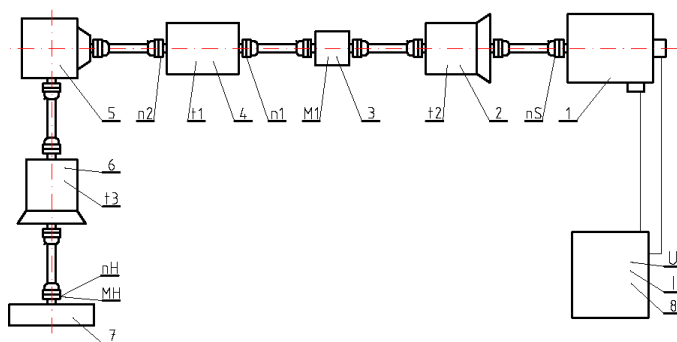
Stanowiska znajdujące się w Laboratorium Badań Symulacyjnych PIMOT mają budowę modułową, tzn. zestawia się je odpowiednio do potrzeb występujących w określonym badaniu danego obiektu [4].

\* Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Warszawa, j.lisiecki@pimot.org.pl, p.rosa@pimot.org.pl, s.lisiecki@pimot.org.pl

## 1. Opis stanowiska badawczego

Jak wspomniano we wstępie referatu, stanowiska badawcze są zestawiane zależnie od obiektu i celu badań. Na rys. 1 przedstawiono przykład stanowiska do badania trwałości wielostopniowej przekładni zębatej.

Maksymalne wartości, dla mierzonych wielkości fizycznych w trakcie badania przedstawione są w tabeli 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska do badania przekładni zębatej [2]

Opis schematu: 1 – elektryczny silnik napędowy prądu stałego; 2, 5, 6 – przekładnie stanowiska; 3 – momentomierz; 4 – badana przekładnia zębata; 7 – hamulec elektrowirowy; 8 – tyrystorowy zespół napędowy;  $n_s$  – prędkość obrotowa wału elektrycznego silnika napędowego;  $n_1$  – prędkość obrotowa wału wejściowego badanej przekładni zębatej;  $n_2$  – prędkość obrotowa wału wyjściowego badanej przekładni zębatej;  $n_H$  – prędkość obrotowa wału hamulca elektrowirowego;  $M_1$  – moment obrotowy na wale wejściowym badanej przekładni zębatej;  $M_H$  – moment obrotowy na wale hamulca elektrowirowego;  $t_1$  – temperatura oleju w badanej skrzynce przekładniowej;  $t_2$ ,  $t_3$  – temperatura oleju w przekładniach stanowiska;  $U$  – napięcie;  $I$  – natężenie prądu

Tabela 1. Parametry stanowiska. Maksymalne wartości mierzonych wielkości fizycznych

Wielkość mierzona	Symbol/jednostka	Wartość maksymalna
Prędkość silnika napędowego	$n_s$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	1800
Prędkość na wejściu badanej przekładni	$n_1$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	1800
Prędkość hamulca	$n_H$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	1700
Moment na wejściu badanej przekładni	$M_1$ [Nm]	1860
Moment na wale hamulca	$M_H$ [Nm]	500
Temperatura oleju w badanej skrzynce przekładniowej	$t_1$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	120
Temperatura oleju w przekładni 2 stanowiska	$t_2$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	120
Temperatura oleju w przekładni 6 stanowiska	$t_3$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	120
Napięcie	$U$ [V]	440
Natężenie	$I$ [A]	300
Czas trwania badania	$T$ [h]	9999 59 min
Liczba cykli	$L_c$	9999999

Uwaga: w tabeli podano wartości maksymalne przyjęte do stosowania w laboratorium i nie oznacza to, że mogą wystąpić jednocześnie; niektóre podzespoły stanowiska mogą uzyskiwać wyższe parametry ale nie muszą być z różnych względów w pełni wykorzystywane.

Do napędu stanowiska zastosowano elektryczny silnik prądu stałego (rys. 2) zasilany z tyrystorowego zespołu napędowego.



Rys. 2. Elektryczny silnik napędowy stanowiska

Parametry silnika elektrycznego wchodzącego w skład stanowiska badawczego podane są w tabeli nr.2.

Tabela 2. Główne parametry silnika elektrycznego prądu stałego

Nazwa/typ silnika	Silnik elektryczny prądu stałego, Leroy&Sommer LSK 1604
Prędkość max silnika elektrycznego [ $n_{max}$ ]	2080 min <sup>-1</sup>
Moment max silnika elektrycznego [ $M_{max}$ ]	563 Nm
Moc silnika elektrycznego [P]	123 kW



Rys. 3. Przykład zabudowy wału napędowego na stanowisku

Przenoszenie napędu między elementami składowymi (modułami) stanowiska a badanym obiektem jest realizowane za pomocą wałów napędowych, które dla bezpieczeństwa są wyposażone w osłony (rys. 3). W celu zapewnienia wymaganych parametrów pracy badanego obiektu i właściwe wykorzystanie charakterystyk silnika napędowego i hamulca zastosowano dwie przekładnie pośrednie typu S4-95 pokazane na rys. 4 i 5.



Rys. 4. Przekładnia 2 stanowiska



Rys. 5. Przekładnia 6 stanowiska

Wartości przelżeń dla przekładni S4-95 są następujące:

- przelżenie biegu pierwszego:  $i_1 = 4,13$ ,
- przelżenie biegu drugiego:  $i_2 = 2,36$ ,
- przelżenie biegu trzeciego:  $i_3 = 1,5$ ,
- przelżenie biegu czwartego:  $i_4 = 1,0$ .



Rys. 6. Chłodnica oleju badanej



Rys. 7. Momentomierz przekładni PiMR Mi100



Rys. 8. Reduktor kątowy



Rys. 9. Wentylator

Wentylatory (rys. 9) umieszczone na płycie badawczej stanowią dodatkowe zewnętrzne źródło chłodzenia dla poszczególnych elementów stanowiska. Reduktor kątowy (rys. 8), służy do wprowadzenia dodatkowej wartości przełożenia w całym łańcuchu współpracy. Zrezygnowano tutaj z użycia reduktora liniowego, ponieważ gabarytowo stanowisko wprowadzałoby tu pewne ograniczenia. Przetwornik momentu (rys. 7), tworzący razem z miernikiem tor pomiarowy, służy do pomiaru wartości momentu znajdującego się na wałku wejściowym badanej przekładni. Chłodnica oleju (rys. 6), dołączona dodatkowo na stanowisku ma za zadanie utrzymywanie temperatury wewnątrz skrzyni na założonym przez producenta poziomie.

## 2. Opis badania

Badana przekładnia była poddana na stanowisku badawczym działaniu parametrów według określonego stopniowanego programu badań opracowanego przez konstruktorów obiektu. Parametry badawcze obejmowały: bieg (przełożenie) przekładni, moment obrotowy i prędkość obrotową na wale wejściowym, czas pracy na danym stopniu, temperaturę oleju. Podstawową jednostką programu był blok, składający się z określonej liczby stopni. Realizacja pełnego programu polegała na powtórzeniu wymaganej liczby bloków.

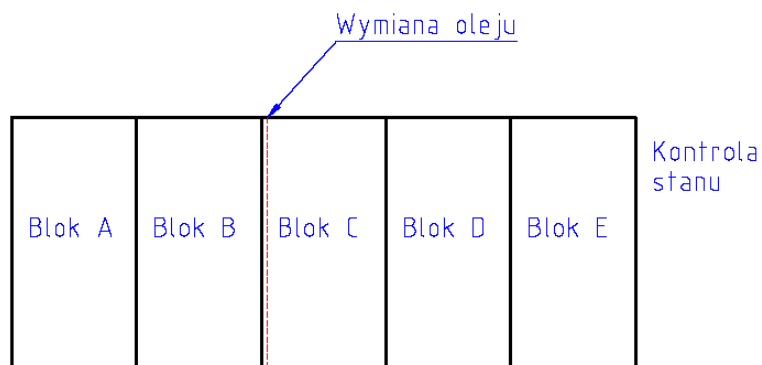
Tak przygotowany program zawiera kolejność wykonywania poszczególnych elementów próby trwałościowej dla badanej przekładni. Są to: prędkość obrotowa na poszczególnych biegach, odpowiadający jej moment obrotowy, wartość przełożenia, czas trwania stopnia (tabela nr. 3).

**Tabela 3.** Fragment stosowanego w laboratorium programu badania trwałości przekładni zębatej (blok programu) [1]

Blok	Stopień	Moment [Nm]	Prędkość obrotowa [obr/min]	Czas badania [godziny]	Bieg	Kierunek pracy
A	1	511	644	4	1	Do przodu
	2	347	1297	27	1	Do przodu
	3	401	1074	1	1	Do tyłu
	4	297	1532	7,5	1	Do tyłu
	5	568	429	14	2	Do przodu
	6	401	1074	12	2	Do przodu
	7	401	1074	19	2	Do przodu
	8	511	644	11	2	Do tyłu

Oprócz tego w programie przewidziano czynności obsługowe, takie jak: wymiana oleju po zakładanym przebiegu oraz kontrola stanu elementów (rys. 10).

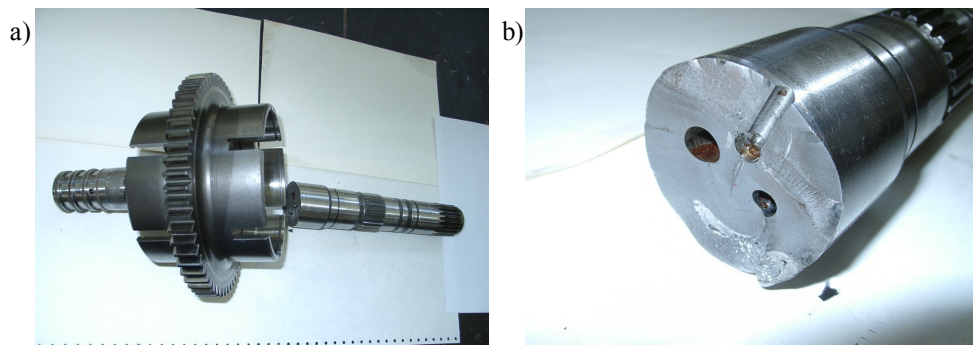
Po wykonaniu całego cyklu badania i uzyskaniu wyniku pozytywnego można przystąpić do realizacji dodatkowego testu aż do zniszczenia któregoś z elementów przekładni. Test ten realizowany jest w uzgodnieniu z konstruktorem obiektu badań.



Rys. 10. Przykładowy schemat czynności obsługowych w trakcie badania

### 3. Wyniki badania

Obiekt badania prezentowany w referacie nie przeszedł bez uszkodzeń całego programu badania opisanego w punkcie 3 lecz uległ uszkodzeniu w trakcie realizacji programu po 297 godzinach pracy na stanowisku. Na rys.11 pokazano zniszczony wałek główny badanej wielostopniowej przekładni zębatej. Pęknięcie wałka nastąpiło w strefie karbu (otworu smarującego). Wynik badania został wykorzystany do analizy konstrukcji wałka i wprowadzenia odpowiednich zmian. Dalszy ciąg badania prowadzono już z nowym, zmienionym wałkiem, który nie uległ do końca badania żadnej awarii.



Rys. 11. Wałek główny przekładni zniszczony podczas badania trwałości [5]

### 4. Podsumowanie

W oparciu o powyższe można stwierdzić, że istnieje potrzeba wykonywania stanowiskowych badań trwałości. Głównymi zaletami tego typu badań są:

- ocena wyrobu pod kątem jego przydatności i jakości przed przekazaniem do eksploatacji,

- stosunkowo krótki czas badania w porównaniu do badań drogowych lub poligonowych,
- możliwość dokonania „poprawy” wyrobu przed wprowadzeniem do stosowania.

Stanowiska badawcze zestawiane są ze sobą dla różnych celów w zależności od tego co będzie oczekiwanym efektem badania np. ocena trwałości czy innych cech obiektu.

## Literatura

1. Lisiecki S., Lisiecki J.: Metody badań trwałościowych układu napędowego w maszynach roboczych. XXIV Konferencja Naukowa, Zakopane: 2011.
2. Opracowanie założeń technicznych i projektu automatycznych układów nadzoru pracy stanowisk badawczych (pomiarów, rejestracji oraz analizy danych): CDS 037-BLY: PIMOT,2010.DST 2010.
3. Orzełowski S.: Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów. Warszawa: WNT, 1995.
4. Osiecki J., Gromadowski T., Stępiński B.: Badania pojazdów samochodowych i ich zespołów na symulacyjnych stanowiskach badawczych. Warszawa: ITE PIB, 2006.
5. Temat zrealizowany w ramach badań PIMOT: BLZ-CA/1-2009 TLB2: PIMOT, 2009.

## TESTING OF A TRANSMISSION UNIT ON A TEST BENCH

**Summary.** The aim of the paper was to describe the durability of multi-gear transmission. The paper presents the construction of the test bench, description of the test program, and it's main parameters. Article presents method and the result of a transmission test. The test was conducted in Automotive Industry Institute (PIMOT).

**Key words:** the test, transmission, test program, test bench, durability