

WYZNACZANIE OPTYMALNEGO POZIOMU OLEJU W OPARCIU O TEMPERATUROWE I SPRAWNOŚCIOWE KRYTERIA DLA PROTOTYPOWEJ PRZEKŁADNI CYKLOIDALNEJ

Złożoność konstrukcji przekładni cykloidalnych wymaga stosowania podczas ich eksploatacji nie tylko odpowiedniej ilości środka smarnego lecz również o odpowiednich właściwościach. W artykule przedstawiono analizę wpływu ilości zastosowanych środków smarujących na bazie mineralnej oraz syntetycznej na ich temperaturę oraz na sprawność dla prototypowej przekładni cykloidalnej.

WSTĘP

Zalety przekładni cykloidalnych takie jak wysoka sprawność, małe gabaryty i masa, wysokie przełożenia [1,2,3,4] przyczyniły się do zastosowania ich w dużej ilości aplikacji.

Aspekt poprawy sprawności w przekładniach cykloidalnych jest szeroko rozpatrywany [5,7,8]. Złożoność konstrukcji przekładni cykloidalnych wymaga stosowania podczas ich eksploatacji nie tylko odpowiedniej ilości środka smarnego lecz również o odpowiednich właściwościach [6,9].

W wykonanym przeglądzie literaturowym [1,3,4,6] nie znaleziono opisu wyznaczania optymalnego poziomu oleju. Pomimo tego, przyjęto, że wszystkie zamieszczone w opracowaniach wartości sprawności otrzymane z testów eksperymentalnych wyznaczone zostały przy optymalnym poziomie oleju.

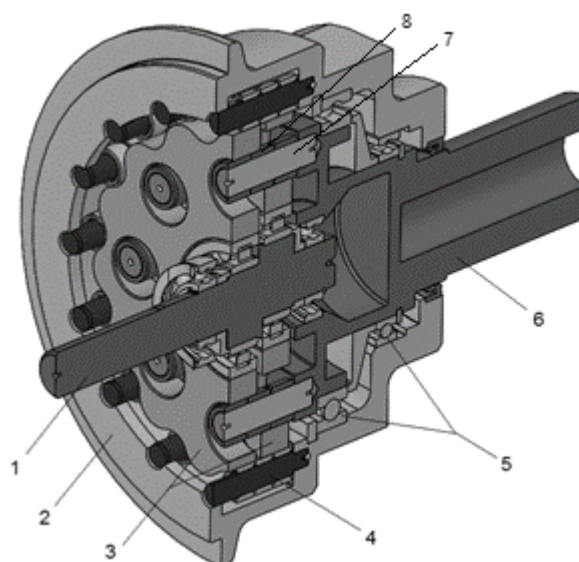
Celem niniejszego opracowania było eksperymentalne wyznaczenie optymalnego poziomu oleju dla prototypowej przekładni cykloidalnej poprzez wykonanie analizy porównawczej wyników badań z zastosowaniem oleju mineralnego 80W-90 klasy GL4 i syntetycznego 75W-90 klasy GL5.

Analiza polegała na pomiarze temperatury środka smarującego i wyznaczeniu sprawności przekładni w ustalonych warunkach pracy (tj. stałe obciążenie i prędkość).

Wszystkie eksperymentalne testy wykonane były na przekładni cykloidalnej [10] zaprojektowanej przez autorów niniejszego artykułu.

Wybór optymalnej objętości określonego oleju został oparty o kryterium minimalnej temperatury środka smarującego oraz maksymalnej sprawności przekładni cykloidalnej o konstrukcji pokazanej na rys. 1.

Moment napędowy wprowadzany do przekładni przez wałek wejściowy 1, przekazywany jest przez parę kół obiegowych 3, współpracujących z pinami zewnętrznymi 4, osadzonymi w obudowie 2 na piny wewnętrzne 7 i wałek wyjściowy 6.



Rys. 1. Przekładnia cykloidalna: 1-wałek wejściowy, 2-obudowa, 3-dwa koła obiegowe, 4-piny zewnętrzne z tulejami ślizgowymi, 5-łożyska wałka wyjściowego, 6-wałek wyjściowy z pinami wewnętrznymi 7 i tulejami ślizgowymi 8.

1. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

Badania eksperymentalne przeprowadzono na stanowisku badawczym przedstawionym na rys. 2.

Otwarta budowa stanowiska badawczego, w tym torów pomiarowych umożliwia wykonywanie badań różnego typu.

Obiektem badań była jednostopniowa przekładnia cykloidalna o przełożeniu $i=15$.

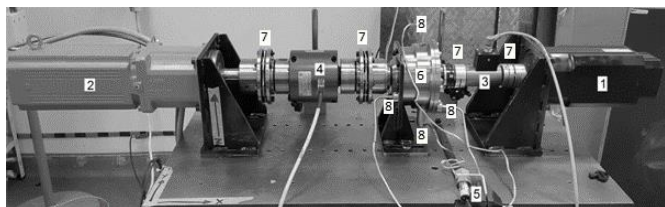
Na wejściu i wyjściu przekładni cykloidalnej mierzone były momenty obrotowe.

Wartość zarejestrowanych przez momentomierze wartości momentów wejściowego T1 i wyjściowego T2 umożliwia obliczenie sprawności według wzoru (1):

$$\eta = \frac{T_2}{T_1 \cdot i} \quad (1)$$

gdzie:

i - przełożenie przekładni cykloidalnej.



Rys. 2. Stanowisko badawcze: 1-silnik no.1 (napęd), 2-silnik no.2 (realizacja obciążenia), 3-momentomierz zainstalowany na wejściu przekładni (akwizycja danych: n_1 -prędkość wejściowa, T_1 -moment wejściowy), 4-momentomierz zainstalowany na wyjściu przekładni (akwizycja danych: n_2 -prędkość wyjściowa, T_2 -moment wyjściowy), 5-tachometr, 6-przekładnia cykloidalna, 7-sprzęgła, 8-termopary

Istotnym elementem wyposażenia stanowiska badawczego był komplet czterech termopar. Dwie termopary zamontowane były w przekładni cykloidalnej umożliwiając pomiar wewnątrz - temperatury środka smarującego. Pozostałe dwie termopary wyposażone były w magnesy umożliwiające szybki montaż w dowolnym miejscu stanowiska badawczego.

Jednym z głównych elementów stanowiska badawczego była para silników elektrycznych umożliwiających realizację odpowiednio: napędu i obciążenia w szerokim zakresie prędkości i momentów.

Sterowanie, monitoring i akwizycja wybranych danych były realizowane na komputerze PC. Tor pomiarowy wykonano głównie na bazie elementów firmy National Instrument. Akwizycja danych odbyła się w oparciu o środowisko programowe LabView.

2. BADANIA

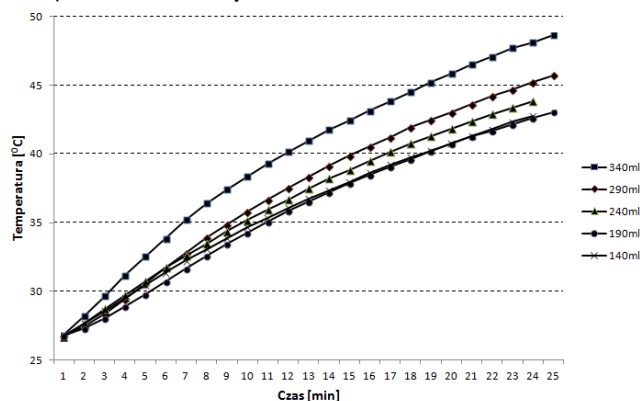
Badania eksperymentalne przeprowadzono według poniższej procedury:

1. Całkowite, (340ml) zapełnienie przekładni nowym olejem (mineralnym lub syntetycznym).
2. Doprowadzenie temperatury oleju w przekładni do wartości 25[°C].
3. Wykonanie testu z prędkością obrotową $n_1=2500\text{rpm}$ i obciążeniem $T_2=41\text{Nm}$ przez 25min,
4. Akwizycja co 1 minutę następujących parametrów: n_1 - prędkość wejściowa, n_2 - prędkość wyjściowa, T_1 - moment wejściowy, T_2 - moment wyjściowy, t_0 -temperatura oleju podczas testu z wykorzystaniem termopary.
5. Po zakończeniu testu wyłączyć zasilanie stanowiska.
6. Wypompować z przekładni 50ml oleju.
7. Doprowadzenie temperatury oleju w przekładni do wartości 25[°C]. W przypadku wyższej temperatury należy ochłodzić wymuszonym obiegiem powietrza np. wentylatorem.
8. Wykonanie testu z prędkością obrotową $n_1=2500\text{rpm}$ i obciążeniem $T_2=41\text{Nm}$ przez 25min przy objętości oleju w przekładni zmniejszonej o 50ml.
9. Analiza zarejestrowanych podczas testu wartości temperatur oleju. Jeżeli zarejestrowane w czasie testu temperatury są niższe od temperatur zarejestrowanych podczas poprzedniego testu to należy ponownie usunąć z przekładni 50ml oleju i powtórzyć procedurę 6-9. Jeżeli temperatury są wyższe w porównaniu z wartościami temperatur uzyskanymi przy poprzednim teście to należy przerwać dalsze testy przyjmując że, osiągnięto optymalny poziom oleju.
10. Wykonać ponownie ten sam test dla innego rodzaju oleju.

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Przyjęto założenie, że optymalny poziom oleju jest osiągany dla zbioru najniższych zarejestrowanych temperatur w funkcji czasu i jednocześnie najwyższej osiągniętej sprawności w przeprowadzonych testach dla różnych objętości oleju w przekładni.

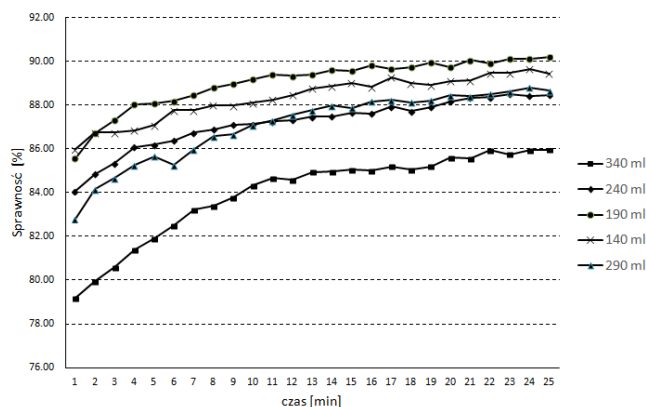
Zgodnie z przyjętą wyżej procedurą badań, wykonano testy dla oleju mineralnego. Wyniki w postaci wykresów temperatur w funkcji czasu przestawiono na rys.3.



Rys. 3. Zmiana temperatury oleju mineralnego w funkcji czasu dla różnych objętości

Po zakończeniu każdego z pięciu testu usuwano 50ml oleju mineralnego. Po przeprowadzeniu piątego testu przy objętości 140ml, zaobserwowano wzrost temperatury względem poprzedniego testu. Stosując opisane wyżej kryterium temperaturowe za optymalny poziom oleju przyjęto ten przy objętości 190ml.

Wykorzystanie zarejestrowanych wartości momentów według zależności (1) umożliwiło opracowanie wyników w postaci wykresów sprawności w funkcji czasu dla każdego z pięciu testów wykonanych dla oleju mineralnego (rys.4).

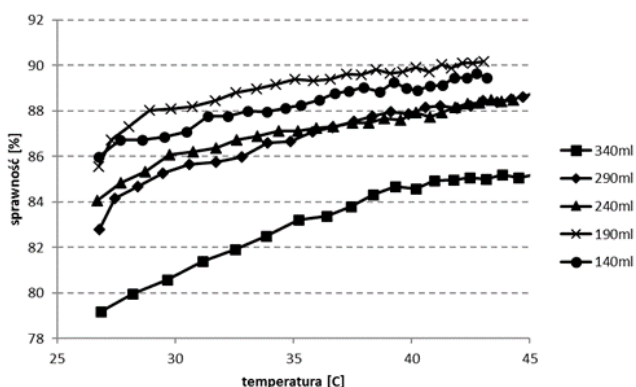


Rys. 4. Zmian sprawności w funkcji czasu dla różnych objętości oleju mineralnego

Przedstawione na rys.4 wyniki testów wskazują na stabilizację sprawności. Przyjęty czas pojedynczego testu 25min jest jednak zbyt krótki by można było jednoznacznie określić czy taka stabilizacja zostanie osiągnięta.

Przy określaniu optymalnego poziomu oleju według kryterium minimalnej temperatury i maksymalnej sprawności wykonano wykresy zmian sprawności w funkcji temperatury jak na rys.5 i rys.8.

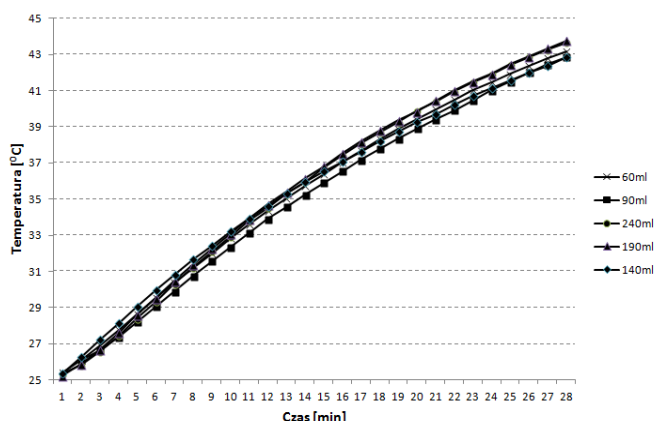
Na rys. 5 przestawiono wyniki otrzymane przy testach dla różnych objętości użytego oleju mineralnego.



Rys. 5. Zmiana sprawności w funkcji temperatury dla różnych objętości oleju mineralnego

Analizując wykres przedstawiony na rys.5. można określić optymalną objętość oleju mineralnego na 190ml.

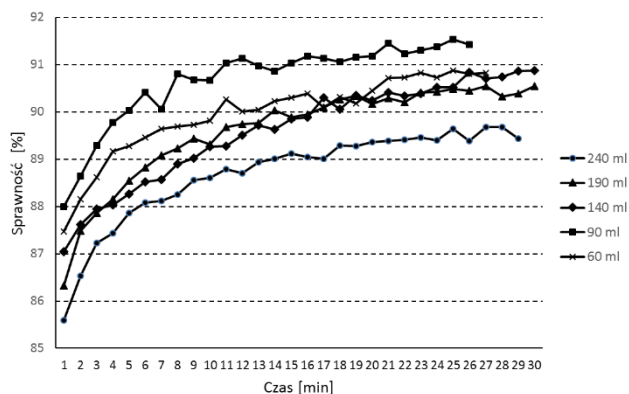
Po testach z olejem mineralnym, wykonano testy z olejem syntetycznym według tej samej procedury. Z uwagi jednak na wyniki analizy przeprowadzonej dla testów z olejem mineralnym, tym razem testy rozpoczęto nie od pełnego zalania przekładni olejem (340ml) lecz od objętości 240ml. Pomięcie testów przy objętości oleju 340ml i 290ml spowodowało przyspieszenie wyznaczenia optymalnego poziomu oleju.



Rys. 6. Zmiana temperatury oleju syntetycznego w funkcji czasu dla różnych objętości

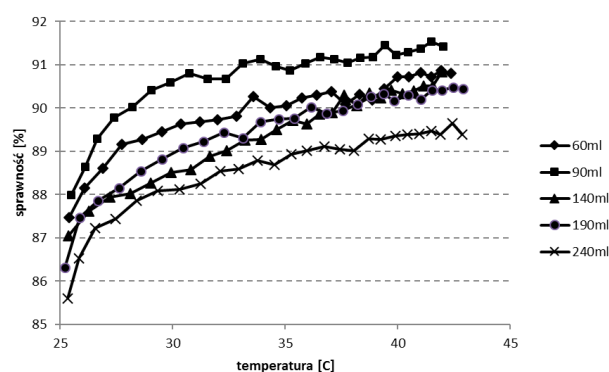
Rys.6 przedstawia zmianę temperatur w funkcji czasu podczas testów przekładni z olejem syntetycznym przy różnych objętościach. Analiza wyników wskazuje na najniższe zarejestrowane temperatury dla testu wykonanego z olejem syntetycznym o objętości 90ml.

Zarejestrowane wartości momentów użyto według zależności (1) do obliczeń sprawności w funkcji czasu dla każdego z pięciu testów wykonanych dla oleju syntetycznego (rys.7).



Rys. 7. Zmian sprawności w funkcji czasu dla różnych objętości oleju syntetycznego

Na rys. 8 przedstawiono wyniki otrzymane przy testach dla różnych objętości użytego oleju syntetycznego.



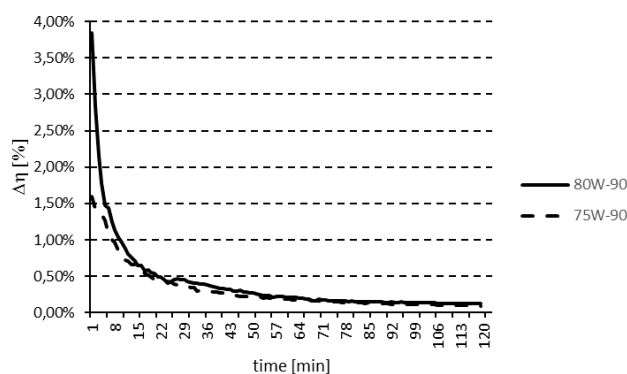
Rys. 8. Zmiana sprawności w funkcji temperatury dla różnych objętości oleju syntetycznego

Analizując wykres przedstawiony na rys.8. można określić optymalną objętość oleju syntetycznego na 90ml.

Przedstawione na rys.7 i rys.8 wyniki pomiarów wskazują na stabilizację sprawności z upływem czasu.

W celu wyznaczenia czasu potrzebnego do określenia stabilizacji sprawności wykonano testy przy tych samych parametrach obciążenia i prędkości z czasem akwizycji danych wynoszącym 120min. W testach użyto 90ml oleju 75W-90 i 190ml oleju 80W-90.

Na rys.9 przedstawiono zmianę przyrostu sprawności w funkcji czasu.



Rys. 9. Zmiana przyrostu sprawności w funkcji czasu z czasem akwizycji wynoszącym 120minut

Przyjmując za dostateczny poziom zmian sprawności równy 0,2% określono że, stabilizacja sprawności następuje po upływie 60 minut. Czas ten został określony dla przekładni w warunkach pracy ciągłej, ze stałym obciążeniem 41 Nm i prędkości 2500 obr/min dla obu rodzajów oleju.

PODSUMOWANIE

Optymalna objętość oleju w badanej jednostopniowej przekładni cykloidalnej, testowanej w warunkach stałego obciążenia 41 Nm i przy prędkości $n=2500$ rpm zależy od rodzaju użytego oleju. W przypadku zastosowania oleju mineralnego klasy GL4 wyniosła 190 ml, a dla oleju syntetycznego klasy GL5 wyniosła 90 ml.

W celu określenia optymalnego poziomu oleju stosując kryterium maksymalnej sprawności i minimalnej temperatury najkorzystniej jest analizować wykresy przedstawiające sprawność w funkcji temperatury.

Sprawność przekładni z olejem syntetycznym jest większa niż z olejem mineralnym o 2%.

Pamiętając o zależności sprawności od takich wielkości jak obciążenie, prędkość i temperatura pracy można przyjąć że wyznaczone z eksperymentu wartości sprawności są podobne do wartości sprawności teoretycznych bądź eksperymentalnych przekładni cykloidalnych zamieszczanych w publikacjach naukowych.

Wyznaczony czas stabilizacji sprawności został określony dla pracy przekładni w warunkach pracy ciągłej, ze stałym obciążeniem 41 Nm i prędkości 2500 rpm i wynosi 60 minut. Dla innego charakteru pracy przekładni, innej wartości obciążenia i prędkości czas stabilizacji może być inny.

BIBLIOGRAFIA

1. M. Chmurawa, Cycloidal gears with tooth modification (in Polish, Obiegowe przekładnie cykloidalne z modyfikacją ząbienia). Silesian Technical University, Zeszyty naukowe, Nr 1547, 2002.
2. Y.-W. Hwang and C.-F. Hsieh, "Geometric Design Using Hypotrochoid and Nonundercutting Conditions for an Internal Cycloidal Gear," J. Mech. Des., vol. 129, no. 4, p. 413, 2007.
3. S. K. Malhotra and M. A. Parameswaran, "Analysis of a cycloid speed reducer," Mechanism and Machine Theory, vol. 18, no. 6, pp. 491-499, 1983.
4. C. Gorla, P. Davoli, F. Rosa, C. Longoni, F. Chiozzi, and A. Samarani, "Theoretical and Experimental Analysis of a Cycloidal Speed Reducer," J. Mech. Des., vol. 130, no. 11, p. 112604, 2008.
5. J. W. Sensinger, "Efficiency of High-Sensitivity Gear Trains, Such as Cycloid Drives," J. Mech. Des., vol. 135, no. 7, p. 71006, 2013.
6. Mark Lee Johnson, "Gearbox Efficiency and Lubrication" Sumitomo Drive Technologies February 3, 2009.
7. M. Blagojevic, T. Mackic, Z. Babic, N. Kostic "Influence of the design parameters on cyclo driver efficiency", Journal of the Balkan Tribological Association Vol. 19, No4, 497-507 (2013).
8. V. N. Kudryavtsev, Palnetary transmission (in Russian). Leningrad: Mech. Eng., 1966.
9. Spalek J., Knapczyk H., Masły S., Wilk A.: Analiza wpływu smarowania na straty mocy w układzie przeniesienia napędu pojazdu gąsienicowego. Biuletyn SPG (19) nr 1, 2004, str. 23-38.
10. Olejarczyk K, Wikło M., Król K., Kołodziejczyk K "Obliczenia koła obiegowego metodą elementów skończonych" TTS 12/2015

Determination of optimum oil level on the basis of temperature and efficiency criteria for cyclo gear prototype.

Cyclo gear design requires the use of an appropriate amount of lubricant, and the respective properties.

The article presents an analysis of the impact of the amount of used lubricant: mineral oil and synthetic oil, on its temperature and the efficiency of the prototype Cyclo gear.

Autorzy:

dr inż. **Krzysztof Olejarczyk** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Instytut Mechaniki Stosowanej i Energetyki, e-mail: k.olejarczyk@uthrad.pl,

dr inż. **Marcin Wikło** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Instytut Mechaniki Stosowanej i Energetyki, e-mail: m.wiklo@uthrad.pl

dr hab. inż. **Kazimierz Król** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Instytut Mechaniki Stosowanej i Energetyki, e-mail: k.krol@uthrad.pl

dr inż. **Krzysztof Kołodziejczyk** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Instytut Mechaniki Stosowanej i Energetyki, e-mail: k.kolodziejczyk@uthrad.pl