

Jacek **SPAŁEK**  
Maciej **KWAŚNY**

## DIAGNOSTYCZNA WERYFIKACJA WPLYWU LEPKOŚCI OLEJU SMARUJĄCEGO NA PRACĘ PRZEKŁADNI ZĘBATEJ

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono zagadnienie wspomagania doboru optymalnej klasy lepkościowej oleju smarującego do walcowej przekładni zębatej poprzez zastosowanie analizy drganiowej. Dla pracującej w elektrociepłowni w układzie napędowym przenośnika taśmowego przekładni smarowanej olejem maszynowym o zbyt niskiej klasie lepkości (VG ISO 46) dokonano w wybranych punktach obudowy pomiaru drgań stwierdzając ich podwyższony poziom. Zaproponowano więc zastosowanie oleju przekładniowego o klasie lepkości VG 150, co jak wykazały wyniki badań spowodowało obniżenie amplitudy drgań (a zatem i hałasu) generowanych przez przekładnię oraz obniżenie ustalonej temperatury roboczej oleju o około 15%. Zaprezentowany w artykule praktyczny przykład dokumentuje możliwość zastosowania diagnostyki drganiowej jako metody wspomagania w procesie optymalizacji doboru oleju do smarowania przemysłowych przekładni zębatych.

**Słowa kluczowe:** przekładnie zębate, diagnostyka drganiowa, dobór oleju smarującego.

### 1. WPROWADZENIE

Optymalizacja doboru oleju do smarowania przekładni zębatych napędów maszyn stacjonarnych oraz mobilnych (w tym o dużym stopniu wyężenia pojazdów gąsienicowych) stanowi jedno z głównych kryteriów determinujących ich funkcjonalność, niezawodność i trwałość eksploatacyjną. Na tym etapie tworzenia konstrukcji przekładni (projektowania) podstawę doboru rodzaju i właściwości fizykochemicznych oleju (w tym głównie klasy lepkości) stanowią zasady wynikające z teorii i praktyki smarowania określanej często pojęciem inżynierii smarowania [2, 9]. Natomiast weryfikacja poprawności dokonanego wyboru oleju smarującego może być przeprowadzona w procesie użytkowania przekładni z wykorzystaniem metod szczegółowych określonych w tribometrii [5] bądź coraz szerzej stosowanych systemów diagnostyki wibroakustycznej i/lub diagnostyki termicznej [3, 10].

Stan wibroakustyczny przemysłowych przekładni zębatych pracujących w układach napędowych maszyn i urządzeń (np. przenośników taśmowych) stanowi jedno z głównych kryteriów ich oceny eksploatacyjnej.

Generowane przez przekładnię drgania mogą być rozpatrywane w ujęciu zmierzającym do określenia obciążeń dynamicznych elementów (zazębienia, łożyskowania, wały) projektowanej przekładni [8] bądź w ujęciu diagnostycznym, a więc służących do określenia bieżącego i prognozowanego stanu technicznego przekładni użytkowanej w napędzie maszyny roboczej.

Współczesne metody projektowania przekładni zębatych [6] oraz wytyczne normy międzynarodowej ISO 6336 [7] wymagają dokładnego określenia obciążeń dynamicznych przekładni, wynikających zarówno ze stochastycznych wymuszeń zewnętrznych, jak też sił dynamicznych generowanych w zazębieniach czy łożyskowaniach. Uwzględnienie zmienności obciążenia zewnętrznego oraz sił dynamicznych „wewnętrznych” w stopniu możliwie najbardziej zbliżonym do rzeczywistości wymaga zazwyczaj przeprowadzenia

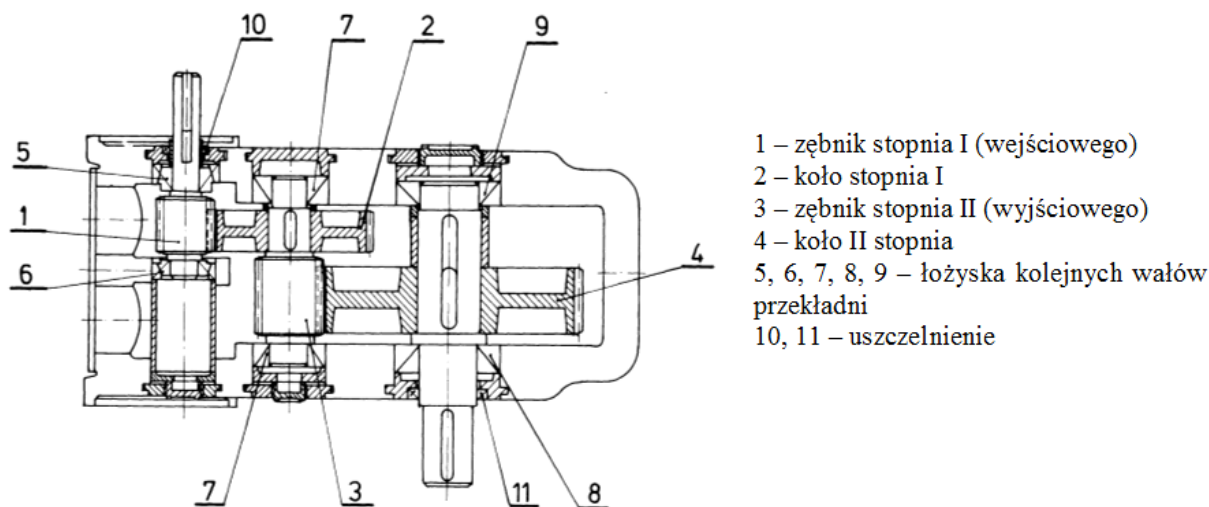
badan eksploatacyjnych i stanowiskowych. Celem tych badań, w ujęciu normy ISO 6336, jest określenie odpowiedniej wartości współczynnika zastosowania  $K_A$  oraz sił dynamicznych  $K_V$  wyrażających w sposób uśredniony wzrost obciążenia obliczeniowego względem obciążenia nominalnego.

Z kolei dla oceny przekładni analiza zarejestrowanych sygnałów drganiowych może stanowić obiektywne kryterium diagnozowania jej stanu eksploatacyjnego [4] oraz być podstawą do prognozy jej dalszego użytkowania [1, 3].

Jednym z istotnych czynników mających wpływ na wymienione wyżej kryteria oceny eksploatowanej przekładni jest jakość jej smarowania [2, 9] zdeterminowana głównie przez właściwości fizykochemiczne zastosowanego oleju.

## 2. BADANIA DRGAŃ PRZEKŁADNI ZĘBATEJ JAKO FUNKCJI RODZAJU OLEJU SMARUJĄCEGO

Obserwacja procesu użytkowania układu napędowego przenośnika taśmowego transportującego węgiel do zasobnika kotła w elektrowni wskazywała na wzmożony generowany poziom drgań i hałasu oraz temperatury przekładni zębatej tego napędu (rys. 1). Postawiono tezę, że przyczynę stanowi niewłaściwy dobór rodzaju i klasy lepkości (zbyt niskiej) oleju smarującego, którym był olej maszynowy AN-46. Podjęto decyzję o zastosowaniu olejów o wyższej lepkości tj. maszynowego AN-68 oraz następnie oleju przekładniowego TRANSOL VG 150.



**Rys. 1. Schemat dwustopniowej przekładni zębatej typu WD-500 przenośnika taśmowego**

Wprowadzając te zmiany dokonywano jednocześnie identyfikacji poziomu drgań stosując przenośny miernik drgań typu MD-5U, który tworzyły:

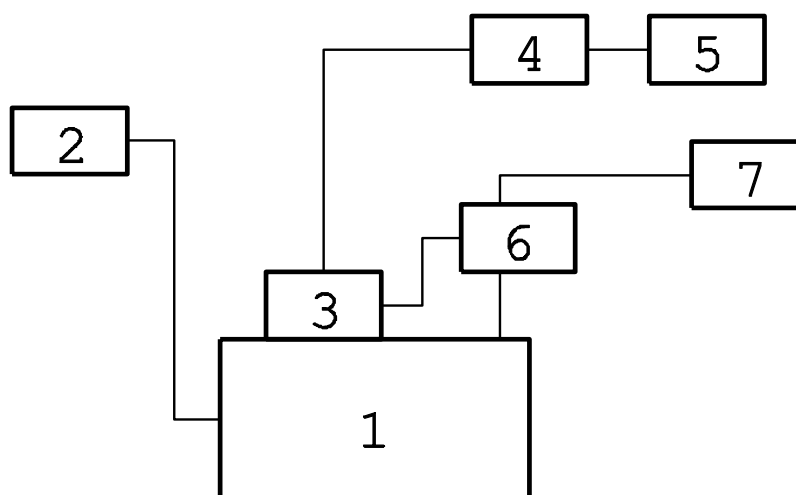
- wzmacniacz,
- analizator i rejestrator sygnałów pomiarowych.

Główne parametry miernika to:

- zakres częstotliwości  $10 \div 1000$  Hz,
- zakres pomiarowy prędkości drgań  $0 \div 200$  mm·s<sup>-1</sup>,
- zakres pomiarowy amplitudy przemieszczenia  $0 \div 2000$  μm.

Dokładność pomiarowa odpowiadała wymaganiom normy ISO 2954, co stwierdzono w przeprowadzonym cechowaniu z wykorzystaniem stolika wibracyjnego i generatora mocy PO-21 sprzężonych z kontrolnym czujnikiem Brüel-Kjaer oraz cechowanym czujnikiem miernika MD-5U (rys. 2).

Badania drgań przeprowadzono w porównywalnych warunkach obciążenia przenośnika (a zatem i przekładni) w okresie czasu od dokonania rozruchu aż do ustalonej temperatury pracy przekładni.



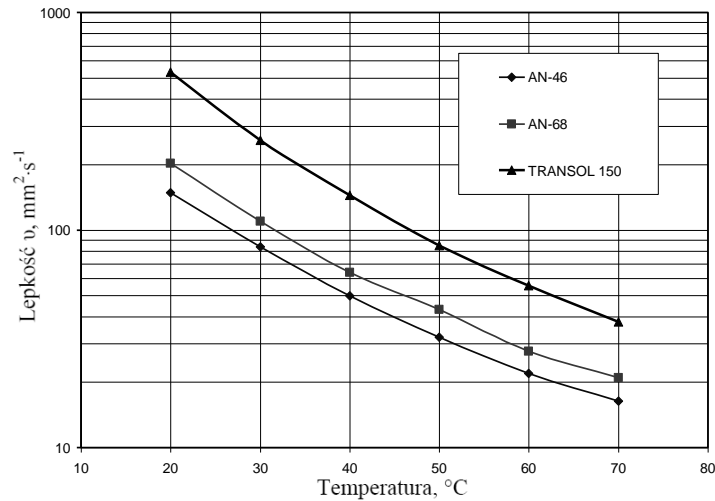
**Rys. 2. Schemat blokowy układu wzorcowania przyrządu MD-5U:**

1 – stół wibracyjny typu ESE-201, 2 – generator mocy PO-21,  
3 – akcelerometr firmy Brüel-Kjaer typu 4332, 4 – wzmacniacz ładunku  
czujników piezoelektrycznych typu 2834 firmy Brüel-Kjaer,  
5 – multimetr BM-837-RS, 6 – czujnik drgań CS-110,  
7 – przyrząd pomiarowy MD-5U

Z uwagi na dostępność usytuowania czujnika drgań, jako punkty pomiarowe wybrano obudowę łożyska wału wejściowego (poz. 6, rys. 1), obudowę łożyska wału pośredniego (poz. 7, rys. 1) oraz obudowę łożyska wału wolnoobrotowego (wyjściowego) przekładni (poz. 8, rys. 1). W przyjętych punktach mierzono amplitudę drgań (w  $\mu\text{m}$ ). Równocześnie dokonywano pomiaru temperatury oleju smarującego jako funkcji czasu pracy przekładni. Zmierzona temperatura oleju służyła do określenia lepkości kinematycznej (w  $\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ) na podstawie wcześniej wyznaczonych charakterystyk lepkościowo-temperaturowych przyjętych olejów smarujących.

### 3. WYNIKI BADAŃ

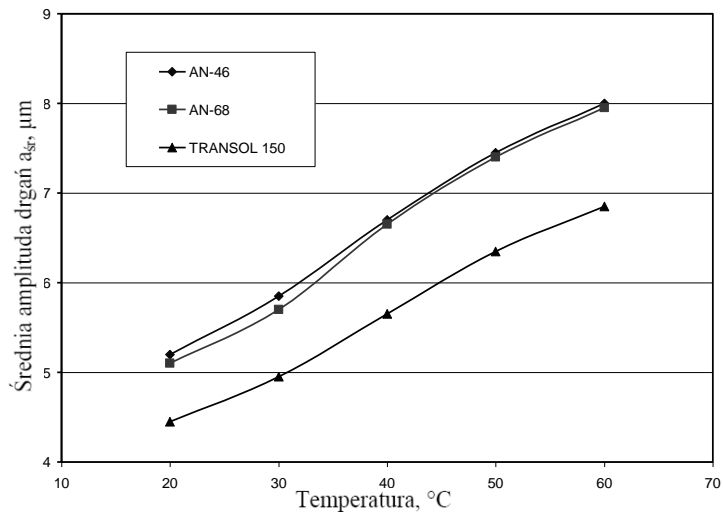
Na rysunku 3 przedstawiono uzyskane w badaniach przykładowe wyniki obrazujące zmienność lepkości oleju smarującego w funkcji zmiany temperatury pracy przekładni.



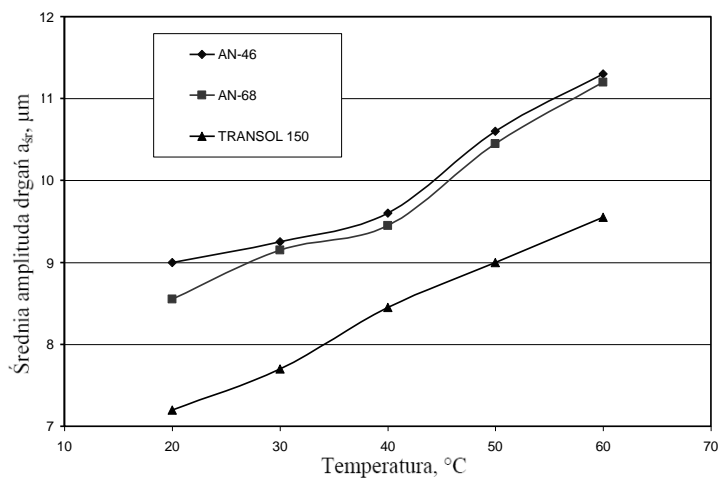
**Rys. 3. Lepkość oleju smarującego jako funkcja temperatury pracy przekładni**

Natomiast rysunek 4 przedstawia zmianę amplitudy drgań zmierzonej na obudowie wału pośredniego (a) oraz na obudowie wału wolnoobrotowego (b) w funkcji zmiany temperatury pracy przekładni.

a)



b)



**Rys. 4. Amplituda drgań jako funkcja temperatury pracy przekładni: a – dla wału pośredniego, b – dla wału wolnoobrotowego**

#### 4. PODSUMOWANIE

Warunki smarowania przekładni określone głównie przez lepkość zastosowanego oleju wpływają w istotny sposób na poziom drgań oraz temperaturę pracy przekładni zębatej układu napędowego przenośnika taśmowego.

Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowanie do smarowania dwustopniowej przekładni czołowej napędu przenośnika taśmowego, oleju przekładniowego TRANSOL VG-150 o lepkości około trzykrotnie większej od lepkości oleju maszynowego AN-46 i AN-68 spowodowało spadek amplitudy drgań o około 15%.

Temperatura przekładni zębatej smarowanej olejem TRANSOL 150 po trzech godzinach cyklu pracy ustalała się na poziomie 54°C, a dla pozostałych olejów sięgała nawet zakładanej dla przekładni tego przenośnika granicznej temperatury wynoszącej 70°C.

Ponadto należy podkreślić, że stwierdzone doświadczalnie obniżenie poziomu drgań i temperatury w konsekwencji przyczynia się do podwyższenia trwałości tribologicznej elementów przekładni, a więc ząbów i łożyskowań, a także powoduje spowolnienie procesu degradacji właściwości użytkowych oleju smarującego.

#### 5. LITERATURA

- [1] Bartelmus W.: Diagnostyka maszyn górniczych. Górnictwo odkrywkowe. Wyd. Śląsk, Katowice 1998.
- [2] Bartz W. J.: Einführung in die Tribologie und Schmierungstechnik. Tribologie – Schmierstoffe – Anwendungen. Expert Verlag, Renningen 2010.
- [3] Cempel C., Żółtowski B.: Inżynieria diagnostyki maszyn. Wyd. ITE, Radom 2004.
- [4] Dąbrowski Z., Radkowski S., Wilk A.: Dynamika przekładni zębatych. Wyd. ITE, Radom 2000.
- [5] Jünemann H. i in.: Tribometrie. Expert Verlag, Renningen 1997.
- [6] Müller L.: Przekładnie zębate – projektowanie. WNT, Warszawa 1996.
- [7] Norma ISO 6336: Calculation of load capacity of spur and helical gears. Part 1....5, Wyd. 1994 r.
- [8] Skoć A.: Dynamika przekładni stożkowych maszyn górniczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 1317, Górnictwo z. 226, Gliwice 1996.
- [9] Spalek J.: Zarys tribologii i inżynierii smarowania. Rozdział 2, str. 79-143 w Podstawy konstrukcji maszyn. Tom 2. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2008.
- [10] Spalek J., Kwaśny M., Spalek S.: Stan termiczny i drgania przekładni zębatej przenośnika taśmowego jako funkcja smarowania. Tribologia, nr 5/2010 (233). ISSN 0208-7774, str. 285-294.

## **DIAGNOSTIC VERIFICATION OF THE USE OF OIL TO LUBRICATE TOOTHED GEAR**

**Abstract.** The paper presents problem of supporting the selection of optimum viscosity grade lubricating oil to the cylindrical gear by using vibration analysis. For power plants operating in the conveyor belt drive system with machine oil lubricated gearbox with too low viscosity grade (ISO VG 46) were made at selected points casing vibration measurements by stating their elevated levels. Therefore proposed the use of gear oil viscosity grade VG 150, which as studies have shown reduced the amplitude (and therefore noise) generated by the transmission, and reduce the oil temperature is about 15%. Presented a practical example in the article documents the possibility of using vibration diagnosis as a method of support in the process of optimizing the selection of oil for the lubrication industrial toothed gears.

**Key words:** gears, vibration diagnosis, selection of lubricating oil.