

Seweryn SPAŁEK\*, Maciej KWAŚNY\*\*, Jacek SPAŁEK\*\*

## **DIAGNOSTYKA DRGANIOWA JAKO METODA WSPOMAGANIA DOBORU OLEJU DO SMAROWANIA PRZEKŁADNI ZĘBATEJ**

### **VIBRATION DIAGNOSTICS AS A METHOD OF SUPPORT FOR OIL TO LUBRICATE A TOOTHED GEAR**

#### **Słowa kluczowe:**

przekładnie zębate, diagnostyka drganiowa, dobór oleju smarującego

#### **Key words:**

gears, vibration diagnosis, selection of lubricating oil

#### **Streszczenie**

W opracowaniu przedstawiono zagadnienie wspomaganie doboru optymalnej klasy lepkościowej oleju smarującego do walcowej przekładni zębatej poprzez zastosowanie analizy drganiowej. Dla pracującej

---

\* Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania, Instytut Ekonomii i Informatyki, ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze, Polska, tel.: (32) 277 73 59, e-mail: spalek@polsl.pl

\*\* Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Mechanizacji Górnictwa, ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska, tel./fax.: (32) 237 15 84, e-mail: maciej.kwasny@polsl.pl, e-mail: jacek.spalek@polsl.pl

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 wspomaganie w procesie optymalizacji doboru oleju do smarowania przemysłowych przekładni zębatych.

## WPROWADZENIE

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 [L. 8] bądź w ujęciu diagnostycznym, a więc służących dla określenia bieżącego i prognozowanego stanu technicznego przekładni użytkowanej w napędzie maszyny roboczej.

Współczesne metody projektowania przekładni zębatych [L. 5, 6] oraz wytyczne normy międzynarodowej ISO 6336 [L. 7] wymagają dokładnego określenia obciążeń dynamicznych przekładni, wynikających zarówno ze stochastycznych wymuszeń zewnętrznych, jak też sił dynamicznych generowanych w zazębeniach czy łożyskowaniach. Uwzględnienie zmienności obciążenia zewnętrznego oraz sił dynamicznych „wewnętrznych” w stopniu możliwie najbardziej zbliżonym do rzeczywistości wymaga zazwyczaj przeprowadzenia badań 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.

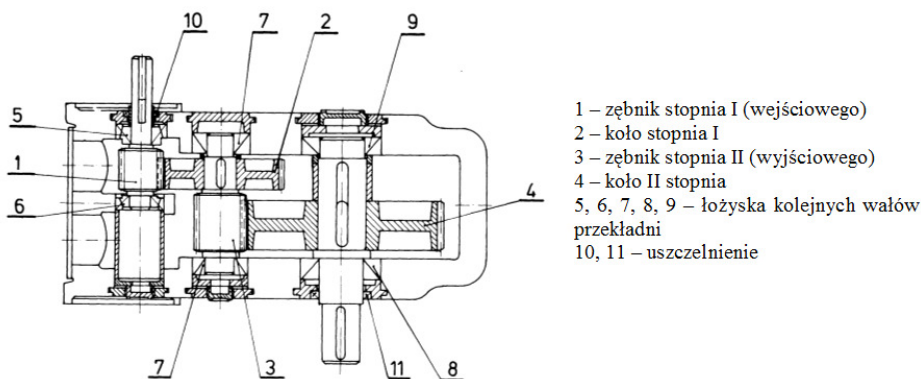
Z kolei dla oceny przekładni analiza zarejestrowanych sygnałów drganiowych może stanowić obiektywne kryterium diagnozowania jej stanu eksploatacyjnego [L. 4] oraz być podstawą do prognozy jej dalszego użytkowania [L. 1, 3].

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

Opracowanie niniejsze stanowi rozwinięcie publikacji autorów zamieszczonej w Tribologii nr 5/2010 [L. 10].

## 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 zbyt niskiej klasy lepkości 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**

Fig. 1. The toothed gear scheme of belt conveyor drive

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

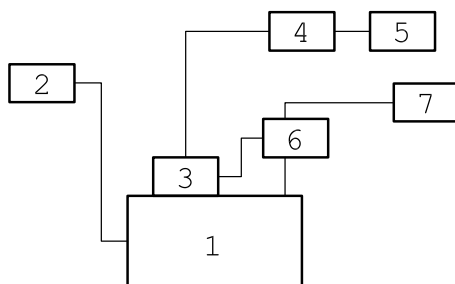
- wzmacniacz,
- analizator i rejestrator sygnałów pomiarowych.

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 od dokonania rozruchu aż do ustalonej temperatury pracy przekładni.



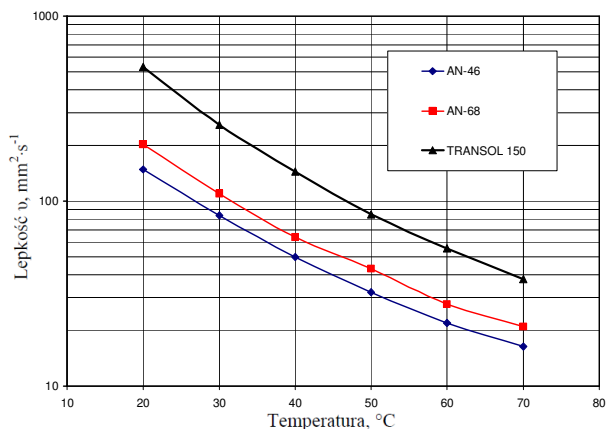
**Rys. 2.** Schemat blokowy układu wzorcowania przyrządu MD-5U: 1 – stół wibracyjny typu ESE-201, 2 – generator mocy PO-21, 3 – akcelerometr firmy Brüel-Kjaer typu 4332, 4 – wzmacniacz ładunku czujników piezoelektrycznych typu 2834 firmy Brüel-Kjaer, 5 – multimetr BM-837-RS, 6 – czujnik drgań CS-110,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

Fig. 2. Block diagram of the instrument calibration 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 μm). Równocześnie dokonywano pomiaru temperatury oleju smarującego jako funkcji czasu pracy przekładni. Zmierzona temperatura oleju służyła do określenia lepkości kinematycznej (w mm<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>) na podstawie wcześniej wyznaczonych charakterystyk lepkościowo-temperaturowych przyjętych olejów smarujących.

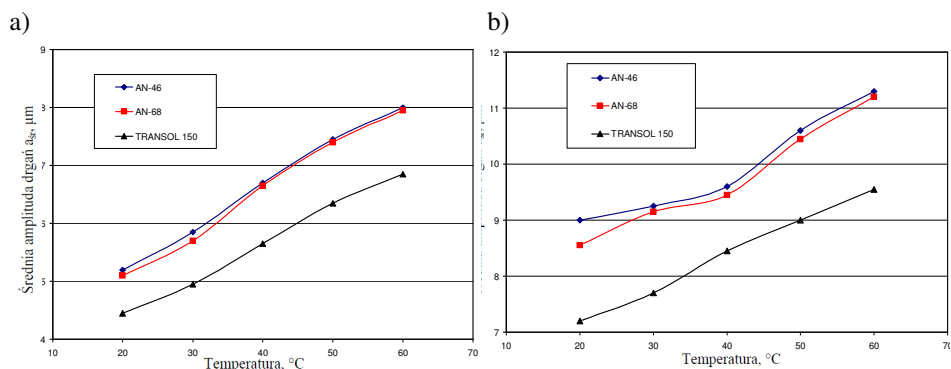
## WYNIKI BADAŃ

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**  
Fig. 3. Oil viscosity as function of temperature of transmission

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.



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

Fig. 4. Amplitude of vibrations as function of temperature of transmission

## 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.

## LITERATURA

1. Bartelmus W.: Diagnostyka maszyn górniczych. Górnictwo odkrywkowe. Wyd. Śląsk, Katowice 1998.
2. Bartz W. J.: Einfuehrung in die Tribologie und Schmierungstechnik. Tribologie – Schmierstoffe – Anwendungen. Expert Verlag, Renningen 2010.
3. Cempel C., Tomaszewski F.: Diagnostyka maszyn. Zasady ogólne, przykłady zastosowań. Wydawnictwo MCNEMT, Radom 1992.
4. Dąbrowski Z., Radkowski S., Wilk A.: Dynamika przekładni zębatych. Wyd. ITeE – PIB, Radom 2000.
5. Jaśkiewicz Z., Wąsiewski A.: Przekładnie walcowe. Cz. II – projektowanie. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1995.
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.
8. Skoć A.: Dynamika przekładni stożkowych maszyn górniczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 1317, Górnictwo, z. 226, Gliwice 1996.

9. Spątek J.: Problemy inżynierii smarowania maszyn w górnictwie. Monografia 57. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
10. Spątek J., Kwaśny M., Spątek S.: Stan termiczny i drgania przekładni zębatej przenośnika taśmowego jako funkcja smarowania. Tribologia, nr 5/2010 (233), s. 285–294.

**Recenzent:**  
**Janusz JANECKI**

### Summary

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