

Renata WALCZAK

Politechnika Warszawska

Grzegorz GOLENIEWSKI, Krzysztof JASIŃSKI

Antoni Waldemar KORYTKOWSKI

Polski Koncern Naftowy ORLEN S.A.

Rafał ŻÓŁTOWSKI

Basell Orlen Polyolefins Sp. z o.o.

WPLYW MIEJSCA MOCOWANIA CZUJNIKÓW DRGAŃ NA SKUTECZNOŚĆ MONITOROWANIA STANU ŁOŻYSK TOCZNYCH PRZEKŁADNI ZĘBATEJ

Słowa kluczowe

Diagnostyka, diagnostyka łożysk, łożysko, czujniki drgań.

Streszczenie

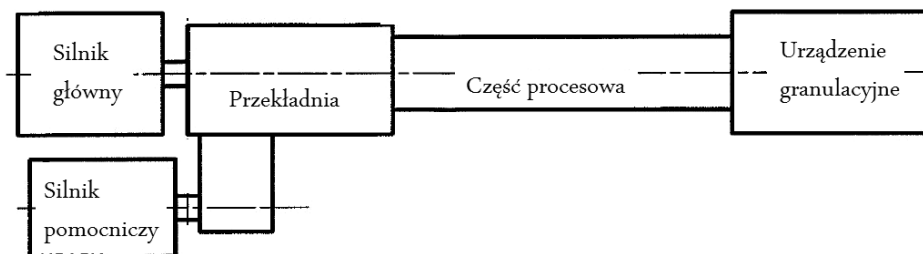
W pracy przedstawiono analizę problemu rozmieszczenia czujników przeznaczonych do monitorowania stanu przekładni wytłaczarki polimeru. Czujniki zostały zainstalowane przez producenta na korpusie przekładni. Sygnał diagnostyczny z czujników przekazywany był do systemu sterowania. Po porównaniu oraz powiązaniu uszkodzeń w maszynie z zarejestrowanymi w systemie monitorowania zdarzeniami stwierdzono, że sygnał prędkości drgań otrzymywany z czujników zamontowanych w maszynie jest niewystarczający do śledzenia stanu maszyny. Analiza problemu doprowadziła do zainstalowania czujników dających na wyjściu sygnał przyspieszeń drgań o szerokim zakresie częstotliwości zamiast czujników prędkości drgań oraz umieszczenie ich bezpośrednio na obudowach łożyskowych.

Wprowadzenie

Celem artykułu jest przedstawienie studium przypadku nieprawidłowego zainstalowania czujników przeznaczonych do monitorowania drgań przekładni zębatej wchodzącej w skład zespołu napędowego wylączarki polipropylenu. W wylączarce proszek polimerowy z dodatkami jest homogenizowany, a następnie granulowany.

Przekładnia eksploatowana jest w jednej z największych na świecie instalacji do produkcji polipropylenu (wydajność ok. 50 ton granulatu na godzinę). Linia technologiczna granulacji (rys. 1) ma długość ok. 35 m.

Napędem głównym jest silnik synchroniczny o mocy 12,1MW. Obroty wyjściowe regulowane są silnikiem pomocniczym o mocy 2,4 MW zasilanym poprzez falownik. Przekładnia posiada 20 różnego rodzaju przełożeń, 48 łożysk tocznych; waży ok. 103 tony; masa oleju smarującego ok. 7 ton.



Rys. 1. Schemat blokowy wylączarki polipropylenu

1. Sposób nadzoru nad stanem dynamicznym

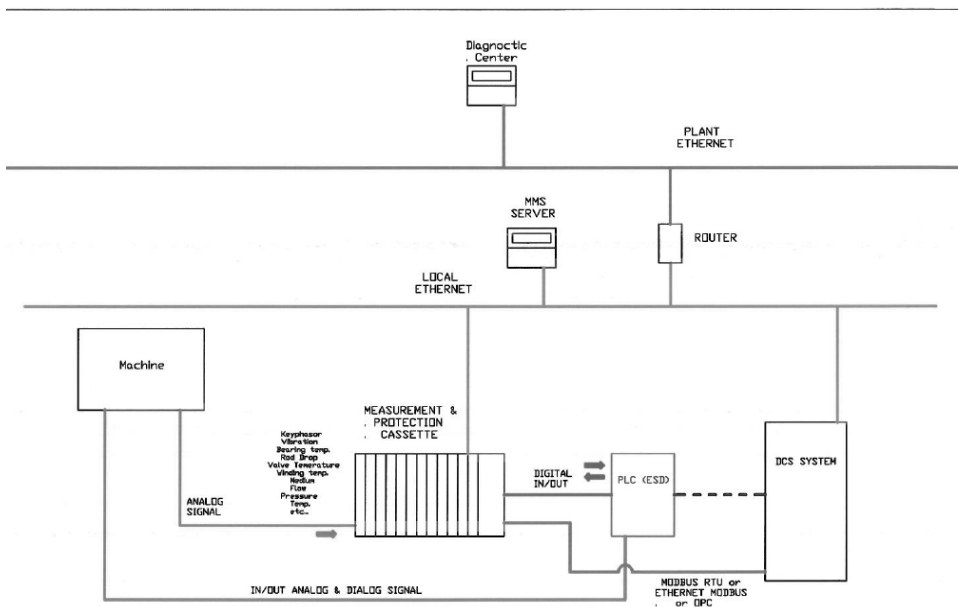
Zestaw wylączarki polimeru (extruder) zaliczany jest do maszyn krytycznych, warunkujących ciągłość produkcji. Monitorowany jest w sposób ciągły układem pomiarowo-zabezpieczającym posiadającym możliwość archiwizowania pomiarów oraz wykonywania zaawansowanych analiz diagnostycznych. Podstawowe wielkości pomiarowe przekazywane są bezpośrednio do nadrzędnego systemu sterowania pracą instalacji – DCS (rys. 2). Maszynę dostarczono z kilkudziesięcioma czujnikami drgań absolutnych. Przekładnię redukcijną wyposażono w 22 czujniki piezoelektryczne umożliwiające pomiar prędkości drgań w zakresie 4,5÷5000 Hz. Większość z nich została zabudowana na korpusie przekładni. Na rys. 3 przedstawiono miejsca rozmieszczenia czujników drgań.

2. Awaria maszyny

W grudniu 2005 roku (po półrocznej pracy od chwili uruchomienia instalacji) podczas stabilnej pracy maszyny zauważono wydobywający się z obudowy dźwiękochłonnej przekładni dym oraz zmieniony emitowany przez maszynę hałas. Maszynę wyłączono z ruchu.

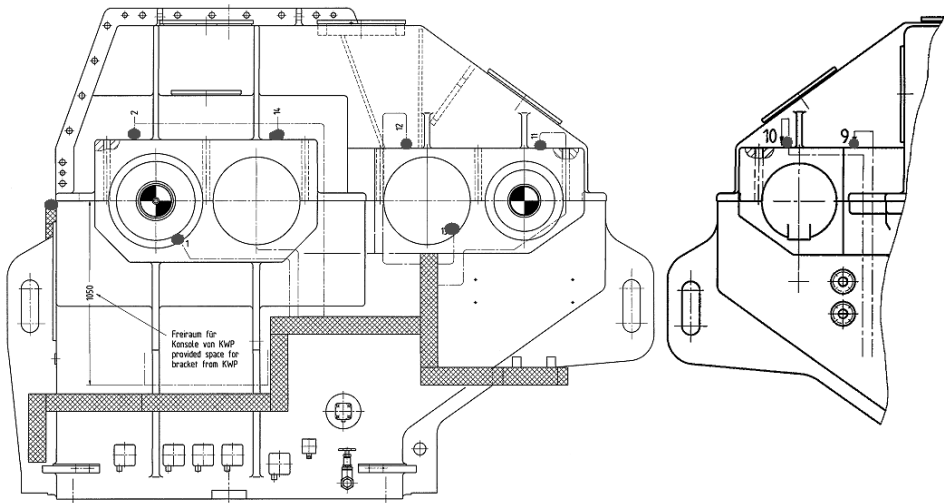
Późniejsza analiza danych oraz zdarzeń zarejestrowanych w systemie monitorowania pokazała, że do chwili zatrzymania nie wystąpiły żadne stany odbiegające od normalnej pracy. Jedyną zarejestrowaną informacją w trendowanych wartościach był pikowy wzrost poziomu drgań w chwili zdarzenia (rys. 4).

Po zatrzymaniu maszyny przeprowadzono analizę czystości oleju smarującego. Olej w próbce miał kolor grafitowy i był poza klasą oznaczalności.

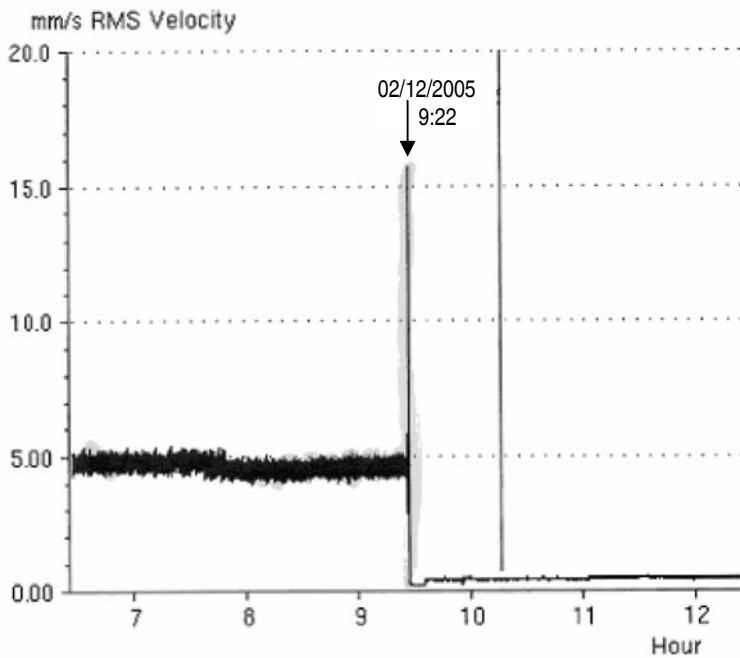


Rys. 2. Schemat systemu monitorowania przedstawiony w systemie DCS stosowanego do nadzoru parametrów oceniających stan dynamiczny wylączarki polipropylenu

Po demontażu przekładni okazało się, że przyczyną zmian hałasów oraz wydobywającego się dymu z obudowy dźwiękochłonnej przekładni było uszkodzenie się jednego z łożysk wału pośredniego I o przekładni. Uszkodzenia: wyłamany kawałek bieżni wewnętrznej łożyska, zatarty czop wału pod łożyskiem, zniszczony dystrybutor oleju zasilający łożysko. Pierścień osadczy zabezpieczający łożysko leżał na dnie przekładni. W innych łożyskach również zaobserwowano uszkodzenia.



Rys. 3. Rozmieszczenie czujników drgań na obudowie przekładni wylączarki polipropylenu (widok od strony napędu)

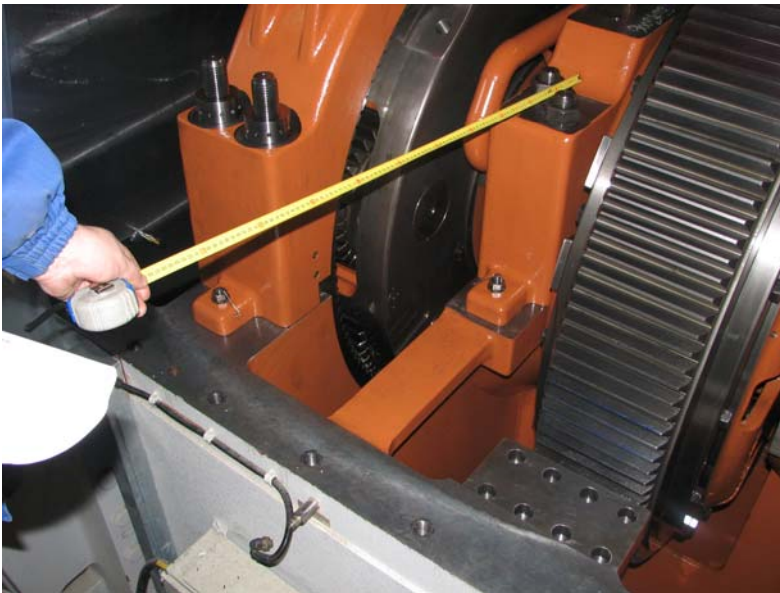


Rys. 4. Poziom drgań przekładni zarejestrowany w systemie monitorowania

Zatrzymanie maszyny, niezdolność do dalszej eksploatacji oraz rozmiar uszkodzeń w maszynie zakwalifikowano jako AWARIĘ.

Po porównaniu oraz powiązaniu uszkodzeń w maszynie z zarejestrowanymi w systemie monitorowania zdarzeniami stwierdzono, że sygnał prędkości drgań otrzymywany z czujników zamontowanych w maszynie jest niewystarczający do śledzenia stanu oraz zmian generowanych przez łożyska, czy też zazębienia skomplikowanej, jeśli chodzi o kinematykę, przekładni. Stwierdzono również zbyt odległe zamocowanie czujników drgań w stosunku do monitorowanych elementów przekładni. Przykład jednego z miejsc zamocowania czujników drgań przedstawiono na fotografii na rys. 5.

Z analizy rodzaju oraz rozmiaru uszkodzeń wynika, że uszkodzenia tego typu powinny być poprzedzone zmianą poziomu jak i składu widmowego sygnałów drganiowych.



Rys. 5. Zamocowanie czujnika drgań na obudowie przekładni w odległości ok. 0,75 m od łożyska

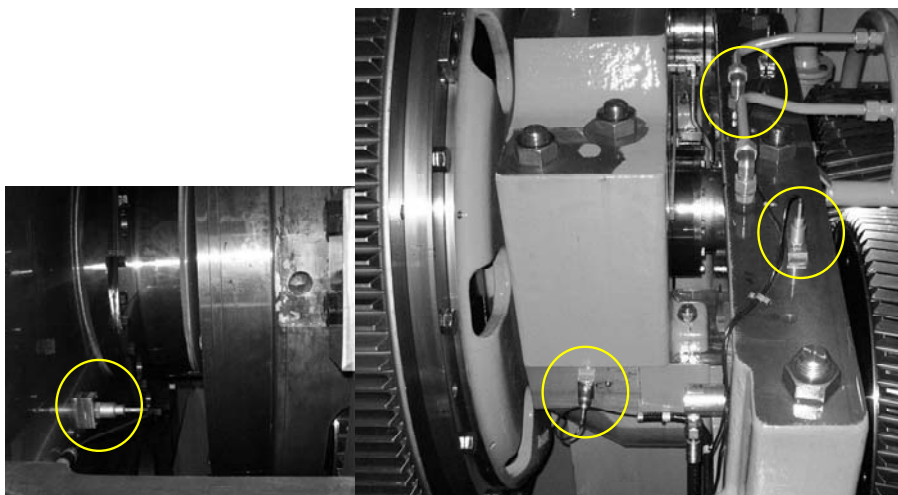
3. Podstawowe zasady monitorowania stanu łożysk tocznych oraz zazębienia przekładni zębatych

Procesy rozprzestrzeniania się drgań w ośrodkach sprężystych polegają na propagacji drgań cząstek wokół położenia równowagi. Drgania o wyższej częstotliwości w zależności od współczynnika tłumienia ośrodka tłumione są wcześniej niż drgania o niższych częstotliwościach [1]. W przypadku diagnostyki

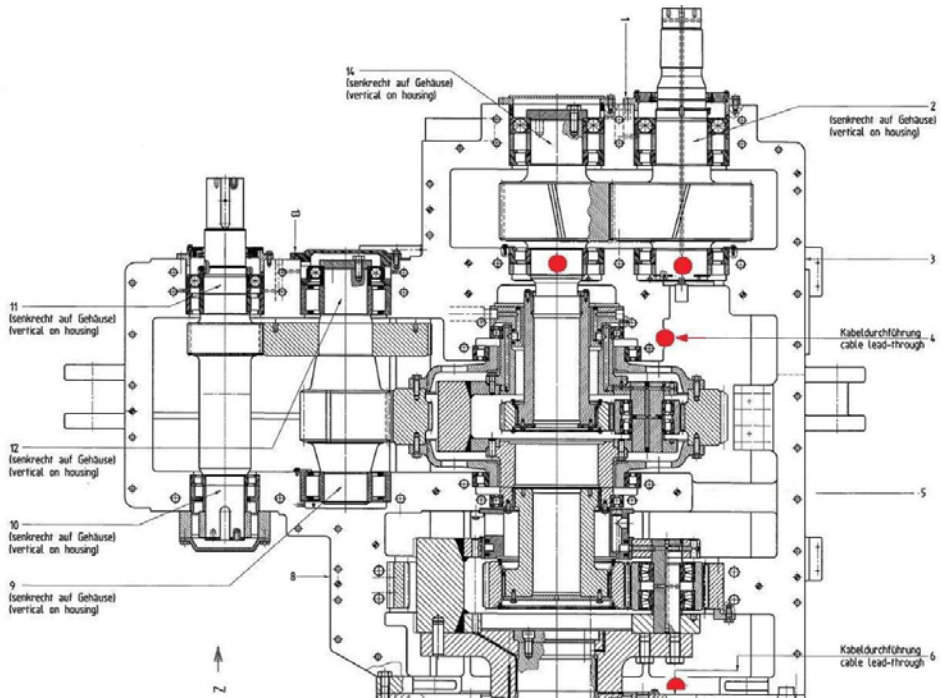
łożysk konieczne jest obserwowanie pasm wyższej częstotliwości, ponieważ uszkodzenia łożysk ujawniają się właśnie w wyższych częstotliwościach. Zwiększenie energii drgań w wyższych częstotliwościach nie zawsze jest możliwe do zauważenia w przypadku obserwacji ogólnego poziomu drgań. Konieczne jest zatem umieszczanie czujników drgań jak najbliżej monitorowanych łożysk w celu uniknięcia zmniejszania się energii sygnału wysokich częstotliwości i możliwości zagłuszania informacji diagnostycznej przez inne składowe sygnały wibroakustycznego. Pomiar i analiza sygnału w wysokich częstotliwościach umożliwia dużo wcześniejsze wykrycie zmian zachodzących w łożyskach niż w przypadku pomiaru tylko ogólnego poziomu drgań w szerokim paśmie częstotliwości. Sygnałem, w którym najwcześniej ujawniają się uszkodzenia, jest sygnał przyspieszeń drgań. Analiza sygnału prędkości scałkowanego z sygnału przyspieszeń może powodować utratę informacji diagnostycznej [2].

4. Podjęte działania

Zdecydowano o zmianie rodzaju czujników na czujniki dające na wyjściu sygnał przyspieszeń drgań w znacznie szerszym zakresie częstotliwości ($1 \div 10000$ Hz). Zmieniono również miejsca mocowania akcelerometrów na bezpośrednio na obudowach łożysk. Możliwości techniczne i organizacyjne podczas remontu poawaryjnego pozwoliły na zainstalowanie tylko 4 akcelerometrów (fotografia na rys. 6 oraz lokalizacja przedstawiona na rys.7).



Rys. 6. Zamocowanie czujników drgań bezpośrednio na obudowach łożyskowych



Rys. 7. Lokalizacja miejsc zamocowania czujników drgań

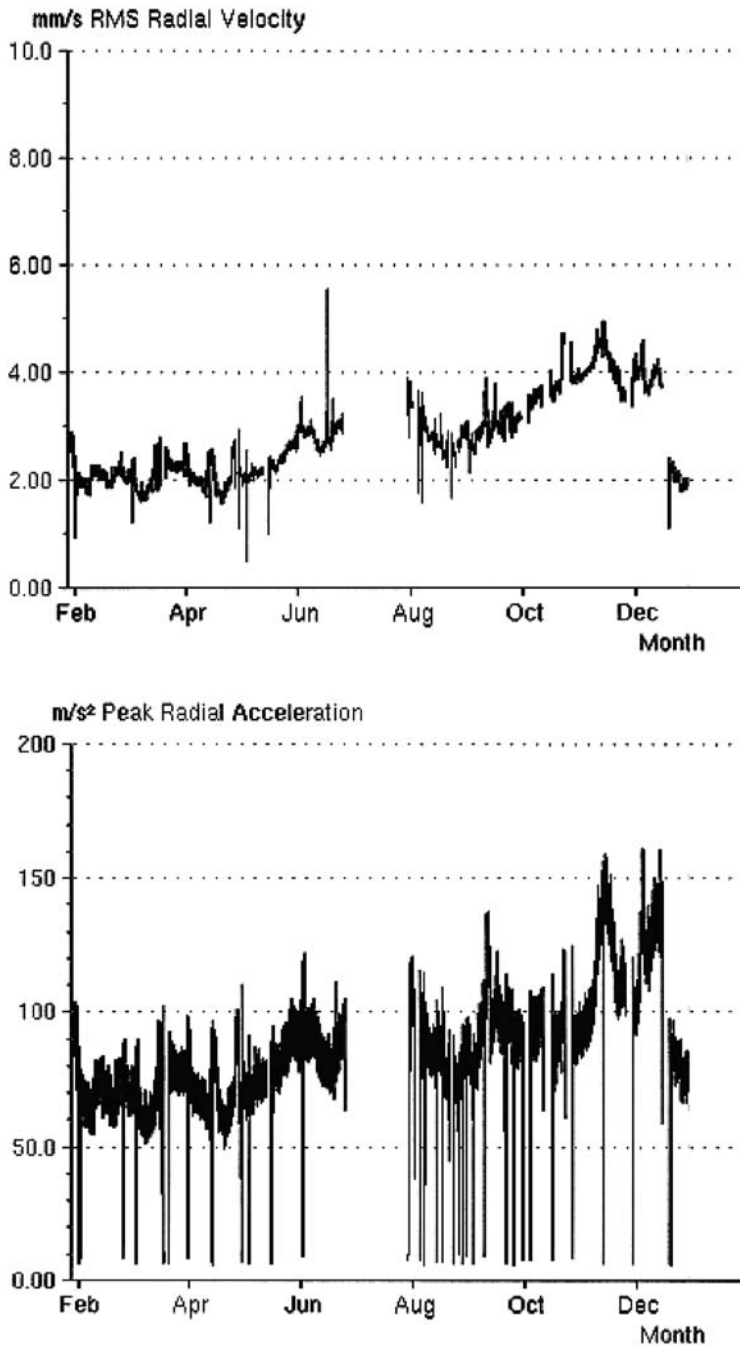
5. Monitorowanie drgań po wykonanych zmianach

Pod koniec września 2008 roku (po prawie 3 latach od zmiany rodzaju 4 czujników drgań oraz miejsc ich zamocowania) operatorzy prowadzący maszynę zauważyli wzrost wartości mierzonych parametrów drgań z 2 akcelerometrów umieszczonych w obszarze przekładni I_o.

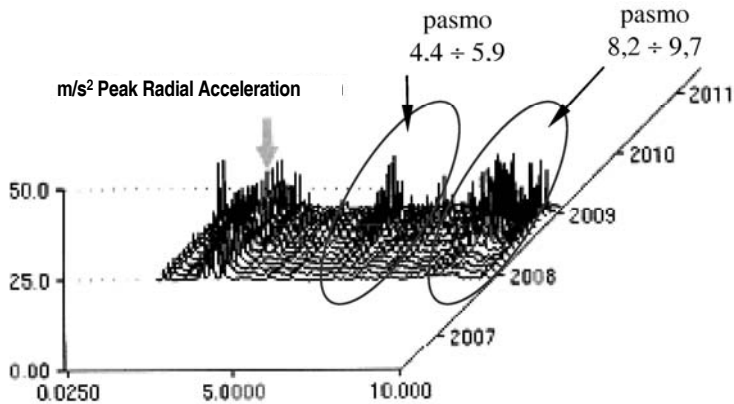
Zmiany dotyczyły wzrostu szczytowych przyspieszeń drgań (acc_{o-p}) o około 40 m/s² i skutecznych prędkości drgań (V_{rms}) o około 1 mm/s. Należy zaznaczyć, że zmiany były stosunkowo niewielkie. Trendy drgań w szerokim zakresie częstotliwości przedstawiono na rys. 8.

Sygnał, który pozwolił zaobserwować wzrost poziomu przyspieszeń drgań, pochodził z czujników zainstalowanych bezpośrednio na obudowie łożysk, nie zaś z czujników na obudowie przekładni.

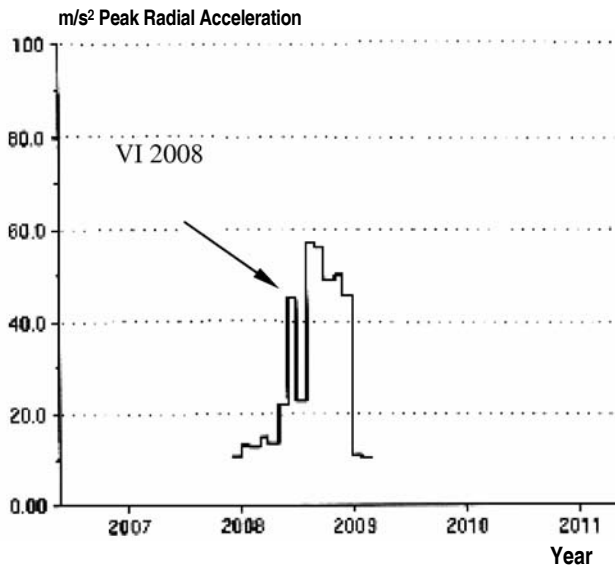
Wykonane automatycznie przez system monitorowania analizy widmowe potwierdziły powstanie uszkodzeń (bądź też oznak zużywania się) łożyskach przekładni. W widmach drgań stwierdzono pojawienie się częstotliwości łożyskowych w paśmie do 1 kHz oraz występowanie wyraźnego podbicia w paśmie powyżej 4 kHz. Przykłady przedstawiono na rys. 9 i 10.



Rys. 8. Zmiany w poziomach drgań w zakresie częstotliwości do 10 kHz



Rys. 9. Widma w czasie (tzw. „waterfall”) z czujnika drgań umieszczonego na obudowie łożyskowej



Rys. 10. Poziom szczytowych przyspieszeń drgań w paśmie 8,2÷9,7 kHz

Na podstawie powyższego należy stwierdzić, że to, co zaobserwowali operatorzy prowadzący maszynę (wrzesień 2008) na podstawie poziomu drgań w szerokim zakresie częstotliwości w systemie monitorowania 3 miesiące wcześniej (czerwiec 2008) specjalnie skonfigurowane parametry pomiarowe, pokazało kilkukrotny wzrost poziomu drgań. Zmiany te mogły sugerować pojawienie się pierwszych oznak uszkodzenia bądź zużycia łożysk tocznych.

Pamiętając o skutkach awarii z roku 2005 oraz mając na uwadze rosnący trend drgań zdecydowano o wymianie łożysk. Optymalnym czasem na przeprowadzenie prac była połowa grudnia 2008.

Uwzględniając bieżące potrzeby produkcyjne i analizując stopień uszkodzenia (bądź zużycia łożysk) podjęto decyzję o dalszej pracy maszyny pod szczególnym nadzorem. Ustalono graniczną wartość poziomu drgań, przy której obsługa powinna bezwzględnie wyłączyć maszynę. Wartość ta została ustalona na podstawie analizy dotychczasowej pracy maszyny.

W czasie kilkugodzinnego postoju technologicznego maszyny w dniu 13 listopada możliwa była weryfikacja postawionej diagnozy. Przeprowadzono badania wideoskopowe dostępnych łożysk i ząbów. Stwierdzono poprawny stan powierzchni zębów oraz zmatowienie bieżni zewnętrznych dwóch łożysk (rys. 11).



Rys. 11. Wideoskopowe zdjęcie łożyska wałka przekładni z widocznym zmatowieniem bieżni zewnętrznej

Podsumowanie

Wnioski wyciągnięte w 2005 roku na podstawie porównania zarejestrowanego sygnału drganiowego przez system monitorowania ze skutkami uszkodzeń w maszynie doprowadziły do zainstalowania czujników drgań dających na wyj-

ściu sygnał przyspieszeń drgań w znacznie szerszym zakresie częstotliwości oraz umieszczenie ich bezpośrednio na obudowach łożyskowych.

Dzięki temu:

- uniknięto awarii maszyny,
- wykryto we wczesnym stadium uszkodzenia łożysk tocznych,
- doprowadzono maszynę to terminowego remontu unikając dodatkowych, nieplanowanych kosztów.

Bibliografia

1. Cempel Cz.: Diagnostyka wibroakustyczna maszyn. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1985.
2. Cempel Cz., Tomaszewski F.: Diagnostyka maszyn. Wyd. MCNEMT. Radom 1992.

Recenzent:

Zbigniew Dąbrowski

The influence of vibration sensors location on condition monitoring efficiency of toothed gear rolling bearings

Key words

Diagnostics, diagnostics of bearings, bearing, vibration sensors.

Summary

The problem of vibration sensors location was considered in the paper. Sensors were mounted by the producer on the casing of polymer press. The diagnostic signal was transmitted to the installation control system. After comparing the physical faults in the machine with the data registered using the monitoring system a conclusion was made that the signal from velocitors is not enough to effectively judge the condition of the machine. Also a notice was taken that the sensors were mounted too far from the monitored bearings. The conclusion drawn after the investigation resulted in installing different kinds of sensors directly in the bearing casings.

