

## DIAGNOZOWANIE W FAZIE PROJEKTOWANIA MASZYN

Ryszard MICHALSKI

Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, WNT, UWM w Olsztynie  
ul. Oczapowskiego 11, 10-718 Olsztyn, tel.: 089-5233726, e-mail: michr@uwm.edu.pl

### Streszczenie

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z diagnozowaniem w fazie projektowania maszyn. Zaproponowano koncepcję projektowania maszyn zorientowaną na diagnozowalność. Podano również przykłady zmian konstrukcyjnych maszyn poprawiających ich podatność diagnostyczną.

Słowa kluczowe: projektowanie maszyn, diagnozowalność, diagnostyka uszkodzeń

### DIAGNOSTIC IN MACHINES DEVELOPMENT STAGE

#### Abstract

Issues of diagnostic of machines in development stage are presented in the paper. Conception of development of machines diagnostically oriented is proposed. There are given some examples of construction changes in machines improving their susceptibility for diagnostic

Key words: machines development, technical diagnostic

#### 1. WSTĘP

Projektowanie maszyn roboczych, w warunkach obowiązujących praw rynku, wymaga dostosowania do życzeń i wymagań użytkowników (klienta). Przy znacznej konkurencji wielu producentów na rynku, szansę przetrwania mają jedynie ci, którzy potrafią w sposób elastyczny dostosować się do reguł rynkowych, produkując wyroby o odpowiednio wysokiej jakości i akceptowalnej cenie oraz kosztach eksploatacji.

Taka strategia musi jednocześnie zapewniać minimalny zysk dla producenta. Powszechnie panuje przekonanie, że w odniesieniu do maszyn roboczych koszty zakupu (cena) stanowią dla użytkownika około 20-30% całkowitych kosztów eksploatacji.

W zależności od rodzaju maszyny i jej przeznaczenia w logistycznym systemie przepływu materiału, powinien być dobrany dla niej system eksploatacji, w tym podsystem diagnostyczny. Odpowiednie założenia muszą być przyjęte już na etapie projektowania, gdyż dzięki temu można uzyskać znaczne oszczędności w kosztach eksploatacji.

Zależnie od przewidywanego (bazowego) systemu eksploatacji maszyny, na etapie projektowania należy przewidywać odpowiednio:

- rozwój uszkodzeń i zużycia elementów maszyn roboczych spowodowanych przeciążeniem mechanizmów (nagłe pęknięcie, zużyciem tribologicznym, obciążeniem termicznym i korozyjnym);

- układ zespołów bezpieczeństwa, zabezpieczających przed przeciążeniem eksploatacyjnym;

- diagnostykę uszkodzeń maszyny roboczej, na podstawie wyznaczonych relacji diagnostycznych wg modelu i badań eksperymentalnych.

Pozwoli to na uzyskanie odpowiedniego poziomu gotowości technicznej maszyny. Wytyczne do projektowania diagnostyki uszkodzeń maszyny roboczej muszą uwzględniać:

- uszkadzalność maszyny w zależności od prognozowanych obciążeń;

- poziom gotowości technicznej maszyny;

- względne koszty eksploatacji, odniesione do kosztów całkowitych przypadające na czas pracy pomiędzy uszkodzeniami;

- skuteczność diagnozowania według przyjętego systemu wnioskowania diagnostycznego.

Tymi kryteriami powinno się kierować przy budowie systemu diagnostycznego zorientowanego na uszkodzenia.

Projektowaniem systemu diagnostycznego według przyjętych kryteriów powinien zajmować się interdyscyplinarny zespół złożony ze specjalistów z zakresu diagnostyki, budowy maszyn roboczych, ekonomii i marketingu.

Zadanie polega na sporządzeniu przejrzystej struktury kosztów całego wytworu pod względem funkcjonalnym, konstrukcyjnym i implementacji systemu (fazy opracowania modelu fizycznego spełniającego założone funkcje).

**2. KONCEPCJA PROJEKTOWANIA  
 MASZYNY ROBOCZEJ  
 ZORIENTOWANEGO NA  
 DIAGNOSTYKĘ USZKODZEŃ**

Elementy maszyny roboczej podlegają w eksploatacji cyklicznym obciążeniom zmiennym, które narażają je na uszkodzenie i zużycie.

Uszkodzenia stanowią podstawę do oceny trwałości maszyny roboczej.

Uszkodzenia można rozpatrywać na różnych poziomach złożoności np. silnika, jego układów, zespołów, węzłów konstrukcyjnych lub części. Klasyfikując najczęściej występujące uszkodzenia maszyn roboczych można wyróżnić: uszkodzenia zmęczeniowe i uszkodzenia zużyciowe.

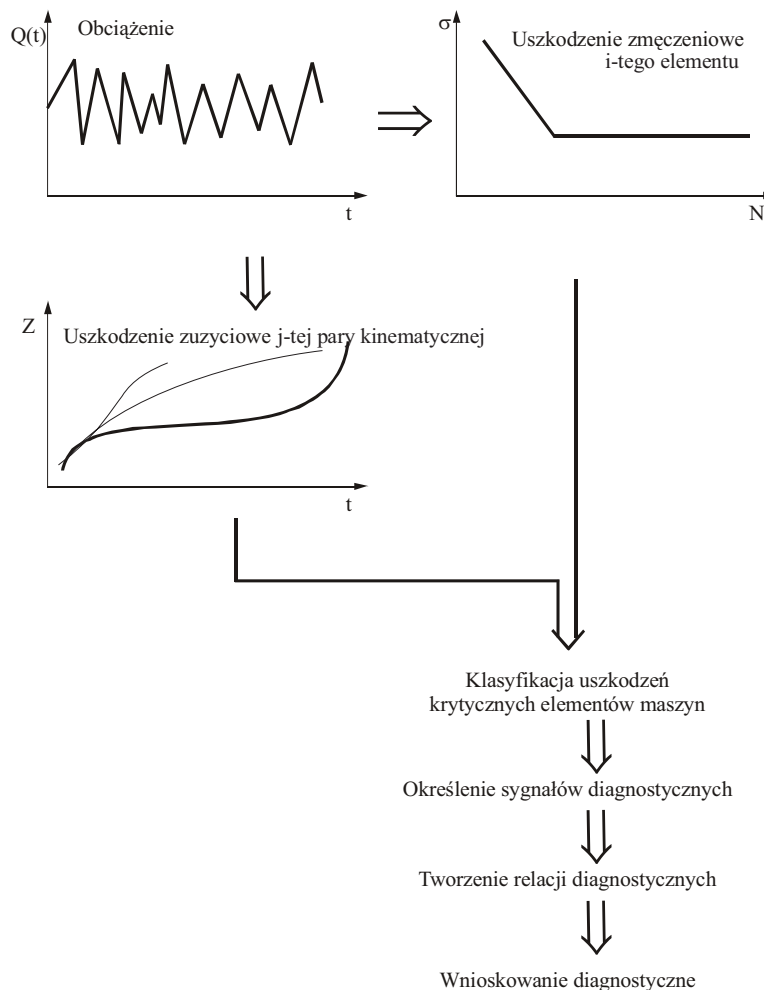
Jak wykazano w licznych badaniach trwałość zmęczeniowa (uszkodzenia zmęczeniowe) elementów konstrukcyjnych

zależy od sekwencji obciążenia, poziomów obciążenia leżących powyżej i poniżej granicy zmęczenia oraz liczby cykli w bloku obciążenia.

Podstawą do oceny uszkodzeń zmęczeniowych jest analiza widma obciążeń eksploatacyjnych danej maszyny i jej elementów konstrukcyjnych. W tym celu wykorzystuje się wykresy zmęczeniowe w ujęciu naprężeniowym dla próbek elementów pracujących w określonych warunkach programowanych obciążeń.

Śledząc zmiany wartości odpowiednich parametrów fizycznych maszyny, charakteryzujących zbiór cech konstrukcyjnych (geometrycznych, materiałowych i dynamicznych) posiadających określone cechy wytwórcze i eksploatacyjne, można obserwować rozwój uszkodzeń badając ich symptomy diagnostyczne.

Zatem ogólne ujęcie diagnostyki uszkodzeń maszyn roboczych można przedstawić schematycznie, jak na rys.1.



Rys.1. Ogólny schemat tworzenia modelu diagnostyki uszkodzeń w fazie projektowania maszyn

Tak więc w ogólnym schemacie projektowania maszyny z uwzględnieniem diagnostyki uszkodzeń należy uwzględnić:  
 - identyfikację uszkodzeń elementów maszyny

w aspekcie jej przewidywanych wymuszeń eksploatacyjnych;  
 - rozwój postaci uszkodzeń przy danych obciążeniach eksploatacyjnych (mechanicznych,

- ciepłych, korozyjnych itp.);
- zbiór symptomów i sygnałów diagnostycznych dla określonych uszkodzeń zmęczeniowych i zużyciowych;
- zbiór relacji diagnostycznych;
- metody wnioskowania diagnostycznego
- koszty zaprojektowanego systemu diagnostycznego.

Stosowanie tej procedury wymaga opracowania narzędzi w postaci metod i programów komputerowych, które w sposób dostatecznie szybki dostarczą ilościowych ocen zastosowania danego wariantu uszkodzeń na etapie projektowania maszyny roboczej.

### 3. WYTYCZNE DO STUDIUM DIAGNOZOWALNOŚCI

Celami studiów diagnozowalności są:

- doprowadzenie do podjęcia decyzji o rozwiązaniach projektowych;
- przewidywanie symptomów diagnostycznych i ich wartości granicznych;
- określenie niezbędnych zmian w projekcie obiektu w zakresie stawianych mu wymagań, tak aby umożliwił on prowadzenie badań diagnostycznych przy zadanych warunkach.

W celu zapewnienia spełnienia wymagań dla maszyn (technicznych, technologicznych, bezpieczeństwa, ekologicznych itd.) zalecane jest przeprowadzenie studiów diagnozowalności we wszystkich fazach projektowania i wykorzystanie ich wyników jako podstawy do podejmowania decyzji o rozwiązaniach projektowych [PN-IEC 706-2].

Analiza diagnozowalności, stanowiąca integralną część studiów obsługiwalności, jest procesem, w którym wymagania dotyczące eksploatacji obiektu przekłada się na szczegółowe wymagania jakościowe i ilościowe dotyczące diagnozowalności oraz kryteriów projektowych. Dostarcza ona danych wejściowych do projektowania w formie dokumentacji, obejmującej następujące zagadnienia:

- szczegółowe wymagania dotyczące diagnozowalności do uwzględnienia w projekcie;
- wytyczne projektowe i wykazy czynności kontrolnych w celu zapewnienia, że wymagane cechy diagnozowalności zostały uwzględnione

w projekcie;

- skrótove ujęcie podstawowych funkcji w zakresie diagnostyki i wymagań dotyczących zapewnienia środków diagnostycznych.

Analizę diagnozowalności należy włączyć do iteracyjnych studiów porównawczych rozwiązań projektowych, ponieważ przed wybraniem optymalnego projektu może być potrzebna pewna liczba iteracji.

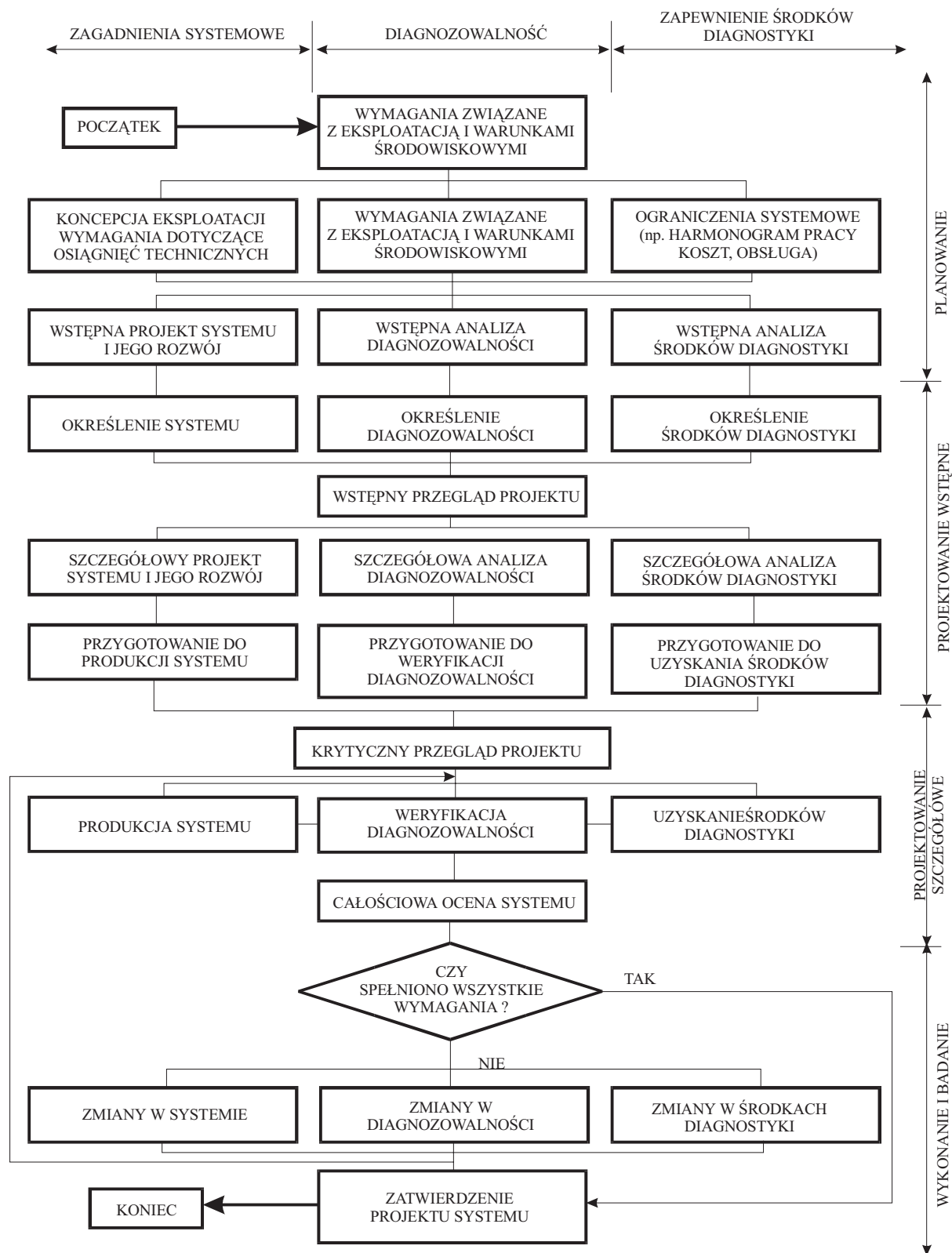
W celu uzyskania optymalnych wyników zaleca się, aby analizy były oparte na koncepcji diagnozy ustalonej równolegle z optymalizacją projektu oraz pozostawały w zgodności z koncepcją eksploatacji obiektu i ograniczeniami w jego obsłudze. Z koncepcji eksploatacji maszyny roboczej wynika określenie pełnionej funkcji, obszaru eksploatacji, cyklu życia, wykorzystania i środowiska eksploatacji.

Projektant odpowiada za spełnienie w projekcie wymagań dotyczących eksploatacji obiektu, włącznie z wymaganiami obejmującymi diagnozowalność, przy zwykłych ograniczeniach czasowych i kosztowych. W celu spełnienia tych wymagań, koncepcje diagnozowalności należy ustalić na początku procesu projektowania, a konieczne studia diagnozowalności przeprowadzić w czasie trwania tego procesu. Za przeprowadzenie tych studiów odpowiada inżynier, zajmujący się diagnozowalnością. Rozległość i wnikliwość studiów diagnozowalności są podyktowane przez szczegółowe potrzeby, które z kolei same zależą od stopnia złożoności maszyn i ich krytyczności ze względu na wymagane bezpieczeństwo, gotowość i niezawodność itp.

Projektowanie jest procesem iteracyjnym i każde zadanie dostarcza danych wejściowych do następnych zadań oraz do tych, które są realizowane równolegle. Istotnymi danymi wejściowymi dla analizy diagnozowalności są:

- wyniki badań niezawodnościowych;
- wyniki badań diagnostycznych dla analogicznych maszyn;
- wyniki analizy możliwych symptomów diagnostycznych;
- wyniki analizy przestrzennej obiektu identyfikujące miejsca pomiarowe;
- wyniki analizy ryzyka uszkodzeń.

Na rys. 2 pokazano schematycznie w jaki sposób studia diagnozowalności wiążą się z zadaniami projektowymi.



Rys.2. Algorytm diagnostowalności w procesie projektowania maszyn

#### 4. PRZYKŁADY ZMIAN KONSTRUKCYJNYCH MASZYN ROBOCZYCH ZE WZGLĘDU NA ICH DIAGNOZOWALNOŚĆ

Prowadząc badania diagnostyczne maszyn roboczych można wyciągnąć pewne wnioski

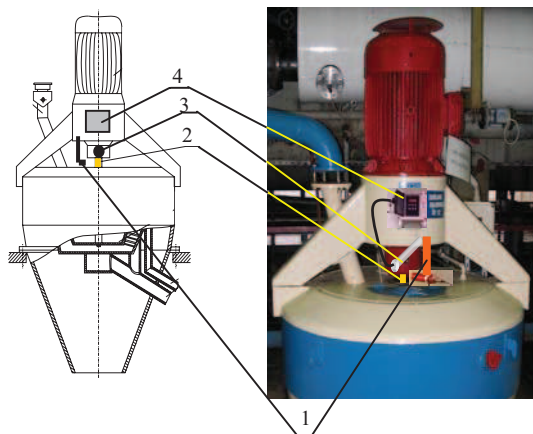
związane z dostępnością miejsc pomiarowych lub możliwością zastosowania pokładowych systemów diagnostycznych, które mogą pozwolić na monitorowanie stanu krytycznych zespołów maszyn. Przykłady takich wniosków oraz proponowane zmiany konstrukcyjne podano dla wirówek cukrowniczych.

Oceniając krytyczność uszkodzeń wirówek cukrowniczych typu ACWW 1000 zidentyfikowano jako szczególnie groźne stany niewyważenia technologicznego układu wirnikowego maszyny. Niewyważenie technologiczne (oklejenie sit filtrujących cukrzycą) występuje losowo i może powodować znaczne przekroczenie wartości dopuszczalnych drgań. Okresowe (planowe) badania diagnostyczne mogą nie wykazać (w danej chwili) wystąpienia niewyważenia. Jedynym sposobem oceny stanu dynamicznego związanego z losowymi oddziaływaniami jest ciągły monitoring drgań. Prosty rozwiązaniem i stosunkowo niekosztownym jest zastosowanie przetworników drgań z czujnikami zamontowanymi na stałe na obudowie łożyskowania wału wirówki. Przetwornik drgań powinien mieć wbudowane systemy alarmowe informujące o przekroczeniu wartości ostrzegawczych i granicznych (dopuszczalnych), a ich „skasowania” może dokonać osoba do tego uprawniona. Można również zastosować awaryjne wyłączenie maszyny np. w przypadku przekroczenia dwukrotnej wartości dopuszczalnej. Takie rozwiązanie pozwala na zabezpieczenie maszyny przed nieoczekiwanymi przeciążeniami, a dodatkowo staje się metodą diagnozowania procesu technologicznego (identyfikacja niewłaściwej gęstości cukrzycy).

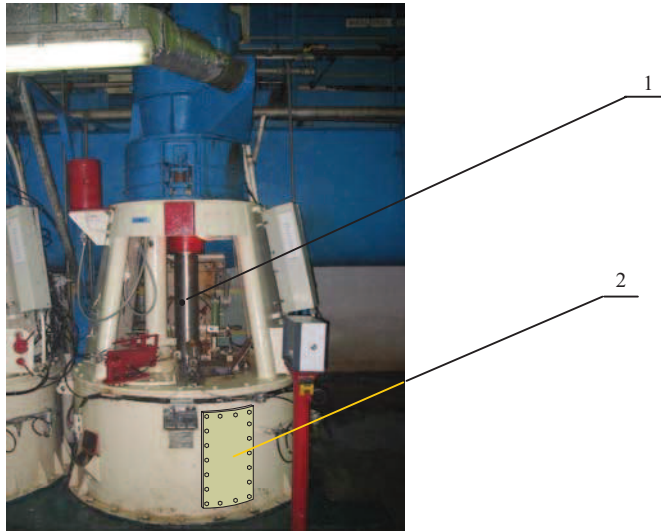
W przypadku diagnostyki wirówek cukrowniczych, zarówno ciągłych (ACWW 1000)

jak i okresowych (AWO 1000), często stosuje się analizę drgań w funkcji prędkości obrotowej wału. Pozwala ona na zidentyfikowanie prędkości krytycznych wywołujących nadmierne drgania (prędkości robocze są większe od prędkości rezonansowych). Zasadnym więc jest zaprojektowanie wałów wirówek z trwałym znacznikiem fazy, przeznaczonym do współpracy z czujnikiem optycznym. Znacznik fazy powinien być umieszczony na powierzchni kontrastowej (najlepiej czarnej, matowej) w miejscach odsłoniętych wału. Bardzo przydatnym byłoby również uwzględnienie uchwytych czujników optycznych, przymocowanych do obudowy wirówki. Proponowane rozwiązanie przydatne jest również do wyważania wirówek w łożyskach własnych.

W przypadku wirówek AWO 1000 zalecane jest okresowe (co dwie, trzy kampanie) badanie struktury materiału bębnow, przy wykorzystaniu metod rentgenowskich lub ultradźwiękowych. Użytkownicy wirówek często rezygnują z tych badań ze względu na kłopotliwy demontaż bębnow. Wprowadzając zmianę konstrukcyjną obudowy bębna, polegającą na wykonaniu dodatkowych otworów dostępowych do powierzchni zewnętrznej bębna. Takie otwory producent przewidział w tylnej części wirówki, jednak są one usytuowane w miejscu trudnodostępnym i nie zapewniają pomiarów dla całej wysokości bębna. Proponowane zmiany konstrukcyjne pokazano na rys.3 – 4.



Rys.3. Schemat wirówki ACWW 1000 z zaznaczonymi zmianami konstrukcyjnymi poprawiającymi diagnozowalność maszyny (1 – uchwyt czujnika fotooptycznego, 2 – trwały znacznik fazy umieszczony na tle kontrastowym, 3 – czujnik drgań zamontowany na stałe, 4 – przetwornik drgań z wbudowanymi sygnałami alarmowymi)



Rys.4. Schemat wirówki AWO 1000 z zaznaczonymi zmianami konstrukcyjnymi poprawiającymi diagnostowalność maszyny (1 – otwór w osłonie wału do mocowania czujnika fotooptycznego, pod którym znajduje się znacznik fazy, 2 – kłapa do luku rewizyjnego bębna)

## 5. PODSUMOWANIE

W pracy wskazano na potrzebę uwzględniania diagnostowalności w projektowaniu maszyn. Przewidziano koncepcję projektowania maszyn zorientowaną na diagnozowanie uszkodzeń. Podano wytyczne i algorytmy diagnozowania maszyn w procesie projektowania oraz przykładowe rozwiązania konstrukcyjne prowadzące do poprawienia diagnostowalności maszyn.

## LITERATURA

1. Michalski R. i inni: Diagnostyka uszkodzeń układów mechanicznych maszyn roboczych z wykorzystaniem metod inżynierii wiedzy zorientowanej eksploatacyjnie. Sprawozdanie z projektu badawczego KBN nr 5T07B03622, maszynopis Olsztyn 2004.

2. PN-IEC 706-2.: Studia obsługiwalności w fazie projektowania. PKN 1996.
3. PN-IEC 812.: Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń. PKN 1994.



Prof. dr hab. inż. Ryszard MICHALSKI jest kierownikiem Katedry Eksploatacji Pojazdów i maszyn oraz dziekanem Wydziału Nauk Technicznych UWM w Olsztynie. W działalności naukowej zajmuje się diagnostyką techniczną, niezawodnością, technologią napraw i analizą systemową eksploatacji pojazdów i maszyn roboczych.