

# APARATURA

## BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

### **Badanie stanu powierzchni roboczej panwi łożysk ślizgowych na przykładzie doświadczeń Elektrociepłowni Białystok S.A.**

*JERZY JAROSZEWICZ<sup>1</sup>, ŁUKASZ DRAGUN<sup>2</sup>*

**POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, <sup>1</sup>WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA, KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ,  
<sup>2</sup>WYDZIAŁ MECHANICZNY, KATEDRA BUDOWY I EKSPLOATACJI MASZYN, STUDIA DOKTORANCKIE**

**Słowa kluczowe:** przyczepność, stop łożyskowy, łożysko ślizgowe z panwią dzieloną, badanie przyczepności stopu łożyskowego, metoda ultradźwiękowa

#### **STRESZCZENIE**

W niniejszej pracy rozpatruje się metody badania stanu powierzchni stopu łożyskowego panewek dzielonych łożysk ślizgowych, stosowanych w turbinach, generatorach, pompach oraz wentylatorach tłoczących. Badane łożyska ślizgowe mają podłoże stalowe i są dokładnie obrobione. Do oceny stanu powierzchni zastosowano metody: wizualne, penetracyjne, ultradźwiękowe i pomiaru chropowatości powierzchni. Do badań wizualnych zastosowano lupy o powiększeniu 2-4 krotnym, do badań penetracyjnych – penetranty barwne uznanych producentów, do badań ultradźwiękowych - aparaty typu UNIPAN 510, UNIPAN 514 lub Krautkramera z regulacją wzmocnienia z dokładnością  $\pm 1$  dB oraz do badań wewnętrznych chropowatości powierzchni profilografometr Hommel Tester T1000. Minimalna średnica badanych panwi musi umożliwić prawidłowy styk głowicy ultradźwiękowej z krzywizną panewki. Przedstawione w niniejszej publikacji warunki badania ultradźwiękami dotyczą badań ultradźwiękowych przylegania półpanwi o średnicach:  $\varnothing 125$  mm,  $\varnothing 150$  mm i o grubości stopu nie większej niż 2 mm.

# Investigation of operating surface state of split bearing busings on base experience in Thermal – Electric Power Station of Białystok

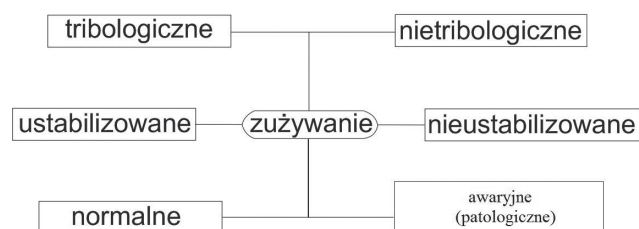
**Keywords:** adhesion alloy, bearing alloy, divided – sleeve bearing, investigation of adherence of split bearing, ultrasonic method

## ABSTRACT

Investigation methods of wear conditions bearing alloy of split busings which are applied on turbines, generators, pumps and forced-draught fan have presented in this paper. Considering split bearings have steel or cast steel base and have been roughing or fisting surface treatment. The visual, penetration, ultrasonic methods and surface roughness measurement of investigation have been considered. For visual investigations were used magnifier with magnification 2-4 times, for penetration testing – the colored penetrates known producers, for ultrasonic investigations were used cameras, for example type UNIPAN 510, UNIPAN 514 or Krautkammera adjustable boost with an accuracy of  $\pm 1$  dB, METRISON M610 and for fisting surface treatment - profilografometr Hommel Tester T1000. Minimal diameter of the slide bearing bushing should be contact with curve bearing bushing by means presented methods. Presented results of investigation conditions after ultrasonic treatment concern was capable for diameter split busings:  $\varnothing 125$  mm,  $\varnothing 150$  mm and thickness of alloy bearing not higher than 2 mm.

## 1. WSTĘP

Podczas eksploatacji maszyn wirnikowych zespołów łożyskowych zachodzą zmiany w warstwie wierzchniej czopów i panwi, które najczęściej charakteryzują się ubytkiem masy bądź też trwałym odkształceniem powierzchni. Następstwem, a jednocześnie skutkiem procesu zużycia jest zużycie, które może być mierzone objętościowo, liniowo lub wagowo. Ogólna klasyfikacja procesów zużycia przedstawiona została na Rysunku 1 [1].



**Rysunek 1** Ogólna klasyfikacja procesów zużycia [1]

**Figure 1** General classification wear processes [1]

Procesy zużycia tribologicznego możemy podzielić na dziewięć podstawowych grup, tj.: utleniające, wodorowe, ściernie, zmęczeniowe, odkształceniowe, adhezyjne, cieplne oraz fretting [2]. Krótkie zestawienie wymienionych wyżej procesów zużycia tribologicznego zaprezentowano w Tabeli 1.

Powszechnie wiadomo, że żaden z wyżej wymienionych procesów zużycia tarcowego nie występuje pojedynczo, zazwyczaj występuje kilka

mechanizmów zużycia jednocześnie [1].

W rozpatrywanym przypadku łożysk wyżej wymienionych maszyn stosowanych w Elektrociepłowni Białystok S.A., pracujących w warunkach dużych obciążeń dynamicznych i zapylenia dominuje zużycie awaryjne – patologiczne (Rys. 1).

W celu zbadania stanu zużycia należy wykonać badania powierzchni: wizualne, chropowatości, (które dotyczą głębokości powierzchni łożysk ślizgowych), penetracyjne – od 0 do 0,2 mm oraz przylegania stopu do podłoża – ultradźwiękowe – do 1 mm.

## 2. CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA BADANYCH PANEWEK

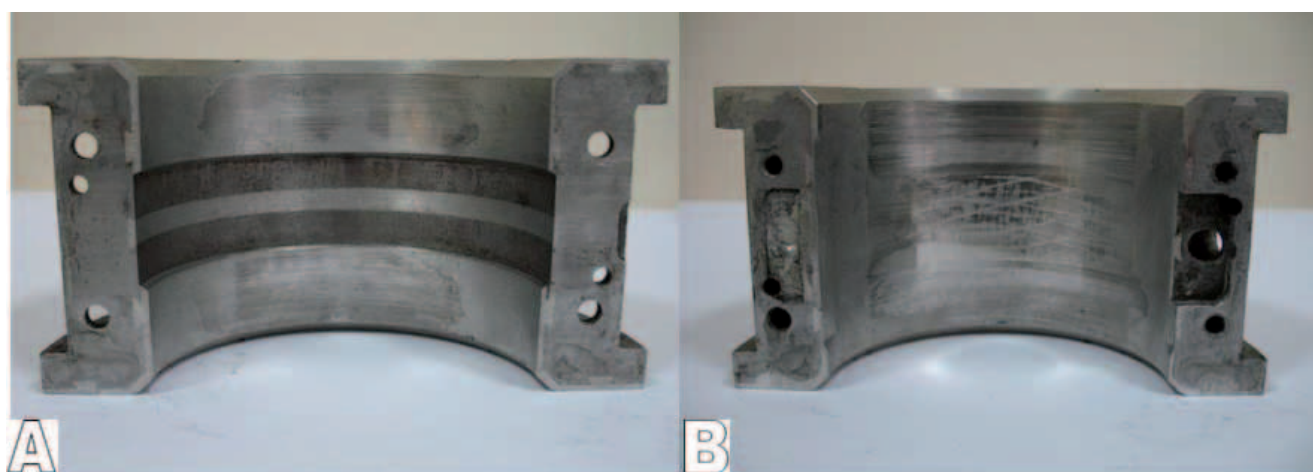
W badaniach wykorzystane zostały dwie panwie łożyska ślizgowego. Badana panew (Rys. 2) o średnicy wewnętrznej  $\varnothing 125$  mm pochodzi z wysoko-średniego wentylatora młynowego, który jest eksploatowany w Elektrociepłowni Białystok S.A.

Rozpatrywane łożyska ślizgowe służą do przejmowania sił działających na wały i osie, a także do ustalania ich położenia względem podstawy, które pokazano na (Rys. 3). W łożyskach ślizgowych dąży się do minimalizacji oporów ruchu poprzez odpowiednie ukształtowanie powierzchni ciernych czopa i panwi, optymalny dobór materiałów tych elementów i ich dokładna obróbka oraz zastosowanie czynnika smarnego, który pozwala na uzyskanie najkorzystniejszego rodzaju tarcia,

**Tabela1** Rodzaje procesów zużywania tribologicznego i ich charakterystyka [1]

**Table 1** Types of tribology wear processes and their characteristics [1]

Charakter zużycia	Rodzaj zużycia	Przyczyny	Rodzaj ruchu	Rodzaj tarcia	Uwagi
Chemiczno – mechaniczny	utleniające wodorowe ścierne	mechaniczne niszczenie chemicznie wytworzonych struktur powierzchniowych	ślizgowy, toczny	suche, mieszane	w określonych warunkach zużycie normalne, mała intensywność
Mechaniczny	ścierne	mikroskrawanie	ślizgowy	suche	duża intensywność zużywania
	zmęczeniowe: - łuszczenie - wykruszanie	zmęczenie warstwy wierzchniej wskutek cyklicznych obciążeń	toczny lub toczny z poślizgiem	suche, mieszane, płynne	niszczenie do uszkodzenia
	odkształceniowe	odkształcenie plastyczne warstwy wierzchniej	ślizgowy, toczny	suche, mieszane, płynne	uszkodzenie
Fizyczno – mechaniczny	adhezyjne	zrastanie, mechaniczne niszczenie mikropołączeń (na zimno)	ślizgowy	suche	uszkodzenie
	cieplne	jw., z większą intensywnością wskutek podgrzania warstwy wierzchniej	ślizgowy	suche	uszkodzenie
Fizyczno – chemiczno – mechaniczny	adhezyjno – utleniające (fretting)	adhezja, utlenianie i mikroskrawanie produktami zużycia	ślizgowy	suche, mieszane	uszkodzenie



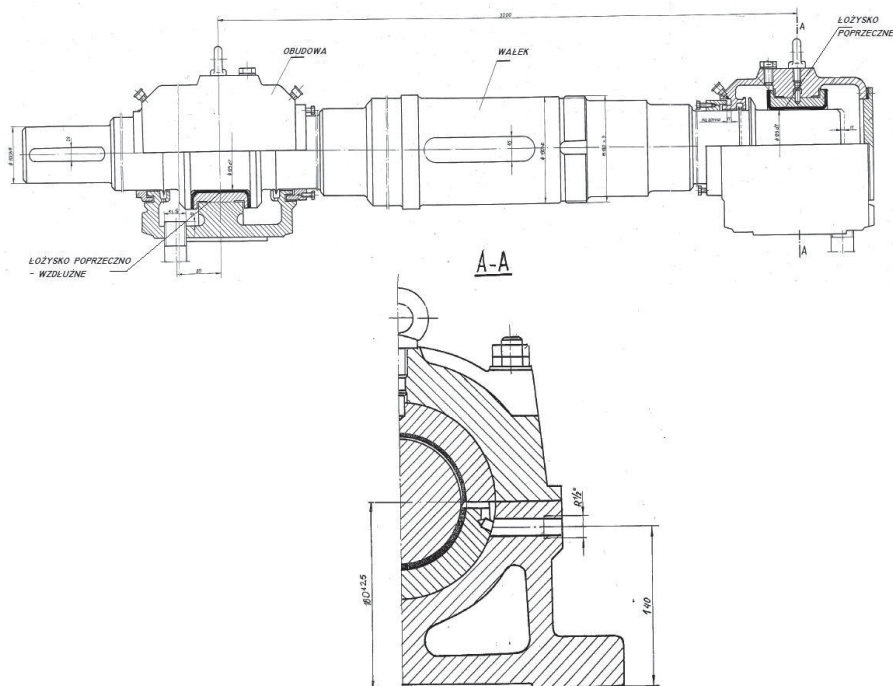
**Rysunek 2** Zdjęcie od czola otworu panwi łożyska ślizgowego: a) półpanew górna b) półpanew dolna

**Figure 2** Photograph of the interior of the pan bearing contact rampo installation: a) the upper part of pan b) lower part of pan

a jednocześnie pozwala zminimalizować ryzyko szybkiego zniszczenia łożyska [3, 4].

W celu poprawy charakterystyk przepływowych należy zapewnić ich energooszczędną eksploatację poprzez wykonywanie regularnych badań [5, 6]. Do badań wizualnych należy stosować lupy o powiększeniu 2-4 krotnym, penetracyjnych należy stosować penetranty barwne uznanych producentów, w ultradźwiękowych należy stosować aparaty typu np. UNIPAN 510, UNIPAN 514 lub Krautkammera z regulacją wzmocnienia z dokładno-

ścią  $\pm 1$  dB oraz METRISON M610. Głowice do badań powinny posiadać częstotliwość 4 MHz lub 2 MHz i mogą to być głowice normalne lub podwójne. Średnica przetwornika głowicy użytej do badań nie powinna być większa niż 10 mm. Jako środek sprzęgający należy stosować olej maszynowy, klej do tapet lub inne medium charakteryzujące się odpowiednią lepkością i dobrą zwilżalnością [7], do badań chropowatości należy stosować np. profilografometr Hommel Tester T1000.



**Rysunek 3** Łożyskowanie ślizgowe WPM typ B zestawienie – fragment rysunku technicznego. Skan na podstawie materiałów udostępnionych przez EC Białystok S.A.

**Figure 3** The sliding bearing arrangements WPM type B bill – a portion of the technical drawing. Scan based on the basis of materials provided by the EC Białystok S.A.

### 3. APARATURA, WZORCE, WYPOSAŻENIE DO BADAŃ WIERZCHNIEJ WARSTWY ŚLIZGOWEJ

Nie ma jednej ustalonej metody badania przyczepności warstwy stopu łożyskowego do podłoża. Badania wykonywane przez wytwórców i odbiorców są zwykle badaniami niszczącymi. Istniejące normy (do stosowania nieobowiązkowego) nie podają w jaki sposób należy wykonywać tego typu badania. Firmy produkujące oraz remontujące maszyny i urządzenia, których wirniki są osadzone w łożyskach ślizgowych, tworzą własne instrukcje badań. Brak jest metodyki badań jednakowej dla ogółu firm chcących je stosować – producentów, użytkowników oraz firm remontowych. W każdym przypadku do właściwego przeprowadzenia badań niezbędne jest odpowiednie wyposażenie [7].

### 4. PRZYGOTOWANIE POWIERZCHNI DO BADAŃ WIZUALNYCH, PENETRACYJNYCH, ULTRADŹWIĘKAMI ORAZ CHROPOWATOŚCI

Do badań **wizualnych** (oględziny zewnętrzne) badaną powierzchnię należy oczyścić z farby, rdzy i odprysków w taki sposób, aby nie zaślepić ewentualnych pęknięć (unikać piaskowania, śrutowania), powierzchnię badaną należy odtłuścić

i wysuszyć. Badanie polega na dokładnym oglądaniu powierzchni badanej, z reguły bez zastosowania pomiarowych przyrządów optycznych. W razie potrzeby dopuszcza się stosowanie lupy o powiększeniu 2-4 krotnym. Wykryte wady należy zmierzyć za pomocą przymiaru oraz wysokościomierza lub spoinomierza uniwersalnego i zapisać podając długość, szerokość i wysokość (zaniżenie). Badania wizualne i penetracyjne należy przeprowadzać zgodnie z wymaganiami wewnętrznej instrukcji badań opracowanej na podstawie norm [8-11].

Badaniom **penetracyjnym** podlegają obrabiane i dostępne płaszczyzny podziałowe oraz kieszenie olejowe

panwi. Kontroli penetracyjnej podlegają wszystkie panwie, które spełniają wyżej wymienione warunki. Badania penetracyjne należy przeprowadzać przed kontrolą ultradźwiękową. Powierzchnia badana powinna być obrabiona mechanicznie, dokładnie oczyszczona i odtłuszczona, a chropowatość powierzchni badanej  $R_a$  powinna wynosić co najmniej:

- 1,6  $\mu\text{m}$  dla powierzchni obrabianej mechanicznie,
- 3,2  $\mu\text{m}$  dla powierzchni obrabianej ręcznie.

Powyższe wymagania powinny być zamieszczone na rysunku konstrukcyjnym i podane w dokumentacji technologicznej obróbki danego łożyska. Badanie polega na nanoszeniu na przygotowaną powierzchnię penetrantu czerwonego, który na zasadzie włoskowatości wchodzi w najmniejsze szczeliny badanego elementu. Penetrant należy utrzymywać na powierzchni przez pewien czas zwany czasem wnikania. Czas zależy od własności penetrantu, rodzaju badanego materiału, wad, temperatury otoczenia i wynosi 15 - 30 minut.

Po zakończeniu nasycenia penetrant usuwa się z badanej powierzchni przy pomocy suchych szmat, jeśli jest to konieczne nasyconych zmywaczem lub denaturatem. Poprawne przeprowadzenie operacji usuwania penetrantu gwarantuje

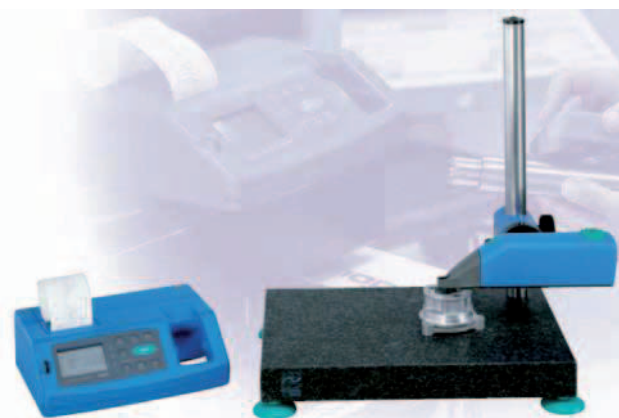


je prawidłowy sposób przeprowadzenia badań. Następną czynnością jest nanoszenie na badane miejsca białego penetrantu wywołującego, który w przypadku istnienia wady wywabia z niej penetrant czerwony i na białym tle wskazuje jej obecność w postaci czerwonej linii lub punktu. Najkrótszy czas potrzebny do powstania wyraźnych defektogramów nazywa się czasem wywołania i wynosi około 15 minut. Końcową operacją badań penetracyjnych są oględziny zewnętrzne badanego obiektu bez zastosowania przyrządów optycznych przy odpowiednio dobrym oświetleniu oraz oznakowanie miejsc wadliwych. Badania penetracyjne należy przeprowadzać zgodnie z wymaganiami wewnętrznej instrukcji badań opracowanej na podstawie aktualnie obowiązujących norm [8-11].

Powierzchnie przewidziane do badań **ultradźwiękami** powinny być obrobione mechanicznie – chropowatość powierzchni Ra co najmniej 10  $\mu\text{m}$ . Wymagania dotyczące przygotowania powierzchni powinny być podane na rysunku konstrukcyjnym i w dokumentacji technologicznej obróbki mechanicznej. Badaniom podlega 100% powierzchni panwi. W niektórych przypadkach kształt geometryczny panwi może uniemożliwić badanie, wówczas takiego obszaru nie bierze się pod uwagę przy ocenie.

Badanie wykonuje się wyłącznie metodą echa. Panwie należy w zasadzie badać od strony podłoża, ale w przypadkach: gdy podłoże wykazuje duże tłumienie fal ultradźwiękowych, posiada skomplikowany kształt lub takie jest życzenie klienta, dopuszcza się możliwość badania od strony stopu pod warunkiem, że grubość stopu jest większa od 2 mm. Badania ultradźwiękowe należy przeprowadzać zgodnie z wymaganiami wewnętrznej instrukcji badań opracowanej na podstawie norm [7, 12-21].

Badania chropowatości przeprowadzono zgodnie z instrukcją obsługi urządzenia Hommel Tester T1000. Należy zwrócić szczególną uwagę na głowicę pomiarową przyrządu – bardzo „delikatna” igła końcówki pomiarowej. Profilografometr Hommel Tester T1000 jest przenośnym urządzeniem do pomiaru chropowatości, pozwala również na uzyskanie danych dotyczących falistości. Za pomocą zintegrowanej drukarki można przedstawić wyniki pomiarów, pięć programów pomiarowych zapewnia szybkie zastosowanie i zapamiętanie różnych zadań pomiarowych, gwarantuje prawidłowe przeprowadzenie pomiarów [22].



Rysunek 4 Profilografometr Hommel Tester T1000 [22]

Figure 4 Profilografometr Hommel Tester T1000 [22]

## 5. INTERPRETACJA WSKAZAŃ DEFEKTOSKOPU

Poniższe interpretacje ech wykonano na podstawie norm [13, 15, 20, 21].

### a) echo od dna oraz echo od granicy stop - panew

- przyleganie stopu łożyskowego uważa się za dobre, jeżeli echo od granicy stop - panew jest niższe lub równe wysokości echa dna (Rys. 5).

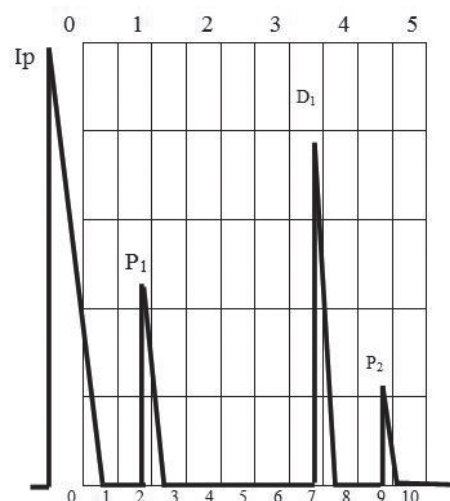
- w przypadku, gdy wysokość echa od granicy stop - panew jest wyższa niż echo od dna, występują wady przylegania (brak), (Rys. 6).

### b) echo od dna

- przyleganie stopu łożyskowego uważa się za prawidłowe (Rys. 7).

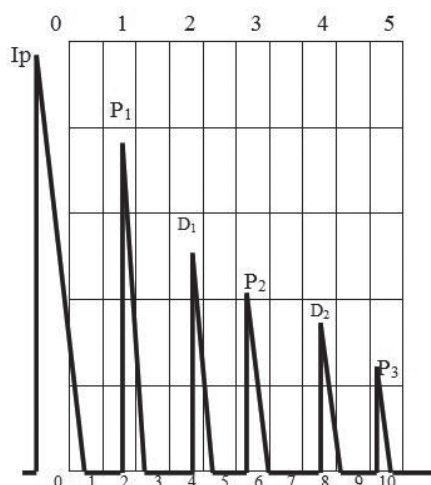
### c) echo od granicy stop - panew

- występowanie wielokrotnych ech od granicy stop - panew przy braku echa od dna świadczy o braku przylegania (Rys. 8).

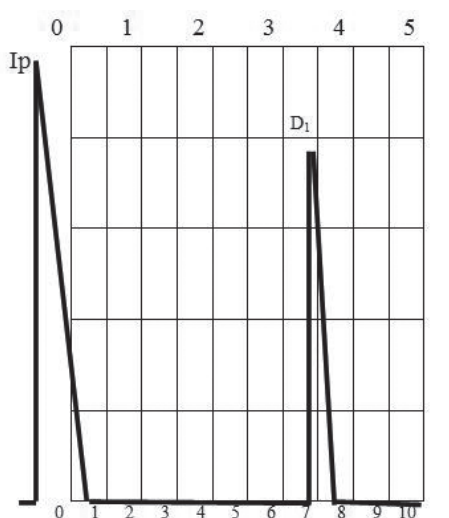


Rysunek 5 Prawidłowe przyleganie

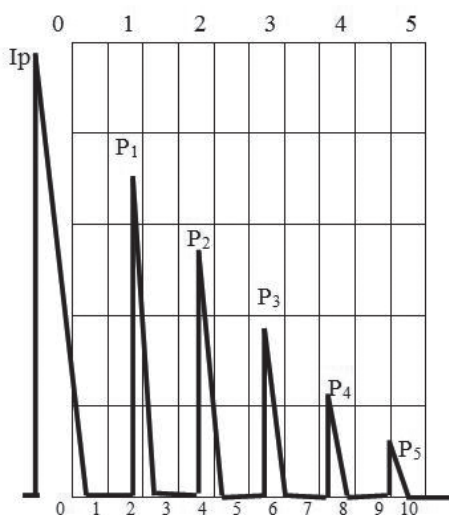
Figure 5 Proper adhesion



**Rysunek 6** Wady przylegania Ő brak  
**Figure 6** Defects in adhesion Ő the lack



**Rysunek 7** Prawidłowe przyleganie  
**Figure 7** Proper adhesion



**Rysunek 8** Brak przylegania  
**Figure 8** The lack of adherence

## 6. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZ

Z badań wizualnych wynika, że wady braku przylegania stopu wykryte podczas badań wizualnych są niedopuszczalne [7].

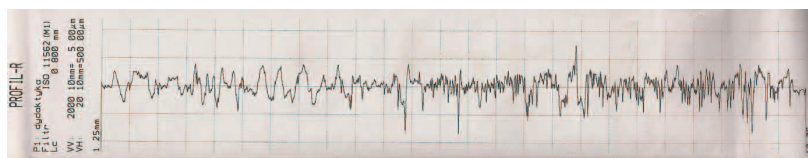
Z badań penetracyjnych wynika natomiast, że wskazania penetrantu potwierdzają miejsca braku przyczepności stopu łożyskowego do podłoża oraz pęcherzy. Dopuszczalne są drobne pęcherze (okrągłe wskazania penetrantu), których wzajemna odległość jest większa od 2 mm. Jeżeli odległość pomiędzy porami jest mniejsza od 2 mm, to stanowią one łańcuch pęcherzy. Łańcuchy pęcherzy dłuższe od 50 mm są niedopuszczalne, wzajemna odległość nie może być mniejsza od pięciokrotnej ich długości. Niedopuszczalne są ciągle wskazania penetrantu na płaszczyznach podziałowych panwi, które są dłuższe od 20 mm. Wzajemna odległość wskazań nie może być mniejsza od dziesięciokrotnej ich długości. Łączna długość wskazań na płaszczyznach podziałowych panwi nie może przekraczać 5% długości badanych penetracyjnie stref połączenia stopu. Panwie, które posiadają wskazania w kieszeniach olejowych należy odrzucić [7].

**UWAGA:** Wymienione powyżej wady dopuszczalne, w przypadku wystąpienia w tych samych miejscach wad rejestrowanych wykrytych podczas badań ultradźwiękami, są niedopuszczalne [7].

Z wyników badań ultradźwiękami wynika ocena przylegania stopu, którą prowadzi się na podstawie wysokości echa lub wielokrotnego odbicia od granicy stop łożyskowy – panew. Przy badaniu łożyska z połączeniem na „jaskółczy ogon” należy zwracać uwagę na powstawanie impulsów od tego połączenia, których nie uwzględnia się w ocenie. Dopuszcza się pojedyncze wady powierzchniowe na całej powierzchni łożyska o nasileniu nie większym niż 3 pory na cm<sup>2</sup> oraz 10 porów na dm<sup>2</sup> powierzchni stopu łożyskowego. Niedopuszczalne są wady powierzchni łożyska w strefie maksymalnego obciążenia dla łożysk turbinowych i generatorowych [3, 7]. Z badań ultradźwiękami panewki Ø 150 mm zostały sformułowane następujące wnioski:

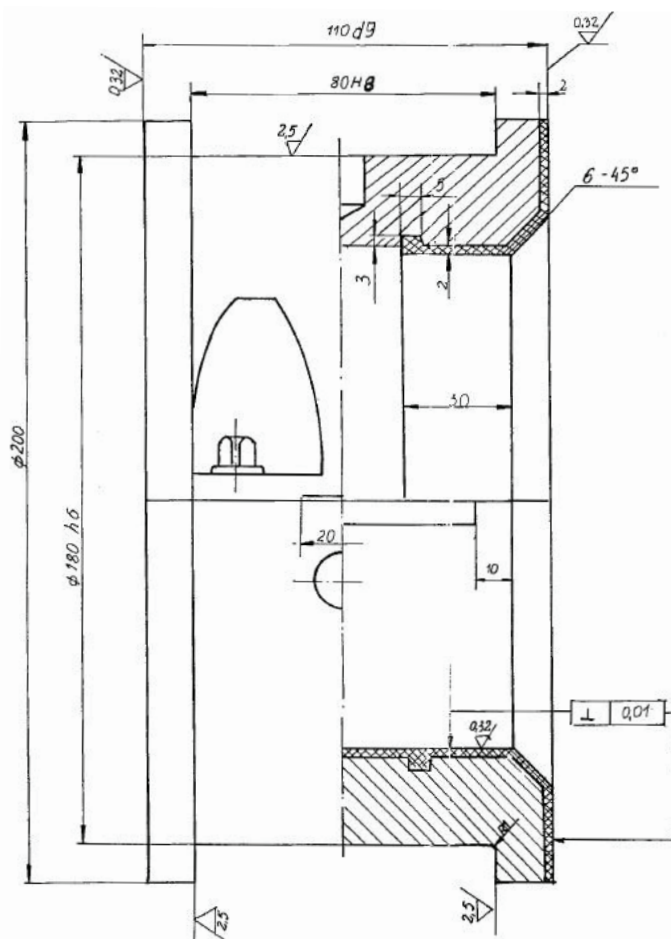
### Górna półpanew:

Łożysko o średnicy wewnętrznej < 150 mm: dopuszcza się wady pojedyncze do 5%, wady sumaryczne do 15%. Łożysko o średnicy wewnętrznej Ø 150 mm: dopuszcza się wady pojedyncze do 2%, wady sumaryczne do 15%.



**Rysunek 9** Fragment profilogramu wykonanego za pomocą HOMMEL TESTER T 1000 – pomiar nr 6

**Figure 9** Excerpt from profilogram made by HOMMEL TESTER T 1000 the sixth measure



**Rysunek 10** Łożyskowanie ślizgowe WPM Panewka – fragment rysunku złożeniowego zespołu łożyskowego. Skan na podstawie materiałów udostępnionych przez EC Białystok S.A.

**Figure 10** The sliding bearing arrangements WPM Pan – a portion of the technical drawing . Scan based on the basis of materials provided by the EC Białystok S.A.

### Dolna półpanew:

Łożysko o średnicy wewnętrznej  $< 150$  mm: dopuszcza się wady pojedyncze do 3%, wady sumaryczne do 10%. Łożysko o średnicy wewnętrznej  $\phi 150$  mm: dopuszcza się wady pojedyncze do 1%, wady sumaryczne do 10% [7].

Z badań chropowatości powierzchni panewki  $\phi 125$  mm otrzymano wyniki, które przedstawione zostały w Tabeli 3.

Ocena chropowatości przez porównanie z wzorcami okazała się najmniej dokładna, ponieważ przez dotyk nie jesteśmy w stanie dokładnie dobrać odpowiedniej chropowatości (wzorca). Profilografometr Hommel Tester T1000 okazał się bardziej dokładny. Dzięki profilografometrowi możemy określić dużą ilość parametrów odczytywanych samodzielnie przez maszynę z podanej przez nas panwi łożyska ślizgowego. Dzięki temu urządzeniu otrzymujemy dodatkowo wyniki w postaci profilogramu. Filtr M1 odfiltrowuje błąd kształtu i falistości, mierząc chropowatość co ma wpływ na końcowe wyniki pomiarów.

**Tabela 2** Warunki pomiaru dla wszystkich 6 odcinków  
**Table 2** Measurement conditions for all 6 episodes

Nazwa programu	P1: dydaktyka
Czujnik	T1E
Zakres pomiarowy	80 $\mu$ m
Długość odcinka pomiarowego $L_t$	15 mm
Odcinek elementarny $L_c$	0.800 mm
Prędkość przesuwu papieru	1.00 mm/s
Filtr	ISO 11562 (M1)
Norma oceny	DIN/ISO

**Tabela 3** Wartości otrzymanych parametrów chropowatości  
**Table 3** Value received parameters of roughness

Nr pomiaru	1	2	3	4	5	6
$R_z$	7,300 $\mu$ m	6,610 $\mu$ m	8,610 $\mu$ m	8,480 $\mu$ m	11, 400 $\mu$ m	10,960 $\mu$ m
$R_a$	0,784 $\mu$ m	0,822 $\mu$ m	0,884 $\mu$ m	0,828 $\mu$ m	1,246 $\mu$ m	1,379 $\mu$ m
$R_p$	2,490 $\mu$ m	2,860 $\mu$ m	6,010 $\mu$ m	4,290 $\mu$ m	5,440 $\mu$ m	7,380 $\mu$ m
$R_t$	10,690 $\mu$ m	7,600 $\mu$ m	12,780 $\mu$ m	13,710 $\mu$ m	20,380 $\mu$ m	15,85 $\mu$ m

## STREFA MAKSYMALNEGO OBCIĄŻENIA ŁOŻYSKA

Wady pojedyncze i sumaryczne odnosi się do powierzchni tej strefy, tj. 1/3 powierzchni dolnej półpanwi:

- dopuszcza się wady pojedyncze do 1%,
- dopuszcza się wady sumaryczne do 5%.

W pasie brzegowym nie dopuszcza się wad braku przylegania [7].

## 7. PODSUMOWANIE

Przedstawione w pracy metody pozwalają na badania stanu warstwy stopu łożyskowego, w szczególności przylegania do podłoża panwi łożysk ślizgowych i ujednoczenie procedur wykonywania badań przez wytwórców i odbiorców łożysk ślizgowych. Powinny je również stosować firmy remontujące maszyny i urządzenia w łożyskach ślizgowych.

Stosowanie jednakowej metody badań przyczepności stopu łożyskowego do podłoża przez producentów, użytkowników łożysk ślizgowych oraz firmy remontowe pozwoli także wykonywać (o ile zajdzie taka konieczność) badania porównawcze przez trzecią stronę (np. uznane Laboratorium Badawcze) [7].

Aby określić jednoznaczną przyczynę nadmiernej zużycia łożyska ślizgowego należy poza badaniami penetracyjnymi oraz ultradźwiękowymi przylegania stopu zastosować również pomiar chropowatości. W badanej panewce łożyska ślizgowego profilografometr wskazał nawet czterokrotnie większą wartość chropowatości niż chropowatość początkowa  $Ra = 0,320 \mu\text{m}$ .

Według opinii autorów i pionu utrzymania ruchu Elektrociepłowni Białystok S.A. podczas remontu okresowego wirnika należy bezwzględnie wykonać badania penetracyjne i ultradźwiękowe przyczepności oraz w wątpliwych przypadkach zużycia patologicznego pomiar chropowatości.

## LITERATURA

- [1] Lawrowski Z., Tribologia: tarcie, zużywanie i smarowanie, PWN, Warszawa 1993.
- [2] Hebda M., Wachal A., Trybologia, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980.
- [3] Jaroszewicz J., Godlewski M., Kontrola jakości zbiorników ciśnieniowych z wykorzystaniem systemu wideo-ultradźwiękowego, COBRABiD, ABiD 1/2012.
- [4] Mazanek E., Podstawy konstrukcji maszyn – łożyska, sprzęgła i hamulce, przekładnie mechaniczne, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1997.
- [5] Jaroszewicz J., Kopciowski S., Energooszczędna eksploatacja pomp wirowych, zwłaszcza w energetyce i ciepłownictwie, Przegląd Mechaniczny, nr 7-8 2001.
- [6] Jędrał W., Pompy wirowe odśrodkowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996.
- [7] Jaroszewicz J., Kopciowski S., Badanie przyczepności (przylegania) warstwy stopu łożyskowego do podłoża panwi łożysk ślizgowych, IV Konferencja naukowo-praktyczna. Energia w nauce i technice, Białystok – Suwałki, 2005.
- [8] PN-EN 13927:2003 (U) Badania nieniszczące. Badania wizualne. Wyposażenie.
- [9] PN-ISO 3058:2001 Badania nieniszczące. Przyrządy pomocnicze do badań wizualnych. Dobór lup o małych powiększeniach.
- [10] PN-EN ISO 3452-3:2001 Badania nieniszczące. Badania penetracyjne. Część 3: Próbkę odniesienia.
- [11] PN-EN ISO 3452-4:2001 Badania nieniszczące. Badania penetracyjne. Część 4: Wyposażenie.
- [12] PN-EN 583-1:2004 Badania nieniszczące. Badania ultradźwiękowe. Część 2: Nastawianie czułości i zakresu obserwacji.



- [13] PN-EN 583-4:2003 (U) Badania nieniszczące. Badania ultradźwiękowe. Część 4: Badania nieciągłości prostopadłych do powierzchni.
- [14] PN-EN 583-4:2003/A1:2005 (U) Badania nieniszczące. Badania ultradźwiękowe. Część 4: Badania nieciągłości prostopadłych do powierzchni (Zmiana A1).
- [15] PN-EN 583-5:2002 (U) Badania nieniszczące. Badania ultradźwiękowe. Część 5: Charakteryzowanie i wymiarowanie nieciągłości.
- [16] PN-EN 12668-1:2004 Badania nieniszczące. Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej. Część 1: Aparatura.
- [17] PN-EN 12668-2:2002 (U) Badania nieniszczące. Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej. Część 2: Głowice.
- [18] PN-EN 12668-2:2002/A1:2005 (U) Badania nieniszczące. Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej. Część 2: Głowice (Zmiana A1).
- [19] PN-EN 12668-3:2003 Badania nieniszczące. Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej. Część 3: Aparatura kompletna.
- [20] PN-EN 12223:2003 Badania nieniszczące. Badania ultradźwiękowe. Opis próbki wzorcowej nr 1.
- [21] PN-EN 14127:2005 Badania nieniszczące. Ultradźwiękowe pomiary grubości.
- [22] Instrukcja obsługi przyrządu Hommel Tester T1000, [https://lab.fs.uni-lj.si/lat/uploads/metrologija/T1000\\_ENGL.PDF](https://lab.fs.uni-lj.si/lat/uploads/metrologija/T1000_ENGL.PDF), stan z dn. 11.04.2012.