

## Wpływ jakości odkuwek na trwałość długo eksploatowanych wirników

Otworki centralne w odkuwkach przeznaczonych na wały wirników wykonuje się zawsze wtedy, gdy ze względów technologicznych nie można zapewnić odpowiedniej czystości metalurgicznej w tej części odkuwki. Otworki centralne mogą mieć jedną średnicę (rys. 1) lub być stopniowane (rys. 2). Wady metalurgiczne (pory, rzadzinny, jamy skurczowe) mają tendencję do gromadzenia się w pobliżu osi odkuwki.

Wykonanie otworu centralnego w osi odkuwki prowadzi do:

- wyeliminowania defektów technologicznych lub ich znaczącego ograniczenia,
- koncentracji naprężeń; naprężenia obwodowe na powierzchni otworu centralnego są dwukrotnie większe niż w tym samym miejscu wirnika pełnokutego.

Wykonanie otworu centralnego umożliwia jednak wykonanie badań diagnostycznych dla określenia stanu powierzchni otworu centralnego i jego warstwy przyściennej. W niektórych wersjach badań pozwala określić mapę wskaźną w całej objętości odkuwki.

### Badania diagnostyczne otworu centralnego

Powierzchnia otworu centralnego może być miejscem generowania pęknięć ze względu na:

- koncentrację naprężeń,
- największe prawdopodobieństwo występowania wad materiałowych.

Przed przystąpieniem do badań diagnostycznych powierzchnia otworu centralnego musi być właściwie przygotowana. Powierzchnię przygotowuje się przez honowanie/szlifowanie lub przetoczenie.

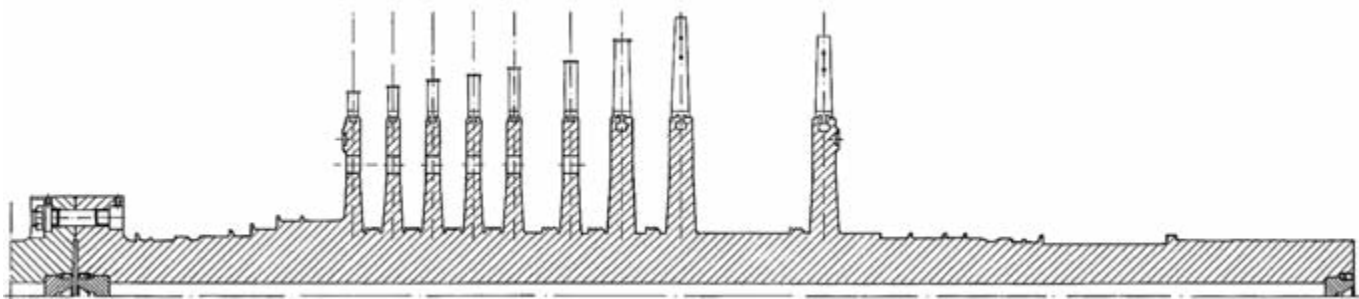
Badania diagnostyczne otworów centralnych powinny obejmować strefę najbardziej wyężoną (jest to ogólna zasada diagnostyki). Dla przypadku badania otworu centralnego jest to powierzchnia otworu centralnego i warstwa przyścienna.

Mniej istotne – z praktycznego punktu widzenia – jest poszukiwanie wskaźników w obszarach bardziej odległych od powierzchni otworu, są to bowiem miejsca niższych naprężeń i wyższej czystości odkuwki.

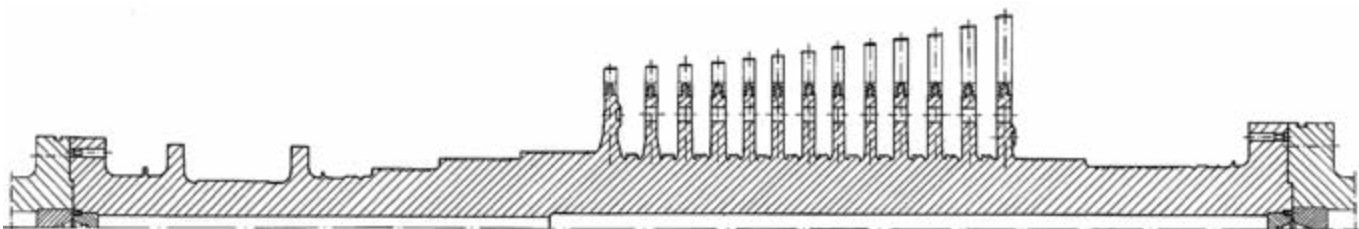
### Badania wizualne

Badania wizualne, endoskopowe powierzchni otworu centralnego prowadzi się z dwóch powodów.

- Dla ustalenia czy stan powierzchni otworu centralnego umożliwia wykonanie badań. Nieusunięte ślady obróbki pierwotnej (rys. 3), pozostałości „przypalanego” oleju (rys. 4) lub inne nieprawidłowości powierzchni uniemożliwiają wykonanie wiarygodnych badań. Stwierdzone nieprawidłowości pokazane na rysunkach 5 – 8 powinny zostać usunięte przed przystąpieniem do badań.
- Dla ujawnienia nieciągłości powierzchniowych, w tym przede wszystkim tych o charakterze pęknięć.



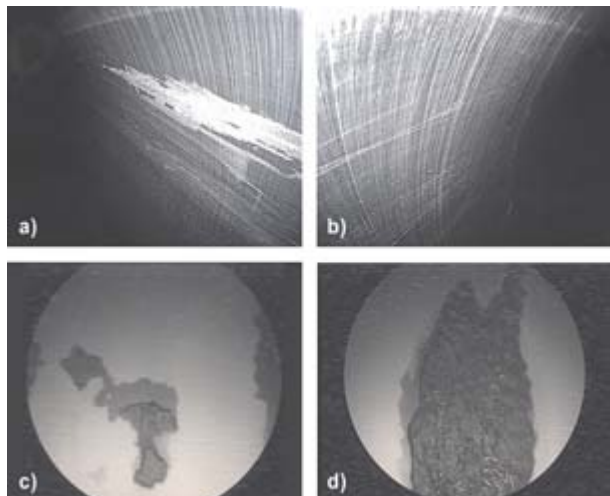
Rys. 1. Niestopniowany otwór centralny wirnika turbiny 55 MW



Rys. 2. Stopniowany otwór centralny wirnika turbiny 120 MW

## Badanie wiropądowe

Badanie wiropądowe pozwala na wykrycie zarówno nieciągłości na powierzchni jak i w warstwie przyściennej otworu centralnego. Efektywna głębokość badania to max. 10 mm.



Rys. 3. Wady przygotowania otworu centralnego do badań:  
a), b) – rysy obróbcze na powierzchni otworu,  
c), d) – spalony olej na powierzchni otworu

## Wirniki w końcowym okresie wyczerpania trwałości

W ostatnim okresie, w ramach prowadzonych badań diagnostycznych, coraz częściej spotykamy wirniki, które wydają się dobiegać końca okresu wyczerpania trwałości. Dotyczy to zwłaszcza wirników turbin o mocy 25 MW i 50 MW, które były zainstalowane w Polsce w latach 1950 – 1960.

Najbardziej intensywnie eksploatowane wirniki turbin i generatorów przepracowały dotychczas ponad 330 000 godzin.

Prognozowanie dalszej bezpiecznej eksploatacji urządzeń energetycznych powinno w każdym przypadku być poprzedzone analizą historii eksploatacji.

Dotyczy to przede wszystkim badań diagnostycznych wałów wirników od strony otworu centralnego, które przepracowały > 200 000 godzin.

Ważne jest, aby ekspert stawiając prognozę mógł zinterpretować właściwie, w jaki sposób na wynik badania wpłynęła

historia eksploatacji, np. czy wskazania, które obserwuje na powierzchni otworu centralnego propagowały w ostatnim okresie (od badania do badania), czy obserwuje wskazania nowo powstałe. Jako przykład na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań otworu centralnego w ciągu ośmiu lat.

## Porównanie wyników badań dwóch wirników (ten sam typ turbiny)

### Wirnik A

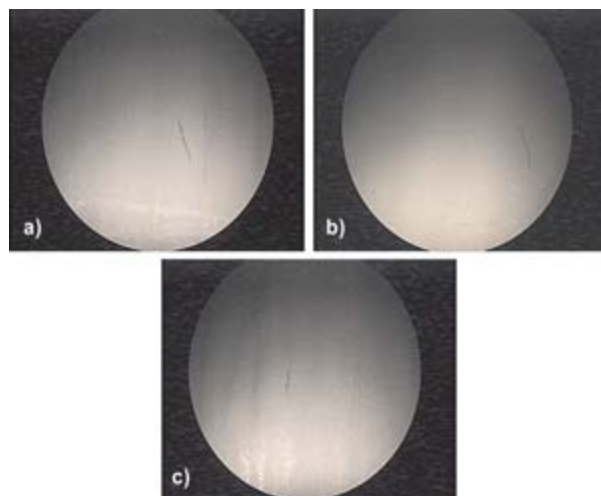
Wirnik przepracował > 320 000 godzin. Wyniki badań otworu centralnego były następujące.

Tabela 1

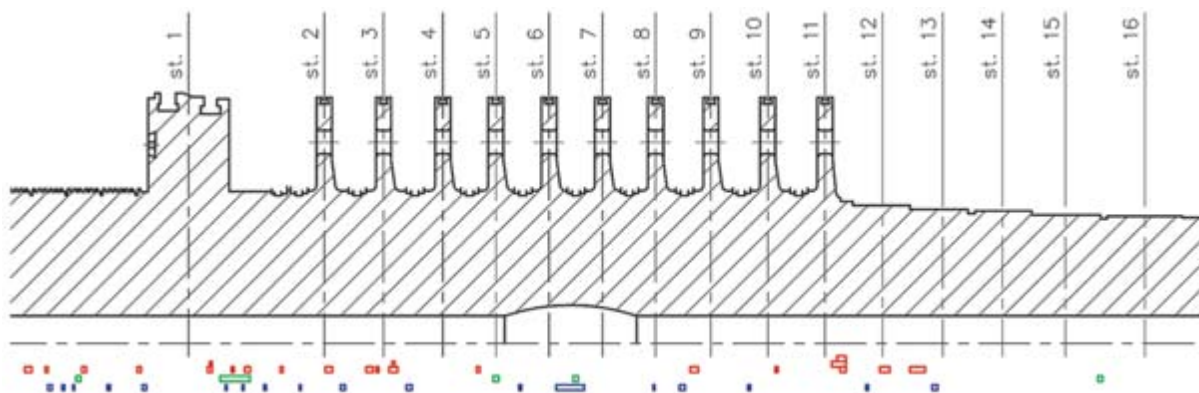
Wyniki badań wirnika A

Metoda badań	Obszar badań	Wynik badań
VTE	Powierzchnia otworu centralnego	24 wskazania o charakterze pęknięć o dł. 4 – 20 mm. Wady technologiczne
ET	Warstwa przyścienna otworu centralnego	9 wskazań o głębokości 0,5 – 1,0 mm

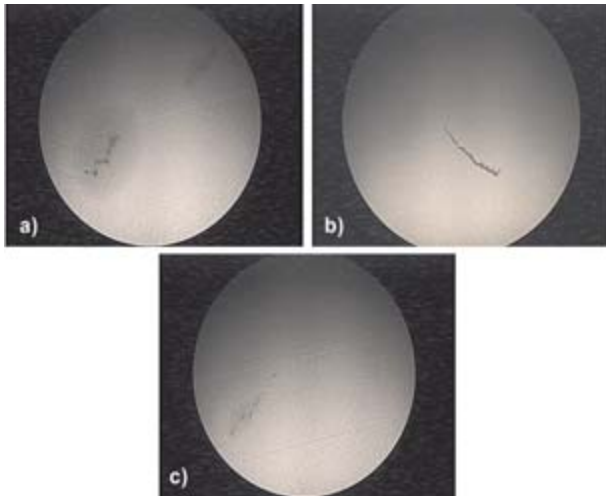
Przykłady wskazań z tabeli 1 przedstawiono na rysunkach 5 i 6.



Rys. 5. Wskazania o charakterze pęknięć na powierzchni otworu centralnego (a, b, c)



Rys. 4. Lokalizacja wskazań na powierzchni otworu centralnego  
Wskazania ujawnione w 2008 Wskazania ujawnione w 2003 Wskazania ujawnione w 2001



Rys. 6. Wady hutnicze na powierzchni otworu centralnego (a, b, c)

### Wirnik B

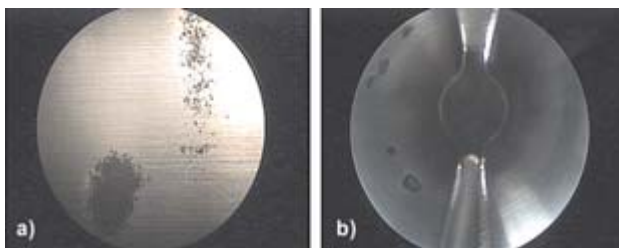
Wirnik B pochodził z turbiny tego samego typu co wirnik A (turbiny pracują przy identycznych parametrach pary dolotowej u tego samego Użytkownika). Wirnik przepracował >260 000 godzin. Wyniki badań otworu centralnego były następujące.

Wyniki badań wirnika B

Tabela 2

Metoda badań	Obszar badań	Wynik badań
VTE	Powierzchnia otworu centralnego	Wady hutnicze. Brak wskazań o charakterze pęknięć
ET	Warstwa przyścienna otworu centralnego	Brak wskazań wymagających rejestracji

Przykłady wskazań z tabeli 2 przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Wady hutnicze na powierzchni otworu centralnego (a, b)

### Ocena wirników w końcowym okresie resursu ich pracy

Dopuszczenie wirnika do dalszej eksploatacji, zwłaszcza takiego, który posiada pęknięcia o charakterze eksploatacyjnym, wymaga:

- szczegółowej analizy historii eksploatacji wirnika,
- analizy oczekiwań eksploatacyjnych użytkownika,
- odwołania się do dobrej wiedzy inżynierskiej, w tym przede wszystkim statystyki uszkodzeń wirników o podobnej historii pracy.

Jak to przedstawiono w niniejszym artykule możliwe jest dopuszczenie do dalszej eksploatacji wirnika, dla którego na powierzchni otworu centralnego stwierdzono wskazania o długości 4 – 20 mm. Oczywiście należy w takim wypadku określić, w jakich warunkach będzie to praca bezpieczna.

Wskazania wykryte na powierzchni otworu centralnego wirnika, opisane powyżej, należy monitorować (sprawdzać ewentualną kinetykę wzrostu) i w razie potrzeby weryfikować prognozę.

Ważną sprawą w tak skomplikowanym przypadku jest określenie kompromisu pomiędzy bezpieczną eksploatacją wirnika a częstością badań, którą Użytkownik jest w stanie zaakceptować jako „normalną” rewizję.

### Podsumowanie i wnioski

1. Ze względu na stopień koncentracji naprężeń na powierzchni otworu centralnego obszar ten należy traktować jako potencjalne miejsce występowania pęknięć.
2. Jako obszar uprzywilejowanego występowania nieciągłości o charakterze pęknięć powierzchnia otworu centralnego oraz warstwa przyścienna powinny zostać objęte badaniami diagnostycznymi o odpowiedniej – dla indywidualnego przypadku – częstotliwości.
3. Badania diagnostyczne (po wcześniejszym właściwym przygotowaniu powierzchni do badań) powinny obejmować:
  - pomiary średnic(y) otworu,
  - badania wizualne-boroskopowe,
  - badania magnetyczno-proszkowe,
  - badania wiropływowe i/lub badania ultradźwiękowe.
4. Podstawowym warunkiem decydującym o wartości i użyteczności wyników badań wirników o zaawansowanym stopniu wyczerpania trwałości jest umiejętność interpretacji wyników badań, danych historycznych oraz posiadanie odpowiedniego doświadczenia.
5. Wykonywanie badań wg wyżej opisanej procedury i technologii jest całkowicie wystarczające dla zapewnienia bezpiecznej eksploatacji nawet bardzo długo eksploatowanych wirników o niskiej jakości metalurgicznej odkuwki.

Bezpieczna, możliwie najdłuższa eksploatacja, zależy w znacznie większym stopniu od racjonalnych kryteriów oceny wyników badań i historii eksploatacji niż od zastosowanej techniki pomiarowej.

#### Uwagi:

- a. Nie każda wada stwierdzona w odkuwce wirnika jest niebezpieczna z punktu widzenia jego dalszej bezpiecznej eksploatacji. Tylko wady o wymiarach większych od progowych mogą dalej się rozwijać przy określonym poziomie naprężeń.
- b. Wady poniżej progowych rozmiarów nie powinny być rejestrowane, gdyż wynik badania czynią mniej przejrzystym i w efekcie utrudniają ich analizę. W tym kontekście wymagane, aby poszukiwać w odkuwkach wałów wskazań o wymiarach rzędu 0,2 mm należy uznać za pozamerytoryczne.
- c. Metody obliczeniowe do oceny stanu odkuwek na wały wirników należy stosować wyjątkowo rozważnie, z uwagi na brak lub ograniczoną przydatność wielu danych materiałowych koniecznych do takiej analizy.

