

Mgr inż. Wojciech Betlej  
Quartzelec Ltd.

## Masz maszynę elektryczną o napięciu ponad 6 kV?

Jeśli tak, to możesz być pewien, że izolacja uzwojenia stojana jest narażona na niszczące wyładowania niezupełne

### Is your machine rated voltage above 6 kV?

If yes, you can be certain that stator insulation system is affected by destructive partial discharges

Na uzwojeniach stojanów maszyn elektrycznych, których wartość napięcia znamionowego jest większa od około 6 kV (przy ciśnieniu atmosferycznym), występują wyładowania niezupełne wewnątrz izolacji głównej oraz między powierzchnią cewki/pręta a rdzeniem stojana.

Wyładowania niezupełne WNZ (z ang. partial discharge) powstają w wyniku działania na izolację wysokiego natężenia pola elektrycznego. Jeśli między warstwami izolacji lub między powierzchnią uzwojenia a rdzeniem stojana istnieją szczeliny powietrzne, wówczas dochodzi do powstania przeskoku miniaturowych iskieł, które z czasem degradują system izolacyjny maszyny.

**Jeśli w porę nie zareagujemy, może dojść do przebicia izolacji**



Rys. 1. Przykład uzwojenia zniszczonego WNZ, na którym doszło do zwarcia

Niestety, kiedy dojdzie do przebicia izolacji i zwarcia, konsekwencje są bardzo poważne. Tego typu awaria może zagrażać nie tylko samej maszynie, ale również życiu pracowników elektryczni. W rezultacie dochodzi do komercyjnych konsekwencji.

Mimo że inżynierowie próbują minimalizować wpływ wyładowań niezupełnych poprzez np. lakierowanie powierzchni uzwojenia stojana lakierem półprzewodnikowym, z czasem pod wpływem drgań czy różnej rozszerzalności cieplnej materiałów, uzwojenie będzie się degradować, zaś wartość wyładowań niezupełnych z czasem będzie wzrastać.

### Nie da się uniknąć wyładowań niezupełnych

Pręty w żłobkach stojana poddawane są bardzo wysokim siłom mechanicznym, wywołanym polem magnetycznym o częstotliwości dwukrotnie większej od częstotliwości pracy maszyny (100 Hz w Polsce). Wraz ze wzrostem mocy maszyny wzrastają siły działające na pręty lub cewki stojana. Przy pełnej mocy siły te rosną proporcjonalnie do kwadratu prądu płynącego przez pręt.

Siły te mają niewielki wpływ, jeśli pręty lub cewki są odpowiednio ciasno zamontowane w żłobkach. Jeśli jednak cewka nie zostanie wystarczająco dobrze przytrzymana w żłobku, to zacznie drgać, zaś izolacja zacznie się poruszać względem rdzenia stojana, głównie w kierunku promieniowym (tj. w górę i w dół w żłobku).

Rdzeń stojana składa się z pojedynczych blach (laminałów), których krawędzie tworzą skuteczną powierzchnię tarcia. Ruch cewki najpierw ściera powłokę półprzewodnikową, a następnie niszczy izolację główną uzwojenia stojana.



Rys. 2. Przykład zniszczonej przez WNZ powłoki półprzewodnikowej na pręcie stojana

Istnieją dwa podstawowe etapy procesu niszczenia izolacji, które często nazywane jest wyładowaniami koronowymi.

W pierwszym etapie pręt lub cewka drga, ale większość powłoki półprzewodnikowej jest nienaruszona. Na tym etapie występują wyładowania powierzchniowe, ponieważ powłoka półprzewodnikowa cewki lub pręta odsuwa się od uziemionego rdzenia stojana i odbiera część ładunku powstałego przez pojemność szczeliny powietrznej (wynoszącej kilka woltów) między powłoką a rdzeniem. Kiedy półprzewodnikowa powłoka wraca do kontaktu z rdzeniem, zgromadzony ładunek jest zwarty do ziemi, powodując iskrę. Czasami etap pierwszy nazywa się wyładowaniem szczelinowym (żłobkowym).

W drugim etapie powłoka półprzewodnikowa jest ściera- na z powierzchni cewki i nie jest ona uziemiona (przynajmniej w miejscu ścierania), nawet pośrednio. Wówczas, na powierzchni prętów o wysokim napięciu, w szczelinie pomiędzy rdzeniem a powierzchnią cewki, powstaje potencjał o wartości kilku tysięcy woltów, co doprowadza do dobrze nam znanych wyładowań niezupełnych.

Wysokie napięcie w szczelinie powietrznej, między prętem a rdzeniem, prowadzi do wyładowania elektrycznego powietrza lub wodoru, natomiast intensywność wyładowań niezupełnych jest zwykle wystarczająco duża, aby przyspieszyć tempo degradacji izolacji głównej uzwojenia stojana.

Opracowania<sup>1)</sup> sugerują, że w dużych maszynach, w których siły działające na pręty są bardzo wysokie, awaria może wystąpić już po dwóch latach, czyniąc tym samym luźne cewki jednym z najszybszych mechanizmów starzenia się izolacji stojana. Mechanizm ten może występować jednakowo szybko w maszynach chłodzonych powietrzem lub wodorem. Chociaż aktywność wyładowań niezupełnych jest zwykle mniejsza przy wysokim ciśnieniu w przypadku maszyn chłodzonych wodorem, tempo degradacji jest podobne, ponieważ to drgania są główną przyczyną starzenia się, nie zaś wyładowania niezupełne.

## Pomiar off-line czy on-line?

Od lat prowadzone są badania off-line, kiedy maszyna jest na postoju. Niesie to ze sobą wiele ograniczeń, które często mogą wpłynąć na błędy w interpretacji.

Warto się zatem zastanowić nad korzyściami płynącymi z monitoringu on-line. Wdrożenie elementów diagnostyki on-line pozwala na wczesne wykrycie i lokalizację zmian zachodzących na jednostkach wytwórczych w ich początkowym stadium. Pozwoli to na wczesne planowanie odpowiednich czynności remontowych lub modernizacyjnych, zanim dojdzie do kosztownej i często tragicznej w skutkach awarii.

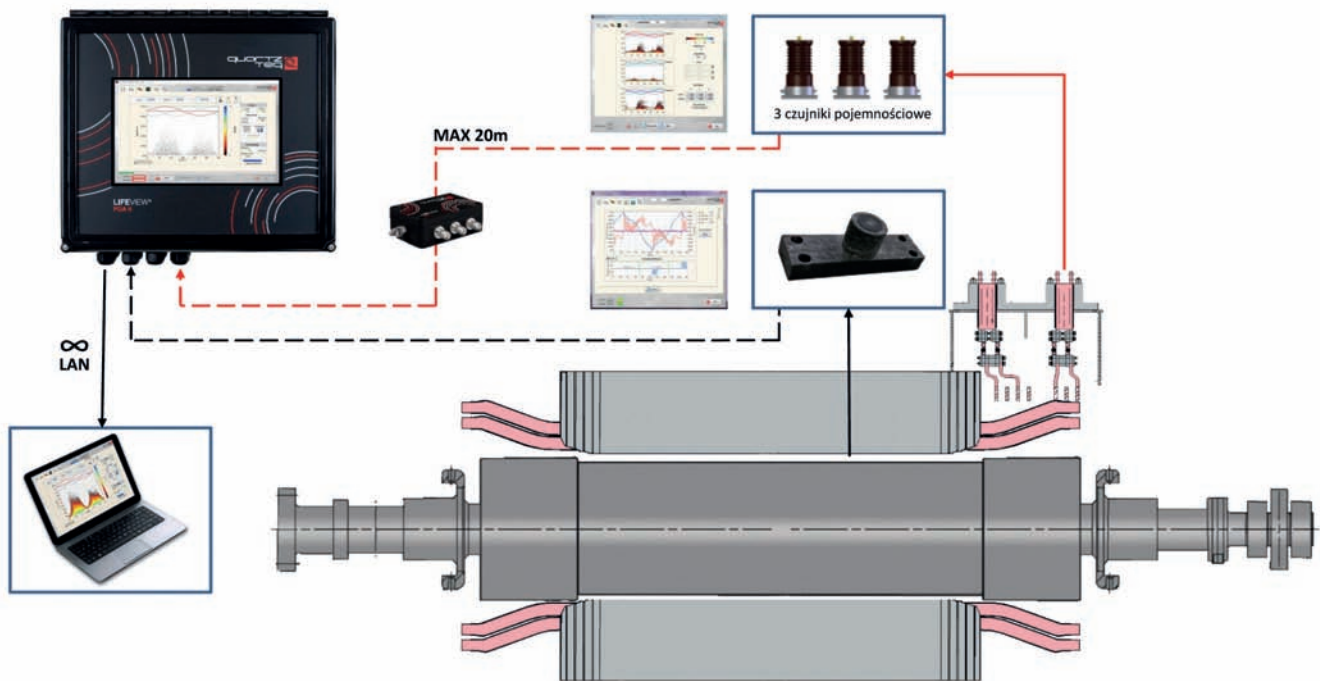


Rys. 3. LIFEVIEW® PDA II do ciągłego monitorowania wyładowań niezupełnych

<sup>1)</sup> R.J. Jackson and A. Wilson, *Slot Discharge Activity in Air-Cooled Motors and Generators*, "Proc. IEE", 129, Part B, 159-167, 1982.

Tabela 1

On-line	Off-line	Komentarz
JEDNORAZOWY koszt inwestycji	ciągły wydatek bez względu na wysokość zagrożenia WNZ	oszczędność w czasie
pokazuje <u>RZECZYWISTE</u> WNZ spowodowane TEAM	pokazuje WNZ spowodowane tylko obecnością napięcia	inna temperatura, brak drgań, brak przepływu prądu, napięcie na całej fazie dają skrzywiony obraz WNZ przy pomiarze off-line
łatwy, <u>CIĄGŁY</u> monitoring, który ostrzega w porę	maszyna musi być odłączona i rozszynowana	można nie zauważyć punktu krytycznego, czyli nagłego wzrostu WNZ, który może doprowadzić do zwarcia
<u>NIE</u> wymaga zasilania zewnętrznego	wymaga zasilania zewnętrznego	wyzwania spowodowane BHP, logistyczne oraz koszt



Rys. 4.  
LIFEVIEW® PDA II schemat połączeń

Wniosek z zamieszczonej tabeli jest jednoznaczny: pomiar on-line wyładowań niezupełnych jest lepszym i dużo praktyczniejszym rozwiązaniem. Instalacja urządzenia on-line przynosi korzyści nie tylko techniczne lecz również finansowe.

Poprzez monitorowanie wyładowań niezupełnych na każdej fazie stojana niemal każda wada związana z uzwojeniem stojana może być wcześniej wykryta, zapobiegając tym samym długim, nieplanowanym przestojom generatora lub silnika.

Operatorzy maszyn elektrycznych mają natychmiastowy dostęp do raportu, tak by móc szybko potwierdzić czy działania naprawcze są niezbędne. Bezwzględna i niezależna diagnostyka to oszczędność czasu i pieniędzy.

LIFEVIEW® generuje informacje, które pozwalają na niezawodną i sprawną pracę maszyn elektrycznych, a ponadto:

- system automatycznie informuje, gdy dojdzie do zmian mierzonych parametrów,
- oszczędza czas i pieniądze, ponieważ diagnostyka może być wykonana przez operatorów urządzeń,

- minimalizuje straty produkcyjne,
- pozwala na lepsze planowanie remontów,
- pozwala na zwiększenie odstępów czasu pomiędzy regularnymi remontami i przeglądami maszyn,
- optymalizuje inwestycje poprzez wydłużenie czasu pracy generatora,
- zwiększa bezpieczeństwo operatorów maszyn.

**Wdrożenie elementów diagnostyki  
to opłacalna inwestycja  
dla Ciebie i Twojej elektrowni.**

**Lifeview® to zwiększenie do maksimum  
niezawodności oraz okresu użytkowania  
Twojego generatora.**

Dane kontaktowe

**Wojciech Betlej**

T: +48 574 260725

E: wojciech.betlej@quartzelec.com

**QUARTZ  
eLeC** 

#UnparalleledinEngineeringServices

T: +44 (0)1788 512512 | E: info.uk@quartzelec.com | www.quartzelec.com