

Termowizja prawdę ci powie

Autorzy:

Krzysztof Patschek, ZPBE ENERGOPOMIAR-ELEKTRYKA Sp. z o.o. Gliwice

Antoni Szopa, ZPBE ENERGOPOMIAR-ELEKTRYKA Sp. z o.o. Gliwice

Artykuł został opublikowany w magazynie "Energetyka Ciepła i Zawodowa" nr 11/2010



Pomiary termowizyjne można klasyfikować w grupie badań diagnostycznych maszyn elektrycznych. Dzięki nim można uniknąć wielu kosztownych awarii oraz postojów. Kilka ciekawych przykładów zastosowań tych badań zawiera poniższy artykuł (red. ECiZ).

Maszyny wirujące stanowią jedną z najliczniejszych grup maszyn elektrycznych w przemyśle. Silniki wykorzystywane są praktycznie w każdej gałęzi przemysłu, w elektroenergetyce, w przemyśle spożywczym, chemicznym, petrochemicznym. W energetyce zawodowej generatory i hydrogeneratory to jedne z najważniejszych maszyn, których niezakłócona praca ma kluczowe znaczenie w procesie wytwarzania energii elektrycznej.

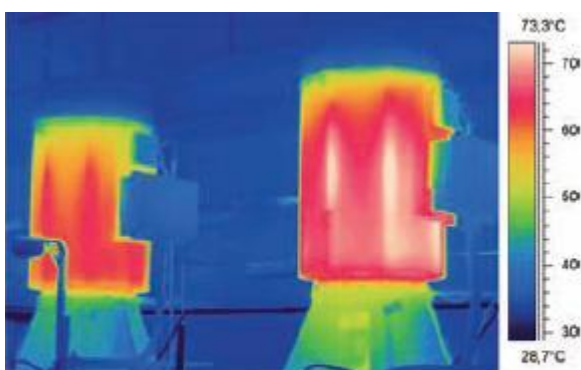
Istotny czynnik

Temperatura jest jedną z najczęściej mierzonych wielkości w przemyśle. Pomiary wartości temperatury decydują o przebiegu procesów technologicznych, służą kontroli parametrów różnego rodzaju mediów oraz kontroli stanu pracy maszyn. Znajomość rozkładów temperatury oraz analiza występujących zjawisk cieplnych w maszynach elektrycznych odgrywa bardzo istotną rolę z punktu widzenia ich eksploatacji. Zmiany temperatury, zarówno jej wzrost, jak i jej obniżenie są najczęściej pierwszym sygnałem o nienormalnej pracy maszyny i możliwości wystąpienia awarii.

Aby zapobiec niekorzystnym skutkom zmian temperatury lub niedopuszczeniu do jej nadmiernego przyrostu, instaluje się w maszynach kontaktowe czujniki temperatury, które na bieżąco śledzą stan cieplny maszyny.

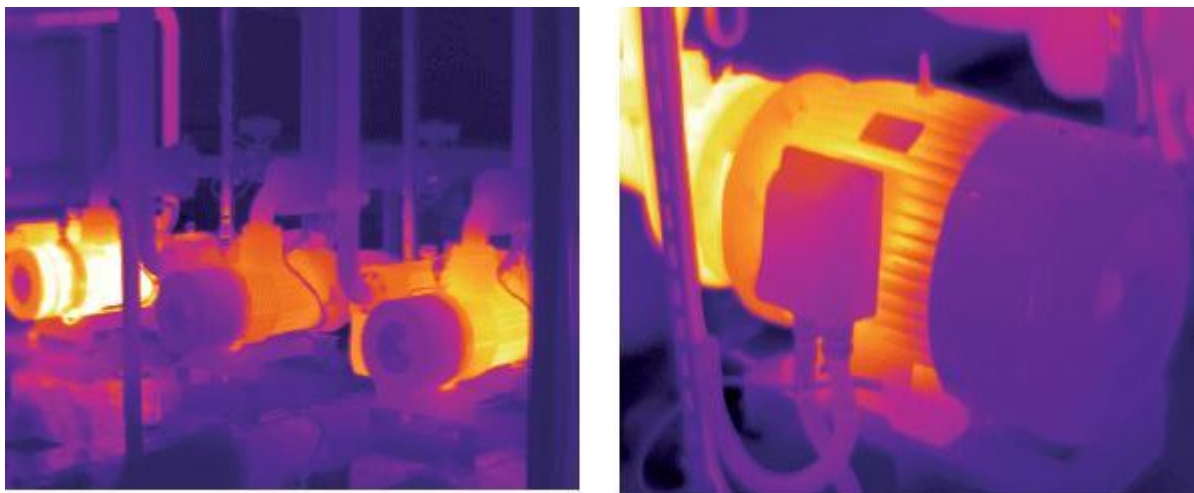
Diagnostyka termowizyjna

W latach 70. do użytku weszło jeszcze jedno narzędzie do badania zjawisk cieplnych – kamera termowizyjna. Zaletami wykorzystania kamer termowizyjnych są przede wszystkim bezdotykowy pomiar temperatury, bez ingerencji w konstrukcję maszyny z odległości, podczas normalnej pracy maszyny oraz możliwość wizualizacji rozkładów temperatury.



Fot. 1. Przykład rozkładu temperatury na korpusach silników pomp wody chłodzącej

Diagnostyka termowizyjna maszyn, podczas ich normalnej eksploatacji, obejmuje obserwację rozkładów temperatury oraz pomiar wartości temperatury na widocznych częściach maszyny.



Fot. 2. Przykład rozkładu temperatury na korpusach silników

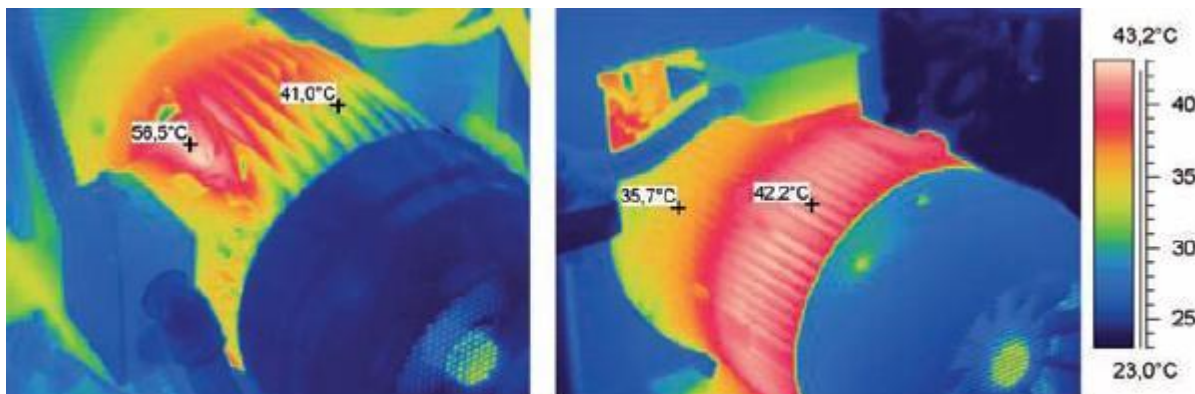
Korpus silnika

Monitorowanie temperatury korpusu silnika ma na celu zapobieganie wystąpieniu wysokiej temperatury i przegrzaniu się uzwojenia stojana podczas jego pracy. Przekroczenie temperatur dopuszczalnych, wynikających z klasy izolacji uzwojenia, może skrócić czas eksploatacji maszyny.

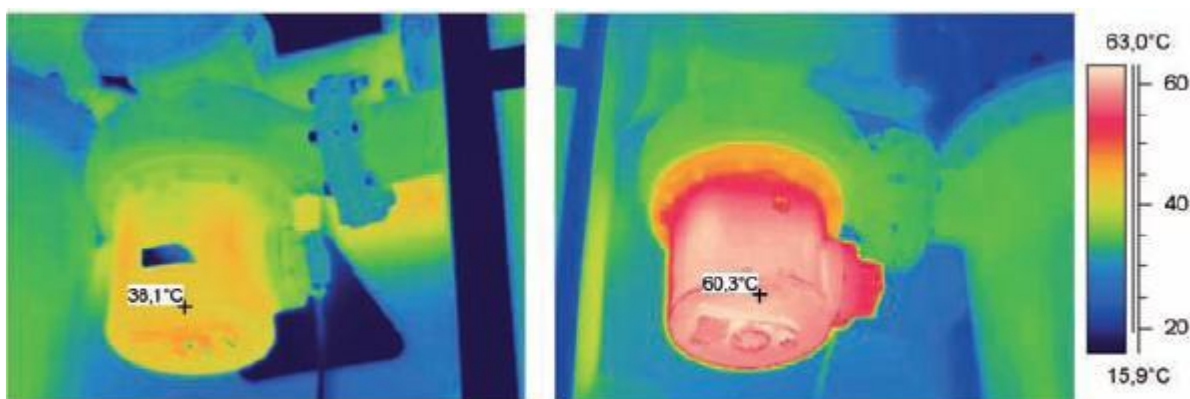
Generatory, hydrogeneratory czy silniki dużej mocy, o strategicznym znaczeniu z punktu widzenia ich pracy, zwykle wyposażone są w czujniki temperatury, które na bieżąco monitorują stan cieplny maszyny. Dla tych maszyn technika termowizyjna jest badaniem uzupełniającym mogącym pełnić również funkcję kontrolną zainstalowanych czujników.

Dla pozostałej grupy maszyn badanie termowizyjne może stanowić jedyne źródło informacji o stanie ich pracy. Ocena stanu technicznego tych maszyn w dużej mierze zależy od regularności przeprowadzania pomiarów, zbierania danych przez dłuższy czas i ciągłego porównywania otrzymanych wyników z warunkami pracy badanych urządzeń (czas pracy maszyny i wielkość obciążenia).

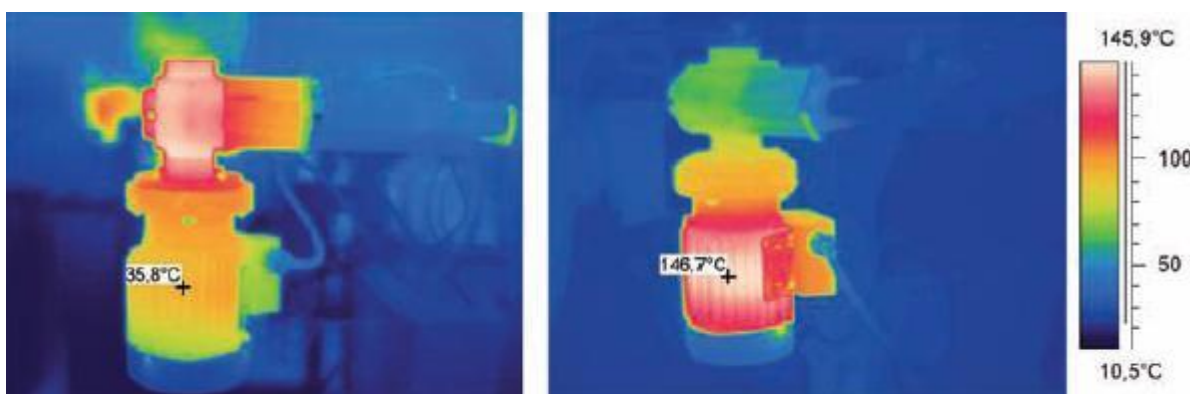
Łatwiej jest, gdy przedmiotem badania są co najmniej dwa identyczne urządzenia pracujące w tych samych warunkach otoczenia i obciążenia. Możliwość porównania rozkładów temperatury oraz występujących na nich temperatur pozwala natychmiast zlokalizować prawdopodobne miejsce przyszłej awarii [Fot. 4 i 5].



Fot. 3. Rozkłady temperatury na korpusie silnika



Fot. 4. Silniki pomp olejowych transformatora

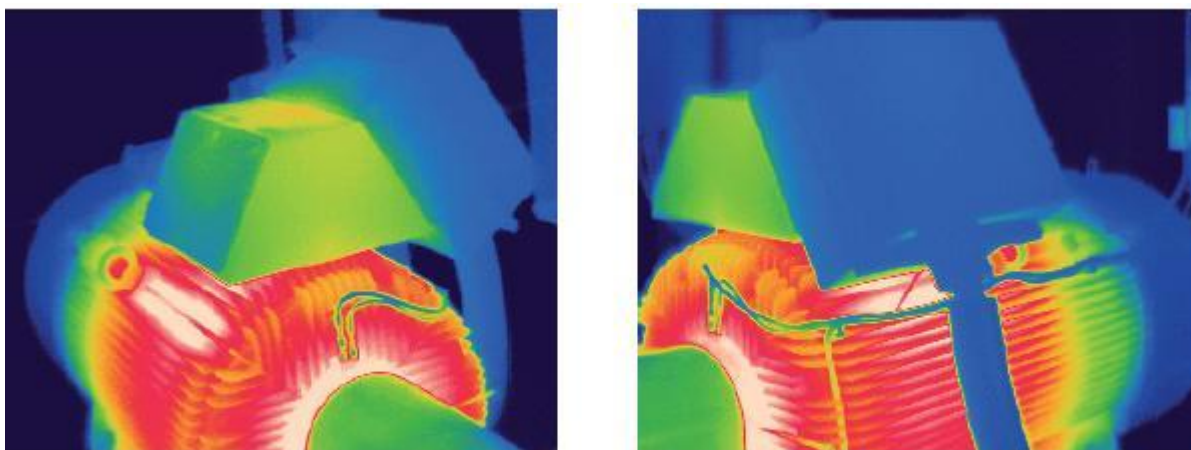


Fot. 5. Silniki napędu taśmy transportowej

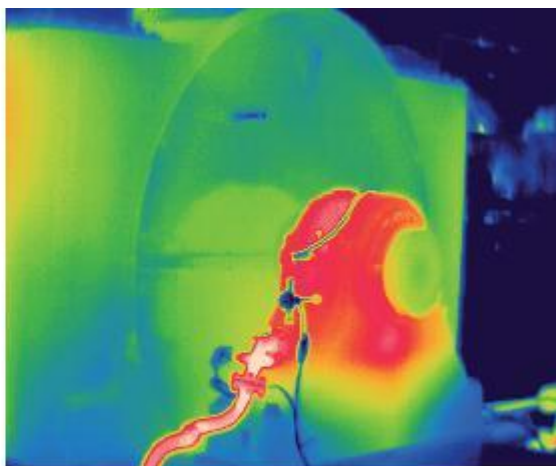
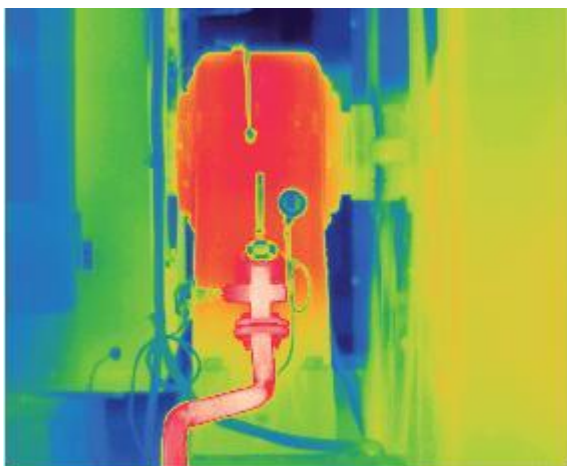
Łożyska

Łożyska to drugi ważny element maszyny wirującej. Zadaniem łożyska jest podpieranie i ustalanie położenia wirnika w celu utrzymania równomiernej szczeliny powietrznej pomiędzy wirnikiem a stojanem maszyny. Narastające uszkodzenie łożyska powoduje zwiększenie poziomu drgań, poziomu hałasu oraz wzrost temperatury [Fot. 6]. Jeżeli na silniku nie są prowadzone inne działania diagnostyczne a jedynie regularny pomiar termowizyjny, który jest metodą szybką, nieinwazyjną, wykonywaną w trakcie normalnej pracy silnika, pozwoli to odpowiednio wcześniej wykryć narastającą temperaturę łożyska.

Sprawność łożyska, szczególnie generatorów dużej mocy, zależy również od prawidłowego działania układów chłodzących i olejowych. Badaniem termowizyjnym można sprawdzić drożność tych układów oraz temperaturę czynnika [Fot. 7].



Fot. 6. Przykład rozkładu temperatury w rejonie łożyska silnika



Fot. 7. Przykład rozkładu temperatury na obudowie łożyska generatora

Zastosowanie w fazie produkcji

Największe zastosowanie badań termowizyjnych w diagnostyce technicznej generatorów, hydrogeneratorów i silników znalazło w fazie ich produkcji, przed włożeniem uzwojeń do rowków, po uzwojeniu stojana oraz po kilkunastu latach pracy w czasie remontu maszyny przy wyjętym wirniku. Badanie termowizyjne polega na pomiarze rozkładu temperatury na powierzchni żelaza czynnego stojana podczas próby nagrzewania przy wymuszonym strumieniu magnetycznym w rdzeniu, wywołanym przepływem prądu w nawiniętej pętli. Celem próby nagrzewania rdzenia jest ocena pakietu żelaza stojana przez wykrycie miejsc uszkodzeń, (zwarć poszczególnych pakietów rdzenia) które mogą powodować niedopuszczalnie wysokie, lokalne, przegrzanie blach. Lokalnie grzejący się pakiet w strefie żłobkowej powoduje obniżenie czasu życia układu izolacyjnego uzwojenia generatora czy silnika.

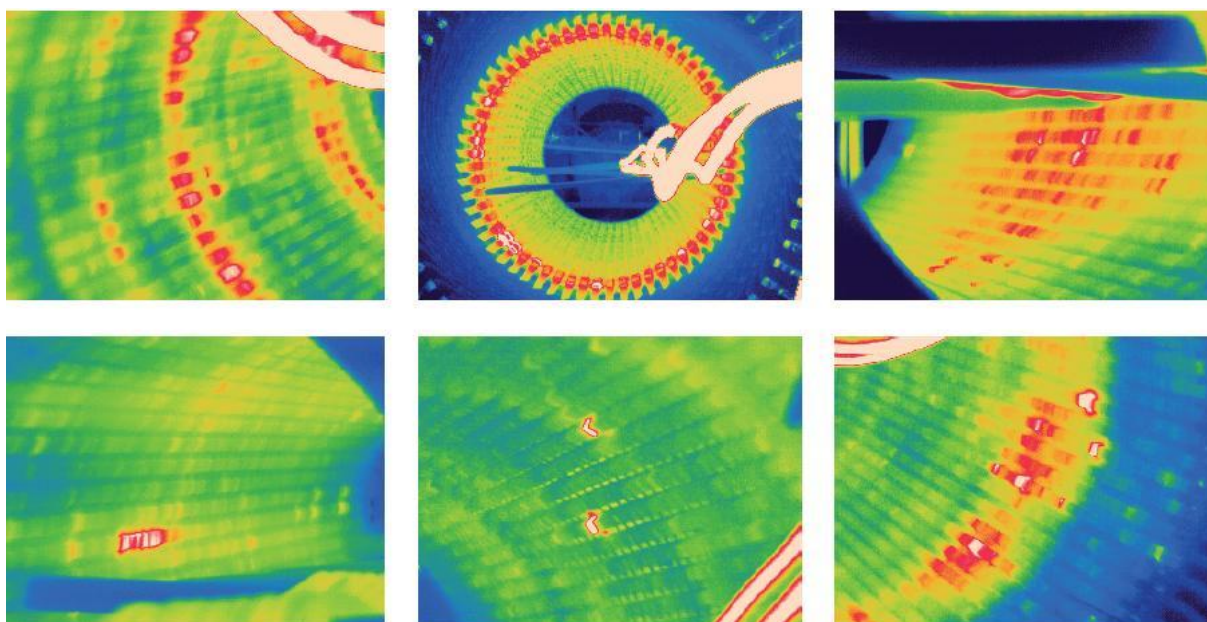


Era „przedtermowizyjna”...

Poniżej fragmenty „Ramowej Instrukcji Eksploatacji Prądnic Synchronicznych” Instytut Energetyki Ośrodek Normalizacji, Warszawa 1991, opisujące sposób wykonania próby i pomiaru temperatur blach rdzenia przed wprowadzeniem technik termowizyjnych. Przed rozpoczęciem próby trzeba zmierzyć początkową temperaturę rdzenia. W miejscach tych umieszcza się termopary lub termometry alkoholowe /co najmniej 5 w miejscach najzimniejszych i co najmniej 10 w miejscach najcieplejszych/.... Następnie /to/, a następnie włączyć prąd w uzwojeniu ponownie włącza się prąd w uzwojeniu magnesującym i nagrzewa rdzeń. ... Po wyłączeniu prądu dokonuje się bezzwłocznie odczytu temperatur końcowych. Krótki opis wykonywania próby uświadamia nam, jak mało dokładny był sposób oceny temperatury rdzenia na tzw. „rękę”. Skuteczność wskazania lokalnych przegrzań blach w dużym stopniu zależała od szybkości pracownika dotykającego powierzchni blach – po wyłączeniu prądu natychmiast następuje stygnięcie pakietu – oraz od dokładności badania celem wychwycenia czasami pojedynczego pakietu.

... i czas terazniejszy

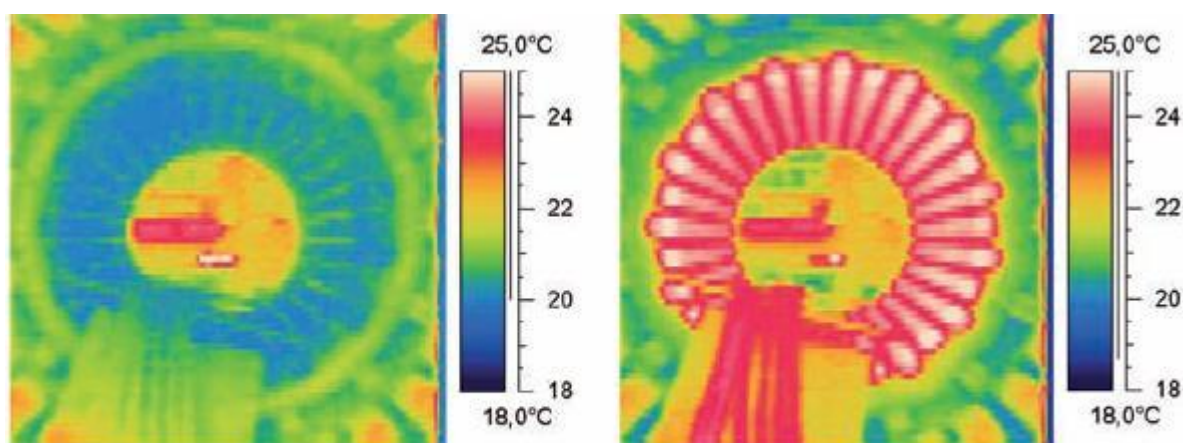
Obecnie dzięki technice termowizyjnej możemy zobaczyć, w jak różnorodny sposób mogą być rozmieszczone anomalie temperaturowe na powierzchni rdzenia stojana [Fot. 8].



Fot. 8. Przykłady rozkładu temperatury na powierzchni rdzenia stojana generatora. Widoczne są miejsca zwarć pakietów rdzenia

Pierwsze przymiarki wprowadzenia techniki termowizyjnej do próby nagrzewania rdzenia stojana miały miejsce w 1993 roku w Zakładzie Produkcji Generatorów ABB Dolmel we Wrocławiu (obecnie ALSTOM Power).

Już pierwszy pomiar generatora [Fot. 9], który stale był monitorowany kamerą termowizyjną podczas nagrzewania, dowiódł, że technika ta na stałe zostanie związana z próbą nagrzewania rdzenia i całkowicie zastąpi dotychczas stosowane metody oceny stanu cieplnego rdzenia.



Fot. 9. Pierwsze termogramy wykonane przed oraz na koniec próby nagrzewania rdzenia stojana generatora. Kamera AGEMA 880LWB

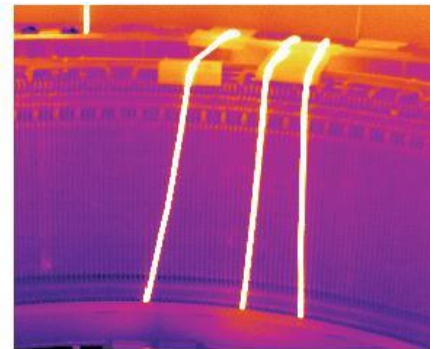
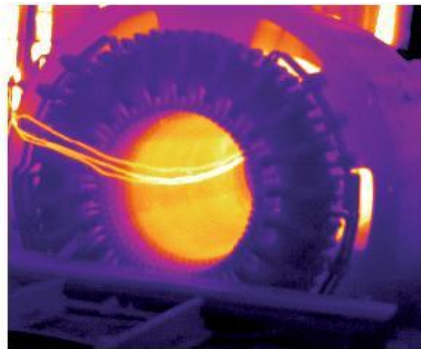
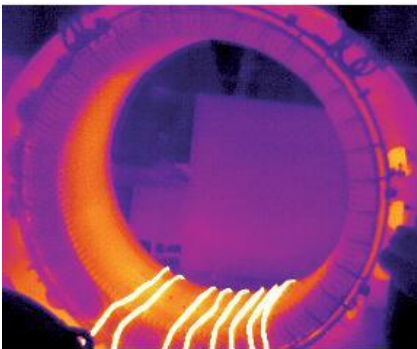
Obecnie wykonanie próby nagrzewania rdzenia wymaga:

- Zmontowania układu uzwojenia magnesującego i uzwojenia kontrolnego;
- Wykonania termogramu z temperaturą rdzenia przed rozpoczęciem próby;

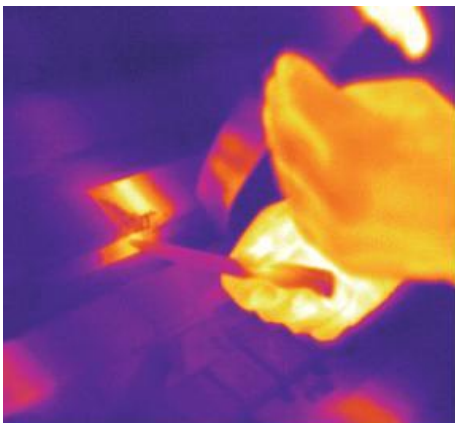


Fot. 10. Stanowisko do badania rozkładu temperatury na powierzchni żelaza czynnego stojana generatora w czasie indukcyjnego grzania przy użyciu zestawu termowizyjnego ThermaCam P60

- Włączenia prądu w uzwojeniu magnesującym i nagrzewania rdzenia przez 90 minut przy indukcji wynoszącej 1T;
- Śledzenia na bieżąco na ekranie kamery termowizyjnej obrazu rozkładu temperatury na powierzchni rdzenia oraz cyklicznej, co 30 minut, rejestracji obrazu;
- Po 90 minutach, ale przed wyłączeniem prądu dokonania końcowej rejestracji obrazu termicznego rdzenia, ze szczególnym uwzględnieniem miejsc wykazujących nadmierny przyrost temperatury.



Fot. 11. Badanie termowizyjne rdzenia stojana silnika, generatora i hydrogeneratora



Fot. 12. Lokalizacja zwarcia pakietu rdzenia stojana

Bezwzględnej lokalizacji przegrzanych miejsc na rdzeniu wraz z ich zaznaczeniem.

Wynik próby uznaje się za pozytywny, jeżeli spełnione są jednocześnie następujące warunki:

a) zmierzona stratność p po przeliczeniu na indukcję 1 T spełnia warunek:

$$p \cdot \left(\frac{e_{1.0}}{e} \right)^2 \leq 1,25 \cdot p_0$$

p_0 - stratność rdzenia w W/kg zmierzona podczas badania odbiorczego i przeliczona na indukcję 1T,
 e - zmierzone podczas próby napięcie przypadające na 1 zwój,
 $e_{1.0}$ - obliczone napięcie na 1 zwój niezbędne dla uzyskania indukcji 1 T.

b) każda ze zmierzonych końcowych temperatur rdzenia spełnia warunek:

$$\vartheta \leq \left(\frac{e}{e_{1.0}} \right)^2 \cdot 20^\circ \text{C} + \vartheta_p$$

ϑ_p - początkowa temperatura rdzenia (przed rozpoczęciem próby) w $^\circ\text{C}$.

c) różnica temperatur pomiędzy miejscową, maksymalną temperaturą pakietu rdzenia w odniesieniu do średniej temperatury rdzenia spełnia warunek:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{\max} - \vartheta_{\text{śr}} < 10K$$

ϑ_{\max} - miejscowa temperatura maksymalna rdzenia w strefie żłobków bezpośrednio po zakończeniu próby grzania,

$\vartheta_{\text{śr}}$ - średnia temperatura rdzenia w strefie żłobków bezpośrednio po zakończeniu próby grzania.

Przeprowadzenie próby i wydanie opinii o stanie rdzenia stojana niesie ze sobą poważne konsekwencje ekonomiczne. Negatywny wynik pomiaru - z warunku punktu a) wymaga przepakietowania rdzenia przy okazji przewajania stojana. Negatywny wynik próby - z warunków punktów b), c) wymaga również przepakietowania miejsc przegrzanych przy okazji przewajania, jeżeli doraźna naprawa (wstawienia płatków miki naturalnej między blachy) nie spowoduje spełnienia ww. warunków. Stąd dużą rolę w przeprowadzaniu tego rodzaju badań odgrywają umiejętności i doświadczenie zespołu przeprowadzającego badanie.

* * *

Podstawowym zadaniem prowadzenia diagnostyki technicznej urządzeń elektroenergetycznych jest uzyskanie wiedzy o stanie pracy urządzenia oraz identyfikacja uszkodzeń występujących w urządzeniach. W większości przypadków wystawienie oceny o stanie pracy urządzenia lub określenia przyczyn nieprawidłowości jego działania wymaga zastosowania różnych metod diagnostycznych. Bez wątpienia zastosowanie termowizyjnej metody wizualizacji rozkładów temperatury i możliwość bezdotykowego pomiaru temperatury podnosi skuteczność przeprowadzania diagnostyki urządzeń, dostarczając informacji, których nie otrzymano by żadną inną metodą.

Literatura

- [1] „Ramowa Instrukcja Eksploatacji Prądnic Synchronicznych”, Instytut Energetyki Ośrodek Normalizacji, Warszawa 1991.
- [2] „Ramowa Instrukcja Eksploatacji Generatorów Synchronicznych”, Energopomiar Elektryka, Gliwice 2009.
- [3] „Zasady Eksploatacji Hydrogeneratorów”, Energopomiar- Elektryka, Gliwice 2009.
- [4] A. Szopa, K. Patschek, „Zastosowania termowizji w energetyce”; „Pomiary Automatyka Kontrola”; Praca zbiorowa - „Pomiary termowizyjne w praktyce”.