



$$-\int \pi f^2(x) dx = \int \pi \left(\frac{r}{h} x\right)^2 dx = \int \frac{\pi r^2}{2h} x^2 dx [u. (x) + \dots]$$

System do wykrywania zwarć w rdzeniach maszyn prądu przemiennego

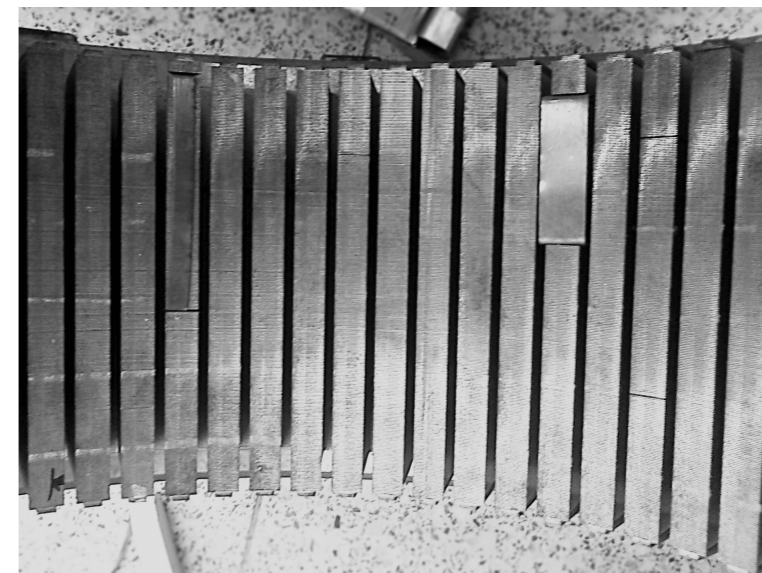
dr hab. inż. Witold Rams
dr inż. Michał Rad

Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl



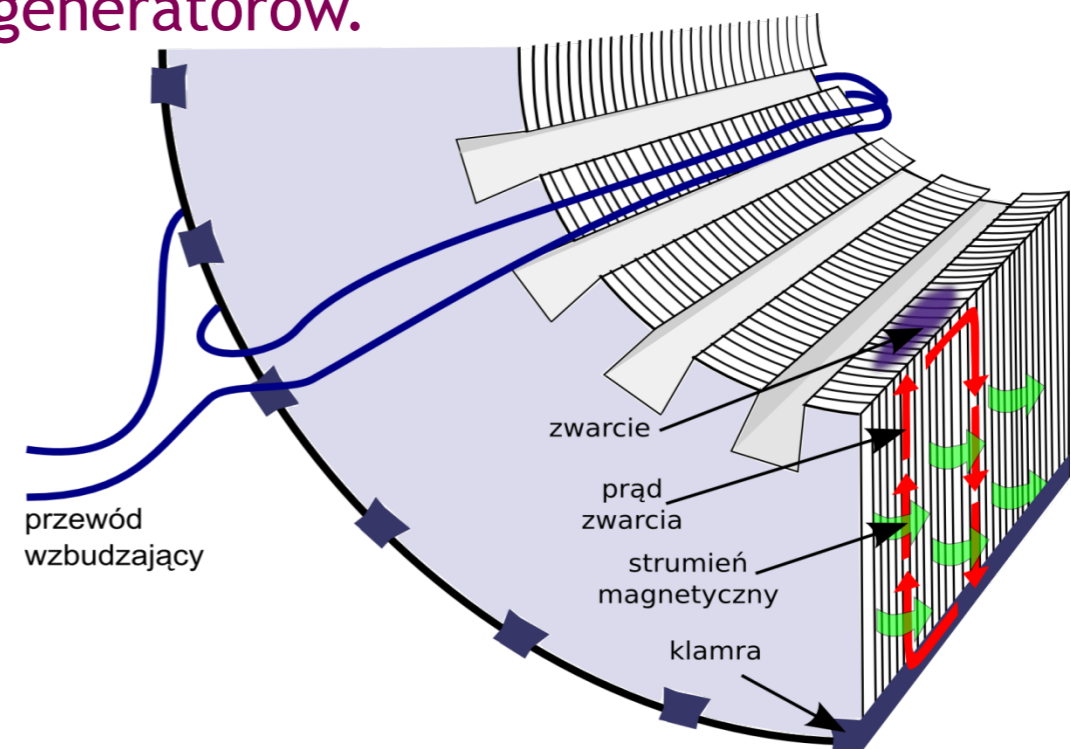
Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Maszyny prądu zmiennego mają obwód magnetyczny zestawiony z blach ze stali elektrotechnicznej. Blachy te są obustronnie pokryte cienką warstwą izolacyjną. Na zewnętrznej powierzchni blachy są mechanicznie spięte stalową konstrukcją, która w tym miejscu zwiera blachy.



Przepływowi dużych prądów przez blachy zapobiegają tylko cienkie warstwy izolacji przy wewnętrznej powierzchni stojana

- Tradycyjna metoda wykrywania zwarć blach w stojanach maszyn elektrycznych prądu przemiennego, polega na wzbudzeniu kołowego zmiennego pola magnetycznego w żelazie i obserwacji **rozkładu temperatur** na wewnętrznej powierzchni żelaza.
- Moc wydzielona w zwarciu jest zależna od kwadratu powierzchni drogi prądu, a więc szybko rośnie z grubością jarzma. Sytuacja niebezpieczna jest więc dla dużych maszyn, głównie generatorów.



- Metoda termiczna posiada jednakże istotne wady: duża wartość prądu wzbudzającego i potrzebna moc źródła (do 500 kVA) oraz kilkugodzinny czas potrzebny do otrzymania wiarygodnych wyników.
- Stosowane są więc inne metody oparte na pomiarze pola magnetycznego przy powierzchni żelaza. Typowym urządzeniem jest system ELCID. Czujnikiem jest cewka powietrzna, umieszczana pomiędzy zębami stojana.
- Dla każdej pary zębów otrzymuje się jedną wartość w danym miejscu na długości stojana.
- Doświadczenia praktyczne i dane literaturowe wskazują, że nie zawsze jest to pewna metoda. Przykładowo artykuł:

2011 Electrical Insulation Conference, Annapolis, Maryland, 5 to 8 June 2011

Evaluation of EL CID Indications not associated with Stator Core Interlaminar Insulation Faults

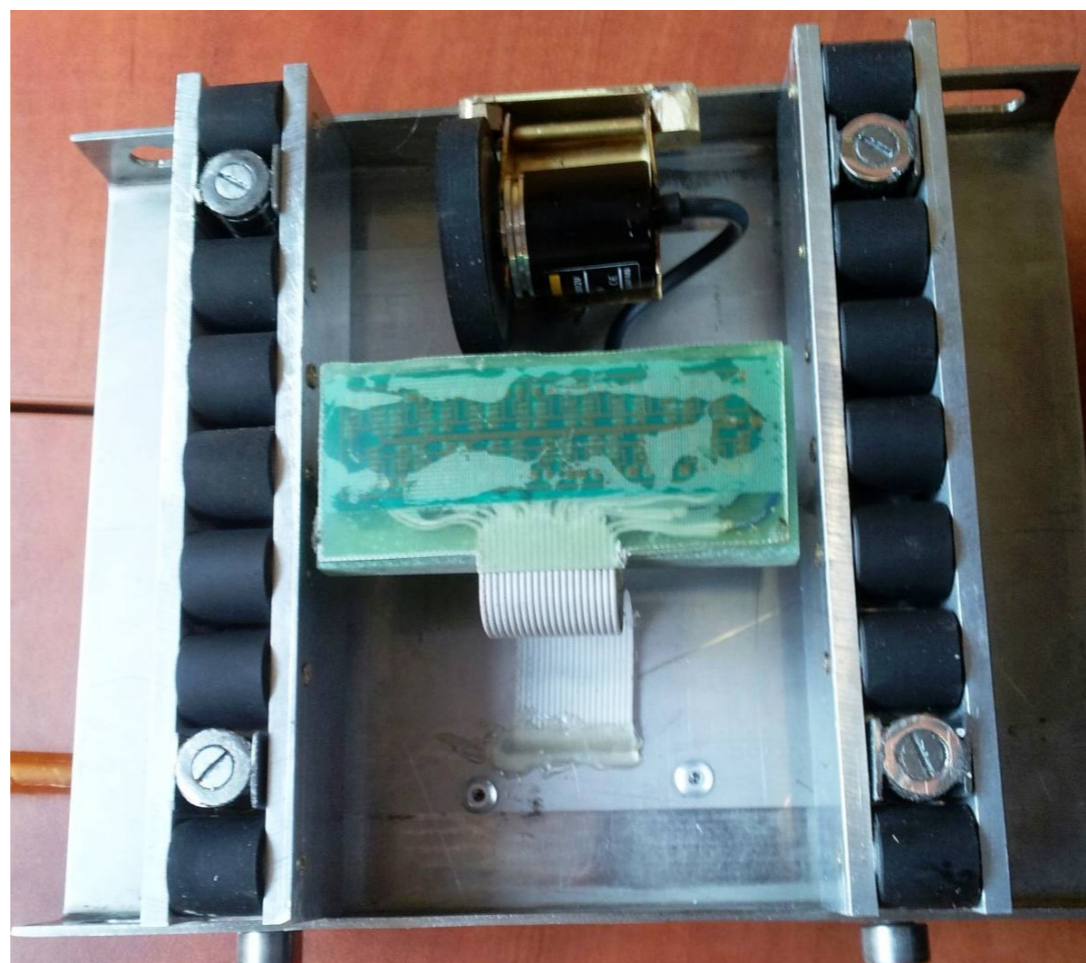
The stator cores of large electrical machines are constructed from stacks of electrical steel laminations, typically 0.35-0.5 mm thick, each coated with a thin layer of electrical insulation to minimize induced eddy currents in the core. The laminations are usually connected together at the rear of the core at the “key bars” where the core is attached to the machine frame. A large 1000 MW generator can have in excess of 140,000 such laminations, and maintaining the integrity of all their insulation is important.



Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl

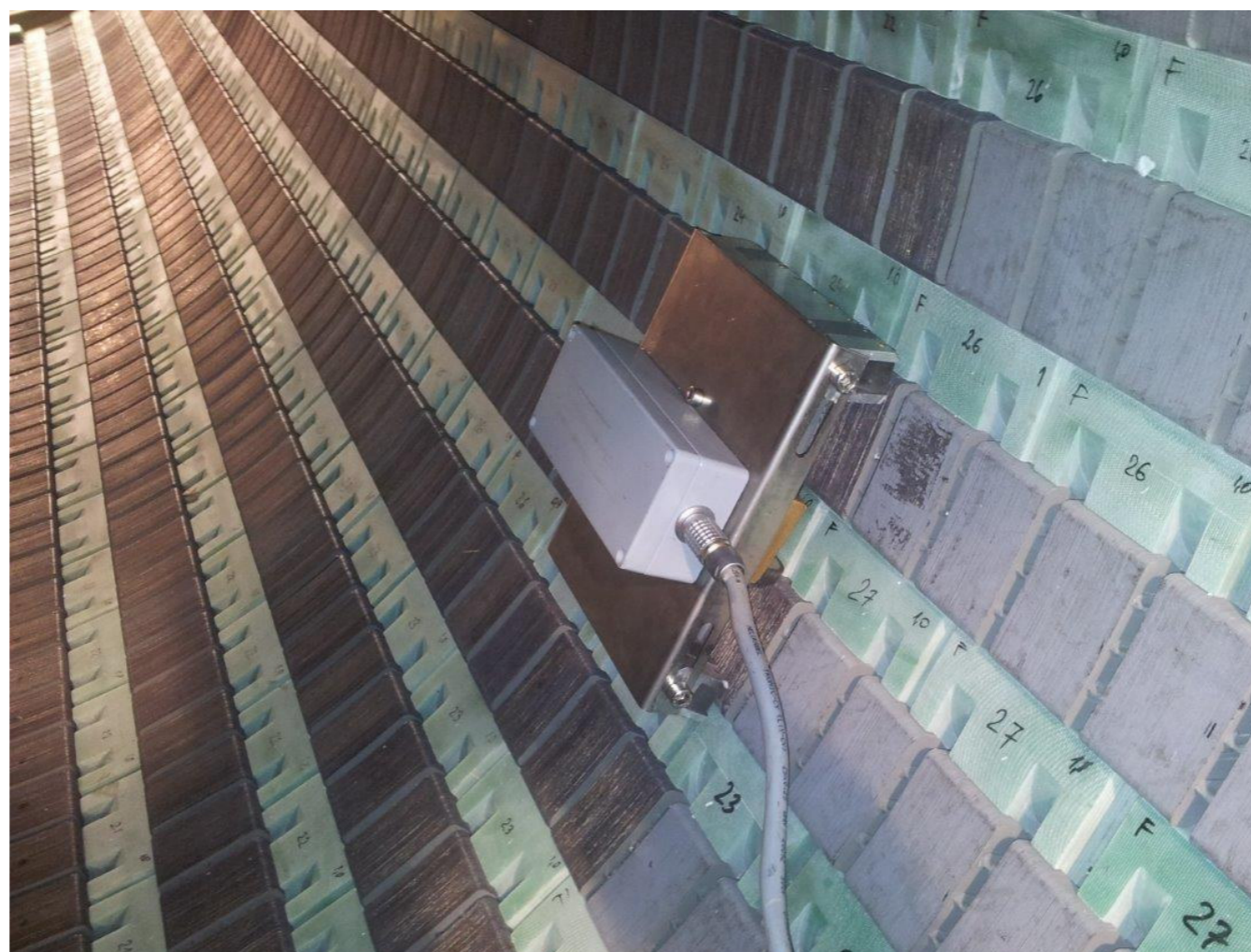
- W AGH opracowano inny sposób pomiaru pola magnetycznego przy powierzchni żelaza - czujnikami elektronicznymi. Nazwano go MASCAND.
- Wielkością mierzona jest lokalne natężenie pola magnetycznego przy powierzchni wewnętrznej zębów, równoległe do powierzchni, wzdłuż kierunku blach.
- Zbudowana i wykorzystywana głowica ma 8 równoległych kanałów i rozdzielczość przestrzenną pomiarów około 10 mm.
- Pomiary i niezbędne obliczenia oraz wizualizacja wyników realizowane są przez dedykowany program komputerowy.
- W każdym miejscu pomiaru rejestrowane są przebiegi czasowe pola i prądu, następnie odpowiednio przeliczane i w efekcie uzyskiwane są wartości wskaźnika specyficznego dla istnienia zwarć blach.

- Zrealizowana prototypowa głowica do pomiaru generatorów synchronicznych



Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl

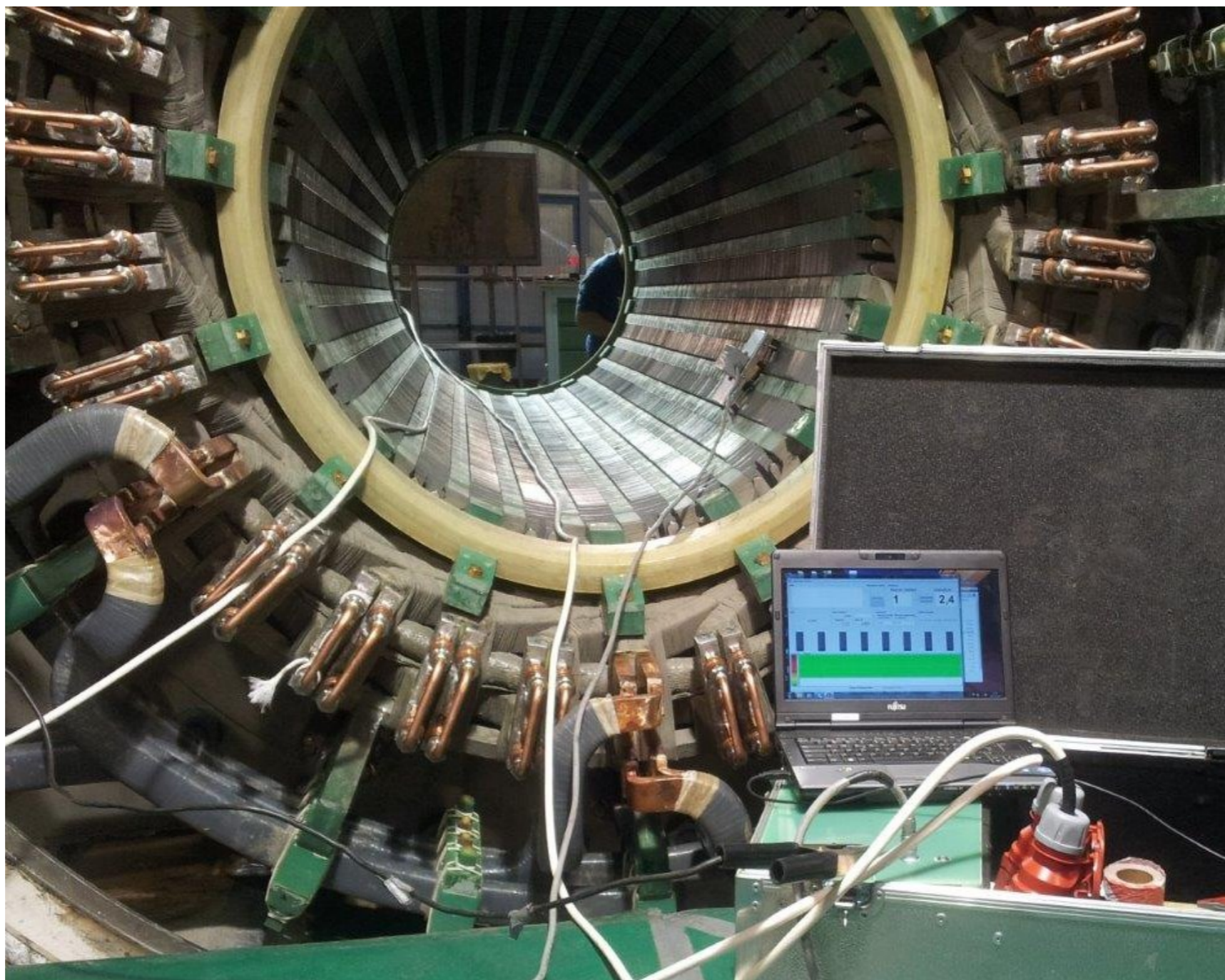
- Głowica pomiarowa z podtrzymaniem magnetycznym podczas pomiarów



Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl



Zestaw podczas kontroli generatora



Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Widoczne na rysunku słupki, wysokością i kolorem wskazują na bieżąco w czasie pomiaru wartości wskaźnika zwarcia, w miejscu nad którym znajduje się głowica z czujnikami.

Kolorowy, środkowy obszar to wyniki w postaci mapy dla wszystkich wykonanych pomiarów nad zębem (lub dokładniej dla pasa o szerokości głowicy pomiarowej).

Na dole ekranu zamieszczony jest wykres wartości maksymalnej spośród 8 czujników dla każdego położenia wzdłuż zęba.

Ponieważ cały system powinien już prawidłowo wykrywać obszary o niewiele podniesionej stratności - w odniesieniu do termowizji jest to około $5^{\circ} K$ - dlatego program ma możliwość zmiany czułości i odjęcia wartości średniej, występującej „w powietrzu”. Kalibrację taką można wykonać przed rozpoczęciem pomiarów.

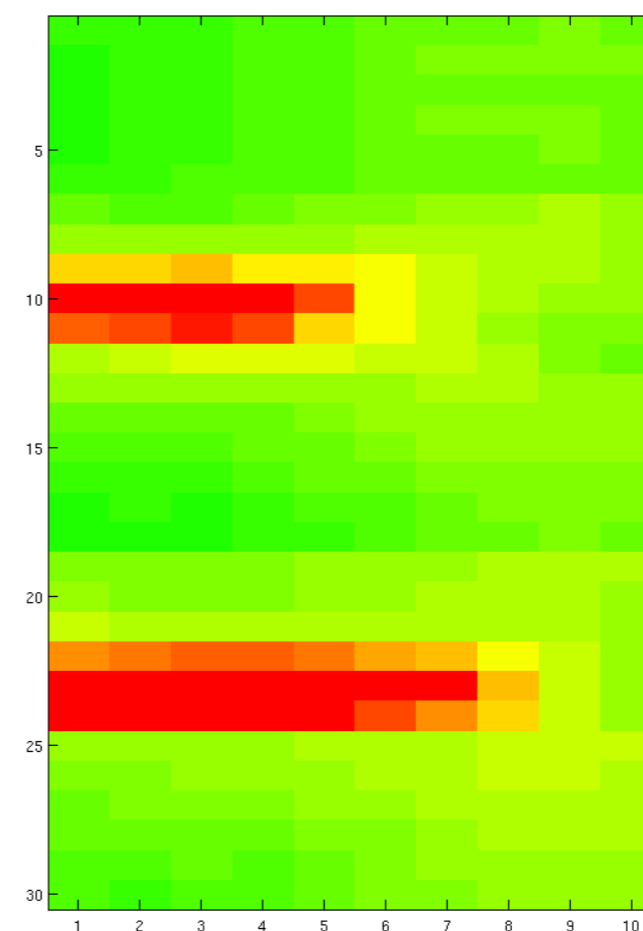
Program daje możliwość wydrukowania raportów w postaci wykresów wartości maksymalnej współczynnika zwarcia na całej długości badanych żłobków stojana.

Na podstawie pomiarów kontrolnych wykazano, że wartość indukcji która zapewnia dostateczną skuteczność pomiaru wynosi około 0,1 T. Jest to zaledwie 10% wartości indukcji przy której wykonuje się pomiary termowizyjne. Wymagane natężenie pola to 50 A/m.

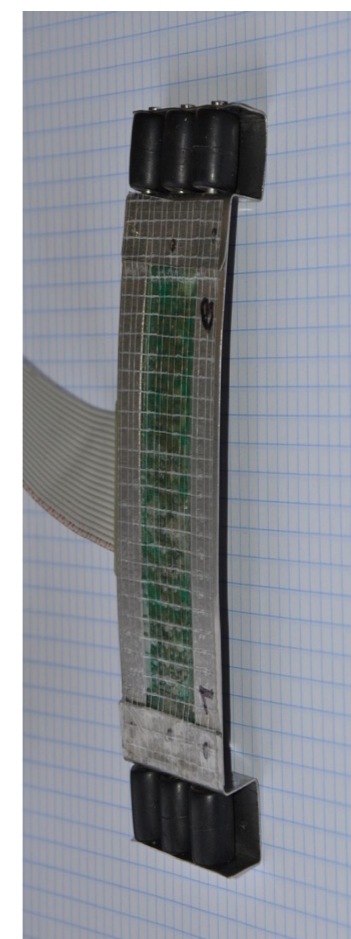
Wynik pomiaru rozkładu przestrzennego pola magnetycznego na powierzchni rdzenia jest w sposób jasny i zrozumiały przedstawiony w programie komputerowym oraz w drukowanym raporcie z badań.

Potrzebne są dalsze badania praktyczne, które będą prowadziły do określenia wartości granicznych współczynnika zwarcia w porównaniu z pomiarami badań termowizyjnych. W Polsce istnieje jednak istotne ograniczenie w dostępie do dużych generatorów

Do kontroli stojanów maszyn indukcyjnych celowa jest modyfikacja programu obsługi, aby w efekcie obrazowany był wspólnie obszar znacznej części stojana, na przykład połowy obwodu.



Głowica też powinna być bardziej elastyczna, aby dopasować się do krzywizny żelaza.



Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl

W przypadku maszyn indukcyjnych istotna jest szybkość i wygoda realizacji pomiaru. Tutaj też większą rolę odgrywają lokalne warunki wykonywania pomiarów i przyzwyczajenia osób je wykonujących.

Zakładów remontujących maszyny indukcyjne jest jednak znacznie więcej, więc potencjalny rynek jest większy.

Zasadnicza część sprzętu i program były już wykonywane na AGH, jest więc możliwe dostosowanie go do stawianych wymagań.

Koszt stosowanych czujników pola jest stosunkowo niewielki i są one łatwo dostępne handlowo (1 tys. zł na jedną głowicę)

Inne elementy są też typowe, nie wymagają wdrażania specjalnych technologii. Przetwornik A/C i komputer też jest typowy.

Układ i metoda jest zgłoszona przez AGH do opatentowania w 2012 r. jako wynalazek.