

## Pole magnetyczne wokół transformatorów energetycznych

**Streszczenie** Pole magnetyczne wokół pracujących transformatorów i maszyn elektrycznych zakłóca środowisko i jest szkodliwe dla zdrowia ludzkiego. W otoczeniu urządzeń elektrycznych pracują ludzie nieświadomi obecności pola magnetycznego rozświecanego przez te urządzenia. W referacie zostanie przedstawiona metoda badawcza rozkładu pola magnetycznego w przestrzeni wokół transformatorów i wyniki badań rozkładu pola magnetycznego wokół trzech transformatorów olejowych: 1,6 MVA, 22 kV/400 V; 800 kVA, 11,4 kV/420 V; 100 kVA, 11,4 kV/420 V.

**Abstract.** The magnetic field around the working transformers and electrical machines is interfering with the environment and is harmful to human health. People are unaware of the presence of magnetic fields spread across these devices. The paper presents a method of investigating the distribution of the magnetic field in the space around the transformers and the results of magnetic field distribution studies on three oil transformers: 1.6 MVA, 22 kV / 400 V; 800 kVA, 11.4 kV / 420 V; 100 kVA, 11.4 kV / 420 V. **The magnetic field around the working transformers**

**Słowa kluczowe:** Pole magnetyczne, rozkład pola magnetycznego, szkodliwość pola magnetycznego

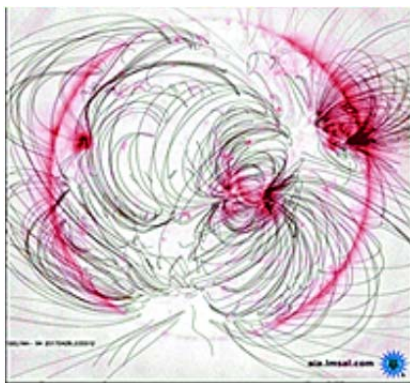
**Keywords:** Magnetic field, Distribution of the magnetic field, Harmfulness of the magnetic field

### Wprowadzenie

Skutki oddziaływania pola magnetycznego PM należą nadal do słabo wyjaśnionych zjawisk. Wpływ pola magnetycznego w procesach biochemicznych i samoorganizacji materii ożywionej jest zróżnicowany i zależy od wielkości absorpcji oraz właściwości elektrycznych materii ożywionej jak i nieożywionej. Badania okresowe u pracowników narażonych na oddziaływanie PM ujawniają zmiany tak obiektywne jak i subiektywne w stanie zdrowia. Najpoważniejszym zagrożeniem jest nieświadomość postrzegania zjawiska. Dla ograniczenia wpływu PM na człowieka wprowadzono ograniczenia w emisji PM lub limitowany jest czas w obszarze narażenia [1, 2]. Regulacje te niestety nie zawsze są przestrzegane.

### Ziemia, środowisko geograficzne, miejsce zamieszkania, praca

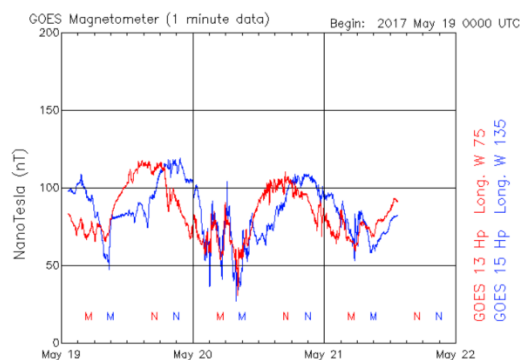
Pole magnetyczne ziemi jest zależne od stanu jonosfery i aktywności słońca, co jest widoczne na zdjęciu przedstawionym na rys.1. Słońce wpływa na pole magnetyczne ziemi, wpływ ten jest cykliczny i powoduje jego deformację - rys. 2.



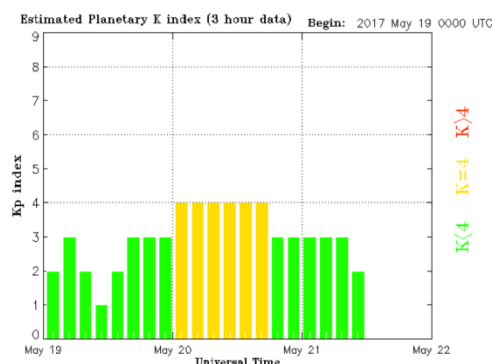
Rys. 1. Pole magnetyczne ziemi z dnia 21 maja 2017 [3]

Pole magnetyczne jonosfery i jej „szczelność” jest odwzorowana zasięgiem widoczności zorzy polarnej, która jest charakteryzowana współczynnikiem Kp zmiennym od 1 do 8.

Sumaryczne pole magnetyczne kuli ziemskiej odczytywane na jej powierzchni jest dynamiczne i niestabilne, przy czym wartość niestabilności jest określona przez wartość delta ( $\Delta B$  w  $\mu T$ ) jak to pokazano na rysunku 4.



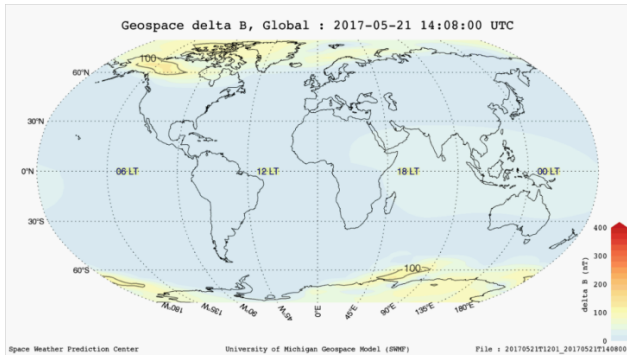
Rys. 2. Pole magnetyczne zarejestrowane na dwu długościach geograficznych [4]



Rys. 3. Współczynnik Kp charakteryzuje wpływ jonosfer na zasięg widoczności zorzy polarnej [5]

W warunkach środowiska pracy i zamieszkania oddziałują pola: elektryczne, magnetyczne i elektromagnetyczne generowane przez urządzenia techniczne elektryczne i elektromechaniczne. Pola te zawierają się w pasmie częstotliwości od 0 do 300 GHz. Podzielono je na trzy podzakresy częstotliwości (0 ÷ 50 Hz, 1 ÷ 100 kHz, 0,1 ÷ 300 GHz) i zdefiniowano strefy ochronne: bezpieczną pośrednią (przejściową), zagrożoną i niebezpieczną. Dopuszczalne narażenie pola magnetycznego  $H$  dla strefy zagrożonej nie może przekraczać wartości  $H_0 < 4$  kA/m. Jeśli pracownik w polu magnetycznym przebywa w czasie  $t_0 = 8$  godzin, to natężenie pola magnetycznego można obliczyć się ze wzoru:

$$H < \sqrt{\frac{H_0^2 t_0}{8 t}} \text{ kA/m}$$



Rys. 4. Stan dynamiki pola magnetycznego ziemskiego [6]

Jeśli pracownik przebywa w polu magnetycznym w czasie  $t = t_0 = 8$  godzin, to strefa bezpieczna jest wówczas gdy  $H < 1,41$  kA/m. Dopuszczalne wartości narażenia  $H$  są regulowane normami indukcji magnetycznej na stanowisku pracy [7] międzynarodowymi i krajowymi. Instalowanie rozdzielni elektrycznych i transformatorów w budynkach mieszkalnych bądź w pomieszczeniach sąsiadujących z biurami uważa się za naganne. Indukcja w przestrzeni mieszkalnej nie powinna przekraczać  $0,5 \mu\text{T}$ . Niejednokrotnie natężenia pola magnetycznego przekracza wartość dopuszczalną. W jednym z zakładów pracy pracownik skarżył się na złe samopoczucie. Za zgodą pracodawcy i concernu przeprowadzono pomiary pracownika. Pomiary indukcji magnetycznej wykazały, że wartość indukcji  $B = 2,15 \mu\text{T}$ . Zlokalizowano źródło, był nim transformator dużej mocy umieszczony nad pomieszczeniem. W świetle PN wartość ta jest dopuszczalna, jednak ze względu na oddziaływanie biologiczne postuluje się jej obniżenie do wartości od  $1 \mu\text{T}$  do  $0,01 \mu\text{T}$ . Niższa wartość wskazana jest dla mieszkańców i czasu wypoczynku (noc i sen).



Rys. 5. Rozmieszczenie punktów pomiarowych po obwodzie transformatora w dwu poziomach

### 1. Pola magnetyczne transformatorów mocy i oddziaływanie na środowisko

Badaniu poddano 3 typy transformatorów na zlecenie producenta:

- 1- Typ MINERA 1600/22, 1600 kVA, 3-fazowy, 50 Hz.  $U_{1N} = 22000$  V,  $I_{1N} = 41,99$  A,  $U_{2N} = 400$  V,  $I_{2N} = 2309$  A,
- 2 - Typ MINERA 800/11,4, 800 kVA, 3-fazowy, 50 Hz,  $U_{1N} = 11400$  V,  $I_{1N} = 40,52$  A,  $U_{2N} = 420$  V,  $I_{2N} = 1099,71$  A
- 3 - Typ MINERA 100/11,4, 100 kVA, 3-fazowy, 50 Hz  $U_{1N} = 11400$  V,  $I_{1N} = 5,06$  A,  $U_{2N} = 420$  V,  $I_{2N} = 1137,46$  A

Pomiary wykonano w dwu poziomach „a” i „b” dla dwóch pierwszych transformatorów w 16-stu punktach pomiarowych i dla transformatora trzeciego w 10-ciu

punktach, jak na schemacie - rys. 5. Poziom „a” to środek wysokości, a poziom „b” to krawędź pokrywy górnej. Szczegółowe rozmieszczenia punktów pomiarowych podano na kolejnych rysunkach.

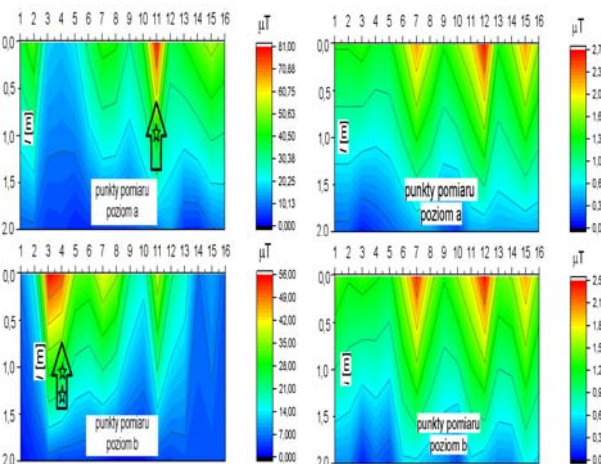
#### 1.1 Transformator 1

Fotografię transformatora wraz z naniesionymi poziomami i punktami pomiarowymi obrazuje rysunek 6. Pomiar wykonano dla stanu zwarcia przy prądzie znamionowym i dla stanu jałowego przy napięciu znamionowym.

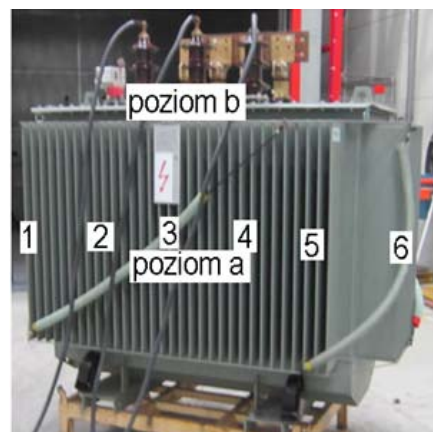


Rys 6. Fotografia transformatora 1

Pomierzone wartości indukcji magnetycznej w punktach pomiarowych wokół transformatora dla poziomów „a” i „b” przedstawiono na rysunku 7



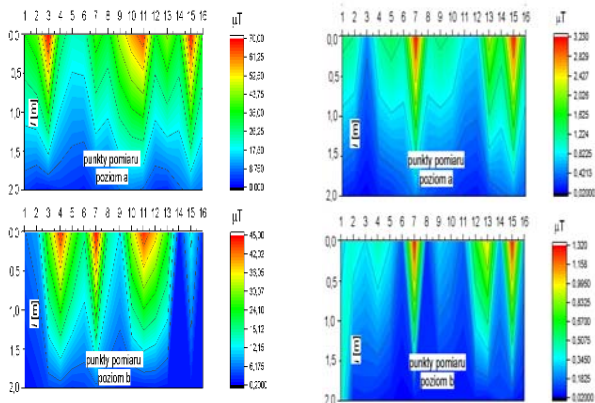
Rys. 7. Rozkład indukcji pola magnetycznego wokół transformatora: kolumna z lewej - stan zwarcia transformatora przy  $I_N$  i kolumna z prawej - stan jałowy przy  $U_N$



Rys. 8. Fotografia transformatora 2

## 1.2 Transformator 2

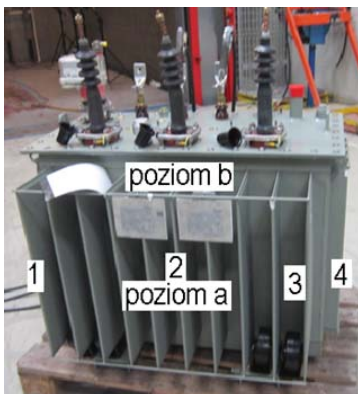
Fotografię transformatora wraz z naniesionymi poziomami i punktami pomiarowymi obrazuje rysunek 8. Pomiar wykonano dla stanu zwarcia przy prądzie znamionowym i dla stanu jałowego przy napięciu znamionowym. Zmierzone wartości indukcji magnetycznej w punktach pomiarowych wokół transformatora dla dwu poziomów przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Rozkład indukcji pola magnetycznego: kolumna z lewej - stan zwarcia transformatora przy  $I_N$  i kolumna z prawej - stan jałowy przy  $U_N$

## 1.3 Transformator 3

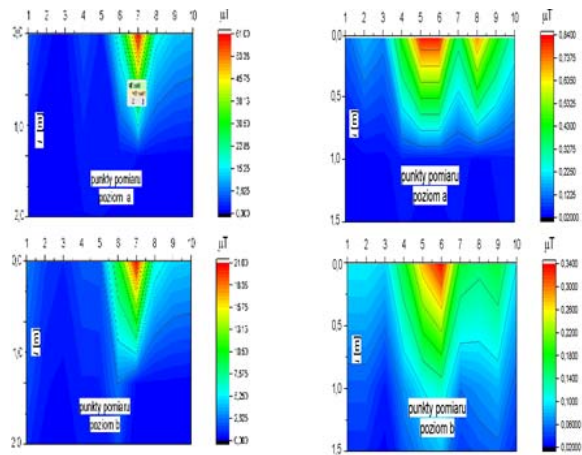
Fotografię transformatora wraz z naniesionymi poziomami i punktami pomiarowymi obrazuje rysunek 10. Pomiar wykonano dla stanu zwarcia przy prądzie znamionowym i dla stanu jałowego przy napięciu znamionowym.



Rys. 10. Fotografia transformatora 3

Zmierzone wartości indukcji magnetycznej w punktach pomiarowych wokół transformatora dla dwu poziomów przedstawiono na rysunku 9.

Publikacje naukowe autorów z krajów skandynawskich zalecają lokalizację transformatora w takich odległościach od pomieszczeń biurowych i mieszkalnych aby indukcja magnetyczna była niższa od  $1 \mu\text{T}$  [8]. Dla badanych transformatorów wartość indukcji magnetycznej, w odległości dwóch metrów od radiatorów, maleje do wartości poniżej  $1 \mu\text{T}$ . Czas pobytu obsługi w pobliżu transformatora jest krótki, lecz należy brać pod uwagę także, że wymienione wyżej transformatory mogą być instalowane w pobliżu pomieszczeń biurowych i budynków mieszkalnych. Norma objęta polskim prawem dla przestrzeni mieszkalnych i częstotliwości 50 Hz dopuszcza składową napięciową 1000 kV/m i  $75 \mu\text{T}$ , natomiast norma biologiczna zalecana przez BAUBIOLOGIE MAES/ Institut für Baubiologie + Ökologie IBN 10 V/m i 200 nT



Rys. 11. Rozkład indukcji pola magnetycznego: kolumna z lewej - stan zwarcia transformatora przy  $I_N$  i kolumna z prawej - stan jałowy przy  $U_N$

## Wnioski

W zakładach energetycznych i elektrowniach zaleca się kontrolować rozkład pola magnetycznego w pomieszczeniach w których przebywają ludzie, w szczególności wokół maszyn elektrycznych i transformatorów dużej mocy. Pola magnetyczne są szczególnie duże w rozdzielniach wokół szyn i kabli. Szyny i kable prądowe są źródłem pola magnetycznego o największej wartości. Kanały kablowe często są rozmieszczone pod pomieszczeniami biurowymi bądź za ścianą pomieszczeń pracy ludzi.

Badane transformatory charakteryzują się niską emisją pola magnetycznego do otoczenia, co świadczy o dobrym ekranowaniu strumienia magnetycznego rozproszenia przez każdą transformatora a także dokładnym montażu, przez co nie wyprowadzamy dodatkowego lokalnego magnetycznego strumienia rozproszenia związanego z efektem magnetosprężystym Vilariego i Joule'a. W badanych transformatorach, maksymalne wartości indukcji magnetycznej występują głównie w okolicach przewodów zasilających zarówno dla stanu jałowego jak i w okolicach szyn prądowych dla stanu zwarcia co wykazują opracowane wykresy.

**Autorzy:** Dr hab.inż. Zbigniew Hilary Żurek, prof. nadzw. P.S. Politechnika Śląska Wydział Transportu, [zbigniew.zurek@polsl.pl](mailto:zbigniew.zurek@polsl.pl), mgr inż. Tomasz Jasiński, EthosEnergy Poland S.A. [tomasz.jasinski@ethosenergygroup.pl](mailto:tomasz.jasinski@ethosenergygroup.pl), prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka, Instytut KOMEL, [glinka.tadeusz@gmail.com](mailto:glinka.tadeusz@gmail.com), mgr inż. Janusz Sobota, Schneider Electric Energy Poland Sp.z.o.o. [janusz.sobota@schneider-electric.com](mailto:janusz.sobota@schneider-electric.com)

## LITERATURA

- [1] Marciniak J.: Zagrożenie naturalnego środowiska elektromagnetycznego, Wydawnictwa Politechniki Śląskiej, 1995 Gliwice, ISBN 83-85718-71-0
- [2] Karpowicz J., Gryz K.: Kontrola i kształtowanie warunków pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym, Bezpieczeństwo pracy, 10/ 2001
- [3] [https://www.google.pl/search?q=SDO/AIA-94&safe=active&sa=X&tbn=isch&tbo=u&source=univ&ved=0ah\\_UKEwiXmNjOI4HUAhXCwXQKHfLICDIQ7AKIRg&biw=664#imgrc=4hHo8teCqb9d3M:&spf=1495376570824](https://www.google.pl/search?q=SDO/AIA-94&safe=active&sa=X&tbn=isch&tbo=u&source=univ&ved=0ah_UKEwiXmNjOI4HUAhXCwXQKHfLICDIQ7AKIRg&biw=664#imgrc=4hHo8teCqb9d3M:&spf=1495376570824)
- [4] [http://legacy-www.swpc.noaa.gov/rt\\_plots/index.html](http://legacy-www.swpc.noaa.gov/rt_plots/index.html)
- [5] <http://www.swpc.noaa.gov/products/planetary-k-index>
- [7] Kalinowski Z.: Promieniowanie elektromagnetyczne na stanowisku pracy, Praca dyplomowa, Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katowice 2004, promotor Zbigniew H. Żurek
- [8] Bezpieczeństwo i higiena pracy, tom 2. Cz. 1, Warszawa 1987