

Doświadczalna ocena oddziaływania polowych zjawisk elektromagnetycznych na spawacza pracującego w metodzie SMAW w polaryzacjach DCEN oraz DCEP

Abstract. The effects of electromagnetic fields on human organisms are now a popular area of research in numerous research centers around the world. The article deals with the subject of the empirical assessment of the impact of electromagnetic field phenomena on a welder performing welding works in the method SMAW. The research was carried out with a view to reproducing the conditions in which welders - assemblers work. It is estimated that among the arc welding methods, more than half of the world welds are made with this method. Measurements of the electrical and magnetic components of the electromagnetic field to which the welder's inclined head and organs inside the chest are exposed were carried out. The EMC measurements were repeated for the polarization of DCEP and DCEN. Respecting the stochastic nature of the results, they were subjected to statistical analysis and compared to the currently binding norms contained in law regulations. (**Experimental assessment of the impact of electromagnetic field phenomena on a welder working in the SMAW method in DCEN and DCEP polarizations**)

Streszczenie. Wpływy pól elektromagnetycznych na organizmy ludzkie są obecnie popularnym kierunkiem badań w licznych ośrodkach naukowych na całym świecie. W artykule podjęto tematykę empirycznej oceny oddziaływania polowych zjawisk elektromagnetycznych na spawacza wykonującego prace spawalnicze w metodzie 111. Badania zostały przeprowadzone z myślą o odwzorowaniu, warunków w jakich pracują spawalnicy – montażyści. Szacuje się, że wśród metod spawania łukowego ponad połowa prac światowych jest wykonywana właśnie w tej metodzie. Przeprowadzono pomiary składowej elektrycznej i magnetycznej pola elektromagnetycznego, na które narażona jest pochylona głowa spawacza oraz narządy wewnątrz klatki piersiowej. Pomiary pola powtórzono dla polaryzacji DCEP oraz DCEN. Wyniki poddano analizie statystycznej i odniesiono do aktualnie obowiązujących aktów prawnych.

Keywords: Shielded Metal Arc Welding, Electromagnetic Field (EMC), Exposure,

Słowa kluczowe: Spawanie elektrodą otuloną, pole elektromagnetyczne, narażenie zawodowe

Wprowadzenie

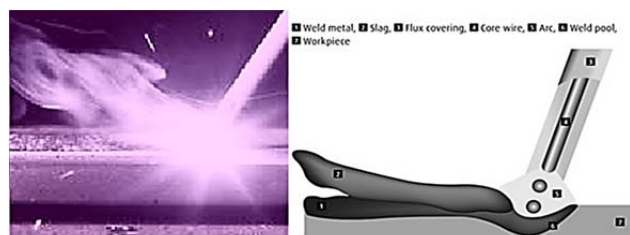
Metoda spawania otuloną elektrodą topliwą SMAW, opatentowana przez Oscara Kjellberga w 1908 r. wciąż pozostaje jedną z dominujących metod w spawalnictwie naprawczym i budowie konstrukcji stalowych. Powszechnie stosuje się ją także w pracach montażowych. Szacuje się, że wśród metod spawania łukowego ponad połowa prac na świecie jest wykonywana właśnie w tej metodzie. Obecnie konkuruje z nią metoda FCAW (spawanie łukowe drutem osłonowym – proszkowym). Spawanie metodą łukową wymaga stosowania dużych prądów roboczych. Zarówno doprowadzenie energii do elektrody jak i sam łuk przy tak dużych prądach powoduje indukowanie w najbliższym otoczeniu pól elektromagnetycznych, które mogą oddziaływać na spawacza wykonującego ręcznie spawy [1-4].

Wpływy pól elektromagnetycznych na organizmy ludzkie są obecnie popularnym kierunkiem badań w licznych ośrodkach naukowych na całym świecie. Istotą badań koreluje się ze skutkami zdrowotnymi, którymi mogą być niepożądane zmiany funkcjonowania organizmu. Takie badania z jednej strony cechuje istotność samego zagadnienia i potencjalne skutki zdrowotne, a z drugiej strony złożoność interpretacji szkodliwości czynników, ponieważ wiele ze skutków będzie się manifestowało dopiero po długotrwałej, permanentnej ekspozycji pracowników na czynnik szkodliwy [5-9].

Metoda spawania łukowego SMAW

Spawanie z wykorzystaniem elektrody topliwiej - otulonej SMAW (ang. *Shielded Metal Arc Welding*), oznaczanej normatywnie jako 111, jest odmianą spawania elektrycznego, łukowego w której dokonuje się łączenia metali z nadtopieniem ich krawędzi. Łuk elektryczny jest utrzymywany pomiędzy elektrodą a przedmiotem spawanym [10-12]. Materiał dodatkowy wprowadzany jest ze stopniającej się w łuku elektrycznym elektrody. Otulina, w zależności od zastosowanego rodzaju elektrody pełni wiele zasadniczych funkcji: ochrania stopiane spoiwo i metal

przed dostępem gazów utleniających i azotujących. Tworząc warstwę żużla – szlaki ogranicza szybkość stygnięcia złącza. Absorbując niekorzystne składniki metaliczne w złączu i uzupełnia zawartość składników stopowych. Istotnie oddziałuje na parametry konduktancji kolumny łukowej i jej stabilność. Do lat dwutysięcznych, jako źródła prądu spawania stosowano urządzenia transformatorowe, transformatorowe z prostownikami i wirowe zespoły elektromaszynowe. Wraz z popularyzacją półprzewodnikowych wysokoprądowych układów przełączających w spawalnictwie zaczęto masowo stosować źródła przekształtnikowe (inwertery). Do spawania elektrodą otuloną korzystnie jest zastosować prąd stały, ponieważ polaryzacja prądu poprzez pracę nośników ładunku istotnie wpływa na miejsce wydzielania się ciepła [13-15]. Polaryzacja prądu spawania pozwala rozróżnić dwie konfiguracje: DCEN (ang. *Direct Current Electrode Negative*) z biegunem ujemnym na elektrodzie – zapewnia wysoką penetrację spoiny, ponieważ większość ciepła jest kierowana na spawany przedmiot; DCEP (ang. *Direct Current Electrode Positive*) z biegunem dodatnim na elektrodzie – większość ciepła wydzielana jest na elektrodzie co zmniejsza penetrację spoiny i powoduje szybsze wprowadzanie stopianego materiału dodatkowego. Proces spawania z wykorzystaniem metody 111 (SMAW) został pokazany na rysunku 1.



Rys. 1. Proces spawania z wykorzystaniem metody SMAW

Metodyka badań

Doświadczenie przeprowadzono na stanowisku spawalniczym, wyposażonym w stół z odciążeniem mobilnym. Jako źródła spawalniczego użyto inwerterowego urządzenia VDI 250P *Paton*. Złącze spawane było wykonywane w materiale stal, DIN: ST37.2 (EN: S235JRG2) o grubości 5 mm. Stosowano Elektrody otulone OK 46.00 *ESAB* o składzie: C=0,08 [%] Si=0,3 [%] Mn=0,4 [%] P=0,03 [%] S=0,03 [%] i średnicy 4 mm, Wykonywano spoinę pachwinową, na złączu teowym w pozycji podolnej (PA), stosując prądy robocze wartościach: 100 A, 150 A, 200A. Dla wskazanych prądów stosowano nastawę parametru arc force - podbicia prądu zajarzania łuku na poziomie 40 % [16-17]. Podczas spawania, po zajarzeniu utrzymywano długość łuku w granicach fluktuacji od 0,6 do 1 średnicy rdzenia elektrody topliwej. Pomiar prądu spawania prowadzono przy pomocy miernika cęgowego UT207 *UNI-T*. Badania natężenia pola elektromagnetycznego zostały przeprowadzone za pomocą miernika ESM-100 *Maschek*. Stanowisko spawalnicze, wraz z miernikiem ESM-100 i źródłem spawalniczym VDI 250P jest widoczne na rys. 2.



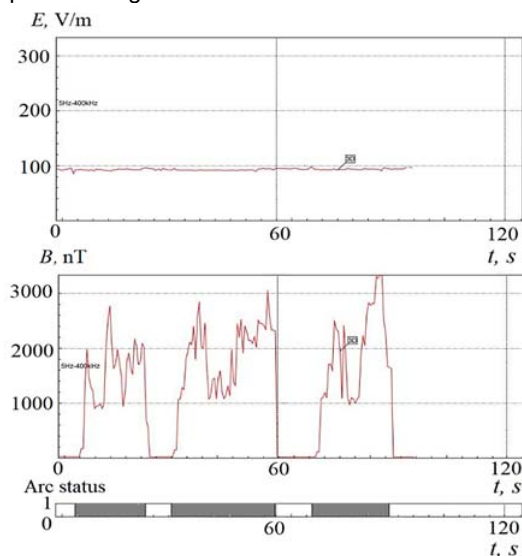
Rys. 2. Stanowisko spawalnicze wraz z miernikiem ESM-100 oraz źródło spawalnicze VDI 250P

Pomiary natężeń pola elektrycznego oraz indukcji magnetycznej

Pomiary natężeń pola elektrycznego oraz indukcji magnetycznej wykonywano w punktach charakteryzujących narażenie pochylonej głowy spawacza, tj; 1,3 m nad wysokością posadzki, gdzie usytuowana została głowica przyrządu pomiarowego (ESM-100). Pomiary przy zachowaniu zbliżonych warunków powtarzano dla dwóch polaryzacji.

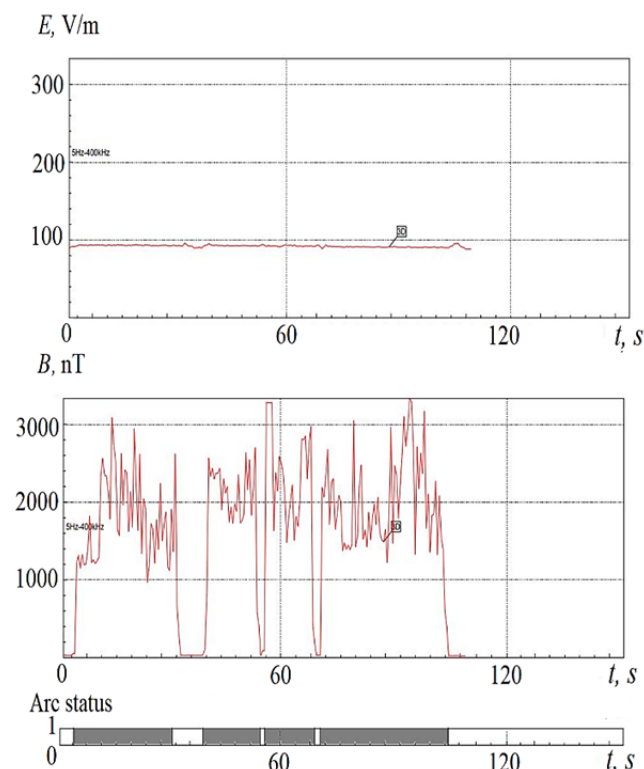
Przykładowe wyniki pomiarów przebiegu zmian parametrów natężenia składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego i indukcji magnetycznej dla prądów

100 A, przy zastosowaniu polaryzacji DCEN, pokazano na rysunku 3, a dla prądów 150 A na rysunku 4. Pasek *Arc status* w dolnej części każdego z przebiegów informuje o momencie w którym dochodziło do zajarzania i przerywania łuku spawalniczego.

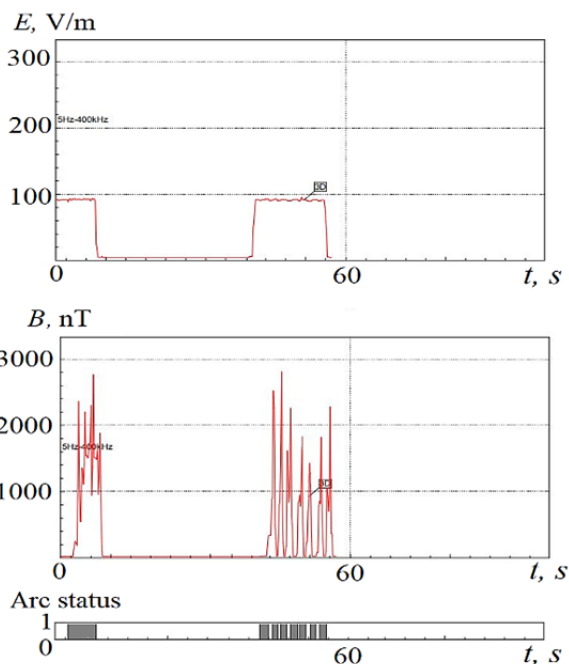


Rys. 3. Przykładowe wyniki pomiarów przebiegu zmian parametrów:składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego i indukcji magnetycznej dla prądu 150 A, przy zastosowaniu polaryzacji DCEN

Na wykresie – rysunek 3. można zaobserwować, że zajarzanie łuku spawalniczego powoduje gwałtowny wzrost wartości indukcji magnetycznej, pozostając bez znaczącego wpływu na poziom składowej



Rys.4. Przykładowe wyniki pomiarów przebiegu zmian parametrów: składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego i indukcji magnetycznej dla prądu 100A, przy zastosowaniu polaryzacji DCEN.

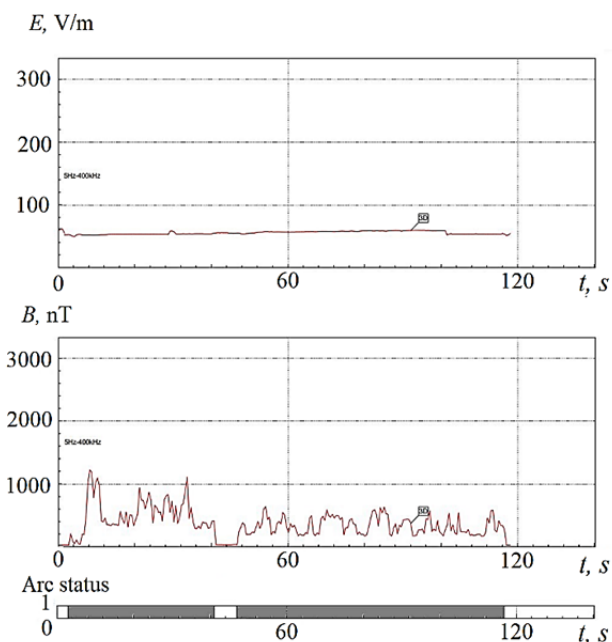


Rys. 5. Przykładowe wyniki pomiarów przebiegu parametrów: natężenia pola elektrycznego i indukcji magnetycznej dla prądów 200 A, przy zastosowaniu polaryzacji DCEN

Parametry zilustrowane na rysunku 5. obrazują wielokrotnie zrywany łuk spawalniczy. Należy dodać, że stosowany prąd jest zbyt wysoki dla tej średnicy elektrody i grubości materiału spawanego. Utrzymywanie ciągłego łuku skutkuje rozgrzewaniem się elektrody do barwy żarzenia i uplastycznieniem jej rdzenia.

Podczas spawania z zastosowaniem prądu 200 A poziom składowej magnetycznej pozostał bliski wartości podobnej jak dla prądów 100 A oraz 150 A.

Przykładowe wyniki pomiarów zmian parametrów natężenia pola elektrycznego i indukcji magnetycznej mierzone dla polaryzacji DCEP dla wartości prądu 100 A pokazano na rysunku 6.



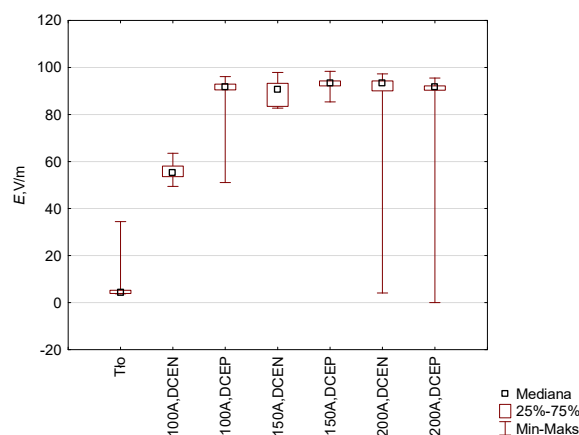
Rys. 6. Przykładowe wyniki pomiarów przebiegu parametrów: składowej elektrycznej oraz magnetycznej pola elektromagnetycznego, dla prądu 100 A, przy zastosowaniu polaryzacji DCEP

Jak można odczytać z przebiegów zawartych na rysunkach 3-6 natężenie składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego utrzymywało się na poziomie nieprzekraczającym 100 V/m i obniżało się w sposób radykalny po wyłączeniu inwertera spawalniczego, do poziomu około 8-10 V/m. Składowa magnetyczna cechowała się wyższą dynamiką przebiegu. Można zauważyć, że podwyższona wartość indukcji towarzyszyła zajarzonemu łukowi spawalniczemu. Co istotne, dla prądu o wartości 100 A zmiana polaryzacji prądu spawania z DCEN na DCEP zredukowała poziom składowej elektrycznej.

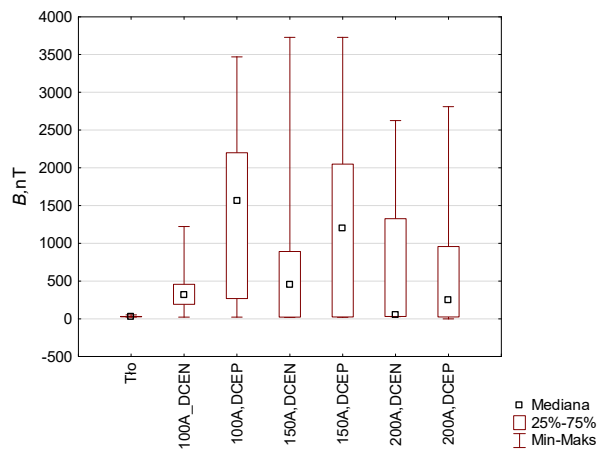
Ponieważ uzyskane dane pomiarowe mają charakter stochastyczny, w celu wyłonienia prawidłowości w badanych polowych zjawiskach elektromagnetycznych, wykonano analizę statystyczną. Zaimplementowano wartości składowej magnetycznej B [nT] i składowej elektrycznej E [V/m] do narzędzia *Statistica 13.3*. Do analizy statystycznej wybrano po 100 pomiarów dla każdej zmiennej ($n = 100$). Wartości analizowanych zmiennych są określone przez średnią, medianę, odchylenie standardowe i zakres zmienności.

W badaniach założono błąd wnioskowania na poziomie 5 % oraz poziom istotności $p < 0,05$

Opracowanie statystyczne zmienności (median, wartości średnich i zakresu zmienności) pola elektrycznego pokazano na rysunku 7, a składowej magnetycznej na rysunku 8.



Rys. 7. Opracowanie statystyczne zmienności wartości składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego, otrzymane podczas spawania w metodzie 111 (SMAW)



Rys. 8. Opracowanie statystyczne zmienności składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego, otrzymane podczas spawania w metodzie 111 (SMAW)

Obserwowana w badaniach własnych zmienność natężenia pola elektrycznego E oraz indukcji magnetycznej B okazała się istotna statystycznie i wahała się od 3.79 V/m do 98.34 V/m oraz dla B od 17.21 nT do 3728 nT. Natomiast średnie wartości wahają się dla składowej elektrycznej od 6,15 V/m do 93.28 V/m oraz dla indukcji magnetycznej od minimum 27.5 nT do maksimum 141 nT.

Podsumowanie

Wpływy pól elektromagnetycznych na organizmy ludzkie są obecnie popularnym kierunkiem badań w licznych ośrodkach naukowych na całym świecie. Badania takie służą głównie określeniu potencjalnych narażeń zdrowotnych kadry branżowej i pracowników z grup długotrwałej ekspozycji. W artykule podjęto tematykę empirycznej oceny oddziaływania polowych zjawisk elektromagnetycznych na spawacza wykonującego prace spawalnicze w metodzie 111. Badania zostały przeprowadzone z myślą o odwzorowaniu warunków w jakich pracują spawalnicy – montażyści. Przeprowadzono pomiary składowej elektrycznej i magnetycznej pola elektromagnetycznego, na które narażona jest pochylona głowa spawacza oraz narządy wewnątrz klatki piersiowej. Pomiary PEM powtórzono dla polaryzacji DCEP oraz DCEN. Respektując stochastyczny charakter wyników, poddano je analizie statystycznej i odniesiono do aktualnie obowiązujących aktów prawnych. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że chwilowa wartość składowej magnetycznej B przekraczała 300 nT, a wartość natężenia pola elektrycznego E osiągała poniżej 100 V/m, przy czym zwiększenie prądu łuku spawalniczego nie wpływało znacząco na poziom komponentu składowej elektrycznej.

Otrzymane wyniki zostały porównane z dopuszczalnymi wartościami granicznymi: *Directive 2013/35/EU* oraz z *rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 3 lipca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy*. Zgodnie z uzyskanymi w empirycznych pomiarach wartościami poziomu składowej elektrycznej i magnetycznej pola elektromagnetycznego można uznać za normatywnie nieprzekroczone.

Authors: Dr inż. Piotr Krupski, Lublin University of Technology, Fundamentals of Technology Faculty, Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: p.krupski@pollub.pl; dr inż. Joanna Michałowska, Instytut Nauk Technicznych i Lotnictwa, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie, ul. Poczтовая 24, 22-100 Chełm, E-mail: jmichalowska@panschelm.edu.pl

REFERENCES

- [1] Yu W., et.al., A comparison between fracture toughness at different locations of SMAW and GTAW welded joints of primary coolant piping, *Eng. Fract. Mech.*, 202 (2018), 135–146, doi: 10.1016/j.engfracmech.2018.09.021.
- [2] Alkahla I., et.al, Sustainability assessment of shielded metal arc welding (SMAW) process, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, (2017), 1-8, doi: 10.1088/1757-899X/244/1/012001.
- [3] Mazurek P., et.al, The intensity of the electromagnetic fields in the coverage of GSM 900, GSM 1800 DECT, UMTS, WLAN in built-up areas, *Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE)*, (2018), 159-162
- [4] Mahajan S., et.al, Design and Development of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Electrode Coatings Using a CaO-CaF₂-SiO₂ and CaO-SiO₂-Al₂O₃ Flux System, *JOM*, (2019) t. 71, nr 7, 2435–2444, doi: 10.1007/s11837-019-03494-9.
- [5] Michałowska J., et.al., Exposure to Electromagnetic Fields in the Surrounding Area of Microtomograph for the Frequency of 50 Hz., *IEEE EUROCON -17th International Conference on Smart Technologies*, (2017), 555-557
- [6] Michałowska J., et.al, Empirical assessment of the MAG welder's exposure to an electromagnetic field, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2020), doi: 10.15199/48.2020.12.48.
- [7] Michałowska J., et.al, Measurement of high-frequency electromagnetic fields in CNC machine tools area, *4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS) IEEE 2018*, (2018), 162-165
- [8] Mika D., et.al, Measurements of the level of harmful factors in the workplace of numerically operated milling machine, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2016), Volume 92, Issue 12, Ps 97 – 100
- [9] Tofil A., et.al., Cross wedge rolling with upsetting, *Archives of Metallurgy and Materials*, vol 58, Issue 4, (2013), 1191-1196
- [10] Michałowska J., et.al., Identification of the Electromagnetic Field Strength in Public Spaces and During Travel., *Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE)*, (2019), 121-124
- [11] Gontarz A., et.al, Numerical analysis of unconventional forging process of hollowed shaft from Ti-6Al-4V alloy, *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, vol. 7, nr 17, (2013),
- [12] Fang M., T., et. al., Examination of abnormal behavior detection based on improved YOLOv3, *Electronics*, (2021) 10(2), 197
- [13] Kochan O., et.al, Ad-hoc temperature measurements using a thermistor, *Proceedings of the 12th International Conference on Measurement, MEASUREMENT*, (2019), 228 – 231, doi: 10.23919/measurement47340.2019.8780010
- [14] Michałowska J., et.al., Identification of the Electromagnetic Field Strength in Public Spaces and During Travel., *Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE)*, (2019), 121-124
- [15] Jun S. et. al., The mechanism of the occurrence of acquired thermoelectric inhomogeneity of thermocouples and its effect on the result of temperature measurement, *Measurement Techniques*, (2015), 57(10), 1160-1166.
- [16] Jun S. et. al., Thermocouples with built-in self-testing. *International journal of thermophysics*, (2016), 37(4), 1-9.
- [17] Komarzyniec G., et. al., The calculation of the inrush current peak value of superconducting transformers, *Selected Problems of Electrical Engineering and Electronics, WZEE* (2015), doi: 10.1109/WZEE.2015.7394042