

Badanie i analiza pól magnetycznych generowanych przez pojazdy trakcyjne w odniesieniu do narażenia ludzi

Streszczenie. W pracy zostały opisane podstawowe zagadnienia związane z pomiarami pola magnetycznego zmiennego w elektrycznych pojazdach trakcyjnych w odniesieniu do obowiązujących norm i przepisów. Szczegółowo omówiono technikę pomiarów pola magnetycznego oraz problematykę poprawności ich wykonywania i oceny. Przeprowadzone badania pól magnetycznych generowanych przez wybrane pojazdy trakcyjne wykazały, że wskazane jest doprecyzowanie wymagań prawnych w odniesieniu do tramwajów.

Abstract. The paper describes the basic issues related to the measurements of alternating magnetic field in electric traction vehicles in relation to the applicable standards and regulations. The technique of magnetic field measurements and the problem of their correctness and evaluation are discussed in detail. Conducted research on magnetic fields generated by selected traction vehicles showed that it is advisable to clarify legal requirements with respect to trams. (Investigation and analysis of the magnetic fields generated by traction vehicles in relation to human exposure).

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, pojazdy trakcyjne, metodyka pomiarów, ochrona ludności.

Keywords: electromagnetic field, traction vehicles, measurement methodology, civil protection.

Wprowadzenie

Wpływ pola elektromagnetycznego na organizm człowieka jest przedmiotem licznych badań [1, 2, 3]. Jak wynika z badań przeprowadzonych przez Międzynarodową Komisję ds. Ochrony Przed Promieniowaniem Niejonizującym (ICNIRP; International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), pole elektromagnetyczne może mieć negatywny wpływ na zdrowie człowieka, czyli tym samym na pasażerów pociągów i pracowników kolei [4]. W 1998 r. ICNIRP wydała wytyczne dotyczące ograniczenia promieniowania emitowanego przez pociągi [4].

Środowisko kolejowe jest narażone na działanie pól elektromagnetycznych generowanych z kolejowych systemów zasilania, z taboru kolejowego oraz pobliskich linii przesyłowych. Jednym z podstawowych problemów występujących w trakcie eksploatacji elektrycznych pojazdów trakcyjnych jest bezpieczeństwo osób użytkujących (maszyniści, obsługa techniczna, pasażerowie itp.). W przypadku tematyki poruszanej w niniejszym artykule, w głównej mierze decydują o tym zidentyfikowane źródła pola elektromagnetycznego często zależne od warunków pracy pojazdu (pobór prądu trakcyjnego, prądy silników, częstotliwość kluczkowania przetwornic lub innych wielkości fizycznych).

Zgodnie z obowiązującymi normami i przepisami badania określające wpływ promieniowania elektromagnetycznego generowanego przez pojazdy kolejowe na organizm ludzki przeprowadza się tylko w odniesieniu do wpływu pola magnetycznego. Ekspozycja zawodowa na pola magnetyczne u maszynistów kolejowych zawsze budziła duże obawy, ponieważ wpływ pola magnetycznego o niskiej częstotliwości (< 300 Hz) wiązany jest z chorobami nowotworowymi [5, 6]. W wielu krajach prowadzone są badania pola magnetycznego generowanego przez pojazdy kolejowe pod kątem narażenia ludzi [7, 8, 9]. W pracy [10] przedstawiono wyniki badań związanych z narażeniem na pola magnetyczne maszynistów kolejowych we Włoszech a w pracy [11] wykazano możliwy związek pomiędzy narażeniem a odpowiedzią w przypadku białaczki i choroby Hodgkina u pracowników kolei w Szwajcarii.

Pracodawcy są zobowiązani do zapewnienia właściwych warunków pracy w tym zabezpieczenie pracowników przed negatywnym oddziaływaniem pól

elektromagnetycznych. Istotne jest wykonanie wiarygodnych pomiarów natężenia pola elektromagnetycznego emitowanego w zakładach pracy. W artykule przedstawiono analizę i wyniki pomiarów pól magnetycznych generowanych przez pojazdy trakcyjne takie jak: tramwaj, lokomotywa oraz wagon osobowy. Pomiary wykonano zgodnie z obowiązującymi normami i przepisami.

Metodyka pomiarów pól magnetycznych w taborze kolejowym

Podstawowym dokumentem określającym wymagania dla wszystkich urządzeń stosowanych w taborze systemu kolei w Unii Europejskiej jest Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei z dnia 21 listopada 2020 r. [12], Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013 r. [13] oraz norma PN-EN 50500:2008/A1:2015-10 [14] określająca sposób postępowania przy wykonywaniu badań pól magnetycznych.

Obiektami badań mogą być: lokomotywy elektryczne i spalinowe, elektryczne i spalinowe zespoły trakcyjne, wagony osobowe, tramwaje, trolejbusy, pojazdy metra oraz specjalistyczne pojazdy szynowe.

W trakcie pomiaru pól magnetycznych w taborze kolejowym wyodrębnia się trzy obszary pomiarowe:

- (1) pomiary wewnątrz taboru kolejowego – miejsca stałej pracy obsługi oraz miejsca związane z obsługą doraźną przy urządzeniach,
- (2) pomiary wewnątrz taboru kolejowego – w przestrzeni pasażerskiej przy urządzeniach (tzw. obszar publiczny),
- (3) pomiary na zewnątrz taboru kolejowego w pobliżu źródeł emisji pola magnetycznego (na peronie lub alternatywnie na torach postojowych).

We wszystkich trzech wyodrębnionych obszarach miejsce badań pola magnetycznego powinno spełniać wymagania zawarte w normie [14].

W przypadku obszaru (1) pomiary powinny być wykonywane w miejscu fotela maszynisty i pomocnika oraz blisko źródeł emisji w pojeździe (np. falowniki, przetwornice, prądnice, prostowniki, itp.) gdzie mogą przebywać pracownicy obsługi podczas normalnych warunków pracy

w taborze. Pomiar należy wykonać na wysokości 0,9 m i 1,5 m nad podłogą. Istotne jest także, by pozioma odległość pomiarowa do ścian wynosiła 0,3 m lub w miejscu, gdzie mogą przebywać osoby obsługi była w minimalnej odległości (>0,3 m).

Natomiast dla obszaru (2) w przestrzeni pasażerskiej pomiary powinny być przeprowadzane możliwie najbliżej źródła emisji w pojeździe (np. przetwornice, szafy elektryczne, urządzenia energoelektroniczne na dachu lub podwoziu pojazdu) gdzie mogą przebywać pasażerowie. Pomiar należy wykonać na wysokości 0,3 m, 0,9 m oraz 1,5 m nad podłogą. Pozioma odległość pomiarowa do ścian wynosi 0,3 m lub w minimalnej odległości (>0,3 m) w miejscu, gdzie mogą przebywać ludzie.

W obszarze (3) pomiary wykonywane są w czasie postoju na zewnątrz taboru w odległości poziomej 0,3 m do pudła pojazdu możliwie najbliżej miejsca źródła emisji pola magnetycznego (np. falowniki, przetwornice) na wysokości 0,5 m, 1,5 m oraz 2,5 m od powierzchni główki szyny jezdnej. Dla pojazdów zasilanych z trzeciej szyny pomiary w odniesieniu do ludzi nie powinny być przeprowadzone po stronie trzeciej szyny w stosunku do toru.

Zgodnie z normą [14] pomiary pól magnetycznych powinny być przeprowadzane tylko w normalnych warunkach pracy zarówno w czasie postoju (stan statyczny) jak i w stanie dynamicznym.

W stanie statycznym (pojazd szynowy nie porusza się) obwód trakcyjny (główny) powinien znajdować się pod napięciem, ale nie powinien pracować. Obwody pomocnicze powinny pracować i powinny być załączone wszystkie istotne urządzenia (np. klimatyzacja/ogrzewanie, oświetlenie zewnętrzne i pomieszczeń wewnątrz pojazdu, ogrzewanie szyby, przetwornice i prądnice pomocnicze). Ponadto dla pomiarów realizowanych w obszarach na zewnątrz pojazdu należy wykonać pomiar środowiska (tła) pod nieobecność pojazdu [14].

W stanie dynamicznym obwód trakcyjny powinien być pod napięciem i pracować. Obwody pomocnicze powinny pracować i powinny być załączone wszystkie istotne urządzenia (np. klimatyzacja/ogrzewanie, oświetlenie zewnętrzne i wewnętrzne, ogrzewanie szyby, elektryczne prądnice). Pomiary powinny być wykonane podczas rozruchu pojazdu z maksymalną mocą, wybiegu w ciągu co najmniej 10 s i hamowania elektrodynamicznego z maksymalną siłą aż do zatrzymania. Jeśli tabor szynowy (np. transport miejski) nie może przyspieszać z maksymalnym napięciem linii podczas badania lub systemy zasilające nie mogą być celowo ustawione tak, że tabor pobierze maksymalny prąd linii w trakcie tego badania, to wtedy maksymalna emisja powinna być obliczona na podstawie wyników pomiarów i monitorowana za pomocą wytycznych z wykorzystaniem odpowiedniej metody [14].

Pomiary pól magnetycznych w środowisku kolejowym należy przeprowadzać w warunkach atmosferycznych umożliwiających prawidłowe wykonywanie badań. Warunki pogodowe nie mogą wpływać ujemnie na jakość pomiarów albo powodować unieważnienia wyników. Szczególną uwagę należy poświęcić sytuacjom i czynnościom wykonywanym poza zamkniętymi przestrzeniami pojazdów szynowych. W przypadku gdy warunki środowiskowe (temperatura, wilgotność powietrza, kondensacja pary wodnej) mogą wpływać na jakość wyników pomiarów należy je monitorować. Badanie należy wstrzymać w sytuacji zagrażającej jakości otrzymanych wyników pomiarowych. Warunki środowiskowe powinny być dostosowane do warunków środowiskowych zastosowanej aparatury pomiarowej, określonych przez producenta miernika pola magnetycznego.

Pomiar poziomu pola magnetycznego wykonuje się zgodnie z wymaganiami normy [14]. Zakres badań obejmuje częstotliwości od 0 kHz do 20 kHz. Wielkością mierzona jest indukcja magnetyczna B ($B = \mu_0 H$). Przy czym pomiary wykonuje się w tym samym czasie w trzech prostopadłych płaszczyznach, aby uzyskać składowe natężenia pola magnetycznego. Całkowite natężenie pola H jest określone zależnością:

$$(1) \quad H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

Dla pola AC sumowanie musi być wykonane w dziedzinie czasu po filtracji lub w zakresie częstotliwości po analizie FFT mierzonych składników dla trzech (x, y, z) kierunków pola [14].

Kryteria oceny wyników

Jako kryterium oceny uzyskanych wyników przyjęto wymagania dotyczące wartości dopuszczalnej indukcji magnetycznej promieniowania pola magnetycznego określone w dokumencie ICNIRP [4], w Dyrektywie 2013/35/UE [13] oraz w Rozporządzeniu MRPIPS [15].

Wartości dopuszczalne indukcji magnetycznej promieniowania pola magnetycznego dla pola o częstotliwościach od 0 do 1 Hz zgodnie z Dyrektywą 2013/35/UE [13] zestawiono w tabeli 1. Wartości te przyjęto jako dolny graniczny poziom oddziaływania (GPOd). Natomiast górny graniczny poziom oddziaływania (GPOg) dotyczy kontrolowanych warunków pracy, gdy zostały wdrożone odpowiednie środki zapobiegawcze.

Tabela 1. Wartości granicznego poziomu oddziaływania dotyczące indukcji magnetycznej pola pierwotnego (B_0) o częstotliwościach od 0 do 1 Hz

	GPOd
Normalne warunki pracy	2 T
Miejscowe narażenie kończyn	8 T
	GPOg
Kontrolowane warunki pracy	8 T

W tabeli 2 przedstawiono wartości dolnych (IPNd) i górnych (IPNg) interwencyjnych poziomów narażenia (IPN) dla pola magnetycznego o częstotliwości od 1 Hz do 10 MHz.

Tabela 2. Wartości interwencyjnych poziomów narażenia dotyczące narażenia na pole magnetyczne częstotliwości w przedziale od 1 Hz do 10 MHz

Przedział częstotliwości	Indukcja magnetyczna na IPNd [μ T] (RMS)	Indukcja magnetyczna IPN [μ T] (RMS)	Indukcja magnetyczna IPN dotyczące narażenia kończyn na miejscowe pole magnetyczne [μ T] (RMS)
$1 \leq f < 8$ Hz	$2,0 \times 10^5/f^2$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$8 \leq f < 25$ Hz	$2,5 \times 10^4/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$25 \leq f < 300$ Hz	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$3 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Wartości podane w tabeli 2 dla poziomów IPNd są tożsame z limitami, określonymi w dokumencie ICNIRP [4] dla stanowisk obsługi – tabela 3.

Tabela 3. Wartości odniesienia dotyczące narażenia na pole magnetyczne dla stanowisk obsługi (wartości skuteczne RMS)

Przedział częstotliwości	Indukcja magnetyczna B [T]
1 Hz - 8 Hz	$0,2 / f^2$
8 Hz - 25 Hz	$2,5 \times 10^{-2} / f$
25 Hz - 300 Hz	$1,0 \times 10^{-3}$
300 Hz - 3 kHz	$0,3 / f$
3 kHz - 10 MHz	1×10^{-4}

Wartość IPN powodujące zakłócenia działania wszczepionych aktywnych wyrobów np. stymulatorów serca dla pola magnetostatycznego ($0 \div 1$ Hz) zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wartości interwencyjnych poziomów narażenia dotyczące indukcji magnetycznej pól magnetostatycznych

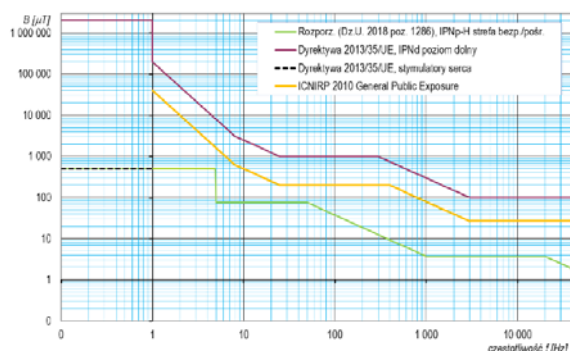
Zagrożenia	IPN (B_0)
Zakłócenia działania wszczepionych aktywnych wyrobów, np. stymulatorów serca	0,5 mT
Zagrożenie przyciąganiem i gwałtownym przemieszczaniem przedmiotów w polu rozproszonym przy źródłach silnego pola (> 100 mT)	3 mT

W tabeli 5 zestawiono wartości interwencyjnych poziomów narażenia pomocniczych (IPNp-H), odnoszących się do wartości natężenia pola magnetycznego, dla granicy strefy bezpiecznej (wg Rozporządzenia MRPIPS [15]).

Tabela 5. Wartości interwencyjnych poziomów narażenia pomocniczych dotyczące natężenia pola magnetycznego w strefie pośredniej

Przedział częstotliwości	Natężenie pola H [A/m]
$f < 5$ Hz	$4,0 \cdot 100$
$5 \text{ Hz} \leq f < 50$ Hz	60
$50 \text{ Hz} \leq f < 1$ kHz	$3,0 \cdot 10^{-3} / f$
$1 \text{ kHz} \leq f < 20$ kHz	3,0
$20 \text{ kHz} \leq f < 3$ MHz	$6,0 \cdot 10^{-4} / f$

Na rysunku 1 przedstawiono w formie graficznej dopuszczalne poziomy pola magnetycznego w paśmie częstotliwości 1 Hz ÷ 30 kHz określone w dokumencie ICNIRP [4], w Dyrektywie 2013/35/UE [13] oraz w Rozporządzeniu MRPIPS [15].



Rys. 1. Poziomy dopuszczalne pola magnetycznego

Wybrane wyniki pomiarów pól magnetycznych

Pomiary pól magnetycznych generowanych przez pojazdy trakcyjne wykonano dla tramwaju, lokomotywy oraz wagonu osobowego. Dla pojazdów kolejowych pomiary wynikają z wymagań Listy Prezesa UTK [12] natomiast dla tramwaju był to wymóg wynikający z umowy pomiędzy producentem a dostawcą (aktualnie w Polsce nie ma takiego wymagania w celach homologacyjnych). Dla

każdego z obiektów przyjęto identyczną procedurę pomiarów, wymagania oraz sposób analizy wyników.

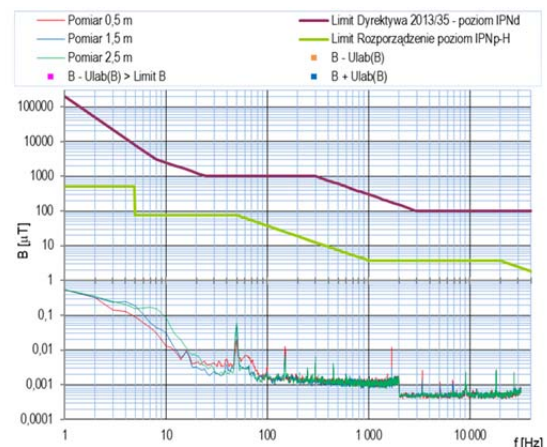
W trakcie badań używano analizatora pola typ EFA-300 produkcji NARDA z sondą zewnętrzną z trzema wzajemnie prostopadłymi pętlami o powierzchni 100 cm^2 każda; zakresie pomiarowym: $0 \div 100 \text{ nT} \div 316 \text{ nT} \dots 316 \mu\text{T} \dots 31,6 \text{ mT}$ lub Auto oraz rozdzielczości pomiaru: $0,1 \text{ nT}$; $0,1 \text{ nT}$; ... $0,001 \mu\text{T}$; ... $0,1 \mu\text{T}$. Analizator pola umożliwia pomiar w trybie analizy widma FFT w dwóch pasmach częstotliwości:

- $5 \text{ Hz} \div 2 \text{ kHz}$ z rozdzielczością 1 Hz i oknem czasowym 1 s ,
- $40 \text{ Hz} \div 32 \text{ kHz}$ z rozdzielczością 10 Hz i oknem czasowym 100 ms .

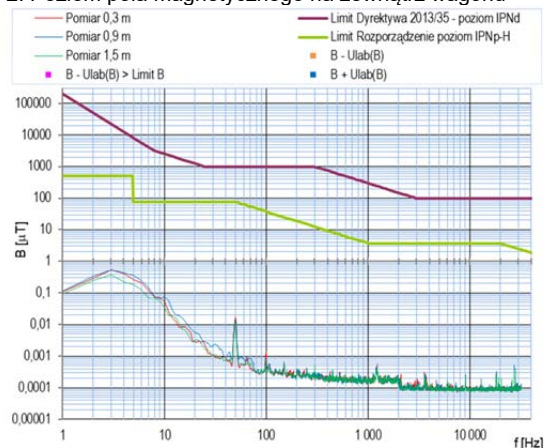
Dla aparatury pomiarowej zdefiniowano poniższe parametry pracy:

- temperatura otoczenia $0 \div +50^\circ\text{C}$;
- wilgotność powietrza $5 \div 85\%$ przy temperaturze $\leq 30^\circ\text{C}$;
- kondensacja pary wodnej dozwolona przez bardzo krótki okres.

Niepewność rozszerzoną pomiaru określono jako standardową niepewność pomiaru pomnożoną przez współczynnik rozszerzenia $k = 2$, który dla rozkładu normalnego odpowiada prawdopodobieństwu rozszerzenia ok. 95%. Przekroczenia poziomów dopuszczalnych oznaczono prostokątami w kolorze fioletowym, opisanymi w legendzie „ $B - U_{lab}(B) > \text{Limit } B$ ”. Pasma częstotliwości, dla których zastosowano kryteria warunkowej zgodności z prawdopodobieństwem 50% oznaczono prostokątami w kolorze niebieskim, opisanymi w legendzie „ $B + U_{lab}(B)$ ”. Pasma częstotliwości, dla których zastosowano kryteria warunkowej niezgodności z prawdopodobieństwem 50% oznaczono prostokątami w kolorze pomarańczowym, opisanymi w legendzie „ $B - U_{lab}(B)$ ”.



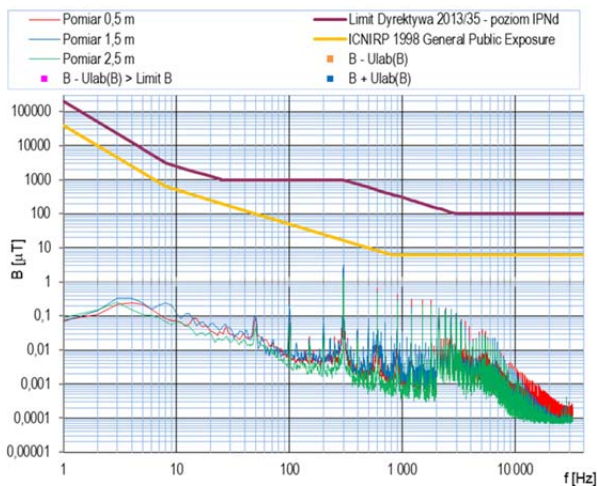
Rys. 2. Poziomy pola magnetycznego na zewnątrz wagonu



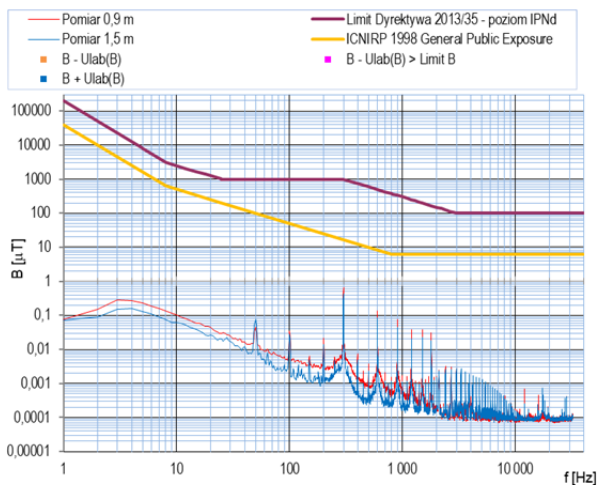
Rys. 3. Poziomy pola magnetycznego wewnątrz wagonu

Na rysunkach 2 ÷ 9 przedstawiono w postaci graficznej wybrane wyniki pomiarów pola magnetycznego dla przyjętych obiektów badań. Na rysunkach 2 i 3 zilustrowano wyniki pomiarów wykonane dla wagonu osobowego w stanie statycznym. Wagon wyposażony był w urządzenia, których charakter oraz wielkość emitowanego pola magnetycznego na postoju i w czasie jazdy są niezmiennie.

Na rysunkach 4, 5 i 6 przedstawiono wyniki pomiarów pola magnetycznego dla tramwaju. W trakcie wykonywania pomiarów załączone były wszystkie urządzenia oraz układy pomocnicze i sterowania, wymagane do pracy (oświetlenie wewnętrzne i zewnętrzne, system informacji pasażerskiej, ogrzewanie lub klimatyzacja). Pomiary podczas jazdy wykonano dla prędkości maksymalnej wynoszącej 50 km/h.

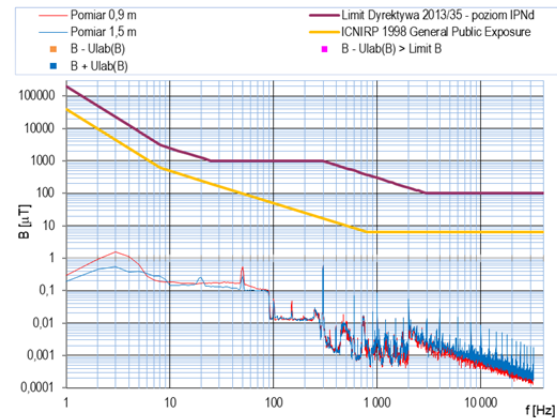


Rys. 4. Poziom pola magnetycznego na zewnątrz tramwaju

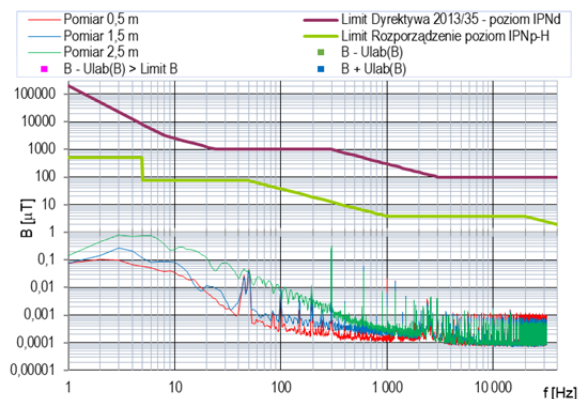


Rys.5. Poziom pola magnetycznego w kabinie tramwaju na stanowisku motorniczego w czasie postoju

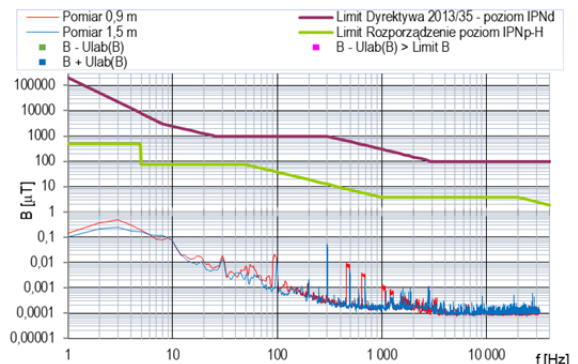
Na rysunkach 7, 8 i 9 pokazano wyniki pomiarów pola magnetycznego otrzymane dla lokomotywy. Pomiary na zewnątrz lokomotywy wykonano po obu stronach pojazdu w sąsiedztwie przetwornic statycznych i szaf przekształtnikowych na wysokości 0,5 m, 1,5 m i 2,5 m od poziomu główki szyny w odległości 0,3 m od płaszczyzny ściany pojazdu. W trakcie wykonywania pomiarów załączone były wszystkie urządzenia oraz układy pomocnicze i sterowania, wymagane do pracy (oświetlenie wewnętrzne i zewnętrzne, ogrzewanie, radiołączność pociągowa, układ ppoż.).



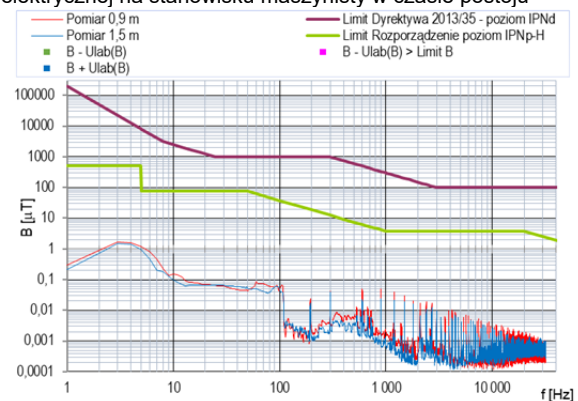
Rys.6. Poziom pola magnetycznego w kabinie tramwaju na stanowisku motorniczego w trakcie jazdy



Rys. 7. Poziom pola magnetycznego na zewnątrz lokomotywy elektrycznej



Rys.8. Poziom pola magnetycznego w kabinie lokomotywy elektrycznej na stanowisku maszynisty w czasie postoju



Rys.9. Poziom pola magnetycznego w kabinie lokomotywy elektrycznej na stanowisku maszynisty w trakcie jazdy

Pomiary poziomów pól magnetycznych generowanych przez urządzenia elektroniczne i elektryczne w środowisku kolejowym w odniesieniu do narażenia ludzi przedstawione w formie graficznej na rysunkach 2 ÷ 9 wykonano zgodnie z wszystkimi wymaganiami normy [14].

Wartości poziomów pól magnetycznych wewnątrz oraz na zewnątrz badanych pojazdów w paśmie częstotliwości 1 Hz ÷ 20 kHz, uzyskane w trakcie pomiarów są w każdym punkcie niższe od wartości dopuszczalnych i spełniają wymagania Dyrektywy 2013/35/UE [13].

Zgodność stwierdzono metodą prostej akceptacji na podstawie dokumentu ILAC-G8:09/2019 [16] przy uwzględnieniu przyjętej niepewności pomiaru. Ryzyko błędnej akceptacji metody wynosi 50% w przypadku wyników zbliżonych do poziomów dopuszczalnych.

Dodatkowo wykonano analizę porównawczą uzyskanych wyników pomiędzy badanymi obiektami. Wybrano punkty, dla których zarejestrowano najwyższe natężenie pola. Dane porównano dla takiej samej wysokości pomiaru (na zewnątrz 2,5 m, wewnątrz 0,9 m) oraz dla takiego samego stanu obiektu - wewnątrz w stanie dynamicznym, pomiar na zewnątrz wykonuje się tylko podczas postoju. Wyniki przedstawiono w formie graficznej na rysunku 10 i rysunku 11.

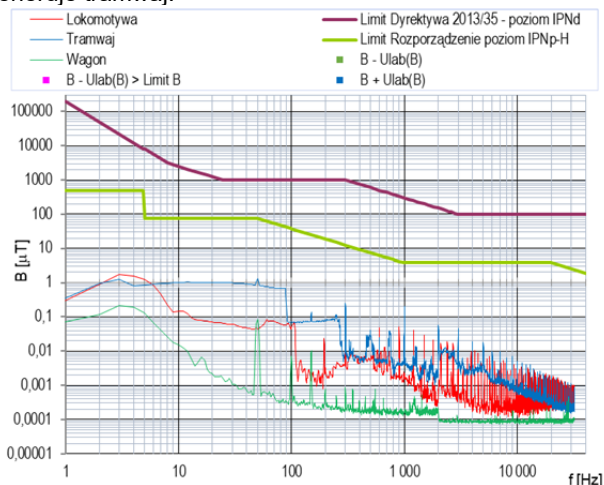
W tabeli 6 zestawiono wartości mocy oraz napięć znamionowych badanych pojazdów, które w konsekwencji powinny dać obraz wielkości prądów płynących w układach, od których między innymi zależy natężenie pola magnetycznego.

Tabela 6. Zestawienie wartości mocy i napięć znamionowych zasilania pojazdów

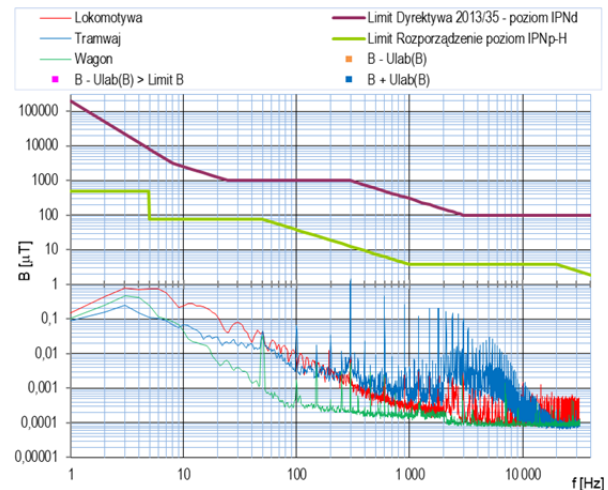
Lp.	Obiekt	Moc [kW]	Napięcie [kV]
1	Lokomotywa	5600	3
2	Tramwaj	520	0,6
3	Wagon	50	3

Na rysunku 10 można zauważyć, że w stanie dynamicznym najwyższe poziomy natężenia pola magnetycznego uzyskano podczas badania tramwaju. Niemal w całym sprawdzanym zakresie częstotliwości poziom ten jest zdecydowanie wyższy od poziomów pól uzyskanych dla lokomotywy, mimo iż jest to znacznie mniejszy odbiornik prądu.

W badaniu tym tak jak się spodziewano wagon osobowy okazał się nieistotnym obiektem pod tym względem. Podczas pomiarów na postoju (rysunek 11) do częstotliwości około 100 Hz większe natężenie pola zarejestrowano dla lokomotywy jednak już w dalszym paśmie ponownie większe natężenie pola magnetycznego generuje tramwaj.



Rys. 10. Poziom pola magnetycznego wewnątrz pojazdów



Rys. 11. Poziom pola magnetycznego na zewnątrz pojazdów

Wyjaśnienie takiego niespodziewanego wyniku wymaga dalszych sprawdzeń w tym analizy konstrukcji pojazdów, rozmieszczenia elementów czy budowy poszczególnych podzespołów energoelektronicznych i stawianym im wymagań w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej.

Podsumowanie

Pojazdom trakcyjnym i podzespołom w nich stosowanych stawiany jest szereg wymagań w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej zapisanych w wielu normach przygotowanych w tym celu. Natomiast dla tramwaju powstał tylko jeden dokument jakim jest Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia opublikowane w jest Dzienniku Ustaw 2011 nr 65 poz. 344 [17]. Ponadto w Rozporządzeniu tym nie wspomniano o badaniach pola magnetycznego w odniesieniu do narażenia ludzi. Aktualnie dobrą wolą producentów a najczęściej dodatkowym wymogiem świadomych klientów jest wymaganie pozytywnych badań natężenia pola magnetycznego choćby w odniesieniu do limitów stosowanych w kolejnictwie.

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów pól magnetycznych generowanych przez wybrane pojazdy trakcyjne. Szczegółowa analiza porównawcza otrzymanych wyników szczególnie dla obiektu jakim jest tramwaj i uzyskanie tak niespodziewanych rezultatów wywołała dyskusje wśród specjalistów prowadzących tego typu pomiary odnośnie do wprowadzenia obligatoryjnych wymagań w tym zakresie co już jest sporym sukcesem. Jednak najważniejszym skutkiem realizacji badań pól magnetycznych generowanych przez wybrane pojazdy trakcyjne jest formalna próba nowelizacji w tym zakresie aktualnie obowiązującego Rozporządzenia Ministra Infrastruktury [17] wprowadzająca obowiązkowe pomiary pola magnetycznego dla producentów tramwajów.

Autorzy: inż. Adam Garczarek, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Poznański Instytut Technologiczny ul. Ewarysta Estkowskiego 6, 61-755 Poznań, E-mail: adam.garczarek@pit.lukasiewicz.gov.pl
dr hab. inż. Dorota Stachowiak, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: dorota.stachowiak@put.poznan.pl

LITERATURA

- [1] Vecchia P., Assessment of health effects associated with electromagnetic fields by WHO, IARC, and ICNIRP, *URSI Radio Science Bulletin*, (2006), No. 318, 30-33

- [2] Canova A., Freschi F., Giaccone L., Repetto M., Exposure of Working Population to Pulsed Magnetic Fields, *IEEE Trans. Magn.*, 46 (2010), No. 8, 2819-2822
- [3] Maffei ME. Magnetic Fields and Cancer: Epidemiology, Cellular Biology, and Theranostics, *International Journal of Molecular Sciences*, (2022), No. 23(3), 1339
- [4] ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz), *Health Physics*, 99(6) (2010), 818-836
- [5] Savitz D. A., Invited commentary: electromagnetic fields and cancer in railway workers, *American Journal of Epidemiology*, 153 (2001), No. 9, 836 – 838
- [6] Santangelo L., Grazia M.D., Liotti F., De Maria E., Calabro R., Sannolo N., Magnetic field exposure and arrhythmic risk: evaluation in railway drivers, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 78 (2005), 337–341
- [7] Mora M.A., Coyitangiye L-A, Cucchiario M., Electromagnetic fields radiated by high speed railway lines, application case: cover slab over the railway lines, *Przegląd Elektrotechniczny*, 94 (2018), nr 2, 54-57
- [8] Nugroho H. W., 1, Sudrajat M. I., Bakti A. N., Yudhistira A., Arjadi R. H., Measurement of magnetic fields on electric train, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 722 (2020), 012023
- [9] Dłużniewski A., John Ł., Pomiar pól magnetycznych generowanych przez urządzenia elektryczne i elektroniczne instalowane na taborze kolejowym w świetle normy kolejowej PN-EN 50500, *Przegląd Elektrotechniczny*, 91 (2015), nr 11, 25-28
- [10] Contessa G. M., Falsaperla R., Brugaletta V., Rossi P., Exposure to magnetic fields of railway engine drivers: A case study in Italy, *Radiation Protection Dosimetry*, 142 (2010), 160-167
- [11] Roosli M., Lortscher M., Egger M., Pfluger D., Schreier N., Lortscher E., Locher P., Spoerri A., and Minder C., Leukaemia, brain tumours and exposure to extremely low frequency magnetic fields: cohort study of Swiss railway employees. *Occupational and Environmental Medicine*, 64 (2007), 553–559
- [12] Lista Prezesa UTK - Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei; UTK, Warszawa, listopad 2020 r.;
- [13] 2013/35/UE Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) uchylająca dyrektywę 2004/40/WE;
- [14] PN-EN 50500:2008//A1:2015-10 Procedury pomiarów poziomów pól magnetycznych generowanych przez urządzenia elektroniczne i elektryczne w środowisku kolejowym w odniesieniu do narażenia ludzi;
- [15] Dz.U. 2018 r. poz. 1286 Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy;
- [16] ILAC-G8:09/2019 Guidelines on Decision Rules and Statements of Conformity. 2019 r.;
- [17] Dz.U. 2011 nr 65 poz. 344 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia.