

dr hab. inż. KRZYSZTOF GRYZ (ORCID 0000-0001-5655-2187)  
 dr hab. inż. JOLANTA KARPOWICZ (ORCID 0000-0003-2547-2728)  
 dr hab. inż. PATRYK ZRADZIŃSKI (ORCID 0000-0001-8094-0761)  
 dr TOMASZ TOKARSKI (ORCID 0000-0003-3572-6939)  
 mgr ŁUKASZ KAPICA (ORCID 0000-0001-7423-0608)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: krgry@ciop.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0014.5756

# Ekspozycja na pole elektromagnetyczne podczas użytkowania pojazdów samochodowych z napędem elektrycznym lub hybrydowym

Szybki rozwój technologii *e-mobility* i zwiększająca się systematycznie liczba pojazdów samochodowych o napędzie całkowicie elektrycznym lub hybrydowym powoduje zwiększenie ilości źródeł pola elektromagnetycznego i emisji elektromagnetycznych w środowisku. W artykule przedstawiono wyniki rozpoznania i oceny ekspozycji na pole elektromagnetyczne związane z użytkowaniem osobowych pojazdów samochodowych o napędzie elektrycznym i hybrydowym w kontekście danych literaturowych i badań własnych.

*Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, ekspozycja, pojazdy elektryczne, pojazdy hybrydowe, inżynieria środowiska*

## Exposure to electromagnetic field during the use of fully electric or hybrid cars

The rapid development of *e-mobility* technology and the systematically increasing number of fully electric or hybrid cars does cause the increase in the number of electromagnetic field sources and electromagnetic emissions in the environment. The article presents the results of the recognition and evaluation of the exposure to electromagnetic field related to the use of fully electric or hybrid passenger cars in the context of literature data and own research.

*Keywords: electromagnetic field, exposure, electric cars, hybrid cars, environmental engineering*

## Wstęp

Ze względów ekologicznych prognozowany jest gwałtowny rozwój zastosowań pojazdów samochodowych z napędem elektrycznym. Według Kodeksu drogowego pojazd samochodowy to pojazd silnikowy (napędzany mechanicznie dzięki własnemu napędowi), którego konstrukcja umożliwia jazdę z prędkością przekraczającą 25 km/h [1]. Pojazdy samochodowe o napędzie elektrycznym można podzielić na:

- pojazdy samochodowe o napędzie całkowicie elektrycznym (określane w literaturze jako: EV – *electric vehicles*, BEV – *battery electric vehicles*, PEV – *plug-in electric vehicles*), w których elektryczna jednostka napędowa zasilana jest z akumulatorów, ładowanych z zewnętrznych sieci elektroenergetycznych, np. podczas postoju;

- pojazdy samochodowe o napędzie hybrydowym (HEV – *hybrid electric vehicles*), wyposażone w konwencjonalną (spalinową) i elektryczną jednostkę napędową, przełączalne automatycznie podczas jazdy, w których akumulatory zasilające silnik elektryczny ładowane są podczas wykorzystywania silnika spalinowego;

- pojazdy samochodowe o napędzie hybrydowym z możliwością ładowania z sieci elektroenergetycznych (PHEV – *plug-in hybrid electric vehicles*), wyposażone w konwencjonalną (spalinową) i elektryczną jednostkę napędową, przełączalne automatycznie podczas jazdy, w których akumulatory zasilające silnik elektryczny ładowane są podczas wykorzystywania silnika spalinowego oraz dodatkowo z zewnętrznych sieci elektroenergetycznych, np. podczas postoju

- pojazdy samochodowe o napędzie elektryczno-wodorowym (FCEV – *fuel cell electric vehicle*), w których elektryczna jednostka napędowa zasilana jest energią elektryczną wytwarzaną w ogniwoch paliwowych wskutek reakcji chemicznej sprężonego wodoru (ze zbiornika w pojeździe) i tlenu z powietrza.

Celem artykułu jest zaprezentowanie wyników rozpoznania i oceny elektromagnetycznych aspektów użytkowania osobowych pojazdów samochodowych o napędzie elektrycznym lub hybrydowym (przywoływanych dalej w tekście jako PS-EH) w kontekście bezpieczeństwa i higieny pracy, danych literaturowych i badań własnych.

## Rozwój *e-mobility*

Napęd elektryczny wprowadzany jest w samochodach osobowych oraz w pojazdach komunikacji publicznej (e-busy o napędzie elektrycznym są produkowane i użytkowane również w Polsce – według danych Ministerstwa Przedsiębiorczości i Technologii w grudniu 2017 r. w polskich miastach jeździło 99 autobusów o napędzie elektrycznym, do roku 2023 ich liczba ma wzrosnąć do 1500). W raporcie „Napędzamy polską przyszłość” [2] prognozowano, że liczba zamówień na nowe autobusy elektryczne zwiększy się z 18% w 2020 r. do 50% w 2030 r. (w stosunku do ogółu zamówień). InfoBus podaje, że na koniec 2019 r. w Polsce zarejestrowanych było 216 autobusów elektrycznych, a na lata 2020-2021 podpisano umowy na dostawy kolejnych ok. 500 sztuk pojazdów [3].

Według danych Polskiego Związku Przemysłu Motoryzacyjnego w Polsce w sierpniu 2020 r. zarejestrowanych było [4]:

- ok. 13,7 tys. elektrycznych samochodów osobowych, z których 55% stanowiły pojazdy w pełni elektryczne (EV, BEV lub PEV), a 45% hybrydowe typu PHEV

– ok. 650 elektrycznych pojazdów dostawczych i ciężarowych

– ok. 340 autobusów elektrycznych  
– ok. 160 tys. hybrydowych (typu HEV) samochodów osobowych i dostawczych (tzw. e-vany).

Wraz z rozwojem technologii napędu elektrycznego (e-mobility) planowane jest również wprowadzenie do użytkowania pojazdów całkowicie autonomicznych, tzn. niewymagających od człowieka kierowania nimi, których działanie będzie możliwe m.in. dzięki zastosowaniu łączności bezprzewodowej z wykorzystaniem promieniowania elektromagnetycznego.

## Zasilanie PS-EH w energię elektryczną

Eksploatacja pojazdów samochodowych o napędzie elektrycznym lub hybrydowym (PS-EH) nierozdzielnie związana jest z koniecznością ładowania źródeł energii elektrycznej w pojazdach (akumulatorów lub tzw. superkondensatorów). Ładowanie akumulatorów odbywa się przewożąc w stacjach ładowania (np. zlokalizowanych w zajezdniach autobusowych lub na przystankach końcowych), bądź bezprzewodowo (np. za pomocą układów indukcyjnych umieszczonych pod powierzchnią jezdni na parkingach).

PS-EH najczęściej wykorzystują akumulatory litowo-jonowe z gęstością energii ok. 250 Wh/kg, co przy jej zużyciu na poziomie 250 Wh/km pozwala na oszacowanie niezbędnej masy pakietu akumulatorów zapewniających zakładany zasięg przejazdu (obecnie maksymalnie do ok. 400 km), który można pokonać bez doładowania [5, 6]. Zasięg ten istotnie zależy od warunków panujących na drodze, średniej prędkości, z jaką porusza się pojazd, oraz stylu jazdy. Akumulatory są najdroższym elementem PS-EH. Krytyczne dla rozszerzenia stosowania EV jest obniżenie kosztu wytworzenia akumulatorów, ale także opracowywanie nowych ich rodzajów, cechujących się większymi gęstościami energii (np. rozwijana technologia akumulatorów o stałym elektrolicie, pozwala na podniesienie gęstości energii z 250 do 500 Wh/kg) [5, 6].

Zgodnie z danymi EAFO (European Alternative Fuels Observatory) na koniec roku 2019 w Europie było ponad 184 tys. publicznych stacji ładowania pojazdów elektrycznych, z czego ok. 10% stanowiły ładowarki szybkie o mocy powyżej 22 kW [7]. Według tych samych danych w Polsce było ok. 800 punktów ładowania (w tym ok. 310 szybkich). Natomiast według Polskiego Związku Przemysłu Motoryzacyjnego w sierpniu 2020 r. w Polsce funkcjonowało ok. 1250 stacji ładowania [4]. W stacjach wolnoładujących, o mocy zazwyczaj od 3,7 do 22 kW, akumulatory ładowane są z instalacji 1-fazowej 230 V lub 3-fazowej 400 V, prądu przemiennego (AC) o częstotliwości 50 Hz i maksymalnym natężeniu do 32 A (w pojazdach wykorzystuje się układy przetwornikowe AC/DC, w układzie ładowania akumulatorów prądem stałym, DC), a w stacjach szybkoładujących, o mocy powyżej 22 kW, i ultraszybkich, o mocy powyżej 100 kW (dających możliwość jednoczesnego ładowania kilku pojazdów), prądem DC o natężeniu do 400 A i napięciu do 1000 V (ładowarka zasilana jest prądem AC 50 Hz przetwarzanym na prąd DC).

Czas ładowania w stacjach wolnoładujących jest porównywalny z możliwym czasem przejazdu EV bez konieczności doładowania. W stacjach szybkoładujących stosunek czasu ładowania do czasu przejazdu nie przekracza ok. 0,2 (zależnie od maksymalnej mocy ładowania), [6].

## Pole elektromagnetyczne w PS-EH – źródła

Silniki napędowe (typowo prądu przemiennego lub sporadycznie prądu stałego), układy zasilające (np. instalacja elektryczna, przetworniki AC/DC i DC/AC, instalacje indukcyjne) i zewnętrzna infrastruktura zasilająca są źródłami pola elektromagnetycznego o zróżnicowanych parametrach zmienności w czasie (klasyfikacja według polskiego prawa pracy), [8]:

– pola magnetostatycznego (PMS) – emitowanego przez instalację ładowania akumulatorów, instalację zasilającą i silniki prądu stałego, oraz instalację prądu DC

– pola quasi-statycznego (PQS) – o częstotliwościach z przedziału ok. 20-600 Hz, zależnie od trybu jazdy (emitowanego przez silniki napędowe i zasilającą je instalację prądu zmiennego), oraz ok. 20-100 kHz (emitowanego przez bezprzewodową instalację ładowania akumulatorów).

Zróżnicowane wyposażenie PS-EH transportu publicznego emituje pola wielkiej częstotliwości (PWCZ) lub promieniowanie mikrofalowe (PMF), np.:

– kasowniki elektroniczne w autobusach, pracujące w systemie RFID (Radio Frequency Identification) – PWCZ o częstotliwości ok. 13,6 MHz

– anteny systemu łączności bezprzewodowej Wi-Fi – PMF o częstotliwości ok. 2,45 GHz.

Upowszechnienie stosowania takich pojazdów przyczyni się do zwiększenia liczby źródeł pola elektromagnetycznego w środowisku, co spowoduje również oddziaływanie tego pola elektromagnetycznego na ludzi i obiekty materialne w przestrzeni otaczającej wspomnianą infrastrukturę techniczną. Codzienna ekspozycja na pole elektromagnetyczne może dotyczyć zatem, szacunkowo, co najmniej kilku tysięcy pracowników kierujących samochodami elektrycznymi oraz kilkuset tysięcy pasażerów, w tym pracowników w drodze do/z pracy.

## Zagrożenia elektromagnetyczne

Dane literaturowe wskazują, że pole elektromagnetyczne może negatywnie oddziaływać na zdrowie ludzi, w stopniu uzależnionym m.in. od częstotliwości tego pola, rozkładu w czasie i przestrzeni poziomu narażenia oraz indywidualnej wrażliwości narażonych osób [9].

Pole elektromagnetyczne indukuje w organizmie człowieka pole elektryczne i prąd elektryczny, które mogą spowodować m.in. [8, 9]:

– skutki pozatermiczne, prowadzące przy silnym narażeniu do zakłócenia naturalnych procesów elektrofizjologicznych w komórkach nerwowych lub mięśniowych, np. ich stymulację (rozpatrywane w przypadku oddziaływania PMS i PQS o częstotliwości do 10 MHz)

– skutki termiczne, prowadzące przy silnym narażeniu do wzrostu temperatury tkanek, a nawet ich uszkodzenia, o różnym stopniu i rozległości (rozpatrywane w przypadku oddziaływania PWCZ lub PMF – o częstotliwości powyżej 100 kHz).

W wyniku badań epidemiologicznych Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC), będąca agendą Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), zaklasyfikowała do czynników przypuszczalnie rakotwórczych dla ludzi pole magnetyczne małych częstotliwości (PQS) oraz promieniowanie elektromagnetyczne częstotliwości radiowych (PWCZ i PMF), [10, 11]. W literaturze naukowej omówiono

również możliwość częstszych zachorowań wśród pracowników podlegających chronicznemu oddziaływaniu pola elektromagnetycznego, m.in. na choroby neurodegeneracyjne i sercowo-naczyniowe [12-18] czy wpływ ekspozycji na jakość snu i poziom stresu [19]. Pole elektromagnetyczne może także zakłócać funkcjonowanie aparatury elektronicznej (w tym aktywnych implantów medycznych), [20].

Z tego powodu dla zapewnienia równowagi między rozwojem nowych technologii transportowych a ochroną bezpieczeństwa i zdrowia użytkowników (zarówno pracujących, jak i niepracujących) konieczne jest miarodajne rozpoznanie specyfiki takich zagrożeń, a także stosowanie odpowiednich środków ochronnych wymaganych przez prawo pracy (w odniesieniu do pracujących).

## Miary zagrożeń

Prawo pracy określa dwa rodzaje wielkości stosowanych do oceny zagrożeń elektromagnetycznych i narażenia pracujących [8]:

– Graniczne Poziomy Oddziaływania (GPO), rozumiane jako miary zagrożeń elektromagnetycznych związanych ze skutkami oddziaływania bezpośredniego pola elektromagnetycznego na ludzi (tj. natężenie pola elektrycznego indukowanego w organizmie,  $E_w$ , w V/m, wykorzystywane do oceny skutków pozatermicznych, oraz szybkość pochłaniania właściwego energii, SAR, w W/kg, wykorzystywana do oceny skutków termicznych)

– Interwencyjne Poziomy Narażenia (IPN), rozumiane jako miary narażenia na pole elektromagnetyczne w miejscu pracy, określające poziomy operacyjne umożliwiającej uproszczoną ocenę, czy narażenie spełnia wymagania określone przez limity GPO, oraz w celu określenia przestrzeni pola elektromagnetycznego tzw. stref ochronnych, gdzie wymagane jest stosowanie odpowiednich środków ochronnych.

Limity IPN określono w odniesieniu do: natężenia pola elektrycznego (E) w V/m i natężenia pola magnetycznego (H) w A/m (alternatywnie indukcja magnetycznej, B, w  $\mu$ T).

W powietrzu pole magnetyczne o natężeniu 1 A/m charakteryzuje jednocześnie indukcja magnetyczna o wartości ok. 1,25  $\mu$ T.

## Ekspozycja na pole elektromagnetyczne w PS-EH

### Dane literaturowe

Relacjonowane w literaturze badania pola elektromagnetycznego w PS-EH dotyczyły głównie emisji z układów napędowych samochodów osobowych [21-31]. Wykazano wyższy w PS-EH poziom ekspozycji na pole elektromagnetyczne małej częstotliwości w porównaniu z samochodami o napędzie spalinowym: w PS-EH wartość skuteczna indukcji magnetycznej mierzonej w paśmie częstotliwości od kilku Hz do 2 kHz wynosi do 30  $\mu$ T w pobliżu instalacji elektrycznej i kilka  $\mu$ T w przestrzeni, w której przebywają kierowcy lub pasażerowie, a w samochodach spalinowych odpowiednio do 2  $\mu$ T i 0,2  $\mu$ T.

Oceny wymaga także pole elektromagnetyczne emitowane przez systemy ładowania źródeł energii elektrycznej w PS-EH. Opublikowano np. wyniki badań obejmujących zmienne pole magnetyczne o częstotliwości z pasma 25 Hz – 2 kHz, emitowane



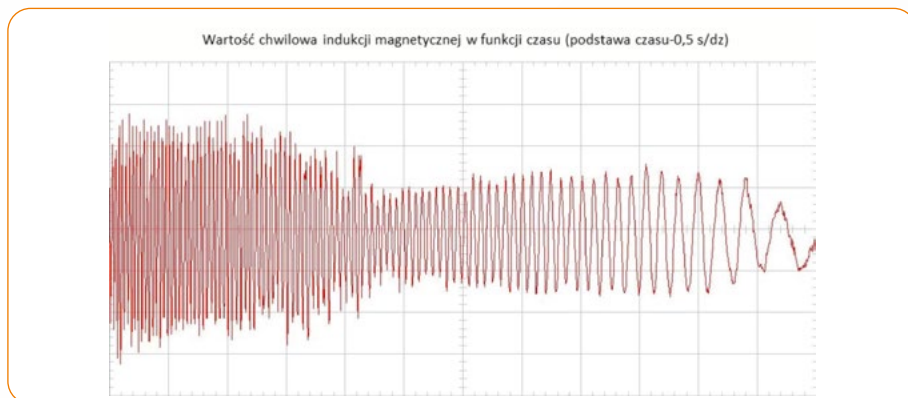
na skutek tętnień w prądzie DC przez pięć stacji szybkiego ładowania DC o mocy wyjściowej 20-120 kW. Wykazano, że maksymalne wartości skuteczne indukcji magnetycznej nie przekraczały 110  $\mu\text{T}$  w odległości 7,5 cm, a 13  $\mu\text{T}$  w odległości 20 cm, od obudowy stacji ładowania, podczas początkowej fazy ładowania (między 10% i 50% stanu naładowania akumulatora) [32]. Analiza widma wykazała, że dominujący składnik ekspozycji na pola elektromagnetyczne charakteryzuje częstotliwość 50 Hz.

Stosunkowo nowym zagadnieniem jest ekspozycja na promieniowanie elektromagnetyczne użytkowników pojazdów w związku ze stosowaniem infrastruktury bezprzewodowych systemów łączności (m.in. urządzenia komunikacji między kierowcą a dyspozytorem lub modemy Wi-Fi dostępu do Internetu dla pasażerów). Opublikowane wyniki badań dotyczących ekspozycji na promieniowanie elektromagnetyczne w autobusach komunikacji miejskiej i tramwajach wskazują na występowanie w pojazdach pola elektrycznego o natężeniu do kilku V/m, związanego z wykorzystywaniem przez pasażerów terminali systemów łączności mobilnej (sygnał GSM/UMTS z pasma *uplink*), [33, 34].

*Pilotażowe badania własne*

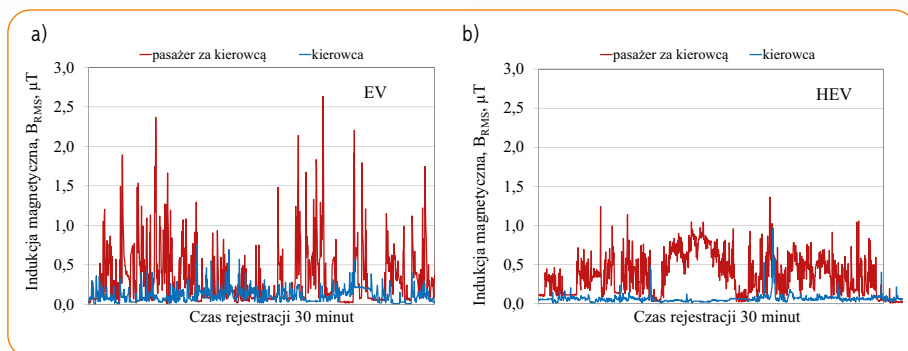
Wyniki pilotażowych badań pola elektromagnetycznego emitowanego przez silniki napędowe i zasilającą je instalację prądu zmiennego w osobowych pojazdach samochodowych (EV i HEV) wykazały, że ekspozycja użytkowników pojazdów od tych źródeł ma charakter ciągły. Emitowane pole elektromagnetyczne charakteryzuje się zmiennością częstotliwości – w analizowanym przypadku w paśmie (20-300) Hz, zależnie od trybu jazdy (ruszanie, przyspieszanie, jazda ze stałą prędkością, hamowanie). Zmiany trybu jazdy powodują nie tylko zmiany widma częstotliwości wytwarzanego pola elektromagnetycznego, ale również zmiany jego amplitudy, co ilustruje rys. 1. Wobec tego miarodajna ocena ekspozycji wymaga „śledzenia” tych zmian podczas poruszania się pojazdu metodą rejestracji przebiegu pola elektromagnetycznego w czasie (np. z wykorzystaniem technik oscyloskopowych pomiaru amplitudy lub odpowiednio szybkiego próbkowania wartości skutecznej [RMS] natężenia pola magnetycznego [indukcji magnetycznej] przez urządzenie pomiarowe wyposażone w pamięć).

Na rys. 2. zaprezentowano wyniki pomiarów zmienności w czasie pola magnetycznego wytwarzanego przez układy napędowe i zasilające prądu przemiennego w samochodach osobowych (EV i HEV), w typowych warunkach jazdy po mieście (ruszanie, hamowanie, jazda z różną prędkością, podczas ok. 30-minutowego przejazdu). W badanym pojeździe EV pakiety akumulatorów zlokalizowane były pod kabiną pojazdu, a układy zasilające (przetwornik DC/AC) oraz silnik napędowy AC – w jego tylnej części. W pojeździe HEV pakiety akumulatorów i układy zasilające (przetwornik DC/AC) zlokalizowane były w tylnej części pojazdu, a silnik napędowy AC w części przedniej. Badania wykonano ekspozymetrami wartości skutecznej (RMS) indukcji magnetycznej (o paśmie pomiarowym częstotliwości [40-800] Hz, z próbkowaniem  $B_{RMS}$  co 1,5 s) przymocowanymi do tylnej części oparcia fotela kierowcy oraz na siedziiskach foteli pasażerów.



Rys. 1. Pole magnetyczne w EV z asynchronicznym silnikiem prądu przemiennego (AC), zarejestrowane podczas różnych trybów jazdy

Fig. 1. Magnetic field inside electric vehicle equipped with alternate current (AC) asynchronous engine, recorded during various drive modes

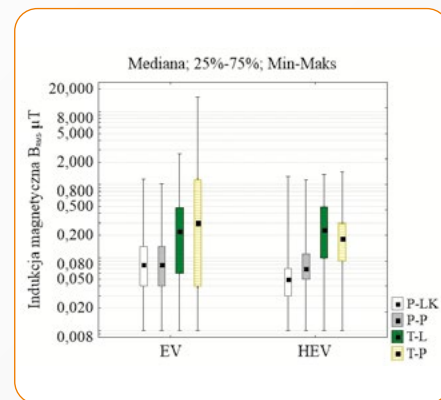


Rys. 2. Zmienność w czasie wartości skutecznej pola magnetycznego wewnątrz samochodu osobowego: a) EV (pakiety akumulatorów, przetwornik DC/AC, silnik napędowy AC zlokalizowane w tylnej części pojazdu); b) HEV (pakiety akumulatorów i przetwornik DC/AC zlokalizowane w tylnej części pojazdu, a silnik napędowy AC w przedniej części); rejestracje podczas jazdy po mieście, na tylnej części oparcia fotela kierowcy oraz siedzisku fotela pasażera za fotelem kierowcy, rejestratorami o paśmie pomiarowym częstotliwości (40-800) Hz, z próbkowaniem co 1,5 s

Fig. 2. Time variability of the RMS value of the magnetic field inside a passenger car: a) electric vehicle (EV) (battery packs, DC/AC converter and AC engine located at the rear of the vehicle); b) hybrid EV (HEV) (battery packs and DC/AC converter located at the rear of the vehicle, and AC engine in front); recordings while city driving, on the back of the driver's seat and the passenger's seat behind the driver's seat, by data-loggers of (40-800) Hz frequency band, sampling every 1,5 s

Na rys. 3. zaprezentowano parametry statystyczne z rejestracji wartości  $B_{RMS}$  pola magnetycznego (wartości minimalne, maksymalne, mediany i przedział międzykwartylowy: 25-75%). W badanych pojazdach stwierdzono zróżnicowany przestrzennie poziom ekspozycji (wyższy na tylnych siedzeniach, z uwagi na bliskość źródeł pola). Ocena w oparciu o mediany i wartość 3. kwartyła wskazuje, że ekspozycja na pole magnetyczne, w całym rozpoznanym paśmie częstotliwości do 300 Hz, w objętych badaniami samochodach osobowych EV i HEV jest poniżej limitów określonych w przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy (pole magnetyczne strefy bezpiecznej, poniżej 3,75  $\mu\text{T}$ ), [35]. Ocena najgorszego przypadku ekspozycji, tj. w oparciu o wartości maksymalne z rejestracji, limity określone dla częstotliwości 300 Hz, które są najniższe w paśmie częstotliwości składających mierzzonego pola elektromagnetycznego, wskazuje na możliwość chwilowego narażenia na pole magnetyczne strefy pośredniej pasażerów w pojeździe EV.

Natomiast pole elektryczne emitowane przez silniki napędowe i zasilającą je instalację w PS-EH, z uwagi na stosowanie niskich napięć i ekranujące właściwości metalowych obudów tych urządzeń, także w całym rozpoznanym paśmie częstotli-



Rys. 3. Parametry statystyczne wartości skutecznej indukcji magnetycznej ( $B_{RMS}$ ) zarejestrowane w samochodzie osobowym EV i HEV podczas jazdy po mieście; P-LK – na tylnej części oparcia fotela kierowcy; P-P – na siedzisku fotela pasażera z przodu obok kierowcy; T-L – na siedzisku fotela pasażera z tyłu, za fotelem kierowcy; T-P – na siedzisku fotela pasażera z tyłu, z prawej strony

Fig. 3. Statistical parameters of the magnetic flux density RMS values ( $B_{RMS}$ ) recorded inside passenger cars (EV and HEV) while city driving; P-LK - on the back of the driver's seat; P-P - on the front of the passenger's seat next to the driver; T-L - on the left rear passenger's seat (behind the driver's seat); T-P - on the right rear passenger's seat

wości do 300 Hz jest poniżej limitów określonych w przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy (pola strefy bezpiecznej o natężeniu poniżej 150 V/m). PMS bezpośrednio przy urządzeniach i instalacjach nie przekracza wartości 500  $\mu\text{T}$  – będącej limitem strefy bezpiecznej określonym w przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy [35] oraz poziomem ostrzegawczym dotyczącym ekspozycji użytkowników aktywnych implantów medycznych (AIMD), [36]. Maksymalne poziomy PMS występują podczas początkowej fazy ładowania pojazdów.

## Podsumowanie

Dane literaturowe wskazują na szybki wzrost w Polsce liczby PS-EH (osobowych, autobusów i dostawczych), co prowadzi do zwiększenia liczby źródeł pola elektromagnetycznego w środowisku. Codzienna ekspozycja na pole elektromagnetyczne w PS-EH może dotyczyć licznej grupy kierujących pojazdami oraz pasażerów, w tym pracowników w drodze do/z pracy.

Przeprowadzona analiza danych literaturowych oraz rozpoznanie i ocena ekspozycji na pole elektromagnetyczne związane z użytkowaniem stosunkowo małej mocy osobowych PS-EH wykazały ich relatywnie niski poziom przy znacznej złożoności charakterystyki tych pól (udział składowych o różnych częstotliwościach oraz znaczną dynamikę zmienności w czasie). W przeprowadzonych badaniach własnych częstotliwość pola elektromagnetycznego emitowanego przez instalację zasilającą i układy napędowe samochodu o napędzie całkowicie elektrycznym (EV) oraz o napędzie hybrydowym (HEV) zawierały się w paśmie 20-300 Hz. Badania te wykazały również, że lokalizacja elementów instalacji zasilającej (przetwornik DC/AC, kable łączące przetwornik z silnikiem elektrycznym) i ich odległość od foteli osób podróżujących samochodem znacząco wpływa na poziom ich ekspozycji, a także jej formalną ocenę.

Zaplanowana kontynuacja badań obejmie również PS-EH użytkowane w transporcie zbiorowym, wykorzystujące znacznie większe moce elektryczne w układach napędowych i ładowania, co może być przyczyną innych parametrów amplitudowo-częstotliwościowych występującego w ich otoczeniu pola elektromagnetycznego i rozleglejszych przestrzeni pola elektromagnetycznego stref ochronnych w otoczeniu źródeł zlokalizowanych wewnątrz pojazdów lub w ich pobliżu. Wyniki tych badań zostaną zaprezentowane w kolejnych artykułach.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Kodeks drogowy – Prawo o ruchu drogowym. Dz.U. 1997, nr 98, poz. 602, z późn. zm.
- [2] Fundacja Promocji Pojazdów Elektrycznych i Cambridge Econometrics, luty 2018. <https://fppe.pl/wp-content/uploads/2018/03/Napędzamy-Polską-Przyszłość.pdf>.
- [3] InfoBus. Polski rynek autobusów elektrycznych w 2019 r.: [http://infobus.pl/polski-rynek-autobusow-elektrycznych-w-2019-r-more\\_120628.html](http://infobus.pl/polski-rynek-autobusow-elektrycznych-w-2019-r-more_120628.html).
- [4] Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego. Licznik elektromobilności, 30.09.2020, <https://www.pzpm.org.pl/Rynek-motoryzacyjny/Licznik-elektromobilnosci/lipiec-2020>.
- [5] UFNALSKI, B. Elektromobilność – niszowa alternatywa czy docelowy kierunek motoryzacji? (część 1). Inżynieria Elektryczna 2020,2:1-10. [www.iel.pl/IE-02/elektromobilnosc.pdf](http://www.iel.pl/IE-02/elektromobilnosc.pdf).
- [6] UFNALSKI, B. Elektromobilność – niszowa alternatywa czy docelowy kierunek motoryzacji? (część 2). Inżynieria Elektryczna 2020,3:26-37. [www.iel.pl/IE-03/elektromobilnosc.pdf](http://www.iel.pl/IE-03/elektromobilnosc.pdf).
- [7] EAFO (European Alternative Fuels Observatory), Charging infra stats. <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/electricity/charging-infra-stats>.
- [8] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 czerwca 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pola elektromagnetyczne, tj. Dz.U. 2018, poz. 331.
- [9] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE 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), Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 179/1.
- [10] International Agency for Research on Cancer (IARC) „Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields”. IARC Monographs 80, IARC Press: Lyon, 2002.
- [11] International Agency for Research on Cancer (IARC). „Non-ionizing radiation, part 2: Radiofrequency electromagnetic fields”. The WHO/IARC, IARC Monographs Volume 102, Lyon, France, 2013.
- [12] SCHÜZ J., WALDEMAR, G., OLSEN, J.H., JOHANSEN, C. Risks for central nervous system diseases among mobile phone subscribers: a Danish retrospective cohort study. *PLoS One* 2009, 4:e4389. DOI 10.1371/journal.pone.0004389.
- [13] SCHÜZ, J., AHLBOM, A. Exposure to electromagnetic fields and the risk of childhood leukaemia: a review. *Radiation Prot Dosimetry* 2008,132:202-211.
- [14] HUSS, A. i wsp., Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. *Am J Epidemiol* 2009,169(2):167-75.
- [15] BELAYEV, I. Health Effects of Chronic Exposure to Radiation From Mobile Communication. *Mobile Communication and Public Health*, ed. M. Markov, 65-99, CRC Press Taylor&Francis.
- [16] LAI H. A Summary of Recent Literature (2007–2017) on Neurobiological Effects of Radio Frequency Radiation. *Mobile Communication and Public Health*, ed. M. Markov, 187-222, CRC Press Taylor&Francis.
- [17] VANGELOVA, K., DEYANOV, C., ISRAEL, M. Cardiovascular risk in operators under radiofrequency electromagnetic radiation. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2009,209:133-138.
- [18] BORTKIEWICZ, A. Skutki zdrowotne działania pól elektromagnetycznych – przegląd badań. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 2008, 4(58): 67-87.
- [19] HOSSEINABAD, M.B., KHANJANI, N., EBRAHIMI, M.H., BAHMAN HASJI, B., ABDOLAHFARD, M. The effect of chronic exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on sleep quality, stress, depression and anxiety. *Electromagnetic Biology and Medicine* 2018 <https://doi.org/10.1080/15368378.2018.1545665>.
- [20] ZRADZIŃSKI, P., KARPOWICZ, J., GRZY, K., LESZKO, W. Evaluation of the safety of users of active implantable medical devices (AIMD) in the working environment in terms of exposure to electromagnetic fields – Practical approach to the requirements of European Directive 2013/35/EU. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 2018, 31(6):795-808, doi: 10.13075/ijom.1896.0783.
- [21] HALGAMUGE, M.N., CHATHURIKA, D., ABEYRATHNE, C.D., MENDIS, P. Measurement and analysis of electromagnetic fields from trams, trains and hybrid cars. *Radiation Protection Dosimetry* 2010, 141(3): 255-268.
- [22] HAREUVENY, R., SUDAN, M., HALGAMUGE, M., YAFFE, Y., TZABAR, I. Y., NAMIR, D., KHEIFETS, L. A Preliminary Analysis of Magnetic Fields Emitted from Non-hybrid and Hybrid Cars. Joint Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association, Cape Town, South Africa, 8-13.06.2014.
- [23] HAREUVENY, R., SUDAN, M., HALGAMUGE, M., YAFFE, Y., TZABARI, Y., NAMIR, D., KHEIFETS, L. Characterization of Extremely Low Frequency Magnetic Fields from Diesel, Gasoline and Hybrid Cars under Controlled Conditions. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015,12:1651-1666. doi:10.3390/ijerph120201651.
- [24] JAGIELSKI, K., SCHNEEWEISS, P., STUNDER, D., KRAUS, T. Measurement and health assessment of electromagnetic fields by electric vehicles during road traffic operation using driving characteristics. Joint Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association, Piran-Portorož, Slovenia, 25-29.06.2018, 425-427.
- [25] JAGIELSKI, K., SCHNEEWEISS, P., KRAUS, T., Measurement and health assessment of electromagnetic fields by electric vehicles during road traffic operation using driving characteristics. *BioEM 2019 The Joint Annual Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association*, 23-28.06.2019, Montpellier, France, Abstract Collection, 217-219.
- [26] KIM, K., CHOI, D., A Study on evaluation of EMF human exposure from electric vehicle, Joint Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association, Thessaloniki, Greece, 10-14.06.2013, 373-374.
- [27] LEI, Y., LU, M., LIN, J. i wsp., Long-Term Monitoring of Extremely Low Frequency Magnetic Fields in Electric Vehicles. *Int J Environ Res Public Health* 2019, 16:3765. DOI: 10.3390/ijerph16193765.
- [28] PÄÄKKÖNEN, R., KORPINEN, L. Examples of magnetic field measurements in two electric cars. *BioEM 2019 The Joint Annual Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association*, 23-28.06.2019, Montpellier, France, Abstract Collection, 512-513.
- [29] PÄÄKKÖNEN, R., KORPINEN, L. Low frequency magnetic fields inside cars. *Radiation Protection Dosimetry*, 2019, 1-4, doi:10.1093/rpd/ncz248.
- [30] TELL, R., SIAS, G., SMITH, J., SAHL, J., KAVET, R., ELF magnetic fields in electric and gasoline-powered vehicles, *Bioelectromagnetics*, 2013,34(2): 156-161.
- [31] VASSILEV, A., FERBER, A., WEHRMANN, C., PINAUD, O., SCHILLING, M., RUDDLE, A.R. Magnetic Field Exposure Assessment in Electric Vehicles. *IEEE TransElectromagn Compat* 2015, 57(1): 35-43. DOI: 10.1109/TEMC.2014.2359687.
- [32] TRENTADUE, G., PINTO, R., SALVETTI, M. i wsp. Assessment of Low Frequency Magnetic Fields Emitted by DC Fast Charging Columns. *Bioelectromagnetics* 2020,41(4):308-317. DOI: 10.1002/bem.22254.
- [33] CELAYA-ECHARRI, M., AZPILICUETA, L., LOPEZ-ITURRI, P. i wsp. Spatial Characterization of Personal RF-EMF Exposure in Public Transportation Buses, *IEEE Access* 2019, 7:33038-33054. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2903405.
- [34] CELAYA-ECHARRI, M., AZPILICUETA, L., KARPOWICZ J., RAMOS V., LOPEZ-ITURRI P., FALCONE, F. From 2G to 5G Spatial Modelling of Personal RF-EMF Exposure Within Urban Public Trams, *IEEE Access* 2020, 8:100930-100947. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2997254.
- [35] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Załącznik 2. Część E „Pole elektromagnetyczne”. Dz.U. 2018, poz.1286, z późn. zm.
- [36] American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Based on the Dose-Response of the Threshold Limit Values and Physical Agents & Biological Exposure Indices, Cincinnati, 2020.

*Publikacja opracowana na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w 2020 roku w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.*

*Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*