

Porównanie wartości składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego w kabinach samochodu elektrycznego oraz hybrydowego

Streszczenie. W ostatnich latach obserwujemy szybki rozwój technologii samochodów elektrycznych oraz hybrydowych. Samochody te dysponują coraz większą mocą, co może powodować zwiększenie emisji pól elektromagnetycznych wewnątrz kabin tych samochodów. Artykuł przedstawia wyniki pomiarów składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego w przedziale od 5Hz do 400kHz wewnątrz samochodu hybrydowego oraz elektrycznego.

Abstract. In recent years, we have seen the rapid development of electric and hybrid car technology. These cars have more and more power, which may increase the emission of electromagnetic fields inside the cabins of these cars. The article presents the results of measurements of the magnetic component of the electromagnetic field in the range from 5Hz to 400kHz inside a hybrid and electric car. **Comparison of the magnetic component of the electromagnetic field in cabins of electric and hybrid cars**

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, ekspozycja, pojazdy elektryczne, pojazdy hybrydowe, inżynieria środowiska
Keywords: electromagnetic field, exposure, electric cars, hybrid cars, environmental engineering

Wstęp

Pojazdy elektryczne oraz hybrydowe stają się coraz popularniejszymi środkami transportu. Pasażerowie tego typu samochodów przebywają w bliskiej odległości od instalacji elektrycznej, w której przepływają znaczne prądy rzędu setek amperów. W związku z tym pola magnetyczne w pojazdach tego typu mogą osiągać znaczne wartości [1]. Pasażerowie są poddani ekspozycji na pole magnetyczne niskiej częstotliwości, które w 2002 r. zostało uznane przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem (IARC – International Agency for Research on Cancer) jako czynnik z grupy 2B [2]. Zasadnym jest więc prowadzenie badań tego typu samochodów w zakresie monitorowania poziomów pól elektromagnetycznych jakie mogą występować w ich wnętrzach. Jednocześnie prowadzone są badania nad materiałami które mogą ograniczać działania takich pól [3,4]. Dotychczas przeprowadzono niewiele badań dotyczących poziomów pól magnetycznych w samochodach elektrycznych i hybrydowych. W dalszej części opisane zostały badania wykonane w latach 2019-2021. W jednym z nich celem było sprawdzenie, czy natężenie indukcji magnetycznej w pojazdach elektrycznych zmieni się wraz z czasem eksploatacji pojazdów [5]. Badanie wykonywano co roku przez okres trzech lat w trzech samochodach elektrycznych o różnych parametrach. Samochody mierzono podczas przyspieszenia do 40 km/h oraz podczas jazdy ze stałą prędkością 40 km/h. W pierwszym roku maksymalne wartości indukcji magnetycznej sięgały 0,80 μT podczas przyspieszania, na siedzeniach przednich oraz tylnych. Podczas jazdy ze stałą prędkością indukcja magnetyczna sięgnęła 0,18 μT . Badanie wykazało, że po dwóch latach eksploatacji w przypadku pojazdu bezwypadkowego wartości indukcji magnetycznej nie zmieniły się znacząco. Maksymalna wartość wyniosła 0,91 μT . Istotna zmiana nastąpiła w pojeździe, który uległ wypadkowi i przeprowadzane były w nim poważne naprawy. Maksymalna indukcja magnetyczna zmierzona w tym samochodzie sięgnęła 1,57 μT . Kolejnym badaniem były pomiary pola elektromagnetycznego przy kokpicie samochodu elektrycznego [6]. Pomiary wykonywano podczas dynamicznej jazdy miejskiej. Najwyższa zmierzona wartość indukcji magnetycznej, jaka wystąpiła w tym samochodzie wyniosła 64 μT . Odczytano ją pod kolumną kierowcy. Najwyższe wartości wystąpiły w otoczeniu

kierownicy. Mimo tak wysokich wskazań, zmierzone wartości indukcji magnetycznej nie przekroczyły dopuszczalnych wartości wskazanych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [7]. W następnym badaniu zmierzono dwa samochody – elektryczny oraz hybrydowy w celu określenia narażenia pasażerów na pola elektromagnetyczne [8]. Pojazdy mierzono na miejscu kierowcy oraz pasażera za kierowcą przez okres 30 minut podczas dynamicznej jazdy miejskiej. Wyższe wartości indukcji magnetycznej odnotowano w samochodzie elektrycznym, nie przekroczyły one jednak 3 μT . W samochodzie hybrydowym wartości indukcji magnetycznej nie przekroczyły wartości 1,5 μT . W następnym badaniu przeprowadzono pomiary pól elektromagnetycznych w trzech pojazdach elektrycznych i jednym hybrydowym [9]. Celem badania było określenie maksymalnych oraz średnich wartości pola elektromagnetycznego. Samochody mierzono na czterech siedzeniach, bez siedzenia środkowego pasażera z tyłu. Na każdym z siedzeń wartości indukcji magnetycznej mierzono na trzech wysokościach – stóp, miednicy oraz głowy. Pojazdy badano w różnych trybach pracy tj. bieg jałowy, bieg wsteczny, jazda ze stałą prędkością 10 km/h, 25 km/h, 35 km/h oraz 50 km/h. Maksymalna wartość indukcji magnetycznej pojawiła się w samochodzie elektrycznym Kia e-Soul i wyniosła 1,27 μT w miejscu stóp kierowcy podczas jazdy na biegu wstecznym. W samochodzie elektrycznym marki Smart indukcja magnetyczna sięgnęła 0,9 μT , natomiast w hybrydowej Toyocie C-HR 2 μT . Średnia z najwyższych odczytów nie przekroczyła 1 μT w żadnym z mierzonych samochodów.

Poniżej autorzy artykułu przedstawiają wyniki swoich najnowszych badań indukcji magnetycznej w kabinach pojazdów samochodowych.

Materiały i metody

Do pomiaru pola elektromagnetycznego w badanych samochodach użyto przyrządu pomiarowego firmy Microrad NHT 310 wyposażonego w sondę pomiarową Probe 10B. Pole elektromagnetyczne było mierzone w przedziale częstotliwości od 5 Hz do 400kHz. Badania przeprowadzone zostały w dwóch samochodach. Jednym z nich była hybrydowa Toyota RAV4 z napędem 4x4, drugim zaś elektryczny Volkswagen I.D 4 z napędem przednim. Oba samochody były pojazdami typu SUV.

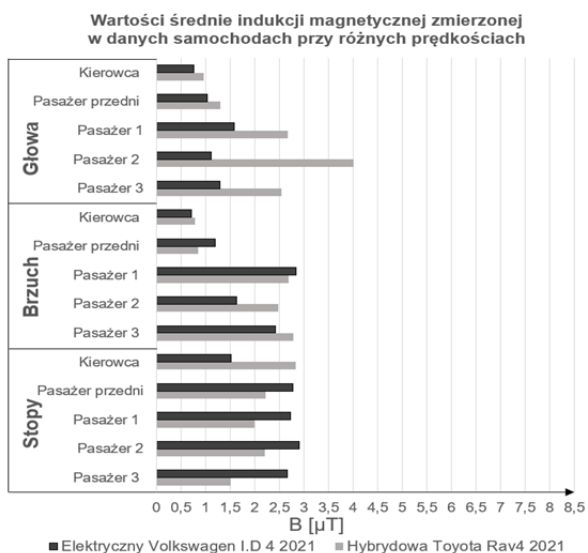
W tabeli 1 zestawiono podstawowe dane techniczne badanych samochodów.

Tabela 1. Parametry mierzonych samochodów

Samochód	Toyota RAV4 2021r.	Volkswagen I.D 4 2021r.
Typ napędu	Hybrydowy 4x4	Elektryczny, napęd przedni
Silnik elektryczny	Dwa silniki synchroniczne z magnesami trwałymi	Synchroniczny z magnesem trwałym
Maksymalna moc silnika	Łączna moc układu hybrydowego: 163 kW	125 kW
Rodzaj baterii	Litowo jonowa	Litowo jonowa

Wyniki przeprowadzonych badań

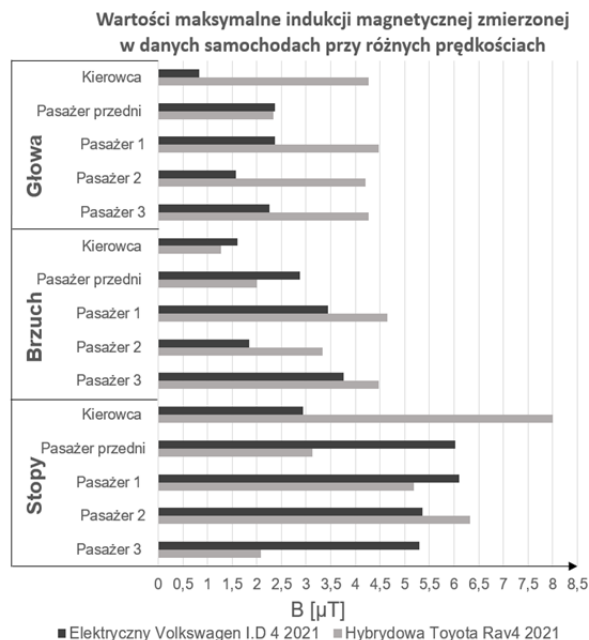
Pomiary podzielone zostały na trzy etapy. Pierwszym etapem był pomiar kabiny samochodów, wykonany na wszystkich miejscach siedzących na trzech wysokościach: stóp, brzucha oraz głowy. Drugim etapem był pomiar kokpitu samochodu wykonany w punktach wskazanych na rysunku 3. W pierwszym i drugim etapie samochody były mierzone w różnych stanach takich jak: bieg jałowy, przyspieszanie 0 – 50 km/h, jazda ze stałą prędkością 50 km/h, przyspieszanie 50 – 90 km/h, jazda ze stałą prędkością 90 km/h oraz hamowanie z prędkości 90 km/h do całkowitego zatrzymania się pojazdu. W ten sposób pokazane zostały wartości indukcji magnetycznej jakie wystąpiłyby podczas typowego użytkowania samochodu podczas jazdy miejskiej oraz pozamiejskiej. Trzecim etapem badań było wyznaczenie zmienności indukcji magnetycznej w funkcji czasu w trakcie rozprędzania pojazdu do 90 km/h oraz hamowania do całkowitego zatrzymania. Na rysunku 1 przedstawiono średnie wartości indukcji magnetycznej zmierzonej w kabinie danych samochodów na miejscach siedzących. Najwyższa średnia wartość wystąpiła w samochodzie hybrydowym i sięgnęła 4,0 μT . W pozostałych punktach średnia indukcji magnetycznej nie przekroczyła 3,0 μT .



Rys.1. Wykres wartości średniej indukcji magnetycznej z pomiarów wykonanych w kabinie pojazdu na siedzeniach pasażerów i kierowcy

Średnie wartości indukcji magnetycznej w samochodzie hybrydowym są wyższe niż w elektrycznym na wysokości głowy pasażerów, natomiast niższe na poziomie stóp. Na rysunku 2 przedstawiono wartości maksymalne zmierzone w danych samochodach. Najwyższa wartość

maksymalna wystąpiła na wysokości stóp na miejscu kierowcy w samochodzie hybrydowym i wyniosła 8,0 μT . W pozostałych punktach maksymalna wartość indukcji magnetycznej nie przekroczyła wartości 6,5 μT . Analogicznie jak w przypadku wartości średnich maksymalne wartości indukcji magnetycznej w samochodzie hybrydowym są wyższe od wartości zmierzonych w samochodzie elektrycznym na wysokości głowy pasażerów, natomiast niższe na poziomie stóp.



Rys.2. Wykres wartości średniej indukcji magnetycznej z pomiarów wykonanych w kabinie pojazdu na siedzeniach pasażerów i kierowcy

Na rysunku 3 przedstawiona jest ilustracja kokpitu samochodu wraz z wskazanymi punktami pomiarowymi, odnoszącymi się do rysunków 4 i 5.

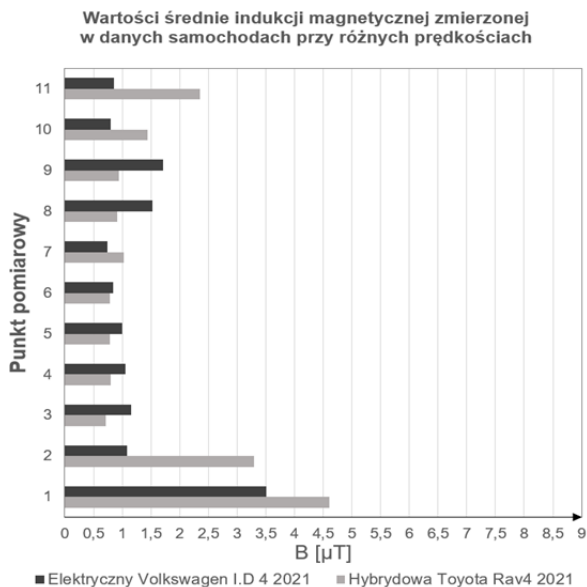
Na rysunku 4 przedstawiono średnie wartości jakie wystąpiły przy kokpicie samochodu podczas jazdy z różnymi prędkościami. Najwyższa wartość średnia przy kokpicie pojazdów wyniosła 4,6 μT i wystąpiła w pojeździe hybrydowym, przy lewym nawiewie. Pozostałe średnie wartości nie przekroczyły 3,5 μT .

Na rysunku 5 przedstawiono wartości maksymalne jakie wystąpiły podczas tych pomiarów. Najwyższa maksymalna wartość przy kokpicie pojazdów wyniosła 8,7 μT i wystąpiła w samochodzie hybrydowym przy lewym nawiewie. Pozostałe wartości nie przekroczyły 6,0 μT .

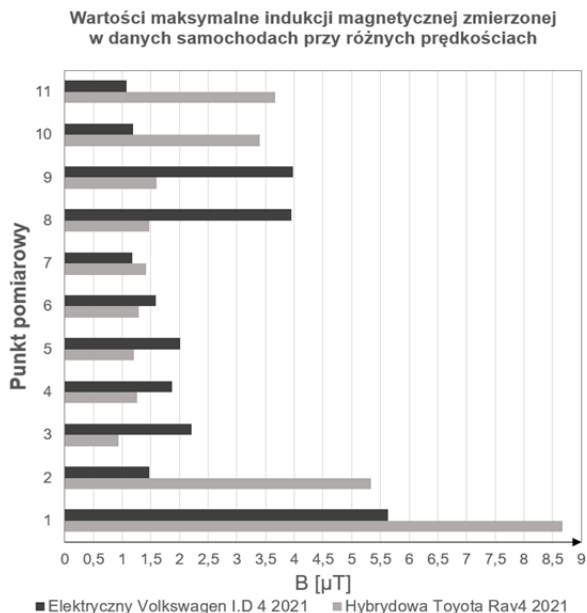


Rys.3. Kokpit samochodu wraz z zaznaczonymi punktami pomiarowymi. <https://www.toyota.pl/new-cars/rav4/>

W samochodzie hybrydowym w porównaniu do samochodu elektrycznego wyższe wartości występowały w skrajnych częściach kokpitu, przy nawiewach (punkty 1 i 11 rys.3.). W samochodzie elektrycznym w porównaniu do samochodu hybrydowego znacznie wyższe wartości wystąpiły między kierowcą a pasażerem, przy drążku zmiany biegów i przy podłokietniku (punkty 8 i 9 rys.3.). Wartości zmierzone przy ekranie i kierownicy w obydwóch pojazdach są zbliżone i nie przekraczają 2,5 μT , jednak niewiele wyższe wystąpiły w samochodzie elektrycznym, z wyjątkiem punktu 7, w którym to wyższa wartość pojawiła się w samochodzie hybrydowym.



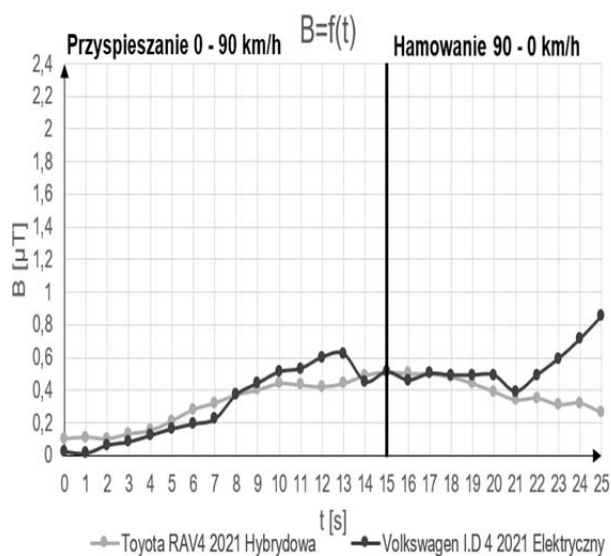
Rys.4. Wykres wartości średniej indukcji magnetycznej z pomiarów wykonanych przy kokpicie pojazdów



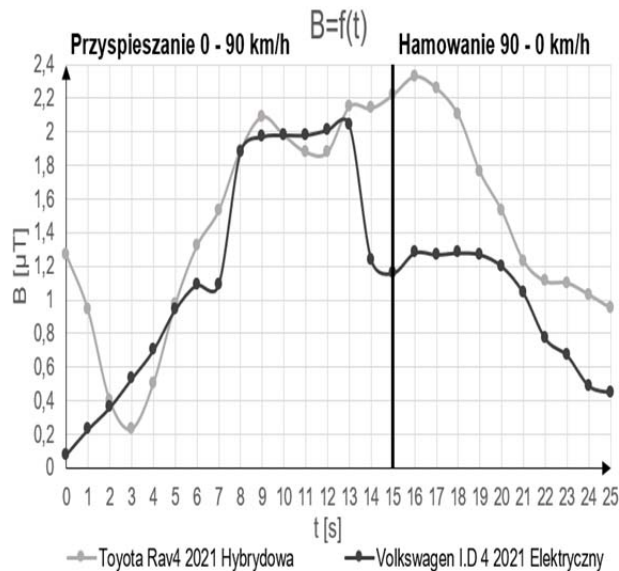
Rys.5. Wykres wartości maksymalnej indukcji magnetycznej z pomiarów wykonanych przy kokpicie pojazdów

Na rysunkach 6 i 7 przedstawione zostały wykresy ukazujące zmianę natężenia indukcji magnetycznej w zależności od czasu podczas przyspieszania pojazdu od 0 do 90 km/h oraz podczas hamowania od 90 km/h do całkowitego zatrzymania pojazdu. Z rysunków 6 i 7 widać, że zarówno w samochodzie elektrycznym jak i hybrydowym znacznie wyższe wartości indukcji magnetycznej pojawiły

się na miejscu pasażera środkowego z tyłu. W pojeździe elektrycznym na miejscu kierowcy (rys.6.) podczas hamowania w ostatnich sekundach przed całkowitym zatrzymaniem nastąpił wzrost indukcji magnetycznej. W pozostałym czasie przejazdu samochodów wartości indukcji były do siebie zbliżone w obydwóch samochodach. Na miejscu pasażera środkowego z tyłu (rys.7.) w samochodzie elektrycznym wartości indukcji magnetycznej były zbliżone do pojazdu hybrydowego jedynie podczas przyspieszania. W początkowej fazie hamowania wartości są niższe jak w samochodzie hybrydowym.



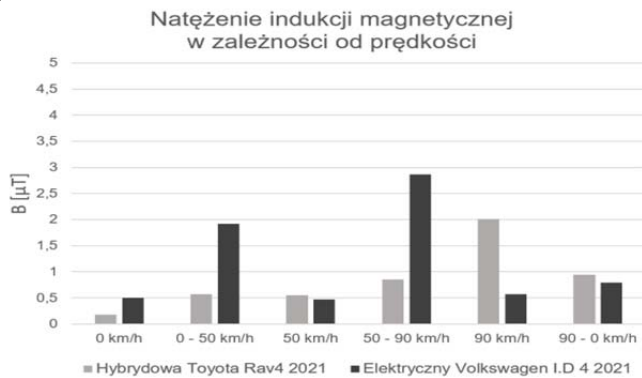
Rys.6. Wykres indukcji magnetycznej w w funkcji czasu w trakcie przyspieszania i hamowania pojazdów. Pomiar na wysokości brzucha na miejscu kierowcy.



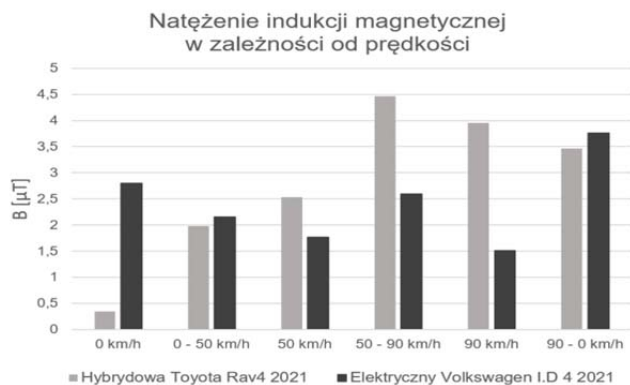
Rys.7. Wykres indukcji magnetycznej w w funkcji czasu w trakcie przyspieszania i hamowania pojazdów. Pomiar na wysokości brzucha na miejscu środkowego pasażera z tyłu.

Na rysunkach 8 i 9 pokazane zostały wartości indukcji magnetycznej zmierzone przy konkretnych prędkościach na miejscu kierowcy na wysokości brzucha (rys.8) oraz na miejscu pasażera środkowego z tyłu również na wysokości brzucha (rys.9). Ponownie zdecydowanie wyższe wartości pojawiły się na miejscu pasażera środkowego z tyłu. Na miejscu kierowcy (rys.8) w samochodzie elektrycznym

wyższe wartości występowały podczas przyspieszeń. W samochodzie hybrydowym wyższa wartość wystąpiła podczas jazdy ze stałą prędkością 90 km/h. Przy pozostałych prędkościach wartości indukcji zarówno w samochodzie hybrydowym jak i elektrycznym były do siebie podobne.



Rys.8. Natężenie indukcji magnetycznej w zależności od prędkości mierzone na miejscu kierowcy na wysokości brzucha.



Rys.9. Natężenie indukcji magnetycznej w zależności od prędkości mierzone na miejscu pasażera środkowego z tyłu na wysokości brzucha

Żadna ze zmierzonych wartości nie przekroczyła 3 μT w obydwóch samochodach. Na miejscu pasażera środkowego z tyłu (rys.9) w samochodzie elektrycznym znaczny wzrost wartości wystąpił podczas biegu jałowego oraz podczas hamowania. W samochodzie hybrydowym znaczny wzrost wartości wystąpił podczas przyspieszania 50 – 90 km/h oraz podczas jazdy ze stałą prędkością 90 km/h. Żadna ze zmierzonych wartości nie przekroczyła 4,5 μT w obydwóch samochodach.

Podsumowanie

Zarówno w samochodzie elektrycznym jak i hybrydowym odnotowano wyższe wartości indukcji magnetycznej na tylnych siedzeniach pojazdów.

Na wysokości głowy pasażerów indukcja magnetyczna osiągała niższe wartości niż na poziomie stóp. Związane jest to z bliższą odległością do elementów instalacji elektrycznej. Podczas pomiarów wykonywanych na siedzeniach kierowcy i pasażerów najwyższa zmierzona wartość maksymalna w samochodzie elektrycznym wyniosła 6,1 μT . W samochodzie hybrydowym maksymalna zmierzona indukcja magnetyczna sięgnęła 8,0 μT . Pomiar przy kokpicie samochodu wykazały w samochodzie

elektrycznym najwyższą wartość indukcji magnetycznej osiągającą 5,6 μT . W samochodzie hybrydowym wartość ta sięgnęła 8,7 μT . Wyższe wartości odnotowane w samochodzie hybrydowym mogą wynikać z rodzaju napędu samochodu, który w tym przypadku był na cztery koła, co oznacza dwa silniki elektryczne w pojeździe. Jeden z silników usytuowany jest z przodu pojazdu, natomiast drugi za siedzeniami pasażerów z tyłu. Wszystkie odnotowane wartości maksymalne indukcji magnetycznej nie przekraczają granicznych wartości określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [5].

Podczas badania natężenia indukcji magnetycznej przy kokpicie pojazdów odnotowano wyższe wartości pola elektromagnetycznego przy lewym nawiewie (punkt 1, rys. 3), które wynikają z faktu, iż w okolicy prowadzone są przewody zasilające do deski rozdzielczej. Z wykresów przedstawionych na rysunkach 6 i 7 widać, że indukcja magnetyczna w samochodzie Volkswagen obniża się już w końcowej fazie rozpędzania, a dla Toyoty rośnie jeszcze po osiągnięciu 90 km/h i rozpoczęciu hamowania.

Autorzy:

Dr hab. Dariusz Szafrowski prof. PWr.
 Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław,
 E-mail: dariusz.szafrowski@pwr.edu.pl
 Joanna Winiarz, studentka Wydziału Elektrycznego, Politechnika Wrocławska, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław,
 E-mail: 240629@student.pwr.edu.pl

LITERATURA

- [1] Pablo Moreno-Torres, Marcos Lafoz, Marcos Blanco and Jaime R. Arribas (October 5th 2016). Passenger Exposure to Magnetic Fields in Electric Vehicles, Modeling and Simulation for Electric Vehicle Applications, Mohamed Amine Fakhfakh, IntechOpen, DOI: 10.5772/64434. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/52321>
- [2] International Agency for Research on Cancer (IARC) Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and extremely low frequency electric and magnetic fields (3rd ed.). Lyon (France), 2002
- [3] Pawłowski, S., Plewako, J., Korzeniewska, E. Analiza rozkładu pola przepływowego w cienkiej warstwie przewodzącej z defektem eliptycznym, 2020 Przegląd Elektrotechniczny 96 (1) 234-237, DOI: 10.15199/48.2020.01.53
- [4] Stanisław Pawłowski, Jolanta Plewako, Ewa Korzeniewska, Field Modeling the Impact of Cracks on the Electroconductivity of Thin-Film Textronic Structures, Electronics 2020, 9(3), 402, DOI: 10.3390/electronics9030402
- [5] Lei Yang, Meng Lu, Jun Lin, Congsheng Li, Chan Zhang, Zhijing Lai, Tongning Wu Long-Term Monitoring of Extremely Low Frequency Magnetic Fields in Electric Vehicles, International Journal of Environmental Research and Public Health (2019)
- [6] J. Gumiela, L. Sitnik, D. Szafrowski; Pomiarowa identyfikacja emisji pola elektromagnetycznego przez samochód elektryczny, Przegląd Elektrotechniczny, 95 (2019), nr 12
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów, 30 października, 2003
- [8] K. Gryz, J. Karpowicz, P. Zradziński, T. Tokarski, Ł. Kapica; Ekspozycja na pole elektromagnetyczne podczas użytkowania pojazdów samochodowych z napędem elektrycznym lub hybrydowym, Centralny Instytut Ochrony Pracy 12/2020
- [9] Hristov, R., S. Stefanov, and P. Kostov. "Investigation of the electromagnetic field in electric and hybrid cars." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 977. No. 1. IOP Publishing, 2020