

Pomiarowa identyfikacja emisji pola elektromagnetycznego przez samochód elektryczny

Streszczenie. Coraz bardziej dynamicznie rozwijający się rynek pojazdów elektrycznych powoduje konieczność dostosowania systemów certyfikacji oraz kontroli w zakresie oddziaływania na środowisko zewnętrzne jak również na kierowcę i/lub pasażerów takich pojazdów. Zabudowane akumulatory, przekształtniki energoelektroniczne oraz maszyny elektryczne wraz z systemem wzajemnych połączeń mogą być źródłami silnych pól elektromagnetycznych w szerokim zakresie częstotliwości. Konieczne zatem staje się sprawdzenie czy natężenie generowanego pola elektromagnetycznego spełnia obowiązujące normy oraz zbadanie możliwości ich ograniczenia lub odpowiedniego kształtowania w celu zmniejszenia narażenia człowieka.

Abstract. The dynamically expansion of electric vehicles solutions technology makes it necessary to adapt certification and control systems in terms of impact on the natural environment as well as on the driver and / or passengers of such vehicles. Built-in batteries, power converters and electric machines together with the interconnection system can be sources of strong electromagnetic fields in a wide frequency range. Therefore, it becomes necessary to check whether the intensity of the generated electromagnetic field meets applicable standards and to tests the possibilities of their limitation or appropriate shaping to reduce exposure for human. (*Measuring identification of electromagnetic field emissions in electrical cars.*)

Słowa kluczowe: Elektromobilność, pole elektryczne, pojazdy elektryczne.

Keywords: Electromobility, electrical field, electrical vehicles.

Wstęp

Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej społeczeństwa pojawiła się potrzeba wytwarzania dóbr i usług przy ograniczeniu zużycia surowców i energii zarówno na etapie wytwarzania dóbr jak również w trakcie ich eksploatacji. Transport kołowy w większości oparty jest na nośniku energii takim jak paliwa płynne. Niestety, produkty spalania takich paliw są źródłem toksycznych związków chemicznych, które trafiają bezpośrednio do powietrza atmosferycznego i powodują w ten sposób wiele szkód w środowisku. W celu ograniczenia szkodliwego oddziaływania spalin na środowisko naturalne stosuje się coraz częściej złożone układy oczyszczania spalin takie jak m. in. reaktory katalityczne czy filtry cząstek stałych (DPF).

Współcześnie produkowane pojazdy spełniają coraz bardziej wyśrubowane normy czystości spalin (np. EURO 5, EURO 6), jednak pomimo stosowania tych rozwiązań część toksycznych składników spalin przedostaje się do środowiska.

W ostatnich latach wraz z rozwojem technologii i związaną z tym poprawą wydajności maszyn elektrycznych oraz źródeł energii coraz popularniejsze stają się samochody o napędzie elektrycznym.



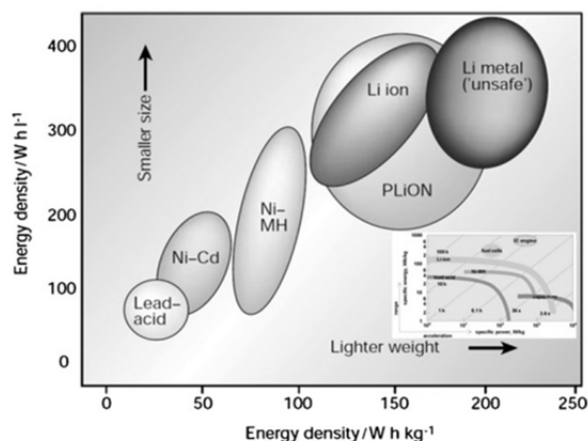
Rys.1. Samochód elektryczny Nissan Leaf (źródło: www.nissan.pl)

Wielu, zwłaszcza dużych, producentów posiada już w swoim portfolio takie pojazdy (m. in. Tesla, Toyota, BMW, VW czy też Nissan itd.). Pojazdy elektryczne nie emitują spalin, zatem w tym aspekcie ich oddziaływanie na środowisko zostało zminimalizowane. Efektem przepływu prądu elektrycznego w obwodach zasilających, odbiorczych oraz sterujących samochodem elektrycznego jest natomiast

powstawanie pola elektromagnetycznego, które przez WHO zostało uznane jako czynnik nieostrych dla środowiska, dlatego też autorzy postanowili (na przykładzie elektrycznego samochodu Nissan Leaf) dokonać analizy rozkładu pola elektromagnetycznego wewnątrz takiego pojazdu.

W pojazdach elektrycznych źródło energii stanowi akumulator doładowywany z sieci elektroenergetycznej za pośrednictwem ładowarek wyposażonych w odpowiedni układ prostownika. Podczas jazdy energia elektryczna z akumulatora trafia do układu przekształtnika energoelektronicznego, dopasowującego parametry energii elektrycznej do typu silnika oraz warunków wynikających z traktacji pojazdu. W zależności od pojemności zastosowanego akumulatora oraz gęstości energii, jaką daje się w nim zmagazynować, stosuje się jedną z wielu dostępnych obecnie technologii akumulatorów.

Na rysunku 2 przedstawiono zależność pomiędzy rozmiarami oraz masą baterii odpowiednio do poszczególnych technologii ich uzyskiwania.



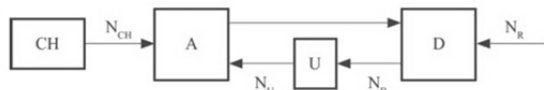
Rys.2. Technologie stosowane w produkcji baterii akumulatorów [1]

Pogodzenie niewielkich wymiarów oraz masy zestawu akumulatorów w połączeniu z dużą ich pojemnością oraz niską ceną jest aktualnie jednym z istotnych powodów, dla których rozwój elektromobilności napotyka na poważne przeszkody natury techniczno-ekonomicznej [2].

Współczesne pojazdy elektryczne charakteryzują się zasięgiem na poziomie kilkuset kilometrów, którego dokładna wartość jest silnie uzależniona od stylu i warunków jazdy. Przy dynamicznej jeździe rzeczywisty zasięg pojazdu spada o około 30-50% w stosunku do zasięgu nominalnego deklarowanego przez producenta w warunkach testowych. Istotnym aspektem jest stąd również duża obciążalność prądowa akumulatorów.

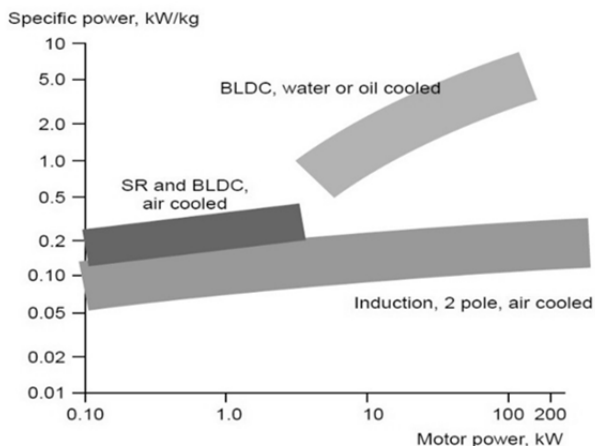
Największe prądy w instalacji zasilającej pojazdu elektrycznego płyną w stanach dynamicznych jak przyspieszanie lub hamowanie. Podczas przyspieszania energia elektryczna płynie od akumulatora do silnika, natomiast w przypadku zmniejszania prędkości energia kinetyczna jest zamieniana na energię elektryczną i za pośrednictwem sterownika przesyłana do baterii. Wykorzystuje się tutaj tzw. prądnicową część charakterystyki maszyny elektrycznej i następuje hamowanie odzyskowe. Z tego powodu opisane powyżej stany dynamiczne powodują przepływ dużych wartości prądu w instalacji elektrycznej pojazdu.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat przepływu mocy w zespole napędowym samochodu elektrycznego z odzyskiwaniem energii elektrycznej. Zastosowano przy tym następujące oznaczenia: CH – układ ładowania akumulatora, A – akumulator, D – układ napędowy samochodu, U – układ odzyskiwania energii hamowania, N_{CH} – ładowanie akumulatorów, N_T – moc elektrycznego napędu samochodu, N_R – moc oporów jazdy, N_B – moc hamowania maszyną elektryczną, N_U – moc odzyskiwania energii hamowania [3].



Rys.3. Schematy przepływu mocy w zespole napędowym samochodu elektrycznego z odzyskiwaniem energii elektrycznej [3]

Powyższe rozwiązanie pozwala zaoszczędzić energię elektryczną akumulatorów, przyczyniając się tym samym do podniesienia zasięgu pojazdu na pojedynczym ładowaniu. Dodatkowo poprawia również skuteczność hamowania, zmniejszając zużycie elementów mechanicznych układu hamulcowego.



Rys.4. Typy silników stosowane w pojazdach elektrycznych [4]

Jednostki napędowe stosowane w pojazdach elektrycznych w ostatnich latach podlegały również procesowi ewolucji.

Dzięki zastosowaniu nowych materiałów oraz odpowiedniej konstrukcji możliwe jest już skonstruowanie silnika o zwartej budowie przy stosunkowo niewielkich wymiarach oraz umiarkowanej masie.

Na rysunku 4 przedstawiono typy silników stosowanych do napędu pojazdów elektrycznych.

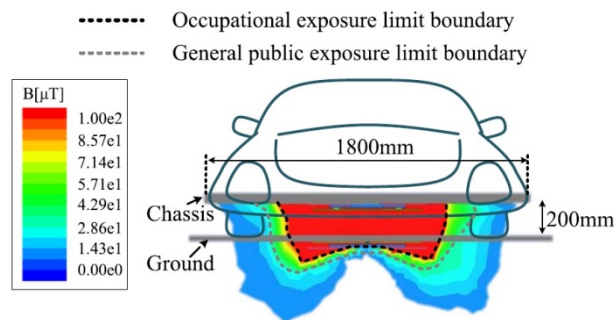
Szczególnie dobrymi parametrami charakteryzują się silniki BLDC chłodzone wodą lub olejem. Charakteryzują się one dużym stosunkiem rozwijanej mocy do masy jednostkowej silnika. Zakresy mocy obejmują zakres od 10 do ponad 100 kW, co jest wartością wystarczającą do zastosowań trakcyjnych w większości pojazdów osobowych.

Poza opisanymi wcześniej dynamicznymi stanami pracy można spodziewać się znacznych wartości składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego podczas ładowania pojazdu elektrycznego. Zgodnie z prawem Ampere'a wokół przewodnika, w którym płynie prąd elektryczny, powstaje pole magnetyczne o wartości tym większej im wyższe natężenie prądu występuje w przewodniku. Interesującym rozwiązaniem mogą być tu bezprzewodowe stacje ładowania pojazdów, które upraszczają w sposób znaczny eksploatację. Bezprzewodowe stacje ładowania pojazdów obniżają ryzyko porażenia prądem elektrycznym podczas ładowania, jak to ma miejsce w przypadku galwanicznego połączenia stacji ładowania z pojazdem.

Ze względu na konieczność przekazywania energii od cewki nadawczej zabudowanej w stacji ładowania do cewki odbiorczej zabudowanej w samochodzie elektrycznym potrzebny jest strumień magnetyczny przecinający obie cewki.

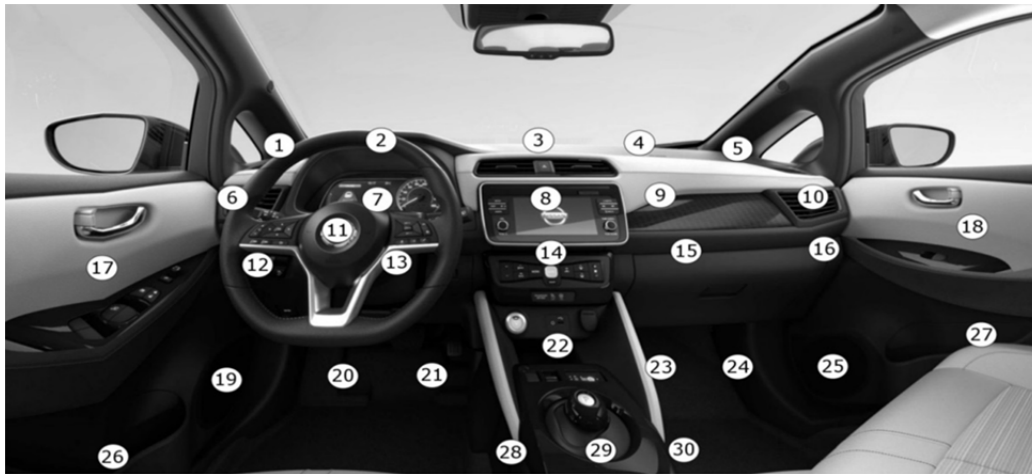
Jednakże podczas bezprzewodowej transmisji energii, za pośrednictwem pola magnetycznego wysokiej częstotliwości, pomiędzy cewkami nadawczą a odbiorczą jako efekt uboczny pojawia się również pole rozproszenia. Ze względów bezpieczeństwa należy zatem dokładnie kontrolować częstotliwość i amplitudę natężenia pola rozproszenia w celu dotrzymania określonych wymogów. Każdorazowo należy również określić bezpieczny obszar wokół bezprzewodowej stacji ładowania. Gęstość strumienia magnetycznego powinna bowiem spełniać wymogi bezpieczeństwa ze względu na oddziaływanie na osoby znajdujące się w pobliżu stanowisk ładowania pojazdów.

Konstrukcja pojazdu w dużej części jest wykonana z elementów metalowych, co przy częstotliwościach pracy rzędu 0,8 - 150 kHz stanowi barierę przed przenikaniem pola elektromagnetycznego, a dodatkowo obniża poziom oddziaływania stacji ładowania pojazdu na środowisko [5].



Rys.5. Rozkład składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego wokół bezprzewodowego stanowiska ładowania pojazdu o mocy 8 kW [5]

Na rysunku 5 przedstawiono w formie graficznej rozkład pola magnetycznego wokół stacji bezprzewodowego ładowania pojazdów elektrycznych. Największe wartości indukcji magnetycznej (bezpośrednio pod pojazdem) osiągają wartości rzędu 100 μ T. Jak widać, proces ładowania pojazdu może stanowić przyczynę emisji pola magnetycznego o znacznych wartościach, zbliżonych lub nawet przekraczających te pojawiające się podczas ruchu.



Rys.6. Kokpit samochodu Nissan Leaf (źródło: www.nissan.pl z zaznaczonymi punktami pomiarowymi)

Analiza rozkładu pola elektromagnetycznego w kokpicie samochodu Nissan Leaf

Dysponując samochodem Nissan Leaf przeprowadzono pomiary pola elektromagnetycznego w jego kokpicie. Punkty pomiaru zaznaczono na rys. 6.

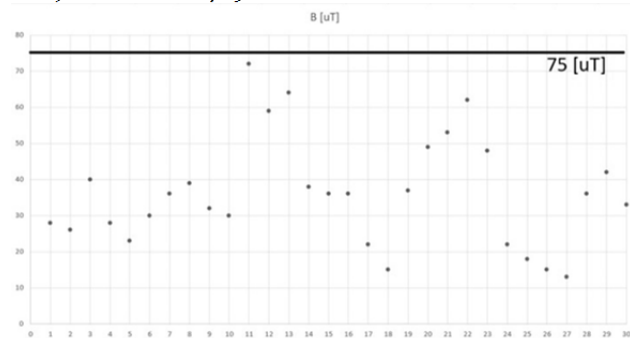
W trakcie jazdy miejskiej pojazd podlega stanom dynamicznym takim jak przyspieszanie lub hamowanie wynikającym z warunków ruchu drogowego. Podczas stanu dynamicznego można spodziewać się najwyższych wartości natężenia składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego. Przeprowadzono zatem pomiary, których wyniki zestawiono w tabeli 1.

Najwyższe natężenie indukcji magnetycznej $B=64\mu\text{T}$ zarejestrowano tuż pod kolumną kierownicy w punkcie (13) według oznaczeń z rysunku 6. Nieco niższe, ale dość wysokie wartości odczytano w punktach znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu koła kierownicy oraz tablicy wskaźników.

Wszystkie uzyskane wartości mieszczą się w zakresie dopuszczalnym określonym przez Rozporządzenie Ministra Środowiska [6], jednak niektóre z nich są bliskie wartości granicznej.

Zmierzone wartości indukcji magnetycznej wyrażone w mikrotęslach [μT] przedstawione w tabeli 1 oraz na rysunku 7 można przeliczyć na natężenie pola magnetycznego wyrażone w [A/m], jeżeli znane są parametry elektryczne ośrodka w jakim występuje emisja pola (tu: powietrze).

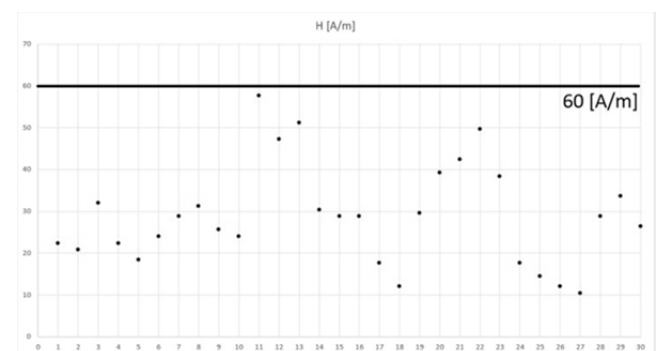
Składowa elektryczna pola elektromagnetycznego jest niewielka, co wynika z zastosowania niskich napięć (poniżej 1 kV) w obwodach pojazdu.



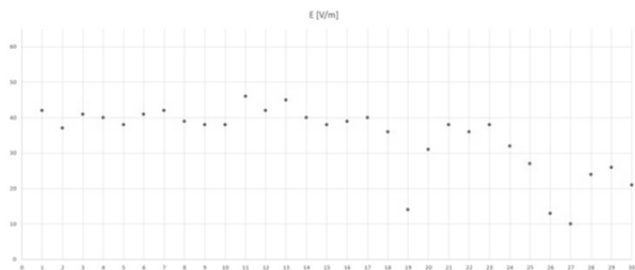
Rys.7. Wartość indukcji magnetycznej pola elektromagnetycznego w badanych punktach wewnątrz kabiny pojazdu (oznaczenia jak na rysunku 6)

Tabela 1. Maksymalne wartości natężenia pola elektrycznego oraz indukcji magnetycznej zarejestrowane podczas ruchu samochodu Nissan Leaf. Oznaczenie punktów pomiarowych wg. Rys. 6

Punkt	E [V/m]	B [μT]
1	42	28
2	37	26
3	41	40
4	40	28
5	38	23
6	41	30
7	42	36
8	39	39
9	38	32
10	38	30
11	46	72
12	42	59
13	45	64
14	40	38
15	38	36
16	39	36
17	40	22
18	36	15
19	14	37
20	31	49
21	38	53
22	36	62
23	38	48
24	32	22
25	27	18
26	13	15
27	10	13
28	24	36
29	26	42
30	21	33



Rys.8. Wartość indukcji magnetycznej pola elektromagnetycznego w badanych punktach wewnątrz kabiny pojazdu (oznaczenia jak na rysunku 6)



Rys.8. Natężenie składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego w badanych punktach wewnątrz kabiny pojazdu (oznaczenia jak na rysunku 6)

Żadna z zarejestrowanych maksymalnych wartości pola elektrycznego nie zbliżyła się nawet do granicznej wartości 1 kV/m, osiągając jedynie kilkadziesiąt V/m. Według obowiązujących regulacji prawnych [6] pole elektryczne nie stanowi zatem większego problemu wewnątrz kabiny pojazdu elektrycznego.

Podsumowanie

1. Pojazdy elektryczne w trakcie eksploatacji mogą stanowić źródło silnych pól elektromagnetycznych w szerokim zakresie częstotliwości.
2. Szczególnie wysokie wartości składowej magnetycznej natężenia pola elektromagnetycznego są rejestrowane w stanach dynamicznych ruchu pojazdu takich jak przyspieszanie oraz hamowanie.
3. Wartości natężenia składowej elektrycznej rejestrowanej wewnątrz badanego pojazdu elektrycznego są pomijalnie małe, natomiast natężenie składowej magnetycznej osiąga krótkotrwale wartości zbliżone do granicznych wartości opisanych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów ich ograniczania. W żadnym przypadku nie zanotowano jednak przekroczenia.
4. Podczas ładowania pojazdu elektrycznego, szczególnie na bezprzewodowych stacjach ładowania, pole

magnetyczne w otoczeniu pojazdu może osiągać znaczne wartości ze względu na pojawiające się pole rozproszenia wokół cewki nadawczej oraz odbiorczej.

Biorąc powyższe pod uwagę celowym wydaje się prowadzenie dalszych prac badawczych, zwłaszcza w warunkach eksploatacji naturalnej, dotyczących pola magnetycznego pojazdów elektrycznych, oraz badania dotyczące wpływu dynamiki pola magnetycznego pojazdu elektrycznego na zdrowie człowieka w jego długotrwałej ekspozycji na tego typu oddziaływania.

Autorzy: mgr inż. Jacek Gumiela, Politechnika Wroclawska, Katedra Energoelektryki, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: jacek.gumiela@pwr.edu.pl; prof. dr hab. inż. Lech Sitnik, Politechnika Wroclawska, Katedra Inżynierii Pojazdów, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: lech.sitnik@pwr.edu.pl, dr Dariusz Sztafrowski, Politechnika Wroclawska, Katedra Energoelektryki, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: dariusz.sztafrowski@pwr.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Bruno G. Pollet, Iain Staffell, Jin Lei Shang; Current Status of Hybrid, Battery and Fuel Cell Electric Vehicles: From Electrochemistry to Market Prospects; *Electrochimica Acta*; No. 84; 2015
- [2] Bjorn Nykvist, Mans Nilsson; Rapidly Falling Costs of Battery Packs for Electric Vehicles; *Nature Climate Change Letters*; 23 March; 2015
- [3] Zdzisław Chłopek; Badanie Zużycia Energii przez Samochód Elektryczny; Wydawnictwo PIMOT No. 57; Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie; 2012
- [4] James Larminie, John Lowry; *Electric Vehicle Technology Explained*; John Wiley and Sons Ltd.; West Sussex; 2003
- [5] Siqui Li, Chunting Chris; *Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications*; IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics; vol. 3, No. 1; 2015
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów, 30 października, 2003