

Bernard Fryškowski<sup>1</sup>Dorota Świątek-Fryškowska<sup>2</sup>

## PROBLEM NARAŻENIA PRACOWNIKÓW STACJI OBSŁUGI POJAZDÓW NA PORAŻENIE PRĄDEM Z UKŁADU ZAPŁONOWEGO

EXPOSURE TO ELECTROCUTION BY AUTOMOTIVE IGNITION SYSTEM  
IN THE WORK ENVIRONMENT OF CAR SERVICE EMPLOYEES

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska / Warsaw University of Technology, Warszawa, Poland  
Wydział Elektryczny / Faculty of Electrical Engineering

<sup>2</sup> Niepubliczny Zakład Opieki Zdrowotnej „Medyk” / Non-Public Health Care Institution “Medyk”, Kielce, Poland

### STRESZCZENIE

Diagnostyka samochodowych układów zapłonowych stanowi szczególny rodzaj czynności z uwagi na obecność impulsów wysokiego napięcia sięgającego kilkudziesięciu kilowoltów. Z tego względu pracownicy stacji obsługi pojazdów, którzy mają kontakt z tego rodzaju układami, narażeni są na niebezpieczeństwo porażenia. Wartość energii wyładowania iskrowego samochodowych układów zapłonowych z reguły nie jest na tyle duża, żeby wskutek przepływu prądu rażenia wywołać fibrylację komór serca. Wśród kierowców i pracowników serwisów samochodowych są jednak osoby korzystające z elektronicznych stymulatorów serca wrażliwych na impulsy wysokiego napięcia. Problem oddziaływania wysokiego napięcia układów zapłonowych na organizm ludzki, w szczególności w przypadku wystąpienia porażenia, nie został jeszcze wyczerpująco zbadany. Z tego względu zagadnienie to opisano jedynie w niewielu publikacjach naukowych. Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na zagrożenie porażeniem elektrycznym ze strony samochodowego układu zapłonowego, szczególnie w odniesieniu do osób cierpiących na choroby serca. Wskazano i omówiono przykłady metod pozwalających zmniejszyć prawdopodobieństwo porażenia podczas prowadzenia diagnostyki silnika spalinowego o zapłonie iskrowym. Med. Pr. 2014;65(3):419–427

**Słowa kluczowe:** porażenie prądem elektrycznym, rozrusznik serca sztuczny, ochrona przeciwporażeniowa, samochodowe układy zapłonowe, elektrotechnika pojazdów samochodowych, bezpieczeństwo i higiena pracy

### ABSTRACT

Automotive ignition system diagnostic procedures involve a specific kind of action due to the presence of high voltage pulses rated of roughly several dozen kilovolts. Therefore, the repairers employed at car service coming into direct contact with electrical equipment of ignition systems are exposed to risk of electric shock. Typically, the electric discharge energy of automotive ignition systems is not high enough to cause fibrillation due to the electric effect on the heart. Nevertheless, there are drivers and car service employees who use electronic cardiac pacemakers susceptible to high voltage pulses. The influence of high-voltage ignition systems on the human body, especially in case of electric injury, has not been comprehensively elucidated. Therefore, relatively few scientific papers address this problem. The aim of this paper is to consider the electrical injury danger from automotive ignition systems, especially in people suffering from cardiac diseases. Some examples of the methods to reduce electric shock probability during diagnostic procedures of spark-ignition combustion engines are presented and discussed. Med Pr 2014;65(3):419–427

**Key words:** electric injuries, pacemaker, electric shock prevention, automotive ignition systems, automotive electricity, work safety and health

Autor do korespondencji / Corresponding author: Bernard Fryškowski, Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, pl. Politechniki, 00-661 Warszawa, e-mail: bernard.fryskowski@ee.pw.edu.pl  
Nadesłano: 18 lutego 2014, zaakceptowano: 24 kwietnia 2014

### WSTĘP

Jednostki napędowe współczesnych pojazdów – będące w większości przypadków silnikami spalinowymi o zapłonie iskrowym – są przykładami urządzeń, których prawidłowe funkcjonowanie wymaga zastosowania wielu czujników i sterowników elektronicznych współpracujących z działającym pod wysokim napięciem układem zapłonowym. Ze względu na stale rosnącą liczbę

pojazdów samochodowych i szerokie możliwości ich praktycznego wykorzystania coraz większą popularnością cieszą się zawody związane z produkcją, diagnostyką i naprawą pojazdów oraz elektrycznych i elektronicznych podzespołów stanowiących ich wyposażenie. W obecnie obowiązującym systemie klasyfikacji zawodów i specjalności (1) obok ogólnie znanych zawodów, takich jak mechanik pojazdów samochodowych, technik elektryk samochodowy czy diagnosta uprawniony

do wykonywania badań technicznych pojazdów, pojawiły się nowe, np. monter elektroniki samochodowej.

Do zadań osób zawodowo związanych z elektromechaniką samochodową należy nie tylko kontrola stanu technicznego pojazdu, względnie naprawa jego zespołów mechanicznych, lecz również sprawdzanie i regulacja urządzeń elektrycznych i elektronicznych przy pracującym silniku. Większość czynności dotyczących diagnostyki i naprawy urządzeń elektrycznych pojazdu wykonywana jest samodzielnie. Z tego powodu od kandydatów do pracy w zawodach wymienionych w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 kwietnia 2010 r. w sprawie klasyfikacji zawodów i specjalności na potrzeby rynku pracy oraz zakresu jej stosowania (1) wymagana jest ogólna sprawność fizyczna, brak poważnych wad wzroku i postawy oraz sprawność manualna.

Wyklucza się natomiast możliwość podjęcia tego rodzaju pracy przez pacjentów ze zdiagnozowanymi chorobami psychicznymi lub padaczką. W grupie wykonujących pracę elektromechanika samochodowego pojawiają się niekiedy osoby pracujące wcześniej w innych zawodach, zmuszone do zmiany lub podniesienia kwalifikacji. Absolwenci różnego rodzaju kursów i szkoleń często zatrudniani są na zlecenie w małych warsztatach, nierzadko nie przechodząc żadnych badań lekarskich.

Pracownicy serwisów samochodowych narażeni są na wiele zagrożeń, wśród których należy wymienić skaleczenia, oparzenia, ukłucia, urazy mechaniczne kończyn (np. stłuczenia), szkodliwy wpływ różnych substancji chemicznych i porażenie prądem. Jedną z cech wspólnych, uwzględnionych w opisie środowiska pracy diagnostów i elektromechaników samochodowych, jest wykonywanie czynności przy użyciu narzędzi zasilanych prądem elektrycznym oraz praca w bliskim sąsiedztwie urządzeń, których działanie związane jest z obecnością pola elektromagnetycznego. W literaturze naukowej ryzyko porażenia prądem przemiennym o napięciu 230 V i częstotliwości 50 Hz jest szeroko omawianym zagadnieniem. Dodatkowo należy jednak uwzględnić rzadko rozpatrywaną możliwość kontaktu człowieka z elementami układu zapłonowego działającymi pod znacznie wyższym napięciem o charakterze impulsowym. W większości układów odpowiedzialnych za zapłon mieszanki paliwowo-powietrznej wartość szczytowa napięcia impulsu zapłonowego sięga od kilkunastu do kilkudziesięciu kilowoltów.

Ze względu na obserwowaną tendencję do wprowadzania coraz bardziej restrykcyjnych przepisów w za-

kresie ochrony środowiska coraz większym zainteresowaniem cieszą się silniki spalinowe z bezpośrednim wtryskiem benzyny, które pracują na zubożonej mieszance paliwowo-powietrznej. Zainicjowanie zapłonu takiej mieszanki jest trudniejsze, dlatego obecnie pojawia się konieczność stosowania bardziej zaawansowanych technicznie układów zapłonowych generujących impulsy o wartości szczytowej rzędu kilkudziesięciu kilowoltów.

Celem niniejszej pracy jest zwrócenie uwagi na rzadko analizowany problem zagrożenia porażeniem pracowników zajmujących się obsługą, diagnostyką i naprawą silników spalinowych o zapłonie iskrowym. Za szczególnie istotny uznano przypadek osób z wszczepionymi stymulatorami serca i innymi elektronicznymi urządzeniami medycznymi, dla których układy zapłonowe zarówno starszego typu, jak i nowej generacji stanowią istotne niebezpieczeństwo wynikające z obecności wysokiego napięcia dotykowego oraz emitowanego pola elektromagnetycznego (2,3).

## METODY PRZEGLĄDU

W procesie poszukiwania materiałów źródłowych potrzebnych do przygotowania niniejszej pracy wykorzystano wstępnie elektroniczne bazy danych książek, czasopism oraz dokumentów normalizacyjnych związanych głównie z szeroko rozumianym zagadnieniem ochrony człowieka przed skutkami porażenia prądem elektrycznym. Zakres poszukiwań ograniczono do książek i w większości recenzowanych artykułów wydanych w języku polskim i angielskim, głównie z lat 2007–2013. Przydatne okazały się również niektóre aktualne rozporządzenia ministerstw i dyrektwy instytucji Unii Europejskiej (1,4).

Ze względu na niewielką liczbę znalezionych publikacji naukowych ukierunkowanych ściśle na problem zagrożenia porażeniem ze strony samochodowych układów zapłonowych wykorzystano kilka opracowań na temat oddziaływania na organizm ludzki prądu impulsowego o kształcie zbliżonym do występującego w rozpatrywanych układach.

W pracy uwzględniono piśmiennictwo z zakresu ochrony przeciwporażeniowej, środków ochrony przed skutkami przepięć, profilaktyki wypadków powodowanych przez prąd elektryczny, kardiologii, stymulatorów pracy serca, elektropatologii i patofizjologii urazu elektrycznego oraz wyniki badań własnych. Za w niewielkim stopniu miarodajne uznano informacje na temat porażenia prądem układu zapłonowego zamieszczone

na polskich i obcojęzycznych forach internetowych użytkowników pojazdów różnych marek.

## WYNIKI PRZEGLĄDU

### Charakterystyka zagrożenia porażeniem prądem płynącym w układzie zapłonowym

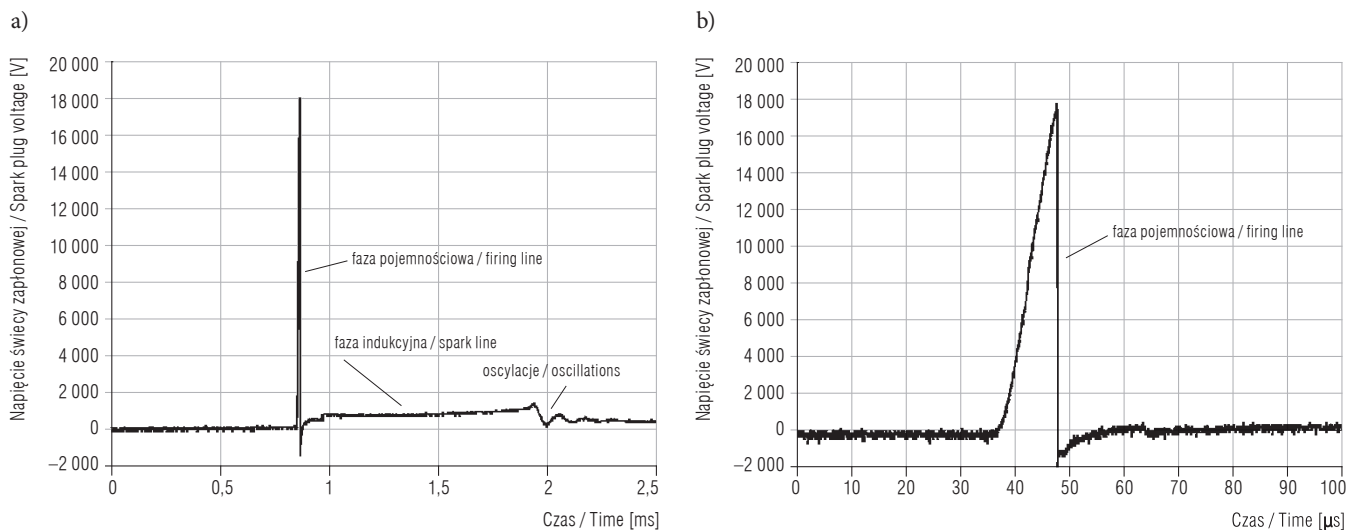
Zagrożeniu porażeniem prądem ze strony samochodowych układów zapłonowych – w przeciwieństwie do zagadnień dotyczących urządzeń elektroenergetycznych prądu przemiennego bądź napędu elektrycznego pojazdów – poświęcono w publikacjach naukowych niewiele miejsca. Uwagi na temat bezpieczeństwa pracy i ogólny opis problemu porażenia prądem układów zapłonowych zawarto w wielu publikacjach (np. 5–7). Dotąd nie zostały jednak opublikowane żadne szczegółowe normy ani przepisy dotyczące ochrony przed porażeniem i warunków poprawy bezpieczeństwa pracy w zakresie obsługi, kontroli i napraw układów zapłonowych silników o zapłonie iskrowym uwzględniające specyfikę i różnorodność stosowanych obecnie rozwiązań technicznych.

Dokonując analizy ryzyka porażenia prądem ze strony układu zapłonowego, należy również wziąć pod uwagę kwalifikacje, doświadczenie i praktyczne umiejętności pracownika. Serwisanci wykonujący czynności diagnostyczne bądź naprawcze urządzeń elektrotechniki i elektroniki samochodowej najczęściej nie są dodatkowo szkoleni i nie uzyskują uprawnień wydawanych przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich (SEP) do prowadzenia prac pomiarowo-kontrolnych i eksploatacji urządzeń pracujących pod napięciem powy-

żej 1 kV, wymaganych np. od personelu zajmującego się obsługą urządzeń elektroenergetycznych.

W układach zapłonowych silników o zapłonie iskrowym powszechnie wykorzystywana jest możliwość przetwarzania energii elektrycznej czerpanej ze źródeł prądu stałego, które pracują pod niskim napięciem, na energię elektryczną prądu płynącego pod wysokim napięciem. Przekształcenie energii otrzymanej z tego rodzaju źródeł na energię impulsu wysokonapięciowego, wymaganą do zapłonu mieszanki paliwo-powietrznej za pomocą świecy zapłonowej, następuje dzięki cewce zapłonowej, która działa na zasadzie transformatora. Prąd elektryczny dostarczany jest następnie do świec zapłonowych za pomocą odpowiednio izolowanych przewodów. Rycina 1. przedstawia wykresy napięcia na świecy zapłonowej obserwowanego przy pracującym silniku.

Napięcie zmierzono za pomocą sondy kontaktowej P6015A Tektronix współpracującej z oscyloskopem TDS 2004B o częstotliwości próbkowania 1 Gs/s i paśmie 60 MHz. Podczas eksperymentu wykorzystano układ zapłonowy silnika A16DMS pracującego na biegu jałowym przy zasilaniu paliwem LPG. Układ ten wyposażony był w podwójną 2-biegunową cewkę zapłonową i zalecane przez producenta silnika świece, których znamionowa szerokość szczeliny międzyelektrodowej wynosiła 0,9 mm. Całkowity czas trwania impulsu napięciowego układu zapłonowego, widocznego na rycinie 1a, stanowi sumę czasu przypadającego na tzw. fazę pojemnościową i czasu przypadającego na fazę indukcyjną, kiedy w ciągu kolejnych kilku dziesiątych części milisekundy obserwowane jest napięcie



Ryc. 1. Wysokie napięcie samochodowego układu zapłonowego podczas pracy silnika na biegu jałowym  
Fig. 1. High voltage waveforms of automotive ignition system, engine running at idle

rzędu co najwyżej pojedynczych kilowoltów. Z chwilą zaniku wyładowania elektrycznego pojawiają się oscylacje końcowe.

Na rycinie 1b zilustrowano przebieg napięcia odpowiadający fazie pojemnościowej po zmianie skali osi czasu. Napięcie chwilowe obserwowane w tej fazie w zależności od rodzaju układu zapłonowego i ciśnienia sprężania mieszanki paliwowo-powietrznej może wynosić od kilkunastu do kilkudziesięciu kilowoltów, a czas trwania impulsu – od kilku do kilkunastu mikrosekund.

W normie PN-HD 60364-4-41:2009P (8) jako dopuszczalne długotrwałe napięcie dotykowe podano 50 V przy zasilaniu prądem zmiennym i 120 V w przypadku przepływu prądu stałego, natomiast w warunkach szczególnego zagrożenia, związanego przykładowo ze wzrostem wilgotności, wartości te wynoszą odpowiednio 25 V i 60 V. Wartości chwilowe napięcia impulsu układu zapłonowego przedstawionego na rycinie 1a – szczególnie w fazie pojemnościowej i indukcyjnej – są wprawdzie wyższe od wartości bezpiecznych dla człowieka, wyszczególnionych w przytoczonej normie, jednak należy uwzględnić, że norma podaje dopuszczalne wartości długotrwałego napięcia dotykowego.

Impuls napięcia obecnego na świecy zapłonowej może mieć polaryzację dodatnią lub ujemną w stosunku do masy pojazdu. Ze względu na mniejszą wartość energii koniecznej do przebicia przestrzeni międzyelektrodowej świecy częściej spotykanym w praktyce rozwiązaniem są układy generujące impulsy ujemne. Prąd wtórny cewki zapłonowej w przybliżeniu można traktować jako impulsowy i jednokierunkowy, okresowy, o częstotliwości będącej funkcją prędkości obrotowej silnika i kształcie uzależnionym od charakteru obciążenia. W przypadku samochodowych układów zapłonowych częstotliwość impulsów wysokonapięciowych zależy od rodzaju silnika (liczba suwów i cylindrów), a także od konstrukcji układu (różne warianty układów zapłonowych rozdzielaczowych bądź bezrozdzielaczowych). Częstotliwość generowanych impulsów wysokonapięciowych może zmieniać się w przedziale od pojedynczych do nawet kilkuset herców.

Istotne znaczenie w aspekcie skutków oddziaływania prądu elektrycznego na organizm ludzki ma charakter zmian napięcia rażenia wymuszającego przepływ prądu przez ciało osoby, która uległa porażeniu. W pracy Saferny i wsp. (9) opisano przypadki rażenia pojedynczymi impulsami jednokierunkowymi – prostokątnym, sinusoidalnym i wykładniczym. Przedstawiono sposoby obliczenia energii fibrylacji i kryteria oceny zagrożenia migotaniem komór serca w zależno-

ści od czasu trwania i energii, ograniczając rozważania do przypadków wymienionych wyżej pojedynczych impulsów o regularnym kształcie. Do obliczeń energii fibrylacji wykorzystano prawo Joule'a, przyjmując jako miarę tej energii iloczyn kwadratu natężenia prądu i czasu trwania dla impulsu prostokątnego, dla prądu sinusoidalnie zmiennego – iloczyn kwadratu wartości skutecznej natężenia i czasu odpowiadającego połowie okresu oraz iloczyn kwadratu wartości szczytowej prądu i połowy wartości stałej czasowej ładowania kondensatora dla przebiegu wykładniczego.

Opierając się na analizach i wnioskach opublikowanych w ww. pracy (9), można stwierdzić, że prąd płynący na drodze ręka–stopy pod wpływem napięcia szczytowego nieprzekraczającego 15 kV, obecnego na świecy zapłonowej, nie wywołuje zagrożenia w postaci fibrylacji komór serca głównie ze względu na bardzo krótki czas rażenia (rzędu mikrosekund). Jest on jednak wyraźnie odczuwany przez organizm ludzki, wywołując nawet uczucie bólu. Saferna i wsp. (9) nie uwzględnili innych dróg przepływu prądu rażenia, wzrostu maksymalnego napięcia chwilowego współczesnych układów zapłonowych do wartości rzędu kilkudziesięciu kilowoltów oraz możliwości oddziaływania wysokonapięciowych impulsów elektrycznych na elektroniczne urządzenia stymulujące pracę serca.

Koncentrując się na zagadnieniu zagrożenia porażeniem prądem pracowników zatrudnionych przy diagnostyce i naprawie silników o zapłonie iskrowym, któremu poświęcono niniejszy artykuł, należy zwrócić uwagę na wyszczególnione w Dyrektywie 2013/35/UE (4) skutki biofizyczne, które wynikają z oddziaływania pola elektromagnetycznego i prądu elektrycznego na organizm ludzki oraz mogą spowodować zagrożenie bezpieczeństwa lub zdrowia. Podzielono je na bezpośrednie, obejmujące głównie zjawiska termiczne i pobudzenie mięśni, nerwów lub narządów zmysłów, oraz pośrednie – związane z zakłóceniem działania elektronicznego sprzętu medycznego, w tym stymulatorów serca i innych układów elektroniki medycznej wprowadzonych do ludzkiego ciała, a także z możliwością wybuchu substancji łatwopalnych pod wpływem wyładowań elektrycznych.

Zgodnie z przytoczoną dyrektywą (4) i wielu normami przemysłowymi (9–12), dokonując analizy zjawisk towarzyszących przepływowi prądu przez tkanki, należy rozróżnić oddziaływanie prądów indukowanych i kontaktowych. Przepływ prądu indukowanego jest wynikiem sprzężenia ciała ludzkiego jako przewodnika ze źródłem pola elektromagnetycznego, czego skut-

kiem jest pojawienie się siły elektromotorycznej wymuszającej przepływ prądu przez tkanki. Z kolei przepływ prądu kontaktowego, któremu poświęcono w treści niniejszego artykułu najwięcej miejsca, możliwy jest pod wpływem zewnętrznego napięcia panującego na częściach przewodzących danego obwodu, z którymi nastąpił kontakt galwaniczny ciała człowieka.

W dyrektywie 2013/35/UE (4) wprowadzono pojęcie interwencyjnego poziomu narażenia (w skrócie IPN) rozumiane w odniesieniu do prądu kontaktowego jako górna granica natężenia prądu przepływającego przez ciało pracownika, z którą wiąże się wymóg zastosowania odpowiednich środków ochronnych lub zapobiegawczych wymienionych w tym dokumencie. W przypadku prądu o częstotliwości do 2,5 kHz podana wartość IPN natężenia prądu kontaktowego stanu ustalonego wynosi 1 mA (4).

Przez analogię do urządzeń elektroenergetycznych rozważania dotyczące możliwości porażenia pracownika wykonującego prace w bliskim otoczeniu układu zapłonowego dotyczą 3 następujących przypadków (13) – kontaktu z czynnymi częściami obwodu, kontaktu z częściami przewodzącymi dostępnymi (np. w wyniku uszkodzenia izolacji przewodu zapłonowego) oraz efektu wyładowania między częścią obwodu będącą pod napięciem a ciałem człowieka. Należy również wspomnieć o oddziaływaniu pól elektromagnetycznych emitowanych przez poszczególne podzespoły układu zapłonowego.

### **Kontakt z częściami obwodu pod wysokim napięciem**

Jak już wspomniano we wstępie, wartość chwilowa napięcia obecnego na zaciskach cewki zapłonowej, przewodu wysokiego napięcia lub świecy może w skrajnym przypadku osiągać kilkadziesiąt kilowoltów. Skutki porażenia prądem w przypadku kontaktu z częścią układu zapłonowego, która działa pod wysokim napięciem, są wyraźnie odczuwane przez organizm ludzki. Pojawia się nieprzyjemne odczucie lub ból, którym towarzyszy często gwałtowna reakcja obronna człowieka polegająca na próbie ucieczki albo odrzucenia przewodu lub narzędzia będącego pod napięciem. Tego rodzaju reakcja może wywołać wtórne zagrożenie związane z możliwością mechanicznego uszkodzenia ciała (14).

Przepływ prądu kontaktowego następuje najczęściej przez dłoń pracownika dotykającą części przewodzącej, która jest pod napięciem. Prąd elektryczny przepływa również przez obuwie, które ze względu na swoją rezystancję i pojemność elektryczną nie stanowi

skutecznie zabezpieczającej izolacji. Dalsza droga prądu (do masy) przebiega przez podłoże, ogumienie oraz metalowe części nadwozia, podwozia i odcinki instalacji elektrycznej pojazdu. Inny przypadek dotyczy może przepływu prądu na drodze ręka–ręka wtedy, gdy jedna dłoń dotyka metalowych części pojazdu (np. karoserii, silnika), a druga ma kontakt z częścią przewodzącą znajdującą się pod napięciem. Możliwy jest również przepływ prądu w obrębie tej samej kończyny, kiedy np. dłoń dotykająca części będącej pod napięciem oparta jest nadgarstkiem o metalowy element silnika połączony z masą pojazdu. O natężeniu prądu rażenia w każdym z wymienionych przypadków decydować będzie opór elektryczny.

Porażenie prądem układu zapłonowego może negatywnie wpływać na zdrowie, szczególnie osób z chorobami układu krążenia. Na problemy zdrowotne związane z układem krążenia narażeni są szczególnie kierowcy zawodowi (15). Niekiedy są oni dodatkowo zatrudniani w warsztatach naprawy pojazdów jako mechanicy samochodowi. Biorąc pod uwagę zagrożenie zdrowia osób z problemami kardiologicznymi, pracujących w zawodzie elektromechanika samochodowego lub w wymienionych we wstępie zawodach pokrewnych, należy pamiętać o obecności impulsów wysokiego napięcia i pola elektromagnetycznego w otoczeniu cewek, świec i przewodów zapłonowych. Ma to szczególnie istotne znaczenie dla pacjentów ze wszczepionymi stymulatorami serca.

Impulsy wysokonapięciowe stanowią potencjalne zagrożenie dla urządzeń elektroniki półprzewodnikowej bez względu na natężenie prądu. Uwaga ta dotyczy również stymulatorów serca. Ellenbogen i Wood wskazują elektrokauteryzację i defibrylację jako zabiegi, którym towarzyszy obecność impulsów wysokiego napięcia, mogących potencjalnie spowodować uszkodzenia elektronicznego generatora stymulatora (16). Defibrylacja wiąże się z wykorzystaniem impulsów o napięciu rzędu pojedynczych kilowoltów, które w zależności od fal służących do defibrylacji wymuszają przepływ prądu trwający od kilku do kilkudziesięciu milisekund (17).

Z tego względu warto bliżej rozpatrzeć kwestię potencjalnego wpływu wysokiego napięcia układów zapłonowych na pracę i niezawodność stymulatorów serca w kontekście ryzyka porażenia impulsowym prądem elektrycznym.

Zarówno w dokumentacji tego rodzaju urządzeń, jak i publikacjach naukowych zalecane jest zachowanie dostatecznie dużej odległości (około 30 cm) między stymulatorem a elementami układu zapłonowego bę-

dącymi pod napięciem (2,18). Warto także wspomnieć o innych źródłach silnego pola elektromagnetycznego, z którymi mogą spotkać się pracownicy serwisów samochodowych. Należą do nich urządzenia do elektrycznego spawania lub zgrzewania. Również i w tym przypadku producenci stymulatorów serca zalecają zachowanie szczególnej ostrożności i oddalenie od urządzenia elektrycznego m.in. z uwagi na możliwość zmiany trybu pracy stymulatora lub wykasowanie jego ustawień pod wpływem silnego pola elektromagnetycznego (19). Wśród innych urządzeń mogących wywołać zakłócenia pracy stymulatora, z którymi mogą mieć styczność elektromechanicy samochodowi i kierowcy, wymieniane są silniki prądu zmiennego, telefony komórkowe i systemy radiowe CB (20).

Khan i wsp. (21) zwracają uwagę na występujący czasem problem zbyt dużej czułości stymulatora serca. Wśród przyczyn nieprawidłowego działania generatorów impulsów stymulatorów, w tym nadmiernej czułości, wymienia się m.in. uszkodzenie układu elektronicznego, bocznikowanie oraz oddziaływanie zewnętrznych prądów obcych. Impuls elektryczny, stanowiący bodziec stymulacji, charakteryzuje się amplitudą napięcia nieprzekraczającą 6 V przy czasie trwania do 1 ms (22). Jako najniższa amplituda napięcia impulsu powodującego odpowiedź serca u większości chorych podawana jest wartość 2–2,5 V (23). Sumaryczny czas trwania wyładowania na świecy, nieprzekraczający z reguły kilku milisekund, uzależniony jest m.in. od stanu układu zapłonowego, jego budowy i parametrów technicznych, przebiegu procesu spalania i rodzaju zastosowanego paliwa.

Porażeniu prądem impulsowym towarzyszy spadek napięcia na przewodzących częściach tkanki, skutkiem czego na organizm człowieka działa impuls napięciowy o niższej amplitudzie w porównaniu z napięciem roboczym świecy zapłonowej, lecz o zbliżonym czasie trwania. Jeżeli amplituda takiego sygnału osiąga zaprogramowany próg wyczuwania wszczepionego urządzenia, impulsy z komory i przedsionka mogą zostać uznane przez sterownik stymulatora za obecne. Istnieje więc prawdopodobieństwo, że elektroda stymulatora stanie się przewodnikiem obcego impulsu elektrycznego, który zostanie rozpoznany jako czynność serca. Pojawia się wtedy ryzyko wstrzymania generowania impulsu stymulującego.

Podobne uwagi dotyczą innych urządzeń stosowanych u pacjentów z chorobami serca. W publikacji Opolskiego i wsp. (24) wśród źródeł wytwarzających pola elektromagnetyczne mogących zakłócić pracę

kardiowertera-defibrylatora wymieniono samochodowy aparat zapłonowy i elektryczne spawarki łukowe. Z kolei Levine zwraca uwagę na obecność materiałów mogących przewodzić prąd elektryczny w urządzeniach wszczepianych tymczasowo, takich jak cewniki w tętnicy płucnej i elektrody do czasowej stymulacji przezżyłnej – mimo braku w nich części ferromagnetycznych (25). Problemem jest wtedy zagrożenie wynikające głównie z przepływu przez ludzki organizm prądu rażenia w wyniku kontaktu z dostępnymi elementami przewodzącymi. Indywidualne cewki zapłonowe stosowane w nowoczesnych silnikach charakteryzuje budowa kompaktowa, która utrudnia dostęp do nich w przypadku prowadzenia prac diagnostycznych przy pracującym silniku. Wielu elektromechaników, chcąc dokonać pomiaru wysokiego napięcia, decyduje się na instalowanie dodatkowych przewodów przejściowych według własnego pomysłu, które umożliwiają podłączenie sondy pomiarowej. Takie prowizoryczne połączenie stwarza dodatkowe ryzyko porażenia. Należy również zauważyć, że elektromechanicy i diagności samochodowi często posługują się narzędziami powszechnego użytku, których parametry izolacji określone są głównie w odniesieniu do prądu o częstotliwości przemysłowej. Gryz i Karpowicz (26) za miarę wynikającą z ekspozycji pracownika na działanie pola elektromagnetycznego poprzez fizyczny kontakt z jego źródłem przyjmują natężenie prądu kontaktowego przepływającego w obwodzie tworzonym przez kończyny. Warto także zaznaczyć, że wzrost częstotliwości impulsowego napięcia rażenia prowadzi do potencjalnego zwiększenia natężenia prądu rażenia (27).

Istotne jest także uwzględnienie efektów ubocznych związanych z działaniem wysokonapięciowych układów zapłonowych również w przypadkach, w których nie dochodzi do porażenia prądem. Kochańska i Zarzycka (28) wskazują na wyładowania elektryczne jako czynnik psychologiczny, który może wzbudzać lęk u chorych z kardiowerterem-defibrylatorem. Obawa osób korzystających z tego rodzaju urządzeń przed rażącym oddziaływaniem prądu elektrycznego pod wysokim napięciem może utrudniać ich pracę bądź nawet ograniczać aktywność zawodową.

### **Skutki wyładowania**

#### **między czynną częścią obwodu a ciałem człowieka**

Kolejnym problemem związanym z prowadzeniem prac w bliskim sąsiedztwie układów zapłonowych jest możliwość zaistnienia wyładowania na zewnątrz cylindra, poza szczeliną międzyelektrodową świecy zapłonowej.

Tego rodzaju wyładowanie, świadczące o degradacji właściwości izolacyjnych przewodów, może nastąpić bezpośrednio do masy pojazdu lub pośrednio poprzez ciało osoby prowadzącej pracę. W obu przypadkach pozostała część energii doprowadzona do świecy zapłonowej może okazać się niewystarczająca do zapłonu mieszanki, co może prowadzić do niepożądanego zjawiska wypadania zapłonów.

Wyładowanie może nastąpić wtedy, gdy operator nie dotyka bezpośrednio elementu przewodzącego znajdującego się pod wysokim napięciem, lecz znajduje się w bardzo bliskiej odległości od niego. Prawdopodobieństwo wyładowania rośnie w przypadku dobrego kontaktu ciała ludzkiego z masą pojazdu (np. przez dotknięcie nadgarstkiem karoserii pojazdu). Wyładowaniu towarzyszyć może wtedy obecność łuku elektrycznego, którego wysoka temperatura stanowi przyczynę niewielkiego uszkodzenia powierzchni naskórka.

Warto również zaznaczyć, że jakiegokolwiek wyładowania między działającymi w warunkach występowania wysokiego napięcia podzespołami układu zapłonowego a masą pojazdu stanowią potencjalne zagrożenie wybuchem, jeżeli połączenia w obwodzie paliwowym nie są dostatecznie szczelne i paliwo wydostaje się na zewnątrz. Jest to istotne zwłaszcza w przypadku silników zasilanych paliwem gazowym.

### **Ochrona przed skutkami porażenia prądem układu zapłonowego**

Głównym środkiem ochrony przed porażeniem w przypadku diagnostyki, regulacji i napraw układu zapłonowego jest skuteczna izolacja zarówno poszczególnych elementów układu, jak i narzędzi oraz przyrządów pomiarowych wykorzystywanych przez pracownika. Uszkodzenie lub pogarszająca się jakość izolacji podzespołów funkcjonujących pod wysokim napięciem stwarza zagrożenie, które wynika z możliwości przepływu kontaktowego prądu rażenia bądź wyładowania. Przepięcia pojawiające się w wyniku tego rodzaju niekontrolowanych wyładowań mogą również negatywnie wpływać na funkcjonowanie i stan innych urządzeń elektronicznych pojazdu.

Analizując problem ochrony przeciwporażeniowej w odniesieniu do prawidłowo eksploatowanych i regularnie kontrolowanych układów zapłonowych, należy dodatkowo zwrócić uwagę na problem wilgotności powietrza i wilgoci. Wzrost wilgotności powietrza może przyczynić się do chwilowego pogorszenia właściwości izolacyjnych niektórych materiałów, które ze względu na absorpcję wody tracą pierwotne parametry. Z tego

względu należy unikać kontaktu przez dotyk z cewką lub przewodami zapłonowymi w czasie pracy silnika zwłaszcza w warunkach podwyższonej wilgotności.

Ciało ludzkie stanowi przewodnik o mniejszym oporze w porównaniu z przestrzenią międzyelektrodową świecy zapłonowej. Impedancja uzwojenia wtórnego cewki oraz impedancja przewodów zapłonowych, mająca za zadanie ograniczenie emisji zakłóceń radioelektrycznych, połączone są względem siebie szeregowo. Spadek napięcia na tych oporach w przypadku przepływu prądu rażenia dodatkowo zmniejsza wartość napięcia dotykowego. Sumaryczny opór elementów przewodzących wymienionych podzespołów z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej jest więc czynnikiem korzystnym, ponieważ przyczynia się do zmniejszenia natężenia prądu rażenia. Nie wpływa on jednak pozytywnie na wypadkową ilość energii dostarczanej do świecy zapłonowej.

Zagrożenie porażeniem ze strony układu zapłonowego istnieje także wtedy, gdy nie ma w nim wyraźnych usterek. Na przykład obecność niewidocznych gołym okiem pęknięć izolacji nie zawsze wiąże się z utrudnionym działaniem układu zapłonowego, również w warunkach podwyższonej wilgotności powietrza lub w przypadku zawilgocenia przewodów zapłonowych. Tego rodzaju uszkodzenie nie wyklucza jednak możliwości przepływu prądu rażenia w przypadku kontaktu człowieka z częścią będącą pod napięciem.

Dalszą poprawę bezpieczeństwa prac diagnostycznych i naprawczych prowadzonych w sąsiedztwie układów zapłonowych można osiągnąć, ograniczając do minimum możliwość kontaktu pracownika z elementami przewodzącymi dostępnymi w czasie pracy silnika. Zalecane jest prowadzenie prac wymagających demontażu elementów zapłonowych wyłącznie w warunkach odłączonego zasilania cewki zapłonowej. Ważna jest również dbałość o stan techniczny elementów odpowiedzialnych za zapłon mieszanki i ich wymiana po czasie wskazanym przez producenta lub nawet wcześniej – mimo braku widocznych uszkodzeń.

Należy bezwzględnie unikać jakichkolwiek prób rozłączania elementów pracującego układu zapłonowego bądź innego sposobu przerywania jego ciągłości. Niektóre próby skuteczności działania układu zapłonowego, wykonywane np. podczas rozruchu silnika, powinny być przeprowadzane w warunkach pracy pod obciążeniem, rozumianym jako podłączenie do zacisków wyjściowych cewek świec zapłonowych lub specjalnego iskiernika z zachowaniem szczególnej ostrożności.

## WNIOSKI

Od prawidłowego połączenia i właściwego stanu technicznego elementów samochodowego układu zapłonowego oraz narzędzi wykorzystywanych w stacji obsługi pojazdów zależy nie tylko działanie silnika, ale również ryzyko porażenia pracowników wykonujących czynności diagnostyczne i naprawcze, a także bezpieczeństwo innych urządzeń elektronicznych znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu. Biorąc pod uwagę różnorodność prac naprawczych, których wykonanie wymaga uruchomienia silnika, oraz stopień wyeksploatowania układów zapłonowych, nie można wykluczyć w praktyce ryzyka wystąpienia porażenia prądem impulsowym generowanym przez cewkę zapłonową.

Wynik oddziaływania tego rodzaju prądu na człowieka, będący skutkiem porażenia, uzależniony jest zarówno od wartości napięcia dotykowego i wypadkowego oporu na drodze przepływu, jak i od stanu fizycznego i psychicznego osoby porażonej. Wpływ wysokiego napięcia układów zapłonowych na organizm ludzki oraz elektroniczną aparaturę medyczną nie został jeszcze do końca zbadany, czego dowodem jest stosunkowo niewielka liczba publikacji naukowych na ten temat. Warto jednak odnotować niedawno opublikowane zalecenia i normy dotyczące bezpieczeństwa pracy w zakresie obsługi i naprawy pojazdów z napędem elektrycznym (12,29). Z dużym prawdopodobieństwem można zaryzykować stwierdzenie, że pojazdy te w niedalekiej przyszłości stanowią będą rozwiązania konkurencyjne w stosunku do dominujących obecnie samochodów z silnikami spalinowymi. Nie zmniejsza to jednak przewagi silników o zapłonie iskrowym na rynku motoryzacyjnym i związanej z tym potrzeby opracowania przepisów i norm dotyczących bezpieczeństwa pracy w warunkach zagrożenia porażeniem prądem.

Dalsze badania wpływu impulsów napięcia w obwodzie wtórnym cewki zapłonowej na organizm człowieka i skuteczność działania stosowanych obecnie metod zabezpieczenia elektronicznej aparatury medycznej przed skutkami przepięć powinny uwzględnić charakterystyczny kształt tych impulsów oraz ich częstotliwość i polaryzację. Ponadto istotne jest zwrócenie uwagi na tendencję do wyposażania nowoczesnych silników w układy zapłonowe o coraz wyższej wartości napięcia roboczego. Ze względu na specyfikę pracy w zawodzie elektromechanika samochodowego i wymienionych we wstępie zawodach pokrewnych ważne jest, żeby badania prowadzone były w różnych warunkach środowiskowych odpowiadających zarówno czynnościom wy-

konywanym w warsztacie, jak i na wolnym powietrzu. Porażenie prądem układu zapłonowego może nastąpić w wyniku jego usterki lub na skutek błędu popełnionego przez pracownika. Należy pamiętać, że z zagrożeniem porażeniem trzeba liczyć się również wtedy, gdy układ zapłonowy nie wykazuje widocznych usterek.

Abstrahując od samochodowych układów zapłonowych, warto również zwrócić uwagę na stosowanie silników spalinowych o zapłonie iskrowym w napędach innych pojazdów i urządzeń, takich jak łodzie motorowe, motocykle oraz piły i kosy spalinowe (30). Znaczna część rozwiązań technicznych, spotykanych szczególnie w silnikach wymienionych maszyn, oparta jest na zasadzie działania iskrownika i nie wymaga dodatkowego źródła zasilania w postaci akumulatora, co może mylnie sugerować brak wysokiego napięcia.

Prowadząc badania lekarskie osób starających się o pracę w wymienionych na wstępie niniejszego artykułu zawodach, których specyfiką jest potencjalny kontakt z układami zapłonowymi silników o zapłonie iskrowym, należy mieć na względzie przeciwwskazania z tytułu zaburzeń sprawności układu krążenia u potencjalnego pracownika. Dotyczy to w szczególności zaburzeń wymagających wszczepienia stymulatora serca. Uwaga ta ma związek również z prowadzeniem badań okresowych pracowników przez dłuższy czas zajmujących się zawodowo diagnostyką i naprawą pojazdów, których stan zdrowia uległ pogorszeniu.

Cel dalszych badań dotyczących problemu porażenia prądem podczas prac związanych z diagnostyką i obsługą układów zapłonowych powinien obejmować projekt obwodów zastępczych (fantomów), które umożliwiają pomiar prądu rażenia. W ramach tych badań konieczna jest też analiza zjawiska porażenia ze strony układu zapłonowego w różnych warunkach środowiskowych.

## PIŚMIENNICTWO

1. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 kwietnia 2010 r. w sprawie klasyfikacji zawodów i specjalności na potrzeby rynku pracy oraz zakresu jej stosowania. DzU z 2010 r. nr 82, poz. 537
2. Medtronic Inc.: Answers to questions about implantable cardiac devices. Electromagnetic compatibility guide. Medtronic Inc., Minneapolis 2012
3. Andretzko J.P., Hedjiedj A., Guendouz L.: Calculation of the interference voltage at the input of cardiac pacemakers in low frequency magnetic field: Influence of the homogeneous and heterogeneous coupling medium. W: Dös-



- sel O., Schlegel W.C. [red.]. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 7–12 września 2009, Munich, Niemcy. International Federation for Medical and Biological Engineering Proceedings, Monachium 2009; wol. 25/4, ss. 1048–1051
4. 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). DzUrz UE, L179/1 z dnia 29 czerwca 2013 r.
  5. Żółtowski B., Tylicki H.: Osprzęt elektryczny pojazdów mechanicznych. Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz 1999
  6. Clifford I.G., Neva B.J. [red.]: Prevention of electrical systems ignition of automotive crash fire. Dynamic Science, Phoenix 1970
  7. FÁS Learning Innovation Unit: Trade of motor mechanic. Basic ignition systems. Foras Áiseanna Saothair, Dublin 2007, ss. 1–21
  8. PN-HD 60364-4-41:2009P. Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed porażeniem elektrycznym. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009
  9. Saferna J.: Elektropatologia. W: Buehl R., Majka A., Saferna J., Sakiel S., Strużyna J. [red.]. Porażenia i oparzenia prądem i łukiem elektrycznym. Etiologia i pomoc przedlekarska. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993, ss. 40–70
  10. IEC TS 60479-1. Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects. International Electrotechnical Commission, Geneva 2005
  11. PN-EN 62226-1:2008P. Ekspozycja na pola elektryczne lub magnetyczne z zakresu małych i pośrednich częstotliwości – Metody obliczeń gęstości prądu i wewnętrznego pola elektrycznego indukowanego w ciele człowieka – Część 1: Postanowienia ogólne. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2008
  12. ISO 23273-3:2006. Fuel cell road vehicles – Safety specifications – Part 3: Protection of persons against electric shock. International Organization for Standardization, Geneva 2006
  13. Bloswick D., Budnick P.: An introduction to electrical safety for engineers, U.S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio 1993
  14. Cadick J., Capelli-Schellpfeffer M., Neitzel D.: Electrical safety handbook. McGraw-Hill, New York 2006
  15. Wągrowaska-Koski E.: Zagrożenia zdrowia kierowców pojazdów silnikowych związane ze szkodliwymi i uciążliwymi warunkami środowiska. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2007
  16. Ellenbogen K.A., Wood M.A.: Cardiac pacing and ICDs. Wiley & Sons, Oxford 2011
  17. Roberts J.R., Hedges J.R., Custalow C.B.: Procedury kliniczne w medycynie ratunkowej. Część 1. Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2012
  18. Lakshmanadoss U., Chinnachamy P., Daubert J.: Electromagnetic interference of the pacemakers, modern pacemakers – Present and future. InTech, Rijeka 2011, ss. 229–252
  19. O'Connor S., Baker T.: Kardiologia praktyczna. Via Medica, Gdańsk 2001
  20. Ściborski C., Pasierski T.: Kardiologia dla lekarzy rodzinnych. PZWL, Warszawa 2006
  21. Khan M.G., Topol E., Saksena S., Goodwin J.F.: Choroby serca. Diagnostyka i terapia. Urban & Partner Wydawnictwo Medyczne, Wrocław 2000
  22. Chlebus H., Januszewicz W. [red.]: Zarys kardiologii. PZWL, Warszawa 1992
  23. Hryniewiecki T. [red.]: Stany nagłe. Medical Tribune Polska, Warszawa 2011
  24. Opolski G., Lukas W., Steciwko A.: Choroby serca i naczyń. Poradnik lekarza rodzinnego. Via Medica, Gdańsk 2007
  25. Levine G.N.: Obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego u chorych z wszczepionymi urządzeniami kardiologicznymi – bilans korzyści i ryzyka. Aktualne stanowisko American Heart Association. Med. Prakt. 2008;2:20–22
  26. Gryz K., Karpowicz J.: Zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z występowaniem prądów indukowanych i kontaktowych. Podst. Met. Oceny Środ. Pr. 2008;4(58):143–177
  27. Gierlotka S.: Badania impedancji ciała człowieka. elektro.info 2012;3:80–82
  28. Kochańska A., Zarzycka B.: Pacjent z implantowanym kardiowerterem-defibrylatorem serca (ICD). Czy można się przyzwyczaić do wyładowań kardiowertera-defibrylatora? Forum Med. Rodzin. 2010;4(1):10–16
  29. ISO 6469-3:2011. Electrically propelled road vehicles – Safety specifications – Part 3: Protection of persons against electric shock. International Organization for Standardization, Geneva 2011
  30. Dee Jepsen S., McGuire K., Poland D.: Secondary injury prevention: Farming with a pacemaker, agriculture and natural resources [cytowany 1 lutego 2014]. Ohio State University, Columbus 2010. Adres: [http://ohioline.osu.edu/aex-fact/pdf/AEX\\_981\\_7\\_10.pdf](http://ohioline.osu.edu/aex-fact/pdf/AEX_981_7_10.pdf)

---

Zezwala się na korzystanie z artykułu „Problem narażenia pracowników stacji obsługi pojazdów na porażenie prądem z układu zapłonowego” na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa – Użycie niekomercyjne 3.0 (znanej również jako CC-BY-NC), dostępnej pod adresem <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/pl/> lub innej wersji językowej tej licencji lub którejkolwiek późniejszej wersji tej licencji, opublikowanej przez organizację Creative Commons / The use of the article „Exposure to electrocution by automotive ignition system in the work environment of car service employees” is permitted under license conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 (also known as CC-BY-NC), available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/pl/> or another language version of this license or any later version of this license published by Creative Commons.