

POMIARY PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH PARALIZATORÓW

Marek GAŁA¹, Andrzej JĄDERKO²

1. Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny
tel.: +48 34 325 08 31, e-mail: m.gala@el.pcz.czyst.pl
2. Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny
tel.: +48 34 325 08 10, e-mail: aj@el.pcz.czyst.pl

Streszczenie: W artykule scharakteryzowano zasady przeprowadzania pomiarów parametrów elektrycznych paralizatorów oraz określono wymagania dotyczące stosowanych układów pomiarowych. Omówiono rodzaje paralizatorów, jak również wybrane wyniki badań uzyskane dla trzech typów powszechnie dostępnych paralizatorów ręcznych: ESP Scorpy Max, Fire Taser i Securator Chingo. Przedstawiono wartości chwilowe prądów rażenia generowanych przez badane paralizatory oraz wartości wyznaczonych parametrów charakteryzujących ich intensywność rażenia. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, iż użycie badanych paralizatorów nie powinno spowodować wystąpienia zjawiska migotania komór serca spowodowanego przepływem przez organizm ludzki impulsowego prądu rażenia pochodzącego od badanych urządzeń.

Słowa kluczowe: paralizator, prąd impulsowy, parametry elektryczne paralizatorów.

1. WPROWADZENIE

Paralizatory należą do rodzaju środków przymusu bezpośredniego przeznaczonych do obezwładniania osób za pomocą energii elektrycznej. Wytwarzany przez nie ładunek elektryczny przepływając przez ciało człowieka wywołuje czasowe ograniczenie jego możliwości ruchowych na skutek zakłócenia pracy systemu nerwowego i wywołania paraliżu mięśni. Pierwsze z paralizatorów zostały opracowane na użytek policji i służb odpowiedzialnych za zapewnienie bezpieczeństwa jako alternatywa broni palnej. W późniejszym czasie pojawiły się również na rynku urządzenia przeznaczone do powszechnego użytku osobistego.

Ze względów konstrukcyjnych wyróżnić można dwie zasadnicze kategorie paralizatorów. Pierwszą z nich stanowią paralizatory przeznaczone głównie do użytku przez policję i służby odpowiedzialne za zapewnienie bezpieczeństwa. Urządzenia te wyposażone są w elektrody wystrzeliwane na odległość najczęściej kilku metrów, za pośrednictwem których przekazują energię elektryczną do ciała obezwładnianej osoby bez konieczności bezpośredniego z nią kontaktu. Paralizatory te nazywane są często taserami od nazwy firmy TASER International - głównego producenta tego rodzaju broni [1, 2, 3]. Drugą grupę urządzeń stanowią paralizatory ręczne zwane również kontaktowymi lub bezpośrednimi, do użycia których niezbędne jest bezpośrednie zbliżenie urządzenia do obezwładnianej osoby. Wytwarzane przez paralizator

napięcie od kilkudziesięciu do nawet kilkuset kilowoltów zapewnia skuteczne przekazanie ładunku elektrycznego przez odzież i skórę obezwładnianej osoby i rażenie napastnika prądem elektrycznym.

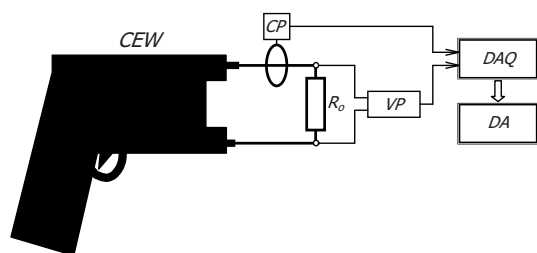
Pomimo zapewnienia przez producentów paralizatorów o spełnieniu przez ich wyroby norm bezpieczeństwa, corocznie odnotowuje się przypadki śmiertelne po użyciu środków przymusu bezpośredniego przeznaczonych do obezwładniania osób za pomocą energii elektrycznej. W Stanach Zjednoczonych średnia liczba zgonów w latach 2001-2012, spowodowanych użyciem paralizatorów wyniosła około 45 rocznie [4]. Również we Wrocławiu w 2016 r. doszło do śmierci na komisariacie 25-letniego mężczyzny zatrzymanego przez funkcjonariuszy, którzy kilkakrotnie użyli w stosunku do zatrzymanego paralizatora elektrycznego.

Podjęto również prace nad stworzeniem specjalnych materiałów zapewniających ochronę przed bronią rażącą prądem elektrycznym. Przykładem może być opatentowana przez G2 Consulting z USA tkanina poliestrowa o nazwie Thor Shield zawierająca materiał przewodzący [5].

2. BADANIA PARALIZATORÓW ELEKTRYCZNYCH ORAZ OCENA INTENSYWNOŚCI PRĄDÓW RAŻENIA

Wzrost liczby śmiertelnych przypadków użycia przez policję paralizatorów, wyposażonych w wystrzeliwane elektrody, zainicjował w ostatnich latach liczne dyskusje dotyczące prawidłowości i zasadności użycia tego rodzaju urządzeń, lecz przede wszystkim przyczynił się do podjęcia prac nad opracowaniem właściwej procedury badania paralizatorów elektrycznych i oceny intensywności rażenia prądów generowanych przez te urządzenia oraz ograniczenia w przyszłości negatywnych skutków ich użycia w stosunku do obezwładnianych osób [1, 3, 6, 7, 8]. Rzadko jednak badaniom poddawane są powszechnie dostępne w sprzedaży paralizatory bezpośrednie, które również stanowić mogą realne zagrożenie dla zdrowia i życia osób. Urządzenia te nie zawsze są poddawane badaniom przez kompetentne laboratoria, a o potencjalnej intensywności generowanych przez nie prądów mogą świadczyć jedynie parametry techniczne tych urządzeń określane przez ich producentów.

Podstawowym układem przeznaczonym do przeprowadzania pomiarów parametrów elektrycznych paralizatorów jest układ zamknięty, w którym do elektrod badanego urządzenia przyłącza się obciążenie w postaci rezystora symulującego zamknięcie obwodu elektrycznego przez ciało człowieka. Stosowane są tym celu rezystory bezindukcyjne o rezystancji wynoszącej najczęściej $R_o = 600 \Omega$ [6, 7, 9], przy czym jej wartość w zakresie od 250Ω do 1000Ω nie ma zasadniczego wpływu na kształt przebiegu oraz wartości mierzonego prądu rażenia, wytwarzanego przez badany paralizator [1, 9]. Na rysunku 1 przedstawiony został schemat układu pomiarowego przeznaczonego do badań intensywności rażenia paralizatorów. Zastosowane oznaczenia literowe określają odpowiednio: CEW - badane urządzenie (ang. conducted energy weapon), CP - sonda prądowa (ang. current probe), VP - sonda napięciowa (ang. voltage probe), DAQ - układ akwizycji danych pomiarowych (ang. data acquisition board), DA - układ analizy danych (ang. data analysis).



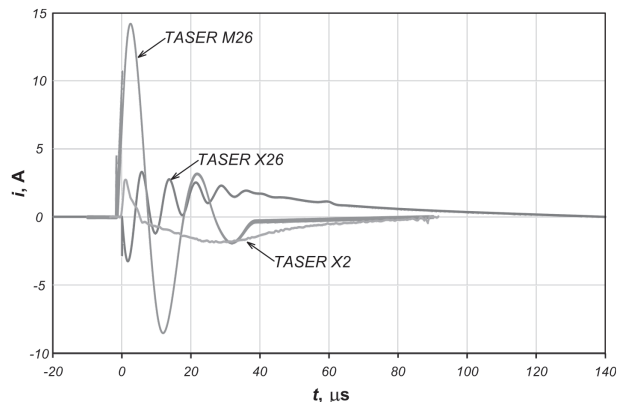
Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do badań intensywności rażenia paralizatorów [1]

Wartość maksymalną napięcia impulsów generowanych przez paralizatory określa się w układzie otwartym (bez stosowania rezystora R_o), dokonując pomiaru różnicowego napięcia na elektrodach paralizatora wykorzystując w tym celu dwie sondy wysokonapięciowe [1, 9].

Charakter zmian prądów rażenia generowanych przez paralizatory determinuje zasadnicze wymagania odnoszące się do poszczególnych elementów układu pomiarowego. Zastosowany układ akwizycji danych powinien być wyposażony w co najmniej 8-bitowy przetwornik A/C i umożliwiać ciągłą rejestrację serii impulsów wytwarzanych przez paralizator z próbkowaniem co najmniej 2 MS/s oraz pasmem co najmniej 1 MHz. Natomiast sonda prądowa winna zapewniać prawidłowe odwzorowanie składowych DC i AC sygnału o wartościach szczytowych do 30 A w paśmie co najmniej 10 MHz [9].

Poszczególne modele paralizatorów oferowanych przez ich producentów mogą znacznie różnić się charakterem zmian generowanych prądów rażenia. Jako przykład na rysunku 2 przedstawiony został wykres wartości chwilowych prądów rażenia paralizatorów TASER M26, TASER X26 i TASER X2 wyposażonych w wymienne kartridże z wystrzeliwanymi elektrodami.

Do charakteryzowania prądów rażenia wytwarzanych przez paralizatory stosuje się szereg parametrów i wskaźników. Wśród podstawowych z nich wyróżnić należy: wartość maksymalną prądu, różnicę pomiędzy wartościami minimalną i maksymalną prądu, wartości średnią oraz skuteczną prądu, czas pomiędzy impulsami oraz ich częstotliwość, częstotliwość powtarzania impulsów, całkowity czas trwania impulsów a także ładunek i energię przekazywane do obciążenia R_o [1, 3, 6, 7, 9, 10].



Rys. 2. Wartości chwilowe prądów rażenia generowanych przez paralizatory TASER M26, TASER X26 i TASER X2 [3]

Zasadniczym parametrem decydującym o możliwości wystąpienia zjawiska migotania komór serca spowodowanego przepływem przez organizm ludzki impulsowego prądu rażenia pochodzącego od paralizatora, jest całkowity ładunek Q :

$$Q = \int |I| dt. \quad (1)$$

Zgodnie z [7] ocenę skutków rażenia spowodowanego przepływem przez ciało człowieka prądu rażenia generowanego przez paralizator można dokonać w sposób analogiczny do zaleceń zawartych w normie [10]. Wyznaczając wartość ekwiwalentu ładunku dla czasu trwania pojedynczego impulsu t_{imp} zgodnie ze wzorem (2) [7]:

$$Q_{t_{imp}} = Q_{1ms} \cdot t^{0,28}, \quad (2)$$

możliwe jest jego odniesienie do trzech wartości granicznych ładunku wynoszących odpowiednio:

$$\begin{aligned} Q_{1ms,C1} &= 1350 \mu C, \\ Q_{1ms,C2} &= 2700 \mu C, \\ Q_{1ms,C3} &= 4320 \mu C \end{aligned} \quad (3)$$

i odpowiadających następującym wartościom progowym zależnym od prawdopodobieństwa wystąpienia zjawiska migotania komór serca: C1 - brak zagrożenia wystąpienia migotania komór serca; C2 - ryzyko migotania komór serca wynoszące 5%; C3 - ryzyko migotania komór serca wynoszące 50% [1, 10].

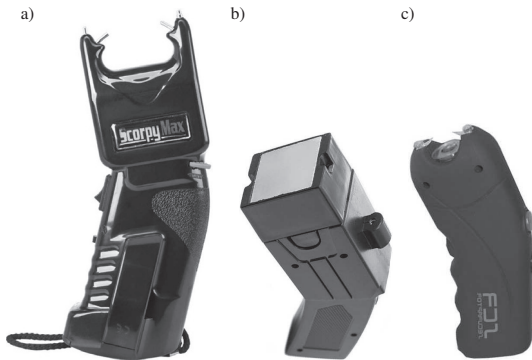
Należy jednak podkreślić, iż zawarte w normie [10] zalecenia odnoszą się do oceny ryzyka wystąpienia zjawiska migotania komór serca i zostały wskazane dla przypadku przepływu prądu przez organizm człowieka na drodze od lewej ręki do stóp. Natomiast na skutek użycia paralizatora, przepływający przez ciało człowieka prąd rażenia nie płynie dokładnie w sposób określony w normie i może również przepływać w okolicach bezpośrednio sąsiadujących z sercem, w zależności od sposobu oddania strzału, czy też miejsca przyłożenia paralizatora.

Natomiast zgodnie z art. 11 pkt 7) ustawy o broni i amunicji [11] jedynym parametrem, na podstawie którego rozstrzyga się o konieczności posiadania pozwolenia na broń jest średnia wartość prądu w obwodzie urządzenia. W przypadku przedmiotów przeznaczonych do obezwładniania osób za pomocą energii elektrycznej

o średniej wartości prądu w obwodzie nieprzekraczającej 10 mA, nie jest wymagane posiadanie pozwolenia na broń i urządzenia te są powszechnie dostępne w sprzedaży.

3. WYNIKI BADAŃ

Autorzy przeprowadzili badania zarówno nowych, jak również używanych egzemplarzy wybranych z dostępnych na rynku paralizatorów. W dalszej części artykułu przedstawione zostały wyniki badań trzech typów paralizatorów: ESP Scorpy Max, Fire Taser i Securaptor Chingo. Widok badanych paralizatorów został przedstawiony na rysunku 3.

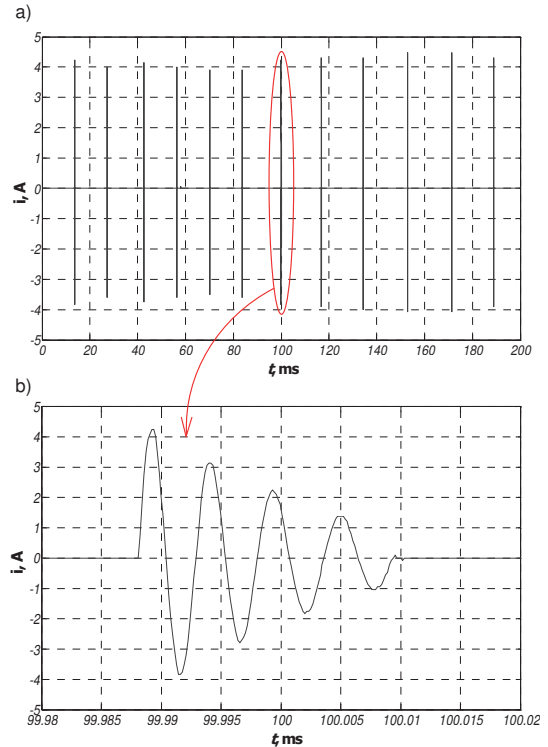


Rys. 3. Widok badanych paralizatorów: a) ESP Scorpy Max [12], b) Fire Taser [13], c) Securaptor Chingo [14]

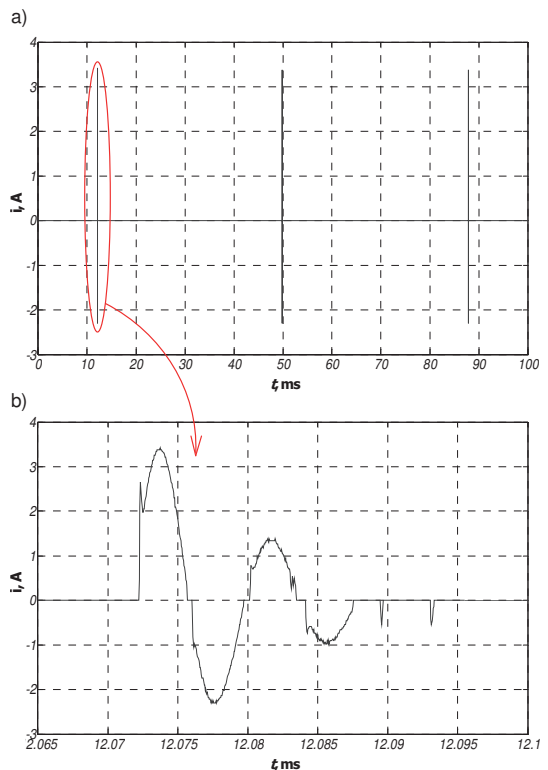
Według danych katalogowych producenta paralizator bezpośredni ESP Scorpy Max generuje impulsy o napięciu 500 kV, energia wyładowania wynosi 45 mJ, natomiast średnia wartość prądu w obwodzie paralizatora wynosi 9,9 mA [12]. Urządzenie zasilane jest dwoma bateriami alkalicznymi typu 6LR61 i wyposażone zostało w miotacz gazu pieprzowego. Konstrukcja drugiego z badanych urządzeń wzorowana jest na paralizatorze Taser C2 i oprócz trybu bezpośredniego pozwala na użycie paralizatora w trybie bezkontaktowym po wystrzeleniu elektrod, których zasięg wynosi 4,5 m. Paralizator ma wymienne kartridże z elektrodami i wyposażony jest m.in. w wewnętrzny akumulator i celownik laserowy. Według informacji producenta urządzenia, napięcie wytwarzane przez paralizator wynosi 2500 kV. Brak jest informacji dotyczących energii wyładowania oraz natężenia prądu w obwodzie urządzenia [13]. Natomiast paralizator Securaptor Chingo jest niewielkim i prostym paralizatorem bezpośrednim wyposażonym w akumulator wewnętrzny. Również w przypadku tego paralizatora próżno szukać jakichkolwiek informacji dotyczących energii wyładowania, bądź też prądu generowanego przez urządzenie [14].

Pomiary i rejestrację wartości chwilowych prądów generowanych przez badane urządzenia przeprowadzono z wykorzystaniem oscyloskopu cyfrowego Tektronix MDO3014 oraz sondy prądowej Tektronix TCP0030A. Zastosowana sonda pomiarowa cechuje się pasmem częstotliwościowym z zakresu od 0 do 120 MHz i pozwala na pomiar prądów w dwóch zakresach: do 5 A i do 30 A, z możliwością pomiaru prądów o maksymalnej wartości chwilowej do 50 A przy zapewnieniu dokładności pomiaru nie gorszej niż 1%. Wartości chwilowe mierzonych prądów rażenia zostały zarejestrowane z próbkowaniem wynoszącym 25 MS/s.

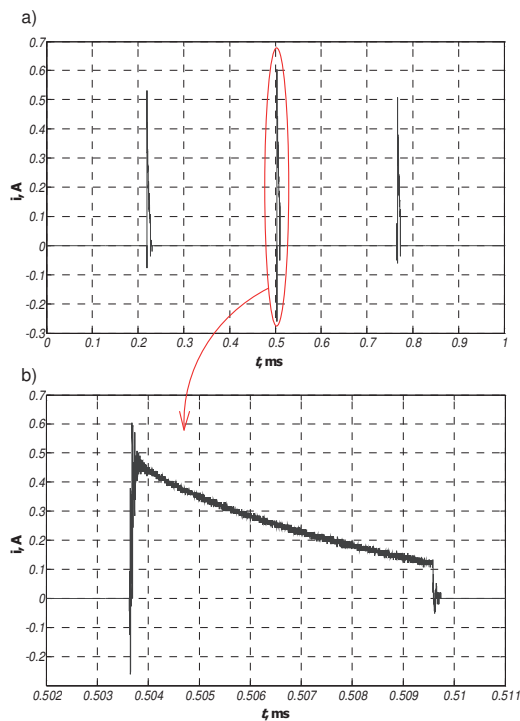
Na rysunkach 4 – 6 przedstawione zostały wykresy wartości chwilowych prądów rażenia badanych paralizatorów w postaci fragmentów ciągu impulsów, jak również reprezentatywnych pojedynczych impulsów w przypadku obciążenia $R_o = 600 \Omega$.



Rys. 4. Wartości chwilowe prądu rażenia paralizatora ESP Scorpy Max: a) cykl impulsów, b) pojedynczy impuls



Rys. 5. Wartości chwilowe prądu rażenia paralizatora Fire Taser: a) cykl impulsów, b) pojedynczy impuls



Rys. 6. Wartości chwilowe prądu rażenia paralizatora Securaptor Chingo: a) cykl impulsów, b) pojedynczy impuls

Na podstawie zarejestrowanych danych pomiarowych wyznaczone zostały wartości następujących parametrów charakteryzujących działanie oraz intensywność rażenia badanych paralizatorów: liczba impulsów n , czas trwania t_{imp} oraz częstotliwość f pojedynczego impulsu, czas pomiędzy impulsami t , wartości: średnią I_{av} , minimalną I_{min} , maksymalną I_{max} i skuteczną I prądu rażenia oraz różnicę wartości szczytowych $I_p = I_{max} - I_{min}$, wartości skuteczną I_{imp} i średnią $I_{av imp}$ pojedynczego impulsu, jak również określone dla pojedynczego impulsu wartości ładunków elektrycznych: dodatniego Q_p , ujemnego Q_N oraz całkowitego ładunku elektrycznego Q . Uzyskane wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabeli 1.

Wyznaczono również graniczne wartości ekwiwalentu ładunku Q dla poszczególnych progów C1, C2 i C3 wskazanych w normie [10] oraz czasów trwania impulsów dla każdego z badanych paralizatorów. Uzyskane wyniki obliczeń zestawione zostały w tabeli 2.

Tabela 1. Wyniki pomiarów parametrów charakteryzujących intensywność rażenia badanych paralizatorów

Parametr	Jednostka	Typ paralizatora		
		Scorpy Max	Fire Taser	Securaptor Chingo
Liczba impulsów, n	imp./s	62,8	26,4	3650
Czas trwania pojedynczego impulsu, t_{imp}	μ s	21,8	15,4	6,04
Częstotliwość impulsu, f	kHz	188,0	129,9	165,7
Czas pomiędzy impulsami, t	ms	15,9	37,9	0,274
Wartość średnia prądu, I_{av}	mA	0,118	0,0862	6,08
Wartość skuteczną prądu, I	mA	68,7	31,9	41,8
Wartość minimalna prądu, I_{min}	A	-3,84	-2,30	-0,260
Wartość maksymalna prądu, I_{max}	A	4,24	3,42	0,604
Różnica wartości szczytowych prądu, I_p	A	8,08	5,72	0,864
Wartość średnia impulsu, $I_{av imp}$	mA	73,5	222	257
Wartość skuteczną impulsu, I_{imp}	A	1,89	1,59	0,277
Dodatni ładunek elektryczny impulsu, Q_p	μ C	17,5	11,60	1,55
Ujemny ładunek elektryczny impulsu, Q_N	μ C	15,9	8,18	0,01
Całkowity ładunek elektryczny impulsu, Q	μ C	33,4	19,78	1,56

Tabela 2. Wartości ekwiwalentu ładunku dla czasu trwania pojedynczego impulsu t_{imp} dla każdego z badanych paralizatorów

Typ paralizatora	t_{imp} [μ s]	$Q_{imp,c1}$ [μ C]	$Q_{imp,c2}$ [μ C]	$Q_{imp,c3}$ [μ C]
Scorpy Max	21,8	462	925	1480
Fire Taser	15,4	420	839	1343
Securaptor Chingo	6,04	323	646	1033

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, iż charakter zmian oraz wartości maksymalne prądów rażenia paralizatorów ESP Scorpy Max i Fire Taser są widocznie zbliżone do przebiegu prądu generowanego przez urządzenie TASER X26 (rys. 2, 4 i 5). Wyznaczone wartości średnie prądów rażenia badanych paralizatorów są wielokrotnie mniejsze od wartości 10 mA określonej w ustawie [11]. Również wyznaczone wartości całkowitego ładunku elektrycznego impulsu Q (tabela 1) są wielokrotnie mniejsze od adekwatnych wartości ekwiwalentu ładunku Q określonych na podstawie rzeczywistego czasu trwania pojedynczego impulsu t_{imp} dla każdego z badanych urządzeń (tabela 2). Należy zauważyć, iż prąd wytwarzany przez paralizator Securaptor Chingo, pomimo iż cechuje się kilkukrotnie mniejszą wartością maksymalną i minimalną od prądów pozostałych dwóch paralizatorów, charakteryzuje się największą wartością średnią wynoszącą 6,08 mA (tabela 1), ponieważ w przypadku wystąpienia impulsu prądowego, wartości chwilowe prądu są niemal zawsze większe od zera (rys. 6). Całkowity ładunek elektryczny Q przekazywany przez impuls prądu paralizatora Securaptor Chingo do obciążenia jest odpowiednio ok. 12-krotnie i 21-krotnie mniejszy w porównaniu z analogicznym ładunkiem elektrycznym Q w przypadku urządzeń ESP Scorpy Max i Fire Taser.

Wskazana w ustawie [11] średnia wartość prądu w obwodzie paralizatora nie pozwala na obiektywne określenie intensywności rażenia spowodowanej przepływem prądu impulsowego przez ciało człowieka. Właściwym jest posłużenie się całkowitym ładunkiem pojedynczego impulsu lub cyklu impulsów, bądź też energią wyładowania wytworzonego przez paralizator.

Skutki oddziaływania na człowieka prądu generowanego przez paralizator zależą nie tylko od charakteru zmian prądu rażenia, wartości charakterystycznych dla niego parametrów oraz czasu trwania oddziaływania, lecz w istotnym stopniu uzależnione są od miejsca oddziaływania i indywidualnych cech oraz stanu osoby poddanej oddziaływaniu: stanu jej zdrowia, wieku, przebytych chorób, pozostawania pod wpływem alkoholu, narkotyków lub innych środków psychoaktywnych.

5. BIBLIOGRAFIA

- Gała M., Jąderko A.: Pomiary parametrów elektrycznych charakteryzujących intensywność rażenia wybranych typów paralizatorów. Przegląd Elektrotechniczny, R. 93, Nr 1/2017, s. 145-148.
- Plumbaum K.: Przedmioty przeznaczone do obezwładniania osób za pomocą energii elektrycznej. Szkoła Policji w Słupsku, Słupsk 2015

3. The Health Effects of Conducted Energy Weapons. Council of Canadian Academies, Ottawa 2013, ISBN 978-1-926558-64-6
4. Trimel S.: Amnesty International Urges Stricter Limits on Police Taser Use as U.S. Death Toll Reaches 500. <http://www.amnestyusa.org/news/press-releases/amnesty-international-urges-stricter-limits-on-police-taser-use-as-us-death-toll-reaches-500>, 11.05.2017 r.
5. Materiały informacyjne firmy G2 Consulting, <http://www.thorshield.com>, 10.05.2017 r.
6. Adler A., Dawson D., Evans R., Garland L., Miller M., Sinclair I., Youmaran R.: Toward a Test Protocol for Conducted Energy Weapons. Modern Instrumentation, 2013, 2, pp. 7-15.
7. Dawson D., Maimaitijiang Y., Adler A.: Development of Performance Calibration System for X-26 Tasers, Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), 2010 IEEE International Workshop, Ottawa April 30 2010-May 1 2010, ISBN 978-1-4244-6288-9, pp. 107-112.
8. Panescu D, Kroll M, Brave M.: Cardiac Fibrillation Risks with TASER Conducted Electrical Weapons. 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2015, Milan, Italy, August 25-29, 2015, pp. 323-329.
9. Wood D., Bray J.R., Simms B.: Technical Performance Testing of Conducted Energy Weapons. Defence R&D Canada – CSS, Technical Report DRDC CSS TR 2013-025, October 2013.
10. IEC TS 60479-2:2007 Effects of current on human beings and livestock. Part 2. Special aspects.
11. Ustawa z dnia 21 maja 1999 r. o broni i amunicji (Dz. U. z 2012, poz. 576 - tekst jednolity).
12. Dane techniczne i właściwości paralizatora ESP Scorpy Max, <http://esppoland.com/product-pol-106060-Paralizator-ESP-z-gazem-SCORPY-MAX.html>, 12.05.2017 r.
13. Dane techniczne i właściwości paralizatora Fire Taser, <http://www.protarget.com.pl/product-pol-3768-Paralizator-wielofunkcyjny-odleglosciowy-Fire-Taser.html>, 12.05.2017 r.
14. Dane techniczne i właściwości paralizatora Securaptor Chingo, <http://paralizator.com/paralizator-securaptor-chingo-2-5-miliona-woltow-p128>, 12.05.2017 r.

Podziękowania

Autorzy artykułu składają podziękowanie firmie KOLTER - właścicielowi sklepu bron.pl za udostępnienie paralizatora ESP Scorpy Max w celu przeprowadzenia badań.

MEASUREMENTS OF ELECTRICAL PARAMETERS OF CONDUCTED ENERGY WEAPONS

The article describes the rules for measuring electrical parameters of conducted energy weapons as well as defines the requirements for the use of applied measurement systems. The types of conducted energy weapons were discussed. Selected results of the research obtained during closed - loop measurements with the use of Tektronix MDO3014 digital oscilloscope and Tektronix TCP0030A current probe for three types of commonly available direct conducted energy weapons: ESP Scorpy Max, Fire Taser and Securaptor Chingo were presented. The paper also presents recorded instantaneous values of shock currents generated by the tested weapons and values of determined parameters characterizing their intensity of electric shock. It has been found that the determined average values of the shock currents of the tested weapons are many times lower than the 10 mA value specified in the Weapons and Ammunition Act. Based on the determined values of the electric charge transferred to the load in the measuring system it was stated that the use of the tested weapons should not lead to the occurrence of cardiac ventricular fibrillation caused by the flow of impulse shock current from the examined devices through the human body.

Keywords: conducted energy weapon, pulse current, electrical parameters of conducted energy weapon.

