

doi:10.15199/48.2019.11.33

## Wyniki badań podatności wybranych urządzeń na wyładowania elektryczne - wnioski

**Streszczenie.** Realizacja wyładowania elektrostatycznego przeprowadzana jest na dwa sposoby wg. normy PN-EN 61000-4-2 [1]. Wyładowanie może odbywać poprzez kontakt końcówki generatora ESD z powierzchniami przewodzącymi badanego urządzenia (złącza wejściowe i wyjściowe, zasilające, teletransmisyjne, itd. oraz metalową obudowę). Drugim rodzajem jest wyładowanie powietrzne stosowane wtedy, gdy nie ma możliwości podania wyładowań poprzez kontakt do szczelin i otworów, a także powierzchni izolujących, wykorzystując zaokrągloną końcówkę rozładowczą.

**Abstract.** The implementation of electrostatic discharge is carried out in two ways according to PN-EN 61000-4-2 standards: discharge by contact of the ESD generator tip with conducting surfaces of the tested device (connectors, metal casing), air discharge used when there is no possibility of giving discharges through contact with gaps and openings, as well as insulating surfaces, using a rounded discharge end. **(Research results of selected equipment on electrostatic discharge - conclusions).**

**Słowa kluczowe:** wyładowania elektrostatyczne, systemy elektroniczne, zjawisko indukcji elektrostatycznej, kompatybilność.

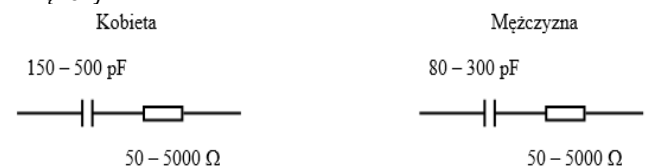
**Keywords:** electrostatic discharges, electronic systems, phenomenon of electrostatic induction, compatibility.

### Wstęp

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z wynikami badań oddziaływania wyładowań elektrostatycznych – ESD na elementy, urządzenia i systemy elektryczne oraz szczególnie elektroniczne. Występowanie elektryczności statycznej powoduje także niekorzystne oddziaływanie na organizm ludzki. Ponadto, jej obecność jest dość często przyczyną zagrożeń pożarowo – wybuchowych [1,2,3]. Stanowi także poważne źródło zakłóceń w przebiegu procesów technologicznych oraz w pracy aparatury kontrolnej i pomiarowej, np. systemy informacyjno - pomiarowe, komputerowe, bezpieczeństwa, a także urządzenia sterujące, itd. [4,5,6,7]. Określenie stanu zagrożenia elektrycznością statyczną dla danego urządzenia (systemu) umożliwiają kryteria odnoszące się do stopnia naelektryzowania się danego ciała (urządzenia) w danym ośrodku (środowisku). Jest to określane przez: zgromadzony ładunek, natężenie pola elektrycznego lub napięcie elektrostatyczne. Podobne informacje wiążą się z kryteriami które określają energię tych wyładowań elektrostatycznych. Ładunek elektrostatyczny zgromadzony na ciele człowieka może wywierać niekorzystne działania biologiczne poprzez ekranowanie dostępu naturalnych pól elektrycznych i magnetycznych do organizmu człowieka [5,8,9]. Odpowiedzialnym za to jest tzw. efekt polowy, który polega na długotrwałym oddziaływaniu bardzo silnego pola elektrycznego, związanego z obecnością ładunku elektrostatycznego na materii ożywionej. Może on być przyczyną: odczucia bólu w kończynach dolnych i górnych (lub też na całym ciele), uczucie zmęczenia lub nadpobudliwości, bóle głowy, niepokój, nadmierne pocenie się, bezsenność, wzrost krzepliwości krwi i zakłócenia tzw. metabolizmu ustrojowego. Drugim, bardziej odczuwalnym oddziaływaniem biologicznym, jest wyładowanie elektrostatyczne. Wyładowania elektrostatyczne mają miejsca: w obszarach gdzie występuje bardzo silne pole elektrostatyczne, lub też podczas zbliżania do siebie dwóch ciał: naelektryzowanego i nienaelektryzowanego. Odczuwalnym wynikiem wyładowania elektrostatycznego może być uczucie ukłucia lub bólu w miejscu wyładowania, wywołane krótkotrwałym przepływem prądu przez organizm ludzki. Niekorzystne oddziaływanie elektryczności statycznej na organizm ludzki występuje po przekroczeniu pewnych wartości krytycznych parametrów:

- rezystywność skrośna tworzywa  $\rho_v > 10^7 \Omega\text{m}$ , powierzchniowa  $\rho_s > 10^{10} \Omega/\square$ ;
- napięcie na powierzchni tworzywa  $U > 2 \cdot 10^2 \text{ V}$ ;
- energia wyładowania  $w_w > 1 \text{ mJ}$ ;
- rezystancja upływu ciała człowieka  $R_u > 10^9 \Omega$ ;
- napięcie elektrostatyczne wytworzone na ciele człowieka powyżej  $U > 10^3 \text{ V}$  [8].

Oprócz tego, istotne znaczenie dla efektu wyładowania mają parametry elektryczne człowieka, które jak przedstawiono na rys. 1 są zróżnicowane dla kobiet i mężczyzn.



Rys. 1. Parametry elektryczne człowieka wpływające na wyładowanie elektrostatyczne.

Silne odczucie przez człowieka wyładowania elektrostatycznego do uziemionego punktu wiąże się z przepływem prądu rozładowania około 70 A w bardzo krótkim czasie, około 30 ns. Ładunek elektrostatyczny zgromadzony na ciele ludzkim może wytwarzać potencjał (napięcie) rzędu od 20 kV do 35 kV. Takie sytuacje mogą powstać podczas noszenia odzieży z tworzyw sztucznych, obuwiu na izolacyjnych spodach oraz przy chodzeniu po dywanach i wykładzinach z tworzyw sztucznych.

Tabela 1. Poziomy i punkty narażeń podczas wyładowań elektrostatycznych (ESD) [9]

Badane urządzenie	Punkt narażeń	Miejsce narażeń	Rodzaj wyładowania <sup>1)</sup>	Poziom narażeń kV
Lampa oświetleniowa LED	1	Obudowa lampy	WK	± 6
	2	Obudowa lampy	WP	± 8
	3	Płaszczyzna na HCP	WK	± 6
	4	Płaszczyzna na VCP	WK	± 6

gdzie: <sup>1)</sup> WK – wyładowanie kontaktowe, <sup>2)</sup> WP – wyładowanie powietrzne.

Tabela 2. Wykaz aparatury pomiarowej wykorzystywanej podczas badania odporności na wyładowania elektrostatyczne (ESD)

Przyrząd pomiarowy	Typ	Nr fabryczny	Producent
Generator wyładowań elektryczności statycznej	ESD 30N	V10151006278	EM Test
Zewnętrzny pistolet ESD	P30N	V1015106279	EM Test
Pionowa płaszczyzna sprzęgająca VCP	-	-	AMETEK
Pozioma płaszczyzna sprzęgająca HCP	-	-	-
Rezystory rozładowcze 470 kΩ	-	-	-
Termohigrometr z panelem odczytowym	LB-715 LB-755/A	205 332	LAB-EL
Oscyloskop cyfrowy	RTO 1022	400006	Rohde&Schwarz
Zasilacz laboratoryjny	PSB-1800M	GES140583	GW INSTEK



Rys.2. Narażane punkty podczas wyładowań ESD lampy oświetleniowej LED



Rys. 3 Wyładowanie kontaktowe przykładane do płaszczyzny sprzęgającej VCP

### Badanie podatności na ESD lampy oświetleniowej typu LED

Badanie odporności na wyładowania elektrostatyczne (ESD) przeprowadzono dla lampy oświetleniowej typu LED zgodnie z normą PN-EN 61000-4-2 [9]. Poziomy narażeń zostały przyjęte według normy PN-EN 50121-3-2 [10] – tabela 1.

Przeprowadzono testy metodą wyładowczą WK i WP do punktów narażeń przedstawionych na rysunku 2 oraz do płaszczyzn sprzęgających VCP i HCP – rys. 3, 4. Badania przeprowadzono przy użyciu wzorcowanej aparatury pomiarowej – wykaz tabela 2.



Rys. 4 Wyładowanie kontaktowe przykładane do płaszczyzny sprzęgającej HCP



Rys. 5. Stanowisko do badań odporności na wyładowania elektrostatyczne (ESD)

### Ocena wyników badań odporności na wyładowania elektrostatyczne (ESD)

Wyniki badań odporności na wyładowania elektrostatyczne (ESD) należy ocenić pod względem utraty funkcji, bądź pogorszenia jakości działania badanego urządzenia – w tym wypadku lampa oświetleniowa LED. Poziom działania urządzenia lub systemu określa producent w odpowiedniej dokumentacji, charakteryzując sposób weryfikacji poprawności pracy urządzenia przed, w trakcie i po badaniu.

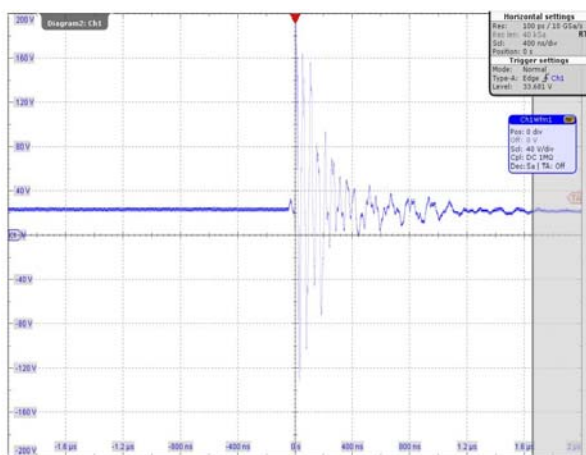
Ocena wyników badań odporności jest dokonywana w sposób binarny, oraz za pomocą odpowiednich kryteriów, które precyzują dopuszczalne reakcje urządzenia poddawanego narażeniom w trakcie badań:

- **kryterium A** – urządzenie powinno pracować zgodnie z przeznaczeniem, przed, w trakcie i po narażeniach. Nie dopuszcza się żadnej zmiany jego parametrów technicznych, bądź utraty funkcjonalności do poziomów niższych niż określone przez producenta,
- **kryterium B** – urządzenie powinno działać zgodnie z przeznaczeniem po zakończeniu badań. W trakcie przeprowadzania testów, dopuszcza się chwilową utratę funkcjonalności lub innych parametrów, lecz urządzenie samoczynnie musi wrócić do właściwego stanu, bez ingerencji użytkownika,
- **kryterium C** – urządzenie może utracić swoją funkcjonalność oraz parametry techniczne w trakcie

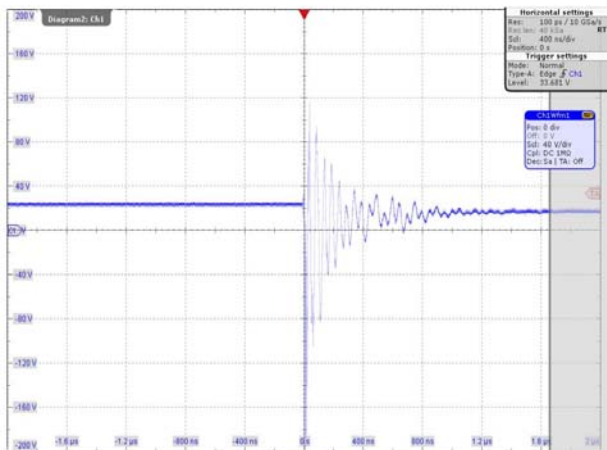
narażeń, jednak po ingerencji użytkownika EUT powinno wrócić do właściwego stanu [10,11,12].

Dopuszczalne poziomy narażeń określone są przez normy dla konkretnego środowiska (przemysłowe, mieszkalne, kolejowe itp.), natomiast metodyka pomiarów jest taka sama dla wszystkich środowisk. W środowisku kolejowym obowiązują normy PN-EN 50121-3-2 [10], PN-EN 50121-4 [11], PN-EN 50121-5 [12] zawierające dopuszczalne poziomy narażeń. Normy te precyzują także kryterium oceny jakie musi spełniać urządzenie dla konkretnego badania.

Podczas badania ESD za pomocą oscyloskopu i sondy napięciowej obserwowano poziom napięcia wejściowego zobrazowany na rysunku 6 i 7. W czasie impulsu prądowego dla wyładowania kontaktowego +6 kV zaobserwowano impulsowe skoki napięcia o amplitudzie do  $U = 200$  V i czasie trwania  $t_i = 40$  ns. Skutkiem narażenia obiektu była zmiana jasności świecenia diod led podczas przykładania narażeń. Przeprowadzona ocena wyników badań pozwala zaklasyfikować badane urządzenie do kryterium działania typu B.



Rys. 6. Poziom napięcia wejściowego w czasie wyładowania ESD, +6kV



Rys. 7. Poziom napięcia wejściowego w czasie wyładowania ESD, -6kV

## Wnioski

Wyładowania elektrostatyczne często mają szkodliwy wpływ na przyrządy półprzewodnikowe oraz pracę urządzeń elektronicznych. Bardzo ważne jest odpowiednie zabezpieczenie układów elektronicznych przed tego typu wyładowaniami, ponieważ ich brak może mieć niszczące skutki poprzez pogorszenie parametrów przyrządów półprzewodnikowych, przerwanie cienkich struktur przewodzących – przejście w stan zawodności bezpieczeństwa (niezdatność). Efektem wymienionych

niepożądanych działań będzie utrata funkcjonalności urządzenia [4,7,13,14]. Na bezpieczeństwo użytkownika wpływają szczególnie wtedy, gdy dochodzi do uszkodzeń lub zaburzenia działania urządzeń sterujących procesami technologicznymi, układami bezpieczeństwa, urządzeniami sterowania ruchem kolejowym (SRK), itp. Ochrona antystatyczna urządzeń, systemów elektronicznych oraz przyrządów półprzewodnikowych jest obecnie ważnym problemem podczas konstruowania w/w elementów dla krajów rozwiniętych technologicznie, w których duży nacisk stawiany jest na miniaturyzację układów i systemów elektronicznych [4].

**Autorzy:** dr hab. inż. Jacek Paś, prof. WAT, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 01-476 Warszawa, E-mail: [jacek.pas@wat.edu.pl](mailto:jacek.pas@wat.edu.pl); mgr inż. Patryk Wetoszka, Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji, ul. J. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, E-mail: [pwetoszka@ikolej.pl](mailto:pwetoszka@ikolej.pl); mgr inż. Kamil Białek, Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji, ul. J. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, E-mail: [kbialek@ikolej.pl](mailto:kbialek@ikolej.pl).

## LITERATURA

- [1] Duer S., Scaticailov S., Paś J., Duer R., Bernatowicz D.: Taking decisions in the diagnostic intelligent systems on the basis information from an artificial neural network, 22nd International Conference on Innovative Manufacturing Engineering and Energy - IManE&E 2018, MATEC Web of Conferences 178, pp.1-6; MATEC Web Conf.; Volume 178, 2018.
- [2] Klimczak T., Paś J.: Analysis of reliability structures for fire signaling systems in the field of fire safety and hardware requirements, *Journal of KONBIN*, 2018, tom 46, pp. 191-214.
- [3] Dziula P., Paś J.: Low Frequency Electromagnetic Interferences Impact on Transport Security Systems Used in Wide Transport Areas, *TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Volume 12, Number 2, June 2018, pp. 251-258.
- [4] Z. Grabarczyk, Elektryczność Statyczna – Zagrożenia i Skutki Narażenia, *Archiwum CIOP*.
- [5] Białek K., Paś J.: Analysis of the electromagnetic environment on a large railway are, *Biuletyn WAT*, pp. 53-63, ISSN 1234-5865, nr tomu 67(1)/2018.
- [6] Krzykowski M., Paś J., Rosiński A.: Assessment of the level of reliability of power supplies of the objects of critical infrastructure, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 214 (2019) 012018. pp. 1-9.
- [7] Paś J., Rosiński A.: Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference, *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, Vol.19, No. 3, 2017 I, pp. 375-381.
- [8] Białek K., Paś J.: Exploitation of selected railway equipment - conducted disturbance emission examination, *DIAGNOSTYKA*, 2018, Vol. 19, No. 3, pp. 29-35.
- [9] PN-EN 61000-4-2:2011 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-2: Metody badań i pomiarów – Badanie odporności na wyładowania elektrostatyczne.
- [10] PN-EN 50121-3-2:2017-04 Zastosowania kolejowe - Kompatybilność elektromagnetyczna - Część 3-2: Tabor – Aparatura.
- [11] PN-EN 50121-4:2017-04 Zastosowania kolejowe - Kompatybilność elektromagnetyczna - Część 4: Emisja i odporność urządzeń sterowania ruchem kolejowym oraz telekomunikacji.
- [12] PN-EN 50121-5:2017-05 Zastosowania kolejowe - Kompatybilność elektromagnetyczna - Część 5: Emisja i odporność aparatury oraz urządzeń stacjonarnych systemu zasilania energią.
- [13] Białek K., Paś J.: Badanie emisji zaburzeń promieniowanych pojazdów szynowych w trakcji wielokrotnej, ISSN 1232-3829, pp. 738-742, *Technika Transportu Szynowego*, TTS, 12/2017.
- [14] Wetoszka P., Paś J., D. Laskowski: Electromagnetic compatibility in selected electronic devices security systems - preliminary tests, *Elektronika*, Wyd. Sigma-NOT, 8/2018, pp. 1 - 8.