

## *Fires from electrical initiators and released chemicals from combustible materials*

# Požary spowodowane zapłonem elektrycznym i uwolnieniem substancji chemicznych z materiałów palnych

DOI: 10.15199/62.2024.3.13

Podano informacje techniczne dotyczące przyczyn pożarów w budynkach mieszkalnych. W szczególności przedstawiono najczęstsze uchybienia odnotowane podczas inspekcji przeciwpożarowych w budynkach mieszkalnych, substancje chemiczne uwalniane podczas pożarów, ocenę ryzyka związanego z zapłonem elektrycznym oraz wskaźniki tolerowanego ryzyka.

**Słowa kluczowe:** pożary w budynkach, substancje uwalniane podczas pożarów, wskaźniki tolerowanego ryzyka

*A tech. information on reasons of fires in residential buildings. In particular, the most common deficiencies in fire inspections in apartment buildings, chem. substances released during the fires, assessment of risks from elec. initiators and the rates of tolerable risk were presented.*

**Keywords:** fires in buildings, chemicals released during the fires, rates of tolerable risk

Sprzęt elektryczny w budynkach mieszkalnych może być przyczyną takich zjawisk i procesów, jak iskrzenie elektryczne, zwarcia, wzrost rezystancji przejściowej, usterki urządzeń i tzw. przepięcia. Wyrwane gniazdka, kable przyciśnięte meblami i poluzowane rozdzielnice mogą spowodować nieprawidłowe działanie łuku elektrycznego z iskrzeniem, a w konsekwencji pożar. Podczas pożaru trujące chemikalia uwalniana się z tworzyw sztucznych, mebli, dywanów, podłóg z PVC i innych łatwo palnych substancji w mieszkaniach. Materiał izolacyjny (na kablach i w gniazdach) przekształca się w węgiel. Staje się przewodnikiem, przez który przepływa część prądu, a następnie izolacja kabla i gniazdko zaczynają się palić, co również jest przyczyną pożarów.

Požary w budynkach mieszkalnych stanowią dużą część statystycznie zarejestrowanych pożarów<sup>1)</sup> (tabela 1).

*The electrical equipment in apartment buildings is responsible for electric sparks, short circuits, an increase in transient resistance, a faulty appliance, and the so-called overvoltage. Pulled-out sockets, cables pressed by furniture and loose distribution boards may result in malfunctioning electric arcs with sparking and, subsequently, in a fire. During the fire, poisonous chemicals are released from plastics, furniture, carpets, PVC floors and other combustible substances in apartments. The insulating material (on the cables and in the socket) turns carbon. It becomes a conductor through which part of the current passes, and then the cable insulation and the socket start to burn, which is also the cause of fires.*

*Fires in apartment buildings make up a large part of the statistically recorded fires<sup>1)</sup> (Table 1). Most dangerous*



Miroslav BETUŠ, assistant professor (ORCID: 0000-0001-5362-5715), graduated in 2011 from the Faculty of Mining, Ecology, Management and Geotechnologies of the Technical University in Košice. In 2016, he has been an assistant professor at the Institute of Earth Resources. Specialty – fire protection, basics of firefighting, technical means of the fire and rescue service and materials in the area of fire protection.

Doc. Miroslav BETUŠ (ORCID: 0000-0001-5362-5715) w roku 2011 ukończył studia na Wydziale Górnictwa, Ekologii, Zarządzania i Geotechnologii Uniwersytetu Technicznego w Koszycach. Od 2016 r. jest docentem w Instytucie Zasobów Ziemi tej samej uczelni. Specjalność – ochrona przeciwpożarowa, podstawy ochrony przeciwpożarowej.



Marianna TOMAŠKOVÁ, associate professor (ORCID: 0000-0001-6281-1501), graduated in 1996 from the Faculty of Mechanical Engineering of the Technical University in Košice. In 2001, she received her doctorate at the same faculty in the field of Safety of Technical Systems. Since 2007, she has been an associate professor at the Institute of Special Engineering Processes. Specialty – fire prevention and application of safety and risks in the field of fire protection.

Doc. Marianna TOMAŠKOVÁ (ORCID: 0000-0001-6281-1501) w roku 1996 ukończyła studia na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Technicznego w Koszycach. W 2001 r. na tym samym wydziale uzyskała stopień doktora w dziedzinie bezpieczeństwa systemów technicznych. Od 2007 r. jest docentem w Instytucie Specjalnych

Procesów Inżynierskich macierzystej uczelni. Specjalność – zapobieganie pożarom i stosowanie bezpieczeństwa i ryzyka w dziedzinie ochrony przeciwpożarowej.

**\* Address for correspondence/Adres do korespondencji:**

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Safety and Quality of Production, Letná 1/9, 042 00 Košice-Sever, Slovak Republic, e-mail: marianna.tomaskova@tuke.sk

Table 1. Fires initiated by electrical devices in 2016–2020, numbers<sup>1)</sup>

Tabela 1. Liczba pożarów wywołanych przez urządzenia elektryczne w latach 2016–2020<sup>1)</sup>

Electrical initiator/ Źródło elektryczne	2016	2017	2018	2019	2020
Lightning – an object protected by a lightning rod/ Wyładowanie atmosferyczne – obiekt chroniony przez piorunochron	8	5	7	5	3
Lightning – an object not protected by a lightning rod/ Wyładowanie atmosferyczne – obiekt nie chroniony przez piorunochron	34	38	55	37	13
Internal distribution of electricity/ Wewnętrzna dystrybucja energii elektrycznej	161	173	188	201	186
External electrical power distribution/ Zewnętrzna dystrybucja energii elektrycznej	101	142	116	114	110
Electrical appliances/ Urządzenia elektryczne	306	373	340	323	309
Direct damages/ Szkody bezpośrednie, USD	1,897,640	2,254,545	12,058,405	2,421,030	7,155,805

Większość niebezpiecznych zdarzeń w budynkach mieszkalnych wynika z nieostrożności mieszkańców i nieprzestrzegania podstawowych zasad bezpieczeństwa pożarowego. W związku z tym wzrasta zagrożenie dla życia i mienia mieszkańców. Najczęstsze uchybienia podczas inspekcji przeciwpożarowych w budynkach mieszkalnych zebrano w tabeli 2.

Jeśli chodzi o bezpieczeństwo, to ryzyko jest połączeniem prawdopodobieństwa wystąpienia negatywnego zjawiska i możliwych konsekwencji<sup>2, 3)</sup>. Rozpoznawanie ryzyka jest integralną częścią bezpieczeństwa i ochrony.

events in apartment buildings arise from carelessness of inhabitants and non-compliance with the basic principles of fire safety. In this connection, the risk to people's lives and property increases. The most common deficiencies in fire inspections in apartment buildings are collected in Table 2.

Concerning security, risk is a combination of the probability of a negative phenomenon and possible consequences<sup>2, 3)</sup>. Recognising risk is an integral part of safety and security. For each recognised risk, there is also a proposal on its eliminating, reducing, and managing. It is crucial to identify risks because only recognised risks can be controlled.

Table 2. The most common deficiencies in fire inspections in apartment buildings<sup>1)</sup>

Tabela 2. Najczęstsze uchybienia odnotowane podczas inspekcji przeciwpożarowych w budynkach mieszkalnych<sup>1)</sup>

Areas of the apartment building/ Obszar budynku mieszkalnego	Reasons/ Przyczyny	Threats/ Zagrożenia
Common areas/Części wspólne	storage of various materials (old furniture)/ składowanie różnych materiałów (starych mebli)	flammability of the materials/ łatwopalność materiałów
	storage of materials on staircases and corridors leading to escape routes/ składowanie materiałów na klatkach schodowych i korytarzach prowadzących do dróg ewakuacyjnych	in case of smoke <sup>a</sup> , visibility and mobility are reduced/ w przypadku zadymienia <sup>a</sup> widoczność i mobilność są ograniczone
	limited availability of hydrants/ ograniczona dostępność hydrantów	operability of hydrants is often the only option for extinguishing fire and preventing its spread/ dostępność hydrantów jest często jedyną opcją gaszenia pożaru i zapobiegania jego rozprzestrzenianiu się
	parking cars by residents/ parkowanie samochodów przez mieszkańców	the access of firefighting equipment to the buildings is disturbed/ utrudniony dostęp sprzętu gaśniczego do budynków
	contact insulation systems/ stykowe systemy izolacyjne	fire safety of the building must be maintained/ należy zachować bezpieczeństwo przeciwpożarowe budynku
Apartments/Mieszkania	connecting to many domestic appliances/ podłączenie do wielu urządzeń domowych	overloading electrical circuits/ przeciążenie obwodów elektrycznych
	smoking and using open flames/ palenie tytoniu i używanie otwartego ognia	direct ignition risk/ ryzyko bezpośredniego zapłonu
	lack of fire extinguishers/ brak gaśnic	no firefighting aid/ brak pomocy w gaszeniu pożarów

<sup>a</sup>smoke and combustion products are reasons for 3 out of 4 fire deaths/dym i produkty spalania są przyczyną 3 z 4 zgonów w wyniku pożarów



Prof. Marian ŠOFRANKO, M.Sc., Ph.D. (ORCID: 0000-0002-1626-0144), obtained his degree as the professor in the field Extraction and Processing of Earth Resources, in 2023 at Technical University of Košice. He is head of the Department of montane sciences at Faculty of Mining, Ecology, Management and Geotechnologies of the Technical University of Kosice. Speclaty - mining, safety risk assessment, occupational safety and health issues in mining. Prof. dr hab. inż. Marian ŠOFRANKO (ORCID: 0000-0002-1626-0144) w roku 2023 otrzymał tytuł profesora w dziedzinie wydobywania i przetwarzania zasobów ziemi na Uniwersytecie Technicznym w Koszycach. Jest kierownikiem Katedry Nauk Górskich na Wydziale Górnictwa, Ekologii, Zarządzania i Geotechnologii tej samej uczelni. Specjalność – górnictwo, ocena ryzyka zawodowego, bezpieczeństwo i higiena pracy w górnictwie.



Prof. dr. eng. Hana PAČAIOVÁ (ORCID 0000-0002-0308-1980) obtained her degree as a professor in 2003 at Technical University of Košice, in the field safety of technical systems. She is a Deputy Head of the Department of safety and Quality at Faculty of Mechanical engineering, Technical University in Košice. Specialty - major accident prevention, occupational safety and health issues, risk assessment, machinery safety, maintenance management. Prof. dr inż. Hana PAČAIOVÁ (ORCID 0000-0002-0308-1980) w roku 2003 otrzymała tytuł profesora w dziedzinie bezpieczeństwa systemów technicznych na Uniwersytecie Technicznym w Koszycach. Jest zastępcą kierownika Katedry Bezpieczeństwa i Jakości na Wydziale Mechanicznym tej samej uczelni. Specjalność – zapobieganie poważnym wypadkom, zagrożenia bezpieczeństwa i higieny pracy, ocena ryzyka, bezpieczeństwo maszyn, zarządzanie konserwacją.

Table 3. Chemical substances released during house fires<sup>4)</sup>Tabela 3. Substancje chemiczne uwalniane podczas pożaru<sup>4)</sup>

House fire/Pożar budynku	Formation of a chemical substance in the fires/ Substancje chemiczne uwalniane podczas pożaru	Impact on health, manifestations of a chemical substance/ Wpływ na zdrowie, objawy działania
Imperfect combustion/ Spalanie niecałkowite	carbon monoxide/ tlenek węgla	poisoning, death/ zatrucie, zgon
Combustion – burning furniture/ Spalanie – palące się meble	adhesives, phosgene (carbonyl dichloride or carbonyl chloride), toxic substance/ kleje, fosgen (dichlorek karbonylu lub chlorek karbonylu), substancja toksyczna	lung damage, death/ uszkodzenie płuc, zgon
	Formaldehyde, flammable in gaseous and liquid form/ formaldehyd, łatwopalny w postaci gazowej i ciekłej	headaches and inflammation of the nasal mucosa; a higher concentration causes serious irritation of mucous membranes and respiratory problems, e.g. bronchitis and swelling, asthma or pneumonia/ bóle głowy i zapalenie błony śluzowej nosa; wyższe stężenie powoduje poważne podrażnienie błon śluzowych i problemy z oddychaniem, np. zapalenie i obrzęk oskrzeli, astmę lub zapalenie płuc
Combustion – floor coverings, neodur pipes, children's toys, electrical cable insulation, packaging, raincoats, hoses/ Spalanie – wykładziny podłogowe, rury neodurowe, zabawki dla dzieci, izolacja kabli elektrycznych, opakowania, płaszcze przeciwdeszczowe, węże	hydrogen chloride, when dissolved in water; hydrochloric acid is produced/ chlorowódor, po rozpuszczeniu w wodzie powstaje kwas solny	it irritates the respiratory tract, causes swelling of the lungs, which can cause respiratory arrest and death by suffocation/ podrażnia drogi oddechowe, powoduje obrzęk płuc, co może prowadzić do zatrzymania oddechu i śmierci przez uduszenie
Burning poly(vinyl chloride)/ Palący się poli(chlorek winylu)	chlorine gas and phosgene/ gazowy chlor i fosgen	hydrogen chloride combines with moisture in the lungs to form hydrochloric acid, which causes dangerous burns/ chlorowódor łączy się z wilgocią w płucach, tworząc kwas solny, który powoduje niebezpieczne oparzenia
Burning clothing – polyamides (stilon, nylon), carpets, umakart, glues, varnishes/ Palący się odzież – poliamidy (stilon, nylon), dywany, umakart, kleje, lakiery	hydrogen cyanide (poisonous, colorless and lighter than air)/ cyjanowódor, trujący, gaz bezbarwny i lżejszy od powietrza	it affects the central nervous system; death, after the first breath/ wpływa na centralny układ nerwowy, śmierć po pierwszym oddechu

Dla każdego rozpoznanego ryzyka istnieje również propozycja jego wyeliminowania, ograniczenia i zarządzania nim. Identyfikacja ryzyka ma kluczowe znaczenie, ponieważ tylko rozpoznane ryzyko może być kontrolowane.

Niebezpieczne substancje chemiczne uwalniane podczas pożarów domów zostały zebrane w tabeli 3. W przypadku zamontowania szczelnych plastikowych okien znane są przypadki samougaszenia pożaru, co jest spowodowane brakiem tlenu, który wspomagałby dalsze spalanie<sup>4)</sup>. W zamkniętej przestrzeni ogień zużywa tlen i jego stężenie może spaść z 21% do 17–18%. Jest to granica, po przekroczeniu której człowiek może stracić przytomność. Podczas spalania powstaje ditlenek węgla. Jego stężenie wzrasta w zamkniętej przestrzeni. Prąd o natężeniu 270 mA wystarcza do spowodowania zapłonu łatwo palnych materiałów.

The dangerous chemical substances released during house fires were collected in Table 3. There are known cases of fire self-extinguishing due to tight plastic windows due to the lack of oxygen that would support further combustion<sup>4)</sup>. In a closed space, the fire consumes oxygen and its concentration can drop from 21% down to 17–18%. This is a limit when a person can lose consciousness. During combustion, carbon dioxide is produced. Its concentration increases in a closed space. A current of 270 mA is enough to ignite easily flammable materials.

### Requirements for construction designers in the field of electrical equipment

At the beginning of the design of each building, the designer should set priorities for the selection criteria of lightning and overvoltage protection in terms of price, ease of assembly, aesthetic solution, safety of residents, and protection against fire and material damage. According to the current legislation, the designer's task is to look for safe solutions following the norm. Slovak technical standards in the given issue are based on European and international standards based on scientific research into the effects of lightning in natural conditions<sup>5, 6)</sup>.

The designer has to determine the upper limit of the risk as the first step in designing protection against lightning and overvoltage. This determination includes assessing the



MSc. Marek ONDOV (ORCID: 0000-0002-4817-1437) graduated in 2021 from the Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies of the Technical University of Košice. Since then, he has been working as a PhD. candidate in the field of Industry logistics at the Institute of Logistics and Transport of the same Faculty. Speciality – logistics in all aspects of industry, modelling and simulation.

Mgr inż. Marek ONDOV (ORCID: 0000-0002-4817-1437) w roku 2021 ukończył studia na Wydziale Górnictwa, Ekologii, Kontroli Procesów i Geotechnologii Uniwersytetu Technicznego w Koszycach. Od tego czasu pracuje w Instytucie Logistyki i Transportu tego samego wydziału jako doktorant w dziedzinie logistyki przemysłu. Specjalność – logistyka we wszystkich aspektach przemysłu, modelowanie i symulacja.

## Wymagania stawiane projektantom konstrukcji w zakresie urządzeń elektrycznych

Na początku projektowania każdego budynku projektant powinien ustalić priorytety dla kryteriów wyboru ochrony odgromowej i przepięciowej pod względem ceny, łatwości montażu, estetyki rozwiązania, bezpieczeństwa mieszkańców oraz ochrony przed pożarem i szkodami materialnymi. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, zadaniem projektanta jest znalezienie bezpiecznych rozwiązań zgodnych z normami. Słowackie normy techniczne w tej kwestii opierają się na normach europejskich i międzynarodowych, które powstały na podstawie wyników badań naukowych dotyczących skutków wyładowań atmosferycznych w warunkach naturalnych<sup>5, 6)</sup>.

Projektant musi określić górną granicę ryzyka jako pierwszy krok w projektowaniu ochrony przed wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami. Te ustalenia obejmują ocenę wymiarów budynku, lokalizacji, sposobu użytkowania i ryzyka związanego z wyposażeniem wewnętrznym. Każdy budynek jest wyjątkowy i musi być brany pod uwagę przy klasyfikacji ogólnej do klas ochrony od LPS I do IV (pio-runochron, system ochrony, system ochrony odgromowej).

Wskaźniki tolerowanego ryzyka  $R_T$  określone zgodnie z<sup>6)</sup> przedstawiono w tabeli 4. Wartość tolerowanego ryzyka  $R_T 10^{-5}$  (lub  $R_T 10^{-3}$ ) oznacza, że takie środki, które skutkują obrażeniami ciała lub szkodami, będą podejmowane raz na 100 000 lat (lub raz na 1000 lat). Dopuszczalna wartość ryzyka nie może zostać przekroczona. Wszystkie te skomplikowane obliczenia są czasochłonne i można je wykonać tylko przy wsparciu oprogramowania komputerowego.

### Instalacje odgromowe

Zgodnie z<sup>6)</sup> (ochrona przed piorunami), uderzenie pioruna jest możliwe w każdym punkcie dachu i może być przyczyną pożaru. Anteny i talerze satelitarne powinny być ustawione w sposób pokazany na rys. 1. Czujniki i inne komponenty powinny znajdować się w wystarczającej odległości od części piorunochronu (systemów przechwytywania i przewodów) zgodnie z<sup>6)</sup>. W praktyce projektant powinien zawsze sprawdzić odpowiednią odległość np. masztu antenowego w jego najwyższym punkcie (w przypadku wariantu z izolowanym piorunochronem), instalacji elektrycznej na najwyższej kondygnacji, a na poddaszu bliskość rynien spustowych lub systemu przechwytyjącego (rys. 2) zgodnie z<sup>8)</sup>. Obecnie do mocowania rur spustowych można wykorzystywać pionowe metalowe rury rynnowe, które powinny być mechanicznie zakotwiczone do elewacji budynku co ok. 1 m ich długości (rys. 3).

System wewnętrznej ochrony przed wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami, które również są potencjalnym źródłem pożaru, jest przetwarzany zgodnie z<sup>6)</sup>. Właściciel domu lub administrator powinien określić, gdzie

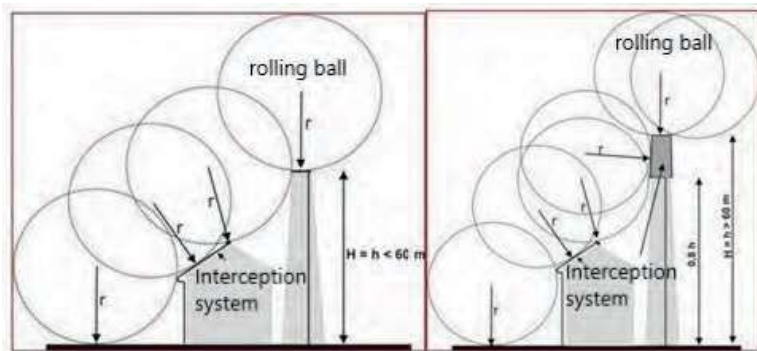


Fig. 1. Design of the interception system for the rolling ball method<sup>6)</sup>

Rys. 1. Projekt systemu przechwytywania dla metody toczącej się kuli<sup>6)</sup>

building dimensions, location, use, and internal equipment risk. Each building is unique and cannot be considered for lump-sum classification into protection classes LPS I to IV (Lightning, Protection system, System of protection against lightning).

The rates of tolerable risk  $R_T$  as determined according to<sup>6)</sup> were collected in Table 4. The value of the tolerable risk  $R_T 10^{-5}$  (or  $R_T 10^{-3}$ ) means that such measures that result in an injury to a person or damage will be taken once in 100,000 years (or once in 1,000 years). The tolerable risk value must not be exceeded. All this complex calculation is time-consuming and can only be done with software support.

### Lightning protection systems

According to<sup>6)</sup> (protection against lightning), lightning strikes are possible at any point on the roof and a fire can occur. Antennas and satellites should be positioned as shown in Fig. 1. The location of the sensors and other components should be at a sufficient distance from the parts of the lightning rod (interception systems and conductors) according to<sup>6)</sup>. In practice, the designer should always check a sufficient distance for, for example, the antenna mast at its highest point (in the case of the insulated lightning rod variant), the electrical installation on the highest floor, in the attic its proximity to downspouts, or the interception system (Fig. 2) to<sup>8)</sup>. Currently, vertical metal gutter pipes can be used to hold the downpipe, which should be mechanically anchored to the facade of the building after about 1 meter of their length (Fig. 3).

The system of internal protection against lightning and overvoltage, which are also a potential source of fire, is processed according to<sup>6)</sup>. The homeowner or operator should determine where sensitive electronic equipment will be placed. Only subsequently should the Type 3 earthing devices be installed in these places (Fig. 4). This protective measure needs to be supplemented by creating a local connection<sup>7, 8)</sup>.

### Risk assessment

A risk assessment should be examined systematically to avoid harm people or adverse event and to consider

zostanie umieszczony wrażliwy sprzęt elektroniczny. Dopiero później w tych miejscach należy zainstalować urządzenia uziemiające typu 3 (rys. 4). Ten środek ochronny należy uzupełnić poprzez utworzenie lokalnego połączenia<sup>7, 8)</sup>.

## Ocena ryzyka

Ocena ryzyka powinna być systematycznie analizowana w celu uniknięcia obrażeń lub zdarzeń niepożądanych oraz rozważenia, czy stosowane obecnie środki bezpieczeństwa są wystarczające. Głównym powodem oceny ryzyka w pracy jest ochrona zdrowia. Ocenę ryzyka związanego ze źródłami elektrycznymi przedstawiono w tabeli 5. Pomaga to ograniczyć możliwe szkody na zdrowiu, a także zmniejsza ryzyko pożaru. Do oceny ryzyka wykorzystano metodę macierzy ryzyka, której parametrami są prawdopodobieństwo i konsekwencje przedstawione w tabelach 6–9. Najpoważniejszym zagrożeniem wynikającym z przeprowadzonej oceny jest zwarcie elektryczne i iskra, które mogą spowodować pożar i uwolnienie niebezpiecznych substancji chemicznych<sup>9)</sup>. Ryzyko,  $R$ , wyraża zarówno prawdopodobieństwo wystąpienia, jak i dotkliwość konsekwencji potencjalnego zdarzenia niepożądanego. Ryzyko jest funkcją dwóch podstawowych parametrów<sup>3)</sup>: prawdopodobieństwa,  $p$ , i konsekwencji,  $D$ . Ryzyko można wyrazić matematycznie jako funkcję liniową,  $p$  i  $D$ , lub bardziej poprawnie jako iloczyn kartezjański:  $R = p \cdot D$ , lub jako funkcję nieliniową:  $R = f(p, D)$ .

## Podsumowanie

Środki zapobiegawcze w ochronie przeciwpożarowej są obecnie integralną częścią bezpieczeństwa praktycznie wszystkich obszarów obiektów (budynków, konstrukcji), zwłaszcza w budynkach, w których regularnie może przebywać duża liczba osób (co najmniej 100). Wówczas

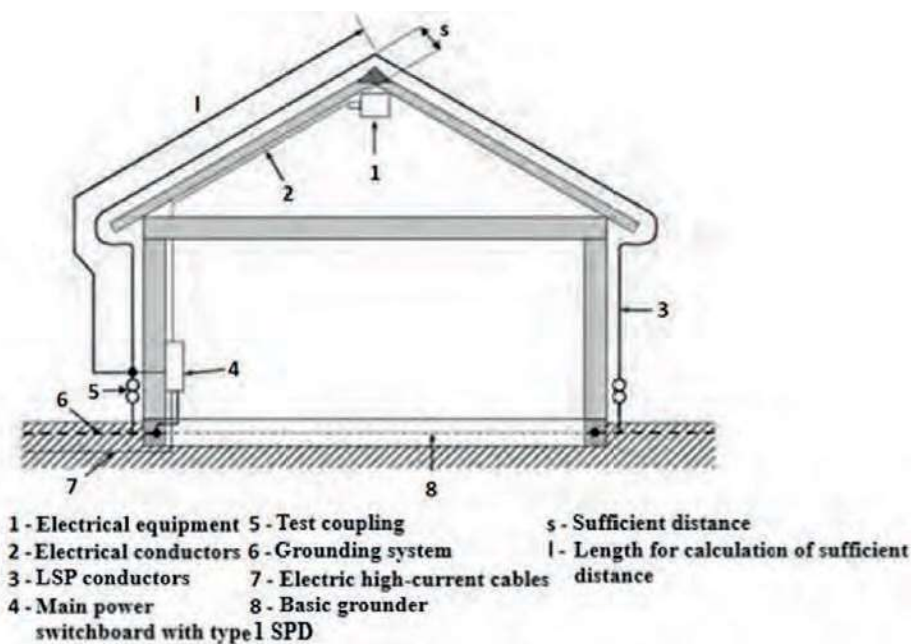


Fig. 2. LPS construction using two leads and a primary grounding device<sup>7)</sup>

Rys. 2. Konstrukcja LPS z wykorzystaniem dwóch przewodów i głównego urządzenia uziemiającego<sup>7)</sup>



Fig. 3. Drain fixed on a vertical gutter pipe<sup>7)</sup>

Rys. 3. Odptyw zamocowany na pionowej rurze rynnowej<sup>7)</sup>

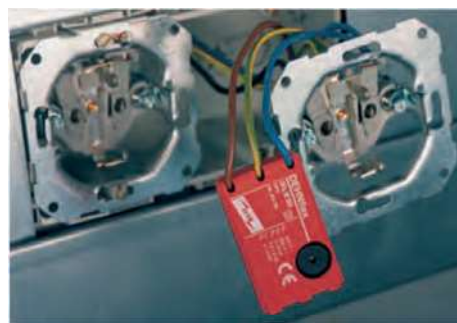


Fig. 4. DEHNflex (earthing device SPD type 3); installation in installation sockets<sup>7)</sup>

Rys. 4. DEHNflex (urządzenie uziemiające SPD typu 3); montaż w gniazdach instalacyjnych<sup>7)</sup>

whether current safety measures are sufficient. The main reason for assessing the risk at work is health protection. Assessment of risks from electrical initiators is included in Table 5. It helps to reduce possible health damage and also reduces the risk of fire. The risk matrix method was used for risk assessment, with the parameters being probability and consequence in Tables 6–9. The most serious risk from the given assessment is an electrical short and a spark, which will result in a fire and a release of dangerous chemical substances<sup>9)</sup>. Risk,  $R$ , expresses both the probability of occurrence and the severity of the consequence of a potential adverse event. The risk is a function of 2 basic

Table 4. The rates of tolerable risk<sup>6)</sup>,  $R_T$

Tabela 4. Wskaźniki tolerowanego ryzyka<sup>6)</sup>,  $R_T$

Building/ Budynek	$R_T$ , year <sup>-1</sup> / rok <sup>-1</sup>
Residential building/ Budynek mieszkalny	$10^{-5}$
Cultural monument/ Zabytek kultury	$10^{-3}$
New edition/ Nowa edycja	$10^{-4}$

Table 5. Assessment of risks from electrical initiators<sup>3)</sup>  
Tabela 5. Ocena ryzyka związanego ze źródłami elektrycznymi<sup>3)</sup>

Source/ Źródło	Danger/ Niebezpieczeństwo	Threat/ Zagrożenie	P	D	R	Precautions/ Środki zaradcze
Electrical equipment Sprzęt elektryczny	undesirable effects of electric current when touching inanimate parts/ niepożądane skutki działania prądu elektrycznego podczas dotykania części niebędących pod napięciem	electric shock by the current that arose because of the fault, when dangerous contact voltage is transferred to conductive covers, conductive supporting parts of equipment that are accessible to touch/ porażenie prądem, które powstało z powodu usterek, gdy niebezpieczne napięcie kontaktowe zostało przeniesione na przewodzące osłony, przewodzące części nośne sprzętu, które są dostępne do dotknięcia	2	3	11	verify the effectiveness of the mentioned protections by professional inspections and tests in the required terms/ weryfikować skuteczność zabezpieczeń w wymaganych terminach
Electrical equipment Sprzęt elektryczny	undesirable effects of electric current when touching live parts/ niepożądane skutki działania prądu elektrycznego podczas dotykania części pod napięciem	electric shock current because of direct contact between the victim's body and live parts that have dangerous voltages in the event of a malfunction/ porażenie prądem elektrycznym z powodu bezpośredniego kontaktu ciała ofiary z częściami pod napięciem, które mają niebezpieczne napięcie w przypadku awarii	2	3	11	carry out regular professional inspections and tests of the equipment in question to eliminate detected malfunctions and ensure organisational measures (notifications, training)/ przeprowadzać regularne profesjonalne inspekcje i testy danego sprzętu w celu wyeliminowania wykrytych usterek i zapewnić środki organizacyjne (powiadomienia, szkolenia)
Electrical equipment Sprzęt elektryczny, mn nn	unwanted effects of electric current when operating in electrical installation s/ niepożądane skutki działania prądu elektrycznego podczas obsługi instalacji elektrycznej nn	electric current injuries when operating the electric installation in the event of its damage, also injuries that may occur when replacing nn fuses, light bulbs, fluorescent tubes/ porażenia prądem elektrycznym podczas obsługi instalacji elektrycznej w przypadku jej uszkodzenia, a także obrażenia mogące powstać podczas wymiany bezpieczników, żarówek, świetlówek nn	2	3	11	familiarize yourself with the methods of safe operation of electrical equipment; defects to be removed immediately, regularly carry out professional inspections and tests of the installation/ zapoznać się z metodami bezpiecznej eksploatacji urządzeń elektrycznych; usterek usuwać niezwłocznie, regularnie przeprowadzać profesjonalne przeglądy i testy instalacji
Electrical equipment Sprzęt elektryczny	unwanted effects of electric current during work on substations devices nn/ niepożądane skutki oddziaływania prądu elektrycznego podczas prac na urządzeniach podstacji nn	electrical injuries by current during work on uncovered and unswitched distribution equipment when accidentally touching live parts/ porażenie prądem elektrycznym podczas pracy przy nieosłoniętych i niewłączonych urządzeniach rozdzielczych w razie przypadkowego dotknięcia części znajdujących się pod napięciem	3	3	15	in the case of work under voltage, comply with the relevant provisions of applicable regulations in the case of work under voltage or near live parts, observe safe distances, use insulating tools and aids, and disconnect the device from the mains before removing the cover/ w przypadku pracy pod napięciem przestrzegać odpowiednich postanowień obowiązujących przepisów w przypadku pracy pod napięciem lub w pobliżu części znajdujących się pod napięciem należy zachować bezpieczne odległości, używać narzędzi i akcesoriów izolacyjnych oraz odłączyć urządzenie od zasilania przed zdjęciem pokrywy
Zwarcie elektryczne, iskrzenie	undesirable effects of electricity current, especially overloading of connectors, pinched cables, and self-pulling out of sockets: a short-circuit current is a rising electrical impulse of the shock type; it can cause wires to melt and damage some electrical equipment/ niepożądane skutki działania prądu elektrycznego, w szczególności przeciążenie złączy, ściśnięte kable i samooczynn wyrywanie się z gniazad; prąd zwarciowy to narastający impuls elektryczny typu porażeniowego; może spowodować stopienie przewodów i uszkodzenie niektórych urządzeń elektrycznych	injuries due to possible contact with live parts/ obrażenia spowodowane możliwym kontaktem z częściami pod napięciem	3	4	17	regularly carry out professional inspections and tests of the installation, remove identified deficiencies; make the installation so that it is not dangerous during everyday use, maintain installations in buildings in a safe condition/ regularnie przeprowadzać profesjonalne kontrole i testy instalacji, usuwać zidentyfikowane usterek; sprawić, aby instalacja nie stwarzała zagrożenia podczas codziennego użytkowania, utrzymywać instalacje w budynkach w bezpiecznym stanie
The fire caused by lightning / Pożar spowodowany wyładowaniem atmosferycznym	in a building without a lightning rod, lightning can strike an object through metal parts such as gutters and pipes, central heating pipes, water pipes, electrical lines and antenna cables/ w budynku bez piorunochronu piorun może uderzyć w obiekt przez metalowe części, takie jak rynny i rury, rury centralnego ogrzewania, rury wodociągowe, linie elektryczne i kable antenowe	in the case of a missing lightning rod, there is a high risk of fire/ w przypadku braku piorunochronu istnieje wysokie ryzyko pożaru	3	3	15	a building should have a lightning rod installed whenever it rises above other buildings/ budynek powinien mieć zainstalowany piorunochron zawsze, gdy wznieśli się ponad inne budynki

Abbreviations/Oznaczenia: nn – low voltage/ niskie napięcie, vnn – little tension/ niskie natężenie

Table 6. Probability of occurrence rate<sup>3)</sup>, PTabela 6. Wskaźnik prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia<sup>3)</sup>, P

1 – very low/ bardzo małe	<i>an almost impossible threat/ prawie niemożliwe zagrożenie</i>
2 – low/ małe	<i>very rare threat/ bardzo rzadkie zagrożenie</i>
3 – medium/ średnie	<i>rare threat/ rzadkie zagrożenie</i>
4 – high/ duże	<i>temporary threat/ czasowe zagrożenie</i>
5 – very high/ bardzo duże	<i>continuous threat/ ciągle zagrożenie</i>

Table 7. Consequence of the occurrence<sup>3)</sup>, DTabela 7. Konsekwencje wystąpienia zagrożenia<sup>3)</sup>, D

1	<i>negligible/ znikome</i>
2	<i>not significant/ nie znaczące</i>
3	<i>critical/ krytyczne</i>
4	<i>catastrophic (killing)/ katastrofalne (zabójcze)</i>

Table 8. Resulting risk measure<sup>3)</sup>, RTabela 8. Wynikowa miara ryzyka<sup>3)</sup>, R

1–3	<i>acceptable risk/ ryzyko akceptowalne</i>
4–11	<i>moderate risk/ średnie ryzyko</i>
12–15	<i>undesirable/ niepożądane</i>
16–20	<i>unacceptable/ nieakceptowalne</i>

konieczne jest zaprojektowanie i wdrożenie rozbudowanych systemów ochrony przeciwpożarowej, uwzględniających bezpieczeństwo ludzi. W przypadku gaszenia pożaru w pobliżu urządzeń elektrycznych pod napięciem lub samych urządzeń elektrycznych pod napięciem, przepisy dopuszczają stosowanie wyłącznie gaśnic przeznaczonych do gaszenia urządzeń elektrycznych<sup>1, 10)</sup>. Z punktu widzenia taktyki jednostek straży pożarnej podczas interwencji, możliwe jest zapewnienie ochrony strażaków przed niebezpieczeństwem porażenia prądem: (i) poprzez wyłączenie prądu elektrycznego w urządzeniach i liniach elektrycznych, gdy jednostka interweniuje w miejscu, w którym istnieje ryzyko porażenia prądem elektrycznym strażaków i nie ma możliwości zapewnienia im bezpieczeństwa w inny sposób, a także poprzez zabezpieczenie przed ponownym niekontrolowanym załączeniem lub indukcją napięcia elektrycznego, (ii) poprzez ograniczenie przebywania w strefie ochronnej, wybierając bezpieczną odległość od urządzeń i linii pod napięciem elektrycznym oraz (iii) poprzez zastosowanie odpowiedniego środka gaśniczego do gaszenia urządzeń elektrycznych i linii pod napięciem elektrycznym.

## Podziękowania

Praca uzyskała wsparcie w ramach projektu badawczego VEGA 1/0588/21 i projektu badawczego VEGA 1/0430/22 oraz projektu badawczego APVV-19-0367.

Table 9. Numerical risk assessment matrix<sup>3)</sup>Tabela 9. Macierz liczbowej oceny ryzyka<sup>3)</sup>

Probability/consequence/ Prawdopodobieństwo/ konsekwencje				
1.	1	4	6	12
2.	2	7	11	13
3.	3	10	15	17
4.	5	12	16	19
5.	8	14	18	20

parameters<sup>3)</sup>: probability,  $p$ , and consequence,  $D$ . Risk can be mathematically expressed as a linear function of  $p$  and  $D$ , or more correctly as a Cartesian product:  $R = p \cdot D$ , or as a non-linear function  $R = f(p, D)$ .

## Result and discussion

Preventive measures in fire protection are currently an integral part of the security of practically all areas of the object (buildings, constructions). Especially in buildings where a large number of people, at least 100 or more, can regularly stay. Then it is necessary to design and implement extensive fire protection systems, taking into account the safety of people. When extinguishing a fire near live electrical equipment, or live electrical equipment itself, the legislation allows only fire extinguishers intended for extinguishing electrical equipment<sup>1, 10)</sup>. From the point of view of the tactics of firefighting units during an intervention, it is possible to ensure the protection of firefighters against the danger of electric shock: (i) by turning off the electric current in electrical equipment and lines when the unit intervenes in a place where there is a risk of electric shock to firefighters and it is not possible to ensure their safety in any other way, as well as by ensuring against new uncontrolled switching on or induction of electric voltage, (ii) by limiting the stay in the protective zone, choosing a safe distance from the equipment and lines under electric voltage, and (iii) by using a suitable extinguishing agent for extinguishing electrical equipment and electrical current lines under electrical voltage.

## Acknowledgement

This paper was supported by research project VEGA 1/0588/21 and by research project VEGA 1/0430/22, and by research project APVV-19-0367.

Received/Otrzymano: 10-02-2024

## REFERENCES/LITERATURA

- https://www.minv.sk/?hasici-zachranari.
- J. Kutač, J. Meravý, *Ochrana před bleskem a přepětím z pohledu soudných znalců*, Ostrava, SPBI, 186; ISBN 978-807385-071-4, 2010.
- TNI ISO/TR 14121-2, *Safety of machinery. Risk assessment. Part 2: Practical guidance and examples of methods*, 2009.
- I. Masařík, *Plasty a jejich požární nebezpečí*, ISBN 80-86634-16-7, 2023, 183.
- Vyhláška MŽP SR č. 532/2002 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o všeobecných technických požiadavkách na výstavbu a o všeobecných technických požiadavkách na stavby užívané osobami s obmedzenou schopnosťou pohybu a orientácie, v znení neskorších predpisov.
- STN EN 62305-2:2013-05 (34 1390), *Ochrana pred bleskom. Časť 2: Manažérstvo rizika*.
- STN EN 62305-4, *Ochrana pred bleskom. Časť 4: Elektrické a elektronické systémy v stavbách*.
- Zákon č. 50/1976 Zb. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku, v znení neskorších predpisov.
- J. Vaňek, J. Slabotinský, *Permeace toxických látok materiály OOP v teorii a praxi*, SBN 978-80-7385-236-8, 2020, 146.
- Takticko-metodické listy; https://elearnhazz-sk.webnode.sk/subory-na-stiahnutie/metodicke-listy.