

Električna energija kao moguć uzrok požara ili eksplozije, dokazivanje takvog uzroka i mjere prevencije

Žilić, Mladen

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:315807>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-27**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Mladen Žilić

**ELEKTRIČNA ENERGIJA KAO MOGUĆ
UZROK POŽARA ILI EKSPLOZIJE,
DOKAZIVANJE TAKVOG UZROKA I
MJERE PREVENCIJE**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2017.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

Mladen Žilić

**ELECTRICITY AS A POSSIBLE CAUSE
OF FIRE OR EXPLOSION, PROVING OF
SUCH CAUSE, AND PREVENTION
MEASURES**

FINAL PAPER

Karlovac, 2017.

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Mladen Žilić

**ELEKTRIČNA ENERGIJA KAO MOGUĆ
UZROK POŽARA ILI EKSPLOZIJE,
DOKAZIVANJE TAKVOG UZROKA I
MJERE PREVENCIJE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
mr. sc. Damir Kulišić, dipl. ing. kem.

Karlovac, 2017.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Trg J.J.Strossmayera 9
HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Specijalistički studij: Sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, svibanj 2017.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Mladen Žilić

Matični broj: 0420414024

Naslov: Električna energija kao moguć uzrok požara ili eksplozije, dokazivanje takvog uzroka i mjere prevencije

Opis zadatka:

1. Opisati i objasniti osnovne pojmove o uzrocima nastanka požara i/ili eksplozija
2. Predočiti statistiku požara i/ili eksplozija uzrokovanih električnom energijom
3. Opisati opća požarno i eksplozijski opasna obilježja električne energije
4. Navesti propise kojima se općenito regulira sigurnost i zaštita od požara i eksplozija građevina i električnih uređaja i instalacija
5. Predočiti i opisati moguće uzroke požara i/ili eksplozija električne naravi
6. Navesti i opisati suvremene preventivne mjere sigurnosti i zaštite od požara i/ili eksplozija električne naravi
7. Navesti i opisati suvremene metode i tehnike istraživanja i vještačenja uzroka požara i/ili eksplozija električne naravi

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

.....

.....

.....

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

PREDGOVOR

Nakon desetogodišnjeg operativnog rada i bavljenja vatrogastvom, došao je i taj trenutak da to iskustvo obogaćeno novim znanjima iz niza područja sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija, stečenih cjelokupnim studijem na Veleučilištu u Karlovcu okrunim ovim Završnim radom.

Za temu ovog Završnog rada sam se opredijelio jer je držim obrazovno vrlo važnom i u praksi svakog inženjera sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija vrlo korisnom.

Završnim radom sam, uz pomoć dragih kolega i prijatelja, pokušao pronaći i predočiti odgovore na određena stručna pitanja koja nisu tako čest predmet zanimanja i stručnih rasprava vatrogasaca, ali su pri istraživanju uzroka požara i eksplozija te u prevenciji nastanka takvih pogibelnih i štetnih događaja od itekako velike važnosti za zaštitu ljudskih života i imovine.

Zahvaljujem se svim kolegama studentima na zajednički provedenom vremenu školovanja i dijeljenju raznih iskustava te svim profesorima Odjela sigurnosti i zaštite - Smjera zaštita od požara na pruženom nam znanju, a posebno se zahvaljujem svom mentoru mr. sc. Damiru Kulišiću, dipl.ing.kem., koji mi je svojim stručnim savjetima, iskustvom i znanjem pomogao u nadogradnji mog znanja i pri izradi ovog Završnog rada.

Velika hvala mojoj obitelji koja mi je bila najveća potpora tijekom cjelokupnog obrazovanja i koja je vjerovala u mene i moj uspjeh, od samog početka, i na taj način me motivirala za uporan rad u savladavanju nastavnog gradiva do samog kraja studija.

Osobita zasluga ide mojem ocu, koji je sve što je bilo potrebno uložio u mene, u nadi da će se jednoga dana ispuniti i ova njegova velika roditeljska želja, ali nažalost nije ju uspio živ dočekati. Stoga mu posvećujem ovaj rad u znak svoje neizmjerne zahvalnosti za sve što je učinio za mene kako bi postao visoko obrazovan, tj. akademski građanin ove države.

Mladen Žilić

SAŽETAK

Ovim Završnim radom su obrađeni svi oni mogući uzroci požara i eksplozija koji se u praksi vrlo često ostvaruju pod utjecajem djelovanja različitih mogućih vrsta dovoljno snažnih izvora električne energije. Pritom su detaljnije opisana osnovna obilježja najčešćih vrsta opasnih uzročnika požara i eksplozija električne naravi, njihova sposobnost uzrokovanja zapaljenja možebitno nazočnih vrsta gorivih tvari te nastanka požara ili eksplozije, uz objašnjenja kako ih se stručno može pouzdano izbjeći i istražno dokazati.

Radi ilustracije razmjera ovog problema, predloženi su relevantni domaći i inozemni statistički podaci o požarima i eksplozijama uzrokovanim električnom energijom, a potom i mnogi, često uočavani preventivni propusti o kojima bi trebalo stručno voditi puno više računa kako bi se postigla zadovoljavajuća razina sigurnosti i zaštite od požara i eksplozije i, na taj način, bitno smanjio broj požara i eksplozija uzrokovanih električnom energijom te izbjegle moguće teške posljedice tako uzrokovanih općeopasnih događaja.

Zbog toga je radom predložena i odgovarajuća aktualna zakonska regulativa kojom se propisuju uvjeti gradnje građevina i ugradnje električnih uređaja i instalacija kako bi se izbjegla mogućnost nastanka požara ili eksplozije.

U završnom dijelu rada su navedene aktualno rabljene metode i tehnike vještačenja uzroka nastanka požara ili eksplozija električne naravi u sklopu konstrukcija građevina i vozila.

Ključne riječi: požari i eksplozije, uzročnici električne naravi, znakoviti tragovi, mjere prevencije, vještačenje tragova.

SUMMARY

This final paper are processed all possible causes of fires and explosions that, in practice, very often realized under the influence of the effects of various possible types of sufficiently strong sources of electricity. They are described in more detail basic features of the most common types of dangerous pathogens fire and explosion electrical nature, their ability to cause inflammation possibly present type of combustibles and creating a fire or explosion, along with explanations of how they can be reliably avoided professional and investigative prove.

To illustrate the scale of the problem presented to the relevant domestic and international statistical data on fires and explosions caused by electricity, and then the many, often-noted gaps prevention of which should be competently managed much more care in order to achieve a satisfactory level of security and fire protection the explosion and, thus, significantly reduce the number of fires and explosions caused by electricity and avoid possible serious consequences so caused generally dangerous events.

Therefore, the work presented and the corresponding current legislation laying down the conditions of construction of buildings and installation of electrical equipment and installations in order to avoid the possibility of fire or explosion.

In the final part of the paper is the current used methods and techniques expertise cause a fire or explosion electrical nature within the structures of buildings and vehicles.

Key words: fire and explosion, causes of electrical nature, significant traces, prevention measures, expertise of evidences.

SADRŽAJ

ZADATAK RADA	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK	III
SUMMARY	IV
SADRŽAJ.....	V
1. UVOD.....	1
1.1. Predmet i cilj rada.....	2
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja i njihove raščlambe.....	3
2. STATISTIKA POŽARA I EKSPLOZIJA UZROKOVANIH ELEKTRIČNOM ENERGIJOM	4
3. UZROCI NASTANKA POŽARA I EKSPLOZIJA.....	6
3.1. Toplinska energija.....	8
3.2. Električna energija.....	10
3.3. Kemijska energija	11
3.4. Mehanička energija.....	12
4. POŽARNO I EKSPLOZIJSKI OPASNA OBILJEŽJA ELEKTRIČNE ENERGIJE	13
4.1. Dinamički elektricitet	14
4.1.1. Električni otpor i vodljivost.....	14
4.1.2. Izmjenična struja.....	15
4.2. Djelovanje i učinak električne struje	16
4.2.1. Toplinsko djelovanje električne struje.....	16
4.2.2. Kemijsko djelovanje	17
4.2.3. Magnetsko djelovanje.....	17
4.2.4. Svjetlosno djelovanje električne struje	18
4.3. Statički elektricitet.....	18
4.4. Atmosferski elektricitet	19
5. ELEKTRIČNA ENERGIJA KAO MOGUĆI UZROK POŽARA ILI EKSPLOZIJE	20
5.1. Preopterećenje	20
5.2. Kratki spoj	24
5.3. Veliki prijelazni otpor.....	28
5.4. Iskrenje i električni luk.....	33

5.5. Elektrotermički uređaji	36
6. POSTUPCI ZA OTKRIVANJE UZROKA POŽARA OD ELEKTRIČNE ENERGIJE	39
6.1. Osigurači.....	39
6.2. Postupak prikupljanja znakovitih tragova na mjestu požara ili eksplozije.....	42
6.2.1. Metoda praćenja termičkih oštećenja	43
6.2.2. Metode selektivnosti oštećenja električne instalacije.....	45
7. MJERE ZAŠTITE OD POŽARA I EKSPLOZIJA GRAĐEVINA	50
7.1. Tehničke mjere zaštite elektroinstalacija.....	50
7.1.1. Kabliranje i razvod	51
7.1.2. Zaštita od direktnog dodira.....	51
7.1.3. Zaštita od indirektnog dodira.....	52
7.1.4. Uzemljenje i zaštitni vodiči	52
7.1.5. Gromobransko uzemljenje.....	53
7.2. Tehničke mjere protupožarne zaštite elektroinstalacija.....	53
7.2.1. Razvod električnih instalacija i kabelaške trase	54
7.2.2. Naponski kabeli	55
7.2.3. Isklop elektroinstalacije	55
7.2.4. Sigurnosna i protupanična rasvjeta.....	56
7.3. Zakoni, pravilnici i norme za projektiranje tehničkih rješenja	56
8. MOGUĆA RJEŠENJA PROTUPOŽARNE ZAŠTITE ELEKTROINSTALACIJA	58
8.1. Normativna preventivna rješenja.....	59
8.2. Građevinska preventivna rješenja.....	60
8.3. Izbor zaštitnog sustava za električne instalacije.....	61
8.3.1. Protupožarna boja	61
8.3.2. Protupožarni kanal.....	62
8.3.3. Protupožarna potpuna bandaža kabelaških polica.....	63
8.3.4. Protupožarni spuštenu strop	64
8.3.5. Protupožarna mekana pregrada elektroinstalacija	65
8.3.6. Pregrada od morta.....	67
8.3.7. Protupožarne vrećice	67
8.3.8. Kabelaški modularni sustav	68
8.3.9. Protupožarni kit	69
8.3.10. Protupožarni blokovi i protupožarna pjena	70

8.3.11. Protupožarne kutije.....	71
8.3.12. Zaštita prodora instalacija u suhomontažnim građevinskim sustavima	72
8.4. Moguća rješenja protueksplozijske zaštite električnih uređaja i instalacijama u eksplozijski opasnim atmosferama.....	75
9. VJEŠTAČENJE TRAGOVA POŽARA I EKSPLOZIJA UZROKOVANIH ELEKTRIČNOM ENERGIJOM.....	79
9.1. Tehnička vještačenja.....	79
9.2. Elektrotehnička vještačenja	80
10. ZAKLJUČAK.....	84
11. LITERATURA	87
12. POPIS SLIKA	89
13. POPIS TABLICA.....	90

1. UVOD

Od otkrića vatre drevni čovjek spoznao je njene dobre strane, ali i opasnosti koje ona donosi. U vrijeme kad još nije bila poznata mogućnost stvaranja plamena, već se čuvala i koristila prirodno nastala vatra, najčešće izazvana udarom groma, čovjek je zarana spoznao silinu prirode i moć vatre. U konstantnoj ravnoteži između održavanja i gubitka plamena koji je često značio život, čovjek je naučio iznimno respektirati učinke vatre.

Pojmovi "vatra" i "požar" često se poistovjećuju, vjerojatno zato što se i pod jednim i pod drugim pojmom podrazumijeva gorenje, dok je požar svako nekontrolirano gorenje.

Pri pojašnjenju pojmova i razlike između vatre i požara mogli bismo se poslužiti starom narodnom izrekom da je vatra dobar sluga, ali loš gospodar, pri čemu se misli na nemogućnost opstanka čovjeka bez vatre i blagodati koje nosi njena energija, ali i na veliku opasnost koju nosi svaka nenadzirana vatra, kao i svaka ona zlonamjerno zapaljena ili nastala mimo želje i bez znanja čovjeka.

Kako bi se smanjile opasnosti od požara i eksplozija, a samim time i mogućnosti stradavanja ljudi i materijalnih dobara, zaštita od požara i eksplozija je od posebnog interesa za Republiku Hrvatsku te je radi toga organiziran sustav zaštite od požara i eksplozija. Sustav zaštite od požara i eksplozija je široko područje koje obuhvaća planiranje zaštite od požara i eksplozija, propisivanje mjera zaštite od požara i eksplozija građevina, ustrojavanje subjekta zaštite od požara i eksplozija, provođenje mjera zaštite od požara i eksplozija, financiranje zaštite od požara i eksplozija te osposobljavanje i ovlašćivanje za obavljanje poslova zaštite od požara i eksplozija.

Zaštita od požara i eksplozija uređuje se raznim dokumentima na nacionalnoj, regionalnoj i lokalnoj razini te raznim zakonskim i podzakonskim propisima. Dokumenti kojima se uređuje zaštita od požara (i eksplozija) na državnoj razini su Nacionalna strategija zaštite od požara, Nacionalni plan djelovanja zaštite od požara, Izvješće o stanju zaštite od požara u Republici Hrvatskoj i Program aktivnosti u provedbi posebnih mjera zaštite od požara od interesa za Republiku Hrvatsku.

Dokumenti zaštite od požara (i eksplozija) lokalne i područne (regionalne) razine su planovi zaštite od požara (i eksplozija) te provedbeni planovi unapređenja zaštite od požara (i eksplozija). Temeljni zakoni kojima se propisuje zaštitom od požara (i eksplozija) su Zakon o zaštiti od požara¹ i Zakon o vatrogastvu².

Uz sve navedene zakone, postoji niz pravilnika, propisa i akata koji detaljno propisuju mjere sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija za pojedine vrste građevina, prostora i djelatnosti koje se obavljaju u njima. To su propisi kojima se reguliraju nužne mjere za sprječavanje pojave mogućih uzročnika požara i eksplozija pri proizvodnji te pri projektiranju i opremanju prostora, postrojenja i inih vrsta građevina, kao i propisi kojima se reguliraju pravila projektiranju sustava sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija, pravila sigurne ugradnje dodatne opreme, pravila sigurnog načina korištenja različitih tehničkih sustava, opreme, alata i požarno/eksplozijski opasnih proizvoda.

Zbog toga se ovim radom pokušalo opisati požarno/eksplozijski opasna svojstva električne energije kojoj se pokatkad ne pridaje dovoljna pozornost sve dok ne prouzroči požar ili eksploziju.

1.1. Predmet i cilj rada

Električna energija čini neizostavnu sastavnicu našeg svakodnevnog života i rada. Njezinu snagu iskorištavamo na sve moguće načine. Pritom, malo kada, vodimo brigu o potencijalnim opasnostima. Osim što je njezino djelovanje opasno po život, njezine opasnosti kriju se i u mogućnosti uzrokovanja požara ili eksplozija.

Znakoviti statistički podaci o uzrocima požara i eksplozija i tijekom vatrogasne službe proučavani brojni slučajevi požara i eksplozija uzrokovani električnom energijom su bili glavni poticaj autoru ovog Završnog rada za proučavanje požarno i eksplozijski opasnih svojstava ove vrste energije.

U prvom dijelu rada iznose se za temu ovog Završnog rada relevantni statistički podaci. U sljedećem dijelu rada navode se opća obilježja električne energije s naglaskom na njena požarno i eksplozijski potencijalno opasna svojstva.

¹ Zakon o zaštiti od požara (NN 92/10).

² Zakon o vatrogastvu (NN 106/99, 117/01, 36/02, 96/03, 139/04, 174/04, 38/09, 80/10).

U središnjem dijelu rada opisani se mogući uzroci požara ili eksplozije od električne energije. Pritom se, osim općih teorijskih spoznaja o tomu, služilo i autorovim osobnim zapažanjima iz njegove vatrogasne prakse. Premda spoj teorijskog i praktičnog znanja olakšava dobivanje odgovora na većinu pitanja glede uzroka takvih događaja na mjestu događaja, može se reći kako se uvijek mogu pojaviti i stanovite nejasnoće za koje su nužna ekspertna znanja i laboratorijske tehnike forenzičara. Zbog toga se stručnom otkrivanju, prikupljanju i ispitivanju dokazno važnih tragova uzroka požara ili eksplozija posvećuje najveća pozornost, što se ovim dijelom rada naglašava.

Radom je, potom, predložen niz preventivnih mjera i rješenja zaštite od požara i eksplozija kako bi se smanjio broj požara uzrokovanih električne energije.

U završnom dijelu rada su navedene standardne metode i tehnike ispitivanja i vještačenja tragova uzroka požara električne naravi koje se uobičajeno rabe u Centru za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenje „Ivan Vučetić“ u Zagrebu.

1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja i njihove raščlambe

Prilikom izrade teksta rada rabljena je metoda raščlambe sadržaja autoru dostupne tiskane i na internetu objavljene stručne literature u usporedbi s nekim autorovim osobnim spoznajama/iskustvima stečenim sudjelovanjem u gašenjima požara iniciranih električnom energijom te u vatrogasnim sigurnosnim pregledima eksplozijom plina uništenih ili oštećenih građevina.

2. STATISTIKA POŽARA I EKSPLOZIJA UZROKOVANIH ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Svake godine požari uzrokuju goleme materijalne štete i stradavanje velikog broja ljudi, kako u privatnom tako i u gospodarskom sektoru.

U tablici 1 prikazani su statistički podaci Ministarstva unutarnjih poslova Republike Hrvatske o požarima na objektima i otvorenom prostoru za razdoblje od 2010. do 2015. godine.

Razvidno je kako je trend kretanja ukupnog broja požara u navedenom razdoblju najviše ovisio o hidrometeorološkim prilikama, ponajviše glede požara nastalih na otvorenom prostoru.

Tablica 1: Godišnji broj požara u Republici Hrvatskoj u razdoblju 2010.-2015. [1].

Vrsta objekta/ otvoreni prostor		2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.
Objekti	Građevinski objekti	2227	2600	2435	2188	1507	1656
	Prometna sredstva	611	590	574	531	453	624
	Ukupno	2838	3190	3009	2719	1960	2280
	Otvoreni prostor	2198	6813	7848	2596	1781	4348
	Sveukupno:	5036	10003	10857	5315	3741	6628

Kako bi se postiglo smanjenje toliko velikog broja požara, u njima stradalih osoba i golemih materijalnih šteta potrebno je bolje urediti i učinkovitije organizirati sustav zaštite od požara i eksplozija, ponajprije donošenjem kvalitetnijih dokumenata na nacionalnoj, lokalnoj i područnoj (regionalnoj) razini i njihovom dosljednom primjenom.

Prilikom projektiranja i gradnje građevina mora se voditi računa o zaštiti od požara i eksplozija na način da se odredi odgovarajuća konstrukcija koja će očuvati nosivost tijekom određenog vremena izloženosti požaru, da se spriječi širenje vatre i dima unutar građevine, da se spriječi širenje vatre na druge susjedne građevine, da se

omogućiti izlazak osobama iz građevine bez ozljeda ili njihovo spašavanje i da se omogućiti zaštita spašavatelja³.

U provedbi zaštite od požara i eksplozija važnu ulogu ima Inspekcija zaštite od požara i eksplozija Ministarstva unutarnjih poslova koja provodi inspekcijski nadzor. Određene kontrole provedbe mjera zaštite od požara i eksplozija mogu provoditi i vatrogasne postrojbe ili zajednice na području za koje su osnovane.

Da bi se mogli donositi planovi, određivati ciljevi, mjere i radnje kojima će se smanjiti broj požara, broj stradalih u požarima i smanjiti materijalna šteta potrebno je provesti istragu kojom se utvrđuje uzrok i način izazivanja te širenja požara. Provođenje istrage je u nadležnosti Kriminalističke policije Ministarstva unutarnjih poslova koja surađuje s državnim odvjetnikom, inspektorom zaštite od požara i stručnjacima odgovarajuće struke. Utvrđivanje uzroka i načina nastanka požara i eksplozija na građevinama odnosno objektima bitan je postupak s obzirom da u požarima na građevinama nastaje najveća materijalna šteta i strada najveći broj osoba [2].

Tablica 2: Broj požara na građevinskim objektima uzrokovanih električnom energijom u Republici Hrvatskoj u razdoblju 2010.-2015. [1].

Vrsta objekta	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.
Grad. objekti	572	631	594	546	482	483

Statistički podaci o mjestu nastanka kvara na električnim instalacijama čija je posljedica bio nastanak požara prikazani su u tablici 3.

³ Zakon o zaštiti od požara (NN 92/10), čl.25., st.1.

Tablica 3: Udio broja požara uzrokovan električnom energijom ovisno o mjestu nastanka kvara u SAD-u [3].

MJESTO NASTANKA KVARA	Udio broja požara (%)
Vodiči ugrađeni u objekt	34,7%
Kablovi i utikači	17,2%
Svjetiljke	12,4%
Prekidači, produžni kabeli i utičnice	11,4%
Izvori svjetlosti	8,3%
Osigurači, glavni prekidači, razvodne ploče	5,6%
Mjerni uređaji i njihova kućišta	2,2%
Energetski transformatori	1,0%
Ostalo	7,3%

Statistički podaci (11 europskih zemalja) također pokazuju da se broj požara kao posljedica kvara na električnim instalacijama u posljednjih deset godina povećao za 25%, dok je za isti period broj požara izazvan drugim uzrocima porastao za 5% [4].

3. UZROCI NASTANKA POŽARA I EKSPLOZIJA

Kada se dogodi požar ili eksplozija, uzroci njihova nastanka su od primarnog i najvećeg istražiteljskog i preventivnog zanimanja zbog potrebe boljeg razumijevanja mogućih pogodnih uvjeta i okolnosti te ključnih mehanizama nastanka procesa paljenja stanovite vrste gorive tvari određenom vrstom izvora energije paljenja, a potom i poradi budućeg poduzimanja možebitno djelotvornijih preventivnih mjera te za kriminalističko utvrđivanje načina njihova nastanka. To se odnosi na sve one požare i eksplozije nastale zbog različitih mogućih vrsta ljudskih pogrešaka ili propusta, ili kvarova/otkaza tehničke, građevinske i slične naravi, kao npr. glede mjesta i naprava za loženje, dimnjaka, električnih uređaja i instalacija, različitih vrsta aparata, strojeva i postrojenja

za proizvodnju, distribuciju i pretvorbu energije (toplinske, električne, mehaničke, kemijske) itd.

Kao što je predočeno statističkim podacima u prethodnom poglavlju, razvidno je kako su nepravilno postavljeni, rabljeni ili održavani električni aparati i/ili ini uređaji u kućanstvu i industriji bili uzrokom brojnih slučajeva požara i eksplozija, kao i električne instalacije, koje nisu bile održavane ili instalirane u skladu s propisima. Razvidno je kako veliku opasnost predstavljaju i neispravni plinski uređaji i dotrajale plinske instalacije, loše izvedeni dimovodni kanali, neizvedena ili neispravna tehnička rješenja za uklanjanje opasnosti od statičkog elektriciteta itd.

Unatoč mnogim, više ili manje uspješnim pokušajima tipološkog razvrstavanja požara, treba uvijek imati na umu kako niti jedan požar, ma kako i ma gdje se on dogodio, nije po uzroku, načinu, uvjetima i okolnostima nastanka i traseološkim obilježjima nikada jednak ili posve sličan onima koje smo prije toga imali prilike vidjeti i stručno istraživati ili iz inih razloga proučavati.

Postoje više normativno, a još i više stručno/profesionalno (u vatrogastvu, pirotehnologiji, protupožarnoj sigurnosti i zaštiti, kriminalistici - kao npr. u forenzičkim znanostima, defendologiji, taktici ratovanja itd.) definiranih vrsta ili načina sustavnog razvrstavanja pojava izgaranja i požara s različitih stajališta i motrišta, te s različitih općih i posebnih značajki ovih pojava u nas i u svijetu [5].

Pri poduzimanju djelotvornih mjera zaštite od požara i eksplozija od velikog je značaja pravodobno uočavanje mogućih opasnosti. Uzroci nastanka požara i eksplozija mogu biti različiti. Mogu postojati u samoj prirodi tvari s kojom se radi, mogu biti vezani uz samu tehnologiju rada, odnosno za operacije koje se obavljaju prilikom prerade, proizvodnje, prijevoza i skladištenja zapaljivih materijala i napokon do požara ili eksplozije može doći pod utjecajem vanjskih čimbenika i procesa samozagrijavanja.

Može se reći da smo u suvremenom životu okruženi golemim brojem primjera požarno i eksplozijski potencijalno opasnih mogućih djelovanja mnoštva najrazličitijih mogućih vrsta praktičnih izvora energije paljenja, koji u slučaju nehaja, neznanja ili zlonamjernog djelovanja lako mogu rezultirati požarom ili eksplozijom. Prema tome, može se reći, da uzroci požara aktualiziraju i realiziraju potencijalne mogućnosti nastanka požara i eksplozija, iako oni ne izbijaju u tolikom broju kolike su potencijalne

mogućnosti izvora paljenja. Zbog golemog broja mogućih praktičnih izvora energije paljenja kao uzroka paljenja, postoje teškoće da se oni obrade i sistematiziraju.

Kako bi se što uspješnije provela borba protiv požara i eksplozija, potrebno je eliminirati njihove uzroke. Eliminacijom uzroka požara ili eksplozija podrazumijeva se znanje o njihovom nastajanju, tj. kako i gdje se javljaju. Odgovore na ova pitanja daju analize požara pa se na osnovu statističkih podataka o uzrocima požara i eksplozija vrše stručne obrade radi poduzimanja potrebnih preventivnih mjera. Obzirom na golem broj mogućih uzroka požara ili eksplozija, obično se daju osnovne klasifikacije i tipični slučajevi koji obuhvaćaju najveći broj uzroka požara. Kao i svi statistički podaci i podaci o uzrocima požara zavise od metodologije, broja požara, perioda vremena, stupnja industrijalizacije itd. [6].

Sukladno statističkom vođenju podataka o uzroku požara u Republici Hrvatskoj, uzroci požara su:⁴

1. toplinska energija (64%)
2. električna energija (15%)
3. mehanička energija (1%)
4. kemijska energija (1%)

Uzrok požara nije utvrđen u 18% nastalih požara [1].

3.1. Toplinska energija

Kao početni izvor toplinske energije koji može biti ili razviti dovoljno visoke temperature i oslobađati dovoljnu količinu toplinske energije za postizanje iniciranja procesa zapaljenja pojavljuju se kemijska, električna, mehanička i sunčeva energija.

Iz praktičnih istražiteljskih i dokaznih razloga je daleko jednostavnije te bitno razumljivije i prihvatljivije predočavanje utvrđenih početnih izvora toplinske energije i mehaničkog rada, koji su svojim djelovanjem u nazočnosti početne gorive i oksidacijske tvari konkretno inicirali pojavu požara ili eksplozije – samo putem dobro poznatih

⁴ Prosjek po uzroku požara od 2010. do 2015. prema statistici MUP-a.

praktičnih izvorišta toplinske energije i možebitno istražno relevantno jakog mehaničkog rada [7].

Kada govorimo o toplinskoj energiji, nailazimo na niz požarno i eksplozijski opasnih mogućih izvora paljenja. Poznato je kako do pojave zapaljenja u gorivih tvari, ovisno o njihovim kemijskim i fizikalnim svojstvima te o uvjetima i okolnostima pod kojim se mogu naći, ili kojima mogu biti izložene, može doći jednim od sljedećih temeljnih mehanizama:

1. pod utjecajem prisilnog (vanjskog) zagrijavanja tvari
2. pod utjecajem spontanog zagrijavanja tvari (samozagrijavanje)

Premda postoje i neke kriminalistički/forenzično zanimljive situacije nastanka zapaljenja tvari pod utjecajem sukcesivnog ili istodobnog kombiniranog djelovanja oba spomenuta mehanizma, spomenuto grubo razvrstavanje je općeprihvaćeno, kako među znanstvenicima/ forenzičarima tako i među kriminalistima.

Međutim, za potrebe detaljnog kriminalističkog istraživanja i forenzičnog razjašnjavanja mogućih uzroka pojava zapaljenja u gorivih i eksplozivnih tvari nužno je i detaljnije poznavanje mogućih podvrsta spomenutih mehanizama. Naime, poznato je kako do pojave zapaljenja u takvih tvari, može doći pod utjecajem procesa:

- pripaljivanja,
- prisilnog samopaljenja,
- brzog spontanog zagrijavanja i spontanog zapaljenja ili
- postupnim samozagrijavanjem i samozapaljenjem tvari.

Nastanak procesa zapaljenja u svake gorive tvari ovisi o vremenu njene izloženosti dovoljno visokoj temperaturi pod utjecajem izvora energije paljenja.

Ukoliko je neka goriva tvar bila izložena relativno vrlo visokoj temperaturi, ali u prekratkom vremenu, neće doći do zapaljenja jer nije primila dovoljnu količinu energije za iniciranje procesa zapaljenja, dok se ta ista tvar može zapaliti i pri izloženosti bitno manjim temperaturama – ali samo ako im je bila dovoljno dugo izložena.

Slično pravilo vrijedi i za vrijednost veličine impulsa energije odgovarajućeg podrijetla potrebnog za aktivaciju procesa kemijskog razlaganja ili izgaranja eksplozivnih tvari.

Sagledavanjem postojeće literature, znanja i iskustva, moguće praktične uzročnike požara i eksplozija energijske naravi se može, za potrebe kriminalističke istrage, pogodno razvrstati na sljedeće načine:

- A) prema podrijetlu nastanka inicijalnog izvora energije paljenja (E_p);
 - 1) izvori E_p nastali ili stvoreni aktivnošću ljudi, životinja, biljaka i mikroorganizama,
 - 2) izvori E_p nastali pojavom i djelovanjem prirodnih pojava,
- B) prema vrsti inicijalnog izvora energije paljenja (E_p);
 - 1) otvoreni plamen i vreli plinovi procesa običnog ili eksplozivnog izgaranja ili deflagacijskog ili eksplozivnog razlaganja,
 - 2) električni lukovi i iskrenja,
 - 3) vruće pregrijane površine,
 - 4) mehaničke i kemijske iskre,
 - 5) termički učinci egzotermnih mikrobioloških, fizikalnih i/ili kemijskih procesa koji mogu uzrokovati postupno samozagrijavanje i samozapaljenje ili brzo spontano zagrijavanje ili spontano zapaljenje,
 - 6) toplinski učinci procesa adijabatskog stlačivanja plinova ili para, tlačnih udarnih valova i ubrzanog strujanja plinova koji su jaki oksidansi, reducensi ili kemijski iznimno nestabilni,
 - 7) elektromagnetsko i/ili ionizirajuće zračenje te ultrazvuk [8].

3.2. Električna energija

Električna energija može se pretvoriti u različite vrste energija, primjerice mehaničku, kemijsku, toplinsku ili svjetlosnu. Kod svake pretvorbe gubi se određeni dio energije (najčešće toplinska energija).

Kada govorimo o električnoj energiji kao uzroku požara tada govorimo o električnoj struji, statičkom i atmosferskom elektricitetu, kratkom spoju, strujnom preopterećenju, iskrenju i električnom luku. Električna struja prisutna je kod električnih uređaja, agregata, postrojenja, u industriji, kod obnovljivih izvora energije, u vozilima

itd. te je tako vrlo učestala kao uzrok požara i eksplozije i posebno važna za dalju detaljniju obradu teme ovog rada.

Električna energija je drugi po redu najčešći uzrok požara [2].

3.3. Kemijska energija

Kada se radi o kemijskoj energiji kao uzroku požara i eksplozija na građevinskim objektima, tada govorimo o egzotermnim kemijskim reakcijama burnog izgaranja, eksplozijskog izgaranja zapaljivih plinova, para ili prašina te o samozagrijavanju i samozapaljenju.

Prilikom kemijskih reakcija zbog razvijanja topline mogu se zagrijavati tvari ili sustavi tvari i time postati izvor paljenja. Neke tvari posjeduju afinitet da se međusobno vežu u novi spoj, a pritom ili oslobađaju toplinu ili im se toplina odvodi u tijeku procesa. Kemijske reakcije kod kojih se oslobađa toplina koja dovodi do povišenja temperature nazivamo egzotermnim reakcijama, a ako se u blizini takove reakcije nalazi neka goriva tvar, ona se može zapaliti čim se postigne njena temperatura paljenja. Neke (bio)kemijske reakcije, poput onih koje uzrokuju samozagrijavanje i moguće samozapaljenje, mogu se početi odvijati već pri sobnim i nižim temperaturama. U najvećem broju slučajeva radi se o tvarima organskog podrijetla, koje se pod određenim uvjetima uslijed postupnog samozagrijavanja mogu na kraju i zapaliti [9].

Postupno samozagrijavanje i samozapaljenje tvari znakovito je za pojedine vrste i skupine tvari, kao što su to, primjerice: sijeno i ine vrste stočne hrane, sve krušarice, brašno, mlijeko u prahu, sirovi pamuk, sjemenke/plodovi i otpaci uljarica, masti i ulja onečišćene porozne tvari, ugljeni fosilnog podrijetla, svježe proizveden drveni ugljen i čađa, mnoge kemikalije i kemijski proizvodi itd. [8].

Jedan od čestih uzroka požara i eksplozija je i pojava brzog spontanog samopaljenja (tzv. pirofornog paljenja). Pojava nije svojstvena samo nekim čvrstim pirofornim tvarima, već postoji i priličan broj pirofornih kapljevitih tvari, koje se mogu spontano zapaliti same od sebe. Neke od njih se pale u dodiru sa zrakom, druge s vodom, a treće pri miješanju s drugim tvarima. U većini slučajeva nastanak požara

kojima je uzrok samozapaljenje ili spontano samopaljenje nepravilno je i neoprezno razmještanje i skladištenje tvari na otvorenom prostoru ili u skladištima. Građevine kod kojih dolazi do požara ili eksplozija najčešće su golemo skladišta s velikim količinama uskladištene robe u kojima nije osigurana odgovarajuća ventilacija [9].

3.4. Mehanička energija

Situacije kada se mehanički rad kao što je trenje, tlak ili udarac, pretvori u toplinu mogu dovesti do pojave požara ili eksplozije. Kada dolazi do trenja dviju površina oslobađa se toplina koja može biti dovoljna da neku tvar zagrije do temperature paljenja i pojave požara ili eksplozije. Ukoliko dođe do udara metala o metal može se pojaviti iskra koja padom na odgovarajući gorivi materijal može izazvati požar, zapaljenje ili eksploziju zapaljive ili eksplozivne smjese plinova i para. Mehanički procesi trenja, strojne obrade mogu uzrokovati opasno visoke temperature dijelova površine, koje su izložene obradi. Posebice mogu biti opasne naprave u kojima se mehanička energija pretvara u toplinske gubitke, kao što su spojke na trenju, mehaničke kočnice itd.

Sličan učinak opasnih zagrijavanja površina mogu uzrokovati različiti rotirajući dijelovi, kao što su osovine u ležajevima, ili vodilicama, a posebice zbog nedostatka maziva. Do toga može doći i upadanjem stranih tijela u rotirajuće raspore čije trenje u kratkom vremenu može uzrokovati vrlo visoke površinske temperature. Tamo gdje ove opasnosti mogu biti izrazitije vrlo značajna zaštitna mjera je redovito nadziranje temperature na mjestima gdje postoji mogućnost pregrijavanja [9].

4. POŽARNO I EKSPLOZIJSKI OPASNA OBILJEŽJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Električna energija je pojam koji se može odnositi na više usko povezanih oblika energije:

- energija sadržana u električnom polju,
- potencijalna energija električnog naboja,
- energija električne struje [10].

Suvremena industrijska proizvodnja, tehnološki procesi, poljoprivredna proizvodnja te domaćinstva nezamislivi su bez korištenja električne energije. Možemo slobodno zaključiti da je električna energija sveprisutni energent današnjice. Ovu zahtjevnu zadaću omogućava elektroenergetski sustav koji podrazumijeva postrojenja, instalacije i uređaje za proizvodnju, prijenos, transformaciju i raspodjelu električne energije. Budući da pojave koje su prisutne kod električne energije, uz druge medije, mogu izazvati velika razaranja ili po život opasne učinke, on predstavlja i potencijalnu opasnost.

S kriminalističkog aspekta radi se o zanimljivom području s obzirom na to da je zbog već navedenih karakteristika, električna energija jedan od češćih uzroka požara ili eksplozija, bilo da se radi o kvaru na električnim postrojenjima, instalacijama, uređajima ili napravama, bilo da je riječ o nepravilnom rukovanju ili sabotazi. Nažalost, još uvijek je česta pojava navođenja električne energije kao uzroka požara ili eksplozije jer je to pogodno kada nije moguće utvrditi drugi uzrok, a na taj način postoji mogućnost da se počinitelj kaznenog djela, bilo nehajnog bilo namjernog, prikrije. Istraživanje uzroka požara i eksplozija jest složen problem, čemu pridonosi i činjenica da su tragovi mogućeg požarno i eksplozijsko opasnog djelovanja električne energije nakon događaja požara često vidljivi jedino u njenim posljedicama [2].

4.1. Dinamički elektricitet

Da bi se utvrdio uzrok požara ili eksplozije, kada se opravdano sumnja da je uzrok električna energija, potrebno je potpuno poznavanje svojstava izmjenične i istosmjerne struje i svih zakonitosti iz područja elektrotehnike i praktičnog korištenja električne energije.

Električna struja je naziv kojim se općenito označava gibanje električnih naboja. U metalnim vodičima električna struja jest gibanje slobodnih elektrona. Intenzitet električnog strujanja ili jakost električne struje (I) izražava se količinom elektriciteta koja prostruji u jedinici vremena na promatranom mjestu vodiča. Dakle, $I=Q/t$, gdje je Q količina električnog naboja koja je u vrijeme t prošla kroz poprečni presjek vodiča. Jedinica za mjerenje jakosti električne struje je amper (A).

1 A je ona jakost stalne električne struje koja prolazeći kroz dva ravna, paralelna, neizmjereno dugačka vodiča, zanemarivo malog poprečnog kružnog presjeka, razmaknuta 1 metar i smještena u vakuumu, uzrokuje između njih silu od 2×10^{-7} N po metru duljine.

Druga osnovna električna veličina jest električni napon (U). To je sposobnost nekog izvora da uzrokuje struju kroz strujni krug. Mjeri se mjernom jedinicom volt (V). Po definiciji, 1 V je potencijalna razlika dviju točaka homogenog žičanog vodiča kojim teče konstantna struja od 1 A, ako se u vodiču između tih točaka troši snaga od 1 W (vata).

Uzrok kretanja električnog naboja je što električni izvor ima priključke različite električne potencijalne energije tj. razliku potencijala (φ). Zbog toga se napon izvora naziva još i razlika potencijala, tj. $U=\varphi_a-\varphi_b$ [9].

4.1.1. Električni otpor i vodljivost

Kako je električni napon uzrok pojave električne struje, jakost struje će ovisiti o naponu izvora. Uz isti napon, u različitim strujnim krugovima protjecati će struje različitih jakosti, te slijedi da postoji još jedna karakteristika strujnih krugova, a to je

električni otpor. Električni otpor je fizikalna veličina oznake R koja karakterizira otpor materijala prolasku električne struje. Jedinica za električni otpor je ohm (Ω). Električna vodljivost, oznaka G, recipročna je vrijednost električnog otpora, tj.

$$R=I/G \tag{1}$$

Jedinica za vodljivost je simens (S). Iz ovoga proizlazi takozvani Ohmov zakon koji se matematički izražava jednadžbom [9]:

$$I=U/R \tag{2}$$

4.1.2. Izmjenična struja

Ako je strujanje elektriciteta nejednoliko, jakost električne struje bit će vremenski promjenjiva i u svakom trenutku imat će drugačiju vrijednost. Razlikujemo istosmjernu struju, kod koje su smjer i jakost u vremenu konstantne, te promjenjive struje. Od svih promjenjivih struja najveću važnost imaju periodički promjenjive struje. Ako periodički promjenjiva struja osim jakosti mijenja još i smjer, zove se izmjenična struja. Izmjenična struja koja teče jednim zatvorenim strujnim krugom često se naziva i jednofazna da bi se istaknula razlika prema višefaznim strujama. Od svih višefaznih struja najveću važnost ima u općoj elektrifikaciji trofazna struja. Trofazna struja je sustav triju sinusoidalno promjenjivih struja koje su vremenski jedna prema drugoj fazno pomaknute za 1/3 periode, što odgovara u grafičkom prikazu faznom kutu od 120°. Prema tome, to nije jedna, nego tri struje koje se u generatoru zajednički proizvode, dalekovodom zajednički prenose i predaju konzumnom području.

Promjenjivost izmjeničnih struja i napona označava se trajanjem jedne periode T, odnosno frekvencijom f, brojem perioda u jedinici vremena.

Jedinica za frekvenciju je herc (Hz). Ako je trajanje jedne periode 1/50 sekunde, struja u 1 sekundi obavi 50 ciklusa promjena ili 50 perioda, pa je $f=50$ Hz [9].

4.2. Djelovanje i učinak električne struje

Električna struja je danas, kako se već navelo, sveprisutni energent koji se iskorištava na puno načina. Ovo iskorištavanje bazira se na činjenici transformacije jednog oblika energije u drugi, te je moguće sastaviti osnovnu podjelu iskorištavanja i djelovanja električne struje:

- toplinsko djelovanje,
- kemijsko djelovanje,
- magnetsko djelovanje,
- svjetlosno djelovanje [9].

4.2.1. Toplinsko djelovanje električne struje

Električna struja pri svakom prolasku kroz vodič ili prilikom korištenja u strojevima ili uređajima, pretvara se djelomično u toplinsku energiju. Prema tome svakoj vrijednosti električne struje odgovara jedan od određenih porasta temperature.

Taj porast temperature mora biti ograničen, tj. temperatura ne smije dostizati točku paljenja izolacije, okolnih predmeta i materijala.

Prema Jouleovu zakonu količina topline koju električna struja razvije u vodiču proporcionalna je kvadratu jakosti struje, otporu vodiča i vremenu prolaska struje, što matematički izgleda:

$$Q(t) = I^2 \times R \times T \tag{3}$$

Potrebno je naglasiti da tri puta jača struja stvara devet puta više topline. Na ovome se zasniva rad svih elektrotoplinskih uređaja (grijalice, glačala i sl.) [9].

4.2.2. Kemijsko djelovanje

Urone li se u otopinu ili talinu elektrolita dva vodiča (koja se u ovom slučaju nazivaju elektrode) spojena na negativni, odnosno pozitivni pol istosmjernog izvora električne struje, doći će do prolaska struje otopinom ili talinom, koja će se razlagati uz izlučivanje produkata na elektrodama. Ova pojava naziva se elektroliza. Električki nabijeni ioni koji se nalaze u otopini ili talini elektrolita, privučeni elektrodom pozitivnog naboja, pokreću se, i to pozitivno nabijeni ioni (kationi) na negativnu elektrodu (katodu), a negativno nabijeni ioni (anioni) na pozitivnu elektrodu (anodu). Ovaj proces traje dok se na obje elektrode ne izluče različite tvari. Elektrode u elektrolitu tvore galvanski članak na čijim se krajevima javlja razlika potencijala - napon. Ta pojava iskorištena je pri izradi akumulatora.

Postoji više vrsta akumulatora, no svi rade na istome principu. Sa sigurnosnog aspekta zanimljivi su kao istosmjerni izvori električne struje koji se koriste kao pomoćna sredstva napajanja, te kao izvori energije u nuždi, s obzirom na to da postoji mogućnost da u kritičnom trenutku dođe do njihovog kvara odnosno zatajivanja [9].

4.2.3. Magnetsko djelovanje

U prostoru oko vodiča kojim teče električna struja stvara se magnetska polje. Oblik polja ovisi o obliku vodiča.

Najjednostavniji primjer je torusni svitak. Stvoreni magnetski tok (Φ) ovisi o umnošku jakosti struje (I) i broja navoja (N) svitka, te o geometrijskim gabaritima prostora u kojem se zatvaraju silnice. Različiti materijali različito se ponašaju u magnetskom polju. Stoga se, s obzirom na magnetska svojstva, materijali mogu podijeliti na paramagnetske, dijamagnetske, feromagnetske i antiferomagnetske materijale. Magnetsko djelovanje električne struje osnova je na temelju koje se temelji rad mnogih električnih uređaja i svih električnih strojeva, te samim tim predstavlja važnu činjenicu u ispitivanju i otkrivanju uzroka kvarova i grešaka koje imaju posljedice na tehnološke procese [9].

4.2.4. Svjetlosno djelovanje električne struje

Električna je rasvjeta danas najvažniji način umjetne rasvjete. Kao izvor svjetlosti moguće je koristiti standardne žarulje sa žarnom niti ili izvore svjetlosti na osnovi izbijanja kroz plinove i metalne pare. S obzirom na rasprostranjenost i tehničke karakteristike nama su zanimljive standardne žarulje sa žarnom niti.

Naime svjetlosni efekt postiže se zagrijavanjem spirale volframove žarne niti smještene u staklenom balonu u kojem se nalazi smjesa plinova. Da bi se postigao odgovarajući intenzitet svjetlosti potrebna je da se temperatura užarene spirale kreće između 2200 °C i 2900 °C. Ovo predstavlja opasnost za izbijanje požara ako ovakva žarulja dodiruje ili se nalazi u neposrednoj blizini zapaljivog materijala [9].

4.3. Statički elektricitet

Statički elektricitet je jedna vrsta električne energije koja je za razliku od električne struje u stanju mirovanja. To su električni naboji uzrokovani neravnotežom elektrona na površini materijala. Predstavljaju ga električni naboji koji miruju, a nalaze se na različitim tijelima. Statički elektricitet je opasan tek kada nakupljeni električni naboji izbijaju u vidu iskri koje mogu zapaliti ili dovesti do eksplozije zapaljivih i eksplozivnih smjesa plinova, para i prašina. Stoga je statički elektricitet najveća opasnost za uzrokovanje požara u industrijskim pogonima gdje se obrađuje tekstil, guma, papir, brašno, prašina ugljena i sl. [9].

Događa se u najrazličitijim proizvodnim uvjetima, odnosno kod:

- remenskog prijenosa vrtnje i transportnih traka od izolacijskih materijala;
- odmatanja/prematanja i obrade raznih tkanina, papira i gume;
- miješanja nekih tvari (primjerice: snažno miješanje otapala/sredstva za pranje u strojevima za čišćenje;
- mljevenja, drobljenja i prešanja nekih izolacijskih tvari;
- filtriranja zraka i plinova;

- protjecanja nekih tekućina kroz cjevovode (kada je brzina protjecanja tekućine veća od dopuštene);
- izlivanje, prelijevanje/pretakanje, a kada se istakanje obavlja s padajućom rasprskavajućom strujom tekućina visokog specifičnog otpora;
- protjecanja po cjevovodima i istjecanja na mlaznicama stlačenih i ukapljenih plinova [11].

4.4. Atmosferski elektricitet

Kod atmosferskog elektriciteta prvo trebamo razlikovati normalno električno stanje atmosfere koje postoji kod mirnog i vedrog neba i atmosferski elektricitet koji nastaje pražnjenjem električnog naboja čestica vode u oblacima u vidu munje i groma.

U slučaju kada dolazi do atmosferskog pražnjenja između oblaka dolazi do pojave munje, a kada dolazi do pražnjenja između oblaka i zemlje nastaje pojava groma. Za izazivanje požara ili eksplozije atmosferskim elektricitetom, bitan je grom jer djeluje slično električnoj iskri, ali ima puno veću snagu. Temperatura koju električni luk groma može postići je i do 5000 °C. Također je bitno što dulje trajanje pražnjenja groma jer se povećava vjerojatnost zapaljenja gorivih materijala. Osim zapaljenja materijala druga karakteristika groma je razaranje krutih tijela u koje udari, ako su tijela izolatori ili poluvodiči. Razlog tome je što visoka temperatura električnog luka groma izaziva naglo isparavanje vode u materijalima s kojima dolazi u kontakt [9].

5. ELEKTRIČNA ENERGIJA KAO MOGUĆI UZROK POŽARA ILI EKSPLOZIJE

Električna je energija uzrok požara ili eksplozije kada stvara toplinu koja dostiže kritičnu temperaturu paljenja materijala koji se nalazi u neposrednoj blizini, a to može biti materijal od kojeg je napravljena izolacija, konstruktivni elementi stroja, uređaja, objekta ili drugog zapaljivog ili eksplozivnog materijala.

Najčešći uzroci paljenja gorivih tvari električnom energijom su:

- preopterećenje,
- kratki spoj,
- veliki prijelazni otpor,
- iskrenje i električni luk i
- kvarovi na elektrotermičkim uređajima [12].

5.1. Preopterećenje

Preopterećenjem se naziva pojava pri kojoj se u električnoj mreži, namotajima električnih strojeva, instrumentima, uređajima i aparatima pojavljuju strujna opterećenja koja trajno prekoračuju dopuštena opterećenja. Kako je već spomenuto toplinsko djelovanje električne struje je korisno kada je upotrebljavana u elektrotermičkim uređajima i napravama. Međutim, ako temperatura dosegne točku paljenja izolacije ili materijala u blizini, dolazi do izbijanja požara. Za električne vodiče porast temperature ne smije biti veći od 25 °C. Ako vodiči nisu ispravno dimenzionirani svojim poprečnim presjekom, doći će do trajnog prekoračenja strujnog opterećenja, tj. vodiči neće uspjeti prenijeti toplinu koju razvija povećana struja na okolinu. Zbog toga dolazi do pregrijavanja vodiča, što dovodi do oštećenja izolacije, a u kasnijoj fazi i do njenog zapaljenja. Čest je slučaj da preopterećenje nije uvijek toliko veliko da bi izazvalo odmah paljenje izolacije, ali čak i neznatna uzastopna preopterećenja predstavljaju

opasnost. U tim slučajevima dolazi do procesa razaranja izolacije. Gumena izolacija na temperaturi od preko 65 °C dehidrira, gubi elastičnost te izolacija puca. Otpor izolacije naglo pada i pojavljuje se opasnost od kratkog spoja. Preopterećenje najjače utječe na kontakte i spojeve vodiča, posebno ako nisu kvalitetno i pravilno izvedeni te do zapaljenja izolacije dolazi najčešće na tim mjestima [4].

Tablica 4: Odnosi poprečnih presjeka vodiča i dopuštenih jakosti struja [9].

Presjek vodiča [mm ²]	Dopuštena jakost struje [A]	
	za bakar	za aluminij
1,0	12	-
1,5	16	-
2,5	21	16
4,0	27	21
6,0	35	27
10,0	48	38
16,0	85	51
25,0	88	69

Do pregrijavanja vodiča može doći i pri normalnim strujnim opterećenjima, pod uvjetom da je na neki način spriječeno odvođenje topline. Bilo kakvo sprječavanje oslobađanja topline u okolni prostor, prekrivanjem izolacije robom ili različitim materijalima koji mogu stvoriti neki oblik vanjske toplinske izolacije, a što je čest slučaj u poslovnim objektima, može uzrokovati paljenje izolacijskog materijala energetskog kabela, čak i u uvjetima normalnog opterećenja. Za ekspertizu je važan i podatak da li se osjećao specifičan miris gume koji se razvija prilikom zagrijavanja izolacije. U praksi se najčešće pale nekvalitetni i preopterećeni produžni kabeli (slika 1) [9].

Tablica 5: Najveće dopuštene temperature za različite tipove izolacije [12].

Tip izolacije	Najveća dopuštena temperatura
PVC i prirodna guma	70 °C na vodiču
Umreženi polietilen i etil-propilen	90 °C na vodiču
Mineralna (s PVC omotačem ili metalnim plaštem kada se kabeli dodiruju)	70 °C na omotaču
Mineralna (s metalnim plaštem kada se kabeli ne dodiruju)	70 °C na omotaču

Uzrokom preopterećenja električnih mreža može biti i uključivanje potrošača koji nisu prethodno predviđeni proračunom, a što se naročito odnosi na elektrotermičke uređaje (termoakumulacijske peći, grijalice, štednjaci i sl) [12].



Slika 1: Prikaz neispravno priključenih produžnih kablova [12].

Čest uzrok požara su i elektromotori. Preopterećenje elektromotora najčešće nastaje zbog:

- nepravilnog izbora motora za dani radni proces,
- nepažnje osoblja koje ga opslužuje,
- nenormalnog režima rada mehanizma koji pokreće motor.

Strujno preopterećenje namotaja trofaznih motora nastupit će ako se trofazni motor napaja iz dvije faze, tj. ako za vrijeme rada motora dolazi do prekida jedne faze. Ovo ima za posljedicu pad broja okretaja u velikoj mjeri, a jakost struje se toliko povećava da se može u slučaju da nema sigurne zaštite izolacija statora ili rotora, zapaliti. To je naročito opasno za motore koji rade pod punim opterećenjem.

Postoje jednostavne mogućnosti provjere je li motor uključen na samo dvije faze, stoga je potrebno provjeriti sljedeće:

- motor ne radi prilikom stavljanja u pokret,
- prilikom pokretanja uključenog motora rukom, motor radi s trzanjem uz jako zujanje.

Više je uzroka rada motora na dvije faze :

- zbog pregaranja jednog osigurača u naponskoj mreži motora,
- zbog kvara na kontaktu jedne faze u sklopki motora,
- zbog prekida jedne faze u naponskom strujnom krugu motora,
- zbog zaribavanja osovine motora,
- zbog zaribavanja i zaglavljivanja mehanizma koji pokreće elektromotor.

Ovo posljednje česta je pojava, posebno kod ventilatora, i to kada se u ventilacijskom sustavu nađu strani predmeti. Pri tome dolazi do zagrijavanja i proširivanja ležajeva te do zaustavljanja rotora elektromotora zbog nastalih sila trenja. Ako se naponska mreža poslije zaustavljanja motora ne isključi, čitava električna energija koja dolazi u namotaje motora pretvorit će se u toplinu i može doći do zapaljenja izolacije namotaja [9].

5.2. Kratki spoj

Istražitelji koji se bave istraživanjem uzroka požara i eksplozija (kao možebitnih paleži) susreću ga gotovo uvijek. Kratkim spojem naziva se pojava u električnim mrežama u kojima se međusobno preko malog otpora koji ne odgovara nominalnim uvjetima rada, spoje bilo koje točke različitih faza strujnog kruga ili bilo koje točke faza i neutralnog vodiča (nule).

U trenutku kratkog spoja ukupan otpor strujnog kruga naglo se smanjuje, što ima za posljedicu znatno povećanje jakosti struje u krugu u odnosu na normalno pogonsko stanje. Najznakovitiji trag kratkog spoja je taljenje vodiča i drugih dijelova električne instalacije i uređaja zbog nastalog električnog luka, čija temperatura iznosi 1500 - 4000 °C. Ovo taljenje u većini slučajeva ima izgled kuglica (perlica) formiranih taljenjem metala vodiča ili na drugim dijelovima kroz koje prolazi struja. Taljenje zbog djelovanja kratkog spoja treba razlikovati od taljenja nastalog djelovanjem topline nastale tijekom požara. Ovi tragovi razlikuju se po tome što tragovi taljenja vodiča zbog razvijene topline šireg razmjera, nemaju određene granice, a na krajevima dolazi do smanjenja poprečnog presjeka. Površina taljenog vodiča izgleda kao da je obrasla školjkama. Ovo se uglavnom odnosi na bakrene vodiče i na bakrene dijelove unutar strujnog kruga.

Čelični se dijelovi u požaru obično ne tale jer je temperatura taljenja čelika oko 1400 °C. Znatno je teže, a ponekad i nemoguće, utvrditi tragove kratkog spoja na vodičima i dijelovima od aluminija. Temperatura taljenja aluminija iznosi 657 °C i zbog toga se dijelovi od aluminija obično potpuno rastale u požaru, a ponekad i potpuno izgore [7].

Primarni kratki spoj je spoj do kojeg dolazi na zraku u sredini koja je bogata kisikom i to je spoj koji je uzrok nastanka požara ili eksplozije.

Sekundarni kratki spoj je spoj do kojeg dolazi u odsustvu zraka (kisika), a u prisustvu N₂ i plinovitih produkata izgaranja (CO, CO₂...). To je kratki spoj koji nastaje kao posljedica požara ili eksplozije [23].

Kratki spoj je najčešće uzrok požara kada su u pitanju elektroinstalacije – primarni kratki spoj. Vrlo često se događalo, a i sada je to slučaj, da se kratki spoj uzima za uzrok požara čim se nađe mjesto proboja, bez detaljnijeg razmatranja i ispitivanja tog

dijela vodiča. Takav rad je pogrešan, jer su nađeni kratki spojevi u većini slučajeva nastali kao posljedica požara – sekundarni kratki spoj, a uzrok požara je nešto drugo. Nađeni kratki spoj se mora detaljno ispitati pa tek onda izreći sud o njegovom karakteru (slika 2)[9].



Slika 2: Prikaz tragova kratkog spoja na bakrenoj žici [12].

U većini slučajeva uzrok nastanka kratkog spoja je oštećenje izolacije, a ono nastaje zbog:

- mehaničkog oštećenja,
- starenja kod duge upotrebe,
- sustavnih preopterećenja,
- djelovanja vlage i agresivne sredine (nagrizajuća para, kiseline i sl.) [9].

Istraživanja uzroka požara i eksplozija i prije predloženi statistički podaci pokazuju kako je uzrok najvećeg broja kratkih spojeva jednofazni kratki spoj sa zemljom. Osim jednofaznog spoja sa zemljom dolazi i do dvofaznog i trofaznog spoja, no oni su uglavnom rijetki.

Za izbjicanje požara veliku opasnost predstavlja kratki spoj jedne faze sa raznim metalnim konstrukcijama (krovovi, oluci, metalni nosači, cjevovodi različite namjene, metalne mreže, metalne grede i sl.) koje imaju spoj sa zemljom.

Pri tome mogu nastupiti dva slučaja:

- metalne konstrukcije na kojima je došlo do kratkog spoja imaju vrlo mali otpor i dobar kontakt sa zemljom i međusobno na spojevima. U ovim uvjetima jednofazni kratki spojevi sa zemljom preko tih konstrukcija praćeni su pojavom velikih struja, što u većini slučajeva dovodi do pregaranja rastalnih osigurača ili do aktiviranja drugih zaštitnih uređaja, prema tome, do prekida strujnog kruga. Ako su osigurači neispravni ili ne postoje zaštitni uređaji i javlja se kratki spoj uz intenzivno iskrenje i pojavu kratkotrajnog električnog luka.
- metalne konstrukcije na kojima je došlo do kratkog spoja imaju velik otpor, a u strujnom krugu od mjesta kratkog spoja do zemlje ima dijelova sa slabim kontaktima. U ovom slučaju izvanredno veliku opasnost predstavljaju jednofazni kratki spojevi sa zemljom. Otpori između mjesta kratkog spoja i zemlje mogu smanjiti struju kratkog spoja do veličine pri kojoj zaštitni uređaji neće reagirati i prekinuti strujni krug [9].

Mjesta s lošim kontaktima na putu prolaska struje prema zemlji intenzivno će se zagrijavati, pa može doći do zapaljenja okolnog gorivog materijala. Zagrijavanje može biti toliko intenzivno da za posljedicu ima taljenje pojedinih dijelova metalnih konstrukcija. Takvi slučajevi najčešće se javljaju pri kratkim spojevima jedne od faza s metalnim olukom, metalnom mrežom, cjevovodima i sl.

Prilikom obavljanja očevida treba razlikovati slučaj nastajanja kratkog spoja koji uzrokuje požar od kratkog spoja nastalog kao posljedica požara. I danas se još događa da se kratki spoj uzima kao uzrok požara ili eksplozije čim se pronađu vodiči s karakterističnim tragovima kuglica ili djelomičnog taljenja. Takvo je zaključivanje pogrešno i dovodi do krivih zaključaka. Naime, potrebno je razlikovati primarni kratki spoj (onaj koji uzrokuje požar) od sekundarnog kratkog spoja (kratki spojevi nastali kao posljedica požara, najčešće zbog oštećenja izolacije vatrom) [4].

Dakle, ako je zbog djelovanja vrućih plinova došlo do oštećivanja izolacije vodiča pod naponom, te potom do sekundarnog kratkog spoja onda se žarenje bakrenog vodiča dogodilo u takvoj atmosferi koja je zbog izgaranja izolacije potpuno ostala bez kisika.

Nasuprot tome, ako je žarenje bakrenog vodiča nastalo zbog tinjajućeg kratkog spoja, puno ranije prije stvarnog kratkog spoja (što većinom dovodi do laganog izgaranja izolacije po dužini cijelog zagrijanog vodiča, a zatim do karbonizacije i osipanja izolacionog sloja), to je znak da je zagrijani bakreni vodič izložen djelovanju kisika iz zraka. Ova istraživanja daju rezultate u strogo kontroliranim laboratorijskim uvjetima, a realan požar to nažalost nije. Ono s čime se istražitelj u praksi susreće je često neodgovarajuće osigurano mjesto požara, zatim intervencija vatrogasnih postrojbi, pri čemu na mjestu događaja nastupaju izmjene. U realnim uvjetima intenzitet požara zna biti takav da dolazi do potpunih termičkih oštećenja električne instalacije koju je onda teško rekonstruirati s obzirom na to da dolazi do taljenja ili čak izgaranja električnih vodiča.

Termička oštećenja ovise i o rasporedu gorivog materijala na mjestu događaja tako da i mjesto najvećih destrukcija nije uvijek i ishodište požara.

Objekt na kojem izbije požar nije nikada hermetički zatvoren, tako da uvijek postoji mogućnost dolaska kisika u opožareni prostor. Ovo nas navodi na zaključak da laboratorijska metoda utvrđivanja primarnog, odnosno sekundarnog kratkog spoja, nije pogodna za realan požar jer nas može dovesti do krivog zaključka. Naime, do zaključka radi li se o primarnom ili sekundarnom kratkom spoju moguće je doći posredno.

To znači da je prvo potrebno odrediti ishodište požara⁵. Po pronalasku ishodišta požara potrebno je utvrditi nalazi li se u lociranom ishodištu požara električna instalacija ili ostaci električnih uređaja i naprava. Sljedeći korak je utvrđivanje je li taj dio strujnog kruga u kritično vrijeme bio pod naponom, odnosno utvrditi jesu li električni uređaji ili naprave bili uključeni. Tek ako je u lociranom ishodištu požara moguće sa sigurnošću isključiti ostale uzroke požara, tada možemo zaključiti da se radi o primarnom kratkom spoju koji je i uzrokovao nastali požar [9].

⁵ Ishodište požara definira se kao mjesto gdje je došlo do spajanja gorivog materijala s izvorom paljenja.

5.3. Veliki prijelazni otpor

Prijelazni otpori nastaju na svim mjestima gdje se vodiči pod naponom spajaju s različitim elementima, bilo potrošačima bilo elementima za upravljanje (sklopke, razvodne kutije, strojevi, uređaji, instrumenti, naprave). Kod dobro ostvarenih spojeva (dobar kontakt) prijelazni otpori su mali tako da se ne razlikuju od otpora u drugim dijelovima strujnog kruga. Nasuprot tome, ako su spojna mjesta loše izvedena, a ostvareni kontakt slab, dolazi do naglog povećanja prijelaznog otpora, što u slučaju prolaska električne struje rezultira velikom disipacijom snage na tom mjestu strujnog kruga i to naravno u obliku topline. Ovako razvijena toplina može dovesti do zapaljenja izolacije te se prenijeti na okolni gorivi materijal.

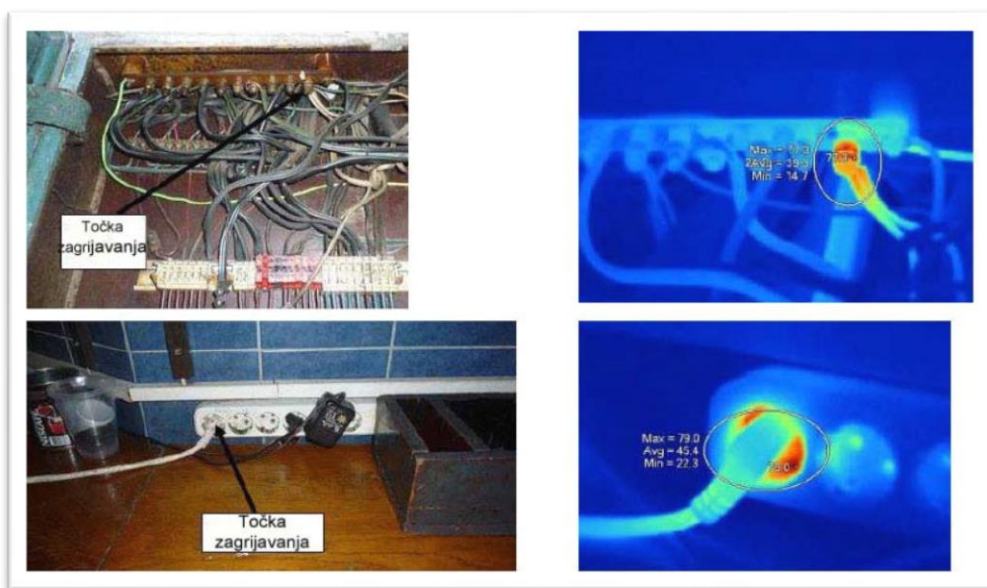
Zbog slabog kontakta moguća je pojava jakog iskrenja pa i električnog luka, što često dovodi do taljenja mjesta spajanja, pa prema tome, i do izbijanja požara. Prilikom ispitivanja uzroka izbijanja požara zbog velikih prijelaznih otpora treba znati da osigurači, pa čak i pravilno dimenzionirani, ne mogu spriječiti izbijanje požara, jer se struja u mreži po iznosu ne razlikuje od nominalne i oslobađanje velike količine topline uvjetovano je samo velikim prijelaznim otporom. U mnogim slučajevima veliki prijelazni otpori ne utječu na rad električnih prijemnika, a instrumenti ih ne mogu locirati i fiksirati te zbog toga ne mogu biti primijećeni.

Najkarakterističniji znak pojave velikih prijelaznih otpora jest povećano zagrijavanje vodiča ili kontakata pod naponom. Međutim, treba znati da se spojevi i kontakti mogu zagrijavati i zbog preopterećenja, što ukazuje da iste posljedice mogu biti rezultat različitih uzroka, a što od osoba koje obavljaju istraživanje uzroka požara zahtijeva iznimnu stručnost.

Uzroci velikih prijelaznih otpora mogu biti sljedeći:

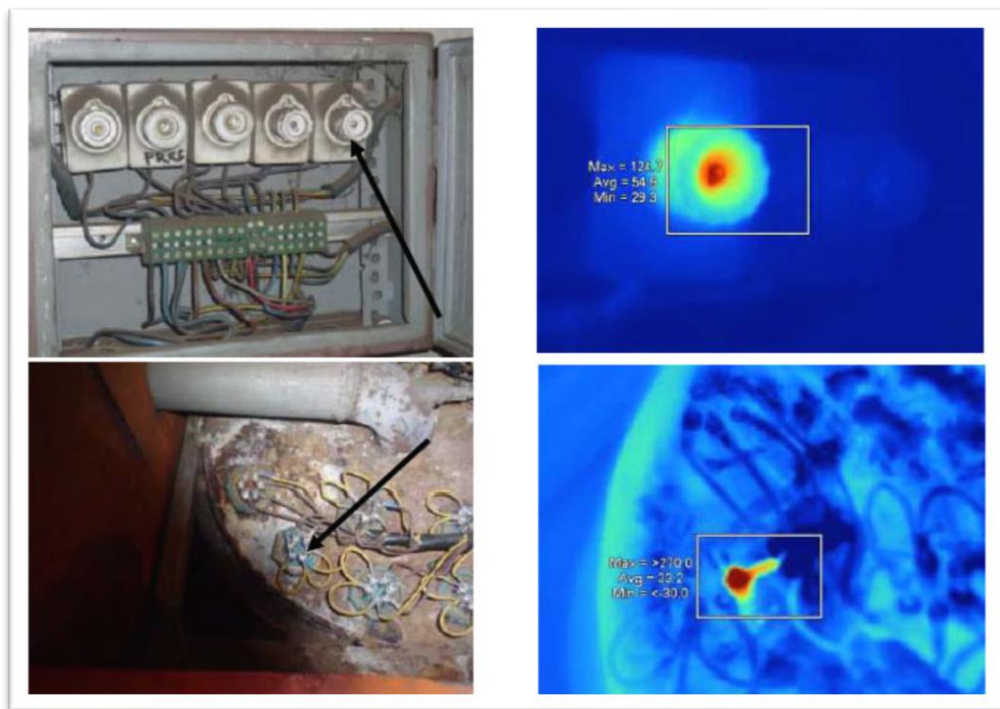
- slab električni spoj na mjestima grananja vodiča i na mjestima priključivanja vodiča na električne strojeve, instrumente, uređaje i naprave,
- oksidacija spojeva vodiča koja često nastaje u vodovima s aluminijskim žicama. To se objašnjava time što se površina aluminijskih vodiča na zraku pokriva filmom oksida, koji stvara veliki prijelazni otpor,
- vibracija opreme koja dovodi do olabavljenja i slabljenja kontakata [9].

Karakteristična mjesta na kojima se može pojaviti veliki prijelazni otpor jesu razne vrste utičnica u koje se uključuju razni električni termički ili drugi uređaji. Obično na tim mjestima dolazi do pojave velikih prijelaznih otpora zbog oslabljenih kontakata, njihove dotrajalosti i slično. Takve se utičnice zagrijevaju što može izazvati ili kratki spoj ili zapaljenje podloge i okolnog gorivog materijala. Iz tog razloga potrebno je prilikom obavljanja očevida u opožarenom objektu, a u lociranom ishodištu požara, pregledati sva spojna mjesta kao što su razvodne ploče, kutije, utičnice, te priključne kablove s priborom (slika 3 i 4). Pri tom treba obratiti pozornost na utvrđivanje činjenice je li neki od električnih potrošača bio uključen ili ne. Na primjer, pregledom kontakata utikača električnog potrošača moguće je zaključiti je li bio uključen u utičnicu, te je li nagorio zbog lošeg kontakta. Ovo je moguće zaključiti unatoč činjenici što je tijekom akcije gašenja moglo doći do izvlačenja utikača. Naime, ako se na kontaktima ne uočava sloj čađe i gareži, velika je vjerojatnost da je navedeno trošilo bilo uključeno na naponsku mrežu [7].



Slika 3: Primjer "točki zagrijavanja" na kritičnim mjestima (snimljeno termovizijskom kamerom⁶) [12].

⁶ Kamera kojom promatramo količinu infracrvenog zračenja koje emitira svako tijelo ovisno o njihovoj temperaturi.

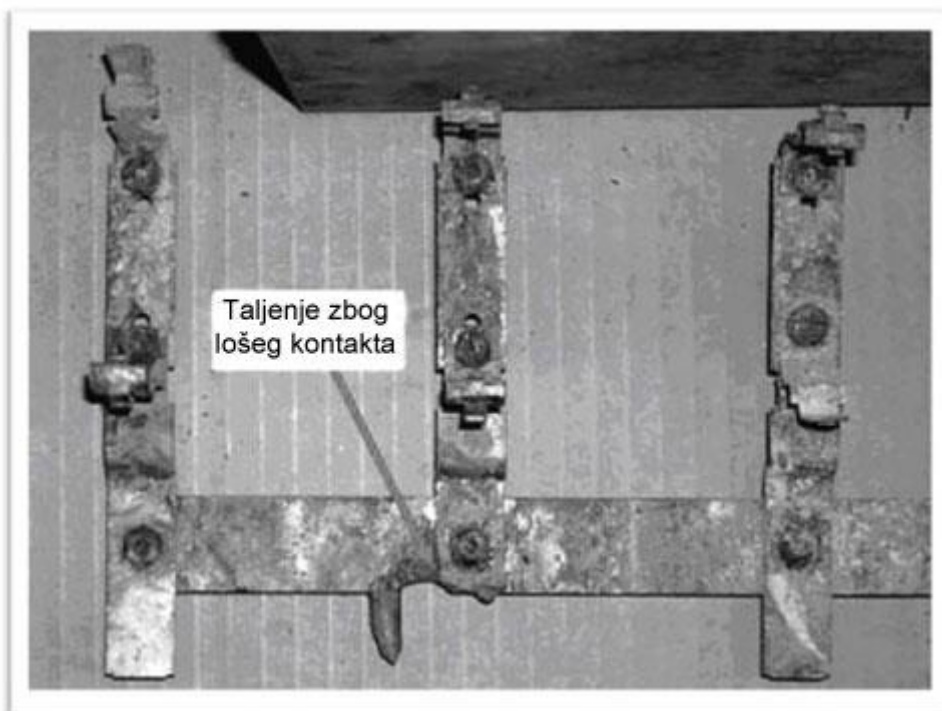


Slika 4: Primjer "točki zagrijavanja" na kritičnim mjestima (snimljeno termovizijskom kamerom) [12].

Povećanje temperature potpomaže proces stvaranja metalnog oksida na površini kontakta pa se javljaju lokalna mikropražnjenja koja povećavaju temperaturu kontakta, dolazi do taljenja Cu_2O i kroz njega se stvaraju lokalni mostovi od čistog rastaljenog metala, bez nečistoća. Ovaj proces je samoodrživ pa se otpornost kontakta periodično mijenja od visoke do niske [12].

Najčešće mjesta nastanka lošeg kontakta (i serijskog električnog luka) su:

- unutrašnjost prijemnika električne energije s više spojeva,
- priključak naponskog kabela prijemnika (slika 5),
- veza naponskog kabela s utikačem,
- spoj utikača i utičnice,
- spoj utičnice s instalacijskim vodičem i
- stezaljke/kleme u razvodnom ormaru.



Slika 5: Prikaz taljenja zbog lošeg kontakta [13].

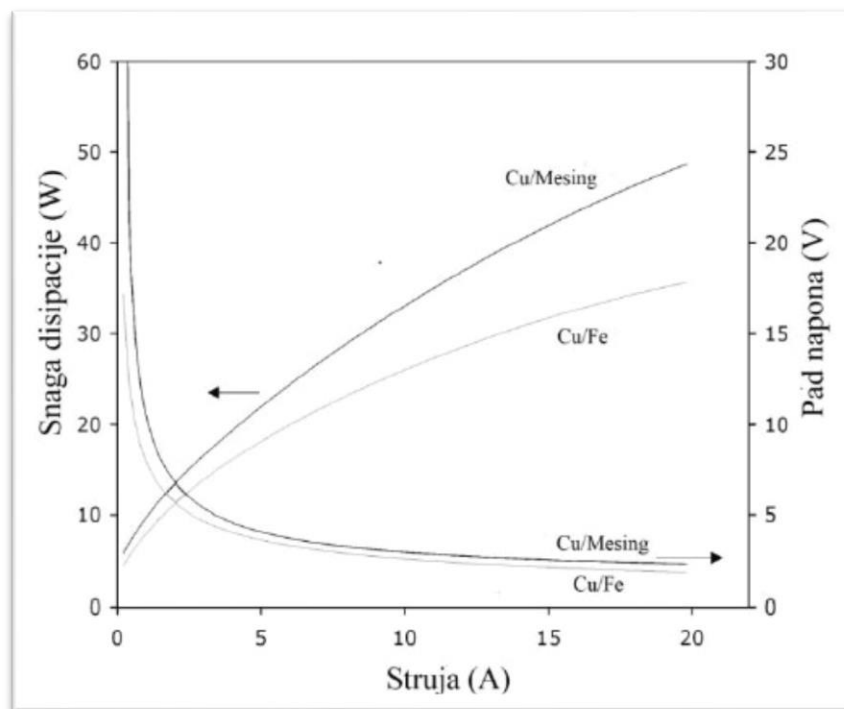
Veliki prijelazni otpori su posebno izraženi i uzrok su velikog broja požara u slučajevima kada spojeve izvode nestručne osobe, spajanjem bez lemljenja ili bez upotrebe rednih stezaljki, već samo prostim spajanjem i izoliranjem trakom (slika 6). Kod takvih spojeva, pri jačini struje od 10 A temperatura doseže od 50 °C do 90 °C, a pri 20 A ide do 130 °C pa čak i do 300 °C, što može uzrokovati paljenje ne samo na spoju već i na udaljenosti od nekoliko centimetara od spoja zbog iskrenja [12].



Slika 6: Prikaz pomoćnih sredstava za spajanje vodiča [14].

Zbog toga može doći do paljenja različitih materijala (slika 7), kao npr. [12]:

- predmeta od materijala male termičke inercije: posteljine, prekrivača, jastuka itd., ako su postavljeni blizu utičnice – snaga disipacije potrebna za paljenje je 28 W;
- komponenti električne instalacije od plastike – snaga disipacije potrebna za paljenje je 30 W;
- predmeta i konstrukcija od drveta – snaga disipacije potrebna za paljenje iznosi 35 do 50 W;
- komponenti od aluminija na vodičima – snaga disipacije potrebna za paljenje je 45 do 50 W.



Slika 7: Snaga disipacije i pad napona na spoju dva vodiča od različitih materijala [15].

5.4. Iskrenje i električni luk

Iskrenje i električni luk čest su uzrok požara ili eksplozije. Ove pojave su naročito opasne u prostorima u kojima se može stvoriti eksplozivna koncentracija para lakozapaljive tekućine, plinova ili prašine. Električni luk ima temperaturu 1500-4000 °C i može zapaliti svaki gorivi materijal, bilo neposrednim dodiranjem bilo zračenjem topline. Osim toga, prilikom iskrenja i električnog luka dolazi do rasprskavanja čestica metala koji kumuliraju veliku toplinsku energiju i ako padnu na gorivi materijal, mogu ga zapaliti. U takvim slučajevima moguće je naći čestice metala na izgorjelom materijalu.

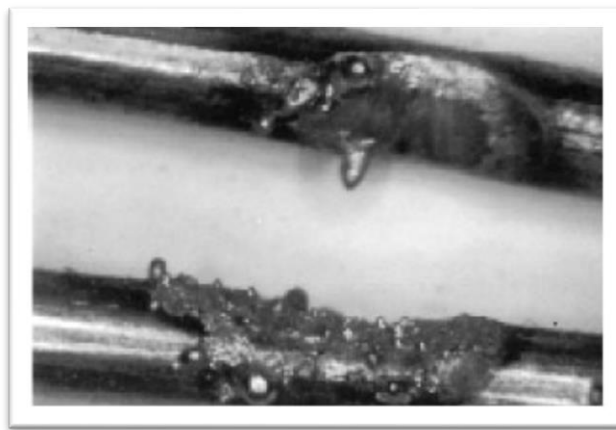
Iskrenje i uzroci iskrenja su :

- uključivanje ili isključivanje strujnog kruga u različitim električnim uređajima,
- prekid strujnog kruga mehaničkom silom,
- iskrenje kao popratna pojava električnog zavarivanja ili rezanja metala,
- slabi, labavi ili oksidirani kontakti,

- iskrenje nastalo u električnim strojevima (kolektor, klizni prstenovi, četkice),
- oštećenje izolacije i dodirivanje vodiča pod naponom položenih na malome međusobnom razmaku ili blizu uzemljenih vodljivih konstrukcija,
- dodirivanje golih vodiča pod naponom uzrokovanog padom ili vibracijama.

Ako nije došlo do potpunih termičkih destrukcija zbog požara ili eksplozije, sve navedene uzroke moguće je pronaći na mjestu događaja [9].

Karakteristični tragovi na mjestima električnog luka su taljenja u obliku kuglica, međutim treba razlikovati takvo taljenje od onih koja su nastala pod djelovanjem požara, dakle koja nisu rezultat električnog luka.



Slika 8: Prikaz kuglica nastalih uslijed električnog luka [12].



Slika 9: Prikaz kuglica nastalih kao posljedica požara [12].

Prilikom ekspertize posebno treba obratiti pozornost na:

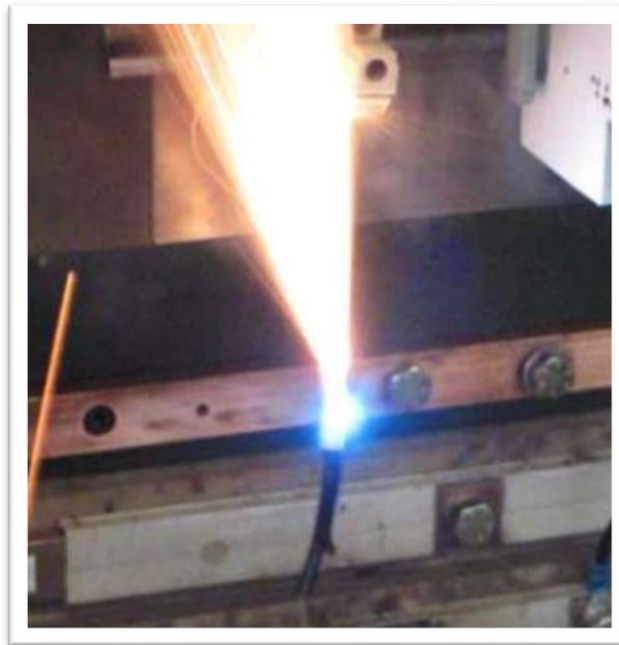
- sjaj, boju i oblik kuglica,
- glatkoću i zaokrugljenost kuglica,
- veličinu kuglica (vrlo male kuglice, manje od 1 mm su posljedica električnog luka - slika 8, a one veće od 3 mm su posljedica požara - slika 9).

Po svom položaju u električnim instalacijama električni luk može biti serijski – redni (slika 10) ili paralelni – otočni (slika 11). Serijski ili redni električni luk se može javiti na bilo kojem mjestu strujnog kruga od razvodne ploče do električnog trošila, uključujući razvodnu ploču i električno trošilo. Paralelni ili otočni električni luk se može javiti između faznog i neutralnog vodiča ili između faznog vodiča i mase [12].

Treba istaknuti da, sa gledišta opasnosti od nastanka požara ili eksplozije, postoji veoma bitna razlika između rednog i paralelnog električnog luka. Naime, u slučaju pojave serijskog rednog luka, u strujnom krugu u kojem se luk pojavio struja opada pa se sa sigurnošću može očekivati da zaštita strujnog kruga neće odreagirati i isključiti napajanje. Kako kvar ovakvog tipa može neometano trajati, vjerojatnost nastanka požara je velika. Zbog činjenice da je praktično nevidljiv od strane svih klasičnih zaštitnih komponenti, upravo je redni električni luk jedan od najčešćih uzroka požara izazvanih kvarovima u električnim instalacijama [16].



Slika 10: Serijski električni luk [12].



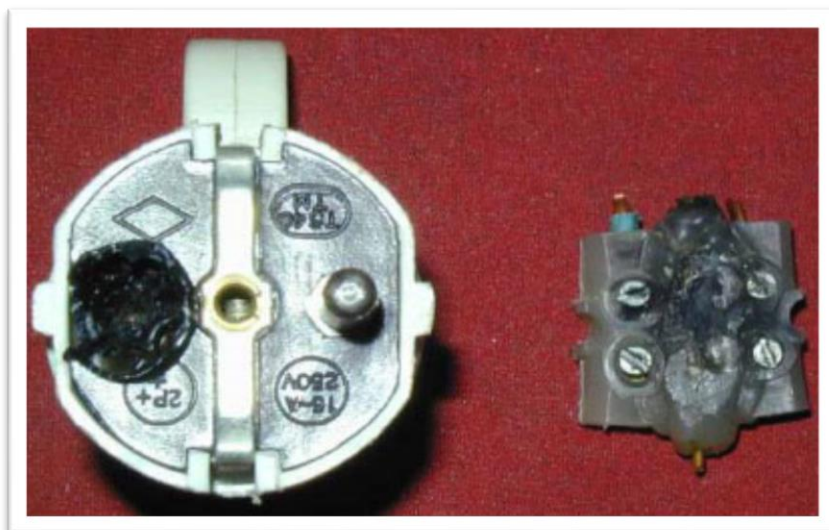
Slika 11: Paralelni električni luk [12].

5.5. Elektrotermički uređaji

Vrlo često na zgarištima se nalaze električni rešoi, grijalice, štednjaci, šporeti, pegle, a ponekad i improvizirane naprave za grijanje, koje svojom grijanom površinom mogu uzrokovati požar ako je usijana i ako se dovede u dodir sa materijalom koji može gorjeti (slika 12).

Da bi navedeni aparati i naprave mogli uzrokovati požar potrebno je:

- da se nalaze u ishodištu požara,
- da se u blizini nalazi materijal koji može gorjeti,
- da zagrijane površine moraju davati dovoljnu toplinu da se materijal zapali i
- da je u kritično vrijeme sporni potrošač bio uključen [9].



Slika 12: Taljenje materijala zbog zagrijavanja površine [12].

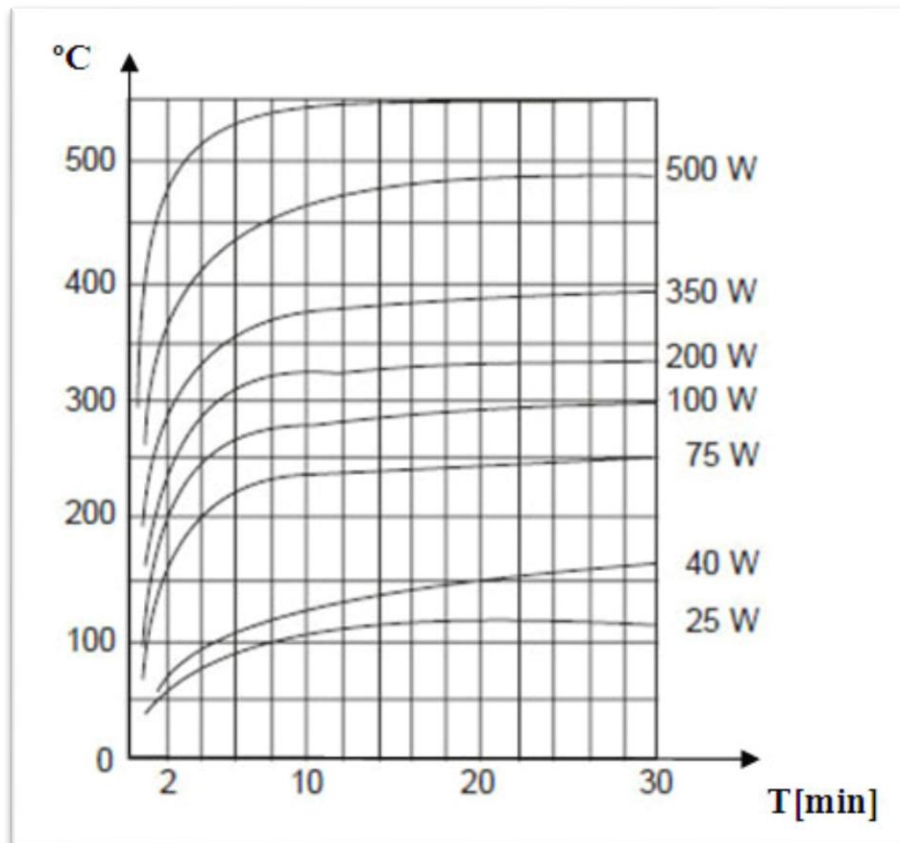
Ako se aparat nalazio u ishodištu požara tj. ako je izazvao požar, onda je njegova glazura (emajl) glatka - sjajna i ispucala, a u protivnom je nagorjela, rastaljena i začađena (čada se uhvatila po površini). Na zagrijanim površinama se nalaze ostaci potpuno pougljenjenog materijala, dok na drugim nezagrijanim površinama toga nema.

Osim navedenog, potrebno je istaći da ako se sumnja da je uključeni aparat za zagrijavanje uzrokovao požar, onda je po pravilu požar razorio izolaciju spojnog kabela, uslijed oštećenja izolacije došlo je do kratkog spoja pa se navedeni tragovi veoma lako nalaze.

Potrebno je po položaju prekidača utvrditi je li uređaj bio uključen ili nije. Treba pregledati vilice utičnice (moguće je i da su uslijed potresa ispale iz zida) i ukoliko su čiste, znači da su u vrijeme požara bile u utikaču. Na zgarištu se mogu naći električni grijajući uređaji u isključenom stanju, a da su ipak uzrokovali požar. To se objašnjava time da su zagrijane površine ostale još dovoljno tople i poslije isključenja te da su zapalile prisutni materijal, a često i izolaciju spojnog kabela koji se nepažljivo prebaci preko nje poslije isključivanja. U tom slučaju treba s grijane površine uzeti uzorke za analizu radi ispitivanja vrste izgorjelog materijala.

Opasnost za uzrokovanje požara predstavljaju i žarulje kada dodiruju zapaljivi materijal ili se nalaze u neposrednoj blizini. Posebnu opasnost predstavljaju žarulje s užarenom niti, dok su fluorescentne žarulje manje opasne (slika 13). Temperatura

fluorescentnih cijevi ne prelazi 50 °C. Kod njih postoje prigušnice i starteri koji kada su neispravni također predstavljaju opasnost od izbijanja požara. Isto tako, kod fluorescentnih žarulja kada svijetle pa se u njima smanji vakuum, dolazi do pregrijavanja i otvorenog plamena [12].



Slika 13: Grafički prikaz ovisnosti temperature žarulje o njenoj jakosti [12].

6. POSTUPCI ZA OTKRIVANJE UZROKA POŽARA OD ELEKTRIČNE ENERGIJE

Uz već spomenute mogućnosti nastanka požara i eksplozija čiji je uzrok dinamički elektricitet, značajna su i neka opća pravila pristupa i postupanja koja treba primijeniti pri obavljanju očevida na mjestima događaja požara, kako bi se utvrdilo, je li ili nije dinamički elektricitet (električna energija, struja) bio uzrok požara ili eksplozije, tj. jesu li termička oštećenja električne instalacije i potrošača uzrok požara ili samo njegova sekundarna posljedica. Ovo je ispitivanje često povezano s velikim teškoćama zbog toga što se za vrijeme požara uništavaju brojni tragovi i stvarni dokazi potrebni za utvrđivanje uzroka požara. U požaru, zbog djelovanja visoke temperature, dolazi do razaranja svih materijala, pa tako i električnih instalacija i potrošača (izolacijskog materijala kabela, vodiča, razvodnih kutija, ploča i ormara, prekidača, osigurača, transformatora i sl.) [9].

6.1. Osigurači

Osigurač je element strujnog kruga koji ima ulogu njegove zaštite u smislu zaštite električnih uređaja, postrojenja i instalacija od struje kratkog spoja. Zbog svoje relativno jednostavne izvedbe, te znatno niže cijene od prekidača, osigurači imaju vrlo široku primjenu u zaštiti zračnih i kablskih vodova, instalacija, postrojenja, pa i motora. Ima ih više vrsta i tipova, no za nas su najzanimljiviji rastalni instalacijski osigurači, te osigurači velike prekidne moći. Njihova je funkcija da taljenjem jednog ili više svojih elemenata, izrađenih i kalibriranih za tu svrhu, otvore strujni krug u kome su postavljeni, te prekinu struju kad ona kroz određeno vrijeme premaši određenu vrijednost. Pod rastalnim osiguračem podrazumijevamo sklop koji se sastoji od elemenata za priključak vodova i držanje umetka, te od rastalnog umetka.

Nedostatak osigurača u odnosu na prekidače je, što kod pregaranja umetka u samo jednoj fazi, motor može dalje raditi na dvije faze koje se zbog toga mogu prekomjerno

ugrijati. Osim toga umetke treba nakon svakog pregorijevanja mijenjati, dok prekidačem možemo odmah ponovno uklopiti postrojenje. Nadalje, uz osigurače je još potrebna sklopka za uklapanje i prekidanje strujnog kruga, ili barem rastavljač. Međutim, treba naglasiti i veliku prednost osigurača. Kod većih struja kratkog spoja osigurači prekidaju struju još u porastu, te time sprečavaju neugodne posljedice od djelovanja jakih elektrodinamičkih sila. U kućanstvima najčešće se koriste rastalni instalacijski osigurači, dok se u distribucijskim mrežama i industrijskim postrojenjima pretežno upotrebljavaju osigurači velike prekidne moći. Osigurači se u pravilu sastoje od rastalnog umetka, te kućišta ili podnožja sa stezaljkama. U čvrstom izolacijskom kućištu nalazi se rastalnica okružena čistim kvarcnim pijeskom.

Često pitanje koje se postavlja prilikom pregleda patrona rastalnih osigurača je njegova eventualna predimenzioniranost. Naime, nije rijetka pojava da vlasnici objekata često pregaranje patrona osigurača rješavaju njihovim premošćivanjem (krpanjem), i to izvan ili unutar samog kućišta, ne shvaćajući da time nisu riješili uzrok (pregaranje patrone osigurača je samo signal poremećaja u tom strujnom krugu), nego posljedicu poremećaja tog dijela električne instalacije pod naponom. Tim postupkom osigurač potpuno gubi svoju funkciju zaštite strujnog kruga, te najčešće postaje samo običan vodič. U nekim slučajevima unutar patrone rastalnog osigurača, rastalni umeci zamijenjeni su čavlima. Kada je električna instalacija opterećena velikim brojem potrošača ili je došlo do nekih drugih poremećaja (velika disipacija snage na velikom prijelaznom otporu nastala kao posljedica lošeg kontakta, a koja se transformira u toplinsku energiju i sl.), takav osigurač neće moći obaviti svoju funkciju, te je moguća pojava požara.

Ovdje ne smijemo zaključiti da je predimenzioniranost patrone rastalnog osigurača uzrok požara, već samo da u kritično vrijeme nije postojao mehanizam zaštite koji bi otvorio strujni krug u kojem je došlo do poremećaja. No, sama činjenica da je određena patrona rastalnog osigurača premoštena (krpana) ne znači uvijek i njezinu predimenzioniranost.

Naime, svaki osigurač ispravno se dimenzionira sukladno predviđenoj električnoj instalaciji, te njezinom opterećenju, tj. snazi priključenih električnih potrošača. Stoga je, prije zaključka o eventualnoj predimenzioniranosti pojedine patrone osigurača, potrebno

provjeriti cjelokupnu električnu instalaciju, te potrošače koji su u kritično vrijeme bili priključeni na te strujne krugove [9].

Kod pregleda osigurača treba striktno voditi računa na koji se dio mreže odnosi koji osigurač.

Ako je poznata nominalna struja osigurača i presjek vodiča ili kabla, vrlo se lako može odrediti da li je osigurač standardan ili je predimenzioniran (tablica 5) [12].

Tablica 6: Dimenzioniranost osigurača s obzirom na jakost struje i presjek vodiča [12].

Presjek [mm]	0,1	0,15	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Broj žica	1	1	1	1	2	2	3	5	7
Nominalna struja[A]	4	6	10	15	20	25	35	50	60

Stanje osigurača poslije požara pokazuje je li električna mreža bila pod naponom ili ne.

U skladu sa stanjem osigurača moguća su dva slučaja:

- Ako vodiči imaju oštećenu izolaciju, tako da su se gole žice dodirivale, a osigurači nisu pregorjeli, onda to znači da u mreži u vrijeme požara nije bilo struje ili je isključena u samom početku požara.
- Ako su osigurači pregorjeli, tada je za vrijeme požara bilo struje u mreži, došlo je do kratkog spoja pa treba pronaći to mjesto.

Na osnovi izgleda pregorjelog umetka rastalnog osigurača ponekad se može utvrditi način pregaranja. Ako dođe do pregaranja zbog kratkog spoja, bakrena žica se potpuno rastali pa se njeni tragovi mogu pronaći na zidovima porculanskog umetka u obliku kuglica. Kod preopterećenja, a ponekad i kod primarnog kratkog spoja, zbog postupnog zagrijavanja dolazi do lijepljenja pijeska (ako je osigurač originalan) na bakrenu žicu pa tek onda do prekida. Iz ovih razloga svi osigurači se moraju pažljivo otvoriti i detaljno pregledati.

Ispitivanju patrone osigurača prilazi se na sljedeći način:

Patrona se otvara s donje strane pri čemu se na papir istrese sadržaj, koji čini kvarcni pijesak i ostaci taljive žice. Treba napomenuti da signalna oznaka za ispravnost i jačinu patrone (boja zavisi o jačini patrone) na donjem dijelu patrone nije uvijek mjerilo ispravnosti patrone. Često zbog vanjske temperature dolazi do otpadanja signalne pločice, a da taljiva žica ne pregori. Zbog toga je potrebno patronu obavezno rastvoriti i ispitati instrumentom. Na osnovu sadržaja patrone vrši se analiza načina pregaranja.

Pregledom patrone osigurača može se utvrditi sljedeće:

Ukoliko se vide rastaljene čestice kvarcnog pijeska, to ukazuje da je patrona osigurača bila duže vrijeme preopterećena i to postupnim opterećenjem. To ukazuje na to da je potrošač bio jači nego što je dozvoljeno, pa je duže vremena preopterećivao patronu osigurača. Zbog toga je dolazilo do zagrijavanja taljive žice, ali ne i do njenog izgaranja. Na tako užarenu žicu se lijepio kvarcni pijesak. Tek nakon nekog vremena došlo je do prekida taljive žice. Takva oštećenja patrona osigurača obično su rijetka u objektu koji je zahvaćen požarom jer tamo uglavnom dolazi do trenutačnih kratkih spojeva [12].

6.2. Postupak prikupljanja znakovitih tragova na mjestu požara ili eksplozije

Prvi korak istražitelja je prikupljanje obavijesti od očevidaca i oštećenih osoba na sljedeće okolnosti:

- što su navedene osobe primijetile u vezi nastanka požara,
- je li se osjetio miris gorenja izolacije električnih vodiča,
- je li primijećeno iskrenje ili stvaranje električnih lukova na nekom dijelu električne instalacije ili na nekom od električnih potrošača,
- je li primijećena pojava dima na nekom dijelu električne instalacije ili na nekom od električnih potrošača,
- je li primijećen pad napona neposredno prije pojave požara ili za vrijeme požara.

Potrebno je ispitati je li prije nastanka požara na električnim instalacijama ili potrošačima bilo kakvih kvarova ili smetnji kao što je su npr:

- je li u posljednje vrijeme bilo čestih pregaranja osigurača ili prorade sustava zaštite,
- je li uočena pojava prekomjernog zagrijavanja vodiča ili pojava gorenja električne instalacije,
- jesu li primijećene neke druge pojave neispravnosti na potrošačima električne energije i kakve su prirode bile [2].

6.2.1. Metoda praćenja termičkih oštećenja

Nakon dobivanja ovih obavijesti pristupa se utvrđivanju objektivnih činjenica i prikupljanju materijalnih tragova. Sustavnim pregledom mjesta događaja požara potrebno je ponajprije eliminirati pojedine dijelove električne instalacije. Pregled se započinje na dijelovima instalacije koji nisu oštećeni požarom, krećući se pritom od izvora prema potrošaču.

Naime, sam pregled ima dvojaku ulogu, prvo, u nekim slučajevima bitno pomaže užem određivanju i lociranju ishodišta požara, a drugo, ako je ishodište požara uspješno utvrđeno i locirano, njegovim detaljnim pregledom moguće je utvrditi je li električna energija uzrok požara.

Ovo drugo ponajprije podrazumijeva pronalazak električnih instalacija i potrošača pod naponom u lociranom ishodištu požara. Stoga treba utvrditi:

- je li opožareni objekt priključen na električnu mrežu podzemnim ili nadzemnim priključkom,
- je li instalacija izvedena nadžbukno ili podžbukno,
- gdje se nalazi glavna razvodna ploča, glavni osigurači, te kakvo je njihovo stanje,
- utvrditi položaj (stanje) glavne sklopke za cijeli objekt,
- postoji li mjesto na kojemu se javlja trenje izolacijskih ploha, što ima za posljedicu pojavu statičkoga elektriciteta (rotacijske površine, trenje plastičnih

masa i dijelova, strujanje krutih izolacijskih čestica, strujanje izolacijske tekućine, remenice i sl.).

Pronalaženje i tumačenje tragova nastalih na električnoj instalaciji nakon požara imaju dvojaku ulogu :

- utvrđivanje uzroka požara,
- pomoć pri lociranju uzroka požara (s obzirom na činjenicu da je ponekad vrlo teško utvrditi makar i približnu lokaciju gdje je izbio požar).

Ako je to moguće, pregled mjesta događaja, potrebno je izvršiti uz uvid u shemu električnih instalacija jer nam ona omogućava lakšu orijentaciju, sužava dio električne mreže koju treba pregledati, daje podatke o stabilnim električnim potrošačima, te omogućava rekonstrukciju situacije prije izbijanja požara. Bez obzira na trivijalnost pitanja vrlo je značajno utvrditi je li električna instalacija u kritično vrijeme bila pod napajanjem (naponom). Ovdje se treba rukovoditi samo pronađenim materijalnim tragovima. Pregled električne instalacije započinjemo utvrđivanjem načina napajanja opožarenog objekta (zračni vod, podzemni kabel, iz razvodnog ormara izvan objekta ili izravno iz transformatorske stanice). Potom pristupamo pregledu zaštitnih sustava, ponajprije zaštitnih sklopki i osigurača koji su štitili opožarene strujne krugove. Uvijek treba obratiti pozornost i na moguće trivijalno rješenje, a to je kad utvrdimo da je glavna sklopka u trenutku izbijanja požara bila u isključenom položaju, znači da električnu energiju možemo isključiti kao uzrok požara.

Pregledom zaštitnih elemenata (zaštitnih sklopki i osigurača) moguće je utvrditi je li električna instalacija, odnosno njezin dio, u kritično vrijeme bila pod naponom. Kada jest pod naponom, a to je većina slučajeva, posljedice požara vidljive su u obliku tragova prorade sustava zaštite, bez obzira radi li se o primarnom uzroku požara ili njegovoj sekundarnoj posljedici. Svaki dio instalacijskog materijala, sklopa ili potrošača koji možda ima neku vezu s načinom, uzrokom i okolnostima nastanka požara potrebno je detaljno pregledati i ispitati. Ispitivanje električne instalacije potrebno je ponajprije provesti na mjestu događaja jer je to trag koji gubi svoju integralnost izuzimanjem iz konteksta mjesta događaja [9].

6.2.2. Metode selektivnosti oštećenja električne instalacije

Požari velikih objekata, a posebno objekata gdje je uskladištena veća količina gorivog materijala, imaju za posljedicu intenzivna termička oštećenja. U takvim slučajevima utvrđivanje uzroka požara ili eksplozije predstavlja poseban problem, jer dolazi do gotovo potpunog izgaranja gorivog materijala, pa je praćenje tijekom i mehanizma gorenja radi određivanja ishodišta požara otežano ili onemogućeno. Kako je utvrđivanje ishodišta požara ili eksplozije jedan od prvih uvjeta da bi se pristupilo utvrđivanju izvora paljenja, razumljivo je da je točnost određivanja toga mjesta od velike važnosti. Da bi se došlo do pouzdanih saznanja i tragova o mjestu gdje je požar izbio, odnosno da se locira ishodište požara, osim već klasičnih metoda praćenja termičkih oštećenja na materijalima, možemo primijeniti i metodu praćenja selektivnosti pregaranja osigurača i oštećenja na električnim instalacijama. Ta metoda koristi se paralelno s metodom praćenja termičkih oštećenja. U pojedinim slučajevima, gdje nije moguće pratiti termička oštećenja na materijalima jer je sve u potpunosti izgorjelo ili je mehanički uništeno, navedena metoda često će biti jedina koja se može primijeniti.

Primjena metode praćenja selektivnosti pregaranja osigurača zahtijeva detaljan pregled, kako oštećene, tako i neoštećene električne instalacije, kao i tehničke dokumentacije opožarenoga objekta. U velikim požarima, dijelovi osigurača i patrona ostaju kao jedini korisni tragovi. Kako su osigurači uvijek smješteni u zasebnim ormarima ili ugrađenim pločama, mehanički su manje podložni oštećenju. Osim toga, patrone osigurača kao i tijela osigurača izrađena su od porculana, te mogu izdržati dovoljno visoku temperaturu prije nego dođe do njihovoga pucanja.

Ovaj način rješavanja zahtijeva prethodno sprečavanje bilo kakvog uništavanja tragova na razvodnim ormarima, osiguračima, prekidačima i sl., prije dolaska stručne osobe. Samo u slučaju kada se sve patrone osigurača i prekidača nalaze na svojim pozicijama, patrone nisu otvarane, a prekidači nisu pomicali, moguće je pristupiti rekonstrukciji puta i načina pregorijevanja električne instalacije, a na taj način i određivanja ishodišta požara. Veliku pomoć pri tom ispitivanju pružit će i tehnička dokumentacija, tj. sheme instalacije i načina izvođenja. Ta pomoć se očituje u tome što za vrijeme požara dolazi do uništenja velikoga dijela električne instalacije i upravljačkih uređaja, pa je praćenje strujnih krugova moguće jedino po dokumentaciji. Ako se to ne

može osigurati, potrebno je naći osobu koja je održavala instalaciju, te koja može dati detaljan opis instalacije i funkcije pojedinih strujnih krugova. Pregled instalacije započinjemo upoznavanjem načina napajanja opožarenog objekta. To napajanje može biti iz razvodnog ormara izvan samog objekta ili izravno iz transformatorske stanice. Potom pristupamo pregledu zaštitnih uređaja. U tu grupu pripadaju ponajprije glavni osigurači i sklopke. Nakon što je utvrđeno stanje zaštitnih sklopova s naponske strane, prilazimo pregledu razvodnih ormara u opožarenom objektu. Veći objekti imaju, najvjerojatnije, i nekoliko razvodnih ormara. U takvom razvodnom ormaru obično se nalazi i sklopka kojom se objekt isključuje s električnoga napajanja. U slučaju da je glavna sklopka bila isključena prilikom izbijanja požara, onda se vraćamo na trivijalno rješenje, a to je da se električna energija može isključiti kao izvor zapaljenja. No, kako je u većini pogona električna energija stalno potrebna (električna rasvjeta i sl.), slučaj da je glavna sklopka za objekt isključena, vrlo je rijedak.

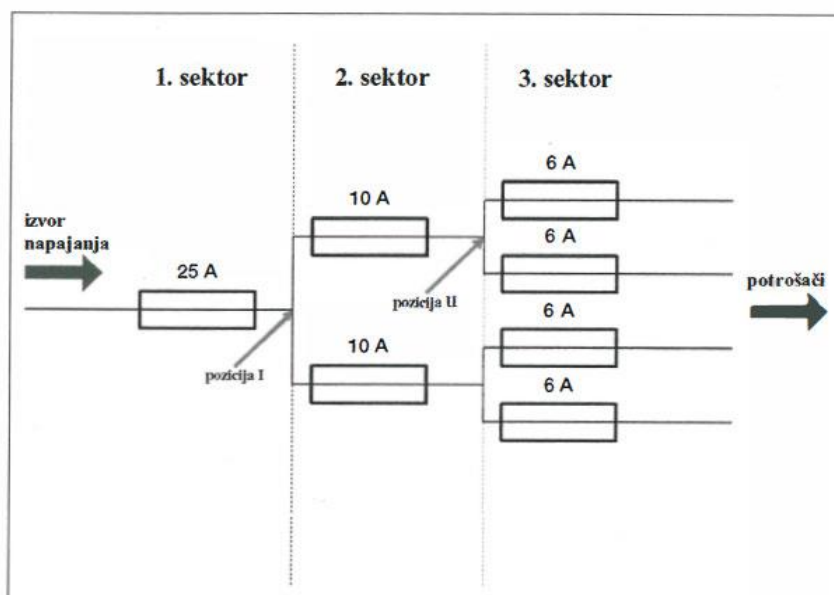
Prema tome, u većini slučajeva, moći će se pristupiti analizi električne instalacije u smislu selektivnosti pregorijevanja osigurača, a gdje je osnovna polazna točka sama patrona osigurača, pa će ona biti detaljnije razmotrena. Ispitivanje se obavlja tako da se svaka pojedina patrona ispita univerzalnim instrumentom za električno mjerenje obzirom na vodljivost, te potom otvori i ponovo provjeri, jer često, u akciji gašenja požara, dolazi do vlaženja kvarcnog pijeska vodom, što rezultira lažnom vodljivosti pri električnom mjerenju. Navedeni tragovi su nam osnovna spoznaja koju dobijemo pregledom patrona osigurača. Kada ta saznanja o načinu izgaranja patrona implementiramo u cjelokupni sustav napajanja i razvoda električne instalacije, moguće je dobiti određene podatke koji će nam poslužiti za lociranje ishodišta požara. Još jednom, treba napomenuti, da su to često jedini tragovi koji mogu poslužiti u daljnjem rasvjetljavanju mjesta izbijanja požara.

Lociranje ishodišta požara na temelju oštećenja električne instalacije temeljenih na selektivnom izgaranju osigurača zasniva se na načelu selektivne zaštite. Svaka pravilno projektirana i izvedena električna instalacija mora biti zaštićena odgovarajućim jakostima patrona osigurača, što znači da svaki strujni krug na kojem se nalaze potrošači, mora imati svoju zaštitu odgovarajuće jakosti. Više strujnih krugova vezano je na jednu naponsku točku, koja također mora biti osigurana prema izvoru napajanja. U svakom konkretnom slučaju taj osigurač naponske točke mora biti dimenzioniran kao

ukupna suma jakosti svih osigurača. Prema tome, u jednom zajedničkom strujnom krugu od izvora pa do krajnjeg potrošača ima nekoliko osigurača koji moraju biti tako dimenzionirani da onaj krajnji do potrošača bude najslabiji, jer u slučaju kvara na jednom potrošaču, može doći do ispada cijelog sustava.

U velikim pogonima postoji veliki broj strujnih krugova i osigurača. Detaljnim studiranjem tih strujnih krugova može se doći do potrebnih spoznaja.

Radi lakšeg sagledavanja primjene metode navodi se jednopolna shema malog sustava električne instalacije.



Slika 14: Jednopolna shema malog sustava električne instalacije [9].

Na prikazanoj shemi (slika 14) izvedena je selektivna zaštita tako da u slučaju eventualnog kvara na strani potrošača, dolazi do izgaranja prvo patrone osigurača od 6 A, a tek onda u razvodnom postrojenju patrone osigurača od 10 A. U slučaju ispravnih osigurača, osim izgaranja osigurača samoga potrošača, ostali neće pregorjeti. Prikazana shema je pojednostavljena, no u praksi je ta zaštita smještena u nekoliko rasklopnih ormara.

Promatramo li oštećenja osigurača, onda možemo zaključiti sljedeće :

- U slučaju nastanka kratkog spoja u sektoru 1, na mjestu označenom kao pozicija I, dolazi do izbijanja patrone osigurača od 25 A. Na taj način cijela električna instalacija ostaje bez napona, a svi ostali osigurači ostaju ispravni. Do njihovog pregorijevanja ne može doći jer u mreži više nema napona. Iz toga možemo zaključiti da je požar počeo upravo na tom mjestu, tj. u sektoru 1.
- Isto tako, izgaranjem patrone osigurača na poziciji II, može se požar lokalizirati sa ishodištem u sektoru 2. Prilikom razmatranja ove sheme treba uzeti u obzir da se razvodne ploče u sektoru 1,2 i 3, nalaze na različitim mjestima u pogonu, a više puta i u različitim prostorijama pogona. Često pojedini dijelovi razvoda nisu uopće zahvaćeni vatrom pa je u tom slučaju praćenje strujnih krugova daleko jednostavnije.

Određivanje ishodišta požara na tom principu posebno je zanimljivo kad se radi o većim postrojenjima sa složenijim razvodom te grupiranom instalacijom i zaštitom. Svakako da je u takvim slučajevima neophodno da se strujni krugovi u opožarenom objektu uspoređuju i slijede shemu izvođenja instalacije. Uobičajeno je da se obvezatno odmah nakon zamijećenog požara isključuje napajanje električnom energijom, obično prije početka akcije gašenja. U tu svrhu u objektima gdje postoji glavna sklopka, ona se isključuje ili se pak vade glavni osigurači. Na taj je način, u vrlo kratko vrijeme, u trenutku dok požar nije zahvatio cijeli objekt i električnu instalaciju, isključeno napajanje opožarenog objekta, što je imalo za posljedicu da nije došlo do pregorijevanja osigurača po svim strujnim krugovima.

Unatoč tome, na mjestu gdje je izbio požar, već je došlo do termičkog oštećenja izolacije, a što je dovelo do pregorijevanja upravo tog osigurača, koji će nam ukazati na mjesto izbijanja početnoga požara (slika 15). Kako je već ranije navedeno, nakon što je uočen požar, odmah je isključena glavna sklopka te je na taj način prekinuto napajanje potrošača po čitavom objektu. Ako se prilikom pregleda patrona utvrdi npr. da je pregorio osigurač u strujnom krugu I, dok u strujnom krugu II nije pregorio, to ukazuje da je vatra prvo oštetila vodove u strujnom krugu I. To mjesto nam ujedno ukazuje da je na tom mjestu prvo izbio požar pa ga možemo locirati kao ishodište požara.

Primjena i korištenje navedene metode iziskuje vrlo stručne preglede cjelokupne električne instalacije, prilikom kojeg se moraju uzeti u obzir sve obavijesti o stanju električne instalacije prije izbijanja požara. Tu pripadaju obavijesti o svim promjenama obavljenim na instalaciji, a koje eventualno nisu evidentirane u dokumentaciji. Više puta su pojedini dijelovi električne instalacije naknadno montirani, što povećava broj električnih potrošača. Takve promjene, ako se ne uoče, mogu dovesti do krivih zaključaka. U svakom slučaju za uspješnost ove metode potrebna je prisutnost vještaka. Vještak će morati u svoja razmatranja uključiti i sve spoznaje koje može dobiti od neposrednih izvršitelja koji su održavali električnu instalaciju, jer je njihova pomoć neophodna pri praćenju oštećenja instalacije ili dijelova instalacije koji se uopće ne mogu identificirati, odnosno pronaći na zgarištu, jer su u potpunosti uništeni.

Treba napomenuti da je metoda praćenja selektivnosti osigurača pouzdanija što je kvaliteta izvođenja električne instalacije bolja, te redovitije održavana.

Svakako da, u slučaju nestručnog održavanja, neispravno odabranih patrona osigurača, nepravilno krpanih ili predimenzioniranih, te izmijenjenih stanjem na instalaciji, navedena metoda ne može se smatrati potpuno pouzdanom. Metodu je moguće primijeniti i u slučaju kada postoje mogućnosti lociranja ishodišta požara praćenjem termičkih oštećenja na materijalima, kao eventualnu dopunsku metodu, koja služi kao još jedna potvrda o točnosti utvrđene lokacije ishodišta izbijanja požara [9].



Slika 15: Prikaz spaljenog osigurača [14].

7. MJERE ZAŠTITE OD POŽARA I EKSPLOZIJA GRAĐEVINA

Električna instalacija unutar građevine predstavlja potencijalni izvor požara ili eksplozije te je u svrhu zaštite od požara potrebno primijeniti određene mjere protupožarne zaštite.

Pored osnovnih mjera građevinske protupožarne zaštite električnih instalacija, koje se primjenjuju u svim građevinama, posebnu pažnju potrebno je posvetiti prilikom projektiranja i izvođenja elektroinstalacija u visokim objektima obzirom na specifične zahtjeve ovih građevina. Činjenica da su u Hrvatskoj na snazi zakoni i pravilnici koji obrađuju ovo područje dijelom zastarjeli i nedorečeni, te činjenica da su usvojene određene strane norme koje pokrivaju ovo područje dijelom u suprotnosti s tumačenjima naših zakona i pravilnika, postavlja pred projektante elektroinstalacija određene dileme u pogledu primjena svih tih odredbi [17].

7.1. Tehničke mjere zaštite elektroinstalacija

Obzirom da svaka elektroinstalacija potencijalno može biti izvor požara ili eksplozije, potrebno je u početku pridržavati se osnovnih pravila za projektiranje i izvođenje električnih instalacija. Primjenom osnovnih zaštitnih mjera u električnim instalacijama svakako se povećava pouzdanost cijele instalacije, te se smanjuje rizik od nastanka kvara kao eventualnog uzroka požara ili eksplozije. U skladu s time potrebno je primijeniti odredbe Tehničkog propisa za niskonaponske električne instalacije (NN 5/10)⁷. Navedenim propisom pokrivena su osnove u pogledu elektroinstalacija: oprema i trošila, kabliranje, razvod, uzemljenje, isklopi napajanja, tehničke mjere zaštite od direktnog i indirektnog dodira, mjere zaštite od požara. Već prilikom projektiranja električnih instalacija potrebno je najprije zadovoljiti osnovne uvjete gore navedenog

⁷ Do donošenja na snazi je bio Pravilnik o tehničkim normativima za električne instalacije (NN/SI. List 53/88, NN 53/91, NN 5/02).

pravilnika, no pored toga potrebno je i dodatno primijeniti odredbe pojedinih normi i pravilnika koje detaljnije definiraju pojedino područje koje pokrivaju. Preporuka za izradu projektnih rješenja električnih instalacija je po mogućnosti uključivanje u izradu početnog arhitektonskog rješenja građevine u što ranijoj fazi, kako bi se u samom početku ostvarili početni uvjeti za kasniju razradu projektne dokumentacije. Osnovna polazišta u projektiranju svake električne instalacije građevina, a koja svojom pravilnom primjenom utiču i na mjere zaštite od požara su: kabliranje i razvod, zaštita od direktnog dodira, zaštita od indirektnog dodira, uzemljenje i zaštitni vodiči, gromobransko uzemljenje [17].

7.1.1. Kabliranje i razvod

Samo kabliranje (ožičenje) strujnih krugova električnih instalacije potrebno je planirati i izvoditi prema gore navedenom propisu (NN 5/10), te prema normama HRN.N.CO010. U tom smislu potrebno je i dodatno primijeniti proračune za izračun nazivne struje nekog strujnog kruga, te proračun za određivanje pada napona u strujnim krugovima koji moraju biti u propisanim granicama. S time u skladu potrebno je i primijeniti normu HRN.E5.210 kojom su definirane osnovne postavke niskonaponskih osigurača. Razvod električnih instalacija napraviti u skladu s Tehničkim propisom za niskonaponske električne instalacije (NN 5/10). Prema arhitektonsko građevinskom rješenju građevine i uvjetima navedenog pravilnika potrebno je detaljno odrediti način polaganja kablskih trasa električnih instalacija u građevini [17].

7.1.2. Zaštita od direktnog dodira

Shodno navedenom pravilniku, te prema normi za zaštitu od električnog udara u niskonaponskim instalacijama HRN.N.B2.741, zaštita od direktnog dodira izvedena je tako, da su svi neizolirani dijelovi električne instalacija koji mogu biti pod naponom, smješteni u razdjelnike, odnosno u razvodne kutije i utičnice, gdje u normalnim

uvjetima rada neće biti dostupni. Također će i sva spajanja i razdvajanja strujnih krugova biti izvedena samo u razvodnim kutijama, kućištima aparata i u razdjelnicima uz obavezu mogućnost naknadne dostupnosti mjestu spoja. Razvodne kutije i razdjelnici, odnosno oprema pod naponom i spojne stezaljke unutar istih moraju biti pokrivene poklopcima, vratima ili zaštitnim pregradama koje onemogućavaju direktan pristup dijelovima pod naponom [17].

7.1.3. Zaštita od indirektnog dodira

Prema normi HRN.B2.730 potrebno je primijeniti osnovne uvjete zaštite u ovisnosti o sistemu napajanja (TN, TT, IT), te ovisno o odabranom tipu definirati zaštitni uređaj unutar električne instalacije [17].

7.1.4. Uzemljenje i zaštitni vodiči

Prema normama HRN.B2.754 i HRN.B2.754/1 potrebno je primijeniti osnovne uvjete za uzemljenje građevina (uzemljenje metalnih masa, kao i izjednačenje potencijala unutar građevine). Izjednačenje potencijala provodi se u cijeloj građevini povezivanjem metalnih masa na uzemljivač građevine. U svim strojarnicama se polaže traka FeZn 20x3 mm po obodima na visini cca.+0,7 m na koju se povezuju sve metalne mase unutar iste. U svim sanitarnim prostorima predviđena je ugradnja kutija za izjednačenje potencijala na koje se spajaju sve metalne mase (metalne cijevi vodovoda, plinovoda, grijanja, kanalizacije i sl.). Zaštitna sabirnica glavnih razdjelnika biti će povezana sa uzemljivačem građevine [17].

7.1.5. Gromobransko uzemljenje

Osnovne postavke gromobranskog uzemljenja potrebno je primijeniti prema Tehničkom propisu za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama NN (87/08)⁸. Građevina se štiti od pražnjenja atmosferskog elektriciteta odgovarajućom gromobranskom instalacijom klasičnog tipa, tzv. Faradayev kavez, najčešće načinjenom od metalnih FeZn vodova, pravilno postavljenih na i oko štícene građevine, te dobro uzemljenih, tako da unutar kaveza nema električnog polja. Za osnovne elemente instalacija koriste se slijedeći presjeci trake:

- krovna hvataljka - FeZn 20x3 mm
- gromobranski odvodi - FeZn 25x4 mm
- uzemljivač - FeZn 40x4 mm.

Obzirom na mogućnost metalnih vanjskih konstrukcijskih dijelova građevine (metalna konstrukcija fasade), moguće je iste koristiti kao glavni gromobranski odvod. Uz poštivanje svih odredbi Tehničkog propisa za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama (NN 87/08), a naročito u pogledu izbora materijala koji se koristi za gromobransku instalaciju (alu-pločice za spajanje dijelova vanjske alu konstrukcije, uz propisani način učvršćenja i povezivanja dijelova opreme i konstrukcije) ovakva gromobranska instalacija također zadovoljava u pogledu svoje funkcionalnosti [17].

7.2. Tehničke mjere protupožarne zaštite elektroinstalacija

Temeljem odredbi Zakona o zaštiti od požara (NN 92/10), već kod izrade projektne dokumentacije potrebno je u sklopu posebnog poglavlja navesti prikaz tehničkih rješenja za primjenu pravila zaštite od požara. Navedena tehnička rješenja (protupožarne mjere) daju pojašnjenja u svezi djelovanja u pogledu protupožarne zaštite kod pojedinih dijelova električnih instalacija tamo gdje je to nužno. Opisom svih predmetnih tehničkih rješenja (mjera) za protupožarnu zaštitu elektroinstalacija unutar

⁸ Do donošenja na snazi je bio Pravilnik o tehničkim propisima o gromobranima (NN 13/68).

projektne dokumentacije, kao i njihovim usvajanjem od nadležnih institucija, provođenje ovih mjera postaje obaveza za investitora i izvođača predmetnih radova.

Tehničke mjere protupožarne zaštite elektroinstalacija u osnovi se određuju za razvod električnih instalacija i kabela trase, naponske kabele, isklon elektroinstalacije te za sigurnosnu i protupaničnu rasvjetu [17].

7.2.1. Razvod električnih instalacija i kabela trase

Trase kabela polica sa kablom trasama u područjima zona za evakuaciju ljudi (hodnici, veće dvorane, te prostori u kojemu se može okupiti veći broj ljudi) potrebno je prema zahtjevima iz Tehničkog propisa za niskonaponske električne instalacije (NN 5/10), obložiti vatrootpornim pregradama ili iste staviti u vatronepropusne kanale. Ovim pregradama ili kanalima postiže se zaštita evakuacijskih putova u smislu zapaljenja većeg broja kabela i padanja užarenih dijelova kabela izolacije na evakuacijske putove.

Ukoliko se u području evakuacijskog puta nalazi spuštenu strop, unutar kojega su smještene kabela trase, tada je moguće da se osim oblaganja kabela trasa vatrootpornim pregradama ili vatrootpornim kanalima ovaj tip zaštite izvede i na drugi način. U tom slučaju moguće je da se kompletan spuštenu strop u zoni evakuacije izvede kao vatrootporni, te tada nije potrebno posebno zaštićivati kabela trase, no u tom slučaju je potrebno sve ugradbene svjetiljke u tom stropu obložiti vatrootpornim kutijama.

Faktor vatrootpornosti za vatrootporne obloge, vatrootporne kanale ili pak za kompletne spuštene stropove unutar evakuacijskog puta definiran je protupožarnim elaboratom, te je isti jednakog iznosa kao što je definiran faktor vatrootpornosti evakuacijskog puta koji se u biti zaštićuje. Sustavi kabela trasa (kabel polica) kompletno sa priborom za učvršćenje, izvode se sa faktorom vatrootpornosti jednakim kako su definirani kabeli koji se na njih polažu. Na prijelazima kabela i kabela trasa kroz granice požarnih zona obavezno je izvršiti brtvljenje otvorenih prodora

protupožarnim sredstvima. Faktor vatrootpornosti sredstava za brtvljenje određen je faktorom granice (zida) požarnih zona kroz koju prolazi kabela trasa [17].

7.2.2. Naponski kabeli

Energetski kabeli kojim se napajaju razdjelnici (potrošači, odnosno oprema), koji rade u slučaju požara su vatrootpornog tipa odgovarajućeg presjeka. Ovi kabeli se uglavnom koriste za napajanje: sprinkler uređaja⁹, uređaja za podizanje tlaka vode za hidrante, ventilacije požarnog odimljavanja, otvaranja protupožarnih kupola, dizala. Faktor vatrootpornosti navedenih kabela određen je duljinom djelovanja predmetnih uređaja, odnosno opreme u slučaju požara. Navedeni kabeli, kao i sustavi polaganja i učvršćenja istih moraju odgovarati prema normi HRN-DIN 4102, te imati obavezan atest [17].

7.2.3. Isklop elektroinstalacije

U građevini je potrebno predvidjeti način dovođenja elektroinstalacije u beznaponsko stanje. Sam način provedbe istog ovisi o vrsti i namjeni građevine, odnosno konkretnog prostora koji se treba isključiti. Važno je predvidjeti takav način isklopa da se samim djelovanjem (isklapanjem) ne uzrokuje pojava neke druge opasnosti. Posebnu pažnju posvetiti uvjetima iz Tehničkog propisa za niskonaponske električne instalacije (NN 5/10), koji pokrivaju ovo područje. Kod poslovnih građevina obavezno predvidjeti tipkalo za daljinski isklop kojim se djeluje na glavni prekidač građevine. Ovo tipkalo (ili više njih) potrebno je svakako postaviti pored glavnih ulaza u građevinu, te eventualno i u prostorije sa predviđenim stalnim prisustvom dežurne osobe. Obavezno predvidjeti mogućnosti isklopa napajanja za strojarnice (grijanje, klima, ventilacija, elektromotorni pogoni), skladišta, radionice s alatnim strojevima,

⁹ Uređaji za automatsko gašenje požara

pokretne stepenice, dizala. Isklope u nuždi građevina ili pojedinih dijelova istih uskladiti i sa djelovanjima vatrodajne centrale i sprinkler uređajem u ovisnosti o konkretnom slučaju, te svakako osigurati da se u slučaju isklopa elektroinstalacije osigura djelovanje uređaja koji rade u slučaju požara [17].

7.2.4. Sigurnosna i protupanična rasvjeta

Sigurnosna rasvjeta po svojoj definiciji je ona koja može ostati uključena minimalno dva sata po svom uključanju. Ista je napajana preko mrežnog napajanja i preko rezervnog izvora napajanja (najčešće diesel-agregat). Sigurnosna rasvjeta se dijeli na dva osnovna dijela: opću sigurnosnu rasvjetu i protupaničnu rasvjetu. Kod samog projektiranja pretpostaviti da na opću sigurnosnu rasvjetu otpada cca 1/3 ukupne rasvjete neke građevine. Ovom rasvjetom pokriti najveći dio evakuacijskih putova, te po potrebi i rasvjetu određenih prostora. Bez obzira na postojanje opće sigurnosne rasvjete i rezervnog izvora napajanja u svim zgradama potrebno je predvidjeti sustav protupanične rasvjete. U osnovi se sustavi protupanične rasvjete dijele na one sa centralnim baterijama i na one sa vlastitim baterijama. Mjerodavni zahtjevi u ovom pogledu određeni su u sklopu protupožarnog elaborata kao neovisnog projekta, te su definirani u smjernicama za projektiranje evakuacijskih putova¹⁰ kao norme koja obrađuje to područje [17].

7.3. Zakoni, pravilnici i norme za projektiranje tehničkih rješenja

Da bi sve navedene mjere zaštite od nastanka požara bile djelotvorne, potrebno je da se izvođač radova električne instalacija pridržava projektom navedenih tehničkih rješenja, a radove izvede stručno i u skladu sa navedenim propisima.

¹⁰ NFPA 101/1994/E-2003.

Kod projektiranja mjera protupožarne zaštite u sklopu električnih instalacija obavezno je zadovoljiti zahtjeve dane u slijedećim izdanjima:

1. Zakon o gradnji (NN 153/13),
2. Zakon o zaštiti od požara (NN 92/10),
3. Zakon o normizaciji (NN 80/13),
4. Tehnički propis za niskonaponske električne instalacije (NN 5/10),
5. Tehnički propis za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama NN (87/08),
6. Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu visokih zgrada od požara (NN 7/84),
7. Pravilnik o zaštiti od požara ugostiteljskih objekata (NN 100/99),
8. Pravilnik o sustavima za dojavu požara (NN 56/99),
9. Norma za projektiranje sustava za dojavu požara (HRN DIN VDE 0833 dio 1 i 2),
10. Smjernice za projektiranje izlaznih puteva (NFPA 101/1994/E-2003),
11. Smjernice za projektiranje garaža (NFPA 88),
12. Pravilnik o osiguranju pristupačnosti građevina osobama s invaliditetom i smanjene pokretljivosti (NN 151/05),
13. Pravilnik o hidrantskoj mreži za gašenje požara (NN 8/06),
14. Pravilnik o uvjetima za vatrogasne pristupe (NN 35/94, NN 142/03),
15. Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada (NN 3/07),
16. Pravilnik o tehničkim normativima za projektiranje, gradnju, pogon i održavanje plinskih kotlovnica (N.N./ Sl.list 10/90),
17. Pravilnik o opremi i zaštitnim sustavima namijenjenim za uporabu u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom (NN 123/05) [17].

8. MOGUĆA RJEŠENJA PROTUPOŽARNE ZAŠTITE ELEKTROINSTALACIJA

Prethodno navedeni podaci ukazuju da su opasnosti od elektroinstalacija zaista prisutne u zgradi, ali ih isto tako možemo svesti na najmanju moguću mjeru ukoliko ih pravovremeno predvidimo.

Sve veći gospodarski razvoj koji je potpomognut automatizacijom, elektronskom kontrolom i upravljanjem kao i instaliranjem potrošača velikih snaga pretpostavlja i sve veće presjeke elektro kabela, koji s protupožarno-tehničkog aspekta povećavaju i opasnosti.

Električni kabele bez protupožarnih svojstava u slučaju požara šire isti nekontroliranom brzinom. Osim toga, kao što je već rečeno, oslobađaju se veoma toksični plinovi izgaranja koji dovode do opasnosti trovanja prisutnih ljudi.

Istovremeno, plinovi izgaranja, od najčešće PVC izolacija vodiča i plastičnih izolacija sa sadržajem halogena, djeluju agresivno te veoma korozivno na konstrukcije zgrade i postrojenja. Istovremeno, najčešće dolazi do požara na kabelskim postrojenjima uslijed mnogostruke preopterećenosti ili zbog prenatrpanosti i međusobno tijesnog postavljanja kabela, pri čemu odlučujući negativni učinak ima slabo provjetranje instalacijskih kanala.

Nadalje, može se govoriti i o neadekvatnim šahtovima i kanalima s elektro kabelema koji su nepregledni, nepristupačni te pretrpano postavljeni na nosače. Danas često primjenjivane konstrukcije spuštenih dekorativnih stropova sakrivaju i čine nevidljivim i nedostupnim niz instalacijskih vodova, pa tako i električnih. Takvi šuplji vodoravni prostori su idealni put i način brzog širenja požara koji se ne može pravovremeno otkriti niti kontrolirati. Zato je odgovarajućim propisima i ograničeno požarno opterećenje šupljih stropova na vodoravnim putevima za evakuaciju na najviše 7 kWh/m², ako se primjenjuju kabele normalne gorivosti, odnosno 14 kWh/m² kod kabela bez halogena [18].

8.1. Normativna preventivna rješenja

Dobra preventiva je veoma opsežan skup mjera od projekta do izvođenja pa ovaj nastavak više nije jednostavan.

U svakom slučaju, danas se mogu predvidjeti sveobuhvatne protupožarne mjere, tj. izgradnju požarnih sektora s učinkovitom zaštitom elektroinstalacija i njihovih prodora kroz sektor uz predviđeni stalni nadzor nad instalacijom.

Zato se u nekim prostorima primjerice evakuacijski putovi, izrijekom zahtijeva neugroženost od električnih instalacija. Požarni sektor kao temeljna mjera protupožarne građevinske preventive se pregrađuje od ostalih prostora u zgradi, ako posebni propisi nisu drugačije zahtijevali, protupožarnim vodoravnim i okomitim konstrukcijama vatrootpornosti od 90 min.

Prolaz instalacija različitih namjena kroz granične konstrukcija požarnih sektora dozvoljen je samo ako se istima ne prenosi niti širi vatra i dim kroz različite sektore.

Temeljem hrvatske norme HRN U.J1.240 svi otvori koji se nalaze u konstrukcijama vatrootpornosti od 90 min moraju se zatvoriti "poklopcima" vatrootpornosti od najmanje 60 min ili za jednu klasu manje od konstrukcije u kojoj se nalazi otvor.

Ova se problematika tretira u matičnoj zemlji ovih sustava, Njemačkoj, skupinom normi DIN 4102 u dijelovima 1-18, koje smo norma preuzeli u Hrvatskoj (HRN DIN 4102), a odakle nam dolaze načini zaštite električnih i drugih instalacija. U primjeni se nudi niz ispitanih sustava sukladno navedenoj njemačkoj (hrvatskoj) normi koji se više-manje mogu dobiti na hrvatskom tržištu s hrvatskom potvrdom o sukladnosti s pripadajućom normom.

Tako će u najvećem broju slučajeva certifikati za vatrootporne sustave koji su u Njemačkoj ispitivani temeljem tog DIN-a imati vatrootpornost 90 minuta.

Analogija vrijedi za sustave prema niže traženoj vatrootpornosti, ne prema višem stupnju, što znači da za potrebe klase vatrootpornosti od 120 minuta ovaj certifikat ne vrijedi, ali zato pokriva područje niže od 90 minuta (60 min, 30 min).

Norma HRN DIN 4102 dio 9. pod nazivom "Ponašanje građevinskih materijala i dijelova u požaru – pregrade za kabele – pojmovi, zahtjevi i ispitivanja" regulira zaštitu od požara prodora elektroinstalacija.

Ovom normom podijeljene su zaštite prodora elektroinstalacija u sljedeće klase: S30, S60, S90, S120, S180, gdje klasa znači dužinu vremena vatrootpornosti [18].

8.2. Građevinska preventivna rješenja

Temeljem normativnih zahtjeva industrija građevinskih materijala je, u korak s tehnološkim dostignućima i mogućnostima, proizvela čitav niz materijala koji će zabrtviti prodor elektroinstalacija i tako spriječiti širenje požara između dvaju požarnih sektora.

Ovi materijali u najvećoj mjeri pripadaju skupini materijala koji bubre bez obzira da li pod tlakom ili ne, što je idealan način brtvljenja prolaza instalacije jer se na taj način zatvaraju sve i najmanje šupljine u prodoru.

Djelovanje ovih materijala započinje istovremeno ili se može reći potaknuto je njihovo djelovanje, djelovanjem visokih temperatura na plastične materijale izolacija elektrokabela.

Porastom temperature u požaru na oko 80-100 °C plastična izolacija elektrokabela počinje omekšavati da bi na temperaturi od 150-180 °C se pretvorila u tekućinu koja se kod te temperature pali i počinje kapati i teći po prostoru, šireći na taj način požar velikom brzinom kroz zgradu. Nit elektrovodiča ostaje gola bez izolacije te istovremeno zagrijana do potpunog iskrivljenja, možemo reći i faze tečenja, koja će se za različite metale dogoditi na nešto višim i različitim temperaturama. Vodiči koji su dobri provodnici topline istu provode dalje u za sada još nezapaljen dio kabela i na taj način šire požar kroz instalaciju, zagrijavajući istu s unutarnje strane. Da se ovo spriječi protupožarni premazi koji bubre započinju svoju ekspanziju u trenu i paralelno s omekšavanjem izolacije da bi kod temperature paljenja plastike njihova ekspanzija bila završena, dakle sustav zaštite je spreman za učinkovito presijecanje prodora požara dalje kroz instalaciju.

Ovaj učinak se postiže na dva načina:

- Kod ablacijskih premaza baza njihove učinkovitosti je endotermno djelovanje, što znači oduzimanje topline materijalu na koji su naneseni.
- Kod ekspandirajućih materijala koji bubre 10 do 20 puta od debljine nanesenog sloja stvara se uslijed povišenja temperature pjenasta kruta struktura debljine nekoliko centimetara čije pore su ispunjene različitim plinovima ili parama koje su se razvile iz osnovnog premaza bubrenjem.

Ovi mediji koje možemo shvatiti kao sredstvo za gašenje prodiru u reakciju izgaranja materijala izolacije na različite načine ovisno o kemiji samog premaza, ali se može nabrojiti nekoliko zajedničkih učinaka:

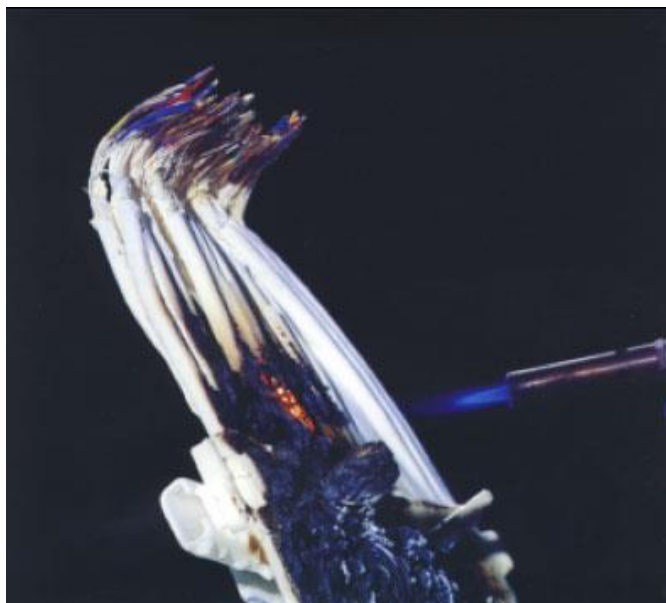
- poremećaj u bilanci energije,
- razvoj negorivih plinova i para (CO₂),
- omekšavanjem stvaraju prevlaku koja usporava pristup kisika iz zraka do gorivog materijala izolacije (aluminati ili silikati s puno kristalno vezane vode),
- katalitičko djelovanje,
- kemijska grafitizacija ili pougljenjivanje i
- nadomjestak lako zapaljivih komponenti [18].

8.3. Izbor zaštitnog sustava za električne instalacije

8.3.1. Protupožarna boja

Kabel premazan s 1mm debljine sloja produžava znatno svoju funkcionalnost u požaru (slika 16). Porastom topline prostora uslijed požara ili direktnim djelovanjem vatre ova boja razvija mikroporozni sloj pjene koja je dobar toplinsko izolator te onemogućava dotok kisika do kabela i podkonstrukcija što štiti od daljnjeg razvoja požara, njegovog proširenja te smanjuje stvaranje toksičnih i korozivnih plinova. Električni naponski vodovi tako će u uvjetima požara i dalje raditi.

Ovaj oblik zaštite posebno se propisuje posebnim propisima za određene vrste objekata za naponske kabele koji su u sustavu zaštite od požara pa moraju sačuvati svoju funkcionalnost i uvjetima požara. To su npr. naponski kabele sigurnog dizala, sprinklerske stanice, postrojenja za povišenje tlaka vode. Isti se učinak može postići i oblaganjem kabela u zaštitne kanale od protupožarnih ploča [18].

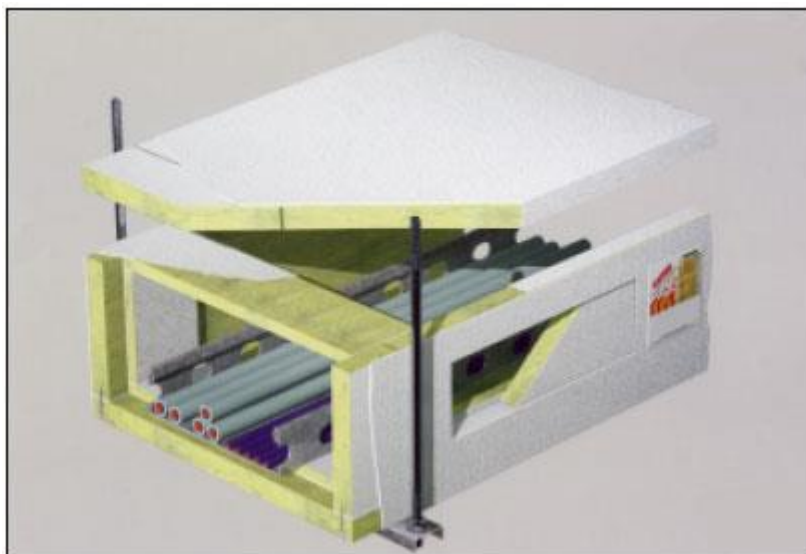


Slika 16: Demonstriranje ponašanja protupožarnog premaza kabla pod utjecajem plamena [18].

8.3.2. Protupožarni kanal

Kanal se izrađuje od protupožarnih ploča različitih kvaliteta i proizvođača no nisu svi u Hrvatskoj napravili nostrifikaciju certifikata odnosno pribaviti Potvrdu o sukladnosti. Kanal se primjenjuje za zaštitu instalacija od razornog utjecaja požara kako bi električne instalacije zadržale funkcionalnost pa se ovakav kanal klasificira kao zaštita izvana prema unutra i označava se kao E30, E60, E90 (slika 17).

Proizvod se i ispituje prema normi HRN DIN 4102 dio 12. – zadržavanje funkcionalnosti.



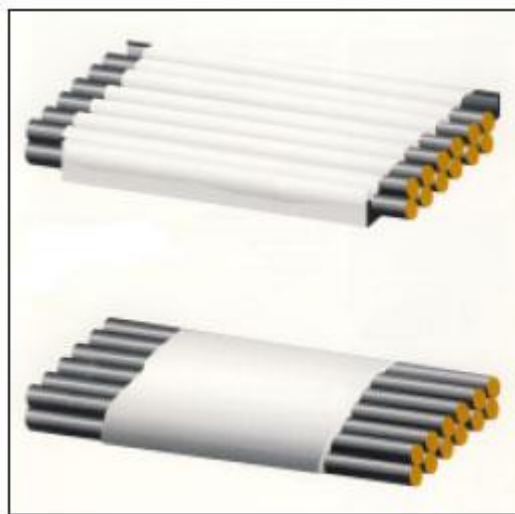
Slika 17: Protupožarni kanal [18].

Druga vrsta zaštitnog kanala je tako zvani "I" kanal koji se izgrađuje s namjenom zaštite okolnog prostora od djelovanja posljedica požara na instalacijama. Najčešći je primjer primjene I kanala kod zaštite evakuacijskih puteva od požara, dima i drugih opasnih i štetnih posljedica iz instalacijskih vodova koji se najčešće nalaze ispod stropova hodnika, prolaza, stubišta i drugih puteva za izlaz iz objekta.

I kanal je normiran normom HRN DIN 4102 dio 11. s klasama otpornosti na požar I30, I60, I90, I120 [18].

8.3.3. Protupožarna potpuna bandaža kablskih polica

Sustav zaštite se sastoji od posebne tkanine koja je impregnirana protupožarnim premazom kojim se omota kompletna polica s kabelima i tako učvrsti na razmacima. U požaru se bubrenjem u oba smjera stvara mikroporozna struktura koja zaštićuje od prolaza topline, zadržava dimove i plinove produkte izgaranja, sprječava kapanje gorućeg PVC iz izolacije kabela (slika 18).



Slika 18: Protupožarna potpuna bandaža kablskih polica [18].

Ova izolacija kablskih postrojenja je trajno elastična i nije higroskopna pa je primjenjiva u svim prostorima.

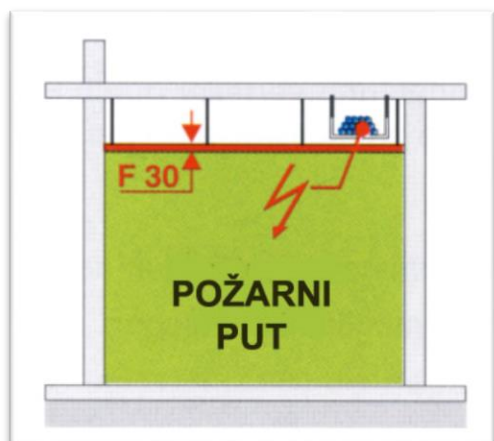
Veoma je jednostavna adaptacija ili rekonstrukcija instalacija, a kod postavljanja ne prlja okolni prostor pa je pogodna kod naknadnih izvođenja radova kada je objekt već useljen [18].

8.3.4. Protupožarni spuštteni strop

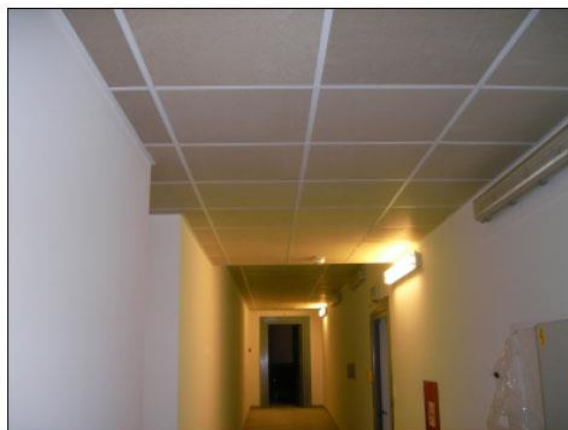
Umjesto navedenih zaštitnih kanala, područje ispod stropa iznad evakuacijskih puteva koje je najčešće i područje kuda se vode instalacije svih vrsta, može se zaštititi protupožarnim spušttenim stropom u traženoj klasi otpornosti.

Klasa otpornosti na požar je propisana posebnim propisima, a najčešće se koristi najmanja klasa F30 (slika 19).

Svi do sada navedeni sustavi upotrebljavaju se u konkretnim situacijama kada je potrebno zaštititi instalacije od utjecaja požara ili okolni prostor od utjecaja požara na instalacijama (slika 20).



Slika 19: Prikaz vatrootpornosti [18].



Slika 20: Prikaz spuštenog stropa [18].

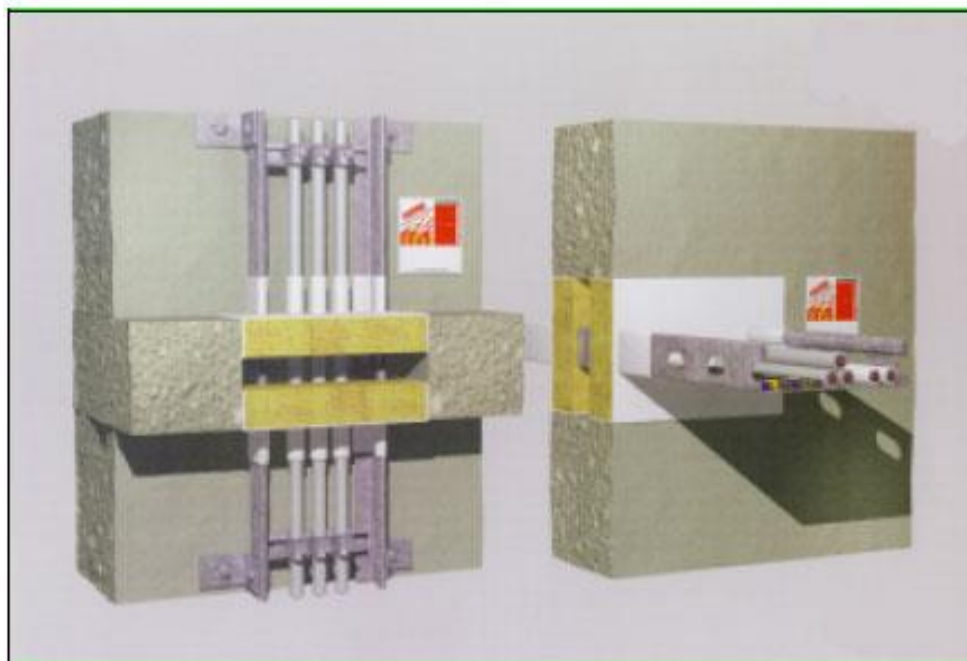
Sljedeći sustavi upotrebljavat će se za brtvljenje prodora električnih, ali i cijevnih instalacija kroz granične konstrukcije požarnih sektora [18].

8.3.5. Protupožarna mekana pregrada elektroinstalacija

Zaštita prodora se izvodi protupožarnom mineralnom vunom debljine 8 cm ili više (ovisno o proizvođaču), zapreminske težine 150 kg/m^3 i točka topljenja preko $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ koja je od proizvođača isporučena oslojena s premazom protupožarne boje debljine najmanje 1 mm (slika 21).

Izrezivanjem vune prema obliku otvora i ispunjavanjem otvora dobiva se pregrada koja se popunjava do potpune iscrpljenosti protupožarnom masom za izravnavanje i konačno se čitav sustav i kabeli 20 cm do pregrade premazuju protupožarnom bojom. Ovaj sustav zaštite ima učinak brtvljenja prodora protiv požara i protiv dimnih plinova, osjetljiv je na direktan utjecaj vode, ali ne i na vlagu iz zraka.

Kod povišenja temperature masa za izravnavanje i boja bubre stvarajući tako opet mikroporoznu strukturu koja ohlađuje kabele i presijeca toplinski most vodičima na drugu stranu konstrukcije. Veoma lako se vrše nadogradnje ili adaptacije, a sustav se može u prostoru obraditi interijerski prema želji tako da se ne razlikuje od okolnog zida (slika 22) [18].

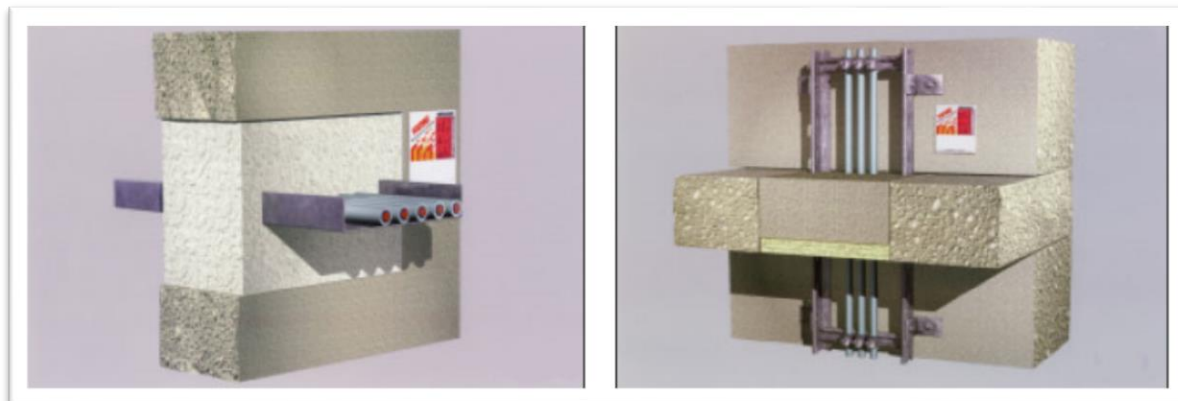


Slika 21: Protupožarna mekana pregrada [18].



Slika 22: Djelovanje plamena na protupožarnu mekanu pregradu [18].

8.3.6. Pregrada od morta



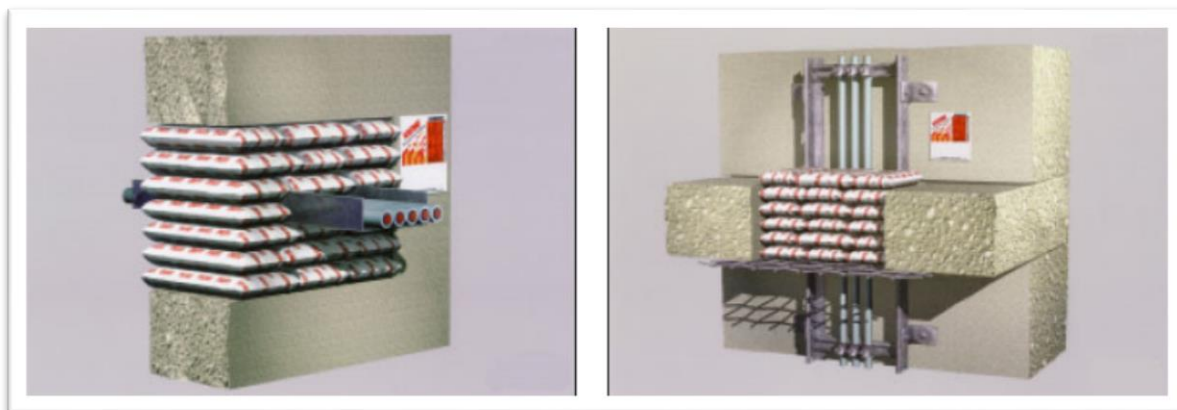
Slika 23: Pregrada od morta (vodoravna i okomita instalacija) [18].

Upotrebiva je za pregrade kablskih postrojenja u zidovima i pločama uz ograničenje dimenzije otvora (slika 23).

Protupožarni mort je posebna suha mješavina mineralnog sastava koja je upakirana u vreće pripravljena za ugradnju. Izrada zahtijeva veoma preciznog i strpljivog montera koji će ispuniti svaku rupicu oko kabela. U požaru ovaj sustav ne bubri, ali djeluje ablativno te zato treba kod izvedbe postići tijesnost brtvljenja [21].

8.3.7. Protupožarne vrećice

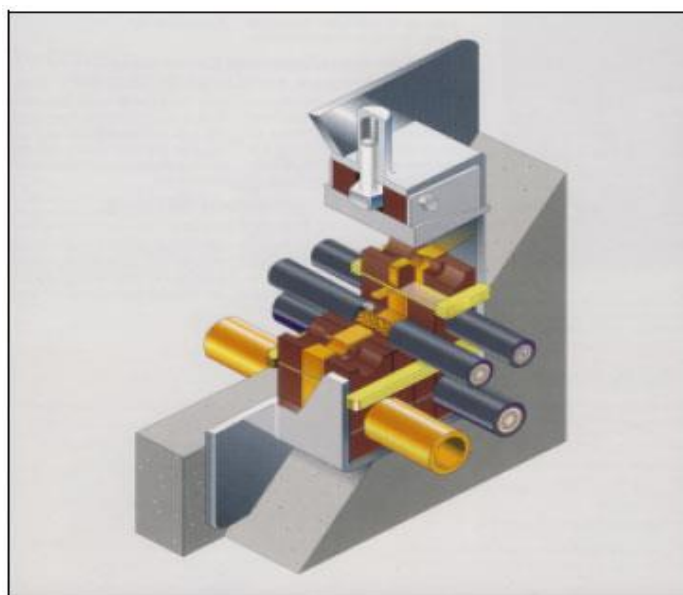
Sustav se sastoji od vrećica sašivenih od tkanine staklenih niti koje su ispunjene protupožarnom masom koja u požaru bubri i ohlađivanjem vodiča ujedno fizički pregrađuje otvor. Vrećice se umeću slaganjem u otvor u zidu s tim da će uvijek između ostati prodor tj. nije dimotijesna izvedba u svakodnevnom funkcioniranju zgrade (slika 24).



Slika 24: Protupožarne vrećice (vodoravna i okomita instalacija) [18].

Kod ovog su sustava veoma jednostavne adaptacije elektroinstalacija, ali se isto tako nepažnjom radnik oko električne instalacije vrećica može i zaboraviti umetnuti ili može ispasti iz pregrade što će znatno umanjiti učinak u gašenju požara u prodoru [18].

8.3.8. Kabelski modularni sustav



Slika 25: Kabelski modularni sustav [18].

Maksimalno fleksibilan sustav omogućava izvlačenje i zamjenu kabela različitih dimenzija bez oštećenja osnovnog sustava u bilo koje vrijeme (slika 25).

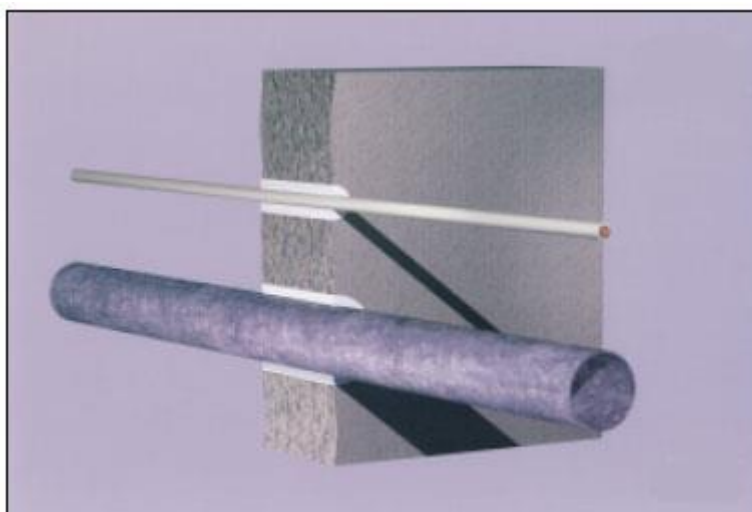
Posebno je ispitan i konstruiran za zaštitu prodora kod atomskih skloništa, na vodu pod tlakom od 9 bara, na plin probom uz pomoć helija na 2,5 bara i vatrootpornost od 240 minuta. Sastoji se od čeličnog okvira koji se ubetornira u fazi gradnje u zid. Za ovu fazu treba od prilike znati broj i dimenzije kabela jer se prema tome bira veličina okvira. Naknadno kada se polažu kabeli, prostor unutar okvira se ispunjava modularnim komadima koji se sastoje od dva dijela okruglog oblika kako bi se obujmio kabel.

Svaki je kabel tijesno zahvaćen u elemente i naknadno stegnut s posebnim brtvenim komadom koji dolazi na kraju montaže. Modularni komadi su od posebne vatrootporne mase koja je ujedno dovoljno elastična da tijesno pranja kabelu i na taj način brtvi prodor.

Kod ovog su sustava veoma lagane preinake i adaptacije kojima se sustav može i povećati uz dodatak novog okvira koji se u tom slučaju zavaruje na postojeći. Važno je napomenuti, što je vjerojatno i uočeno, da se ovaj sustav naručuje u dogovoru s projektantom i proizvođačem prema točnim karakteristikama kabela, prostora i zahtjevima kojima se može u velikoj mjeri udovoljiti jer su ovdje navedene samo osnove značajke sustava [18].

8.3.9. Protupožarni kit

Protupožarna masa za zatvaranje svih vrsta fuga u zgradu pa tako i građevinskih otvora oko pojedinačnih kabela. Radi se o uglavnom okruglim pravilno izbušenim rupama presjeka 16-50 mm kroz koje se provlače pojedinačni kabeli za jaki i slabu struju. Ovakve se fuge brtve obostrano zida protupožarnom masom uz pomoć ručne štrcaljke uz uvjet da kružni vijenac oko kabela iznosi najviše 30 mm. Protupožarni kit je trajno elastična masa na bazi kaučuka, otporna na vodu i starenje i pogodna za sve vrste završnih obrada. U atmosferi povišene temperature bubri oslobađajući plinove koji ohlađuju i ujedno gase požar, a fizički zatvara prolaz na mjestu kabela koji je izgorio (slika 26)[18].



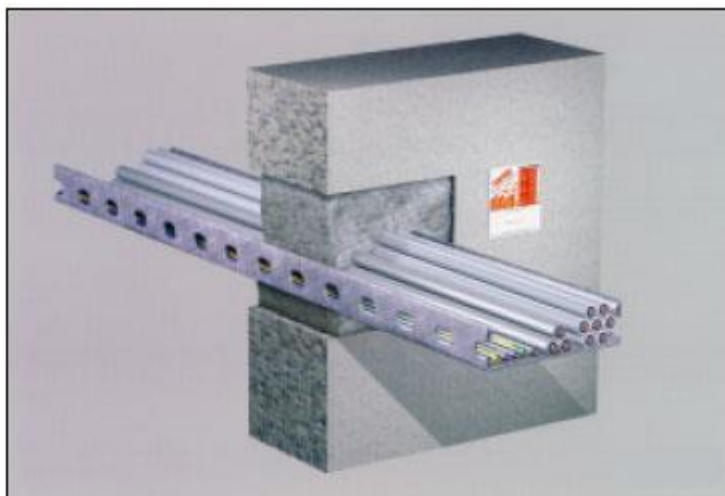
Slika 26: Protupožarni kit [18].

8.3.10. Protupožarni blokovi i protupožarna pjena

Ovi materijali spadaju i najnoviju generaciju brtvenih materijala za električne, ali i za cijevne instalacije te za građevinske i dilatacijske rešetke na granicama požarnih sektora (slika 27).

Kod primjene nemaju ograničavajućih okolnosti, a uvjet ugradnje je isključivo preciznost montera koji ih ugrađuje. Ovi se materijali mogu ugrađivati pojedinačno, znači ili samo blokovi ili samo pjena ili njihova kombinacija [18].

Protupožarni blokovi su fleksibilni komadi veličine opeke koji se po principu suhogradnje umeću u otvor prodora oko instalacija na način da što tješnje zatvore prodor. Ovakav način zatvaranja prodora nije dimotijesan pa se za ovaj zahtjev mora dodatno upotrijebiti protupožarna pjena za šupljine između blokova. Učinak blokova u požaru je bubrenje na povišenim temperaturama sa svim pratećim pojavama presijecanja i gašenja požara. Protupožarna pjena se nanosi ručnom pistolom kao građevinski kitovi, u spoju s atmosferskim zrakom ona bubri i povećava volumen te se za nekoliko minuta skrućuje i čini prodor dimotijesnim. Pojavom požara ona već predstavlja prepreku daljnjem širenju i prijenosu topline. Oba materijala imaju potrebnu hrvatsku potvrdu o sukladnosti klase S90.



Slika 27: Protupožarni blok [18].

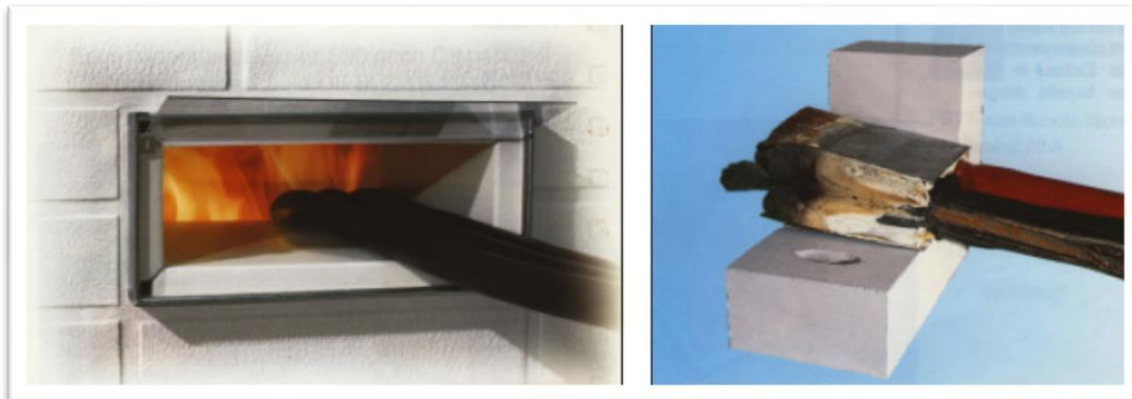
Klasifikacija sustava određena je normom HRN DIN 4102 dio 9., s oznakom za blokove klase S90 – S120 za zid i S90 za strop te S30 za protupožarnu pjenu [18].

8.3.11. Protupožarne kutije

Protupožarne kutije su tvornički unaprijed završeni gotovi sklopovi za zaštitu prodora elektro kabela. Sastoje se od čelične vruće pocinčane kutije unutar koje se nalaze alkalni silikatni blokovi koji u slučaju požara bubre i potpuno zatvaraju otvor za prolaz kabela. Na površini koja dolazi na lice zida zatvorene su sa završnim poklopcem od visokootporne plastične mase koja priliježe uz kabele i čini otvor dimotijesno zatvoren (slika 28) [18].

Ugrađuju se u predviđen otvor u zidu ili stopu mortom ili betonom ili u slučaju suhomontažnih zidova pripadajućom masom za ispunjavanje. Sustav vrijedi i za cijevne instalacije određenih presjeka te za naknadno polaganje instalacije. Prednost ovog sustava je potpuni izostanak prašine, dimonepropusnost i mogućnost naknadnog polaganja instalacija.

Kod naknadnog polaganja instalacija otvor oko nove instalacije na čeonom poklopcu se zabrtvi protupožarnim kitom, npr. silikonkaučukom.



Slika 28: Protupožarne kutije [18].

Klasifikacija sustava određena je normom HRN DIN 4102 9. dio, s oznakom klase S90 otpornosti na požar [18].

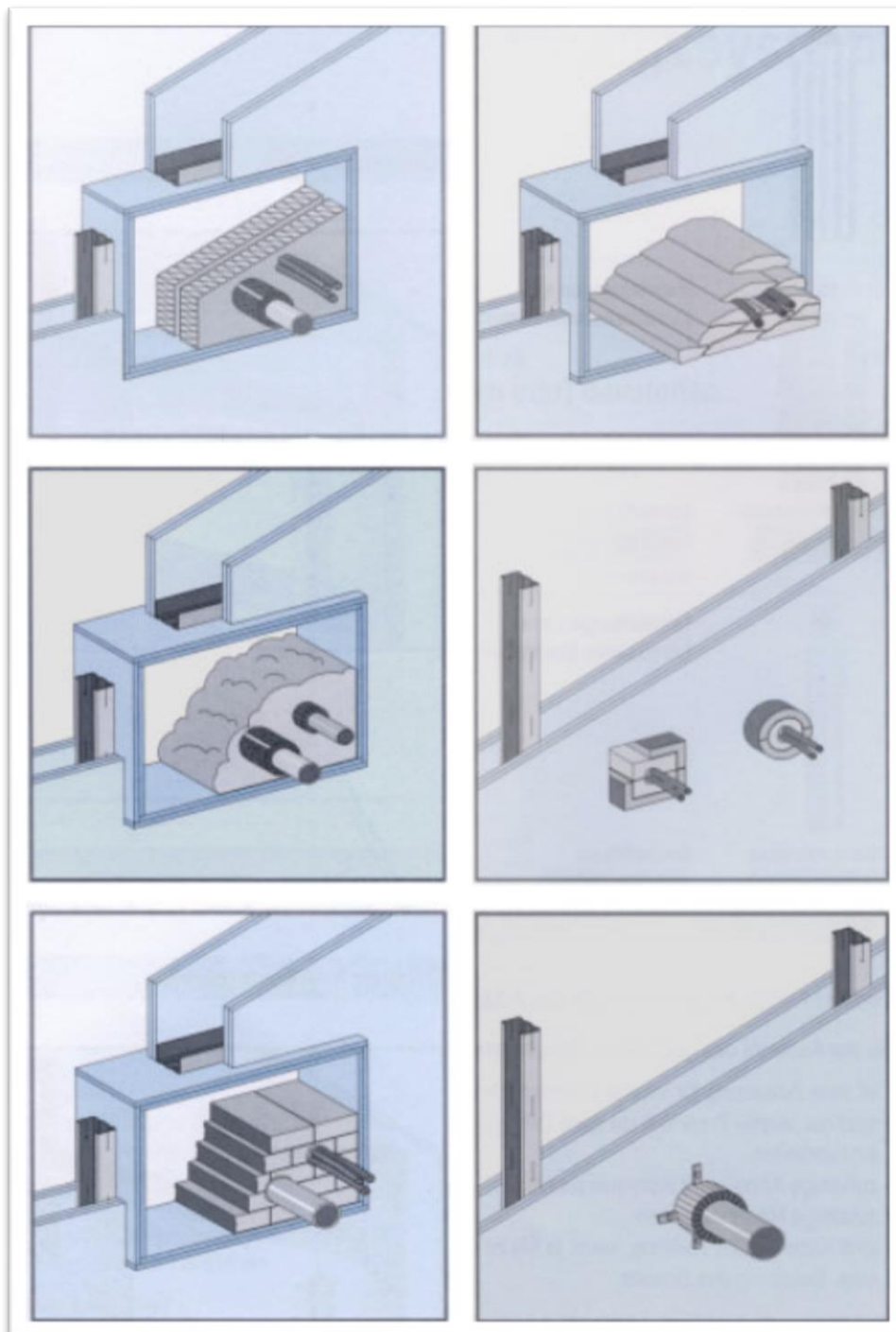
8.3.12. Zaštita prodora instalacija u suhomontažnim građevinskim sustavima

Svjedoci smo sve veće upotrebe suhomontažnih sustava gradnje različitih proizvođača ploča od različitih materijala. Svi su oni razvili i sustave protupožarnih zidova, stropova, pregrada za okomita i vodoravna okna(šahlove) i sustave zaštitnih kanala za instalacije.

Primjena ovih sustava je sve veća pa se često događa da se brtvljenje prodora instalacija na jednom objektu radi isključivo u ovakvim sustavima gradnje. Kako je zaštita prodora instalacija kod ovakvih zidova i stropova zahtjevnija od masivne gradnje, valja o ovome posebno naglasiti neke detalje.

Poznato je da se suhomontažni sustav sastoji od obostrano položenih protupožarnih ploča na propisanu podkonstrukciju te se na taj način dobije šuplji prostor unutar zida koji je idealan za nekontrolirano širenje požara unutar zida. U požarnim zidovima ovaj se prostor mora ispuniti kamenom vunom propisane težine koja mora biti tijesno položena, bolje reći ugurana u šupljinu između ploča. Postavljanjem instalacija

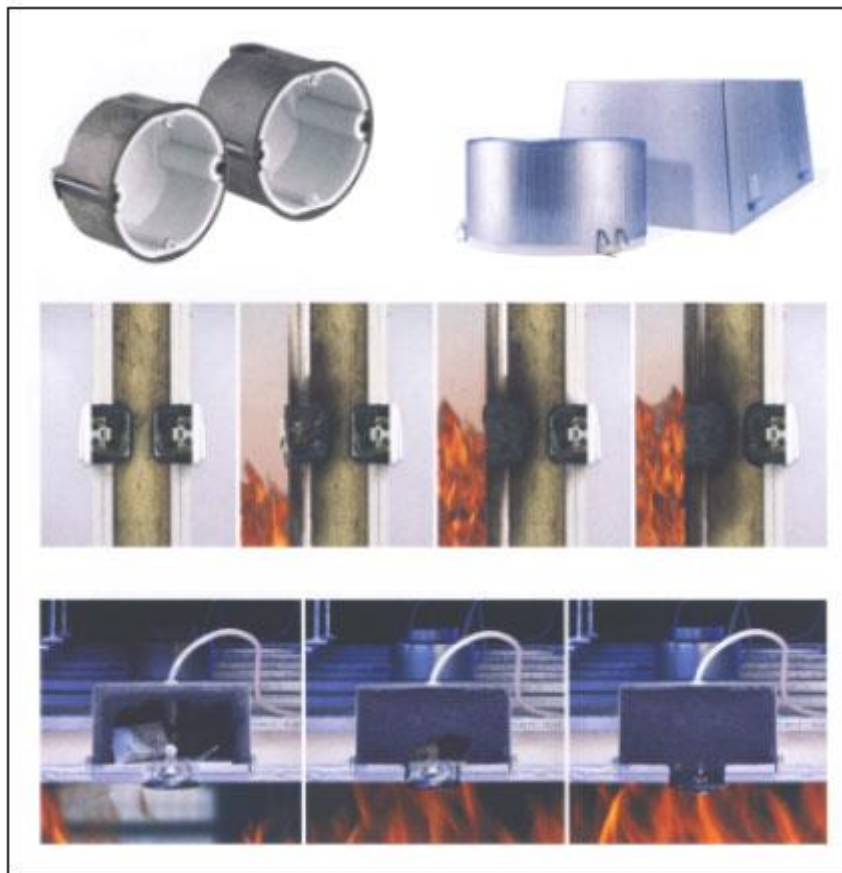
nerijetko se nepravilno razbije ploča, provede instalacija i ostavi takav nepravilan otvor prodora za brtvljenje (slika 29) [18].



Slika 29: Pravilan način zatvaranja električnih instalacija suhomontažnom gradnjom [18].

Radove na ovakvim sustavima trebao bi nadzirati inženjer u području arhitekture, ali i elektro nadzor jer je zaštita prodora u grupi elektro radova pa bi tu trebao postojati najveći interes.

Osim toga već u fazi projektiranja morao bi se nacrtati detalj zaštite prodora osobito kroz montažne zidove. Posebno je potrebno vidjeti brigu kod ugradnje razvodnih kutija, kutija za prekidače i utičnica u montažne konstrukcije (slika 30) [18].



Slika 30: Širenje požara u slučaju razvodnih kutija i kutija za prekidače i utičnice [18].

8.4. Moguća rješenja protueksplozijske zaštite električnih uređaja i instalacijama u eksplozijski opasnim atmosferama

Kako bi se spriječila pojava paljenja eksplozivne smjese razrađeni su načini kojima se mogući uzročnik paljenja oslabljuje ili uklanja.

Navedeni načini su prema normama formirani u sljedeće vrste protueksplozijske opreme:

1. neprodorni oklop – Exd,
2. povećana sigurnost – Exe,
3. samosigurnost – Exi (Exia i Exib),
4. punjenje krutim tvarima – Exm,
5. uranjanje u tekućine – Exo,
6. nadtlak – Exp,
7. punjenje pijeskom – Exq,
8. posebna vrsta zaštite – Exs.

Neprodorni oklop – Exd

Ova vrsta zaštite određena je normom HRN EN 50018. Osnovna ideja ove vrste protueksplozijske zaštite jest da su dijelovi električnog uređaja koji bi mogli izazvat paljenje zatvoreni u oklopu kućišta. Kućište kao osnovni element zaštite treba biti građeno tako da izdrži unutarnji tlak eksplozije bez oštećenja ili nedopuštenih elastičnih deformacija te da spriječi probojno paljenje kroz zaštitne raspore na vanjsku eksplozivnu atmosferu. Time se omogućava ulaženje eksplozivne atmosfere u kućište uređaja, no prilikom eksplozije plamen se ne može proširiti iz kućišta van.

Osnovna podjela kućišta „d“ zaštite je u dvije skupine:

- I – za primjenu u rudnicima,
- II – za primjenu na ostalim mjestima, industriji.

Dalje se kućišta skupine II dijele na:

A – ugljikovodici,

B – etilen,

C – vodik

Povećana sigurnost – Exe

Oznaka „e“ određuje vrstu protueksplozijske zaštite povećane sigurnosti obrađenu normom HRN EN 50019. Ova vrsta zaštite moguća je samo za uređaje koji u normalnom radu ne stvaraju električni luk, ne iskre niti se zagrijevaju iznad granične temperature. Konstrukcija takvih uređaja izrađuje se na način da u normalnim uvjetima rada zagrijava na temperaturu nižu od temperature paljenja a u slučaju preopterećenja ili drugih poremećaja u radu ima zaštitnu napravu koja će isključiti napajanje a time i daljnje zagrijavanje. Ograničavanje zagrijavanja najvažniji je čimbenik ove vrste protueksplozijske zaštite.

Samosigurnost – Exi

Prvi samosigurni uređaji javljaju se početkom 20-tog stoljeća u rudnicima ugljena Velike Britanije. Sastojao se od izvora napajanja (24 V DC), dvije gole žice nekoliko centimetara razmaknute koje su se protezale duž hodnika i rudničko zvono koje se aktiviralo zatvaranjem strujnog kruga lopatama rudara. Označava se oznakom „i“, postoje dvije kategorije „a“ i „b“, a određena je normom HRN EN 50020.

Smanjenje energije na uređaju ili bilo kojem dijelu strujnog kruga na iznos koji nije dovoljan izazvati paljenje eksplozivne smjese naziva se samosigurnošću. Spajanjem dioda postiže se zaštita od prenapona. Takvi uređaji mogu biti namijenjeni samo za posebne namjene i najčešće se koriste kod elektroničkih uređaja (mjerni i regulacijski uređaji).

Punjenje krutim tvarima – Exm

Vrsta zaštite zalijevanjem ili punjenje krutim tvarima „m“ obrađeno je normom HRN EN50028. Ova metoda podrazumijeva odvajanje uređaja od okolne eksplozivne smjese na način da se uređaj postavi u kućište koje se tijekom izrade zalijeva posebnom masom. Zalijevna masa treba biti čvrsta, dobar izolator i otporna na zagrijavanje.

Uranjanje u tekućine – Exo

Metoda uranjanjem, obrađena normom HRN EN 50014 povoljna je za uređaje koji se ne pomiču ili premještaju. Ovim postupkom odvaja se uređaj od eksplozivne atmosfere uranjanjem uređaja u odgovarajuću tekućinu koja mora biti nadzirana. Zato svaki uređaj treba imati indikator na kojem je vidljiva minimalna, maksimalna i sigurnosna razina tekućine. Zaštitno sredstvo ove metode je mineralno ulje, koje treba imati dobra izolacijska svojstva, a u radu ne smije oštećivati ni ometati rad uređaja.

Nadtlak – Exp

Poput metode zalijevanja i uranjanja, nadtlak je metoda koja onemogućuje kontakt eksplozivne smjese i štice uređaja. Norma HRN EN 50016 obrađuje metodu nadtlaka, a osnova ove zaštite je da je štice uređaj postavljen u kućište koje pod povišenim tlakom nezapaljivog plina (viši tlak nego okolne atmosfere). Tako je onemogućen dodir eksplozivne atmosfere sa štice uređajem, no u slučaju nestanka nadtlaka uređaj mora se isključiti napajanje uređaja. To podrazumijeva postojanje odgovarajućeg kućišta koje može izdržati nadtlak, negorivi zaštitni plin te uređaj za nadzor nadtlaka.

Punjenje pijeskom–Exq

Normom HRN EN 50017 postavljena je metoda punjenja pijeskom. Ova se metoda može koristiti kod uređaja koji nemaju pokretnih dijelova. Zasipavanjem uređaja kvarcnim pijeskom ili staklenim kuglicama smanjuje se količina topline koja se

prenosi na površinu uređaja u dodiru s eksplozivnom smjesom. Kod ove metode potrebno je osigurati adekvatno kućište, izolacijski materijal koji nije higroskopian te nadzorni uređaj.

Posebne vrste zaštite – Exn i Exs

U praksi se također javljaju uređaji kategorije „n“ i „s“ čije je korištenje dopušteno u ugroženim prostorima zone 2. To su uređaji razvrstani u kategoriju naročite vrste zaštite, a trebaju se ispitati u eksplozivnoj atmosferi u skladu s IEC79-0 direktivom.

Zaštita od statičkog elektriciteta

Da bi se zaštitili od elektrostatičkog naboja, treba onemogućiti skupljanje elektrostatičkog naboja što se najčešće rješava na ove načine:

- spajanjem svih vodljivih dijelova i elektrostatički uzemljiti nevodljive dijelove,
- izbijanje statičkog naboja,
- oklapanje vodljivom uzemljenom mrežom,
- vlaženje.

Nevodljivi materijali se ne smiju upotrebljavati u eksplozijom ugroženom prostoru. Ukoliko nije moguće izbjeći njihovu upotrebu, potrebno je osigurati sprečavanje nakupljanje naboja odgovarajućim metodama, ako to tehnološki ili funkcionalni uvjeti dopuštaju.

Povećanje relativne vlage na 60-70 % predmeti upijaju vlagu, čime se onemogućuje pojava statičkog elektriciteta. Uvođenjem mlaza pare ili raspršenih kapljica vode u sustav ventilacije povećava se vlažnost zraka, a time onemogućuje nakupljanje naboja. Ovakav pristup je čest kod proizvodnje papira, tkanina i vlakana [19].

9. VJEŠTAČENJE TRAGOVA POŽARA I EKSPLOZIJA UZROKOVANIH ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Tragovi koji su pronađeni i izuzeti s mjesta događaja vještače se u laboratoriju. U Republici Hrvatskoj takvi tragovi se vještače trenutno u Centru za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić“¹¹, u sklopu Ministarstva unutarnjih poslova.

Vještačenje se provodi na način da se prvo vrši makroskopski i mikroskopski pregled tragova zbog utvrđivanja postoje li na njima neki drugi tragovi.

Tekući uzorci se ispituju u stanju u kojem jesu ili se prije toga „suše“. Metode koje se pri tome koriste su plinska kromatografija (GC), infracrvena spektrometrija (IC, IR), plinska kromatografija povezana s infracrvenom spektrometrijom (GC-IR) ili plinska kromatografija povezana sa spektrometrijom masa (GC-MS) i tankoslojna kromatografija (TLC). Ovim metodama određuju se fizičke osobine kao što su vrelište, točka paljenja i indeks loma. Tragovi koji se nalaze u čvrstom stanju prvo se obrađuju na način da se iz njih izdvajaju tragovi širenja požara, a nakon toga se tako dobiveni tragovi ispituju metodama za tekuće uzorke. Tako se na primjer iz posude uzima mala količina para i ispituje plinskom kromatografijom ili se posuda zagrije na 100 °C te se uzorak tih para ispituje plinskom kromatografijom. Tragovi se mogu obrađivati i apsorpcijom aktivnog ugljena, ekstrakcijom otapalom i destilacijom vodene pare.

Dobiveni podaci se uspoređuju sa spektrima ostalih poznatih tvari kako bi se pronašla tvar kojom je pojačano i ubrzano širenje požara [20].

9.1. Tehnička vještačenja

Od samoga početka, u Centru se provode raznovrsna tehnička vještačenja ranijeg naziva strojarsko-tehnološka vještačenja, a danas su to strojarska i elektrotehnička

¹¹ U daljnjem tekstu: Centar

vještačenja. U tehnička vještačenja pripadaju vještačenja uzroka požara, eksplozija i tehnoloških havarija, koja su po svojoj koncepciji kombinirana (multidisciplinarna) vještačenja. Navedena vještačenja se rade na terenu (na mjestu događaja požara i eksplozije), a izuzeti materijal se vještači u Centru. Vještaci za tehnička vještačenja Centra (strojarska i elektrotehnička) sudjeluju u očevidima i vještačenjima najvećih požara, eksplozija i tehnoloških havarija.

Pored navedenih vještačenja, vještaci za tehnička vještačenja samostalno vrše vještačenja iz područja strojarskih i elektrotehničkih vještačenja [20].

9.2. Elektrotehnička vještačenja

Znatan napredak društva započinje pronalaskom i upotrebom električne energije. Danas ne postoji tehnologija, koja se koristi u svakodnevnom životu, a koja ne koristi električnu energiju kao izvor napajanja. Stoga nije čudno da u velikom dijelu nesreća, havarija i kaznenih djela postoji potreba za vještačenjem dijelova električnih instalacija, uređaja i sklopova koje dovodimo u vezu s područjem elektrotehničkih vještačenja.

Jedan dio predmeta vještačenja iz ovoga područja upućuje se u Centar gdje vještaci provode pregled i ispitivanje funkcionalnosti i tehničke ispravnosti različitih električnih uređaja i naprava te dijelova električnih instalacija korištenjem ispitne opreme i instrumenata.

Uz vještačenja električnih uređaja, instalacija i naprava, gdje vještaci za elektrotehnička vještačenja samostalno provode ispitivanja, česta su i važna njihova sudjelovanja u multidisciplinarnim vještačenjima gdje isti sudjeluju kao članovi tima, kao što su vještačenja uzroka požara u objektima, vozilima i plovilima te vještačenja uzroka požara prilikom željezničkih i zrakoplovnih nesreća, vještačenja uzroka eksplozija i tehnoloških havarija, vještačenja eksplozivnih naprava i vještačenja nesreća uzrokovanih strujnim udarom.

Radi unapređenja rada i bolje edukacije vještaci su izradili niz uputa za rad, a također sudjeluju u edukaciju na tečajevima za policijske službenike na Policijskoj

akademiji (tečaj za kriminalističke tehničare, CEPOL tečaj i drugi), te surađuju u radu ENFSI grupe za istraživanje uzroka požara i eksplozija.

Pored navedenog vještaci kroz članstvo i rad u stručnim udrugama (EDZ - Elektrotehničko društvo Zagreb i druge), sudjelujući u radu stručnih i znanstvenih skupova (ASFE - Application of Structural Fire Engineering, Učinkovita rasvjeta, Zaštita na radu i zaštita zdravlja i drugi) svojim radovima i predavanjima doprinose razvoju svoje struke [18].



Slika 31: Ispitivanje električnih uređaja (brojila električne energije) [20].



Slika 32: Ispitivanje električnih uređaja (uređaj za zagrijavanje vode) [20].



Slika 33: Ispitivanje električnih uređaja korištenjem digitalnog multimetra [20].

Forenzične metode

- Pregled i ispitivanje električne instalacije i uređaja u objektima i utvrđivanje mjesta nastanka i uzroka požara
- Pregled i ispitivanje električne instalacije i uređaja u vozilu i utvrđivanje mjesta nastanka i uzroka požara
- Pregled i ispitivanje električnih instalacija i uređaja u plovilu i utvrđivanje mjesta nastanka i uzroka požara
- Pregled i ispitivanje električne instalacije i uređaja u beznaponskom stanju i utvrđivanje uzroka strujnog udara
- Pregled i ispitivanje električnih uređaja radi utvrđivanja ispravnosti obzirom na mogućnost strujnog udara
- Pregled i ispitivanje električne instalacije i brojila električne energije radi utvrđivanja krađe struje (slika 31)
- Ispitivanje funkcionalnosti i tehničke ispravnosti električnih uređaja (slika 32) [20].

Oprema za tehnička vještačenja

- Razvodni ormar sa trofaznim napajanjem za elektrotehnička ispitivanja
- Univerzalni mjerni instrument “DIGITAL MULTIMETER YF-3220” za mjerenje napona, struje, otpora, neprekinutosti vodiča i dr. (slika 33)
- Video endoskop, Hazet, Njemačka, 4812-10/45 (2015) - Pregled nedostupnih površina
- Detektor plinova, Dräger, Njemačka, Miniwarn (2007) - Utvrđivanje koncentracije plinova CO i CH₄
- Detektor plinova, Dräger, Njemačka, Multiwarn II (2000) - Utvrđivanje koncentracije plinova NH₃, SO₂ i H₂S
- Detektor plinova, Dräger, Njemačka, Multiwarn II (1999) - Utvrđivanje koncentracije plina CO₂
- Analizator plinova, Dräger, Njemačka, MSI 150 PRO2 i (2007) - Utvrđivanje koncentracije plinova CO i CO₂ [20].

10. ZAKLJUČAK

Primjena mjera protupožarne i protueksplozijske sigurnosti električnih instalacija u građevinarstvu važan je čimbenik ukupne sigurnosti i pouzdanosti u eksploataciji same građevine. Već samim pravilnim projektiranjem, kao i kasnijom izvedbom, korištenjem i održavanjem elektroinstalacija, uređaja i aparata moguće je znatno pridonijeti smanjenju rizika od nastanka požara ili eksplozije, kojima uzrok može biti nastajanje kvara električne naravi.

Pri projektiranju i gradnji tehnoloških postrojenja potrebno je koristiti sva potrebna, ovim radom navedena suvremena rješenja sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija.

Može se zaključiti da je problematika sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija s motrišta opasnosti od električne energije vrlo složena te se glede toga mora postupati krajnje ozbiljno u smislu striktnog pridržavanja propisa sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija koji reguliraju tu problematiku.

Iz rada je razvidno da su najčešći uzroci paljenja električne naravi preopterećenje, kratki spoj, veliki prijelazni otpor, iskrenje, električni luk ili kvar na elektrotermičkim uređajima. Uslijed toga najčešće dolazi do pregrijavanja vodiča, paljenja izolacije, oštećenja izolacije, taljenja vodiča i drugih dijelova električnih instalacija, taljenja na mjestu spajanja, spajanja faze struje s metalnim konstrukcijama, jednofaznog spajanja sa zemljom, predimenzioniranost patrone rastalnog osigurača.

Navedene uzroke požara ili eksplozije potrebno je dokazati. Da bi se mogao utvrditi točan uzrok požara ili eksplozije, potrebno je provesti cjelovitu istragu te pravilnim postupanjem izvršiti kvalitetan očevid, pronaći i izuzeti tragove, prikupiti sve obavijesti očevidaca ili učesnika, prikupiti informacije o prethodnim smetnjama ili kvarovima. Pri utvrđivanju užeg mjesta ishodišta požara se uobičajeno koriste metoda praćenja termičkih oštećenja te metoda selektivnog pregaranja rastalnih osigurača ili iskakanja automatskih osigurača električne instalacije.

Spomenutim metodama pokušava se pronaći i protumačiti tragove kretanja požara ili razvitka eksplozije, pokušava locirati samo ishodište požara, istražiti mjesta koja su bila pod električnom napetošću prije trenutka nastanka požara ili eksplozije, istražiti

stanje električne instalacije prije izbijanja požara ili eksplozije te u konačnici utvrditi uzrok požara ili eksplozije.

Po prikupljanju svih dostupnih možebitnih dokaza i inih istražno korisnih tragova s mjesta događaja, iste je potrebno vještačiti, a vještačenje u Hrvatskoj obavlja se u laboratorijima Centra za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić“, u sklopu Ministarstva unutarnjih poslova.

Metode koje se koriste za vještačenje su plinska kromatografija (GC), infracrvena spektrometrija (IC, IR), plinska kromatografija povezana s infracrvenom spektrometrijom (GC-IR) ili plinska kromatografija povezana sa spektrometrijom masa (GC-MS) i tankoslojna kromatografija (TLC). Ovim metodama određuju se fizičke osobine kao što su vrelište, točka paljenja i indeks loma istražno važnih tvari. Osim navedenih, u Centru se provode još i strojarska i elektrotehnička vještačenja koja se provode prema propisanim uputama, pritom primjenjujući forenzične metode s potrebnom opremom za vještačenja.

Raščlambom eventualno sustavno i redovito prikupljenih znatno detaljnijih statističkih podataka o uzrocima požara i eksplozija moglo bi se stručno utemeljeno pratiti kretanje stvarnog stanja po pitanju sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija, ne samo s motrišta opasnosti od električne energije. Time bi se pomoglo otkriti požarno/explozijski kritične sigurnosne točke s motrišta opasnosti od električne energije i iznaći možebitno još kvalitetnija preventivna rješenja kako bi se smanjio rizik od nastanka požara ili eksplozije i od ove vrste energije.

Može se reći kako opći statistički podaci iz godine u godinu pokazuju relativan pad broja požara građevina (ako se uzme u obzir stalan rast broja novih građevina), jer se gradnja novih građevina i inih vrsta tehničkih sustava obavlja prema sve strožim zakonskim i podzakonskim propisima i kvalitetnijim tehničkim normama. Taj prosjek obično kvare stariji objekti koji su građeni za vremena kada nije bilo aktualnih obvezatnih mjera sigurnosti i zaštite od požara i kada nisu postojali mnogi danas poznati građevinski materijali koji bi djelotvornije sprječavali mogućnost nastanka i širenja požara.

Posebnu pozornost bi svakako trebalo pridavati i kakvoći električnih uređaja, aparata i sastavnica električnih instalacija koji u velikoj mjeri dolaze s tržišta Dalekog istoka, a koji možebitno ne zadovoljavaju sve tehničke norme i propise Europske Unije.

Zbog toga je potrebno uvesti dodatne kontrole i postrožiti propise vezane za takve vrste uređaja, aparata i sastavnica električnih instalacija.

Razvidno je kako preventivnom ulaganju u izradi i polaganju električnih instalacija u građevinama prema protupožarno odobrenom projektu te u izradi i uporabi električnih uređaja i aparata odgovarajuće tehničke pouzdanosti i sigurnosti treba dati prednost nad ostalim kriterijima kako bi se bitno smanjio rizik od nastanka požara ili eksplozije uzrokovan električnom energijom. U već postojećim građevinama i inim vrstama tehničkih sustava bi trebalo provesti rigoroznu kontrolu i pronaći adekvatna dopunska građevinska i ina tehnička rješenja kako bi i takve starije građevine i ine vrste tehničkih sustava mogli zadovoljiti aktualne zakonske i podzakonske propise i tehničke norme sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija

11. LITERATURA

1. Ministarstvo unutarnjih poslova RH, Služba za odnose s javnošću Ministarstva unutarnjih poslova Republike Hrvatske, prosinac 2016.
2. Vidaček S.: „*Kriminalistički pristup utvrđivanja uzroka požara u građevinama i suradnja s vatrogasnom službom*“, Specijalistički rad, Zagreb, 2015., <https://repositorij.vss.hr/islandora/object/vss:14>, pristupljeno 22.12.2016.
3. Babrauskas V.: „*How do electrical wiring faults lead to structure ignitions?*“, Proc. Fire and Materials 2001 Conf., (2005), 39-51
4. Hadžiefendić N.: Električne instalacije – čest uzrok požara, <http://zastitaodpozara.etf.bg.ac.rs/fwdadresewwwzazakoneipravilnike/>, pristupljeno 22.12.2016.
5. Kulišić D.: „*Metodika istraživanja požara i eksplozija*“ (Studijska skripta Visoke policijske škole MUP-a RH), Zagreb, 2003.
6. Gujinović V.: „*Statistički pokazatelji požara u Republici Hrvatskoj s posebnim osvrtom na grad Karlovac i Karlovačku županiju*“, Završni rad, Karlovac, 2016., <https://dr.nsk.hr/islandora/object/vuka%3A396/datastream/PDF/view>, pristupljeno 15.1.2017.
7. Kulišić D., Medić G.: „*O kriminalistički znakovitim obilježjima požara na osobnim automobilima*“, Policija i sigurnost, **2** (2012), 21, 303-305
8. Kulišić D.: „*Prepoznatljiva i dokazno važna obilježja praktičnih izvora energije paljenja u sklopu sustava s brojnijim i/ili složenijim požarnim i eksplozijskim opasnostima*“, IV. međunarodna znanstveno-stručna konferencija "Istraživački dani Visoke policijske škole u Zagrebu", 23.-25. travnja 2015.
9. Pačelat R., Zorić Z.: „*Istraživanje uzroka požara*“, Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti, d.d., Zagreb. 2003., ISBN 953-6412-53-5
10. Električna energija, https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dna_energija, pristupljeno 19.2.2017.
11. Pavelić Đ.: „*Mjere zaštite od požara i izvori zapaljenja*“, Sigurnost, **54** (2012), 2, 205-208

12. Blagojević M.: Uzroci nastanka požara,
<http://www.znrfak.ni.ac.rs/SERBIAN/010-STUDIJE/MAS/PREDMETI/ZOP/II%20GODINA/211-EKSPERTIZA%20UDESA/PREDAVANJA/Ekspertiza2015-predavanje2.pdf> ,
pristupljeno 05.01.2017.
13. Gillman T.H., Le May I.: „*Mechanical and electrical failures leading to major fires*“, Engineering failure analysis, 2007., Vol. 14, str. 995-1018,
14. Električna struja kao uzrok požara: <http://documents.tips/documents/elektricna-struja-kao-uzrok-pozara.html> , pristupljeno 09.12.2016.
15. Radaković Z., Jovanović M.: „*Specijalne električne instalacije*“, Akademska misao, Beograd, 2008.
16. Hadžiefendić N.: „*Štetni efekti pojave rednog električnog luka u niskonaponskim električnim instalacijama*“, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 2002.
17. Zaštita od požara u električnim instalacijama u zgradarstvu,
<http://www.gradimo.hr/clanak/zastita-od-pozara-u-elektricnim-instalacijama-u-zgradarstvu/7634> , pristupljeno 22.12.2016.
18. Bobinec Naprta D.: Zaštita od požara elektroinstalacija u zgradama,
http://seminar.tvz.hr/materijali/materijali4/zastita_od_pozara_elektroinstalacija_u_zgradama.pdf , pristupljeno 22.12.2016.
19. Matasović M., Marijan R., Zulfikarpašić I.: „*Protueksplozijska zaštita električnih uređaja*“, ZIRS, Zagreb, 2008
20. Tehnička vještačenja, <http://www.forenzika.hr/973.aspx>, pristupljeno 09.12.2016.

12. POPIS SLIKA

Slika 1: Prikaz neispravno priključenih produžnih kablova	22
Slika 2: Prikaz tragova kratkog spoja na bakrenoj žici	25
Slika 3: Primjer "točki zagrijavanja" na kritičnim mjestima (snimljeno termovizijskom kamerom)	30
Slika 4: Primjer "točki zagrijavanja" na kritičnim mjestima (snimljeno termovizijskom kamerom)	30
Slika 5: Prikaz taljenja zbog lošeg kontakta	31
Slika 6: Prikaz pomoćnih sredstava za spajanje vodiča	32
Slika 7: Snaga disipacije i pad napona na spoju dva vodiča od različitih materijala	33
Slika 8: Prikaz kuglica nastalih uslijed električnog luka	34
Slika 9: Prikaz kuglica nastalih kao posljedica požara	34
Slika 10: Serijski električni luk	35
Slika 11: Paralelni električni luk	36
Slika 12: Taljenje materijala uslijed zagrijavanja površine	37
Slika 13: Grafički prikaz ovisnosti temperature žarulje o njenoj jakosti	38
Slika 14: Jednopolna shema malog sustava električne instalacije	47
Slika 15: Prikaz spaljenog osigurača	49
Slika 16: Demonstriranje ponašanja protupožarnog premaza kabla pod utjecajem plamena	62
Slika 17: Protupožarni kanal	63
Slika 18: Protupožarna potpuna bandaža kablskih polica	64
Slika 19: Prikaz vatrootpornosti	65
Slika 20: Prikaz spuštenog stropa u hodniku	65
Slika 21: Protupožarna mekana pregrada	66
Slika 22: Djelovanje plamena na protupožarnu mekanu pregradu	66
Slika 23: Pregrada od morta (vodoravna i okomita instalacija)	67
Slika 24: Protupožarne vrećice (vodoravna i okomita instalacija)	68
Slika 25: Kabelski modularni sustav	68
Slika 26: Protupožarni kit	70

Slika 27: Protupožarni blok	71
Slika 28: Protupožarne kutije.....	72
Slika 29: Pravilan način zatvaranja električnih instalacija suhomontažnom gradnjom.....	73
Slika 30: Širenje požara u slučaju razvodnih kutija i kutija za prekidače i utičnice.....	74
Slika 31: Ispitivanje električnih uređaja (brojila električne energije).....	81
Slika 32: Ispitivanje električnih uređaja (uređaj za zagrijavanje vode).....	82
Slika 33: Ispitivanje električnih uređaja korištenjem digitalnog multimetra	82

13. POPIS TABLICA

Tablica 1: Broj požara u Republici Hrvatskoj 2010.-2015.....	4
Tablica 2: Broj požara na građevinskim objektima uzrokovani električnom energijom.....	5
Tablica 3: Udio broja požara uzrokovan električnom energijom ovisno o mjestu nastanka kvara u SAD-u	6
Tablica 4: Odnosi poprečnih presjeka vodiča i dopuštenih jakosti struja	21
Tablica 5: Najveće dopuštene temperature za različite tipove izolacije	22
Tablica 6: Dimenzioniranost osigurača s obzirom na jakost struje i presjek vodiča.....	41