

ELEKTRIČNE INSTALACIJE – ČEST UZROK POŽARA

Koautor: Mr Nedžad Hadžiefendić, Elektrotehnički fakultet Beograd

Uzrok velikog broja požara u stambenim, poslovnim i javnim objektima su kvarovi na električnim instalacijama. Stare, neodržavane, oštećene i nestručno izvedene električne instalacije predstavljaju latentnu opasnost koja može izazvati požar. Poslednjih godina u svetu postoji trend istraživanja načina nastanka početnog požara usled kvarova u električnoj instalaciji. Istovremeno se radi i na razvoju detektora koji bi mogli da otkriju potencijalno kritična mesta u električnim instalacijama, a zatim i spreče pojavu početnog požara.

U radu je prikazan pregled vrsta kvarova na električnim instalacijama koji su najčešći uzrok požara. Za svaki od ovakvih kvarova (električni luk, zagrevanje usled povećane omske otpornosti bez električnog luka, zagrevanje usled preopterećenosti električne instalacije itd.) objašnjeni su procesi koji dovode do paljenja električne izolacije ili zapaljivih predmeta u blizini električnih instalacija.

1. Uvod

Veliki broj požara u poslovnim, javnim i stambenim objektima prouzrokovan je starim, neodržanim, oštećenim i nestručno izvedenim električnim instalacijama. Svi napred navedeni uzroci za posledicu imaju neku vrstu kvara na električnim instalacijama. Neke vrste kvarova se na vreme detektuju klasičnim zaštitnim komponentama, koje u slučaju pojave kvara isključuju strujno kolo tako da ne može doći do požara [1, 2]. Međutim, postoje vrste kvarova pri čijoj pojavi zaštitne komponente uopšte ne odreaguju, pa se usled trajanja kvara stvaraju uslovi za nastanak požara. Velike materijalne štete, povrede ljudi a neretko i gubitak ljudskih života su posledice požara uzrokovanih kvarom na električnim instalacijama. U ovom radu je prikazan pregled do sada poznatih i publikovanih informacija o načinima nastanka požara uzrokovanih kvarovima na električnim instalacijama u stambenim, poslovnim i javnim objektima. Pregledom dostupne dokumentacije može se zaključiti da se ovom problemu naročita pažnja poklanja u SAD, Japanu i nekim Skandinavskim zemljama (Norveška, Švedska,...).

2. Statistika požara u svetu

Prema statističkim podacima Nacionalnog Vatrogasnog Društva SAD [3], prikupljenih u periodu 1993.–1997. god., u SAD se tokom ovog perioda u stambenim objektima godišnje dogodilo 41200 požara izazvanih nekom vrstom kvara na električnim instalacijama. U posmatranim požarima se na godišnjem nivou dogodilo 336 smrtnih slučajeva civila, 1446 povreda civila i napravljena je materijalna šteta od 643,9 miliona američkih dolara. Požari nastali usled kvara na električnim instalacijama učestvovali su sa 9,7% u ukupnom broju požara nastalih u posmatranom periodu u SAD, zahvaljujući čemu su zauzeli peto mesto od ukupno 12 najčešćih vrsta požara (razvrstanih prema uzroku). Materijalna šteta od 643,9 miliona dolara predstavlja 14,4% ukupne materijalne štete nastale u svim požarima u posmatranom periodu, stavljajući kvarove na električnim instalacijama na drugo mesto rang liste uzročnika, prema visini materijalne štete prouzrokovane požarima. U tabeli 1 prikazan je procentualna raspodela požara u SAD-u izazvanih kvarom na električnim instalacijama prema mestu nastanka kvara.

Tabela 1. Procentualna raspodela požara izazvanih kvarom na električnim instalacijama prema mestu nastanka kvara [3]

MESTO NASTANKA KVARA	PROCENAT
Provodnici ugrađeni u objekat	34,7
Kablovi i utikači	17,2
Svetiljke	12,4
Prekidači, produžni kablovi i utičnice	11,4
Izvori svetlosti	8,3
Osigurači, glavni prekidači, razvodne table	5,6
Merni uređaji i njihova kućišta	2,2
Energetski transformatori	1,0
OSTALO	7,3

Međutim, na osnovu velikih materijalnih gubitaka usled požara izazvanih kvarovima na električnim instalacijama ne može se izvući zaključak da su izvedeni sistemi napajanja priključenih potrošača nepouzdati (veza prijemnika preko ugradnih utičnica i produžnih kablova). Dokaz za ovu tvrdnju se lako izvodi: u SAD, u oko 100 miliona stambenih jedinica sa prosečno 5,4 sobe, živi oko 270 miliona ljudi. Ako u svakoj sobi postoje četiri utičnice, onda broj mogućih priključenih prijemnika iznosi: $4 \cdot 5,4 \cdot 100 \cdot 10^6 = 2,16$ milijardi. Potrebno je izvršiti

redukciju dobijenog broja zbog činjenice da nisu na svim utičnicama uvek priključeni potrošači. Može se pretpostaviti da je na polovinu ukupnog broja utičnica direktno priključen prijemnik. Od preostale polovine ukupnog broja utičnica, pretpostavimo da su na polovinu priključeni produžni kablovi na kojima u proseku jedna utičnica napaja prijemnik. Tako se stvaran broj prijemnika električne energije u SAD procenjuje na $\frac{3}{4}$ od 2,16 milijardi, odnosno 1,62 milijarde. Kako se prema napred pomenutim statistikama vidi da $0,114 \cdot 41200 \approx 4700$ požara godišnje nastaje usled kvara na prekidačima, produžnim kablovima i utičnicama, i kako prema istim statistikama [3] prekidači učestvuju sa samo 30% u navedenom broju požara (4700), zaključuje se da je 3290 požara godišnje nastalo usled kvara na vezi prijemnika i utičnice. Verovatnoća da u vremenskom periodu od godinu dana konkretna veza prijemnik-utičnica izazove požar, procenjuje se na $3290/1,62 \times 10^9$ ili 2×10^{-6} . Veoma mala verovatnoća nastanka požara uzrokovanih ovakvim kvarovima pokazuje da su izvedeni sistemi napajanja priključenih potrošača pouzdani sa aspekta izazivanja požara. Međutim, problem nije u velikoj verovatnoći nastanka ovakvih kvarova već u činjenici da je na električnu distributivnu mrežu priključen ekstremno veliki broj prijemnika, koji raste iz dana u dan.

U evropskim državama, u kojima postoji statistika o uzrocima požara, utvrđeno je da su kvarovi na električnim instalacijama uzročnici 15–20% ukupnog broja požara [7]. Prema istim statistikama iz 11 evropskih zemalja (Bugarska, Češka Republika, Francuska, Mađarska, Italija, Poljska, Rumunija, Rusija, Turska i Ukrajina), u periodu od 1988.–1998. godine, broj požara koji su uzrokovani kvarom na električnim instalacijama povećao se za 25%, a postoji i tendencija njegovog daljeg rasta. Zanimljivo je da je u istom periodu porast broja požara izazvanih neelektričnim uzrocima iznosio samo 5%.

3. Vrste kvarova na električnim instalacijama koji mogu uzrokovati požar

Ispitivanju kvarova na električnim instalacijama koji su izazvali požar moguće je pristupiti na više različitih načina:

1. utvrđivanjem radnji ili propusta koji su doveli do kvarova na električnim instalacijama,
2. klasifikovanjem kvarova prema funkcionalnoj prirodi uređaja, ili nekog njegovog dela, na kome se kvar dogodio, i
3. proučavanjem fizičkih osnova nastanka požara uzrokovanih kvarovima na električnim instalacijama.

Prvi i drugi način ispitivanja kvarova su nezaobilazni pri rekonstrukciji događaja, ali u ovom izlaganju pažnja će biti okrenuta ka trećem načinu ispitivanja kvarova na električnim instalacijama. Naime, ovaj način ispitivanja može biti dobra osnova za dalji rad na razvoju algoritama detekcije kvarova na električnim instalacijama koji se ne mogu detektovati i izolovati klasičnim zaštitnim komponentama (automatski osigurač, ZS prekidač, ZN prekidač, prekostrujno rele, bimetalno rele itd. [2]).

Glavni uzroci koji pri nastanku kvara na električnim instalacijama mogu dovesti do paljenja električne izolacije ili zapaljivih materijala u blizini električnih instalacija su [3, 4]:

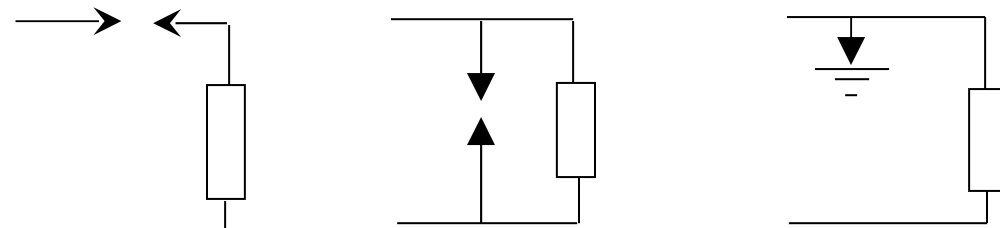
1. električni luk (redni i paralelni),
2. veliko omsko zagrevanje bez električnog luka, i
3. spoljašnje zagrevanje.

Važno je napomenuti da neki požari nastaju kombinacijom gore navedenih uzroka koji se nikako ne smeju smatrati međusobno isključujućim.

3.1 Električni luk

Električni luk predstavlja proticanje struje kroz nepotpuno jonizovanu plazmu nastalu udarnom jonizacijom gasova i para, stvorenih zagrevanjem do viših temperatura delova oko vrhova elektroda (dva provodnika na različitim električnim potencijalima). Čvrst materijal vrhova elektroda prevodi se, preko tečne i gasovite faze, u fazu nepotpuno jonizovane plazme. U referenci [5] dat je opis fizičkog procesa u električnom luku. U normalnim uslovima, pod uticajem potencijalne razlike između dve blisko postavljene elektrode razdvojene izolatorom, u električnom kolu se registruje protok električne struje. Temperatura izolatora raste, usled čega on isparava i broj slobodnih nosioca naelektrisanja u njemu raste, što rezultuje smanjenjem otpornosti i porastom struje. Kada temperatura kontakta progresivnim procesom dostigne određenu vrednost, formiraju se uslovi za održavanje luka. Potrebno je da postoji gasna sredina koja omogućava intenzivno kretanje nosilaca elektriciteta kako bi se električni luk uspostavio i održao. Karakteristike luka su velika gustina struje, mali katodni pad napona i visoka temperatura u jonizovanoj oblasti (od 2000 do 6000°C [8]).

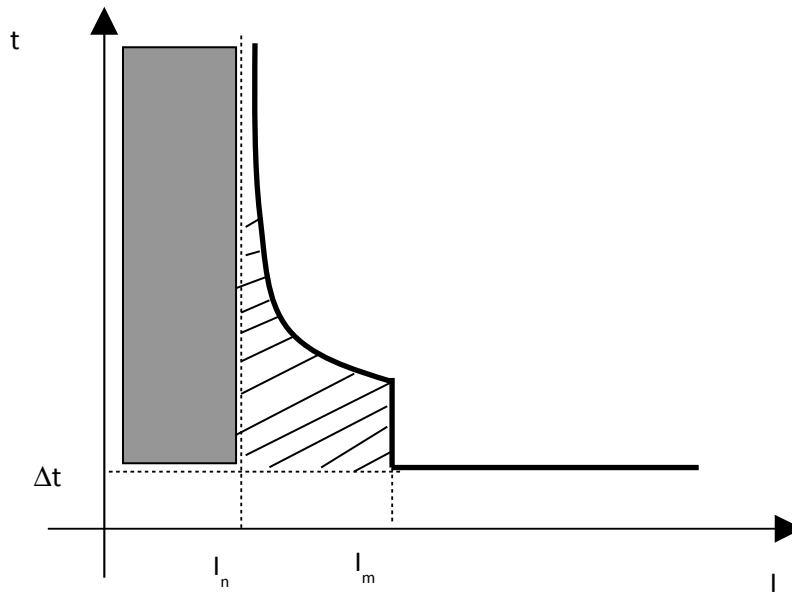
Po svom položaju u električnim instalacijama električni luk može biti serijski – redni (slika 1) ili paralelni – otočni (slika 2). Serijski ili redni električni luk se može javiti na bilo kom mestu strujnog kola od razvodne table do električnog prijemnika, uključujući razvodnu tablu i električni prijemnik. Paralelni ili otočni električni luk se može javiti između faznog i neutralnog provodnika ili između faznog provodnika i mase.



Slika 1. Redni (serijski) električni luk Slika 2. Paralelni (otočni) električni luk

Treba istaći da, sa gledišta opasnosti od nastanka požara, postoji veoma bitna razlika između rednog i paralelnog električnog luka. Naime, u slučaju pojave serijskog – rednog luka, u strujnom kolu u kome se luk pojavio struja opada, pa se sa sigurnošću može očekivati da prekostrujna zaštita kola neće odreagovati i isključiti napajanje. Kako kvar ovakvog tipa može neometano da traje, verovatnoća 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 [6].

Najčešće korišćena zaštitna komponenta u električnim instalacijama je zaštitni prekidač (tzv. automatski osigurač). On se sastoji od jednopolnog, dvopolnog ili trolnog prekidača sa oprugom zategnutom pri njegovom zatvaranju, kome su dodati bimetalno i prekostrujno zaštitno rele. Njihove poluge deluju na okidač opruge, koja otvara kontakte prekidača. Strujno-vremenska karakteristika njegovog delovanja data je na slici 3.



Slika 3. Strujno-vremenska karakteristika zaštitnog prekidača

Sa slike 3 može se videti da za struje $I_n \leq I \leq I_m$ reaguje bimetalno zaštitno rele, a za struje $I > I_m$ prekostrujno rele (za vreme Δt). Napomenimo da je prekostrujno rele podešeno da reaguje pri jačini struje jednako ili nešto manjoj od maksimalne dozvoljene struje bimetalnog relea. Na istom grafiku prikazane su dve zone u kojima zaštitni prekidač neće odreagovati. Pri pojavi rednog električnog luka, u strujnom kolu protiču struje manje od nominalnih (leva, zatamnjena oblast), a pri pojavi intermitentnog paralelnog luka, u strujnom kolu protiču struje veće od nominalnih, ali ne traju dovoljno dugo da zaštitni prekidač odreaguje (desna, šrafirana oblast).

Na osnovu ovog izlaganja može se zaključiti da zaštitni prekidač ne predstavlja zaštitu od pojave rednog električnog luka, a da je u većem broju slučajeva, ali ne u svim, efikasna zaštita pri pojavi paralelnog luka. Zbog toga je potrebno primeniti posebnu vrstu zaštite čiji razvoj je jedna od aktuelnih tema [6].

Najčešći uzroci pojave električnog luka su:

1. ugljenisanje izolacije (tzv. trasiranje luka),
2. spolja izazvana jonizacija vazduha (plamenom ili prethodnim električnim lukom), i
3. kratak spoj.

3.1.1 Ugljenisanje izolacije

U naizmeničnim električnim kolima nije teško izazvati i održati električni luk ako postoji ugljenisana provodna putanja. Pokazuje se da ima više načina da se stvori takva putanja u ili na izolacionom materijalu. Najjednostavniji način je da se izolacija izloži visokom električnom naponu, usled čega dolazi do njenog proboja. Drugi način uključuje kombinovan efekat vlage i nečistoće na površini izolacije, usled čega dolazi do „curenja“ struje preko površine izolacije provodnika, što vremenom može da dovede do formiranja ugljene putanje. Verovatnoća da do ovakve pojave dođe značajno je veća na starim i neodržanim električnim instalacijama.

Izolacioni materijali se međusobno veoma razlikuju prema otpornosti na trasiranje luka. U niskonaponskim instalacijama uglavnom se koriste provodnici sa PVC izolacijom, ali, nažalost, PVC je jedan od najlošijih polimera u pogledu otpornosti na stvaranje putanje za električni luk. Pri izlaganju PVC izolacije temperaturama od 200–300°C u njoj se odigrava proces ugljenisanja, a deo izolacije koji je ugljenisan dobija poluprovodničke osobine, čime se omogućavaju pojave struje curenja i električnog luka [3, 4]. Kada se PVC izolacija jednom ošteti pregrevanjem (tzv. termička degradacija izolacije), njena dielektrična čvrstoća značajno opada, pa može doći do električnog proboja izolacije i pri nominalnim naponima i standardnim sobnim temperaturama.

Moguće je da se na provodnicima sa termički oštećenom PVC izolacijom dogodi paralelan kratak spoj i uspostavi sledeći samoodržavajući ciklični proces:

- početni tok struje curenja se dešava zbog postojanja ugljenisanog sloja izolacije,
- izolacija se zagreva usled struje curenja i dodatno ugljeniše, čime se dodatno smanjuje otpor izolacije,
- usled smanjenja otpora izolacije struja curenja se povećava, sve do pojave paralelnog električnog luka,

- elektromagnetne sile na mestu uspostavljenog električnog luka raspršuju istopljene delove provodnika,
- kada se istopljeni delovi provodnika koji su formirali električni luk rasprše, otpornost uspostavljenog kontakta se trenutno poveća a jačina struje smanji,
- međutim, struja curenja i dalje teče kroz ugljenisani materijal, što opet može dovesti do smanjenja otpora, topljenja metala i povećanja struje.

Iako cikličan, ovaj proces se ne odigrava svaki put u istom vremenskom intervalu, niti sa istim maksimalnim jačinama struja. Tipične maksimalne jačine struja koje se uspostavljaju u toku objašnjenog procesa nisu veće od 50A, mada, doduše retko, mogu dostići vrednosti i do 250A. Stoga je zaštitnoj komponenti potrebno određeno vreme da reaguje pri opisanoj pojavi (videti sliku 3). Usled toga, kvar može da traje dovoljno dugo da se stvore uslovi za nastanak požara. Vreme potrebno da osigurači reaguju zavisi i od jačine struje pre nastanka kvara, tj. od otpornosti konkretnog strujnog kola u kome se kvar dogodio.

3.1.2 Spolja izazvana jonizacija vazduha

Prirodna dielektrična čvrstoća vazduha je 3MVm^{-1} , ali električni proboj može da se dogodi i pri značajno manjim vrednostima električnog polja ako je vazduh jonizovan. Vazduh se može jonizovati plamenom ili ranije uspostavljenim električnim lukom. Eksperimenti su pokazali da u plamenu dielektrična čvrstoća vazduha pada na oko $0,11\text{MVm}^{-1}$ [1]. Ako se, na primer, kvar u obliku električnog luka pojavi u distributivnom vodu, stvoriće se velika količina jonizovanih gasova koji mogu da pređu relativno veliko rastojanje za kratko vreme. Ukoliko jonizovani gas na svom putu rasprostiranja naiđe na drugo električno kolo, može da izazove novi kvar i pojavu novog električnog luka na drugoj lokaciji.

3.1.3 Kratki spojevi

Kratak spoj je naziv za iznenadan kvar koji nastaje usled naglog smanjenja otpora i povećanja struje u strujnom kolu. Može da ima dva oblika:

1. direktan kratak spoj, kod kojeg je ostvaren dobar kontakt metala sa metalom preko punog poprečnog preseka – tzv. metalni kratak spoj, i
2. varničenje, kod kojeg ne postoji početni kontakt metala sa metalom, već struja teče kroz električni luk – tzv. kratak spoj preko električnog luka.

Kod direktnog kratkog spoja, grejanje nije lokalizovano na mestu kvara, već je raspoređeno duž celog električnog kola. Automatski prekidač (osigurač) obično prekine napajanje strujnog kola pre nego što se bilo šta upali usled povećanja temperature. Zapravo, veoma je teško direktnim kratkim spojem izazvati požar u dobro projektovanim i izvedenim električnim instalacijama.

Kratak spoj preko električnog luka je rezultat trenutnog kontakta dva ogoljena provodnika. Pri njihovom dodiru trenutno se uspostavlja velika struja koja izaziva topljenje materijala i jonizovanje gasova u oblasti oko ostvarenog kontakta. Magnetne sile teže da razdvoje provodnike, ali dok se oni potpuno ne razdvoje struja protiče kroz provodni most od tečnog metala i jonizovanih gasova (električni luk). Uspostavljeni provodni most se ipak magnetnim silama prekida raspršivanjem užarenih kapljica metala (varnica). Po završetku pojave kratkog spoja sa električnim lukom, mogu se videti oštećene površine na provodnicima većeg prečnika, dok provodnici manjeg preseka mogu biti potpuno uništeni na mestu pojave luka.

Eksperimenti su pokazali da kratak spoj preko električnog luka može lako biti uzrok požara ukoliko kapi užarenog metala dođu u dodir sa zapaljivim materijalima, kao što su npr. papir ili platno [3]. Ovakav kratak spoj može da nastane na mestu presecanja ili kidanja napojnog energetskog kabla, između ogoljenih provodnika kabla. Verovatnoća pojave kratkog spoja na mestu presecanja kabla se povećava ako pravac reza zaklapa oštar ugao sa osom kabla, jer su u tom slučaju dodirne površine ogoljenih provodnika veće. Degradacija izolacije takođe može da bude uzrok nastanka kratkog spoja preko električnog luka.

3.2 Omsko pregrevanje

Mogući uzroci omskog pregrevanja mogu biti:

1. strujno preopterećenje električne instalacije,
2. dodatna toplotna izolacija,
3. „lutajuće struje“ i zemljospojevi,
4. značajan porast napona iznad nominalne vrednosti, i
5. loš kontakt provodnika.

3.2.1 Strujno preopterećenje provodnika i ostalih komponenti električnih instalacija

Eksperimentima je pokazano da se strujnim preopterećenjem komponente električnih instalacija mogu zagrejati do visokih temperatura, ali da bi došlo i do nastanka početnog požara, jačina struje koja protiče kroz njih mora da bude čak 3–7 puta veća od nominalne [3]. Pošto je većina strujnih kola na niskom naponu zaštićena automatskim prekidačima ili osiguračima nominalne struje od 10 do 20A, čija je uloga da isključe napajanje ukoliko se strujno preopterećenje dogodi, može se smatrati da je ono veoma redak uzrok požara u električnim instalacijama niskog napona. Međutim, problem nastaje ako je električna komponenta nekvalitetno izrađena i ne može da podnese svoju, od proizvođača deklarisanu, nominalnu struju. Praksa u našoj zemlji je pokazala da se na tržištu mogu naći nekvalitetne električne komponente, npr. produžni kablovi

kineske proizvodnje, koji se, iako deklarirani za nominalnu struju od 16A, pregrevaju i pale pri manjim strujnim opterećenjima.

3.2.2 Dodatna toplotna izolacija

Do pregrevanja provodnika može doći i pri normalnim strujnim opterećenjima, ukoliko se spreči odvođenje toplote tj. poveća toplotna izolacija, što se npr. može ostvariti namotavanjem provodnika ili postavljanjem nekog oblika spoljne toplotne izolacije. Laboratorijskom demonstracijom je pokazano da se energetski kabl može zapaliti u toku normalnog rada ukoliko se smota i prekrije odećom [3]. Ovakve situacije su veoma česte u stambenim i poslovnim objektima u našoj zemlji (slika 4).



Slika 4. Primer nekorektno postavljenog produžnog kabla

3.2.3 „Lutajuće struje“ i zemljospojevi

Pod „lutajućim strujama“ se podrazumevaju električne struje koje se, usled kvara nekog dela električne instalacije (npr. usled zemljospoja), pojave u provodnim delovima u kojima nisu očekivane. Takvi provodni delovi mogu se ozbiljno pregrijati, čime se stvaraju uslovi za nastanak požara. Zemljospojevi nastaju pri dodiru ogoljenog dela faznog provodnika sa metalnim predmetom (metalnim krovom, merdevinama itd), usled čega temperatura provodnika, a posebno ostvarenog kontakta, značajno raste, čak i pri malim jačinama struje kvara. Na slici 5 prikazana su dva dela istog provodnika (označeni slovima A i B), istopljenog i prekinutog usled proboja njegove izolacije i pojave zemljospoja preko kućišta razvodnog ormara [4]. Vidi se da je

ostalim provodnicima takođe izgorela izolacija usled požara, ali da se nisu istopili, što jasno ukazuje na to da je upravo istopljeni provodnik izazvao požar u razvodnom ormanu, koji se ubrzo proširio na ceo poslovni objekat. U slučajevima kada su strujna kola zaštićena pomoću zaštitnih uređaja diferencijalne struje, napajanje mesta kvara se u slučaju pojave zemljospoja veoma brzo isključuje, pa je verovatnoća nastanka požara značajno smanjena [2].



Slika 5 Primer kvara – zemljospoja kojim je prouzrokovaon veliki požar u jednom poslovnom objektu [4]

3.2.4 Značajan porast napona iznad nominalne vrednosti

Porast napona iznad nominalne vrednosti je redak uzrok paljenja električnih instalacija. Izolacioni materijali koji se koriste za provodnike i ostale komponente električnih instalacija sposobni su da izdrže manja povećanja napona, koja su redovan događaj u elektrodistributivnom sistemu. Ipak, pojava paljenja je moguća ukoliko se napon poveća usled:

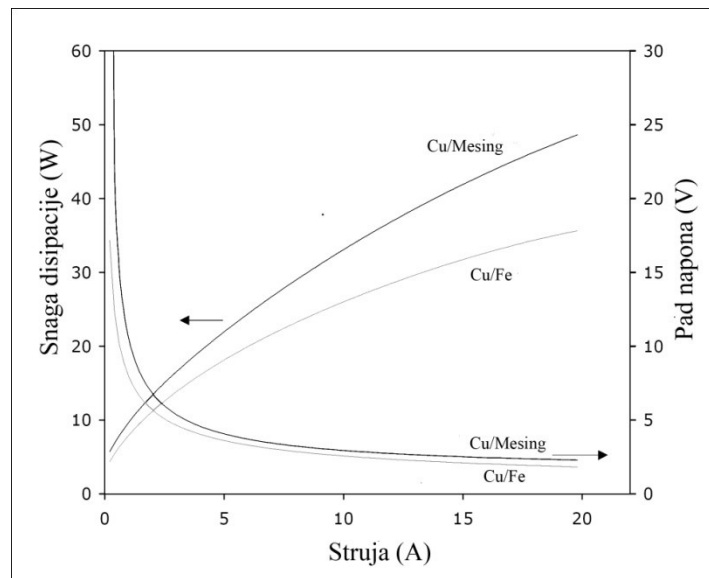
1. udara groma,
2. kvara u prenosno-distributivnom sistemi, pri kome se niskonaponska električna instalacija spoji direktno na visok napon, i
3. prekida nultog provodnika.

Poznato je da udar groma može da prouzrokuje paljenje, ne samo električnih instalacija, već svih vrsta zapaljivih materijala. Problem kvara u prenosno-distributivnom sistemu, pri kome se niskonaponska električna instalacija spoji direktno na visok napon, veoma retko se dešava. Za razliku od njega, prekid nultog provodnika nije retka pojava. Ukoliko je neutralni provodnik u prekidu, na priključnim kontaktima potrošača, koji je predviđen za rad na naponu od 220V, može se pojaviti napon između 0 i 380V (tačna vrednost napona je u tom slučaju određena impedansama posmatranog i ostalih potrošača u razvodnom sistemu [2]). Ukoliko je napon na priključku prijemnika veći od nominalnog, struja u prijemniku će takođe biti veća od nominalne i prouzrokovati pregrevanje. Kako je u tom slučaju izolacija prijemnika izložena povećanom termičkom i naponskom naprezanju, postoji mogućnost njenog električnog proboja. Paljenja i požari u ovakvim okolnostima uopšte nisu iznenađenje.

3.2.5 Loši kontakti

Ukoliko električni kontakt nije dobro pričvršćen i nije male otpornosti, on vremenom može da postane progresivan kvar. Proces često ima osobine nestabilne pozitivne povratne sprege. Posledica velike otpornosti kontakta je lokalno zagrevanje, usled čega se pospešuje proces oksidacije kontakta i vrši relativno mikropomeranje njegovih delova. Spoj postaje labaviji, sloj oksida ima manju provodnost, pojavljuju se lokalna električna mikropražnjenja u kontaktu i otpornost na mestu kontakta raste, usled čega se disipacija energije na njemu povećava, a temperatura nastavlja da raste. U određenom trenutku temperatura lošeg kontakta poraste dovoljno da se stvore uslovi za paljenje zapaljivih materijala koji bi se našli u njegovoj neposrednoj okolini.

Inače, električni kontakt dva provodnika se ponaša kao nelinearan element kola, pogotovo ako su napravljeni od različitih materijala. Pri strujama većim od 10A pad napona na lošem kontaktu je oko 2V, a za male struje može da bude i nekoliko desetina volti (slika 6). Ovo je u velikoj meri posledica činjenice da se pri jačinama struje od 4–6A pojavljuju električna mikropražnjenja na kontaktima, koja se ne mogu pojaviti pri manjim strujama. Pri struji jačine 20A, snaga disipacije na spoju bakar/mesing je oko 50W, a na spoju bakar/gvožđe oko 35W. Zanimljivo je da snaga disipacije zavisi samo od vrste upotrebljenih materijala, a ne i od efektivne veličine ostvarenog kontakata.

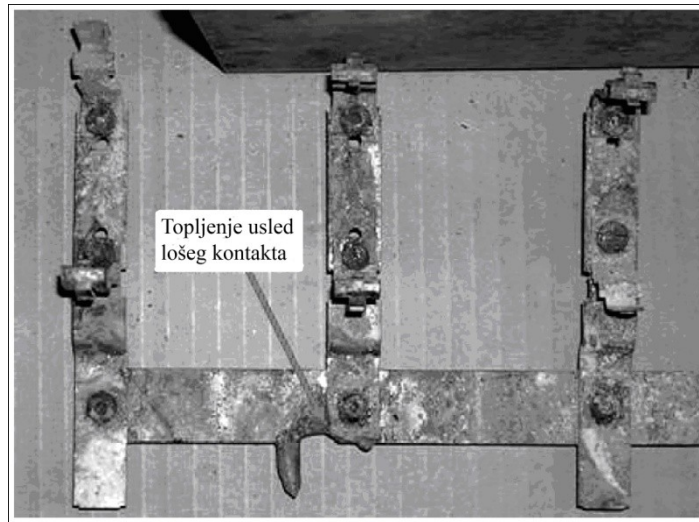


Slika 6. Snaga disipacije i pad napona na spoju dva provodnika od različitih materijala

Propuštanjem struje različitih jačina kroz kontakt bakar/bakar uočeno je da se približno 15W disipira na njemu pri struji jačine 1A, a oko 25W pri struji jačine 2,5A. Analizom površine kontakta pomoću X-zraka utvrđeno je da je velika otpornost na lošem spoju bakar/bakar posledica progresivnog formiranja sloja Cu_2O , koji je dielektrik male provodnosti.

Protok naizmenične struje preko kontakta i povećanje temperature pospešuju proces stvaranja metal-oksida na površinama oba dela kontakta. Kada su dva metala razdvojena slojem metal-oksida, priključeni napon može da izazove lokalne električne proboje u njemu. Ova ranije pomenuta električna mikropražnjenja lokalno povećavaju temperaturu kontakta, koja u nekim tačkama dostigne vrednost temperature topljenja metal-oksida (tipična temperatura toplih tačaka kontakta Cu/Cu spoja je oko 1250°C , a temperatura topljenja Cu_2O 1230°C). Kroz sloj metal-oksida se, njegovim topljenjem, stvaraju metalni mostovi bez nečistoća. U nastalim metalnim mostovima male otpornosti protiče struja velike jačine, ali zbog njihove ograničene mogućnosti za prenos struje, ubrzo se pregrevaju, tope i raspadaju. Ukoliko je struja dovoljne jačine, proces je samoodrživ zbog visoke temperature, jer se nastavlja oksidacija metala, čime se nadoknađuje količina metal-oksida pretvorena topljenjem u čist metal.

Usled opisanog procesa otpornost kontakta se ciklično menja između visoke i niske. Pri struji jačine 1A, na rastojanju 10mm od kontakta u kome se odigrava pomenuti proces, registrovane su temperature od $200\text{--}350^\circ\text{C}$, koje su dovoljne da izazovu paljenje zapaljivih materijala. U strujnim kolima kroz koja protiče struja jačine 20A snaga disipacije će na lošem kontaktu, usled opisanog procesa, biti 20–40W, a na dobrom kontaktu 0,08–0,2W. Primećeno je da su čelični zavrtnji podložniji opisanom procesu od mesinganih. Primer topljenja dela sabirnice usled oslobađanja toplote na lošem kontaktu prikazan je na slici 7.



Slika 7. Topljenje dela sabirnice usled oslobađanja toplote na lošem kontaktu [4]

Posebno treba istaći da veliki broj požara izazivaju električari – amateri, praveći spojeve na električnim instalacijama tako što prosto spoje provodnike i obmotaju ih izolacionom trakom, bez lemljenja ili upotrebe rednih klema (slika 8).



Slika 8. Primer nestručno izvedene električne instalacije u jednom stambenom objektu u našoj zemlji

Eksperimenti su pokazali da temperatura ovakvih električnih spojeva dostiže 50–95°C pri struji jačine 10A, a 130–300°C pri struji jačine 20A. Primećeno je da se u ovakvim slučajevima kvarovi ne dešavaju samo na spoju, već se mogu dogoditi i na rastojanju od nekoliko centimetara od spoja, usled korozivne degradacije metala. Naime, usled pregrevanja na lošem spoju, oslobađa se korozivni HCl gas iz PVC izolacije provodnika. Posle određenog vremenskog perioda dolazi do prekida provodnika usled korozivne razgradnje metala, a mesto prekida provodnika postaje potencijalno mesto pojave rednog električnog luka.

Usled zagrevanja lošeg električnog kontakta može doći do paljenja:

- predmeta od materijala sa malom termičkom inercijom (posteljine, prekrivača, jastuka) postavljenih direktno uz utičnicu (snaga disipacije potrebna za paljenje je 28W),
- plastičnih delova komponenti električnih instalacija (snaga disipacije potrebna za paljenje je 30W), i
- drvenih konstrukcija i predmeta (snaga disipacije potrebna za paljenje je 35–50W).

Ukoliko je snaga disipacije na lošem električnom kontaktu 45–50W može doći do topljenja aluminijumskih provodnika. Užarene kapljice metala mogu izazvati požar ukoliko dođu u kontakt sa zapaljivim materijalima.

3.3 Spoljašnje zagrevanje

U većini slučajeva spoljašnjeg zagrevanja provodnici i ostale komponente električne instalacije su žrtva, a ne uzrok požara, jer se električni luk u mnogim slučajevima javlja kao posledica degradacije izolacionog materijala i jonizacije okolnog vazduha, uzrokovanih spoljašnjim zagrevanjem. Eksperimenti su pokazali da se kvar (kratak spoj) na električnim provodnicima izolovanim umreženim polietilenom dešava na temperaturama od oko 270°C, a na provodnicima sa PVC izolacijom i PVC omotačem na 250°C [3]. Sličan kvar se može desiti i u svetiljkama u stambenim objektima, koje su predviđene za rad na temperaturama manjim od 60°C. U okviru eksperimenta [3], ovakva svetiljka je zagrejana do temperature 202–205°C. Kvar na električnoj instalaciji se pojavio za manje od 65 sati neprekidnog rada na toj temperaturi. Izolacija provodnika je postala krta, lomila se i otpadala sa provodnika, što je dovelo do kratkog spoja.

4. Kombinovani kvarovi

Požar uglavnom nastaje kombinacijom više opisanih uzroka. Većina požara uzrokovanih kvarom na električnim instalacijama nastaje tako što prvo dođe do pregrevanja komponente, koje je potom praćeno varničanjem, a na kraju i paljenjem. Na primer, provodnik se može pregrejati

usled strujnog preopterećenja ili postojanja lošeg električnog spoja. Pregrevanje može da smanji dielektričnu čvrstoću izolacije provodnika, usled čega može doći do pojave kratkog spoja na mestima gde je provodnik savijen ili prelazi preko metala.

Kombinovani efekat nastanka požara se najbolje uočava na lošem spoju utikač-utičnica, pogotovo kod termičkih prijemnika koji su podvrgnuti čestim uključenjima i isključenjima, usled čega se troši kontaktni materijal, stvara loš spoj i lokalno zagreva PVC izolacija. Na kraju procesa degradacije metala i izolacije, dolazi do pojave električnog luka, koji je sposoban da izazove početni požar na spoju utikač-utičnica (slika 9). Koraci koji vode ka paljenju usled lošeg spoja utikač-utičnica su sledeći:

1. strujno preopterećenje i loši kontakti prouzrokuju zagrevanje provodnika i porast temperature,
2. termička degradacija PVC izolacije,
3. oslobađanje korozivnog HCl gasa iz PVC izolacije,
4. upijanje vlage usled higroskopske aktivnosti kalcijum-karbonatne ispune kabla,
5. pojava inicijalnih površinskih i unutrašnjih varničenja,
6. formiranje ugljenisanih putanja na površini i u unutrašnjosti PVC izolacije,
7. pojava električnog luka, i na kraju
8. paljenje.



Slika 9. Primer paljenja lošeg spoja utikač-utičnica [7]

Verovatnoća pojave požara se povećava ako, osim električnih, postoje i mehanički poremećaji u električnim instalacijama. Eksperimentima sprovedenim u Norveškoj [8], utvrđeno je da se

temperatura dobrog spoja utikač-utičnica, u tačkama kontakta, stabilizuje na oko 60°C. Međutim, kada je u toku rada sa normalnim strujnim opterećenjem spoj utikač-utičnica bio izložen slabim vibracijama, temperatura u tačkama kontakta je za kratko vreme porasla na 400-450°C, što je izazvalo topljenje metala i pojavu električnog luka.

5. Zaključak

Pregledom dostupne svetske statistike o uzrocima požara, utvrđeno je da broj požara uzrokovanih kvarom na električnim instalacijama učestvuje sa 10–20% u ukupnom broju požara. Zbog stalnog porasta broja električnih potrošača u stanovima i starenja električne instalacije u stambenim, poslovnim i javnim objektima, postoji tendencija rasta broja požara ovog tipa. Međutim, ponekad se postavlja pitanje da li je svaki požar koji se pripíše kvarovima na električnoj instalaciji zapravo uzrokovan njima. Stoga su sistematična istraživanja nastanka požara usled kvarova na električnim instalacijama neophodna kako bi se pospešile metodologije istraživanja požara, ali i našli načini da se ovakvi kvarovi na vreme spreče. U ovom radu je izložen pregled svih kvarova na električnim instalacijama koji mogu biti uzrok požara. Može se zaključiti da su dva tipa kvara – pregrevanje lošeg električnog kontakta i redni električni luk, najkritičniji sa aspekta mogućnosti nastanka požara, zato što ih nijedna klasična zaštitna komponenta ne detektuje. Treba naglasiti da najveća pažnja ovom problemu posvećuje u SAD-u. U toj državi je patentiran uređaj koji detektuje redni električni luk i u slučaju njegove pojave isključuje napajanje, a zakonom je propisana njegova obavezna ugradnja u razvodne table. Cena ovakvog uređaja na američkom tržištu iznosi oko 50\$.

Kako u našoj zemlji broj stambenih, poslovnih i javnih objekata, kao i ukupan broj električnih potrošača u njima, neprekidno raste, povećava se i broj lokacija na kojima može doći do požara uzrokovanih kvarom na električnim instalacijama. Ako se tome dodaju činjenice da se na našem tržištu električnih komponenti pojavljuju nekvalitetni proizvodi, čije se električne karakteristike ne podudaraju sa deklarisanim, kao i da veliki broj neovlašćenih lica vrši izvođenje, popravke i prepravke električnih instalacija i uređaja, može se zaključiti da je verovatnoća nastanka požara usled kvarova na električnim instalacijama u našoj zemlji veća nego u zemljama u kojima postoji strožija zakonska regulativa. Predlaže se donošenje strožije zakonske regulative u našoj zemlji, koja se odnosi na: kriterijume za periodičnost pregleda električne instalacije, dozvole za plasiranje električnih proizvoda na tržište i kaznene mere pojedincima koji neovlašćeno vrše izvođenje, popravke i prepravke električnih instalacija i uređaja. Potrebno je organizovati programe usmerene ka edukaciji stanovništva, u okviru kojih bi se stanovništvu ukazalo na potencijalne posledice nepoštovanja zakonske regulative iz pomenute oblasti. U svim navedenim naporima, snage treba da udruže naučno-istraživačke ustanove Republike Srbije, Kriminalistička policija i nadležna Ministarstva, kako bi zajedno sticali nova iskustva o najčešćim uzrocima požara uzrokovanih kvarovima na električnim instalacijama i na osnovu stečenih saznanja radili na unapređenju zakonske regulative.

6. Reference

- [1] Radaković Z., Jovanović M., „Specijalne električne instalacije“, Akademska misao, Beograd, 2008.
- [2] Kostić M., „Teorija i praksa projektovanja električnih instalacija – drugo, prošireno izdanje“, Akademska misao, Beograd, 2005.
- [3] Babrauskas V., „How Do Electrical Wiring Faults Lead to Structure Ignitions?“ pp. 39-51 in Proc. Fire and Materials 2001 Conf., Interscience Communications Ltd., London, 2001.
- [4] Gillman T.H., Le May I., „Mechanical and Electrical Failures Leading to Major Fires“, Engineering Failure Analysis, Vol. 14, pp. 995-1018, 2007.
- [5] Hot E., „Električno zagrevanje“, Svetlost, Sarajevo, 1989.
- [6] Hadžiefendić N., „Štetni efekti pojave rednog električnog luka u niskonaponskim električnim instalacijama“, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 2002.
- [7] European Copper Institute, „Overview of electrical safety in 11 countries“, Barcelona, 2002.
- [8] SINTEF, „Fire in electrical installations“, Norwegian Institute of Technology, January 28, 2008.