

Vještačenje uzroka požara i eksplozija u objektima i postrojenjima: prikaz slučaja

Forensic Investigation of the Causes of Fires and Explosions in Buildings and Facilities: A Case Study

Nenad Papić, dipl. ing. el.

SAŽETAK

Požari i eksplozije u građevinama i industrijskim postrojenjima mogu imati ozbiljne posljedice te prouzročiti oštećenja imovine, financijske gubitke, ali i ugroziti ljudske živote i zdravlje. U takvim je slučajevima glavni cilj istrage utvrditi je li požar ili eksplozija rezultat tehničkoga kvara / nepravilnosti ili je namjerno izazvan. U ovome radu opisani su temeljni postupci pri istraživanju takvih slučajeva te je prikazan slučaj istraživanja požara i eksplozije u skladišnome centru jednoga trgovačkog poduzeća koje su, uz policijske službenike te uz pomoć distributera plina, struje i zaposlenika koji održavaju elektroinstalacije, proveli vještaci Centra za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić“. Pregledom mjesta događaja i interdisciplinarnim vještačenjem utvrđeno je da je došlo do kvara na podzemnome električnom kabelu, zbog čega se zapalila izolacija kabela i stvorili su se plinski produkti koji su prouzročili eksploziju iniciranu električnom iskrom.

Ključne riječi: požari i eksplozije, građevine, električne instalacije, električna postrojenja, tehnička vještačenja, očevid, ispitivanja

Summary

Fires and explosions in industrial facilities can result in severe consequences, including property damage, financial losses, and risks to human life. In such cases, the main objective of the investigation is to determine if the fire/explosion resulted from technical malfunctions or irregularities or if it was intentionally set. So, to investigate the case aftermath, it is necessary to employ a systematic approach and include

experts from diverse fields like fire and explosion investigation and mechanical and electrical engineering.

This paper presents a comprehensive analysis of a true-life fire and explosion incident that occurred at a commercial company's storage center. As a result of the fire and explosion, there was a substantial material damage but no human casualties. The study describes the process of determining the incident's root cause based on scene examination, technical expertise, and interdisciplinary collaboration.

In the case presented, the investigation was conducted by police officers with the professional assistance of experts from the Forensic Science Centre Ivan Vučetić, while gas and electricity distributors and electrical installation maintenance workers provided additional support for specific tasks.

The fire and explosion occurred in a room containing the main distribution cabinets. Before the explosion, indications of fire were noticed, which included the smell of burning and smoke that emerged from the sewer shafts where underground power cables were placed. The initial inspection at the scene was conducted, and relevant information on the facility and event was collected, including documents, witness statements, and video recordings of the incident. Gas and electrical installations were tested and inspected, and elevated carbon monoxide levels were detected in the electrical cable channel. Visual examination of the scene revealed thermal and mechanical damages to the building and electrical cabinets, while traces of burning were also found on the underground cable shafts. The electrical cables connected to the main distribution cabinet were inspected and tested to find the location of the fault. Severe damage was found on the cables that showed traces of the melting and burning of the insulation. Based on the inspection of the scene and the tests carried out, it was concluded that the explosion was a consequence of a fault in an underground electrical cable. The fault caused the cable's insulation to ignite, which resulted in flammable gases that accumulated in the room and triggered the explosion, which was probably initiated by an electrical spark. The cause of the cable fault was possible mechanical damage during construction work along the cable route.

This case study demonstrated technical experts' methodology in determining the cause of fires and explosions in buildings and facilities. It could provide a useful reference for experts involved in fire and explosion investigations, emphasizing the need for an interdisciplinary approach and effective collaboration.

Keywords: fires and explosions, facilities, electrical installations, electrical facilities, technical expertise, inspection, tests.

UVOD

Introduction

Istraživanje uzroka požara i eksplozija u građevinama i pogonima zahtjevan je postupak u kojem valja utvrditi glavne čimbenike koje su dovele do štetnoga događaja, odnosno razaznati radi li se o tehničkim kvarovima, nepravilnostima ili o namjerno izazvanome događaju (podmetanju požara ili izazivanju eksplozije). Na kraju, potrebno je sa što većom sigurnošću i preciznije utvrditi mogući uzrok požara i eksplozije, bilo da se radi o stambenim objektima, javnim građevinama ili industrijskim postrojenjima. S obzirom na složenost postupka, ali i na specifičnosti objekata i događaja, za takve je istrage potrebna visoka razina interdisciplinarnosti i suradnje među stručnjacima različitih profila, poput vještaka za požare i eksplozije te vještaka za tehnička vještačenja, policije, ali i svih drugih dionika koji su povezani s objektom (Pačelat i Zorić 2003).

Postupanje u tim slučajevima uključuje pregled samog mjesta događaja te pregled i ispitivanje instalacija i uređaja, najčešće električnih i plinskih, ali i svih drugih relevantnih instalacija i opreme koji se nalaze u objektima. Pri utvrđivanju uzroka događaja u kojemu se sumnja da bi uzrok mogao biti električna energija, najviše se pozornosti pridodaje tehničkim kvarovima, što uključuje analizu električnih instalacija i uređaja ne bi li se otkrio kvar koji je mogao izazvati zapaljenje. U takvim se slučajevima pregledavaju i ispituju električne instalacije/uređaji, određuje se koja je vrsta kvara i gdje je on nastao te se ispituje povezanost kvarova i uzroka požara. U događajima u kojima je došlo do eksplozija, bitno je utvrditi je li događaj izazvala eksplozivna naprava ili je pak riječ o tehničkoj eksploziji (najčešće plinskoj). I u tim je slučajevima ključno doći do mjesta s kojega je plin curio, utvrditi kako je plin curio i kako se stvorila eksplozivna smjesa (Centar „Ivan Vučetić” 2016).

Dakle, kakav će biti postupak istrage i vještačenja te sastav tima koji će se baviti određenim događajem najviše ovisi o njegovoj prirodi i mogućim uzrocima koji proizlaze iz početnih saznanja. U Republici Hrvatskoj takvim se slučajevima primarno bave vještaci iz Centra za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić” (u daljnjem tekstu: Centar), pri čemu glavnu ulogu imaju vještaci za požare i eksplozije koji su po struci kemičari te vještaci za tehnička vještačenja čije je uže područje specijalnosti elektrotehnika i strojarstvo (Centar „Ivan Vučetić” 2016)

Cilj ovoga rada jest prikazati temeljne odrednice istraživanja požara i eksplozija te prikazati način rada i tumačenja nalaza na primjeru požara i eksplozije u skladišnome centru jednoga trgovačkog poduzeća.

ISTRAŽIVANJE POŽARA I EKSPLOZIJA U OBJEKTIMA I POSTROJENJIMA – Investigation of Fires and Explosions in Buildings and Facilities

Istraživanje mjesta požara i eksplozija u građevinama i pogonima, kao i vještačenja koja se provode u tom procesu odvijaju se u više faza, počevši od prikupljanja početnih saznanja i pripreme, omogućavanja sigurnoga rada na mjestu događaja, pa sve do rada na mjestu događaja, dokumentiranja i vještačenja (Daeid 2004).

U početnoj fazi, prije izlaska na mjesto događaja, detaljno se priprema za očevid. Analiziraju se početna saznanja o događaju i traže dodane informacije vezane za preciznije mjesto, vrijeme i kontekst nastanka događaja, a posebno se prikuplja i sva relevantna tehnička dokumentacija objekata i instalacija koja bi mogla omogućiti vještacima odgovarajuću pripremu prije očevida. Prikupljaju se izjave osoba koje imaju saznanja o objektu ili događaju, što obuhvaća vlasnike, radnike ili druge korisnike objekta, očevidce, vatrogasce i sl. Traže se informacije o tome je li događaj, nastanak ili njegov tijek, snimljen, tj. postoji li videosnimka (nadzornih kamera ili drugih izvora) ili je netko zabilježio događaj fotografijom. Tijekom pripreme, potrebno je uzeti u obzir i je li objekt imao tehničku zaštitu / zaštitu od požara i kakvu, saznati kako je objekt spojen na električnu mrežu i kad je u objektu nestalo električne energije, kako bi se mogli pronaći relevantni tragovi i nalazi staviti u odgovarajući kontekst (Daeid 2004).

Prije početka aktivnosti koje se provode na mjestu događaja provjerava se je li razina sigurnosti za rad odgovarajuća te se poduzimaju sve radnje kako bi se smanjili potencijalni rizici. Primjerice, provjerava se je li opskrba električnom energijom ili plinom isključena, pri čemu se surađuje s lokalnim distributerima. Također se osigurava sva potrebna zaštitna oprema kojom se treba koristiti tijekom rada na terenu uz pridržavanje svih propisa zaštite na radu. Ako postoje saznanja da je objekt imao ugrađenu tehničku zaštitu / zaštitu od požara, prvi korak pri dolasku na mjesto događaja je utvrditi je li centralna jedinica sustava zaštite uništena te, ako nije, u suradnji s poduzećem koje se bavi održavanjem tog sustava jedinicu izuzeti, pregledati i ana-

lizirati snimke i sustav vatrodajne i protupožarne zaštite (Daeid 2004).

Mjesto događaja prvo se pregledava vizualno s vanjske, a potom s unutarnje strane, radi pronalaska oštećenja – toplinskih i mehaničkih. Iako početna saznanja mogu upućivati na to da je riječ o „tehničkoj” nesreći, ekipa za očevid traži i druge vrste tragova, poput onih koji bi mogli upućivati na provalu u objekt, i to na vratima, bravama i drugim pristupnim putovima.

Pri pregledu mjesta događaja i traženju tragova termičkih i mehaničkih oštećenja, obično se započne od dijelova koji su manje oštećeni te se ide do područja s najvećim oštećenjima, koja često upućuju na to da se baš tamo nalazilo ishodište požara ili eksplozije. Na tom mjestu, pregledava se postoje li uređaji ili električne instalacije te se traže eventualna oštećenja koja se nalaze na uređajima, kabelima ili razvodnim ormarima s osiguračima. Mjesta na kojim su pronađeni kvarovi detaljno se dokumentiraju te se izuzimaju svi relevantni tragovi prema procjeni vještaka. Najčešće su to cijeli uređaji na kojima se nalaze tragovi kvara ili nepravilne izvedbe te dijelovi električnih i plinskih instalacija (Daeid N. N. 2004).

Važno je napomenuti da se čitav tijek rada na mjestu događaja, sve poduzete mjere i radnje, kao i pronađeni tragovi, detaljno dokumentiraju kao i pri očevidima drugih kaznenih događaja, što obuhvaća fotografsku i zapisničku dokumentaciju, pri čemu najveću važnost ima zapisnik o očevidu. Izuzeti se tragovi razvrstavaju te se dostavljaju u Centar gdje te tragove obrađuju i analiziraju vještaci te u Zapisniku o vještačenju iznose svoje nalaze i zaključke o mogućim uzrocima požara ili eksplozije (Papić 2016; Papić 2017a; Papić 2017b).

PRIKAZ SLUČAJA POŽARA I EKSPLOZIJE U SKLADIŠNOME CENTRU – Case study of fire and explosion in a storage center

Do eksplozije, kojoj je kako je kasnije utvrđeno prethodio požar, došlo je u skladišnome centru jednoga trgovačkog poduzeća, i to u prostoriji s glavnim razvodnim ormarima.

Prije eksplozije osjetio se miris požarnoga izgaranja i primijećen je crni dim koji je izlazio iz šaftova kanalizacije u kojoj se nalaze podzemni kabeli napajanja električnom energijom, a osjetio se neugodan miris u dijelu hale u ko-

jemu se nalazi prostorija s glavnim razvodnim ormarima. U kanalu s električnim kabelima izmjerena je koncentracija ugljikova monoksida od 400 ppm, a nadležni distributer plina pregledao je plinovod te je utvrđeno da nema propusnosti. S obzirom na mjerenjem zabilježene povišene koncentracije ugljikova monoksida, isključena je struja i zatvoren dovod plina u navedenim prostorijama. Naložen je pregled pumpnoga postrojenja i sklopki u glavnoj trafostanici te, kako nije utvrđen kvar, ponovo je uključena struja, a tijekom dana je i dalje praćena koncentracija ugljikova monoksida.

Drugog dana, u 5:20 sati, došlo je do eksplozije u prostoriji s glavnim razvodnim ormarima. Trenutak i mjesto nastanka eksplozije zabilježeno je na snimkama vanjskih kamera videonadzora. Zaposlenik noćne smjene neposredno je prije eksplozije vidio vatru iz maloga šahta. Kada su oko 5:45 sati došli vatrogasci, isključeno je napajanje iz trafostanice te su vatrogasci pregledali mjesto eksplozije i okolnih prostorija. U eksploziji nije bilo ozlijeđenih osoba.

UTVRĐIVANJE UZROKA POŽARA I EKSPLOZIJE – *Determining the cause of fire and explosion*

Radi utvrđivanja uzroka eksplozije u konkretnome je slučaju trebalo obaviti sljedeće poslove:

- prikupljanje informacija povezanih s događajem,
- pregled snimaka videonadzora,
- vizualni pregled mjesta eksplozije i utvrđivanje oštećenja,
- tlačno ispitivanje plinske instalacije od strane distributera plina,
- pregled trafostanice iz koje je objekt napajan električnom energijom,
- vizualni pregled šahtova podzemne trase kabela,
- pregled i ispitivanje kabela u glavnome razvodnom ormaru radi utvrđivanja na kojemu je kabelu došlo do kvara,
- lociranje mjesta kvara na podzemnim kabelima koje su proveli ispitivači kabela,
- iskopavanje kanala i vađenje kabela,

- utvrđivanje mogućega uzroka kvara na kabelima i izuzimanje dijelova kabela s tragovima gorenja i taljenja.

Od djelatnika skladišnoga centra dobivene su sve relevantne informacije o kronologiji događaja i tehničke informacije (snimke, planovi, sheme i druga tehnička dokumentacija) te su oni pružili pomoć pri korištenju usluga distributera plina i struje, kao i ispitivača elektroinstalacija i druge opreme.

***PREGLED MJESTA DOGAĐAJA I ISPITIVANJE
INSTALACIJA NAKON POŽARA I EKSPLOZIJE –
Inspection of the scene and examination of installations
after fire and explosion***

Pregled mjesta događaja proveli su policijski službenici ekipe za očevid nadležne policijske uprave uz stručnu pomoć vještaka iz Centra.

Prije pregleda mjesta događaja pregledane su snimke vanjskih kamera videonadzora radi utvrđivanja okolnosti događaja (Slika 1). Na prikazanim se snimkama vidi trenutak neposredno prije eksplozije i trenutak eksplozije kada se vidi odbljesak u šahtu koji se nalazi pored prostorije s glavnim razvodnim ormarima.



Slika 1. Snimke eksplozije u prostoriji s razvodnim ormarima i u šahtu s kabelima

Figure 1. Footage of the explosion in the room with the distribution cabinets and in the cable shaft

Nakon toga, distributeri plina proveli su tlačno ispitivanje plinske instalacije radi utvrđivanja eventualnoga propuštanja plina, no nije utvrđena propusnost plinske instalacije.

Pregledom mjesta događaja utvrđena su mehanička oštećenja s vanjske strane građevine (Slika 2), a pregledom prostorije s razvodnim ormarima utvrđena su mehanička

oštećenja prostorije i ormara s opremom u prostoriji (Slike 3 a i b).



Slika 2: Opći izgled mjesta događaja eksplozije

Figure 2: Overall photograph of the explosion scene



Slike 3 a i b. Mehanička oštećenja pregradnog zida: a) vanjska strana prostorije, b) unutarnja strana prostorije

Figures 3 a and b. Mechanical damage to the partition wall: a) outside view, b) inside view

Pregledana su oštećenja i ispitani električni kabeli koji dolaze u glavni razvodni ormar radi utvrđivanja na kojemu kabelu je došlo do kvara (Slika 4 a i b). Utvrđeno je da se radi o energetskekim nearmiranim kabelima s vodičima od aluminiija i izolacijom i plaštem od PVC-mase oznake PP 00-A-4x240 mm².



Slika 4. Opći (a) i bliži izgled (b) oštećenja kabela u glavnome razvodnom ormaru

Figure 4. Overall (a) and close-up photographs (b) of cable damage in the main distribution cabinet

Vizualnim pregledom kabela i šaftova utvrđena su termička oštećenja u šaftovima u vidu začađenja cijevi i izolacije plašta kabela te začađenja šaftova (Slika 5 a i b).



Slika 5. Tragovi termičkih oštećenja: a) na kablama, b) u šaftu

Figure 5. Traces of thermal damage: a) on cables, b) in shaft

Drugoga dana očevida djelatnici poduzeća HEP Operator distribucijskog sustava (Elektra Zagreb) locirali su mjesta kvara na podzemnim kablama. Korištenjem mjernih kola koja su opremljena odgovarajućom ispitnom opremom utvrđeni su kvarovi i obavljeno je lociranje mjesta kvara na tri niskonaponska kabela.

Nakon iskopavanja kanala i vađenja kabela utvrđeno je da je na dva kabela došlo do oštećenja u obliku prekida i taljenja vodiča te gorenja izolacije u duljini od oko 1,5 – 2 m (Slike 6 – 9).



Slika 6. Radovi na iskopavanju kabela

Figure 6. Cable excavation works



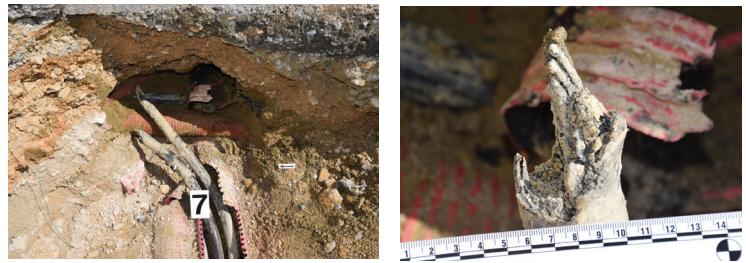
Slika 7. Kablovi nakon vađenja iz kanala

Figure 7. Cables after removal from the canal



Slika 8. Tragovi gorenja na krajevima (a) i plaštu kabela (b)

Figure 8. Traces of burning cable ends (a) and on the sheath (b)



Slika 9. Opći (a) i bliži izgled (b) tragova taljenja na kabelima

Figure 9. Overall (a) and close-up photographs of traces of melting on the cables

REZULTATI ISTRAŽIVANJA POŽARA I EKSPLOZIJE

Results of fire and explosion investigation

Zbog kvara na podzemnom električnom kabelu došlo je do zapaljenja izolacije kabela i stvaranja plinovitih produkata koji su putem kanala za kabele ušli u prostoriju elektro sobe i u glavnom razvodnom ormaru izazvali eksploziju eksplozivne plinske smjese koja je inicirana električnom iskrom, uslijed čega je došlo do mehaničkoga oštećenja električnog ormara i prostorije. Mogući uzrok kvara na kabelima jest mehaničko oštećenje pri građevinskim radovima na trasi kabela.

Kvarovi na električnim kabelima događaju se na svim naponskim razinama, od niskog napona, srednjeg napona, do visokog napona. Pored kvarova koji se događaju uslijed oštećenja pri radovima, najčešći uzroci kvarova na kabelima jesu starenje izolacije, vijek trajanja, prenaponi, toplinsko preopterećenje, korozija, netočno polaganje kabela, te oštećenja pri transportu i skladištenju (Baur 2016).

Najčešće spominjani tip kvara na kabelima je kratki spoj koji može biti uzrokovan oštećenjem izolacije, a kao posljedica kratkog spoja dolazi do protjecanja velike struje

koja dovodi do taljenja vodiča i zapaljenja gorivog materijala, odnosno do požara. U praksi postoje različite metode za utvrđivanje mjesta i vrste kvara na kabelima. U opisanom primjeru nije se odmah pristupilo ispitivanju kabela jer se najprije sumnjalo na istjecanje plina iz plinske instalacije. Međutim, u daljnjem istraživanju u slučaju sličnih događaja bilo bi važno istražiti koji su uzroci kvara i zapaljenja podzemnih kabela, odnosno o kakvoj grešci na kabelima se najčešće radi.

Pored dobre suradnje između vještaka i ekipe za očevid, tijekom očevida u rad su uključeni djelatnici distributera struje i plina, a radi ispitivanja angažirana je vanjska ekipa specijaliziranih neovisnih ispitivača. U slučaju potrebe, dodatna vještačenja mogu se povjeriti drugim specijaliziranim ustanovama i/ili sudskim vještacima. Na temelju podataka u literaturi i daljnjih istraživanja trebalo bi doći do novih saznanja u kojim okolnostima plinoviti produkti, koji mogu nastati pri požaru u objektima i postrojenjima, mogu dovesti do stvaranja eksplozivne smjese i eksplozije.

LITERATURA

References

1. BAUR GmbH, 2016: *Lociranje kabelskih kvarova, Austrija, brošura broj 821-044, 1/16*
2. Centar „Ivan Vučetić“, 2016: *Tehnička vještačenja*, <https://forenzika.gov.hr/sluzbe/sluzba-traseoloskih-vjestacenja/tehnicka-vjestacenja/101> (15.ožujka 2023)
3. Pačelat, R. & Z. Zorić Z, 2003: *Istraživanje uzroka požara*, ZIRS, p.273. Zagreb
4. Daeid N. N., 2004: *Fire Investigation*, CRC Press, p.246 Boca Raton
5. Papić N., 2016: *Požari u drvnoj industriji, Policija i sigurnost, Vol 1, p 42-51.*
6. Papić N., 2017a: *Požar u trgovačkom centru, Sigurnost, Vol 1, p 41-47.*
7. Papić N., 2017b: *Vještačenje uzroka požara, Policija i sigurnost, Vol 3, p 267-280.*

Napomena:

Rezultati istraživanja prethodno su izloženi na skupu sudskih vještaka u organizaciji HDSVIP u Zagrebu: Papić N., Barbarić F., Pačelat R., 2019: *Tehničko vještačenje uzroka požara i eksplozija u objektima i postrojenjima, predavanje na VI. međunarodnom kongresu sudskih vještaka i procjenitelja, HDSVIP, Zagreb.*