

# GAŠENJE POŽARA NA TS 110/10/10 kV DUBOVAC

---

**Butala, Tin**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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:128:096061>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-07**



**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

# GAŠENJE POŽARA NA TS 110/10/10 kV DUBOVAC

---

**Butala, Tin**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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:128:096061>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2023-02-13**



**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  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Tin Butala

**GAŠENJE POŽARA NA TS 110/10/10 kV  
DUBOVAC**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Tin Butala

**FIREFIGHTING ON TS 110/10/10 kV  
DUBOVAC**

FINAL WORK

Karlovac, 2022.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Tin Butala

**GAŠENJE POŽARA NA TS 110/10/10 kV  
DUBOVAC**

ZAVRŠNI RAD

Mentor :

Filip Žugčić, mag.ing.el.

Karlovac, 2022.

# PREDGOVOR

Ovaj završni rad donosi specifičnosti požarnih opasnosti na trafostanicama te načine postupanja pripadnika vatrogasnih postrojbi u slučaju nastanka požara na takvom objektu. Radom je pobliže pojašnjena važnost, način te specifičnosti postupanja vatrogasnih postrojbi prilikom nastanka požara na trafostanicama, konkretno na primjeru TS 110/10/10 kV Dubovac. Rad može poslužiti kao priručnik za sve one koji se bave poslovima vezanim uz djelatnost vatrogastva, a posebice studentima u pisanju stručnih radova iz područja sigurnosti i zaštite na radu.

Materijali za izradu rada prikupljeni su tijekom mjesec dana, a autor rada ih je prikupljao u knjižnici Veleučilišta u Karlovcu, Gradskoj knjižnici Ivan Goran Kovačić u Karlovcu, u pravilnicima te zakonima dostupnima na internetu vezanim uz požare i vatrogastvo, a pri izradi rada je korištena i interna dokumentacija Javne vatrogasne postrojbe Karlovac. U svrhu izrade rada proučavani su i magistarski radovi te doktorske disertacije na slične teme koji su napisani u razdoblju od 2016. do 2022. godine. Završni rad je pisan individualiziranim pristupom uz poznavanje osnovne materije te stečeno radno iskustvo autora rada koje je imalo pozitivan učinak na pisanje rada.

Ovaj rad čini sedam poglavlja. Prvo je poglavlje uvod, dok se drugo poglavlje odnosi na pojam i odrednice požara, a treće na specifičnosti transformatorskih stanica (trafostanica). Četvrto se poglavlje odnosi na opće podatke TS 110/10/10 kV Dubovac kao i na potencijalne kvarove i požarne opasnosti te požarnu zaštitu s posebnim osvrtom na stabilni sustav za gašenje požara CO<sub>2</sub> koji se koristi na TS 110/10/10 kV Dubovac te zakonsku regulativu. Peto se poglavlje odnosi na intervenciju gašenja požara na TS 110/10/10 kV Dubovac, dok se šesto poglavlje odnosi na opasnosti, štetnosti i napore kojima su izloženi vatrogasci. Rad završava zaključkom, popisom literature korištene pri izradi rada te popisom priloga.

Izabranom te prikazanom koncepcijom ne izlazi se iz zadanih okvira, a ujedno se osigurava više prostora za praktičnu primjenu u obrazovanju ili usavršavanju stručnjacima iz područja zaštite na radu te pripadnicima vatrogasnih postrojbi. Rad sadrži fotografije, shematske prikaze, tablice te druge korisne sadržaje koji su do sada parcijalno obrađivani u domaćoj te stranoj stručnoj literaturi.

Rad je rezultat stečenog znanja autora rada tijekom obrazovanja na Veleučilištu u Karlovcu, pri Odjelu Sigurnosti i zaštite te izučavanja domaćih i inozemnih stručno-znanstvenih materijala na zadanu tematiku. Onima koji budu željeli proširiti svoja znanja iz područja gašenja požara na transformatorskim stanicama na raspolaganju je stručna literatura pobrojana na kraju ovog rada.

Ovom se prilikom posebno zahvaljujem se svom mentoru Filipu Žugčiću, mag.ing.el. na prenesenom znanju, ukazanim savjetima i pomoći pri prikupljanju materijala te pisanju samog rada. Zahvaljujem se također svim profesorima Veleučilišta u Karlovcu, Odjela Sigurnosti i zaštite te svojim kolegama na pruženoj potpori tijekom razdoblja mog obrazovanja. Također se zahvaljujem članovima svoje obitelji te djevojci koji su mi uvijek pružali najveću podršku kada je to bilo najpotrebnije.

## SAŽETAK

Transformatorske stanice su dio sustava za prijenos električne energije, a zadatak im je transformacija napona sa više naponske razine na nižu ili obrnuto, uz prijenos snage uz minimalne gubitke. Potreba suvremenog društva za potrošnjom električne energije neprestano raste, a posljedično raste opasnost od nastanka požara i eksplozija na električnim postrojenjima, instalacijama i opremi. Požarne te eksplozivne opasnosti mogu nastati kao posljedica zastarjelosti uređaja i opreme, opterećenja, grmljavine i drugih vremenskih nepogoda, mehaničkog oštećenja instalacija uslijed prisutnosti raznih glodavaca i slično. Prilikom projektiranja objekta, izrađuje se i procjena ugroženosti od požara koja dalje smjernice za gašenje požara te protokole postupanja. Pravilan izbor i ugradnja sustava za detekciju i gašenje požara, uz adekvatna konstrukcijska i tehnološka rješenja protupožarne zaštite temelj su sigurnosti u slučaju nastanka požara, a zadatak je sustava da isti lokaliziraju i spriječe njegovo daljnje širenje u što kraćem vremenskom razdoblju.

Ovaj rad donosi pregled požarnih i eksplozivnih opasnosti, potencijalnih kvarova te uzroka požara i eksplozija kao i specifičnosti procesa gašenja požara na TS Dubovac 110/10/10 kV, kao i potencijalnih propusta te unapređenja djelovanja u procesu gašenja požara na takvom objektu. Osobit je naglasak pri pisanju rada stavljen na stečeno iskustvo samog autora rada u djelatnosti gašenja požara na visokonaponskim objektima. Važno je naglasiti kako gašenje požara na trafostanicama uključuje uvijek suradnju te koordiniranu aktivnost vatrogasnih postrojbi te nadležne ispostave poduzeća HEP, Ministarstva unutarnjih poslova te pripadnika Državne uprave za zaštitu i spašavanje. Suradnja je važna za brzo te efikasno gašenje požara na takvim objektima, ali i spašavanje ljudskih života koje je neizostavan dio gotovo svake vatrogasne intervencije. Suradnja se temelji na postupanjima prema važećim zakonskim propisima te podzakonskim aktima na području Republike Hrvatske.

**Ključne riječi:** *trafostanice, požarne opasnosti, eksplozivne opasnosti, gašenje požara, TS 110/10/10 kV Dubovac, vatrogasne intervencije.*



## ABSTARCT

Transformer stations are part of the power transmission system, and their task is to transform the voltage from a higher voltage level to a lower or vice versa. The need of modern society for electricity consumption is constantly growing, and consequently the risk of fires and explosions on electrical plants, installations and equipment is growing. Fire and explosive hazards can occur as a result of obsolescence of devices and equipment, loads, thunder and other weather disasters, mechanical damage to installations due to the presence of various rodents and the like. When designing the facility, a fire risk assessment is made, which further guidelines for firefighting and treatment protocols. Proper selection and installation of fire detection and extinguishing systems, with adequate construction and technological solutions for fire protection are the basis of safety in case of fire, and the task of the system is to localize and prevent its further spread in the shortest possible time.

This paper provides an overview of fire and explosive hazards, potential failures and causes of fires and explosions as well as the specifics of the firefighting process at TS Dubovac 110/10/10 kV, as well as potential failures and improvements in the firefighting process at such facility. Particular emphasis in writing the paper is placed on the experience gained by the author of the work in the field of firefighting in high-voltage buildings. It is important to emphasize that firefighting at substations always includes cooperation and coordinated activity of fire brigades and the competent branch office of HEP, the Ministry of the Interior and members of the State Administration for Protection and Rescue. Cooperation is important for quick and efficient firefighting in such facilities, but also saving human lives, which is an integral part of almost every firefighting intervention. Cooperation is based on actions in accordance with applicable legal regulations and bylaws in the territory of the Republic of Croatia.

**Keywords:** *transformer stations, fire hazards, explosive hazards, fire extinguishing,*

*TS 110/10/10 kV Dubovac, firefighting interventions.*

# SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA.....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	IV
ABSTRACT .....	V
1.UVOD.....	1
1.1.Predmet i cilj rada.....	2
1.2.Izvori podataka i metode prikupljanja .....	2
1.3.Sadržaj i struktura rada .....	2
2.POJAM I ODREDNICE POŽARA.....	4
2.1.Proces gorenja .....	5
2.2.Temperatura zapaljenja.....	7
2.3.Širenje požara .....	8
2.4.Proces gašenja požara.....	9
2.5.Sredstva gašenja požara.....	10
2.6.Obvezne mjere zaštite prilikom gašenja požara .....	11
3.TRANSFORMATORSKA STANICA.....	13
4.TS 110/10/10 kV DUBOVAC – OPĆI PODACI .....	16
4.1.Potencijalni kvarovi i požarne opasnosti na TS 110/10/10 kV Dubovac.....	17
4.2.Požarna zaštita na TS 110/10/10 kV Dubovac.....	22
4.2.1.Stabilni sustav za gašenje požara CO <sub>2</sub> na TS 110/10/10 kV Dubovac .....	24
4.2.1.1.Zakonska regulativa održavanja sustava za gašenje požara CO <sub>2</sub> .....	32
5.INTERVENCIJA GAŠENJA POŽARA NA TS 110/10/10 kV Dubovac .....	36
6.OPASNOSTI, ŠTETNOSTI I NAPORI KOJIMA SU IZLOŽENI VATROGASCI .....	40
7.ZAKLJUČAK .....	42
LITERATURA.....	44
PRILOZI .....	45
Popis slika .....	45

## 1. UVOD

Današnje je doba obilježeno brzim razvojem tehnologija te posve novih procesa u proizvodnji što pogoduje pojavi požarnih opasnosti koje predstavljaju ugrozu za materijalna dobra, ali i za ljudsko zdravlje te živote. Sve veća potrošnja električne energije današnjeg društva rezultira povećanjem opasnosti od nastanka požara i eksplozija na električnim postrojenjima, instalacijama i opremi. Elektroenergetsko postrojenje poput trafostanice podrazumijeva skupno djelovanje električne opreme za elektroenergetska postrojenja s nazivnim izmjeničnim naponima iznad 1 kV i nazivnom frekvencijom do 60 Hz ugrađenih u objekt s usklađenim karakteristikama zbog ispunjavanja određene namjene koja se odnosi na proizvodnju, prienos, distribuciju, opskrbu te korištenje električne energije.

Požari na elektroenergetskim postrojenjima poput trafostanica su rijetkost, a uzroci mogu biti ljudska nemarnost te propusti, mehanički kvar, djelovanje vanjske sile i slično. Ako se dogodi potencijalni akcident na takvom objektu dolazi do velikog rizika te opasnosti za vatrogasce prilikom intervencije na požarištu. Kada dođe do ozljeda uslijed kontakta s električnom strujom, najvjerojatniji je smrtni ishod. Vatrogasne postrojbe se svakodnevno susreću sa opasnostima od električne struje prilikom intervencija na požarištima, transformatorskim stanicama, električnim vodovima i instalacijama i slično. Svaka postrojba prije same intervencije ako postoji opasnost od djelovanja električne energije primjenjuje pravila za sigurnost i zdravlje svih djelatnika te se u skladu s time svako energetsko postrojenje, električni vodovi i instalaciji stavljaju u beznaponsko stanje.

Kako su se tijekom povijesti razvijale te unapređivale ljudske djelatnosti, razvijala se i unapređivala i protupožarna zaštita. Protupožarna zaštita podrazumijeva skup mjera i postupaka koji se poduzimaju radi sprječavanja nastanka i širenja požara, utvrđivanja i uklanjanja uzroka požara, otkrivanja i gašenja nastalog požara, te pružanja prve pomoći u slučaju požara. Razlikuju se pasivne te aktivne mjere zaštite od požara. Kvalitetan sustav zaštite od požara na nekom objektu odnosi se na planiranje zaštite od požara, propisivanje mjera zaštite od požara, financiranje zaštite od požara te osposobljavanje i

ovlašćivanje za obavljanje poslova zaštite od požara. Cilj sustava zaštite od požara je pružiti zaštitu te sigurnost ljudima te životinjama, ali i očuvanja materijalnih dobara, uz društveno te ekonomski prihvatljiv rizik koji nastaje kao posljedica požara.

### **1.1. Predmet i cilj rada**

Predmet rada je gašenje požara na TS 110/10/10 kV Dubovac, a cilj rada je ukazati na specifičnosti požarnih i eksplozivnih opasnosti na trafostanicama te na specifičnosti vatrogasnih intervencija te gašenja požara na trafostanicama, ali i ukazati na potencijalne opasnosti, štetnosti te napore kojima su izložene vatrogasne postrojbe prilikom interveniranja na takvim požarima.

### **1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja**

U svrhu istraživanja problematike završnog rada korišteni su različiti izvori podataka, od internet stranica do stručnih knjiga područja zaštite od požara te djelatnosti vatrogastva. Rad istražuje i analizira već postojeće (sekundarne) podatke. Pri prezentaciji podataka korištene su znanstvene metode analize, klasifikacije, indukcije, dedukcije i deskripcije. Podaci su prikupljeni metodom engl. “*desk*” istraživanja te stečenog radnog iskustva autora rada.

### **1.3. Sadržaj i struktura rada**

Završni rad čini sedam poglavlja. Prvo je poglavlje uvod raščlanjen na predmet i cilj rada, izvore podataka i metode prikupljanja te sadržaj i strukturu rada. Drugo se poglavlje

odnosi na pojam i odrednice požara, a treće na specifičnosti transformatorskih stanica (trafostanica). Četvrto se poglavlje odnosi na opće podatke TS 110/10/10 kV Dubovac kao i na potencijalne kvarove i požarne opasnosti te požarnu zaštitu s posebnim osvrtom na stabilni sustav za gašenje požara CO<sub>2</sub> koji se koristi na TS 110/10/10 kV Dubovac te zakonsku regulativu. Peto se poglavlje odnosi na intervenciju gašenja požara na TS 110/10/10 kV Dubovac, dok se šesto poglavlje odnosi na opasnosti, štetnosti i napore kojima su izloženi vatrogasci. Rad završava zaključkom, popisom literature korištene pri izradi rada te popisom priloga, odnosno slika.

## 2. POJAM I ODREDNICE POŽARA

Požar je nekontrolirani proces gorenja koji se ubrzano širi u prostoru, te predstavlja opasnost za život ljudi ili životinja te nerijetko nanosi i materijalnu štetu [1]. Kad se vatrom ne može zbog razmjera ovladati, tada se govori o požaru.

Požari se prema taktici dijele prema:

1. fazi obujma,
2. mjestu razvijanja,
3. vrsti gorivog materijala.

Prema mjestu razvoja požari se dijele na:

1. požare u zatvorenom prostoru (u objektu),
2. požare na otvorenom prostoru (izvan objekata).

Prema intenzitetu izgaranja materije požari se dijele na četiri faze:

1. početna faza,
2. faza razvoja,
3. razbuktala faza,
4. faza gašenja [1].

Početni požar karakterizira niski intenzitet izgaranja zapaljive materije te blago širenje vatre. U fazi razvoja požar ima sve veći intenzitet, raste temperature te količina topline u prostoru, a požar zahvaća sve više gorivih tvari. Kada požar ne dobiva dovoljne količine kisika za gorenje, stvaraju se produkti koji mogu rezultirati eksplozijom primjerice posuda pod tlakom i naglim razbuktavanjem produkata izgaranja (tzv. *flashover*). Kada se požar razbukti, intenzitet izgaranja je na najvećoj razini temperature te brzine širenja, a učestala je pojava urušavanje objekata zahvaćenih požarom, stvaranje otrovnih plinova i para i slično. Razbuktali se požari dijele na male, velike te katastrofalne.

Faza gašenja požara podrazumijeva smanjenje količine gorive tvari i temperature u procesu gorenja ili ubacivanje sredstva za gašenje u požar [2]. Kada počne gašenje, smanjuje se intenzitet požara, no i dalje je riječ o opasnoj situaciji. Kad je neka građevina ispunjena velikim količinama dima može doći do eksplozije mješavine produkata izgaranja i zraka (tzv. *backdraft*). Nužno je posebnu pozornost posvetiti gašenju sakrivenih tinjajućih žarišta, što se posebno odnosi na konstrukcije izrađene od drva.

Najpoznatiji požar na području Republike Hrvatske je požar u gradu Varaždinu iz 1776. godine kada je unutar tri dana izgorjelo 385 od 501 objekata te je veći dio stanovnika napustio Varaždin, a s njima je otišla politička elita i administracija koja se preselila u Zagreb [2]. Najčešći izvori požarnih opasnosti su razna grijača tijela, otvoreni plamen, kvarovi na električnim instalacijama, cigarete te prirodni fenomeni.

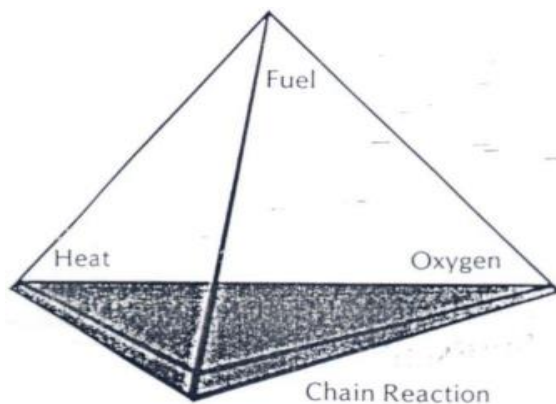
## 2.1. Proces gorenja

Gorenje ili vatra podrazumijeva specifičan kemijski proces, kod kojeg se neka goriva tvar spaja s kisikom uz istovremenu pojavu svjetlosti, topline, dima i zapaljivih plinova. Da bi došlo do gorenja (vatre) trebaju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

1. prisustvo gorive tvari,
2. prisustvo kisika,
3. toplina,
4. odvijanje procesa kemijskih reakcija [2].

Ako osoba želi zapaliti neku gorivu tvar, treba istu zagrijati do temperature paljenja, što znači da treba dovesti stanovitu količinu topline nekoj tvari da se ona ugrije do određene temperature na kojoj će dalje nastaviti gorjeti. Ako se u procesu gorenja oduzme ili onemogući samo jedna od četiri komponente, gorenje će prestati (slika 1). Temeljni uvjeti za gorenje prikazani su na slici 1 u vidu tetraedra. Gorenje je proces oksidacije pri kojem se kisik spaja sa gorivom tvari uz oslobađanje topline (plamen), toplinske i svjetlosne

energije [1]. Gorenje može trajati duže ili kraće vrijeme, a brzina ovisi o brzini spajanja tvari s kisikom, odnosno o brzini oksidacije, tlaku i temperature.



Slika 1. Tetraedar procesa gorenja [1]

Oksidacija je proces povezivanja kisika s drugim materijalima, no važno je naglasiti kako nije gorenje baš svaka oksidacija. Razlikuje se:

1. tiha oksidacija,
2. burna oksidacija (gorenje),
3. eksplozija (detinacija i deflagracija) [1].

Tvar ili materija se odnosi na sve ono što zauzima neki prostor, ima određenu težinu te je primjetno ljudskim osjetilima. Tvari se dijele na gorive te negorive. Gorive tvari se pri određenim uvjetima spajaju s kisikom nazivaju se gorive tvari, dok su negorive one koje nemaju to svojstvo, pa se ne mogu zapaliti u običnim uvjetima pri višim temperaturama, to su primjerice vatrostalni materijali. Voda je negoriva tvar, ali se pri određenim uvjetima može razdvojiti na kisik te vodik koji se ubraja u gorive plinove.

Gorive tvari se dijele na:

1. teško gorive tvari (PVC, životinjska vlakna i slično),
2. gorive tvari - svaka tvar koja ima sposobnost brzog vezanja s kisikom.



Prema agregatnom stanju gorive tvari se dijele na:

1. zapaljive plinove (metan, butan, zemni plin i slično),
2. zapaljive tekućine (naftni derivati, alkohol i slično),
3. gorive krutine (drvo, ugljen i slično).

Da bi se neka tvar smatrala vatrootpornom važno je kod gorive tvari uzeti u obzir određene specifične karakteristike kao što su primjerice vlažnost, čistoća i slično. Gorenje tvari može biti potpuno ili nepotpuno, a ovisi o količini zraka (kisika). Do potpunog gorenja dolazi kad određena goriva tvar ima dovoljnu količinu zraka (kisika) pri čemu oksidira te nastaju oksidi elemenata te gorive tvari, a ona u potpunosti sagori uz malo dima te plamen bez boje i čađe, a produkt je ugljični dioksid. Ugljični dioksid je plin bez boje, okusa i mirisa, teži od zraka, a kako ne gori, upotrebljava se kao sredstvo za gašenje požara. Do potpunog gorenja u praksi dolazi u slučaju požara na otvorenom prostoru gdje je vatri dostupna znatna količina kisika. Produkt potpunog gorenja je ugljični dioksid.

Kada goriva tvar nema dovoljnu količinu kisika iz zraka, ona posljedično ne oksidira skroz, organska tvar samo djelomično izgori te se tada radi o nepotpunom gorenju za koje je karakteristično mnogo čađe, a umjesto ugljičnog dioksida nastaje veća količina ugljičnog monoksida (CO). Ugljični monoksid je otrovan plin, bez boje, okusa i mirisa, lakši je od zraka i jako opasan po život ljudi jer udahom svega 0,2% volumena može doći do smrti osobe koja ga je udahnula.

## **2.2. Temperatura zapaljenja**

Temperatura zapaljenja je najniža temperatura kod koje se tvari pale bez prisustva otvorenog izvora paljenja [2]. Da bi se goriva tvar zapalila ne treba svu količinu tvari zagrijati do temperature paljenja, već se zagrije dio tvari, pa tako do zapaljenja tvari može doći primjerice jednom iskrom, iako se u praksi tvari najčešće zapale otvorenim plamenom.

Toplina temperature zapaljenje je nužan uvjet početka gorenja tvari. Svaka tvari ima specifičnu temperaturu zapaljenja i minimalnu energiju zapaljenja, što je vatrgascima vrlo važna informacija. Važno je naglasiti kako temperature zapaljenja tvari varira s obzirom na čistoću tvari, vlažnost i neke druge karakteristike tvari.

### **2.3. Širenje požara**

Kako bi se požar ograničio na područje u kojem je nastao te stavio pod kontrolu, važno je djelovati brzo te efikasno. Ako dođe do nekontroliranog gorenja, velika količina topline koja se udaljava od početnog požara rezultira dodatnim požarima što uvelike otežava proces gašenja požara, njegov obim te trajanje, ali i posljedice po materijalna dobra te živote ljudi i životinja. Toplina vatre se može prenijeti:

1. kondukcijom,
2. zračenjem,
3. konvekcijom.

Kondukcija je prijenos topline kroz kruto tijelo. Vibracije molekula na višoj temperaturi prenose se na molekule niže temperature, pa toplina prelazi s područja više na područje niže temperature [1]. Drvo je loš vodič topline, a metali su dobri vodiči ponajprije zbog elektrona koji se slobodno kreću po strukturi metala te time omogućuju vodljivost struje. Toplina se prenosi gibanjem elektrona, pa su dobri vodiči struje ujedno dobri vodiči topline. Raspršena voda zaustavlja prijenos topline kondukcijom čime efikasnije apsorbira toplinu u odnosu na puni mlaz vode.

Zračenje je elektromagnetski prijenos topline iz izvora preko intervalnog prostora, bez supstance tvari. Toplina se kreće prema van iz vatre kao i svjetlo, a kad dođe u kontakt s tijelom te se apsorbira, povećava temperature tijela. Kad nije blokirana, toplina se širi u svim smjerovima, a vatru širi zagrijavanjem zapaljive tvari čime se stvara para koja je također zapaljiva.

Konvekcija podrazumijeva ciklus prijenosa topline gibanja zagrijane tvari. U zatvorenom se prostoru toplina giba predvidljivim pravcima. Vatra proizvodi plinove lakše od zraka koji se dižu prema višim dijelovima. Zagrijani zrak te dim od izgaranja se isto dižu, a hladan zrak zauzima njihovo mjesto, zagrije se i podiže na najvišu točku. Topli zrak i plinovi se dižu iz vatre, zatim se hlade, kaplju i opet se zagrijavaju i dižu.

## **2.4. Proces gašenja požara**

Kako bi se požar obuzdao te uspješno ugasio poduzima se skup radnji koje čine proces gašenja požara. Cilj gašenja požara je prekid kemijskog procesa spajanja tvari sa kisikom što se može primjerice izvesti uklanjanjem jednog od potrebnih uvjeta za gorenje te primjenom sredstava za gašenje požara. Gorenje prestaje:

1. odvajanjem gorive tvari od vatre – prevencija širenja vatre (požara) izgradnjom vatrootpornih zidova, prekidom dovoda gorive tvari i slično što dovodi do izgaranja gorive tvari te se požar posljedično sam ugasi,
2. oduzimanje zraka (kisika) potrebnog za gorenje - ugušivanjem i antikatalitičkim djelovanjem pomoću sredstava za gašenje čime se prekida doticaj gorive tvari i kisika iz zraka,
3. snižavanjem temperature gorive tvari ispod temperature paljenja – ohlađivanjem (najčešće pomoću vode),
4. antikatalitičkim djelovanjem na kemijske reakcije [2].

Osnovno pravilo gašenja požara je da se požar sa žarom gasi sa ohlađivanjem, a plamen ugušivanjem. Specifični uvjeti u kojima se gasi požar su:

1. gašenje požara na električnim instalacijama - požari na električnim uređajima i instalacijama pod naponom, smiju se gasiti isključivo sredstvima koja ne provode električnu struju (ugljični dioksid, suhe kemikalije i haloni). Električne uređaje treba isključiti u slučaju požara.

2. gašenje požara sa zapaljivim tekućinama - požari na zapaljivim tekućinama kao što su benzin, masti, smole, alkoholi i slično gase uspješno suhe kemikalije (prah), pjena, haloni, no gašenje ugljičnim dioksidom ima slabiji učinak.

## **2.5. Sredstva za gašenje požara**

Sredstva za gašenje požara su tvari kojima se može prekinuti proces gorenja, a dijele se na:

1. glavna – voda,
2. specijalna – pjena, FM-200 ili Novec 1230, ugljik - dioksid, prah,
3. pomoćna – pokrivači, pijesak i slično.

Idealno sredstvo za gašenje požara treba:

1. dobro oduzimati toplinu pri čemu hladi gorivu tvar,
2. stvarati atmosferu kako bi se spriječio pristup zraku oko gorive tvari,
3. onemogućiti spajanje sa drugim vrstama tvari,
4. onemogućiti provođenje električne energije,
5. biti nezapaljivo pri svim aktivnostima,
6. onemogućiti raspad samog sredstva na zapaljive tvari,
7. raspoloživo u dostatnim količinama,
8. pristupačne cijene [1].

Postoje brojna sredstava za gašenje požara, no ni jedno prema svojstvima nije idealno.

Postoje sljedeće klase požara i sredstava kojima se isti gase:

1. požari krutih tvari (klasa A) - gore plamenom ili žarom (isključujući metale), a za njihov gašenje je najefikasnije sredstvo voda, uz uspješnu upotrebu praha i pjene, dok se ugljični dioksid i FM- 200 iznimno koriste za manje površinske požare,

2. požari zapaljivih tekućina (klasa B) – najefikasnije se gase pjenom te prahom pri čemu se ugljični dioksid koristi za manje požare u zatvorenim prostorima, a raspršena voda za teške ugljikovodike,
3. požari zapaljivih plinova (klasa C) – najefikasnije se gase prahom, FM-200 i Novec 1230, a ugljični dioksid se koristi kao i kod klase B. Voda služi za hlađenje, dok se pjena ne koristi kod C klase požara,
4. požari lakih metala (klasa D) - gore jakim žarom (aluminij, magnezij i slično, osim natrija i kalija), a za gašenje se može koristiti isključivo specijalni prah, iako je dobra zamjena suhi pijesak. Ostala sredstva se ne koriste,
5. požari biljnih i životinjskih masti i ulja (klasa F) – tretiraju se isključivo mokrim kemijskim aparatom za gašenje požara. Ova vrsta je prilagođena za suzbijanje požara uzrokovanih mastima i uljima jer sadrže soli kalija koje smanjuju toplinu i guše kisik koji hrani vatru [1].

## **2.6. Obvezne mjere zaštite prilikom gašenja požara**

Gašenje požara može ugroziti zdravlje te živote gasitelja, stoga je nužno poduzeti sve mjere zaštite i opreza na mjestu požara, što se posebno odnosi na zatvorene, zadimljene prostorije te pristupanje električnim i plinskim instalacijama. Važno je pravilno rukovati svim sredstvima za gašenje požara jer u protivnom može doći do ugroze zdravlja, pa čak i smrtnog ishoda. Požar zatvorenog prostora karakterizira visoka temperatura i znatna količina dima pri čemu koncentracija kisika pada te se stvara otrovni plin ugljični monoksid (CO), ali i drugi po zdravlje i život opasni plinovi te pare, pa je nužno da sve osobe koje gase požar koriste sredstva za zaštitu dišnih puteva. Zbog plinova te dima koji su lakši od zraka te se dižu u vis kretanje prostorijama se treba odvijati u pognutom stavu. Važno je pažljivo otvarati vrata pri ulasku u prostoriju jer se brzim ulaskom kisika u prostor naglo pojačava gorenje te raste razina opasnosti za osobe koje sudjeluju u gašenju požara.

Obvezne mjere zaštite prilikom gašenja požara podrazumijevaju:

1. isključenje električnih instalacija prije gašenja vodom ili pjenom,
2. pokušaj pronalaska te prekida dotoka gorive tvari do mjesta požara,
3. zaštita tijela pri gašenju (glava, ruke i noge),
4. kod rukovanja vatrogasnim aparatima treba se strogo pridržavati uputa proizvođača,
5. u zatvorenoj prostoriji važno je voditi računa o stvaranju otrovnih plinova,
6. obvezno pružanje prve pomoći ozlijeđenima i traženje potrebne liječničke pomoći.

### 3. TRANSFORMATORSKA STANICA

Transformatorska stanica (trafostanica) je posebno opremljena zgrada ili prostorija koja se gradi radi prebacivanja visokog napona u niski [3]. Sastoji se od:

1. transformatora,
2. sabirnica,
3. rasklopnih uređaja,
4. mjernih transformatora,
5. instrumenata,
6. električnog brojila.
7. zaštitnih uređaja.

Razvodno postrojenje (trafostanica) je dio sustava za:

8. proizvodnju,
9. prijenos,
10. distribuciju električne energije [3].

Razvodna postrojenja služe kako bi pretvorila visoki napon u niski i obrnuto, uz brojne druge funkcije. Od elektrana do krajnjih potrošača, električna energija prolazi kroz razvodna postrojenja raznih naponskih razina. Razvodna postrojenja mogu biti u vlasništvu i pod upravom elektroenergetskog poduzeća, vlasništvo kupaca i slično, a pretežito se rad odvija bez nadzora, uz pomoć SCADA sustava za daljinski nadzor i upravljanje.

Zadaća trafostanica je da prenose električnu energiju uz promjenu napona sa više na nižu razinu ili obrnuto. Viši napon električne energije rezultira nižim gubitcima u transportu električne energije, stoga se transport odvija na višim naponima od napona koji su prisutni kod kupaca. Unutar naselja postoji više vrsta napona, a isti se u blizini naselja smanjuje na 230 V za jednofaznu, odnosno 400 V za trofaznu struju, što se odvija u sustavu trafostanice.

Distributivne trafostanice povezuju:

1. srednjenaponsku i niskonaponsku mrežu (SN/NN, odnosno 10/0.4 kV, 20/0.4 kV i rijetko 35/0.4 kV),
2. dvije srednjenaponske mreže (SN/SN, odnosno 35/10 kV ili 35/20 kV),
3. visokonaponsku (prijenosnu) i srednjenaponsku distributivnu mrežu (VN/SN, odnosno 110/35 kV, 110/20 kV ili 110/10 kV) [3].

Trafostanice SN/NN redovno se rade kao tipski proizvodi (slika 2), a mogu biti:

1. „stupne“ (postavljene na posebno izvedenom stubu nadzemne 10(20) kV-tne mreže) - koriste se u nadzemnim mrežama i manje su snage (50-250 kVA),
2. izgrađene u posebnom građevinskom objektu - koriste se u kablovskim (gradskim) mrežama, veće su snage (400-1000 kVA, 2 x 630 kVA, 2 x 1000 kVA), a izvedbe:
  - tzv. „tornjić“ - stare izvedbe,
  - kontejnerska trafostanica (KTS),
  - kontejnerska betonska trafostanica (KBTS),
  - montažna (armirano) betonska trafostanica (MBTS),
  - integrirana unutar zgrade ili građena kao poseban objekt [3].

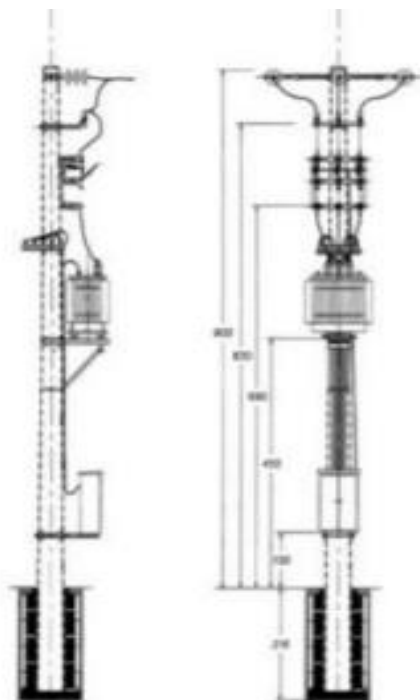
Trafostanice mogu imati jedan ili više transformatora 10(20)/0.4 kV, a osnovni elementi su:

1. građevinski dio, odnosno noseći stup,
2. srednjenaponsko postrojenje (srednjenaponski sklopni blok) sa običnim ili učinskim rastavljačima koje može biti klasično (zrakom izolirano) ili SF6 postrojenje te odvodnicima prenapona ako je priključak sa zračne mreže,
3. niskonaponsko postrojenje (niskonaponski sklopni blok) koje najčešće ima prekidač u trafo polju i osigurače u vodnim poljima te uređajima za mjerenje, zaštitu i slično,
4. pomoćni sustavi (sustav istosmjernog napajanja, rasvjeta, klimatizacija i slično) [1].



Najčešća izvedba trafostanice je stupna trafostanica koja se koristi za manju snagu (50-250 kVA) na posebno izvedenom stupu nadzemne 10(20) kV mreže, a tvore je:

1. noseći stup,
2. gromobranska zaštita,
3. sustav uzemljenja [3].



Slika 2. Stupna trafostanica [2]

Stupna trafostanica može imati jedan ili više uljnih ili suhih transformatora snage 50-1000 kVA [3]. Trafostanice u građevinskom objektu mogu imati jedan ili više transformatora 10(20)/0.4 kV s jednostavnim sustavom zaštite [1]. Svaki transformator napaja jednu skupinu niskonaponskih izvoda. Kad dođe do kvara napajanje se vrši niskonaponskim izvodom ako ima dovoljno snage ili se koristi termička zaštita u svrhu sprječavanja preopterećenja. Postrojenja srednjeg napona u trafostanicama (VN/SN i SN/SN) mogu biti izvediva na tri načina:

1. sa jednostrukom sabirnicom,
2. sa sekcioniranim jednostrukim sabirnicama,
3. sa dvostrukim i pomoćnim sabirnicama [1].

#### 4. TS 110/10/10 kV DUBOVAC – OPĆI PODACI

Transformatorska stanica TS 110/10/10 kV Dubovac je elektroenergetsko postrojenje koje je smješteno u Karlovcu, na području gradske četvrti Dubovac. U sastavu navedenog postrojenja se nalaze dva energetska transformatora, dva transformatora za vlastitu potrošnju, priključni 110 kV dalekovodi te rasklopno 110 kV postrojenje sa prekidačima i rastavljačima, dok se u sklopu pogonske zgrade nalazi rasklopno 10 kV postrojenje [4]. TS 110/10/10 kV Dubovac je daljinski upravljana iz Dispečerskog centra HEP Karlovac gdje se nalaze dispečeri koji nadziru transformatorsku stanicu 24 sata na dan, 7 dana u tjednu. U TS 110/10/10 kV Dubovac nema posade.

Osnovna namjena transformatora je transformiranje električne energije s jedne razine napona na drugi zbog prijenosa električne energije na veće udaljenosti. Transformator čine primarni i sekundarni namotaj, a namotani su oko željezne jezgre. Kad se na primarni namotaj priključi izmjenični napon ( $U_1$ ) kroz njega će poteći izmjenična struja ( $I_1$ ) ona u željeznoj jezgri stvara izmjenično magnetsko polje koje u sekundarnom namotaju inducira izmjenični napon ( $U_2$ ). Tad se na sekundar transformatora priključi trošilo te kroz njega poteče struja ( $I_2$ ).

Kod idealnog su transformatora odnosi napona u namotima primara i sekundara proporcionalni, a odnosi struja obrnuto proporcionalni omjeru broja namota ( $N_1/N_2$ ) [8]. Tako primjerice ako sekundarni namotaj ima deset puta više namota od primarnog namota, napon sekundara bit će deset puta veći, a iznos struje deset puta manji od iznosa struje u primaru.

Može se reći da je:

$$U_p/U_s = N_p/N_s \quad [3]$$

$$I_s/I_p = N_p/N_s \quad [3]$$

Odnosno vrijedi:

$$U_p/U_s = I_s/I_p \quad [3]$$

Ovisno o broju namota kroz primar ili sekundar će poteći struja većeg ili manjeg iznosa [2]. U praksi su primarni i sekundarni namot smješteni jedan unutar drugog. Prilikom prolaska struje kroz namote dolazi do zagrijavanja bakrenih vodiča koji tvore namote te do zagrijavanja jezgre zbog izmjeničnog magnetskog toka. Vodiči unutar namota su prekriveni slojem izolacijskog laka, a slojevi namotaja su dodatno razdvojeni izolacijskim papirom. Namoti se zajedno s jezgrom, oko koje su namotani, uranjaju u ulje kojim je ispunjen kotao transformatora.

#### **4.1. Potencijalni kvarovi i požarne opasnosti na TS 110/10/10 kV Dubovac**

Rijetko se događa da izbije požar na elektroenergetskom postrojenju, ali kada dođe do određene vrste nesreće na takvom postrojenju, to predstavlja veliku opasnost za vatrogasce kod intervencije. Kad dođe do nastanka ozljede kao posljedice djelovanja električne struje smrtni ishod je gotovo siguran. Pripadnici vatrogasnih postrojbi su posebno osposobljeni za svakodnevno susretanje s opasnostima od električne struje, što se posebno odnosi na intervencije na transformatorskim stanicama.

Znatne klimatske promjene, krize društva, ali i opći razvoja društva rezultirali su sve većom potrošnjom električne energije što posljedično povećava razinu opasnosti od nastanka požara i eksplozija na električnim postrojenjima, instalacijama i opremi. Požari i eksplozije na takvim postrojenjima, instalacijama te opremi uglavnom nastaju zbog dotrajalosti uređaja i opreme, opterećenja, grmljavinskih i drugih vremenskih nepogoda, aktivnosti raznih glodavaca i slično. Svaka vatrogasna postrojba prije obavljanja intervencije primjenjuje posebna pravila propisana protokolom za sigurnost i zdravlje interventnog osoblja, pa se obvezno svako energetska postrojenje, električni vodovi i instalacije stavljaju u beznaponsko stanje.

Pri obavljanju vatrogasnih intervencija gašenja požara na trafostanicama izgledne su opasnosti od toka struje koja prelazi na okolnu zemlju na mjestu kontakta (napon koraka), a naelektrizirane čestice dima postaju električno vodljive zbog uporabe mlaza sredstava

za gašenje oko postrojenja pod naponom. Sudionici gašenja požara također su izloženi i mehaničkim opasnostima, ponajprije od porculanskih krhotina dijelova mjernog transformatora, te od mogućnosti pada u energetske kanal i slično, no mehaničke su opasnosti manje vjerojatne.

Vatrogasne intervencije na električnom postrojenju predstavljaju znatan rizik za vatrogasce zbog velike mogućnosti od nastanka smrtnog slučaja. Do početka intervencije na električnim postrojenjima i instalacijama ne smije doći bez nadzora stručne osobe postrojenja koja ima zadaću uputiti voditelja intervencije u pravila, tehničke mjere i mjere opreza kako bi se intervencija odvijala na posve siguran način.

U pogonskim uvjetima može doći do iznenadnih pojava koje rezultiraju isparavanjima i razvijanjem zapaljivih produkata koji sa zrakom mogu stvoriti eksplozivnu smjesu. Kvarovi na TS 110/10/10 kV Dubovac uglavnom se događaju kao i kod drugih trafostanica na transformatorima, a mogu se pojaviti na svim njegovim dijelovima te dovesti do nastanka požara.

Najučestaliji kvarovi koji uzrokuju požarne opasnosti na TS 110/10/10 kV Dubovac su na:

1. regulacijskoj sklopki energetskog transformatora,
2. električna energija,
3. kvar izolacije (neadekvatna i neispravna izolacija, proboj izolacije i kratki spojevi u namotu koji uzrokuju uništavanje probijene izolacije),
4. kvarovi na konstrukciji, materijalu i održavanju (neučvršćeni i labavi vodiči, loši spojevi na zaštiti transformatora, loše brtvljenje kotla, neispravna izolacija jezgre, pogrešno dimenzionirana zaštita od kratkog spoja).

Ovi uzroci najčešće dovode do nastanka požara i eksplozije na transformatoru te trafostanici, pri čemu štete mogu biti značajne. Glavni izvor požarne opasnosti na TS 110/10/10 kV Dubovac predstavlja kvar na regulacijskoj sklopki energetskog transformatora, što je i očekivano s obzirom na njezinu namjenu. Regulacijska sklopka ovisno o trenutnim zahtjevima kupaca električne energije ili poremećajima u

elektroenergetskom sustavu, „zadržava“ napon unutar njegovih zakonski propisanih vrijednosti.

Sljedeći najčešći izvor požarne opasnosti na TS 110/10/10 kV Dubovac je električna energija na svim naponskim razinama od 0,4 kV do 10 kV izmjeničnog, odnosno 48V do 220V istosmjernog napona [2]. Opasnosti od električne energije predstavljaju opasnosti od nastanka električnog luka do kojeg može doći na dva temeljna načina:

1. u „statičnom“ stanju pogona – posljedica pojave iskrenja ili zagrijavanja na lošim kontaktima, zagrijavanja zbog preopterećenja, slabljenja izolacije i slično,
2. u „dinamičkom“ pogonu - u slučaju manipulacije sklopnim aparatima pri čemu sklopni i atmosferski prenaponi mogu uzrokovati električni luk, a posebno je opasno kad električni luk uzrokuje zapaljenje kabela 10 kV pri čemu se požar prenosi u kabelske kanale te može onemogućiti rad transformatorske stanice.

Moguća je eksplozija kotla transformatora nakon pojave električnog luka, a ovakve okolnosti mogu izazvati katastrofalne posljedice kao što su razvijanje dima i otrovnih para, zagađenje tla, sekundarne posljedice i ugrožavanje ljudskih života. Požari također nastaju kao posljedica toplinskog utjecaja električnog luka na okolinu na mjestu nastanka, bilo na transformatoru ili u rasklopnom postrojenju [2]. Dodatnu opasnost predstavlja moguće istjecanje zbog popuštanja tijela kotla (dotrajnost zavarenih spojeva, hrđa) ili zbog lošeg održavanja i brtvljenja poklopca kotla transformatora ili mjesta montaže izolatora na poklopac kotla pa u slučaju upotrebe alata koji iskri u blizini takvog transformatora može doći do požara.

Na TS 110/10/10 kV Dubovac požarnu opasnost predstavljaju kvarovi na niskonaponskim instalacijama ili istosmjernim uređajima. Takav se požar ne mora nužno proširiti, ali onesposobljavanje takvih uređaja može posljedično dovesti do gubitka strujne zaštite transformatora, odnosno do pojave i razvoja unutarnjih kvarova, koji mogu uzrokovati eksploziju kotla transformatora uz zapaljenje ulja čime dolazi do izrazito snažnog požara. U vanjskom dijelu TS 110/10/10 kV Dubovac osim transformatora nalazi se spomenuto 110 kV rasklopno postrojenje i izolatori koji predstavljaju potencijalnu opasnost zbog

mogućeg puknuća. Puknućem izolatora nastaju projektili koji mogu oštetiti pogon ili ugroziti imovinu te život i zdravlje stanovnika zgrada u neposrednoj blizini.

Kako svaki transformator sadrži određenu vrstu ulja, ta ulja ponekad mogu biti također izvor zapaljenja. Tekući dielektrici, poznatiji kao izolacijske tekućine pripadaju u skupinu elektroizolacijskih materijala čija je zadaća proizvodnja, prijenos, distribucija i industrijska primjena električne energije unutar električnih uređaja. Prednost je dobra sposobnost protoka u širokom temperaturnom području, dobro odvođenje topline i elektroizolacijska svojstva.

U transformatorima se koristi ulje koje služi kao izolator između namota transformatora te namota i kotla i ima zadaću odvođenja topline sa vodiča i jezgre transformatora preko hladnjaka koji su kod energetskih transformatora dodatno hlađeni ventilatorima, u okolnu atmosferu. Karakteristične temperature transformatorskog ulja su:

1. temperatura plamišta ( $146^{\circ}\text{C}$ ) iznad koje transformatorsko ulje ima dovoljno para koje se mogu zapaliti te nastaviti gorjeti,
2. temperatura samopaljenja ( $270^{\circ}\text{C}$ ) pri čemu se transformatorsko ulje spontano pali zbog prekomjernog pregrijavanja, bez pojave i djelovanja nekog izvana nastalog ili dovedenog uzročnika paljenja (npr. električnog luka) te uz prisustvo kisika iz zraka dolazi do požara.

U TS 110/10/10 kV Dubovac ugrađeni su energetski transformatori koji sadrže mineralno ulje. Temperatura plamišta ovog ulja je  $146^{\circ}\text{C}$ , a temperatura samopaljenja je  $270^{\circ}\text{C}$  [1]. Preporuke za gašenje zapaljenog mineralnog ulja su uporaba praha,  $\text{CO}_2$  ili pjene [1]. U TS 110/10/10 kV Dubovac su ugrađena i dodatna dva transformatora za vlastitu potrošnju od kojih svaki sadrži 250 kg mineralnog ulja. U cilju sprečavanja zagrijavanja transformatorskog ulja na temperaturu plamišta ( $146^{\circ}\text{C}$ ) ili temperaturu samopaljenja ( $270^{\circ}\text{C}$ ), zaštita transformatora treba proraditi u što kraćem vremenu, za predvidive struje kratkog spoja, čime se sprečava nastanak požara [3].

Postizanjem temperature plamišta ulja ( $146^{\circ}\text{C}$ ) u transformatoru se stvaraju uvjeti za nastanak požara, pod uvjetom da ulje dođe u dodir sa zrakom (odvajanje poklopca kotla ili izbacivanje provodnog izolatora) i vanjskim izvorom energije pripaljivanja njegovih para

[3]. Unutar vremena djelovanja zaštite, tlakovi u kotlu nisu bitno povećani zbog oslobođene energije kratkog spoja, pa bi konstrukcija kotla transformatora trebala izdržati dostignute tlakove, pogotovo što će se dio ovog tlaka rasteretiti u konzervatoru transformatora i na odušnom ventilu [3]. Ako dođe do požara gašenje nije posebno teško i ne zahtjeva znatna sredstva za gašenje (uglavnom tešku pjenu). Treba sniziti temperaturu ulja ispod temperature plamišta na pojedinim mjestima čime se prekidaju uvjeti za nastavak gorenja transformatorskog ulja. Vrijeme gašenja požara je uglavnom kratko, čak i ako se sa istim započne par minuta nakon nastanka požara.

Kod dostizanja temperature samopaljenja ( $270^{\circ}\text{C}$ ), koja će se pojaviti kod dugog trajanja električnog luka u kotlu transformatora, porast tlaka unutar kotla bit će veći od 3 bara te će doći do velikog oštećenja poklopca i kotla transformatora. Ukoliko dođe do naprijed opisanog događaja, temperatura ulja bit će znatno iznad temperature samopaljenja. Gašenje zagrijane upaljive tekućine bitno otežava pojava izbacivanja zapaljene tekućine iz kotla transformatora te moguće prenošenje požara na druge dijelove postrojenja.

U konkretnom slučaju i nakon prestanka djelovanja električnog luka te eventualnog prekida u gašenju transformatora zbog nedostatka sredstva za gašenje (prah,  $\text{CO}_2$ , pjena ili vodena magla), dolazi do ponovnog zapaljenja ulja u kotlu transformatora koje će nastaviti gorjeti sve dok se ne ugasi odgovarajućom vatrogasnom intervencijom, s dovoljnom količinom sredstva za gašenje požara [3]. Važno je naglasiti kako transformatorsko ulje zapravo ne pripada skupini zapaljivih tekućina jer do zapaljenja ne može doći u redovnom pogonu, ali može kod izvanrednih događaja poput kvara, nestručnog održavanja ili zlonamjernog akta (terorističkog čina).

Mineralno izolacijsko ulje se nalazi u energetske transformatorima, a dobiva se od sirove nafte na način da se destilacijom razdvajaju uljne frakcije prema vrelištu, nakon čega se u frakciji uklanja dio nepotrebnih parafina te se ekstrakcijom otapalima i hidrogenacijom pročišćava ulje kemijski i termički nestabilnih spojeva koje ima izolacijska svojstva te sadrži podjednaki udio parafinskih, naftenskih i aromatskih ugljikovodika. Sadržaj parafinskih i naftenskih ugljikovodika određuje fizikalna svojstva ulja poput viskoznosti, gustoće i sličnih svojstava. Aromatski spojevi utječu na otpornost prema oksidaciji, plinsku čvrstoću i probojnu čvrstoću [3].

Silikonska ulja karakterizira nezapaljivost, termička stabilnost i visoka dielektrična svojstva, a koriste se kod distributivnih transformatora. Mineralna ulja zamijenili su sintetski esteri. To su organski spojevi koje tvore ugljik, vodik i kisik, a nastaju kao produkt reakcije osapunjenja viših alkohola i masnih kiselina. Prednosti su niski tlak para, visoke temperature plamišta, teška zapaljivost. Ester za transformatore je uljna tekućina, bez mirisa, gušća i viskozija od mineralnog ulja, slabije oksidacijske stabilnosti, biološki razgradiv, ekološki prihvatljiv, a rukovanje nije opasno po zdravlje te život ljudi.

#### 4.2. Požarna zaštita na TS 110/10/10 kV Dubovac

Energetski transformatori na TS 110/10/10 kV Dubovac zaštićeni su nadstrujnom zaštitom u tri stupnja, na primarnoj i sekundarnoj strani, autonomnom nadstrujnom zaštitom, diferencijalnom zaštitom te Termo slikom (slika 3), Buchholz relejom (slika 4) te stabilnim sustavom za gašenje požara CO<sub>2</sub>. S aspekta protupožarne i protueksplozijske zaštite najvažniji su Termo slika i Buchholz relej. Termo slika prati iznos temperature u normalnom pogonskom stanju, dok druga reagira na brzo podizanje ulja u kotlu transformatora uslijed kvara i predstavlja zadnju liniju obrane od požara i eksplozija [9].



Slika 3. Termo slika na TS 110/10/10 kV Dubovac [4]

U TS 110/10/10 kV Dubovac ugrađena je numerička termo slika „TTP 2000“. To je



digitalni uređaj namijenjen za termičku zaštitu energetskih transformatora. Uloga termo slike je da u kontinuitetu prati iznose struje i temperature ulja transformatora te na temelju tih parametara izračunava temperaturu vruće točke namota transformatora te uključuje ventilatore, aktivira alarme, isključuje transformator [4].

Buchholz relej na transformatoru TS 110/10/10 kV Dubovac ima ugrađen konzervator koji služi kao prostor za redovno pogonsko „disanje“ transformatorskog ulja koje nastaje zbog promjene volumena ulja uvjetovanog njegovim zagrijavanjem i hlađenjem. Relej ima funkciju signalizacije (alarmiranja) te isključenja transformatora iz pogona (blokada). Do alarmiranja dolazi uslijed porasta volumena plinova u gornjem dijelu kućišta releja tijekom vremena, koji se zatim stvaraju u kotlu transformatora i na putu prema konzervatoru budu zarobljeni u kućištu releja. Plinovi nastaju kao posljedica vrtložnih struja, parcijalnog izbijanja i lokalnog pregrijavanja [4].



Slika 4. Buchholz relej na TS 110/10/10 kV Dubovac [4]

Do blokade rada transformatora može doći uslijed gubitka ulja u transformatoru ili u konzervatoru koji je najviša točka transformatora u kojoj se nalazi ulje te uslijed naglog protoka ulja od kotla prema konzervatoru ( $>1,2\text{m/s}$ ) koji je uzrokovan kvarom, a ne pogonskog disanja ulja [4]. Konstrukcijsko rješenje čine dva plovka koji ovisno o položaju i naravi uzroka aktiviraju alarm ili blokadu. Kad nastanu plinovi u ulju oni ostaju zarobljeni u tijelu releja, pa se potiskuje ulje iz releja pri čemu plovak dolazi u donji položaj te proradi, a ako dođe do naglog pada razine ulja, ulje se spušta i plovak opet proradi.

#### 4.2.1. Stabilni sustav za gašenje požara CO<sub>2</sub> na TS 110/10/10 kV Dubovac

Kao sustav zaštite od požara na TS 110/10/10 kV Dubovac koristi se također i zaštita ugljičnim dioksidom (CO<sub>2</sub>). To je ujedno najstariji te najučestaliji sustav za gašenje požara na trafostanicama, a koristi efekt gušenja koji podrazumijeva smanjenje količine kisika u zraku, te efekt hlađenja koji podrazumijeva oduzimanje topline isparavanje iz okoline. Ugljični-dioksid je kemijski spoj koji tvore dva atoma kisika kovalentno vezani za atom ugljika. To je plin koje se pod standardnim tlakom i temperaturom nalazi u Zemljinoj atmosferi, u koncentraciji od 0,039% te nastaje kao produkt izgaranja [5]. Primjena mu se najviše očituje kod aparata i stabilnih sustava za gašenje požara, a posebno se često upotrebljava za gašenje požara na električnim instalacijama te požare zapaljivih tekućina. Kako je vrlo suh, rijetko se upotrebljava za gašenje velikih požara.

Za gašenje požara pomoću stabilnih uređaja kakav se koristi u TS 110/10/10 kV Dubovac upotrebljava se tehnički ugljik-dioksid. To je plin bez boje i mirisa, električki nevodljiv, gustoće 1,5 puta veća od zraka, a skladišti se u tekućoj fazi u čeličnim bocama ili u rezervoarima pod tlakom [5]. Volumni udjel ugljik-dioksida koji se primjenjuje u procesu gašenja požara može ugušiti čovjeka. Maksimalno dopušteni udjel na radnome mjestu iznosi 0,5%, što tijekom radnog vremena od 8 sati 5 dana u tjednu ne djeluje štetno na zdravlje [5]. Ugljik-dioksid je otrovan u većim koncentracijama.

Vrste sustava za gašenje požara ugljičnim dioksidom su:

1. visokotlačni sustav za gašenje požara ugljičnim dioksidom,
2. niskotlačni sustav za gašenje požara ugljičnim dioksidom [5].

Na TS 110/10/10 kV Dubovac koristi se visokotlačni sustav za gašenje požara ugljičnim dioksidom koji je prikladan za potpunu zaštitu požarom ugroženog prostora te djelomičnu zaštitu u širokom rasponu. Potpuna zaštita podrazumijeva zaštitu prostora ograđenog od susjednih prostorija zidovima i vratima otpornim prema požaru zasićivanjem ugljičnim dioksidom, a vrata za evakuaciju se automatski zatvaraju u trenutku kada se otvore ventili za ispuštanje ugljičnog dioksida, iako se mogu ručno otvoriti. Zbroj površina otvora koji

se ne mogu zatvarati a u donjoj su polovici visine šticenog prostora, izražen u metrima kvadratnim, smije iznositi najviše 3% veličine prostora [5].

Kada se aktiviraju stabilni uređaji isključuje se prisilno strujanje zraka, pa se otvori požarnog sektora automatski zatvaraju. Otvori koji se ne mogu zatvoriti u donjoj polovici visine požarnog sektora površine do 6 m<sup>2</sup>, štite se mlaznicama ugljičnog dioksida. Djelomična zaštita podrazumijeva zaštitu predmeta te prostora, a primjenjuje se u slučajevima kada se unaprijed mogu odrediti mjesta i veličine požarišta, a uspješna je na procesnim postrojenjima, uljnim transformatorima, spremnicima i slično. Oko šticenog predmeta se odvoji prostor u krugu od 5 m te se tu ne smije naći tvar koja može prenijeti požar. Kod djelomične zaštite istjecanje ugljičnog dioksida traje do 30 sekundi. Ako ispušteni ugljični dioksid prelazi 5% ukupnog obujma prostorije, treba ugraditi uređaj za usporeno izlaženje [5].

Dijelovi sustava za gašenje požara ugljičnim dioksidom na TS 110/10/10 kV Dubovac su:

1. spremnici ugljičnog dioksida,
2. stanica ventila,
3. cjevovod za ugljični dioksid,
4. uređaj za vremensku odgodu ispuštanja ugljičnog dioksida,
5. mlaznice za raspršivanje ugljičnog dioksida,
6. dojavljivači požara,
7. vatrodojavna centrala,
8. svjetlosna signalizacija požara,
9. zvučna signalizacija požara,
10. uređaj za ručno aktiviranje gašenja [1].

U visokotlačnom sustavu kakav se koristi na TS 110/10/10 kV Dubovac stanica ugljičnog dioksida se sastoji od čeličnih boca u kojima je uskladišten ugljični dioksid, pneumatskih i mehaničkih ventila za boce, elektromehaničkog okidača, vodilice utega s mikro sklopkom i blokatorom, utega, poluge mehanizma za aktiviranje, okvira baterije sa zaštitnom mrežom i kutije za ručno aktiviranje. Boce od čelika se izrađuju prema

tehničkim propisima za izradu i upotrebu plinova u tekućem stanju koji su skladišteni pod tlakom. Punjenje boca u visokotlačnom sustavu kreće se od 30 do 50 kg.

Svaka se boca sastoji od izlaznog ventila kojim se može rukovati zasebno ili s ostalim ventilima skupno. Zadaća ventila je da osiguraju izlaza ugljičnog dioksida u sabirnu cijev stanice ugljičnog dioksida, odnosno u kolektor. Svaka boca ima sigurnosni ventil i uređaj za kontrolu punjenja. Kada se u slučaju kontrole pokaže smanjenje količine ugljičnog dioksida preko 10%, boce se tada dopunjuju. Ventili imaju pneumatsku kapu, a kod aktiviranja klip se sustavom poluge potiskuje u donji položaj, što omogućava da ugljični dioksid izađe iz boce kroz priključak sabirne cijevi. Stanica ugljičnog dioksida može biti oformljena kroz jedan ili dva reda boca, iako nije isključiva ni konstrukcija sa nekoliko redova boca. Baterija boca smješta se u poseban prostor u kojem se temperatura kreće od -10 do 40°C [5].

Vrste detektora požara na TS 110/10/10 kV Dubovac su:

1. detektori plamena:

- infracrveni – bilježe infracrveni spektar u plamenu koji je različite frekvencije od nekih drugih izvora topline (npr. Sunce),
- ultraljubičasti – rade na principu kao i infracrveni, no bilježe ultraljubičasti spektar plamena.

2. termički detektor:

- termomaksimalni – bilježe prekoračenje određene temperature, ukoliko je temperatura za 15-35°C veća od okoline, rade na načelu bimetala koji na namještenoj temperaturi zatvori ili otvori strujni krug te šalje obavijest vatrodonoj centrali.

Izvedeni sustav za dojavu požara na TS 110/10/10 kV Dubovac je analogni adresabilni (Apollo XP95 protokol). TS 110/10/10 kV Dubovac je daljinski upravljana iz Dispečerskog centra Elektre Karlovac gdje se nalaze dispečeri koji nadziru transformatorsku stanicu 24 sata na dan, 7 dana u tjednu. U TS 110/10/10 kV Dubovac nema dispečera. Tehnički prostori trafostanice se nadziru automatskim i ručnim javljačima požara.

Sustav se sastoji od:

1. analognih adresabilnih automatskih dojavljivača požara,
2. unutarnjih i vanjskih dojavljivača požara,
3. unutarnjih i vanjskih zvučnih sirena,
4. modula za rukovanje,
5. modula za nadzor,
6. konvencionalnog linijskog dojavljivača,
7. centrale za dojavu požara s pričuvnim izvorom napajanja.

Vatrodjavna centrala je glavni dio cjelokupnog vatrodjavnog sustava te obrađuje i prosljeđuje signale unutar vatrodjavnog sustava koji nastaju kao posljedica stanja i reakcije sustava na uzbune koje su nastale na TS 110/10/10 kV Dubovac. Centrala ima zadaću pratiti periferne elemente vatrodjavnog sustava, stanja, događaje i voditi brigu o funkcioniranju vatrodjavnog sustava. Vatrodjavna centrala obuhvaća područje posebnog požarnog sektora te je zaštićena od utjecaja vanjskog okruženja.

Funkcije vatrodjavne centrale na TS 110/10/10 kV Dubovac su:

1. prijem i prosljeđivanje obavijesti o nastanku požara (vatrogasna postrojba i slično),
2. provjera ispravnosti javljača požara, dojavnih linija, linija alarmnog sustava, te linija pričuvnog izvora napajanja,
3. prikaz i bilježenje stanja vatrodjave (pogon, smetnja, alarm),
4. aktiviranje sustava alarma te stabilnih sustava za gašenje požara.

Vatrodjavna centrala na TS 110/10/10 kV Dubovac je smještena u prizemlju objekta. Ručni javljači požara se nalaze na evakuacijskim putovima, a prema boji i obliku im je jasna namjena. Montiraju se na visinama od 1,5 m od poda i pokriveni su sigurnosnom rasvjetom. Po potrebi se putem centrale može isključiti ili izolirati pojedini dojavljivač što se prikazuje trajnim žutim svjetlom te je vidljiva točna adresa dojavljivača. U slučaju alarma se aktiviraju sve sirene. Za zaštitu sjevernog tunela ugrađena su 2 ručna dojavljivača na krajevima tunela te dva nadzorna modula čija je zadaća spajanje termokabela.

U slučaju signala požara sa automatskih javljača na sustavu vatrodjave daje se nalog preko pet adresabilnih upravljačkih jedinica za isključivanje sustava ventilacije sa pripadajućim žaluzinama prema slijedećem popisu:

1. adresabilni modul 1/22-EKV-8,
2. adresabilni modul 1/57-EKV-1,
3. adresabilni modul 1/58-EKV-2,
4. adresabilni modul 1/59-EKV-3,
5. adresabilni modul 1/60-EKV-6,
6. adresabilni modul 1/61-EKV-7 [5].

Sustav za dojavu požara na TS 110/10/10 kV Dubovac sastoji se od:

1. centralnog uređaja,
2. analogno adresabilnih optičkih javljača,
3. adresabilnih upravljačkih jedinica,
4. konvencionalnih sirena s bljeskalicom,
5. prijenosnih puteva (kabela koji povezuju elemente sustava).

Syncro AS je inteligentna centrala koja se koristi za dojavu požara na TS 110/10/10 kV Dubovac, a temelji se na mikroprocesorskoj tehnologiji. Centrala funkcionira na principu industrijskih protokola, konkretno, Apollo XP95 protokola putem kojeg svaka petlja podržava do 126 adresa. Fleksibilnost se održava posredstvom skupa perifernih uređaja i softverskih alata. Tipkovnica za unos podataka je zaštićena lozinkom, a svi se podaci spremaju u trajnu memoriju gdje su pohranjeni i u slučaju nestanka električne energije. Mikroprocesor pohranjuje dnevnik događaja, a svi alarmi, kvarovi, dijagnostika i slično se elektronički pohranjuju za buduću uporabu.

Zadaća lokalnog (daljinskog) pisara je trenutni ispis alarma ili kvarova. Početna instalacija radi putem *autoclean funkcije* koja automatski prepoznaje sve uređaje u petlji javljača ili perifernoj petlji skraćujući vrijeme instalacije. Off-line alat za konfiguraciju omogućuje lakše unošenje tekstualnih podataka i programiranje. Konfiguracija se može spremirati čime se olakšava unos podataka. Napredne mogućnosti omogućuju kompletno

arhiviranje događaja i virtualno sučelje centrale kojim se može putem računala upravljati centralom. Centralni uređaj za zaštitu od požara koji se nalazi na TS 110/10/10 kV Dubovac podržava do 252 javljača i modula raspoređenih u dvije petlje.

U stubištu TS 110/10/10 kV Dubovac je montirana centrala sustava za odimljavanje koja ima rezervno baterijsko napajanje. U slučaju detekcije požara na sustavu vatrodjave, daje se nalog za otvaranje prozora za odimljavanje koji se nalazi na vrhu stubišta. Na prvom katu trafostanice ispred ulaza u stanicu ugljičnog dioksida, montirana je centrala Oldham MX15 čija je zadaća detekcija ugljičnog dioksida.

Sustav plinodetekcije na TS 110/10/10 kV Dubovac sastoji se od:

1. centralnog uređaja,
2. detektora plina,
3. alarmnih panela,
4. komunikacijskog ormara koji prosljeđuje signal,
5. prijenosnih puteva [5].

Električne instalacije povezuju sve elemente sustava za dojavu požara u cjelinu. Vodovi sustava za dojavu požara odabrani su, položeni, učvršćeni i označeni prema odredbama norme HRN DIN VDE te HRN EN 54-2. U slučaju požara uključuje se lokalna svjetlosna i zvučna signalizacija na centralni sustav za dojavu požara. Slijedi provjera istinitosti alarma od strane posade distribucijskog centra HEP-a. Ako posada na terenu ustanovi da sama može ugasiti požar, pristupa se gašenju te se ne alarmira sustav, već se resetira. Ako je alarm lažan, resetira se cijeli sustav.

Sastavni dio sustava za dojavu požara čine:

1. plan sustava za dojavu požara,
2. plan uzbunjivanja,
3. knjiga održavanja,
4. upute za rukovanje i održavanje.

Organizacija uzbune se sastoji od javljača požara, internog alarma koji aktiviraju opću unutrašnju i vanjsku uzbunu te šalje dojavu službama pomoći. Za zaštitu transformatora na TS 110/10/10 kV Dubovac izvedena je visokotlačna stabilna instalacija za gašenje požara sa ugljičnim dioksidom, a na ulazu je postavljen znak opreza i obavijesti o blokiranju zaštite ugljičnog dioksida prije ulaska u trafokomoru. Boce punjene CO<sub>2</sub> spojene u tzv. baterije, a prvo se aktivira tzv. *pilot boca*. Sustav se može aktivirati ručno, pneumatski ili preko vatrodjave. Predalarm upozorava boce na evakuaciju jer će u roku od 30 sekundi nakon alarmiranja počinje istjecati ugljični dioksid. Ukupna količina ugljičnog dioksida za gašenje na TS 110/10/10 kV Dubovac je smještena u 34 čelične boce od kojih svaka ima volumen od 67 litara, promjer Ø 267 mm te svaka teži 50 kg [5]. Baterija sa bocama je smještena u stanici ugljičnog dioksida. Baterije sa bocama ugljičnog dioksida se dijele na dvije dvoredne baterije (16+18 boca) koje se istovremeno aktiviraju u slučaju da dođe do požara.

Boce su napunjene s ugljičnim dioksidom, a u stanici su smještena dva razdjelna ventila. Svaki transformator ima zasebni ventil koji se otvara pri nastanku požara. Razdjelni ventil tvore dva kompleta pneumatskih cilindara *Argus DN50/PN315*. Pilot boca sadrži 4 kg ugljičnog dioksida, a sigurnosni ventil sačinjava jedan komplet. Kontrolor protoka ima dva kompleta sa dvije krajnje sklopke smještene iza razdjelnog ventila. Sabirni cjevovod od baterija do razdjelnih ventila čini jedan komplet, dok se cjevovod DN65 sa pripadajućim prirubničkim spojevima testira pri tlaku od 190 bara.

Uređaj za aktiviranje baterija ugljičnog dioksida čini mehanizam sa polugom i utegom koji se aktivira plinom i pilot boca, a pokreće se putem mehaničkog timera. Kad se aktivira uređaj povlači polugu i aktivira boce u prvom redu baterije, a zatim plin iz sabirne cijevi aktivira drugi red baterija, a potom treći i četvrti red. Cijeli prostor štiti ukupno 18 mlaznica, po svaka mlaznica za jedan transformator. Plin se distribuira kada 1/3 količine dođe na 1/3 visine prostora koji se štiti [5].

Protupožarni uređaj tvore dva dijela, elektro dio te strojarski dio. Elektro dio ima zadaću da dojavljuje požar te upravlja radom uređaja, dok strojarski dio ima zadaću gašenja



požara iz baterija boca, armatura i cjevovoda s mlaznicama. Punjenje boce ugljičnog dioksida se kontrolira preko vage, a ako gubitak iznosi više od 10% vaga reagira svjetlosnim i zvučnim signalom na centrali. Protupožarni uređaj se može aktivirati automatski, poluautomatski i ručno.

Prilikom aktiviranja instalacija ugljičnog dioksida može doći do opasnosti od gušenja osoba koje su se zatekle u području gašenja, a da bi se to spriječilo, treba u slučaju požara kod automatskog i poluautomatskog aktiviranja na zvuk alarmne sirene napustiti štićeni prostor ili pritisnuti tipku *stop* kako bi se spriječio izlaz ugljičnog dioksida. Tipkalo se otpusti kad se prostor evakuira. Kod ručnog nužno je provjeriti da li je štićeni prostor evakuiran, a tek nakon provjere aktivirati odgovarajući razdjelni ventil te bateriju ugljičnog dioksida.

Elektro dio sustava za gašenje požara ugljičnim dioksidom sastoji se od:

1. centrale za gašenje,
2. visoko temperaturnog termičkog javljača požara,
3. signaliziranog stanja sustava na zonskim signalizatorima,
4. svjetlosnog i zvučnog signaliziranja kvarova i alarma požara,
5. iniciranja započinjanja gašenja [5].

Centralni uređaj se nalazi u metalnom kućištu, a jedinica za ručnu aktivaciju u plastičnom kućištu. Kućište centralnog uređaja sa prednje strane ima panel sa tipkovnicom za upravljanje centralom i vizualnim prikazom stanja sustava preko monitora. Centrala može prihvatiti 4 zone automatskih dojavljivača kojima se aktivira gašenje. Centrala ima potrošnju u normalno stanju 90 mA, a u alarmnom 200 mA [5]. Dvije baterije od 7Ah su dovoljne za 30 sati rada sustava u slučaju nestanka struje i 1 sat rada alarma [5]. Centrala bez baterije teži 4.85 kg [5].

Sustav za gašenje požara napaja se iz glavnog te pričuvnog izvora. Centralni uređaj može raditi automatskim te poluautomatskim radom, a može imati i tipke za uključenje i isključenje gašenja. Alarmni sustav se temelji na svjetlosno - zvučnoj signalizaciji, a isto

funkcionira u dnevnom te noćnom režimu. Kod prvog stupnja alarma uključuje se sirena s bljeskalicom te se prosljeđuje signalizacija na mjesto 24 satnog dežurstva (Distribucijski centar HEP-a), a zatim odgovorna osoba odlazi u provjeru alarmiranog prostora. Ako je alarm istinit, odgovorna osoba odlučuje kojim će priručnim sredstvima ugasiti požar. Ako požar uspješno ugasi, ne mora aktivirati požarnu uzbunu te proces gašenja. Ako se požar ne može ugasiti priručnim sredstvima, odgovorna osoba mora aktivirati poluautomatsko ili ručno gašenje požara. Pri aktivaciji drugog stupnja oglašavaju se sirene s bljeskalicom unutar te izvan štice prostora te počinje odbrojavanje vremena do ispuštanja ugljičnog dioksida u svrhu gašenja. Postoji tipka za zaustavljanje vremena do ispuštanja ugljičnog dioksida, a pri otpustu tipke, počinje novo odbrojavanje od 60 sekundi. Nakon gašenja prostor se mora obvezno ventilirati.

#### **4.2.1.1. Zakonska regulativa održavanja sustava za gašenje požara CO<sub>2</sub>**

Zakon o zaštiti od požara propisuje ispravnost sustava za dojavu i gašenje požara, a isti se sustav mora redovito periodički provjeravati, najmanje jednom godišnje. Za provjeru sustava je ovlaštena pravna osoba koja periodičku provjeru sustava vrši prema tehničkim normama i uputama proizvođača. Ispitivanje sustava je nužno kako isti ne bi u slučaju nastanka požara zakazao, te bi time bila beznačajna njegova funkcija. Provjera ispravnosti sustava za gašenje požara sastoji se od sljedećih koraka:

1. pregleda odobrene projektne dokumentacije,
2. usporedbe preglednog stanja u odnosu prema projektnoj dokumentaciji,
3. pregleda isprava o uporabljivosti pojedinih elemenata i ispitivanja propisanih prema posebnim propisima,
4. provjere stanja sredstva sustava i ispravnosti rada pojedinih elemenata sustava,
5. provjere ispravnosti međuodnosa elemenata sustava,
6. provjere ispravnosti glavnog i pomoćnih izvora napajanja,
7. provjere ispravnosti rada dijelova sustava koji su u međuvezi sa drugim sustavima,

8. provjere operacija aktiviranja sustava,
9. provjere pokazatelja te signalizacije stanja sustava,
10. mjerenja radnih karakteristika sustava,
11. provjere ručnog i automatskog aktiviranja sustava simuliranjem stvarnog događaja,
12. provjere ispravnosti funkcionalnosti cijelog sustava,
13. drugih ispitivanja i provjera nužnih za utvrđivanje ispravnosti sustava [5].

Provjera ispravnosti sustava za gašenje požara ugljičnim dioksidom prema Pravilniku o provjeri ispravnosti stabilnih sustava zaštite od požara (Narodne novine br. 44/12) sastoji se od svih prethodno pobrojanih elemenata provjere ispravnosti sustava za gašenje požara te:

1. pregleda isprava o kakvoći elemenata prema odredbama Pravilnika i isprava o tlačnoj probi dijelova sustava za koji su propisane tlačne probe,
2. provjere redoslijeda otvaranja razvodnih ventila i ventila na bocama,
3. provjere ručnog aktiviranja, rada alarma i mjerenja jačine zvučnog signala,
4. provjere mogućnosti blokade aktiviranja i blokade signalizacije,
5. mjerenja zateznog vremena i provjere signalizacije na dojavnoj centrali,
6. provjere pokazatelja kvara i električnog napajanja,
7. provjere ispravnosti rada zaštitnih uređaja i instalacija za sprečavanje nastajanja i širenja požara i eksplozija,
8. provjere količine ugljičnog dioksida,
9. mjerenja vremena trajanja ispuštanja ugljičnog dioksida,
10. simuliranja primjene ispuštanja ugljičnog dioksida,
11. ispitivanja savitljive spojne cijevi između spremnika ugljičnog dioksida i cjevovoda,
12. drugih ispitivanja nužnih za utvrđivanje ispravnosti [5].

S ciljem dobivanja pozitivnog izvješća o ispravnosti rada sustava za gašenje požara ugljičnim dioksidom na TS 110/10/10 kV Dubovac, za ispitivanje se koriste:

1. uređaji za aktiviranje dojavljivača požara,
2. univerzalni mjerni instrument (napajanje električnom energijom),

3. uređaj za mjerenje kapaciteta akumulatorske baterije,
4. sredstvo veze (2 komada),
5. zaporni sat,
6. mjerna traka,
7. zvukomjer (0-120 dB),
8. higrometar,
9. manometri,
10. uređaj za određivanje nagiba cjevovoda,
11. komplet za izmjeru protoka,
12. komplet standardnog alata,
13. vaga propisane točnosti,
14. reduktor pritiska ispitnog plina,
15. adapter za mjernu glavu s pripadajućim cijevima,
16. druga nužna oprema za utvrđivanje ispravnosti rada sustava [5].

O obavljenoj provjeri ispravnosti sustava sastavlja se zapisnik o ispitivanju koji sadrži:

1. evidencijski broj, datum zapisnika i naziv pravne osobe koja je obavila ispitivanje,
2. broj ovlaštenja Ministarstva na temelju kojeg se obavlja ispitivanje,
3. ime, prezime, stupanj obrazovanja i struka osoba koje su obavile ispitivanje,
4. datum obavljenog ispitivanja,
5. broj, nadnevak i naziv izrađivača projektne dokumentacije,
6. broj, nadnevak i naziv akta kojim je odobrena projektna dokumentacija sustava,
7. naziv i opis ispitanog sustava,
8. primijenjene propise ispitivanja,
9. podatke o uporabljenoj opremi i mjernim instrumentima kojima je vršeno ispitivanje,
10. opis i rezultate ispitivanja,
11. odstupanja od odobrene projektne dokumentacije s ocjenom utjecaja odstupanja na funkcionalnost sustava i izjavama glavnog te pomoćnih projekatana,
12. ocjenu ispravnosti sustava,
13. ostala zapažanja i napomene,

14. potpis osoba koje su provele ispitivanje,
15. potpis odgovorne osobe vlasnika ili korisnika sustava,
16. ovjeru pečatom i potpisom odgovorne pravne osobe koja je provela ispitivanje [5].

Zapisnik prema kojem ispitani sustav nije zadovoljio potrebne norme pravna osoba koja je provela ispitivanje sustava dužna je dostaviti nadležnom inspektoratu unutarnjih poslova policijske uprave u roku od 7 dana od dana provedenog ispitivanja. Prvo ispitivanje sustava vrše pravne osobe ovlaštene koje imaju dozvolu od strane Ministarstva unutarnjih poslova za obavljanje pregleda ispravnosti sustava, a koje nisu vlasnici ni korisnici sustava. Periodično ispitivanje provode pravne osobe koje imaju dozvolu od Ministarstva unutarnjih poslova za obavljanje pregleda ispravnosti stabilnih sustava za gašenje požara, a iznimno ispitivanje smije obaviti i pravna osoba koja je proizvođač, uvoznik, vlasnik ili korisnik sustava, ali uz ishod dozvole za takvo ispitivanje od strane Ministarstva vanjskih poslova.

## **5. VATROGASNA INTERVENCIJA GAŠENJA POŽARA NA TS 110/10/10 kV Dubovac**

Radi se o dva požara koji su izbili na TS 110/10/10 kV Dubovac u razdoblju od 2012. do 2022. godine. Prvi je požar na TS 110/10/10 kV Dubovac uzrokovan kvarom koji je nastao na induktivno mjernom transformatoru napona od 110 kV. Povećanje unutarnjeg tlaka u naponskom mjernom transformatoru rezultiralo je puknućem, pa je kao posljedica izgaranja ulja u transformatoru nastao požar manjeg obima.

Drugi požar nastao TS 110/10/10 kV Dubovac uzrokovan je također kvarom na induktivno mjernom transformatoru napona 110 kV uslijed čega je došlo do puknuća transformatora te zapaljenja istoga, odnosno eksplozije pri čemu se požar koji je nastao proširio na energetske kabele u energetskom kanalu. Iako se radi o požarima na istom dijelu TS 110/10/10 kV Dubovac. Javna profesionalna vatrogasna postrojba grada Karlovca intervenirala je na oba požarišta, ali na dva različita načina.

U prvom slučaju je Javna profesionalna vatrogasna postrojba grada Karlovca djelovala na temelju procjene postojanja rizika opasnosti za vatrogasce. U slučaju pristupanja gašenju požara, zbog nemogućnosti dovođenja elektroenergetskog postrojenja u beznaponsko stanje, dio energetskog postrojenja bio bi izgubljen te nije postojala mogućnost proširenja požara na ostale dijelove energetskog postrojenja. Slika 5 prikazuje požarište na visokonaponskom postrojenju TS 110/10/10 kV Dubovac. Vatrogasna postrojba je poštivala odredbe sigurnosne udaljenosti od 5,5 m u odnosu na dijelove postrojenja pod naponom.

Kod drugog opisanog požara u kojem je intervenirala Javna profesionalna vatrogasna postrojba grada Karlovca postojao je veliki rizik i opasnost ugroze zdravlja te života pripadnika vatrogasne postrojbe jer se kao posljedica nastale eksplozije požar proširio na ostale dijelove energetskog postrojenja što je u konačnici moglo rezultirati ispadom TS 110/10/10 kV Dubovac iz energetskog sustava Republike Hrvatske. U procesu gašenja energetskog postrojenja prihvaćen je postojeći rizik od strane pripadnika vatrogasnih

postrojbi. Tijekom procesa gašenja strogo poštivana su pravila i mjere vezane uz radnu disciplinu te sva interna pravila pri radu na elektroenergetskim postrojenjima, konkretno trafostanicama, a u skladu s odredbama zakona te podzakonskih propisa koji vrijede na području Republike Hrvatske.



Slika 5. Požarište na visokonaponskom postrojenju TS 110/10710 kV Dubovac [7]

Operativni vatrogasni centar Javne profesionalne vatrogasne postrojbe grada Karlovca dobio je dojavu djelatnika Distribucijskog centra HEP-a, koji 24 sata na dan, 7 dana u tjednu vrše nadzor nad TS 110/10/10 kV Dubovac, da je došlo do zapaljenja ulja u transformatoru te eksplozije u transformatoru. U skladu s Planom uzbunjivanja i izlaska na intervencije Javne profesionalne postrojbe grada Karlovca na intervenciju su uputili:

1. zapovjedno vozilo (sa zapovjednikom smjene),
2. navalno-kombinirano vozilo (posadu čine voditelj smjene, vozač i dvije skupine po dva člana),
3. vatrogasna cisterna (posadu čine vozač i jedna skupina od dva člana),
4. kemijsko vozilo (sa vozačem).

Sve potrebne informacije o nastalom požaru dane su od strane Operativnog vatrogasnog centra, a zatim je dežurni operativni smjene kontaktirao posadu Distribucijskog centra HEP-a koja je dala povratnu informaciju kako je požar stavljen pod nadzor te da nije potrebna vatrogasna intervencija. S obzirom da je TS 110/10/10 kV Dubovac objekt od

posebnog interesa za Grad Karlovac te Karlovačku županiju, požarište je detaljno pregledano, posebice zbog gustog crnog dima koji je uočen za vrijeme kretanja prema mjestu intervencije, što je upućivalo na požar ugljikovodika, odnosno na izgaranje proliivenog ulja iz transformatora.

Dolaskom na mjesto intervencije posada Distribucijskog centra HEP-a podnosi izvještaj prema odredbama Plana zaštite od požara i tehnološke eksplozije na postrojenju TS 110/10/10 kV Dubovac na temelju čega se donosi odluka kako vatrogasna postrojba ne smije samostalno ući u TS 110/10/10 kV Dubovac zbog požarnih opasnosti, konkretno zbog opasnosti od mogućnosti udara električne struje. Vatrogasna postrojba smije pristupiti požarištu po dolasku odgovorne osobe (dežurnog *uklopničara*) koja koordinira gašenjem požara te daje pripadnicima vatrogasne postrojbe upute o mjestu s kojeg je najbolje pristupiti gašenju požara s kojeg se mjesta požar može gasiti. Prije pristupanja gašenju požara mjesto požara je isključeno iz energetskeg napajanja, pa je cijelo područje ugroženo požarom ostalo bez napona [7].

Dolaskom odgovorne osobe te pristupanjem pripadnika vatrogasne postrojbe požarištu utvrđeno je kako je došlo do eksplozije i požara na mjernom transformatoru napona 110 kV. Došlo je do ubrzanog širenja požara u kanal sa brojnim energetskeim kabelima različitih presjeka i napona. Ti su energetskei kabeli spojeni na relejne kućice i rasprostranjeni duž cijelog energetskeg postrojenja TS 110/10/10 kV Dubovac.

Zapovjedni centar obavještava odgovornu osobu koja koordinira gašenjem požara kako je dio energetskeg postrojenja gdje je požar nastao automatski isključen sustavom tehničke zaštite, te da je taj dio postrojenja bez napona. Zbog značaja postrojenja TS 110/10/10 kV Dubovac za Grad Karlovac te Karlovačku županiju bilo je nemoguće cijelo područje TS 110/10/10 kV Dubovac dovesti u beznaponsko stanje. Gašenje požara izvedeno je sa posebnom pozornošću na dio postrojenja koji je još uvijek pod naponom, uz primjenu svih propisanih mjera zaštite pri radu s električnom energijom. Gašenju požara pristupilo se primjenom suhog praha kategorije ABC na mjerni transformator i relejni ormarić na stupu mjernog transformatora, a zatim su podignuti betonski poklopci



kanala kako bi se pristupilo energetskim kabelima zahvaćenima požarom. Za gašenje požara na energetskim kabelima se također primijenio suhi prah kategorije ABC.

Nakon što se požar uspješno lokalizirao, ubrzo se ponovno razbuktio jer gašenje požara suhim prahom kategorije ABC ipak nije bilo u dovoljnoj mjeri učinkovito, pa se pristupilo pregledu kanala s energetskim kabelima. Pregledom istog je uočena tekućina nepoznatog sadržaja. Pripadnici vatrogasne postrojbe Grada Karlovca pretpostavili su da se radi o tekućini koja je dijelom voda, a dijelom transformatorsko ulje proliveno uslijed eksplozije mjernog transformatora. Odlučeno je da se kao sredstvo za gašenje požara upotrijebi pjena *Foam-pro* u ekspanziji 200. Slika 6 prikazuje gašenje požara energetskih kabela na TS 110/10/10 kV Dubovac pjenom.



Slika 6. Gašenje požara energetskih kabela na TS 110/10/10 kV Dubovac pjenom [7]

Uspješna lokalizacija razbuktalog požara objavljena je u 11.10 sati, a požar je u potpunosti ugašen u 12.30 sati. U procesu požara kao sredstvo gašenja je upotrijebljena:

1. voda 1000 l,
2. pjena *Foam-pro* u ekspanziji 200,
3. prah kategorije ABC (80 kg).

Trošak vatrogasne intervencije je ukupno iznosio 12.450,50 kn, a nije uključio servis sustava za prah na kemijskom vozilu Javne vatrogasne postrojbe Karlovac.

## **6. OPASNOSTI, ŠTETNOSTI I NAPORI KOJIMA SU IZLOŽENI VATROGASCI**

U procesu gašenja požara na energetskom postrojenju TS 110/10/10 kV Dubovac pripadnicima Javne vatrogasne postrojbe Grada Karlovca koji su sudjelovali u gašenju požara najviše je prijetila opasnost od udara električne struje kroz mogućnost stvaranja električnog luka. Ta se opasnost izbjegla poštivanjem sigurnosnih propisa te poštivanjem propisanog sigurnosnog razmaka koji su pripadnici vatrogasnih postrojbi kontinuirano održavali tijekom cijelog procesa gašenja požara. Vatrogasna se intervencija odvijala u zoni približavanja (II. zona), odnosno u području oko zone rada pod naponom. Pripadnici vatrogasne postrojbe su intervenciju izveli uz prisutnost stručne osobe posebnom osposobljene za sigurnost pri radu. Stručna osoba je koordinirala proces gašenja požara primjenom obveznih sigurnosnih mjera kako bi se potencijalna opasnosti od udara električne struje svela na najmanju moguću mjeru. Poštivanjem pravila te propisanih protokola sigurnosti te zdravlja i zaštite na radu spriječen je ulazak u zonu rada pod naponom (III. zona) te su se očuvali ljudski životi što je pridonijelo brzom lokalizaciji te u konačnici uspješnom gašenju požara.

Pri obavljanju vatrogasnih intervencija poput gašenja požara na TS 110/10/10 kV Dubovac također može biti prisutna i opasnost od toka struje koja se zatim prenosi okolnom zemljom na mjestu kontakta (napon koraka), a prisutna je i opasnost od direktnog dodira postrojenja pod naponom, zatim od pada dijela postrojenja na električne vodljive materijale i dijelova opreme na požarištu, kao i opasnost od električno vodljivih naelektriziranih čestica dima. Manjim su dijelom pripadnici Javne vatrogasne postrojbe Grada Karlovca tijekom gašenja požara bili izloženi mehaničkim opasnostima, ponajprije su to bile opasnost od udara porculanskih krhotina od kojih je sačinjen mjerni transformator te opasnost od mogućnosti pada u energetski kanal i slično.

Pripadnici Javne vatrogasne postrojbe Grada Karlovca su tijekom gašenja požara također bili izloženi djelovanjima štetnosti od opasnih radnih tvari jer se prilikom eksplozije mjernog transformatora prolijevalo transformatorsko ulje pri čemu su postojale opasnosti

od nadražaja očiju i kože, te udisanja uljnih para nastalih pri povišenim temperaturama, što može uzrokovati nadražaj dišnih organa. Opasnost koja je istima još prijetila tijekom gašenja požara bila je opasnost djelovanja štetnosti SF<sub>6</sub> koji u električnom luku može razviti visoko toksični plin poznat pod nazivom 2-sumpor-10-fluor S<sub>2</sub>F<sub>10</sub> [8]. Tijekom gašenja požara pripadnici Javne vatrogasne postrojbe Grada Karlovca su također bili izloženi opasnostima od zračenja ispod pojedinih elemenata u TS 110/10/10 kV Dubovac. Određeni elementi TS 110/10/10 Dubovac emitiraju jakost električnog i magnetskih polja u vrijednostima pogubnim po zdravlje pripadnika vatrogasnih postrojbi koje gase požar.

## 7. ZAKLJUČAK

Požari i eksplozije u energetske postrojenjima tipa TS 110/10/10 kV Dubovac su rijetkost, a najčešći razlog tome je dobro organizirana preventiva kroz pravilno rukovanje i skladištenje na najvišoj razini sigurnosti. Ukoliko se na određenom energetske postrojenju ipak dogodi požar ili eksplozija, važan je pravilan postupak vatrogasne postrojbe te unaprijed osmišljen precizno te detaljno razrađen plan zajedničkog djelovanja s ciljem da se mogućnost ugroza po ljudsko zdravlje i život te šteta na materijalnim dobrima svede na najmanju moguću mjeru. Da bi se navedeno realiziralo, treba interventno osoblje pravovremeno te detaljno upoznati sa svim potencijalnim opasnostima vezanim za požar te postupcima za adekvatno gašenje istoga.

Kako bi se brzo i efikasno lokalizirao te ugasio bilo koji požar, a posebice požar na energetske postrojenjima tipa TS 110/10/10 kV Dubovac nužna je kvalitetna priprema. Važno je da se pravovremeno predvide sve moguće situacije kako bi svim sudionicima gašenja požara u svakom trenutku na raspolaganju bile dovoljne količine sredstva za gašenje. Kad su ispunjeni svi potrebni uvjeti može se započeti sa procesom gašenja požara, u protivnom dolazi do potencijalne ugroze zdravlja te života gasitelja požara kao i gubitka sredstva za gašenje, što se može izbjeći.

Intervencije na električnom postrojenju poput TS 110/10/10 kV Dubovac predstavljaju visoku opasnost te rizik za pripadnike vatrogasnih postrojbi jer postoji velika mogućnost od nastanka smrtnog slučaja. Važno je prije pristupanja bilo kojoj intervenciji na električnim postrojenjima i instalacijama da se ne započinje s intervencijom bez prisutnosti te nadzora stručne osobe postrojenja koja upućuje voditelja vatrogasne intervencije na pravila, tehničke mjere i mjere opreza koje je nužno primijeniti kako bi se vatrogasna intervencija provela na posve siguran način.

Postrojba treba izraditi Standardni operativni postupak u slučaju interveniranja na energetske postrojenjima od trenutka dojava pa do njezinog završetka, te utvrditi obveze pojedinih sudionika u intervenciji. Planom osposobljavanja radnika i provođenja poduke

u Javnoj vatrogasnoj postrojbi grada Karlovca treba provesti osposobljavanje voditelja vatrogasne intervencije i svih pripadnika vatrogasnih postrojbi za sigurno gašenje požara na energetske postrojenjima, a nužno je povremeno stručno posjećivati energetska postrojenja u svrhu edukacije te upoznavanja sa svim specifičnostima takvih postrojenja.

Kako se TS 110/10/10 kV Dubovac nalazi na specifičnom geoprometnom položaju na teritoriju Republike Hrvatske, u određenim se slučajevima može ukazati potreba za alternativnim pristupom kod gašenja požara. Nužno je stoga sa Javnom vatrogasnom postrojbom Grada Karlovca razraditi mogućnosti gašenja izvan kruga spomenute TS 110/10/10 kV Dubovac, koristeći pokretne vatrogasne ljestve gašenje požara na transformatorima preko pogonske zgrade.

Nužno je također osmisliti i provoditi češće vatrogasnu vježbu gašenja požara na trafostanicama u suradnji sa HEP-om, Državnom upravom za zaštitu i spašavanje, MUP-om te svim drugim zainteresiranim stranama. Važno je uvrstiti službe HEP-e (Odjel za vođenje pogona) u rad županijskih žurnih službi te detaljno upoznati pripadnike Javne vatrogasne postrojbe i Županijskog vatrogasnog zapovjednika sa Dijagramom toka zahtjeva za isključenjem električne energije te u suradnji s Odjelom za upravljanje doraditi isti ukoliko je potrebno.

## LITERATURA

- [1] Ivančić Z., Kirin S.: *Izvori požarne opasnosti*, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2010.
- [2] Karlović V.: *Procesi gorenja i gašenja*, Hrvatska vatrogasna zajednica, Zagreb, 2010.
- [3] Šmejkal, Z.: *Uređaji, oprema i sredstva za gašenje i zaštitu od požara*, Zagreb, 1991.
- [4] Jelić, M.; Mikulić, S.: *Proračun kratkog spoja u prijenosnoj mreži Hrvatske za nazivnu 2020. godinu*, Institut za elektroprivredu i energetiku d.d., Zagreb, 2010.
- [5] Pocrnić, A.: *Zaštita od požara trafostanica ugljičnim dioksidom*, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2021.
- [6] Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom (Narodne novine br. 88/12)
- [7] Ivković, G.: *Iskustva vatrogasaca prilikom gašenja požara na visokonaponskom postrojenju*, Sigurnost, Vol. 57, No. 3, 2015., str. 249-254.
- [8] Mihalić, D., Župan, T., Trkulja, B., Štih, Ž.: *Proračuni i mjerenja elektroenergetskih pola u transformatorskim stanicama gornjeg nazivnog napona 110 kV*, Savjetovanje HRO CIGRE, Cavtat, 2011.

## **PRILOZI**

### **Popis slika**

Slika 1. Tetraedar procesa gorenja .....	6
Slika 2. Stupna trafostanica.....	15
Slika 3. Termo slika na TS 110/10/10 kV Dubovac .....	22
Slika 4. Buchholz relej na tS 110/10/10 kV Dubovac .....	23
Slika 5. Požarište na visokonaponskom postrojenju TS 110/10710 kV Dubovac.....	37
Slika 6. Gašenje požara energetskih kabela na TS 110/10/10 kV Dubovac pjenom.	39