

# ZAŠTITA OD POŽARA NAFTNIH PLATFORMI

---

Svetić, Jurica

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:128:451489>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-11**



**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

Jurica Svetić

# **ZAŠTITA OD POŽARA NAFTNIH PLATFORMI**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Jurica Svetić

# **FIRE PROTECTION OF OIL RINGS**

Final paper

Karlovac, 2022.

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

Jurica Svetić

# **ZAŠTITA OD POŽARA NAFTNIH PLATFORMI**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

mr. sc. Todorovski Đorđi, dipl. ing.

Karlovac, 2022.



**VELEUČILIŠTE  
U KARLOVCU**  
Karlovac University  
of Applied Sciences

## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

**KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**

Trg J. J. Strossmayera 9

HR-47000, Karlovac, Croatia

Tel. +385/(0)47-843-510

Fax. +385/(0)47-843-579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni studij: SIGURNOST I ZAŠTITA

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2021.

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Jurica Svetić

Matični broj: 0416617007

Naslov: Požari u industriji na primjeru naftnih platformi

Opis zadatka:

- Općenito o gorenju i gašenju požara klase B
- Pojmovno određenje nafte i naftnih derivata
- Opis izvora požarnih opasnosti u naftnoj industriji s posebnim osvrtom na izvore požarnih opasnosti naftnih platformi
- Analiza primjera opasnih požara u naftnoj industriji u svijetu
- Opis vatrogasne intervencije gašenja požara na odabranoj naftnoj platformi

Zadatak zadan:

8/2020

Rok predaje rada:

12/2021

Predviđeni datum obrane:

03/2022

Mentor:

mr. sc. Đorđi Todorovski, dipl. Ing.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

dr. sc. Zvonimir Matusinović, dipl. ing.

## PREDGOVOR

Pri pisanju ovoga rada veliku stručnu pomoć pružio mi je mentor mr. sc. Đorđi Todorovski, dipl. ing., svojim korisnim savjetima i velikim znanjem te mu ovim putem zahvaljujem na pruženoj pomoći, a posebice na smirenosti i strpljenju kojima mi je uvelike olakšao rad.

Također bih zahvalio svim profesorima na prenesenom znanju i predanom radu.

Veliku zahvalnost dugujem svojoj firmi INA-i, koja je iskazala povjerenje poslavši me na školovanje te financiravši isto.

Naposlijetku, zahvaljujem svojim roditeljima na neizmjerne podršci i ljubavi.

Jurica Svetić

## SAŽETAK

U ovome radu kao primjer požara u industriji odabrana je naftna industrija, s posebnim naglaskom na naftnim platformama i njihovoj sigurnosti. Novi propisi obvezuju poslodavca da provede procjenu opasnosti od požara te da posljedično uspostave mjere kontrole kako bi se spriječio gubitak života. Propisi koji reguliraju opasnost od požara u industriji osmišljeni su tako da obuhvaćaju točno ono što se traži od poslodavaca. Protokoli su napisani jednostavnim jezikom i obuhvaćaju osnove pravilnog upravljanja protupožarnom zaštitom. Nakon upoznavanja s opasnostima od požara u industriji, svaki poslodavac, stručnjak za sigurnost ili službenik za zaštitu od požara trebao bi moći uspostaviti sustav za provođenje procjene rizika od požara.

**Ključne riječi:** *požar, prevencija, naftna industrija, sigurnost na radu*

## SUMMARY

The topic of this paper is industrial fire in oil industry, with special emphasis on oil platforms and their safety. The new regulations oblige the employer to conduct a fire risk assessment and consequently establish control measures to prevent loss of life. Regulations governing fire hazards in industry are designed to cover precisely what employers are required to do. The protocols are written in simple language and cover the basics of proper fire protection management. Once familiar with the fire hazards in the industry, every employer, safety expert, or fire protection officer should be able to set up a system to conduct a fire risk assessment.

**Keywords:** *industrial fire, prevention, oil industry, safety at work*

SADRŽAJ	
ZAVRŠNI ZADATAK.....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	III
SADRŽAJ.....	IV
1. UVOD .....	1
1.1. Predmet rada .....	1
1.2. Cilj rada .....	1
1.3. Metodologija rada.....	1
2. POJMOVNO ODREĐENJE NAFTE.....	2
2.1. Definicija nafte i naftnih proizvoda.....	2
2.2. Vrste nafte.....	3
2.3. Naftna industrija .....	4
2.4. Naftne rezerve.....	6
3. OPĆE ZNAČAJKE POŽARA U INDUSTRIJI .....	8
3.1. Pojmovni aspekti požara .....	8
3.2. Požari klase B .....	11
3.2.1. Gorenje požara klase B .....	12
3.2.2. Sredstva za gašenje požara klase B.....	14
Pjena .....	14
Suhi prah .....	15
Ugljični dioksid.....	15
3.3. Glavni uzroci industrijskih požara i eksplozija .....	15
3.3.1. Zapaljiva prašina kao uzrok industrijskog požara .....	16
3.3.2. Rad na visokim temperaturama.....	17
3.3.3. Zapaljive tekućine i plinovi .....	18
3.3.4. Neispravna oprema i strojevi kao uzročnici industrijskih požara. ...	18
3.3.5. Električne opasnosti.....	20
4. ANALIZA ODABRANIH PRIMJERA POŽARNIH SITUACIJA U NAFTNOJ INDUSTRIJI.....	21
4.1. Vrste i učestalosti požara na naftnim bušotinama u vremenskoj perspektivi.....	21



4.2.	Pojave povezane s požarom na podmorskim platformama.....	22
4.2.1.	Zapaljena lokva na otvorenim platformama .....	22
4.2.2.	Mlazni plamen na obalnim platformama .....	23
4.2.3.	Požari VCE i <i>flash</i> .....	24
4.2.4.	BLEVE .....	26
4.3.	Mjere ublažavanja .....	27
4.3.1.	Ključne performanse sustava za natapanje vodom .....	27
4.3.2.	Zapaljena lokva s ugljikovodicima.....	28
4.3.3.	Kontrola mlaznog plamena .....	28
4.3.4.	Količine vode .....	28
4.4.	Nesreće na obalnim platformama .....	29
4.4.1.	Piper Alpha .....	29
4.4.2.	Upravljanje promjenama (problemi s dizajnom) .....	33
4.4.3.	Osobna sigurnost iznad sigurnosti procesa.....	33
4.4.4.	Dozvola za rad i izolacija za potrebe održavanja .....	34
4.4.5.	Primopredaja.....	35
4.4.6.	Međupovezanost.....	36
4.4.7.	Hitno reagiranje - evakuacija.....	37
5.	ZAKLJUČAK.....	39
6.	LITERATURA .....	40
7.	PRILOZI.....	42
7.1	Popis slika.....	42
7.2	Popis korištenih kratica (simbola).....	42

# 1. UVOD

## 1.1. Predmet rada

Prva nesreća koja je svijetu zaista otvorila oči po pitanju opasnosti u naftnoj industriji bila je nesreća na naftnoj platformi Piper Alpha 1988. godine.

Naftne platforme prepune su lakozapaljivih tvari, od sirove nafte i prirodnog plina, preko bunara za helikopterska goriva do dizela. Ako se pohranjeni ugljikovodici iz nekog razloga oslobode, vrlo brzo može doći do izvora paljenja koji može izazvati golem požar ili eksploziju.

Zbog uskladištenoga goriva postoji mogućnost dolaska do lančane reakcije te više malih požara, koji zajedno mogu izazvati totalni kolaps platforme. Nasreću, to se ne događa baš često, a najgori je slučaj svakako spomenuta nesreća na Piper Alphi.

U radu se prikazuju mogući razmjeri požara u naftnoj industriji te je opisan i analiziran događaj na naftnoj platformi Piper Alpha kako bi se doprinijelo razumijevanju ove teme te spriječili ljudski gubitci u budućnosti.

## 1.2. Cilj rada

Cilj je rada objasniti osnovne značajke požara i specifičnosti požara naftne industrije, kao i iznijeti prediktore rizika za požare u naftnoj industriji, s posebnim osvrtom na rizike u slučaju naftnih platformi.

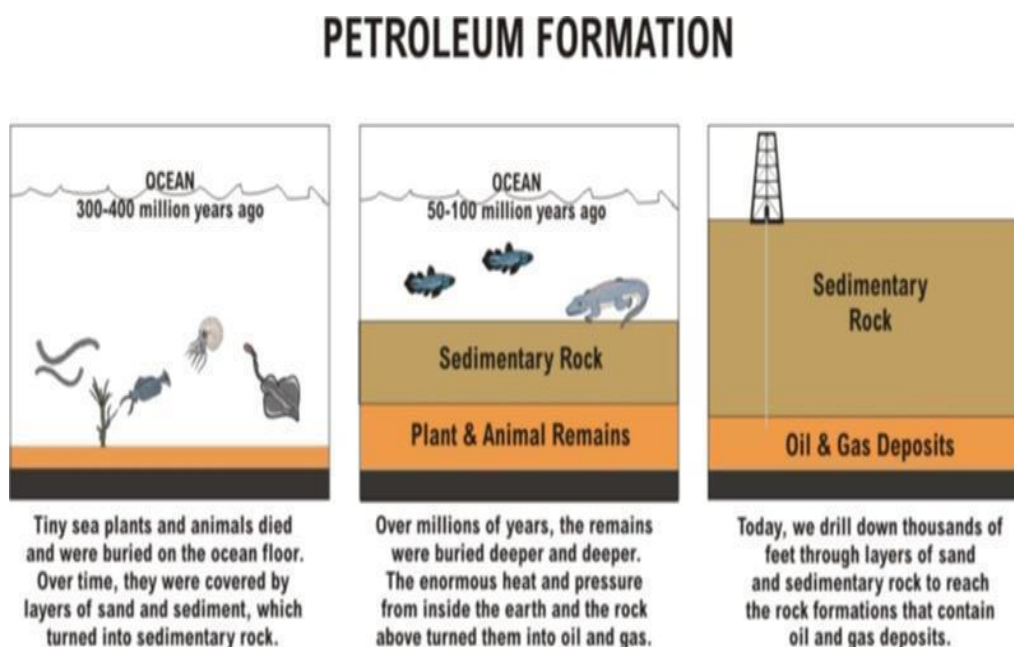
Budući da protupožarna strategija u industriji počiva na poštivanju protokola temeljenih na prethodnim situacijama, od iznimne je važnosti upoznati se s povećanim incidencijama rizika, mogućnostima sprječavanja rizika te postupcima koje valja poduzeti u slučaju dolaska do požara.

## 2. POJMOVNO ODREĐENJE NAFTE

### 2.1. Definicija nafte i naftnih proizvoda

Nafta i naftni proizvodi neki su od najviše proučavanih i istraživanih oblika energije u svjetskom gospodarstvu. Nafta dolazi u mnogo različitih oblika, iako je to ponekad teško iščitati iz brojnih dnevnih listova koje sve oblike nafte nazivaju gorivom [1].

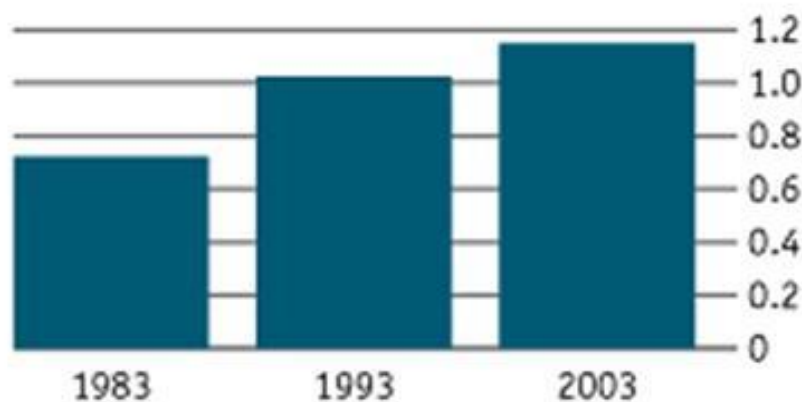
Sirova nafta jest nafta koja je izvađena iz zemlje te još nije rafinirana u iskoristiv oblik. Ta sirova nafta, koju se kolokvijalno naziva naftom, formirana je prije mnogo milijuna godina od ostataka flore i faune koje su nastanjivale oceane. Smatra se da je većina ovih organizama bila jednostanična i da su njihovi ostatci poslije smrti pali na dno oceana. Nakon što su ih prekrili pijesak i blato, stvorilo se bogat organski sloj (slika 1). Taj se proces ponavljao godinama, zbog čega su se slojevi razvili u sedimentne stijene. Pojačani pritisak i toplina nastala zbog težine slojeva s vremenom su uzrokovali pretvorbu organskih ostataka u sirovu naftu i prirodni plin.



Slika 1. Proces formiranja sirove nafte [2]

Nafta se vadi iz zemlje kroz bušotine koje idu duboko u Zemljinu koru do mjesta gdje je nafta pronađena [2].

Iako se tehnike vađenja nafte neprestano unaprjeđuju razvojem novih tehnologija, u posljednjih sto godina još su uvijek prisutne značajne neefikasnosti u tom procesu. Koristeći se najnovijim tehnologijama, prosječna stopa oporavka nalazišta porasla je s 20 % na 45 %. U razdoblju od 1983. do 2003. primjećuje se rast dokazanih rezervi od gotovo 60 % (slika 2.) [3].



Slika 2. Dokazane svjetske rezerve sirove nafte, u milijunima barela [3]

Ovaj rast efikasnosti uvelike je povećao svjetsku ponudu naftnih proizvoda, iako još ima mnogo mjesta za napredak, što je uočljivo i na primjeru Meksičkog zaljeva, gdje se dogodila jedna od najvećih ekoloških katastrofa na svijetu.

## 2.2. Vrste nafte

Kvaliteta sirove nafte može se procijeniti na nekoliko načina, a izuzetno je važno odrediti načine na koje se nafta može koristiti. Ovisno o razini sumpora, sirova nafta može se klasificirati kao slatka (nizak udio sumpora) ili kisela (viši udio sumpora). Lakoća kojom nafta teče tijekom procesa vađenja upućuje na to je li nafta teška (teče sporije) ili lagana (teče glatko). Budući da su teška i kisela nafta

grublji oblici, teže ih je obraditi i rafinirati. Posljedično, laganija i slađa nafta općenito su poželjnije te se koriste za proizvodnju benzinskih i dizelskih goriva za vozila. Dizelsko i benzinsko gorivo najviše se razlikuju po svojoj gustoći. Dizel ne zahtijeva istu količinu rafiniranja kao benzin, što znači da ga je moguće jeftinije proizvesti. Veća gustoća omogućuje dizelskim gorivima oslobađanje više energije nakon što se zapale, što ih čini efikasnijima. Ipak, ova gustoća uzrokuje povećanu emisiju sumpora i stakleničkih plinova koji su štetni za okoliš.

Dizelsko gorivo sve se više koristi u Europi, gdje postoje rigorozniji emisijski standardi i velikodušni porezni poticaji koji su potaknuli razvoj čistih i efikasnijih dizelskih motora. Većina američkih putničkih vozila koristi se benzinom, iako se zadnjih godina primjećuje lagani pomak prema najnovijim dizelskim motorima sa značajno poboljšanim performansama [4].

### **2.3. Naftna industrija**

Globalna naftna industrija uključuje procese istraživanja, vađenja, rafiniranja, transporta i marketinga naftnih proizvoda. Proizvodi najvećega volumena naftne industrije jesu mlazno gorivo i benzin. Sirova nafta također je sirovina za mnoge kemijske proizvode kao što su lijekovi, gnojiva, pesticidi i plastika. Naftna industrija uglavnom se dijeli na tri glavne komponente: gornji tok (engl. *upstream*), srednji tok (engl. *midstream*) i donji tok (engl. *downstream*) [5].

Nafta je bitna za mnoge industrije. Veoma je važna za održavanje industrijske civilizacije na sadašnjoj razini, a upravo to je čini strateškim interesom mnogih država. Nafta čini velik postotak svjetske potrošnje energije, u rasponu od niskih 32 % u Europi i Aziji sve do 53 % na Bliskom istoku. Ostale geografske regije imaju sljedeće obrasce potrošnje: Južna i Srednja Amerika konzumiraju 44 %, Afrika 41 % te sjeverna Amerika 40 %. Cijeli svijet godišnje potroši 30 milijardi barela nafte, a razvijene zemlje daleko su najveći potrošači. Naime, SAD je potrošio 25 % nafte proizvedene 2007. godine [5].

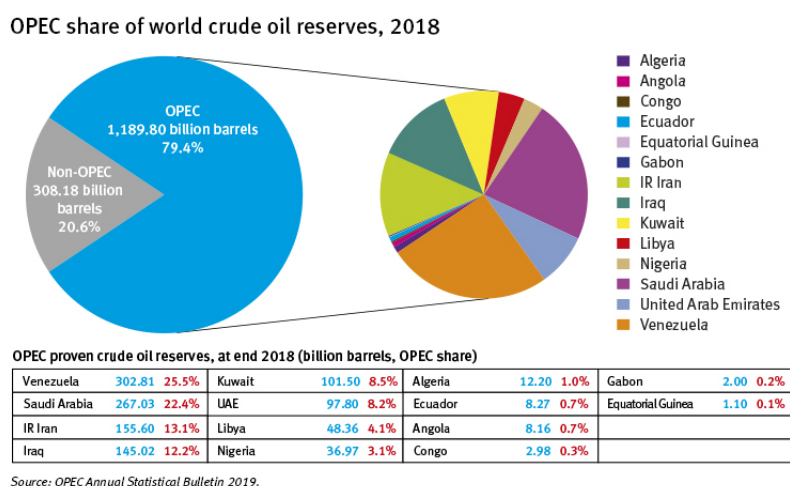
Naftna industrija dijeli se na pet sektora:

- gornji tok (istraživanje, razvoj)
- donji tok (naftni tankeri, rafinerije, maloprodaja i kupci)
- cjevovodi
- morski ogranak
- usluga i opskrbljivanje.

Naftne kompanije nekoć su se prema prodaji dijelile na „supervelike“ (BP, Chevron, ExxonMobil, ConocoPhillips, Shell, Eni i Total S.A.), „velike“ i „međuzavisne“. U posljednje vrijeme nacionalne naftne kompanije uspostavile su pravo kontrole nad najvećim naftnim zalihama.

## 2.4. Naftne rezerve

Prema podacima OPEC-a početkom 2018. najviše dokazanih naftnih rezervi na svijetu, uključujući nekonvencionalna ležišta nafte, imale su sljedeće države: Venecuela (20 % ukupnih svjetskih rezervi), Saudijska Arabija (18 % ukupnih svjetskih rezervi), Kanada (13 % ukupnih svjetskih rezervi) i Iran (9 % ukupnih svjetskih rezervi). S obzirom na to da se geološka slika pod zemljom ne može direktno proučiti, potrebno je koristiti se indirektnim tehnikama kako bi se procijenila veličina i naplativost naftne bušotine (slika 3) [6].



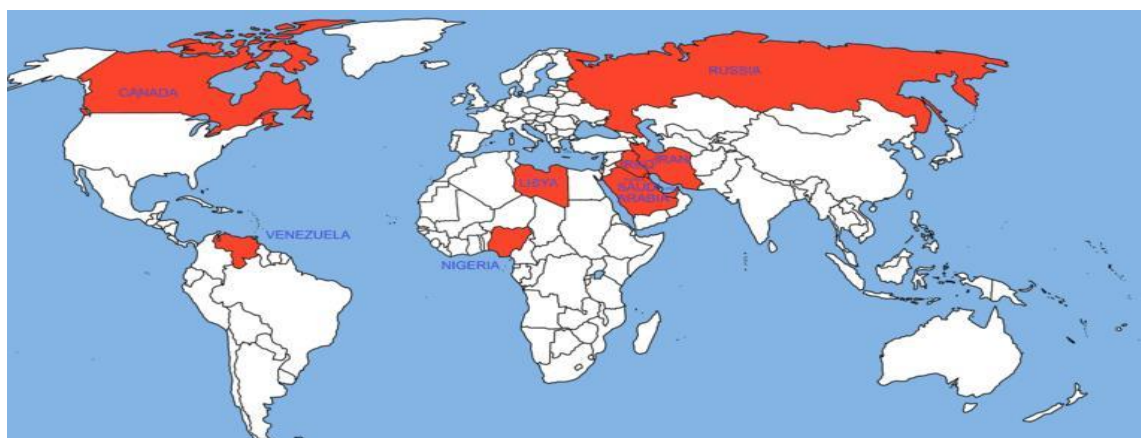
Slika 3. Rezerve sirove nafte u svijetu [6]

Naftne rezerve predstavljaju količinu tehnički i ekonomski iskoristive ili nadoknadive sirove nafte. Rezerve se mogu promatrati sa stajališta samo jedne bušotine, naftnog rezervoara, naftnog polja, pojedine zemlje ili pak cijelog svijeta. Različite klasifikacije rezervi povezane su s razinom sigurnosti o postojanju rezervi u predviđenim količinama. Ukupna procijenjena količina nafte u naftnom rezervoaru, uključujući obradivu i neobradivu naftu, naziva se STOOIP (engl. *stock-tank original oil in place*). Međutim, zbog karakteristika naftnog polja i ograničenja u tehnikama vađenja nafte samo se dio ukupne količine nafte može izvući na površinu te se samo taj obradivi dio smatra rezervom. Omjer obradivih naftnih rezervi i ukupne količine nafte na tom mjestu naziva se faktorom oporavka bušotine (engl. *recovery factor*). Faktori oporavka mnogo variraju po različitim

poljima te se mogu mijenjati kroz vrijeme ovisno o načinu i tehnologiji vađenja nafte, kao i o stanju gospodarstva. Taj faktor također može rasti tijekom vremena ako dođe do novih postignuća u području tehnologije bušenja i vađenja nafte [8].

Mnoge zemlje proizvođači nafte nevoljko otkrivaju ili uopće ne otkrivaju inženjerske podatke naftnih ležišta te umjesto tih podataka daju nerevidirane informacije o svojim naftnim rezervama. Za podatke koje objavljuju vlade pojedinih zemalja često se sumnja da su manipulirane iz političkih razloga [8].

Naftni potencijal pojedinih država i regija prikazan je u nastavku (slika 4).



Slika 4. Države koje imaju najveće rezerve nafte [8]



### 3. OPĆE ZNAČAJKE POŽARA U INDUSTRIJI

Zbog velikih količina različitih zapaljivih materijala požari u industriji mogu imati razornu moć. Njihovo je djelovanje gotovo uvijek nepredvidivo. Posebno su opasni požari na naftnim platformama jer osim što uzrokuju veliku materijalnu štetu, često rezultiraju i ekološkom katastrofom neslućenih razmjera te odnose živote.

#### 3.1. Pojmovni aspekti požara

Požar je „nekontrolirano gorenje koje nanosi materijalnu štetu ili ugrožava ljudske živote“ te se prema tome razlikuje od vatre. S vatrogasnog gledišta, požari se razlikuju po fazama razvoja, po veličini, po mjestu nastanka i po vrsti gorive tvari.

Europska klasifikacija požare prema vrsti gorive tvari svrstava u pet klasa:

- KLASA A: požari čvrstih materijala koji sagorijevaju plamenom i žarom, npr. drvo, papir i slični materijali
- KLASA B: požari zapaljivih tekućina koje se ne miješaju s vodom, npr. derivati nafte, rastvarači, boje, lakovi, masti itd.
- KLASA C: požari gorivih plinova, npr. metan, propan, butan, acetilen itd.
- KLASA D: požari lakih metala, npr. aluminij, magnezij i njihove legure
- KLASA F: požari biljnih i životinjskih ulja i masnoća [9].

Požar se sastoji od tri faze: početna faza, razbuktala faza i faza gašenja požara. Početna faza jest stadij slabog intenziteta gorenja te se u toj fazi požar širi sporo. U razbuktaloj fazi intenzitet gorenja je najveći te je širenje požara u ovoj fazi najbrže. Također, u razbuktaloj fazi dolazi do najvećih temperatura i zahvaćen je sav gorivi materijal. Naposljetku, faza gašenja požara jest stadij u kojem je sve manje gorivog materijala te se požar postupno sam gasi zbog nestajanja gorivog materijala.

Intenzitet požara u svakoj je fazi različit, ali se u konačnici sve svodi na gorenje, odnosno spajanje gorive tvari s oksidansom (kisikom iz zraka) uz pojavu svjetlosti, topline i dima. Brzina razvoja požara ovisi o brojnim čimbenicima te je svaki požar individualan po pitanju brzine širenja i nastanka štete.

Kako bismo razumjeli pojamne aspekte požara, potrebno je upoznati se s pojedinim zakonodavnim pojmovima. U Republici Hrvatskoj referentan je Zakon o zaštiti od požara (NN 92/2010) u čijem članku 2. stoji sljedeće:

Požar je samopodržavajući proces gorenja koji se nekontrolirano širi u prostoru. Gorenje je brza kemijska reakcija neke tvari s oksidansom, najčešće s kisikom iz zraka u kojoj nastaju produkti gorenja te se oslobađa toplina, plamen i svjetlost. Tehnološka eksplozija je naglo širenje plinova uslijed gorenja ili druge kemijske reakcije. Požarni rizik je vjerojatnost nastanka požara u danim procesima ili stanjima. Ugroženost od požara je potencijalna opasnost od požara za zdravlje ili život ljudi i materijalnih dobara. Otpornost na požar je sposobnost dijela građevine da kroz određeno vrijeme ispunjava zahtijevanu nosivost (R) i/ili cjelovitost (E) i/ili toplinsku izolaciju (I) i/ili drugo očekivano svojstvo, kako je propisano normom o ispitivanju otpornosti na požar. Reakcija na požar je doprinos materijala razvoju požara uslijed vlastite razgradnje do koje dolazi izlaganjem tog materijala određenim ispitnim uvjetima. Neposredna opasnost je stanje visokog požarnog rizika, koje može u bliskoj budućnosti dovesti do požara. Evakuacijski put iz građevine je posebno projektiran i izveden put koji vodi od bilo koje točke u građevini do vanjskog prostora ili sigurnog prostora u građevini, čije značajke (otpornost i reakcija na požar, širina, visina, označavanje, protupanična rasvjeta i dr.) omogućuju da osobe zatečene u požaru mogu sigurno (samostalno ili uz pomoć spasitelja) napustiti građevinu [10].

Požar može biti : malen, srednji, velik i katastrofalan. U malom požaru zahvaćena je manja količina gorive tvari. Ako se takav požar pravodobno uoči, može se ugasiti priručnim sredstvima ili ručnim vatrogasnim aparatom. U srednjem požaru gori jedna prostorija neke građevine ili više njih, ili veća količina gorive tvari, a za njegovo je gašenje dostatna manja vatrogasna postrojba s odgovarajućom opremom. U velikom požaru gori krov, tavan, kat ili podrum veće

građevine ili veća količina goriva na otvorenom (veća skladišta, požar razlivena tekućega goriva, veliki poljski i šumski požar itd.). Tu vrstu požara gasi veća vatrogasna postrojba s više opreme. Katastrofalni požar je onaj u kojem gori više građevina ili naselje, ili su njime zahvaćena velika šumska područja, velika skladišta ili postrojenja na otvorenom. Njegovo gašenje zahtijeva sudjelovanje više vatrogasnih postrojba, često uz vojne postrojbe i postrojbe civilne zaštite, pa i mobilizaciju stanovništva. Koordinirano gašenje katastrofalnoga požara može trajati više dana, pa i tjedana. Prema mjestu nastanka „požar može biti unutarnji ili vanjski. Unutarnji požar razvija se u zatvorenom prostoru, u jednoj ili više prostorija unutar građevine, a može se razviti u vanjski požar ako vatra rušenjem, eksplozijom ili na neki drugi način probije pregrade požarnoga sektora. U vanjskom požaru gore vanjski dijelovi objekta ili je to šumski ili poljski požar, požar otvorenih skladišta, prijevoznih sredstava, zapaljivih tekućina na otvorenom i slično [11].

„Spašavanje ljudi iz građevina ugroženih požarom osnovna je i najvažnija zadaća vatrogasnih postrojba. Pritom se uvijek može očekivati pojava otrovnih para i plinova, iznenadno urušavanje građevina, propadanje ljudi kroz nastale otvore, zatrpavanje prolaza, nestanak svjetla, a i velika vrućina, eksplozija opasnih tvari, para lakozapaljivih tekućina, plinova i prašine. Tom se prilikom razvija velika količina topline koja se prenosi na susjedne zapaljive tvari i djeluje na proširenje požara. I dim znatno utječe na stvaranje panike među ugroženim osobama. Pod evakuacijom se razumijeva organizirano izlaženje ljudi iz ugroženih građevina ili ugroženoga područja. Glavni su putovi evakuacije hodnici, glavno stubište, predvorje i glavni izlaz iz građevina na slobodan vanjski prostor, dok su pomoćni putovi sporedno stubište i dizala. Zbog opasnosti od nestanka struje pomoćni se putovi koriste samo iznimno. Izlaz u slučaju opasnosti svaki je put koji vodi iz ugroženih prostorija na sigurno. Prema vrstama gorivih tvari razlikuje se požar u kojem izgaraju čvrste organske tvari, zapaljive tekućine, plinovi i laki metali te požar pod utjecajem ili u prisutnosti električne struje, pa se prema tomu razlikuju i sredstva i način gašenja“ [11].

### 3.2. Požari klase B

Požari klase B jesu požari zapaljivih tekućina. Zapaljive tekućine dijele se prema temperaturi plamišta.

Lakozapaljive tekućine su tekućine čija je temperatura plamišta manja ili jednaka temperaturi od 38 °C. Gorive tekućine su one čija je temperatura plamišta iznad 38 °C. Ove se tekućine prema HRN Z.C0.007 razvrstavaju u sljedeće skupine [12]:

I. Skupina zapaljivih tekućina dijeli se u podskupine:

- A. tekućine čija je temperatura plamišta niža od 23 °C, a vrelište ispod 38 °C
- B. tekućine čija je temperatura plamišta niža od 23 °C, a vrelište iznad 38 °C
- C. tekućine čija je temperatura plamišta od 23 °C do 38 °C.

II. Skupina zapaljivih tekućina jesu tekućine čija je temperatura plamišta od 38 °C do 60 °C.

III. Skupina zapaljivih tekućina dijeli se u podskupine:

- A. tekućine čija je temperatura plamišta od 60 °C do 93 °C
- B. tekućine čija je temperatura plamišta viša od 93 °C, ali ne više od 100 °C.

**Plamište** – najniža temperatura pri kojoj će se iznad površine zapaljive tekućine stvoriti dovoljna količina zapaljivih para koju će se u smjesi sa zrakom moći zapaliti uz prisustvo vanjskog izvora paljenja. Pare prestaju gorjeti čim se otkloni vanjski izvor paljenja.

**Temperatura paljenja** – najniža temperatura na kojoj će neka goriva tvar oslobađati dovoljnu količinu toplinske energije da može nastaviti kontinuirano gorjeti bez daljnjeg prisustva vanjskog izvora paljenja.

**Vrelište** – temperatura pri kojoj tekućine cijelom svojom masom prelaze iz tekućeg u plinovito agregatno stanje. Tlak para tekućine izjednačava se s tlakom okoline.

**Stinište (točka tečenja)** – temperatura na kojoj neka tekućina prestaje teći ako se hladi uz propisane uvjete.

### 3.2.1. Gorenje požara klase B

Prilikom izgaranja zapaljivih tekućina ne gore same tekućine. Kao što je već navedeno, za zapaljenje same tekućine potrebna je minimalno temperatura plamišta. Izgaranje para zapaljivih tekućina popraćeno je pojavom svjetlosti, topline i dima, pri čemu dolazi do isijavanja topline u okolinu te konvekcije topline putem dima.

Da bi došlo do zapaljenja tekućine, potrebno je nekoliko preduvjeta. Prvi je djelovanje dovoljne količine topline na tekućinu da ona počne isparavati (plamište). Ako iznad takve tekućine ima dovoljno oksidansa te takvoj tekućini prinesemo vanjski izvor paljenja, doći će do zapaljenja te do nesmetanog odvijanja lančanih reakcija gorenja. Da bi se kemijski proces gorenja nastavio, tekućina mora biti zagrijana na temperaturu paljenja. Ako nije postignuta temperatura paljenja, uklanjanjem vanjskog izvora paljenja doći će do prestanka kemijske reakcije gorenja.

Prema brzini odvijanja kemijske reakcije, gorenje zapaljivih tekućina možemo podijeliti u dvije skupine:

- a) deflagracija – brzina širenja manja od 340 m/s
- b) detonacija – brzina širenja veća od 340 m/s i pojava udarnog vala velike rušilačke moći.

Iz navedenog je vidljivo da zapravo ne gore same tekućine, već njihove pare, stoga na temelju spomenutih saznanja dolazimo do zaključaka na koje načine možemo gasiti požare klase B.

Gašenje požara klase B možemo podijeliti na četiri načina:

- uklanjanjem gorive tvari
- inhibiranjem – prekidanjem nesmetanog odvijanja kemijske reakcije gorenja
- ugušivanjem – oduzimanjem oksidansa
- ohlađivanjem gorive tvari.

Kada govorimo o požarima u naftnoj industriji, oduzimanje gorive tvari moguće je jedino u slučaju da goriva tvar istječe iz određene posude ili cijevi koja ima mogućnost zatvaranja istjecanja (npr. glavna cijev naftne bušotine). U naftnoj industriji najčešće je riječ o prevelikim količinama zapaljive tekućine, stoga oduzimanje gorive tvari nije moguće ako nemamo stabilne instalacije kojima možemo odraditi potrebno. Prema tome, valja odabrati jednu od preostalih triju metoda.

Prekidanje nesmetanog odvijanja reakcije gorenja moguće je ako sama tekućina nije zagrijana na temperaturi samozapaljenja. Ako pokušamo gasiti tekućinu koja je zagrijana na temperaturi samozapaljenja prekidanjem reakcija (ABC prah), požar ćemo ugaziti samo kratkotrajno. Odmah nakon prestanka djelovanja sredstva za gašenje, požar će se ponovno aktivirati.

Najbolja opcija u slučaju većih požara razlivena tekućine jest oduzimanje oksidansa. Praksa je pokazala da prilikom prekrivanja razlivena tekućine pjenom za gašenje dobivamo najbolje rezultate.

Ohlađivanje gorive tvari u slučaju naftne industrije gotovo da i nije moguća zbog samih svojstava sirove nafte i njezinih produkata. Uz potrebne vrlo niske temperature gotovo je uvijek riječ o ekstremno velikim količinama, stoga je ohlađivanje gotovo nemoguće sprovesti.

### 3.2.2. Sredstva za gašenje požara klase B

**Pjena.** Kao najbolje rješenje i glavno sredstvo za gašenje požara razreda B pokazala se primjena zračne pjene. To je agregat vode, pjenila i zraka u točno određenim omjerima. Pjenilo je koncentrirana otopina sintetskog ili prirodnog porijekla s određenim dodatcima. Svrha pjenila jest dobivanje devet mjehurića pjene. Mjehuriće pjene čini opna od emulzije vode i pjenila unutar koje se nalazi zrak. Iz tog je razloga zračna pjena uvijek lakša od bilo koje zapaljive tekućine, što omogućava zadržavanje sloja pjene na njezinoj površini. Pjenilo se dozira prema uputi proizvođača, najčešće u omjeru 1 – 6 % vol. pomoću raznih vatrogasnih armatura i uređaja: međumiješalica, pumpe pjenila, proporcionatora i sl. Zrak potreban za dobivanje pjene dobiva se na samoj mlaznici, osim kod CAFS-a (sustav za gašenje komprimiranom pjenom). Takav sustav uz pumpu vode i pjenila ima ugrađen i kompresor zraka koji ubacuje zrak pod visokim tlakom u mješavinu vode i pjenila, pri čemu trenutno nastaje komprimirana pjena. Postoji i takozvana kemijska pjena, a razlikuje se od zračne po tome što se za dobivanje mjehurića pjene umjesto zraka koristi ugljični dioksid. Zbog jednostavnosti primjene i razvoja pjenila najčešće se koristi zračna pjena, dok je kemijsku pjenu moguće pronaći u aparatima za početno gašenje požara. U tom slučaju ugljični dioksid služi kao pogonski plin za izbacivanje sadržaja izvan aparata, pri čemu dolazi do miješanja s emulzijom (voda + pjenilo) i stvaranja kemijske pjene [13].

Ovisno o omjeru volumena pjene na volumen otopine, koji se naziva faktorom ekspanzije  $E$ , razlikujemo četiri vrste pjene:

- neaspirirane pjene ( $E = 0-4$ )
- teške pjene ( $E = 5-20$ )
- srednje pjene ( $E = 20-200$ )
- lake pjene ( $E = 200-1500$ )

gdje je:  $\{E = \frac{V_{pjene}}{V_{otopine}}\}$ .

**Suhi prah.** Požari razreda B razvijaju se u obliku plamena, a plamen je po definiciji usijani gorući plin. Za gašenje zapaljivih plinova glavno je sredstvo suhi prah koji prvenstveno djeluje antikatalitički ili inhibirajuće, što znači da sprječava nesmetano odvijanje kemijskih lančanih reakcija u plamenu. Prah za gašenje je po svom sastavu masa fino samljevenih, kemijski inertnih i za zdravlje neškodljivih anorganskih soli s dodatkom aditiva, a izbacuje se iz aparata za gašenje, stabilnih sustava ili sustava za gašenje na kamionima pomoću potisnog plina, najčešće dušika [13].

**Ugljični dioksid.** Inertan plin koji ne gori i ne podržava gorenje, u manjim količinama nije štetan po ljudsko zdravlje te je zbog toga pogodan kao sredstvo za gašenje. Učinak gašenja pomoću CO<sub>2</sub> je ugušujući. Prilikom ispuštanja CO<sub>2</sub> u prostor dolazi do razrjeđivanja zraka i smanjenja koncentracije kisika. Padom koncentracije kisika ispod 15 – 16 % vol. u prostoru većina tvari prestaje gorjeti (osim onih koje u svom sastavu imaju kisik). Ugljični dioksid u stabilnim sustavima za gašenje koristi se za požare razreda B i C u zatvorenim prostorima. Gašenje se može provoditi potpunom ili djelomičnom zaštitom. Potpuna zaštita označava ispuštanje CO<sub>2</sub> u cjelokupan prostor koji se štiti, u koncentracijama potrebnim za gašenje (35 – 75 % vol.). Zasićivanje prostora mora se izvršiti u roku od 2 minute, a sve osobe moraju prethodno napustiti prostor, što se obavlja pomoću zvučne i vizualne signalizacije. Djelomična zaštita koristi se u proizvodnim procesima u kojima nije moguće izvršiti potpunu zaštitu ili nema potrebe za njom. Tada se štiti samo pojedina procesna oprema koja je rizična za nastanak požara. Vrijeme istjecanja CO<sub>2</sub> je maksimalno 30 sekundi, s tim da sve osobe moraju prethodno napustiti prostor (sirene i bljeskalice). Prema načinu skladištenja stabilni sustav s CO<sub>2</sub> može biti niskotlačni (CO<sub>2</sub> u pothlađenim spremnicima pod tlakom od 15 do 25 bara i temperaturi od –30 do –100 °C) i visokotlačni (CO<sub>2</sub> uskladišten u čeličnim bocama pod tlakom od 50 do 60 bara pri temperaturi okoline) [13].



### 3.3. Iвори požarnih opasnosti u industriji

Industrijski požari i eksplozije godišnje koštaju tvrtke i vlade milijarde dolara, pritom ne spominjući izgubljene živote koji se ne mogu izraziti u novcu.

Prema najnovijim statistikama požara Nacionalne udruge za zaštitu od požara (NFPA), u industrijskim i proizvodnim objektima godišnje se dogodi prosječno 37 000 požara [13].

Rezultat ovih incidenata jesu:

- 18 smrtnih slučajeva civila
- 279 ozljeđenih civila
- milijardu dolara izravne imovinske štete.

Te se katastrofe događaju iz mnogih razloga, često zato što menadžeri i zaposlenici nisu svjesni rizika koji ih svakodnevno okružuju na poslu. U literaturi se navodi pet najčešćih uzroka industrijskih požara i eksplozija koji će biti prikazani u nastavku rada [14].

#### 3.3.1. Zapaljiva prašina kao izvor industrijskog požara

Često zanemarena i vrlo smrtonosna zapaljiva prašina glavni je izvor požara u proizvodnji hrane, obradi drveta, kemijskoj proizvodnji, obradi metala, farmaciji i brojnim drugim industrijama. Razlog je taj što gotovo sve tvari, uključujući hranu, boje, kemikalije, metale, čak i materijali koji u većim komadima nisu rizici za požar, imaju potencijal da budu zapaljive u obliku prašine [14].

Takve eksplozije nije lako obuzdati. U tipičnom incidentu mali će požar nastati zbog zapaljivog materijala koji dolazi u kontakt s izvorom paljenja. To može dovesti do eksplozije prašine, ali i ne mora. Međutim, mala eksplozija nije problem. Problem je ono što se dalje događa. Ako na tom području ima prašine, primarna eksplozija utjecat će na to da ta prašina postane zrak. U tom se slučaju sam oblak prašine može zapaliti, što uzrokuje sekundarnu eksploziju koja može biti višestruko veća od veličine i težine primarne eksplozije. Ako se nakupi

dovoljno prašine, ove sekundarne eksplozije mogu srušiti cijeli objekt, uzrokujući golemu štetu i smrtne slučajeve [14].

Sukladno navedenom, postavlja se pitanje kako spriječiti incidente sa zapaljivom prašinom. Ključni sastojak požara i eksplozija zapaljive prašine je prisutnost same prašine. Iako je gotovo nemoguće u potpunosti ukloniti prašinu, moguće je spriječiti njezino nakupljanje u opasnim razinama jednostavnim poštivanjem režima redovitog održavanja.

Kako bi se optimalno postupalo sa zapaljivom prašinom, potrebno je poznavati NFPA 652: Standard o osnovama zapaljive prašine [14].

### 3.3.2. Rad na visokim temperaturama

Rad na visokim temperaturama jedan je od vodećih izvira požara u svim industrijama.

Iako se rad na visokim temperaturama obično poistovjećuje sa zavarivanjem i rezanjem plamenikom, postoje mnoge druge aktivnosti, uključujući lemljenje, paljenje i zagrijavanje, koje predstavljaju opasnost od požara. To je zato što iskre i rastaljeni materijal, koji dosežu temperature veće od 500 °C, mogu letjeti i više od 10 metara [15].

Radovi na visokim temperaturama također su glavnim uzrokom u požarima zapaljive prašine jer iskre stvorene radom mogu zapaliti prašinu u okolini.

Kao i u slučaju zapaljive prašine, katastrofe u vezi s radom na visokim temperaturama mogu se spriječiti slijedeći odgovarajuće sigurnosne postupke. Kao prvo, potrebno je izbjegavati vruće radove ako je to moguće. To nije uvijek izvedivo rješenje, ali ako postoji alternativa, potrebno je uzeti je u obzir.

Nadalje, potrebno je osposobiti zaposlenike za opasnosti vezane uz radove na visokim temperaturama te osigurati područje od zapaljivih materijala, uključujući prašinu, tekućine i plinove.

Organizacijama se preporučuje voditi evidenciju svih projekata u kojima se radi na visokim temperaturama, čak i tamo gdje dozvole nisu potrebne.

Osim toga, potrebno je nadgledati rad, pogotovo ako organizacija koristi vanjske izvođače te je potrebno pobrinuti se da nadzor obavlja stručnjak za sigurnost koji je na raspolaganju tijekom trajanja radova. Kako bi se optimalno postupalo s radom na visokim temperaturama, potrebno je poznavati NFPA 51B: Standard za zaštitu od požara tijekom zavarivanja, rezanja i ostalih vrućih radova [15].

### 3.3.3. Zapaljive tekućine i plinovi

Požari koje izazovu zapaljive tekućine i plinovi često se događaju u kemijskim pogonima, a mogu biti katastrofalni.

Eksplzija elektrane u Middletownu u državi Connecticut, u kojoj je smrtno stradalo šest, a ozlijeđeno više od 50 osoba, izazvana je zapaljivim plinom. Naknadna istraga otkrila je stotine sigurnosnih prekršaja. Sukladno tome, postavlja se pitanje kako spriječiti incidente sa zapaljivom tekućinom i plinovima [16].

Uvijek postoji određena opasnost koja je svojstvena svakom poslu koji uključuje zapaljive tekućine i plinove, ali za ublažavanje tih rizika potrebno je poduzeti sve dostupne sigurnosne mjere.

Prije svega, potrebno uočiti opasnosti. Jedna od glavnih komponenti prevencije jest poznavanje sigurnosnih informacija za svaku tekućinu u prostoru. Te su informacije dostupne u sigurnosno-tehničkom listu (MSDS) koji se isporučuje s takvom vrstom proizvoda.

Također je potrebno kontrolirati sve izvore paljenja. Osim kada se zapaljivi materijali zagrijavaju namjerno, potrebno je držati izvore paljenja što dalje od njih.

Prijeko je potrebno voditi računa o zaštitnoj opre i poduzeti sve mjere osiguranja za istu.

### 3.3.4. Neispravna oprema i strojevi kao uzročnici industrijskih požara

Neispravna oprema i strojevi također su česti uzročnici industrijskih požara. Oprema za grijanje i radove na visokim temperaturama obično predstavlja najveći

problem, posebno peći koje nisu pravilno postavljene i održavane te kojima se ispravno ne upravlja. Uz to, bilo koja mehanička oprema može predstavljati opasnost od požara zbog trenja između pokretnih dijelova. Ovaj rizik moguće je svesti na minimum ako se slijede preporučeni postupci čišćenja i održavanja, uključujući podmazivanje [17].

Zanimljiv je podatak da čak i naizgled bezopasna oprema u određenim okolnostima može predstavljati opasnost. U mnogim se slučajevima pokazalo da je oprema koja se smatra najmanje opasnom uzrokovala požarnu opasnost. To je zato što tvrtke ne obraćaju pažnju na potencijalni rizik i stoga ne poduzimaju potrebne mjere opreza.

Nije zanemariva ni svakodnevna oprema poput električnih gumica i aparata za kavu. Sukladno tome, postavlja se pitanje kako spriječiti incidente s opremom i strojevima.

Strategije za sprečavanje požara nastalih zbog problema s opremom i strojevima dijele se u tri glavne kategorije:

- osvješčivanje
- čišćenje
- održavanje.

Kao prvo, potrebno je osvijestiti kako nije moguće utjecati na rizike za koje se ne zna da postoje, a to ne mogu ni sami zaposlenici. Stoga je potrebno osigurati osposobljavanje za osvješčivanje o sigurnosti kako bi svi djelatnici tvrtke znali o kojim rizicima treba voditi računa i što učiniti ako ih uoče.

Isto tako, zaposlenik bi trebao održavati svoju opremu i strojeve te područje oko njih čistima. Oprema, posebno električna oprema, prekrivena prljavštinom ili mašću predstavlja ogroman rizik. Održavajući svoju opremu i strojeve čistima, zaposlenik može utjecati na to da, ako i dođe do požara, na raspolaganju neće biti dovoljno goriva za dugo gorenje.

Naposlijetku, potrebno je pridržavati se preporučenih postupaka održavanja za svu opremu i strojeve u pogonu. Sprečavanjem pregrijavanja smanjit će se rizik od požara, a redovitim održavanjem oprema će se očuvati u odličnom stanju [17].

### 3.3.5. Električne opasnosti

Električni požari jedan su od pet glavnih uzroka požara u proizvodnim pogonima. U nastavku se nalazi nepotpuni popis specifičnih električnih opasnosti:

- ožičenje koje je izloženo ili nije u skladu s propisima
- preopterećena radna mjesta
- produžni kabeli
- preopterećeni krugovi
- statičko pražnjenje.

Šteta prouzročena električnim požarima može se brzo otkriti zahvaljujući drugim stavkama na spomenutom popisu. Bilo koja od gore navedenih opasnosti može izazvati iskru koja može biti izvor paljenja zapaljive prašine, kao i zapaljivih tekućina i plinova.

Sukladno tome, postavlja se pitanje kako spriječiti električne požare. Kao i kod prethodnih rizika, ključ za sprečavanje električnih požara je osvješćivanje i prevencija. To uključuje obuku zaposlenika, održavanje električnih instalacija i praćenje smjernica iz prakse. U nastavku slijedi popis najvažnijih smjernica koje bi trebalo odmah primijeniti u praksi [18]:

- izbjegavati preopterećivanje električne opreme ili sklopova
- privremenu opremu ne ostavljati priključenu kad nije u uporabi
- izbjegavati korištenje produžnih kabela i ne ih koristiti kao trajno rješenje
- koristiti antistatičku opremu prema uputama NFPA-e ili EU-OSHA-e
- slijediti redoviti plan održavanja kako bi se uklonila zapaljiva prašina i drugi opasni materijali s područja koja sadrže opremu i strojeve
- primijeniti sustav izvještavanja tako da svatko tko uoči opasnost od požara može istu prijaviti što je prije moguće.

Kako bi se postigla električna sigurnost, potrebno je poznavati NFPA 70: Nacionalni kodeks o električnoj energiji i EU-OSHA-ine smjernice o električnoj sigurnosti na radnom mjestu.

## 4. ANALIZA ODABRANIH PRIMJERA POŽARNIH SITUACIJA U NAFTNOJ INDUSTRIJI

### 4.1. Vrste i učestalosti požara na naftnim bušotinama u vremenskoj perspektivi

Prije 1920-ih nije postojala oprema za kontrolu tlaka u naftnim bušotinama i iznenadnih nekontroliranih propuštanja nafte i plina. Iako su takve erupcije bile siguran znak novopronađenog bogatstva, također su predstavljale veliku opasnost jer je slučajna iskra mogla uzrokovati požar katastrofalnih razmjera. Budući da je plin ugljikovodik koji je najčešće slučajno ispuštan i predstavlja najveću opasnost od požara na *offshore* platformama, na ispuštanje plina potrebno je obratiti iznimnu pozornost jer je to najčešći uzročnik katastrofe na platformi. Kao što je ranije spomenuto, prilikom bušenja novoga naftnog polja nerijetko se naiđe na plinske džepove pod visokim tlakom. Ponekad iz različitih razloga ovaj plin bude većeg tlaka od ugrađenih sustava koji ga zadržavaju unutar bunara te dođe do nekontroliranog ispušanja. To se naziva ispuhivanjem i predstavlja puno ozbiljniji problem jer ulje i plin ponekad mogu nekontrolirano teći na površinu i platformu. Za platformu za bušenje važno je ugraditi zaštitu od ispuhivanja (BoP) kako bi se bušotina mogla brtviti i tako uspostaviti veza između morskog dna i platforme u slučaju ispuhivanja. Praksa je pokazala da se u slučaju nesreće Deepwater Horizon cijevi unutar BoP-a izvijaju zbog nevjerojatno visokog pritiska, a u tom je slučaju riječ o pojavi koja se ne može predvidjeti i koju BoP ne može. Problem kod platformi za ultraduboka bušenja jest taj što se BoP ne nalazi duboko ispod morskog dna, već na oko 20 metara ispod njega. Ako osoblje na vrijeme ne otkrije udarce prilikom bušenja plina, proširit će se ogromna količina plina kad dosegne BoP i doći će do gejjira blata, plina i nafte na platformi. Treba uzeti u obzir da platforma za ultraduboka bušenja buši na dubini od 3000 m, pri čemu jedan kubični metar prirodnog plina juri prema površini s obzirom na to da je plin puno lakši od vode.

Pod pretpostavkom idealnog ponašanja plina, plin bi se proširilo oko 300 puta kada dosegne površinu, što je 300 m<sup>3</sup> plina. Budući da su iznosi obično veći, to predstavlja ozbiljan rizik [18].

## 4.2. Pojave povezane s požarom na podmorskim platformama

Postoji puno različitih načina na koje curenje ugljikovodika može rezultirati uništenom platformom, a ponekad i gubitcima života. Budući da *offshore* platforme uvijek imaju puno cjevovoda, spremnika i bačvi napunjenih prirodnim plinom i/ili sirovom naftom te različitim gorivima, vrlo je vjerojatno da će požar uzrokovati širenje i izazivanje daljnjih eksplozija i požara.

U jednoj od sljedećih požarnih situacija nesreće će najvjerojatnije biti rezultat izlivanja ugljikovodika:

- zapaljena lokva
- mlazni plamen
- BLEVE (eksplozija ekspandirajućih para kipuće tekućine)
- VCE (eksplozije parnog oblaka)
- *flash* požari.

Požari *flash* i VCE najčešći su požari u *offshore* naftnoj industriji jer je curenje plina najčešći način ispuštanja ugljikovodika te često rezultira upravo ovakvim vrstama požara [19].

### 4.2.1. Zapaljena lokva na otvorenim platformama

Zapaljena lokva može se dogoditi kada ukapljeno gorivo izlazi iz cjevovoda ili spremnika i kada temperatura iz okoline nije dovoljno visoka da cijela izbačena tekućina ispari. Međutim, tekućina se skuplja tako da tvori lokvu na zemlji i može se zapaliti plamenom ili iskrom [20].

Zapaljene lokve češće su kada gorivo ima veći broj ugljika jer u tom slučaju ima veću točku paljenja i vjerojatnije je da će stvoriti lokvu na zemlji.

Primjer goriva za koje je vjerojatno da će stvoriti lokvu jest dizelski kerozin. Ako je promjer lokve veći od 1 metra, plamen će uglavnom biti turbulentan i optički gust. Optički gusti plamen oslobodit će veće količine zračenja od optički tankog plamena. Zračenje iz zapaljene lokve s ugljikovodicima uglavnom dolazi od užarene čađe u vatri. Za velike promjere ugljikovodičnih ložišta koje proizvode čađu mogu se osloboditi velike količine čađe. Neizgorena čađa u tom slučaju može pobjeći iz plamena i oko njega stvoriti film. Ovo donekle ograničava zračenje na vanjske strukture. Zatvoreno izlijevanje goriva čini manju površinu lokve, a samim time i dublje lokve, što izaziva duže trajanje požara za bilo koju količinu prolivenog goriva. Nasuprot tome, razlivena goriva ukazuju na znatno veće količine gorućih područja, što može znatno olakšati širenje vatre [20].

#### 4.2.2. Mlazni plamen na obalnim platformama

Mlazni plamen nastaje kada gorivo pod visokim tlakom, obično u obliku plina ili pare, izlazi kroz sigurnosni ventil ili pukotinu na cijevi/posudi koja ga sadrži i nekako se zapali. Ovi požari imaju vrlo visoku brzinu otpuštanja topline. Budući da se velika količina goriva vrlo brzo pomiješa s puno zraka, plin dosegne granicu zapaljivosti ubrzo nakon ispuštanja i tada je spreman za izgaranje. Takvi požari imaju vrlo visok konvektivni prijenos topline zbog visoke brzine plina unutar plamena. Domino-efekt primijećen je u 50 % slučajeva u kojima je slučajno došlo do mlaznog plamena, a to uzrokuje daljnje požare ili druge nesreće. Sustav s najvećom stopom otkazivanja je sustav kompresije plina. Visoke radne temperature i vibracije imaju velik utjecaj na osjetljive dijelove opreme kao što su brtve, instrumenti i cjevovodi s malim provrtom [19].

Kao najveća stopa curenja uzima se izvoz nafte i goriva. Ovi sustavi također uzrokuju prilično velike i opasne mlazne požare.

Dvofazni mlazni plamen pojavit će se kada se smjesa tekućina/plin (često sirova nafta ili plin otopljen u tekućini) pušta kroz malu rupu i pali se. Međutim, to ne funkcionira točno kao u slučaju mlaznoga plamena plina. Tekućine moraju ispariti u zapaljive plinove prije paljenja. Ako se radi o mješavini plina i tekućina, plin će



pomoći isparavanju tekućine dijeljenjem tekućine u male kapljice i isparavajući ih kad se puste velikom brzinom. Toplina od već upaljenog plina u većini će slučajeva biti dovoljna za stvaranje zapaljivog plina iz tekućine. Tekućine pod pritiskom mogu se ponašati i dvofazno ako je temperatura okoline iznad točke vrenja. Tada će oslobođena tekućina brzo ispariti i zapaliti se. Za tekućine s visokim vrelištem malo je vjerojatno da će stvoriti dvofazni mlazni plamen osim ako ih ne podržava drugi plamen ili izvor topline. Brzina izgaranja u mlaznom plamenu bit će približno jednaka brzini ispuštanja goriva. Na *offshore* platformama plin je često uskladišten pod visokim tlakom, a brzina ispuštanja u tom je slučaju vrlo velika. Plin u blizini izlaza imat će vrlo veliku brzinu i dalje stvarati plavi plamen s malim zračenjem, a više zraka miješat će se s gorivom pri nižim brzinama i stvoriti žuti plamen s većim zračenjem. Stabilnost plamena ovisi o veličini rupe, gorivu i geometriji okruženja. Veličina plamena ovisit će o brzini ispuštanja mase. Stopa ispuštanja u slučaju ispuštanja plina ovisit će uglavnom o veličini rupe i tlaku u skladištu [19].

#### 4.2.3. Požari VCE i *flash*

Eksplוזija je kada se izvor energije iznenada oslobodi i stvori eksplozijski val. Često je energija prisutna u obliku brzog izgaranja. Da bi mogla eksplodirati, prvo moraju biti pušteni zapaljivi plinovi. Ako se ovo puštanje prerano zapali, rezultat će vjerojatno biti mlazni plamen ili vatrena kugla [21].

Međutim, ako plin tvori veliki oblak, moglo bi doći do paljenja prouzrokovanog brzim plamenom frontom. To znači da plinovi izgaraju iz izvora paljenja prema van. Ova plamena fronta uzrokuje eksplozijski val, a brža plamena fronta stvara jači val. Ako u oblaku zapaljivog plina nema dovoljno oksidansa ili zapaljivog plina, neće doći do eksplozije. Za *flash* požare smatra se da nikada ne prelaze 3 sekunde vremena gorenja i mogu biti opasni za ljude zahvaćene plamenom, ali neće generirati snažni udarni val ili dovoljno topline da bi mogli oštetiti bilo koje čelične konstrukcije. Opasnost za osoblje može ublažiti zaštitna odjeća. Da bi se stvorila eksplozija parnog oblaka (VCE), istodobno se mora dogoditi pet stvari:

Oslobođeno gorivo mora biti zapaljivo i u stanju stvoriti oblak pare. Dio goriva u oblaku mora se miješati sa zrakom i stvarati koncentracije unutar zapaljivog područja za specifično gorivo.

Što je veća energija u izvoru paljenja, to je moguća i jača eksplozija.

Paljenje se mora odgoditi sve dok se ne stvori dovoljno velik oblak para.

Također, mora postojati neka vrsta oksidansa u oblaku. Oblak će se brže miješati sa zrakom i brže će gorjeti te će stvoriti veliku brzinu plamene fronte. U nekim slučajevima plamen je dovoljno brz da stvori eksploziju vala koji može nanijeti štetu osoblju, pa čak i konstrukcijama.

Zatvorenost u smislu konstrukcija i prepreka može povećati pritisak i brzinu plamene fronte zbog manjeg prostora pristupačnog za širenje plinova.

Paradoksalno, sigurnosne mjere za sprječavanje paljenja mogu biti razlogom eksplozije. Ako se plinski oblak zapali vrlo rano, malo je vjerojatno da će biti dovoljno velik da preraste u eksploziju, a ako se pak paljenje odgodi, oblak plina može rasti sve dok na kraju ne dosegne potencijal izvora paljenja, u što otpada vruća površina ili slomljena električna oprema. Do tada bi oblak plina mogao postati dovoljno velik da izazove katastrofalnu eksploziju [21].

Tipično zapaljenje ima plamenu frontu manju od 100 m/s i njegova svojstva ovise o nekoliko parametara [19]:

- energiji goriva
- izvoru energije paljenja i mjestu u zapaljivom oblaku
- veličini oblaka
- koncentraciji oblaka.

VCE su ona paljenja kod kojih gore navedeni parametri maksimiziraju brzinu i mogućnost frontalnog plamena te proizvode deflagracije s predtlakovima od 8 do 10 bara.

Oblak ugljikovodika obujma 64 kubika (promjera 5 m) u zapaljivom području obično proizvodi brzinu frontalnog plamena i do 100 m/s. To se smatra „kritičnim

oblakom“ i obično se koristi kao osnova za kriterije postavljanja detektora plina [21].

#### 4.2.4. BLEVE

Eksplוזija ekspandirajuće pare koja ključa (BLEVE) može se dogoditi kad se spremnik napuni ukapljenim zapaljivim plinom i kao takav podliježe neprekidnom plamenu. Spremnik sadrži tekućine koje će upiti toplinu iz plamena i početi kipjeti. Širenje isparavanja tekućine povećat će pritisak unutar spremnika dok ga sigurnosni ventil ne otpusti. Nakon što je nadtlak oslobođen, razina tekućine unutra niža je nego prije. Nakon nekog vremena, ako je brzina zagrijavanja velika, tekućina može brzo apsorbirati toplinu iz metala, što dovodi do slabljenja metala [22].

Prije nego što je oslobođena, tekućina će se zagrijati do temperature znatno iznad točke vrenja u normalnom tlaku. Tekućina se može zagrijati toliko da dostigne stanje pregrijanosti. Kad se pregrijana tekućina oslobodi, ona isparava u plin koji zauzima puno veći volumen. Takvo širenje plinova uslijed trenutnog isparavanja tekućine može stvoriti snažnu eksploziju koja bi mogla baciti teške komade metala stotinama metara dalje. Ovi metalni komadi mogu izazvati domino-efekt ako uništavaju drugu opremu.

Kao jedan od problema navodi se sigurnosni ventil. Međutim, to nije istina, jer ako spremnik nije pod tlakom, struktura će porasti do točke razbijanja čelika, uzrokujući eksploziju pare. Glavni uzrok pucanja čelika je kada spremnik zahvati izvor velike topline, kao primjerice mlazni požar.

Ako je ispuštena para zapaljiva, kao u slučaju uskladištenog goriva, plin se može zapaliti u veliku kuglu vatre. Takva kugla može uzrokovati vrlo visoko toplinsko zračenje. Kombinirane opasnosti od BLEVE-a i vatrene kugle su udarni val, leteći fragmenti iz spremnika i toplina.

Teorijske vrijednosti za zaštitu su sljedeće: izolirani spremnik trebao bi biti sposoban izdržati vatru u lokvi (turbulentni plamen s toplinskim tokom od približno 100 kW/m<sup>2</sup>) oko 20 do 30 minuta. Isti spremnik bio bi sposoban izdržati mlazni

plamen (toplinski tok do 350 kW/m<sup>2</sup>) tek oko pet minuta. Međutim, te vrijednosti jako ovise o izolaciji spremnika, uređajima za hlađenje i vrijednostima tlaka. Ako je spremnik već oštećen u početnoj eksploziji, požar se može dogoditi u bilo kojem trenutku nakon pokretanja nesreće [22].

### 4.3. Mjere ublažavanja

Postoje brojne sigurnosne mjere koje se poduzimaju kako bi se spriječilo i/ili ograničilo ispuštanje ugljikovodičnih goriva u *offshore* platforme. Međutim, požari se ipak događaju. Pasivna zaštita odnosi se na široki spektar mjera za ublažavanje posljedica požara. Nadalje, korištenje vode u okviru sustava za hlađenje na obalnim platformama je uobičajen. Sustav za hlađenje može biti dizajniran za cjelokupno pokrivanje područja ili kao usmjereni tok vode za zaštitu određene stavke opreme. Ovi sustavi mogu kontrolirati požare u zapaljenim lokvama i smanjiti rizik od eskalacije, osigurati hlađenje opreme koja nije pogođena mlaznim plamenom i ograničiti učinke požara na moguću evakuaciju.

Četiri vrste potopnih sustava su [22]:

- zaštita područja koja moraju osigurati nespecifičnu pokrivenost cjevovoda i opreme unutar procesnih područja
- zaštita opreme za pružanje namjenskog pokrivanja kritične opreme
- konstrukcijska zaštita namijenjena zaštititi važnih dijelova konstrukcije
- zavjesa vodene magle namijenjena smanjenju toplinskog zračenja i kontroliranju dima te omogućenje evakuacije.

#### 4.3.1. Ključne performanse sustava za natapanje vodom

Prvi i najvažniji cilj sustava za hlađenje jest hlađenje površina pod požarom. Vrijeme dolaska vode od velike je važnosti. Ako je temperatura površine koja se želi ohladiti malo iznad 100 °C, voda će trenutno prokuhati i neće „smočiti“ površinu. Ako je temperatura površine znatno iznad 100 °C, voda je neće moći

ohladiti i pojavit će se žarište. Ovisno o lokaciji i vrsti pogođenog dijela pogona, to može rezultirati kolapsom za nekoliko minuta [22].

#### 4.3.2. Zapaljena lokva s ugljikovodicima

Zapaljena lokva s ugljikovodicima može se učinkovito ugasiti dodavanjem pjene za usporavanje požara u postojeći sustav za hlađenje i gašenje. Vrijeme gašenja požara je znatno brže kada se koristi pjena [22].

#### 4.3.3. Kontrola mlaznog plamena

Najčešći oblici aktivnog sigurnosnog sustava su vodene zavjese. Sigurnosni sustavi napravljeni su ili za smanjenje nadolazećeg toplotnog zračenja, ili za zaštitu pojedinih dijelova opreme. Na stabilnost mlaznog plamena u nekim slučajevima može utjecati sigurnosni sustav, ali stabilnost je prevelika za uobičajene sustave za hlađenje i gašenje dostupne na moru.

Sigurnosni sustav najvjerojatnije neće biti jako učinkovit s obzirom na veličinu, oblik i toplinska svojstva visokotlačnog plinskog mlaznog plamena. Čak su se i vatrogasni čamci pokazali neuspješnima u ovom zadatku jer voda ne može stvoriti film na površini zahvaćenoj mlaznim plamenom, pri čemu se temperatura ne smanjuje.

Sustavi za hlađenje s većom izlaznom vodom testirani su s većim uspjehom u smanjivanju duljine plamena i toplotnih tokova na zahvaćene objekte. Vjerojatno najbolji način za borbu protiv požara je sustav s većim izlazom vode u kombinaciji s vatrogasnim brodom [22].

#### 4.3.4. Količine vode

Količine vode potrebne za upravljanje brzinama ispuštanja topline mogu se izračunati putem termodinamičkih svojstva vode. Pretpostavlja se da voda ima temperaturu okoline, dakle oko 20 °C. Voda stavljena na bilo koju vatru najprije će se zagrijati na 100 °C, a zatim ispariti. I grijanje vode i fazni pomak u paru „ukrast“ će energiju iz vatre. Ostale kategorije požara bile bi manje zanimljive u

ovoj usporedbi jer je vrijeme njihova izgaranja vrlo brzo i bilo bi vrlo teško dovesti vodu na potrebnu lokaciju u pravo vrijeme. Međutim, zapaljene lokve i mlazni plamenovi često se ublažavaju vodom [22].

#### **4.4. Nesreće na obalnim platformama**

Cilj prethodnih poglavlja bio je procijeniti i predvidjeti veličinu mogućih požara ugljikovodika na moru, a zaključak je da se iz prošlih požarnih nesreća može puno naučiti. Nisu sve bile katastrofalne, ali su dale predodžbu o tome kako su se odvijale najgore pomorske nesreće. Ogromne količine ugljikovodika obrađenog i pohranjenog na tim platformama zaslužne su za razarajuće posljedice spomenutih požara.

##### **4.4.1. Piper Alpha**

Kasno navečer 6. srpnja 1988. niz eksplozija prolomio se platformom Piper Alpha na Sjevernom moru (slika 5). Zahvaćeni vatrom, tijekom sljedećih nekoliko sati većina gornjih modula naftne platforme srušila se u more. Umrlo je 167 osoba, a mnogo više ih je ozlijeđeno i traumatizirano. Najveća svjetska naftna katastrofa na moru utjecala je na 10 % proizvodnje nafte u Velikoj Britaniji i dovela do financijskih gubitaka od oko dvije milijarde funti, što je danas ekvivalent iznosu od pet milijardi američkih dolara.



Slika 5. Piper Alpha nakon druge eksplozije [23]

Pitanja koja proizlaze iz ove naftne katastrofe jesu: koji je bio glavni razlog nesreći na Piper Alphi, zašto je došlo do tako katastrofalnih posljedica te koju je pouku i danas moguće izvući.

Naftno polje Piper Alpha nalazi se oko 120 kilometara sjeveroistočno od Aberdeena u Škotskoj. Otkriveno u siječnju 1973. godine, ovo je bio jedan od prvih rezervoara iskorištenih na Sjevernom moru. Proizvodnja nafte započela je u prosincu 1976., manje od četiri godine nakon otkrića, što je bio rekordni rok. Nafta se izvozila podmorskom linijom dugom 128 milja u namjenski izgrađenu rafineriju na otoku Flotta u Orkneyima.

Piper Alpha pokazala se iznimno plodonosnom i kada je operater Occidental zatražio dopuštenje za povećanje eksploatacije. Odobrenje je dodijeljeno pod uvjetom da se izvozi i plin, a ne da se spaljuje.

Postrojenje za pročišćavanje plina obnovljeno je, a izvoz plina započeo je u prosincu 1978. Nakon uklanjanja vode i sumporovodika u molekularnim sitima, plin je komprimiran, a zatim hlađen ekspanzijom. Teže frakcije plina kondenzirane su kao tekućina (uglavnom propan), a ostatak plina (uglavnom metan) nastavio se izvoziti. Kondenzat je prikupljen u velikoj posudi povezanoj s dvije paralelne pumpe za kondenzat (radna i pripravna) te ubrizgan u ulje za izvoz u Flottu. Postojale su dvije faze rada. U fazi 1 višak plina se spaljivao, a u fazi 2 plin se izvezio. Piper je radila u fazi 2 sve do tri dana prije katastrofe, kada su molekularna sita privremeno isključena radi rutinskog održavanja. Postrojenja za pročišćavanje plina i kondenzata zatim su ponovno konfigurirana kako bi Piper mogla raditi u fazi 1. Kondenzat je i dalje uklonjen iz plina i ubrizgan u izvoznu liniju nafte, ali je plin potreban za gorivo turbogeneratora i sustava podizanja plina na Piperu spaljen.

Oko 21:45, 6. srpnja 1988. ispustila se pumpa za kondenzat. Ubrzo nakon toga aktivirali su se plinski alarmi i plinski kompresori u prvom stupnju te je primijećeno da je baklja znatno veća nego inače. Oko 22 sata eksplozija je probila Piper Alphu. Svjedoci su začuli snažnu buku praćenu bljeskom i zvukom eksplozije.

Početna eksplozija u modulu C (modul kompresora plina) uzrokovala je puknuće cijevi kondenzata koja je izlazila u glavni naftovod u modulu B (modul za odvajanje ulja). Svjedoci su uočili drugi bljesak i prasak dok je ogromna vatrena kugla tutnjala na noćnom nebu.

Dvadeset minuta kasnije, oko 22:20, visokotlačni plinovod spojen na platformu Tartan, kojim upravlja Texaco, puknuo je oslobodivši plin početnom brzinom od oko 3 tone u sekundi [23].

Pedeset minuta kasnije, oko 22:50, puknuo je plinovod kojim je upravljao Total, ispuštajući plin koji je tekao Piper Alphem iz polja Frigg preko MCP-01 do St. Fergusa. Brzo spasilačko plovilo, lansirano s rezervnog broda Sandhaven, uništeno je eksplozijom, usmrтивši dvoje članova tročlane posade i šestero ljudi koji su upravo bili spašeni iz mora.

Osamdeset minuta kasnije, oko 23:20, pukao je plinovod do Claymorea, druge platforme kojom je upravljao Occidental.

U to je vrijeme struktura Piper Alphe bila toliko oslabljena intenzivnim požarima da su se gornji dijelovi počeli urušavati. Glavni smještajni modul, četverokatnica u kojoj se sklonio najmanje 81 muškarac, skliznuo je u more. Svi koji su bili unutra, poginuli su.

Do ranog jutra 7. srpnja 1988. godine tri četvrtine izvornog gornjeg dijela uništeno je ležalo na morskom dnu 140 metara ispod površine.

Požari iz bušotina i naftovoda i plinovoda proizveli su plamen visok oko 200 metara i najveću brzinu potrošnje energije od ~100 gigavata, triput veću od ukupne brzine potrošnje energije u Velikoj Britaniji.

Više od tri tjedna trajalo je gašenje požara. Ostaci Piper Alphe bačeni su u more 28. ožujka 1989.

Od 226 ljudi koji su se nalazili na brodu te noći, samo je 61 preživio. Od preminulih osoba, 109 ih je umrlo od udisanja dima, 13 utapanjem, 11 od ozljeda uzrokovanih opeklinama. U četiri slučaja nije se mogao utvrditi uzrok smrti, a tijela 30 osoba nikada nisu pronađena.



Tjedan dana nakon katastrofe Lord Cullen imenovan je osobom odgovornom za provođenje javne istrage o nesreći. Javna istraga trajala je ukupno 180 dana. Izvještaj Lorda Cullena objavljen je 13. studenog 1990. Istražitelji su saslušali svjedoke, uključujući većinu preživjelih, i nekoliko stručnjaka. Nije bilo lako utvrditi uzrok katastrofe. Ostalo je malo fizičkih dokaza, a niti jedan stariji član menadžerskog tima Piper Alphe nije preživio.

Analizirani su brojni mogući uzroci, a neki od njih bili su krajnje nevjerojatni, što je zahtijevalo nekoliko uzastopnih malo vjerojatnih događaja, no za to uopće nije bilo dokaza.

Istragom je zaključeno da je najvjerojatniji uzrok prve eksplozije ispuštanje tek 30 kg kondenzata (uglavnom propana) tijekom trideset sekundi, iako je slijepa prirubnica u modulu C, gdje je uklonjen sigurnosni ventil u sklopu održavanja rezervne pumpe za kondenzat, bila nezaštićena.

Uvečer 6. srpnja 1988. pumpa za kondenzat A izolirana je za održavanje na svojoj spojnici pogonskoga motora. Sigurnosni ventil za smanjenje pritiska također je prema zasebnoj dozvoli uklonjen radi održavanja i na njegovo je mjesto gotovo sigurno postavljena slijepa prirubnica. Prirubnica, međutim, nije testirana na nepropusnost ili na pritisak. Kad se pumpa B isključila oko 21:45, operateri su je bezuspješno pokušali ponovno pokrenuti.

Operateri bi bili svjesni da pumpa A nije u funkciji zbog održavanja, ali s obzirom na to da održavanje još nije započelo, a problem s pumpom A nije bio pretjerano ozbiljan, ne bi bilo nerazumno razmišljati o ponovnom pokretanju.

Zbog načina na koji su na Piper Alphi organizirane radne dozvole, operateri ne bi mogli znati da nedostaje ventil za smanjenje tlaka za pumpu A.

Vjeruje se da su operateri poduzeli određene radnje kako bi vratili pumpu A i kondenzat koji je procurio iz slijepa prirubnice postavljene na mjesto ventila za rasterećenje tlaka, ali ventil nije bio potpuno zategnut.

Kondenzat koji je istjecao zapalio se. Nakon prve eksplozije brzo je uslijedilo puknuće cijevi za naftu i požar, a sekvencijski kvar na plinovodima uzrokovao je brzu eskalaciju katastrofe.

Iz tragičnih događaja na Piper Alphi moguće je izvući mnogo pouka, a najčešće je navedeno upravljanje promjenama, zatim osobna sigurnost te:

- dozvola za rad i izolacija za potrebe održavanja (ponovno pokretanje pumpe prije završetka održavanja)
- primopredaja (neadekvatan prijenos informacija među posadama i smjenama)
- međupovezanost (nijedna platforma nije otok...)
- hitno reagiranje – evakuacija i druge.

#### 4.4.2. Upravljanje promjenama (pitanje dizajna)

Piper Alpha dizajnirana je za proizvodnju i izvoz nafte. Izvoz plina s pripadajućim odvajanjem kondenzata bila je naknadna zamisao i uključivala je opsežne modifikacije. Sanacija se odvijala u nekoliko faza, počevši od odvajanja kondenzata pa sve do proizvodnje plina visoke kvalitete.

Novi su se objekti nalazili pored kontrolne sobe, ispod elektroenergetske komunikacijske sobe i modula za smještaj. Kada se dogodila nesreća, takav razmještaj imao je katastrofalne posljedice za ostatak Piper Alphe.

Kontrolna soba bila je teško oštećena u prvim eksplozijama (operater kontrolne sobe je preživio i svjedočio u javnoj istrazi o redoslijedu alarma koji su prethodili prvim eksplozijama). Komunikacijska soba postala je beskorisna; komunikacije su se gotovo odjednom izgubile.

#### 4.4.3. Osobna sigurnost iznad sigurnosti procesa

Unatoč opsežnom fiksnom sustavu zaštite od požara na Piper Alphi, niti jedna kap vode s Piper Alphe nije upotrijebljena za gašenje ijednog požara. Iako voda ne bi bila dovoljna da ugasi požare ugljikovodika (što kod plinskih požara ne bi trebao niti pokušavati), možda bi ohladila strukturu i cjevovode te spriječila ili barem znatno odgodila puknuće plinovoda koji je bio glavni čimbenik eskalacije u katastrofi na Piper Alphi. Nakon puknuća prvoga plinovoda Piper Alpha bila je

osuđena na propast. Sukladno tome, postavlja se pitanje zašto se sustav zaštite od požara nije aktivirao.

Dugo godina praksa na Piper Alphi bila je prebacivanje vatrogasnih pumpi s automatskih na ručne kada su ronjoci bili u moru. Budući da je ronjenje bio sastavni dio svakodnevnog rada, u praksi su pumpe većinu vremena ostale postavljene na ručnom radu.

Kad je izbio požar na Piper Alphi, jedini način za aktiviranje protupožarnog sustava bio je lokalno pokretanje pumpi. Unatoč hrabrim pokušajima, gusti dim i vatra onemogućavali su svima da dođu do njih.

Nije poznato je li početna eksplozija na Piper Alphi pukla u glavnom prstenu vatrogasne vode ili oštetila sustav upravljanja vatrogasnim pumpama. Vjerojatno je nestalo električne energije, ali postojao je rezervni izvor napajanja. Nije poznato bi li sustav za hlađenje bio učinkovit da je postavljen jer su mlaznice često bile začepljene kamencem, a cjevovodi za vodu za hlađenje na Piper Alphi bili su u procesu zamjene [24].

#### 4.4.4. Dozvola za rad i izolacija za potrebe održavanja

Operateri noćne smjene bili su svjesni da pumpa za ubrizgavanje kondenzata A nije u funkciji zbog održavanja, a i da održavanje još nije počelo. Dozvole za održavanje i odgovarajući radni uvjeti prekinuti su preko noći.

Suspendirane radne dozvole nisu bile izložene u kontrolnoj sobi, već u sigurnosnom uredu. Čini se da operateri nisu znali za još jednu suspendiranu dozvolu. Uklonjen je i sigurnosni ventil za pumpu A.

Ventili za smanjenje tlaka za pumpe za ubrizgavanje kondenzata bili su smješteni na jednom katu iznad pumpi. Iako je gotovo uvijek najbolje da se ventil za smanjenje tlaka postavlja što bliže jedinici koju štiti, kondenzat na nizvodnoj strani

morao se odvoditi u odgovarajuću posudu, pa je ventil postavljen na oko 8 metara iznad (i 15 metara od) pumpe.

Da bi se vratila pumpa za ubrizgavanje kondenzata A, bile su potrebne dvije radnje: vratiti električnu energiju i otvoriti usisni i ispušni ventil na plin. Ponovnim spajanjem dovoda zraka na ventile, mogli bi se tada otvoriti korištenjem preklopnih tipki na lokalnoj upravljačkoj ploči pomoću pumpe A. Nije bilo zaključavanja izolacijskih ventila, lopatica ili dvostrukog blokiranja i ispuštanja kako bi se spriječilo ponovno stvaranje tlaka sustava izoliranoga za održavanje.

Dozvola za rad sustava Piper Alpha oslanjala se uvelike na neformalnu komunikaciju.

Istraga Lorda Cullena postavila je četiri pitanja o sustavu dozvola za rad:

- Je li postupak bio adekvatan?
- Je li postupak poštivan?
- Je li postojala adekvatna obuka?
- Je li praćen postupak?

Odgovor na sva četiri pitanja bio je negativan [24].

#### 4.4.5. Primopredaja

Komunikacija na Piper Alphi među odjelima, smjenama i posadama bila je neformalna i vezana uz posao. Iako komunikacija na osobnoj razini ima određene prednosti, minimalni sigurnosni standardi time nisu zadovoljeni.

Novopridošli članovi posade trebale su proći sigurnosnu obuku u odjelu za sigurnost. Postojao je ogroman jaz između onoga što je odjel za sigurnost namjeravao prenijeti i onoga što su zapravo prenijeli. Prema navodima svjedoka, ako je novopridošli zaposlenik prije radio na naftnoj platformi, tada je obuka bila kratka ili je uopće nije bilo. Sigurnosna edukacija sastojala se od uručivanja knjižice s uputama koju je osoba trebala pročitati. Velik dio informacija zastario je ili se nije mogao primijeniti na Piper Alphi.

Operateri su vodili dnevnik, ali često se događalo da ne bi uspjeli zabilježiti aktivnosti održavanja. Primopredaja smjene bila je užurbana. Operateri su istodobno bili zauzeti vlastitim primopredajama, a razvila se praksa da osoblje za održavanje odjavi dozvolu za radove i ostavi je u kontrolnoj sobi ili sigurnosnom uredu. Pri promjeni smjene operateri ne bi pregledavali niti raspravljali o suspendiranim dozvolama [24].

#### 4.4.6. Međupovezanost

Komunikacija između Piper Alphe, Claymorea, Tartana i MCP-01 izgubljena je od prvih eksplozija. To je odgodilo zaustavljanje rada na drugim platformama, posebno na Claymoreu i Tartanu.

Postavlja se pitanje bi li brže zaustavljanje ostalih platformi, a posebno ispuhivanje ili smanjenje tlaka međuplatformskih plinovoda, moglo izbjeći katastrofu. Odgovor je vjerojatno negativan. Claymore, Tartan ili MCP-01 ne mogu se osloboditi tlaka dovoljno brzo. Premalo benzina moglo se spaliti na drugim platformama u vremenu koje je bilo potrebno da bi se stvorile sugurnosne promjene.

Međutim, zatvaranje međuplatformskih naftovoda vjerojatno bi imalo utjecaja na ishod. Ulje od Tartana do Claymorea spojilo se s uljem Piper Alphe na spoju Y prije nego što je teklo dalje prema Flotti. Nafta se nastavila proizvoditi i izvoziti u liniju do Flotte otprilike sat vremena nakon prve eksplozije na Piper Alphi. Čini se da se ventil za hitno zatvaranje na liniji za izvoz ulja Piper Alphe nije uspio dobro zatvoriti. To je dovelo do toga da ulje iz Tartana i Claymorea krene u suprotnom smjeru na Piper Alphi. Isključivanje proizvodnje nafte započelo je tek oko 22:40 na Tartanu i oko 23 sata na Claymoreu.

Ulje izvezeno iz Tartana i Claymorea istjecalo je iz puknutoga naftovoda na Piper Alphi, poplavilo tlo i prelilo se na tlo ispod. To je pokrenulo veliku zapaljenu lokvu koja je izravno udarila na linije za uvoz i izvoz plina rezultirajući njihovim pucanjem i neizbježnom eskalacijom na Piper Alphi [24].

#### 4.4.7. Hitno reagiranje – evakuacija

Jedan od najšokantnijih aspekata tragedije na Piper Alphi bila je nemogućnost evakuacije osoblja na brodu. Pretpostavljalo se da će se, bez obzira na sve, evakuacija obaviti helikopterom.

Međutim, unutar otprilike jedne minute od prve eksplozije heliodrom je postao obavijen crnim dimom i helikopteri nisu mogli sletjeti na njega.

Višenamjenski brod za podršku Tharos bio je blizu Piper Alphe tijekom cijele katastrofe. Iako prvenstveno nije zamišljen kao vatrogasno plovilo, Tharos je imao značajne vatrogasne mogućnosti. Nedostatak komunikacije iz Piper Alphe doveo je do kašnjenja u reakciji. Potražnja za električnom energijom u tom je trenutku bila toliko velika da je Tharos pretrpio gotovo potpuni prekid napajanja te mu je trebalo nekoliko minuta da se oporavi. Nakon toga došlo je do kašnjenja jer je otvoreno toliko monitora da je tlak vode pao na razinu ispod one na kojoj se mogao otvoriti ispušni ventil na vatrogasnoj pumpi. Sigurnosni sustavi na Tharosu nikada dotad nisu bili testirani u tako ekstremnim uvjetima. Kad je došlo do te situacije, sustavi su jednostavno zakazali.

Iz Piper Alphe nije uspješno lansiran nijedan čamac za spašavanje ili splav za napuhavanje. Svi oni koji su preživjeli to su uspjeli krećući se prema moru svim sredstvima kojima su mogli. To je uključivalo penjanje niz čvorove i užad te skakanje s preko 50 metara nadmorske visine.

Dugo prije nesreće upozoravalo se na nedostatke sustava upravljanja sigurnošću.

Manje od godinu dana ranije, 7. rujna 1987. u nesreći na Piper Alphi smrtno je stradao jedan djelatnik. Ta je nesreća objelodanila nedostatke te dovela u pitanje dozvole za rad i postupke primopredaje smjene. Međutim, prilika da se to ispravi bila je propuštena.

Kada se dogodila katastrofa, sigurnost na moru regulirala se primjenom propisa. Takvi propisi imaju svoju svrhu pod uvjetom da se uzmu u obzir svi slučajevi. Međutim, propisi gube svoju smisao ako se u praksi ne primjenjuju. Djelatnici su

mirniji kada znaju da će sigurnosne mjere provoditi nadležna tijela. Naravno, nemoguće je sve slučajeve obuhvatiti skupom općih pravila.

Cullenovom istragom prepoznato je da primarna odgovornost za sigurnost leži na onima koji stvaraju rizike (tj. grade postrojenja) i onima koji s tim rizicima rade (tj. operateri koji rade na postrojenjima). Drugim riječima, odgovornost je na upravi i operaterima postrojenja, a sustave upravljanja sigurnošću trebaju razviti sami rukovoditelji i operateri postrojenja kako bi ih učinili funkcionalnim. Isto tako, potrebno je provjeriti kritične sigurnosne postupke kako bi se vidjelo kako funkcioniraju u praksi. Revizija mora uključivati ono što je stvarno učinjeno, a ne ono za što se kaže da se treba obaviti.

## 5. ZAKLJUČAK

Prva opasnost od požara na koju valja obratiti pozornost jesu zapaljive tekućine i plinovi. Nakon što su osigurani potrebni elementi koji dovode do paljenja, dolazi do požara ili eksplozije, a rezultati takvog događaja su katastrofalni. Nesreće od požara u svim industrijama mogu se spriječiti redovitim čišćenjem i provedbom programa preventivnog održavanja.

Sljedeća opasnost od požara koja prijete industrijskim kompanijama jest vrući rad. Ova vrsta rada uključuje aktivnosti kao što su zavarivanje, brušenje i sve što uključuje rastaljene metale koji dosežu temperature i do 1000 °C (pa i više).

Glavna opasnost pri vrućem radu su iskre jer mogu skočiti i do 35 metara. Posljednja velika opasnost od požara uključuje opremu i strojeve. Stalno trenje između dijelova koji možda nisu dovoljno dobro podmazani može uzrokovati letenje iskri ili stvaranje dodatne topline. U ovu skupinu mogu se ubrojiti i strojevi (poput peći) koji nisu pravilno postavljeni.

Cullenova istraga na slučaju Piper Alphe uputila je na problematiku moralnog rizika s obzirom na to da je ova požarna katastrofa proizašla iz komunikacijskog zastoja i slabe sigurnosne kulture ove industrijske kompanije, u što spadaju radne navike, metode upravljanja, mentalno stanje, pa i nedostatak integriteta zaposlenika.

Prema tome, kako je moguće spriječiti slične incidente u budućnosti? Potrebno je uspostaviti smjernice i postupnike koji pokrivaju sve korake, od osobne zaštitne opreme do plana hitne evakuacije. Potrebno je cjelokupnom osoblju osigurati pristup ažuriranim dokumentima sigurnosti u svakom trenutku. Nadalje, jako je važno osigurati i opću i specifičnu obuku o sigurnosti požara za sve koji rade u potencijalno opasnom okruženju.

Održavanje cjelokupne opreme i sustava u ispravnom stanju poboljšat će sigurnost i učiniti poslovanje učinkovitijim. Naposljetku, potrebno je izvršiti analizu opasnosti cijelog postrojenja kako bi se otkrilo gdje točno leže najveći rizici i što je moguće učiniti da bi ih se riješilo.



## 6. LITERATURA

- [1] **Jüttner Preradović I.:** *Porijeklo fosilnih goriva*, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Nafta>, pristupljeno 15. 8. 2021.
- [2] Coal and petroleum: *Natural gas*, <https://thechemistryguru.com/class-8/coal-and-petroleum-petroleum-refining-petroleum/>, pristupljeno 15. 8. 2021.
- [3] The Economist: *Why the world is not running out of oil*, <https://www.economist.com/special-report/2005/04/30/the-bottomless-beer-mug>, pristupljeno 15. 8. 2021.
- [4] **Sertić-Bionda K.:** *Procesi prerade nafte*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju, Zagreb, 2006.
- [5] **Došen D.:** *Utjecaj rafinerijskih kapaciteta u svijetu na izvoz naftnih derivata*, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet, Zagreb, 2020.
- [6] **Ahmed J. O.:** *Opec Annual Statistical Bulletin 2019*, [https://www.researchgate.net/figure/World-crude-oil-reserves-2018-Source-OPEC-Annual-Statistical-Bulletin-2019\\_fig1\\_342814918](https://www.researchgate.net/figure/World-crude-oil-reserves-2018-Source-OPEC-Annual-Statistical-Bulletin-2019_fig1_342814918), pristupljeno 15. 8. 2021.
- [7] <http://www.bp.com/>, pristupljeno 15. 8. 2021.
- [8] *Energy resources and technology options*, <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/chapter5.pdf>, pristupljeno 17. 8. 2021.
- [9] Vlastiti izvor
- [10] Hrvatski sabor, Zagreb 2010, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010\\_07\\_92\\_2588.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_07_92_2588.html), pristupljeno 17. 8. 2021.
- [11] **Connor C.:** *Tunnel fires – Why they are vulnerable and the possible solution*, <https://ifpmag.mdmpublishing.com/tunnel-fires-why-they-are-vulnerable-and-the-possible-solution/>, pristupljeno 27. 3. 2021.

- [12] *Pravilnik o zapaljivim tekućinama*, Narodne novine br. 54/99, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1999\\_05\\_54\\_1028.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1999_05_54_1028.html), pristupljeno 9. 2. 2021.
- [13] **Popović Ž.** i sur.: *Priručnik za osposobljavanje vatrogasaca*, Hrvatska vatrogasna zajednica, Zagreb, 2009.
- [14] **Campbell R.:** *Fires in Industrial and Manufacturing Properties*, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2018.
- [15] **Tanner R.:** *Controlling Hot Work Fire Hazards*, <https://ohsonline.com/Articles/2009/04/01/Controlling-Hot-Work-Fire-Hazards.aspx>, pristupljeno 19. 8. 2021.
- [16] **McFadden R. D.:** *5 Dead, Dozens Hurt in Connecticut Power Plant Blast*, <https://www.nytimes.com/2010/02/08/nyregion/08explode.html>, pristupljeno 19. 8. 2021.
- [17] **Foulke E. G.:** *Safeguarding Equipment and Protecting Employees from Amputations*, Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor, 2007.
- [18] *What is an Oil Well Blowout? And Why Does it Happen?*, <https://www.petro-online.com/news/fuel-for-thought/13/breaking-news/what-is-an-oil-well-blowout-and-why-does-it-happen/31402>, pristupljeno 22. 8. 2021.
- [19] **McGuire & White:** *Liquefied Gas Handling Principles On Ships and in Terminals*, Witherby & Company Limited, London, 2000.
- [20] **Mealy C. L., Benfer M. E., Gottuk D. T.:** *Fire Dynamics and Forensic Analysis of Liquid Fuel Fires*, U.S. Department of Justice, 2012.
- [21] **Moreno-Camacho C. A.:** *Real Case Applications of the Supply Chain*, Kedge Business School, 2018.
- [22] CRODUX PLIN d.o.o.: *Izvešće o sigurnosti za područje postrojenja „Terminal UNP-a Pustodol“ Sv. Križ Začretje*, Zagreb, 2016.
- [23] British Broadcasting Cooperation (BBC): *Piper Alpha: How we survived North Sea disaster*, <https://www.bbc.co.uk/newsuk-scotland-22840445>, pristupljeno 1. 9. 2021.

[24] **Woolfson C., Beck M., Foster J.:** *The Piper Alpha Disaster and Industrial Relations in Britain's Offshore Oil Industry* u knjizi *Corporate Social Responsibility Failures in the Oil Industry*, 2019., str. 15–64.

## 7. PRILOZI

### 7.1 Popis slika

Slika 1: Proces formiranja sirove nafte [2] .....	3
Slika 2: Dokazane svjetske rezerve sirove nafte, u milijunima barela [3].....	4
Slika 3: Rezerve sirove naftne u svijetu [22].....	6
Slika 4: Države koje imaju najveće rezerve nafte [13] .....	7
Slika 5: Piper Alpha nakon druge eksplozije [23].....	32

### 7.2 Popis korištenih kratica (simbola)

PVP – profesionalna vatrogasna postrojba

SAD – Sjedinjene Američke Države

OPEC – Organizacija zemalja izvoznica nafte (eng. *Organization of the Petroleum Exporting Countries*)

STOOIP – ukupna procijenjena količina nafte u naftnom rezervoaru (eng. *stock-tank original oil in place*)

NN – Narodne novine

HRN – hrvatske norme

CAFS – sustav za gašenje komprimiranom pjenom (eng. *compressed air foam system*)

NFPA – Nacionalna udruga za zaštitu od požara (eng. *National Fire Protection Association*)

MSDS – sigurnosno-tehnički list (eng. *material safety data sheet*)

EU-OSHA – informacijska agencija Europske unije za sigurnost i zdravlje na radu (eng. *European Agency for Safety and Health at Work*)

BoP – zaštita od ispuhivanja (eng. *blowout preventor*)

BLEVE – eksplozija ekspandirajućih para kipuće tekućine (eng. *boiling liquid expanding vapor explosion*)

VCE – eksplozija parnog oblaka (eng. *vapour cloud explosion*)

EU – Europska unija