

# ZAŠTITA OD POŽARA I EKSPLOZIJA U KEMIJSKOJ INDUSTRIJI

---

**Horvatić, Dora**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2023**

*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:128:457739>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-17**



**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 diplomski studij sigurnosti i zaštite

Dora Horvatić

# **ZAŠTITA OD POŽARA I EKSPLOZIJA U KEMIJSKOJ INDUSTRIJI**

DIPLOMSKI RAD

Karlovac, 2023.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Professional graduate study of Safety and Protection

Dora Horvatić

# **FIRE AND EXPLOSION PROTECTION IN THE CHEMICAL INDUSTRY**

GRADUATION THESIS

Karlovac, 2023.

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

Dora Horvatić

# **ZAŠTITA OD POŽARA I EKSPLOZIJA U KEMIJSKOJ INDUSTRIJI**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

dr.sc. Jasna Halambek, v.pred.

Karlovac, 2023.

## **PREDGOVOR**

Zahvaljujem se mentorici dr.sc. Jasni Halambek na podijeljenom znanju i stručnoj pomoći prilikom pisanja diplomskog rada te svim profesorima Veleučilišta u Karlovcu.

Također se želim zahvaliti svojoj obitelji i prijateljicama što su bili uz mene i podržali me na svakom koraku mog obrazovanja.

## SAŽETAK

Nastanak požara predstavlja veliku opasnost za čovjeka i okolinu. Vatra se kreće velikom brzinom i putem može izazvati reakciju u obliku eksplozije. Svaki požar je opasan, no požari koji uključuju kemijske tvari mogu izazvati nesreće velikih razmjera.

U ovom radu su objašnjene zaštitne mjere, sredstva i oprema za gašenje požara u kemijskoj industriji. Navedene su mjere u slučaju istjecanja različitih kemijskih tvari kao i utjecaj moderne tehnologije na sam sustav zaštite od požara i eksplozija.

**Ključne riječi:** požar, eksplozija, kemijske tvari, zaštitne mjere, zaštitna sredstva, moderni sustavi zaštite.

## SUMMARY

The occurrence of fire represents a great danger for people and the environment. Fire moves at high speed and can cause an explosive reaction along the way. Every fire is dangerous, but fires involving chemical substances can cause accidents on a large scale. This paper explains the protective measures, means and equipment for extinguishing fires of chemical substances. The measures in case of leakage of various chemical substances as well as the impact of modern technology on the fire and explosion protection system are listed.

**Keywords:** fire, explosion, chemical substances, protective measures, protective means, modern protection systems.

# SADRŽAJ

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA.....	I
PREDGOVOR .....	II
SAŽETAK .....	III
SADRŽAJ .....	IV
1. UVOD .....	1
1.1 Predmet i cilj rada.....	1
1.2 Izvori podataka i metode prikupljanja .....	1
2. OSNOVNE ZNAČAJKE POŽARA I EKSPLOZIJA .....	2
2.1 Požari i eksplozije u kemijskoj industriji .....	4
3. PROCJENA RIZIKA .....	6
3.1 Osposobljavanje radnika .....	8
4. ZAŠTITNE MJERE .....	9
4.1 Uklanjanje ili smanjenje količine zapaljivog materijala i kontrola veličine čestice .....	12
4.2 Održavanje koncentracije zapaljivih tvari u smjesi sa zrakom izvan granica ekplozivnosti.....	13
4.3 Sustav za rano otkrivanje eksplozivne atmosfere.....	13
4.4 Protueksplozijska zaštita .....	14
5. SREDSTVA ZA GAŠENJE POŽARA .....	17
5.1 Voda .....	17
5.2 Pjena .....	17
5.3 Prah.....	18
5.4 Ugljični dioksid CO <sub>2</sub> .....	19
5.5 Tekući plin FM-200.....	19

5.6 Priručna sredstva za gašenje požara .....	19
6. OMEĐIVANJE .....	20
6.1 Ograđivanje .....	20
6.2 Usmjeravanje .....	22
6.3 Imobilizacija .....	22
7. SKLADIŠTENJE.....	24
8. OSOBNA ZAŠTITNA SREDSTVA .....	26
8.1. Odijela za zaštitu od čvrstih, tekućih i plinovitih kemikalija .....	29
8.1.1 Materijali .....	30
8.1.2 Podjela zaštitne odjeće od čvrstih, tekućih i plinovitih kemikalija.....	31
9. UTJECAJ MODERNE TEHNOLOGIJE NA ZAŠTITU OD POŽARA I EKSPLOZIJA.....	37
9.1 Napredni sustavi za detekciju dima i vatre .....	37
9.2 Glasovne evakuacije .....	38
9.3 HI-FOG sistem .....	39
10. ZAKLJUČAK.....	40
11. LITERATURA .....	41
POPIS SLIKA .....	44
POPIS TABLICA .....	44



# 1. UVOD

Kemijska industrija je grana industrije u kojoj se proizvodnja temelji na kemijskim reakcijama i postupcima. Izvori sirovina za proizvodnju mogu biti ne samo sintetskog podrijetla, već i biljnog, životinjskog i mineralnog, a obrađuju se kemijskim, fizikalnim i biokemijskim procesima. Kemijska industrija je među vodećim industrijama u svijetu te se njezini proizvodi koriste u mnogim drugim područjima gospodarstva. U samom procesu proizvodnje se mogu koristiti različite kemijske tvari koje djeluju štetno, te mogu uzrokovati nesreće ako se ne poduzmu potrebne mjere zaštite. Zaštita od požara i eksplozija kao i identifikacija rizika od nastanka požara i eksplozija vrlo su važni elementi jer neprovođenje mjera može imati katastrofalne posljedice. U Republici Hrvatskoj propisane mjere zaštite donesene su Zakonom o zaštiti od požara NN 92/10, 114/22. U slučaju požara i eksplozija potrebno je poduzeti postupke preventivne zaštite, gašenja i otklanjanje opasnih tvari kako ne bi došlo do ugrožavanja ljudskih života i okoliša.

## 1.1 Predmet i cilj rada

Predmet i cilj ovoga rada je objasniti zaštitu od požara i eksplozija u kemijskoj industriji. U radu su objašnjene zaštitne mjere u samom procesu rada te postupci i sredstva za gašenje požara. Navedena je osobna zaštitna oprema vatrogasaca u slučaju gašenja kemijski opasnih tvari te sam utjecaj moderne tehnologije na zaštitu od požara i eksplozija.

## 1.2 Izvori podataka i metode prikupljanja

Podaci navedeni u ovom radu su prikupljeni iz pravilnika, članaka i literature napisanih od strane Hrvatskog zavoda za zaštitu zdravlja i sigurnosti na radu i drugih stručnih izvora.

## 2. OSNOVNE ZNAČAJKE POŽARA I EKSPLOZIJA

Požar je nekontrolirano gorenje koje nanosi materijalnu štetu i/ili ugrožava ljudske živote [1]. Do požara može doći kada su dostupni zapaljivi materijali, kisik i dovoljno energije za paljenje (Slika 1). Sav materijal sposoban za egzotermnu reakciju oksidacije mora se smatrati zapaljivim. To mogu biti:

- plinovi - butan, propan, metan, ugljikov monoksid i vodik
- tekućine - goriva, otapala, ulja, masti, boje i razrjeđivači
- čvrste tvari - drvo, ugljen, plastika, metali i hrana.

Zapaljive tekućine klasificiraju se kao izuzetno zapaljive, visoko zapaljive i zapaljive. Izuzetno zapaljive tekućine imaju plamište niže od 0°C i vrelište niže ili jednako 35°C. Visoko zapaljive tekućine imaju plamište ispod 21°C, ali nisu izrazito zapaljive. Zapaljive tekućine imaju plamište jednako ili veće od 21°C i manje od ili jednako 55°C i podržavaju gorenje kada se ispituju na propisani način na 55°C.



Slika 1: Trokut gorenja [2].

Požare dijelimo u skladu s prirodom gorive tvari na četiri razreda. Zbog same uporabe odgovarajućih aparata za gašenje požarni razredi označeni su slovnim oznakom:

- A – požari krutina
- B – požari tekućina ili rastaljenih krutina
- C – požari plinova
- D – požari metala

Promjenom norme EN 2:1992/A1:2004 u siječnju 2005. godine uvedena je i klasa požara F. U klasu F pripadaju požari biljnih i životinjskih ulja i masti(slika 2)[3].



Slika 2: Klase požara [4].

Glavne značajke požara su dim, eksplozija i samozapaljenje. Osim topline koja se stvara u uvjetima požara, važan element koji prati svaki požar je dim. Dim predstavlja disperzni sustav u kojem njegovu disperznu fazu čine čestice čvrste tvari i kapi kondenzirane tekućine, a ostalo su parne i plinovite značajke. Dim također dovodi do smanjenja vidljivosti. Zbog zagrijanosti na visoku temperaturu dim može dovesti do proširenja požara ako na svom putu naiđe na zapaljive tvari. Eksplozija je izuzetno brza kemijska reakcija praćena praskom, oslobađanjem velike količine topline i naglim povećanjem volumena zbog stvaranja plinovitih proizvoda [1]. Eksplozija ovisi o atmosferi mješavine zapaljivog materijala s kisikom. Pare i plinovi zapaljivih tekućina mogu gorjeti plamenom ili eksplodirati. Eksplozivna smjesa nastaje kada dođe do miješanja u određenom omjeru sa zrakom. Sam omjer ovisi o „granicama eksplozivnosti“ koje dijelimo na gornju i donju granicu. Gornja granica eksplozivnosti je

maksimalna koncentracija zapaljivog plina, para tekućine ili prašine koja sa zrakom može izazvati eksploziju. Donja granica eksplozivnosti je minimalna koncentracija zapaljivog plina, para tekućine ili prašine koja sa zrakom može izazvati eksploziju. Ukoliko je koncentracija niža od donje granice eksplozivnosti, do eksplozije ne može doći. Kada je koncentracija veća od gornje granice eksplozivnosti smjesa je prezasićena i zbog toga ne sadrži dovoljno kisika za eksploziju. Tvari koje imaju svojstvo samozagrijavanja potrebno je skladištiti, prevoziti i upotrebljavati s posebnim oprezom jer nakon samozagrijavanja može doći do samozapaljenja.

Do samozapaljenja može doći:

- Vanjskim djelovanjem (dovođenje topline do temperature samozagrijavanja)
- dovođenjem tvari do temperature samozagrijavanja djelovanjem bioloških reakcija
- djelovanjem kemijskih reakcija.

Preventivne mjere zaštite kod samozapaljenja su poznavanje tvari koje su podložne samozapaljenju, kontrola i mjerenje temperature u unutrašnjosti tvari koja je podložna samozapaljenju te redovito odvođenje nastale topline na adekvatan način. Najbolji pristup sprječavanju požara i eksplozija je zamjena ili minimaliziranje upotrebe zapaljivih materijala.

## **2.1 Požari i eksplozije u kemijskoj industriji**

Požari i eksplozije u industrijskim postrojenjima ne samo da mogu dovesti do gubitaka i šteta, već mogu i ometati funkcioniranje gospodarstva. Opasnost od požara prisutna je svugdje. Paljenje može biti uzrokovano cijelim nizom mogućih izvora kao što je otvoreni plamen, trenje, vođenje topline, iskra i električni uređaji. Uspješnost paljenja značajno ovisi o kemikaliji s kojom se radi. Jedan od načina obilježavanja kemikalija je označavanje putem dijamanta

opasnosti. Dijamant opasnosti dizajniran je u obliku romba, čija je površina podijeljena na četiri polja različitih boja u kojima su brojevi od 0 do 4. Brojevi u rombu predstavljaju stupnjeve opasnosti. Porast broja ukazuje na porast opasnosti danog polja. Boje unutar romba su karakteristične i imaju određena značenja, pa je tako lijevim plavim poljem u rombu predstavljena opasnost po zdravlje, gornjim crvenim poljem predstavljena je požarna ili eksplozivna opasnost, dok je desno žuto polje oznaka za nestabilnost, a donje bijelo polje rezervirano je za posebne obavijesti (slika 3) [5].



Slika 3: Dijamant opasnosti [5].

### 3. PROCJENA RIZIKA

Procjena rizika je postupak kojim se utvrđuje razina opasnosti, štetnosti i napora u smislu nastanka ozljede na radu, profesionalne bolesti, bolesti u vezi s radom te poremećaja u procesu rada koji bi mogao izazvati štetne posljedice za sigurnost i zdravlje radnika [6]. Kod procjene rizika od požara i eksplozija bitno je navesti sve opasne tvari i procese u radu. Opasne tvari mogu biti zapaljive tekućine, plinovi, prašina, krutine, aerosoli, oksidirajuće tvari, eksplozivi, tvari koje stvaraju zapaljive plinove u dodiru s vodom ili drugim kemikalijama te tvari koje mogu razviti spontano paljenje. Potrebno je ustvrditi značajne čimbenike opasnih tvari, poput tlaka pare, plamišta, granice eksplozivnosti, kalorijske vrijednosti. Tijekom radnih procesa česta pojava su izvori paljenja poput otvorenog plamena ili visokih temperatura koju mogu biti jedan od glavnih uzroka požara ili eksplozija.

Takvi izvori paljenja mogu biti:

- toplinska energija: otvorena vatra, vruće površine, motori s izgaranjem, raspršivači zavarivanja
- kemijska energija: spontano zagrijavanje, ubrzanje egzotermnih reakcija
- električna energija: kratki spojevi, elektromagnetsko zračenje, munje, električni lukovi
- mehanička energija: trenje, iskre od alata, brušenje.

Nakon prikupljanja i analize svih značajnih informacija potrebno je procijeniti opseg uključenih rizika. Opseg rizika može biti visoki, srednji, nizak i vrlo nizak. Visoki rizik označuje veće količine zapaljivih ili oksidirajućih tvari te veću vjerojatnost izbijanja požara s karakteristikama brzog širenja i velike količine dima i topline. Radno mjesto gdje postoji velika šansa za razmatranje posebnih mjera, zaštite sigurnosti i zdravlja ljudi od eksplozivnih atmosfera opisuje se kao opasno. Takva radna mjesta označujemo EX oznakom koja upozorava na sam rizik od eksplozija u određenom dijelu radnog prostora (slika 4). Opasna mjesta

moraju se identificirati i klasificirati u zone s obzirom na trajanje i učestalost eksplozivne atmosfere. Podjela zona prikazana je u sljedećoj tablici:

Tabela 1: podjela zona opasnosti [7].

<b>Zone opasnosti – eksplozivna plinska atmosfera</b>	
Zona 0	prisutna konstantno ili dulje razdoblje
Zona 1	pojava moguća u normalnom radu
Zona 2	ne očekuje se pojava u normalnom rada, rijetko i u kratkom razdoblju
<b>Zone opasnosti – eksplozivna atmosfera u obliku oblaka prašine</b>	
Zona 20	prisutna konstantno, učestalo ili dulje razdoblje
Zona 21	pojava moguća u normalnom radu
Zona 22	ne očekuje se pojava u normalnom radu, rijetko i u kratkom razdoblju



Slika 4: Oznaka EX [8].

Procjena rizika je važan čimbenik u sprječavanju požara i eksplozija. Ona donosi vrlo bitna poboljšanja u samom radnom procesu i osigurava sigurnost radnika i tvrtke.

### **3.1 Osposobljavanje radnika**

Poslodavci su dužni osigurati sigurnost i zdravlje radnika u svim područjima rada te potrebnu organizaciju i sredstva. Počevši od raspodjele odgovornosti, osoblje za zdravlje i sigurnost mora imati potrebno znanje za provođenje procjene rizika u vezi s mogućim opasnostima od požara i eksplozije i odabir povezanih mjera. Pri određivanju procesa poduzeća, rizici od požara kao i mjere za sprječavanje i suzbijanje požara moraju se razmotriti već u fazi projektiranja. U suradnji s arhitektima i stručnjacima za sprječavanje požara to može uključivati: indikaciju požarnih odjeljaka, odvajanje posebnih jedinica, sustave za gašenje požara i puteve za bijeg. Osposobljavanje i daljnje obrazovanje svih zaposlenika uključenih u poslove zaštite od požara i gašenja požara također je bitno za sigurnost zaposlenika i tvrtke. To mora uključivati redovite protupožarne vježbe i demonstracije o tome koliko lako može doći do požara koje će predstaviti vatrogasna brigada ili srodne institucije.



## 4. ZAŠTITNE MJERE

Kemijska postrojenja zahtijevaju više specijaliziranih protupožarnih značajki i sustava od većine industrijskih postrojenja. Neželjeno ispuštanje zapaljive tekućine može rezultirati požarom koji može preopteretiti sustave za prskanje u roku od nekoliko minuta. Takvi nekontrolirani požari mogu ugroziti procesnu opremu i uzrokovati gubitak kontrole procesa. Osnovna zaštita opisuje opće prihvaćene i zakonski potrebne mjere kao što su aparat za gašenje požara, ručne alarmne točke, zidni hidranti, opskrba vodom, konstruktivna zaštita od požara itd. Razine zaštite i zaštite od požara u kemijskoj industriji definirana je propisima, na temelju izvještaja procjene rizika.

Postoje 3 razine zaštite a to su osnovna, napredna i dopunska. Osnovna razina uključuje zakonski propisane mjere kao što su aparati za gašenje požara, opskrba vodom, ručne alarmne točke i zidni hidranti. Napredna razina obuhvaća automatske sustave za detekciju požara, senzore za rana upozorenja (dim, toplina i plin), strogo protupožarne pregrade, polufiksne i fiksne sustave za gašenje (vodeni sprej, sprinkler) i vatrogasnu postrojbu (slika 5).

Sprinkler sustav može obuzdati požar u kemijskom postrojenju hlađenjem i vlaženjem okolnih područja, ali ne može ugasiti požare koji uključuju zapaljive plinove, ukapljene zapaljive plinove i zapaljive tekućine s niskom točkom paljenja. Stoga je potrebno primijeniti značajke i sustave pasivne i aktivne zaštite kako bi se ispunili ciljevi zaštite od požara i smanjili gubici. Pasivna zaštita od požara uključuje prostorno ili protupožarno odvajanje, protupožarne ili konstrukcijski čelične nosače opreme, zadržavanje i hitnu drenažu.



Slika 5: Primjer protupožarne zaštite [9].

Aktivna zaštita od požara obuhvaća poboljšanje postojećih sustava ili novih sustava inteligentnog nadzora, detektora požara i plina, sprinkler sustava, drenažnih sustava (vodena magla, sprinkler, vodeni sprej) i plinovitih sustava za gašenje (slika 6). Aktivnom protupožarnom zaštitom treba obuhvatiti sve prostore u kojima može istjecati zapaljiva tekućina. Sustavi zadržavanja mogu uključivati drenažu za hitne slučajeve koja se odvodi u sekundarno područje zadržavanja kako bi se pomoglo u uklanjanju ispuštene tekućine i ispuštene vode u područje nakupljanja koje se nalazi daleko od opreme i zgrada.



Slika 6: Primjer sprinkler sustava [10].

Zaštita od požara u kemijskoj industriji učinkovita je do određenog stupnja, ali konačni je cilj ukloniti bilo kakvu štetu ili gubitak u industriji i lokalnoj zajednici. Iako je čovjek vrlo bitan faktor u sprječavanju nesreća i umanjivanju njihovih posljedica, tehničkim poboljšanjima možemo značajno smanjiti rizik na različite načine.

Mjere za sprječavanje ili ograničavanje nastanka opasne eksplozivne atmosfere:

- zamjena gorivih tvari negorivim ili manje gorivim tvarima
- ograničenja materijala na radnom mjestu na količinu potrebnu za odvijanje radnog procesa
- skladištenje otpada i ostataka materijala na kraju rada/radne smjene na sigurno mjesto
- sprječavanje ili ograničenje eksplozivne atmosfere unutar sustava ili jednog njegovog dijela ograničavanjem koncentracije i inertizacijom (neutralizacijom)
- sprječavanje ili ograničenje eksplozivne atmosfere unutar sustava ili jednog njegovog dijela pomoću: sustava prigušivanja
- sustav odvajanja: - za plinove: ventilacija (prirodna ili umjetna)
  - za prašinu: mjere za uklanjanje taloženja
- praćenje koncentracije plinova
- mjere prevencije ili ograničenja zapaljenja opasne eksplozivne atmosfere
- vjerojatnosti nastanka i vrijeme trajanja eksplozivne atmosfere (podjela na zone)
- slijedeći podjelu na zone, odabir odgovarajućih električnih i neelektričnih uređaja i komponenti mora biti u skladu sa opremom odgovarajuće kategorije

- projektirati mjere za protueksplozijsku zaštitu radi ograničavanja posljedica eksplozije na neškodljivu razinu: konstrukcijama otpornim na eksplozije, protueksplozijskim odušcima, suzbijanje eksplozije, izoliranje eksplozije u kombinaciji s navedenim [7].

#### 4.1 Uklanjanje ili smanjenje količine zapaljivog materijala i kontrola veličine čestice

Zapaljivi materijal je rezultat karakterističnog procesa ili neophodan dio procesa što ga čini u većini slučajeva nezamjenjivim. Količina zapaljivog materijala na radnom mjestu mora biti svedena na minimum te se mora pohraniti u odgovarajućim vatrootpornim spremnicima, na propisani način označiti i udaljiti od izvora paljenja (slika 7). Zapaljivi materijal se ne smije skladištiti sa nekompatibilnim materijalima sa kojima može kemijski reagirati i inicirati eksploziju. Kontrola veličine čestice zapaljivog materijala se može koristiti za smjesu prašina/zrak. Ukoliko su čestice zapaljivog materijala dovoljno velike, npr. veće od 0,5 mm, smanjena je mogućnost nastanka eksplozivne smjese. Uvijek uz grube mogu biti prisutne i fine čestice koje se mogu pojaviti i kao rezultat trenja [7].



Slika 7: Primjer vatrootpornog spremnika [11].

## **4.2 Održavanje koncentracije zapaljivih tvari u smjesi sa zrakom izvan granica eksplozivnosti**

Industrijsko postrojenje mora biti sigurnosno izvedeno tako da ne dolazi do propuštanja u normalnim radnim uvjetima, što se postiže redovitim održavanjem i ispitivanjem. U slučaju nemogućnosti sprječavanja propuštanja zapaljivih tvari, nastajanje eksplozivne atmosfere mora se onemogućiti odgovarajućim mjerama. Jedna od tih mjera je održavanje koncentracije zapaljivih tvari u smjesi sa zrakom izvan granica eksplozivnosti. Ove mjere uključuju ventilaciju i čišćenje.

Konkretno za plinove i pare:

- prirodna ventilacija (prozračivanje prirodnim propuhom)
- prisilna ventilacija (ventilacija sa direktnim upuhivanjem zraka).

U slučaju prašine pouzdana mjera prevencije je odvođenje s radnog procesa. Nakupljanje zapaljive prašine može se izbjeći redovitim čišćenjem pomoću odgovarajuće opreme. Potrebno je izbjeći uzvrtavanje zapaljive prašine zbog mogućeg stvaranja zapaljive smjese u obliku oblaka [7].

## **4.3 Sustav za rano otkrivanje eksplozivne atmosfere**

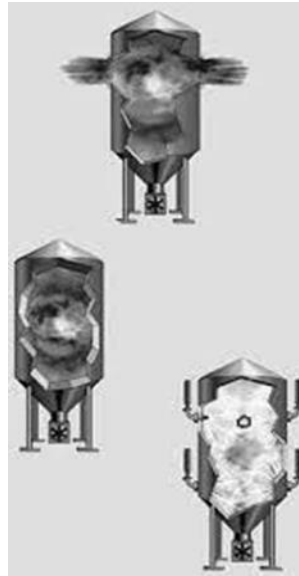
Određeni sustavi mogu se koristiti za rano otkrivanje stvaranja eksplozivne atmosfere. Sustavi rade na principu upozorenja aktivacijom alarma kada je koncentracija gorive tvari/smjese sa zrakom otprilike 10% od donje granice eksplozivnosti. Takvi sustavi mogu isključiti opremu koja nema protueksplozijsku zaštitu i uključiti sustav ventilacije [7].

#### 4.4 Protueksplozijska zaštita

Ondje gdje ne postoji mogućnost smanjena eksplozije na minimalnu razinu, potrebno je poduzeti dodatne mjere koje pomažu pri umanjivanju učinaka eksplozije. Posljedice eksplozije mogu se umanjiti konstrukcijskim mjerama zaštite, poput:

- konstrukcija otpornih na eksploziju
- protueksplozijskog oduška
- suzbijanje eksplozije
- izoliranje eksplozije sa brzo djelujućim ventilom [7].

Konstrukcije otporne na eksploziju moraju biti projektirane tako da mogu izdržati unutarnju eksploziju bez puknuća. Spremnici i kontejneri otporni na tlak eksplozije moraju izdržati očekivani nadtlak eksplozije bez dugoročne deformacije. Spremnici i kontejneri otporni na tlak i udar eksplozije su konstruirani tako da u slučaju unutrašnje eksplozije mogu izdržati udar, ali će se i trajno deformirati. Nakon eksplozije potrebno je provjeriti svaki dio opreme i utvrditi deformacije prije nastavljanja bilo kakve aktivnosti. Protueksplozijski odušak je naprava koja osigurava da postrojenje/instalacija ne budu izloženi jačini eksplozije koja prekoračuje njihovu projektiranu čvrstoću. Protueksplozijska vrata ili rasprskavajući diskovi su primjeri takve odušne naprave. U slučaju da se radi o opasnim tvarima protueksplozijski odušci se ne smiju koristiti kao mjera zaštite.



Slika 8: Protueksplozijski odušak(skroz gore), posuda otporna na eksploziju(lijevo) i suzbijanje eksplozije(na dnu desno) [7].

Suzbijanje eksplozija je sustav naprava koje sprječavaju stvaranje nedopušteno visokog tlaka tijekom eksplozije u spremnicima. Sustav naprava radi na način da očitava širenje plamena ili porast tlaka za vrijeme eksplozije i uklanja eksploziju oslobađanjem sredstva za gašenje (slika 8). Eksplozija nastaje u jednom dijelu uređaja i pritom se može proširiti na ostale dijelove. Visoki nadtlak eksplozije uzrokovan je pomakom koji nastaje širenjem eksplozije. Eksplozivni nadtlak može biti veći od maksimalnih tlakova te može uništiti nezaštićene dijelove instalacije, kao i dijelove postrojenja otporne na tlak ili eksplozivni udar. Vrlo je bitno izolirati moguće eksplozije na pojedinim dijelovima postrojenja pomoću sustava izoliranja eksplozije (slika 9). Sustav izoliranja eksplozije se može postići uporabom:

- brzo-djelujućih mehaničkih izolatora
- gašenjem plamena u uskim otvorima ubrizgavanjem sredstva za gašenje
- zaustavljanje plamena hlađenjem
- vodenom brtvom
- rotirajućim ventilima [7].



Slika 9: Primjer izoliranja eksplozije sa brzo djelujućim ventilom [7].

Postupak izoliranja eksplozije sa brzo djelujućim ventilom potrebno je prostorno ili preprekama odvojiti inkompatibilne kemikalije, kao što su zapaljive tvari od oksidansa, kiseline od lužina, tvari koje s vodom daju opasne plinove ili burno reagiraju od vode. Kemijski opasne tvari je potrebno odvojiti od procesa ili uređaja koje mogu izazvati iskru, a električne instalacije je potrebno izvesti na najsigurniji način.



## **5. SREDSTVA ZA GAŠENJE POŽARA**

Požari uzrokovani kemikalijama donose brojne materijalne, ekološke i zdravstvene probleme. Kako bi šteta bila što manja potrebno je pravilno gašenje požara. Samo gašenje ovisi o vrsti i svojstvima kemikalija. Velika većina takvih požara gasi se pjenom, prahom, ugljičnim dioksidom, FM-200 i vodom i priručnim sredstvima.

### **5.1 Voda**

Voda je jedno od osnovnih sredstava za gašenje požara. Ona je kemijski spoj između vodika i kisika te se prilikom gašenja može rastaviti na svoje elemente. To dovodi do neželjenih posljedica jer je vodik zapaljivi plin, a kisik podržava i pojačava gorenje. Voda može uzrokovati negativnu reakciju kod pojedinih kemijskih tvari, ali služi kao odlično sredstvo za hlađenje spremnika, apsorpciju plinova, razrjeđivanje kiseline i alkohola.

### **5.2 Pjena**

Pjena je nestabilna masa koju čini mnoštvo mjehurića ispunjenih zrakom ili plinom, te je njeno djelovanje istodobno ugušujuće i ohlađujuće. Ovisno o vrsti pjene mjehurići mogu biti ispunjeni plinom – ugljičnim dioksidom (CO<sub>2</sub>) ili zrakom. Kao sredstvo za gašenje ima osobito značenje kod požara lako zapaljivih tekućina (benzina, nafte, ulja i dr.). Prema načinu stvaranja pjene razlikujemo kemijsku i zračnu pjenu. Kemijsku pjenu dobivamo pomoću pjenila, vode i plina ugljičnog dioksida. Dobija se međusobnim mješanjem aluminijske sulfata, natrijevog bikarbonata i sredstva za pjenjenje u određenim omjerima. Kemijskom reakcijom između otopine aluminijske sulfata i natrijevog bikarbonata nastaje plin ugljični dioksid koji ispunjava mjehuriće i čini pjenu s velikim volumenom i malom težinom. Takva kemijska reakcija nosi oznaku PH.

Kemijska pjena najbolji učinak ima za gašenja požara lako zapaljivih tekućina (slika 10). Zračnu pjenu dobivamo miješanjem zraka, vode i pjenila. Zračna pjena nastaje uvođenjem zraka u otopinu vode i pjenila, tako da su mjehurići pjene ispunjeni zrakom. Zračne pjene dobivamo korištenjem raznih pjenila i ekstrakta. Broj opjenjenja pokazuje koliko je volumen nastale pjene veći od volumena otopine od koje je proizvedena. Pjene dijelimo na tešku, srednje tešku i laku pjenu. Sto je više zraka u sastavu pjene, to je pjena lakša.



Slika 10: Primjer gašenja požara pjenom [12].

### 5.3 Prah

Prah je danas jedno od najpoznatijih i najrasprostranjenijih sredstava za suho gašenje zahvaljujući svojstvima samog praha i postupcima kojima je usavršen. Prah je po osnovnom kemijskom sastavu natrijev bikarbonat. Ojačan je dodacima kao što su karbonati, silikati i fosfati što ga mu daje karakteristiku sipkosti, da se uslijed dužeg stajanja u aparatima ne bi zgrudao ili upijao vlagu. Prah gasi požar na načelu antikatalitičkog i ugušujućeg djelovanja. Najbolji učinak postiže kod zapaljivih tekućina, plinova, električnih uređaja, odnosno

instalacija pod naponom kao i predmeta od posebnog značaja osjetljivih na vlagu.

#### **5.4 Ugljični dioksid CO<sub>2</sub>**

Ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>) je plin bez boje i mirisa, blago kiselkastog okusa, 1,5 puta teži je od zraka, a javlja se i u obliku teško hlapljive bezbojne tekućine ili krute tvari poput snijega (suhi led). Ugljični dioksid se koristi kao sredstvo za gašenje zbog potpune zasićenosti kisikom. Ugljični dioksid nastaje punim sagorijevanjem gorivih tvari koje sadrže kemijski vezani ugljik. Gasi požare na principu ugušivanja, što se postiže istiskivanjem zraka iz zone gorenja te ima manji ohlađujući učinak prilikom gašenja. Osobito je pogodan za gašenje u zatvorenom prostoru, požara zapaljivih tekućina i plinova i požara na električnim instalacijama

#### **5.5 Tekući plin FM-200**

FM – 200 je tekući plin, kemijske formule CF<sub>3</sub>CHCF koji se pod tlakom od 24,8 bara kod 20° C drži u spremnicima, a služi kao djelotvorno sredstvo za gašenje i ima antikatalitičko djelovanje. Plin FM-200 je siguran za ljude , bezbojan i bez mirisa, ne uzrokuje povećanja tlaka u prostoru, nije električki vodljiv što je vrlo bitno za zaštitu električnih uređaja i opreme, te gasi požar unutar deset sekundi od trenutka aktiviranja.

#### **5.6 Priručna sredstva za gašenje požara**

Pijesak, zemlja i slični materijali koja ne gore spadaju u kruta pomoćna sredstva za gašenje požara. Uslijed nedostatka odgovarajućih sredstava za gašenje požara često se moraju upotrebljavati i pomoćna sredstva.

## 6. OMEĐIVANJE

U slučaju istjecanja opasne kemikalije potrebno je zaustaviti njezino širenje postupkom omeđivanja. Omeđivanje je postupak kojim se smanjuje širenje opasne kemikalije kroz okoliš odgovarajućim postupcima i sredstvima. Omeđivanje je potrebno izvesti u što bržem vremenu jer će kasnije postupci uklanjanja biti zahtjevniji i manje uspješni. Postupci omeđivanja su ograđivanje, usmjerivanje na prikladno mjesto i vezanje prikladnim sredstvom (imobilizacija) [13].

### 6.1 Ograđivanje

Ograđivanje je jedan od najčešćih postupaka bez obzira na agregatno stanje opasne kemikalije ili medij koji je njome ugrožen. Koristi se čak i kod plinovitih kemikalija. Ograđivanje se upotrebljava za zaustavljanje širenja opasne tvari na kopnu i na vodi. Postupak najčešće koristimo za tekuće kemikalije i u slučaju onečišćenja voda kemikalijama sa specifičnom težinom manjom od vode.

Na vodama se postupak provodi plutajućim branama koju su jednim dijelom uronjene u vodu, a drugim dijelom vire iznad površine vode. Izrađuje se od laganih plastičnih materijala s balastnim teretom na donjoj strani i s mogućnošću sidrenja na barem dva mjesta. Zadatak im je zadržavanje onečišćenja na ograničenom području tijekom vremena potrebnog za saniranje onečišćenja posebnim alatima i plovilima. Primjena je ograničena meteorološkim uvjetima i može uzrokovati probleme prilikom postupka. Za ograđivanje kemikalija s većom gustoćom od vode nema pouzdane tehnologije, pogotovo ako one ne potonu nego se djelomično ili cjelovito prošire površinom vode. Potpuna sedimentacija na dno će usporiti širenje kemikalije, ali nemoguće je potpuno spriječiti onečišćenje zbog brojnih čimbenika (biosfera). Sredstva za ograđivanje na kopnu su brojna. Zemlja ili pijesak su univerzalna sredstva za ograđivanje zbog lakog rukovanja i same kompatibilnosti s drugim kemikalijama.

Pješčana brana zaustavit će svaku tekuću kemikaliju i imobilizirati upijanjem [13].



Slika 11: Ograđivanje na vodi [14].



Slika 12: Ograđivanje na kopnu [15].

## 6.2 Usmjeravanje

Usmjeravanje je metoda preusmjeravanja opasne tvari na mjesto gdje će šteta biti manja. U Hrvatskoj je propisana obveza izgradnje prihvatnih spremnika na mjestima korištenja ili držanja opasne tvari što uveliko doprinosi preventivnim mjerama sigurnosti. U slučaju nesreća u prijevozu ne postoji propisno izrađen sustav prikupljanja i pročišćavanja opasnih kemikalija na cesti. Izlijevanje opasne tvari se ne događa trenutno i uvijek ima vremena za procjenu situacije na kojem će mjestu šteta biti najmanja ako se prema njemu usmjeri opasna tvar. U ovome slučaju možemo iskoristiti pijesak, koji ne služi samo za ograničenje već i za usmjeravanje toka prelivene tvari. Preusmjerivanje je postupak kojim kemikaliju premjestimo na manje rizično mjesto. Tehniku usmjeravanja koristimo u slučaju nesreća s plinovima i tekućinama te ju je moguće izabrati ranije u slučaju nesreće u nepokretnom objektu. Jedan od primjera usmjeravanja su prihvatni bazeni uz objekte gdje se rukuje opasnim tekućinama. Opasne plinove, prašine i aerosoli mogu se u nekim slučajevima usmjeriti prema tlu primjenom vodenog spreja. Učinkovitost usmjerivanja ovisit će o količini primijenjene vode, veličini kapljica (što je kapljica sitnija to je učinkovitost bolja), o dužini puta vodenih kapljica kroz oblak prema tlu i o svojstvima plinovite kemikalije. Važna karakteristika kemikalije koja se obara jest njezina topljivost u vodi. Što je topljivost veća, to će i učinkovitost biti bolja [13].

## 6.3 Imobilizacija

Imobilizacija je postupak upijanja razlivenih tekućina ili prikupljanja čvrstih opasnih tvari primjenom inertnih sredstva kao što su pijesak i posebne pjene. Pijesak se često koristi kod slučaja razlivenih tekućina. Jedna od često korištenih tehnika je prekrivanje koja se koristi u slučaju prolijevanja lako hlapljivih tekućina ili ukapljenih plinova te kod prosipanja vrlo opasnih čvrstih tvari kod određenih vremenskih uvjeta. Najčešće se za prekrivanje koriste

posebne pjene čija je uloga usporavanje ishlapljivanja. Pjene sprječavaju dotok topline potrebne za ishlapljivanje i izlazak opasnih para u otvorenu atmosferu. Ova tehnika sprječava širenje otrovnih tvari u okoliš, a kod zapaljivih i eksplozivnih uklanja uvjete za zapaljenje i eksploziju. Spomenute metode mogu se planirati u izradi interventnog plana ali je potrebno izraditi i jasno pisane upute koje će biti na raspolaganju zaposlenicima u slučaju nesreće [13].

## 7. SKLADIŠTENJE

Objekti skladištenja moraju biti izgrađeni od čvrstog materijala. Potrebno je uzeti u obzir nepovoljne klimatske uvjete, zaštitu od izravnog svjetla, para, plinova, topline i atmosferskog taloga. U prostorima gdje se proizvode, upotrebljavaju i skladište opasne kemikalije zidovi moraju biti lako perivi i otporni na kemikalije. U slučaju kemikalija koje su eksplozivne ili zapaljive, zidovi moraju biti izgrađeni od nezapaljivog materijala zbog sprječavanja širenja vatre. Vrata objekta moraju biti izrađena od nezapaljivog materijala, a u slučajevima držanja određenih opasnih kemikalija vrata su izvedena tako da se automatski zatvaraju. Pod objekta mora biti lako periv, gladak i otporan, a prag prostorije izveden u visini minimalno 5 centimetara tako da se mogu zadržati prolivene opasne kemikalije. Na podu se ne smije nalaziti izravan odvod u kanalizaciju, ali u slučaju njihove izvedbe potrebno ih je povezati s nepropusnim kolektorom do jame za obradu otpadnih voda. U objektu gdje se nalaze kemikalije koje imaju neko od opasnih svojstava kao oksidirajuće, vrlo lako zapaljivo, lako zapaljivo, zapaljivo i eksplozivno, pod mora biti elektrovodljiv ili uzemljen.

Vodovodne, električne i kanalizacijske instalacije potrebno je nepropusno zatvoriti. U prostorijama u kojima se postupa opasnim kemikalijama koje su zapaljive ili eksplozivne, električna instalacija treba biti izvedena u sigurnosnoj izvedbi. Prozračivanje u slučaju opasnih kemikalija koje ispuštaju aerosoli, prašinu ili plinove mora biti prirodno ili umjetno izvedeno tako da koncentracija štetnih tvari ne bude veća od maksimalno dopustive koncentracije propisane odgovarajućim propisima zaštite na radu. U slučaju da u prostorijama nije ugrađeno automatsko praćenje koncentracije hlapljivih opasnih kemikalija i kemikalija koje se pri radnom procesu javljaju u zraku kao aerosoli ili prašina, provjera se mora obavljati odgovarajućim uređajem kontinuirano ili najmanje svakih četiri sata za radnog vremena prema odgovarajućim propisima.

Opasne kemikalije mogu se skladištiti i u ormarima izrađenim od materijala kompatibilnog tim kemikalijama i uređenog tako da se spriječi izlivanje kemikalije izvan ormara ili nesreće. Kemikalije koje mogu međusobno reagirati



potrebno je držati odvojeno u posebnim prostorijama ili u istom prostoru odvojene tako da ne mogu doći u izravan dodir (slika 13).

Opasne kemikalije mogu se skladištiti u samostojećim, pokretnim ili podzemnim spremnicima smještenim na nepropusno ozidanom mjestu s prihvatnim bazenom te s nadstrešnicom ili sustavom za prikupljanje oborinskih voda. Podzemni spremnici moraju imati posebnu zaštitnu izolaciju ili dvostruku stijenku. Pravna osoba koja upotrebljava opasnu kemikaliju te pravna osoba koja obavlja djelatnost proizvodnje i prometa opasne kemikalije obvezna je kemikalije držati u posebnim spremnicima, prostorijama i postrojenjima. Na svim vratima prostorija i ormara u kojima se drže opasne kemikalije mora stajati znak opasnosti i natpis kojima se upozorava na vrstu opasnih kemikalija. Potrebno je obratiti pozornost na one spojeve koji moraju ostati vlažni ili mokri kako ne bi postali eksplozivni (pikrinska kiselina, 2,4-dinitrofenil hidrazin, itd.). Važno je pratiti stanje kemikalija i spremnika u kojem su skladište. Neki od znakova mogućeg istjecanja ili nesreće su propadanje vanjske strane spremnika, promjena boje kemikalije i kristalni rast unutar ili izvan spremnika.



Slika 13: Primjer skladištenja kemijskih tvari [16].

## 8. OSOBNA ZAŠTITNA SREDSTVA

Prema članku 2. Pravilnika o tehničkim zahtjevima za zaštitnu i drugu osobnu opremu koju pripadnici vatrogasnih postrojbi koriste prilikom vatrogasne intervencije (NN 31/11) propisano je da se zaštitna oprema pripadnika vatrogasne postrojbe dijeli na osobnu i zajedničku zaštitnu opremu [17]. Osobnu zaštitnu opremu vatrogasac je dužan nositi tijekom gašenja požara, spašavanja osoba te imovine i u drugim situacijama pri kojima se susreće s opasnostima za vlastitu sigurnost. Zajedničku zaštitnu opremu može koristiti više vatrogasaca ovisno o specifičnosti intervencije.

U osobnu zaštitnu opremu ubrajamo (slika 14):

- bluza za zaštitu od toplinskog isijavanja
- hlače za zaštitu od toplinskog isijavanja
- kožne zaštitne čizme s ojačanim potplatom
- rukavice za zaštitu od toplinskog isijavanja
- zaštitna vatrogasna kaciga
- zaštitna maska
- zaštitni opasač tip "A"
- pribor za zaštitni opasač [18].



Slika 14: Osobna zaštitna oprema vatrogasaca [19].

Kožne zaštitne čizme s ojačanim potplatom štite noge i stopala vatrogasaca od topline, ranjavanja, požara i doticaja sa različitim opasnim tvarima. Zaštitna kaciga je vrlo važan čimbenik u zaštiti vatrogasaca. Izrađena od polikarbonatnih i drugih suvremenih materijala štiti glavu i lice od opasnih tvari te omogućuje nesmetano komuniciranje. Zaštitna obrazina se izrađuje od miješane gume, dok je priključak za dišnu spravu s normalnim tlakom izrađen je od oblog navoja standardne veličine a priključak za aparate s pretlakom s kosim navojem. Na priključku se nalazi udišni ventil. Izdišni ventil je gumena membrana većeg presjeka radi omogućavanja lakšeg izdisanja. Unutrašnja maska ima dva razvodna ventila, a govorna membrana omogućuje dobro razumijevanje govora.

Opasač služi pri penjanju, spuštanju, ovješanju, radovima na visini i dubini, te za nošenje potrebnog pribora. Izrađuje se od čvrstog sintetičkog materijala, otpornog na trganje, opterećenje i istrošenost. Zbog važne uloge u sigurnosti

vatrogasaca, opasač se mora redovito provjeravati prema važećim normama i propisima. Uz osobnu zaštitnu opremu prilikom intervencija vatrogasci koriste i dodatnu osobnu opremu.

U slučaju požara i eksplozija u kemijskim industrijama u dodatnu opremu ubrajamo:

- odijelo za zaštitu od čvrstih, tekućih i plinovitih kemikalija
- odijelo za zaštitu od kontaminacije
- aparati za zaštitu dišnih organa
- prijenosni eksplozimetar
- osobni dozimetar
- dozimetar za neposredno očitovanje
- kemijski detektor
- plinodetektor
- pribor za dekontaminaciju
- zaštitne kožne i gumene rukavice.

Aparate za zaštitu dišnih organa dijelimo na aparate koji djeluju ovisno o atmosferi okoline (aparati sa cjedilom ili filtracijski aparati) i aparate koji djeluju neovisno o atmosferi okoline (izolacijski aparati). Aparati koji djeluju ovisno o atmosferi okoline su aparati s cjedilom za zaštitu od plinova i para, aparati s cjedilom za zaštitu od aerosola i aparati s kombiniranim cjedilom.

Aparati koji djeluju neovisno o atmosferi okoline su cijevni aparati (na svježi zrak i sa stlačenim zrakom) i izolacijski aparati (sa stlačenim zrakom i regeneracijski aparati). Prijenosni eksplozimetar je uređaj za otkrivanje opasnih eksplozivnih tvari koji može biti izvedeni za jedan ili više plinova, a može biti osobni, prijenosni i fiksni. Osobni dozimetar se koristi za otkrivanje radioloških opasnosti. Dozimetar za neposredno očitavanje se koristi za otkrivanje radioloških opasnosti (za neposredno očitovanje). Kemijski detektor se koristi kod kemijskih opasnosti (slika 15). Kemijski uređaji uglavnom služe kao osobni, te kod njih prevladava elektronika. Plinodetektor služi za detekciju plinova. Pribor za dekontaminaciju može biti osobni i skupni. Osobni pribor za dekontaminaciju

služi za čišćenje od bioloških agensa i bojnih otrova. Za sveopću skupnu dekontaminaciju koristi se vatrogasna oprema: pumpe, autocisterne, cijevi, mlaznice i hidranti, te druga oprema i uređaji [18].



Slika 15: Primjer kemijskog detektora(lijevo)[20] i eksplozimetra(desno) [21].

### 8.1. Odijela za zaštitu od čvrstih, tekućih i plinovitih kemikalija

U slučaju nesreće u kemijskoj industriji potrebna su posebna specijalizirana zaštitna odijela radi sigurnijeg obavljanja intervencije. Takve nesreće uključuju nastala biološko - kemijska onečišćenja koja treba otkloniti ili izlaganje izrazito visokoj toplini. Uloga kemijske zaštitne odjeće je da štiti od štetnih učinaka plinovitih, tekućih i krutih kemikalija. Kemijska zaštitna odijela dijelimo na jednokratna, za ograničenu i trajnu uporabu te ona moraju zadovoljiti zadovoljiti nepropusnost materijala, šavova i preklopnih mjesta s drugom zaštitnom opremom. Zaštitna kemijska odjeća trajne uporabe izrađuje se od mehaničkih otpornih materijala koji dozvoljavaju čišćenje i održavanje, ali samo ako ono ne utječe na sastav materijala. Odjeća ograničene uporabe izrađuje se od materijala koji se mehanički brže istroše od trajnih te se testiranje na nepropusnost ne provodi prvih pet godina nakon čega se provodi jednom godišnje.

Odjeća za jednokratnu uporabu izrađuje se od jednoslojnih materijala koji imaju svojstava zaštite pri izvođenju određenih radnih operacija u kemijskoj industriji. Takvu vrstu odjeće nije isplativo čistiti i ispitivati na nepropusnost materijala nego se ona uništava. Otpornost kemijskih zaštitnih odijela ovisi o konstrukciji i vremenu djelovanja, a sam postupak uništavanja kontaminirane odjeće provodi se kao i odstranjivanje otpadne opasne tvari s kojom je odjeća bila u kontaktu. Uz korištenje propisane zaštitne odjeće vatrogasci trebaju koristiti zaštitnu masku ili izolacijski sustav za disanje. Shodno tome pri oblačenju zaštitnih kemijskih odijela se prvo stavlja izolacijski aparat za disanje, a potom se navlači odijelo.

### **8.1.1 Materijali**

Materijali koji se koriste pri izradi zaštitne kemijske odjeće se dijele prema posebnim svojstvima. Najvažnija svojstva izrade su kemijska (otpornost na permeaciju i penetraciju), mehanička (čvrstoća i trajnost) i toplinska (otpornost na povišene temperature) otpornost.

Kemijska otpornost predstavlja svojstvo materijala da pri izloženosti nekoj kemijskoj štetnosti potpuno spriječi ili omogući vremensku odgodu kontakta štetne tvari sa tijelom radnika. Penetracija je pojava proboja opasne kemikalije kroz rupe na sigurnosno zaštitnoj odjeći. Permeacija je pojava proboja kemikalije kroz materijal odjeće na molekularnoj razini [22]. Zbog agresivnosti određenih kemikalija i nemogućnosti potpune zaštite u takvim situacijama se koriste zaštitna odijela otporna na permeaciju opasne kemikalije. Proizvođač je dužan navesti vrijeme koje je potrebno da se određena kemikalija apsorbira u materijal i dođe u doticaj sa radnikom. Brzine permeacije definirane su na temelju testiranja pri čemu se uzimaju u obzir masa kemikalije, površina materijala te vrijeme izloženosti nakon čega se odredi brzina kojom neka tvar prodire kroz slojeve odijela i koliko vremenski radnik smije biti izložen a da ne dođe do oštećenja zdravlja ili smrtnih posljedica [22].

Za izradu odijela za zaštitu od štetnih plinovitih, tekućih ili kemikalija u čvrstom stanju upotrebljavaju se poliesteri, poliamidi, butili i drugi materijali koji karakteriziraju otpornost na djelovanje kemikalija te mogućih popratnih reakcija (npr. otpornost na vatru). Kod kemijskih zaštitnih odijela materijal mora zadovoljiti otpornost materijala na prodiranje 15 karakterističnih kemikalija prikazanih u sljedećoj tablici:

Tabela 2: Otpornost materijala na 15 karakterističnih kemikalija [22].

Otpornost materijala na kemikalije		
1. diklorometan	6. natrijev hidroksid 40 %	11. aceton
2. metanol	7. sumporna kiselina 96 %	12. acetonitril
3. N – heptan	8. amonijak	13. etil acetat
4. toulen	9. klor	14. ugljikov disulfid
5. dietilamin	10. klorovodik	15. tetrahidrofuran

Navedene kemikalije su predstavnici agresivnih kemikalija kako bi se osigurala zaštita od širokog spektra opasnih kemikalija. Ukoliko materijal ne zadovolji potrebne zahtjeve dugotrajne zaštite pri testiranju na određene kemikalije potrebno je to naznačiti na proizvodu.

### 8.1.2 Podjela zaštitne odjeće od čvrstih, tekućih i plinovitih kemikalija

Zaštitna odjeća za zaštitu od kemijskih i bioloških štetnosti se dijeli na 7 tipova zaštitnih odijela, a to su :

- tip 1 - plinonepropusna odijela
- tip 2 - plinopropusna odijela

- tip 3 - odijela za zaštitu od tekućina u obliku mlaza (za tekućine pod tlakom)
- tip 4 - odijela za zaštitu od tekućina u raspršenom obliku (za tekućine koje nisu pod tlakom)
- tip 5 – odijela za zaštitu od tvrdih čestica
- tip 6 - odijela za ograničenu zaštitu od prskanja i aerosola
- tip 7 - odijela za zaštitu pojedinih dijelova tijela [22].

Svojstva kojima treba udovoljavati materijal zaštitnih odijela tipa 1, 2, 3, 4 prema propisanim normama su:

- otpornost na abraziju
- otpornost na pucanje pri savijanju
- otpornost na pucanje pri savijanju pri  $-30^{\circ}\text{C}$
- otpornost na trganje
- vlačna čvrstoća
- otpornost na probijanje
- otpornost na propuštanje tekućine
- otpornost na zapaljenje
- otpornost na plamen.

Materijal koji se koristi za izradu zaštitnog odijela tipa 5, odnosno odijela za zaštitu od čvrstih čestica u zraku, treba zadovoljiti sljedeće uvjete:

- otpornost na abraziju
- otpornost na trganje
- vlačna čvrstoća



- otpornost na probijanje
- otpornost na zapaljenje.

Za izradu zaštitnog odijela za ograničenu zaštitu od prskanja i aerosola, tip 6, materijali trebaju prema propisanim normama zadovoljiti sljedeće uvjete:

- otpornost na abraziju
- otpornost na pucanje pri savijanju
- otpornost na trganje
- vlačna čvrstoća
- odbijanje tekućine
- otpornost na propuštanje tekućine
- otpornost na zapaljene.

Kemijska zaštitna odijela tip 1 i tip 2:

- tip 1 - plinonepropusna odijela (ventilirana ili neventilirana) (slika 16)
  - 1a – izolacijski aparat s komprimiranim zrakom u odijelu
  - 1b – izolacijski aparat s komprimiranim zrakom izvan odijela
  - 1c – dovod zraka u odijelo kroz cijevi izvan odijela
- tip 2 - plinopropusno odijelo, cijevni dovod zraka u odijelo, odijelo je u nadtlaku.



Slika 16: Odijelo za zaštitu od kemikalija a) tip 1a, b) tip 1b, c) tip 1c [22].

Kemijska zaštitna odijela tip 3 i tip 4 (slika 17):

- tip 3 – odijelo za zaštitu od tekućina u obliku mlaza (pod tlakom)
- tip 4 – odijelo za zaštitu od tekućina u raspršenom obliku.



Slika 17: Odijelo za zaštitu od kemikalija u tekućem obliku tip 3 i tip 4 [22]

Kemijsko zaštitno odijelo tip 5 (slika 18):

- odijelo za zaštitu od čvrstih čestica u zraku
- kod ove vrste kemijskog odijela svojstva materijala i klasa zaštite ovise o tipu zaštitnog odijela da li je predviđeno za ograničenu ili trajnu uporabu, a definirana su normom HRN EN ISO 13982.



Slika 18: Odijelo za zaštitu od čvrstih kemijskih čestica u zraku [22].

Kemijsko zaštitno odijelo tip 6 (slika 19):

- odjeća za ograničenu zaštitu od prskanja i aerosola
- kod ove vrste kemijskog zaštitnog odijela svojstva materijala i klasa zaštite ovise o tipu zaštitnog odijela da li je predviđeno za ograničenu ili trajnu uporabu, a definirana su normom HRN EN ISO 13034 [9].



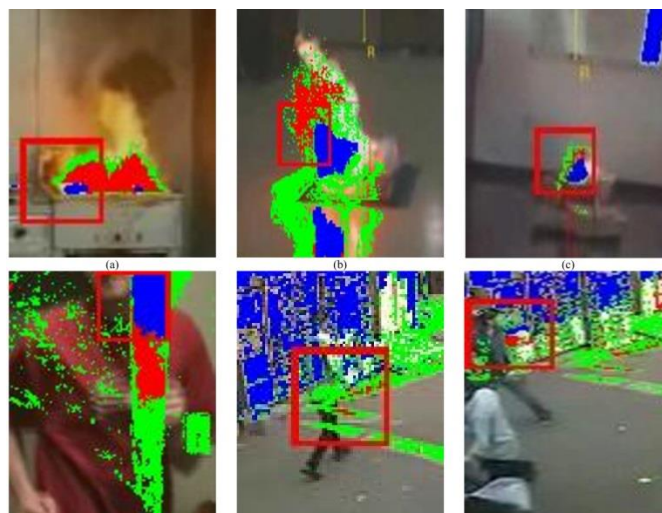
Slika 19: Odijelo za zaštitu od prskanja i aerosola [22].

## **9. UTJECAJ MODERNE TEHNOLOGIJE NA ZAŠTITU OD POŽARA I EKSPLOZIJA**

Razvojem tehnologije dolazi do brojnih modernizacija u industrijama. Korištenje pametne tehnologije u samom procesu rada zahtjeva i modernizaciju samog sustava zaštite od požara i eksplozija. Industrija zaštite od požara i eksplozija počela je uključivati sustav SCOTT (Secure connected trustable things) koji omogućuje vlasnicima i pružateljima usluga određivanje statusa sustava i obavljanje nekih funkcija inspekcije i testiranja na daljinu. Uz sustav SCOTT koristi se i IoT (Internet of things) koji odnosi se na mrežu povezanih uređaja i tehnologije koja olakšava komunikaciju između uređaja i oblaka, kao i između samih uređaja. Napredna tehnologija mijenja način na koji stručnjaci za sigurnost i sigurnost od požara pristupaju projektiranju zgrada te metodama suzbijanja i prevencije požara. Vrijeme reakcije vatrogasaca značajno utječe na sigurnost pojedinca u hitnim situacijama. IoT tehnologija može pratiti lokaciju za hitne slučajeve i identificirati najbržu rutu do tamo. Vatrogasci mogu koristiti tehnologiju kako bi poboljšali svoje vrijeme odaziva i zaštitili druge pojedince u tom području [23].

### **9.1 Napredni sustavi za detekciju dima i vatre**

Detektori dima su vrlo važan dio protupožarnih sustava, no njihovom aktivacijom može se pokrenuti alarm bez točne lokacije požara, što stvara velike probleme prilikom intervencije vatrogasaca. Tehnologija vizualne detekcije slike (VID) pomaže pri identificiranju točnog izvora i lokacije požara. Kamere se instaliraju i zatim povezuju s dijelom VID softvera na središnjem računalu. Softver koristi algoritme koji su programirani da prepoznaju piksele koji ukazuju na dim ili vatru (slika 20). Računalo zatim pokreće alarmni sustav koji može kontaktirati lokalnu vatrogasnu službu, a istovremeno pokreće protupožarne prskalice i sustave vrata [23].



Slika 20: Primjer snimke nastale tehnologijom vizualne detekcije dima [24].

## 9.2 Glasovne evakuacije

Krajem 2019. godine proizvođači protupožarnih alarmnih sustava Notifier i Edward su izdali proizvode koji glasovnu evakuaciju podižu na viši nivo. Sistem ima ugrađene dvonaponske zvučnike koji nude visoku jačinu zvuka, imaju mogućnost montaže na zid i plafon. Napredni zvučnici ovog tipa savršeni su za velika skladišta, visoko naseljena ili izuzetno bučna područja u kojima mogu postići pravovremenu evakuaciju velikog broja ljudi. Platforma EST4 „Glavni sistem za hitne komunikacije“, čuva 250 audio poruka za reprodukciju i podržava parametre oglašavanja i kontrolne prekidače (slika 21) [25].



Slika 21: Primjer protupožarnog alarmnog sustava EST4 [26].

### 9.3 HI-FOG sistem

Sistemi za suzbijanje vodene magle poput HI-FOG gase požare sa znatno manje vode od standardnih prskalice. Voda se održava pod ekstremnim pritiskom i ispušta se pomoću specijalnih prskalice i raspršivača. Sistem radi na principu stvaranja kapljica koje su mnogo manje veličine od onih koje proizvode standardne prskalice. Prednosti sistema su smanjena potrošnja vode, zamjena kisika parom (smanjenje ukupne temperature), stvaranje tankog sloja vode na zahvaćenim zidovima što uzrokuje smanjenje brzine širenja požara (slika 22). HI-FOG sistem u znatnoj mjeri smanjuje mogućnost udisanja dima. Standardne prskalice proizvode velike čestice vode koje prožete česticama dima, uzrokuje širenje dima. Smanjivanjem širenja dima, sustavi za suzbijanje magle mogu smanjiti stopu smrtnih slučajeva od udisanja dima [25].

Traditional water sprinkler system



Ultra Fog water mist system



Slika 22: Primjer razlike između standardnih prskalice i HI-FOG sistema [27].

## 10. ZAKLJUČAK

Požari i eksplozije u kemijskoj industriji mogu uzrokovati niz problema za čovjeku i njegovu okolinu. Posljedice se mogu odraziti na čovjeka ne samo u obliku smrtnog slučaja već i materijalnom štetom te zagađenjem okoliša. Zaštita od požara i eksplozija je vrlo bitna kako ne bi došlo do takvih gubitaka. Nadležna osoba za sigurnost od požara mora biti upućena u same kemijske tvari i procese koji bi mogli biti uzrok nesreća te je dužna ukazati na opasnosti i osposobiti radnika za siguran rad. Čovjek je jedan od bitnih faktora sigurnosti ali kako bi ga zaštitili u samom procesu rada potrebno je provoditi i mjere zaštite. Rukovanje kemijskim tvarima može biti opasno, stoga su potrebna odgovarajuća zaštitna sredstva kako bi se postotak povreda smanjio na najmanju razinu. U slučaju nesreće potrebno je poštivati sve propisane mjere zaštite zbog same osjetljivosti kemijskih tvari. U kemijskim industrijama vidljiv je utjecaj moderne tehnologije. Napretkom samih tehnoloških procesa na tržištu se javljaju i pametni zaštitni sustavi, ali nažalost oni su još u fazi istraživanja te svojom cijenom nisu dostupni svakom poslodavcu. U Hrvatskoj je zaštita od požara i eksplozija na zadovoljavajućoj razini, no uvijek ima mjesta za napredak i sigurnost u samom procesu radu.



## 11. LITERATURA

- [1] Leksikografski zavod Miroslav Krleža – Hrvatska enciklopedija: Požar i eksplozija, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49896>, pristupljeno 3.7.2023.
- [2] Izvor slike: internet stranica, <https://api.izzi.digital/preview/page/1985> , pristupljeno 3.7.2023.
- [3] Hrvatski portal za vatrogastvo i druge žurne službe: Općenito o sredstvima za gašenje požara, <https://vatrogastvo.hr/vatrogasna-tehnika/opcenito-o-sredstvima-za-gasenje-pozara/>, pristupljeno 3.7.2023.
- [4] Izvor slike: internet stranica, <https://bonpet.ifixit.hr/klasifikacija-pozara/> , pristupljeno 3.7.2023.
- [5] Periodni. com: NFPA 704 dijamant opasnosti, [https://www.periodni.com/hr/nfpa\\_704\\_dijamant.html](https://www.periodni.com/hr/nfpa_704_dijamant.html), pristupljeno 3.7.2023.
- [6] Narodne novine: Pravilnik o izradi procjene rizika, NN 112/2014. [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014\\_09\\_112\\_2154.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_09_112_2154.html), pristupljeno 3.7.2023.
- [7] Achillides S., Gecelovska D., Gehre J.: „Opasnosti od eksplozija – identifikacija i procjena rizika; provođenje mjera“, Verlag Technick & Information e.K., Njemačka, (2010.), ISBN 978-3-941441-50-7
- [8] Priručnik za upotrebu Spxflow: Zaštita od eksplozija, Njemačka, (2015.)
- [9] Izvor slike: internet stranica, <https://vd-mont.hr/protupozarna-zastita> ,pristupljeno 6.7.2023.
- [10] ] Izvor slike: internet stranica, <https://www.lsg-group.eu/hr/usluge/sprinkler/> ,pristupljeno 6.7.2023.
- [11] ] Izvor slike: internet stranica, <https://www.chemsafe.ie/about/news/item/88-firesafe-stores>, pristupljeno 6.7.2023.

[12] ] Izvor slike: internet stranica, [https://migros.ba/?page\\_id=168](https://migros.ba/?page_id=168), pristupljeno 10.7.2023.

[13]: Plavšić F., Lovrić Z., Wolf Čoporda A., Ježić Vidović Z. I., Čepelak Dodig D., Gretić D., Đurašević S.: „Siguran rad s kemikalijama“, O-tisak d.o.o., Zagreb, (2014.), ISBN 978-953-97205-6-6

[14] ] Izvor slike: internet stranica, <https://www.sciencephoto.com/media/135507/view/gulf-of-mexico-oil-spill-clean-up-2010>, pristupljeno 10.7.2023.

[15] ] Izvor slike: internet stranica, <https://spillpro.com.au/information-and-news/cleaning-oil-spills-on-dirt-and-land>, pristupljeno 10.7.2023.

[16] ] Izvor slike: internet stranica [https://www.radioaktivniotpad.org/hrvatski/skladistenje-nsrao-a\\_16/](https://www.radioaktivniotpad.org/hrvatski/skladistenje-nsrao-a_16/), pristupljeno 13.7.2023.

[17] Narodne novine: Pravilnik o tehničkim zahtjevima za zaštitnu i drugu osobnu opremu koju pripadnici vatrogasnih postrojbi koriste prilikom vatrogasne intervencije, NN 31/2011.

[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2011\\_03\\_31\\_695.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2011_03_31_695.html), pristupljeno 10.7.2023.

[18] Vatrogasna zajednica Općine Krapinske Toplice: „ Skripta za osposobljavanje za zvanje vatrogasac“, Krapinske toplice, (2007.)

[19] ] Izvor slike: internet stranica <https://www.masterfile.com/search/en/fire+fighting+silhouette>, pristupljeno 16.7.2023.

[20] ] Izvor slike: internet stranica <https://www.draeger.com/en-us/Products/X-am-8000>, pristupljeno 16.7.2023.

[21] ] Izvor slike: internet stranica <https://en.wikipedia.org/wiki/Explosimeter> pristupljeno 16.7.2023.

[22] Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu: Zaštitna odjeća.  
[www.hzzzs.hr](http://www.hzzzs.hr), pristupljeno 20.7.2023.

[23] Clm fireproofing: Emerging fire protection and suppression technologies,  
<https://clmfireproofing.com/fire-protection-technologies/>, pristupljeno 21.7.2023.

[24] Izvor slike: internet stranica  
<https://www.semanticscholar.org/paper/Computer-Vision-Based-Method-to-Detect-Fire-with-in-Hwang-Jeong/99c593446a11b2aa98de2a85cd93f157919d374b/figure/1>, pristupljeno 21.7.2023.

[25] Security See: Nove tehnologije u industriji zaštite od požara za 2020. Godinu, <https://www.securitysee.com/2020/12/nove-tehnologije-u-industriji-zastite-od-pozara-za-2020-godinu/>, pristupljeno 23.7.2023.

[26] ] Izvor slike: internet stranica  
<https://www.edwardsfiresafety.com/en/us/lifelines/control-panel/est4-platform/>  
pristupljeno 23.7.2023.

[27] ] Izvor slike: internet stranica <https://www.ultrafog.com/technology/water-mist>, pristupljeno 23.7.2023.

## POPIS SLIKA

<u>Slika 1: Trokut gorenja</u> .....	2
<u>Slika 2: Klase požara</u> .....	3
<u>Slika 3: Dijamant opasnosti</u> .....	5
<u>Slika 4: Oznaka EX</u> .....	8
<u>Slika 5: Primjer protupožarne zaštite</u> .....	10
<u>Slika 6: Primjer sprinkler sustava</u> .....	10
<u>Slika 7: Primjer vatrootpornog spremnika</u> .....	12
<u>Slika 8: Protueksplozijski odušak(skroz gore), posuda otporna na eksploziju(lijevo) i suzbijanje eksplozije(na dnu desno)</u> .....	15
<u>Slika 9: Primjer izoliranja eksplozije sa brzo djelujućim ventilom</u> .....	16
<u>Slika 10: Primjer gašenja požara pjenom</u> .....	18
<u>Slika 11: Ograđivanje na vodi</u> .....	21
<u>Slika 12: Ograđivanje na kopnu</u> .....	21
<u>Slika 13: Primjer skladištenja kemijskih tvari</u> .....	25
<u>Slika 14: Osobna zaštitna oprema vatrogasaca</u> .....	27
<u>Slika 15: Primjer kemijskog detektora(lijevo) i eksplozimetra(desno)</u> .....	29
<u>Slika 16: Odijelo za zaštitu od kemikalija a) tip 1a, b) tip 1b, c) tip 1c</u> .....	34
<u>Slika 17: Odijelo za zaštitu od kemikalija u tekućem obliku tip 3 i tip 4</u> .....	34
<u>Slika 18: Odijelo za zaštitu od čvrstih kemijskih čestica u zraku</u> .....	35
<u>Slika 19: Odijelo za zaštitu od prskanja i aerosola</u> .....	36
<u>Slika 20: Primjer snimke nastale tehnologijom vizualne detekcije dima</u> .....	38
<u>Slika 21: Primjer protupožarnog alarmnog sustava EST4</u> .....	38
<u>Slika 22: Primjer razlike između standardnih prskalica i HI-FOG sistema</u> .....	39

## POPIS TABLICA

<u>Tabela 1[5]: podjela zona opasnosti</u> .....	7
<u>Tabela 2: Otpornost materijala na 15 karakterističnih kemikalija[9]</u> .....	31

