

# ISTJECANJE UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA IZ OŠTEĆENE AUTO-CISTERNE TIJEKOM IZLASKA IZ TERMINALA

---

Šobak, Martina

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:128:939567>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**



**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

Martina Šobak

**ISTJECANJE UKAPNJENOG NAFTNOG  
PLINA IZ OŠTEĆENE AUTO-CISTERNE  
TIJEKOM IZLASKA IZ TERMINALA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2023.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

Martina Šobak

**LEAKAGE OF LIQUEFIED PETROLEUM  
GAS FROM A DAMAGED TANKER  
DURING EXIT FROM THE TERMINAL**

Final paper

Karlovac, 2023

Veleučilište u Karlovcu

Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni diplomski studij sigurnosti i zaštite

Martina Šobak

**ISTJECANJE UKAPNJENOG NAFTNOG  
PLINA IZ OŠTEĆENE AUTO-CISTERNE  
TIJEKOM IZLASKA IZ TERMINALA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Lidija Jakšić, mag.ing.cheming., pred.

Karlovac, 2023.



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

## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni prijediplomski/ stručni diplomski studij: Stručni diplomski studij sigurnost i zaštita  
(označiti)

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2023.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Martina Šobak

Matični broj: 0420421008

Naslov: Istjecanje ukapljenog naftnog plina iz oštećene auto-cisterne tijekom izlaska iz terminala

Opis zadatka:

U rada će biti objašnjeni pojmovi vezani uz ukapljeni naftni plin, kao i njegove karakteristikama. Također će biti prikazani načini skladištenja ukapljenog naftnog plina, procesi prerade, kao i mogući utjecaj na zdravlje i okoliš. Ukratko će biti opisane vrste spremnika i njihove karakteristike, kao i sredstva za gašenje u slučaju da dođe do požara takvih spremnika.

U posljednjem dijelu ovog rada bit će prikazana situacija gašenja početnog požara, sanacija proboja i ispuštanje plina na spremniku vozila auto-cisterne do koje je došlo zbog nepažnje vozača vozila na UNP Terminal Zagreb Žitnjak.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

02/2023

07/2023

07/2023

Mentor:

Lidija Jakšić, mag.ing.cheming., pred.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

dr.sc. Zvonimir Matusinović, v.pred.

# PREDGOVOR

Ovim radom se želi objasniti primjena operativnih vatrogasnih snaga, obzirom da je za izradu ovog rada i stvarno primijenjeno sve navedeno u dijelu operativno – tehničkih pravila vatrogasne struke, tijekom provjere primjene u radu predviđenog incidenta. Stvarno prikazanom situacijom kako je navedeno za neke buduće eventualne incidentne situacije ovaj rad se može primijeniti ili uzimati obrađeni dijelovi za potrebe vatrogasnih intervencija u sličnim ili istim situacijama.

Radom je prikazana realna slika primjenjujući prijevoz opasnih tvari i proces kod kojeg nastaju opasne tvari što znači da je obrađeno dva poglavlja kod nastanka i transporta i isto tako obrađeno sanacija incidentnog događaja u prijevozu i proizvodnji opasnih zapaljivih tvari. Navedeni rad je izvor osnovnih podataka koje je veoma bitno poznavati kod rada sa ukapljenim naftnim plinom kako bi se provodila uspješna zaštita od požara te moguće posljedice nesretnih slučajeva svele na minimum kako je gore navedeno.

Posebno se zahvaljujem mojoj obitelji i zapovjedniku Branku Tišljaru na pruženoj stručnoj pomoći i podršci tijekom izrade ovog rada, zaposlenicima Vatrogasne postrojbe INA Vatrogasni servisi Žitnjak Zagreb, podršci i razumijevanju tijekom same izrade ovog rada u djelu operativno – tehničkih potvrđivanja stvarnog činjeničnog stanja u datom trenutku incidenta kako je obrađeno radom.

Dakako, zahvaljujem se svim profesorima Veleučilišta u Karlovcu na nesebičnom trudu i zalaganju u prenošenju znanja koje je rezultiralo uspješnim završetkom mog studija na ovom veleučilištu.

Nemoguće je ne izdvojiti sa posebnom zahvalom mentoricu Lidiju Jakšić, mag.ing.cheming., koja mi tijekom izrade ovog rada, tijekom mog školovanja na Veleučilištu Karlovac pružila nesebičnu stručnu pomoć i podršku.

## SAŽETAK

Zaštita od požara u naftnoj industriji predstavlja posebnu stavku za sigurnost. Zbog posebnosti svojih proizvodnih procesa, naftna industrija suočava se s jedinstvenim i značajnim opasnostima od požara što zaštitu od požara čini ključnim aspektom sigurnosti. Važnost poznavanja gorivih tvari u proizvodnom procesu i njezinih karakteristika je temelj uspješne zaštite od požara. Svaka goriva tvar sa sobom nosi specifičnosti vezane za svoje fizikalne i kemijske karakteristike i time zahtjeva poseban pristup za zaštitu i smanjenje rizika od nastanka požara i drugih opasnosti. U ovome radu opisuje se incidentna situacija gašenja požara spremnika sa ukapljenim naftnim plinom i zaustavljanje nekontroliranog istjecanja plina iz spremnika autocisterne koja se nalazi na terminalu UNP Zagreb Žitnjak. Plin predstavlja vrlo opasno agregatno stanje i time zahtjeva posebne mjere za postizanje zahtijevane razine sigurnosti. Kroz ovaj rad opisane su karakteristike plina, opasnosti koje predstavlja, mjere zaštite, odabir pravilnog sredstva za gašenje kao i pogled u taktički pristup za gašenje požara spremnika sa ukapljenim naftnim plinom. Također se stavlja poseban naglasak na razmjenu iskustava i znanja kao vrlo važnu stavku za smanjenje razine opasnosti i rizika od nastanka požara u naftnoj industriji.

KLJUČNE RIJEČI: ukapljeni naftni plin - UNP, požar, spremnici, stabilni sustavi za gašenje.

## **SUMMARY**

Fire protection in the oil industry is a special item for safety. Due to the peculiarities of its production processes, the oil industry faces unique and significant fire hazards, making fire Protection a key aspect of safety. The importance of knowing combustible substances in the production process and its characteristics is the basis of successful fire protection. Each combustible substance carries with it specificities related to its physical and chemical characteristics and thus requires a special approach to protect it and reduce the risk of fire and other hazards. This paper describes the incident situation of extinguishing a fire in a tank with liquefied petroleum gas and stopping the uncontrolled release of gas from the tank of a tank truck located at the LPG terminal in Zagreb, Žitnjak. Gas represents a very dangerous aggregate state and therefore requires special measures to achieve the required level of safety. This paper describes the characteristics of the gas, the dangers it presents, protective measures, the selection of the correct extinguishing agent, and the tactical approach to extinguishing a fire in a tank with liquefied Petroleum gas. Special emphasis is also placed on the exchange of experience and knowledge as a very important item for reducing the level of danger and risk of fire in the oil industry.

**KEY WORDS:** liquefied petroleum gas, fire, tanks, stable extinguishing systems.



# SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA .....	I
PREDGOVOR .....	II
SAŽETAK .....	III
SADRŽAJ .....	V
1. UVOD .....	1
1.1. Predmet i cilj rada .....	1
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja .....	1
1.3. Sadržaj i struktura rada .....	2
2. PODJELA PLINOVA .....	3
3. UKAPLJENI NAFTNI PLIN (UNP ) .....	6
3.1. Kemijski sastav UNP-a .....	7
3.2. Fizikalna svojstva Propana i Butana .....	8
3.3. Proizvodnja UNP iz prirodnog plina i nafte .....	10
3.4. Transport UNP-a .....	11
3.5. Opasnosti i mjere sigurnosti kod UNP- a .....	15
3.6. „BLEVE“ - eksplozija spremnika sa ukapljenim plinom .....	18
3.7. Prah - sredstva za gašenje požara plina .....	21
3.8. Zaštitna oprema pri radu sa plinom .....	24
3.9. Prva medicinska pomoć .....	24
4. SKLADIŠTENJE UNP-a U SPREMNICIMA .....	26
4.1. Nadzemni spremnici .....	27
4.2. Podzemni spremnici za UNP .....	29
4.3. Podzemna skladišta .....	30
4.4. Izvori požarne opasnosti na skladišnim spremnicima gorivih plinova .....	31
4.5. Zaštita spremnika od požara, topline i eksplozije .....	32

5. TERMINAL UNP –a ZAGREB ŽITNJAK.....	34
6. INCIDENTNA SITUACIJA GAŠENJA POŽARA, EVAKUACIJE I SPAŠAVANJA 38	
6.1. Procjena mogućih uzroka opasnosti od iznenadnih događaja .....	38
6.2. Preventivne mjere za sprječavanje izvanrednih događaja .....	39
6.3. Sadržaj incidentne situacije .....	40
6.3.1. Incidentna situacija .....	41
6.3.2. Dinamika događaja incidenta .....	42
7. PREDNOSTI I NEDOSTACI GAŠENJA SPREMNIKA UNP-a I NAFTNIH DERIVATA.....	45
8. ZAKLJUČAK.....	47
9. LITERATURA: .....	48
10. PRILOZI.....	50
10.1. Popis slika .....	50
10.2. Popis tablica .....	50

# **1. UVOD**

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

U radu će biti prikazana situacija gašenja početnog požara auto-cisterne te sprječavanja daljnjeg istjecanje plina nakon proboja stjenke spremnika na auto-cisterni koja se nalazi na pretakalištu ukapljenog naftnog plina na terminalu UNP Zagreb Žitnjak.

Za skladištenje plina na raspolaganju je jedan kuglasti spremnik S-1 dok je kuglasti spremnik S-2 van upotrebe te četiri cilindrična spremnika: dva za skladištenje komercijalnog propana te jedan cilindrični spremnik za skladištenje pročišćenog propana i jedan za skladištenje pročišćenog butana. Ukapljeni naftni plin (UNP, propan-butan) na lokaciju se doprema putem autocisterni te cjevovodom direktno iz Ivanić Grada.

U radu je naglasak stavljen na požare i opasnosti od zapaljivih plinova koje u podjeli načinu gorenja i vrstama gorivih tvari ubrajamo u „C“ razred požara. Od presudne važnosti je dobro poznavanje svojstava tih plinova, kao i opasnosti koje takvi požari sa sobom mogu donijeti. Na temelju poznatih i dostupnih činjenica, s ciljem uspješnog gašenja požara, u današnjem vatrogastvu se sve više ulaže u usavršavanje vatrogasne taktike kao jednog veoma ključnog dijela.

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

Za izradu rada korištena je metoda deskripcije tj. proučavanja dostupne dokumentacije i literature koja se nalazi na lokaciji UNP Terminal Zagreb, dostupnih internet stranica, ali i iskustvo djelatnika koji su se susreli sa takvom vrstom požara. U radu su analizirani i proučeni već postojeći podaci.

### **1.3. Sadržaj i struktura rada**

U prvom dijelu rada govori se o pojmovima vezanim uz ukapljeni naftni plin, te su prikazane njegove karakteristike.

U drugom dijelu rada je riječ o spremnicima u kojima se skladišti ukapljeni naftni plin, preradi samog plina, kao i mogućim posljedicama na zdravlje i okoliš kod raznih događaja. Opisane su vrste spremnika, kao i njihove karakteristike te sredstva za gašenje koja se koriste u slučaju da dođe do požara takvih spremnika.

U zadnjem dijelu rada opisan je jedan od mogućih scenarija gašenja početnog požara na spremniku auto- cisterne ukapljenog naftnog plina koja se nalazi na terminalu UNP Zagreb Žitnjak.

## 2. PODJELA PLINOVA

Pod pojmom „plin“ podrazumijevamo sve one tvari koje se u normalnim uvjetima nalaze u plinovitom agregatnom stanju. Prema Europskom sporazumu o međunarodnom prijevozu opasnih tvari pod plinom se smatraju sve tvari koje na 50°C ima tlak para veći od 300kPa odnosno 3 bara. Prema Američkom standardu plin se definira kao tvar koja na 21°C ima tlak para veći od 275 kPa odnosno 2, 75 bara. [1]

Hoće li se neka tvar nalaziti u plinovitom agregatnom stanju ovisi o tlaku i temperaturi. Tlak plina možemo najlakše opisati kao gibanje molekula u zatvorenoj posudi i njihovim udaranjem u stijenku posude, što su udarci u stjenke jači to je veći tlak i obratno. Važno je spomenuti da se za tlak najčešće koristi mjerna jedinica bar, ali ta jedinica je iznimno dopuštena dok po SI sustavu službena mjerna jedinica za tlak je Pa [1]

Za područje ovog rada važno je spomenuti u kojim sve oblicima se plinovi nalaze u skladištenju odnosno stanju u spremnicima:

- Stlačeni plinovi - čija je temperatura veća od kritične temperature pa se on može samo skladištiti u stlačenom ili komprimiranom stanju. Tlak plina u skladištenoj boci je isti u svakome djelu. Primjeri : dušik, argon, helij, itd. [1]
- Ukapljeni plinovi- oni čija je temperatura manja od kritične pa se oni mogu samo skladištiti u ukapljenom stanju. Karakteristika ukapljenih plinova je da u posudi imamo dvije faze plina, tekuću (kapljevitu) koja se nalazi na dnu posude i plinovitu u gornjem dijelu posude. Najčešći primjeri: ugljikov dioksid, amonijak, propan i butan [1]
- Plinovi otopljeni u pogodnom otapalu- koji se nalaze otopljeni pod tlakom u nekom pogodnom otapalu odnosno tekućini. Najčešći primjeri ovih plinova su amonijak koji može biti otopljen u vodi ili acetilen koji se nalazi otopljen u acetonu prilikom skladištenja u bocama [1]

- Pothlađeni plinovi - kriogeni su plinovi koji se nalaze na vrlo niskim temperaturama. Oni se nalaze u posebni spremnicima gdje imamo dodatnu izolaciju kako bi se spriječilo zagrijavanje plina. Primjer ove vrste skladištenja je kisik na  $-183^{\circ}\text{C}$ . [1]

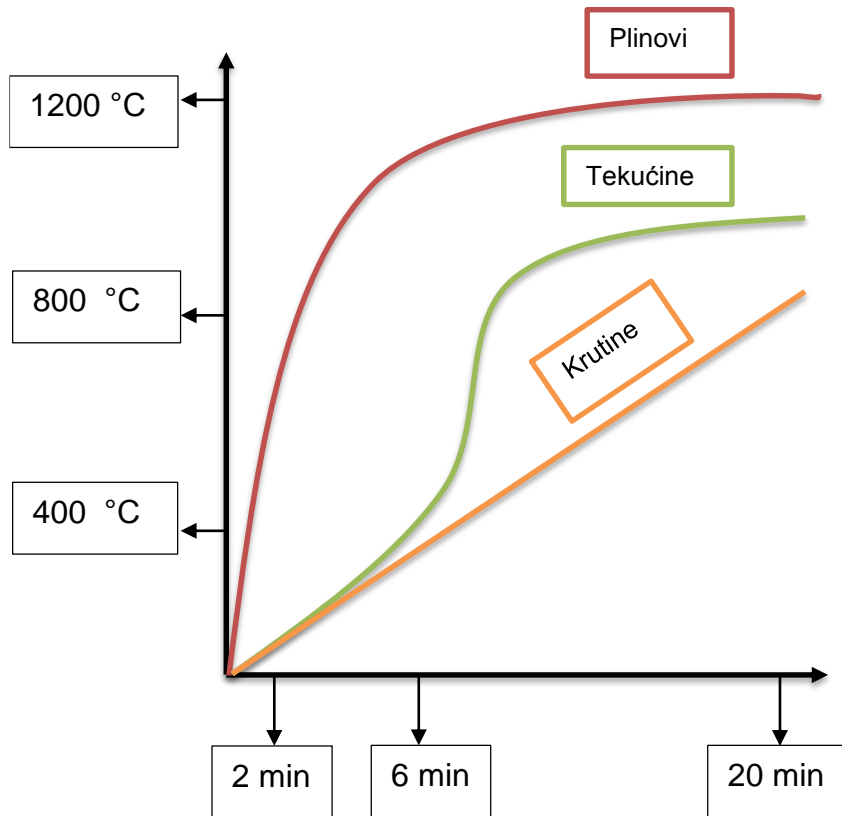
Pored ove osnovne podjele plinova prema načinu skladištenja u spremnicima plinove možemo podijeliti prema kemijskim svojstvima :

- Zapaljivi plinovi - plinovi koje možemo zapaliti u normalnim uvjetima u zraku ukoliko se dotični plin nalazi u području zapaljivosti ili ima dovoljno visoku temperaturu da dosegne temperaturu zapaljenja. [1]
- Nezapaljivi plinovi - plinovi koje ne možemo zapaliti, bez obzira na njihovu koncentraciju. Važno je napomenuti da se u ovoj grupi nalaze plinovi koji podržavaju gorenje čak i ubrzavaju kemijsku reakciju gorenja te njih zovemo oksidacijski plinovi. Plinovi koji ne gore niti podržavaju gorenje nazivaju se inertnim plinovima. [1]
- Reaktivni plinovi - karakteristika ovih plinova je njihova opasnost i sposobnost da kemijski reagiraju čak i samostalno ili izrazito lako u kontaktu sa drugim plinovima ili materijalima. [1]
- Otrovnii plinovi – su plinovi koji izazivaju trovanje ili onesposobljavanje organizma. Pojedini plinovi već i na vrlo malim koncentracijama mogu izazvati ozbiljne posljedice čak i smrt. [1]

Za plin možemo reći da je najopasnije agregatno stanje i s obzirom na ranije navedena kemijska svojstva, on može posjedovati jedno ili više kemijski svojstava i tako predstavljati veliku opasnost za sigurnost. [1]

Za najbolji opis požarne opasnosti koje predstavlja plinsko agregatno stanje može poslužiti Slika 1. koja prikazuje odnos porasta temperature s vremenom uspoređujući zapaljive plinove, zapaljive krutine i zapaljive tekućine. Iz prikaza je vidljivo da plinovito agregatno stanje najbrže postiže maksimalne temperature gorenja. Već nakon dvije minute javlja se veliki porast temperature, dok već na otprilike četvrtoj minuti postiže

maksimalnu vrijednost. Naravno, prikazane su okvirne vrijednosti, ali one mogu približiti opasnosti od plinovitog agregatnog stanja u požaru. [1]



Slika 1. Odnos porasta temperature s vremenom uspoređujući zapaljive tvari [2]

### 3. UKAPLJENI NAFTNI PLIN (UNP)

Ukapljeni naftni plin (UNP, engl. LPG – Liquefied Petroleum Gas) je smjesa ukapljenih ugljikovodika koja se dobiva preradom nafte ili frakcionim izdvajanjem iz zemnog plina. Osim kratice UNP, u komercijalnoj upotrebi se često koristi i termin "propan – butan", a u smjesi se nalazi 75% butana i 25% propana. Dobiva se pri preradi prirodnog plina ili kao nusprodukt prerade nafte. Proizvod se najvećim dijelom sastoji od zasićenih nižih ugljikovodika propana i butana te u manjoj koncentraciji od drugih ugljikovodika. Pri normalnim uvjetima, tvari u proizvodu se nalaze u plinovitom stanju, dok pri tlaku od 1,7 bara prelaze u tekuće stanje, gdje se volumen smanjuje čak i do 270 puta. S obzirom na izuzetnu prihvatljivost za primjenu, prevozi se i skladišti kao kapljevina, dok se koristi kao plin. UNP je proizvod bez boje, mirisa i okusa. Iz tog razloga, za komercijalnu upotrebu postupkom odorizacije dodaje se posebni miris kako bi se prepoznala njegova prisutnost. Zbog dobrih ekoloških svojstva smatra se čistim energentom. Izgara bez čađi i dima, te ne zagađuje vodu i zemlju. Njegovom primjenom smanjuje se emisija štetnih plinova te se time doprinosi ublažavanju klimatskih promjena. Iz spomenutog razloga, sve više se koristi kao supstitucijski energent sa znatno povoljnijim ekološkim svojstvima, posebice kod industrijskih potrošača, također i kao zamjena za skuplja goriva u automobilima, a u zadnje vrijeme zamjenjuje razne tipove freona kao aerosol u raznim bocama pod tlakom. Plinovi se vrlo brzo zapale, vrlo brzo dostižu maksimalne temperature gorenja i samim time predstavljaju veću opasnost od npr. zapaljivih krutina ili zapaljivih tekućina. Ukoliko plin istječe na otvorenom prostoru desit će se gorenje ali ako plin ispunjava zatvoreni prostor doći će do eksplozije. Plinovi koji imaju nisku donju granicu eksplozivnosti smatraju opasnima jer lako steknu uvjete za eksplozivno gorenje. [3]

Kod UNP-a, valja razlikovati dva stanja – kapljevito i plinovito, te tri faze; kapljevita, parovita i plinovita.

Velike količine UNP-a svakodnevno cirkuliraju, odnosno transportiraju se državnim, međudržavnim pa i kontinentalnim plinovodima, transportiraju se u cestovnom prometu auto - cisternama, željezničkom prometu – željezničkim cisternama i morskom prometu.- tankerima, pa se može zaključiti da su ovi industrijski



pogoni, skladišta i navedena transportna sredstva najugroženiji u pogledu nastanka požara i eksplozije.

U odnosu na ostale energente, prednosti UNP-a su sljedeće:

- jednim energentom osigurava se većina energetske potrebe nekog objekta ( grijanje, kuhanje, priprema tople vode..)
- plin izgara bez čađe i dima te ne zagađuje tlo i vodu
- široki spektar primjene – razne vrste industrije, sistemi grijanja i hlađenja,
- visoki stupanj iskoristivosti energije (do 95%)
- ekološki je čist energent (izgara bez čađe i dima)
- lako održavanje i sigurno rukovanje (instalacija, oprema i trošila)
- mogućnost kombiniranja s ostalim gorivima (benzin, dizel, ostali alternativni oblici energije) [4]

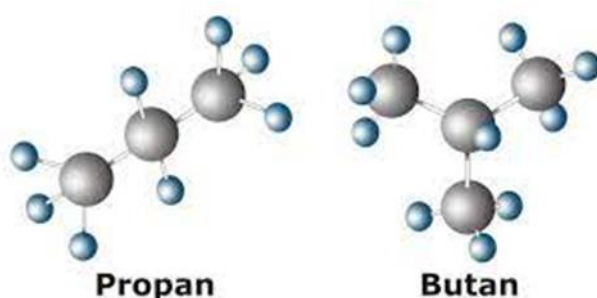
### **3.1. Kemijski sastav UNP-a**

Pri normalnim uvjetima UNP je plinovit i teži od zraka, a ukapljuje se pri veoma niskim tlakovima, od 1.7 do 7.5 bar kao čisti ukapljeni naftni plin propan-butan s time da prema standardu DIN 51622 udio butana ne smije biti preko 60%. Kao miješani plin je smjesa zraka (45%) i ukapljenog naftnog plina (55%), a može biti i drugi omjer. Miješani plin može koristiti kao zamjensko gorivo za prirodni plin u slučaju nestašice prirodnog plina ili kao prethodnica uvođenju i korištenju prirodnog plina. Svi sastojci ukapljenog plina su plinoviti u normalnom stanju, ali se porastom tlaka pretvaraju u kapljevine. Tlak pri kojem se to događa ovisi o vrsti smjese pa se tako čisti butan pretvara u kapljevinu već pri 2,2 bara, dok je tlak za ukapljivanje propana puno veći 22 bara. Plinska faza nastaje nakon parovite uz daljnje dovođenje topline isparivača u spremniku, a njezina svojstva se razlikuju od parovite faze. Ukapljeni naftni plin zapravo nastaje miješanjem trgovačkog propana i butana u odgovarajućem omjeru, što ovisi o načinu proizvodnje i zahtjevima na kakvoću. Trgovački propan ima sastav plina u kojem je minimalno 95% propana s manjim udjelom propena, dok ostaci čine etan, eten, butan i buten. Također, trgovački butan sastoji se od minimalno 95% butana i butena, odnosno njihovih izomera, dok ostalih 5% čine propan, propen, pentan i

penten odnosno njihovi izomeri. Ukapljeni naftni plin, osim glavnog sastojka, sadrži i gotovo nezamjetne udjele neugljikovodičnih tvari poput: vode, dušika, kisika, amonijaka, sumpora i njegovih spojeva. Od spomenutih tvari, voda, amonijak i sumpor se ubrajaju u štetna onečišćenja. Zimi voda uzrokuje smrzavanje na nekim dijelovima instalacija, a također stvara čvrste hidrate spajanjem s nekim ugljikovodicima. Sumpor je otrovan (sumporovodik), te pri izgaranju uzrokuje smetnje. Do onečišćavanja okoliša sumpornim spojevima i nastajanje agresivnih spojeva dolazi u reakciji s vodom iz dimnih plinova. Amonijak je korozivan, posebice na dijelove instalacije izrađenih od bakra. [3]

### 3.2. Fizikalna svojstva propana i butana

Propan je plin bez boje i mirisa, kojeg karakterizira laka zapaljivost, mogućnost prelaska u tekuće stanje. Izuzetno je opasan u velikom količinama jer može djelovati kao narkotik te može izazivati gušenje. Propan je plin iz skupine ugljikovodika koji u svojoj molekularnoj strukturi ima 3 ugljikova atoma, kao što prikazuje slika 2.. Kemijska formula propana je  $C_3H_8$ . Molarna masa propana je 44,1 g/mol, točka vrelišta:  $-42^\circ C$ , gustoća:  $20,01 \text{ kg/m}^3$ , talište:  $-188^\circ C$ , klasifikacija: alkani. [3]



Slika 2. Kemijski model propana i butana [5]

Butan je također plin bez boje i mirisa te lako prelazi u tekuće stanje. Glavna razlika između ova dva plina je što butan isparava na temperaturi ispod nule, a propan na temperaturi od  $-44^\circ C$ . Butan se sastoji od 4 atoma ugljika, kemijska formula mu je  $C_4H_{10}$ . Molarna masa butana iznosi: 58,12 g/mol, točka vrelišta:  $-1^\circ C$ , gustoća:  $-140^\circ C$ ,

klasifikacija: alkani. Osnovne karakteristike propana i butana prikazane su u Tablici 1. Propan i butan zbog male viskoznosti prodiru u strukturu nekih metalnih materijala, čime se njihova mehanička svojstva mogu promijeniti. Osim navedenog ukapljeni naftni plin u plinovitom i kapljevitom stanju otapa neke organske tvari, većinu masti, ulja i lakova te prirodni kaučuk. [3]

Tablica 1. Osnovne karakteristike propana i butana [4]

Kemijski formula	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (propan)	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (butan)
Gustoća u ravnotežnom stanju		
tekuće faze na 15 °C	0,53 kg / l	0,60 kg / l
plinske faze na 15 °C	2,00 kg / m <sup>3</sup>	2,70 kg / m <sup>3</sup>
Gustoća plinske faze na 15 °C u odnosu na zrak (zrak =1)	1,55	2,09
Temperatura vrenja pri 1 baru	-42,07 °C	-0,5 °C
Temperatura samozapaljenja	450 °C	474 °C
Kritična temperatura	96,8 °C	153 °C
Granica eksplozivnosti	2,1–9,5 vol%	1,5-8,5 vol%
Najviša temperatura izgaranja		
sa zrakom	1925 °C	1895 °C
sa kisikom	2850 °C	2850 °C
Najveća brzina izgaranja		
sa zrakom	32 cm / sek	32 cm / sek
sa kisikom	450 cm / sek	350-370 cm / sek

Vrelište plina predstavlja temperaturu kod koje se plin pretvara iz tekućeg stanja u plinovito stanje pod tlakom od 1 bara. [6]

Temperatura paljenja predstavlja najnižu temperaturu pri kojoj se pare zapaljive tekućine, zapaljivi plinovi ili kruta goriva tvar i njena prašina na zraku zapale i nastave dalje gorjeti iz čega se zaključuje da plinovi toplinom povećavaju svoj volumen. Ukoliko ne mogu povećati volumen, povećavaju tlak. Ovaj podatak je važan radi čuvanja posuda što sigurnije od izvora topline, jer bi ti izvori mogli biti i uzročnici eksplozije. [6]

Kritična temperatura plina je temperatura iznad koje se plin više ne može pretvoriti u tekuće stanje, bez obzira na povećanje tlaka. [6]

Gornja granica eksplozivnosti (GGE) predstavlja najveću koncentraciju para zapaljivih tekućina, zapaljivih plinova ili prašina zapaljivih krutina koje pomiješane sa zrakom stvore eksplozivnu smjesu. [6]

Donja granica eksplozivnosti (DGE) predstavlja najnižu koncentraciju para zapaljivih tekućina, zapaljivih plinova ili prašina zapaljivih krutina koje pomiješane sa zrakom stvore eksplozivnu smjesu. [6]

Stehiometrijska koncentracija je koncentracija pri kojoj je postignut idealan odnos zraka i zapaljivih plinova pri čemu je eksplozija najjača. [6]

### **3.3. Proizvodnja UNP iz prirodnog plina i nafte**

Glavni izvori dobivanja plina proizlaze iz prerade prirodnog plina u postrojenjima za ekstrakciju plina i iz prerade sirove nafte u rafinerijama.

Propan i butan kao glavne komponente plina nalaze se u sastavu sirovog prirodnog plina. Njihova koncentracija u sirovom plinu je različita i varira od jednog do drugog plinskog polja pa čak i od bušotine do bušotine na istom plinskom polju. Iz sirovog prirodnog plina UNP se dobiva putem nekoliko metoda ekstrakcije kao što su apsorpcija jer je potvrđeno da je to najekonomičnija metoda za dobivanje većih količina butana i dobar prinos propana. Metoda niskotemperaturne separacije – proces se odvija na temperaturama nižim od  $-40^{\circ}\text{C}$  se pokazala kao najekonomičnija za dobivanje većih količina propana. [7]

Dio ugljikovodika koji čine ukapljeni naftni plin izdvaja se već u kolonama za frakcijsku destilaciju u kojima se prije svega proizvode laki benzin, petrolej, loživo i plinsko ulje te teži ostaci. Takav ukapljeni naftni plin nije pogodan za upotrebu jer sadrži prevelik udio sumpora, stoga se često dalje prerađuje ili koristi kao gorivo u samom procesu prerade. Daljnji postupci prerade u kojima se odvaja najviše sastojaka ukapljenog naftnog plina su: krekiranje, hidriranje i reformiranje. Prilikom prerade sirovog prirodnog plina izdvajaju se viši ugljikovodici, tijekom procesa razdvajanja

nastaju etan, propan, n-butan, izo-butan. Miješanjem njihovih struja u odgovarajućem omjeru nastaje ukapljeni naftni plin. Za odvajanje viših ugljikovodika postoje dvije osnovne skupine postupaka. Prvu skupinu čine postupci bez hlađenja ili uz umjereno hlađenje kao što su: apsorpcija, adsorpcija, kompresija i jednostupanjsko vanjsko hlađenje. Drugu skupinu predstavljaju kriogeni postupci; višenamjensko vanjsko hlađenje te ekspanzijski postupci s vanjskim hlađenjem i s hladnom komorom. Izbor postupaka ovisi o ulaznom plinu, njegovom tlaku, željenom udjelu pojedinih proizvoda, te mogućim uštedama pri proizvodnji. [7]

### **3.4. Transport UNP-a**

Ukapljeni naftni plin transportira se u tekućem stanju u svim poznatim oblicima transporta. Boce napunjene plinom i manji prijenosni spremnici u specijalnim punionicama do potrošača se transportiraju kamionima. Veće količine plina transportiraju se cjevovodima, autocisternama, vagonskim cisternama i brodovima-tankerima. [3]

- Vagon - cisterne koriste se u željezničkom prometu te su posebno izrađene u tu svrhu. Razlikuju se od cisterni za prijevoz dizel goriva ili benzina. To je vrlo ekonomičan način transporta osobito za veće udaljenosti. Njih ubrajamo u horizontalne čelične spremnike koji su učvršćeni na dvoosovinskoj ili četveroosovinskoj platformi pomoću specijalnih steznih obujmica. [3]
- Auto – cisterna se koristi za transport manjih količina plina na kraće udaljenosti. Kapaciteti im se kreću od 1 do 30 tona. Cisterne se izrađuju u obliku horizontalnih cilindričnih spremnika montiranih direktno na šasiju kamiona. [3]

Razlikujemo dva tipa autocisterni:

- auto-cisterna šleperi – služi za transport većih količina UNP-a od proizvođača do centralnog distribucijskog skladišta slika 3
- kamionske auto-cisterne – služi za transport UNP-a od centralnih skladišta do krajnjeg potrošača slika 4 [3]



Slika 3. Auto-cisterna šleper [8]



Slika 4. Kamionska auto-cisterna [8]

- Brodovi – tankeri su sastavljeni od više kuglastih ili cilindričnih spremnika međusobno povezanih i učvršćenih za zajedničko postolje u koritu broda. Spremnici su opremljeni svom potrebnom sigurnosnom i mjernom armaturom za normalne uvjete pretakanja i uskladištenja plina. Smatra se da je takav način danas najjeftiniji a negdje i jedini način transporta plina. U posljednje vrijeme izrađuju se i specijalni tankeri za transport propana na temperaturi od  $-50^{\circ}\text{C}$  slika 5. [3]



Slika 5. Tanker sa kuglastim spremnikom za prijevoz plina [9]

- Transport cjevovodima – koristi se za velike količine plina te oni direktno povezuju proizvođača plina sa njegovim potrošačem. Cjevovodi mogu biti dužine i po nekoliko desetaka kilometara. Za njihovu izradu se koriste specijalno izrađene cijevi za naftnu industriju prema API standardima. Zaštićuju se od korozije pomoću katodne zaštite ili dugih pogodnih metoda koje odgovaraju karakteristikama tla u koji se cjevovod polaže. Transport se ostvaruje pomoću pumpi za UNP koje su postavljene u pumpnoj stanici na cjevovodu UNP-a locirane na udaljenosti koje su određene kapacitetom, gubicima tlaka i konfiguracijom tla. U slučaju havarije na cjevovodu stanice imaju spremnike koji imaju zadatak da prihvate određenu količinu plina slika 6. [3]



Slika 6: Cjevovod za plin [10]

- Boce -manje čelične posude cilindričnog oblika za smještaj i transport plina. Najčešće se koriste u domaćinstvu i manjih industrijskih potrošača kod kojih se priključuju na trošilo i iz njih se direktno koristi plinska faza UNP-a. Izrađuju se po odgovarajućim standardima kojima su propisani oblik, dimenzije, materijal, način izrade, punjenje i ispitivanje. Po kapacitetu ih dijelimo na 2, 3, 5, 7,5, 10 i 35 kg, slika 7. [3]



Slika 7. Plinske boce [8]



### 3.5. Opasnosti i mjere sigurnosti kod UNP- a

Ukapljeni naftni plin (UNP) nema boje ni mirisa, zbog čega mu se dodaju odoranti, odnosno tvari koje daju miris kako bi se mogao otkriti u slučaju njegovog istjecanja. Uz dodatak takvih sredstava, trebalo bi otkriti njegovo istjecanje već pri udjelu od 20% donje granice eksplozivnosti odnosno oko 0,1% udjela u zraku prostorije, a ono ne bi smjelo utjecati na uporabna svojstva. Najčešće se dodaju etilmerkaptan u količini 12 g/m<sup>3</sup> ili teofen (tetrahidrotiofen) u količini 77 g/m<sup>3</sup>. Motorna vozila s opremom za uporabu LPG-a ne smiju se parkirati u podzemnim garažama zbog mogućeg istjecanja i sakupljanja u podrumskim prostorijama. Osim za dodavanje mirisa, dodaju se i tvari kojima se poboljšavaju svojstva samog UNP-a. Jedna od tvari koja se dodaje je metanol, koji se dodaje kao sredstvo protiv smrzavanja zimi u omjeru od 1 do 1,5 litara metanola na 1 m<sup>3</sup> plina. UNP nije topiv u vodi, već je lakši od vode te pliva na njoj, zbog čega se ne ubraja u tvari štetne za vodu. Nije otrovan, no prevelik udio u zraku može izazvati gušenje. Izravno udisanje para je štetno jer izaziva narkotično djelovanje. Pri dodiru UNP u ukapljenom stanju s kožom, tada dolazi do njegovog naglog isparavanja, što može uzrokovati teške ozljede, odnosno smrzotine. Područje eksplozivnosti mu je usko i u niskim koncentracijama od oko 2% do 9% v/v, stoga prostore u kojima se nalaze instalacije treba dobro prozračivati i označiti odgovarajućim oznakama. Temperatura samozapaljenja je 470°C. Miris odoriranog UNP-a je vrlo oštar i kada se on osjeti u zatvorenom se prostoru mora se odmah ugasiti svaki plamen, dobro prozračiti prostoriju, prekinuti dovod plina, nije dozvoljeno paljenje ni gašenje svjetla, niti bilo kojeg drugog električnog uređaja ili mogućeg izvora zapaljenja. Plinovi kada se zapale vrlo brzo dostižu maksimalne temperature gorenja, samim time i veću opasnost od požara npr. krutina ili zapaljivih tekućina. Ukoliko plin istječe na otvorenom prostoru desit će se gorenje ali ako plin ispunjava zatvoreni prostor doći će do eksplozije. Općenito se tvari odnosno plinovi koji imaju nisku donju granicu eksplozivnosti smatraju opasnima jer lako steknu uvjete za eksplozivno gorenje. U prostorijama u kojima se nalazi bilo koje trošilo koje koristi UNP, potrebno je omogućiti dovoljne količine zraka za izgaranje iz razloga što UNP pri izgaranju troši kisik, a što može prouzročiti njegov manjak s teškim posljedicama po život i zdravlje ljudi koji u prostorijama borave. Pri povišenju temperature dolazi do promjene volumena plina, toplinskog rastezanja kapljevine faze pa se zbog toga spremnici s

ukapljenim naftnim plinom ne smiju puniti do samoga vrha, već se mora ostaviti prostor za parovitu fazu i rastezanje kapljevite faze. Kako je UNP teži od zraka i pada na tlo, spremnike ili boce ne smiju se držati u prostorijama ispod razine okolnog tla i tamo gdje postoji mogućnost njegovog istjecanja i nakupljanja u kanalima. [7]

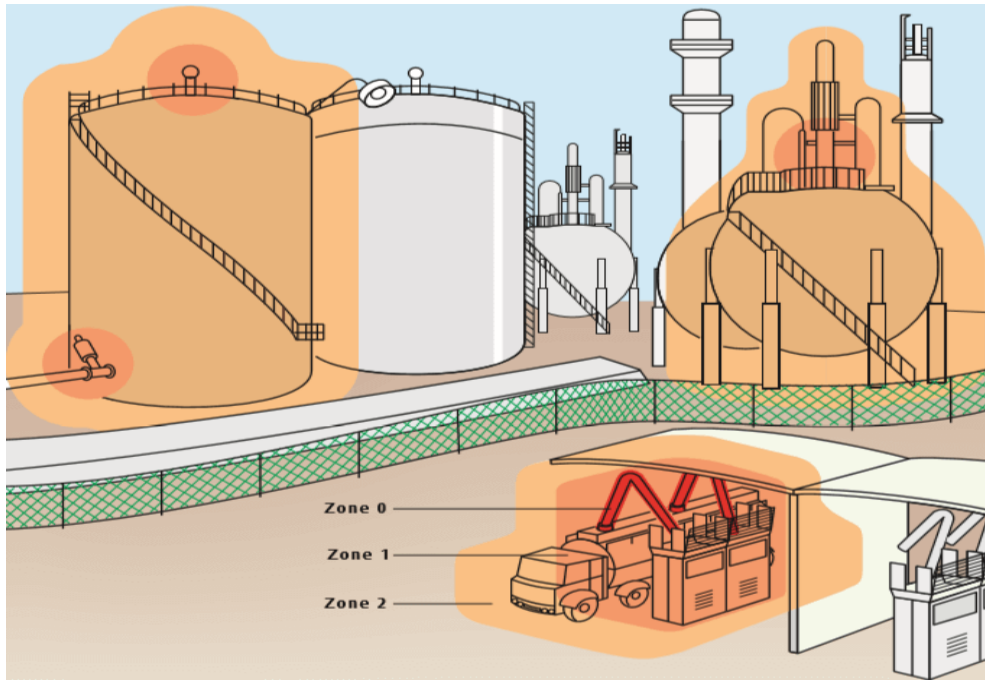
Sve najvažnije informacije o bilo kojoj vrsti plina navedene su u Sigurnosnom tehničkom listu koji je sukladan Uredbi (EZ) br. 1907/2006.

Opasnosti od požara i eksplozije koje su prisutne u tehnološkom procesu i drugim radnim procesima (istovar, skladištenje, prijevoz) i građevinama su mnogostruke. Radi prisutnosti velikih količina zapaljivih para i plinova i velikog požarnog opterećenja, požari i eksplozije mogu biti velikih razmjera, s ogromnim materijalnim štetama i ljudskim žrtvama. Prema aktualnim propisima pri radu s ukapljenim naftnim plinom određeni su tzv. opasni prostori u kojima su prisutne ili se mogu očekivati eksplozivne smjese u količinama koje zahtijevaju posebne mjere pri konstruiranju, ugradnji ili uporabi električnih uređaja i instalacija. [7]

Takvi prostori su podijeljeni u zone opasnosti na osnovi učestalosti pojave eksplozivne smjese i dijele se na :

- zonu opasnosti 0, prostor u kojem je eksplozivna smjesa prisutna trajno ili duže vrijeme
- zonu opasnosti 1, prostor u kojem je moguća prisutnost eksplozivne smjese pri normalnom radu
- zonu opasnosti 2, prostor u kojem se prisutnost eksplozivne smjese ne očekuje pri normalnom radu, a njezina prisutnost je rijetka i kratkotrajna. [8]

Zone opasnosti prikazane su na slici 8.



Slika 8. Pregled zona opasnosti [11]

Kod tehnoloških procesa u industriji plin se najčešće susreće u spremnicima i cjevovodima. Pa se time plinovi mogu izdvojiti u dvije skupine opasnosti, odnosno na plinove koje se nalaze u spremnicima i pri tome se nađu pod utjecajem plamena i na plinove koji propuštaju iz spremnika u okolinu. [12]

#### Plinovi koji se nalaze u spremnicima

Kada se spremnik nađe u požaru ili pod utjecajem plamena unutar spremnika doći će do porasta tlaka unutar spremnika zbog utjecaja temperature. Sve do trenutka kada se aktivira sigurnosna naprava ili ako spremnik ili boca nema sigurnosnu napravu dolazi do puknuća ventila i time i eksplozije. Spremnici sa ukapljenim plinom predstavljaju veću opasnost zbog širenja kapljevine pod utjecajem temperature. Ukoliko se spremnik nađe u požaru isti je potrebno hladiti mlazovima raspršene vode i pri tome vodeći računa o operativnom osoblju jer je vrlo izgledna eksplozija i zbog toga se mora radnja hlađenja vršiti iz zaklona i sigurnog smjera. [12]

#### Plinovi koji istječu iz spremnika

Istjecanje plina iz oštećenog spremnika ili cjevovoda u okolinu se odvija sve dok se tlak u spremniku ne izjednači sa tlakom okoline. Prilikom istjecanjem plina iz

spremnika dolazi do uskovitlavanja i miješanja sa zrakom što sa sobom nosi određene opasnosti:

- Istjecanje nekog plina u okolinu istiskuje zrak i time u njemu razrjeđuje koncentraciju kisika što ugrožava ljudsko disanje,
- Ukoliko dolazi do istjecanja plina koji ima opasno svojstvo otrovnosti time dolazi do ugrožavanja zdravlja,
- Plinovi sa opasnim svojstvom zapaljivosti mogu dovesti do zapaljenja i nastanka požara ili eksplozije,
- Istjecanje ukapljenog ili pothlađenog plina može dovesti do opasnih ozljeda poznatih kao smrztine,
- Istjecanje plinova koji imaju vatro pojačavajuće djelovanje povećavaju šansu da dođe do zapaljenja ili mogu već dodatno razbuktati nastali požar,
- Otkidanjem ventila na boci dolazi do naglog istjecanja plina iz boce i pri tome boca postaje vrlo opasan predmet sličan mlaznom projektilu.

Spremnik sa ukapljenim plinom koji se nađe u požaru može dovesti do vrlo razorne i opasne eksplozije. [12]

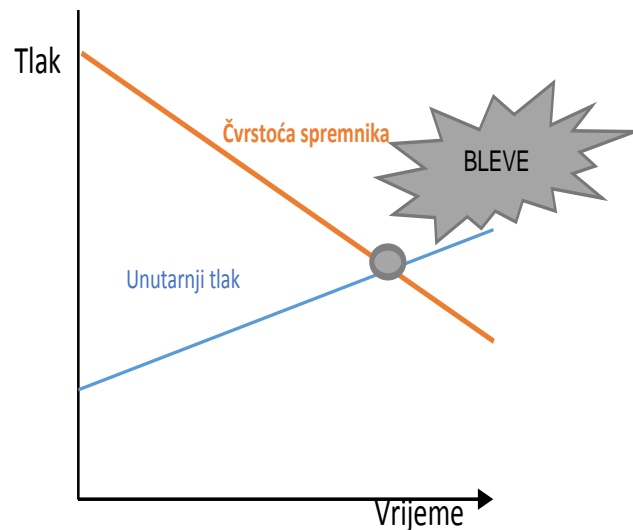
### **3.6. „BLEVE“ - eksplozija spremnika sa ukapljenim plinom**

Spremnici sa ukapljenim naftnim plinom mogu biti uzrok vrlo snažne eksplozije ukoliko se izlože izvorima opasnosti. Jedan od izvora opasnosti je požar. Ukoliko se spremnika sa ukapljenim naftnim plinom nađe pod velike količine topline uzrokovane požarom, može doći do vrlo snažne i opasne eksplozije znane kao „BLEVE“, eng. Boiling liquid expanding vapor explosion. Fenomen znan kao BLEVE je rezultat postizanja temperature iznad temperature vrelišta tekućine koja se nalazi u spremniku na atmosferskom tlaku, što u konačnici dovodi do pucanja stjenki spremnika uz pojavu vrlo snažne eksplozije. Ukoliko se spremnik nađe izložen požaru, zbog utjecaja topline doći će do zagrijavanja i porasta temperature spremnika. Prolaskom određenog vremenskog perioda tekućina u spremniku će se zagrijati na temperaturu vrelišta što će daljnjim prolaskom vremena smanjiti nivo tekućine u spremniku zbog isparavanja. Dolazi do aktivacije sigurnosnog ventila na spremniku zbog porasta tlaka. Zbog

zmanjenja nivoa tekućine gornji dio spremnika će slabije odvoditi toplinu te će zbog daljnjeg porasta temperature doći do smanjenja čvrstoće spremnika. Pare koje izlaze iz sigurnosnog ventila se zapale u kontaktu sa plamenom. Time ispunjavamo sve uvjete za nastanak eksplozije. Svaki daljnji porast temperature može narušiti čvrstoću spremnika, čime će doći do njegovog oslabljenja i eksplozije strahovitih razmjera. Spremnik se raspukne na dva dijela i postane projektil čiji fragmenti mogu odletjeti do veće udaljenosti i time uzrokovati dodatne štete. Nastala eksplozija ima oblik vatrene kugle te će njena veličina ovisiti o količini plina u trenutku oslabljenja spremnika kao što je prikazano na slici 9. [13]



Slika 9. Prikaz spremnika sa ukapljenim plinom do trenutka nastanka BLEVE eksplozije [14]



Slika 10. Povezanosti tlaka i čvrstoće spremnika [15]

Na slici 10. prikazan je odnos čvrstoće spremnika sa porastom tlaka plina unutar spremnika tijekom požara. Zbog djelovanja topline i porasta tlaka tijekom požara dolazi do pada čvrstoće spremnika i porastom tlaka do određene vrijednosti dolazi do pucanja spremnika i eksplozije.

Iako se BLEVE najčešće povezuje sa požarom kao uzrokom nastanka, do nastanka eksplozije može doći i kroz nastanke korozije na spremniku što može dovesti do oslabljenja čvrstoće spremnika kao i snažnim mehaničkim udarcem. Kao primjer možemo navesti prometne nesreće u željezničkom prometu gdje ukoliko dođe do nesreće, spremnici sa ukapljenim plinom mogu uzrokovati trenutnu eksploziju. U tablici su prikazani podaci o veličini vatrene kugle i njezinog trajanja. [16]

Tablica 2. Veličini vatrene kugle i njezinog trajanja [16]

Volumen spremnika (m <sup>3</sup> )	Promjer vatrene kugle (m)	Trajanje vatrene kugle (s)
1600	520	29
270	300	18
180	260	16
55	170	12
45	160	11
35	150	11

Spremniku ukapljenog naftnog plina zahvaćenog požarom vrlo je važno pristupiti sa velikom sigurnošću. Taktički pristupi se temelje na hlađenju spremnika sa velikom količinom vode kako bi se smanjila temperatura i spriječila tragedija. Hlađenje se odvija sa sigurne udaljenosti i najbolje iz zaklona. Vrlo je važno obratiti pozornost o kojoj vrsti spremnika se radi. Horizontalni cilindrični spremnici su najslabiji po kružnim šavovima na rubovima spremnika. Ukoliko dođe do eksplozije zbog naglog povećanja tlaka doći će do sile reakcije i spremnik će poletjeti u suprotnome smjeru od eksplozije. Iako je vrlo teško predvidjeti trenutak kada će doći do eksplozije spremnika, praksa je pokazala da aktivacija sigurnosnog ventila i snažno šuštanje plina iz spremnika uz zapaljenje je pouzdan predznak eksplozije koja je vrlo blizu nastanka. [13]

### 3.7. Prah - sredstva za gašenje požara plina

Kad se govori o požaru plina, kao primarno sredstvo za gašenje upotrebljava se prah. Prah predstavlja kruto sredstvo za gašenje požara koje se vrlo efikasno i jednostavno primjenjuje. Djelovanje praha na požar je ugušujuće, inhibirajuće ili kombinacija navedenih učinaka gašenja ovisno o vrsti praha koji se upotrebljava. Oblak izbačenog praha brzo obuhvaća površinu koja gori te time sprječava dotok kisika, a neke vrste praha kemijskim putem djeluju na proces gorenja usporavanjem do konačnog prekida spajanja gorive tvari s kisikom i time dovode do gašenja. Suhi prah

za gašenje i njegovo djelovanje daje niz pozitivnih svojstava kao što su: štiti od isijavanja topline i tako omogućava bliže prilaženje vatri što povećava mogućnost gašenja požara, snižava djelomično temperaturu požara time što čestice praha preuzimaju toplinu te je zatim uzvitlane bez opasnosti predaju hladnijoj okolini. Zbog tih svojstava prah je najpogodnije sredstvo za gašenje plinskih požara u početnoj fazi razvoja. Ova faza započinje u prvim minutama nastanka požara kada, je toplina nastala u požaru još mala i nema jačeg zagrijavanja okoline. Gušenjem plamena prahom postiže se vrlo brzo gašenje, a okolina još nije dovoljno ugrijana da bi izazvala ponovno zapaljenje. Za razliku od početne faze, požar plina u razbuktalnoj fazi dostiže veće temperature za čije gašenje uz prah treba primijeniti i dodatna sredstva za gašenja kao što je voda.

Količine praha koje se uzimaju pri računu za gašenje požara pomoću mobilnih sustava iznose:

- za gašenje unutar objekata  $6 \text{ kg/m}^2$ ,
- za gašenje na otvorenom prostoru  $10 \text{ kg/m}^2$ ,
- objekata za gašenje u slobodnom prostoru gdje nema mogućnosti širenja požara iznosi  $4 \text{ kg/m}^3$  [12]

Navedene potrebne količine treba uvećati ukoliko pri gašenju nastaju gubici zbog djelovanje vjetra i drugih atmosferskih utjecaja, te ukoliko je s obzirom na požarno opterećenje povećan intenzitet topline. Njegovu univerzalnost u gašenju požara treba tako shvatiti da on neke požare ne može sam uspješno gasiti, već samo u kombinaciji s drugim sredstvima.

Prah na bazi natrij-bikarbonata i kalij-bikarbonata, namijenjen je za gašenje požara A, B i C, pa se zbog toga i naziva ABC-prah. Prah na bazi amonij-fosfata namijenjen je svim vrstama požara pa se naziva i univerzalni ili ABCDF-prah. [12]

Najviše korišten u tehnici gašenja je prah na osnovi natrijevog bikarbonata i zato je ovaj prah najviše i usavršavan u proizvodnji. Suhi prah ne djeluje korozivno. Samo u izuzetnim slučajevima, kada ABC-prah dođe u kontakt s vodom, on izaziva koroziju metala, ili kada ABCDF-prah u požaru oslobađa amonijak, može izazvati koroziju obojenih metala. Prah na bazi natrij-bikarbonata potpuno je neotrovan. Pri višim



temperaturama ne raspada se na komponente koje štetno djeluju na čovjeka i životinje. Prah na bazi kalij-bikarbonata u suhom je stanju toksički bezopasan. [12]

Na požarima lakih metala aluminijskih i njegovih legura te magnezija, natrija i kalija primjenjuje se specijalni prah koji ponajprije djeluje efektom izolacije i rashlađivanja. Prah je postojan i dugotrajan ako se uskladišti na adekvatan način. [12]

Vozila za gašenje prahom su poznata pod nazivom "kemijska" vozila. Takva vrsta vozila mogu imati 500, 750, 1000, 2000, 4000, 6000, 12000 kg praha u svojim spremnicima. On se na požare izbacuje pomoću pogonskog plina dušik ( $N_2$ ) preko vitla za ručne mlazove dometa 15m i kapaciteta 5 – 6 kg/s ili pomoću monitora praha na vozilu sa dometom mlaza do 50m i volumnim protokom od 15 – 50 kg/s. Namijenjena su za gašenje požara klase B, C i električnih uređaja pod naponom, a ukoliko su napunjeni prahom „ABCD“ koriste se i za gašenje požara klase A i D. Pogonsko sredstvo za izbacivanje praha je dušik smešten pod tlakom od 150 bara u jednoj ili više čeličnih boca, ovisno o veličini spremnika za prah koji se nalazi na vozilu. [12]

Nedostaci kod upotrebe praha kao sredstva za gašenje su:

- pri upotrebi u zatvorenim prostorima izaziva ogromno zaprašivanje pa ga treba izbjegavati za gašenje požara u računskim centrima i telefonskim centralama
- nema rashlađujuće djelovanje usljed čega često dolazi do ponovnog zapaljenja
- upotreba na otvorenom može biti otežana određenim nepovoljnim vremenskim uvjetima kao što su vjetar, kiša.

Prah kao sredstvo za gašenje požara nalazimo u vatrogasnim vozilima u spremnicima i vatrogasnim aparatima. Svaki vatrogasni aparat ima na sebi naljepnicu na kojoj su označene bitne informacije za aparat: oznaka aparata i proizvođač, uputa za rukovanje u jasnoj formi s potrebnim slikama, vrste požara za koje je namijene, posebna upozorenja kada se aparat ne smije koristiti, temperatura djelovanja aparata, vrijeme neprekidnog pražnjenja, podaci o proizvođaču, datum pregleda i dr. [12]

Voda kao sredstvo se koristi isključivo samo za hlađenje stijenki spremnika i razrjeđivanja koncentracije plina u zraku kako bi se smanjila mogućnost stvaranja

eksplozije ili požara. Ako se radi o požaru cisterne ili spremnika obavezno se hladi raspršenim mlazom vode.

### **3.8. Zaštitna oprema pri radu sa plinom**

Obavezno se moraju nositi zaštitna odjeća i obuća. Redovito kontrolirati i nadzirati ispravnost i upotrebu osobne zaštitne opreme koja se koristi pri rukovanju opasnom kemikalijom. Redovito prati i održavati osobnu zaštitnu odjeću i opremu. Odjeća koja je kontaminirana ne smije se koristiti te ju je potrebno zamijeniti. U slučaju manipulacije s ukapljenim propanom, potrebno je koristiti osobnu zaštitnu opremu koja će spriječiti nastajanje smrzotina. Radna odjela moraju biti od antistatičkog materijala. Za zaštitu očiju koristiti zaštitne naočale (HRN EN 166) u slučaju manipulacije s ukapljenim propanom. [17]

Za zaštitu ruku obavezno je potrebno koristiti zaštitne rukavice od postojanog i nepropusnog materijala (nitril, ili nitrilbutil guma) prema HRN EN 374. Kod učestalog kontakta sa opasnom tvari, razina otpornosti na upijanje rukavica mora biti >240 min. U slučaju manipulacije s ukapljenim propanom, potrebno je koristiti rukavice koji su toplinski izolirane HRN EN 511, kako ne bi došlo do smrzotina. [17]

Zaštitne maske i izolacijski aparat se obavezno moraju nositi za zaštitu dišnih puteva. Ako je slučajno došlo do slučajnog ispuštanja plina onda je potrebno utvrditi područje opasnosti, spriječiti istjecanje plina i provesti pretakanje plina u neoštećeni spremnik uz sve mjere zaštite od pojave statičkog elektriciteta, pojave požara i eksplozije. [17]

### **3.9. Prva medicinska pomoć**

UNP nije otrovan ali je u visokom stupnju jako narkotično sredstvo on može izazvati gušenje samo pri visokim koncentracijama i to usred smanjene koncentracije kisika u okolini.

Prije pružanja pomoći unesrećenima potrebno je izolirati područje nesreće od izvora zapaljenja uključujući i isključivanje iz električne mreže. Prije ulaska u zatvorene prostore provjeriti atmosferu i osigurati provjetranje te obavezno koristiti odgovarajuću osobnu zaštitnu opremu. Unesrećenu osobu udaljiti iz onečišćenog prostora na svjež zrak i postaviti ju u položaj koji olakšava disanje. U slučaju vrtoglavice, mučnine, glavobolje, i trajnih tegoba odmah zatražiti liječničku pomoć. U slučaju nesvjestice prebaciti ozlijeđenu osobu u bolnicu u bočnom položaju pazeći na prohodnost dišnih puteva. U slučaju otežanog disanja ili prestanka disanja otvoriti dišne puteve i početi sa reanimacijom - masaža srca i umjetno disanje te odmah potražiti liječničku pomoć. Nakon dodira sa kožom mogu nastati smrzotine te se u tom slučaju ne smije uklanjati odjeća sa područja smrzotina, ne trljati ili pritiskivati ozlijeđeno područje kože. Zahvaćeno područje je potrebno ispirati s puno vode najmanje 15 minuta te ako je moguće zagrijati zahvaćeno tkivo vodenom kupelji na 37 - 42°C. Odmah je potrebno potražiti liječničku pomoć. Nakon dodira s očima mogu nastati smrzotine te je potrebno odmah ukloniti kontaktne leće ako ih unesrećena osoba nosi te ispirati vodom najmanje 15 minuta te odmah potražiti liječničku pomoć. Nakon gutanja moguć je nastanak smrzotina na usnama i u ustima. Najvažniji simptomi i učinci nakon udisanja su vrtoglavica, pospanost i glavobolja. Izloženost visokoj koncentraciji duže vrijeme može izazvati gušenje i nesvjesticu. [17]

## 4. SKLADIŠTENJE UNP-a U SPREMNICIMA

Da bi se uskladištile veće količine plina u plinskoj industriji potrebno je izgraditi odgovarajući spremnički prostor. On mora biti takav da zadovoljava kapacitetom, da je siguran u radu, da su gubici zbog isparavanja lakohlapivih proizvoda što manji. Čimbenici o kojima ovisi veličina spremničkog prostora su: kapacitet preradbenih postrojenja, način dopreme plina i otprema kao što su plinovodi, cisterne, željeznica, tankeri. [3]

Zahtjevi koje bi suvremeni spremnici za prirodni ukapljeni plin trebali ispunjavati:

- osigurati potpunu nepropusnost plina i tekućine,
- izdržati sva opterećenja proistekla od tlaka i temperature plina,
- u posebnim slučajevima zadržati nepropusnost,
- mogućnost ulaska u spremnike radi potrebe održavanja,
- materijali zadovoljavati uvjete vezane za tvrdoću i krhkost u odnosu na temperaturu,
- izolacija mora osigurati što manje isparivanja plina

Spremnici za LNG dijele se na:

- horizontalne ili vertikalni cilindrični spremnike
- sferni spremnici
- podzemni spremnici
- stabilni
- prijenosni
- spremnici na transportnim sredstvima

Sferni spremnici su često većeg kapaciteta i njihovim izborom nastaju značajne uštede u težini limova i smanjenoj količini opreme koja se ugrađuje u njih. Za manja i srednja skladišta UNP-as obično se koriste horizontalni cilindrični spremnici oslonjeni na betonske temelje kapaciteta volumena od 5 do 250 m<sup>3</sup>. Dijelovi od kojih se sastoje spremnici za ukapljeni naftni plin su: plašt, podnice samo za nadzemni spremnik, dva ili više oslonaca isto samo za nadzemni spremnik, priključni otvor, zaštitni poklopac i ušice. Uz navedene osnovne dijelove na spremniku se još postavlja dodatna oprema

koja omogućava ispravni i sigurni rad spremnika. Dodatni dijelovi koji se još upotrebljavaju su : ventil za kapljevitu fazu, ventil za plinovitu fazu, sigurnosni ventil, protulomni ventil, pokazivač razine kapljevite faze i plinovite faze. [3]

#### **4.1. Nadzemni spremnici**

Nadzemni spremnici za UNP dijele prema obliku na cilindrične i kuglaste.

Cilindrični se spremnici najčešće postavljaju u vodoravnom položaju i oslonjeni su na dva ili više betonskih nosača i obično su volumena 10 m<sup>3</sup>, 30 m<sup>3</sup>, 60 m<sup>3</sup> i 100 m<sup>3</sup> slika 11.

Kuglasti ili sferni spremnici slika 12 obično se primjenjuju za skladišta većih kapaciteta u rafinerijama, središnjim distribucijskim centrima i kod velikih potrošača UNP-a, jer u odnosu na cilindrične spremnike imaju mnoge prednosti kao što su:

- zbog savršenijeg geometrijskog oblika kod kugle je raspored tlaka bolji nego kod cilindra zahtijevaju manje materijala
- smanjuju broj zaporne, mjerne i sigurnosne armature
- dispozicija terena koji zauzimaju mnogo je manja od površine koja je potrebna za cilindrične spremnike istog kapaciteta
- temelji su manji i jednostavniji,
- s obzirom na veći kapacitet smanjuju eksploatacijske troškove pretakanja, zatvaranja i otvaranja ventila, mjerenja, održavanja. [3]

Međusobna udaljenosti spremnika od građevina, javnog puta ili putova unutar postrojenja moraju biti u skladu s Pravilnikom o izgradnji postrojenja za tekući naftni plin i o uskladištenju i pretakanju tekućeg naftnog plina Sl. L. 24/71. Mjere vodoravno u svim smjerovima od vanjskih dijelova nadzemnog spremnika do gabarita građevina i na tom prostoru ne smiju biti nikakvi izvori paljenja ili električni vodovi bez obzira na napon. Ne smiju se postavljati ispod javnih putova i udubljenja ispod razine terena i moraju imati temelje čija je vatrootpornost najmanje F 120 minuta prema HRN DIN 4102. Stabilna instalacija za hlađenje raspršenom vodom mora imati kapacitet od 10 l/min po m<sup>2</sup> tlocrtnne površine spremnika s tlakom na izlazu iz sustava od najmanje 3,5

bara u trajanju od 2 sata te po jedan prijevozni vatrogasni aparat punjenja od 50 kg praha za svaka 2 spremnika. [3]



Slika 11. Horizontalni cilindrični spremnik [8]



Slika 12. Kuglasti spremnik [8]

## 4.2. Podzemni spremnici za UNP

Pod podzemne spremnike prikazane na slici 13. podrazumijevaju se potpuno ukopani spremnici ili spremnici postavljeni u komore, čija se razina plašta nalazi najmanje 60 cm ispod razine terena. Podzemni spremnici moraju imati otvor za ulaz i potrebno je najmanje jednom u 5 godina potpuno otkriti zbog pregleda vanjske površine. Iznad podzemnog spremnika ne smije se izgrađivati bilo kakva građevina i putovi. Podzemni spremnici ne smiju se postavljati jedan iznad drugog. Odušne cijevi sigurnosnih ventila spremnika moraju se sigurno učvrstit i nalaziti na visini najmanje 2,5 m iznad okolnog terena. Odvodnjavanje zaštitnih okana mora biti riješeno tako da sprječava prodiranje plina u kanalizaciju. Vatrogasne instalacije podzemnih spremnika sastoje se od hidrantskih mreža i prijenosnih vatrogasnih aparata za gašenje požara. [3]



Slika 13. Podzemni spremnici za UNP [8]

### 4.3. Podzemna skladišta

U podzemna skladišta ubrajaju se skladišta koja su napravljena u napuštenim rudnicima, tunelima pećinama i slično. Kapaciteti tih skladišta su veći od 5000 m<sup>3</sup>. Najviše ih ima u Americi i postali su najekonomičniji oblici skladištenja. Razlikujemo dvije vrste podzemnih skladišta:

- *podzemna skladišta pod atmosferskim uvjetima* – UNP je uskladišten u atmosferskim temperaturama slika 14. To mogu biti prirodni kapaciteti: pećine prirodne pukotine, kapaciteti napravljeni u ležištima soli, napušteni rudnici, tuneli, kamenolomi, novi rudarski iskopani podzemni spremnici. Od svih tipova najekonomičniji su se pokazala skladišta izgrađena na ležištima soli. Izbor skladišta ovisi o ostvarivanju maksimalnih uvjeta sigurnosti. Tlo treba biti nepropusno i ne smije imati tzv. „mrtvu zonu“ koja se iz bilo kojih razloga ne može koristiti za uskladištenje UNP-a. Mjere sigurnosti se odvijaju na veoma visokoj razini. [3]

- *podzemna skladišta na vrlo niskim temperaturama* – čitav prstenasti omotač jame zaleđen je pomoću odgovarajućeg rashladnog sistema. Konstrukcija je napravljena od betona a propan je uskladišten na atmosferskom tlaku.[3]



Slika 14. Podzemno skladište plina Okoli [18]



#### 4.4. Izvori požarne opasnosti na skladišnim spremnicima gorivih plinova

Prilikom skladištenja zapaljivih plinova i tekućina u spremnicima se pojavljuju mnoge požarne opasnosti, kao što su:

1. *Opasnost od električne instalacije i postrojenja*, opasnost od električne iskre ili električnog luka, a oni mogu biti uzrok paljenja zapaljivih smjesa.
2. *Opasnost od groma* stoga je vrlo važno izrazitu pozornost posvetiti postavljanju gromobranske instalacije i mjerenju otpora. Opasnost su i vezani naboji koji se pojavljuju i skupljaju na krovu spremnika zbog naelektriziranog oblaka i koji prolaze u zemlju istodobno s udaljavanjem oblaka.
3. *Opasnost od lutajućih struja* koja može nastati zbog propusnosti električnih vodova te može izazvati jaku električnu koroziju koja dovodi do izjedanja stijenki spremnika i propuštanja tekućina.
4. *Opasnost od statičkog elektriciteta*, naelektrizirani materijal zbog fizičkih kretnji, dodira i razdvajanja. Stvaranje statičkog elektriciteta nemoguće je u cijelosti spriječiti jer nastaje svugdje gdje su dvije površine u međusobnom dodiru.
5. *Opasnost od samozapaljenja* koja se događa taloženjem željeznog sulfida kroz dulje vrijeme na dnu spremnika i stvara se sloj mulja koji izložen na zraku vrlo brzo oksidira, zagrije se do crvenog žara i kao takav ozbiljna je opasnost.
6. *Opasnost od požara tijekom remonta spremnika* koja se događa u trenutku kad se spremnik isprazni i u njemu ostaju velike koncentracije para. Ovako bogate smjese postaju lako eksplozivne ako se spremnik otvori i smjesa razrijedi zrakom.
7. *Opasnost od mehaničke iskre* nastaju kao posljedica trenja i udara kod materijala koji su skloni iskrenju. Mehanički rad se pretvara u toplinu. Primjer je čelika, lokalno zagrijavanje uslijed trenja i udara je tako veliko da dolazi do trganja sitnih djelića materije koji imaju dovoljno visoku temperaturu da mogu izazvati paljenje zapaljivih materijala. Iskre najčešće nastaju prilikom brušenja i rezanja pri čemu se mogu vidjeti cjeloviti snopovi iskri. Zbog svoje nepredvidivosti mehaničke iskre kao izvor paljenja mogu biti veoma opasne osobito uz prisustvo plinovitih smjesa.

8. *Opasnost od trovanja* koja najčešće nastaje kod ulaska radnika u spremnik zbog čišćenja spremnika.
9. *Opasnost od oštećenja od korozije* jer korozija "napada" spremnik i sve njegove dijelove. Atmosferska korozija pojavljuje se na plaštu i krovu spremnika ako nije spriječena ispravnim bojanjem a ovisi o stanju spremnika pri bojanju, atmosferskim uvjetima i dugim čimbenicima te je vidljiva sa vanjske strane spremnika. Dno spremnika korodira i sa vanjske i sa unutarnje strane pa je to veći problem i nakon nekog vremena dolazi do propuštanja tekućine iz spremnika.
10. *Opasnosti od požara tijekom pretakanja zapaljivih tekućina i plinova* najvažnije je voditi pozornost o zonama opasnosti.

Zona 0 je prostor u kojem je eksplozivna atmosfera, smjesa para zapaljive tekućine i zraka stalno ili duže vrijeme ili često prisutna. Zona 1 je prostor u kojem se povremeno tijekom normalnog rada može stvoriti eksplozivna smjesa. Zona 2 je prostor u kojem se ne očekuje pojava eksplozivne atmosfere a ukoliko se pojavi traje kratko vrijeme.

Autocisterne koje se kreću u zonama opasnosti moraju na ispusnoj cijevi imati hvatač iskri. Također, na samom pretakalištu mora biti omogućeno prihvaćanje prolivenih tekućina i njihov odvod u tehnološku kanalizaciju. Osobe koje rade na pretakalištu moraju biti posebno i stručno osposobljene za taj posao. [6]

#### **4.5. Zaštita spremnika od požara, topline i eksplozije**

Zaštita spremnika u kojima se skladišti ukapljeni naftni plin je vrlo važna. Spremnici sa UNP- om štite se stabilnim sustavima za hlađenje, hidrantskom mrežom i vatrogasnim aparatima. Mjere zaštite spremnika su propisane pravilnikom o ukapljenom naftnom plinu.

Hidrantska mreža je stabilni sustav i izrada istog u RH propisana je Pravilnikom o hidrantskoj mreži za gašenje požara (NN 8/2006). Propisima RH propisano je obvezno korištenje hidrantske mreže za gašenje požara, a posebno kod zahtjevnijih objekata kao što su industrijska postrojenja, energetska postrojenja i objekti, visoke građevine, zračne luke, skladišta. Prema načinu izvedbe može biti vanjska i unutarnja,

suha i mokra. Suha se koristi kada nije moguće osigurati da ne dođe do smrzavanja iste, pa je suha do prvog zapornog ventila gdje više ne prijete smrzavanje. Oblici izvedbe hidrantske mreže mogu biti prstenasti kao što ima terminal Maziva ili razgranati. Vanjska hidrantska mreža se izrađuje oko štíćenog objekta cijevima promjera 100 mm. Udaljenost hidranata ne smije biti veća od 80 metara i udaljenost od objekata veće od 5 metara. Uz hidrante postavljaju se ormarići u kojim je oprema sukladna potrebama vatrogasne armature, mlaznice, vatrogasne cijevi, prelazi A/B, B/C, međumješalice, mali spremnici s pjenilom i dr. Kod unutarnje hidrantske mreže u zidnim ormarićima se nalaze zidni hidranti i pripadajuća oprema. Glavni dijelovi od kojih se sastoji hidrantska mreža su: izvor vode, građevinski elementi, cjevovod, ventili, oprema za gašenje. [3]

Stabilni sustavi za hlađenje spremnika je instalacija izvedena kao sustav za raspršenu vodu koja se koristi za zaštitu spremnika hlađenjem u slučaju porasta temperature. Vrlo je bitno da ventili za aktiviranje instalacije budu pristupačni i vidljivi na sigurnome mjestu za korištenje u slučaju potrebe.

Broj vatrogasnih aparata u blizinu spremnika se određuje pravilnikom i ovisi o kapacitetu i broju spremnika.

## 5. TERMINAL UNP –a ZAGREB ŽITNJAK

Lokacija se nalazi u istočnom dijelu Grada Zagreba, Industrijska zona Žitnjak, na adresi Radnička cesta 216. S južne strane poslovnog prostora nalaze se susjedni objekti poduzeća SILA, a s ostale tri strane nalaze se asfaltirani putovi Radničke ceste i Mičevečke ulice. Sa sjeverozapadne strane smješten je Centar male privrede, Savica Šanci i tvrtke A1, jugozapadno se nalazi Grafički zavod Hrvatska, Školska knjiga i Tiskara Zagreb.

Objekti i prostori lokacije nalaze se na parceli površine 39 453 m<sup>2</sup>, ograđenih metalnom pletenom žicom i ima četiri kolna od kojih su dva pomoćna -vatrogasna i jedan pješački ulaz. Na lokaciji su stalno zaposlena 104 djelatnika. Zbog rada u smjeni i povremenog rada (vozači, vatrogasci i zaštitar), na lokaciji se istovremeno može naći najviše 89 radnika. Ustrojeno je na lokaciji 24 – satno dežurstvo profesionalne vatrogasne postrojbe u gospodarstvu u skladu s kategorizacijom IIa na UNP Terminalu Zagreb s tri profesionalna vatrogasca u smjeni koji rade u turnusima (12/24;12/48). [19]

Objekti se razlikuju po namjeni i materijalu od kojega su izgrađeni. Svi objekti u kojima su smješteni radnici izgrađeni su od čvrstog materijala, a pretakalište za auto cisterne je objekt u kojem se samo povremeno zadržavaju radnici i na otvorenom je prostoru.

Na lokaciji se nalazi sljedećih prostorno grupirana objekta različitih namjena u zajedničkom tvorničkom krugu.

1. Kuglasti spremnik S-1
2. Kuglasti spremnik S-2 – van funkcije
3. Cilindrični spremnik R-1
4. Cilindrični spremnik R-2
5. Cilindrični spremnik R-3
6. Cilindrični spremnik R-4
7. Radionica za održavanje s kompresorskom stanicom, kotlovnicom, garderoba i uredi
8. Punionica i radionica
9. Skladište maloprodaje – van funkcije

10. Maloprodaja kamp plina
11. Skladište vatrogasne opreme INA Vatrogasnih servisa
12. Vatrogasna pumpaonica sa spremnikom vode
13. Stacionar za autocisterne sa dizel skid jedinicom
14. Skladište boca
15. Pomoćna zgrada s kotlovnicom
16. Upravna zgrada
17. Dizel- električni agregati
18. Ulazna porta i uredi transporta
19. Pretakalište autocisterne
20. Pumpno kompresorska stanica za UNP
21. Porta za teretna vozila
22. Trafostanica - vlasništvo INA

Ukapljeni naftni plin se skladišti u kuglastom spremniku S-1, dok je kuglasti spremnik S-2 van upotrebe te četiri cilindrična spremnika: dva za skladištenje komercijalnog propana, jedan cilindrični spremnik za skladištenje pročišćenog propana te jedan od 100 m<sup>3</sup> za skladištenje pročišćenog butana. Oko nadzemnih spremnika nalazi se zaštitni bazen, plinodetekcija, javljači požara, vatrogasni aparati i hidranti. Na lokaciji se obavlja pretakanje i skladištenje komercijalnog propana, pročišćenog propana i pročišćenog butana te punjenje i otprema plina propan-butana u bocama ili autocisternama do potrošača. Tehnološki proces punjenja boca vrši se na "karuselu" u punionici boca. [19]

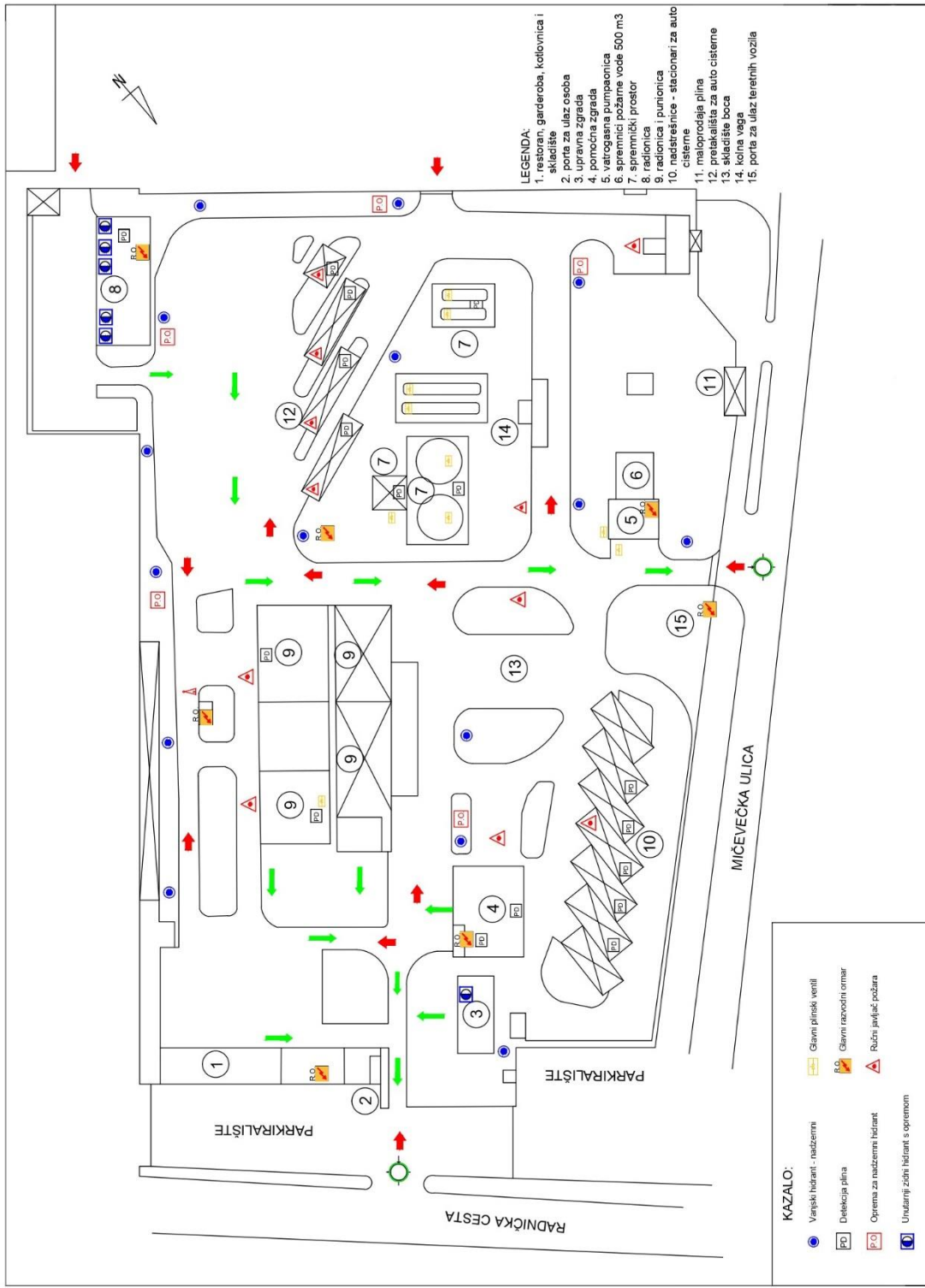
Glavni tehnološki procesi su:

- skladištenje UNP
- punjenje boca UNP
- redoviti periodički pregled i ispitivanje plinskih boca za UNP
- punjenje i pražnjenje transportnih sredstava za UNP

Proces rada koji se odvija na lokaciji sastoji se od dopreme plina, najvećim dijelom cijevnom instalacijom (produktovodom) iz postrojenja Etan u Ivanić Gradu. Pretovar plina obavlja se potpuno zatvorenim pumpnim sustavom putem cjevovoda. Prijem UNP počinje ulaskom plina cjevovodom ili autocisternama kroz kolni ulaz te

pretakanjem plina i skladištenjem u spremnike. Pretakanje se obavlja pomoću pumpi ili kompresora. Spremnici su povezani instalacijom s nepropusnim spojevima. Na lokaciju prazne boce za UNP u čeličnim paletama i/ili komadno dovoze se transportnim vozilom na mjesto istovara – otvoreno skladište. Pretovar s vozila na prostor otvorenog skladišta obavlja se viličarom. Prema potrebi boce u paleti odvoze se na lančani transporter, vodeći računa o tome da punionica boca bude stalno opskrbljena praznim bocama. Pune boce UNP-a za daljnju prodaju utovaruje se na vozilo prijevoznika viličarom. Boce se prenose ručno s lančanog transportera na peron skladišta i slaže ih se u skupine te ih se odvozi kamionima. [19]

Alarmno stanje se signalizira na displayu vatrodojavne centrale te na upravljačko-nadzornom panelu koji je u prostoriji dežurnih vatrogasaca tj. u objektu pumpne stanice ima 24-satno dežurstvo vatrogasaca osigurava i stalni nadzor sustava te u slučaju potrebe telefonom dojavljuju JVP Zagreb-Ispostava Žitnjak. Ugrađeni osjetnici su detektori eksplozivnih plinova, prema mjernom principu katalitički detektori koji se sastoje od dvije zavojnice od platine koje se zagrijavaju do cca 450°C. Na lokaciji su instalirani stabilni sustavi za hlađenje i gašenje vodom na spremnicima UNP-a R-1, 2, 3 i 4. Aktiviranje instalacije za hlađenje se obavlja ručno, otvaranjem zasuna na kolektoru kod vatrogasne pumpanice. Izvor vode je opskrba vodom za potrebe zaštite od požara obavlja se iz betonskog nadzemnog spremnika kapaciteta 500 m<sup>3</sup>. Spremnik se preko ventila s plovkom dopunjava iz gradske vodovodne mreže. Dobava vode se obavlja preko tri elektromotorne vatrogasne pumpe, smještene u vatrogasnoj pumpanici, koje mogu raditi pojedinačno, paralelno u parovima (dok je treća rezervna) te iznimno sve tri zajedno. Na lokaciji je instalirana vanjska hidrantska mreža te je instalirano petnaest nadzemnih hidranata. [19]



Slika 15. Plan evakuacije za lokaciju UNP Zagreb [20]

## **6. INCIDENTNA SITUACIJA GAŠENJA POŽARA, EVAKUACIJE I SPAŠAVANJA**

Svrha incidentne situacije je provjera djelovanja sustava zaštite od požara, evakuacije i spašavanja u slučaju incidenta na lokaciji UNP-a Terminal Zagreb.

Cilj je potvrditi organiziranost, opremljenost i stručnu osposobljenost svih sudionika na intervenciji pretpostavljenog akcidenta. Potvrditi prohodnost požarnih putova i brzinu dolaska svih sudionika na lokaciju te utvrditi i uvježbati međusobnu koordinaciju između svih sudionika izvođenja akcije gašenja i sprječavanje neželjenih većih posljedica. Incidentna situacija je zamišljena kao provjera ispravnosti opreme za gašenje na industrijskom objektu UNP-a Terminala Zagreb Radnička cesta 216, kao i provjera osposobljenosti i uvježbanosti osoblja zaposlenog na Terminalu UNP-a, profesionalnih vatrogasaca u vatrogasnoj postrojbi Žitnjak koja se nalazi na navedenom industrijskom objektu, te na susjednim lokacijama.

### **6.1. Procjena mogućih uzroka opasnosti od iznenadnih događaja**

Klasificirajući direktne uzroke nezgoda, koje imaju za posljedicu ozljede, smrtne slučajeve i uništenje imovine u industriji nafte i plina a počesto uključuju požar i eksplozije, mogu se podijeliti i slijedeće grupe, po padajućem redu s obzirom na njihovu važnost i veličinu štete:

1. Nepravilno rukovanje ili neispravan rad
2. Kvar na postrojenju
3. Popravak za vrijeme pogona
4. Grom, oluja i druga djelovanja prirodnih sila
5. Neispravni uređaji i slično [20]



U svakoj od ovih grupa, stvarna veličina šteta, a ponekad i stupanj ozljede radnika ovisi o raspoloživim zaštitnim uređajima i mjerama.

Kvarovi na postrojenju potječu najčešće zbog nedovoljnog nadzora i nedovoljno dobrog održavanja. Pogrešno rukovanje i neispravno vođenje pogona sastoji se najčešće od neispravnog manipuliranja operatera punioca sa zasunima. Često se nesreće događaju kada se pokušava izvršiti popravke na postrojenju dok je u pogonu, a ne ukloni se iz sustava zapaljivi materijal.

Može se reći da je najčešći uzrok nesreća u naftnoj industriji i srodnim industrijama nepoznavanje postojećih opasnosti i potrebnih mjera sigurnosti. Ovo nepoznavanje može biti uzrok prividno različitim neposrednim ili direktnim uzrocima nesreća kao što nedovoljan ili slab nadzor i održavanje mogu biti posljedica nepoznavanja, npr. djelovanja korozije pa sve do neispravnog rada s otvorenim plamenom gdje dolazi do nepoznavanja opasnih područja u kojima ima zapaljivih tekućina i plinova, nedovoljna zaštita tih konstrukcija te posljedica nepoznavanja otpornosti ugrađenih materijala prema vatri.

Najvažnije i najosnovnije za poboljšanje sigurnosti u djelatnost dopreme, skladištenja otpreme i dopreme naftnih derivata, UNP-a odnosno uopće u naftnoj industriji je školovanje, obrazovanje i trening, odnosno vježbe ili tumačenje iskustava o nesrećama i o protumjerama istih.

## **6.2. Preventivne mjere za sprječavanje izvanrednih događaja**

Svi sudionici u proizvodnim procesima dužni su poduzimati preventivne mjere kojima se sprječava mogućnost nastanka izvanrednih događaja:

- svi zaposleni moraju biti osposobljeni za rad na siguran način;
- svi zaposleni moraju biti osposobljeni za početno gašenje požara
- svi zaposleni za koje je to potrebno trebaju biti osposobljeni za rukovanje zapaljivim tekućinama i plinovima
- postrojenja i radnu opremu treba održavati u ispravnom stanju uz redovite kontrole;

- održavati sustave za gašenje i sprječavanje širenja požara u ispravnom stanju;
- održavati vatrogasna vozila i ostalu vatrogasnu tehniku u ispravnom stanju;
- pridržavati se odredbi interne dokumentacije koja regulira ponašanje i postupke u izvanrednim situacijama. [20]

### **6.3. Sadržaj incidentne situacije**

U održavanje općih sigurnosnih mjera u ovoj vrsti djelatnosti ulaze dva različita područja rada i to sprječavanje nezgoda u vezi sa specijalnim uređajima i postupcima koji se na njima primjenjuju kao i sprječavanje osobnih ozljeda radnika za vrijeme zajedničkog rada i vršenja uobičajenih poslova. Prvo područje rada odnosi se na primjenu inženjerstva kod skladištenja, potpuno i učinkovito iskorištavanje i primjenu ranijeg iskustva, obrazovanje radnika, postupke, i na poučavanje o mogućim opasnostima, te na nabavku odgovarajućih uređaja.

Ovaj rad sadržava sve postupke u slučaju navedenog požara što podrazumijeva obradu svih vatrogasno-taktičkih postupaka koje je potrebno provesti s naročitim osvrtom na:

1. Procjenu požara koja treba obuhvatiti potrebu za spašavanjem ozlijeđenih, stanje ventila i zasuna na postrojenju, kemijsko tehnološke karakteristike plina, mogućnost punjenja ili prepumpavanja, pražnjenja UNP, lokaciju požara, stanje stjenki plašta skladišnih rezervoara, momentalnu potrebu da se vodom hlade rezervoari izloženi plamenu, te obara plinski oblak vodenom zavjesom.
2. Postupke odvajanja požara od ostalih cjelina skladišta UNP Zagreb.
3. Mogućnosti pristupa mjestu događaja vatrogasnoj tehnici, regulaciju prometa javnim komunikacijama, mogućnosti manevriranja vozila za gašenje u odnosu na trenutačni smjer vjetra.
4. Koordinaciju rada s operativnim osobljem instalacije/zatvaranje zasuna, rukovanje instalacijama/ i zaštitarima lokacije, svim vatrogasnim snagama koje su uključene u akciju gašenja i spašavanja, policijom .

5. Funkcionalnost ugrađenih sustava zaštite, mogućnost pristupa zasunima stabilnih sustava za gašenje i hlađenje u slučaju visokih temperatura u neposrednoj blizini zasuna, te količinskim kapacitetima hidrantske mreže.

### **6.3.1. Incidentna situacija**

Nakon standardnog postupka prijave auto - cisterne za prijevoz UNP došla je na pretakalište te se propisno parkirala za utovar. Vozač je sukladno proceduri ugasio motor te provjerio dali je sigurnosna sklopka na uređaju za anuliranje statičkog elektriciteta u poziciji 0 te nakon što je utvrdio isto prikvačio je kabal za odvođenje statičkog elektriciteta te sklopku stavio u poziciju 1.

Na utovarnom mjestu nalazio se operater-skladišta u obavljanju svojih redovnih obaveza prihvaćanja te spajanja cisterni na stabilnu instalaciju UNP-a.

Nekoliko metara dalje odnosno pored tehničke zgrade (garderoba i radionice održavanja pogona) vršio se redovan posao uklanjanja starih boca i malih rezervoara koji se pripremaju za zbrinjavanje. Na navedenim poslovima radile su dvije osobe radnik na viličaru i pomoćnik na uklanjanju istih.

Vozač auto cisterne za UNP nakon radnji koje su u njegovom djelokrugu rada otišao je u kabinu vozila te sjeo za upravljač navedenog vozila. Kako je prije nego što je došao na utovar obavljao rutu vožnje te je htio provjeriti stanje goriva u spremniku nesmotreno je prilikom uključivanja kontakt bravice upalio motor cisterne koja je bila ubačena u prvu brzinu. Kako cisterna nije ima povučenu parkirnu kočnicu vozilo se počelo kretati u smjeru unaprijed. Vozač navedene cisterne se našao u panici te ne uspijeva zaustaviti kretanje cisterne. Prilikom kretanje cisterna otkida utovarnu ruku na stražnjem dijelu te dolazi do naglog istjecanja UNP na utovarnoj ruci. Operater koji se nalazio u neposrednoj blizini pokušava vikanjem upozoriti vozača, no vozač nema kontrolu nad vozilom. Vozač reagira na način da vozilo okreće u smjeru ivičnjaka, nosača nadstrešnice lijevog utovarnog mjesta. Misleći da će na uzvišenju ivičnjaka zaustaviti vozilo, no vozilo udara u nosač nadstrešnice te lijevom stranom zapinje o plašt cisterne te time dolazi do proboja plašta, naglog izlaženja plina na navedenom rascjepu koji se nakon toga i zapalio. Kako su se u neposrednoj blizini obavljali poslovi spremanja starih boca i malih spremnika za UNP, vozač viličara uslijed naglog udara

u neposrednoj blizini pa i buke izlaska plina nesmotreno je pogledao u smjernu događaja na cisterni te je pri tome zaboravio za operatera u neposrednoj blizini te je istoga pritisnuo malim spremnikom za UNP koji je iskliznuo iz nosača viličara pri čemu je operateru priklješti donji dio ekstremiteta u neposrednoj blizini incidenta.

### **6.3.2. Dinamika događaja incidenta**

Incidentni događaj dogodio se u 11:59 sati na lokaciji UNP terminal Zagreb. Odmah po nastanku događaja operater pritiskom na tipkalo uzbunjuje vatrodojavnu centralu na porti 2. Istovremeno je automatski sistem za detekciju plina alarmirao centralu plinodjave o propuštanju ukapljenog naftnog plina te zvučni i svjetlosni signal u vatrogasnoj dežurnoj prostoriji (vatrodojava i plinodjave ) alarmira preostale zaposlenike VP Žitnjak. Telefonom i radio vezom obavještavaju se PVPG IVS Maziva Zagreb, VOC 193, Hitnu službu 112, Hitnu medicinsku pomoć 194. U 12:00 sati dežurni vatrogasac izviđanjem utvrđuje da je došlo do proboja spremnika autocisterne te je zbog toga došlo do propuštanja plina iz spremnika autocisterne i početnog požara. Operater skladišta, radnik Terminala UNP i dežurni profesionalni vatrogasac koji su zatečeni na mjestu događaja počeli su sa gašenjem početnog požara aktiviranjem aparat za početno gašenje požara 1 x S-50 i 1 x S-9 . Operater skladišta zatvara zasun prema rezervoarskom prostoru te zatvaranju izlaza plina iz otkinute utovarne ruke jer PRESS ventil nije odmah automatski zatvorio. Drugi vatrogasac iz sastava posade stupa u kontakt radio vezom s vatrogascem u smjeni i zahtijeva uključivanje vatrogasnih pumpi u vatrogasnoj pumpani te isključenje napona pritiskom na ESD tipkalo za područje pretakališta.

Operater skladišta nakon poduzetih radnji koje je prethodno učinio, primijetio je da se nešto dešava pokraj viličara. Odmah kad je vidio šta se desilo, sa vozačem viljuškara pokušava osloboditi unesrećenu osobu u neposrednoj blizini koja je stradala prilikom nesmotrenog i paničnog rada vozača viličara. Radnje izvlačenja odnosno evakuacije ne uspijevaju obzirom da se radi o kompliciranom priklještenju. Očekujući vozilo hitne pomoći i pružajući mu prvu pomoć izvješćuje se vatrogasac o incidentu. Dežurni vatrogasac izvješćuje svog zapovjednika o nastalom događaju.

U 12:01 sati uspješno je izvršena evakuacija zaposlenika u proizvodno – skladišnom prostoru te uposlenika koji se nalaze u administrativno uredskom prostoru terminala. Zapovjednik vatrogasne postrojbe dolazi u 12:02 sati i u najkraćem roku na mjesto događaja vrši izviđanje te uzima prioritete prema osobnoj procjeni. Prilikom same komunikacije između dežurnog vatrogasca i voditelja odjeljenja na UNP sva glasovna komunikacija je popraćena i zabilježena u PVPG IVS Maziva gdje se istog trenutka bez obzira na karakter i nepoznavanje trenutne situacije stavlja u pripremu gasni vlak. Događaj na UNP je uzбудio i PVPG IVS INA Maziva.

Početu postavku čini Zapovjednik PVPG IVS Žitnjak, vatrogasac, vatrogasac - vozač sa vozilom MAN ULF 3 sa 3000 kg praha MONEX i pumpom NH 40. Svi sustavi za hlađenje i gašenje na skladišnom dijelu su pušteni u 12:03 sati u pogon te Zapovjednik PVPG Žitnjak pokušava izvršiti sve pred radnje do dolaska dodatnih snaga sa lokacija INA Maziva.

Uređaj za gašenje prahom na vatrogasnom vozilu je aktiviran te spreman za gašenje. Kako je požar zahvatio i kabinu motornog vozila, obzirom na poveću količinu gorivih tvari koja je izložena visokoj temperaturi u neposrednoj blizini nekontroliranog izlaska plina, radi navedenog zapovjednik nije dao zapovijed gašenje prahom autocisterne već se odlučuje za gašenje kabine autocisterne UNP-a sa teškom pjenom. Izlaženje plina kontrolirati na način da ga ne ugasi te time izbjegne eksplozivnu koncentraciju koja kasnije može biti pogubna za sve učesnike gašenja. Hlađenje cisterne vrši se vodom i gašenje kabine vozila pjeno. Vizualno se i dalje prati veličinu difuznog djela plamena na spremniku.

U 12:07 sati na mjesto događaja dolazi gasni vlak PVPG IVS Maziva Zagreb i to kemijsko vozilo sljedećih karakteristika: pjeno - 3000l, voda -1500l, prah -3000kg, CO<sub>2</sub> - 60kg i kemijsko vozilo karakteristika: pjeno -2000l, voda -3000l, prah - 2000kg, vatrogasna autocisterna sa 23000 litara vode i tehničko vozilo sa opremom za spašavanje hidraulični alati i dr. Po pozivu u isto vrijeme na mjesto događaja dolazi sanitetsko vozilo hitne medicinske pomoći za pružanje pomoći unesrećenoj osobi koja se nalazi prikliještena ispod viličara.

Združena kombinirana akcija gašenje, hlađenja, obaranja plinske faze do okončanja događaja te paralelno sa navedenom akcijom spašavanje unesrećene osobe počinje u 12:08 sati. Kapaciteti pumpi vode ne zadovoljavaju potrebu napajanja

vatrogasnih vozila i svako vozilo po prisprijeću na mjesto događaja uspostavlja dobavu vode iz instalirane hidrantske mreže skladišta te vatrogasne cisterne koja je većeg kapaciteta rezervoara.

Unesrećena osoba je uspješno evakuirana u 12:11 sati te prebačena vozilom HMP u Klinički bolnički centar Zagreb na daljnju obradu. Nakon završetka akcija spašavanja unesrećene osobe u 12:14 sati stekli su se uvjeti za prekidanje kontroliranog gorenja. Zapovjednik priprema grupu vatrogasaca za tehnički dio zaustavljanja istjecanja ukapljenog naftnog plina. Nakon njihove potvrde da su spremni zapovjednik daje zapovijed za gašenje požara na mjestu proboja plašta na spremniku auto - cisterne. U 12:15 sati je ugašen požar na mjestu proboja plašta cisterne UNP-a ali nije zaustavljeno i istjecanje te pripremna grupa vatrogasaca kreće u akciju zaustavljanja istjecanja UNP-a iz cisterne uz pomoću zračnih jastuka za podizanje tereta koji će se učvrstiti uz pomoću traka i zatezača. Sa komprimiranim zrakom napunili su učvršćeni zračni jastuk te time pritisnuti mjesto proboja i zaustaviti nekontrolirano izlaženje plina iz spremnika.

Tijekom cijele akcije zaustavljanja istjecanje plina iz cisterne UNP-a osiguranje daju navalne grupe vatrogasaca koje su sudjelovale u gašenju i hlađenju u prvom dijelu. Cisterna je stavljena pod kontrolu u 12:20 sati te nema više nekontroliranog istjecanja iz oštećenog dijela. Izvlačenje preostalog plina iz oštećene cisterne počinje u 12:21 sati preko kompresorske jedinice i prepumpavanja u drugu cisternu.

Incidentna situacija gašenja, spašavanja, i zbrinjavanja preostalog plina iz auto - cisterne ukapljenog naftnog plina završena je u 12:30 sati.

Sudionici koji su sudjelovali u incidentnoj situaciji su Vatrogasna postrojba IVS Žitnjak, Profesionalna vatrogasna postrojba u gospodarstvu Ina Maziva, Održivi razvoj ZZSO Logistike, Hitna medicinska pomoć. Tehnika i oprema koja je korištena u ovom incidentu su: kemijsko vozilo, tehničko vozilo, auto- cisterna, stabilni sustavi za hlađenje vodom, odjela za prilaz vatri, izolacijski aparati, tlačne cijevi "B" i "C", razdjelnica "B"/"C"/"B", hidrantska mreža.

Sredstva komunikacije koja se koriste su telefoni, ručni javljači požara i mobilne radio stanice - vatrogasne frekvencije.

## **7. PREDNOSTI I NEDOSTACI GAŠENJA SPREMNIKA UNP-a I NAFTNIH DERIVATA**

Prilikom gašenja požara spremnika s naftnim derivatima potrebno je pridržavati se specifičnog pristupa gašenja požara, stoga je teško pričati o dobrim lošim stranama gašenja požara. Svaki požar sa sobom nosi određeni rizik te rizici i opasnosti postoje i kod malih i velikih požara na otvorenom i zatvorenom prostoru. Požari u industriji sa sobom nose velike rizike, a ponekad i ekološke katastrofe. Kako bi se što više smanjili ovi rizici i opasnosti gašenju ovakvih požara pristupaju posebno obučena vatrogasna odjeljenja. Vrlo je važno od samog početka taktički pravilno pristupiti novonastaloj opasnoj situaciji.

Prvo je važno dobro poznavati sva svojstva plinova i tekućina koja se nalazi u određenom spremniku. Odrediti točan smjer vjetra i vršiti gašenje u smjeru vjetra. Pravilno odabrati sredstva za gašenje – voda, prah, pjenila pri čemu je upravo ova stavka od presudne važnosti jer o njoj ovisi uspješnost gašenja požara. Također je važno napomenuti kako akcija gašenja spremnika nikad ne počinje ukoliko nije prisutna potrebna količina sredstva za gašenje.

Prednost kod svih hlađenja spremnika ima voda koja putem stabilnog sustava za hlađenje hladi stjenke spremnika i na taj način smanjuje temperaturu te smanjuje razaranje glavnog sredstava za gašenje.

Razvoj automatskih sustava omogućio je što ranije otkrivanje požara i početak akcije gašenja. Veliku prednost u gašenju spremnika imaju stabilni sustavi za gašenje požara te su omogućili gašenje požara na mjestima gdje nije bilo moguće gašenje drugim pristupom, primjerice gašenje unutrašnjosti zatvorenih spremnika i drugo te je optimiziran utrošak sredstava za gašenje. Korištenjem manje količine sredstava za gašenje smanjen je ekološki i ekonomski pritisak na subjekt koji koristi takav sustav uz istu razinu učinkovitosti. Korištenjem takvih sustava povećava se sigurnost šticeđenih objekata, smanjuje izloženost vatrogasaca opasnostima, smanjuje opasnost za zdravlje i život ljudi koji rade na takvim objektima te su niži troškovi osiguranja.

Objekti na kojima je moguće brzo širenje požara štite se Drencher sustavima jer su u mogućnosti u brzom vremenu nanijeti velike količine sredstva za gašenje. Većinom je sredstvo za gašenje voda, ali može biti i pjena. Sustavi osim za gašenje požara služe i za zaštitu, odvajanje sektora, hlađenje spremnika, sektora i dr. Prepoznatljivost sustava se očituje po otvorenim mlaznicama i razlika u odnosu na sprinkler sustav je da nema na mlaznici termoelementa. Veliki spremnici koji se štite stabilnim drencher sustavima zahtijevaju velike sustave koji trebaju velike količine vode. Izvori vode mogu biti hidrantska mreža, spremnici vode, rijeke, jezera. Radni tlak i protok vode je potrebno osigurati sukladno hidrodinamičkom proračunu za pojedini sustav. Mlaznice drencher sustava proizvode raspršeni mlaz pa je potrebno osigurati da u vodi za napajanje sustava nema nečistoća kako ne bi došlo do začepjenja stabilnog sustava za gašenje s raspršenom vodom.

Nedostaci kod ovakvih akcidentnih situacija mogu se pojaviti na različitim mjestima od stabilnog sustava za gašenje ako nije sustav redovito servisiran i pregledavan može doći do puknuća cijevi ili mlaznica i sustav ne može obavljati svoju zadaću koja je predviđena te mogućnosti eksplozije spremnika. Veliki nedostatak može biti i nedostatak gasitelja i odgovarajućih vatrogasnih vozila te sredstva za gašenje i sustav za gašenje ne može postići željene rezultate gašenja. Najveći problem kod takovih akcidentnih situacija mogu biti i vremenski uvjeti - jak vjetar promjenjivog smjera koji također onemogućavaju gasiteljima da kvalitetno odrade svoj posao.



## 8. ZAKLJUČAK

Ovim radom prikazuje se realna slika incidentne situacije kod prijevoza ukapljenog naftnog plina i procesa u kojem se stvaraju opasne tvari. Cilj je prikazati primjenu operativnih vatrogasnih snaga obzirom da je za izradu ovog rada i stvarno primijenjeno sve navedeno u dijelu operativno – tehničkih pravila vatrogasne struke, tijekom provjere primjene u radu predviđenog incidenta. Vrlo je bitno istaknuti pravovremeno djelovanje nadležne vatrogasne postrojbe u ovakvim incidentnim situacijama kao jedan od vrlo bitnih čimbenika u lancu sigurnosti zaštite od požara i eksplozija.

UNP terminal Zagreb Žitnjak sadrži velike količine zapaljivih plinova što predstavlja i veliki rizik od požara i eksplozija u samom procesu. Kako bi se osigurala zaštita i sigurnost terminala izuzetno je važno pravovremeno i kvalitetno educirati sve zaposlenike terminala. Stabilni sustavi za hlađenje, sustav vatrodoyave i plinodoyave od velike su važnosti za otkrivanje požara u ranim fazama i brzo gašenje početnih požara pa je jako bitno da su redovito servisirani kako bi mogli obaviti svoju svrhu.

Pored poznavanja opreme, njenih karakteristika, mjesta primjene potrebno je naglasiti i važnost pravilne identifikacije plina kako bi se unesrećenoj osobi što bolje pružila neodgodiva prva pomoć. Konstantnom edukacijom i osmišljavanjem raznovrsnih vježbovnih scenarija značajno se sužava prostor za pogreške i povećava se sigurnost za sve prisutne u tijeku moguće intervencije.

Unutar INA grupe nisu zabilježeni požari plinova velikih razmjera pa se i time potvrđuje da se provode kvalitetne mjere preventivne zaštite od požara i ulažu se značajna sredstva u operativno djelovanje.

Veoma je važno stalno istraživati nove taktičke pristupe kod vatrogasnih intervencija, primjenu sredstava za gašenje, sam razvoj vatrogasne tehnike koja se danas vrlo brzo razvija i usavršava te razmjenu iskustava kao temelj za uvježbavanje novih taktičkih pristupa i sve to sa ciljem kako bi bili što bolji i uspješniji u zaštiti života, zdravlja i sigurnosti.

## 9. LITERATURA:

- [1] Damir Knežević, „Intervencije u nesrećama pri prijevozu opasnih tvari“, Ministarstvo unutarnjih poslova, 2004
- [2] Szabo N., Vatrogasna taktika, Iproz, Zagreb 2021 godina
- [3 ] Muštović, Faruk, Propan – Butan drugo dopunjeno i izmijenjeno izdanje Sarajevo, 2016,
- [4] Ukapljeni naftni plin UNP - <https://webgradnja.hr/clanci/ukapljeni-naftni-plin-unp-i-njegove-karakteristike/217> pristupljeno 25.02.2023.
- [5] Molekule propana i butana <http://www.elpigaz.com/pl/index> pristupljeno 15.03.2023
- [6] Ivančić Z., Kirin S Izvori požarne opasnosti, Veleučilište u Karlovcu 2010, ISBN:97895373443-32-3,23,98
- [7] Labudović, B.: Ukapljeni naftni plin – osnovne primjene, Energetika marketing Zagreb, 2000
- [8 ] Vlastiti izvor
- [9] Tanker sa kuglastim spremnikom za prijevoz plina - <https://lidermedia.hr/biznis-i-politika/zasto-brodovi-s-Ing-om-cekaju-pred-obalama-europe-145897> pristupljeno 19.03.2023.
- [10] Plinski cjevovod <https://www.biznisinfo.ba/bih-bi-mogla-dobijati-plin-iz-izraela/> pristupljeno 14.03.2023
- [11] Pregled zona opasnosti - <https://www.heatingandprocess.com/product/hazardous-area-zones/> pristupljeno 15.03.2023.
- [12] Vladimir Karlović, „Procesi gorenja i gašenja“, Hrvatska vatrogasna zajednica, 2010.

- [13] Bleve <https://www.marineinsight.com/tech/what-is-boiling-liquid-expanding-vapour-explosion-bleve-on-gas-carrier-ships/> pristupljeno 18.03.2023.
- [14] Prikaz spremnika sa ukapljenim plinom do trenutka nastanka BLEVE eksplozije - <https://monde.ccdmd.gc.ca/ressource/?id=127072&demande=desc> pristupljeno 20.03.2023.
- [15] Povezanosti tlaka i čvrstoće spremnika - <https://unece.org/DAM/trans/doc/2018/dgwp15ac1/ECE-TRANS-WP15-AC1-18-BE-inf23e.pdf> pristupljeno 18.03.2023
- [16] Veličini vatrene kugle i njezinog trajanja - <https://www.ukfrs.com/guidance/search/boiling-liquid-expanding-vapour-explosion-bleve> pristupljeno 18.03.2023.
- [17] Sigurnosno tehnički list - [https://www.ina.hr/app/uploads/2020/01/Ukapljeni\\_naftni\\_plin\\_propan\\_butan\\_smjesa\\_izdanje\\_9.pdf](https://www.ina.hr/app/uploads/2020/01/Ukapljeni_naftni_plin_propan_butan_smjesa_izdanje_9.pdf) pristupljeno 05.04.2023.
- [18] Podzemno skladište plina Okoli - <https://www.ing-grad.hr/hr/sto-radimo/energetika-i-infrastruktura/energetika/poslovni-objekt-podzemno-skladiste-plina-okoli> pristupljeno 19.03.2023.
- [19] Procjena ugroženosti od požara i tehnoloških eksplozija UNP Terminal Zagreb., Zagreb 2022.
- [20] Plan evakuacije za lokaciju UNP Zagreb - Procjena ugroženosti od požara i tehnoloških eksplozija UNP Terminal Zagreb., Zagreb 2022

## **10. PRILOZI**

### **10.1. Popis slika**

Slika 1. Odnos porasta temperature s vremenom uspoređujući zapaljive tvari

slika 2. Molekule propana i butana

slika 3. Auto-cisterna šleperi

Slika 4. Kamionske auto-cisterne

Slika 5. Tanker sa kuglastim spremnikom za prijevoz plina

Slika 6. Cjevovod za plin

Slika 7. Plinske boce

Slika 8. Pregled zona opasnosti

Slika 9. Prikaz spremnika sa ukapljenim plinom do trenutka nastanka Bleve eksplozije

Slika 10. Povezanosti tlaka i čvrstoće spremnika

Slika 11. Horizontalni cilindrični spremnik

Slika 12. Kuglasti spremnik

Slika 13. Podzemni spremnici za UNP

Slika 14. Podzemno skladište plina Okoli

Slika 15. Plan evakuacije za lokaciju UNP Zagreb - Procjena ugroženosti od požara i tehnoloških eksplozija UNP Terminal Zagreb., Zagreb 2022

### **10.2. Popis tablica**

Tablica 1. Osnovne karakteristike propana i butana

Tablica 2. Veličini vatrene kugle i njezinog trajanja