

ANALIZA NESREĆE U TVORNICI ETILENA I PROPILENA

Filjak, Filip

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:362773>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



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

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Filip Filjak

ANALIZA NESREĆE U TVORNICI ETILENA I PROPILENA

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

Filip Filjak

**ACCIDENT ANALYSIS IN THE
ETHYLENE AND PROPYLENE
FACTORY**

Final paper

Karlovac, 2022.

Veleučilište u Karlovcu

Odjel sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Filip Filjak

ANALIZA NESREĆE U TVORNICI ETILENA I PROPILENA

ZAVRŠNI RAD

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

Karlovac, 2022.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Specijalistički studij: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, rujan 2021.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Filip Filjak

Matični broj: 0248039415

Naslov: Analiza nesreće u tvornici etilena i propilena

Opis zadatka:

U ovom završnom radu bit će prikazane opasnosti koje mogu nastati prilikom proizvodnje etilena i propilena, kao i načini sprječavanja istih, s naglaskom na rekonstrukciju neželjenih događaja ovakvog tipa. Bit će opisani ključni procesi u proizvodnji, detaljan opis događaja, analiza upravljanja sigurnosnim procesima, analiza nastalih propusta te strategija za poboljšanje kulture sigurnosti i zaštite u kontekstu nastalih događaja.

Zadatak zadan:
15.09.2021.

Rok predaje rada:
01.07.2022.

Predviđeni datum obrane:
11.07.2022.

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

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:
Dr. sc. Zvonimir Matusinović, v. pred.

PREDGOVOR

Hvala svim djelatnicima Veleučilišta u Karlovcu na znanju i iskustvu koje su podijelili sa mnom tijekom studiranja. Zahvaljujem mentorici, Lidiji Jakšić, mag. ing. cheming., pred., na vremenu, strpljenju i znanju koje je nesebično podijelila sa mnom prilikom izrade ovoga rada.

Majci Ljiljani, ocu Božidaru i bratu Vedranu, koji uvijek vjeruju u mene i moj uspjeh – hvala, za bezuvjetnu ljubav, podršku i razumijevanje. Posebno zahvaljujem zaručnici Mariji koja je moja najveća motivacija, najbolji prijatelj i *Darth Vader*.

SAŽETAK

U ovom završnom radu prikazane su opasnosti koje mogu nastati prilikom proizvodnje etilena i propilena, kao i načini sprječavanja istih, s naglaskom na rekonstrukciju eksplozije i požara u tvornicama etilena i propilena. Radom su obuhvaćeni procesi proizvodnje etilena i propilena važni u petrokemijskoj industriji, opis infrastrukture proizvodnog postrojenja te primjeri akcidenata uslijed kojih dolazi do požara i eksplozije. U radu je napravljena analiza upravljanja sigurnosnim procesima, ključnih propusta te su navedene strategije za poboljšanje kulture sigurnosti i zaštite. Eksplozija i požar u proizvodnji etilena i propilena primjeri su opasnosti koje nastaju zbog propusta u sigurnosnim procesima prilikom uvođenja tehnoloških promjena, nedostataka u programu analize opasnosti samih procesa te postupaka za izvođenje operativnih aktivnosti. Ovim radom istaknuta je važnost korištenja hijerarhije kontrole pri procjeni i odabiru zaštitnih mjera za kontrolu opasnosti procesa, uspostavljanja kulture sigurnosti organizacijskih procesa, razvoja robusnih programa upravljanja sigurnosnim procesima te osiguravanje stalnog unaprjeđivanja procesa sigurnosti i zaštite na radu.

Ključne riječi: etilen, propilen, petrokemijska industrija, sigurnosni procesi, zaštita na radu

SUMMARY

This final paper presents the dangers that may arise during the production of ethylene and propylene, as well as ways to prevent potential risks. The emphasis of this paper is the reconstruction of explosions and fires in ethylene and propylene factories. The paper covers the processes of ethylene and propylene production important in the petrochemical industry, a description of the infrastructure of the production plant and examples of accidents that lead to fires and explosions. The paper included an analysis of the management of security processes, key failures and the stated strategy for improving the culture of security and protection. Explosions and fires in the production of ethylene and propylene are examples of hazards arising from failures in safety processes when introducing technological changes, shortcomings in the hazard analysis program of the processes themselves and procedures for performing operational activities. This paper shows the importance of hierarchy of control in assessing and selecting protective measures to control process hazards, a culture of organizational process safety, robust safety process management programs and continuous improvement of safety and health at work.

Key words: ethylene, propylene, petrochemical industry, safety processes, occupational safety

SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG 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.....	2
2. PROIZVODNJA ETILENA I PROPILENA.....	3
2.1. Etilen i propilen.....	3
2.2. Proces proizvodnje etilena i propilena.....	4
2.3. Sigurnosna svojstva etilena i propilena.....	6
2.3.1. Sigurnosno-tehnički list etilena i propilena.....	6
2.4. Potencijalne opasnosti.....	11
2.4.1. Eksplozijski brza ekspanzija para vrijuće kapljevine (BLEVE).....	12
3. PRIMJERI SLUČAJA POŽARA I EKSPLOZIJA PRI PROIZVODNJI ETILENA I PROPILENA.....	13
3.1. Slučaj tvornice Williams Geismar Olefins.....	13
3.1.1. Opis procesa proizvodnje u tvornici Williams Geismar Olefins.....	13
3.1.1.1. Proces frakcioniranja propilena.....	15
3.1.2. Vremenski slijed događaja koji su prethodili nesreći.....	17
3.1.3. Opis incidenta.....	20
3.1.4. Tehnička analiza.....	23
3.1.5. Kvar izmjenjivača topline.....	23
3.1.6. Termička ekspanzija tekućeg propana.....	25
3.1.7. Eksplozija ekspandirajuće pare i kipuće tekućine.....	26

3.1.2. Propusti tvrtke Williams Geismar Olefins	27
3.1.2.1. Instalacija ventila na izmjenjivače topline	27
3.1.2.2. Sigurnosni postupak instalacije.....	28
3.1.2.3. 2001 PHA	29
3.1.2.4. 2006 PHA	30
3.1.2.5. 2011 PHA	33
3.1.2.6. Nedostaci u analizi opasnosti i operativnoj proceduri	34
3.1.2.7. Inženjerska analiza sigurnosnih ventila	34
3.1.2.8. Hijerarhija kontrole sustava u tvrtki Williams Geismar Olefins ...	36
3.1.3. Poboľšanja sustava nakon incidenta u poduzeću Williams.....	36
3.1.3.1. Novi dizajn grijača.....	37
3.1.3.2. Upravljanje procesima	38
3.1.3.3. Oprema.....	40
3.1.3.4. Sustavna podrška	41
3.1.3.5. Procjena upravljanja sigurnosnim procesima	41
3.2. Slučaj Petrokemije Omišalj	42
3.2.1. Postupanje za vrijeme incidenta u petrokemiji Omišalj	43
3.2.2. Preporuke novih mjera na temelju iskustva iz nesreće u petrokemiji Omišalj	44
4. ANALIZA PROCESA UPRAVLJANJA SIGURNOŠĆU I ZAŠTITOM NA RADU	45
4.1. Hijerarhija kontrole sustava.....	46
4.2. Standardi industrije	46
4.2.1. Američki institut za naftu	47
4.2.2. Američko društvo inženjera strojarstva	48
4.2.3. Nacionalni odbor inspektora kotlova i posuda pod tlakom	49

5. STRATEGIJA ZA POBOLJŠANJE KULTURE I SIGURNOSTI ZAŠTITE NA RADU	50
6. ZAKLJUČAK.....	54
7. LITERATURA.....	55
8. PRILOZI	59
8.1. Popis slika.....	59
8.2. Popis tablica	60

1. UVOD

1.1. Predmet i cilj rada

Etilen i propilen predstavnici su alkena (olefina), nezasićenih acikličkih ugljikovodika, koji čine važne sirovine za dobivanje niza kemijskih spojeva i proizvoda. U prirodi se nalaze u nafti i prirodnome plinu. Zbog prisutnosti dvostruke veze alkeni su vrlo reaktivni, lako adiraju druge elemente i spojeve, lako oksidiraju i podložni su polimerizaciji [1]. Olefinski i aromatski ugljikovodici polazne su sirovine za većinu (oko 75%) organsko-kemijskih proizvoda, pa je piroliza ugljikovodika temeljni petrokemijski proces i temeljni proces organske kemijske industrije. Svjetska proizvodnja dosegla je u 2006. više od 109 milijuna tona. Danas se proizvodnja etilena i dalje razvija. Do 2010. godine proizvodnjom se bavilo oko 117 tvrtki u 55 zemalja. Širenje tržišta polimernih materijala rezultira povećanjem proizvodnih kapaciteta. Više od polovice svjetske proizvodnje etilena koristi se za proizvodnju polietilena različitih tipova [2]. Ovaj polimerni materijal je najčešće korištena plastika na svijetu. Linearni alfa-olefini dobiveni oligomerizacijom koriste se kao prekursori, deterdženti, plastifikatori, sintetski lubrikanti, aditivi i kao komonomeri u proizvodnji polietilena. Drugi važan smjer korištenja etilena je njegova oksidacija kako bi se proizveo etilen oksid, koji je glavna sirovina u proizvodnji površinski aktivnih tvari i deterdženata. Etilen oksid prolazi kroz hidrataciju, što rezultira proizvodnjom etilen glikola. Primjenjuje se i kao antifriz u automobilima [3].

Široka primjena i stalno povećanje kapaciteta tvornica za proizvodnju etilena i propilena zahtijeva poznavanje sigurnosnih mjera zaštite na radu i zaštite od požara. Sigurnosni procesi prilikom uvođenja tehnoloških promjena, program analize opasnosti procesa te postupci za izvođenje operativnih aktivnosti ključni su za rad na siguran način u svakoj proizvodnji. U ovome radu opisani su procesi proizvodnje etilena i propilena važni u petrokemijskoj industriji te infrastruktura proizvodnog postrojenja zajedno s primjerima neželjenih događaja uslijed kojih dolazi do požara i eksplozije. Cilj ovoga rada objedinjuje analizu upravljanja sigurnosnim procesima, ključne propuste uz strategije za poboljšanje kulture sigurnosti i zaštite na radu u tvornicama etilena i propilena. U radu su opisani

primjeri eksplozije i požara koji su zahvatili tvornicu etilena i propilena Williams Geismar Olefins 2013. godine i tvrtku Dina Petrokemija 2009. godine. Incident u tvornici Williams dogodio se tijekom nerutinskih operativnih aktivnosti koje su rezultirale eksplozijski brzom ekspanzijom para vruće kapljevine (BLEVE – *Boiling liquid expanding vapour explosion*) uzrokujući eksploziju popraćenu "vaternom kuglom", dok je tvrtku Dina Petrokemija zahvatio požar uslijed istjecanja i zapaljenja određene količine etilena zbog havarije visokotlačnog kompresora.

1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja

U svrhu istraživanja teme rada korišteni su različiti izvori podataka, poput stručnih knjiga, internet stranica područja sigurnosti i zaštite na radu, prava te vatrogastva. Rad istražuje, proučava i analizira sekundarne podatke iz studije slučaja [4]. Pri prezentaciji podataka korištene su znanstvene metode analize, klasifikacije, indukcije, dedukcije te deskripcije.

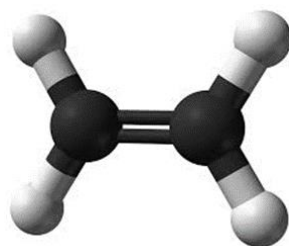
2. PROIZVODNJA ETILENA I PROPILENA

2.1. Etilen i propilen

Etilen (eten) i propilen (propen) pripadaju u skupinu alkena, koji su nezasićeni ugljikovodici. Njihove molekule sadrže parove atoma ugljika povezanih dvostrukom vezom. Opća je formula alkena s jednom dvostrukom vezom je [5]:



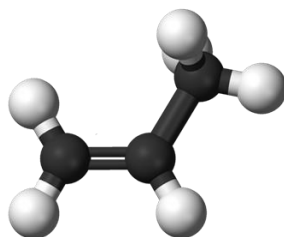
Etilen (eten) C_2H_4 je prvi član homolognoga niza alkena i najjednostavniji primjer molekule s dvostrukom vezom prikazan na slici 1. Molarna masa etilena iznosi 28,05 g/mol. Vrelište etilena je pri $-103,7\text{ }^\circ\text{C}$, a talište pri $-169,2\text{ }^\circ\text{C}$. Bezbojan je i zapaljiv plin, slatkasta i opojna mirisa, a pomiješan sa zrakom stvara eksplozivnu smjesu. U velikim količinama proizvodi se pirolizom viših ugljikovodika dobivenih preradbom nafte. Vrlo je reaktivan. Adicijom na dvostruku vezu lako veže molekule broma, vodika, sumporne kiseline i drugih spojeva, pa je zato jedna od najvažnijih sirovina u organskoj kemijskoj industriji i petrokemiji za mnoge organske sinteze (npr. za sintezu etanola, etilen-glikola, dietil-sulfata, etilamina i sl.). Polimerizacijom daje važan polimerni materijal polietilen [6].



Slika 1. Struktura etilena [7]

Propilen (propen) C_3H_6 je drugi član homolognoga niza alkena prikazan na slici 2. Molarna masa propilena iznosi 42,08 g/mol. Vrelište propilena je pri $-47,60\text{ }^\circ\text{C}$, a talište pri $-185,20\text{ }^\circ\text{C}$. Na sobnoj temperaturi propilen je u plinovitom stanju, lako zapaljiv i eksplozivan. Proizvodi se pirolizom viših ugljikovodika dobivenih

preradbom fosilnih goriva. Polimerizacijom se iz njega dobiva termoplastična masa polipropilen [8].



Slika 2. Struktura propilena [8]

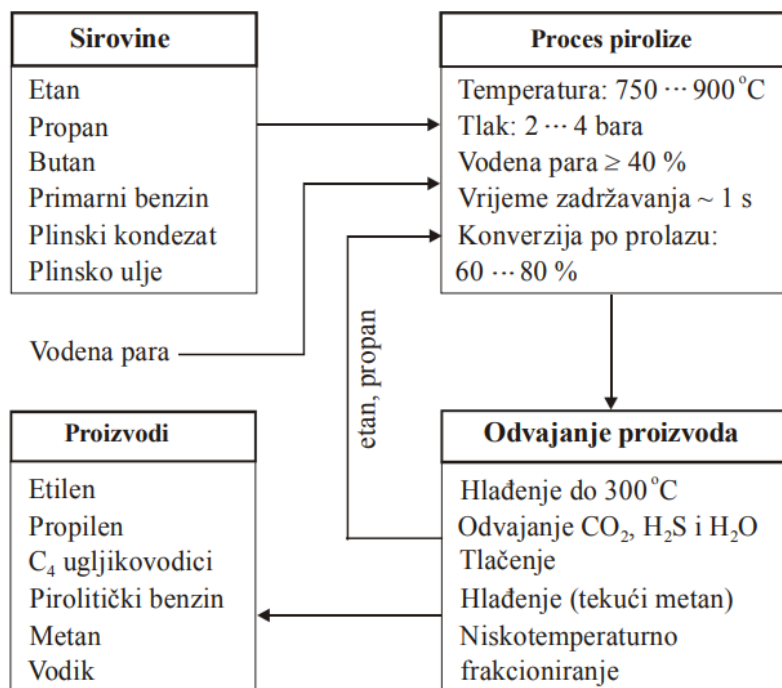
2.2. Proces proizvodnje etilena i propilena

Za dobivanje temeljnih sirovina u petrokemijskoj je proizvodnji najznačajnija piroliza ili parno krekiranje, ponajprije pretvorba benzina ili lakoga plinskog ulja u olefine (etilen, propilen, butilen, butadien). Reakcija pripada skupini procesa nekatalizirane toplinske razgradnje ugljikovodika, a zbiva u cijevnom reaktoru pri vrlo visokim temperaturama, 750-900 °C, uz približno normalan tlak i uz vodenu paru, koja smanjuje parcijalni tlak sirovine i tako povećava prinos i iscrpak, održava izotermne uvjete i sprječava nepoželjno taloženje koksa [9]. Pod tim se uvjetima pretežito zbivaju reakcije cijepanja (engl. *cracking*) jedne ili više kovalentnih veza ugljik-ugljik u molekulama ugljikovodika, mehanizmom slobodnih radikala, uz nastajanje većeg broja manjih molekula. Istodobno se zbiva i reakcija dehidrogenacije cijepanjem veze ugljik-vodik. Sporedne reakcije uključuju: izomerizaciju, ciklizaciju, polimerizaciju i niz reakcija ciklodehidrogenacije, a nastaje i koks (poliaromatski CH). Kako bi se smanjilo nastajanje sporednih produkata, sirovini se dodaje vodena para (parno krekiranje¹). Olefini, dieni i aromatski ugljikovodici, pri nižim temperaturama, imaju veliku sklonost prema reakcijama ciklizacije i nastajanju koksa koji se taloži na površinu katalizatora zaustavljajući njegovo djelovanje [2].

¹ Engl. *steam cracking*

Visoka temperatura omogućava da se reakcija provodi u kratkom vremenu, gdje je vrijeme zadržavanja u reaktoru (reakcijskoj peći), ovisno o sirovini, u rasponu od 0,1 do 10 sekundi. Time se sprječava većina sporednih reakcija, posebice nastajanje koksa. Postupkom pirolize, odnosno parnim krekanjem ugljikovodika, nastaju α -olefini kao temeljni produkti, a ukupni proizvodi jesu: etilen, propilen, buten, izobuten, butadien, vodik, metan, pirolitički benzin. Najveći prinos na etilenu dobiva se dehidrogenacijom (pirolizom) etana (oko 80 %). Najkorištenije sirovine u proizvodnji olefina su: primarni benzin, dobiven izravnom destilacijom nafte, smjesa propan-butan (ukapljeni naftni plin) i plinsko ulje. U posljednje vrijeme kao sirovina upotrebljava se i plinski kondenzat [2].

Metan i vodik se odvajaju iz procesa i obično služe kao sirovine u drugim procesima ili kao gorivo za reaktorske, pirolitičke peći. Nastali etan, propan i dio nereagiranih početnih ugljikovodika ponovno se vraćaju u proces kako je prikazano na slici 3.



Slika 3. Shematski prikaz procesa pirolize ugljikovodika uz vodenu paru [2]

2.3. Sigurnosna svojstva etilena i propilena

Sigurnosno-tehnički list (STL) općenito jedan je od načina dostavljanja informacija o kemijskim tvarima i smjesama naručiocima tih tvari. STL osigurava iscrpne podatke o tvari ili smjesi koja se koristi na radnom mjestu. Poslodavcima i radnicima daje uvid u podatke o kemijskoj opasnosti, uključujući i opasnost za okoliš, kao i mjere predostrožnosti [10]. Ako je u STL uključen scenarij izloženosti onda on daje specifične podatke za svaku pojedinu uporabu. Podaci iz STL-a omogućuju poslodavcu osmišljavanje aktivne zaštite radnika, zajedno s treninzima koji su karakteristični za svako pojedino radno mjesto, te da razmotri sve potrebne mjere za zaštitu okoliša. Sigurnosno-tehnički list sastoji se od 16 odjeljaka [11]: Identifikacija tvari/smjese i podaci o tvrtki/poduzeću, Identifikacija opasnosti, Sastav/informacije o sastojcima, Mjere prve pomoći, Mjere gašenja požara, Mjere kod slučajnog ispuštanja, Rukovanje i skladištenje, Nadzor nad izloženošću/osobna zaštita, Fizikalna i kemijska svojstva, Stabilnost i reaktivnost, Toksikološke informacije, Ekološke informacije, Zbrinjavanje, Informacije o prijevozu, Informacije o propisima i Ostale informacije.

2.3.1. Sigurnosno-tehnički list etilena i propilena

U tablici 1. i tablici 2. prikazani su primjeri sigurnosno-tehničkih listova etilena i propilena koji se sastoje od 16 temeljnih odjeljaka [12, 13]. Najistaknutije informacije vezane za etilen i sigurnosne postupke te zaštitu od požara su EC indeksni broj, EC broj², CAS broj³, REACH registracijski broj⁴, identifikacija fizičke opasnosti, elementi obilježavanja poput piktograma opasnosti, oznake upozorenja, obavijesti o prevenciji opasnosti te dodatne oznake obavijesti, mjere gašenja požara, rukovanje i skladištenje. Odjeljak 2. STL-a prikazuje

² EC registarski broj (*European Commission number*), je broj od sedam znamenki kojim se označavaju kemijske tvari komercijalno dostupne u Europskoj uniji.


³ *Chemical Abstracts Service* (CAS) registarski broj je jedinstveni identifikacijski broj za kemijske elemente, spojeve, polimere, biološke slijedove, smjese i slitine. Brojeve dodjeljuje odjel Američkog kemijskog društva.

⁴ Broj koji dodjeljuje REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of CHemicals*) pema pravnom okviru Europske unije za kemikalije.

razvrstavanje tvari ili smjese u pogledu opasnosti i načine označavanja kemikalija (piktogram opasnosti, izjave o opasnosti i sigurnosni savjeti). Piktogram opasnosti slika je na oznaci koja uključuje simbol upozorenja i određenu boju radi pružanja podataka o štetnosti po zdravlje ili okoliš koja proizlazi od određene tvari ili određenog pripravka [14]. Uredba o razvrstavanju, označivanju i pakiranju (CLP⁵) uvela je nov sustav razvrstavanja i označivanja opasnih kemikalija u Europskoj uniji. Piktogrami su također izmijenjeni i u skladu su s Globalnim usklađenim sustavom Ujedinjenih naroda (GHS). Jedan je od glavnih ciljeva Uredbe CLP utvrditi pokazuje li tvar ili smjesa svojstva koja zahtijevaju njezino razvrstavanje kao opasne tvari ili smjese. "Oznaka upozorenja" (H-oznaka) je izraz koji se dodjeljuje razredu i kategoriji opasnosti kako bi se opisala vrsta opasnosti opasne tvari ili smjese te prema potrebi, stupanj opasnosti. U tom kontekstu, razvrstavanje je početna točka za priopćavanje opasnosti. "Oznaka obavijesti" (P-oznaka) je izraz kojim se opisuje preporučena mjera ili mjere za smanjenje ili sprječavanje štetnih posljedica izlaganja opasnoj tvari ili smjesi zbog njihove uporabe ili odlaganja [14]. Navedene informacije su od presudne važnosti prilikom procjene rizika za radnike i okoliš. U kontekstu zaštite od požara iznimno je važan Odjeljak 5. koji daje informacije o mjerama gašenja požara koje se primjenjuju ako tvar ili smjesa uzrokuju požar, moguće opasnosti koje prijete od kemikalija u slučaju požara (kao što su opasni proizvodi izgaranja ili opasnost od eksplozije oblaka pare) uz neprikladna sredstva za gašenje. Uporaba neprikladnih sredstava za gašenje može uzrokovati kemijske ili fizičke reakcije koje mogu dovesti do dodatnih potencijalnih opasnosti. Primjerice, određene tvari ispuštaju zapaljive ili otrovne plinove u dodiru s vodom.

⁵ Uredba o razvrstavanju, označivanju i pakiranju (CLP) ((EC) No 1272/2008) temelji se na globalno usklađenom sustavu (GHS) Ujedinjenih naroda, a njezina je svrha osigurati visoku razinu zaštite zdravlja i okoliša, kao i slobodno kretanje tvari, smjesa i proizvoda.



Tablica 1. Sigunosno-tehnički list etilena [12]

Etilen (Eten)		
Odjeljak 1. Identifikacija tvari/smjese	1.1. Identifikacija tvari	EC indeksni broj: 601-010-00-3
		EC broj: 200-815-3
		CAS broj: 74-85-1
		REACH registracijski broj: 01-2119462827-27-0097
	1.2. Način korištenja	Industrijska/profesionalna upotreba
		Sirovina za kemijsku i petrokemijsku proizvodnju
Odjeljak 2. Identifikacija opasnosti	2.1. Klasifikacija tvari	H220 - Vrlo lako zapaljivi plin
		H280 - Sadrži stlačeni plin; zagrijavanje može uzrokovati eksploziju
	H336 - Može izazvati pospanost ili vrtoglavicu	
	2.2. Elementi obilježavanja	Piktogram opasnosti (CLP)
		 <p style="text-align: center;">GHS02 GHS04 GHS04</p> <p>P210 - Čuvati odvojeno od topline, vrućih površina, iskri, otvorenih plamena i ostalih izvora paljenja. Ne pušiti.</p> <p>P261 - Izbjegavati udisanje prašine/dima/plina/magle/pare/aerosola.</p> <p>P377 - Požar zbog istjecanja plina: ne gasiti ako nije moguće sa sigurnošću zaustaviti istjecanje.</p> <p>P381 - U slučaju istjecanja ukloniti sve izvore paljenja.</p> <p>P304+P340+P315 - AKO SE UDIŠE: Premjestiti osobu na svježi zrak i postaviti ju u položaj koji olakšava disanje. Hitno zatražiti savjet/pomoć liječnika.</p> <p>P410+P403 - Zaštititi od sunčevog svjetla. Ne izlagati temperaturi višoj od 50 °C/122°F.</p>
	2.3. Ostale opasnosti	Izaziva brzo gušenje. Diriketnim kontaktom mogu nastati hladne opekotine/promrzline.
Odjeljak 5. Mjere gašenja požara	5.1. Sredstva za gašenje požara	Veliki požar: Koristiti vodeni sprej ili maglu za kontrolu požarnog dima. Ne gasiti požar plina koji ističe ukoliko se istjecanje ne može zaustaviti. Mali požar: Koristiti suhi prah, ugljikov dioksid, suhi pijesak ili pjenu. Ne koristiti direktan vodeni mlaz. Izbjegavati istovremenu upotrebu pjene i vode na istoj površini.

	5.2. Posebne opasnosti	<p>Ukoliko je moguće, zaustaviti istjecanje tvari. Ukoliko se istjecanje ne može zaustaviti - ne gasiti požar, a u međuvremenu koristiti vodeni sprej za hlađenje kontejnera i okoline. Pare plina teže su od zraka i šire se zemljom, te može doći do akumulacije u zatvorenim prostorima (podrum, rezervoari). Požar se ne smije gasiti ukoliko izvor nije zatvoren, jer u suprotnom može doći do eksplozije. Ukoliko se požar ugasi, a istjecanje plina nije zaustavljeno, povećati ventilaciju kako bi se spriječilo nagomilavanje eksplozivne atmosfere. Ventilatori moraju biti otporni na eksploziju. Izolirati oštećeni materijal ili područje gdje dolazi do istjecanja, najmanje 100 metara u svim smjerovima. Cilindri ili druge posude za čuvanje proizvoda, pri požarnim uvjetima, mogu eksplodirati – stoga je potrebno koristiti vodeni sprej za hlađenje neotvorenih kontejnera. Spriječiti istjecanje u kanalizaciju ili vodene tokove – može izazvati opasnost od eksplozije u kanalizaciji i ponovno paljenje. Kao produkt gorenja nastaju: ugljikov monoksid, ugljikov dioksid i nesagorjeli ugljikovodici (dim).</p> <p>Posebna zaštitna oprema za vatrogasce: atestirani dišni aparat, pored standardne zaštitne opreme.</p>
	5.3. Savjet za vatrogasce	<p>Izbjegavati udisanje pare. Osigurati adekvatnu ventilaciju i izolirati izvor paljenja ukoliko se to može bez rizika. Nositi osobnu zaštitnu opremu, uključujući dišni aparat, osim ako se ne dokaže da je atmosfera sigurna. Odmah evakuirati ljudstvo iz ugrožene zone. Spriječiti istjecanje – provjetravati zonu i omogućiti da ispari. Izbjegavati direktan kontakt sa oslobođenim materijalom. Stajati uz vjetar.</p>

Tablica 2. Sigurnosno-tehnički list propilena [13]

Propilen (Propen)		
Odjeljak 1. Identifikacija tvari/smjese	1.1. Identifikacija tvari	EC indeksni broj: 601-011-00-9
		EC broj: 204-062-1
		CAS broj: 115-07-1
		REACH registracijski broj: 01-2119447103-50-0094
	1.2. Način korištenja	Industrijska/profesionalna upotreba
		Sirovina za kemijsku i petrokemijsku proizvodnju

Odjeljak 2. Identifikacija opasnosti	2.1. Klasifikacija tvari	H220 - Vrlo lako zapaljivi plin H280 - Sadrži stlačeni plin; zagrijavanje može uzrokovati eksploziju
	2.2. Elementi obilježavanja	Piktogram opasnosti (CLP) <div style="text-align: center;">  GHS02  GHS04 </div> P210 - Čuvati odvojeno od topline, vrućih površina, iskri, otvorenih plamena i ostalih izvora paljenja. Ne pušiti. P377 - Požar zbog istjecanja plina: ne gasiti ako nije moguće sa sigurnošću zaustaviti istjecanje. P381 - U slučaju istjecanja ukloniti sve izvore paljenja. P410+P403 - Zaštititi od sunčevog svjetla. Ne izlagati temperaturi višoj od 50 °C/122°F.
	2.3. Ostale opasnosti	Izaziva brzo gušenje. Direktnim kontaktom mogu nastati hladne opekotine/promrzline.
Odjeljak 5. Mjere gašenja požara	5.1. Sredstva za gašenje požara	Veliki požar: Koristiti vodeni sprej ili maglu za kontrolu požarnog dima. Ne gasiti požar plina koji ističe ukoliko se istjecanje ne može zaustaviti. Mali požar: Koristiti suhi prah, ugljikov dioksid, suhi pijesak ili pjenu. Ne koristiti direktan vodeni mlaz. Izbjegavati istovremenu upotrebu pjene i vode na istoj površini.
	5.2. Posebne opasnosti	Ukoliko je moguće, zaustaviti istjecanje tvari. Ukoliko se istjecanje ne može zaustaviti - ne gasiti požar, a u međuvremenu koristiti vodeni sprej za hlađenje kontejnera i okoline. Pare plina teže su od zraka i šire se zemljom, te može doći do akumulacije u zatvorenim prostorima (podrum, rezervoari). Požar se ne smije gasiti ukoliko izvor nije zatvoren, jer u suprotnom može doći do eksplozije. Ukoliko se požar ugasi, a istjecanje plina nije zaustavljeno, povećati ventilaciju kako bi se spriječilo nagomilavanje eksplozivne atmosfere. Ventilatori moraju biti otporni na eksploziju. Izolirati oštećeni materijal ili područje gdje dolazi do istjecanja, najmanje 100 metara u svim smjerovima. Cilindri ili druge posude za čuvanje proizvoda, pri požarnim uvjetima, mogu eksplodirati – stoga je potrebno koristiti vodeni sprej za hlađenje neotvorenih kontejnera. Spriječiti istjecanje u

		<p>kanalizaciju ili vodene tokove – može izazvati opasnost od eksplozije u kanalizaciji i ponovno paljenje. Kao produkt gorenja nastaju: ugljikov monoksid, ugljikov dioksid i nesagorjeli ugljikovodici (dim).</p> <p>Posebna zaštitna oprema za vatrogasce: atestirani dišni aparat, pored standardne zaštitne opreme.</p>
	5.3. Savjet za vatrogasce	<p>Izbjegavati udisanje pare. Osigurati adekvatnu ventilaciju i izolirati izvor paljenja ukoliko se to može bez rizika. Nositi osobnu zaštitnu opremu, uključujući dišni aparat, osim ako se ne dokaže da je atmosfera sigurna. Odmah evakuirati ljudstvo iz ugrožene zone. Spriječiti istjecanje – provjetravati zonu i omogućiti da ispari. Izbjegavati direktan kontakt sa oslobođenim materijalom. Stajati uz vjetar.</p>

2.4. Potencijalne opasnosti

Potencijalne opasnosti uslijed korištenja etilena i propilena nastaju zbog najvažnijeg svojstva - zapaljivosti. Osim opasnosti od eksplozije i požara, etilen i propilen opasni su za zdravlje radnika i u plinovitom obliku [15]. Etilen nastaje emisijom iz dimnjaka, baklji i curenja u spojevima cijevi. U profesionalnim okruženjima ACGIH⁶ uspostavlja 8-satnu graničnu vrijednost od 200 ppm⁷. Granična vrijednost odnosi se na koncentracije kemijskih tvari u zraku i predstavlja uvjete pod kojima svi radnici mogu biti izloženi tijekom radnog vijeka bez štetnih učinaka. Propilen može uzrokovati gušenje, a u tekućem obliku uzrokuje i ozeblina ako dođe u dodir s kožom. Granična vrijednost za propilen u zraku, prema ACGIH-u, iznosi 500 ppm za tijekom 8-satnog razdoblja. Označavanje procesnih kontejnera i obuka za rad na siguran način ključna je na svakom radnom mjestu. Dodatne sigurnosne prakse koje pomažu u zaštiti radnika od izloženosti propilenu uključuju nošenje osobne zaštitne opreme [15]:

- Rukavice i odjeća od materijala otpornog na kemikalije, npr. neopren;
- Naočale i štitnici za lice bez ventilacije, otporni na udarce;

⁶ American Conference of Governmental Industrial Hygienists

⁷ Parts per million (dijelova na milijun)

- Zračni respiratori odobreni od strane NIOSH⁸.

2.4.1. Eksplozijski brza ekspanzija para vrijuće kapljevine (BLEVE)

BLEVE, odnosno eksplozijski brza ekspanzija para vrijuće kapljevine je eksplozivno oslobađanje ekspandirajuće pare i kipuće tekućine uslijed puknuća kotla (spremnika ili posude). Ovaj pojam podrazumijeva da svojstvo tvari, samostalno ili zbog vanjskog utjecaja brzo reagira, stvarajući kemijsku reakciju, uz oslobađanje energije kroz polimerizaciju ili dekompoziciju, što može biti uzrokovano toplinom, vodom, kisikom (zrakom), fizičkim udarcem ili slično [16]. Ako je tekućina pod tlakom zapaljiva, često dolazi do pojave vatrene kugle [17], prikazane na slici 4., odnosno eksplozije parnog oblaka (oblak zapaljive smjese plina i aerosola, koji se sa zrakom miješa i zapali na otvorenoj atmosferi) [16].



Slika 4. Vatrene kugla uzrokovana eksplozijom propana (BLEVE) [17]

⁸ *National Institute for Occupational Safety and Health*

3. PRIMJERI SLUČAJA POŽARA I EKSPLOZIJA PRI PROIZVODNJI ETILENA I PROPILENA

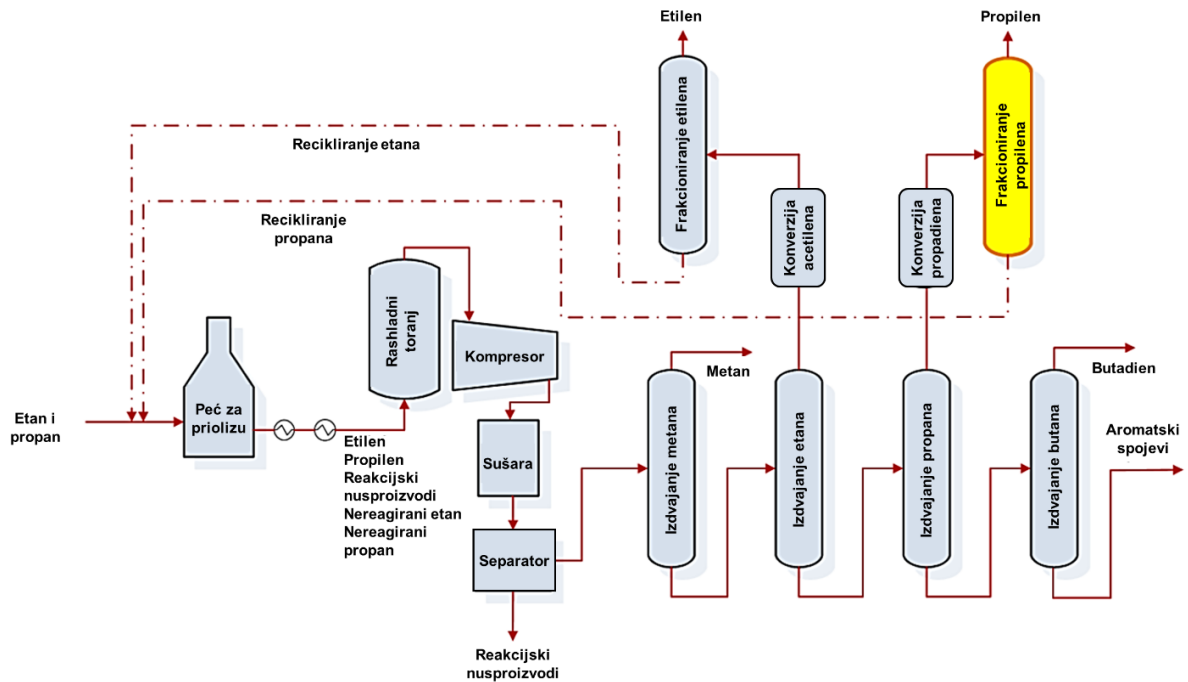
U nastavku su prikazana dva neželjena događaja u tvornicama za proizvodnju etilena i propilena, odnosno tehničke poteškoće i slijed događaja koji su doveli do nastanka požara i eksplozija.

3.1. Slučaj tvornice Williams Geismar Olefins

Williams Companies, Inc. („*Williams*“) je tvrtka za energetska infrastrukturu sa sjedištem u Tulsu, Oklahoma. Osnovana je 1908. godine, i posjeduje udjele u prerađivačkim pogonima i plinovodima za prirodni plin i tekući plin diljem Sjeverne Amerike, gdje većinu svojih operacija obavlja preko podružnica tvrtke. Jedna od takvih podružnica je i Williams Olefins LLC, koja posjeduje i upravlja tvornicom Williams Geismar Olefins. U trenutku nesreće zapošljavala je oko 110 ljudi. Glavna djelatnost tvornice temelji se na proizvodnji etilena i propilena za petrokemijsku industriju. Proizvodni kapacitet tvrtke je više od 1,35 milijardi funti etilena i 80 milijuna funti propilena godišnje. U vrijeme incidenta, oko 80 izvođača radilo je u pogonu Williams Geismar na projektu proširenja s krajnjim ciljem povećanje proizvodnje etilena na 1,95 milijardi funti godišnje [4].

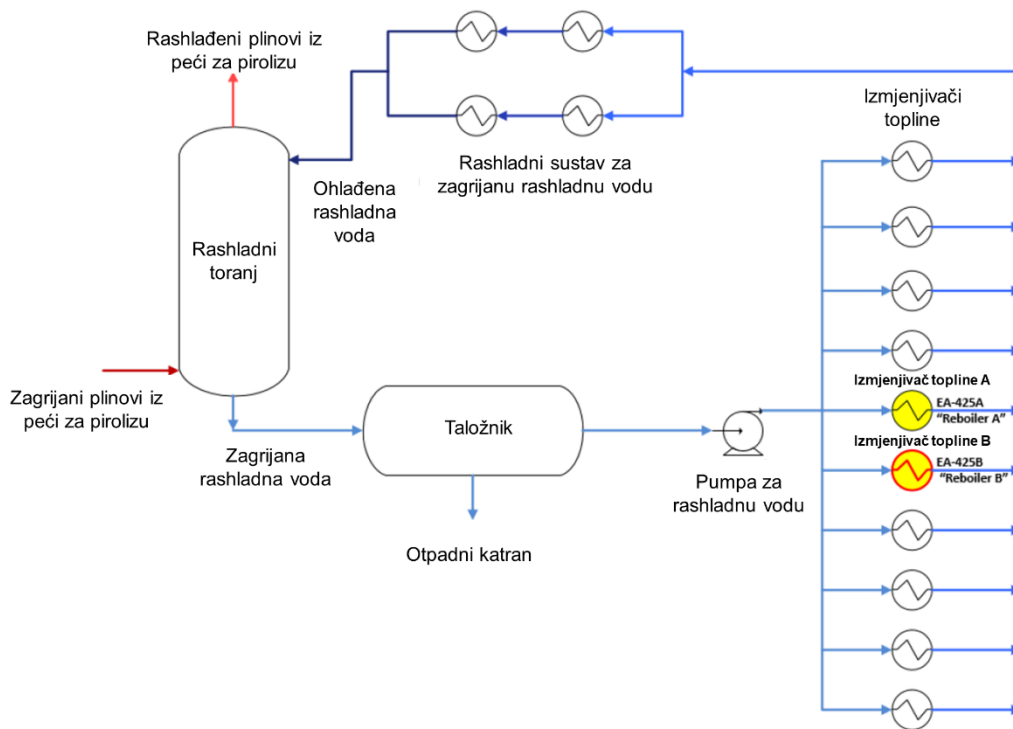
3.1.1. Opis procesa proizvodnje u tvornici Williams Geismar Olefins

Proces proizvodnje u tvornici Williams započinje unosom etana i propana u peći za pirolizu kako je prikazano na slici 5. Efluentni plinovi iz peći za pirolizu ulaze u rashladni toranj koji smanjuje temperaturu plinova. Plinovi zatim ulaze u kompresor i sušaru radi daljnjeg hlađenja. Nakon dodatne obrade u separatoru, ohlađeni plinovi odlaze u niz destilacijskih stupova, poput propilenskog frakcionatora, koji razdvaja produkte reakcije na pojedinačne komponente. Etilen, propilen, butadien, metan i aromatski spojevi skladište se i zatim prevoze te prodaju kupcima. Nereagirani etan i propan recikliraju se na početak procesa.



Slika 5. Prikaz proizvodnje etilena i propilena u tvornici Williams [4]

U procesu proizvodnje etilena i propilena te analizi slučaja važno je promotriti izravan sustav hlađenja otpadnih plinova vodom. Rashladna voda koja dolazi u izravan kontakt sa zagrijanim plinovima iz peći za pirolizu, dio je zatvorene petlje sustava za kruženje rashladne vode prikazane na slici 6. Dok se zagrijani otpadni plinovi iz peći hlade u rashladnom tornju, toplina zagrijava vodu. Zagrijana rashladna voda služi kao izvor topline u raznim izmjenjivačima topline u samom procesu proizvodnje, a daljnjim kruženjem se rashlađuje i ponovno vraća u rashladni toranj. Budući da je rashladna voda u izravnom kontaktu s procesnim plinovima, uljni katranski produkti sadržani u plinu kondenziraju se u rashladnu vodu. Većina katranskog materijala uklanja se u taložniku kako je prikazano na slici 6. S vremenom se dio ovog materijala lijepi i nakuplja na unutarnjoj strani procesne opreme (npr. cijevi izmjenjivača topline) čime je smanjena učinkovitost prijenosa topline i protok vode. U slučaju smanjenog prijenosa topline i protoka vode, operativno osoblje izvršava procjenu rashladnog sustava analizom brzine protoka kroz pumpe i izmjenjivače topline, kako bi se identificirao zahvaćeni dio opreme. Na dan incidenta, 13. lipnja 2013. godine, osoblje tvrtke Williams obavljalo je prethodno navedenu vrstu nerutinskih operativnih aktivnosti.

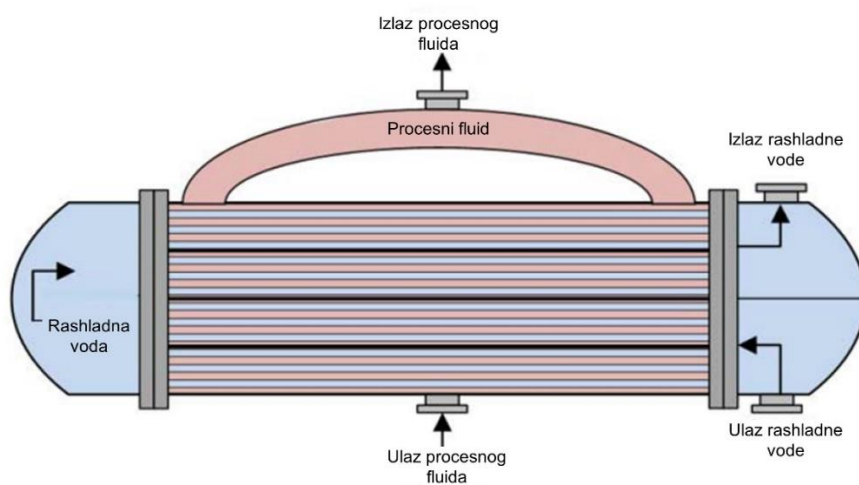


Slika 6. Zatvoreni sustav kruženja rashladne vode u procesu proizvodnje etilena i propilena [4]

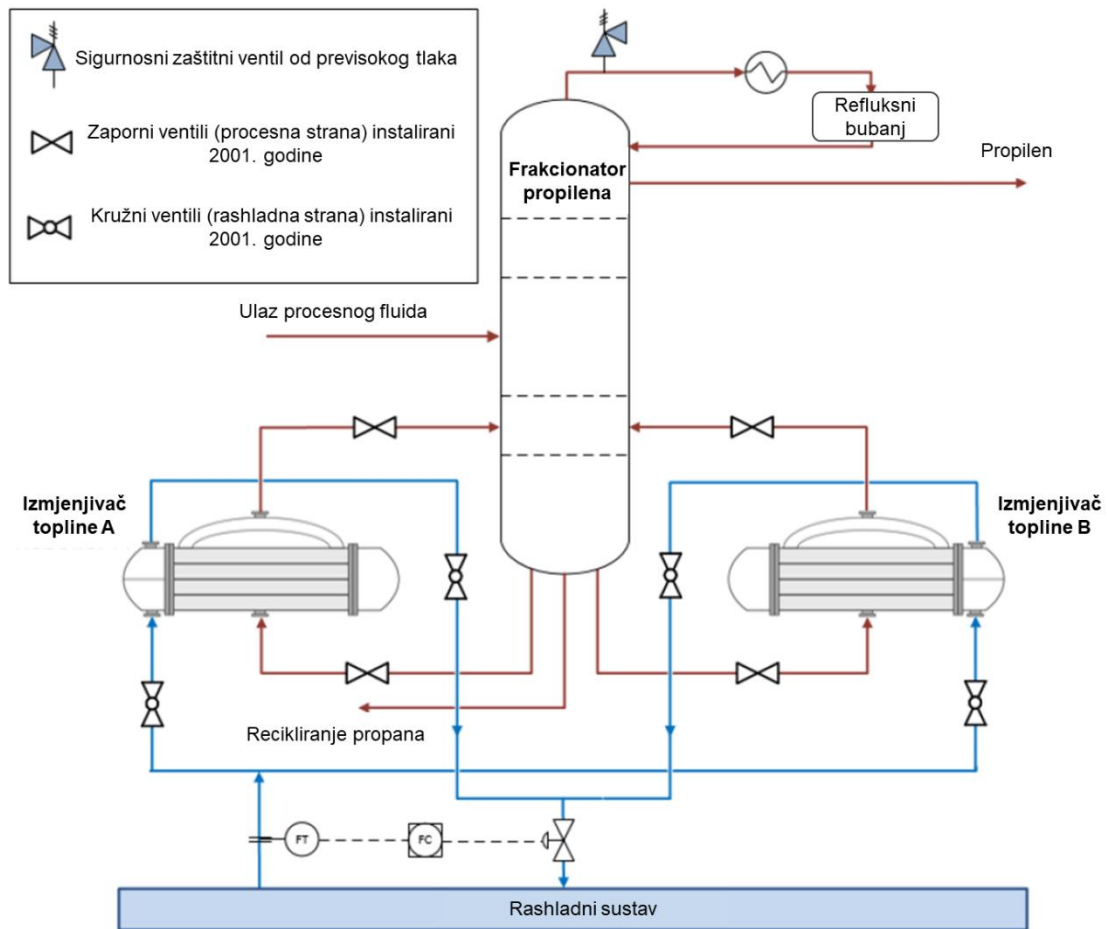
3.1.1.1. Proces frakcioniranja propilena

Izmjenjivači topline A i B za frakcioniranje propilena cijevni su izmjenjivači topline prikazani na slici 7. Vruća rashladna voda na strani cijevi isparava procesnu tekućinu ugljikovodika, koju čini približno 95% propana, a ravnoteža se uglavnom sastoji od propilena i C₄ molekula. Rashladna voda ulazi u kotlove za frakcioniranje propilena na približno 85°C i djelomično isparava propan, koji ulazi u izmjenjivač topline pri temperaturi od približno 54°C. Izvorni dizajn frakcionatora propilena imao je oba izmjenjivača topline (A i B) neprekidno u pogonu. Navedeni dizajn procesa zahtijevao je periodični zastoj propilenskog frakcionatora kada bi došlo do začepljenja cijevi, odnosno smanjenog protoka vode. 2001. godine u tvornici su instalirani ventili na cijevi izmjenjivača topline kako bi se omogućio kontinuirani rad sa samo jednim izmjenjivačem. Drugi izmjenjivač bio bi izvan mreže, ali spreman za rad. Ova konfiguracija omogućila je čišćenje začepljenog

izmjenjivača topline dok je frakcionator propilena nesmetano radio. Navedeni ventili predstavljaju dodatnu opasnost u procesu proizvodnje, jer za svaku fazu rada zahtijevaju odgovarajući položaj (otvoreni ili zatvoreni). Položaj ventila osobito je bitan zbog zaštitnog ventila od previsokog tlaka koji se nalazi na vrhu frakcionatora propilena prikazanog na slici 8.



Slika 7. Cijevni izmjenjivač topline frakcionatora propilena [4]



Slika 8. Prikaz sustava za frakcioniranje propilena [4]

3.1.2. Vremenski slijed događaja koji su prethodili nesreći

U ovom potpoglavlju prikazan je vremenski slijed događaja koji su prethodili nesreći u tvornici etilena i propilena Williams Geismar Olefins. Može se uočiti kako je kroz dulji niz godina napravljen značajan broj propusta koji su doveli do ovog događaja prikazanih u tablici 3.

Tablica 3. Vremenski slijed događaja koji su prethodili nesreći [4]

Godina	Opis aktivnosti
Siječanj 2001.	Instalacija ventila na frakcionator propilena koji omogućuje izolaciju izmjenjivača topline i sigurnosnog ventila za zaštitu od previsokog tlaka.
Veljača 2001.	Sigurnosni pregled novoinstaliranog sustava ventila nije proveden u cijelosti.
Travanj 2001.	Proveden menadžment upravljanja promjenama (MOC). Nisu identificirane moguće opasnosti, kao ni potreba za izradom protokola pravilnog rukovanja sustavom ventila.
Srpanj 2001.	Provedena analiza opasnosti. Nije identificirana opasnost od potencijalnog porasta tlaka uslijed rukovanja sustavom.
Srpanj 2006.	Provedena analiza opasnosti identificirala je potencijalni problem pri porastu tlaka. Sigurnosna preporuka temeljila se na brtvljenju zapornih ventila izmjenjivača topline.
Siječanj 2008.	Inženjerskom analizom utvrđeno je kako frakcionator propilena nema valjanu zaštitu od previsokog tlaka. Preporučene su mjere za smanjenje opasnosti od previsokog tlaka (instalacija zaštitnog ventila na izmjenjivače topline). Tvrtka Williams nije poduzela preporučene mjere.
Siječanj 2010.	<p>a) Aktivnost iz srpnja 2006. godine označena kao "provedena", iako je stavka pogrešno izvedena. Samo je zaporni ventil aktivnog izmjenjivača topline (A) bio brtvljen i otvoren. Ventil drugog izmjenjivača topline (B) ostao je zatvoren. Opasnost od previsokog tlaka ostala je na drugom (neaktivnom) izmjenjivaču topline.</p> <p>b) Menadžment upravljanja promjenama i sigurnosni procesi prilikom uvođenja tehnoloških promjena nisu provedeni. Programom analize opasnosti procesa nisu zabilježene moguće greške u sustavu.</p>

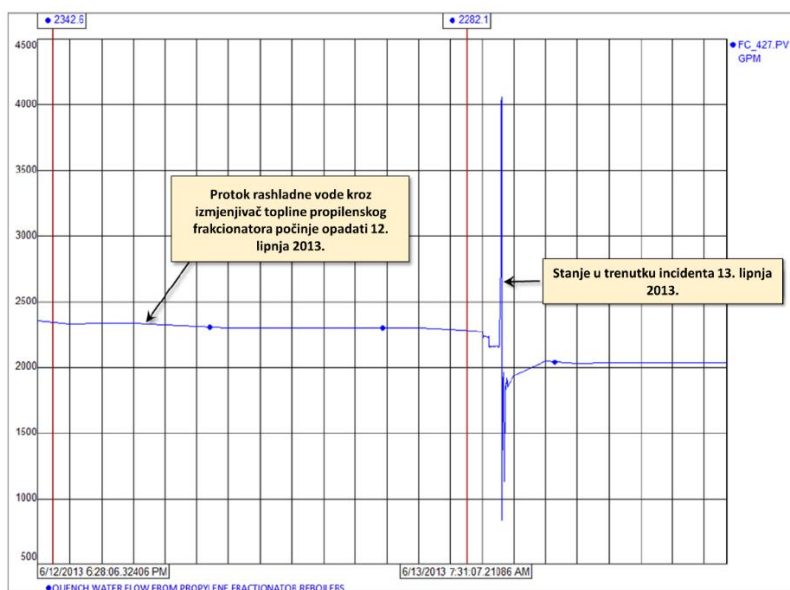
Rujan 2011.	Program analize opasnosti procesa temeljio se isključivo na prethodnoj dokumentaciji. Zabilježeno je kako su zaporni ventili na oba izmjenjivača topline brtvljena i sigurna od previsokog tlaka. Isto tako, zabilježena je i preporuka za provjeru sustava dijagrama cjevovoda i uređaja.
Svibanj 2012.	Inženjerskom evidencijom utvrđeno kako je samo aktivni izmjenjivač topline zaštićen od previsokog tlaka. Izvršena je revizija sustava dijagrama cjevovoda i uređaja. Menadžment upravljanja promjenama odobrio je tražene promjene u sustavu dijagrama cjevovoda i uređaja, koje nisu pravilno i cjelovito provedene.
Lipanj 2013.	Nerutinske aktivnosti dovele su do porasta temperature na neaktivnom izmjenjivaču topline (B) propilenskog frakcionatora koji nije imao zaštitu od previsokog tlaka. Porast tlaka uzrokovao je eksploziju i požar u kojemu su poginula dva zaposlenika te je ozlijeđeno 167 radnika.

U veljači 2001. godine sigurnosni pregled novoinstaliranog sustava ventila nije proveden u cijelosti, nakon čega u travnju iste godine menadžment upravljanja promjenama nije identificirao moguće opasnosti te izradio protokol rukovanja sustavom ventila. Nadolazeće analize opasnosti 2006. i 2008. godine istaknule su moguće opasnosti do kojih može doći uslijed porasta tlaka u sustavu te izdale sigurnosne preporuke. 2010. godine tvrtka Williams nije poduzela preporučene mjere, odnosno mjere implementacije zaštite od previsokog tlaka nisu izvedene pravilno. Menadžment upravljanja promjenama i sigurnosni procesi prilikom uvođenja tehnoloških promjena nisu provedeni 2010. godine, a program analize opasnosti procesa nije zabilježio moguće propuste u sustavu. Program analize opasnosti procesa 2011. godine izrađen je na isključivo na prethodnoj dokumentaciji, nakon čega 2012. godine slijedi inženjerska analiza kojom je utvrđena zaštita od previsokog tlaka samo na aktivnom izmjenjivaču topline. Revizija sustava dijagrama cjevovoda i uređaja zahtijevala je promjene koje nisu

pravilno i cjelovito provedene. Navedeni propusti doveli su do incidenta 2013. godine.

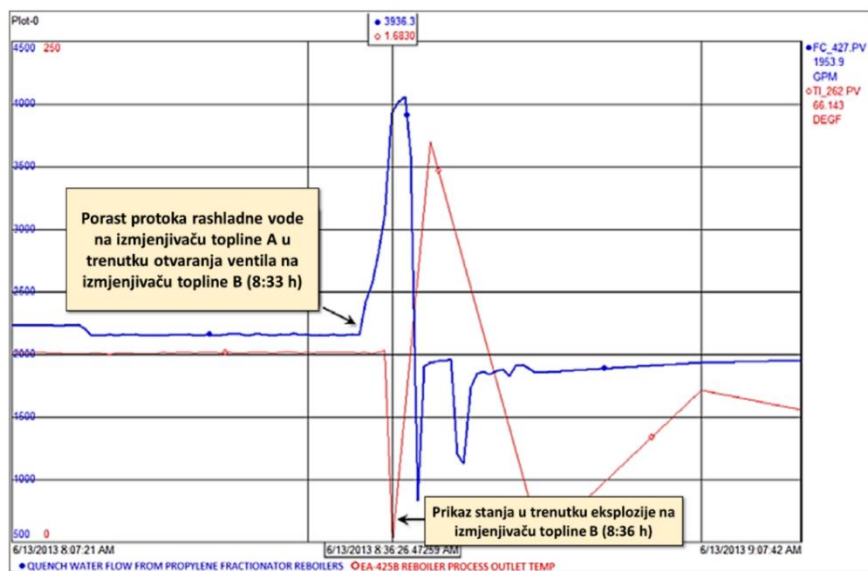
3.1.3. Opis incidenta

Tijekom jutarnjeg sastanka s operativnim osobljem i osobljem za održavanje, upravitelj postrojenja primijetio je kako protok rashladne vode kroz izmjenjivač topline A propilenskog frakcionatora postupno pada kako je prikazano na slici 9. Osoblje je zatim analiziralo podatke cijeloga sustava i ustanovilo problem u protoku rashladne vode. Upravitelj postrojenja, u skladu s ovlaštenjima, kontaktirao je nadležno osoblje kako bi mogli uključiti potrebne radnike za održavanje i popravak sustava. Operativni menadžer nije bio dostupan te je voditelj postrojenja odlučio vratiti se na teren i nastaviti s procjenom kvara na sustavu za protok rashladne vode.



Slika 9. Grafički prikaz protoka rashladne vode kroz izmjenjivač topline A [4]

CSB⁹ je utvrdio kako je u 8:33 h nadzornik rada otvorio ventile za protok rashladne vode na ugašenom izmjenjivaču topline (izmjenjivač topline B), što je rezultiralo brzim povećanjem protoka rashladne vode kako je prikazano na slici 10. Tri minute kasnije, izmjenjivač topline B je eksplodirao. Propan i propilenska procesna tekućina izbili su iz eksplozijom oštećenog izmjenjivača topline i iz frakcionatora propilena. Procesna para se zapalila stvarajući masivnu vatrenu kuglu. Sila eksplozije izbacila je dio cijevi propilenskog frakcionatora na udaljenost veću od 9 metara. Slika 11. i slika 12. prikazuju izmjenjivač topline B i frakcionator propilena nakon incidenta. Operator koji je radio u blizini frakcionatora propilena u trenutku eksplozije preminuo je na mjestu događaja. Voditelj postrojenja sljedećeg je dana preminuo od teških tjelesnih ozljeda. Eksplozija i požar ozlijedili su zaposlenike i izvođače radova koji su radili na projektu proširenja pogona (ukupno 167 djelatnika). Požar je trajao približno četiri sata, a tvrtka je izvijestila da je tijekom incidenta ispušteno preko 30,000 funti vrijednih zapaljivih ugljikovodika. Nakon incidenta tvrtka je ostala zatvorena 18 mjeseci. Proizvodnja je ponovno pokrenuta u siječnju 2015. godine.

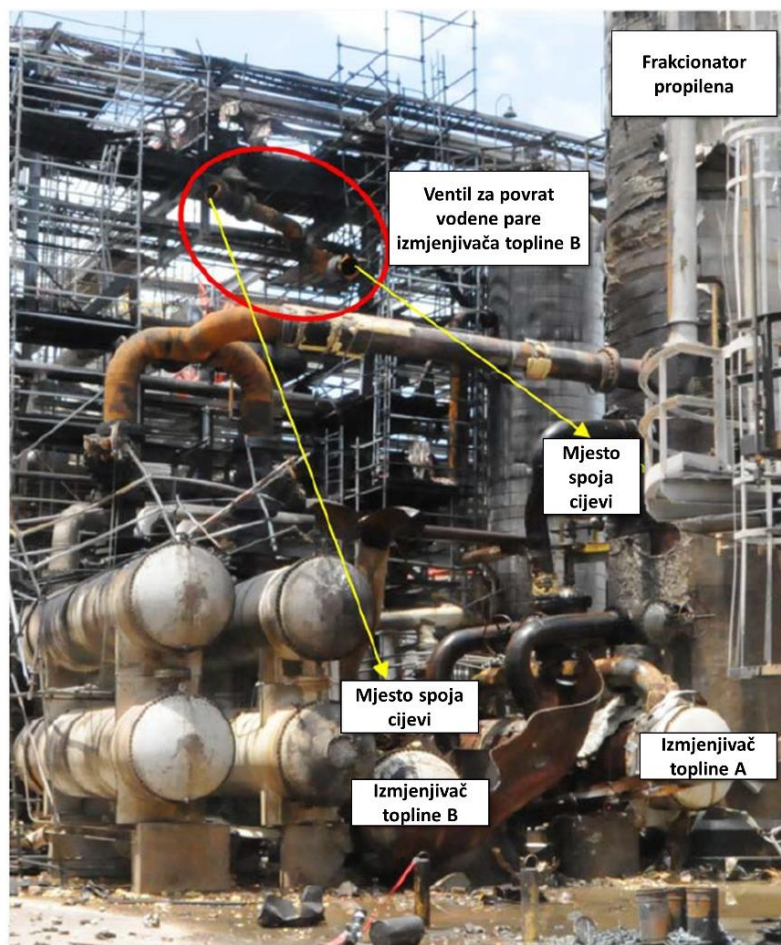


Slika 10. Grafički prikaz protoka rashladne vode prije i u trenutku eksplozije [4]

⁹ CSB – U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (Odbor za istraživanje kemijske sigurnosti i opasnosti Sjedinjenih Američkih Država)



Slika 11. Izmjenjivač topline B na kojem je došlo do eksplozije [4]



Slika 12. Frakcionator propilena i izmjenjivači topline A i B nakon incidenta [4]

3.1.4. Tehnička analiza

Zajedničkim dogovorom između CSB-a, tvrtke Williams i OSHA-e¹⁰ dogovoreno je metalurško istraživanje izmjenjivača topline B. Istraživanjem je utvrđeno kako je izmjenjivač topline B otkazao, nakon čega je nastala pukotina uslijed porasta tlaka (47-84 bara). Porast tlaka je posljedica toplinskog širenja tekućeg propana u izmjenjivaču topline B koji nije imao funkcionalan sustav rasterećenja tlaka. Početna pukotina uzrokovala je zatajenje kotla i eksploziju pare koja je proširila vrelu tekućinu što je detaljnije opisano u sljedećim potpoglavljima.

3.1.5. Kvar izmjenjivača topline

Ugradnjom ventila 2001. godine, tvornica Williams upravljala je jednim aktivnim izmjenjivačem topline (A) spojenim na frakcionator propilena, dok je drugi izmjenjivač topline (B) bio u stanju mirovanja, odnosno u pripravnosti. U slučaju kvara aktivnog izmjenjivača topline operativno osoblje aktiviralo bi drugi izmjenjivač topline.

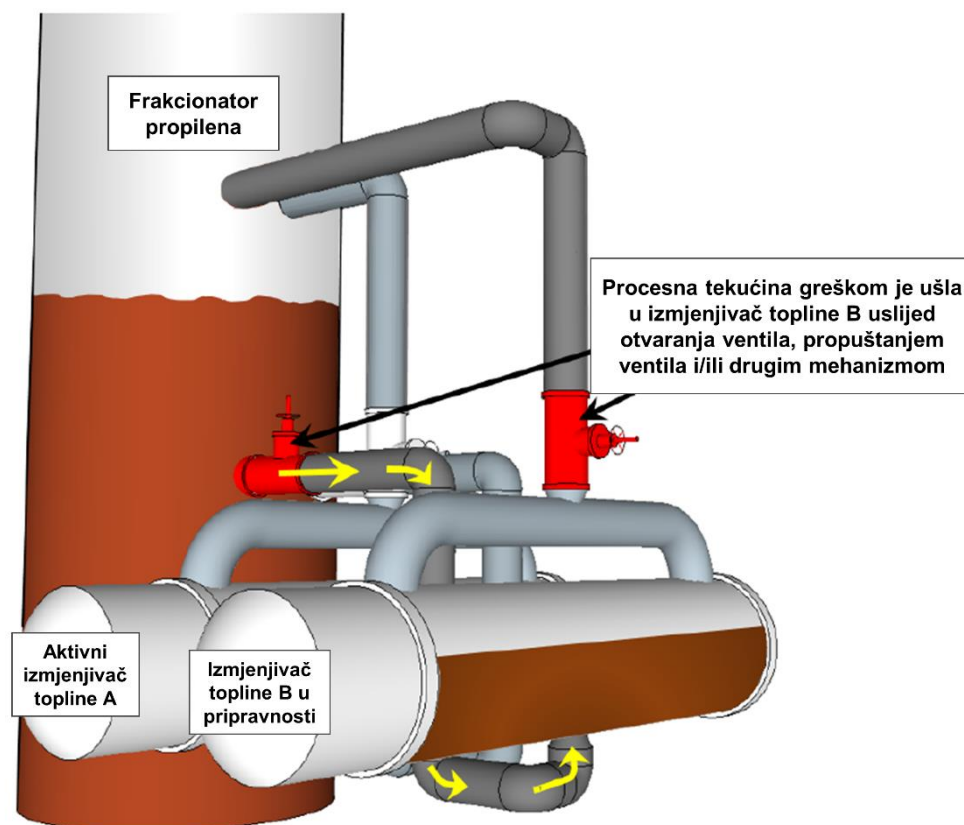
Aktivni izmjenjivač topline servisiran je prema standardnim uputama u kojima stoji da se mora zatvoriti, isprazniti i očistiti. Izmjenjivač topline ispunjen je dušikom, uz zatvorene ulazne i izlazne ventile kako bi se osigurala izolacija frakcionatora propilena s procesnom tekućinom. Dušik se često koristi za servisiranje opreme zbog svoje inertnosti. Omogućava smanjenje koncentracije kisika u opremi kako bi se eliminirala mogućnost pojave zapaljive smjese unutar posude ili procesa.

Izmjenjivač topline B servisiran je u veljači 2012. godine. Nakon ove aktivnosti održavanja, radnici ostavljaju izmjenjivač topline B u stanju pripravnosti, navodno ispunjenog dušikom i izoliranom od procesa frakcioniranja s jednim zatvorenim blok ventilom na ulaznom cjevovodu i jednim zatvorenim blok ventilom na izlaznoj cijevi. CSB je utvrdio kako je između aktivnosti održavanja 2012. i dana incidenta (razdoblje od 16 mjeseci) zapaljiv tekući propan nakupljen na strani kućišta

¹⁰ OSHA – *Occupational Safety and Health Administration* (Uprava za sigurnost i zaštitu na radu Sjedinjenih Američkih Država)

rezervnog kotla B. Propan je ušao u izmjenjivač topline B uslijed pogrešno otvorenog ventila što je prikazano na slici 13.

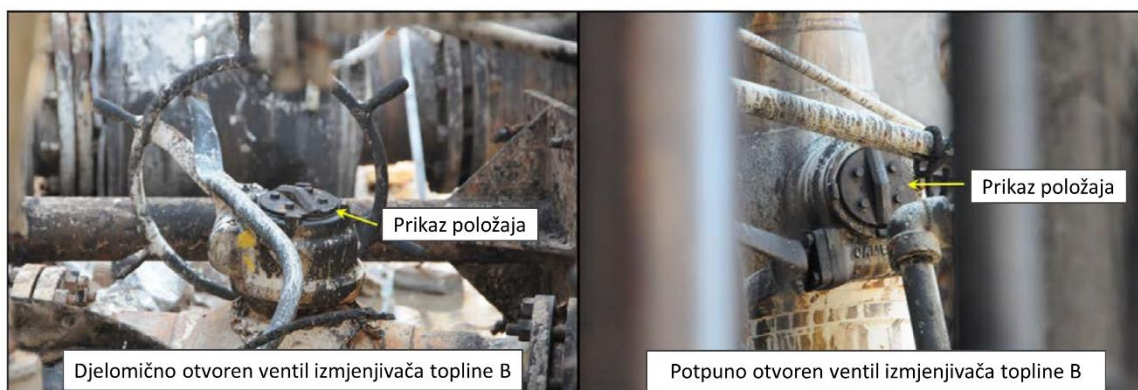
Tijekom aktivnosti održavanja 2012. godine izmjenjivač topline B punjen je dušikom do tlaka od približno 3,5 bara. Izmjenjivač tlaka B nije imao instaliran mjerač tlaka za praćenje promjena u sustavu. Navedeni uređaj upozorio bi operativnog djelatnika da je tlak na izmjenjivaču topline B veći od 8,5 bara (ravnotežni tlak pare procesne tekućine na temperaturi okoline), što upućuje na ulazak procesne tekućine u sustav. Tvrтка Williams nije imala instalirane instrumente za detekciju procesne tekućine unutar izmjenjivača topline. Kao rezultat, osoblje nije znalo da rezervoar B sadrži tekući propan.



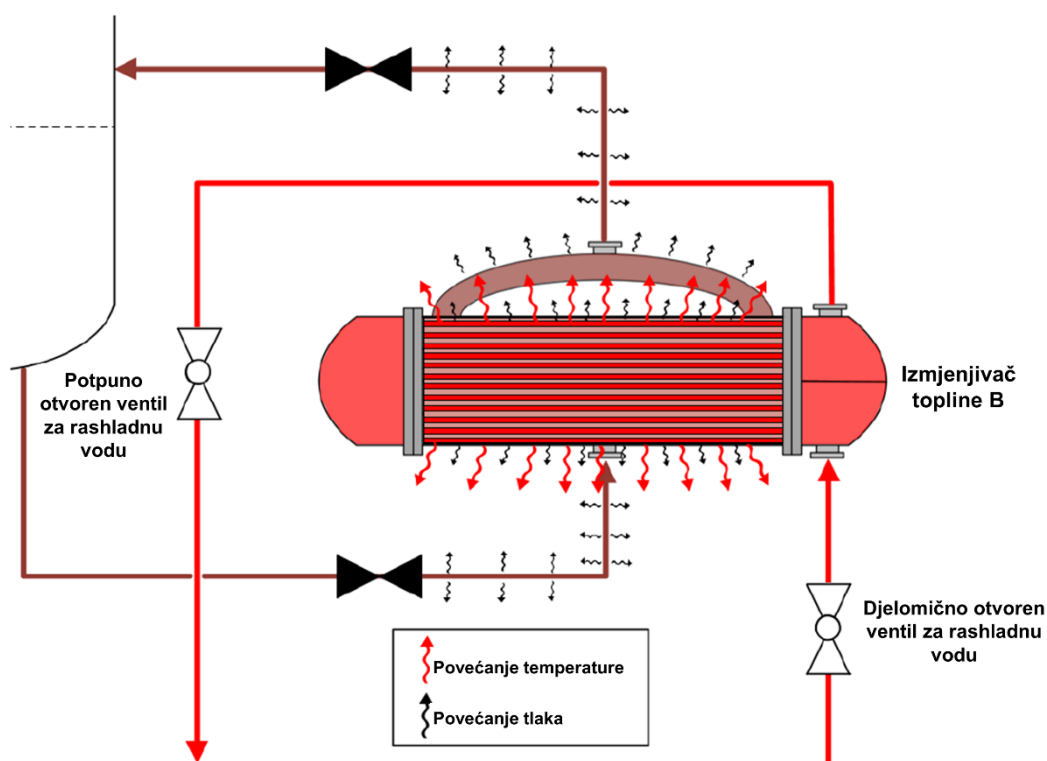
Slika 13. Ulazak procesne tekućine izmjenjivač topline B [4]

3.1.6. Termička ekspanzija tekućeg propana

Opažanja na terenu nakon incidenta pokazala su da su kružni ventili (rashladna strana) izmjenjivača topline B u otvorenom položaju kako je prikazano na slici 14. Zaporni ventili (procesna strana) bili su zatvoreni, što je izoliralo izmjenjivač topline B od zaštitnog ventila za smanjenje tlaka na vrhu propilenskog frakcionatora. Navedena konfiguracija ventila uzrokovala je povećanje temperature u zatvorenom sustavu čime je došlo do zagrijavanja tekućeg propana unutar kotla. Uslijed zagrijavanja došlo je i do povećanja volumena zbog toplinskog širenja tekućine, ispunjavajući preostali zauzeti parni prostor unutar kotla. Kada se tekućina više nije mogla širiti, tlak na izmjenjivaču topline B naglo se povećavao, sve dok unutarnji tlak nije premašio granicu mehaničkog tlaka koju je omotač mogao podnijeti kako je prikazano na slici 15.



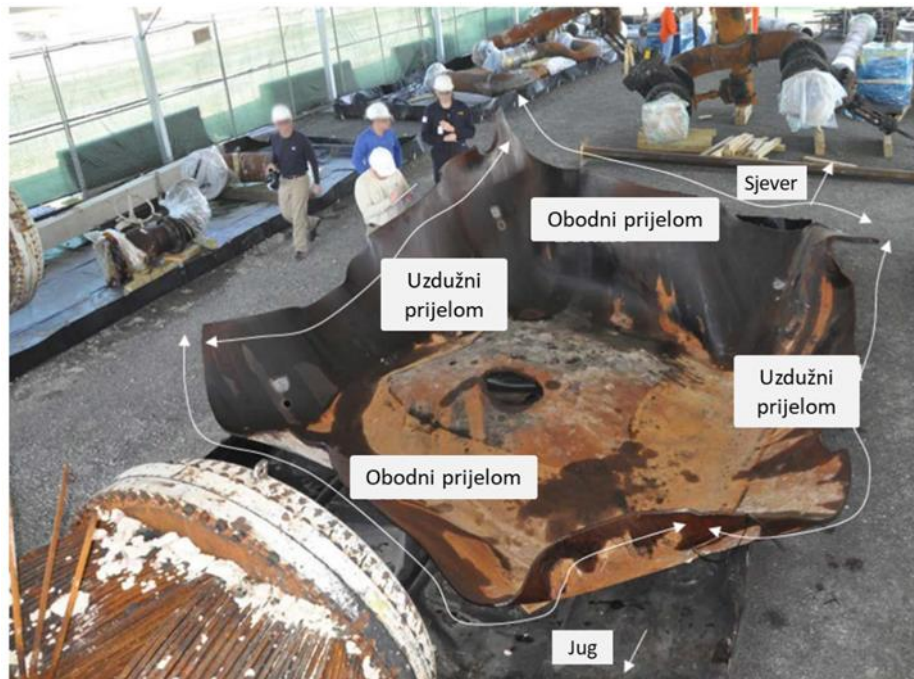
Slika 14. Prikaz položaja ventila na izmjenjivaču topline B [4]



Slika 15. Prikaz povećanja temperature i tlaka na izmjenjivaču topline B [4]

3.1.7. Eksplozija ekspandirajuće pare i kipuće tekućine

Visok tlak uslijed toplinskog širenja propana uzrokovao je puknuće omotača kotla. Sadržaj kotla počeo je isparavati blizu otvora pukotine, a otpuštanje mlaza tekućine i pare ubrzano se počelo širiti. Opterećenje na rubove pukotine uzrokovalo je njezino širenje i u konačnici totalno puknuće. Sadržaj izmjenjivača topline B naglo se spustio na atmosferski tlak. Pri atmosferskom tlaku tekući propan bio je iznad točke vrelišta (približno $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$). Propan se širio okolnim područjem (para propana se širila, a pregrijana tekućina brzo isparila). Propan je zatim pronašao izvor paljenja, stvarajući veliku vatrenu kuglu. Slika 16. prikazuje učinke eksplozije koji su spljoštili omotač kotla. Ova vrsta eksplozije poznata je kao eksplozijski brza ekspanzija para vrijuće kapljevine ili BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*) uz pojavu vatrene kugle.



Slika 16. Fotografija izmjenjivača topline B nakon incidenta. Sile tijekom događaja spljoštile su cilindrični čelični omotač kotla [4].

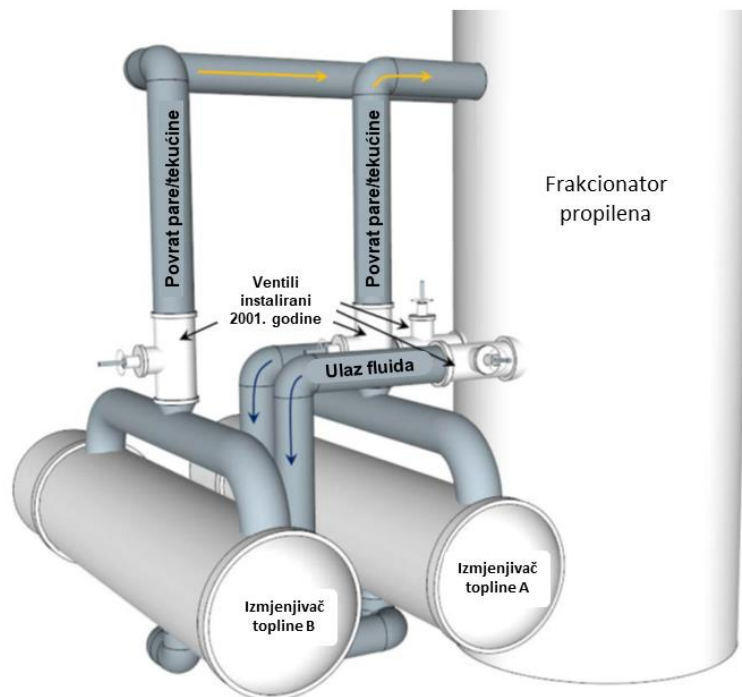
3.1.2. Propusti tvrtke Williams Geismar Olefins

U ovom potpoglavlju detaljno su opisani propusti tvrtke Williams Geismar Olefins a temelje se na: neadekvatnom sustavu rasterećenja od previsokog tlaka na izmjenjivaču topline, neprovođenju sigurnosnih procedura prilikom uvođenja tehnoloških promjena, neusklađenim postupcima za izvođenje operativnih aktivnosti te edukaciji i usavršavanju svih djelatnika koji sudjeluju u operativnom procesu.

3.1.2.1. Instalacija ventila na izmjenjivače topline

Izvorni dizajn frakcionatora propilena iz 1967. zahtijevao je i istovremen rad izmjenjivača topline A i B. Ovaj dizajn nije imao ventile između izmjenjivača topline i propilenskog frakcionatora, kao ni zaštitu od visokog tlaka na vrhu propilenskog frakcionatora. Sljedećih godina, utvrđeno je da frakcionator

propilena može raditi sa samo jednim izmjenjivačem topline u funkciji. Ovakvom konfiguracijom omogućen je kontinuirani rad propilenskog frakcionatora bez zastoja za vrijeme održavanja sustava. Za implementaciju rada jednog izmjenjivača topline, 2000. godine, uprava Williams-a odobrila je investiciju od 270 000 dolara za ugradnju ventila na procesnoj i rashladnoj strani izmjenjivača topline A i B. 2001. godine završena je ugradnja ventila, prikazano na slici 17., no tvrtka Williams nije identificirala opasnost od povećanja tlaka koja je rezultat promjena u sustavu.



Slika 17. Ilustracija propilenskog frakcionatora prije incidenta s prikazom cjevovoda. Četiri procesna ventila instalirana su 2001. godine [4].

3.1.2.2. Sigurnosni postupak instalacije

Upute za dobru praksu u industriji nalažu provođenje sigurnosnih procedura prilikom uvođenja tehnoloških promjena, kao što je promjena opreme. Isto tako,

postoje zahtjevi za usklađivanje postupka za izvođenje operativnih aktivnosti te edukaciju i usavršavanje svih djelatnika koji sudjeluju u operativnom procesu.

2001. godine izvedena je procedura prilikom uvođenja tehnoloških promjena kako bi se obuhvatila ugradnja ventila na izmjenjivače topline s rashladnim sustavom. Navedeni proces zahtijevao je suradnju Operativnog odjela, Odjela za održavanje, Tehničkog odjela, Odjela za okoliš, Odjela za sigurnost i zaštitu na radu te Odjela za projektno inženjerstvo kako bi se razmotrile moguća sigurnosna pitanja ugradnje ventila. Navedeni stručnjaci odgovarali su na pitanja kontrolne liste, koja su služila za poticanje ciljane analize za svaki odjel. Voditelji odjela morali su odgovoriti na svaki upit označavanjem „da“, „ne“ ili „n/a“ (nije primjenjivo). Kontrolne liste mogu osigurati razmatranje uobičajenih opasnosti i tipičnih zahtjeva za izmjenom u sustavu. U slučaju tvornice Williams, recenzenti nisu identificirali ozbiljne opasnosti od visokog tlaka koje su posljedica ugradnje ventila na izmjenjivače topline. ASME¹¹ preporuke za kotlove i posude pod tlakom dopuštaju ugradnju blok ventila, sve dok korisnik pruža način zaštite od tlaka, kao što je primjena administrativnih kontrola, mehaničkih elemenata, kontrole kvara ventila i kontrole rada ventila za osiguravanje puta između sustava i uređaja za rasterećenje tlaka [18].

3.1.2.3. 2001 PHA

Tvrtka je izvela program analize opasnosti (PHA) u procesnom području koje je uključivalo izmjenjivače topline A i B propilenskog frakcionatora 2001. godine (instalacija ventila). Provedbom PHA procijenjene su moguće posljedice zatvaranja ventila, dok nije identificirana potencijalna opasnost od previsokog tlaka. Prema CSB-u učinkovita PHA trebala je identificirati ozbiljnu sigurnosnu posljedicu visokog tlaka na izmjenjivačima topline, budući da je to tipična opasnost za posude pod tlakom.

Tim PHA utvrdio je da dijagrami cjevovoda i sustava ne pokazuju nove ventile na izmjenjivačima topline na frakcionatoru propilena. Preporučeno je ažuriranje

¹¹ ASME – Američko društvo inženjera strojarstva (*American Society of Mechanical Engineers*)

relevantne dokumentacije. CSB napominje da je ažuriranje dijagrama cjevovoda i sustava trebalo biti izvedeno kao dio procesa sigurnosne procedure prilikom uvođenja tehnoloških promjena.

3.1.2.4. 2006 PHA

Tijekom PHA iz 2006., naglašena je potreba za instalacijom sustava za zaštitu od visokog tlaka na sustavu. Tim PHA utvrdio je da izmjenjivači topline "nemaju sposobnost rasterećenja od previsokog tlaka". Kao rezultat, izdana je sljedeća preporuka:

„Razmislite o otvaranju barem jednog od ručnih ventila na svakom od izmjenjivača topline povezanih s propilenskim frakcionatorom (EA-425 A/B) kako bi ventil za zaštitu od previsokog tlaka na vrhu propilenskog frakcionatora mogao osigurati zaštitu od porasta tlaka na izmjenjivačima topline“.

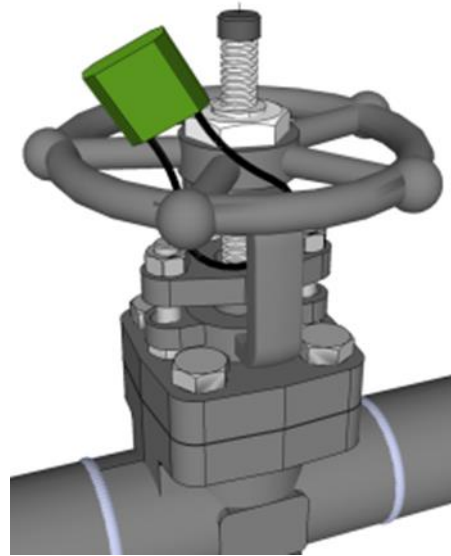
Ova preporuka PHA iz 2006. označena je kao "završena" u Williamsovom sustavu za dokumentiranje. Navedena akcija nije u cijelosti provedena. CSB je utvrdio da je samo izlazni ventil na radnom izmjenjivaču topline bio otvoren. Ventili na procesnoj strani rezervnog kotla ostali su zatvoreni, bez brtvi na zapornim ventilima i bez zaštitnog uređaja za rasterećenje od previsokog tlaka na kotlu. Prethodno navedena konfiguracija izolirala je izmjenjivač topline B od uređaja za rasterećenje od visokog tlaka na vrhu frakcionatora propilena, što je dovelo do visokog rizika. Navedeno je primjer pogreške u provedbi preporuke PHA. Pogreška je ostala neidentificirana jer ključni programi za sigurnost procesa (sigurnosne procedure prilikom uvođenja tehnoloških promjena i postupak za izvođenje operativnih aktivnosti), koji bi mogli identificirati pogrešku implementacije, nisu izvedeni.

Još jedna od grešaka tima za PHA očituje se kroz odabir zapornih ventila kao preporučenu strategiju zaštite od visokog tlaka. CSB napominje da su ventili za zaštitu od previsokog tlaka (aktivne mjere zaštite), primjer prikazan na slici 18., snažnija zaštita u usporedbi sa zapornim ventilima (slika 19.) (administrativne mjere zaštite), koji su niži u hijerarhiji kontrole. Administrativne kontrole programa

zapornih ventila nisko su u hijerarhiji kontrola zbog ljudskog čimbenika, koji može smanjiti ili eliminirati njihovu učinkovitost. Nerazumijevanje opreme i sustava zapornih ventila kako bi se zadovoljila PHA radna stavka iz 2006. godine vjerojatno je pridonijela samo djelomičnom dovršetku radnje, što je rezultiralo time da su samo ventili aktivnog izmjenjivača topline otvoreni.



Slika 18. Sigurnosni ventil [19]



Slika 19. Zaporni ventil [20]

Instalacija brtvi na zaporne ventile izmjenjivača topline frakcionatora propilena (kako je preporučeno od strane PHA 2006. godine) bila je značajna promjena u sustavu koja je zahtijevala sigurnosne procedure prilikom uvođenja tehnoloških promjena, kao i pregled sigurnosti prije pokretanja sustava. Tvrtka Williams nije provela ništa od navedenog. Dio pregleda sigurnosti prije pokretanja (PSSR) služio je za provjeru na terenu i kao prilika da se utvrdi kako PHA radna stavka za otvaranje ventila na oba izmjenjivača topline nije bila potpuna. Pregled sigurnosti prije pokretanja sustava nikada nije izveden.

CSB je utvrdio da tvrtka Williams nije izvršila menadžment upravljanja promjenama i sigurnosne procedure prilikom uvođenja tehnoloških promjena za

ugradnju zapornih ventila na izmjenjivače topline. Ključno operativno osoblje nije razumjelo važnost i potrebu navedene procedure. Prije incidenta, unatoč zabranjeni te zakonskim zahtjevima i politikama tvrtke, započeli su terenski radovi i uvođenje novih procesa.

3.1.2.5. 2011 PHA

Sljedeća PHA frakcionatora propilena izvedena je 2011. godine. Analiza se oslanjala na Williamsov sustav za praćenje akcijskih stavki i bazu podataka menadžmenta upravljanja promjenama, kako bi se identificirale promjene napravljene u procesu od posljednje PHA. Williamsov PHA sustav za praćenje aktivnosti netočno je naznačio izvršenom preporuku iz 2006. godine (barem jedan ventil na svakom izmjenjivaču topline morao je biti otvoren). 2011. godine PHA analizom dokumentirano je kako su oba zaštitna zaporna ventila otvorena kako bi se osiguralo rasterećenje od previsokog tlaka u sustavu.

Tvrtka Williams nije izvršila terensku provjeru dokumentiranih zaštitnih mjera kao dio PHA. Posljedično, nisu identificirana neslaganja između dokumentacije i stvarnoga stanja na terenu. Oslanjajući se na pogrešnu dokumentaciju PHA tim utvrdio je da pregled sigurnosti prije pokretanja ne sadrži zaporne ventile, stoga je predloženo ažuriranje relevantne dokumentacije i procedura:

- „Ažurirajte dokumentaciju sigurnosti prije pokretanja, stavka 8F, kako bi se naznačilo da su ventili povezani sa svakim izmjenjivačem topline propilenskog frakcionatora (EA-425 A/B) otvoreni, kako bi se osiguralo da zaštitni ventil od previsokog tlaka na vrhu propilenskog frakcionatora pruža rasterećenje za izmjenjivače topline.“

U e-poruci iz svibnja 2012. godine, koordinator inženjerske evidencije priopćio je koordinatoru sigurnosti i zaštite na radu da je blok ventil EA-425A/B izmjenjivača EA-425A/B u upotrebi i bit će otvoren na terenu kako bi se osiguralo da izmjenjivač topline ima toplinsku zaštitu od SV-421QA/QB.

Ova promjena pregleda sigurnosti prije pokretanja nije odgovorila na cjelovitu preporuku izdanu u PHA 2011. godine, jer ventil izmjenjivača topline B na terenu

nije bio otvoren. Uprava Williamsa je označila je aktivnost kao provedenu. Koordinator sigurnosti i zaštite na radu pratio je status preporuke PHA iz 2011. i isto tako je označio kao "završenu" u proračunskoj tablici za praćenje PHA aktivnosti. Nije uključio dodatne informacije poslane e-poštom koje je dostavio koordinator inženjerske evidencije u dokumentaciji za praćenje PHA aktivnosti.

3.1.2.6. Nedostaci u analizi opasnosti i operativnoj proceduri

Na dan incidenta, sve manji protok rashladne vode kroz izmjenjivač topline A frakcionatora propilena potaknuo je operativnog nadzornika da uđe u procesnu jedinicu kako bi procijenio uzrok smanjenog protoka. Tijekom ove evaluacije, dokazi upućuju da je nadzornik otvorio ventile rashladne vode (rashladna strana) na izmjenjivaču topline B, dok su njegovi zaporni ventili na strani kućišta (procesna strana) ostali zatvoreni, što je uzrokovalo porast tlaka. Prije upravljanja ventilima na terenu, tvrtka Williams nije provela analizu opasnosti i razvila operativnu proceduru. CSB nije mogao utvrditi točan razlog otvaranja ovih ventila.

Ovaj incident, primjer je opasnosti provođenja terenskih operacija, i za osoblje koje izvodi operaciju i za osoblje koje radi u blizini, bez prethodnog uspostavljanja postupaka i procjene i kontrole opasnosti. Budući da je onečišćenje u rashladnom sustavu povijesni problem, Williams je i prije samoga incidenta trebao razviti proceduru s detaljnim opisom metoda za procjenu i pročišćavanje rashladnog sustava. Nadalje, tvrtka Williams trebala je bolje upravljati čišćenjem izmjenjivača topline te uspostaviti raspored rutinskog održavanja kako bi se ova oprema, za koju se znalo da je sklona kvarovima, isključila i očistila prije pojave bilo kakvih odstupanja u procesu.

3.1.2.7. Inženjerska analiza sigurnosnih ventila

Kodeks ASME za kotlove i posude pod tlakom zahtijeva da sve posude pod tlakom imaju odgovarajuću zaštitu od visokog tlaka [21]. Williams je 2008. godine angažirao tvrtku za inženjerske usluge s ciljem provođenja inženjersku analize

rasteretnih ventila u postrojenju Williams, kako bi se osiguralo da su ventili odgovarajuće veličine za opremu koja se koristi. Analizom je utvrđeno da izmjenjivači topline frakcionatora propilena nemaju valjanu zaštitu od previsokog tlaka. Zabilješka izvođača radova glasi: „Postoje blok ventili na ulazu i izlazu procesne strane kućišta (izmjenjivača topline). Budući da ti ventili nisu otvoreni, ventili za rasterećenje frakcionatora propilena neće pružiti zaštitu od prekomjernog tlaka izmjenjivača topline u slučaju požara ili u slučaju širenja/isparavanja tekućine. S obzirom da ovi ventili nisu otvoreni, bit će potrebna dodatna zaštita od nadtlaka na procesnoj strani kućišta izmjenjivača topline.“ Inženjer koji je izvršio inženjersku analizu dostavio je i e-poruku inženjeru tvrtke Williams, upozorivši ga na nedostatak zaštite od visokog tlaka na izmjenjivačima topline i naznačivši dvije opcije za pružanje zaštite [22]. Slika 20. prikazuje originalnu e-poruku. CSB je utvrdio da Williams nije razvio radnu stavku za otklanjanje propusta u sustavu utvrđenih inženjerskom analizom izmjenjivača topline. Tvrtka Williams nije u potpunosti implementirala PHA akciju još iz 2006. godine te je opasnost od prekomjernog tlaka ostala je neriješena.

From: [REDACTED]
To: [REDACTED]
Cc: [REDACTED]
Subject: Williams--PSV Study--SV-421QA/QB
Date: Monday, January 21, 2008 12:28:39 PM

[REDACTED]

I am working on SV-421QA/QB. It protects DA-406 Propylene Fractionator. There are block valves which are not CSO on the inlet and outlet of the reboilers, EA-425A/B; thus SV-421QA/QB will not protect the shell side of EA-425A/B from overpressure caused by fire or heat input from the hot side if the reboilers if the shell side is blocked in. The P&IDs don't show any overpressure protection for the shell side of the reboilers. There are two options to mitigate this problem:

- 1) Car seal open the valves on the inlet/outlet to the reboilers' shell side
- 2) Install two new relief valves to protect the shell side of EA-425A/B.

Please advise which option you prefer. I really appreciate your help.

Thanks,
[REDACTED]

Slika 20. E-poruka tvrtke za inženjerske usluge zaposleniku Williams postrojenja. Sadrži upozorenje da izmjenjivači topline za frakcioniranje propilena nisu zaštićeni od nadtlaka. "SV-421QA/QB" označava zaštitne ventile od visokog tlaka na frakcionatoru propilena. "DA-406" je frakcionator propilena.

"EA-425A/B" su izmjenjivači topline za frakcioniranje propilena [4].

3.1.2.8. Hijerarhija kontrole sustava u tvrtki Williams Geismar Olefins

Tvrtka Williams nije učinkovito primijenila hijerarhiju kontrola u promjeni dizajna iz 2001. godine kojom su ugrađeni ventili na izmjenjivače topline frakcionatora propilena. Williams je također propustio ključne prilike u svojim PHA-ovima iz 2001., 2006. i 2011. godine za implementaciju hijerarhije kontrole pri analizi rizika od visokog tlaka za izmjenjivače topline. Umjesto primjene inherentno sigurnijeg dizajna, pasivnih zaštitnih mjera ili aktivnih mjera zaštite koje su u dizajnu strategije više u hijerarhiji kontrole, Williams se oslanjao na administrativne kontrole kako bi ublažio ozbiljnu opasnost od porasta tlaka u sustavu.

Korištenje zaštitnih ventila za smanjenje tlaka predstavlja aktivnu zaštitu (zaštitna mjera koja zahtijeva određeni uređaj za funkcioniranje kada je to potrebno). Brtve za zaporne ventile (zaštitni mehanizam koji je Williams odabrao za rasterećenje tlaka na izmjenjivačima topline) su proceduralne zaštitne mjere, poznate kao i administrativne kontrole. Proceduralne zaštitne mjere zahtijevaju izvršavanje radnji od odgovornih osoba, a niže su u hijerarhiji kontrole od aktivnih zaštitnih mjera zbog različitih vrsta ljudskih faktora, koji mogu smanjiti ili eliminirati njihovu učinkovitost.

Tijekom PHA 2011. godine, tvrtka Williams ispravno je identificirala visoku potencijalnu opasnost puknuća opreme, ali je pogrešno procijenila vjerojatnost incidenta s prekomjernim tlakom. Tim PHA iz 2011. godine vjerojatnost visokog tlaka na izmjenjivaču topline B frakcionatora propilena kategorizirana je kao "nevjerojatna". Tako niska učestalost ukazuje na slabu procjenu i slabo razumijevanje dostupnosti proceduralnih zaštitnih mjera.

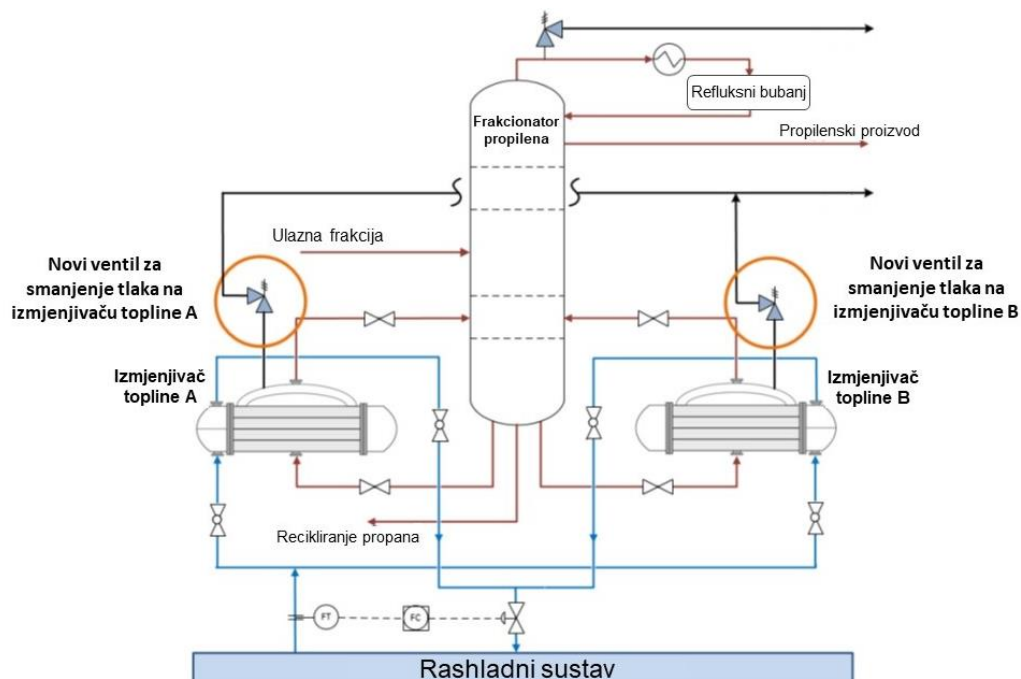
3.1.3. Poboljšanja sustava nakon incidenta u poduzeću Williams

Poduzeće Williams nakon incidenta implementiralo je pozitivne promjene u svojim programima upravljanja sigurnošću procesa u postrojenju Williams Geismar Olefins. Osoblje Williams Geismara izjavilo je CSB-u da se nakon incidenta dogodila značajna kulturološka promjena u razumijevanju važnosti programa za sigurnost procesa u ključnim područjima gdje su slabosti pridonijele

incidentu. Sljedeći odjeljci detaljno opisuju poboljšanja koja su implementirana u tvrtku Williams Geismar Olfins nakon incidenta.

3.1.3.1. Novi dizajn grijača

Nakon incidenta redizajnirani su izmjenjivači topline za frakcioniranje propilena kako bi uključili sigurnosni ventil za smanjenje tlaka na strani kućišta svakog od izmjenjivača topline kako je prikazano na slici 21. Ovakav dizajn korištenja ventila za rasterećenje tlaka, kategoriziranih kao aktivne zaštitne mjere, viši je u hijerarhiji kontrola od korištenja zapornih ventila. Navedena praksa također je usklađena sa smjernicama koje je objavio American Petroleum Institute u API 521-2014, koji upozorava korisnika da neuspjeh administrativnih kontrola zaštite od nadtlaka može dovesti do neželjenih rizika. Williamsov dizajn nakon incidenta također je usklađen sa smjernicama koje je objavio NBIC, a nalažu instalaciju uređaja za rasterećenje tlaka izravno na izmjenjivač topline.

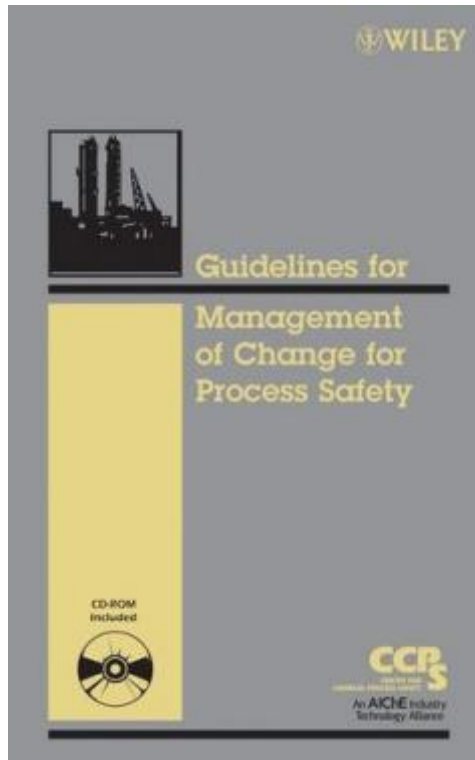


Slika 21. Novi dizajn sustava u tvornici Williams [4]

3.1.3.2. Upravljanje procesima

Prije incidenta, recenzije menadžmenta upravljanja promjenama Williamsa Geismara odvijale su se uzastopno, gdje je dokument odlazio od recenzenta do recenzenta. Nakon incidenta, Williams je promijenio sustav recenziranja menadžmenta promjenama u proces više suradnje, zahtijevajući "MOC revizijski tim". Osoblje Williams Geismar-a obavijestilo je CSB da novi MOC proces olakšava bolju identifikaciju opasnosti koje dolaze predloženim izmjenama. Poboljšani MOC proces pomaže u poboljšanju procesa identifikacije i procjene opasnosti prilikom ugradnje novih komponenti sustava.

Knjiga CCPS, prikazana na slici 22., Smjernice za upravljanje promjenom za sigurnost procesa savjetuje čitatelje da MOC pristup koji se temelji na timskom radu može biti učinkovitiji za prepoznavanje potencijalnih sigurnosnih i zdravstvenih učinaka koje donose predložene promjene u sustavu. Nakon incidenta, tvrtka Williams Geismar razvila je metode za priopćavanje vrsta promjena koje zahtijeva MOC. Isto tako, osoblje Williamsa obavijestilo je CSB da radnici imaju povećan fokus na osiguranje završenih MOC procesa prije početka terenskog rada. Williams je olakšao ovu provjeru slanjem e-pošte cijeloj tvornici kako bi priopćio odobrenje MOC-a. Učinkovita provedba ovih aktivnosti (kulturne i proceduralne promjene) može ojačati upravljanje sigurnošću i zaštitom procesa u postrojenjima.



Slika 22. *Guidelines for the Management of Change for Process Safety* [23]

Prije incidenta, Williams Geismar PHA postupak nije specificirao metodu koju treba slijediti kada je vodeći tim odlučio odbiti PHA preporuke ili odstupanje od predloženih preporuka. Identificirajući ovaj jaz nakon incidenta, Williams Geismar je u skladu s tim ažurirao Geismar PHA postupak, zahtijevajući robusniji proces u slučaju odstupanja od predložene PHA preporuke.

Tvrtka je također povećala naglasak na provjeravanju završetka PHA aktivnosti. Prije incidenta, jednostavno komuniciranje s koordinatorom aktivnosti (koji prati stavke akcije) bilo je dovoljno za zatvaranje akcije, odnosno stavke u provedbi. Ova praksa dovela je do neučinkovite implementacije radnje za ugradnju i brtvljenje zapornih ventila na oba izmjenjivača topline frakcionatora propilena i spriječila je tvrtku Williams Geismar Olefins u identifikaciji nepotpune provedbe MOC prije uvođenja promjena u tehnološkim procesima. Nakon incidenta, poboljšani zahtjevi za provjeru zatvaranja radnji povezanih s PHA (npr. dokumentacija MOC-a i procjena sigurnosti prije pokretanja) povezuju se sa

digitalnim sustavom za praćenje PHA aktivnosti. Ovaj pristup može učinkovitije provjeriti završetak određenih elementa u sustavu sigurnosti i zaštite na radu.

Tvrtka je također razvila novi zahtjev za provjeru na terenu kako bi osigurao točnost svih provjere sigurnosnih procesa prije pokretanja sustava povezanih sa svakom PHA prije provođenja PHA. Učinkovita implementacija ove prakse može pomoći u osiguravanju točnih informacija o sigurnosti procesa prije provođenja PHA.

3.1.3.3. Oprema

Prije incidenta, osoblje tvrtke Williams nije u potpunosti razumjelo razlike u definicijama i zahtjevima za smanjenje tlaka na opremi u stanju pripravnosti i izvan upotrebe. Implementacijom PHA akcije iz 2006. godine za otvaranje zapornih ventila na procesnoj strani, samo je aktivni izlazni ventil pripravnog izmjenjivača topline bio otvoren. Prije incidenta, osoblje tvrtke Williams smatralo je da izmjenjivač topline u pripravnosti ne zahtijeva zaštitu od nadtlaka, jer su navedeno doživljavali kao "neupotrebljivo". Kako bi se otklonile buduće poteškoće, tvrtka sada naglašava ove definicije u obuci i operativnim postupcima kako bi osigurala da oprema u pripravnosti ima odgovarajuću zaštitu od nadtlaka:

- Oprema u stanju pripravnosti je izraz koji se koristi za opisivanje opreme koja je dostupna za aktivnu službu uz minimalnu interakciju i pod kontrolom operativne grupe kroz normalne operativne procedure. Zaštita od rasterećenja tlaka potrebna je i dostupna je bez daljnje interakcije operatera.
- Oprema izvan upotrebe je izraz koji se koristi za pozitivnu izolaciju dijela opreme od aktivne službe. To se postiže kada je izolacija gotova i procesni fluidi se isprazne. U ovom trenutku zaštita nije potrebna.

Tvrtka je jasnije specificirala zahtjeve za rasterećenje tlaka opreme u stanju pripravnosti i izvan upotrebe; međutim, CSB je pronašao više industrijskih smjernica o definicijama i zahtjevima za rasterećenje tlaka za dvije kategorije neaktivne opreme. API standard 521, Sustavi za rasterećenje i smanjenje tlaka

primjenjiv je industrijski standard za pružanje smjernica o zahtjevima za rasterećenje tlaka za opremu u stanju pripravnosti u odnosu na opremu izvan pogona. CSB je utvrdio da ovaj industrijski standard ne definira ni opremu u stanju pripravnosti ni opremu izvan upotrebe. Osim toga, zahtjevi za rasterećenje tlaka za ove klasifikacije opreme nisu izričito navedeni. API može poboljšati jasnoću zahtjeva zaštite od nadtlaka definiranjem ovih pojmova i navodeći je li zaštita od nadtlaka potrebna za svaku klasifikaciju.

3.1.3.4. Sustavna podrška

Nakon incidenta, tvrtka Williams Geismar poboljšala je informacije koje se dostavljaju operaterima tijekom intervencija u sustavu koje bi mogle zahtijevati rješavanje potencijalnih problema (npr. aktivacija procesnog alarma). Kada operateri na ploči (računalno sučelje) dobiju alarm na distribuiranom upravljačkom sustavu (DCS), mogu kliknuti desnom tipkom miša na alarm i prikazati upute za rješavanje problema. Smjernice uključuju upute o tome što treba provjeriti na terenu, na što bi operateri u danom trenutku trebali obratiti pažnju i posljedice nepravilnih radnji na terenu. Ove informacije su također u standardnim operativnim procedurama. Operateri koji rade na sustavu osposobljavaju se za rad na siguran način te za iščitavanje informacija. Tehnički zaposlenik Williamsa Geismara obavijestio je CSB: „Iako je rješavanje problema još uvijek izvan standardne operativne procedure, mislim da nam nova praksa daje discipliniraniji skup smjernica, a operaterima daje bolji pristup svim smjernicama.”

3.1.3.5. Procjena upravljanja sigurnosnim procesima

Provođenje dubinskih procjena programa upravljanja sigurnošću procesa u samom postrojenju zahtijeva detaljne analize povijesne dokumentacije upravljanja sigurnošću procesa, uključujući MOC i PSSR obrasce, preporuke PHA, sustave praćenja PHA aktivnosti i pisane operativne procedure. Procjene programa upravljanja sigurnošću procesa koje analiziraju visok postotak

povijesne dokumentacije o sigurnosti procesa mogu se koristiti za identificiranje sistemskih grešaka. Sveobuhvatni sustav upravljanja sigurnošću procesa trebao bi sadržavati različite metrike koje prate različite dimenzije sustava i performanse svih kritičnih elemenata u sustavu. Dobre metrike sigurnosti procesa ojačavaju kulturu sigurnosti procesa promičući uvjerenje da se incidenti u sigurnosti procesa mogu spriječiti, da je poboljšanje kontinuirano te da su politike i procedure nužne i da će se slijediti. Neophodno je stalno usavršavanje i svaki program poboljšanja mora se temeljiti na mjerljivim elementima [24].

3.2. Slučaj Petrokemije Omišalj

Tvrtka Dina Petrokemija, prikazana na slici 23., smještena je u Omišlju i predstavlja primjer požara nastalog uslijed nesreće prilikom proizvodnje etilena 2009. godine u Republici Hrvatskoj [25].



Slika 23. Tvrtka Dina Petrokemija, Omišalj [26]

Tijekom redovne proizvodnje polietilena niske gustoće došlo je do havarije visokotlačnog kompresora polietilena što je rezultiralo istjecanjem i zapaljenjem određene količine etilena u području kompresornice. Do istjecanja etilena došlo je zbog pucanja klipova dva cilindra drugog stupnja kompresora pri čemu je

isteklo između 80 i 100 kg etilena - tlaka oko 2600 bara, koji se prilikom rasterećenja raširio u potkrovlju kompresornice i zapalio (deflagracija). Istovremeno je automatski aktiviran sigurnosni program za zaustavljanje koji ima funkciju ispuštanja i rasterećenja tlaka u reaktoru putem sigurnosnih ventila. Požar ispuštenog plina u potkrovlju zapalio je i oko 1200 kg plina koji je ispušten preko rasteretnih cijevi. Požar oslobođenog plina u potkrovlju kompresornice trajao je minutu do dvije, požar plina ispuštenog iz rasteretnih cijevi trajao je u skladu s predviđenim programom rasterećenja 17-20 sekundi, dok je curenje i gorenje plina neposredno na cilindrima (na mjestu puknuća klipova) trajalo oko 2 sata, odnosno do potpunog istjecanja preostale količine etilena iz kompresora i pripadajućih sustava cjevovoda [25].

3.2.1. Postupanje za vrijeme incidenta u petrokemiji Omišalj

Opasna tvar koja je izazvala veliku nesreću, etilen, ima oznaku F+ odnosno vrlo lako zapaljiva tvar [27]. Njegove osnovne karakteristike nalaze se u Sigurnosno-tehničkom listu koji je ovjeren od strane Hrvatskog zavoda za toksikologiju. S njegovim sadržajem upoznati su svi djelatnici pogona, kao i služba sigurnosti, čime su onemogućene greške postupanja u incidentnim situacijama. Neželjene posljedice spriječile su vlastite postrojbe/tim operatera. Nastali požar nije gašen (da se ne bi stvorila eksplozivna smjesa plina i zraka), već je oprema hladena velikim količinama vode iz poplavnog sustava, kao i s mobilnom vatrogasnom opremom vatrogasne jedinice službe sigurnosti Dina d.d. Područje kompresornice, na kojem je izbio požar, okruženo je sustavom kanala koji prvo odvode svu vodu u prihvatni bazen na proizvodnoj jedinici u kojem se uklanjaju potencijalno sva prisutna ulja, a zatim u prihvatne bazene na Lokacijskim procesima. Izvršene analize ovako nastale otpadne vode pokazale su da je u skladu s vodopravnom dozvolom te je s njom postupano u skladu s dosadašnjom praksom. Postupanje procesne smjene, smjene službe sigurnosti kao i ostalih sudionika u incidentu bilo je u skladu s Planom za slučaj opasnosti. Pristup na mjesto nesreće omogućen je nakon pregleda, sanacije te nakon što je utvrđeno da više nema potencijalnih opasnosti od ozljeda [25].

3.2.2. Preporuke novih mjera na temelju iskustva iz nesreće u petrokemiji Omišalj

Sprječavanje ponovnog izbijanja nesreće temeljilo se na nizu mjera poput imenovanja povjerenstva za utvrđivanje uzroka velike nesreće i uspostavljanja kontakta sa serviserom proizvođača visokotlačnog kompresora radi utvrđivanja stvarnog statusa oštećenja, uzroka i posljedica incidenta. Na proizvodnoj jedinici već se koristi najsuvremeniji kontrolni sustav koji prati te u kontrolnu sobu obavještava o porastu svih parametara koji su posljedica mogućih opasnosti (temperatura plina na potisu cilindra, tlakovi usisa i potisa, temperature kliznih staza, vibracije mjerene na kućištu kompresora, temperaturu rashladnog ulja). Na ovakav način želi se postići pravovremeno utvrđivanje problema te zaustavljanje pogona na siguran način da bi se izbjegle neželjene posljedice [25].

4. ANALIZA PROCESA UPRAVLJANJA SIGURNOŠĆU I ZAŠTITOM NA RADU

Posljednjih godina, kultura sigurnosti procesa tema je sve većeg fokusa unutar kemijske procesne industrije. "Kultura sigurnosti" često se opisuje kao "način na koji radimo stvari" ili "kako se ponašamo kada nas nitko ne gleda". Kemijska industrija definirala je kulturu sigurnosti procesa kao "zajednički skup vrijednosti, ponašanja i normi na svim razinama u objektu ili u široj organizaciji koji utječu na sigurnost procesa" [28].

Najznačajnija odrednica kulture sigurnosti procesa je kvaliteta njezinih pisanih programa upravljanja sigurnošću (npr. postupci upravljanja sigurnošću procesa, uključujući program analize opasnosti procesa, sigurnosne procedure prilikom uvođenja tehnoloških promjena, postupak za izvođenje operativnih aktivnosti, pisane korporativne politike i sl.) te koliko dobro pojedinci unutar organizacije, od izvršnog direktora do operatera na terenu, implementiraju i primjenjuju navedene programe.

Sustav sigurnosti na radu sastoji se od pet osnovnih procesa:

- Proces planiranja sigurnosti i zaštite na radu,
- Proces organiziranja zaštite na radu,
- Proces upravljanja ljudskim resursima zaštite na radu,
- Proces vođenja zaštite na radu te
- Proces kontroliranja sigurnosti i zaštite na radu.

Planiranje je osnovni proces na kojeg se nadovezuju ostali procesi logičkim slijedom. Proces kontrole sigurnosti i zaštite na radu, kao zadnji proces, osigurava povratne informacije o uspješnosti sustava sigurnosti na radu, čime se nastavlja i unapređuje sustav sigurnosti na radu kao i potrebnih mjera zaštite na radu [29]. Poboljšanje kulture sigurnosti procesa organizacije počinje s planom u kojem značajnu ulogu imaju inženjeri sigurnosti i zaštite na radu zajedno s menadžerima, koji mogu pomoći u postavljanju visokih kriterija za predanost organizacije učinkovitoj provedbi programa upravljanja sigurnošću i očekivanja tvrtke.

Zakonski propisi zahtijevaju izvođenje ili ponovnu validaciju programa analize opasnosti (PHA) najmanje svakih pet godina kako bi se identificirale, procijenile i kontrolirale opasnosti koje su uključene u proces proizvodnje [30].

4.1. Hijerarhija kontrole sustava

Hijerarhija kontrole, prikazana na slici 24., predstavlja metodu za pružanje učinkovitog smanjenja rizika primjenom (prema robusnosti) inherentno sigurnijeg dizajna, pasivnih zaštitnih mjera, aktivnih zaštitnih mjera i proceduralnih mjera zaštite. Ova strategija promiče slojeviti ili hijerarhijski pristup upravljanju rizikom. Viša aktivnost u hijerarhiji rezultira učinkovitijim smanjenjem rizika. Primjena hijerarhije kontrole u fazi projektiranja najbolja je prilika da se osigura pravilna analiza opasnosti procesa i učinkovito smanjenje rizika, prije implementacije samoga dizajna na terenu. Nakon faze projektiranja, kada je izgradnja dovršena i proces funkcionalan, programi upravljanja sigurnošću procesa kao što su menadžment upravljanja promjenama i sigurnosna analiza procesa važne su aktivnosti za primjenu hijerarhije kontrole za daljnje smanjenje rizika tijekom trajanja cijelog procesa [31].



Slika 24. Hijerarhija kontrole. Viši stupanj hijerarhije (lijevo) osigurava učinkovitije smanjenje rizika [31]

4.2. Standardi industrije

Američki institut za naftu (API), Američko društvo inženjera strojarstva (ASME) i Nacionalni odbor inspektora za kotlove i tlačne posude razvijaju kodekse i

standarde koji detaljno navode zahtjeve i preporučene prakse za zaštitu tlačnih posuda od porasta tlaka.

4.2.1. Američki institut za naftu

API je industrijsko trgovačko udruženje koje razvija standarde i preporučene prakse za industriju nafte i prirodnog plina. Njihove publikacije odnose se na petrokemijska postrojenja, uključujući tvornicu olefina Williams Geismar. U vrijeme incidenta, peto izdanje (2007.) API standarda 521, „Sustavi za rasterećenje i smanjenje tlaka¹²“ (“API 521-2007”) bilo je priznata i općeprihvaćena dobra inženjerska praksa (RAGAGEP) sustava za smanjenje tlaka i osiguranje proizvodnih procesa [32].

API 521-2007 podijelio je smjernice u četiri glavna odjeljka: uzroci nadtlaka, određivanje pojedinačnih stopa rasterećenja, odabir sustava zbrinjavanja i sustav zbrinjavanja. CSB u nastavku identificira slabosti i nejasnoće u smjernicama o “uzrocima nadtlaka”.

API 521-2007 ne ističe posebno hijerarhiju kontrola, međutim, standard se bavi korištenjem administrativnih kontrola i preporučuje korisniku da primijeni "dobru inženjersku procjenu" ili "ispravnu inženjersku prosudbu". API 521-2007 pruža smjernice u vezi s nenamjernim zatvaranjem ručnog blok ventila na izlazu tlačne posude, koja je primjenjiva na ventile na Williamsovih izmjenjivača topline propilenskog frakcionatora. Smjernice korisnicima pružaju izbor između dvije naizgled jednake opcije:

- a) instaliracija uređaja za rasterećenje tlaka,
- b) razvijanje administrativne kontrole.

U smjernicama API 521-2007 stoji: „Nenamjerno zatvaranje ručnog bloka ventila na izlazu tlačne posude za vrijeme rada opreme može izložiti posudu tlaku iznad maksimalnog dopuštenog radnog tlaka. Ako zatvaranje ispusnog ventila može

¹² *Pressure-Relieving and Depressuring Systems* (“API 521-2007”)

dovesti do porasta tlaka, potreban je uređaj za rasterećenje tlaka, osim ako nisu uspostavljene administrativne kontrole“.

Smjernice API 521-2007 upozoravaju korisnika da može doći do katastrofalnog kvara kada se sustav oslanja na administrativnu kontrolu, ali smjernice su nejasne:

Ako tlak koji proizlazi iz neuspjeha administrativnih kontrola može premašiti ispravljeni hidrotest tlak [...], oslanjanje na administrativne kontrole kao jedino sredstvo za sprječavanje nadtlaka nije prikladno. Korisnik se upozorava da neki sustavi mogu imati neprihvatljiv rizik zbog neuspjeha administrativnih kontrola.

U siječnju 2014. godine, sedam mjeseci nakon incidenta u Williamsu, API je objavio novo (šesto) izdanje API standarda 521, Sustavi za smanjenje i smanjenje tlaka (“API 521-2014”). Nova verzija standarda ima značajna poboljšanja koja rješavaju praznine i nejasnoće u API-ju 521-2007 koje su pridonijele incidentu u tvornici Williams. Kada se ocjenjuju situacije kao što su izmjenjivači topline u tvornici Williams, API 521-2014 zahtijeva uređaj za rasterećenje tlaka, zabranjuje oslanjanje na administrativne kontrole i naglašava važnost hijerarhije kontrola [33].

4.2.2. Američko društvo inženjera strojarstva

Kodeks za kotlove i tlačne posude Američkog društva inženjera strojarstva ASME, odjeljak VIII, daje zahtjeve za konstrukciju tlačne posude, inspekciju i ispitivanje, uključujući zahtjeve za zaštitu od nadtlaka. Odjeljak UG-135 “Instalacija” opisuje zahtjeve za postavljanje uređaja za rasterećenje tlaka na tlačnim posudama. UG-135 usmjerava korisnike na neobavezni Dodatak M za smjernice o postavljanju zapornih (blok) ventila između tlačne posude i njezina rasterećenja. Neobavezni Dodatak M, odjeljak M-5.7, navodi da se "zaustavni ventil(i), isključujući ventile s daljinskim upravljanjem i ventile za upravljanje procesom, mogu predvidjeti na putu za rasterećenje gdje obično postoji tijekom procesa [...] [34]."

Prilikom ugradnje zapornog ventila na put između posude i njezinog uređaja za rasterećenje tlaka, u dodatku su navedeni sustav upravljanja i smjernice za projektiranje sustava. U situacijama u kojima bi zatvaranje zapornog (blok) ventila moglo dovesti do pojave nadtlaka u posudi, dodatak omogućuje korisniku da „primjenjuje administrativne kontrole, mehaničke elemente za zaključavanje, kontrole kvara ventila i kontrole rada ventila“. ASME Kodeks za kotlove i tlačne posude, odjeljak VIII, i CSB potiču sve tvrtke da slijede robusnije zahtjeve za rasterećenje tlaka.

4.2.3. Nacionalni odbor inspektora kotlova i posuda pod tlakom

Inspeksijski kodeks Nacionalnog odbora¹³ (NBIC), koji je razvio Nacionalni odbor inspektora kotlova i posuda pod tlakom, izdaje pravila za ugradnju, inspekciju, popravak i izmjene tlačnih posuda. Dio 1, odjeljak 4.5 „Uređaji za rasterećenje tlaka“ pojašnjavaju zahtjeve za postavljanje uređaja za rasterećenje tlaka na tlačnim posudama [35].

Odjeljak 4.5.3 „Lokacija“ navodi:

„Uređaj za rasterećenje tlaka ugrađuje se izravno na tlačnu posudu, osim ako je izvor tlaka izvan posude i pod takvom pozitivnom kontrolom da tlak ne može prijeći najveći nadtlak dopušten izvornim kodeksom konstrukcije; uređaj za rasterećenje tlaka ne može biti izoliran od posude, osim kako to dopušta NBIC dio 1, 4.5.6 e) 2)“. Taj odjeljak navodi: „Za kontinuirani rad procesne opreme... trebaju se osigurati zaporni ventili pune površine između tlačne posude i njezinog uređaja za rasterećenje tlaka samo za potrebe inspekcije i popravka“.

U tvornici Williams, budući da je izvor nadtlaka u izmjenjivačima topline bio unutar posude (rashladna voda koja teče kroz posudu mogla bi potencijalno uzrokovati nadtlak u posudi), NBIC zahtijeva ugradnju uređaja za rasterećenje tlaka izravno na izmjenjivač topline.

¹³ *The National Board Inspection Code (NBIC)*

5. STRATEGIJA ZA POBOLJŠANJE KULTURE I SIGURNOSTI ZAŠTITE NA RADU

Nedostatke u upravljanju procesima sigurnošću i zaštitom na radu koji rezultiraju neželjenim opasnostima, poput akcidenata u Williams Geismar Olefins postrojenju i Dina Petrokemija, važno je analizirati kako bi se uspostavila strategija za poboljšana cjelokupnog sustava. Incidenti nastaju kada se propusti u sustavu upravljanja sigurnosti procesa spoje s izvođenjem radova na komponentama sustava, gdje radnici ne prepoznaju potencijalne opasnosti.

Sigurnosna kultura organizacije određena je kvalitetom pisanih programa upravljanja sigurnošću [36], gdje su na primjeru tvrtke Williams prikazane karakteristike slabe kulture sigurnosti procesa. Slabosti navedene u nastavku pridonijele su incidentu, odražavajući nedostatke i lošu implementaciju postojećeg sustava upravljanja sigurnošću procesa i zaštite na radu:

- Tvrtka Williams nije imala razvijen sustav menadžmenta promjena do 2001., sve dok postrojenje nije započelo rad s instaliranim ventilima, a pridruženi sigurnosni postupak prije pokretanja nije bio potpun. Ove radnje nisu bile u skladu sa zahtjevima sustava upravljanja sigurnošću postrojenja (i propisima); no uprava Williamsa prihvatila je obje prakse;
- Zaporni ventili korišteni kao mjera zaštite za sprječavanje nadtlaka u preporuci analize opasnosti iz 2006. godine, uz niske administrativne kontrole koje bi zahtijevale da se analizira učinkovitost zaštitnih mjera;
- Tvrtka Williams nije slijedila zakonske zahtjeve upravljanja sigurnošću procesa Američke Agencije za sigurnost i zdravlje na radu prema kojima operativne aktivnosti moraju imati strogo definiranu proceduru za sigurno obavljanje posla. Tvrtka nije posjedovala posebnu proceduru zamjene izmjenjivača topline za frakcioniranje propilena. Takav je postupak trebao upozoriti operativno osoblje na potencijalnu opasnost od nadtlaka;
- Williamsova politika upravljanja sigurnošću procesa nije zahtijevala učinkovito rješavanje i provjeru radnji, što je rezultiralo krivom provedbom radnje na terenu;

- Williamsova politika upravljanja sigurnošću procesa nije zahtijevala od zaduženih timova da učinkovito procjenjuju i kontroliraju rizik;
- Operativno osoblje imalo je neformalno ovlaštenje za manipulaciju terenskom opremom u sklopu procjene odstupanja procesa bez prethodnog provođenja procjene opasnosti i razvoja postupka.

Pouke iz akcidenata imaju široku primjenu i na druge organizacije. Prethodno navedeni nedostaci ističu potrebu za pisanim sustavom upravljanja sigurnošću i njegovu učinkovitu implementaciju. Lekcije koje se trebaju razmotriti uključuju:

1. Osigurati da standardi tvrtke uvijek zadovoljavaju ili premašuju propise, industrijske kodekse i standarde te najbolje prakse;
2. Provjeriti je li postrojenje u skladu sa standardima i procedurama kroz aktivnosti kao što su obavljanje revizija i praćenje indikatora;
3. Procijeniti i ojačati organizacijsku sigurnosnu kulturu, uključujući predanost organizacije sigurnosti procesa.

Stavka (3) može biti najzahtjevnija za mjerenje i identificiranje radnji za poboljšanje izvedbe. Prijedlog mjera i identifikatora problema slijedi u nastavku:

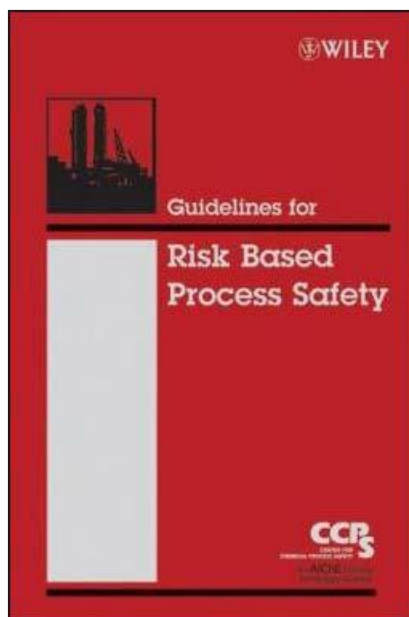
- Vrhovno vodstvo tvrtke stvara kulturu sigurnosti onim područjima na koja obraćaju pažnju. Je li menadžment, od vrha prema niže, uključen u sigurnosne procese? Traže li dokaz sigurnosti, a ne dokaz opasnosti?
- Posjeduje li organizacija kulturu izvještavanja? Potiče li se izvještavanje o incidentima, propustima i nesigurnim uvjetima? Može li osoblje prijaviti takve događaje bez straha od odmazde? Istražuje li tvrtka proaktivno zabrinutost za sigurnost radnika i provodi li pravovremene i učinkovite korektivne radnje?
- Potiče li organizacija kulturu učenja? Ispituje li incidente izvan organizacije? Primjenjuje li relevantne lekcije u cijeloj organizaciji?
- Jesu li zaposlenici učinkovito uključeni u odluke o sigurnosti procesa? Prije donošenja odluka, postoji li otvoren i suradnički proces za procjenu problematičnih područja?

- Jesu li članovi organizacije previše samouvjereni ili održavaju zdrav osjećaj ranjivosti u pogledu sigurnosti? Jesu li zaposlenici podložni normalizaciji devijantnosti¹⁴?

U knjizi Centra za sigurnost kemijskih procesa, *Guidelines for Risk Based Process Safety* (prikazanoj na slici 25.), istaknute su metode koje postrojenje može primijeniti kako bi poboljšalo kulturu sigurnosti procesa [37]:

- Uspostaviti sigurnost procesa kao temeljnu vrijednost;
- Osigurati snažno vodstvo;
- Uspostaviti i provoditi visoke standarde izvedbe;
- Održavati osjećaj ranjivosti;
- Osnažiti pojedince da uspješno ispunjavaju svoje odgovornosti za sigurnost procesa;
- Osigurati stručnost;
- Osigurati otvorenu i učinkovitu komunikaciju;
- Uspostaviti okruženje za istraživanje/učenje;
- Poticati međusobno povjerenje;
- Osigurati pravovremeni odgovor na pitanja i probleme u vezi sa sigurnošću procesa;
- Osigurati kontinuirano praćenje učinka.

¹⁴Normalizacija devijantnosti je prihvaćanje događaja koji se ne bi trebali dogoditi. Objektivni vanjski promatrači vide situaciju kao abnormalnu ili devijantnu, dok se oni unutar sustava na nju naviknu i smatraju je normalnom i prihvatljivom.



Slika 25. Center for Chemical Process Safety (CCPS): Guidelines for Risk Based Process Safety [37]

Još jedan alat za procjenu sigurnosne kulture je korištenje anonimnih procjena sigurnosne kulture osoblja. Te su procjene povijesno provedene anketiranjem zaposlenika na web-stranicama putem upitnika s višestrukim odgovorima. Ustanove također mogu koristiti prakse kvalitativne procjene koje nadilaze jednostavne ankete zaposlenika. Takve procjene sigurnosne kulture uključuju razgovore s osobljem, rasprave u fokus grupama i detaljne analize dokumenata. Uz kvalitativne procjene, radnici stupaju u interakciju s revizorima, koristeći svoje vlastite pojmove i koncepte kako bi izrazili svoje stajalište [37].

6. ZAKLJUČAK

U ovome radu prikazana je važnost korištenja hijerarhije kontrole pri procjeni i odabiru zaštitnih mjera za kontrolu opasnosti procesa, uspostavljanja jake kulture sigurnosti organizacijskih procesa te razvoja robusnih programa upravljanja sigurnošću i zaštitom na radu na primjeru proizvodnje etilena i propilena.

Najistaknutije pouke incidenta u tvornici Williams Geismar Olefins primjenjive su na sva postrojenja koja u proizvodnom procesu koriste opasne tvari poput etilena i propilena. Analiza opasnosti treba biti provedena temeljito kako bi se osiguralo sigurno rukovanje cjelokupnim sustavom, a započinje sveobuhvatnim menadžmentom promjena koji utvrđuje potencijalne opasnosti prilikom izvođenja svih radnih aktivnosti te iste implementira kroz objedinjene operativne postupke. Operativni postupci služe za učinkovitu izvedbu po unaprijed definiranim koracima kojih se djelatnici moraju pridržavati prilikom rukovanja opremom. Konfiguracija opreme te pregled sigurnosti prije pokretanja ključni su za učinkovitu implementaciju promjena u različite komponente sustava. Rukovanje sustavom zahtijeva i sveobuhvatnu obuku svih zaposlenika, a osobito su važne uloge timova zaduženih za analizu opasnosti i menadžment promjena u sustavu. Njihova je zadaća aktivna primjena hijerarhije kontrole te stalni monitoring, analiza i unaprjeđivanje sigurnosnih procesa u skladu s zakonodavstvom. U slučaju tvornice Dina Petrokemija sprječavanje ponovnog izbijanja požara temelji se na mjerama poput imenovanja povjerenstva za utvrđivanje uzroka nesreće i uspostavljanju kontakta sa serviserom proizvođača opreme radi utvrđivanja stvarnog statusa oštećenja, uzroka i posljedica incidenta.

Primjena lekcija iz tvrtke Williams Geismar Olefins i Dina Petrokemija u cijeloj industriji može spriječiti potencijalne opasnosti i unaprijediti sustav sigurnosti i zaštite na radu.

7. LITERATURA

- [1] Alkeni, Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=1800>, pristupljeno: 20. 9. 2021.
- [2] Jukić, A., Parno kreiranje – Piroliza ugljikovodika. Proizvodi etena, propena i butena, https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Jukic_NPI_5_parno_kreiranje_piroliza_CH%5B1%5D.pdf, pristupljeno: 20. 9. 2021.
- [3] Proizvodnja etilena, <https://hr.garynevillegasm.com/obrazovanie/82111-poluchenie-etilena.html>, pristupljeno: 20. 9. 2021.
- [4] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board: Williams Geismar Olefins Plant Reboiler Rupture and Fire Geismar, Louisiana, <https://www.csb.gov/williams-olefins-plant-explosion-and-fire/>, pristupljeno: 12. 9. 2021.
- [5] Alkeni, <https://hr.izzi.digital/DOS/13046/13081.html>, pristupljeno: 20. 9. 2021.
- [6] Etilen. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=18502>, pristupljeno 20. 9. 2021.
- [7] Struktura etilena, <https://pic.weblogographic.com/img/news/247/difference-between-ethylene.png>, pristupljeno: 20. 9. 2021.
- [8] Difference Between Propylene and Polypropylene, <https://pediaa.com/difference-between-propylene-and-polypropylene/>, pristupljeno: 20. 9. 2021.
- [9] Kreiranje. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=33858>, pristupljeno: 20. 9. 2021.
- [10] STL – Deklaracije, upute, <https://hzt.hr/stl-deklaracije-upute.html>, pristupljeno: 10. 10. 2021.

- [11] ECHA (2020) Smjernice za sastavljanje sigurnosno-tehničkih listova, https://echa.europa.eu/documents/10162/23036412/sds_hr.pdf/7d6b80af-ba97-4d98-99dd-3cd01159340a, pristupljeno: 10. 10. 2021.
- [12] Sigurnosno-tehnički list etilena, https://www.hip-petrohemija.com/upload/documents/prodaja/reach/19_SDS_Etilen_srp.pdf, pristupljeno: 10. 10. 2021.
- [13] Sigurnosno-tehnički list propilena, https://slovnaft.sk/images/slovnaft/pdf/about_us/sustainable_development_and_HSE/safety_data_sheets/hr/propilen_ver_7_0_hr.pdf, pristupljeno: 10. 10. 2021.
- [14] ECHA, CLP piktogrami, <https://echa.europa.eu/hr/regulations/clp/clp-pictograms>, pristupljeno: 10. 10. 2021.
- [15] Chemical Safety Facts, Olefins, <https://www.chemicalsafetyfacts.org/olefins/>, pristupljeno: 10. 10. 2021.
- [16] BLEVE. http://www.ericards.net/psp/ericards.psp_guidance?p_lang=18, pristupljeno: 10.10.2021.
- [17] Queen's University Department of Mechanical Engineering, Kingston, Ontario Canada, Recent Fire Testing and BLEVE Research at Queen's University.
<https://me.queensu.ca/People/Birk/Research/ThermalHazards/bleve/FieldTrials2000-2002.html>, pristupljeno: 10.10.2021.
- [18] American Society of Mechanical Engineers. ASME Kodeks kotla i posuda pod tlakom, 2015. Odjeljak VIII, odjeljak 1, UG-135 i neobavezni dodatak M-5.7(3).
- [19] Sigurnosni ventil. <https://www.sewertvplumbing.com/2017/06/08/how-to-install-a-pressure-relief-valve/>, pristupljeno: 15.10.2021.
- [20] Zaporni ventil. <https://wshasia.com/marketplace/store/lockout-tagout-machine-guarding/raahsafety-car-seals-for-valves-locking-seal-in-open-or-close-position/>, pristupljeno: 15.10.2021.

- [21] American Society of Mechanical Engineers. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 2015. Section VIII, Division 1, UG-125.
- [22] Center for Chemical Process Safety (CCPS). Guidelines for Writing Effective Operating and Maintenance Procedures; American Institute of Chemical Engineers: New York, New York, 1996; p 18.
- [23] Center for Chemical Process Safety (CCPS). Guidelines for the Management of Change for Process Safety; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey, 2008; p 157.
- [24] [Center for Chemical Process Safety (CCPS). Guidelines for Process Safety Metrics; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey, 2010; p 30.
- [25] Očevnik prijavljenih velikih nesreća, Podaci o akcidentu, http://rpot.azo.hr/rpot/akcidenti_pdf/DINA_20082009.PDF, pristupljeno: 15.10.2021.
- [26] Potstrojenje Dina Petrokemije na Krku, <https://novac.iutarnji.hr/novac/makro-mikro/bivsi-radnici-dina-petrokemije-dobili-place-ukupno-ce-biti-isplaceno-tri-milijuna-kuna-8279651>, pristupljeno: 15.10.2021.
- [27] Narodne Novine, Prilog IV, Opći zahtjevi i mjerila za razvrstavanje i označavanje opasnih tvari i pripravaka, <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/378395.htm>, pristupljeno: 15.10.2021.
- [28] Wiegmann, Douglas A.; Zhang, Hui; von Thaden, Terry L.; Sharma, Gunjan; Gibbons, Alyssa Mitchell. Safety Culture: An Integrative Review. The International Journal of Aviation Psychology, 2004, Vol 14, No 2, pp 117-134.
- [29] Taradi J., Grošanić N.: "Model procesa planiranja sigurnosti na radu u poslovnom sustavu", Zbornik radova V. Znanstveno-stručne konferencije s međunarodnim sudjelovanjem "Menadžment i sigurnost", Hrvatsko društvo inženjera sigurnosti, Čakovec, 2010., 232-244.
- [30] Guidelines for Hazard Evaluation Procedures. 3rd ed.; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey, 2008.

[31] Center for Chemical Process Safety (CCPS). Inherently Safer Chemical Processes – A Life Cycle Approach. 2nd ed.; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey, 2009; Section 2.1.

[32] API Standard 521, 5th ed. Pressure-relieving and Depressuring Systems, January 2007.

[33] API Standard 521, 6th ed. Pressure-relieving and Depressuring Systems, January 2014, section 4.4.2.1.

[34] American Society of Mechanical Engineers. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 2015. Section VIII, Division 1, Nonmandatory Appendix M, Section M-5.7.

[35] The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors. National Board Inspection Code, 2015.

[36] Center for Chemical Process Safety (CCPS). Conduct of Operations and Operational Discipline—For Improving Process Safety in Industry; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey, 2011, pp 6-7

[37] Center for Chemical Process Safety (CCPS). Guidelines for Risk Based Process Safety; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey, 2007; pp 39-66.

8. PRILOZI

8.1. Popis slika

Slika 1. Struktura etilena [7].....	3
Slika 2. Struktura propilena [8]	4
Slika 3. Shematski prikaz procesa pirolize ugljikovodika uz vodenu paru [2]	5
Slika 4. Vatrene kugla uzrokovana eksplozijom propana (BLEVE) [17]	12
Slika 5. Prikaz proizvodnje etilena i propilena u tvornici Williams [4].....	14
Slika 6. Zatvoreni sustav kruženja rashladne vode u procesu proizvodnje etilena i propilena [4].....	15
Slika 7. Cijevni izmjenjivač topline frakcionatora propilena [4].....	16
Slika 8. Prikaz sustava za frakcioniranje propilena [4].....	17
Slika 9. Grafički prikaz protoka rashladne vode kroz izmjenjivač topline A [4] .	20
Slika 10. Grafički prikaz protoka rashladne vode prije i u trenutku eksplozije [4]	21
Slika 11. Izmjenjivač topline B na kojem je došlo do eksplozije [4].....	22
Slika 12. Frakcionator propilena i izmjenjivači topline A i B nakon incidenta [4]	22
Slika 13. Ulazak procesne tekućine izmjenjivač topline B [4]	24
Slika 14. Prikaz položaja ventila na izmjenjivaču topline B [4].....	25
Slika 15. Prikaz povećanja temperature i tlaka na izmjenjivaču topline B [4] ...	26
Slika 16. Fotografija izmjenjivača topline B nakon incidenta. Sile tijekom događaja spljoštile su cilindrični čelični omotač kotla [4].	27
Slika 17. Ilustracija propilenskog frakcionatora prije incidenta s prikazom cjevovoda. Četiri procesna ventila instalirana su 2001. godine [4].	28
Slika 18. Sigurnosni ventil [19]	31
Slika 19. Zaporni ventil [20]	31
Slika 20. E-poruka tvrtke za inženjerske usluge zaposleniku Williams postrojenja. Sadrži upozorenje da izmjenjivači topline za frakcioniranje propilena nisu zaštićeni od nadtlaka. "SV-421QA/QB" označava zaštitne ventile od visokog tlaka na frakcionatoru propilena. "DA-406" je frakcionator propilena. "EA-425A/B" su izmjenjivači topline za frakcioniranje propilena [4].	35
Slika 21. Novi dizajn sustava u tvornici Williams [4]	37
Slika 22. <i>Guidelines for the Management of Change for Process Safety</i> [23] ..	39

Slika 23. Tvrtka Dina Petrokemija, Omišalj [26].....	42
Slika 24. Hijerarhija kontrole. Viši stupanj hijerarhije (lijevo) osigurava učinkovitije smanjenje rizika [31].....	46
Slika 25. Center for Chemical Process Safety (CCPS): Guidelines for Risk Based Process Safety [37]	53

8.2. Popis tablica

Tablica 1. Sigurnosno-tehnički list etilena [12].....	8
Tablica 2. Sigurnosno-tehnički list propilena [13]	9
Tablica 3. Vremenski slijed događaja koji su prethodili nesreći [4]	18