

# Uzroci eksplozija i požara praškastih gorivih tvari- raščlambe tri primjerka iz prakse

---

Jagodanović, Mirna

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2016

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:128:258246>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-06**



**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 REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

**Mirna Jagodanović**

**UZROCI EKSPLOZIJA I POŽARA  
PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI -  
RAŠČLAMBE TRI PRIMJERA IZ PRAKSE**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2016.



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

Mirna Jagodanović

**POWDER COMBUSTIBLES EXPLOSION  
AND FIRE CAUSES - THREE CASES  
ANALYSIS**

Final paper

Karlovac, 2016

Veleučilište u Karlovcu

Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Mirna Jagodanović

**UZROCI EKSPLOZIJA I POŽARA  
PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI -  
RAŠČLAMBE TRI PRIMJERA IZ PRAKSE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Mr. sc. Damir Kulišić, dipl. ing. kemije

Karlovac, 2016.

## ZAVRŠNI ZADATAK



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Specijalistički studij: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2016.

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Mirna Jagodanović

Matični broj: 0420412013

Naslov: UZROCI EKSPLOZIJA I POŽARA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI - RAŠČLAMBE TRI PRIMJERA IZ PRAKSE

Opis zadatka:

1. UVOD
2. STATISTIKA POJAVNOSTI UZROKA I POSLJEDICE EKSPLOZIJA I POŽARA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI
3. OBILJEŽJA ZAPALJIVOSTI I EKSPLOZIVNOSTI PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI
4. MOGUĆI IZVORI ENERGIJE PALJENJA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI
5. MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITE OD EKSPLOZIJA I POŽARA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI
6. RAŠČLAMBE PRIMJERA SLUČAJEVA EKSPLOZIJA I POŽARA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI
  - 6.1. RAŠČLAMBA UZROKA EKSPLOZIJE I POŽARA U SLUČAJU POGONA TVRTKE "AL SOLUTIONS"
  - 6.2. RAŠČLAMBA UZROKA EKSPLOZIJE I POŽARA U SLUČAJU POGONA TVRTKE "HOEGANAES CORPORATION"
  - 6.3. RAŠČLAMBA UZROKA EKSPLOZIJE I POŽARA U SLUČAJU POGONA TVRTKE "US INK/SUN CHEMICAL CORPORATION"
7. ZAKLJUČAK
- LITERATURA
- PRILOZI

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

.....

.....

.....

Mentor:  
Mr.sc. Damir Kulišić, dipl.ing.kem.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:  
Prof.dr.sc. Zlatko Jurac

# PREDGOVOR

Ovim specijalističkim Završnim radom predodčen je samo jedan manji dio iz mnoštva eksplozijskih i požarnih sigurnosnih problema s kojima se inače stalno ili povremeno susreću svi operateri tehnoloških jedinica te procesni tehnolozi i inženjeri sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija u industrijskim pogonima u kojima se povremeno ili kontinuirano pojavljuju nataložene i/ili uskovitlane prašine čvrstih gorivih tvari. Nadam se da će radom predodčene stručne raščlambe uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka eksplozija i požara u ovom radu obrađenih slučajeva biti zanimljivi ne samo cijenjenom mentoru i profesorima Veleučilišta u Karlovcu koji se bave problematikom sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija, nego i sadašnjim i budućim naraštajima studenata koji u sebi imaju dovoljno istraživačkog duha da ih potakne da se pobliže upoznaju s ovom problematikom i time obogate svoje stručno znanje.

Najveću zahvalnost glede stručnih sadržaja rada dugujem svom mentoru gospodinu mr. sc. Damiru Kulišiću, dipl. ing. kemije, vanjskom suradniku Veleučilišta u Karlovcu, koji svojom stručnošću i strašću prema znanosti te motivacijom studenata na kritički pogled odskače od drugih – ne samo na ovom studiju nego u cjelokupnom mom školovanju. Nadam se da ću jednog dana posjedovati takvo znanje i mogućnost prenošenja istog drugima.

Hvala i svim profesorima Veleučilišta u Karlovcu koji su bili tu za sve nedoumice studenata smjera sigurnosti i zaštite. Svim našim profesorima jedno veliko hvala jer ste nam omogućili kvalitetno obrazovanje i kroz godine nas poticali da vam jednoga dana, nadam se, budemo na ponos.

Posao inženjera zaštite na radu i zaštite od požara može raditi onaj tko se za njega obrazuje, ali živjeti ga i u njemu se razvijati može samo onaj koji u sebi ima i veliku dozu humanosti. Razlozi su individualni, no svatko ima nešto što ga je potaknulo da uskoči u taj bazen odgovornosti. Zahvaljujem se svojoj obitelji na neizmjerne važnoj financijskoj i moralnoj potpori te što su me učinili osobom koja neće odstupati od svojih načela, koja će ovaj odgovoran posao ne raditi, nego živjeti. Na podršci i razumijevanju zbog nedostupnosti i rastresenosti u dane studiranja i rada, veliko hvala mom dečku i mojim najbližim prijateljima.

Nadam se da ću jednoga dana moći, zajedno sa svojim kolegama inženjerima sigurnosti i zaštite od požara i zaštite na radu, djelotvorno pridonositi stvaranju još sigurnijih uvjeta rada i njihovu stalnom stručnom promicanju u svojoj radnoj sredini.

Pozorne detaljne raščlambe tegobnih i tragičnih iskustava iz prošlosti pojedinih požarno i eksplozijski više ili manje opasnih djelatnosti mogu biti iznimno korisne za sigurnost aktualnih i budućih naraštaja uposlenika u svim takvim ili po mogućim opasnostima dovoljno sličnim djelatnostima. Temeljem formalnim i neformalnim (cjeloživotnim) obrazovanjem stečenih potrebnih stručnih znanja i vještina, pouka iz raščlambi uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka slučajeva nesreća u prošlosti te praksi sigurnosti i zaštite dostupnih optimalnih proceduralnih i tehničkih rješenja, može se i mora neprestance nastojati poboljšavati i promicati stanje ukupne sigurnosti i zaštite na svakom radnom mjestu, u sklopu svakog procesa rada ili proizvodnje, kao i u našem uobičajenom svakodnevnom životnom okružju izvan radnog mjesta.

## SAŽETAK

Završnim radom se nastojalo objasniti problematiku opasnosti od požara i eksplozija praškastih gorivih tvari. Prvim dijelom rada obrađena su obilježja onih opasnosti koja utječu na pojavnost slučajeva eksplozija i požara praškastih gorivih tvari te najvažnije značajke i najčešći uzroci njihova nastanka.

U završnom dijelu rada su predložene ekspertne raščlambe tri inozemna (američka) slučaja industrijskih eksplozija i požara praškastih gorivih tvari. Opisani su uvjeti i okolnosti pri kojima je došlo do nastanka ovih nesreća, predložena su obilježja praškastih gorivih tvari koje su se rabile u svakom od tih tehnoloških procesa, analizirani su ključni propusti u poduzimanju mjera protueksplozijske, protupožarne i ine tehnološke sigurnosti i zaštite, propusti u upravnom i inspekcijskom nadzoru nadležnih državnih tijela/sluzbi, kao i kobni propusti u komunikacijama i obrazovanju za sigurnost i zaštitu relevantnog tvrtkinog osoblja.

Do nesreća poput opisanih ovim Završnim radom najčešće dolazi zbog nepoznavanja ili propuštanja poduzimanja (vrstama i oblicima pogibelji primjerenih) propisanih mjera prevencije i propuštanja redovite unutarnje i vanjske kontrole njihove pravilne i potpune provedenosti i stalno održavane funkcionalnosti.

## SUMMARY

This Final paper attempted to explain issues regarding fire and explosion hazards involving combustible dusts. First part of this paper reviews characteristics of those hazard that affect the incidence of cases involving explosions and fires regarding combustible dusts and the most common causes of their occurrence.

The second part of paper presents three American expert cases analysis regarding industrial combustible dusts explosions and fires. The conditions and circumstances which led to these incidents have been described, and the characteristics of combustible dusts used in each of these technological processes, key oversights in fire, explosion and other kinds of prevention, omissions regarding administrative and inspection oversights of state authority jurisdictions, as well as the fatal lapses in safety regarding communication and education of relevant personnel.

Accidents like the ones described in this paper usually occur because of the lack of taking (types and forms appropriate) legitimate acts of prevention and the omissions of making periodical internal and external inspections of their proper and complete implementation, as well as their continuous functionality.



# SADRŽAJ

IV

Stranica

ZAVRŠNI ZADATAK	I
PREDGOVOR	II
SAŽETAK	III
SADRŽAJ	IV
1. UVOD .....	1
2. STATISTIKA POJAVNOSTI, UZROKA I POSLJEDICE EKSPLOZIJA I POŽARA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI .....	2
3. OBILJEŽJA ZAPALJIVOSTI I EKSPLOZIVNOSTI PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI .	6
4. MOGUĆI IZVORI ENERGIJE PALJENJA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI.....	9
5. MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITE OD EKSPLOZIJA I POŽARA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI .....	13
6. RAŠČLAMBE PRIMJERA SLUČAJEVA EKSPLOZIJA I POŽARA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI .....	17
6.1. RAŠČLAMBA UZROKA EKSPLOZIJE I POŽARA U SLUČAJU POGONA TVRTKE „AL SOLUTIONS“ .....	17
6.1.1. Opća obilježja postrojenja .....	17
6.1.2. Opća obilježja tehnološkog procesa .....	18
6.1.2.1. Značajke titana .....	18
6.1.2.2. Značajke cirkonija .....	19
6.1.3. Događaji koji su prethodili nesreći i opis nesreće .....	20
6.1.4. Raščlamba načina, uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka nesreće .....	22
6.1.4.1. Uzrok i način nastanka eksplozije .....	23
6.1.4.2. Svojstva zapaljivosti obrađivanih praškastih gorivih tvari i osnovne mjere prevencije u tvrtci.....	24
6.1.4.3. Stanje glede prevencije akumulacije zapaljive praškaste tvari i poduzetosti inih mjera protupožarne i protueksplozijske zaštite u tvrtci .....	25
6.1.4.4. Eksplozija vodika .....	27
6.1.4.5. Prethodni požari i eksplozije .....	27
6.1.5. Industrijski standardi i analiza regulacije .....	28
6.1.5.1. NFPA 484.....	28
6.1.5.2. Primjenjivost propisa standarda NFPA 484 .....	30
6.1.5.3. OSHA standardi .....	30
6.1.5.4. Požarni propisi West Virginie .....	31
6.1.6. Sigurnosne preporuke AL Solutionsu .....	32

6.1.7. Faktografska rekonstrukcija .....	33
6.2. RAŠČLAMBA UZROKA EKSPLOZIJE I POŽARA U SLUČAJU POGONA TVRTKE „HOEGANAES CORPORATION“ .....	35
6.2.1. Opća obilježja tehnološkog procesa .....	35
6.2.2. Nesreće .....	35
6.2.3. Ispitivanje svojstava praškastih gorivih tvari .....	38
6.2.3.1. Hoeganaesovo ispitivanje zapaljivosti prašine.....	39
6.2.4. Uzrok zapaljenja, uvjeti i okolnosti nastanka nesreće.....	40
6.2.4.1. Stanje glede prevencije akumulacije zapaljive praškaste tvari i poduzetosti inih mjera protupožarne i protueksplozijske zaštite u tvrtci .....	41
6.2.5. Propisi i regulatorni previdi.....	42
6.2.5.1. NFPA.....	42
6.2.5.2. Međunarodni protupožarni propisi.....	44
6.2.5.3. OSHA .....	44
6.2.5.4. Izdane preporuke .....	45
6.2.6. Faktografska rekonstrukcija .....	46
6.3. RAŠČLAMBA UZROKA EKSPLOZIJE I POŽARA U SLUČAJU POGONA TVRTKE „US INK/SUN CHEMICAL CORPORATION“ .....	49
6.3.1. Opća obilježja tehnološkog procesa .....	49
6.3.1.1. Sustav za skupljanje prašine.....	50
6.3.1.2. Tvari korištene u vrijeme nesreće .....	51
6.3.2. Događaji koji su prethodili nesreći i opis nesreće.....	52
6.3.3. Raščlamba načina, uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka nesreće .....	54
6.3.3.1. Ljudski faktor .....	54
6.3.3.2. Testiranje minimalne energije paljenja i test eksplozivnosti i posebne zapaljivosti prašine.....	55
6.3.4. Stanje glede prevencije akumulacije zapaljivih tvari i poduzetosti inih mjera protupožarne i protueksplozijske zaštite .....	55
6.3.5. Propisi, regulatorni previdi i drugi propusti .....	57
6.3.5.1. Izdane preporuke .....	59
6.3.6. Faktografska rekonstrukcija .....	60
7. ZAKLJUČAK .....	62
LITERATURA .....	63
POPIS PRILOGA.....	64

## 1. UVOD

Iako nisu relativno učestali (u odnosu na gorive plinove i pare gorivih kapljevina), slučajevi eksplozija u zraku raspršenih i požara nataloženih praškastih gorivih tvari nerijetko imaju vrlo teške posljedice. Kako se mijenjaju tehnologije proizvodnje ili prerade pri kojima se proizvode, obrađuju ili usput pojavljuju praškaste gorive tvari, tako se mora pratiti i primjenjivost i učinkovitost dotad rabljenih mjera protupožarne i protueksplozijske prevencije te razvijati nove, djelotvornije. Poznato je kako se nastanak bilo koje vrste požara ili eksplozije može spriječiti ili barem veću štetu izbjeći ili umanjiti na dva načina: sprječavanjem mogućnosti stvaranja uvjeta za nastanak pojave požara ili eksplozije te sprječavanjem njihova mogućeg utjecaja na dalje razvijanje i eskaliranje takve vrste štetnog događaja u veću ili veliku nesreću.

Obrađeni slučajevi nesreća u ovom radu pokazuju kako ni jedan od ta dva načina nije bio primijenjen u cijelosti ili tehnički ispravno, sukladno propisima. Naime, pojava pripaljivanja zapaljive praškaste tvari nije spriječena, jer nije postojao odgovarajući način nadzora nad mogućim izvorima energije paljenja, kao ni odgovarajući način sprječavanja kontakta zapaljive tvari i mogućih izvora energije paljenja. Kako stvaranje povoljnih uvjeta za nastanak zapaljenja nije spriječeno, tako nisu osigurani ni svi propisani nužni uvjeti za izbjegavanje ili barem ublaživanje mogućih učinaka i posljedica eventualnih početnih eksplozija i/ili požara. Pored navedenih propusta tehničke ili tehnološke naravi, uočljivo je kako je jednako ozbiljan sigurnosni problem tvorila nedovoljna stručna, specijalizacijska i sigurnosna obrazovanost i uvježbanost radnika nesrećom pogođenih tvrtki, raspoređenih na sve one poslove i zadaće u sklopu kojih postoji stanovit rizik od požara i/ili eksplozija, za što je isključivo odgovoran vrh tvrtkine upravljačke piramide. Da su više upravljačke razine nesrećom pogođenih tvrtki bile dobro upućene u sve probleme protupožarne i protueksplozijske sigurnosti i zaštite svojih tvrtki i da su imale stručno adekvatno obrazovane zaposlenike koji su svoja znanja mogli prenijeti na niže razine, do radom opisanih nesreća vrlo vjerojatno ne bi ni došlo, ili bi makar njihove posljedice vjerojatno mogle biti bitno blaže.

Cilj izrade rada ovakve teme je pobliže upoznavanje s posebnostima eksplozija i požara praškastih gorivih tvari, kako bi sve osobe, od najviše do najniže razine u tvrtki u kojoj se opasnosti te vrste mogu pojaviti, mogle biti upućene u rizike koji se javljaju na njihovim radnim mjestima. Samo ukoliko razumijemo rizike kojima se prepuštamo obavljanjem poslova koji uključuju praškaste gorive tvari možemo raditi na poboljšanju uvjeta rada i pridavati veću (u potpunosti zahtijevanu i potrebnu) pozornost primjerenoj stručnoj osposobljenosti.

Metode korištene pri obradi teorijskog dijela teme ovog rada su metoda analize sadržaja dostupne, tematski pogodne domaće i inozemne stručne literature u tiskanom i elektroničnom obliku, a pri obradi primjera iz istražiteljske prakse metoda analize slučaja, uz pomoć javno dostupnih službenih ekspertnih istražnih izvješća o tim nesrećama.

## 2. STATISTIKA POJAVNOSTI, UZROKA I POSLJEDICE EKSPLOZIJA I POŽARA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI

Jedini način da se ukaže na važnost potencijalnih opasnosti od eksplozija i požara zapaljivih praškastih gorivih tvari je statističko praćenje podataka o već nastalim događajima eksplozija i požara u kojima su sudjelovale zapaljive praškaste gorive tvari. Ovo poglavlje iznosi neka od istraživanja o brojnosti i pojavnosti eksplozija i požara praškastih gorivih tvari, kao i posljedica koje isti ostavljaju za sobom. Bez praćenja učestalosti pojedinih uzroka nastanka, mjesta nastanka, vrste tvari koje su sudjelovale u nastanku eksplozija i požara te posljedica koje isti ostavljaju za sobom (velike materijalne štete i gubici ljudskih života), nije moguće u postojeće sustave implementirati tomu primjerene mjere protupožarne i protueksplozijske sigurnosti i zaštite, ni razvijati nove, još učinkovitije tehnologije prevencije.

Raznovrsni kvarovi i nepravilan rad tehnoloških jedinica ili njihove opreme vrlo često dovode do pojave uzročnika paljenja eksplozivne atmosfere raspršenih praškastih gorivih tvari. Svaki kvar ne znači odmah i pojavu uzročnika paljenja, ali se mora razmatrati kao potencijalni uzročnik paljenja eksplozivne atmosfere. Praćenje statističkih podataka o uzročnicima paljenja jasno ukazuje na koje se uzročnike paljenja eksplozivne atmosfere treba fokusirati kako bi se poduzele tomu odgovarajuće nužne mjere protupožarne i protueksplozijske sigurnosti i zaštite. Statistički podaci pokazuju kako u industrijskim postrojenjima s eksplozivnom atmosferom gorive prašine prvi po učestalosti su mehanički uzročnici paljenja, prosječno u 33% do 70% slučajeva. Pritom je utvrđeno kako su ti uzročnici paljenja mehaničke naravi najčešće, tj. u 58% slučajeva, vezani uz ležajeve postrojenja. U 426 slučajeva eksplozije gorive prašine, vruće površine, mehaničke iskre i trenje činile su preko 70% svih uzročnika paljenja [1].

Eksplozije oblaka raspršenih pojedinih vrsta praškastih gorivih tvari, ovisno o njihovoj usitnjenosti, koncentraciji u smjesi sa zrakom, ogrjevnoj moći, brzini izgaranja, maksimalnom nadtlaku eksplozije i maksimalnoj brzini rasta nadtlaka eksplozije, mogu u pojedinim slučajevima tvoriti veću pogibelj od inih vrsta eksplozija u procesnoj industriji, čak i od eksplozija zapaljivih oblaka mnogih vrsta gorivih plinova ili para mnogih vrsta gorivih kapljevina.

Više od 70% svih vrsta prašina koje se pojavljuju u procesnoj industriji je zapaljivo. Usporedbe učestalosti uzročnika paljenja po mjestima (elevatori, mlinovi) i načinima eksplozije (primarna eksplozija) u postrojenjima sa zapaljivim prašinama prikazane su u sljedećoj tablici [2].

Tablica 1. Uzročnici paljenja u najznačajnijim eksplozijama prašine [2, 3].

Uzročnik paljenja		Učestalost [%]		
		Primarna eksplozija	Elevatori	Mlinovi
Mehanički uzročnici	Zavarivanje	10	24,3	12
	Plamen	7,8	-	12
	Trenje	8,5	-	4
Električni		4,3	6	4
Munja		2,8	1,5	-
Statički elektricitet		4,5	1,5	-
Nepoznato		60	25,7	34

Utvrđeno je da su mehaničke iskre najučestaliji uzročnici paljenja eksplozivne atmosfere praškastih gorivih tvari u silosima, mlinovima i postrojenjima za mljevenje. Pražnjenje statičkog elektriciteta najučestaliji je uzročnik paljenja u postrojenjima s miješalicama koje sadrže eksplozivnu atmosferu praškastih gorivih tvari polimernih materijala [3].

Tablica 2. Učestalost uzročnika paljenja u eksplozijama praškastih gorivih tvari u SR Njemačkoj [4].

UZROČNIK PALJENJA	UČESTALOST [%]
Mehanička iskra	30
Nepoznato	11,5
Mehaničko trenje	9
Statički elektricitet	9
Tinjajuća gnijezda	9
Plamen	8
Vruće površine	6,5
Samozapaljenje	6
Zavarivanje	5
Električna oprema	3,5
Ostali	2,5

Spontano samozapaljenje nije bilo učestalo. Elektrostatički naboj je bio dominantni izvor zapaljenja u postrojenjima za miješanje, ali je nastajao gotovo isključivo pri radu s prašinama umjetnih polimera. Miješalice su učestali strojevi u tvornicama koje rade s prašinama takvih polimera, a kombinacija miješalice i prašine polimera je predvodnik generiranja elektrostatskih izboja. Pojavnost eksplozija koje uključuju zapaljive praškaste kovine bila je dvostruko veća u SR Njemačkoj nego li u SAD-u. Brojnost slučajeva eksplozija u SR Njemačkoj i SAD-u pobliže raščlanjuje Eckhoff u knjizi „Eksplozije praškastih tvari u procesnoj industriji“ [5].

Neke od statističkih razdioba slučajeva eksplozija zapaljivih praškastih gorivih tvari, obrađene u navedenoj knjizi cijjenjenog autora, predočene su tablicama 3 – 5.

Tablica 3. Vrste i posljedice eksplozija praškastih gorivih tvari u SAD-u, u razdoblju 1900.-1956. [5].

Vrsta prašine	Eksplozija		Smrtni ishodi			Ozljede			Materijalne štete	
	Broj	(%)	Broj	(%)	Po eksploziji	Broj	(%)	Po eksploziji	Milijuna USD	Po eksploziji
Drvo i kora	162	14,5	38	5,6	0,23	160	9	0,99	11,4	0,070
Hrana i hrana za životinje	577	51,4	409	60,5	0,71	1061	60	1,84	75,8	0,131
Kovine	80	7,1	108	16,0	1,35	198	11,2	2,48	3,2	0,040
Umjetni polimeri	61	5,4	44	6,5	0,72	121	6,8	1,98	3,7	0,061
Ugljen (ne rudnici)	63	5,6	30	4,4	0,48	37	2,1	0,59	1,6	0,025
Papir	9	0,8	0	0	0	0	0	0	0,5	0,056
Ostalo	171	1,2	47	7	0,27	193	10,9	1,13	4,3	0,025
Ukupno	1123	100	676	100		1770	100		100,5	

Tablica 4. Vrste i posljedice eksplozija praškastih gorivih tvari u SR Njemačkoj, u razdoblju od 1965. do 1980. godine [5].

Vrsta prašine	Eksplozija		Smrtni ishodi			Ozljede		
	Broj	(%)	Broj	(%)	Po eksploziji	Broj	(%)	Po eksploziji
Drvo i kora	113	31,6	12	11,7	0,11	124	25	1,10
Hrana i hrana za životinje	88	24,7	38	36,8	0,43	127	26	1,44
Kovine	47	13,2	18	17,5	0,38	91	18,5	1,94
Umjetni polimeri	46	12,9	18	17,5	0,39	98	20	2,13
Ugljen (ne rudnici)	33	9,2	7	6,8	0,21	39	8	1,18
Papir	7	2	0	0	0	0	0	0
Ostalo	23	6,4	10	9,7	0,43	13	2,5	0,56
Ukupno	357	100	103	100		492	100	

Sljedeća tablica (tablica 5.) ukazuje na povećanje pojavnosti eksplozija praškastih gorivih tvari u sustavima za skupljanje prašine, u razdoblju od 5 godina (1980.-1985.) za 2,9%, što je najveći porast među obrađenim slučajevima.

Tablica 5. Učestalost primarne uključenosti raznih vrsta procesnih objekata u 426 eksplozije praškaste gorive tvari i razdioba eksplozija raznih vrsta praškastih gorivih tvari [5].

Vrsta tehnološkog objekta	Ukupno od 426 eksplozija			Drvo i drvni proizvodi	Ugljen i treset	Hrana i hrana za životinje	Umjetni polimeri	Kovine
	Broj	% od ukupnog	% promjene '80./'85.					
Silos i spremišta	86	20,2	0	35,9	23,1	22,9	2	2
Sustavi za skupljanje prašine	73	17,2	+2,9	18	5,1	9,5	13,5	45,6
Mljevenje i drobljenje	56	13	-0,7	7	12,8	18,1	15,4	5,3
Prijenosni sustavi	43	10,1	0	4,7	5,1	26,7	17,3	2
Sušionice	34	8	+0,4	10,2	2	7,6	9,6	2
Peci	23	5,4	+0,1	10,9	18	2,0	0	0
Miješanje	20	4,7	+0,2	0	5,1	2,0	17,3	3,5
Oštrenje i poliranje	19	4,5	0	3,9	0	0	2	22,8
Naglavci i klasifikatori	12	2,8	-0,3	4,7	0	2,8	0	3,5
Nepoznato i ostalo	60	14,1	-2,6	4,7	28,8	8,4	22,9	13,3
<b>Ukupno</b>	<b>426</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Kada dođe do eksplozije, posljedice mogu biti goleme. Ne samo da izazivaju razaranje postrojenja, građevina, strojeva, nego njihov udarni val sa sobom nosi krhotine i dijelove svega uništenog, ugrožavajući tako sve radnike koji se nalaze u blizini mjesta nastanka eksplozije. U slučaju većih razaranja posljedice mogu biti štetne i za okolno stanovništvo.

### 3. OBILJEŽJA ZAPALJIVOSTI I EKSPLOZIVNOSTI PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI

Kemijske eksplozije se (osim prema brzini širenja reakcije – na deflagacijske ili detonacijske eksplozije) dijele na eksplozije na otvorenom i eksplozije u zatvorenom prostoru. Dalje ih se razvrstava na eksplozije tvari u zgusnutoj ili razrijeđenoj fazi, uz bitnu značajku svake podgrupe: eksplozije tvari u zgusnutoj fazi vrijede samo za eksplozivne tvari, a eksplozije tvari u razrijeđenoj fazi samo za gorive tvari u zapaljivoj smjesi sa zrakom. Potonja je od bitnog značaja za ovaj rad, jer u nju se ubrajaju eksplozije gorivih plinova, eksplozije para gorivih kapljevina te eksplozije zapaljivih aerosola u koje spadaju i eksplozije oblaka zapaljivih prašina, koje su tema ovoga rada [6].

Postoje dva tipa eksplozivne atmosfere praškastih gorivih tvari. Prvi tip je uzvitlana prašina (oblak) koja može činiti eksplozivnu atmosferu, koja se ponaša približno jednako kao i atmosfera zapaljivih plinova i zraka. Drugi tip eksplozivne atmosfere praškastih gorivih tvari može činiti nataložena prašina, koja se može na bilo koji način uzvitlati i stvoriti eksplozivnu atmosferu. Prašina nataložena na zagrijanu površinu može se zapaliti ako je temperatura zagrijane površine iznad temperature tinjanja sloja nataložene prašine, čije paljenje također može uzrokovati vitlanje preostale prašine i potom uzrokovati eksploziju oblaka prašine. Zapaljenje naslaga prašine je među najučestalijim uzročnicima požara koji u industriji vrlo često dovode do eksplozija prašina [4].

Sloj praškaste gorive tvari smatra se zapaljivim ako se može zapaliti vanjskim izvorom energije paljenja i ako se njegovo dalje izgaranje nastavi u dovoljnoj mjeri i onda kada se vanjski izvor energije ukloni. Drugo mjerilo zapaljivosti sloja prašine je razred gorenja. Ta klasifikacija temelji se na ponašanju definirane količine prašine kada je podvrgnuta plamenu plinskog plamenika ili užarenoj žici platine:

1. kategorija: nema paljenja, nema samoodržavanja plamena;
2. kategorija: kratko paljenje i brzo gašenje, lokalno izgaranje kratkog trajanja;
3. kategorija: mjestimično gori ili žarenje bez širenja; lokalno izgaranje, ali ne i rasprostiranje;
4. kategorija: širenje izgaranja, propagacija tinjanjem i izgaranjem;
5. kategorija: širenje plamtećeg izgaranja; propagiranje izgaranja plamenom i
6. kategorija: eksplozivno izgara; eksplozivno izgaranje [7].

Jedini način da se izbjegne paljenje tih slojeva je sprječavanje zagrijavanja kućišta opreme na kojima se prašina taloži iznad kritično opasnih temperatura [4].

U suvremenoj industriji sve se više upotrebljavaju materijali u praškastom stanju. Kao i kod para mnogih vrsta gorivih kapljevina (tekućina) i gorivih plinova, tako su i kod mnogih vrsta praškastih gorivih tvari raspršenih u zraku normno utvrđene koncentracije donje granice zapaljivosti (eksplozivnosti) u smjesi sa zrakom te u smjesi s čistim kisikom. Za razliku od para gorivih kapljevina i gorivih plinova, donje granice zapaljivosti kod prašina se izražavaju u  $\text{g/m}^3$ . Kod uobičajenih tehnoloških prašina donja granica eksplozivnosti je između 20 i 60  $\text{g/m}^3$ , gornja granica eksplozivnosti između 2000 i 6000  $\text{g/m}^3$ , a temperatura paljenja između 200° C i 600° C. Sve prašine mogle bi se svrstati u četiri klase u odnosu na donju granicu eksplozivnosti i temperature paljenja:

- 1. klasa: ovdje spadaju najopasnije prašine, čija je donja granica eksplozivnosti do 15  $\text{g/m}^3$ , a tu se ubrajaju: sumpor, naftalin, kolofonij, šećerna prašina, tresetna prašina, tekstilna prašina,...



- 2. klasa: prašine s donjom granicom eksplozivnosti od 16-65 g/m<sup>3</sup>, a to su aluminijska prašina, škrob od krumpira, prašina od sijena,...

Treća i četvrta klasa su požarno opasne prašine.

- 3. klasa: prašine čija je temperatura paljenja do 250° C (duhanska prašina)

- 4. klasa: sve prašine čija temperatura paljenja iznosi više od 250° C.

Prašine treće i četvrte klase imaju donju granicu eksplozivnosti višu od 65 g/m<sup>3</sup> [8].

Obilježja svake eksplozije oblaka raspršene praškaste gorive tvari ovise o obilježjima vrste tvari koja je uključena u proces. Bitne značajke koje utječu na obilježja svake od eksplozija praškaste gorive tvari su stupanj usitnjenosti predmetne tvari, njena koncentracija u atmosferi, stupanj vlažnosti, vrsta izvora topline, stupanj turbulencije i količina kisika u atmosferi prostora. Navedena obilježja pobliže su opisana kasnije u poglavlju.

Prema NFPA 68, prašine su čestice s veličinom manjom od 420 μm. Industrije posebno podložne eksploziji prašine su farmaceutska, petrokemijska i prehrambena, pa sve do prerade drveta i postrojenja s ugljenom. U svim postrojenjima u kojima se barem u jednom dijelu procesuiraju, transportiraju ili skladište praškastih gorivih tvari organskog podrijetla, prašine samo gorivih vrsta anorganskih tvari (ne samo prašine metala), ugljene prašine ili prašine pojedinih gorivih polimernih materijala postoji povećana opasnost od eksplozije [7].

Tvari koje dolaze u obliku prašine ili od kojih može nastati prašina su primjerice poljoprivredni proizvodi, prehrambeni proizvodi, plastične mase, guma, tekstil, drvena prašina, metali, ugljen, itd. Proizvodne operacije pri kojima se stvaraju, upotrebljavaju ili prenose praškasti materijali su mljevenje, drobljenje, prosijavanje, sušenje, raspršivanje, rezanje, glodanje, presipavanje, ... Broj eksplozija nastalih od paljenja praškastih tvari relativno je mali, ali su štete koje pri tome nastaju vrlo velike [8].

Posebno potencijalno požarno i eksplozijski opasne vrste tehnoloških operacija su mljevenje, usitnjavanje i disperziranje zapaljivih i otrovnih krutina. Povećanju potencijalne požarne i eksplozijske opasnosti znatno pridonose brojne skupine odstupanja koje mogu biti uzročnikom požara, eksplozije ili inih štetnih događaja u industriji, od kojih su neke:

-odstupanja od graničnih vrijednosti veličina glavnih radnih parametara (odstupanja od kemijskog sastava, kemijske reaktivnosti, odstupanja od količine, protoka i brzine, odstupanja od temperature, tlaka, položaja, mehanička naprezanja...),

-odstupanja opasnih svojstava tvari zbog odstupanja kemijskog sastava i strukture tvari ili radnih uvjeta i okolnosti u odnosu na standardne (odstupanja temperature samozapaljenja, iniciranog paljenja, tinjanja, izgaranja, samozagrijavanja,...),

-temeljna odstupanja i propusti (propusti pri puštanju u rad, u tehničkoj izvedbi, održavanju, kontroli, ispitivanju te tehnološkom i upravnom nadzoru, promjena zahtjeva i zahvati bez prethodne raščlambe njihovih utjecaja i prosudbe ugroženosti s aspekta tehnološke sigurnosti, izostanak definiranja zadaća, poslova i obveza kontrolora za pojedine dijelove tehnološkog procesa, nepoznavanje svih vrsta opasnosti koje proizlaze iz pojedinih svojstava materijala s kojima se rukuje, ljudske pogreške, propusti i sabotaze),

-ljudske pogreške (propuštanje obavljanja nekih propisanih radnji, nepravilno obavljanje propisanih radnji, obavljanje radnji pogrešnim redoslijedom, nepravodobno obavljanje pojedinih koraka) [9].

Čimbenici koji utječu na iniciranje i tijek eksplozije neke praškaste gorive tvari su:

### **1. Kemijski sastav prašine**

**2. Stupanj usitnjenosti prašine** - jedan od najvažnijih fizikalnih čimbenika koji utječu na eksplozivnost prašine. Ukupna površina svih čestica neke praškaste gorive tvari raspoloživa za oksidacijsku reakciju s kisikom iz zraka je to veća što je promjer čestica manji. Veća vanjska površina omogućava lakši dodir s kisikom iz zraka i brži prijenos topline, što znači da opasnost od eksplozije prašine naglo raste smanjenjem veličine čestica [8].

**3. Koncentracija prašine** – za kukuruzni škrob niskog sadržaja vlage, pri normalnom tlaku i temperaturi, minimalna koncentracija (tj. donja granica) zapaljivosti iznosi oko  $70 \text{ g/m}^3$ , stehiometrijska koncentracija u smjesi sa zrakom je  $235 \text{ g/m}^3$ , eksplozijski najopasnija koncentracija je oko  $500 \text{ g/m}^3$ , a maksimalna koncentracija eksplozivnosti (tj. gornja granica zapaljivosti) približno se kreće u rasponu  $1500\text{-}2500 \text{ g/m}^3$ . Za praškaste kovine minimalna koncentracija eksplozivnosti je znatno veća nego za prašine organskog porijekla [5].

**4. Sadržaj vlage** - vlaga pridonosi sljepljivanju sitnih čestica u veće i otežava učinak djelovanja izvora topline budući da se dio topline prvo troši na isparavanje vode iz prašine.

**5. Izvor topline** - ako su ispunjeni svi ranije navedeni uvjeti, eksplozija će se dogoditi jedino uz dovoljno dugu prisutnost izvora topline odgovarajućeg intenziteta. U industriji su takvi izvori mnogobrojni; tople površine sušionica, peći, električne iskre, iskre od trenja materijala itd.

**6. Turbulencija** - na jačinu eksplozije praškastih tvari znatno utječe i stupanj turbulencije eksplozivne smjese prašina u zraku. Kao mjerilo jačine eksplozije služi brzina porasta tlaka, a ona je izravno povezana sa stupnjem turbulencije smjese koja eksplodira [8].

Ukoliko oblak prašine gori, turbulencija ubrzava miješanje vrućih izgarajućih čestica oblaka s još nezapaljenim česticama, pa oblak postaje mjesto izmjene topline između vrućih gorućih i hladnih negorućih čestica koji stoga gori mnogo brže nego li propagacijom fronte jednoličnog plamena kroz oblak u stanju mirovanja. U slučaju paljenja oblaka prašine električnom iskrom ili vrućom površinom, turbulentno strujanje prašnjave atmosfere ometa prijenos topline između čestica prašine uklanjanjem te topline brzim kovitlajućim izmjenama smjera i brzine strujanja čestica. Zapaljenje turbulentnog oblaka prašine stoga zahtijeva veću energiju ili temperaturu paljenja nego li oblak u stanju mirovanja [5].

**7. Količina kisika** u atmosferi prostora – jakost eksplozije i osjetljivost na zapaljenje oblaka prašine povećava se rastom količine kisika u atmosferi u kojoj je prašina suspendirana. I tlak eksplozije i brzina rasta tlaka eksplozije se povećavaju s većim sadržajem kisika u atmosferi [5].

Jedna od najvažnijih značajki praškastih gorivih tvari je da se smanjivanjem veličine čestice prašine znatno povećava ukupna površina koja je u kontaktu s kisikom. Što su čestice manje, to je veća vjerojatnost da se takav oblak prašine zapali i eksplodira jer je potrebna manja inicijalna energija za njegovo paljenje [7].

Iako jačina eksplozije i težina njenih učinaka ovise o prethodno navedenim obilježjima praškastih gorivih tvari, te o vrsti, geometriji i inim važnim značajkama prostora njihova odvijanja, obilježja učinaka kojima sve eksplozije praškastih gorivih tvari rezultiraju su:

-vrlo snažno, relativno brzo i u relativno velikom prostoru naglo stvaranje „vatrenog oblaka eksplozije“ koji nerijetko izaziva naknadni požar i smrtonosne opekline na nezaštićenom tijelu svih zatečenih osoba u toj zoni,

-vrlo snažno potisno i odbacujuće te rušilačko djelovanje udarnog vala goleme mase vrelih plinovitih produkata izgaranja i mase zraka (udarnog zračnog vala) potisnutog na gibanje,

-rušilačko, gnječeće i probojno djelovanje tako odbačenih teških krhotina, i

-vrlo opsežno i ubojito ugušujuće i vakuumsko djelovanje podtlaka atmosfere [9].

## 4. MOGUĆI IZVORI ENERGIJE PALJENJA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI

Mogući, požarno/eksplozijski potencijalno opasni izvori energije paljenja praškastih gorivih tvari mogu biti mnogobrojni. Osim svojstava tvari koje se koriste u tehnološkom procesu, bitnu ulogu na mogućnost nastanka njihova zapaljenja imaju i drugi čimbenici vezani za samo izvođenje tehnološkog procesa, kao što su mnogobrojne vrste mogućih požarno/eksplozijski možebitno opasnih odstupanja od tehnološki zadanih procesnih/radnih parametara. Ta odstupanja mogu nastati kao rezultat ljudske nepažnje (nedovoljno poznavanje tehnološkog procesa ili nedostatno praćenje parametara prilikom izvođenja radnji u tehnološkom procesu), no bitnu ulogu mogu imati i neispravni ili neadekvatni dijelovi procesne opreme, nepravilno ugrađena procesna oprema, snižena kvaliteta tvari koje se koriste u tehnološkom procesu (zbog neprikladnog skladištenja), kao i odstupanja bitnih parametara nastala kombinacijom prethodno navedenih odstupanja/kvarova.

Prema vrstama „praktičkih“ izvora energije paljenja gorivih tvari, dijele se na otvorene plamenove, električne lukove i iskrenja, vruće pregrijane površine, mehaničke i kemijske iskre, termičke učinke mikrobioloških procesa, apsorpcije, adsorpcije, otapanja, razrjeđivanja i drugih egzotermnih procesa, toplinski učinci procesa adijabatskog stlačivanja plinova i para, tlačnih udarnih valova i ubranog strujanja plinova, elektromagnetsko i ionizirajuće zračenje te ultrazvuk.

Otvoreni plamenovi i vrući plinovi procesa običnog ili eksplozivnog izgaranja te deflagacijskog ili eksplozivnog razlaganja su izvori energije uvijek bogati dovoljnom količinom toplinske energije izvora i dovoljno visoke temperature izvora za uspješno zapaljenje svih standardno gorivih tvari, a posebice svih lakozapaljivih tvari.

Električni lukovi i iskrenja su izvori energije paljenja relativno visoke temperature paljenja ali ne uvijek i dovoljne energije paljenja za uspješno zapaljenje većine gorivih tvari; najlakše pale zapaljive i eksplozivne smjese gorivih plinova, para i aerosola s kisikom ili zrakom.

Vruće ili pregrijane površine su izvori energije paljenja najčešće dovoljno bogati energijom paljenja, ali ne uvijek i dovoljno visoke temperature za zapaljenje većine gorivih tvari. Zapaljenje stoga ne nastaje odmah, nego nakon postupne karbonizacije.

Mehaničke i kemijske iskre su izvori energije često dovoljno visoke temperature paljenja, ali uglavnom nedovoljno bogati energijom za zapaljenje većine kompaktnih masa čvrstih gorivih tvari.

Termički učinci mikrobioloških procesa, apsorpcije, adsorpcije, otapanja, razrjeđivanja i drugih egzotermnih procesa najčešće oslobađaju dovoljnu količinu energije, a ponekad i dovoljno visoku temperaturu procesa za zapaljenje većine gorivih tvari.

Toplinski učinci adijabatskog stlačivanja plinova i para, tlačnih udarnih valova i ubranog strujanja plinova koji su jaki oksidansi, reducensi ili iznimno nestabilni, mogu generirati dovoljnu količinu energije i dovoljno visoku temperaturu za zapaljenje većine gorivih lakozapaljivih tvari u kapljevitaj ili plinovitoj fazi, ili aerosola.

Elektromagnetsko i ionizirajuće zračenje i ultrazvuk mogu imati, predavati ili inducirati dovoljnu energiju i dovoljno visoku temperaturu tvari za zapaljenje nekih gorivih tvari [9].

U nastavku su navedeni i opisani neki od najučestalijih uzroka nastanka zapaljenja praškastih gorivih tvari do kojih može doći nepridržavanjem propisanih pravila pri izvođenju i nadzoru radova u svim segmentima nekog tehnološkog procesa s praškastim i inim gorivim tvarima.

### Ljudski čimbenik

Velik broj požara čovjek izazove zbog nepoznavanja opasnosti u sredini u kojoj radi. Teško je razaznati je li do nesreće došlo zbog nehaja ili namjernog propuštanja izvođenja pravilnog postupka [8]. Najbolje rješenje sprječavanja nenamjernih propusta je stavljanje fokusa na kvalitetnu edukaciju radnika u svim fazama tehnološkog procesa – od planiranja, projektiranja, ugradnje do puštanja u rad i samog izvođenja tehnoloških operacija.

### Elektrostatski naboj

Pražnjenje statičkog elektriciteta dovodi do paljenja zapaljivih smjesa para, tekućina i prašina sa zrakom, izaziva kvarove, oštećenja te nepovoljno djeluje na čovjeka. Opasnost od paljenja zapaljivih tvari ili smjesa ovisi o energiji koja se oslobađa prilikom pražnjenja. Naboj generiran kod visoko-otporne prašine ovisi o tome je li u suspenziji ili nagomilana, i o procesu. Vjerojatnost električnog pražnjenja povećava se kad se prašina nataloži i time koncentrira naboj. Nagomilana prašina ili prašina u suspenziji može nabiti izolirane vodiče u njihovoj blizini indukcijom ili predajući im dio naboja. Takvo presipanje prašine u neuzemljen metalni kontejner može rezultirati iskrom s kontejnera koja odvodi ukupan naboj akumuliran unutar kontejnera. Ponekad je za zaštitu od paljenja prašine djelovanjem statičkog elektriciteta dovoljno uzemljenje metalnih dijelova. Kao mjera zaštite navlaživanje nije pogodno jer je prašina često higroskopna, a samim navlaživanjem nije moguće umanjiti otpornost zraka. Ionizacija zraka nema veliku primjenu za neutralizaciju elektrostatskog naboja oblaka prašine, osim ponekad kao mjera sprječavanja taloženja na naelektriziranim nevodničima [8].

Elektrostatski naboj nastaje zbog trenja, smicanja, drobljenja ili gnječenja tvari i materijala prilikom finog raspršivanja mlaza vode pod visokim tlakom, prilikom mljevenja i usitnjavanja nevodljivih krutina, remenskog prijenosa vrtnje, trenja sintetske odjeće o suhu ili sintetsku podlogu i dr. [9].

Opće je prihvaćeno da se mnoge praškaste tvari mogu zapaliti iskrom energije u rasponu 1-10 mJ, što je vrlo slično rasponu za plinove i pare. Neke praškaste tvari mogu se zapaliti i pri nižim energijama [5].

Elektrostatski naboj se u tehnološkim procesima javlja najčešće pri kretanju prašine u zraku, a kako su radnici često u neposrednoj blizini ili direktnom dodiru s prašinom u nekim dijelovima procesa, trebali bi nositi odjeću od prirodnih materijala koja je pogodna zbog nevodljivosti.

### Mehanički proizvedene iskre

Mehaničko trenje i udar pogoduje stvaranju mehaničkih ili kemijskih iskri kao mogućih izvora energije paljenja. Na taj se način mehanička energija može pretvoriti u toplinsku. Slično opasan učinak stvaranja pregrijanih površina mogu izazvati različiti rotirajući dijelovi, kao što su osovine u ležajevima ili vodilicama, ponajčešće zbog nedostatka maziva. Do tog može doći i upadanjem stranih tijela u rotirajuće raspore čije trenje u kratkom vremenu može razviti vrlo visoke površinske temperature. Tamo gdje su navedene opasnosti izražene, potrebno je redovito nadziranje temperature kako ne bi došlo do pregrijavanja. Danas se izrađuju uređaji koji omogućavaju stalni nadzor temperature, kao i uređaji za automatsko isključivanje ako iz bilo kojeg razloga dođe do pregrijavanja.

Procesom udaraca ili brušenja odvajaju se krute čestice materijala koje za vrijeme odvajanja preuzimaju dio toplinske energije zbog čega im naglo raste temperatura. Ona može biti viša od temperature paljenja gorivog plina ili para gorive kapljevine i time biti uzrokom paljenja eksplozivne atmosfere. Ovakvi uzročnici imaju ograničenu sposobnost paljenja jer nisu koncentrirani, ali lako mogu zapaliti zapaljive plinove, pare i neke smjese gorive prašine i zraka - naročito metalne prašine, ali samo ako je toplinska energija takvih mehaničkih vrućih

čestica barem 0,1 mJ ili više. Takve vruće čestice mogu uzrokovati tinjanje nataložene prašine koja potom može postati uzrokom paljenja eksplozivne atmosfere.

Pri jakom udaru energije od 200 J i više tvrdim čelikom na tvrdi metal nastaju iskre. Iskre također mogu nastati i lakim udarcima (1 J) ako se odgovarajući materijal nalazi na zadržaloj površini ili ako na mjestu udarca postoje tragovi aluminijske ili magnezijске. Čak i udarni alati od neiskričavog materijala (bakra, berilija...) u tim slučajevima mogu izazvati takve iskre. Opasan uzrok mehaničke iskre javlja se i kod ventilatora kod kojih zbog manjih deformacija može doći do trenja ili dodira rotora (krila) sa statorom, pogotovo što je pojava neuočljiva i do nje može doći bez vanjskog uzroka. To se odnosi na ventilatore koji usišu eksplozivnu atmosferu ili rade u njoj. To se može spriječiti tako da se pored čvršće konstrukcije rotacijskog dijela odabere pogodna kombinacija materijala. Za ovakve slučajeve i ostale slučajeve procesa trenja, udara ili brušenja, mora se isključiti kombinacija čelik-aluminij (laki metali, metali na bazi aluminijske, ili sa sadržajem magnezijске), osim kada se radi o nehrđajućem čeliku [9].

#### Otvoreni plamen

Eksplozivnu atmosferu praškastih gorivih tvari može zapaliti i otvoreni plamen. Plamen ne mora nastati neposredno u prostoru eksplozivne atmosfere, nego do zapaljenja može doći i preko raznih otvora. Paljenje može nastati i plamenom, i prijenosom vrućih čestica.

Da bi se to spriječilo ugrađuju se zaustavljajući plamena (tzv. plamenolovke) koji to moraju onemogućiti. Takve uređaje moramo imati i na električnim uređajima uvodimo li u njih zapaljive plinove [8].

Plamen koji se pojavljuje pri zavarivanju i rezanju je dovoljno snažan da inicira eksplozije bilo koje vrste prašine. Rezaći plamen je posebno opasan jer osigurava više kisika u zonu rada. Ako su čestice zapaljive praškaste gorive tvari raspršene u atmosferu koja sadrži više kisika nego što ga je sadržano u zraku, porast će osjetljivost na paljenje i jakost eksplozije (u usporedbi s oblakom u zraku). Pušenje bi trebalo biti zabranjeno u područjima gdje se nalazi zapaljiva prašina [5].

#### Iskre nastale pri zavarivanju i rezanju metala

Zavarivanje je tehnološki proces pri kojem se različiti metalni predmeti spajaju sjedinjavanjem rastaljenih metalnih površina pod djelovanjem topline, s ili bez dodavanja novog metala. Pogoni gdje je mogućnost eksplozije stalno prisutna zahtijevaju različite vrste održavanja, pa tako postoji i potreba za zavarivanjem. Opasnost od nastanka požara i eksplozije pri zavarivanju postoji na svim mjestima gdje se pojavljuju eksplozivne smjese gorivih plinova, para ili prašina sa zrakom. Potrebno je i obvezno, ukoliko se u pogonima pojavi potreba za ovakvim opasnim radovima, tražiti odobrenje za izvedbu radova službe mjerodavne za sigurnost pogona. Kada se radi zavarivanje instalacija koje služe za prolaz zapaljivih tvari, takve je potrebno prvo isprazniti i dobro očistiti, napuniti vodom ili inertnim plinom i tek tada započeti sa zavarivanjem. Ukoliko postoji i najmanja požarna opasnost a ne mogu se poduzeti odgovarajuće mjere, zavarivanju treba biti nazočan i vatrogasac opremljen adekvatnim sredstvima za gašenje [8].

#### Kemijske reakcije

Prilikom kemijskih reakcija, zbog razvijanja topline, mogu se zagrijavati tvari ili sustavi i tako postati izvori energije paljenja. Kemijske reakcije kod kojih se oslobađa toplina koja dovodi do povišenja temperature nazivamo egzotermnim reakcijama. Zbog lošijeg odvođenja topline ili naslage slojeva (kao što je slučaj kod npr. gorivih praškastih tvari) na vrućim površinama postrojenja može se povisiti temperatura naslage gorive praškaste tvari, pri čemu

se povećava brzina reakcije oksidacije s kisikom iz zraka sve do nastupanja trenutka zapaljenja [8].

#### Samozapaljenje

Česti uzročnik požara je pojava samozapaljenja. Uglavnom se radi o tvarima organskog podrijetla koje se uslijed postupnog samozagrijavanja u određenim uvjetima mogu i zapaliti, no postoje i tzv. piroforne tvari koje se spontano brzo pale u dodiru sa zrakom, vodom, ili pri miješanju s drugim tvarima. U većini slučajeva nastanak požara u kojima je uzrok samozagrijavanje ili spontano paljenje jest nepravilno skladištenje odnosnih tvari [8].

#### Električni uređaji i postrojenja

Električna energija kod svake pretvorbe u drugu vrstu energije gubi svoj određeni dio, što su najčešće toplinski gubici. Oslobođena toplina uzrokuje zagrijavanje električnog uređaja ili njegovih dijelova, no ne smije doći do zagrijavanja električnih uređaja iznad temperature paljenja tvari koje su u njihovoj blizini ili iznad temperature paljenja eksplozivnih smjesa [8].

#### Kratak spoj

Kratak spoj je česta pojava u postrojenjima i do njega dolazi zbog mehaničkih oštećenja, starosti izolacije, nepravilnog rada. Struje koje nastanu pri kratkom spoju izazivaju jaka dinamička naprezanja na nekim dijelovima postrojenja te zagrijavanje svih vodiča kroz koje protječu, što može dovesti do oštećenja izolacije. Kratak spoj prati i električni luk vrlo visoke temperature i energije dostatne da upali gorivu tvar ili eksplozivnu smjesu ukoliko ona postoji na mjestu nastanka kratkog spoja. Razlikujemo primarni i sekundarni kratak spoj.

Primarni podrazumijeva prekid električnog vodiča koji zbog djelovanja električnog luka uzrokuje požar, a sekundarni nastaje za vrijeme požara zbog oštećenja izolacije uzrokovane vatrom [8].

## 5. MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITE OD EKSPLOZIJA I POŽARA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI

Tehnološki procesi nisu u suvremenom svijetu sigurniji iako je razina tehničkih saznanja viša, što se objašnjava činjenicom da veća proizvodnja i profit ne prate odgovarajuće mjere tehničke zaštite niti odgovarajuća osposobljenost radnika za rad na siguran način.

Za suvremenu zaštitu potrebno je dobro poznavati svojstva tvari koje se koriste u procesu i uvjete u kojima se koriste. Pri procjeni rizika treba voditi računa o obilježjima eksplozivnosti, zapaljivosti i samozapaljivosti tvari, agregatnom stanju i granulaciji, količini, radnim uvjetima (temperaturi, tlaku, vakuumu), opasnostima od statičkog elektriciteta te o svojstvima strojeva koji sudjeluju u procesu rada, kao i načinu vođenja i nadzora procesa. Promjena bilo kojeg od ovih parametara bez prethodne analize utjecaja na odvijanje tehnološkog procesa i prilagodbe radnih uputa i mjera zaštite, može biti uzrokom tehnološke nesreće s teškim posljedicama.

Na sigurnost, uz osposobljenost radnika, utječe pravilno i pravodobno postavljanje i održavanje instalacija, u što spada utvrđivanje mogućih nedostataka koji mogu dovesti do pojave stvaranja izvora energije paljenja, analiza potrebe za mjernom i kontrolnom te regulacijskom opremom, primjenjivost automatskih uređaja i osiguranje uređaja i instalacija za rano otkrivanje, sprječavanje, dojavu i gašenje požara ili blokiranje razvitka procesa eksplozije [8].

Opća protupožarna i protueksplozijska preventiva polazi ponajprije od toga da se, ako je to moguće, potencijalno vrlo opasan tehnološki proces ili operacija zamijeni nekim manje opasnim te da se, po mogućnosti, uklone svi mogući izvori energije paljenja. Gdje to nije moguće, a proces zahtijeva, električne instalacije i uređaji moraju se izraditi u „S“ (tj. „Ex“) izvedbi. Mora postojati sigurnosno uzemljenje i zaštita od elektrostatičkih naboja, postavljeni stabilni uređaji i ručni aparati za gašenje požara. Moraju se poštivati i mjere graditeljske preventive, kao i svi propisi (uključujući norme, interne preporuke i strukovna pravila prakse) vezani za rad s predmetnim tvarima. Nužno je uredno održavanje, ispitivanje, servisiranje i atestiranje, kao i da su rukovatelji s eksplozijski opasnim tvarima punoljetni, psihofizički sposobni i stručno osposobljeni za te poslove. Sva potencijalno eksplozijski opasna mjesta moraju biti vidljivo označena znakovima upozorenja, a radnici dobro upoznati s opasnostima procesa i osposobljeni za intervencije u slučajevima incidenata.

Eksplozijska i požarna opasnost u sklopu tehnoloških jedinica, strojeva, uređaja ili aparata u kojima se stvara ili prevozi praškasta goriva tvar može se umanjiti različitim metodama i postupcima, od kojih su najdjelotvorniji:

- primjena procesa usitnjavanja koje stvara manje prašenja (vibracijsko, usitnjavanje s prethodnim vlaženjem, mokri proces obrade);
- uvođenje odgovarajućih sustava za učinkovito uklanjanje prašine iz eksplozijski rizičnih prostora tehnoloških jedinica;
- uvođenje inertnih plinova unutar tehnoloških jedinica tijekom cijelog procesa rada tehnološke jedinice ili samo u njenim najopasnijim stadijima rada;
- primjena konstrukcijskih rješenja koja osiguravaju minimalna taloženja prašine, što se postiže dobrom obradom zidova u unutrašnjosti aparata i cijevi, blagim prijelazima između cijevi različitih promjera;
- čuvanje zidova aparata od vlaženja, što se može postići toplinskom izolacijom ili održavanjem određene temperature i vlažnosti u prostoriji;
- primjena vibratora za sprječavanje nagomilavanja prašine na otvorima;

- ugradnjom eksplozivno-odušnih ventila kojima se tlak eksplozije može nadzirati [8].

Ukoliko eksploziju nije moguće izbjeći, treba ju ograničiti i smanjiti na sigurniju razinu. To se može učiniti:

- zadržavanjem eksplozije uporabom eksplozijski otporne izvedbe konstrukcije tehnološke jedinice; postiže se uporabom eksplozijski otporne izvedbe uređaja. Osim statičkog bitan je i porast tlaka u eksploziji koji je vrlo visok pa oprema mora izdržati i dinamički tlak. Oprema mora biti konstruirana na temelju rotacijske simetrije s izbjegavanjem velikih ravnih površina i kutova.
- ugradnjom tehničkog sustava za trenutačnu detekciju trenutka pojave inicijacije eksplozije smjese praškaste gorive tvari i zraka spregnutim sa sustavom za trenutačno automatsko gašenje (prigušivanje) početnog stadija razvitka procesa eksplozije pogodnim antikatalitički, ohlađujući i/ili inertno djelujućim vatrogasnim sredstvom;
- rasterećivanjem eksplozije (ispuštanje izgorjele i neizgorjele smjese te gorivih plinova radi snižavanja tlaka eksplozije; postiže se ugradnjom membranskih osigurača, tzv. rasprskavajućih ploča, reverzibilnih eksplozijskih zaklopki i slično); sprječavanjem plamena i širenja eksplozije (zaustavljači plamena/plamenolovke, rotacijski ventili, tlačni odušni ventili, brzo-djelujući protueksplozijski izolacijski ventili) [7].

Za zadržavanje eksplozije uporabom eksplozijski otporne izvedbe konstrukcije tehnološke jedinice rabe se brzo djelujući tlačni ventili koji sprječavaju prodor i širenje iz jednog dijela postrojenja u drugi. Rješenje zadržavanja procesa eksplozije pogodno je samo sustave tehnoloških jedinica ili njihove pojedine elemente malih dimenzija, i nije primjenjivo za velike jedinice poput skladišnih spremnika ili silosa za žitarice. Odušivanjem nadtlaka tradicionalno se građevina štiti od rušenja pod utjecajem unutarnje eksplozije putem izvedbe lakog krovišta, koje eksplozija odbacuje, primjerice pri skladištenju gorivih kapljevin. To vrijedi i za deflagacijske eksplozije zapaljivih oblaka gorivih prašina. Odušivanje prekomjernog nadtlaka mora biti usmjereno prema sigurnom mjestu (npr. prihvatni spremnik za brzi ispušt, skladišni spremnik, tehnološki kanalizacijski sustav, okolna atmosfera, baklja za spaljivanje,...). Uobičajene naprave za odušivanje nadtlaka ili već započete razvijajuće pojave eksplozije razvrstavaju se na ventile za odušivanje nadtlaka (ventili sigurnosti, sigurnosni ventili, i sigurnosni odušni ventili), membranske osigurače (tlačni fragmentirajući, tlačni nefragmentirajući, i rastalni), osigurače sa savitljivim klinom, ploče za odušivanje eksplozije (kružne, kvadratne i pravokutne), odušne otvore (klapne) i dišne ventile. Ventili za odušivanje nadtlaka namijenjeni su otpuštanje plinovite tvari pri pojavi razvitka eksplozijski opasnog prekomjernog nadtlaka, u situacijama poput neuravnoteženosti u brzini protoka fluida uzrokovane zatvaranjem ili otvaranjem izolacijskih ventila posuda u tehnološkom procesu, kvarova u radu rashladnog sustava (što omogućuje širenje obujma para ili tekućina), začepljenja ili puknuća cijevi u izmjenjivačima topline, a konstruirani su tako da se po odušivanju prekomjernog nadtlaka automatski zatvore i spriječe daljnje ispuštanje po uspostavi dopuštenog radnog tlaka. Ventili sigurnosti ili odušni ventili namijenjeni su automatskom otvaranju pri željenom nadtlaku, a obilježje im je postupno otvaranje u skladu s postupnim rastom nadtlaka. Sigurnosni ventili namijenjeni su prije podešenom nadtlaku radi dopuštanja ispuštanja plinova, para, vodene pare ili zraka pod tlakom kako bi se spriječila eksplozija ili oštećenje njime štice posude. Membranski osigurači rabe se kao namjerno oslabljeni element stjenki za zaštitu posuda ili cjevovoda od prekomjernog nadtlaka ili podtlaka. Reagiraju vrlo brzo te se stoga koriste kao primarne odušne naprave. Ugrađuju se



na mjesto gdje izbacivanje sadržaja neće izazvati preveliku štetu. Osigurači sa savitljivim klinom se nakon aktiviranja pod utjecajem prekomjernog nadtlaka ne zatvara. Ploče za odušivanje eksplozije najčešće odušuju već pri vrlo malom nadtlaku ili podtlaku. Najčešće se ugrađuju na stjenke kućišta tehnoloških kolektora prašine, separatora, miješalica, filtera zraka i sl. Odušni otvori mogu se otvoriti već pri malom nadtlaku i ispustiti veće količine plinova ili para, a rabe se kada može doći do pojave vrenja kapljevina, gdje unutarnji tlak može naglo porasti, te gdje kemijska reakcija proizvodi previše para. Dišni ventili rabe se na tehnološkim jedinicama koje rade pod normalnim tlakom zraka, a moraju biti odgovarajućeg dišnog kapaciteta i zaštićeni od začepljenja. One posude koje sadrže zapaljive slabije hlapljive kapljevine opremaju se hvatačem plamena i drže pod blagim nadtlakom dušikom. Hvatači plamena su naprave koje se postavljaju u cijevi ili na otvore posuda radi prekida daljeg širenja plamena iz jednog prostora tehnološke jedinice u drugi, ili ga zadržava da u njega ne prodre. Ovo rješenje je nužno u svim onim postrojenjima gdje nije moguće izvesti potpuno brtvljenje i inertiziranje tehnoloških jedinica u kojima se radi s gorivim plinovima i parama. Najčešće se rabe u zaštiti cjevovoda za prijenos para gorivih kapljevina u tehnološku jedinicu za njihovo obnavljanje, te zaštitu uređaja za otkrivanje nazočnosti zapaljivih plinova i para u atmosferi. Izbor vrste hvatača plamena ovisi o vrsti nazočnih para ili plinova, temperaturi i tlaku, prihvatljivoj razini pada tlaka, mogućnosti nastanka njenog začepljenja ili nakupljanja onečišćenja, njenog čišćenja i tehničkog održavanja, o materijalu konstrukcije, mogućnosti pojave uspostavljanja i zadržavanja procesa stabilnog izgaranja plinova ili para na samoj njenoj konstrukciji te njenog pregrijavanja te mogućnosti pojave strujanja atmosfere koja je obogaćena kisikom ili nekom vrstom oksidansa [6].

Osim provedbe propisima zahtijevanih ili njima odgovarajućih građevinskih i prije spomenutih, opasnostima primjerenih tehničko-tehnoloških mjera sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija praškastih gorivih tvari, nužna je provedba i odgovarajućih mjera organizacijske naravi, kao što su:

- provedba odgovarajućeg osposobljavanja radnika;
- opremanje radnih prostora odgovarajućom opremom za gašenje požara;
- organiziranje radnog procesa tako da se on obavlja na predviđen i propisan, protupožarno, protueksplozijski i glede inih mogućih vrsta opasnosti na siguran način;
- uvijek raspoloživ dovoljan broj radnika osposobljenih za gašenje takve vrste požara;
- organiziranje vatrogasne postrojbe opasnostima odgovarajuće veličine i tehničke opremljenosti;
- redovito pregledavanje i ispitivanje ispravnosti sredstava za otkrivanje i gašenje požara;
- provjeravanje osposobljenosti radnika za gašenje požara i spašavanje;
- označavanje požarnog puta unutar građevine;
- održavanje čistoće, urednosti i prohodnosti;
- nadzor nad skladištenjem i odlaganjem ambalaže;
- nadzor nad raspoređivanjem novih radnika;
- zabrana pušenja i uporabe otvorenog plamena;
- ograničenje kretanja radnicima i drugim osobama u pojedinim dijelovima radnih prostora;
- suradnja s nadzornim tijelima radi unaprjeđenja stanja sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija u tvrtki [8].

Općenito, sve čestice zapaljivih kovina, osobito fine čestice prašina, trebale bi se skladištiti u zasebnim zatvorenim metalnim posudama. Česticama promjera većeg od 381

mikrona je smanjena reaktivnost. Neke praškaste kovine se mogu skladištiti uronjene u vodu, no mora se paziti da vode ima dovoljno jer se neke čestice fine prašine pri kritičnoj razini vlage mogu spontano zapaliti. Gašenje požara zapaljivog metala može biti teško kada se radi o velikim količinama odnosnog metala. Osnovni princip gašenja je da gorući metal bude u potpunosti prekriven adekvatnim sredstvom za gašenje, no kako su prijenosni aparati za gašenje klase D ili aparati za gašenje namijenjeni za točno određenu vrstu metala malih kapaciteta, mogu se koristiti samo za gašenje manjih požara. U većini požara naći će se više različitih klasa gorućeg materijala, Primjenom vode za gašenje požara zapaljivih metala došlo bi do egzotermne reakcije što bi rezultiralo burnom reakcijom i potencijalnom eksplozijom. Za kontrolu požara zapaljive kovine ključno je prepožarno planiranje. Vatrogasna postrojba zadužena za zaštitu industrije koja koristi zapaljive kovine mora biti svjesna uvjeta koje bi mogla zateći po dolasku na mjesto nesreće [10].

## 6. RAŠČLAMBE PRIMJERA SLUČAJEVA EKSPLOZIJA I POŽARA PRAŠKASTIH GORIVIH TVARI

### 6.1. RAŠČLAMBA UZROKA EKSPLOZIJE I POŽARA U SLUČAJU POGONA TVRTKE „AL SOLUTIONS“

U sklopu ovog poglavlja analizirani su način, uzroci, uvjeti i okolnosti nastanka eksplozije i požara praškaste gorive kovine u slučaju postrojenju tvrtke AL Solutions, u New Cumberlandu, u West Virginiji. Pritom je stradalo četvero zaposlenika - od kojih trojica smrtno i jedan teško ozlijeđeni izvođač radova. Nakon ove nesreće došlo je do zatvaranja ove tvornice.

Tvrtka AL Solutions obrađuje metalne otpatke titana<sup>1</sup> i cirkonija<sup>2</sup> u tiještene kompakte<sup>3</sup> koje proizvođači aluminija koriste kao aditiv smjesama. Tvrtka AL Solutions dobiva otpad proizvođača titana i cirkonija, a krajnji korisnik dodaje prešane kompakte u peći ili rastaljeni metal da bi povećao čvrstoću aluminijske legure.

U vrijeme nesreće, AL Solutions je posjedovao dva postrojenja. Primarna proizvodnja i sjedište nalazilo se u New Cumberlandu, u West Virginiji i zapošljavala je 23 radnika, a pogon za mljevenje bio je u Washingtonu te je on imao dva radnika. Nakon ovog nesretnog slučaja AL Solutions je sagradio novi proizvodni objekt u zapadnoj Pennsylvaniji [11].

#### 6.1.1. Opća obilježja postrojenja

Postrojenje u New Cumberlandu činile su glavna proizvodna zgrada, skladište, vanjsko skladišno područje, laboratorij i uredi. Ova proizvodna tvrtka radila je 0-24 h, 7 dana u tjednu. Procesna oprema koju su imali služila je za mljevenje, miješanje, prešanje i tretiranje metala vodom. Eksplozija se dogodila u proizvodnoj zgradi, koja je od ostalih područja bila odvojena pristupnom cestom.



Slika 1. Pogled na postrojenje prije nesreće [11].

<sup>1</sup> *Titan* - kemijski element koji u periodnom sustavu elemenata nosi simbol Ti, atomski (redni) broj mu je 22, a atomska masa mu iznosi 47,867. Jednakovrijedan je naziv titan. Jedna od najznačajnijih titanovih karakteristika je da ima čvrstoću kao čelik, no u isto vrijeme je dvostruko lakši od njega [12].

<sup>2</sup> *Cirkonij* - kemijski element koji u periodnom sustavu elemenata nosi simbol Zr, atomski (redni) broj mu je 40, a atomska masa mu iznosi 91,224. Cirkonij je čelično siv, mekan, rastezljiv i kovak metal visokog sjaja [13].

<sup>3</sup> *Prešani kompakti* - čvrsto tiještene otpresci titana i cirkonija u obliku diska. Razlikuju se u veličini i težini ovisno o potrebama klijenata.

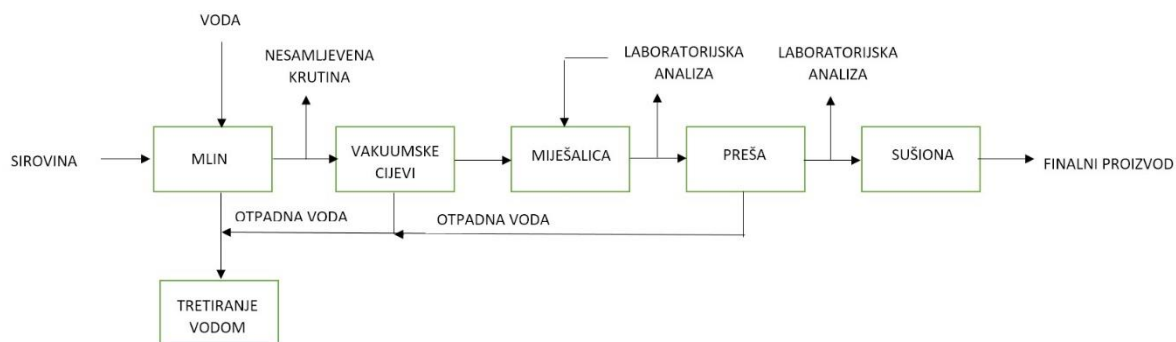
## 6.1.2. Opća obilježja tehnološkog procesa

Dobavljači su isporučivali otpatke titana i cirkonija AL Solutionsu u cca 200-litarskim bačvama (55 galona). Metal je obično stizao pakiran u vodi, ali i pakiran pod atmosferom inertnih plinovitih sredstava, poput plina argona, kako bi se smanjio rizik od eksplozije tijekom prijevoza.

Sirov materijal se uzimao iz bačvi i mljeo nekoliko sati po seriji uronjen tijekom procesa u vodu. Tijekom mljevenja, oštrica mlina je smanjivala veličinu čestica metala i skidala površinski oksidirani sloj sirovog materijala. Po završetku mljevenja odijelili bi vodu i dio finih čestica metala a zatim slali vodu u spremnike za obradu.

Mljeveni metal je prebacivan iz spremnika za mljevenje i provjeravan kako bi se uklonilo krupnije komade. Krupnije komade su vraćali u mlin na dalje mljevenje ili su ih odbacivali. Operateri su stavljali pregledani mljeveni metal u kade i potom isisavali višak vode u spremnik za tretiranje vodom. Nadalje, metal se miješao da bi se osigurala što homogenija smjesa. Kada je materijal odgovarao specifikacijama, išao je u hidrauličke preše. Smjesa je prešana u kompakte oblika diska, promjera 7,62 cm (3 inča). U vrijeme nesreće jedna preša je korištena za prešanje cirkonija, a dvije za prešanje titana. Diskovi su sušeni u peći da bi se uklonio ostatak vode. Laboratorij je analizirao gustoću i postotak vlage po dvaju diskova iz svake serije sušenja prije nego li su umatani u aluminijsku foliju i slani kupcima.

U uobičajenoj smjeni radila su četiri operatera u proizvodnoj zgradi; dva na preši, jedan na miješalici i nadzornik/voditelj smjene. Voditelj smjene bio je zadužen za mlin i tretiranje vodom. Drugi operater radio je u skladištu na sušenju i pakiranju diskova. Voditelj postrojenja i inženjer zadužen za poslove bili su prisutni tijekom dana kako bi pripomogli s bilo kakvim operativnim pitanjima. Tijekom dnevne smjene dva laboratorijska radnika analizirala su uzorke smjese i radili recepte za miješalice [11].



Slika 2. Pojednostavljeni prikaz tijeka procesa prešanja [11].

### 6.1.2.1. Značajke titana

Titan (simbol Ti) je široko korišten metal s jedinstvenim karakteristikama zapaljivosti. Fine čestice titana su lako zapaljive na zraku i mogu se spontano zapaliti pri povišenim koncentracijama kisika ili pri visokom tlaku. Prema Sustavu identifikacije opasnih materijala (HMIS, eng. *Hazardous Materials Identification System*), fine čestice i prah titana imaju stupanj opasnost od zapaljivosti 3 ili 4 (na skali od 0 do 4, gdje je 4 najveća opasnost). Sigurnosno-tehnički list (STL) AL Solutionsa o strugotinama titana (MSDS, eng. *Materials Safety Data Sheet*) navodi da čestice titana raspršene u zraku mogu eksplodirati.

Spomenuti Sigurnosno-tehnički list preporuča primjenu takvih procedura rada kojima se osigurava da takav lakozapaljiv praškasti materijal ne bude izložen mogućnosti izboja

statičkog elektriciteta, opremi koja iskri ili drugim mogućim vrstama izvora energije paljenja. Aparati namijenjeni gašenju požara zapaljivih metala, uključujući titana i cirkonija, su razreda D, na osnovi natrijevog klorida [11], trimetilboroksida, helija, argona, ili silicijeva dioksida [10].

Ugljični dioksid, pjena i aparati za gašenje prahom nisu efektivni pri gašenju požara titana, ali aparati za gašenje razvijeni za požare magnezija mogu doprinijeti. Najsigurniji način gašenja malih požara titana je gašenje aparatom D klase – odnosno, kontrola požara, i puštanje da se požar sam ugasi [10].

Tehnički list također navodi da velike količine vode mogu biti korištene za gašenje malih požara titana ali ne bi trebala biti korištena na velikim požarima jer voda reagira s gorućim metalima pri visokim temperaturama i stvara se eksplozivni plin vodik. Prah titana ima nisku toksičnost, ali prekomjerna inhalacija može uzrokovati iritaciju ili akutne respiratorne tegobe. Primarni način izlaganja je inhalacija i gutanje, posebice tijekom procesa kojima se proizvode čestice metala [11].

Veliki komadi titana u uobičajenim uvjetima nisu zapaljivi, ali mogu gorjeti u prisustvu drugih goriva ili u atmosferi bogatoj kisikom. Suhe čestice titana prikupljene u ciklonskom separatoru mogu se samozapaliti kada ih se pusti da slobodno lebde zrakom. Temperature paljenja oblaka prašine titana u zraku kreću se od 332 do 588° C, a slojeva titana od 382 do 510° C. Prašina titana može se zapaliti u prisustvu ugljikova dioksida ili dušika. Površina titana tretirana dušičnom kiselinom postaje piroforna i moguće eksplozivna. Čestice titana zahtijevaju posebne mjere opreza poput skladištenja u metalnim zatvorenim posudama odvojeno od ostalih zapaljivih materijala. Toplina generirana tijekom obrade titana može biti dovoljna za zapaljenje malih čestica nastalih pri izvođenju tehnoloških operacija obrade titana. Temperatura se treba sniziti ohlađivačima na bazi vode, a oštrice alata trebaju se održavati oštrima. Da bi se spriječilo požare prašine titana, svi procesi u kojima nastaje zapaljiva prašina trebaju biti opremljeni sustavom za skupljanje prašine koji se prazni u separator s tekućinom [10].

#### 6.1.2.2. Značajke cirkonija

Metal cirkonij (simbol Zr) također opasan glede zapaljivosti. Čestice cirkonija imaju stupanj opasnosti od zapaljivosti 3 ili 4 prema prije spomenutom Sustavu identifikacije opasnih materijala; i čestice male veličine (s manje od 2% vlage) se mogu samozapaliti na zraku pri sobnoj temperaturi. Prema AL Solutionsovu Sigurnosno-tehničkom listu za cirkonij, oblaci prašine s vrlo malim koncentracijama cirkonija (manjim od 100g/m<sup>3</sup>) su eksplozivni. Sigurnosno-tehnički list preporuča držanje praha mokrim kako bi se izbjegla opasnost eksplozije. Ako se metalne čestice cirkonija zapale, Sigurnosno-tehnički list savjetuje puštanje da materijal izgori i da se požar ne gasi. Sigurnosno-tehnički list također navodi da požari mokrih finih metalnih čestica cirkonija mogu rezultirati eksplozijom. Preporučuje držanje finih čestica cirkonija ili izuzetno suhima (s manje od 5% vode) ili izuzetno mokrima (s više od 25% vode). Tijekom rukovanja dolazilo je do spontanog zapaljenja vlažnih fino usitnjenih otpadaka cirkonija. Prah cirkonija može uzrokovati respiratorne ili probavne smetnje ako se udahne ili proguta [11].

Prašina cirkonija zapalit će se u atmosferi ugljikova dioksida pri približno 621° C, a u atmosferi dušika pri 788° C. Zapaljenje prašine cirkonija u zraku stimulirano je prisustvom 5 do 10% vode. Kada su fine čestice prašine cirkonija potpuno uronjene u vodu teško će se zapaliti, ali kada se zapale izgaraju burnije nego na zraku. Veliki komadi cirkonija se neće samozapaliti u uobičajenim uvjetima, ali zapaljenje će nastupiti kada se neoksidirana površina izloži dovoljno visokim koncentracijama kisika i tlaku. Prah cirkonija je vrlo zapaljiv i kao takav se skladišti i transportira u spremnicima zapremnine 3,8 L s minimalno 25% volumena

vode. Posude trebaju biti odvojene jedna od druge da bi se rizik prenošenja požara s jednog spremnika na drugi sveo na minimum, i da bi se omogućio periodični pregled posuda radi korozije. Kad god je to moguće, pri rukovanju prašinom cirkonija, cirkonij bi trebao biti potopljen u inertnoj tekućini ili inertnoj atmosferi. Gdje god je prašina cirkonija nusproizvod, sustav za skupljanje prašine s ispuštom u separator s tekućinom je nužnost. Za gašenje požara prašine cirkonija ispuštanje maglice vode neće imati učinka. Otvaranjem sprinklera iznad otvorenog spremnika gorućih otpadaka cirkonija pojavljuje se kratki bljesak nakon kojeg slijedi lagano kontinuirano izgaranje. Kada se ispusti veliki mlaz vode, odnosno, kada se spremnik potopi vodom, požar se gasi. Kada gori mala količina praškastog cirkonija, požar se može ugaziti aparatom za gašenje klase D. Nakon što se požar stavi pod kontrolu, može se pustiti da izgori i sam se ugasi. U prisutnosti praškastog cirkonija sredstvo za gašenje treba pažljivo primijeniti da se ne bi stvorio oblak prašine. Ako se radi o požaru u zatvorenom spremniku, on može biti ugušen primjenom argona ili helija [10].

### 6.1.3. Događaji koji su prethodili nesreći i opis nesreće

Oko podneva na dan nesreće operateri dnevne smjene su se vratili s ručka. Dva operatera su upravljala trima prešama, a još jedan je bio na miješalici, miješajući smjesu cirkonija. Voditelj smjene je mijenjao oštricu mlina u obližnjem prostoru za mljevenje. Tri električara su također bila prisutna jer su provodili vodiče u prostoriji za hidrauliku u blizini prostora za miješanje i prešanje. Ovi radnici su izvodili pripreme radove za planirano isključenje radi održavanja idućeg dana.

Oko 13:20 h, trenutak prije eksplozije, električar lociran oko 2 metra (6 stopa) izvan djelomično otvorenih vrata čuo je glasnu buku koju je karakterizirao CSB<sup>4</sup> istražiteljima kao „metalni kvar...kao da je nešto iskočilo...ili palo.“ Zatim je čuo zvuk „voof...baš kao kad pališ roštilj na plin“ i „veliki boom“. Voditelj smjene u prostoriji za mljevenje čuo je glasan prasak i sekundu kasnije primijetio narančasti sjaj ili plamen koji dolazi iz prostorije za miješanje i prešanje. Drugi električar koji je radio u prostoriji za hidrauliku čuo je eksploziju u susjednoj prostoriji i vidio vatrenu kuglu kako se brzo kreće prema njemu kroz vrata prostorije. Vatrena kugla opekla mu je glavu, vrat, ruke i dlanove po izlasku iz zgrade. Treći električar bio je u zahodu gdje je čuo buku, osjetio snažan udarni zračni val kroz vrata te vidio narančasti iskreći plamen na stropu.

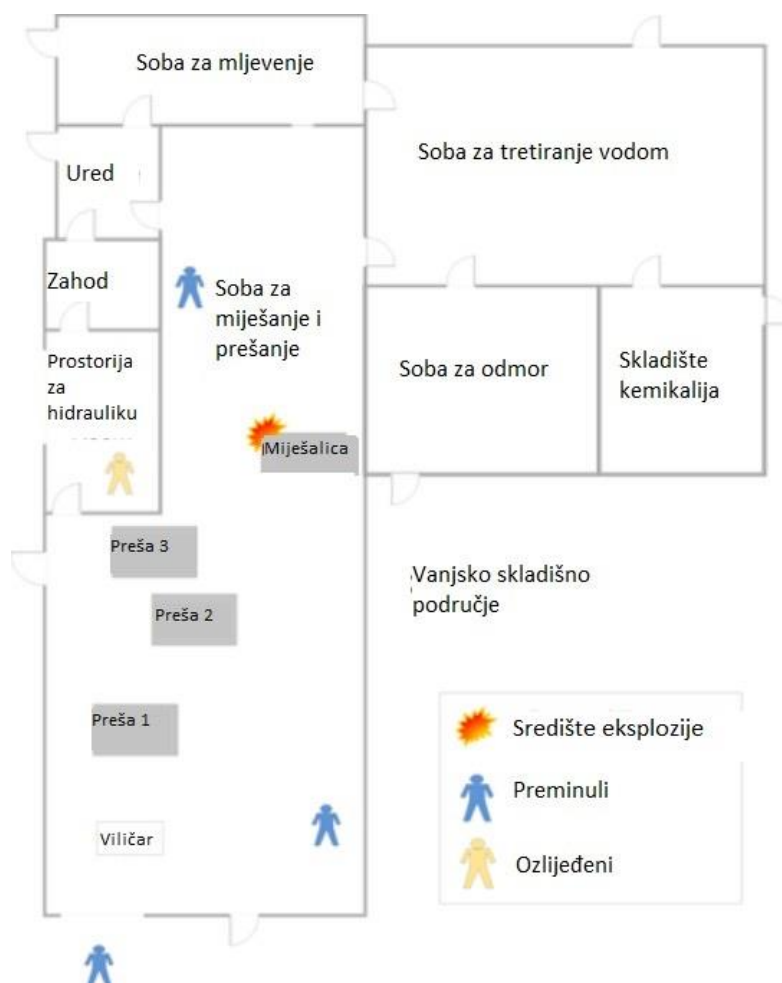
Voditelj smjene rekao je istražiteljima CSB-a da je primijetio da „zrak iskri“ nakon eksplozije. Ranije je u AL Solutionsu doživio slično i znao je da to znači da metal u zraku izgara. Nakon eksplozije voditelj je istrčao van. Istovremeno, zaposlenici u glavnoj uredskoj zgradi zvali su 911 čim su čuli eksploziju i zatražili hitnu pomoć. Voditelj postrojenja hodao je od skladišta do proizvodne zgrade i svjedočio događaju. Neki radnici su prijavili da su čuli drugu eksploziju, par minuta nakon inicijalne, koja je mogla biti uzrokovana rasprsnućem spremnika plina viličara unutar zgrade.

Eksplozija i požar teško su opekli operatera preše cirkonija. Pružena mu je prva pomoć do dolaska hitne pomoći, a zaposlenici su shvatili da druga dva operatera nedostaju i da su vjerojatno u gorućoj zgradi.

Dobrovoljni vatrogasac koji se nalazio u blizini odmah po zvuku eksplozije kreće na mjesto događaja. Dobrovoljno vatrogasno društvo New Cumberlanda stiglo je nedugo nakon toga. Dok je ono došlo, sprinklerski sustav s otvorenim mlaznicama se aktivirao. Vatrogasci su pokušali pristupiti zgradi kroz ured, ali vatra je bila prejaka. Nakon ulaska u prvotno

<sup>4</sup> CSB (eng. U.S. Chemical Safety Board) - nezavisna federalna agencija zadužena za istragu industrijskih kemijskih nesreća.

područje eksplozije, vatrogasci su otkrili dva preminula operatera kako je prikazano na sljedećoj slici [11].



Slika 3. Tlocrt glavne proizvodne zgrade, vjerojatno središte eksplozije i mjesta nastanka ozljeda i smrtonosnih učinaka nesreće [11].

Dva operatera u prostoriji za miješanje i prešanje umrli su na licu mjesta, a operater preše cirkonija preminuo je tri dana nakon nesreće od posljedica teških opekline. Eksplozija (udarni zračni val eksplozije) i naknadni požar uzrokovali su manje oštećenje na vratima, zidovima i unutrašnjim prozorima, kao i jača toplinska oštećenja kroz proizvodnu zgradu. Oštećena je i oprema - viličar, miješalica, prijenosna traka preše, kao i uredski namještaj i pribor koji je eksplozijom izbačen iz ureda na parking ispred proizvodne zgrade [11].



Slika 4. Sjevorni dio prostorije za miješanje i prešanje nakon eksplozije [11].



Slika 5. Strop prostorije za miješanje i prešanje nakon eksplozije [11].

#### **6.1.4. Raščlamba načina, uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka nesreće**

Nakon pregleda zgrade, istražitelji CSB-a ustanovili su da su štete od požara i deformacije od nadtlaka udarnog zračnog vala eksplozije posljedica eksplozije praškastog metala. Većina čvrstih organskim materijala, mnogi metali i neki nemetalni organski materijali će burno izgarati ili eksplodirati ako su fino usitnjene i raspršene u zraku u dovoljnoj koncentraciji.

Zapaljenje praškaste gorive tvari nastaje kada je zapaljiva praškasta goriva tvar izložena dovoljno velikoj energiji paljenja u prisutnosti kisika (obično iz zraka). Eksplozija praškaste gorive tvari zahtijeva istodobnu ispunjenost još dva dodatna uvjeta, a to je raspršenost praškaste gorive tvari u dovoljno velikoj koncentraciji u okolnoj atmosferi (zraku) i stanoviti (dovoljno velik) stupanj zatvorenosti prostora njena raspršenja. Raspršena praškasta goriva



tvar brzo gori, a zatvorenost prostora izgaranja omogućuje nagli rast tlaka njene atmosfere. Otklanjanjem jednog od tih dvaju uvjeta može se spriječiti pojavu eksplozije, iako do požara još uvijek može doći [11].

#### 6.1.4.1. Uzrok i način nastanka eksplozije

Površine finih čestica prašina mogu postati kemijski vrlo reaktivne kada su fino usitnjavane u procesima mljevenja, miješanja i tiještenja. Fino usitnjeni metali poput titana i cirkonija mogu pritom postati pirofori i spontano se zapaliti na zraku.

Eksplozija u AL Solutionsu vjerojatno je inicirana zapaljenim česticama u miješalici koja je obrađivala cirkonij. Iskre ili toplina nastali trenjem i/ili udarcima metala o metal, između lopatica miješalice i stjenki miješalice, mogu uzrokovati stvaranje izvora energije paljenja na mjestima gdje se pojavljuje takav dodir metala s metalom. U rotirajućim strojevima ponavljani udari mogu rezultirati pregrijanim točkama s temperaturama dovoljno visokim da uzrokuju zapaljenje praškaste gorive tvari.

Predeksplzijski zvuk mehaničkog loma, otkazivanja/kvara ili ispadanja komada metala kojeg je prijavio zaposlenik AL Solutionsa vjerojatno je nastao u miješalici, na kojoj su nakon nesreće uočeni tragovi najjačih deformacija metala konstrukcije. Obje rubne stjenke su deformirane prema unutra i imale su vidljive tragove struganja i urezivanja na nutarnjim površinama. U miješalici, ispod njene osovine, pronađeni su ostaci spaljenog cirkonija. Na drugoj strani procesnog prostora pronađeni su tragovi dvaju pukotina na jednoj od stjenki miješalice kao i velikih oštećenja od požara na preši.

Pregledom su uočeni vidljivi tragovi izgaranja oblaka raspršene praškaste gorive tvari projicirani gore, prema stropu proizvodne zgrade u blizini miješalice.



Slika 6. Miješalica i okolni zid i strop [11].

Zaposlenici AL Solutionsa zamijetili su mehaničke probleme s miješalicom danima prije eksplozije. Lopatice miješalice udarale su od stjenke miješalice i urezivale kućište. Da bi se riješio problem, osoblje održavanja je prilagođavalo lopatice miješalice povećavajući udaljenost od stjenki miješalice, što je bilo samo privremeno rješenje problema udaranja i trenja metal o metal. Kad se problem ponovno pojavio osoblje je odlučilo zamijeniti dijelove miješalice da bi se problem riješio. Dok su operateri rastavljali miješalicu, otkrili su veliki urezani žlijeb u oknu i 20-30 cm (8-12 inča) pukotinu na stjenki miješalice. Pukotina je zavarena, te se nastavilo s korištenjem miješalice. U jutro nesreće operater je zahtijevao da osoblje održavanja zamijeni istrošenu lopaticu u miješalici. Radnik održavanja uzeo je

lopaticu iz stare miješalice i stavio je u miješalicu u proizvodnoj zgradi, oko 2 h prije nastanka nesreće. Svi radovi održavanja bili su samo privremeno rješenje problema izazvanih kontaktom metal od metal. Miješalica nije popravljena ili zamijenjena kako bi se izbjeglo izlaganje lakozapaljive praškaste kovine iskrama ili toplini trenja.

Na temelju podataka o ovoj tehnološkoj operaciji, u vrijeme nesreće, u miješalici se vjerojatno nalazila znatna količina cirkonija. Spaljeni ostaci i čađa na stropu iznad miješalice ukazuju da su goruće čestice cirkonija izbačene iz miješalice nakon inicijalne eksplozije, zasipajući prostor užarenim česticama. Nakon nesreće, poklopac miješalice koji je trebao bit zatvoren pronađen je otvoren.

Struganje lopatica miješalice o stjenke vjerojatno je pripalilo prah cirkonija u inicijalnom stadiju nesreće. Oblak raspršenog zapaljivog cirkonija je deflagracijski<sup>5</sup> eksplodirao. Vrući plinovi su se širili proizvodeći zvuk zabilježen od očevidaca. Oblak izgarajuće uzvitlane prašine kovine pripalio je titan i cirkonij u otvorenim bačvama na nekoliko mjesta u proizvodnoj zgradi i omogućio dalje širenje požara [11].

#### **6.1.4.2. Svojstva zapaljivosti obrađivanih praškastih gorivih tvari i osnovne mjere prevencije u tvrtci**

Istražitelji CSB-a su prikupili uzorke čestica titana i cirkonija kako bi provjerili je li prah ovih metala realno mogao pridonijeti nastanku ove eksplozije i naknadnog požara. Testiranje je utvrdilo da su uzorci titana i cirkonija koji se koriste u AL Solutionsu lakozapaljivi i da mogu uzrokovati požar ili deflagracijsku eksploziju raspršene prašine metala.

Svi uzorci prašine su se pokazali lakozapaljivima, pri čemu su se uzorci cirkonija pokazali da odgovaraju obilježjima klase II zapaljivosti. Zapaljiva praškasta goriva tvar je svaka ona koja će pripaljena izgarati, pri čemu zapaljiva praškasta goriva tvar klase II pokazuje veći stupanj jačine eksplozije. Za klasu II OSHA<sup>6</sup> zahtijeva električnu opremu sigurnu za rad u atmosferama sa zapaljivim praškastim gorivim tvarima. Tehnološko postrojenje i oprema tvrtke AL Solutions je imala vatrootporna kućišta motora i električnih vodova da bi se spriječilo zapaljenje prašina u atmosferi proizvodne zgrade pod utjecajem moguće pojave električnih lukova i topline stvorene možebitnim pojavama mehaničkih udara. Trenje i udarci metala o metal, koji su nastajali u miješalici, bili su jednim od takvih predvidljivih proizvodnih rizika u atmosferi proizvodne zgrade u kojoj su bile prisutne zapaljive praškaste gorive tvari.

AL Solutions je još 2007. godine unajmio laboratorij za ispitivanje razine zapaljivosti na uzorcima strugotina, mulja i finih čestica cirkonija i titana. Prema rezultatima ispitivanja, mulj cirkonija i strugotine titana pokazivali su sposobnost zapaljivosti i imale brzinu izgaranja dovoljnu da bi ih se smatralo požarno opasnim. Zaposlenici AL Solutionsa bili su svjesni da su prašine metala zapaljive i da iskra od udarca po metalu može uzrokovati požar, čak su postavljeni i neki zahtjevi za sigurno skladištenje i rukovanje titanom i cirkonijem u tvrtkinom priručniku za siguran rad, no uprava nije odgovorila na ove zahtjeve.

AL Solutions i prethodni vlasnik dizajnirali su i instalirali tehnološko postrojenje i opremu s kućištima pogodnim za ograničavanje akumulacije prašine zapaljivih metala na njihovim vanjskim površinama. Tako su miješalica i pokretna traka preše imale metalne poklopce, i plan je bio da se poklopci drže zatvorenima kad god je moguće da bi se izoliralo

<sup>5</sup> Deflagracija - niskoeksplozivna eksplozija; ona u kojoj je brzina razlaganja i izgaranja tvari manja od brzine zvuka kroz taj isti medij [3].

<sup>6</sup> OSHA (engl. *Occupational Safety and Health Administration*) – Američka agencija za zaštitu pri radu i zaštitu zdravlja.

tehnološko postrojenje i opremu i spriječilo raspršivanje metalne prašine po njoj. Menadžment tvrtke u praksi nije provodio ovu preventivnu mjeru, pa su poklopci miješalice, transportne trake i skladišnih bačava redovito ostavljani otvorenima tijekom procesa rada.

Kako bi se ograničile količine zapaljivih metala u prostoru miješanja, bilo je predviđeno da samo količina metala potrebna za jedan ciklus proizvodnje bude dopuštena za držanje u prostoru proizvodnje. Svi drugi materijali trebali su se držati u odvojenom ili vanjskom skladištu, no radnici su često ostavljali bačve titana i cirkonija u proizvodnoj zgradi, čak i ako nisu bili u upotrebi (slika 7).



Slika 7. Otvorene bačve titana i cirkonija u proizvodnoj zgradi [11].

Nisu se provodili ni obvezatne mjere zaštite pri radu koje se odnose na mjere zaštite zdravlja pri rukovanju s metalnim prašinama, iako neprovođenje ovih mjera nije bilo uzrokom nesreće. Tehničke smjernice SAD-a preporučaju korištenje visokoučinkovitih respiratora za prašnjave atmosfere pri rukovanju s praškastim materijalima, ali ni provedbu te mjere uprava tvrtke nije omogućila i osigurala [11].

#### **6.1.4.3. Stanje glede prevencije akumulacije zapaljive praškaste tvari i poduzetosti inih mjera protupožarne i protueksplozijske zaštite u tvrtci**

Uprava AL Solutionsa imala je propisane procedure za uklanjanje zapaljive praškaste gorive tvari i za nadzor nad prepoznatim požarnim i eksplozijskim opasnostima. Operateri su koristili alate koji ne iskri i nosili 100% pamučnu odjeću radi smanjenja rizika od iskri nastalih udarcem metala o metal, odnosno radi izbjegavanja stvaranja statičkog elektriciteta, iako ta odjeća nije bila obrađena protiv zapaljivosti. U proizvodnoj zgradi nije bilo dopušten unos i rad s otvorenim plamenom. Električna oprema u proizvodnoj zgradi bila je izvedena tako da se smanji mogućnost njenog iniciranja eksplozije. Motori u proizvodnom prostoru izvedeni su tako da ne mogu biti izvorom energije paljenja ni jednom prisutnom praškastom metalu.

AL Solutions redovito je prao opremu vodom kao primarnim sredstvom za eliminaciju prašine iz procesne opreme i radnog prostora. Razlog tomu je bio da se zadrži prašina metala vlažnima i da se ukloni akumulirana prašina s površina procesnih postrojenja. Sva procesna

oprema, zidovi i podovi trebali su biti prani u pravilnim vremenskim razmacima sa crijevima dostupnim u proizvodnoj zgradi. Uprava AL Solutions je očekivala od operatera da čiste svoje radne prostore i opremu na kraju svake radne smjene i kad god bi došlo do nakupljanja praškaste kovine, ili kad bi se mijenjala operacija rukovanja titanom ili obrade cirkonija. Operateri bi sprali prašine metala na pod a zatim u odvodne kanale koji su bili raspoređeni širom poda proizvodne zgrade. Te kanale su čistili jednom tjedno. Tvrtka AL Solutions se nije koristila nikakvim sustavom za sakupljanje prašine da bi uklonili prašinu kovina nakupljenu tijekom procesa obrade, kao što je to inače preporučeno industrijskim standardima sigurnosti za rad pri rukovanju zapaljivim metalnim prašinama. Umjesto toga, oslanjala se na ispiranje vodom kao jedinom metodom za izbjegavanje mogućnosti nastanka eksplozija i požara praškastih kovina, tj. održavanjem njihove prašine vlažnom i izbjegavanjem mogućnosti nakupljanja prašine na tehnološkom postrojenju i opremi i svim ravnim površinama.

U slučaju požara metala, tvrtkin priručnik za sigurnost upućivao je operatere da napuste zgradu, obavijeste upravu i zovu vatrogasnu službu. Evakuacijski plan AL Solutionsa preporučivao je da zaposlenici izbjegavaju gašenje požara prašina metala aparatima za gašenje, uz napomenu da se mogu pokušati gasiti početni požari nemetala aparatima za gašenje. AL Solutions nije bio opremljen vatrogasnim aparatima klase D prikladnim za gašenje požara kovina, pa je tvrtka svojim naputkom uputila osoblje da puste da eventualni požar metala gori i da sklonjeni na sigurno čekaju vatrogasce.

Glavna proizvodna zgrada imala je sprinklerski sustav s otvorenim mlaznicama koji je bio podešen da se aktivira kada detektira visoke temperature ili visoke koncentracije vodika. Senzor smješten u miješalici i remenskoj pokretnoj traci preše aktivirao bi potop vodom ako bi očitovanja dosegla točku alarmiranja. Operateri su mogli i ručno aktivirati taj sustav okrećući ventil smješten u sobi za miješanje i prešanje.

CSB je otkrio da sigurnosne i revizije osiguravatelja nisu adekvatno identificirale i ukazale na opasnosti praškastih kovina u pogonu u New Cumberlandu. Jamegy, prethodni vlasnik objekta, je angažirao konzultanta da provede procjenu ugroženosti „Jamegy titan procesa“ 1998. i 2006. godine. Svrha te procjene bila je da se utvrde događaji koji bi mogli izazvati smrtna stradanja ili velika oštećenja opreme. Požari i eksplozije zbog prašina titana i cirkonija bili su među važnijim događajima razmatranima tijekom ovih procjena. Konzultant je preporučio da Jamegy ugradi automatski sustav za kontrolu požara za miješalicu i prešu da bi poboljšali sprinklerski sustav s otvorenim mlaznicama na stropu u proizvodnoj zgradi. Obje procjene preporučile su revizije da bi se riješila akumulacija praškastih kovina u području miješanja i području prešanja. Iako je procjena rizika razmotrila rizik izlivanja vode na gorući metal (što može prouzrokovati eksploziju), konzultant nije dao preporuke vezano uz prisutnost automatskog sustava za gašenje požara u proizvodnom području.

Revizije osiguravatelja od rizika 2008. i 2009. godine prepoznale su opasnosti od prašina titana i cirkonija, no završna izvješća pokazuju da osiguravatelj smatra da su kontrolne metode pranja praškastih kovina prihvatljive. Revizija iz 2008. je pohvalila ustanovu na njenim „mokrim proizvodnim procesima bez prašine“, a ona iz 2009. navodi da su incidenti učinkovito kontrolirani „dobrim održavanjem“, „ustanovljenim praksama skladištenja sirovog materijala“, i „dodavanjem vode tijekom procesa proizvodnje da bi se kontrolirala prašina“. Sustav zaštite od požara je također spomenut kao dobra kontrola procesa, unatoč činjenici da nije preporučljivo koristiti vodu da bi se gasio požar titana ili cirkonija. Revizija se referira na nesreću iz 2006. (opisanu dalje u tekstu) kada su se praškaste kovine zapalile unutar spremnika za mljevenje. Osvrću se na promjene napravljene na spremniku za mljevenje, ali ne spominju koje su (ako i koje i jesu) mjere napravljene da bi se smanjio rizik od zapaljenja praškastih kovina. Revizor osiguravatelja nije dao ikakve preporuke tvrtci AL Solutions o potrebi promjene dizajna procesa ili sustava upravljanja prašinom. Revizija također nije navela industrijski prihvaćene prakse za praškaste tvari kao

što su NFPA 484, Standardi za zapaljive metale, 21 standard za procesuiranje i rukovanje metalima titana i cirkonija. Opsežna analiza procesa nije preporučena niti izvedena unatoč opasnoj prirodi procesa i prijašnjim nesrećama [11].

#### 6.1.4.4. Eksplozija vodika

Istražitelji CSB-a utvrdili su da je zapaljenje prašine cirkonija vjerojatno uzrokovalo eksploziju, međutim, ne može se isključiti prisutnost zapaljivog vodika koji je djelovao uz praškastu kovinu. Prašine titana i cirkonija su reaktivne s vodom, gore energično u usporedbi s ostalim metalima i mogu proizvesti plin vodik u prisutnosti topline.

Sloj metalnog oksida formiranog na česticama prašine sprječava reakciju ali u slučaju u tvrtci AL Solutions površinski oksidni sloj čestica cirkonija bio je uklonjen tijekom procesa mljevenja. Mljevenje je izložilo svježiji sloj cirkonija i povećalo potencijal vodikove formacije. Stručnjak za praškaste gorive tvari unajmljen od strane CSB-a uzorkovao je prostor isparavanja iznad titana i cirkonija u spremnike za uzorkovanje kako bi izmjerio koncentraciju vodika. Testiranje je otkrilo male količine vodika u oba uzorka. Prisutnost vodika u međuprostoru između čestica u miješalici mogla je imati mali doprinos energiji eksplozije uz zapaljive čestice cirkonija. Tvrtka AL Solutions nije imala sustav ventilacije za kontrolu koncentracije vodika. Prirodna ventilacija nije bila dosljedna; radnici su izjavili da su zatvarali vrata kako bi kontrolirali temperaturu tijekom hladnijih mjeseci [11].

#### 6.1.4.5. Prethodni požari i eksplozije

Prije nesreće 2010., u pogonu u New Cumberlandu dogodile su se dvije kobne eksplozije koje su uključivale zapaljenje praškastih kovina. Od 1993. do nesreće 2010., dobrovoljna vatrogasna postrojba New Cumberlanda intervenirala je na barem sedam požara u tvrtci AL Solutions. Pogon za mljevenje AL Solutionsa u Missouriju je također imao požar koji je zahtijevao intervenciju lokalne vatrogasne postrojbe. CSB je saznao da nekoliko drugih požara koji su nastupili u New Cumberland objektu nisu rezultirali intervencijom vatrogasaca. U stvari, gotovo svi zaposlenici (s iznimkom najnovijih) prijavili su istražiteljima CSB-a da su svjedočili jednom ili više požara u proizvodnoj zgradi. Unatoč čestoj pojavnosti požara tijekom poslovanja, AL Solutions je nastavio koristiti „održavanje čistoće“ kao svoje prvotno sredstvo smanjenja akumulacije prašine, radije nego da su usvojili robusnije inženjerske kontrole.

NFPA standard preporučuje afirmativne korake kontrole prašine, kao što npr. oprema za skupljanje prašine treba biti implementirana iznad poslova održavanja.

Prijašnje nesreće:

##### 1. Eksplozija propana i titana 1995.

U kolovozu 1995. jedan zaposlenik je ubijen a drugi ozlijeđen u eksploziji i požaru u objektu New Cumberland. Požar je uzrokovao spremnik propana koji je propuštao, i neodređeni izvor paljenja. Prema izvješću požarnih istražitelja West Virginie o nesreći, propan se skupljao vani ispod spremnika kod zida proizvodne zgrade, a pare propana počele su se akumulirati unutar zidova zgrade. Propan se zapalio zbog nepoznatog uzroka, generirajući udarni zračni val koji je podigao prašinu titana. Prašina se zapalila i izazvala sekundarnu eksploziju koja je zapalila zapaljivi materijal unutar proizvodne zgrade. OSHA je istraživala nesreću i izdala nekoliko sudskih presedana Jamegyu. Incident je potaknuo Jamegy da provede brojne promjene, uključujući i izoliranje postolja propana od zgrada i konstrukciju nove proizvodne zgrade osmišljenu na način da bi se riješili opasnosti od procesuiranja praškastog gorivog titana. Nakon nesreće

1995., Jamegy je konstruirao novu proizvodnu zgradu napravljenu od montažnog betona koja je bila odvojena od skladišta, laboratorija i ureda.

Ova proizvodna zgrada bila je poprište nesreće 2010. Njen dizajn uključivao je odvode za bolje pranje prašine s procesne opreme i površina. Sprinklerski sustav s otvorenim mlaznicama ugrađen je za suzbijanje požara. Sva električna oprema u prostorima za miješanje i prešanje bila je osmišljena tako da bude zapečaćena i da spriječi put prašini do bilo kakvih električnih iskri ili izvora zapaljenja. Jamegy nije iskoristio priliku da ugradi sustav za skupljanje prašine usklađen s postojećim NFPA pravilima o zapaljivim prašinama u to vrijeme i umjesto toga nastavili su se oslanjati na „održavanje čistoće“ da bi akumulaciju prašine sveli na minimum. Ugradnja sprinklerskog sustava s otvorenim mlaznicama bila je u suprotnosti s prihvaćenim industrijskim praksama i tehničkim smjernicama za gašenje požara metala titana i cirkonija.

## 2. Incident 1996.

Nedugo nakon što su se operacije proizvodnje nastavile u novoj zgradi, „flash“ (nagli) požar je nastao u miješalici, oštećujući miješalicu i prešu koja se nalazila ispod nje. Očevidac je izjavio da se plamen pojavio iz stjenki miješalice. Postpožarni pregled indicirao je da je jedna od lopatica ispala, vjerojatno uzrokujući trenje između miješalice i lopatice, što je vjerojatno iniciralo požar. Ovaj požar nije nikog ozlijedio, no Jamegy je morao postaviti novu miješalicu. Nova miješalica bila je izrađena od nehrđajućeg čelika za razliku od prethodne koja je bila od ugljičnog čelika, i bila je pokretana manjim brojem okretaja da bi se smanjila mogućnost zagrijavanja trenjem koje vodi do zapaljenja.

## 3. Nesreća 2006.

U srpnju 2006., nadzornik je smrtno stradao čisteći unutrašnjost spremnika za mljevenje kada se preostali metal u mlinu zapalio. Smrt je nagnala Jamegy da promijeni proceduru čišćenja mlina. Prije nesreće, procedura je zahtijevala da operater uđe u mlin i lopatom izbaciti metal u kade/kace. Posljedično, napravljen je ventil na dnu mlina koji omogućuje operaterima da šmrkom isperu unutrašnjost mlina i iscijede/осуше ga. OSHA je provela istragu nesreće i naplatila kazne Jamegyu za pet ozbiljnih sigurnosnih prekršaja: manjak valjanih dozvola za skućene prostore, manjak zaštitne opreme (kao što su vatrootporna odjeća u prisutnosti cirkonija), manjak ograda na platformi, manjak zaštite strojeva, i manjak odgovarajućih procedura za iskljućenje. Nisu spomenuli industrijske standarde kao što su NFPA 484 kako bi se riješio neuspjeh kontrole opasnosti od prašina metala[11].

## 6.1.5. Industrijski standardi i analiza regulacije

### 6.1.5.1. NFPA<sup>7</sup> 484

NFPA 484 Standard za zapaljive kovine jedan je od nekoliko NFPA standarda o zapaljivim prašinama. Odnosi se na objekte poput onog tvrtke AL Solutions, koji proizvode, procesuiraju, finiiraju, rukuju, recikliraju ili skladište metale i legure u obliku koji se može zapaliti ili eksplodirati. Kao i mnogi drugi NFPA konsenzusi, NFPA 484 služi kao vodič koji je dobrovoljan osim ako je usvojen na lokalnoj ili državnoj razini. NFPA 484 opisuje testove i

---

<sup>7</sup> NFPA (eng. *National Fire Protection Association*) - Nacionalna udruga za zaštitu od požara koja stvara i revidira standarde i propise u protupožarstvu za korištenje i usvajanje na lokalnim razinama. NFPA standardi su dobrovoljni osim ako u usvojeni u zakon neke zemlje.

metode za određivanje zapaljivosti praškastih kovina i pruža smjernice za sprječavanje naglih požara i eksplozija praškastih kovina.

CSB je zatražio testiranje eksplozivnosti kako je navedeno u NFPA 484 da bi se utvrdila primjenjivost standarda. Testiranje u nesreći pokazuje da su uzorci praškastih kovina korištenih u pogonu AL Solutionsa eksplozivni i prema tome NFPA 484 je primjenjiv na procese u postrojenju New Cumberlanda.

Poglavlje 10 NFPA 484-2009, verzija standarda dostupna u vrijeme nesreće, pokriva objekte koji procesuiraju titan, a Poglavlje 11 odnosi se na objekte koji procesuiraju cirkonij. Oba poglavlja uključuju slične odredbe za rukovanje i skladištenje titana i cirkonija. Zahtjevi specifični za požarnu preventivu i hitne odgovore su retroaktivni za sve postojeće objekte. Prakse u tvrtci AL Solutions nisu usklađene s mnogim odredbama ovih poglavlja. Da je tvrtka AL Solutions dobrovoljno slijedila NFPA 484 - ili da su požarni inspektori (nadležni autoriteti) West Virginie ili OSHA nametnuli njegove odredbe, nesreća je možda mogla biti spriječena ili su njene posljedice mogle biti umanjene.

NFPA 484 zahtjeva upotrebu vatrootporne odjeće da bi se smanjila težina ozljeda od naglih/buktećih požara. Tvrtka AL Solutions je osigurala svojim operaterima stopostotne pamučne radne hlače i majice koje nisu bile vatrootporne. NFPA 484-2009 navodi da osoblje koje rukuje suhim prahom titana mora nositi cipele koje ne iskre i nezapaljivu ili vatrootpornu odjeću bez džepova, manžeta, preklopa ili nabora u koje se prah može akumulirati. Sličan zahtjev postavljen je i za cirkonij. Poglavlja o titanu i cirkoniju također propisuju ugradnju i korištenje sustava za skupljanje prašine za kontrolu akumulacije praškastih kovina u blizini procesne opreme i procesa proizvodnje prašine. Tvrtka AL Solutions tim sustavom nije bila opremljena.

Poglavlje 13 NFPA 484-2009 Prevencija požara, zaštita od požara i hitne/žurne reakcije/službe uključivalo je opće odredbe za sprječavanje požara praškastih kovina i odnosilo se na postojeće objekte. U jednom dijelu se navodi „Svi strojevi moraju biti ugrađeni i održavani na takav način da mogućnost iskrenja trenjem bude svedena na minimum.“ Zaposlenici tvrtke AL Solutions prijavili su ponavljajuće probleme sa trenjem oštice miješalice o stjenke, no održavanje nije adekvatno riješilo problem kontakta metal o metal koje je vjerojatno bilo uzrok zapaljenja u eksploziji 2010. NFPA 484 navodi da automatski sprinklerski sustav ne smije biti dopušten u područjima gdje se proizvodi i rukuje zapaljivim kovinama zato što voda raspršena na požar titana ili cirkonija može dovesti do gorenja praškastih kovina ili eksplozije. Unatoč upozorenjima NFPA 484 i unatoč raspravama u tehničkim smjernicama o opasnosti korištenja vode za gašenje požara metala, tvrtka AL Solutions je izabrala sprinklerski sustav s otvorenim mlaznicama kao metodu gašenja požara kovina. U prethodnim nesrećama, dobrovoljno vatrogasno društvo je također gasilo požare vodenim šmrkom, izlažući vatrogasce potencijalnim opasnostima eksplozije. NFPA 484-2009 preporučuje izradu sveobuhvatnog plana hitne pripremljenosti, te zahtjeva da ga se učini dostupnim hitnim službama zbog jedinstvenih karakteristika požara praškastih kovina.

Nekoliko dijelova NFPA 484 uključuju odredbe za pravilno skladištenje zapaljivih kovina. Na primjer, prema poglavlju 13, „Otvorena skladišta metalnih krhotina i finih čestica treba izolirati i odvojiti od ostalih metalnih otpadaka da bi se spriječilo širenje požara.“ Poglavlje 14, Objekti za recikliranje zapaljivih kovina, zahtijevaju da suho skladištenje više od 6 bačvi suhih zapaljivih kovina mora biti odvojeno od drugih dijelova objekta za recikliranje. Priručnik za sigurnost tvrtke AL Solutionsa uključivao je nekoliko zahtjeva za odvajanje titana i cirkonija ali u vrijeme nesreće, tvrtka AL Solutions je skladištila oba metala u neposrednoj blizini u proizvodnoj zgradi, što je potaknulo požar i eksploziju. Tvrtka je prepoznala postojanje opasnosti prašina titana i cirkonija u svojim tehničkim smjernicama i planu zaštite tvornice. Nekoliko prijašnjih nesreća također je demonstriralo opasnosti ovih materijala. Međutim, uprava nije provodila propise tvrtke da bi smanjila rizik od eksplozija i

požara praškastih kovina, i njihove prakse upravljanja prašinom nisu bile usklađene sa standardima priznatih praksa industrije, kao što je NFPA 484. CSB je utvrdio da operateri, nadzornik i inženjeri u tvrtci AL Solutions nisu bili upoznati s NFPA 484 i da osmišljenost procesa, izgradnja, i prakse prevencije požara nisu uzeli u obzir odredbe NFPA standarda [11].

### 6.1.5.2. Primjenjivost propisa standarda NFPA 484

Iako inženjering kontrolira stvari primjera da sustav za skupljanje prašine treba biti korišten da se spriječi akumulacija, održavanje/čišćenje može biti sekundarno sredstvo kontrole. U nedostatku sustava za skupljanje prašine, tvrtka AL Solutions se oslanjala prvenstveno na ispiranje vodom za kontrolu i smanjenje akumulacije praškastih gorivih tvari titana i cirkonija. Kao što je prethodno navedeno, prskanje vodom nije preporučeno za požare cirkonija i titana a posebno je opasno u kontaktu s rastaljenim ili gorućim titanom zbog reakcije koja oslobađa eksplozivni plin vodik. CSB je pregledao primjenjivi nacionalni sporazumni standard, NFPA 484 2012, i uočio da Poglavlje 15, Prevencija požara, zaštita od požara i hitne službe, specificiraju sljedeće važne zahtjeve sigurnosti za operacije čišćenja vodom:

„15.2.2.4.4. Zahtjevi za čišćenje vodom - upotreba vode za čišćenje ne smije biti dopuštena u proizvodnim područjima osim ako su ispunjeni sljedeći zahtjevi:

1. Kompetentno tehničko osoblje odlučilo je da će upotreba vode biti najsigurnija metoda čišćenja u najkraćem vremenu izlaganja
2. Voditelj operacija ima puno znanje o, i odobrio je upotrebu vode
3. Ventilacija, bilo prirodna ili prinudna, dostupna je za održavanje koncentracije vodika sigurnom ispod donje granice zapaljivosti
4. Kompletni odvod sve vode i praha na udaljeno područje je dostupan“

NFPA je obavijestio CSB da su ovi zahtjevi namijenjeni za primjenu aktivnosti čišćenja vodom u svim operacijama sa zapaljivim metalima, uključujući i one sa titanom i cirkonijem. CSB navodi da primjenjivost ovih zahtjeva za operacije sa titanom i cirkonijem nije dovoljno jasna u trenutnoj verziji NFPA 484, što može rezultirati ne praćenjem ovih zahtjeva od strane zaposlenika za operacije koje uključuju praškaste gorive tvari reaktivne s vodom. U raspravi CSB istražitelja, NFPA osoblje indiciralo je da će ovaj problem biti razjašnjen u izdanju NFPA 484 2015. godine. Zahtjevi za čišćenje na bazi vode bit će maknuti u novo poglavlje održavanja čistoće ranije u propisu (poglavlje 7). Ovo poglavlje uključivat će opće zahtjeve održavanja za sve metale, uključujući i operacije čišćenja vodom [11].

### 6.1.5.3. OSHA standardi

Od 2006. CSB je preporučivao da OSHA generira opće standarde industrije za praškaste gorive tvari temeljene na NFP standardima 654 i 484. Unatoč opetovanim preporukama CSB-a i kobnih nesreća s praškastim gorivim tvarima od izdavanja preporuke, OSHA nije izdala konačne standarde o zapaljivim praškastim gorivim tvarima. OSHA je prepoznala potrebu i važnost standarda praškastih gorivih tvari i u prošlosti činila korake prema usvajanju standarda, ali to je odgođeno. Nakon preporuka CSB-a 2006., OSHA je pokrenula Program nacionalnog isticanja praškastih gorivih tvari, ali ovaj program je ograničen u opsegu i primjeni i nije imao širi doseg utjecaja koji bi postigao standard o praškastim gorivim tvarima.

CSB je 2008. izdao izvješće o eksploziji u Imperial Sugar tvornici u kojem je preporučio OSHA-i „nastaviti ekspeditivno“ u stvaranju standarda o praškastim gorivim tvarima. Nakon ove preporuke OSHA je najavila da će početi raditi pravila za standard. 2009.



i 2010. OSHA je napredovala u razvijanju standarda držeći sastanke dioničara diljem zemlje. Nakon ovih sastanaka OSHA je odgodila sljedeći korak u procesu stvaranja pravila nekoliko puta.

CSB je ponovio preporuku izdanu 2006. OSHA-i da „izda standard osmišljen da spriječi požare i eksplozije praškastih gorivih tvari u općoj industriji...“ koju godinama nakon inicijalne preporuke OSHA još uvijek nije ispunila. Međutim, OSHA je bila uključena u nekoliko aktivnosti od 2005. da se poveća svijest o zapaljivim prašinama, za poštivanje od strane službenika kao i za industriju. U radu prema donošenju konačnog pravila o praškastim gorivim tvarima, OSHA je razvila neregulativni vodič za praškaste gorive tvari, uključujući i brošuru s informacijama o sigurnosti i zdravlju, vodič za komunikaciju o opasnostima praškastih gorivih tvari, i informacije o mjerama opreza i vježbama za vatrogasce. OSHA je poslala i 30000 pisama poslodavcima koji rukuju zapaljivim prašinama da bi podigli svijest nakon nesreće u Imperial Sugaru 2008.

OSHA WV područni ured je izvršio inspekciju tvrtke AL Solutions i zabilježio prekršaje - jedan namjerni i 12 ozbiljnih prekršaja tvrtke kao rezultat nesreće 2010. OSHA je sudski procesuirala tvrtku AL Solutions zbog prekršaja „klauzule općih dužnosti“, uključujući neadekvatan sustav detekcije vodika, nedostatak odušivanja eksplozije u proizvodnom području i nepropisno skladištenje zapaljivih metala. OSHA uglavnom izdaje sudske presedane općih dužnosti u nedostatku specifičnog provodljivog standarda za opasnosti ili uključenog industrijskog sektora. Drugi ozbiljni prekršaji uključuju nedostatak obuke, slabu komunikaciju o opasnostima i neosiguravanje zaposlenicima vatrootporne odjeće da bi se smanjila ozbiljnost ozljeda od naglo buknulog požara. Zabilježeni namjerni prekršaj izdan tvrtci AL Solutions navodi upotrebu vode umjesto preporučenog pijeska ili agens za gašenje sa solju da bi se suzbio požar praškaste kovine. Od izdavanja Nacionalnog programa isticanja praškastih gorivih tvari CSB nije našao nikakve dokumente o OSHA-inoj na tom programu temeljenoj inspekciji u AL Solutionsu prije eksplozije 2010. [11].

#### **6.1.5.4. Požarni propisi West Virginie**

Požarni propisi West Virgine namijenjeni su da podržavaju „očuvanje života i imovine od opasnosti od požara i eksplozije.“ Požarni propisi West Virginie navode da Nacionalni požarni propisi „imaju istu snagu i učinak kao da su doslovno preuzeti u ovom pravilu.“ Također navodi, „državni požarni istražitelj će koristiti standarde i zahtjeve unutar pripojenih publikacija u svim slučajevima pod njegovom ili njenom nadležnošću.“ NFPA 484 izdanje iz 2009. godine, Standardi za zapaljive kovine, jedan je od standarda na koje se odnose Nacionalni požarni propisi, i ugrađen je u Požarne propise West Virginie i provediv od strane nadležnog autoriteta. Državni požarni istražitelji imaju ovlasti određivati koji popravci ili promjene su neophodne za ublažavanje požarnih opasnosti u objektu. Državni požarni istražitelj može provoditi ovu ovlast kada „se bilo koja zgrada ili struktura održava ili koristi na takav način da ugrožava život ili imovinu opasnostima od požara ili eksplozije.“

NFPA 484.2009 navodi, „Dokumentirana procjena rizika prihvatljiva nadležnim vlastima bit će provedena da se utvrdi razina zaštite od eksplozija za sustav skupljanja prašine.“ Državni požarni istražitelj je nadležna osoba za West Virginiu. Međutim, Ured državnog požarnog istražitelja ne ispituje zgrade redovito da bi osigurao usklađenost s požarnim propisima. U West Virginiji, Ured državnog požarnog istražitelja ima različite uloge. Certificira vatrogasne ustanove, istražuje požare i eksplozije, provodi požarne propise, i provodi požarne inspekcije. Niti Ured državnog požarnog istražitelja niti dobrovoljno vatrogasno društvo New Cumberlanda nisu proveli inspekciju u objektu tvrtke AL Solutions da bi se osigurala usklađenost s Državnim požarnim propisima ili s NFPA 484. Nakon nesreće

2006., državni požarni istražitelj proveo je istragu ali nije izdao nikakve preporuke i nije zahtijevao da ustanova primjenjuje NFPA 484.

CSB studija o opasnostima od praškastih gorivih tvari navodi sljedeće:

*„CSB je našao malu primjenu požarnih propisa u industrijskim objektima. Većina nadležnosti fokusira se na problem očuvanja života, kao npr. većina primijenjenih izvora propisa lokalnih vlasti posvećena je sredstvima izlaska, gašenja požara, itd. u školama, hotelima, staračkim domovima, bolnicama, noćnim klubovima, i drugim ustanovama, nasuprot opasnostima požara i eksplozije u industriji uključujući opasnosti od praškastih gorivih tvari ili uporabe opasnih materijala i skladištenja. Drugi problem je taj da su inspekcije često provedene od strane lokalnih vatrogasnih postrojbi, čiji članovi vjerojatno imaju ograničeno znanje o industrijskim procesima i opasnostima.“*

Ovaj zaključak dodatno dokazuje potrebu za OSHA standard za praškaste gorive tvari. Zahtjevi NFPA 484 ugrađeni u državne požarne propise mogu biti provedivi, ali neće biti efektivni ako lokalne vatrogasne postrojbe nemaju znanja i resurse potrebne za inspekciju ustanova i provođenje tih zahtjeva. Izdavanje ove regulacije o zapaljivim praškastim gorivim tvarima priskrbilo bi tvrtkama specifične i provedive zahtjeve za prevenciju požara ili eksplozija praškastih gorivih tvari. Potreba za OSHA standardom o praškastim gorivim tvarima postala je prva stavka u CSB-ovim najpoželjnijim/najtraženijim programima poboljšanja kemijske sigurnosti. Da je OSHA implementirala prve preporuke CSB-a za standard praškastih gorivih tvari 2006., mnoge od teških nesreća praškastih gorivih tvari koje su uslijedile, uključujući i one u tvrtci AL Solutions, mogle su biti spriječene [11].

#### 6.1.6. Sigurnosne preporuke AL Solutionsu

CSB je kao rezultat istrage nesreće tvrtci AL Solutions izdao sigurnosne preporuke:

- **2011-3-I-WV R1** Za svu novu i postojeću opremu i operacije/postupke u AL Solutions objektima koji obrađuju praškaste gorive tvari ili prahove kovina, primijeniti sljedeća poglavlja NFPA 484-2012 standarda o zapaljivim kovinama:
  - poglavlje 12, Titan
  - poglavlje 13, Cirkonij
  - poglavlje 15, Prevencija požara, zaštita od požara i hitne službe/žurno reagiranje
  - poglavlje 16, Objekti za recikliranje zapaljivih kovina
- **2011-3-WV R2** Razviti materijale za obuku koji se odnose za opasnosti od praškastih gorivih tvari i opasnosti od prašina kovina specifičnih za tvrtku i zatim obučiti sve zaposlenike i izvođače. Zahtijevati periodičnu/godišnju obuku za podsjećanje za sve zaposlenike i izvođače

Tvrtci AL Solutions, Inc. objektu u Burgettstownu, Pennsylvania:

- **2011-3-I-WV R3** Zabraniti upotrebu sprinklerskog sustava u svim objektima koji obrađuju ili skladište zapaljive kovine
- **2011-3-I-WV R4** Provesti procjenu ugroženosti procesa kao što je definirano u NFPA 484-2012, poglavlje 12.2.5. i predati kopiju lokalnoj vatrogasnoj postrojbi ili nadležnoj izvršnoj vlasti za požarne propise [11].

### 6.1.7. Faktografska rekonstrukcija

1. 1998. i 2006. u postrojenju za vrijeme bivšeg vlasnika, konzultant je preporučio ugradnju automatske kontrole požara za procesnu opremu miješanja i prešanja kako bi se pojačala učinkovitost uz sprinklerski sustav s otvorenim mlaznicama. Iako je procjena ugroženosti razmotrila rizik izlivanja vode na gorući metal i stvaranja eksplozije, konzultant nije dao preporuke kako bi se obratilo pozornost na automatski sprinklerski sustav s otvorenim mlaznicama u proizvodnom području.
2. Nakon jedne od prijašnjih nesreća 2006., OSHA bilježi prekršaje Jamegyu (stari vlasnik), ali se ne spominju industrijski standardi poput NFPA 484 kako bi se obratilo pažnju na nemogućnost kontrole opasnosti prašina kovina.
3. Tvrtka AL Solutions 2007. godine unajmljuje laboratorij za testiranje brzine izgaranja uzoraka cirkonija i titana. Uzorci su smatrani zapaljivima, i to je napisano u sigurnosno tehničkom listu tvrtke AL Solutions. Uprava nije provodila njegove zahtjeve.
4. 2008. i 2009. osiguravatelj od rizika za AL Solutions provodi reviziju. Prepoznaje opasnosti od titana i cirkonija, no smatra da je metoda ispiranja prašine vodom prihvatljiva metoda zaštite. Sprinklerski sustav je spomenut kao dobra procesna kontrola, unatoč činjenici da nije preporučljivo koristiti vodu za gašenje požara titana i cirkonija. Niti jedna revizija nije dala preporuke za promjenu procesa ili sustava za upravljanje/odvođenje prašine.
5. Sav materijal koji se trenutno ne koristi u proizvodnji trebao se držati u odvojenom skladištu izvan proizvodnog područja. Radnici su takav materijal redovito ostavljali unutar proizvodnog područja.
6. AL Solutions nije slijedio higijenske standarde industrije. Nije korišten visokoučinkoviti čestični respirator.
7. Čišćenje se obavljalo ispiranjem vodom, no čistilo se samo akumuliranu prašinu s procesne opreme. Radnici nisu prali zidove, opremu i podove u redovnim intervalima. Isprana prašina slijevala se u oluke u podu koji su se čistili tjedno.
8. Plan u slučaju izvanrednog događaja preporučio je da radnici izbjegnu gašenje požara prašina metala s vatrogasnim aparatima (jer nisu bili opremljeni aparatima D klase primjerene za tu vrstu požara), da napuste zgradu, uzbune upravitelja, i zovu vatrogasce.
9. Radnici nisu nosili vatrootpornu odjeću.
10. 2010., danima prije eksplozije, radnici uočavaju mehanički problem s miješalicom. Lopatice miješalice su udarale o stjenke, i usijecale kućište.
11. Osoblje održavanja je povećavalo razmak između lopatica i stjenki, što je samo privremeno riješilo problem.
12. Problem se ponovno javlja, osoblje zamjenjuje istrošene lopatice sa lopaticama iz stare miješalice, oko 2 sata prije nesreće. Miješalica nije popravljena niti zamijenjena kako bi se izbjeglo izlaganje zapaljivih praškastih kovina iskrama i toplini nastaloj mehaničkim udarima lopatica o stjenke.
13. Poklopac miješalice, namijenjen da bude u zatvorenom položaju, bio je u otvorenom položaju.
14. Trenje lopatica miješalice o stjenke vjerojatno je zapalilo prah cirkonija. Oblak zapaljivog cirkonija rezultirao je deflagacijom. Plin vodik nastao reakcijom cirkonija i vode od procesa ispiranja je također vjerojatno pridonio eksploziji.

15. Jedan radnik je čuo zvuk mehaničkog loma, zatim jako huktanje vjetra i veliki prasak. Drugi radnik je također čuo eksploziju i vidio vatrenu kuglu, a treći je osjetio snažan vjetar i vidio narančasti iskreći plamen na stropu.
16. Operatera preše cirkonija eksplozija i požar su jako opekli. Nadzornik, električar i upravitelj tvornice pružili su prvu pomoć operateru do dolaska hitne službe.
17. Do dolaska žurnih službi, sprinklerski sustav s otvorenim mlaznicama već se aktivirao. Vatrogasci pokušavaju pristupiti zgradu kroz ured, ali vatra je preintenzivna. Dva operatera u prostoriji za miješanje i prešanje umrli su na licu mjesta, a operater preše nakon tri dana od posljedica opeklina.
18. 2006., CSB daje preporuku da OSHA napravi zaseban standard o praškastim gorivim tvarima. 2008., OSHA još uvijek nije predložila standard. Iako je OSHA najavljivala svoje namjere o stvaranju pravila, u vrijeme još jedne nesreće 2011. još uvijek nisu donijeli standard, već su dvaput odgađali sljedeći korak u procesu donošenja pravila. Nakon slične nesreće 2013., CSB je ocijenio prijašnje reagiranje OSHA-e na preporuke neprihvatljivim jer OSHA tek treba razviti prijedlog pravila o opasnostima od praškastih gorivih tvari, 4 godine nakon što se obvezala na stvaranje pravila! Potreba za ovim OSHA standardom postala je prvi, najbitniji poželjni program poboljšanja sigurnosti CSB-u.

## 6.2. RAŠČLAMBA UZROKA EKSPLOZIJE I POŽARA U SLUČAJU POGONA TVRTKE „HOEGANAES CORPORATION“

Ovo poglavlje opisuje slučaj višestrukih naglo buknulih požara prašine željeza i eksplozija vodika u objektu Hoeganaes u Gallatinu, Tennessee. Prvi naglo buknuli požar ubio je jednog, drugi je dva radnika ozlijedio, a treći, eksplozija vodika i požar ozlijedio dva radnika i rezultirao smrću još trojice.

Hoeganaes Corp. je svjetski proizvođač atomiziranih prahova čelika i željeza. Tvrtka je podružnica GKN-a, multinacionalne inženjerske tvrtke sa sjedištem u Ujedinjenom Kraljevstvu. Najveći potrošač proizvoda metalurškog praha (PM<sup>8</sup>) je automobilska industrija, koja preša i sinterira<sup>9</sup> prah u male metalne dijelove [14].

### 6.2.1. Opća obilježja tehnološkog procesa

Tvrtka Hoeganaes dobiva i topi otpatke čelika. Različiti elementi dodaju se u topljeni metal da bi se postigle tražene karakteristike kupaca, ali „proizvod kuće“ *Ancorsteel 1000*<sup>TM</sup> je sastava od preko 99% željeza. Istopljeno željezo se hladi i melje u grubi prašak koji se procesira u dugim žarnim pećima da bi se željezo učinilo rastezljivim. Peći se zovu „tračne peći“ zbog 30 m (100 stopa) dugog prienosnog remena ili trake koja ide kroz njih. Atmosfera vodika osigurana je u tračnoj peći da bi se željezo oslabilo uklanjanjem oksida i sprječavanjem oksidacije. Vodik se isporučuje u tvornicu preko ugovornog dobavljača, na lice mjesta. Vodik se prenosi do peći cijevima koje se nalaze u rovu ispod poda pokrivenim metalnim pločama. U procesu prolaska kroz peć, grubi prašak postaje gusta/debela ploča zvana „torta“. „Torta“ se šalje na razbijač torti i konačno drobi u fini metalurški prah. Većina finih čestica metalurškog praha ima čestice promjera 45-150 mikrona ili ugrubo širinu/debljinu vlasi ljudske kose [14].

### 6.2.2. Nesreće

U relativno kratkim vremenskim razmacima, dogodile su se tri nesreće.

#### **Nesreća 31. siječnja 2011.**

Metalurški prašak se transportira kroz tvornicu raznim mehanizmima, uključujući pužne transportere i vedričare. Oni imaju tendenciju „skliznuti“ kada remen koji vuče vjedra/kante nije poravnat. Kada je dovoljno izvan putanje, naprezanje na motoru se povećava dok moment ne postane prevelik i motor se ugasi. 31. siječnja 2011. oko 5:00 h operateri Hoeganaes tvornice sumnjali su da je elevator broj 12 izvan putanje i pozvali su mehaničara i električara iz održavanja da bi pregledali opremu. Na temelju zapažanja nisu mislili da je remen izvan putanje i zahtijevali su preko radija da operater u kontrolnoj sobi resetira motor. Kada je elevator ponovno pokrenut, vibracije opreme raspršile su fine čestice željezne prašine u zrak. Tijekom intervjua s CSB-om, jedan od radnika prisjetio se da ga je zahvatio plamen gotovo odmah nakon što je motor ponovno pokrenut. Hitne službe grada Gallatina stigle su i prevezle mehaničara i električara u Vanderbilt centar za opekline u Nashvilleu, TN. Oba zaposlenika su zadobila jake opekline na velikom postotku tijela. Prvi zaposlenik preminuo je dva dana

---

<sup>8</sup> PM (engl. *Powdered metal*) - prihvaćeni akronim u metalnoj industriji za metalurški prah [14].

<sup>9</sup> *Sinteriranje* - okrupnjivanje sitnih čestica materijala zagrijavanjem kako bi nastale veće nakupine ili komponente [14].

kasnije, a drugi zaposlenik je preživio gotovo 4 mjeseca prije nego je podlegao ozljedama u svibnju 2011. [14].



Slika 8. Poprište nesreće 31. siječnja 2011. [14].

#### **Nesreća 29. ožujka 2011.**

Kao dio tekućeg projekta poboljšanja peći, Hoeganaesov inženjer i ugovorni izvođač radova zamjenjivali su potpaljivače na tračnoj peći. Imali su poteškoće u ponovnom spajanju određene linije prirodnog plina nakon zapaljenja potpaljivača. Koristeći čekić da bi prisilno spojio liniju plina, Hoeganaesov inženjer nehotice je podigao velike količine zapaljive željezne prašine s ravnih površina na rub tračne peći, u rasponu 6 metara (20 stopa) iznad njega. Čim se prašina raspršila zahvatio ga je plamen. Skočio je i pao s pokretnih ljestava u pokušaju da izbjegne vatrenu kuglu. Zadobio je opekline prvog i drugog stupnja na oba bedra, površne opekline lica, i ogrebotine od pada. Nakon što je vidio prvotni bljesak zapaljenja prašine, izvođač radova naglo je reagirao i prošao bez težih ozljeda.

Inženjer je nosio zaštitnu opremu dodijeljenu od tvrtke Hoeganaes koja je uključivala hlače i košulju koje su označene kao vatrootporna odjeća. Također je nosio vatrootpornu jaknu koja je osigurala zaštitu gornjem dijelu torza od naglo buknulog požara [14].



Slika 9. Linija plina na kojoj se radilo za nastanka nesreće [14].



Slika 10. Računalno izrađeni prikaz nesreće [14].

### **Nesreća 27. svibnja 2011.**

Oko 6 sati ujutro 27. svibnja 2011., operateri u blizini tračne peći #1 čuli su šištanje koje su identificirali kao curenje plina. Operateri su utvrdili da je curenje bilo u rovu, području ispod tračnih peći koje sadrži vodik, dušik i vodu za hlađenje iz cijevi, pokraj odušnog ventila za peći. Operateri su obavijestili održavanje o šištanju, i 6 mehaničara je zaduženo da nađu i poprave curenje. Jedan operater područja prekaljivanja stajao je dok su mehaničari tražili izvor curenja. Iako je osoblje održavanja već znalo da su cijevi s vodikom u istom rovu, pretpostavili su da curi nezapaljivi dušik zbog nedavnog curenja u cjevovodu dušika drugdje u tvornici pa su počeli pokušavati ukloniti ploče rova. Međutim, ploče rova bile su preteške za podizanje bez strojeva. Koristeći mosnu dizalicu, mogli su podići nekoliko ploča s rova. Utvrdili su da je curenje blizu najjužnijeg pokrova rova, koje dizalica ne može dosegnuti. Ubrzo nakon 6:30 h, osoblje održavanja došlo je viličarom opremljenim lancem na vilicama, i bili su u mogućnosti dosegnuti i započeti s uklanjanjem najjužnijih ploča rova. Razgovori s očevicima ukazuju da je tek što se prvi poklopac s rova istrgnuo iz svog položaja viličarom trenje izazvalo iskre, čemu je uslijedila snažna eksplozija. Nekoliko dana nakon eksplozije, istražitelji CSB-a uočili su veliku rupu (približno 7x17 cm) u korodiranom dijelu cjevovoda koji je provodio vodik i išao kroz rov.

Kako je cureći vodik eksplodirao, nastali nadtlak je raspršio velike količine željezne prašine s greda i drugih površina u gornjim dijelovima zgrade. Dijelovi ove prašine zatim su se zapalili. Više svjedoka izjavilo je da je vidjelo padajuću žar koja je potpalila više naglo buknulih požara prašine u prostoru. Također su izjavili da je vidljivost bila toliko ograničena u nekim slučajevima da su bile potrebne svjetiljke; jedan očevidac rekao je da je i sa svjetiljkom mogao vidjeti tek metar ispred zbog tolike količine prašine i dima. Eksplozija vodika i proizišli naglo bukteći požar željezne prašine ozlijedili su 4 mehaničara i operatera prekaljivanja. Dva mehaničara koja su bila u blizini viličara prevezena su u lokalnu bolnicu gdje su liječeni zbog udisanja dima i ubrzo nakon tog su otpušteni iz bolnice. Dva mehaničara i operater koji je stajao pokraj tijekom izvođenja poslova održavanja žurno su prevezeni u Vanderbilt centar za opekline. Manje od tjedan dana nakon nesreće, dva zaposlenika podlegla su ozljedama. Treći teško ozlijeđen zaposlenik umro je od ozljeda gotovo sedam tjedana nakon nesreće. Zbog opsežne prirode ozljeda, i obilja vodika i praškastih gorivih tvari prisutnih u vrijeme nesreće, teško je točno odrediti što je od toga, ako ne i oboje, uzrokovalo kobne ozljede žrtvama [14].



Slika 11. Rupa u cjevovodu nakon nesreće [14].



Slika 12. Pomicanje pokrovnih ploča izazvano eksplozijom vodika [14].

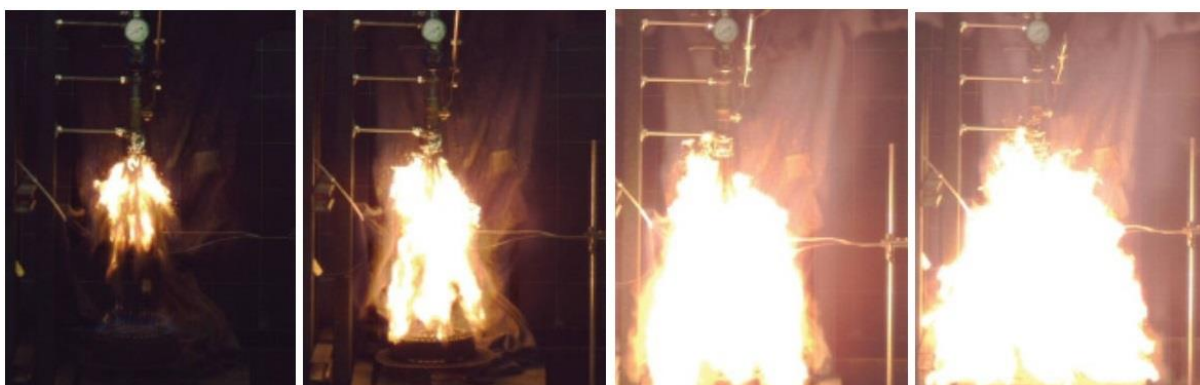
### 6.2.3. Ispitivanje svojstava praškastih gorivih tvari

Prema NFPA 484 standardu, ustanove koje rukuju prašinama kovina trebaju provesti jedan od dva testa provjere da bi utvrdili je li prašina kovine zapaljiva i vrijede li odredbe norme. Ako rezultat bilo kojeg testa pokaže da je prašina zapaljiva ili eksplozivna, NFPA 484 primjenjivao bi se ili dobrovoljno dobrom praksom ili kao zahtjev nadležnog regulatornog tijela. Prvi test provjere za određivanje zapaljivosti, poznat i kao „*Train test*“, mjeri brzinu izgaranja sloja prašine po dužini uzorka. Ako postoji širenje izvan točke zapaljenja ili zagrijane zone, onda se uzorak smatra zapaljivim. Drugi test za određivanje zapaljivosti služi kao baza za utvrđivanje je li metalni prah sposoban za iniciranje eksplozije kada je suspendiran (raspršen) u oblaku prašine. Ovaj test, izveden u *Hartmann* aparatu, utvrđuje minimalnu energiju paljenja u oblaku prašine u zraku visokonaponskom iskrom. Ako ikoji od



testova provjere pokaže pozitivan rezultat na zapaljivost ili eksplozivnost, NFPA 484 zahtijeva daljnje testiranje eksplozivnosti provedeno u 20-L sferi.

CSB je zbog vizualne demonstracije izveo modificirani test koji se inače izvodi u zatvorenom spremniku. Htjeli su izravno promatrati plamen kojeg će prašina možda proizvesti. Ovaj test disperzira oko 30 grama prašine željeza uzorkovane iz industrijskog filtera povezanog s dizalom iz nesreće 31.siječnja 2011., iznad 20 cm plamenika. Prašina se po ispuštanju samozapalila u zraku zbog topline plamenika. Nastao je bijeli intenzivan plamen promjera do 45 cm.



Slika 13. Vizualna demonstracija CSB-ova testa [14].

Kako bi okarakterizirali zapaljivost te prašine proveli su još testiranja s uzorcima s različitih lokacija u pogonu tvrtke Hoeganaes koristeći dvije različite testne metode; 20-L metodu, i m<sup>3</sup> testnu komoru. U 20-L metodi, svaki uzorak prašine bio je ubrizgan i zapaljen u 20-litarskoj sferičnoj ispitnoj posudi gdje se bilježio profil tlak-vrijeme zapaljivosti prašine u sferi. Podaci testiranja ukazali su da je željezna prašina zapaljiva i pokrivena zahtjevima NFPA 484 standarda. Iako su vrijednosti indicirale da je prouzrokovana eksplozija slaba u odnosu na druge prašine, prašina se smatra zapaljivom po OSHA definiciji i može rezultirati naglo buknuhim požarom koji može izazvati ozljede i smrt.

U m<sup>3</sup> testnoj metodi koristi se posuda veća od 20-litarske pa je prašina, zajedno sa zrakom i izvorom gorenja, u sustav ubrizgana drukčije. Uzorak koji je korišten u testiranju CSB je prikupio iz industrijskog filtera naknadno - nakon 3 mjeseca neaktivnosti Gallatin pogona. Kao takav, uzorak nije sadržavao reprezentativne čestice uvjeta u doba nesreće naglo buknuhlih požara. Stoga ne čudi što je u ovoj metodi željezna prašina prošla test provjere eksplozivnosti, te su svi uzorci smatrani neeksplozivnima.

Postoje razlike u metodama, prvenstveno u veličini komore i mehanizmu disperzije prašine. NFPA 484 revidirao je izdanje 2012. da bi naveo da testovi trebaju biti provedeni u skladu s 20-L testnom metodom. Metar kubni testna metoda može se koristiti i dalje jer rezultati 20-L metode mogu biti lažno pozitivni, ali se u nju ne treba pouzdati kao u jedinu metodu određivanja opasnosti od zapaljenja prašine [14].

### 6.2.3.1. Hoeganaesovo ispitivanje zapaljivosti prašine

Tvrtka Hoeganaes je 2010. ugovorila testiranje uzoraka željezne prašine iz tvornice na zapaljivost prema preporuci revizije osiguranja. Test je imao jedan uzorak koji je bio sličan veličinom čestica, sadržajem vlage i lokacijom s prašinom u nesrećama 2011. Testiranje minimalne energije paljenja utvrdilo je da je neprekidni luk zapalio reprezentativne uzorke iz 2010., a izvor energije od 500 mJ nije. Zaključak testiranja bio je da je za zapaljenje potrebna

minimalna energija veća od 500 mJ. Ovaj podatak važan je za određivanje potencijalnih izvora zapaljenja za svaku od nesreća [14].

#### 6.2.4. Uzrok zapaljenja, uvjeti i okolnosti nastanka nesreće

Svjedoci su indicirali da je eksplozija vodika 27. svibnja 2011. pripaljena iskrama nastalim tijekom podizanja poklopca rova. To je razumljivo obzirom da je minimalna energija paljenja vodika 0.02 mJ, a energija mehaničkih iskri kontakta metal od metal može biti nekoliko mJ.

Testiranje koje je tvrtka Hoeganaes ugovorila 2010. utvrdilo je da je minimalna energija paljenja za reprezentativne uzorke željezne prašine veća od 500 mJ, i da bi neprekidni luk zapalio uzorke. Jedan svjedok u prizemlju izjavio je da je čuo „električni zvuk“ u vrijeme nesreće. Motor koji je pokretao elevator broj 12 vjerojatno je bio izvor zapaljenja pošto je imao izložene žice, nije bio propisno uzemljen, i bio je blizu izvora oblaka prašine. Žice su bile izložene jer električni vodič koji je opskrbljivao motor energijom nije bio sigurno spojen na razvodnu kutiju motora.

Prije nego je CSB obavijestio Hoeganaes da dokazi s mjesta nesreće moraju biti očuvani, tvrtka je uklonila i mijenjala dokaze s mjesta, uključujući motor elevatora, žice i vodiče. Međutim, na pregledu je bilo mjesta koja su se činila kao tragovi luka, unutar razvodne kutije i izvana na kućištu motora [14].



Slika 14. Motor i izložene žice [14].

U općoj industriji zapaljivost praškaste kovine je dobro prepoznata opasnost, ali eksplozije i požari praškastih kovina nastavljaju uzimati živote i uništavati imovinu. CSB je pregledao tri publikacije koje datiraju iz 1940. i 1950. koje su obradile opasnosti od prašina kovina (uključujući prašinu željeza) i metode zaštite od eksplozije. NFPA propis za prevenciju eksplozija prašine objavljen 1946. navodi opće mjere opreza za sve vrste prašina, uključujući metalurški prah, te posebne mjere za određene vrste prašina.

Poglavlje propisa za građevinu navodi da treba „Izbjegavati grede, ležišta i druga mjesta gdje se prašina može slegnuti, naročito iznad glave.“ Objekt Gallatin izgrađen 1980. nije bio osmišljen da bi se izbjegla značajna akumulacija prašine iznad glave. Propis zahtijeva dizajniranje i održavanje opreme nepropusne na prašinu da bi se izbjegla curenja i, gdje to nije moguće, provođenje procedura dobrog održavanja.

Upozorava se i na unošenje izvora zapaljenja u područja koja sadržavaju prašinu i preporučuju postavljanje kolektora prašine izvana u odvojene sobe opremljene za odzračivanje eksplozije. NFPA je 1957. objavila Izvješće o važnim eksplozijama prašine, koje

je uključivalo sažetak od preko 1000 eksplozija između 1860. i 1956. u SAD-u i Kanadi. Izvješće navodi 80 požara i eksplozija praškastih kovina, uključujući jednu nesreću s prašinom željeza koja je rezultirala smrću 1951.

1990-ih i 2000-ih, Pittsburgh Istražni laboratorij Nacionalnog instituta za sigurnost i zdravlje na radu (NIOSH) proveo je studiju o eksplozivnosti različitih kovina, uključujući željezo. Rezultati ovog eksperimenta objavljeni i u znanstvenim časopisima, pokazali su karakteristike eksplozivnosti željeznog praha kako bi pomogli procjeni ugroženosti u industrijama koje obrađuju kovinu. Međutim, uprave tvrtki Hoeganaes Corp. i GKN Corp. nisu provele analizu vlastitih potencijala zapaljivosti PM proizvoda i sastojaka do siječnja 2009., kada je provedena kao rezultat revizije osiguranja provedene 2008. Ovo testiranje praškastih gorivih tvari zaključilo je da su sva tri uzorka željeznog praha prikupljeni iz raznih lokacija u tvrtki eksplozivni. To nije utjecalo na učinkovitu promjenu procedura zadržavanja i čišćenja prašine u Gallatin objektu. Predstavnici Hoeganaesa rekli su CSB-u da je rezultat analize prašine potaknuo program obuke operatera za prepoznavanje opasnosti od praškastih gorivih tvari, ali Hoeganaes nije ublažio opasnosti od prašine. Kako tvrtka Hoeganaes nije kontrolirala opasnosti od praškastih gorivih tvari, operateri su bili prisiljeni tolerirati uvjete u tvornici. S vremenom su ovi naglo buknuli požari, kako nisu rezultirali nekim ozbiljnim ozljedama, postali „normalni“ do kobne nesreće 31. siječnja 2011. Operateri i mehaničari izjavili su da su bili sudionici u višestrukim naglo buknulim požarima tijekom svog zaposlenja u Gallatinu. U vrijeme nesreće mnogi su bili svjesni da prašina željeza može gorjeti ili tinjati ali nisu obučeni da razumiju potencijalne ozbiljne opasnosti kada se akumulirana prašina rasprši u zraku. Operateri bi rijetko prijavili manje naglo buknule požare i nezgode koje su se povremeno događale [14].

#### **6.2.4.1. Stanje glede prevencije akumulacije zapaljive praškaste tvari i poduzetosti inih mjera protupožarne i protueksplozijske zaštite u tvrtci**

Pravilno prepoznavanje opasnosti od najveće je važnosti za učinkovito upravljanje rizikom od praškastih gorivih tvari. Kada je opasnost prepoznata, problem odbjegle prašine lako se rješava hijerarhijskom kontrolom. Na samom izvoru riješio bi se problem samog materijala, procesne opreme i radne procedure. Uvođenje inženjerskih kontrola radi sprječavanja nakupljanja odbjegle prašine je najefikasnija metoda za sprječavanje požara i eksplozija prašina. Primjer inženjerske kontrole su prijenosni sustavi i oprema za skupljanje prašine odgovarajuće veličine i one se preferiraju spram čišćenja/održavanja, ali i dobar program čišćenja je važan kako bi se učinkovito upravljalo akumulacijom nakupljene odbjegle prašine u područjima gdje inženjerska kontrola treba poboljšanje. Administrativne kontrole nadopunjuju inženjerske dobrom obukom radnika i operativnim procedurama.

U Hoeganaes objektu iz opreme su odbjegle značajne količine željeznog praha. Sustavi za skupljanje prašine bili su otprije nepouzdana i nisu sprječavali velike količine praškastih gorivih tvari da se rasprše u zraku i akumuliraju na povišenim površinama širom proizvodnog područja.

Rov iz nesreće sadržava mnogo cijevi, uključujući opskrbne dušikom i vodikom te odušne cijevi tračnih peći. Uz cijevi kućišta, rov se koristi i kao odvod rashladne vode korištene u tračnim pećima. U vrijeme nesreće ova voda je izlazila iz peći vruća i odvodila se izravno na cijevi u rovu. NFPA 55 zahtijeva godišnje održavanje, uključujući i ispitivanja na fizička naprezanja u cijevima za fizičku štetu i nepropusnost. Tvrtka Hoeganaes nije vršila redovna ispitivanja. Dizajnom i održavanjem nije riješen problem spore korozije rova kroz vrijeme izazvano otjecanjem vruće vode i akumulacijom krutina. Tvrtka nije imala niti pisanu proceduru za smanjenje curenja plina a i ekipi održavanja je bilo dozvoljeno započeti testiranje na curenje bez testiranja atmosfere na koncentracije zapaljivog plina.

CSB je vrlo brzo zaključio da je praškasta goriva tvar „curila“ iz opreme i da je čišćenje bilo neučinkovito. Zapaljiva prašina željeza prekrivala je gotovo svaku površinu debelim slojem i bila je vidljiva u zraku. Ublažavanje opasnosti bilo je ograničeno na usisavanje, rijetko zatvorenu prijenosnu opremu i neadekvatan sustav industrijskog filtera. Istražitelji CSB-a uočili su ispuštanje prašine u atmosferu kada su vrećice korištene u sustavu filtracije pulsirale, što je omogućilo prašini da pobjegne u radno područje više puta svakog sata. Vrećasti filteri osmišljeni su da prikupe najmanje i najopasnije čestice prašine, no utvrđeno je da su često bili izvan pogona. Bili su izvan pogona i oni povezani s elevatorom broj 12 za vrijeme radova, čime je dopušteno da zapaljiva prašina ostane u području iz kojeg je raspršena kada je elevator ponovno pokrenut što je i dovelo do nesreće.

Zaposlenici tvrtke Hoeganaes morali su nositi vatrootpornu odjeću. Iako je vatrootporna odjeća namijenjena smanjenju težine termalnih ozljeda, pet teško opečenih zaposlenika umrlo je tijekom incidenta u siječnju i svibnju. Vatrootporna odjeća nije pružila nikakvu značajnu zaštitu od naglo bukulih požara praškastog gorivog željeza i eksplozije vodika u pogonu Hoeganaes.

Rutinska revizija rizika koju je radila osiguravajuća kuća preporučila je bolje čišćenje i analizu potencijalnih eksplozija izazvanih oblacima praškastog metala pobuđenog opremom, od strane nezavisnog konzultanta. Tvrtka Hoeganaes je prikupila uzorke i obavila testiranje, i inicirane su neke mjere. Započeta je obuka zaposlenika i razumijevanje NFPA propisa vezanih uz objekt, no iako se većina tih stvari planirala završiti danima koji su prethodili nesrećama, pokazalo se da program nije bio učinkovit u ublažavanju opasnosti od praškastih gorivih tvari [14].



Slika 15. Nakupine praškaste gorive tvari [14].

## 6.2.5. Propisi i regulatorni previdi

### 6.2.5.1. NFPA

Tvrtka Hoeganaes se nije pridržavala propisa navedenih u NFPA 484 (više o istome je opisano ranije kroz rad). Da ih je primjenjivala dobrovoljno ili da je to od njih bilo zahtijevano od strane nadležnog tijela (u ovom slučaju Gallatin vatrogasne postaje), nesreće iz siječnja i ožujka su mogle biti spriječene, a posljedice one iz svibnja umanjene. NFPA u većini standarda ima klauzulu retroaktivnosti za određena poglavlja, koja navodi da zahtjevi za svu postojeću opremu koja je ugrađena prije trenutnog izdanja propisa nisu provodljivi od strane nadležnog tijela osim ako je određeno da trenutna situacija predstavlja neprihvatljiv rizik za sigurnost i zdravlje. Nitko od nadležnih službi nije identificirao zapaljive prašine kovine kao razlog za brigu tijekom prijašnjih inspekcija.

Prakse u tvrtki Hoeganaes nisu udovoljavale sigurnosnim preporukama navedenim u NFPA 484. Pod poglavljem o građevini, NFPA 484 zahtijeva da podovi, povišene platforme i rešetke gdje se prašina može nakupljati budu dizajnirani na način da se minimalizira akumulacija i čišćenje objekta. Predmetni objekt ima brojne ravne površine iznad glave na kojima su istražitelji CSB-a uočili značajne nakupine zapaljive prašine kovine. Kako Hoeganaes provodi operacije proizvodnje željezne prašine, posebne inženjerske kontrole navedene u NFPA 484 primjenjuju se na strojeve koji proizvode i prenose praškaste kovine. Svi strojevi koji proizvode fine čestice željeza trebaju biti spojeni na sustav za skupljanje prašine koji je na dovoljnoj udaljenosti da prikupi svu prašinu. CSB-ovi istražitelji uočili su da neka prijenosna oprema praškastih kovina u tvrtki Hoeganaes nije zatvorena; kao takva, nije osmišljena za kontrolu značajnih emisija prašine, a i zaposlenici su prijavili da su vrećasti filteri bili izvan pogona zbog održavanja. Ovaj dio standarda također zahtijeva da sustav za skupljanje prašine bude smješten vani a u objektu u Hoeganaesu su industrijski filteri smješteni unutra što predstavlja ozbiljnu požarnu i eksplozijsku opasnost. Akumulacija prekomjerne prašine u bilo kojim dijelovima zgrade ili strojeva koji nisu redovito čišćeni u dnevnim poslovima moraju biti minimalizirane i ne smije se dozvoliti da se odbjegla prašina akumulira. Hoeganaes je koristio usluge usisavanja da bi smanjio količine prašine koja se nakupila. Međutim, neodgovarajući sustav za skupljanje prašine i curenje prašine iz opreme stvorili su akumuliranje izvan mogućnosti kontrole ograničenim pruženim uslugama čišćenja.

NFPA 499, Klasifikacija praškastih gorivih tvari i opasnih (klasificiranih) lokacija za električne instalacije u područjima kemijske obrade, specificira vrstu električne opreme prihvatljive u atmosferama koje sadrže praškaste gorive tvari. Odnosi se na lokacije gdje se praškaste gorive tvari proizvode, procesiraju, njima se rukuje, ili gdje se površinske akumulacije prašine mogu zapaliti električnom opremom. Temeljeno na zahtjevima NFPA 499, klasificirani električni uređaji i oprema bili bi zahtijevani u pogonu gdje je prisutna zapaljiva prašina kovine. U siječnju 2009. tvrtka je predala uzorke za testiranje eksplozivnosti. Iako je za nekoliko uzoraka utvrđeno da su eksplozivni, omjer težine eksplozije bio je nizak što je isključilo potrebu za klasificiranim električnim instalacijama. CSB je testirao uzorke prašine željeza i utvrdio da je omjer težine eksplozije znatno manji nego omjer koji bi zahtijevao klasificiranu opremu prema postojećim propisima.

Iako rezultati testiranja uzoraka željeza u pogonu u Hoeganaesu nisu zahtijevali ugradnju klasificiranih električnih uređaja, zapaljivi vodik u tračnoj peći jest. NFPA 497, Preporučene prakse za klasifikaciju zapaljivih tekućina, plinova ili para i opasnih (klasificiranih) lokacija za električne instalacije u područjima kemijskih procesa navodi vodik kao Klasu I. zapaljivi plin. Područja s materijalima klase I. su dalje klasificirani u Skupinu II ako je materijal obično sadržan izvan opreme, ili Skupinu I. ako je materijal obično prisutan u zapaljivim koncentracijama izvan opreme, kao prilikom održavanja. Zbog toga što se vodik normalno ispušta u radno područje na jednom kraju peći za prekaljivanje, području oko nje treba dodijeliti Klasu I. skupinu I., i električnu opremu u tom području dizajnirati, ugraditi i održavati u skladu s tim preporukama. Unatoč tim klasifikacijama i njihovim preporukama, CSB je uočio neprikladne električne instalacije, uključujući velike električne ormariće koji su bili otvoreni atmosferi i koji su imali značajne akumulacije željezne prašine, nepotpune vodiče, i obične 110-voltne utičnice umjesto električne uređaje otporne na zapaljenje odobrene u Nacionalnom električnom propisu za atmosfere<sup>10</sup> Klase I [14].

<sup>10</sup> Klasifikacija opasnih područja prema Nacionalnom električnom propisu (eng. kratica NEC): Klasa I: Zapaljivi plin ili para; Klasa II: Zapaljiva prašina; Klasa III: Vlakna. Svaka klasa dalje se dijeli: Skupina I. - normalna; područja gdje će klasificirani opasni materijali vjerojatno biti prisutni i u normalnim uvjetima rada, i Skupina II - abnormalna; područja gdje će klasificirani opasni materijal biti sadržan i prisutan samo kroz slučajno ispuštanje [14].

### 6.2.5.2. Međunarodni protupožarni propisi

Međunarodni protupožarni propisi utvrđuju minimalne zahtjeve za zaštitu od požara i sustave prevencije. Referiraju se na nekoliko NFPA standarda, ali je nejasno objašnjeno je li usklađenost s navedenim NFPA standardima obavezna ili dobrovoljna. Međunarodni požarni propisi daju ovlasti lokalnim vlastima, kao što su vatrogasna postrojba ili općina, da provodu „primjenjive odredbe“ ovih NFPA standarda; riječ „ovlašćuje/daje ovlasti“ ne nosi istu težinu kao „će provoditi“ i može biti protumačeno kao diskrecijsko umjesto obaveznog zahtjeva propisa. Tvrtke moraju biti usklađene s Međunarodnim protupožarnim propisima samo ako su doneseni kroz lokalne, državne ili federalne propise. Odjel za prevenciju požara države Tennessee i grad Gallatin su usvojili verziju međunarodnih požarnih propisa iz 2006. u svoje propise. Iako su opće mjere predostrožnosti za čišćenje i izvore zapaljenja zahtijevane kroz usvojene propise Međunarodnih protupožarnih propisa, navedeni NFPA standardi mogli su biti protumačeni kao dobrovoljni. Protupožarni propisi Tennesseea naročito izjavljuju da država ne provodi „izborne ili preporučene“ standarde ili prakse.

Postupanja u Hoeganaesu nisu bila u skladu sa zahtjevima postavljenim Međunarodnim protupožarnim propisima. Propisi zabranjuju korištenje otvorenog plamena i korištenje opreme koja proizvodi iskre u područjima sa zapaljivom prašinom. Također, navodi se da se akumulirana zapaljiva prašina treba održavati na minimalnoj razini unutar objekata. Pridržavanje mnogo detaljnije osmišljenih i inženjerskih zahtjeva NFPA 484 smanjilo bi daljnju vjerojatnost da će se dogoditi tri ozbiljne nesreće.

Vatrogasna postrojba Gallatina imala je ovlasti provesti inspekciju objekta prema Međunarodnim protupožarnim propisima, izdati prekršaje i zaustaviti radove ako su zgrade ili operacije proglašene nesigurnim prema propisima. U gradu Gallatinu požarni inspektor je odgovoran za provođenje Međunarodnih protupožarnih propisa. Istražitelji CSB-a pregledali su povijest inspekcija u Hoeganaesu. Vatrogasna postrojba provela je tri inspekcije u prethodnih 12 godina, 1999., 2002., i 2011. Inspekcija 2011. bila je provedena samo dva tjedna prije nesreće, 27. svibnja 2011. U izvješću ove inspekcije dokumentirana su zapažanja u objektu povezana sa suzbijanjem požara i žurnim intervencijama, ali nije spominjana opasnost od praškastih gorivih tvari čak ni nakon nesreće u siječnju i ožujku 2011. CSB nije našao dokaze da je Gallatin vatrogasna postrojba provela inspekciju Hoeganaesa prema odredbama Međunarodnih protupožarnih propisa iz 2006. [14].

### 6.2.5.3. OSHA

2006., nakon tri katastrofalne eksplozije praškastih gorivih tvari koje su uzele 14 života 2003., CSB je izdao Studiju o opasnostima od praškastih gorivih tvari. Studija je predočila 281 slučaj požara i eksplozija prašina u SAD-u između 1980. i 2005. koji su rezultirali s 119 slučajeva smrtnih i slučajeva 718 ozljeda.

Nedostatak OSHA-inih sveobuhvatnih standarda za praškaste gorive tvari bio je ključni zaključak u studiji 2006. i rezultirao je preporukama CSB-a prema OSHA-i da inicira stvaranje pravila za standarde praškastih gorivih tvari za opću industriju. Više o nedostatku političke volje za stvaranje OSHA standarda za praškaste gorive rečeno je ranije kroz rad.

Tennessee OSHA (TOSHA) uz odobrenje federalne OSHA-e razvija i provodi vlastite programe sigurnosti i zdravlja. U studenom 2011. izdali su presedane Hoeganaes Gallatin objektu za incident 27. svibnja 2011. Imali su 15 prekršaja standarda o upravljanju sigurnosti procesa vezanih uz sustav vodika. Tvrtci nedostaju odgovarajuće procedure da bi se osigurao mehanički integritet cjevovoda vodika, nisu uspjeli napraviti plan hitnog reagiranja i postupanja za detekciju curenja i nisu proveli procjenu ugroženosti od procesa stvaranja

vodika. Tvrtka također nije bila uvrštena na popis onih ciljanih Nacionalnim programom isticanja za praškaste gorive tvari [14].

#### **6.2.5.4. Izdane preporuke**

CSB je ovim izvješćem izdao preporuke za više institucija i tvrtku Hoeganaes. Dolje su navedene preporuke razvrstane po institucijama.

##### **OSHA**

**2011-4-I-TN-R1;** Osigurati da predstojeći OSHA standard za praškaste gorive tvari uključuje pokrivenost praškastih gorivih kovina uključujući željezne i čelične prahove.

**2011-4-I-TN-R2;** Razviti i objaviti predloženi standard o praškastim gorivim tvarima za opću industriju unutar godine dana od odobrenja ove studije slučaja

**2011-4-I-TN-R3;** Revidirati Nacionalni program isticanja praškastih gorivih tvari i dodati industrijske propise za tvrtke koje generiraju metalurške prašine. Poslati pisma obavijesti svim tvrtkama diljem država pod ovim propisima da bi ih informirali o opasnostima od zapaljivih metalurških prašina i pokrivenosti Nacionalnim programom isticanja.

##### **Međunarodno zakonodavno vijeće**

**2011-4-I-TN-R4;** Revidirati Međunarodne požarne propise, poglavlje 2237 Operacije proizvodnje praškastih gorivih tvari; dio 2204.1 standardi, da bi se zahtijevalo obavezno usklađivanje i provođenje detaljnih zahtjeva NFPA standarda navedenih u poglavlju, uključujući NFPA 484

##### **TOSHA**

**2011-4-I-TN-R5;** Revidirati od države usvojeni Nacionalni program isticanja za praškaste gorive tvari i dodati industrijske kodove za tvrtke/pogone koje generiraju prašine kovina (na primjer NAICS kod 331111 željezare i čeličane, i druge primjenjive kodove koji nisu trenutno navedeni). Poslati pisma obavijesti svim tvrtkama diljem države pod ovim kodom da bi ih informirali o opasnostima od praškastih gorivih tvari kovina i pokrivenosti Nacionalnim programom isticanja.

##### **Tvrtka Hoeganaes**

**2011-4-I-TN-R6;** Provesti povremene nezavisne revizije Hoeganaes Gallatin objekta za usklađenost sa sljedećim NFPA standardima, koristeći obrazovane stručnjake, i implementirati sve preporučene korektivne zahvate:

NFPA 484 - Standard za praškaste gorive kovine, metalurške prahove i prašine kovina

NFPA 499 - Preporučene prakse za klasifikaciju praškastih gorivih tvari i opasnih lokacija za električne instalacije u područjima kemijskih procesa

NFPA 497 - Preporučene prakse za klasifikaciju zapaljivih tekućina, plinova ili para i opasnih (klasificiranih) lokacija za električne instalacije u područjima kemijskih procesa

NFPA 2 - Propisi tehnologije vodika

NFPA 2113 - Standard o odabiru, zaštiti, upotrebi i održavanju vatrootpornih odjevnih predmeta za zaštitu industrijskog osoblja od naglo buknulih požara

**2011-4-I-TN-R7;** Razviti materijale za obuku koji se odnose na praškaste gorive tvari i za tvrtku specifične opasnosti od metalurške prašine i obučiti sve zaposlenike i suradnike. Zahtijevati periodičnu (godišnju) obuku za podsjećanje za sve zaposlenike i suradnike/ugovorne radnike.

**2011-4-I-TN-R8;** Implementirati program preventivnog održavanja i detekcije curenja i procedura za smanjenje curenja za sve cjevovode zapaljivih plinova i opremu procesuiranja plina.

**2011-4-I-TN-R9;** Razviti i implementirati prijavljivanje izbjegnutih događaja koje uključuje minimalno sljedeće:

Osigurati suradnju radnika širom tvornice u prijavljivanju izbjegnutih događaja i operativnih smetnji (kao što su značajno nakupljanje željezne prašine, tinjajući požari, ili nesigurni radni uvjeti ili prakse) koje mogu rezultirati ozljedom radnika.

Osigurati da program prijavljivanja izbjegnutih događaja zahtijeva brzu istragu, kao što i priliči, i da se rezultati brzo prošire Hoeganaes korporacijom.

Ustanoviti uloge i odgovornosti za upravo, provođenje i rješavanje svih preporuka istraga izbjegnutih događaja.

Osigurati da se program izbjegnutih događaja provodi svo vrijeme (noćne smjene, vikendi, blagdanske smjene).

### **Udruga proizvođača metalnog praha**

**2011-4-I-TN-R10;** Prenijeti nalaze ovog izvješća svim svojim članovima, na primjer kroz članak o sigurnosti u nadolazećem mjesečnom *newsletteru*.

### **Grad Gallatin**

**2011-4-I-TN-R11;** Zahtijevati da sve ustanove/tvrtke pokrivene Međunarodnim protupožarnim propisima, poglavlje 13 (izdanje 2006.) udovoljavaju NFPA standardima za praškaste gorive tvari uključujući NFPA 484.

### **Gallatin vatrogasna postrojba**

**2011-4-I-TN-R12;** Osigurati da su svi industrijski objekti u Gallatinu periodično podvrgnuti inspekciji prema Međunarodnim protupožarnim propisima. Sve inspekcije objekata trebaju se dokumentirati.

**2011-4-I-TN-R13;** Implementirati program da bi se osiguralo da protupožarni inspektori i odgovorno osoblje budu obučeni za prepoznavanje i rješavanje opasnosti od praškastih gorivih tvari [14].

## **6.2.6. Faktografska rekonstrukcija**

1. 2006. godine CSB izdaje Studiju o opasnostima od praškastih gorivih tvari i izdaje preporuke da OSHA inicira stvaranje sveobuhvatnog standarda praškastih gorivih tvari za opću industriju.



2. OSHA nije ubrojila željezare i čeličane, NAICS kod 331111 - industrijski klasifikacijski kod za Hoeganaes u svoj Nacionalni program isticanja o zapaljivim prašinama.
3. U studenom 2008. revizija osiguranja bilježi da je potrebno poboljšati čišćenje i analizirati potencijal eksplozije od strane nezavisnog konzultanta.
4. U siječnju 2009. temeljem revizije osiguranja tvrtka Hoeganaes je provela analizu potencijala zapaljivosti. Sva tri uzorka praha željeza prikupljena iz raznih lokacija u tvrtki pokazala su se eksplozivnima. Tvrtka je provela program obuke operatera za prepoznavanje opasnosti od praškastih gorivih tvari, no nije ublažila opasnosti od prašine.
5. Operateri su bili prisiljeni tolerirati uvjete u tvornici. Naglo buknuh požari bili su normalna pojava, bez većih ozbiljnih ozljeda prije nesreće 31. siječnja 2011.
6. Kućišta prijenosne opreme ispuštala su emisije odbjeglih željezno prašine, a sustavi za skupljanje prašine bili su odavno nepouzdana i nisu sprječavali velike količine zapaljive željezno prašine da se rasprši u zraku i akumulira na povišenim površinama.
7. Nije se provodila redovna inspekcija cijevi u rovu kako zahtijeva NFPA 55.
8. Tvrtka Hoeganaes nije imala proceduru za smanjenje curenja plina, a ekipo održavanja bilo je dozvoljeno započeti testiranje curenja bez testiranja atmosfere na koncentracije zapaljivog plina.
9. Vrećasti filteri osmišljeni su da prikupe najmanje i najopasnije čestice prašine. Filteri su često bili izvan pogona.
10. Objekt je imao neprikladne (neklasificirane) električne instalacije, uključujući električne ormariće koji su bili otvoreni atmosferi i koji su imali značajne akumulacije željezno prašine, nepotpune vodiče, i obične 110-voltno utičnice, umjesto električne uređaje otporne na zapaljenje odobrene u Nacionalnim električnim propisima za atmosfere Klase I.
11. Na dan 31. siječnja 2011. motor elevatora broj 12 se ugasio, zbog čega su pozvani mehaničar i električar iz održavanja kako bi otklonili kvar na koji se sumnjalo - skliznuće remena. Zapažanjem su zaključili da je u kvaru nešto drugo, i zahtijevali da operater u kontrolnoj sobi resetira motor. Kada je elevator ponovno pokrenut, vibracije opreme raspršile su fine čestice prašine željeza u zrak i radnike je zahvatio plamen. Oba zaposlenika su preminula, jedan 2 dana kasnije, a drugi 4 mjeseca nakon nesreće.
12. Na dan 29. ožujka 2011. pri zamjeni potpaljivača na tračnoj peći bilo je poteškoća u ponovnom spajanju linije prirodnog plina. Inženjer koristi čekić da bi prisilno spojio liniju plina. Podiže se prašina s ravnih površina na rub tračne peći, raspršuje se i pali. Inženjer je zadobio opekline i ogrebotine, a drugi je instinktivno skočio i prošao bez ozljeda.
13. Vatrogasna postrojba provela je inspekciju na objektu dva tjedna prije nesreće 27. svibnja. Evidentirana su zapažanja povezana sa suzbijanjem požara i hitnim intervencijama, ali nisu spominjane opasnosti od praškastih gorivih tvari.
14. Na dan 27. svibnja 2011. operateri u blizini tračne peći su čuli zvuk curenja plina. Iako su se u rovu nalazile cijevi za vodik, dušik i voda za hlađenje iz cijevi, pretpostavilo se da curi nezapaljivi dušik zbog nedavnog curenja dušika drugdje u tvornici. Uklanjanjem ploče s rova došlo je do iskrenja i snažne eksplozije. Tragovi su ukazali da je korodirao dio cjevovoda koji je provodio vodik. Padajuća žar je potpalila više naglo buknuh požara prašine u prostoru. Posljedice su osim materijalnih, 3 smrtno stradala i 2 ozlijeđena.

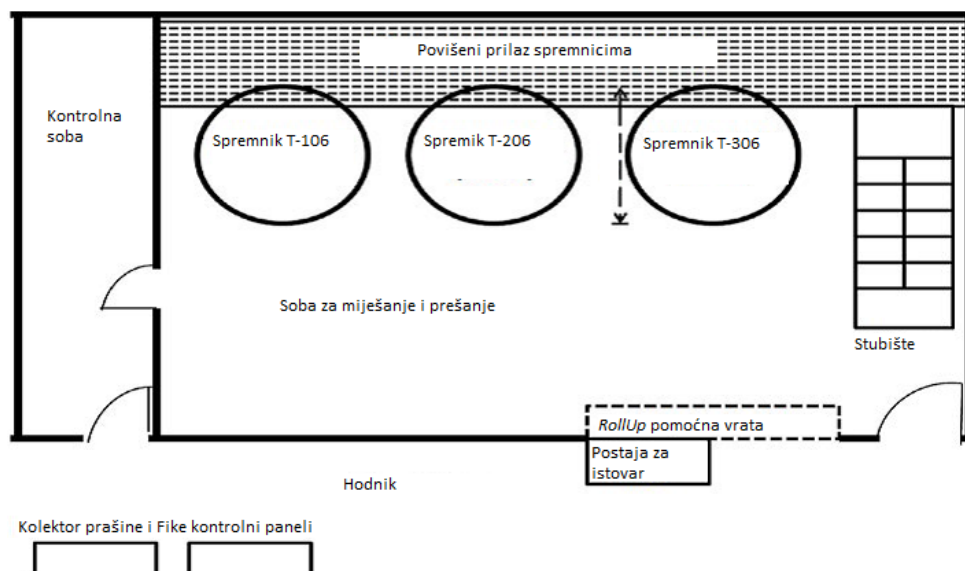
15. Prije nego je CSB obavijestio Hoeganaes da dokazi s mjesta nesreće moraju biti očuvani, tvrtka je uklonila i mijenjala dokaze s mjesta, uključujući motor elevatora, žice i vodiče.
16. Istražitelji CSB-a nakon nesreće testiraju uzorke prašine željeza. 20-L test pokazuje da se prašina smatra zapaljivom po OSHA definiciji.
17. Istražitelji CSB-a testiraju uzorke prašine željeza i po metodi  $m^3$ , ali ti uzorci su izuzeti naknadno - nakon čak 3 mjeseca neaktivnosti Gallatin objekta. Uzorak nije bio reprezentativan i stoga je ova metoda pokazala da se uzorak smatra neeksplozivnim.
18. NFPA je revidirala izdanje NFPA 484 2012. da bi navela da testovi provjere eksplozivnosti trebaju biti provedeni u skladu s 20-L testnim standardom, te da se na testnu metodu  $m^3$  ne treba pouzdati kao jedinu za određivanje opasnosti od praškastih gorivih tvari.
19. CSB opet zahtijeva da predstojeći OSHA standard za praškaste gorive tvari obuhvati i zapaljive prašine kovina.

### 6.3. RAŠČLAMBA UZROKA EKSPLOZIJE I POŽARA U SLUČAJU POGONA TVRTKE „US INK/SUN CHEMICAL CORPORATION“

Ovo poglavlje obrađuje još jedan slučaj eksplozije i naglo buknulih požara vezanih uz praškaste tvari. Nesretni događaj nastupio je u US Ink tvornici u East Rutherfordu, New Jersey, 9. listopada 2012. godine. Sedam radnika ozlijeđeno je tog dana. Čuvši tup udarac u novom sustavu za skupljanje prašine, okupili su se na ulazu sobe za miješanje tinte te su vidjeli početak naglo buknećih požara iz postaje za istovarivanje. Ozlijedio ih je drugi naknadno nastali požar, koji im je zadao opekline. US Ink, odjeljenje Sun Chemical Corporationa, je proizvođač tinte osnovan 1993. kroz spajanje dvije organizacije, U.S. Printing Ink i News Ink odjeljenja Sun Chemical Corp. Sun Chemical Corp. je globalna korporacija grafičkih umjetnosti podijeljena u brojne podružnice koje obuhvaćaju razne segmente tržišta (kao što su tinta, pigmenti, filmovi). Sun Chemical posjeduje i upravlja sa 143 aktivna proizvodna pogona u i izvan SAD-a, s približno 9000 zaposlenika širom svijeta. U vrijeme nesreće, US Ink East Rutherford pogon imao je 34 zaposlenika, a 28 ih je bilo u smjeni [15].

#### 6.3.1. Opća obilježja tehnološkog procesa

US Ink East Rutherford tvornica proizvodi crne i tinte u boji na bazi ulja za različite klijente. Ključni korak u procesu proizvodnje tinte je miješanje krutih i tekućih sastojaka da bi se proizvela tekuća suspenzija. Miješanje sastojaka za crnu tintu izvodi se u sobi za pred-miješanje, gdje se 9. listopada 2012. dogodila nesreća. Soba je široka 9 m sa 5 m dužine i ima zidove od betonskih blokova i 9 m visok strop. Proces proizvodnje crne tinte u US Inku uključivao je pneumatski prijenos rasutog krutog praha pod vakuumom do jednog od tri spremnika za miješanje, označenih kao 106, 206 i 306 (vidi sliku 16.).



Slika 16. Tlocrt sobe za pred-miješanje sa spremnicima za miješanje [15]

Dva čvrsta sastojka, čađa i kaolin glina, dovoze se željeznicom (dok se gilsonit prevozi kamionima) do pogona i transportiraju do spremnika za miješanje vakuumom kroz cjevovod od ručne stanice za opskrbu materijalom (znana kao US Ink postaja za istovar, slika 16.) ili gravitacijom od tri nadzemna prijemna lijevka koji sadržavaju čađu i kaolin. Tekući sastojci

prevoze se do pogona željeznicom i upumpavaju u spremnike za miješanje cijevima spojenim na dnu spremnika. Sva tri spremnika za miješanje su oko metar i pol promjera i visine oko dva metra. Operateri koordiniraju proces miješanja sastojaka i nadziru težinu i temperaturu spremnika iz kontrolne sobe u blizini sobe za pred-miješanje. Automatski sprinklerski sustav ugrađen je kao zaštitna stavka u sobi za pred-miješanje. Sprinklerski sustav je spojen na automatski zvučni alarm, i kada je aktiviran automatski prosljeđuje signal putem vanjskog nadzornog sustava lokalnoj vatrogasnoj postrojbji.

Kada je gotova, izmiješana suspenzija sadrži i zapaljive i nezapaljive čestice sastojaka tinte. Toplina generirana pri otapanju krutina u spremniku za miješanje povećava temperaturu otopine na oko 115 stupnjeva Celzija. Ovo povećanje temperature je korisno jer osigurava potpunu disperziju krutih materijala u tekućoj fazi te pridonosi većem razvoju kondenzirajućih para. Po završetku miješanja laboratorijski tehničar analizira kvalitetu tinte. Ako je odobrena, smjesa se pumpa u prazan spremnik za daljnje procesuiranje i zatim u drugi spremnik za pripremu za isporuku kupcima. Svaka gotova pošiljka teži oko 3 tone [15].

### 6.3.1.1. Sustav za skupljanje prašine

Prije listopada 2012., pogon je koristio sustav mokrog čišćenja da bi skupljao čestice materijala tijekom stadija punjenja suhih materijala u procesu miješanja tinte. Sustav mokrog čišćenja uklanja čestice prašine zarobljavajući ih u kapljicama tekućine. Ovaj sustav čišćenja pogoršao se s godinama. Osim toga, nije sprječavao ispuštanje odbjegle prašine u sobu za pred-miješanje kada su nove formulacije tinte koristile više sadržaja gline u prahu, proizvedeći veću emisiju čestica. Bio je potreban novi sustav za skupljanje čestica prašine. Novi sustav je ugrađen da bi se poboljšalo upravljanje česticama materijala i provelo cjelokupno unaprjeđenje uvjeta operativnosti za proces proizvodnje crne tinte.

Glavni inženjer US Inka surađivao je s proizvođačima sustava za skupljanje prašine kako bi osmislili novi sustav skupljanja prašine. Inženjer je umirovljen prije nego je sustav za skupljanje prašine ugrađen i odobren u petak 5. listopada 2012. Sustav za skupljanje prašine sastojao se od razgranatog sustava različitih veličina cijevi, uključujući i fleksibilne priključke spojene na vrh svakog spremnika za miješanje i mjesta za istovar. Fleksibilne cijevi spojene su na 20 cm cijev, koja je prešla u 22 cm cijev i konačno u vertikalni 30 cm uzlazni kanal koji je išao gore kroz strop sobe za pred-miješanje. Čestice prašine su usisane kroz cijevi i uzlazni kanal u ventilatorski ispusni skupljač prašine, smješten na krovu objekta.

Krovni skupljač prašine koristio je sustav uloška filtra da bi uklonio preostale čestice prašine. Skupljač prašine bio je montiran s ventilatorom od 25 konjskih snaga i ukupnim ulaznim statičkim tlakom razine 40 cm visokog vodenog stupca. Ventilator s 25 konjskih snaga osmišljen je da bi prenio prašinu gore do kolektora u omjeru volumena izmjene zraka od 93 m<sup>3</sup> po minuti. Skupljač prašine bio je montiran sa sustavnim ventilatorom s motorom snage 35 ks. Postavljeni ventilator za skupljač prašine se praznio kroz visokoefikasan čestični zračni filter (HEPA) i zatim u atmosferu. Komprimirani zrak periodično je pulsirao kroz uloške filtra da bi istjerao filtriranu prašinu u lijevak sustava skupljača prašine. Prikupljena prašina reciklirala se u proces pravljenja tinte. Zračni rotacijski blokator protoka na dnu lijevka koristio je gravitaciju za kontrolu ispusta reciklirane odbjegle prašine iz skupljača nazad u spremnik za miješanje (T-106) za ponovno procesuiranje u sobi za pred-miješanje. Iza ventila rotacijskog zračnog blokatora protoka, 25 cm promjer cijevi smanjen je na 10 cm promjera na spremniku T-106.

Tvrtka je dodala 3 spoja za čišćenje koja nisu bila uključena u prvotni dizajn na sustav usisavanja sustava za skupljanje prašine za pomoć operateru u skupljanju prašine i drugih krhotina u sobi za pred-miješanje. Ova pomoćna oprema spajala se na kanale povezane s postajom za istovar i s glavnim cijevima iznad spremnika T-206 i T-306. Skupljač prašine

uključivao je sustav suzbijanja eksplozije koji bi se aktivirao i ispuštio suzbijač, natrijev bikarbonat, ako nastupi brzo povećanje tlaka u skupljaču prašine. Namjera dizajna fokusirana je na sprječavanje štetnih eksplozivnih nadtlakova u skupljaču i ulaznom vodu u slučaju drastičnog povećanja tlaka i na zadržavanje bilo kojih eksplozijskih opasnosti unutar kolektora prašine. Sustav suzbijanja eksplozije i kemijske izolacije je proizveo Fike Corporation, a dizajneri su prepoznali eksplozijske opasnosti povezane s prašinom.

US Ink/Sun Chemical Corporation osigurao je informacije proizvođačima sustava suzbijanja eksplozije i sustava izolacije, uključujući specifikacije sirovina korištenih u procesu pred-miješanja crne tinte, plamišta ulja, i indeksne vrijednosti deflagracije prašine za krute sastojke.

Iako je US Ink/Sun Chemical prvotno razmatrao krovni kolektor prašine opremljen s poklopcima za odušivanje eksplozije za zaštitu od eksplozije i s mehaničkim izolacijskim ventilom, odlučio je da će umjesto toga koristiti sustave suzbijanja eksplozije i kemijske izolacije. Temeljio je ovu odluku na smanjenim troškovima ugradnje i vanjskim preporukama da bi se izbjegla potencijalna ispuštanja zapaljivih čestica prašine u okoliš (ili požari) u područjima blizu stanovništva. Novi sustav za skupljanje prašine tvrtka je odobrila u tjednu prije nesreće. Naglo buknuo požar nastao je u sustavu za skupljanje prašine tijekom prvog dana normalne proizvodnje nakon prvotnog pokretanja opreme, u utorak 9. listopada 2012. godine [15].



Slika 17. Spremnik suzbijača eksplozije [15].

#### 6.3.1.2. Tvari korištene u vrijeme nesreće

Tvrtka US Ink proizvodi crnu tintu i tintu u boji na bazi ulja za razne klijente ali primarno za industriju medija tiska. Uobičajena formulacija crne tinte u East Rutherford pogonu uključuje sljedeće sastojke:

- petrolejski naftni destilat (*Raffene® 750K oil*)
- alternativni naftni destilat (*Mineral seal oil*)

- prirodne čestice asfaltne smole (*Gilsonite*)
- pigment čestica čađe (*Printex 310*)
- Bentonit (glina aluminijska silikata; *Bentone 34*)
- alternativna glina aluminijska silikata (kaolin)
- zasićena masna kiselina, manji sastojak (aditiv)

Gilsonit i čađa su gorivi dok je petrolejski destilat zapaljiv, pa se može smatrati da su doprinijeli formiranju eksplozivne atmosfere na dan nesreće [15].

### 6.3.2. Događaji koji su prethodili nesreći i opis nesreće

Novi sustav za skupljanje prašine za sobu pred-miješanja pušten je u uporabu u jutro, 5. listopada 2012., i zatim je radio do kraja smjene proizvodnje u 15:00 h. Pri puštanju u rad, zaposlenici koji bi upravljali sustavom (nekoliko nadzornika proizvodnje i jedan od operatera dnevne smjene) imali su 15 minuta radne obuke i uputa kao i upućivanje u Fike sustav suzbijanja eksplozija i sustav izolacije. Ti sustavi su bili opremljeni kontrolnim pločama koje su sadržavale svjetlosne indikatore statusa sustava, koje su bile postavljene na zid u blizini sobe za pred-miješanje. Sustav za skupljanje prašine pokrenuo se automatski kada je bilo koji od spremnika za miješanje pokrenut i automatski se isključivao kada su sve miješalice bile neaktivne. Međutim, sustav za skupljanje prašine zapravo je nastavio raditi preko noći čak i kada su sve miješalice tinte bile isključene. U subotu, 6. listopada 2012., radnici održavanja tvornice koristili su priključke za čišćenje na novom sustavu za skupljanje prašine kako bi usisali prašinu i krhotine u sobi za pred-miješanje. Radnik održavanja izjavio je u intervjuu da je po njegovu dolasku u subotu, iako su svi spremnici za miješanje bili isključeni noć prije, sustav za skupljanje prašine radio cijelu noć. To je odstupalo od prvotnog dizajna namijenjenog automatskom pokretanju i isključivanju, usklađenog sa spremnicima za miješanje. Na kraju aktivnosti čišćenja, radnik održavanja ručno je isključio sustav za skupljanje prašine. Iako je radnik održavanja prijavio kvar opreme sustava za skupljanje prašine svojim nadređenima i električaru koji je spojio sustav za skupljanje prašine, uprava US Ink/Sun Chemical Corp. nije poduzela ništa da bi se kvar odmah istražio ili da bi se zaustavila operacija miješanja tinte dok se kvar ne popravi. Zaposlenici su ponovno pokrenuli spremnike za miješanje i sustav za skupljanje prašine u noćnoj smjeni u ponedjeljak 8. listopada 2012. pripremajući sve za proizvodnju planiranu za utorak, 9. listopada 2012.

U jutro 9. listopada 2012., nastavila se proizvodnja crne tinte u sve tri miješalice. Kada je smjesa u spremniku T-306 dovršena, operater sobe pred-miješanja ispraznio je spremnik, otišao na ručak oko podne i vratio se u sobu za pred-miješanje oko 12:30 h. U to vrijeme, započeto je pravljenje nove smjese u spremniku T-306. Oko 13:00 h, operater sobe pred-miješanja stavljao je gilsonit u postaju za istovar kada je čuo čudnu škripuću buku iz spremnika T-206. Zbog čudne buke operater je otišao u kontrolnu sobu provjeriti radi li oprema ispravno. Dok je napuštao kontrolnu sobu vidio je naglo buknuće požara iz prostora za istovar gdje je maloprije radio. Operater je bez isključivanja procesa miješanja i sustava za skupljanje prašine otišao do ureda nadzornika da bi ga obavijestio o požaru, odlazeći sve dalje od sobe za pred-miješanje. Otprilike u isto vrijeme, drugi radnici su čuli glasan tup udarac koji je potresao zgradu. Reagirajući na naglo buknuće požar na postaji za istovar i naknadni glasni udar radnici su se okupili na ulazu sobe za pred-miješanje. Izjavili su da je izgledalo kao da se gumena spiralna ovojnica cijevi spojena na uzlazni vod spremnika T-306 topi i kaplje na spremnik.



Slika 18. Spiralna ovojnica za koju su radnici izjavili da se topi i kaplje [15].

Dva zaposlenika uzela su vatrogasne aparate da bi ugasilu plamen. Jedan se popeo stepenicama blizu spremnika T-306 u pokušaju da ugasi plamen. Izjavio je da je prije nego je bio u poziciji da isprazni vatrogasni aparat, čuo „cvrčeci“ zvuk iz spremnika T-306 i vidio erupciju narančaste vatrene kugle iz spremnika. Plamen je zahvatio njega i šest drugih radnika koji su se nalazili na pragu izvan sobe za pred-miješanje. Još jedan zaposlenik koji je prišao području sobe za pred-miješanje primijetio je da su svjetla na alarmnoj ploči sustava za suzbijanje eksplozije kolektora prašine crvena, indicirajući detekciju rasta tlaka i aktivacije sustava. Sustav nije proizveo zvučni signal. Zaposlenik je obavijestio druge radnike u području da se aktivirao sustav za suzbijanje eksplozije i da je nastao požar. Samo sekundama prije velikog naglo buknulog požara na spremniku T-306, zaposlenik se povukao iz područja sobe za pred-miješanje da bi nazvao 911, ali nakon što je potrčao, nakon nekoliko metara srušio ga je na tlo udarni zračni val izazvan vatrenom kuglom. Svjedoci su zapazili i prvotnu vatrenu kuglu iz spremnika T-306 i veliki crni oblak kako se ispušta na hodnik ispred vatrene kugle, i prijavili su da su čuli „whoosh“ zvuk. Ova zapažanja opisuju deflagraciju praškaste gorive tvari.

Sve opekline zaposlenika zadobivene su velikim naglo buknulim požarom i zagrijanom smjesom prašine koja je nastala iznad spremnika T-306 i proširila se u hodnik od ulaza sobe za pred-miješanje. Odjeća ozlijeđenih radnika bila je prekrivena crnom prašinom i imali su opekline na izloženoj koži. Neke opekline nastupile su nakon što im se zapalila odjeća djelovanjem vatrene kugle. Ozljede su uglavnom bile opekline na gornjem dijelu torza, rukama, vratovima i glavama. Jedan od ozlijeđenih zaposlenika nosio je majicu kratkih rukava taj dan i zadobio opekline trećeg stupnja na lijevoj ruci, vratu i gornjem dijelu torza. Zaposlenici nisu nosili vatrootpornu odjeću.

Naglo buknuli požar aktivirao je sprinklerski sustav u sobi za pred-miješanje. Nakon što su vatrogasci stigli na mjesto događaja, nisu vidjeli plamen jer su sprinkleri ugasilu požare izvan zatvorene opreme. Tek nakon provjeravanja svojih senzora topline uočili su nekoliko požara cjevovoda i ugasilu ih vodom nakon razdvajanja zahvaćenih kanala. Unutar kolektora prašine nije bilo potrebe za gašenjem jer je zbog sustava za suzbijanje eksplozije i izolacijskog sustava već spriječen ulazak požara u kolektor prašine nakon prvotnog događaja. Dizajn sustava za suzbijanje zaštitio je kolektor prašine od eksplozije unutar kolektora ali nije ugasio niti jedan vanjski požar [15].

### 6.3.3. Raščlamba načina, uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka nesreće

CSB je zaključio da su eksplozija i naglo buknuli požari nastali zbog neprestano ručno kontroliranog zagrijavanja spremnika za miješanje i rada sustava za skupljanje prašine nekoliko sati nakon puštanja u rad, sa sustavom koji nastavlja izvlačiti kondenzirajuće pare u vod. Neprekidni rad sustava za skupljanje prašine doveo je do samozagrijavanja i spontanog samozapaljenja akumuliranog materijala nalik mulju i praškaste mješavine prašine gilsonita, čađe i gline u cjevovodu iznad spremnika T-306. Kao rezultat, sustav za skupljanje prašine vukao je zrak kraj mjesta gdje je nastupilo spontano zapaljenje, time povećavajući zapaljivost kondenziranih para i praškastih gorivih tvari. Zrak u sustavu za skupljanje prašine otpuhao je mješavinu prašine prema kolektoru dok je gorio požar. To je izazvalo zapaljenje i rast tlaka u kolektoru prašine, koji je već bio ispunjen mješavinom gilsonita, čađe i gline.

Iako je zapaljenje dovelo do eksplozije prašine unutar kolektora prašine, rast tlaka aktivirao je Fike sustav za suzbijanje eksplozije koji je spriječio strukturni kvar kolektora prašine. Tlačni ispušni spremnika za suzbijanje eksplozije izazvao je zvuk tupog udarca koji su zaposlenici čuli izvan zgrade. U isto vrijeme, zapaljenje u kolektoru prašine i ispušni 5-litarskog spremnika suzbijanja i 9-litarskog izolacijskog spremnika stvorio je tlačni rast veći od predviđenog u kolektoru prašine i izazvao širenje plamena suprotno dosadašnjem smjeru, prema spremnicima za miješanje. Nagli rast tlaka aktivirao je inicijalni naglo buknuli požar na postaji za istovar i unutar gumiranih cijevi iznad spremnika T-306 gdje se dogodio drugi, promjenjiviji naglo buknuli požar.

Nakon nesreće, CSB je spoznao da je povećanje u tlaku potpunog suzbijanja (maksimalni predviđeni pritisak za suzbijanje eksplozije) nastupilo zbog većeg omjera rasta tlaka mješavine prašine u usporedbi s očekivanim predviđenim od 165 bar-metara po sekundi [15].

#### 6.3.3.1. Ljudski faktor

Prije ugradnje sustava za skupljanje prašine zaposlenici su zamijetili kako para izlazi iz spremnika za miješanje. Kada je sustav za mokro čišćenje uklonjen, otpečaćeni improvizirani upijač para postavljen je na otvorima glava spremnika. Operateri su koristili generiranje pare da bi izmjerili brzinu i temperaturu procesa miješanja. Ovaj podatak bilo je baza za njihovu prilagodbu brzine procesa miješanja i služio je kao indikator bijega para iz procesa. Unatoč tome, tvrtka US Ink smatrala je da se operateri oslanjaju na njihovu obuku u procesu za pravilno upravljanje mješalicama. Temperatura svakog od spremnika bila je mjerena i dostupna operaterima svo vrijeme. Štoviše, svaka kartica smjese specificirala je ciljane operativne granice, koje je operater koristio za pripremu svake smjese tinte.

Tvrtka US Ink/Sun Chemical tvrdila je da je svaki operater obučan za praćenje temperature mješalice da bi se osiguralo da ostane dovoljno niska za prilagodbu operacije miješanja za snižavanje visokih temperatura miješanja. Međutim, jedan od operatera tvornice svjedočio je CSB istražiteljima da se oslanjao samo na pojedine instinkte; uočavanje zapaljivih para i zvukova proizvedenih tijekom procesa miješanja da bi ručno iz kontrolne sobe prilagodio brzinu agitatora mješalice. Nakon pregleda US Inkové kontrolne sobe, CSB je zaključio da unatoč prisutnosti mjerača i bilježenja temperature nikakav sustav kontrole temperature nije upravljao spremnicima za miješanje i da dizajn procesa miješanja tinte nije definirao sigurne temperature. Bez automatske kontrole temperature i bez smjernica, operater tvornice oslanjao se na pojedine instinkte kao osnove za ručno prilagođavanje brzine agitatora spremnika za miješanje. Nakon ugradnje sustava za skupljanje prašine, operateri u sobi za pred-miješanje nisu mogli vidjeti paru i koristiti ju kao indikator zbog tog što su metalne cijevi sustava za skupljanje prašine bile spojene na otvor glava spremnika za miješanje.



Nakon uklanjanja sustava čišćenja, zapaljiva para generirana operacijom miješanja tinte više nije mogla biti uklonjena jer novi sustav za skupljanje prašine nije bio dizajniran za ispuštanje kondenzirajuće pare. Pare su time zarobljene unutar cjevovoda sustava za skupljanje para [15].

### **6.3.3.2. Testiranje minimalne energije paljenja i test eksplozivnosti i posebne zapaljivosti prašine**

Testovi minimalne energije paljenja provedeni su za gilsonit i prašinu čađe da bi se odredila njihova razina osjetljivosti na električno pražnjenje. Niska minimalna energija paljenja mjerena za uzorak gilsonita, manja od 3 mJ pokazala je da su oblaci prašine gilsonita podložni zapaljenju elektrostatskim pražnjenjima. Međutim, gilsonit u glavnom spremniku cjevovoda kolektora prašine je bio pomiješan s čađom i kondenzatima uljnih para. Budući da je čađa provodljiva, uvelike je smanjila šanse za elektrostatsko pražnjenje visoko otpornih materijala kao što su ulošci filtera kolektora prašine. Čađa je imala visoku minimalnu energiju paljenja (višu od 10 J), što je čini nepodložnom paljenju elektrostatskim pražnjenjem osim ako je pomiješana s dovoljno gilsonita da napravi smjesu s minimalnom energijom paljenja manjom od 100 mJ. Stoga je paljenje elektrostatskim pražnjenjem u kolektoru prašine bilo manje vjerojatno nego scenarij nakupljanja prašine, samozagrijavanja i samozapaljenja.

Ispitivanje eksplozivnosti uzorka ostatka iz cijevi i poseban test zapaljivosti uljnog mulja provedeni su da bi se utvrdilo može li gorivi mulj promatran u odresku cijevi iznad spremnika T-306 nakon eksplozije kolektora prašine također djelomično biti odgovoran za drugu vatrenu kuglu i eksploziju. Rezultat testa eksplozivnosti ukazuje da preostali prah uistinu jest bio eksplozivan pri koncentracijama prašine od 100 g/m<sup>3</sup> i više. Poseban test zapaljivosti uljnog mulja pokazao je da gorivi mulj u odresku cijevi ne bi zapalio pare u samom spremniku ako je tekućina spremnika na temperaturi ispod točke plamišta.

Na temelju svih rezultata testova, CSB je zaključio da je incident vjerojatno započeo samozagrijavanjem i spontanom zapaljenjem akumuliranog mulja, uglavnom gilsonita i čađe pomiješanih s ugljikovodičnim uljima, u cjevovodu sustava za skupljanje prašine. Prijenos gorućeg mulja do kolektora prašine izazvao je eksploziju nakupljene prašine. Nakupine prašine u i oko cijevi, uključujući nakupine stvorene od eksplozije kolektora prašine, disperzirale su se dok se radnik US Ink tvrtke penjao stepenicama namjeravajući suzbiti vidljivi plamen u odvojenoj fleksibilnoj cijevi iznad spremnika T-306. Zaostali plamen je zapalio disperziranu prašinu, a naknadna vatrena kugla pomaknula i podignula više prašine nego što je šireća vatrena kugla ispustila kroz ulaz u hodnik. Ova vatrena kugla odgovorna je za višestruke opekline radnika [15].

### **6.3.4. Stanje glede prevencije akumulacije zapaljivih tvari i poduzetosti inih mjera protupožarne i protueksplozijske zaštite**

Nepравilan dizajn i rad novog sustava za skupljanje prašine imali su veliku ulogu u procesu koji je doveo do nesreće. Točke podizanja prašine u sustavu skupljanja prašine povlačile su prevelike količine prašine i zapaljivih para u cjevovod koji je radio na malim prijenosnim udaljenostima. Akumulacija u cjevovodu bila je gorivo za primarnu deflagraciju.

Drugi problemi dizajna koji su doprinijeli akumulaciji materijala, promatrani nakon nesreće u cjevovodu sustava za skupljanje prašine, uključuju:

- prikupljanje prašine u spremnicima za miješanje koje je povlačilo zrak kroz prazan prostor spremnika i izvlačilo prekomjerne količine kondenzirajućih para i prašine u mrežu cijevi

- nakupljanje prašine od dizanja čišćenja prašine s nedovoljnim sastavom zraka
- blokada prašine zbog nemogućnosti procjene učinka kondenzirajućih para u cjevovodu
- blokada šahta finih čestica prašine kolektora prašine zbog manjkavosti dizajna
- blokada mrežnih cijevi zbog niske brzine prijenosa
- neučinkovit sustav provjere pri pokretanju sustava za skupljanje prašine
- manjak parametara kontrole sustava za praćenje performansi i otkrivanja degradacije sustava od strane operatera
- sustav skupljanja prašine nije bio projektiran da bi spriječio i zadržao požare ili ugasio požare

Na temelju testiranja materijala u cjevovodu CSB je zaključio da su prekomjerne količine kondenzirajućih para ispuštene u cjevovod sustava za skupljanje prašine tijekom njegova rada. Jedna od bitnijih značajki u dizajnu prikupljanja prašine sustava za skupljanje prašine je način kako će zrak ući u podizanju i doći do spojenog cjevovoda. U zatvorenom sustavu kao što je spremnik za miješanje, zrak iz spremnika je istisnut kada je spremnik ispunjen tekućinom ili prahom, a mora biti uvučen u spremnik kako se tekuća mješavina tinte prazni iz spremnika.

Svaki od tri spremnika za miješanje u sobi za pred-miješanje imao je mali kanal za istjecanje zraka na pravokutnom šahtu za punjenje praha iz sustava dobave čađe, a bila je pričvršćena i fleksibilna cijev za dobavu kaolin gline u spremnik za miješanje. Spremnik je bio spojen na sustav za skupljanje prašine preko fleksibilne cijevi blizu šahta za dopremu praha.

Tijekom rada spremnika za miješanje i sustava za skupljanje prašine, zrak koji je ulazio u spremnik kroz otvor fluidizirao je nešto praha u šahtu na putu do spremnika za miješanje tijekom procesa dodavanja praha. Jednom kada je došao u spremnik, zrak i nešto mješavine praha putovalo je kroz prazan prostor spremnika, također dižući kondenzirajuće pare prije izlaska iz spremnika u fleksibilnu cijev. Volumen zraka primljen kroz taj vod nije dovoljan za adekvatnu brzinu prijenosa u kanalu za prašinu, pa se samo najfinije čestice kreću kanalom.

CSB istražitelji otkrili su da su inženjeri tvrtke US Ink prvotno imali projekt koji bi minimalizirao veliko nakupljanje u sustavu za skupljanje prašine prašinama i kondenzirajućim parama. No, konačni dizajn ugrađenog sustava za skupljanje prašine nije izbjegao kontinuirani protok zraka kroz prazan prostor spremnika, koji bi ispraznio kondenzirajuće pare i mješavine prašine iz svakog od praznih prostora spremnika u mrežu cjevovoda kojom struji zrak.

Cijevi sustava za skupljanje prašine bile su začepljene sa slobodno protočnom prašinom, što je znak nedovoljne brzine prijenosa. Dvostruko povećanje promjera cijevi smanjilo je brzinu zraka na manje od 25% od potrebne brzine protoka, što je začepilo cijev u manje od dva dana rada.

Nisu bile provedene niti ikakve mjere kojima bi se spriječila kondenzacija, što je dovelo do formiranja mulja u cjevovodu. Za sustav nije napravljena procjena rizika prije puštanja u rad niti je provedeno mjerenje parametara rada sustava da bi se provjerilo radi li odgovarajuće. Prema NFPA 91, ta provjera je morala biti napravljena [15].



Slika 19. Začepljene cijevi [15].

Sustav za skupljanje prašine nije bio dizajniran da spriječi, zadrži ili ugasi požar. Iskazima zaposlenika utvrđeno je da su gumirane fleksibilne cijevi prvi dijelovi sustava koji su stradali pri nastanku požara. U tvrtki US Ink su vjerovali da su fleksibilne cijevi napravljene od *Conduct-O-Flex* materijala koji je imao provodljivu spiralnu jezgru i bio namijenjen za sprječavanje statičkog nakupljanja, i da je bio propisno povezan i uzemljen u krute spojeve cijevi i miješalice. Preporučene prakse predlažu korištenje fleksibilnih cijevi samo za pomoć pri mobilnosti pokretnih dijelova ili opreme ali da su pri tome što je moguće kraće. Gumirane fleksibilne cijevi nisu električki provodljive zbog toga što prah nošen zrakom kroz plastičnu ili gumiranu cijev može generirati naboj statičkog elektriciteta. Zapaljive čestice prašine s niskom minimalnom energijom paljenja mogu se zapaliti zbog elektrostatskih pražnjenja iz neprovodne cijevi. Zapaljive fleksibilne cijevi korištene u dizajnu sustava za skupljanje prašine progorjele su brzo i oslobodile naglo buknući požar s vrha spremnika T-306 u sobu za pred-miješanje. Požar nije oštetio metalne cijevi, ali su sve fleksibilne cijevi pretrpjele jako gorenje. Detaljni pregled otkrio je i odsutnost otvora za čišćenje cijevi. Ti otvori su potrebni za sustave za skupljanje prašine kao dio rutinskog sustava praćenja i održavanja. Oni također mogu poslužiti i vatrogascima kao mjesto gdje se može dovesti voda da bi se ugasio požar.

Cijevi za skupljanje prašine nisu imale automatski sustav za gašenje požara. Sustav slične građe gdje može doći do nakupljanja zapaljivih ostataka iznutra treba biti opskrbljen automatskim sustavom za gašenje unutar cijevi i na ulazu u kanal, ili izrađen od materijala za upotrebu bez sprinklerske zaštite. Iako je Fike sustav suzbijanja i izolacije spojen na kolektor prašine spriječio eksploziju, on nije dizajniran da gasi požare osim povratnog širenja plamena iz kolektora prašine. Vanjski konzultanti US Inka razmatrali su unutarnju sprinklersku zaštitu i odušivanje eksplozije unutar kolektora prašine ali su se zbog instalacije Fike sustava suzbijanja i izolacije, ali i velikih troškova odlučili protiv toga [15].

### 6.3.5. Propisi, regulatorni previdi i drugi propusti

Uprava US Ink tvrtke nije zatražila građevinsku dozvolu za potpuno nov sustav jer nisu prepoznali da je neophodna procjena rizika. Da je ona provedena, razmotrili bi se i dodatni faktori sigurnosti. Nije bio osiguran primjeren nadzor glavnog projekta. Sustav je projektirao viši inženjer koji je umirovljen prije završetka projekta. Njegovu ulogu preuzeli su drugi inženjer US Inka i vanjski inženjer. Nije bilo zapisa o adekvatnoj komunikaciji o predaji sustava za skupljanje prašine od višeg inženjera ka novim inženjerima. Inženjeri su

komunicirali telefonom i elektroničkom poštom bez da su iz prve ruke nadgledali proces postavljanja sustava. Nije osiguran dodatni nadzor izvođača niti se novi inženjer konzultirao s drugim inženjerima koji su mogli pomoći pri postavljanju sustava i puštanju u rad.

Ozljede su mogle biti umanjene ili spriječene da je bio razvijen efikasan sustav komuniciranja u opasnosti i plan žurnog reagiranja. Glavni koordinator za korištenje sustava javnog obraćanja morao je aktivirati alarm i pozvati vatrogasce. Svi zaposlenici morali su se evakuirati odmah nakon što se uključi požarni alarm. Na dan nesreće, koordinator nije oglasio požar niti uključio alarm zato što je bio među ozlijeđenima na ulazu u sobu za predmiješanje. Iako je on bio obaviješten o prvom požaru, odlučio je umjesto obavljanja svojih dužnosti otići u sobu za predmiješanje i izvidjeti situaciju.

Plan žurnog reagiranja nije zahtijevao da zaposlenik pokuša ugasiti požar aparatom za gašenje nakon što je aktiviran ručni javljač požara; zahtijevana je trenutna evakuacija. Iako su rađene obuke i požarne vježbe, zaposlenici na dan nesreće nisu slijedili plan žurnog reagiranja i evakuacije. Može se zaključiti da je obuka bila neadekvatna.

Sprinklerski sustav u sobi za predmiješanje bio je spojen na automatski zvučni alarm koji je prosljeđen vatrogasnoj postrojbi, ali nema zapisa koji pokazuje da je pružena ikakva a kamoli adekvatna obavijest zaposlenicima.

Ograničena obuka također nije pomogla da se osoblje pripremi za suočavanje s kvarom sustava. Pri puštanju u rad nisu upoznati s informacijama o tome kako je sustav dizajniran za rad niti kako će prepoznati probleme. Osim toga, nisu bili ugrađeni niti indikatori temperature i temperaturni blokatori koji bi se aktivirali kada bi temperatura procesa miješanja tinte postala previsoka [15].

Nakon mnogih incidenata sa zapaljivim prašinama i izdanih presedana, OSHA još uvijek nije donijela sveobuhvatan standard za praškaste gorive tvari. Za ovaj incident izdali su presedane koji nisu bili uzročno povezani s naglo buknuhim požarima. Korektivne mjere ne bi spriječile rizik od budućih incidenata. Samo dvije godine nakon nesreće u tvrtci US Ink, eksplozija prašine šećera u Imperial Sugar proizvodnoj i pakirnoj tvrtci ubila je 14 i ozlijedila 38 radnika. Nalazi u radu ranije obrađenih slučajeva ojačale su CSB studije i ponovno su izdane preporuke da OSHA izda standard za praškaste gorive tvari i da to učini promptno. OSHA ugrađuje opasnosti od praškastih gorivih tvari u svoje programe, ali ne donosi sveobuhvatni standard. Tvrtci US Ink nije izdan OSHA presedan koji „...može biti izdan za deflagraciju, eksploziju ili druge požarne opasnosti koje su možda uzrokovane zapaljivom prašinom unutar sustava za skupljanje prašine ili drugim spremnicima, kao miješalicama.“ To dovodi u pitanje učinkovitost provođenja nacionalnih programa i obuka o zapaljivim praškastim gorivim tvarima.

Državna legislativa New Jersey donijela je Državni propis o ujednačenoj gradnji (usvojeni Međunarodni građevinski propis referiran na standarde zaštite od požara za objekte koji rukuju zapaljivim praškastim gorivim tvarima), koji zahtijeva da bilo koja ugradnja nove opreme zahtijeva od vlasnika da ispuni prijavu za građevinsku dozvolu koja uključuje razne dozvole za elektriku, požar i vodovod. Prijava za dozvolu vodi do inspekcije od strane lokalnih građevinskih inspektora i osigurava se da se slijede primjereni propisi. US Ink tvrtka nije predala zahtjev za dozvolu, pa stoga nije bilo niti inspekcije sustava za skupljanje prašine. Zahtjev nisu predali jer su smatrali da se primjenjuje iznimka koja isključuje „proizvodnju opreme, proizvodnju i procesnu opremu“. Oprema pokrivena iznimkom je definirana kao „sva oprema uposlena u sustavu operacija za izričitu namjenu proizvodnje proizvoda“ i navodi „opremu zagađenja zraka, kao mokre čistače“ kao vrstu opreme koja je izuzeta. Tvrtka US Ink je primijenila ovu iznimku na svoj sustav za skupljanje prašine jer je smatrala sustav „opremom zagađivača zraka“ spojenu na proizvodni proces, koja hvata sirovinu i reciklira ju natrag u sobu za pred-miješanje da bi se proizveo finalni proizvod - tinta.

Iako Državni propis nije regulirao opremu za skupljanje prašine, nove strukturne i električne izmjene zahtijevale su da se podnese zahtjev za građevinsku dozvolu. Da je oprema za skupljanje prašine bila obuhvaćena tim propisom, tvrtka US Ink bi morala slijediti standarde zaštite od požara kao što je NFPA 654 [15].

### 6.3.5.1. Izdane preporuke

CSB je izdao preporuke raznim stranama uključenim u slučaj ove nesreće. OSHA je, osim ponovljene preporuke za stvaranje jedinstvenog standarda za praškaste gorive tvari, dobila naputak da doda NAICS kod 325910 (kod za proizvodnju tinte) na popis industrija u Nacionalnom programu isticanja praškastih gorivih tvari, kojim će ta djelatnost biti obuhvaćena inspekcijskim nadzorima (preporuka **2013-01-I-NJ R1**). Prema preporuci **2013-01-I-NJ R2** OSHA mora potaknuti i odgovarajuću primjenu postojećih odredbi tog programa u svim svojim područnim uredima. Područni uredi imaju ovlasti dodati neki objekt na popis objekata pod njihovom nadležnošću, ukoliko imaju poznat uzorak opasnosti od praškastih gorivih tvari.

#### New Jersey

**2013-01-I-NJ R3** Revidirati iznimke za „proizvodnu, produkcijsku i procesnu opremu“ pod NJUCC (N.J.A.C. 5:23-2.2) da bi se zahtijevalo da se oprema uključena u procesuiranje, rukovanje ili prijenos praškastih gorivih tvari uskladi sa zahtjevima dizajna i operativnosti/rada trenutnog izdanja međunarodnog građevinskog propisa

**2013-01-I-NJ R4** Razviti i implementirati obuku za lokalne dužnosnike propisa o NFPA standardima referiranim u usvojenim propisima međunarodnog građevinskog propisa za posjednike s visokom klasifikacijom opasnosti (Grupa H); točnije, uključiti obuku na opremi koja radi sa praškastim gorivim tvarima i povezanim opasnostima.

**2013-01-I-NJ R5** Donijeti propis koji zahtijeva sve posjednike koji rukuju opasnim materijalima da obavijeste lokalne agencije za provođenje o bilo kojoj vrsti konstrukcije ili ugradnje opreme u industrijskom ili proizvodnom objektu. Također zahtijevati od lokalne agencije provođenje procjene informacija da bi utvrdili je li građevinska dozvola potrebna.

#### US Ink/Sun Chemical Corporation

**2013-01-I-NJ R6** U US Ink East Rutherford pogonu ugraditi automatske sustave požarnog alarma usklađenog s NFPA 72 (Nacionalni propis o požarnom alarmiranju) u proizvodna područja (poput miješanja) gdje se može generirati toplina

**2013-01-I-NJ R7** Revidirati proceduru obrasca Zahtjev za kapitalna ulaganja<sup>11</sup> za nove ugradnje i modifikacije postojeće opreme da bi se zahtijevalo najmanje sljedeće:

- procjena rizika procesa (PHA)
- upravljanje promjenama (MOC)
- pregled inženjerskih crteža za dozvole
- upravljanje sigurnosti izvođača

---

<sup>11</sup> Zahtjev za kapitalna ulaganja (eng. CAR) - obrazac koji se ispunjava na nivou tvrtke za sva veća kapitalna ulaganja, gdje se predviđaju svi mogući troškovi kao npr. građevinska dozvola - koja u ovom slučaju incidenta za novi pogon nije zatražena

-obuka operatera tvornice temeljena na primjenjivim smjernicama i standardima za sustave za skupljanje prašine uključujući NFPA 91 i NFPA 654

**2013-01-I-NJ R8** Razviti i implementirati protokol upravljanja organizacijskim promjenama da bi se dozvolio prijenos znanja i informacija na novo osoblje, uključujući najmanje inicijalne i obuke za podsjećanje:

- sigurnosnih i zdravstvenih procedura
- naučenih lekcija od prethodnih nesreća
- tehničke informacije o opremi
- rutinske operacije tvrtke [15].

### 6.3.6. Faktografska rekonstrukcija

1. Zbog novog procesa, tj. povećanja koncentracije čestica u procesu i dotrajalosti sustava, sustav mokrog čišćenja morao je biti zamijenjen novim sustavom.
2. US Ink nije predao zahtjev za građevinsku dozvolu kojom bi se osigurao inspekcijski nadzor nad ugradnjom novog sustava za skupljanje prašine.
3. Sustav je bio projektiran samo za skupljanje prašine, ali je prenamijenjen da bi služio i za čišćenje.
4. Pri ugradnji sustava korištena su goriva gumena crijeva za cijevi što je kasnije doprinijelo požaru i eksploziji.
5. Plan žurnog reagiranja, evakuacije, i druge obuke nisu bile adekvatno usvojene od strane radnika; nisu postigli potpuno razumijevanje mogućih opasnosti od zapaljivih para i prašina.
6. US Ink tvrtka nije osigurala primjerenu komunikaciju o radu sustava s izvođačima projekta sustava za skupljanje prašine.
7. Nije postojao proces za utvrđivanje nakupljanja i začepjenja cijevi prašinom.
8. Nije bio postavljen automatski požarni alarm u drugim područjima sobe za predmiješanje kako to zahtijeva NFPA 72.
9. Nisu postavljeni kontrolni parametri u sustav, poput indikatora i blokatora temperature i tlaka.
10. Nije postojao proces za utvrđivanje ispravnog puštanja u pogon sustava za skupljanje prašine, te stoga nije osigurana odgovarajuća brzina prijenosa.
11. Javlja se nedovoljni protok zraka i došlo je do nakupljanja praškastih gorivih tvari u cjevovodu.
12. Sustav za skupljanje prašine pokrenuo se automatski kada je bilo koji od spremnika za miješanje pokrenut i automatski se isključivao kada su sve miješalice bile neaktivne. Međutim, sustav za skupljanje prašine zapravo je nastavio raditi preko noći čak i kada su sve miješalice tinte bile isključene.
13. Praćenje temperature miješalice da bi se osiguralo da ostane dovoljno niska za prilagodbu operacije miješanja svodilo se samo na pojedine instinkte radnika; uočavanje zapaljivih para, i zvukova proizvedenih tijekom procesa miješanja da bi ručno iz kontrolne sobe prilagodio brzinu agitatora miješalice. Nakon ugradnje sustava za skupljanje prašine, operateri u sobi za predmiješanje nisu mogli vidjeti paru i koristiti ju kao indikator. Nakon uklanjanja sustava čišćenja, zapaljiva para generirana operacijom miješanja tinte više nije mogla biti uklonjena jer novi sustav za skupljanje prašine nije bio dizajniran za ispuštanje kondenzirajuće pare. Pare su ostale zarobljene unutar cjevovoda.
14. Zbog nepostojanja kontrolnih parametara i zbog toga što je sustav stalno povlačio zrak kroz prašinu i paru u gornjem praznom dijelu spremnika, došlo je

do akumulacije prašine i kondenzirajućih para u dijelu gdje se druge grane cjevovoda spajaju s glavnim cjevovodom, što je osiguralo gorivo za požar u cijevi. Dolazi do pregrijavanja zapaljive smjese prašine koja se akumulirala u cjevovodu te se ona zapaljuje.

15. Iako je zapaljenje dovelo do eksplozije prašine unutar kolektora prašine, rast tlaka aktivirao je Fike sustav za suzbijanje eksplozije koji je spriječio strukturni kvar kolektora prašine. Zapaljenje u kolektoru prašine i ispust 5-litarskog spremnika suzbijanja i 9-litarskog spremnika izolacije stvorio je tlačni rast veći od predviđenog u kolektoru prašine i izazvao širenje plamena suprotno dosadašnjem smjeru prema spremnicima za miješanje. Nagli rast tlaka aktivirao je inicijalni naglo buknući požar na postaji za istovar i unutar gumiranih cijevi iznad spremnika T-306 gdje se dogodio drugi, promjenjiviji naglo buknući požar.
16. Jedan od radnika vidio je erupciju narančaste vatrene kugle iz spremnika. Plamen je zahvatio njega i šest drugih radnika koji su bili na pragu izvan sobe za predmiješanje.
17. Još jedan zaposlenik koji je prišao području sobe za pred-miješanje primijetio je da su svjetla na alarmnoj ploči sustava za suzbijanje eksplozije kolektora prašine crvena, indicirajući detekciju rasta tlaka i aktivacije sustava. Sustav nije proizveo zvučni signal.
18. Zaposlenik je obavijestio druge radnike u području da se aktivirao sustav za suzbijanje eksplozije i da je nastao požar. Trenutak prije velikog naglo buknućeg požara zaposlenik se povukao iz područja sobe za pred-miješanje da bi nazvao 911, ali nakon što je potrčao nekoliko metara, srušio ga je na tlo udarni val izazvan vatrenom kuglom.
19. Radnici nisu nosili vatrootpornu odjeću.
20. Naglo buknući požar aktivirao je sprinklerski sustav u sobi za predmiješanje. Nakon što su vatrogasci stigli na mjesto događaja, nisu vidjeli plamen jer su sprinkleri ugasili požare izvan zatvorene opreme. Tek nakon provjeravanja svojih senzora topline su uočili nekoliko požara cjevovoda i ugasili ih vodom nakon razdvajanja zahvaćenih kanala. Unutar kolektora prašine nije bilo potrebe za gašenjem jer je zbog sustava za suzbijanje eksplozije i izolacijskog sustava već spriječen ulazak požara u kolektor prašine nakon prvotnog događaja.

## 7. ZAKLJUČAK

Svaki požar i svaka eksplozija su opasni na svoj poseban način, no ne ostavljaju uvijek tako teške posljedice kao oni sa praškastim gorivim tvarima velike ogrjevne moći, velike brzine izgaranja i visokih brzina rasta tlaka eksplozije.

Iznimno je važno je da se svi propisi protupožarne i protueksplozijske sigurnosti i zaštite glede praškastih gorivih tvari dosljedno provode, no i to je teško ukoliko se propisi ne poznaju ili nisu doneseni. U moru zakona, standarda i normi teško je pratiti i razlučiti što se sve do zadnjeg detalja odnosi na naš slučaj od interesa, i baš zbog toga je neophodan jedan sveobuhvatni propis za tako velik rizik kakav predstavljaju praškaste gorive tvari.

Sve instalacije i postrojenja potrebno je redovito održavati i servisirati te paziti da su izvedeni na odgovarajući način. Ne smije se događati da u eksplozijski potencijalno opasnoj atmosferi električne instalacije ne budu u odgovarajućoj vrsti „S“ („Ex“) izvedbe. Svi koji sudjeluju u procesu u kojem se javljaju ili se radi sa zapaljivim praškastim gorivim tvarima moraju biti potpuno upoznati s mogućim opasnostima i posljedicama te s nužnim mjerama protupožarne i protueksplozijske sigurnosti i zaštite vezanim za svoje radne zadaće i obveze.

Radom se pokušalo prikazati koliko veliku ulogu igra samovoljno tumačenje postojećih propisa te prilagođavanje istih u vlastitu (tvrtkinu) prividnu korist. Raščlambe primjera iz prakse jasno ukazuju da je prebacivanje odgovornosti na drugu instituciju najlakši posao da se posao ne odradi uopće, ili da se odradi polovično. Uloga pravodobnog i stručno utemeljenog ulaganja u protupožarnu i protueksplozijsku sigurnost i zaštitu je iznimno važna, jer se na uređajima i postupcima koji će, ako ne posve jamčiti, makar podići razinu sigurnosti na društveno prihvatljivu razinu. Izgubljeni ljudski životi i trajno izgubljeno zdravlje u tehnološkim nesrećama, koje se – da se to htjelo ili znalo kako – lako moglo spriječiti, ničim se ne mogu nadoknaditi.

Kako čovjek najbolje zapamti ono što u nedogled ponavlja, tako procese s povećanim rizikom ali i reagiranje u hitnim slučajevima mora dovesti do toga da vezane radnje obavlja automatizmom. Dobra obuka je temelj svega, jer kada viša razina zakaže u prenošenju znanja o pravilnom postupku, tada će niža razina automatizmom reagirati na krive načine. Kako u današnje vrijeme svi rade sve, a ponajmanje svoj posao, sveobuhvatni standard za praškaste gorive tvari u mnogočemu bi unaprijedio stanje protupožarne i protueksplozijske sigurnosti i zaštite u industriji. Kada bi se postavio dobar, nedvosmislen, sveobuhvatni standard ne bi dolazilo ili bi u bitno manjoj mjeri dolazilo do nesporazuma u tumačenju primjenjivosti raznih propisa i mnoge nesreće i ljudske i materijalne štete bili bi izbjegnuti.

Kritičkom raščlambom uzroka nastanka radom predočenih slučajeva eksplozijskih i požarnih nesreća s praškastim gorivim tvarima nije prikazan samo nedostatak znanja i stručne osposobljenosti na svim razinama takvom nesrećom pogođenih tvrtki, nego, nažalost, čak i u državnim i javnim institucijama nadležnim za upravni i inspekcijski nadzor pridržavanja propisa iz svih područja tehnološke sigurnosti i zaštite. Ako se zakonski nadležne i odgovorno državne i javne institucije ne nametnu kao pouzdani nositelji stručnih znanja i uporni poticatelji provedbe propisanih mjera za poboljšanje stanja protupožarne, protueksplozijske i ine opće sigurnosti, i ne preuzmu punu odgovornost za stanje sigurnosti u tim područjima, teško će pojedinci u realnom sektoru moći biti potaknuti podići ukupnu razinu sigurnosti unutar svojih tvrtki, a još teže će obitelji u takvim nesrećama stradalih osoba moći pronaći makar malo pravne i ine društvene zadovoljštine.



## LITERATURA

- [1] Rumbak, S., *Protueksplozijska zaštita; Važan čimbenik sigurnosti postrojenja*, Sigurnost, 52 (2010.), 4, 345-358.
- [2] Rumbak, S. *Učestalosti uzročnika paljenja eksplozivne atmosfere*, Ex-Bilten, 38 (2009.), 1-2, 57-68.
- [3] Abbasi, T., Abbasi, S.A., *Dust explosions – Cases, causes, consequences, and control*, Journal of Hazardous Materials, 140 (2007.), 1-2, 7–44
- [4] Rumbak, S., *Istraživanje učinaka oštećenja kotrljajnog ležaja u eksplozivnoj atmosferi*, Doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, (2009.)
- [5] Eckhoff, R. K., *Dust explosions in the Process Industries, third edition*, Gulf Professional Publishing, SAD, (2003.), ISBN 0-7506-7602-7
- [6] Kulišić, D., *Tehnologija sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija*, PDF prezentacija nastavnog gradiva za interne obrazovne potrebe Veleučilišta u Karlovcu, Smjer Sigurnost i zaštita od požara, (ožujak 2015.)
- [7] Rumbak, S., *Eksplozije prašina - opasnosti, uzroci i sprječavanje*, Ex-Bilten, 41 (2013.), 1-2, k1-k9
- [8] Gulan, I., *Protupožarna tehnološka preventiva*, Biblioteka Nading, Zagreb, (1997.), ISBN 953-96015-4-1
- [9] Kulišić, D., *Metodika istraživanja požara i eksplozija (Radna inačica studentskog udžbenika i stručnog priručnika za kriminalističku policiju)*, (ožujak 2004.)
- [10] Cote, A.E., Grant, C.C., Hall Jr., J.R., Solomon, R.E., *Metals*, Fire Protection Handbook, 1-2 (2008.), 20th Ed., 6-153 – 6-164
- [11] Izvješće CSB-a *AL Solutions, Inc., New Cumberland, WV, Metal Dust Explosion and Fire, December 9, 2010, Three Killed, One Injured*, No. 2011-3-I-WV
- [12] *Titanij*, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Titanij>, pristupljeno 22.5.2016.
- [13] *Cirkonij*, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Cirkonij>, pristupljeno 22.5.2016.
- [14] Izvješće CSB-a *Hoeganaes Corporation: Gallatin, TN, Metal Dust Flash Fires and Hydrogen Explosion, January 31, 2001; March 29, 2011; May 27, 2011, 5 Killed, 3 Injured*, No. 2011-4-I-TN
- [15] Izvješće CSB-a *US Ink/Sun Chemical Corporation, Ink Dust Explosion and Flash Fires in East Rutherford, New Jersey, October 9, 2012. Seven Employee Injuries*, No. 2013-01-I-NJ

## POPIS PRILOGA

### Slike:

Slika 1. Pogled na postrojenje prije nesreće [11].	17
Slika 2. Pojednostavljeni prikaz tijeka procesa prešanja [11].	18
Slika 3. Tlocrt glavne proizvodne zgrade, vjerojatno središte eksplozije i mjesta nastanka ozljeda i smrtonosnih učinaka nesreće [11].	21
Slika 4. Sjeverni dio prostorije za miješanje i prešanje nakon eksplozije [11].	22
Slika 5. Strop prostorije za miješanje i prešanje nakon eksplozije [11].	22
Slika 6. Miješalica i okolni zid i strop [11].	23
Slika 7. Otvorene bačve titana i cirkonija u proizvodnoj zgradi [11].	25
Slika 8. Poprište nesreće 31. siječnja 2011. [14].	36
Slika 9. Linija plina na kojoj se radilo za nastanka nesreće [14].	36
Slika 10. Računalno izrađeni prikaz nesreće [14].	37
Slika 11. Rupa u cjevovodu nakon nesreće [14].	38
Slika 12. Pomicanje pokrovnih ploča izazvano eksplozijom vodika [14].	38
Slika 13. Vizualna demonstracija CSB-ova testa [14].	39
Slika 14. Motor i izložene žice [14].	40
Slika 15. Nakupine praškaste gorive tvari [14].	42
Slika 16. Tlocrt sobe za pred-miješanje sa spremnicima za miješanje [15].	49
Slika 17. Spremnik suzbijača eksplozije [15].	51
Slika 18. Spiralna ovojnica za koju su radnici izjavili da se topi i kaplje [15].	53
Slika 19. Začepljene cijevi [15].	57

### Tablice:

Tablica 1. Uzročnici paljenja u najznačajnijim eksplozijama prašine [2, 3].	2
Tablica 2. Učestalost uzročnika paljenja u eksplozijama praškastih gorivih tvari u SR Njemačkoj [4].	3
Tablica 3. Vrste i posljedice eksplozija praškastih gorivih tvari u SAD-u, u razdoblju 1900.-1956. [5].	4
Tablica 4. Vrste i posljedice eksplozija praškastih gorivih tvari u SR Njemačkoj, u razdoblju od 1965. do 1980. godine [5].	4
Tablica 5. Učestalost primarne uključenosti raznih vrsta procesnih objekata u 426 eksplozije praškaste gorive tvari i razdioba eksplozija raznih vrsta praškastih gorivih tvari [5].	5