

Metodologija procjene rizika u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom



Ivica Gavrančić

Suvremena su postrojenja sve opremljenija novim blagodatima razvijene tehnologije, ali istodobno su, iako toga često nismo ni svjesni, sve osjetljivija na moguće neželjene prateće pojave (događaje) primjene te tehnologije. Ozljede i negativni utjecaji na zdravlje česti su pratoci primjene suvremenih (složenih i zahtjevnih) tehničkih rješenja.

Složenost novih postrojenja s jedne i neodržavanost (ili nedovoljna održavanost) starih postrojenja s druge strane, u uvjetima kada su ista ugrožena eksplozivnom atmosferom, čini ozbiljan izvor opasnosti ili tehnološkog rizika. Na postrojenja predviđena za rad u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom postavljaju se visoki sigurnosni zahtjevi koji istodobno mogu značiti i smanjenje koristi primjene suvremenih tehničkih rješenja i značajna poskupljenja rada istih. Suprostavljenost spomenutih zahtjeva moguće je, u manjoj ili većoj mjeri, pomiriti provedbom procjene tehnoloških rizika. Procjena rizika u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom mora prepoznati i analizirati svaku opasnost ili mogući događaj koji za posljedicu može imati nastanak eksplozije.

Ovaj članak ukazuje na važnost i nužnost primjene (provedbe) procjene rizika kao znanstvene discipline koja značajno doprinosi poboljšanju sigurnosti i čini dio sveobuhvatne protueksplozijske zaštite, ali koja i kritički uzima u obzir tehničku i ekonomsku opravdanost primjene sigurnosnih mjera.

1. UVOD

Suvremena se analiza protueksplozijske zaštite (npr. naftnih platformi, naftovoda i plinovoda, rafinerijskih postrojenja, kemijske industrije i sl.) danas u svijetu temelji na sustavnom i sveobuhvatnom promatranju i analiziranju procesa, materijala i tvari te uzročnika paljenja koji u određenim interakcijskim odnosima mogu dovesti do neželjene pojave eksplozije, tomu valja dodati i požare koji mogu biti uzrok i posljedica eksplozija s katastrofalnim razmjerima.

Prevenciju od nastajanja eksplozije, sukladno europskoj direktivi 1999/92/EC (ATEX 137) i s njom usklađenim i u Republici Hrvatskoj važećim Pravilnikom o najmanjim zahtjevima sigurnosti i zaštite zdravlja radnika te tehničkom nadgledanju postrojenja, opreme, instalacija i uređaja u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom ("Narodne novine" Republike Hrvatske br. 39/06) potrebno je (i obvezno) uz ostalo provoditi i prepoznavanjem opasnosti, procjenom rizika te smanjivanjem ili uklanjanjem uzroka i mogućih posljedica rizika.

Polazno je načelo u analizi i projektiranju protueksplozijske zaštite postrojenja da svi uređaji (električni i neelektrični) s potencijalnim uzročnicima paljenja, a koji su instalirani u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom ili imaju utjecaj na taj prostor (u smislu protueksplozijske zaštite), udovoljavaju načelima sadržanim u normi HRN EN 1127-1 (Sprečavanje i zaštita od eksplozije, dio 1: Osnovne koncepcije i metodologije), tj. da ne predstavljaju uzročnik paljenja eventualno prisutne eksplozivne atmosfere.

Kod postrojenja koja su u eksploataciji dugi niz godina, uslijed prisutnosti agresivnih medija, manjkavog održavanja, zamora materijala i sl., moguće je i nastajanje povećanih ispuštanja zapaljivih medija, nastajanje novih izvora ispuštanja te je moguća pojava električnih i neelektričnih uzročnika paljenja eksplozivne atmosfere koji nisu bili razmatrani i procijenjeni prilikom projektiranja i izgradnje postrojenja odnosno prilikom ispitivanja i potvrđivanja (certifikacije) novougrađene opreme.

Za analizu svih spomenutih opasnosti i opasnih događaja koji se mogu pojaviti u postrojenju ugroženom eksplozivnom atmosferom, od posebne je važnosti procjena tehnološkog rizika koja je temeljni dio ovog članka.

2. OSNOVNI POJMOVI I NAZIVLJE

U stručnoj se literaturi, studijama i istraživanjima tehnoloških rizika uočava poprilična nedosljednost u smislu nazivlja i definicija. U ovom su članku, u tablici 2.1., prikazani osnovni pojmovi i nazivlje koji se često susreću i koji prikazuju "tipične" pojmove i nazivlje [3] [4].

Iz tablice 2.1. vidljiva je različitost definiranja pojma "rizik" no većina definicija spomenutog pojma objedinjuje tri elementa/pitanja:

- Koji su to mogući neželjeni događaji ?
- S kojom se učestalošću mogu pojaviti ?
- Koje su i kolike moguće posljedice ?

Ukoliko sa S označimo neželjeni događaj, sa pS vjerojatnost njegove pojave a sa cS posljedice njegove realizacije, tada triplet (Si , pSi , cSi) možemo smatrati odgovorom na postavljena tri pitanja.

Temeljem navedenog formalna se definicija rizika može napisati na sljedeći način:

$$R = \{(Si, pSi, cSi)\} \quad (2.1.)$$

gdje je R rizik, dok je $i=1,2,3\dots n$ skup svih mogućih neželjenih scenarija. Ovu definiciju temeljenu na tzv. konceptu tripleta uveli su u teoriju rizika Kaplan i Garrick, 1981.

Tablica 2.1. Osnovni pojmovi i nazivlje

Rizik (Risk)	<ul style="list-style-type: none"> • Kompozitna mjera vjerojatnosti pojave nekog neželjenog scenarija (slijeda niza uzajamno povezanih i/ili slučajnih neželjenih događaja koji mogu rezultirati nezgodom) i intenziteta neželjenih posljedica koje takav scenarij može uzrokovati. • Funkcija žestine/oštine (moguća posljedica/šteta za razmatranu opasnost eksplozije) i vjerojatnosti događanja štete (učestalost i vjerojatnost nastanka štetnog događaja). • Potencijalna opasnost gubitka nečega što ima vrijednost. • Opasnost koja se do stanovite mjere može predvidjeti i kojoj se može odrediti intenzitet.
Procjena rizika (Risk Assessment)	<ul style="list-style-type: none"> • Niz logičnih koraka koji omogućuje, na sustavan način, prepoznavanje i procjenu opasnosti i mogućih posljedica te ocjenjuje vjerojatnost njihove pojave. • Postupak prepoznavanja i analize opasnosti pridruženih različitim ljudskim djelatnostima te određivanje posljedica i vjerojatnosti gubitaka. • Procjena vjerojatnosti i stupnja mogućih ozljeda i šteta u uvjetima nastanka opasnosti ili opasnog događaja.
Identifikacija opasnosti	<ul style="list-style-type: none"> • Sustavni postupak pronalaženja svih opasnosti koje su pridružene uređaju/sustavu (što, zašto i kako se nešto može dogoditi).
Određivanje rizika (Risk Estimation)	<ul style="list-style-type: none"> • Utvrđivanje učestalosti s kojom može biti ostvarena utvrđena opasnost koja će prouzročiti određenu razinu žestine/oštine štete.
Ocjena rizika (Risk Evaluation)	<ul style="list-style-type: none"> • Usporedba rizika s određenim kriterijima prihvatljivosti (rizik prihvatljiv ili oprema i/ili zaštitni sustavi moraju biti promijenjeni s namjerom smanjenja rizika).
Preostali rizik	<ul style="list-style-type: none"> • Preostala razina rizika nakon svih poduzetih akcija za smanjenje vjerojatnosti i posljedica rizika.
Upravljanje rizikom (Risk Management)	<ul style="list-style-type: none"> • Sustavna primjena politike upravljanja postupcima zaduženim za identifikaciju, analizu, nadzor i kontrolu rizika.
Šteta (Injury/Damage)	<ul style="list-style-type: none"> • Fizičke ozljede ili oštećenja zdravlja ljudi ili oštećenja imovine ili okoliša.
Opasnost (Hazard)	<ul style="list-style-type: none"> • Potencijalni izvor štete.

Prikazani pristup zahtjeva traženje svih neželjenih događaja, određivanje njihove učestalosti i mogućih posljedica, što može biti kompliciran i dugotrajan posao. Rizik također može biti prikazan (opisan) i izrazom 2.2.

$$\text{RIZIK [očekivani gubitak / vrijeme]} = \text{VJEROJATNOST [neželjeni događaj / vrijeme]} \times \text{POSLJEDICA [očekivani gubitak / neželjeni događaj]} \quad (2.2.)$$

U nastavku ovog članka bit će prikazani temeljni principi pristupa i provedbe procjene rizika u postrojenjima ugroženim eksplozivnom atmosferom za čije je razumijevanje bilo nužno prikazati ove osnovne pojmove i nazivlja.

3. METODOLOGIJA PROCJENE RIZIKA U PROSTORIMA UGROŽENIM EKSPLOZIVNOM ATMOSFEROM

Pristup procjene rizika mora osigurati vezu između vjerojatnosti pojave neželjenog događaja i posljedica

očekivanih gubitaka, a s ciljem postizanja zahtijevane razine sigurnosti sukladno stanju tehnike, tehničkim i ekonomskim zahtjevima i sl.

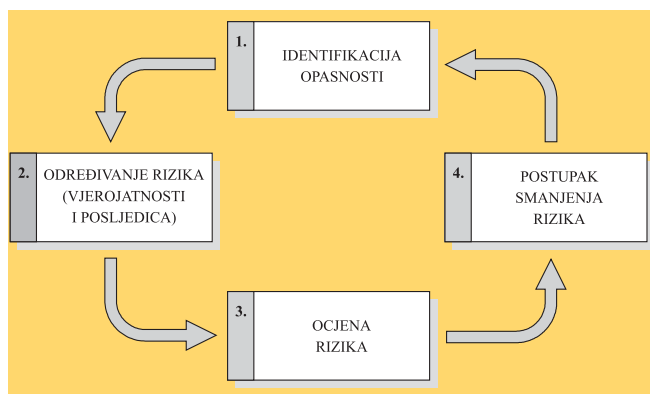
3.1 Struktura postupka procjene rizika

U procjeni rizika važno je uvažiti i činjenicu da ona mora uz očekivane (predvidive) poremećaje uključiti i one neočekivane.

Osnovnu strukturu, odnosno osnovni tok postupka procjene rizika možemo prikazati slikom 3.1. [4]. Procjena rizika je iterativan postupak.

3.1.1 Identifikacija opasnosti

Prepoznavanje potencijalnih opasnosti (Hazard Identification) podrazumijeva izradu popisa svih mogućih neželjenih scenarija što nije nimalo jednostavan posao. Do pojave eksplozije može doći ukoliko se pojavi eksplozivna atmosfera koja može biti zapaljena djelotvornim uzročnikom paljenja. Od velike pomoći kod identifikacije opasnosti (s naslova uzročnika paljenja) može biti norma HRN EN 1127-1 koja definira uzročnike paljenja.



Slika 3.1. Osnovna struktura postupka procjene rizika

Tablica 3.1. prikazuje pojave i mehanizme (uzročnike) u njima koji mogu dovesti do pojave eksplozije.

ΔU označava mogućnost pojave neizjednačenih električnih potencijala, a Δp označava mogućnost pojave razlike tlakova. Polja u tablici (mreži) 3.1. zasjenjena (popunjena) sivom bojom označavaju mogućnost nastanka pojedinog uzročnika vezano za svaku pojavu.

Na slici 3.2. prikazano je postrojenje u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom u kojemu su vidljivi izvori ispuštanja zapaljivog medija (sigurnosni i odušni ventili, brtve, prirubnice i sl.) iz kojih je moguća pojava zapaljivog medija (u konkretnom slučaju plina). Na istoj slici vidljivi su i neki od mogućih djelotvornih uzročnika paljenja (npr. vruće površine na i unutar elektromotora i svjetiljki, mehanički generirane iskre pri vrtnji crpki/kompresora, električne iskre unutar elektromotora i svjetiljki i sl.). Slika dakle prikazuje prostor (okruženje) u kojemu je moguća istovremena pojava eksplozivne atmosfere i uzročnika paljenja te valja precizno analizirati i procijeniti rizik te poduzeti odgovarajuće mjere protueksplozijske zaštite.



Slika 3.2. Postrojenje u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom

U ovom se članku neće analizirati postupak identifikacije opasnosti s naslova klasifikacije prostora u zone opasnosti budući da je spomenuto opće poznato i detaljno se može vidjeti npr. u normi HRN EN 60079-10 (za zapaljive plinove i pare) te normi HRN EN 61241-10 (za zapaljive prašine).

Nakon prepoznavanja uzročnika paljenja (prema tablici 3.1.) valja definirati opasne događaje koji se mogu pojaviti u pojedinim fazama rada postrojenja ugroženog eksplozivnom atmosferom. Tablica 3.2. prikazuje primjer takvih događaja.

Za navedene primjere, prikazane u tablici 3.2. preporučuju se sljedeće korektivne akcije (stupac KOR. AKC.):

- (1) Kod elektromotora osigurati dvije nezavisne zaštite od preopterećenja od kojih je barem jedna na principu direktnog nadzora temperature elektromotora

Tablica 3.1. Pojave i uzročnici paljenja

POJAVA	UZROČNIK (mehanizam koji može inicirati eksploziju)							
	>T	>>T	>I	>>I	ΔU	>U	>>U	Δp
Vruće površine								
Plamen i vrući plinovi								
Električne i mehanički generirane iskre, luk								
Lutajuće struje i katodna zaštita								
Statički elektricitet								
Munja								
Elektromagnetska zračenja								
Ionizirajuća zračenja								
Ultrazvuk								
Adijabatska kompresija i udarni valovi								
Egzotermna reakcija								

gdje ">" znači visoke, a ">>" jako visoke: T - temperatura; I - električne struje; U - električne napone.

Tablica 3.2. Primjer identifikacije opasnosti u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom

OPASNOST OD POJAVE EKSPLOZIVNE ATMOSFERE				UZROČNIK PALJENJA				KOR. AKC.
Tip	Učestalost (trajanje) ispuštanja	Mjesto ispuštanja	Zona	Tip (izvor)	Učestalost	EPL (certifikat)	Djelotvornost	
pare benzina	30 s / dan odzračivanje	odzračni ventil	1	vruća površina (> T) (preopterećen motor)	tijekom kvara (do djelovanja zaštite)	“Gb” (K 07987X) (motor)	Visoka (temperatura vruće površine > temp. paljenja)	(1)
oblak prašine šećera	trajno u normalnom radu	unutrašnjost transportnog tunela	20	mehanički generirana iskra (trenje metalne trake o kućište)	povremeno u normalnom radu	nema (traka)	Mala (mala brzina gibanja trake)	(2)

i uskladiti djelovanje zaštite (kod najviše temperature najtoplijeg mjesta) prema temperaturi paljenja medija.

- (2) Kontrolirati brzinu gibanja trake (i onemogućiti prekoračenje brzine preko najveće dopuštene) i (s obzirom da je zona 20) održavati vlažnost iznad minimalno zahtijevane vrijednosti (za šećernu prašinu uz vlažnost preko 75 % ne može doći do eksplozije).

3.1.2 Određivanje rizika (vjerojatnosti i posljedica) te ocjena rizika

Kod svih metoda procjene rizika nameće se temeljno pitanje kako ocijeniti rizik. Konceptije (pristupi) ocjene rizika (vjerojatnosti nastanka i posljedica) mogu se podijeliti u sljedeće tri skupine:

- Kvalitativna procjena (opisna) pri kojoj se rizik može

ocijentati npr. kao prihvatljiv, neprihvatljiv, podnošljiv ili mali, srednji, velik i sl.

- Kvantitativna procjena (numerička) koja proračunava vjerojatnost nastanka neželjenog događaja.
- Kombinacija gore navedenih metoda (numerički rezultat vjerojatnosti omogućava razvrstavanje pojava/neželjenih događaja u određene skupine (mali, srednji i veliki rizici i sl.) te omogućava usporedbu vjerojatnosti nastanka različitih događaja.

Kada je riječ o kvalitativnoj procjeni rizika razni autori daju svoja viđenja, kategorizacije rizika i sl. (npr. [4]) s manjom ili većom gustoćom polja mreže različitih rizika. Tablica 3.3. prikazuje jednu od mogućih mreža za kvalitativnu ocjenu rizika (u ovisnosti o vjerojatnosti nastanka neželjenog događaja i posljedicama očekivanih gubitaka) u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom.

Tablica 3.3. Primjer mreže za kvalitativnu ocjenu rizika u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom

VJEROJATNOST (UČESTALOST) NASTANKA NEŽELJENOG DOGAĐAJA	POSljedica očekivanih gubitaka			
	KATASTROFA (eksplozija koja ugrožava široko okolno područje)	VELIKA ŠTETA (eksplozija unutar postrojenja)	MALA ŠTETA (oštećenje opreme postrojenja)	NEZNATNA ŠTETA (zastoj u radu postrojenja)
VRLO UČESTALO (trajno)	IO	IO	NPR	PO
VJEROJATNO (2-3 puta u 2 godine)	IO	IO	NPR	PO
RIJETKO (1-2 puta u 20 godina)	IO	NPR	PO	PR
ZANEMARIVO (teoretski moguće ali iznimno malo vjerojatno)	NPR	NPR	PO	PR

U tablici 3.3. rizici postrojenja u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom kvalitativno su procijenjeni (ocijenjeni) kao:

- IO - Izravna opasnost
- NPR - Neprihvatljiv rizik
- PO - Podnošljiv rizik
- PR - Prihvatljiv rizik

Ovdje je važno napomenuti da je ocjena rizika kao "izravna opasnost" kategorija vezana uz teoriju procjene rizika u općem smislu. Za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom ona ima "teoretsko" značenje budući se kod procjene rizika u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom ispunjenje temeljnih zahtjeva protueksplozijske zaštite pretpostavlja kao nužno. U tom se smislu polja tablice 3.3 (označena žutom bojom i oznakom "IO") kod realne provedbe procjene rizika za postrojenja ugrožena eksplozivnom atmosferom mogu smatrati (u većini situacija) "teoretskim" slučajem (kada govorimo o procjeni rizika s naslova protueksplozijske zaštite, a ne s naslova opće opasnosti od eksplozije). Ovu je napomenu potrebno imati na umu kad god se, u ovom članku, govori o "izravnoj opasnosti" i procjeni rizika s naslova protueksplozijske zaštite.

Procjena mogućeg nastanka eksplozije temelji se na procjeni (vjerojatnosti) istovremene pojave eksplozivne atmosfere i uzročnika paljenja (istovremenost pojava nužan je uvjet za nastanak eksplozije).

Normativni dokumenti (npr. HRN EN 60079-10) i većina autora mogućnost nastanka (pojave) eksplozivne atmosfere opisuju npr. kao:

- ZONA 0 - Eksplozivna atmosfera prisutna trajno ili dulje vrijeme.
- ZONA 1 - Eksplozivna atmosfera prisutna (očekuje se) u normalnom radu.
- ZONA 2 - Eksplozivna atmosfera nije vjerojatna u normalnom radu, a ako se pojavi očekuje se rijetko i kratkotrajno.

dok se mogućnost nastanka kvara na uređajima (što može predstavljati uzročnik paljenja) opisuje npr. kao:

- EPL "Ga" - Oprema ne postaje uzročnik paljenja ni kod pojave dvaju nezavisnih kvarova.

- EPL "Gb" - Oprema prikladna za normalan rad i kod kvarova/smetnji koji se normalno moraju uzeti u obzir.

- EPL "Gc" - Oprema prikladna za normalan rad.

gdje EPL (Equipment protection level) označava razinu zaštite opreme.

Jasna je i vidljiva, sama po sebi, neegzaktost navedenih opisa (doista je teško definirati egzaktne podatke) te su se kroz praksu razvile različite teorije (pristupi) kod numeričkog/vjerojatnosnog definiranja događaja čija koincidencija dovodi do eksplozije.

Tako se npr. smatra [5] da umnožak vjerojatnosti postojanja eksplozivne atmosfere i uzročnika paljenja (za sve zone opasnosti) koji je manji ili jednak 10^{-8} (prikazano i izrazom 3.1.) predstavlja općenito prihvatljiv rizik.

$$p_{ex} = p_{es} \cdot p_{up} \leq 10^{-8} \quad (3.1.)$$

gdje je:

p_{es} - vjerojatnost pojave eksplozivne atmosfere

p_{up} - vjerojatnost pojave uzročnika paljenja

p_{ex} - vjerojatnost nastanka eksplozije

Općenito se [5] za vjerojatnost postojanja eksplozivne atmosfere mogu uzeti vrijednosti prikazane u tablici 3.4. (drugi stupac).

Uzimajući u obzir zahtjeve izraza (3.1.) za prihvatljiv rizik proizlazi dopuštena (najveća) vjerojatnost pojave (postojanja) uzročnika paljenja, što je prikazano u trećem stupcu tablice 3.4.

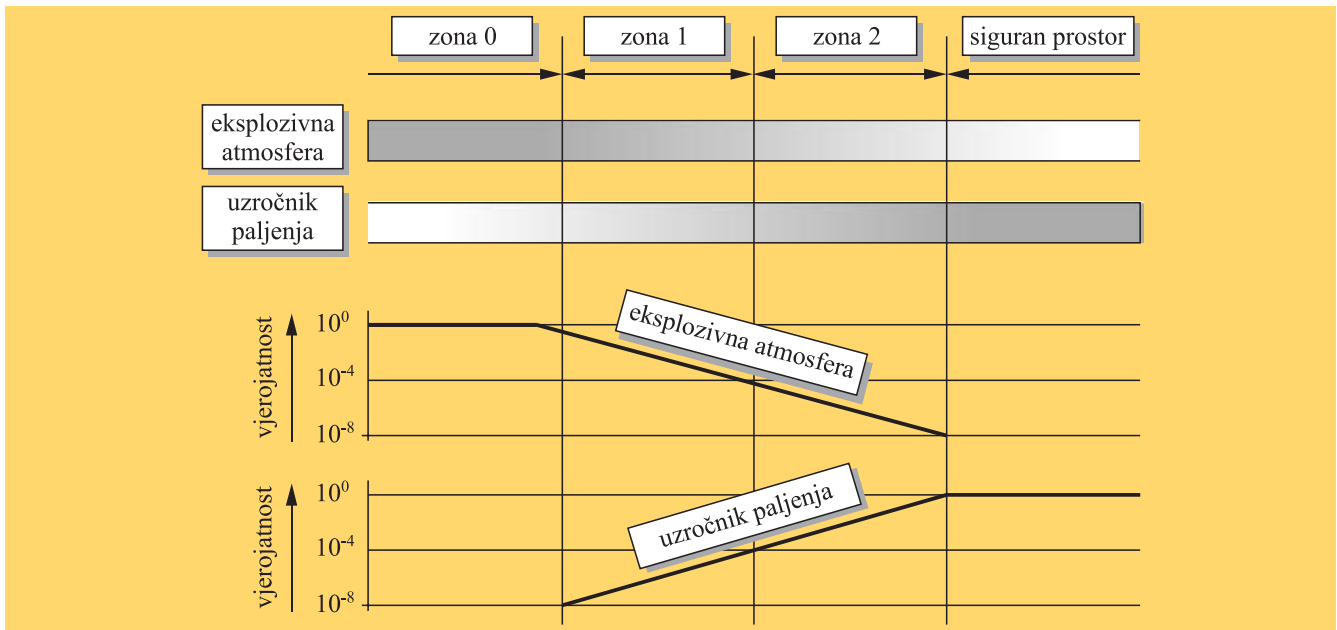
Iz navedenog je vidljivo da se koncepcija protueksplozijske zaštite ne temelji na nepostojanju eksplozivne atmosfere i uzročnika paljenja nego na dovoljno/prihvatljivo maloj vrijednosti njihove koincidencije, što je po definiciji procjena (rizika). Navedeno je moguće, uzimajući u obzir i tablicu 3.4., prikazati i grafički [5] kao na slici 3.3.

Rezultati navedenog pristupa i prikazanih analiza mogu se primijeniti u kombiniranoj (kvantitativno/kvalitativnoj) procjeni (ocjeni) rizika za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom.

Za ilustraciju prikažimo i tablicu 3.5. koja daje, kao primjer, vezu između numeričke vjerojatnosti nastanka

Tablica 3.4. Vjerojatnost postojanja eksplozivne atmosfere i uzročnika paljenja

ZONA OPASNOSTI	VJEROJATNOST POSTOJANJA EKSPLOZIVNE ATMOSFERE	DOPUŠTENA (NAJVEĆA) VJEROJATNOST POSTOJANJA UZROČNIKA PALJENJA
0	10^0	$< 10^{-8}$
1	10^{-2}	$< 10^{-6}$
2	10^{-4}	$< 10^{-4}$



Slika 3.3. Vjerojatnost pojave eksplozivne atmosfere i uzročnika paljenja

neželjenog događaja (eksplozije) i svrstavanja neželjenog događaja (temeljem rezultata numeričke vjerojatnosti) u, tablicom 3.3. ranije definirane, kvalitativne skupine.

Moramo naglasiti da je ovo numeričko (vjerojatnosno) prikazivanje rizika (vjerojatnosti nastanka događaja) samo pomoć u općoj ocjeni rizika i ne predstavlja “jedinstveno” rješenje, odnosno moguće je kvalitativnim skupinama (ovisno o definiranim/trazanim razinama prihvatljivosti rizika, ovisno o granicama odnosno širini procjene rizika, o vrsti postrojenja i sl.) pridjeliti i neke druge numeričke (vjerojatnosne) vrijednosti.

4. METODE ZA IZNALAŽENJE NEŽELJENIH DOGAĐAJA (SCENARIJA)

Iznalaženje (identificiranje) svih neželjenih događaja (scenarija) jedan je od bitnih koraka cjelovitog postupka procjene rizika. Danas je u svijetu razvijen cijeli niz metoda za iznalaženje neželjenih događaja (koje su u većini slučajeva razvijene i najdjelotvornije za određeni tip postrojenja). Među značajnije metode za iznalaženje neželjenih događaja u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom mogu se ubrojati:

- **Kvalitativna procjena rizika “što-ako”,**
- **Vjerojatnosna procjena rizika stablom događaja i stablom kvara (ET i FT analiza),**
- **FMEA - Analiza vrste kvara i efekata (učinaka),**
- **Kvalitativna analiza pogona i poremećaja - HA-ZOP i sl.**

U ovom članku samo su pobrojane neke metode za iznalaženje neželjenih događaja. Radi složenosti i opsežnosti metoda nije ih moguće, u okviru ovog članka, cjelovito prikazati i opisati. Također je važno napomenuti i da je danas u svijetu razvijen ogroman broj komercijalnih računalnih rješenja (alata) za provedbu procjene rizika. Detaljan će opis ranije pobrojanih metoda za iznalaženje neželjenih događaja kao i prikaz nekih računalnih rješenja (alata) biti predmetom nekog budućeg članka/članaka koji će činiti nastavak analiza problematike procjene rizika u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom.

U ovom članku, u tekstu koji slijedi, ukratko će biti prikazan samo temeljni pristup “vjerojatnosne procjene rizika stablom događaja i stablom kvara (ET i FT analiza)” budući da je ova metoda primjenjena u konkretnom

Tablica 3.5. Primjer kvantitativno/kvalitativne ocjene rizika

OZNAKA RIZIKA	KVALITATIVNA OCJENA	KVANTITATIVNA (VJEROJATNOSNA) OCJENA (IZRAČUN)
IO	IZRAVNA OPASNOST	$10^{-4} < p_{ex}$
NPR	NEPRIHVATLJIV RIZIK	$10^{-6} < p_{ex} \leq 10^{-4}$
PO	PODNOŠLJIV RIZIK	$10^{-8} < p_{ex} \leq 10^{-6}$
PR	PRIHVATLJIV RIZIK	$p_{ex} \leq 10^{-8}$

primjeru procjene rizika u postrojenju ugroženom eksplozivnom atmosferom, a koji je prikazan u poglavlju 5. ovog članka.

4.1 Vjerojatnosna procjena rizika stablom događaja i stablom kvara (ET i FT analiza)

Ova je metoda razvijena za tehnička postrojenja kod razmatranja kvarova s relativno malom učestalošću i potencijalno velikim posljedicama (takvi kvarovi su mogući/očekivani i u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom). Cilj je metode, pomoću matematičkog modela, koji opisuje procese u sustavu (postrojenju) i predviđene sigurnosne mjere (funkcije) ustanoviti hoće li projektom određene vrijednosti fizikalnih/tehničkih veličina biti prekoračene tijekom kvara odnosno može li doći do neželjenih posljedica. Ova se metoda usredotočuje na određivanje vjerojatnosti niza kvarova koji mogu dovesti do neželjenih događaja/posljedica.

Vjerojatnosna procjena rizika se provodi s ciljem iznalaženja odgovora na četiri temeljna pitanja [3]:

- Koji su kvarovi mogući?
- Koliko se učestalo mogu dogoditi (koja im je vjerojatnost)?
- Kakve su im moguće posljedice (kvantifikacija posljedica)?
- Na koji se način posljedice mogu spriječiti i/ili ublažiti?

Pet temeljnih koraka vjerojatnosne procjene rizika [6] su:

- Upoznavanje sa radom postrojenja, shemama i podacima.
- Uočavanje i grupiranje inicijalnih događaja (inicijatora kvara).

- Modeliranje sekvenci (stabla) događaja (SD) (eng. ET – Event Tree).
- Modeliranje otkaza sustava – stabla kvara (SK) (eng. FT – Fault Tree) ili tablice kvara.
- Određivanje i kvantificiranje sekvenci kvara.

Grafički prikaz primjera stabla događaja prikazan je na slici 4.1.

gdje je:

U - uspjeh sigurnosne funkcije SF

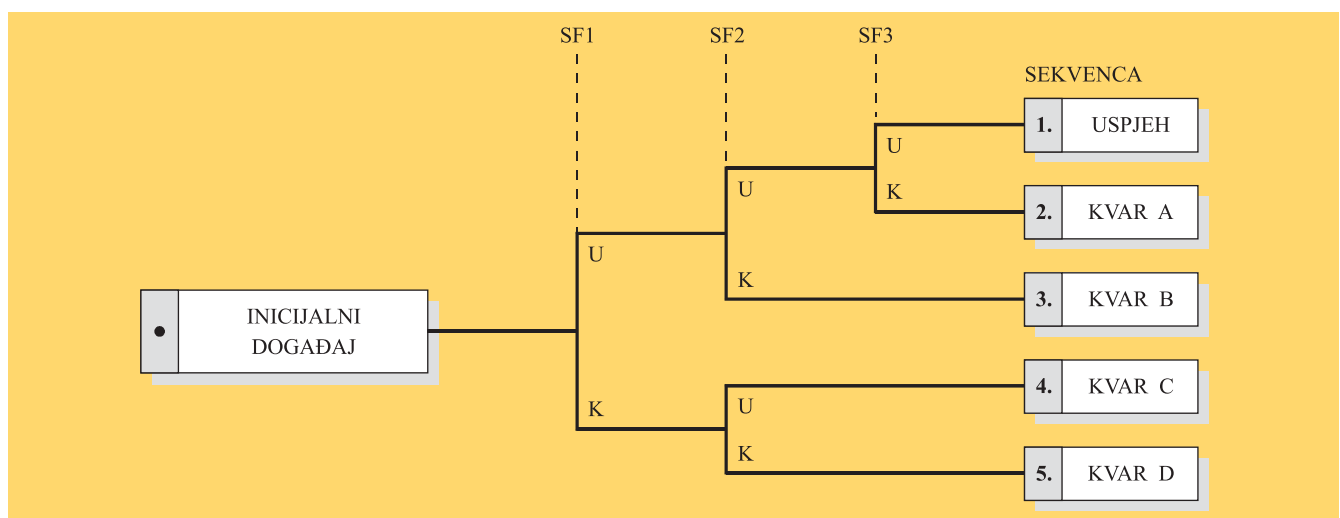
K - neuspjeh (kvar) sigurnosne funkcije SF

SF - sigurnosna funkcija

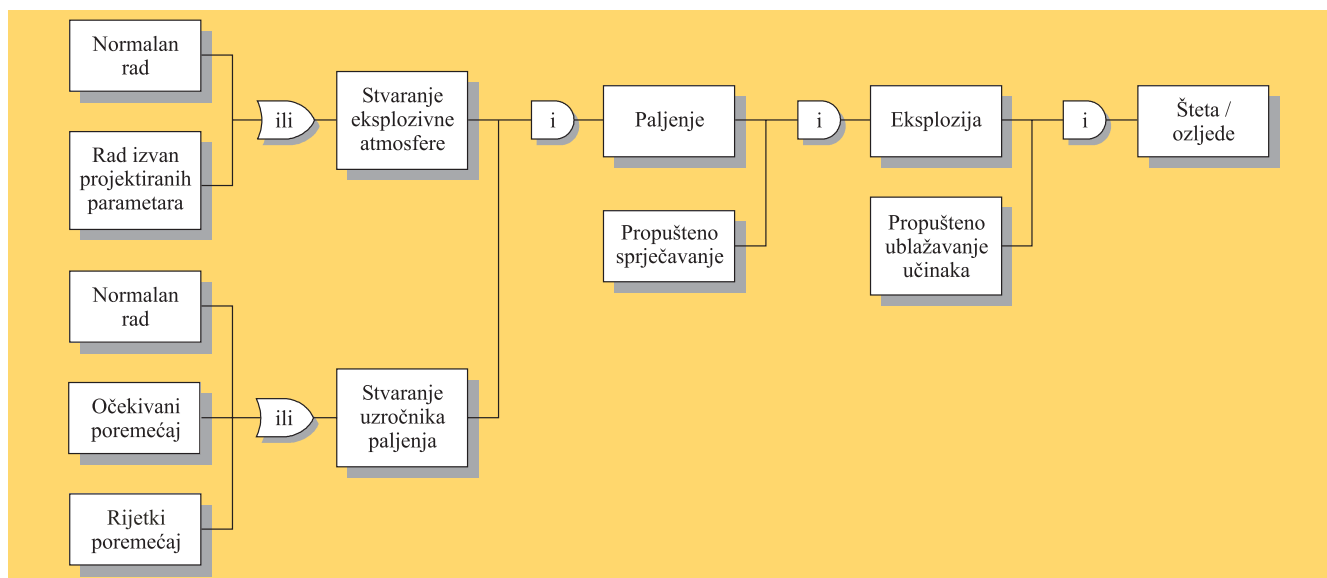
Stablo događaja se razvija za svaki inicijalni događaj i pokazuje ponašanje sigurnosnog sustava (funkcije). Kraj svake sekvence završava uspjehom ili neuspjehom sigurnosnog sustava (funkcije). Svaki otkaz sigurnosnog sustava u stablu događaja modelira se u cilju iznalaženja uzroka u kvaru komponenti. Relacije među elementarnim kvarovima prema kvaru sustava prikazuju se logičkim dijagramom – stablom kvara (SK).

Grafički prikaz tipičnog stabla kvara za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom prikazan je na slici 4.2. [4] [7].

Važno je napomenuti da je (što nije konkretno prikazano u ovim općenitim primjerima) svakom događaju u stablu događaja i svakom kvaru (npr. kvar ventilatora) u stablu kvara nužno definirati od strane proizvođača opreme, tehnologa, temeljem karata povijesti događaja ili sl., numeričke vjerojatnosti nastajanja, temeljem kojih je moguće (uzimajući u obzir serijsku ili paralelnu vezu događaja (I/ILI logičke veze)) izračunati ukupnu vjerojatnost da će se neki neželjeni događaj u konačnici dogoditi.



Slika 4.1. Općenito stablo događaja (SD)



Slika 4.2. Općenito stablo kvara (SK) za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom

5. PRIMJER PROCJENE RIZIKA U POSTROJENJU UGROŽENOM EKSPLOZIVNOM ATMOSFEROM

Umjesto uvoda u ovo poglavlje nudimo jedno razmišljanje/ilustraciju. Pojedinačno numeričko vrednovanje mogućnosti (vjerojatnosti) nastanka neželjenog događaja često nije dovoljno zorno i u principu ne predstavlja posebno značajan podatak. Npr. pojedinačni podaci da je rizik od oboljenja raka pluća (radi pušenja) 1.5×10^{-3} (oboljenja u godini dana od svih pušača razmatranog uzorka), vožnje zrakoplovom 5×10^{-6} (smrtna stradanja od ukupnog broja prevezenih u godini dana) te da je rizik od eksplozije na naftnoj platformi 7×10^{-8} (smrtna stradanja u godini dana od svih zaposlenih na platformi) sami za sebe ne znače puno, ali se njihovom usporedbom može doći npr. do bitnog zaključka da je rad na naftnoj platformi manje rizičan od vožnje zrakoplovom (što često nije uobičajena/klasična percepcija “prosječnog promatrača” kada se govori o radu na naftnoj platformi).

U prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom postoje razni rizici (rizik od požara, rizik od ozljeda, rizik od ekoloških katastrofa, rizik od eksplozije i sl.). U tom smislu važno je definirati razinu i granice procjene rizika koja se obavlja u postrojenju ugroženom eksplozivnom atmosferom (npr. za naftnu platformu). Jedna od mogućih podjela na razine je sljedeća:

- **RAZINA I - Cjelovita ili opća procjena rizika** (uključuje tehnološke rizike, prirodne nepogode, diverzije i ratna djelovanja i sl.).
- **RAZINA II - Procjena rizika za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom u užem**

smislu (analizira samo tehnološke neželjene događaje i samo posljedice vezane uz mogućnost nastanka eksplozije – ne i ekološke, zdravstvene i druge posljedice).

- **RAZINA III - Pojedinačna procjena rizika** za uređaj/komponentu (kao mogući uzročnik paljenja) koji radi u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom.

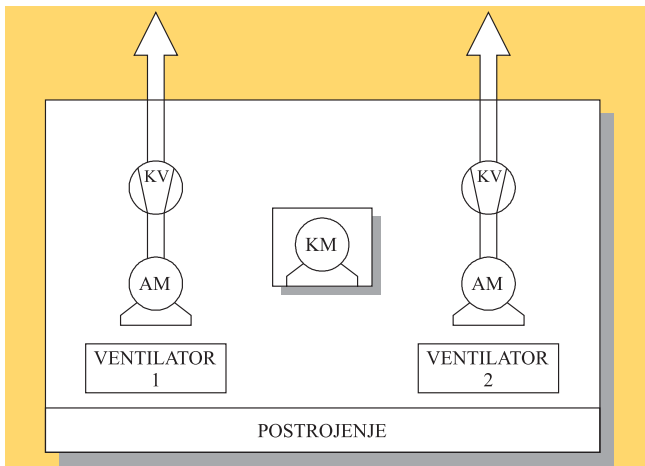
Odmah recimo da je, u normativno-pravnom okruženju kakvo je u Republici Hrvatskoj, uz postojeći stupanj tehničke razvijenosti naših postrojenja, njihovu starost i sl. u ovom trenutku najprikladnija, sa stajališta zaštite od eksplozije, primjena razine II, no svakako valja težiti primjeni razine I.

O razini (granicama) procjene rizika u pravilu odlučuje korisnik/vlasnik postrojenja (kojeg obvezuju pravno/normativni dokumenti) koji je i odgovoran za sve što se događa u postrojenju pa tako i za pojavu neželjenih događaja i njihovih posljedica.

Na slici 5.1. prikazan je (samo za ilustraciju/primjer) dio postrojenja ugroženog eksplozivnom atmosferom koji je predmet procjene rizika (i to primjenom razine II).

Postrojenje za analizu je prostor istosmjernog (kolektorskog) elektromotora (KM) za regulaciju brzine vrtnje pogona u rafineriji nafte (postrojenje “starije izvedbe”).

Kolektorski je elektromotor u izvedbi bez primjenjenih (sekundarnih) mjera protueksplozijske zaštite, a protueksplozijska zaštita sustava (prostora) osigurava se primarnim mjerama protueksplozijske zaštite (učinkovitom ventilacijom koja prostor ugrožen eksplozivnom atmosferom pretvara u siguran prostor). Za osiguranje



Slika 5.1. Postrojenje u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom

navedenog dovoljan je rad barem jednog od dvaju ventilatora.

U ovom primjeru za inicijalni (neželjeni) događaj pretpostavlja se puknuće kola ventilatora 1 (KV) koji je u radu i mehanička blokada rotora (kola) ventilatora. Pojednostavljeno stablo događaja za promatrani primjer dano je na slici 5.2.

Oznake na slici 5.2. imaju sljedeće značenje:

- U1 - uspjeh sigurnosne funkcije SF1 (automatski uključen ventilator 2)
- K1 - neuspjeh sigurnosne funkcije SF1 (ventilator 2 nije automatski uključen)
- U2 - uspjeh sigurnosne funkcije SF2 (električna zaštita od preopterećenja mehanički blokiranog elektromotora ventilatora 1 isključila je elektromotor prije dosezanja nedopuštene temperature)

K2 - neuspjeh sigurnosne funkcije SF2

U3 - uspjeh sigurnosne funkcije SF3 (kolektorski je motor isključen s električnog napajanja prije pojave eksplozivne atmosfere (nastale radi izostanka ventilacije) čime je iskrenje kolektora kao uzročnik paljenja eliminirano, pretpostavka je da je temperatura kolektorskog elektromotora (na najtoplijem mjestu) ispod najveće dopuštene temperature u smislu temperaturnog razreda okolne eksplozivne atmosfere

K3 - neuspjeh sigurnosne funkcije SF3

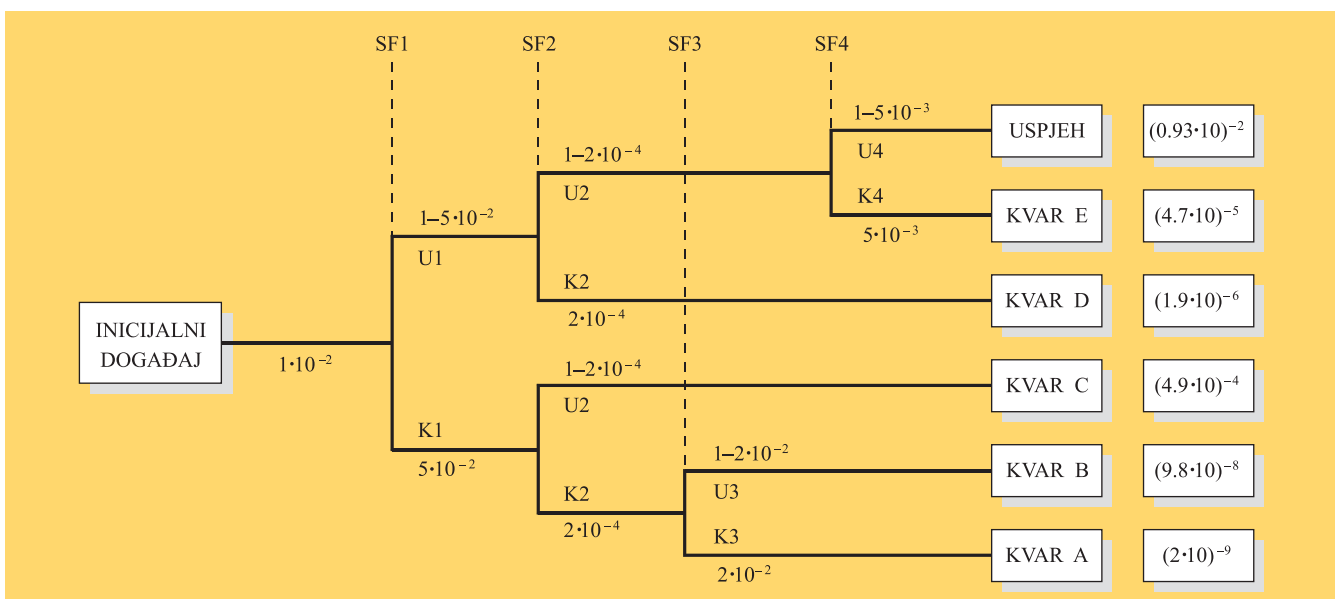
U4 - uspjeh sigurnosne funkcije SF4 (u kontrolnoj sobi signaliziran je nastali kvar i poduzete su akcije za popravak ventilatora 1)

K4 - neuspjeh sigurnosne funkcije SF4

Navedni je scenarij moguće opisati i pomoću tablice 5.1.

Uzimajući u obzir ilustrativne numeričke vjerojatnosti nastanka pojedinog neželjenog događaja (prikazane na slici 5.2.) moguće je izračunati ukupnu vjerojatnost nastanka pojedinog kvara, a razmatrajući očekivane posljedice možemo procijeniti/ocijeniti konačne rizike (uzimajući u obzir tablicu 3.3.) i dati preporuke za korektivne aktivnosti, kako je npr. prikazano u tablici 5.2.

Važno je napomenuti da korektivne aktivnosti ovise o važnosti postrojenja, mogućim posljedicama (npr. broj ljudi u blizini postrojenja) i sl. i da ih, u pravilu, definira odnosno prihvaća vlasnik/korisnik postrojenja te u ovom primjeru, iz spomenutih razloga, iste nisu niti definirane.



Slika 5.2. Stablo događaja (pojednostavljeno)

Tablica 5.1. Tablica kvara

DIO SUSTAVA	VRSTA KVARA	ZONA OPASNOSTI ili neklasificiran prostor (NEKL)
Prisilna ventilacija prostora (prostorije) istosmjernog kolektorskog elektromotora	Puknuće kola ventilatora i blokada rotora (ventilatora i pogonskog elektromotora)	U normalnom radu NEKL, a pri gubitku ventilacije prisutnost eksplozivne atmosfere

MOGUĆE POSLJEDICE (UZROČNICI KVARA)	EPL (CERTIFIKAT)	VJEROJATNOST (APSLUTNA)	VJEROJATNOST (RELATIVNA)
1. Pojava inicijalnog kvara 2. Neuključivanje rezervnog ventilatora 3. Nedjelotvorna električna zaštita elektromotora ventilatora od preopterećenja (pregrijavanja) 4. Nepravovremeno isključenje kolektorskog elektromotora s električnog napajanja 5. Izostanak signalizacije u kontrolnoj sobi	- Ventilatori 1 i 2 (s pogonskim elektromotorima): "Gb" (K 09999X) - Kolektorski motor: nema	1. 1×10^{-2} 2. 5×10^{-2} 3. 2×10^{-4} 4. 2×10^{-2} 5. 5×10^{-3}	1. Vjerojatno 2. Učestalo 3. Rijetko 4. Učestalo 5. Vjerojatno

Tablica 5.2. Rezultati procjene rizika

KVAR	VJEROJATNOST NASTANKA	OČEKIVANE POSLJEDICE	OCJENA RIZIKA
A	2×10^{-9}	Eksplozija	NPR (IO)
B	9.8×10^{-8}	Lokalna eksplozija	NPR
C	4.9×10^{-4}	Ovisne o uspješnosti SF3 (nije razmatrano)	-
D	1.9×10^{-6}	S obzirom na uspješno automatsko uključivanje ventilatora 2 ne očekuje se pojava eksplozivne atmosfere (može doći do požara što nije predmet ove procjene rizika)	PO
E	4.7×10^{-5}	Nesignaliziranje stanja kvara ventilatora 1 dovodi do izostanka dvostrukosti sustava ventilacije	NPR

Kako je i ranije rečeno stablo događaja prikazano u ovom primjeru radi preglednosti je pojednostavljeno (smanjen je broj grana). Tako npr. u analizi mogućnosti nastanka kvarova C i D nije uzeta u obzir uspješnost sigurnosnih funkcija SF3 i SF4, u analizi mogućnosti nastanka kvarova A i B nije uzeta u obzir uspješnost/neuspješnost sigurnosne funkcije SF4, u analizi kvara E i "uspjeha" nije uzeta u obzir uspješnost/neuspješnost sigurnosne funkcije SF3.

Pretpostavljeno je također da će, kod izostanka prisilne ventilacije, "obvezno" doći do pojave eksplozivne atmosfere odnosno nisu analizirane vjerojatnosti nastanka spomenutog, što je najnepovoljniji scenarij i što također čini bitno pojednostavljenje.

U tom su smislu (uzimajući u obzir spomenuta pojednostavljena/zanemarenja) i ocijenjene očekivane posljedice i sam rizik, što naravno ne odgovara realnoj situaciji (bez pojednostavljena/zanemarenja). Spomenuta pojednostavljena/zanemarenja nisu prepreka za prikaz

metodologije provedbe rizika u postrojenju ugroženom eksplozivnom atmosferom (što je temeljni cilj prikaza ovog primjera).

Kao što je i ranije rečeno same numeričke vjerojatnosti ne moraju nužno dati "jasnu" sliku o riziku, no njihovim analiziranjem i uspoređivanjem mogu se donositi važni zaključci. Tako se npr. može uočiti da je neuspjeh sigurnosne funkcije SF1, odnosno neuključivanje ventilatora 2 kod kvara ventilatora 1, pojava s "visokom" pojedinačnom vjerojatnošću i da sudjeluje u velikom broju kvarova prikazanih u stablu kvarova (i to u onima s najvećim posljedicama - kvarovi A i B) što upućuje na zaključak da tom mjestu u sustavu treba dati najveću važnost i postići što veću pouzdanost i sigurnost (kritično mjesto).

Napomene: - Sve su prikazane apsolutne (numeričke) vrijednosti u ovom primjeru samo ilustrativne i ne predstavljaju konkretne podatke.
- Vremenski je period razmatranja događaja u ovom primjeru "godišnji".

6. POSEBITOSTI PROCJENE RIZIKA OPREME (I POSTROJENJA) U PROSTORIMA UGROŽENIM EKSPLOZIVNOM ATMOSFEROM

Kvantitativne metode procjene rizika mogu preciznije i detaljnije (s većom razlučivošću) provjeriti i opisati sustav od kvalitativnih metoda. Kvantitativne metode pomoću statističkih postupaka, a na temelju baza podataka (karata povjesti događaja), podataka o pouzdanosti komponenata i sl., daju numeričke vrijednosti vjerojatnosti nastanka nekog (neželjenog) događaja. Nažalost nedostatnost ovih "ulaznih" podataka (što je čest slučaj za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom, posebice kod onih koji su dugi niz godina u uporabi) ograničavajući je faktor primjene statističkih (numeričkih) metoda procjene rizika.

U primjeru navedenom u poglavlju 5. ovog rada namjerno je kao inicijani izabran događaj (mehanički kvar ventilacijskog sustava) koji nije predmet analize protueksplozijske zaštite sukladno važećim pravilnicima i normama (u smislu certifikacije i tehničkog nadgledanja protueksplozijske zaštite uređaja i postrojenja).

Područje protueksplozijske zaštite je "zakonom uređeno područje" (Pravilnik o najmanjim zahtjevima sigurnosti i zaštite zdravlja radnika te tehničkom nadgledanju postrojenja, opreme, instalacija i uređaja u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, "Narodne novine" Republike Hrvatske br. 39/06 i Pravilnik o opremi i zaštitnim sustavima namijenjenim za uporabu u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, "Narodne novine" Republike Hrvatske br. 123/05.), tj. uređaji/oprema koji se ugrađuju u prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom (ili imaju utjecaja na sustav u prostoru ugruženom eksplozivnom atmosferom) podliježu postupku ispitivanja i certificiranja, a njihovo instaliranje i primjena podliježu tehničkom nadgledanju. I postupak ispitivanja i certificiranja kao i provedba tehničkog nadgledanja provode se vrlo precizno i detaljno, a sukladno normama iz ovog područja.

Sukladno članku 5. (Procjena rizika nastanka eksplozije) Pravilnika o najmanjim zahtjevima sigurnosti i zaštite zdravlja radnika te tehničkom nadgledanju postrojenja, opreme, instalacija i uređaja u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, poslodavac mora procijeniti posebne rizike koji nastaju ili mogu nastati uslijed eksplozivne atmosfere pri čemu za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom mora uzeti u obzir (što ne sprječava ali i ne obvezuje primjenu ostalih elemenata procjene rizika kao znanstvene discipline) najmanje:

a) - vjerojatnost da će se pojaviti eksplozivna atmosfera i njezino zadržavanje

b) - vjerojatnost postojanja, aktiviranja i djelotvornosti uzročnika paljenja

c) - instalacije, opremu, uporabljene tvari, postupke i njihova moguća međudjelovanja

d) - razmjere očekivanih učinaka

Rizik nastanka eksplozije valja procijeniti u njezinoj sveukupnosti.

Gore navedena točka a) u Republici Hrvatskoj, predmet je obveznog tehničkog nadgledanja (sukladno pravilniku NN br. 39/06) u dijelu klasifikacije prostora pri čemu se u velikoj mjeri provode upravo analize vezane za procjenu rizika sa naslova vjerojatnosti pojave i zadržavanja eksplozivne atmosfere (situacije neočekivanih kvarova, tehnološke nediscipline i sl. nisu predmet detaljnijih analiza ovog postupka).

Na sličan se način udovoljavanje zahtjevima gornjih točaka b) i c) provjerava (sukladno istom pravilniku) tehničkim nadgledanjem električnih i neelektričnih uređaja i instalacija u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom.

Temeljem navedenog može se zaključiti da je provedbom obveznog tehničkog nadgledanja udovoljeno i velikom broju zahtjeva i analiza koji se traže s naslova procjene rizika (postrojenja). U tom se smislu procjena rizika (u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom) može smatrati nadgradnjom na tehničko nadgledanje (i tehničke nalaze koji prate tu aktivnost u Republici Hrvatskoj). Tako je npr. u dijelu procjene rizika potrebno analizirati kvarove koji nisu predmet odgovarajuće norme (npr. izvore ispuštanja koji nastaju kod kvara i imaju utjecaja na klasifikaciju prostora), potrebno je razmotriti i međudjelovanja koja nisu bila predmet nadgledanja te je potrebno (što je jedna od najvažnijih uloga procjene rizika) procijeniti/ocijeniti razmjere očekivanih negativnih učinaka.

Druga je važna uloga procjene rizika (za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom) procjenjivanje starijih uređaja (razina procjene rizika III - prema podjeli prikazanoj u ovom članku) koji su dugi niz godina u postrojenju i koji su projektirani i izvedeni sukladno zahtjevima starih danas nevažećih pravilnika i normi. U takvim je slučajevima nužno provesti procjenu rizika daljnje primjene takvih uređaja, sa naslova opasnosti od eksplozije.

Od velike pomoći pritom mogu biti suvremene tehničke metode ispitivanja (dijagnostike) uređaja s ciljem utvrđivanja stvarnog stanja uređaja i njegove daljnje primjene u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom.

Navedeno možemo predočiti na primjeru elektromotora. Uz temeljna ispitivanja protueksplozijske zaštite (ovisno

o vrsti protueksplozijske zaštite elektromotora) nužno je provesti i specijalistička dijagnostička ispitivanja elektromotora. U specijalistička dijagnostička ispitivanja, koja su jednako važna kao i temeljna, možemo ubrojati dijagnostiku stanja kaveza rotora, namota statora, zračnih raspora, ležajeva i sl. Upravo je ovim dijagnostičkim ispitivanjima (kao što su npr. analiza spektra linijske struje namota statora, mjerenje i analiza vibracija, analiza rasipnih magnetskih tokova (magnetski monitoring), analiza odziva na udarni napon, mjerenje otpora štapova i prstena i sl.) moguće otkriti kvarove u elektromotoru (što je posebice važno kod elektromotora u vrsti zaštite povećana sigurnost) koji mogu biti ozbiljni uzročnici paljenja eksplozivne atmosfere. Otkrivanje tih kvarova (odnosno utvrđivanje realnog stanja elektromotora) podloga je za procjenu rizika. Ovakav pristup procjeni daljnje primjenjivosti elektromotora (posebice većih snaga) u vrsti zaštite "povećana sigurnost", za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom, je već primjenjivan u Republici Hrvatskoj (u suradnji Ex-Agencije, Fakulteta elektrotehnike i računarstva i Končar instituta za elektrotehniku) [8] [10] [11] [12].

I konačno, treća i ne manje važna uloga procjene rizika, jest analiza mogućih uzročnika paljenja (npr. neelektričnih uređaja i ostalih uzročnika paljenja) koji nisu uopće bili predmet analiza ranijih izdanja normi iz područja protueksplozijske zaštite, a koji (uzročnici paljenja) prema današnjim pravilnicima i normama podliježu pregledima, ispitivanjima, certificiranju i sl. I u takvim je slučajevima potrebno procijeniti rizik daljnje primjenjivosti takvih uređaja.

Uvijek je, kod provedbe procjene rizika u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, nužno uvažavati i najnovije tehničke spoznaje i znanja (npr. primjena suvremenih dijagnostičkih metoda) koji možda i nisu integrirani u važećim izdanjima normi koje obrađuju neki segment protueksplozijske zaštite.

Kao ilustraciju svega navedenog, u ovom poglavlju, možemo dati sljedeći primjer:

U prostoru, tehničkim nadgledanjem/nalazom klasifikacije prostora (TN-KL), određenom kao zona 2 (IIA T3) radi elektromotorni pogon (EMP) crpke nafte (elektromotor je certificiran – oznaka zaštite II 2G EEx e II T3, crpka je bez podataka o mjerama protueksplozijske zaštite). Za prijenos snage koriste se remeni koji nisu ispitani i certificirani s naslova opasnosti od statičkog elektriciteta. Zaštita od preopterećenja elektromotora provedena je certificiranim bimetalom – oznaka zaštite Ex II (2) GD. Sve ostale električne zaštite i instalacije izvedene su sukladno zahtjevima norme HRN EN 60079-14 što je potvrđeno tehničkim nadgledanjem/nalazom električnih instalacija (TN-EIE).

Kod procjene rizika ovog EMP-a valja analizirati slijedeće:

- Moguće izvore ispuštanja eksplozivne atmosfere uslijed neočekivanih kvarova ili očekivane/neočekivane ljudske pogreške (ostala stanja su razmotrena tehničkim nadgledanjem/nalazom TN-KL).
- Elektromotor crpke nije potrebno razmatrati (u okviru procjene rizika) kao uzročnik paljenja (iskra, pregrijavanje i sl.) budući da je isti (kao i njegov bimetal za zaštitu od preopterećenja) ispitani i certificirani sukladno zahtjevima važećih normi.

Potvrđivanje sukladnosti elektromotora i bimetala (postupkom certifikacije) zahtjevima važećih normi pretpostavlja da je rizik od paljenja istim **prihvatljiv** (budući da je udovoljeno zahtjevima pripadnih normi i uz pretpostavku da se provode zahtijevane aktivnosti sukladno uputama proizvođača i zahtjevima certifikata (npr. zamjena ležajeva)).

Procjenu rizika je potrebno provesti za crpku nafte kao mogući neelektrični uzročnik paljenja (mehanička iskra, pregrijavanje i sl.) te za remene (npr. sa naslova opasnosti od statičkog elektriciteta).

- Rizici unutar električnih instalacija (uslijed mogućih nastanaka kratkih spojeva, prenapona, zemljospoja i sl.) razmatrani su kroz tehničko nadgledanje/nalaz TN-EIE. Udovoljenje zahtjevima važećih normi (za električne instalacije u ugroženom prostoru) pretpostavlja da je rizik od paljenja istim (u uvjetima normalnog rada i kod očekivanih kvarova – npr. kratkog spoja, zemljospoja i sl.) prihvatljiv ukoliko su ostvareni odgovarajući zahtjevi (npr. djelovanje zaštite unutar 100 ms.).

Potrebno je eventualno razmotriti kvarove koji nisu očekivani u normalnim radu (npr. otkazivanje zaštitnog uređaja za zaštitu od preopterećenja).

- Potrebno je provesti procjenu rizika mogućih međudjelovanja uporabljanih tvari, opreme i instalacija (koji nisu bili predmet tehničkog nadgledanja za normalan rad postrojenja).
- Potrebno je provesti procjenu razmjera očekivanih učinaka eksplozije.

Važno je napomenuti da u ovom poglavlju prikazane posebitosti procjene rizika za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom mogu biti različite od zemlje do zemlje u Europi s obzirom na različite aktivnosti koje obuhvaća "tehničko nadgledanje" u pojedinačnim zemljama (što utvrđuje nacionalno zakonodavstvo – na razini Europske Unije propisani su samo minimalni zahtjevi), a time su različite i aktivnosti koje "preostaje provesti" kroz procjenu tehnoloških rizika postrojenja.

7. ZAKLJUČAK

Tehnološki je rizik neizbježna činjenica svih postrojenja, a kada je riječ o prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, to postaje još izraženija. U većini slučajeva rizik nije u potpunosti otklonjiv no isto tako je u većini tih slučajeva, uz pravodobnu, odgovarajuću i sveobuhvatnu analizu, predvidiv i u konačnici se njime može upravljati.

Za potrebe iznalaženja svih neželjenih događaja (scenarija) te za procjenu/ocjenu njihove učestalosti i mogućih neželjenih posljedica danas je u svijetu razvijen velik broj kvantitativnih, kvalitativnih i kombiniranih metoda procjene rizika. Dio njih je, s manjom ili većom učinkovitošću primjenjiv i u analizi rizika u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom.

Provedba procjene rizika, kao znanstvene discipline, u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, nosi sa sobom sve elemente koji su važni u analizi rizika u neugroženim prostorima (npr. analizira i usklađuje tehničku i ekonomsku opravdanost primjene tehničkih poboljšanja čija je zadaća poboljšati sigurnost i pouzdanost postrojenja i sl.), no prostori ugroženi eksplozivnom atmosferom imaju i svoje posebne zahtjeve koji ne mogu biti dio procjene rizika jer se tek nakon udovoljavanja tim zahtjevima može pristupiti procjeni rizika.

Područje protueksplozijske zaštite postrojenja je "zakonom uređeno područje" tj. uređaji/oprema koji se ugrađuju u prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom (ili imaju utjecaja na sustav u prostoru ugrađenom eksplozivnom atmosferom) podliježu, sukladno zahtjevima odgovarajućih pravilnika, ispitivanju i certificiranju, a njihovo instaliranje i primjena podliježu tehničkom nadgledanju. Vrlo visoka normativna uređenost ovog područja uvelike olakšava provedbu procjene rizika (npr. norma HRN EN 1127-1 jasno definira uzročnike paljenja (neželjene događaje) koji se mogu očekivati/pojaviti u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom), no kod provedbe procjene rizika svakako se valja služiti i suvremenim dijagnostičkim metodama kojima se jasno i egzaktno mogu otkriti (i predvidjeti) kvarovi na uređaju (npr. oštećenja kaveza elektromotora i s tim u vezi pregrijavanja i iskre) koji su djelotvorni uzročnici paljenja (neželjeni događaji).

To što procjena rizika u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom znači nadgradnju na obvezno tehničko nadgledanje ne umanjuje njen značaj, naprotiv, time je jasnije da ona zaokružuje jedan cjeloviti proces u osiguranju zaštite postrojenja od eksplozije.

Čini se važnim, na ovom mjestu, ukazati još i na novi pristup kod analiziranja rizika i funkcionalne sigurnosti u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom [17]

(općenito i [18]) koji se oslanja na SIL-ove ("Safety Integrity Level"). Pristup se temelji na vjerojatnostima osiguranja zadovoljavajućeg djelovanja sigurnosnog sustava odnosno uređaja (npr. senzora temperature i razine, sustava zaštite elektromotora od pregrijavanja i sl.) u određenom vremenskom razdoblju. U tom su smislu definirane četiri razine sigurnosti (SIL 1 do SIL 4) pri čemu SIL 1 predstavlja najnižu a SIL 4 najvišu razinu sigurnosti.

Ovaj pristup omogućava precizniju i egzaktniju analizu kvarova (time i rizika) te mu je potrebno posvetiti posebnu pažnju kod analiziranja rizika u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom. Radi njegove složenosti i opsežnosti nije ga moguće prikazati u okviru ovog članka.

Spomenuti prikaz biti će predmetom nekog budućeg članka/članaka koji će činiti nastavak analiza problematike procjene rizika u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom.

Procjeni rizika, kao novijoj disciplini u analizi protueksplozijske zaštite postrojenja, valja dati iznimnu važnost, no pristup svakako mora biti kritički, a razina (granica) procjene rizika jasna.

LITERATURA

- [1] **HR Pravilnik** *Pravilnik o najmanjim zahtjevima sigurnosti i zaštite zdravlja radnika te tehničkom nadgledanju postrojenja, opreme, instalacija i uređaja u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom*, "Narodne novine" Republike Hrvatske br. 39/06.
- [2] **HR Pravilnik** *Pravilnik o opremi i zaštitnim sustavima namijenjenim za uporabu u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom* "Narodne novine" Republike Hrvatske br. 123/05.
- [3] **V. Mikuličić, Z. Šimić, I. Vrbanić**, *Vjerojatnosna procjena tehničkih rizika*, **Energija** br. 2., str. 85-94, **Zagreb, 2002.**
- [4] **R. L. Rogers, (Co-ordinator)** *EU Project No: SMT4-CT97-2169 (Methodology for Risk Assessment of Unit Operations and Equipment for Use in Potentially Explosive Atmospheres, Co-ordinator Dr. R. L. Rogers, Inburex GmbH, Hamm, 2000 .*
- [5] **N. Marinović**, *Protueksplozijska zaštita za eksplozivnu atmosferu*, **ETEKON, Zagreb, 2005.**
- [6] **Z. Šimić**, *Vjerojatnosna procjena rizika - ET i FTA, skripta, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2005.*
- [7] **R. Wilcox, M. Burrows, S. Ghosh, B. M. Ayyub** *Risk-based Technology Methodology for the Safety As-*

essment Compressed Natural Gas Fuel Systems, IC-MES/SNAME, New York, 2000.

[8] I. Gavranić, *Dijagnostika protueksplozijski zaštićenih elektromotornih pogona*, magistarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2002.

[9] I. Gavranić, *Suzbijanje i ograničavanje učinaka eksplozije*, Bilten Agencije za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom br. 1-2, Ex-Agencija, Zagreb, 2003.

[10] I. Gavranić, *Elektromotorni pogoni starih postrojenja*, Bilten Agencije za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom br. 1-2, Ex-Agencija, Zagreb, 2004.

[11] I. Gavranić, J. Fišter, *Procjena rizika postrojenja*, VI međunarodno savjetovanje Ex 2005, Dubrovnik, 2005.

[12] I. Gavranić, *Ispitivanje i održavanje protueksplozijski zaštićenih EMP-a starijih postrojenja*, VI međunarodno savjetovanje Ex 2005, Dubrovnik, 2005.

[13] EC Guide *Non-binding Guide of Good Practice for implementing of the European Parliament and Council Directive 1999/92/EC on minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres*, Commission of the European Communities, Brussels, 2003.

[14] EC Standard 1127-1 *Explosive atmospheres – Explosion prevention and protection, Part 1: Basic concepts and methodolog*, (EN 1127-1:1997), CEN.

[15] Draft prEN 15198 *Methodology for the ignition hazard assessment of non-electrical equipment and components for intended use in potentially explosive atmospheres*, (draft prEN 15198:2005), CEN.

[16] IEC Standards *Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres*, (norme niza IEC 60079-XX), IEC

[17] Draft prEN 50495 *Safety devices required for the safe functioning of equipment with respect to explosion risks*, (draft prEN 50495:2006), CENELEC.

[18] IEC Standards *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*, (norme niza IEC 61508-X), IEC

[19] C. Petitfrere C. Proust *Analysis of ignition risk on mechanical equipment in ATEX*, PCIC EUROPE, Paris, June 13-15, 2007.

[20] ISSA Practical Assistance *Practical Assistance for the Preparation of an Explosion Protection Document*, ISSA, Mannheim, 2006.

Adresa autora:

Mr. sc. Ivica Gavranić, dipl. inž.

Ex-Agencija, Baštijanova bb, 10 000 Zagreb.

i.gavranic@ex-agencija.hr

Methodology of Risk Assessment in Explosive Atmosphere/Hazardous Areas

Ivica Gavranić

Modern plants are increasingly equipped with newly-developed technology, but also at the same time are, even though we are often not aware of it, increasingly sensitive to possible undesirable accompanying phenomena (events) with application of this technology. Injuries and negative effects on health are frequently associated with the application of modern (complex and demanding) technical solutions.

The complexity of new plants on one hand and poorly maintained (or insufficiently-maintained) older plants on the other, in conditions when they are at risk of explosive atmospheres, create a serious source of hazard or technological risk. Increased safety requirements are imposed on plants designed to operate in hazardous areas, which at the same time may also mean a decrease in the benefits of applying modern technical solutions and significant operating expenditures of the same.

Confrontation of the mentioned requirements can be possibly reconciled, to a lesser or greater degree, by performing a technological risk assessment. The risk assessment must identify and analyse each hazard or hazardous event, in areas at risk of explosive atmospheres, that may occur and which may result in an explosion.

This article points to the importance and necessity of the implementation (performance) of risk assessment as a scientific discipline that significantly contributes to safety improvements and represents a part of overall explosion protection, but which also considers the technical and economic justification of applied safety measures.

Key words:

risk, risk assessment, explosive atmosphere/hazardous area, explosion protection, safety

1. INTRODUCTION

Today in the world, the modern analysis of explosion protection (e.g. of oil platforms, oil pipelines, gas pipelines, refineries, chemical industry etc.) is based on the systematic and comprehensive observation and analysis of processes, materials, substances, and of the causes of ignition leading, in some interaction relations, to undesirable occurrence of an explosion and the fires capable of being a cause and a consequence of explosions of disastrous proportions.

According to European directive 1999/92/EC (ATEX 137) and therewith conformed Croatian Regulations of the minimum requirements for safety and the workers' health protection as well as for the technical monitoring of plants, equipment, installations and apparatuses in explosive atmosphere/hazardous areas ("Official Gazette" of the Republic of Croatia No. 39/06), the explosion prevention should be performed (obligatorily) also by hazard identification, risk assessment, and the reduction and elimination of risk causes and consequences.

The starting principle in the analysis and designing of explosion protection of a plant is that all apparatuses

(electrical and non-electrical) with potential causes of ignition, which are installed in explosive atmosphere/hazardous areas, or have an effect on these areas (in the sense of explosion protection), shall meet the principles contained in standard HRN EN 1127-1 (Explosion prevention and protection, part 1: Basic concepts and methodologies), i.e. that they shall not become the causes of ignition of possibly present explosive atmosphere.

The plants that have been in exploitation for a number of years can release, owing to the presence of aggressive media, insufficient maintenance and the fatigue of materials etc., the increased quantity of flammable media, and can develop the new sources of release as well as the electrical and non-electrical causes of ignition of explosive atmosphere, which were not considered and assessed during designing and construction of the plant, or during testing and certification of the newly incorporated equipment.

For the analysis of all the mentioned hazards and the dangerous events which can appear in a plant endangered by an explosive atmosphere, of special importance is the assessment of technological risk, which is the basic part of this article.

2. BASIC NOTIONS AND TERMINOLOGY

In the technical literature, studies and researches of technological risk there is a considerable inconsistency in names and definitions. Table 2.1. shows the basic terminology often found for "typical" notions and names [3] [4].

Table 2.1. shows differences in defining the "risk" notion, however, most of definitions of the mentioned notion include the three elements/questions:

- Which are possible undesirable events?
- With which frequency can they occur?
- Which and how big are possible consequences?

If we mark the undesirable event with S , the probability of its occurrence with pS , the consequences of its occurrence with cS , then the triplet (Si, pSi, cSi) of its occurrence can be considered an answer to the above mentioned three questions.

On the basis of the above mentioned, the formal definition of risk can be written as follows:

$$R = \{(Si, pSi, cSi)\} \quad (2.1.)$$

where R is a risk, while $i=1,2,3...n$ is a group of all possible undesirable scenarios. This definition based on the so-called triplet concept was introduced into the theory of risk by Kaplan and Garrick, in 1981.

The presented approach requires the search of all undesirable events and the estimation of their frequency and

Table 2.1. Basic notions and terminology

Risk	<p>The composite measure of probability of the occurrence of an undesirable scenario (of a series of interconnected and/or accidental undesirable events which can result in an accident) and the intensity of undesirable consequences which can be caused by such scenario.</p> <p>The function of intensity/severity (possible consequence/damage for the explosion hazard observed) and the probability of damage occurrence (frequency and probability of occurrence of a detrimental event).</p> <p>The potential hazard of loss of something valuable.</p> <p>The hazard of determinable intensity, foreseeable to some extent.</p>
Risk Assessment	<p>The series of logical steps enabling the systematic identification and assessment of hazards and possible consequences, and assessing the probability of their occurrence.</p> <p>The procedure of identification and analysis of hazards associated with various human activities, and the estimation of consequences and probabilities of losses.</p> <p>The assessment of the probability and degree of possible injuries and damages during occurrence of hazard or dangerous event.</p>
Hazard identification	The systematic procedure of identification of all hazards associated with apparatus/system (what, why and how something can happen).
Risk Estimation	The estimation of the frequency of occurrence of the hazard that will cause a certain level of damage intensity/severity.
Risk Evaluation	The comparison of risks with some acceptability criteria (risk acceptable, or the equipment and/or protection systems must be changed in order to reduce risk).
Residual risk	The risk level remaining after all the actions undertaken for the reduction of risk probability and consequences.
Risk Management	The systematic application of procedure management policy for risk identification, analysis, monitoring and control.
Injury/Damage	Physical injuries or damage to the health of people or damage to property or environment.
Hazard	Potential source of damage.

possible consequences, which can be a complicated and time-consuming work.

A risk can be also presented (described) by expression 2.2.

$$\text{RISK [expected loss/time]} = \text{PROBABILITY [undesirable event/time]} \\ \times \text{CONSEQUENCE [expected loss/undesirable event (2.2.)]}$$

Shown below will be the fundamental principles of approach to, and performance of, risk assessment in plants endangered by an explosive atmosphere, and the above shown basic notions and terminology will be necessary for their understanding.

3. RISK ASSESSMENT METHODOLOGY FOR EXPLOSION ATMOSPHERE/HAZARDOUS AREAS

The risk assessment approach must ensure a connection between the probability of occurrence of undesirable event and the consequences of expected losses, with a view to achieving the required level of safety in accordance with the state of technology, technical and economic requirements etc.

3.1 Risk assessment procedure structure

It is important in the risk assessment to take into consideration not only the expected (foreseeable) disturbances but also the unexpected ones.

The basic structure, or the basic course of risk assessment procedure, can be shown by Fig. 3.1 [4]. Risk assessment is an iterative process.

3.1.1 Hazard identification

The identification of potential hazards implies the elaboration of a list of all possible undesirable scenarios, which is no simple job.

An explosion can occur if an explosive atmosphere is ignited by an efficient cause of ignition. Very helpful in hazard identification (from the aspect of cause of ignition) can be standard HRN EN 1127-1, which defines causes of ignition. Table 3.1. shows the phenomena and inner mechanisms (causes) conducive to explosion occurrence.

ΔU indicates a possibility of occurrence of non-equalised electric potentials, and Δp indicates a possibility of occurrence of pressure differences. The fields shaded grey in table (network) 3.1. indicate a possibility of

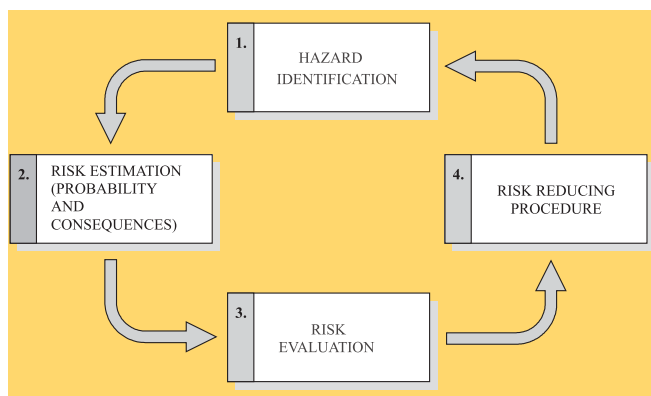


Fig. 3.1. Basic structure of risk assessment procedure

occurrence of a single cause connected to each phenomenon.

Fig. 3.2 shows a plant in explosive atmosphere hazardous area, with sources of release (safety and relief valves, seals, flanges etc.) of flammable medium (gas in this particular case). The same figure shows also some of possible efficient causes of ignition (e.g. hot surfaces on and inside electric motors and lamps, mechanically generated sparks at rotation of pumps/compressors, electric sparks inside electric motors and lamps, etc.) The figure shows an area (surrounding) where the explosive atmosphere and the cause of ignition can simultaneously occur, and therefore the risk should be precisely analysed and assessed, and appropriate explosion protection measures taken.

This article does not deal with the analysis of hazard identification procedure from the aspect of area classification into danger zones, since this is generally known and can be seen in detail e.g. in standard HRN EN 60079-10 (for flammable gases and vapours) and standard HRN EN 61241-10 (for flammable dusts)



Fig. 3.2. Plant in explosive atmosphere/hazardous area

After the cause of ignition (according to table 3.1.) has been identified, the dangerous events that can occur in single phases of operation of a plant endangered by explosive atmosphere should be defined. Table 3.2. shows an example of such events.

For the above mentioned examples, shown in table 3.2., the following corrective actions (CORRECTIVE ACTIONS) are recommended:

- (1) For the electric motor, two independent overload protections should be provided, at least one of them being on the principle of direct motor temperature monitoring, and the protection activation (at the highest temperature of hot spot) should be adjusted according to the ignition temperature of the medium.
- (2) The strip movement speed should be monitored (and the exceeding of the highest permissible speed limit should be prevented) and (since it is zone 20) the hu-

Table 3.1. Phenomena and causes of ignition

PHENOMENA	CAUSE (mechanism that can initiate explosion)							
	>T	>>T	>I	>>I	ΔU	>U	>>U	Δp
Hot surfaces								
Flame and hot gases								
Electrical and mechanically generated sparks, arcing								
Stray currents and cathode protection								
Static electricity								
Lightning								
Electromagnetic radiation								
Ionising radiation								
Ultrasound								
Adiabatic compression and surge waves								
Exothermal reaction								

where “>” means high, and “>>” very high: T - temperatures; I – electric currents; U – electric voltages.

Table 3.2. An example of hazard identification in explosion atmosphere/hazardous area

EXPLOSIVE ATMOSPHERE OCCURRENCE HAZARD				CAUSE OF IGNITION				CORR. ACT.
Type	Frequency (duration) of release	Source of release	Zone	Type (source)	Frequency	EPL (certificate)	Efficiency	
gasoline vapours	30 s / day ventilation	ventilation valve	1	hot surface (> T) (overloaded motor)	during failure (until protection activation)	“Gb” (K 07987X) (motor)	High (temperature of hot surfaces > ignition temperature)	(1)
cloud of sugar dust	continuously in normal operation	interior of transport tunnel	20	mechanically generated spark (friction between metal strip and casing)	occasionally in normal operation	none (strip)	Low (strip moving speed is low)	(2)

midity should be kept above the minimum required value (for sugar dust with humidity exceeding 75%, no explosion can occur).

3.1.2 Risk estimation (probability and consequences) and risk evaluation

With all risk assessment methods, the basic question is how to evaluate the risk. The concepts (methods) of risk evaluation (probability of occurrence and consequence) can be divided into the following three groups:

- Qualitative (descriptive) assessment evaluating a risk as e.g. acceptable, unacceptable, tolerable or small, medium, big etc.
- Quantitative (numerical) assessment which calculates the probability of undesirable event occurrence.
- Combination of the above mentioned methods (numerical result of probability allows the classification of phenomena/undesirable events into some groups (small, medium and big risks etc.), and makes possible the comparison of the probabilities of occurrence of various events).

For the qualitative assessment of risk, various authors give their views, risk categorisations etc. (e.g. [4]), with lesser or bigger density of the network fields of various risks. Table 3.3. shows one of possible networks for qualitative risk evaluation (depending on the probability of occurrence of an undesirable event and the consequences of expected losses) in explosive atmosphere /hazardous areas.

Tables 3.3. shows the risks of a plant in explosive atmosphere/hazardous area, qualitatively assessed (evaluated) as:

IO - Direct hazard

NPR - Unacceptable risk

PO - Tolerable risk

PR - Acceptable risk

It is worth mentioning here that risk evaluation as “direct hazard” category is connected with the theory of assessment of risk in general sense. For explosive atmosphere/hazardous areas, it has a “theoretical “ meaning, since in the case of risk assessment in explosive atmosphere/hazardous areas, the basic requirements of explosion

Table 3.3. An example of network for qualitative risk evaluation in explosive atmosphere/hazardous areas

PROBABILITY (FREQUENCY) OF UNDESIRABLE EVENT OCCURRENCE	CONSEQUENCE OF EXPECTED LOSSES			
	DISASTER (explosion jeopardising broad surrounding area)	BIG DAMAGE (explosion within plant)	SMALL DAMAGE (damage to plant equipment)	NEGLIGIBLE DAMAGE (interruption in plant operation)
VERY FREQUENT (continuous)	IO	IO	NPR	PO
PROBABLE (2-3 times in 2 years)	IO	IO	NPR	PO
RARE (1-2 times in 20 years)	IO	NPR	PO	PR
NEGLIGIBLE (theoretically possible but hardly probable)	NPR	NPR	PO	PR

protection are assumed to be necessarily fulfilled. In this sense the fields of table 3.3. (yellow and with marking "IO") in actual performance of risk assessment for plants endangered by explosive atmosphere can be considered (in the majority of situations) as a "theoretical" case (when speaking about risk assessment from the aspect of explosion protection, but not from the aspect of general explosion hazard). This note should be kept in mind whenever, in this article, a "direct hazard" and risk assessment in respect of explosion protection are dealt with.

The assessment of possible explosion occurrence is based on the assessment (probability) of simultaneous occurrence of an explosive atmosphere and a cause of ignition (the simultaneous occurrence is the prerequisite for explosion occurrence).

The normative documents (e.g., HRN EN 60079-10) and the majority of authors describe the possibility of explosive atmosphere occurrence e.g. as.:

- ZONE 0 - Explosive atmosphere present continuously or for a longer period of time.
- ZONE 1 - Explosive atmosphere present (expected) in normal operation.
- ZONE 2 - Explosive atmosphere is not probable in normal operation, however if it occurs, it is expected seldom and for a short time.

while the possibility of equipment failure occurrence (which can be a cause of ignition) is described e.g. as:

- EPL "Ga" - Equipment does not become a cause of ignition even in the case of occurrence of two independent failures.
- EPL "Gb" - Equipment is suitable for normal operation also in the case of failures/disturbances which normally have to be taken into consideration.
- EPL "Gc" - Equipment is suitable for normal operation.

where the EPL marking indicates the equipment protection level.

It is clear and obvious that the above mentioned descriptions are not exact (it is really difficult to define exact data), so that in practice there are various theories (approaches) for the numerical/probability-related

defining of the events whose coincidence leads to an explosion.

Thus for instance, it is considered [5] that the product of multiplication of the explosive atmosphere existence probability and the cause of ignition (for all danger zones), which is lower than or equal to 10^{-8} (shown in expression 3.1.), is a generally acceptable risk.

$$p_{ex} = p_{es} \cdot p_{up} \leq 10^{-8} \quad (3.1.)$$

where:

p_{es} - probability of explosive atmosphere occurrence

p_{up} - probability of a cause of ignition occurrence

p_{ex} - probability of explosion occurrence

Generally, [5] the values shown in table 3.4. (the second column) can be taken as the probability of explosive atmosphere existence

Taking into consideration the requirements of expression (3.1.) for an acceptable risk, it follows that the permitted (maximum) probability of occurrence (existence) of a cause of ignition is that shown in the third column of table 3.4.

From the above stated it can be seen that the explosion protection concept is not based on the non-existence of explosive atmosphere and cause of ignition, but on a sufficiently/acceptably small value of their coincidence, which is the assessment (of risk) by definition. Taking into consideration also table 3.4., the above mentioned can be shown graphically [5] as in figure 3.3.

The results of the above mentioned approach and the presented analyses can be applied in a combined (quantitative/qualitative) assessment (evaluation) of risk for explosive atmosphere/hazardous areas.

For illustration, there is table 3.5. exemplifying the connection between the numerical probability of occurrence of an undesirable event (explosion) and the classification of the undesirable events (on the basis of the results of numerical probability) into the qualitative groups, previously defined in table 3.3.

We must point out that this numerical (probability-related) presentation of risk (probability of occurrence of an event) is only the aid in general risk assessment, and it is not the "unique" solution, i.e. some other numerical (probability-related) values can be added to the qualitative groups (depending on the defined/required levels of risk

Table 3.4. Probability of the existence of an explosive atmosphere and a cause of ignition

DANGER ZONE	PROBABILITY OF EXISTENCE OF EXPLOSIVE ATMOSPHERE	PERMISSIBLE (MAXIMUM) PROBABILITY OF EXISTENCE OF CAUSE OF IGNITION
0	10^0	$< 10^{-8}$
1	10^{-2}	$< 10^{-6}$
2	10^{-4}	$< 10^{-4}$

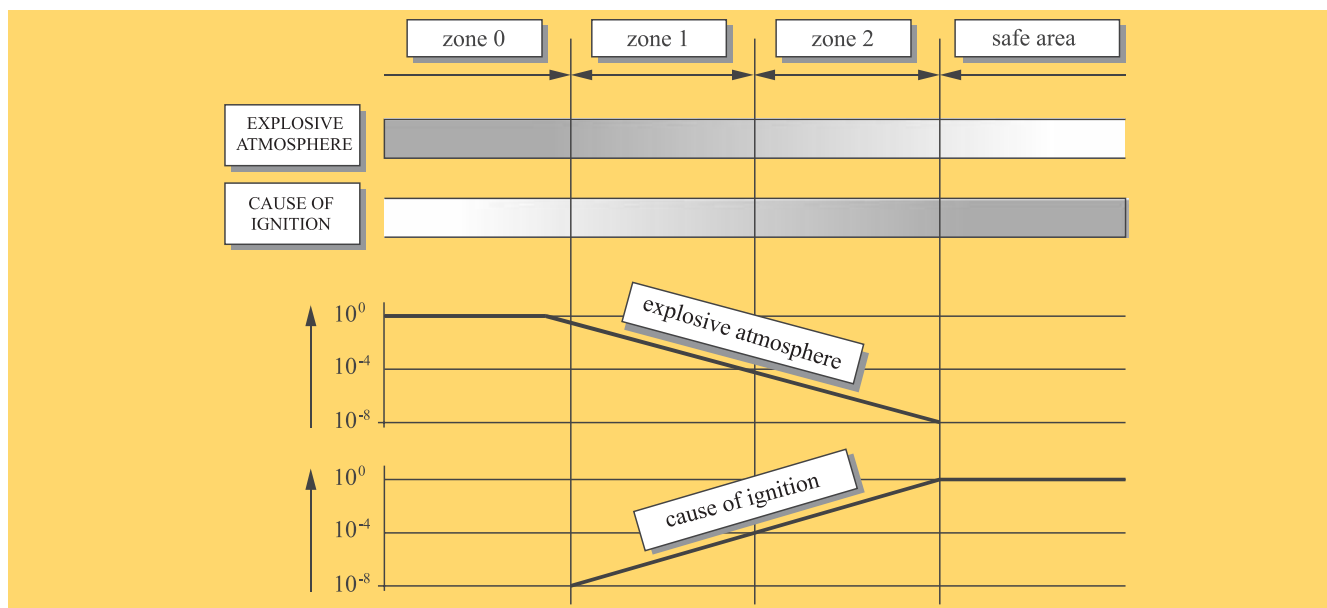


Fig. 3.3. Probability of the occurrence of an explosive atmosphere and a cause of ignition

acceptability, and depending on the limitations or extent of risk assessment, on the type of plant etc.).

4. METHODS FOR IDENTIFICATION OF UNDESIRABLE EVENTS (SCENARIOS)

The identification of all undesirable events (scenarios) is one of the essential steps of complete risk assessment procedure. Today in the world, there are a number of methods for identification of undesirable events (generally developed and most efficient for a particular type of plant). Some of the most significant methods for identification of undesirable events in explosive atmosphere/hazardous areas are:

- **Qualitative risk assessment “what-if”,**
- **Probability-related risk assessment by event tree and fault tree (ET and FT analysis),**
- **FMEA – Failure mode and effects analysis,**
- **Qualitative analysis of operation and disturbance - HAZOP etc.**

Only a few methods for identification of undesirable events have been enumerated in this article. Because of

their complexity and size, they cannot be all shown and described herein. It is worth mentioning that nowadays in the world there are a great number of commercial computer solutions (tools) for performance of risk assessment. The detailed description of the above mentioned methods for identification of undesirable events and the presentation of some computer solutions (tools) will be treated in some future article/s that will continue the analysis of the problems of risk assessment in explosive atmosphere/hazardous areas.

Further in this article, only fundamental approach to the “probability-related risk assessment by event tree and fault tree (ET and FT analysis)” is presented, and this method is applied in the concrete example of risk assessment in a plant endangered by explosive atmosphere, which is shown in chapter 5. of this article.

4.1 Probability-related risk assessment by event tree and fault tree (ET and FT analysis)

This method has been developed for technical plants while investigating the failures with relatively small frequency and potentially big consequences (such failures

Table 3.5. An example of quantitative/qualitative risk assessment

RISK MARKING	QUALITATIVE EVALUATION	QUANTITATIVE (PROBABILITY-RELATED) EVALUATION (CALCULATION)
IO	DIRECT HAZARD	$10^{-4} < p_{ex}$
NPR	UNACCEPTABLE RISK	$10^{-6} < p_{ex} \leq 10^{-4}$
PO	TOLERABLE RISK	$10^{-8} < p_{ex} \leq 10^{-6}$
PR	ACCEPTABLE RISK	$p_{ex} \leq 10^{-8}$

are possible/expected also in explosive atmosphere/hazardous areas). The purpose of the method is to find out, by means of the mathematical model describing processes in the system (plant) and the provided safety measures (function), whether the design values of physical/technical quantities will be exceeded during failure and whether undesirable consequences will occur. This method is focused on the identification of probability of a series of faults that can be conducive to undesirable events/consequences.

The probability-related risk assessment is carried out with a view to finding out answers to the four basic questions [3]:

- Which failures are possible?
- How frequently can they occur (which is their probability)?
- What are possible consequences (qualification of consequences) ?
- How the consequences can be prevented and/or mitigated?

The five fundamental steps of probability-related risk assessment [6] are:

- Acquainting with plant operation, diagrams and data.
- Identification and grouping of initial events (failure initiators).
- Modelling of event tree (ET) sequences.
- Modelling of system fault tree (FT) or table of faults.
- Identification and quantification of fault sequences.

The graphic presentation of event tree is shown in Fig. 4.1.

where:

U - safety function (SF) success

K - safety function (SF) failure

SF - safety function

The event tree is developed for each initial event and it shows the behaviour of safety system (function). Each sequence ends with success or failure of safety system (function). Each failure of safety system in the event tree is modelled with a view to identifying the cause of components failure. The relations between the elementary faults and the system failure are shown by logic diagram – fault tree (FT).

The graphic presentation of a typical fault tree for explosive atmosphere/hazardous areas is shown in Fig. 4.2. [4] [7].

It should be pointed out that (not concretely shown in these general examples) for each event in the event tree and for each fault (e.g. fan fault) in the fault tree, the manufacturer of equipment and production process engineer should define, on the basis of events history charts or similar, the numerical probabilities of occurrence, on the basis of which it is possible (taking into consideration serial or parallel connection of events (AND/OR logic connections)) to calculate the total probability of ultimate occurrence of an undesirable event.

5. AN EXAMPLE OF RISK ASSESSMENT IN A PLANT ENDANGERED BY EXPLOSIVE ATMOSPHERE

Instead of introduction to this chapter we offer something for thinking/illustration. The single numerical evaluation of possibility (probability) of occurrence of undesirable event is not often sufficiently realistic and, in principle, it is not a very significant data. For example, the single data that the lung cancer risk (due to smoking) is 1.5×10^{-3} (the yearly occurrence of illness out of all smokers of the sample under consideration), the air flight risk is

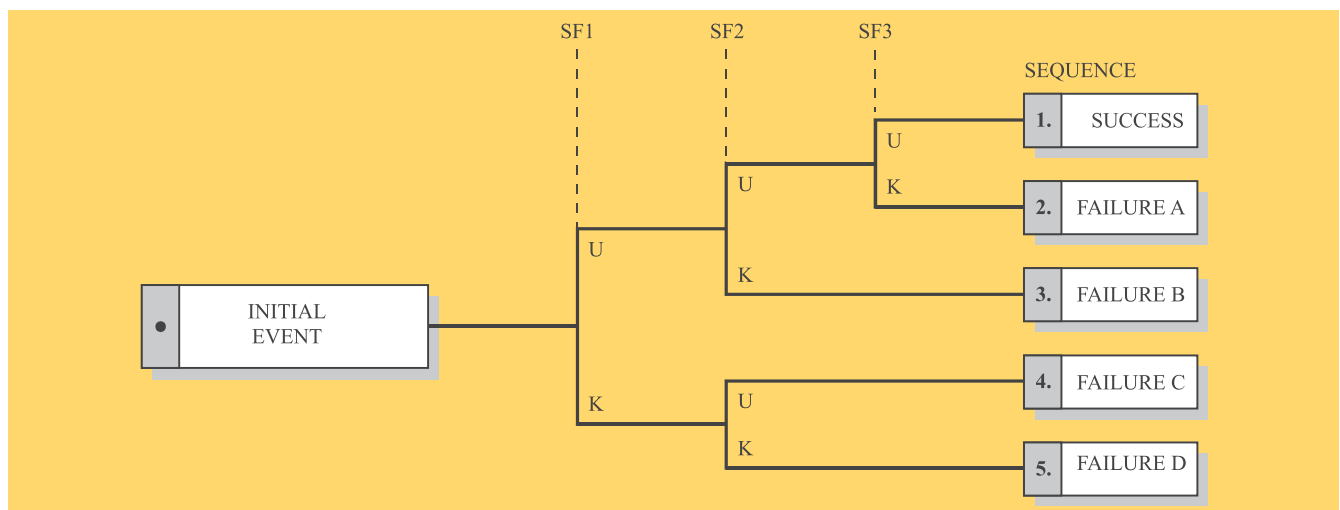


Fig. 4.1. General event tree (ET)

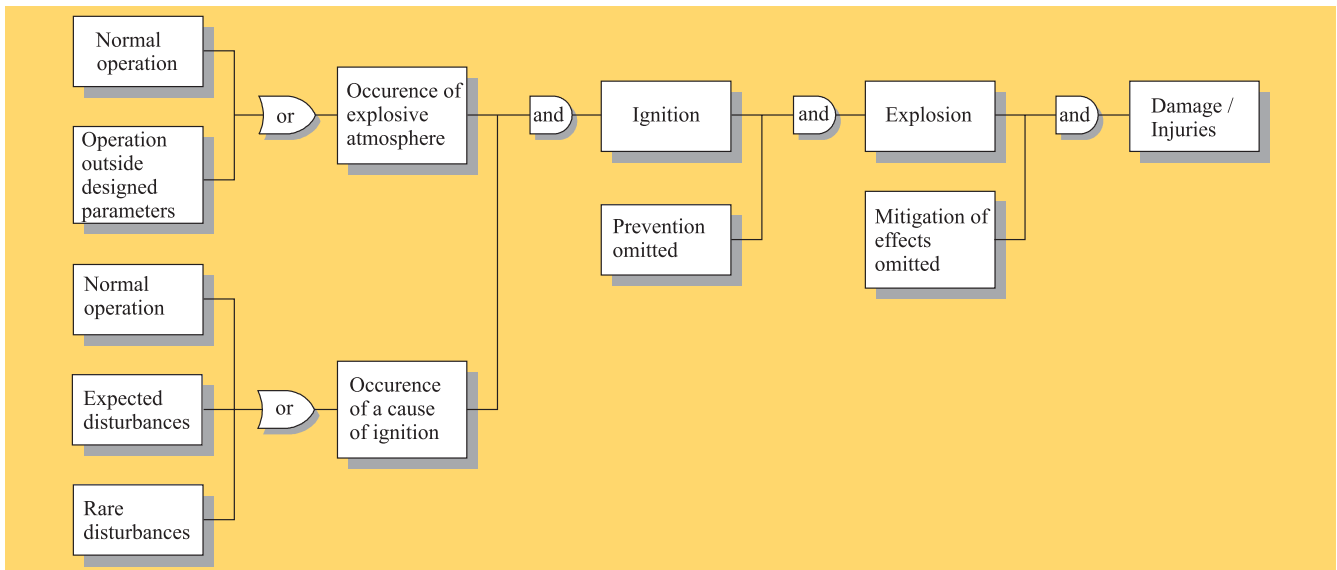


Fig. 4.2. General fault tree (FT) for explosive atmosphere/hazardous areas

5×10^{-6} (casualties out of the total number of passengers transported within a year) and that the explosion risk on oil platform is 7×10^{-8} (casualties out of all employees on platform per year) are not significant by themselves, but their comparison is conducive to the essential conclusion e.g. that the work on oil platform is less risky than air flight (which is not often a usual/standard perception of an “average observer” concerning the work on oil platform).

In explosive atmosphere/hazardous areas there are various risks (fire risk, injury risk, ecological disaster risk, explosion risk etc.). Consequently, it is important to define the level and limits of risk assessment carried out in a plant endangered by explosive atmosphere (e.g. oil platform). One of possible divisions into levels is as follows:

- **LEVEL I - Integral or general risk assessment** (including technological risks, natural disasters, diversions and war actions etc.)
- **LEVEL II - Risk assessment** for explosive atmosphere/hazardous areas **in a narrow sense** (it analyses only technological undesirable events and only the consequences connected with possibility of explosion occurrence – but not ecological, health and other consequences).
- **LEVEL III - Single risk assessment** for an apparatus/component (as a possible cause of ignition) operating in explosive atmosphere/hazardous area.

Let us say now that, in the normative-legal conditions prevailing in the Republic of Croatia, with the existing degree of technical development of our plants, their age

etc., at the moment, the most appropriate, in respect of explosion protection, is the application of level II, though the application of level I should be aimed at.

The risk assessment level (limits) is, as a rule, determined by the plant user/owner (bound by legal/normative documents) who is also responsible for anything occurring in the plant, and consequently also for the occurrence of undesirable events and their consequences.

Fig. 5.1. shows (for illustration/example only) a part of plant endangered by explosive atmosphere, which is the subject of risk assessment (by application of level II).

The plant for analysis is the area of a d.c. (commutator) electric motor for speed regulation of a drive in oil refinery (plant of “old type”).

The commutator motor has been designed without (secondary) explosion protection measures, and the system (area) explosion protection is ensured by primary explosion protection measures (by efficient ventilation which converts the explosive atmosphere/hazardous area into safe area). This is ensured by operation of at least one of the two fans.

In this example, the assumed initial (undesired) event is the breaking of the wheel of fan 1, which is in operation, and the mechanical blocking of fan rotor (wheel). A simplified event tree for the observed example is given in Fig. 5.2.

The markings in Fig. 5.2. have the following meanings:

U1 - SF1 safety function success (fan 2 is automatically switched on)

K1 - SF1 safety function failure (fan 2 is not automatically switched on)

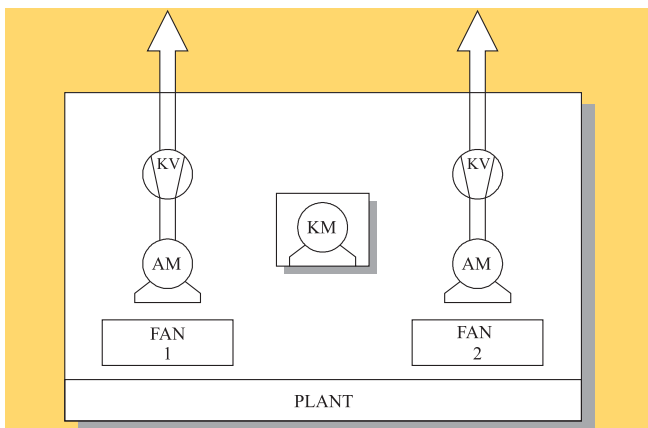


Fig. 5.1. Plant in explosive atmosphere/hazardous area

U2 - SF2 safety function success (the electrical overload protection of the mechanically blocked motor of fan 1 tripped the electric motor before its reaching the impermissible temperature)

K2 - SF2 safety function failure

U3 - SF3 safety function success (the commutator motor disconnected from electrical supply before occurrence of explosive atmosphere (occurring due to ventilation failure) whereby the commutator sparking as a cause of ignition is eliminated), it is assumed that the temperature of commutator motor (on the hot spot) is below the highest permissible temperature according to the temperature class of surrounding explosive atmosphere

K3 - SF3 safety function failure

U4 - SF4 safety function success (in the control room the failure has been signalled and the corrective actions for repair of fan 1 have been taken)

K4 - SF4 safety function failure

This scenario can be described also by table 5.1.

Taking into consideration the illustrative numerical values of occurrence of a single undesirable event (shown on Fig. 5.2) the total probability of single fault occurrence can be calculated, and considering the expected consequences, the final risks can be assessed/evaluated (taking into consideration table 3.3.) and instructions for corrective actions can be given, as shown e.g. in table 5.2.

It is important to note that corrective actions depend on the importance of a plant, possible consequences (e.g. the number of people in the vicinity of the plant) etc., and that, as a rule, they are defined or accepted by the plant owner/user, but in this example, for the above mentioned reasons, they are not defined.

As previously stated, the event tree shown in this example has been simplified (the number of branches is reduced) for the sake of clearness. Thus for instance, the SF3 and SF4 safety functions success has not been taken into consideration in the analysis of C and D faults occurrence, the SF4 safety function success/failure has not been taken into consideration in the analysis of possibility of A and B faults occurrence, and the SF3 safety function success/failure has not been taken into consideration in the analysis of E fault and “success”.

It has been also assumed that, in case of forced ventilation failure, explosive atmosphere will “surely” occur, which is the most unfavourable scenario, and the probabilities of its occurrence have not been analysed, which is also an essential simplification.

In this sense (taking into consideration the mentioned simplifications/omissions), the evaluated expected con-

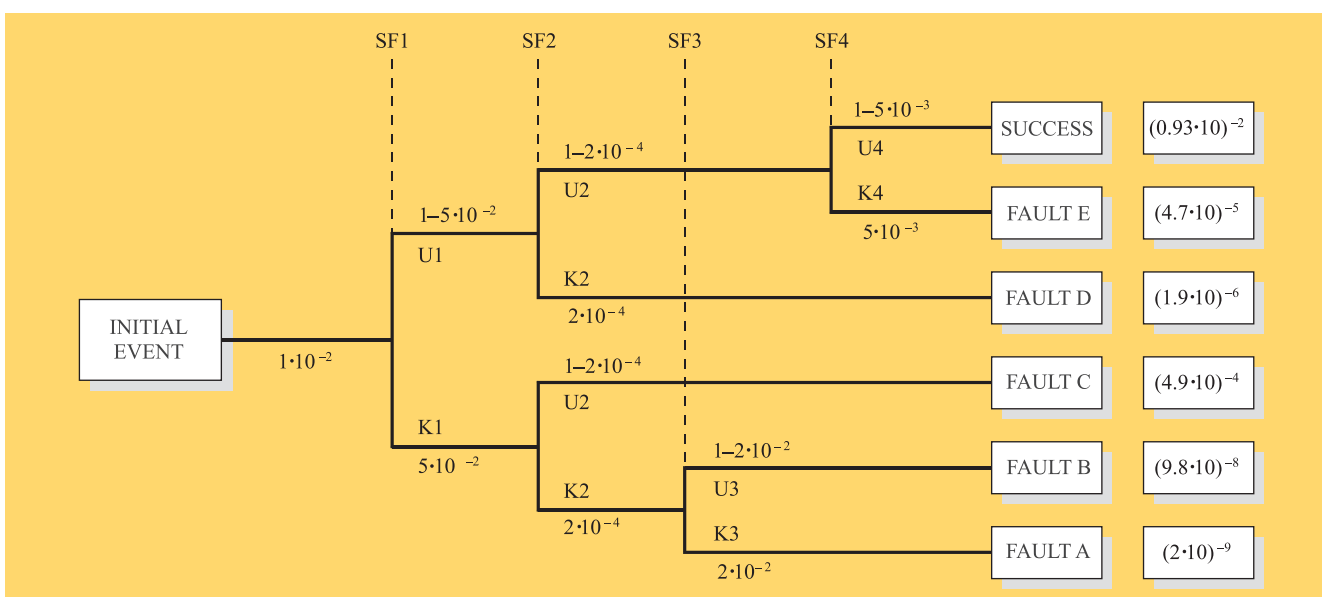


Fig. 5.2. Event tree (simplified)

Table 5.1. Failure table

PART OF SYSTEM	FAULT TYPE	DANGER ZONE or unclassified area (NEKL)
Forced ventilation of DC commutator motor area (room)	Fan wheel breaking and rotor blocking (of fan and driving electric motor)	In normal operation of unclassified area (NEKL), at a loss of ventilation – presence of explosive atmosphere

POSSIBLE CONSEQUENCES (CAUSES OF FAILURE)	EPL (CERTIFICATE)	PROBABILITY (ABSOLUTE)	PROBABILITY (RELATIVE)
1. Occurrence of initial fault 2. Standby fan not switched on 3. Inefficient electrical protection of fan motor against overload (overheating) 4. Untimely disconnection of commutator motor from electric supply 5. Nonappearance of signalling in control room	- Fans 1 and 2 (with driving electric motors) : “Gb” (K 09999X) - Commutator motor : no	1. 1×10^{-2} 2. 5×10^{-2} 3. 2×10^{-4} 4. 2×10^{-2} 5. 5×10^{-3}	1. Probable 2. Frequent 3. Rare 4. Frequent 5. Probable

Table 5.2. Risk assessment results

FAILURE	PROBABILITY OF OCCURRENCE	EXPECTED CONSEQUENCES	RISK ASSESSMENT/EVALUATION
A	2×10^{-9}	Explosion	NPR (IO)
B	9.8×10^{-8}	Local explosion	NPR
C	4.9×10^{-4}	Depending on SF3 success (not examined)	-
D	1.9×10^{-6}	Owing to the successful automatic switching-on of fan 2, no occurrence of explosive atmosphere is expected (fire can occur, which is not the subject of this risk assessment)	PO
E	4.7×10^{-5}	The absence of signalling of fan 1 fault condition is conducive to the failure of ventilation system duplexity	NPR

sequences and the risk itself do not reflect the real situation (without simplifications/omissions). The mentioned simplifications/omissions are not an obstacle to the presentation of risk assessment performance methodology in a plant endangered by explosive atmosphere (which is the basic purpose of presentation of this example).

As said above, the numerical probabilities need not necessarily give a “clear” picture about the risk, but by their analysis and comparison, important conclusions can be taken. Thus for instance, it can be noticed that SF1 safety function failure, or no switching-on of fan 2 in case of fan 1 failure, is the occurrence with “high” single probability and that it participates in a great number of faults shown in fault tree (in those with biggest consequences – A and B faults), which points to the conclusion that the greatest attention should be paid to this spot in the system where the highest possible reliability and safety should be ensured (critical point).

Notes: - All the above shown absolute (numerical) values in this example are illustrative only and do not represent concrete data. - The time period of consideration of events in this example is “annual”.

6. SPECIFICS OF RISK ASSESSMENT OF EQUIPMENT (AND PLANTS) IN EXPLOSIVE ATMOSPHERE/HAZARDOUS AREAS

The quantitative methods of risk assessment can verify and describe the system more precisely and in detail (with higher distinction) than the qualitative methods. By statistical procedures, on the basis of database (events history cards), components reliability data etc., the quantitative methods give numerical values of the probability of occurrence of an (undesirable) event. Unfortunately, the lack of these “input” data (which is a frequent case

for explosive atmosphere/hazardous areas, particularly for those in operation for many years) is the limiting factor in the use of statistical (numerical) methods of risk assessment.

In the example given in section 5 of this article, the event (mechanical failure of ventilation system) that is not the subject of analysis of explosion protection according to the valid regulations and standards (in the sense of certification and technical monitoring of explosion protection of equipment and plants) was intentionally selected as initial event.

Explosion protection is a “legally regulated field” (The regulations of the minimum requirements of safety and the workers’ health protection as well as the technical monitoring of plants, equipment, installations and apparatuses in explosive atmosphere/hazardous areas, “Official Gazette” of the Republic of Croatia No. 39/06 and the Regulations of equipment and protective systems intended for use in explosive atmosphere/hazardous areas, “Official Gazette” of the Republic of Croatia No. 123/05.), i.e. the equipment installed in explosive atmosphere/hazardous areas (or having effect on the systems in explosive atmosphere/hazardous area) is subject to testing and certification procedure, and its installation and application are subject to technical monitoring. Also the testing and certification procedure and the technical monitoring are carried out very precisely and painstakingly, in accordance with the standards from this field.

According to article 5 (Explosion occurrence risk assessment) of the Regulations of the minimum requirements of safety and the workers’ health protection as well as the technical monitoring of plants, equipment, installations and apparatuses in explosive atmosphere/hazardous areas, the employer has to assess the special risks which occur or can occur due to explosive atmosphere, and for explosive atmosphere/hazardous area he has to take into consideration (without being prevented or obliged to use other elements of risk assessment as a scientific discipline) at least the following:

- a) - probability that an explosive atmosphere will occur, and its duration
- b) - probability of the existence, activation and efficiency of causes of ignition
- c) - installations, equipment, used substances, processes and their possible interactions
- d) - extents of expected effects.

The risk of explosion occurrence should be assessed in its entirety.

The above mentioned item a) in the Republic of Croatia is the subject of obligatory technical monitoring (in accordance with the regulations from Official Gazette

No. 39/06) in the part of area classification, and the analyses for risk assessment are performed regarding the probability of explosive atmosphere occurrence and duration (the situations of unexpected failures, lack of technological discipline etc. are not analysed in detail in this procedure).

Similarly, the compliance with the requirements of the above mentioned items b) and c) is verified (in accordance with the same regulations) by the technical monitoring of electrical and non-electrical equipment and installations in explosive atmosphere/hazardous areas.

Consequently, it can be concluded that the obligatory technical monitoring covers also a great number of requirements and analyses from the aspect of risk assessment (of plant). In this sense, risk assessment (in explosive atmosphere/hazardous areas) can be considered as a superstructure on the technical monitoring (and the technical report accompanying this activity in the Republic of Croatia). Thus for instance, a part of risk assessment covers the analysis of the faults that are not the subject of relevant standards (e.g. the sources of release occurring in the cases of fault, and having effect on area classification), then the examination of interactions which have not been the subject of monitoring, and the assessment/evaluation of the scope of expected negative effects (which is one of the most important roles of risk assessment).

The second important role of risk assessment (for explosive atmosphere/hazardous areas) is the assessment of the old equipment (risk assessment level III – according to the division shown in this article) operating in a plant for many years, designed and manufactured in accordance with the requirements of the old, today out of date, regulations and standards. In such cases, the risk of further use of such equipment should be assessed from the aspect of explosion hazard.

In this connection, very helpful can be modern technical testing methods (diagnostics) for the assessment of the real condition of equipment and its further use in explosive atmosphere /hazardous areas.

This can be illustrated by the example of electric motor. Besides the basic testing of explosion protection (depending on type of explosion protection of electric motor), also the specialised diagnostic testing of electric motor should be carried out. The specialised diagnostic testing, equally important as the basic testing, includes diagnostics of the condition of rotor cage, stator winding, air gaps, bearings etc. These diagnostic tests (as for instance, the analysis of spectrum of stator winding line current, measuring and analysis of vibrations, analysis of stray magnetic flow (magnetic monitoring), analysis of response to impulses voltage, measuring of resistance

of bars and ring etc.) can detect a fault in electric motor (which is particularly important for an electric motor in increased safety) which can be a serious cause of ignition of explosive atmosphere. The detection of these faults (or ascertaining of the real condition of electric motor) is the basis for risk assessment. Such approach to the assessment of further usability of electric motors in “increased safety” (particularly of high-power motors) for explosive atmosphere/hazardous area, has been already applied in the Republic of Croatia (collaboration of Ex-Agency, Faculty of electrical engineering and electronics and Končar Institute for electrical engineering) [8] [10] [11] [12].

Finally, the third but not less important role of risk assessment is the analysis of possible causes of ignition (e.g. non-electrical equipment and other causes of ignition) which have not been the subject of analyses of previous issues of standards from the field of explosion protection, and which (causes of ignition), according to the today’s regulations and standards, are subject to inspections, testing, certification etc. Also in such cases, the risk of further applicability of such equipment should be assessed.

In performing the risk assessment in explosive atmosphere/hazardous areas, it is always necessary to take into consideration the recent technical achievements and knowledge (e.g. application of modern diagnostic methods) which are possibly not integrated in the valid issues of standards covering the explosion protection segment

The above mentioned can be illustrated by the following example:

In the area defined as zone 2 (IIA T3) according to the technical monitoring/report of area classification (TN-KL), there is an electric motor drive of oil pump (the electric motor is certified – protection marking II 2G EEx e II T3, the pump is without data of explosion protection measures). Power transmission is effected by belts which have not been tested and certified from the aspect of static electricity hazard. Motor overload protection has been ensured by certified bimetal – protection marking Ex II (2) GD. All other electrical protections and installations have been carried out in accordance with the requirements of standard HRN EN 60079-14, which is confirmed by technical monitoring /report of electrical installations (TN-EIE).

In the risk assessment of this electric motor drive, the following should be analysed:

- Possible sources of release of explosive atmosphere due to unexpected faults or an expected/unexpected human error (other conditions have been covered by technical monitoring/report TN-KL).

- The pump motor need not be examined (within the frame of risk assessment) as a cause of ignition (spark, overheating etc.) since it has been (like its overload protection bimetal) tested and certified in accordance with the requirements of relevant standards.

The certification of the compliance of electric motor and bimetal (by certification procedure) with the requirements of relevant standards presumes that the risk of ignition is **acceptable** (since the requirements of relevant standards have been complied with and provided that the required activities have been carried out in accordance with the manufacturer’s instructions and the certificate requirements (e.g. replacement of bearings)).

The risk assessment should be carried out for oil pump as a possible non-electrical cause of ignition (mechanical spark, overheating etc.) and for belts (e.g. from the aspect of static electricity hazard).

- The risks within electrical installations (because of possible occurrence of short circuits, overvoltages, earth faults etc.) have been covered by technical monitoring/report TN-EIE. If the requirements of relevant standards (for electrical installations in hazardous area) are complied with, the risk of ignition by installations (in the conditions of normal operation and in case of expected faults – e.g. short circuit, earth fault etc.) is acceptable, provided that the relevant requirements are met (e.g. activation of protection within 100 ms).

It is possibly necessary to consider the faults not expected in normal operation (e.g. failure of overload protection device).

- It is necessary to perform the risk assessment of possible interactions of the used substances, equipment and installations (which have not been the subject of technical monitoring for normal operation of plant).
- It is necessary to assess the extent of expected explosion effects.

It should be pointed out that the specifics of risk assessment for explosive atmosphere/hazardous areas, as shown in this section, can vary in Europe from country to country, since each country covers different activities by “technical monitoring” (which is fixed by national legislation, while only the minimum requirements are prescribed at the European Union level), so that different activities “remain to be performed“ within the frame of the technological risk assessment of plant.

7. CONCLUSION

The technological risk is an inevitable fact of all plants, but in case of explosive atmosphere/hazardous area, it becomes more serious. In most cases, the risk cannot be completely eliminated, but with timely, appropriate and

comprehensive analysis, it becomes mostly foreseeable and eventually controllable.

For the requirements of identification of all undesirable events (scenarios) and for the assessment/evaluation of their frequency and possible undesirable consequences, today in the world there are a great number of quantitative, qualitative and combined risk assessment methods. Some of them are applicable, more or less efficiently, also to the risk analysis in explosive atmosphere /hazardous area.

The performance of risk assessment as a scientific discipline in explosive atmosphere/hazardous area, comprises all elements important in risk analysis in non-hazardous areas (e.g. it analyses and harmonises the technical and economic justification of the application of technical achievements with a view to improving plant safety and reliability, etc.), however, in explosive atmosphere/hazardous areas there are special requirements that cannot be a part of risk assessment, because the risk assessment can be carried out only after the mentioned requirements have been satisfied.

The field of explosion protection of plant is a “legally regulated field”, i.e. apparatuses/equipment installed in explosive atmosphere/hazardous areas (or having influence on the system in explosive atmosphere/hazardous area) are subject to testing and certification, in accordance with the requirements of relevant regulations, while their installation and application are subject to technical monitoring. The very high level of normative regulation of this field greatly facilitates risk assessment performance (e.g. standard HRN EN 1127-1 clearly defines the causes of ignition (undesirable events) expected/occurring in explosive atmosphere/hazardous area), however, the risk assessment should employ also modern diagnostic methods which can clearly and exactly detect (and foresee) apparatus failures (e.g. damage of electric motor squirrel-cage and consequent overheating and sparking), which are efficient causes of ignition (undesirable events).

The risk assessment in explosive atmosphere/hazardous areas is a superstructure on the obligatory technical monitoring, but its role is not diminished thereby, moreover, it is obvious that it supplements the integral process of ensuring plant explosion protection.

It seems important to mention now a new approach to the analysis of risk and functional safety of explosive atmosphere/hazardous areas [17] (in general and [18]) which is relying on safety integrity levels. The approach is based on the probabilities of ensuring the satisfactory operation of safety systems and devices (e.g. temperature and level sensors, electric motor overheating protection system etc.) within some time interval. There are four

safety levels (SIL 1 to SIL 4) , SIL 1 being the lowest safety level and SIL 4 the highest one.

This approach allows the more precise and exact analysis of faults (of risks too), and therefore it should be employed in risk analysis in explosive atmosphere/hazardous areas. Because of its complexity and extent, it cannot be presented within this article.

The mentioned presentation will be the subject of some future article/s as a continuation of the analysis of risk assessment issues in explosive atmosphere hazardous areas.

Special attention should be paid to the risk assessment as a new discipline in the analysis of plant explosion protection, however, the approach should be critical and the risk assessment level (limit) clear.

LITERATURE

- [1] **HR Regulations** *The regulations of the minimum requirements for safety and the workers' health protection as well as for the technical monitoring of plants, equipment, installations and apparatuses in explosive atmosphere hazardous areas, “Official Gazette” of the Republic of Croatia No. 39/06.*
- [2] **HR Regulations** *The regulations of equipment and protective systems intended for use in explosive atmosphere/hazardous areas “Official Gazette” of the Republic of Croatia No. 123/05.*
- [3] **V. Mikuličić, Z. Šimić, I. Vrbanić**, *Probability-related assessment of technical risks*, **Energy No. 2., pages 85-94, Zagreb, 2002.**
- [4] **R. L. Rogers, (Co-ordinator)** *EU Project No: SMT4-CT97-2169 (Methodology for Risk Assessment of Unit Operations and Equipment for Use in Potentially Explosive Atmospheres, Co-ordinator Dr. R. L. Rogers, Inburex GmbH, Hamm, 2000 .*
- [5] **N. Marinović**, *Explosion protection for explosive atmosphere*, **ETEKON, Zagreb, 2005.**
- [6] **Z. Šimić**, *Probability-related risk assessment - ET and FTA*, **mimeographed course materials, Faculty of electrical engineering and electronics, Zagreb, 2005.**
- [7] **R. Wilcox, M. Burrows, S. Ghosh, B. M. Ayyub** *Risk-based Technology Methodology for the Safety Assessment Compressed Natural Gas Fuel Systems*, **IC-MES/SNAME, New York, 2000.**
- [8] **I. Gavranić**, *Diagnostics of explosion protected electric motor drives*, **master's thesis, Faculty of electrical engineering and electronics, Zagreb, 2002.**

- [9] I. Gavranić, *Suppression and limitation of explosion effects*, **Bulletin of Agency for explosive atmosphere/ hazardous areas No. 1-2, Ex-Agency, Zagreb, 2003.**
- [10] I. Gavranić, *Electric motor drives in old plants*, **Bulletin of Agency for explosive atmosphere/ hazardous areas No. 1-2, Ex-Agency, Zagreb, 2004.**
- [11] I. Gavranić, J. Fišter, *Risk assessment of plants*, **VI international conference Ex 2005, Dubrovnik, 2005.**
- [12] I. Gavranić, *Testing and maintenance of explosion protected electric motor drives in old plants*, **VI international conference Ex 2005, Dubrovnik, 2005.**
- [13] **EC Guide** *Non-binding Guide of Good Practice for implementing of the European Parliament and Council Directive 1999/92/EC on minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres*, **Commission of the European Communities, Brussels, 2003.**
- [14] EC Standard **1127-1** *Explosive atmospheres – Explosion prevention and protection, Part 1: Basic concepts and methodology*, **(EN 1127-1:1997), CEN.**
- [15] Draft **prEN 15198** *Methodology for the ignition hazard assessment of non-electrical equipment and components intended for use in potentially explosive atmospheres*, **(draft prEN 15198:2005), CEN.**
- [16] **IEC Standards** *Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres*, **(standards of series IEC 60079-XX), IEC**
- [17] Draft **prEN 50495** *Safety devices required for the safe functioning of equipment with respect to explosion risks*, **(draft prEN 50495:2006), CENELEC.**
- [18] **IEC Standards** *Functional safety of electrical/ electronic/programmable electronic safety-related systems*, **(standards of series IEC 61508-X), IEC**
- [19] **C. Petitfrere, C. Proust** *Analysis of ignition risk on mechanical equipment in ATEX*, **PCIC EUROPE, Paris, June 13-15, 2007.**
- [20] **ISSA Practical Assistance** *Practical Assistance for the Preparation of an Explosion Protection Document*, **ISSA, Mannheim, 2006.**

The author's address:

M.Sc. Ivica Gavranić, B.Sc.E.Eng.

Ex-Agency, Ba-tijanova bb, 10 000 Zagreb.

i.gavranic@ex-agencija.hr