

ANALIZA TEHNOLOŠKIH RIZIKA U PROSTORIMA UGROŽENIM EKSPLOZIVNOM ATMOSFEROM

UDK 614.83
PRIMLJENO: 26.9.2008.
PRIHVAĆENO: 4.1.2010.

SAŽETAK: *Ugroženost eksplozivnom atmosferom česta je odrednica suvremenih tehnologija i postrojenja (npr. naftne i plinske platforme, rafinerije nafte i plina, kemijska i prehrambena industrija i sl.). Takva su postrojenja sve više opremljena novim blagodatima razvijenih tehnologija, ali su nažalost i sve ugroženija mogućim neželjenim i opasnim pojavama (događajima) primjene tih tehnologija. Opasnosti i rizici od pojave ozljeda i negativnih utjecaja na zdravlje ljudi i okoliš česti su pratioci ovakvih postrojenja. Složenost novih postrojenja s jedne i neodržavanost (ili nedovoljna održavanost) starih postrojenja s druge strane, u uvjetima kada su ona ugrožena eksplozivnom atmosferom, čine ozbiljne izvore opasnosti ili tehnoloških rizika. Na postrojenja ugrožena eksplozivnom atmosferom postavljaju se visoki sigurnosni zahtjevi koji nerijetko dovode do ograničenja u primjeni suvremenih tehnologija i značajno poskupljuju njihov rad. Suprotstavljenost je sigurnosnih i tehnoloških zahtjeva moguće, u manjoj ili većoj mjeri, pomiriti s provedbom analiza tehnoloških rizika. Analiza i procjena rizika mora prepoznati i analizirati sve opasne događaje koji se mogu dogoditi u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom i koji za posljedicu mogu imati stvaranje uzročnika paljenja i/ili pojavu eksplozivne atmosfere, a što u konačnici može dovesti do eksplozije. Provedbu analize i procjene rizika u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom nužno je promatrati u pridruženju sa zahtjevima ATEX direktiva koje pravno i tehnički uređuju protueksplozijsku zaštitu u Europi.*

Ključne riječi: *eksplozivna atmosfera, protueksplozijska zaštita, razina sigurnosti, analiza rizika, ATEX direktive*

UVOD

Današnja se metodologija, odnosno pristup osiguranja protueksplozijske zaštite u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom temelji na primjeni električnih i neelektričnih uređaja i instalacija posebno projektiranih i ispitanih za uporabu u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom. Prevencija od nastajanja eksplozije se u Europi temelji na europskim direktivama (ATEX

Directives) od kojih su najznačajnije ATEX 137 (*Directive 1999/92/EC of the European Parliament and the Council*) i ATEX 95 (*Directive 94/9/EC of the European Parliament and the Council*).

Pristup analizi protueksplozijske zaštite u ovakvim postrojenjima, opisan navedenim europskim direktivama, temelji se na promatranju i analiziranju procesa, materijala i tvari te uzročnika paljenja koji u određenim interakcijskim odnosima mogu izazvati neželjenu eksploziju.

Udovoljavanje zahtjevima i načelima sadržanim u normi HRN EN 1127-1 (Sprečavanje i zaštita od eksplozije, dio 1; Osnovne koncepcije

*Mr. sc. Ivica Gavrančić, dipl. ing., Agencija za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom (Ex-Agencija), Baštijanova bb, 10000 Zagreb (ex-agencija@ex-agencija.hr, i.gavranic@ex-agencija.hr).

i metodologije) polazno je načelo pri projektiranju, izvedbi i održavanju postrojenja ugroženih eksplozivnom atmosferom. Spomenuta načela temelje se na zahtjevu da uređaji s potencijalnim uzročnicima paljenja, a koji su instalirani u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom ili utječu na taj prostor, ne čine uzročnik paljenja eventualno prisutne eksplozivne atmosfere.

Dugogodišnja eksploatacija postrojenja može, zbog prisutnosti agresivnih medija, manjkavog održavanja, zamora materijala i sl., uzrokovati nastanak povećanih i/ili novih izvora ispuštanja zapaljivog medija. Moguća je, također, zbog istih razloga i pojava električnih i neelektričnih uzročnika paljenja eksplozivne atmosfere koji nisu bili razmatrani i provjereni (ispitani) prilikom certifikacije uređaja, pri projektiranju i izgradnji postrojenja i sl.

Neka od postrojenja (prostora) ugrožena eksplozivnom atmosferom (npr. sustav transporta nafte i platforma za eksploataciju plina) prikazana su na slici 1.



Slika 1. Postrojenja ugrožena eksplozivnom atmosferom

Figure 1. Plants endangered by explosive atmospheres

Analiza i procjena rizika jedan je od alata za prepoznavanje svih (time i novonastalih) opasnosti, odnosno neželjenih događaja koji se mogu pojaviti u postrojenju ugroženom eksplozivnom atmosferom i koji mogu dovesti do eksplozije.

Ovaj rad želi ukazati na važnost udovoljenja zahtjevima spomenutih ATEX direktiva, ali jednako tako upozorava na nužnost upotunjavanja istih zahtjeva s primjenom suvremenih dijagnostičkih postupaka i provedbom procjene rizika s naslova protueksplozijske zaštite.

TEMELJNA NAČELA PROTUEKSPLOZIJSKE ZAŠTITE I REGULATIVA

Osiguranje potrebnih mjera protueksplozijske zaštite temelji se na dva osnovna načela:

1. Proizvodnja, ispitivanje i potvrđivanje (i/ili certifikacija) opreme, uređaja i zaštitnih sustava za primjenu u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom. Ovim se aktivnostima osigurava da spomenuti elementi neće biti uzročnici paljenja.
2. Projektiranje, izbor, instaliranje te održavanje opreme i instalacija provode se na način koji osigurava da oprema, instalacije i međudjelovanja u postrojenju ne mogu dovesti do neočekivane pojave eksplozivne atmosfere i/ili do neočekivane pojave uzročnika paljenja.

Opisana koncepcija i regulativa su ilustrirani Tablicom 1. (temeljeno na europskim direktivama i hrvatskim pravilnicima).

Europska Direktiva ATEX 95 i Pravilnik o opremi i zaštitnim sustavima namijenjenim za uporabu u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom temeljno se odnose na proizvođače opreme i zaštitnih sustava. Ovim dokumentima propisuju se temeljni/bitni zahtjevi, način ocjenjivanja sukladnosti, postupci i metode ispitivanja, nadzor proizvoda i proizvodnje te dobavljačeva izjava o sukladnosti.

Obveza je vlasnika postrojenja (poslodavca) koji upotrebljava takvu opremu udovoljiti najmanjim zahtjevima njezinog sigurnog instaliranja, primjene i održavanja u smislu zaštite zdravlja radnika u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom. Europska Direktiva ATEX 137 i Pravilnik o najmanjim zahtjevima sigurnosti i zaštite zdravlja radnika te tehničkom nadgledanju po-

strojenja, opreme, instalacija i uređaja u prostoru ugroženim eksplozivnom atmosferom definiraju spomenute najmanje zahtjeve.

Tablica 1. Regulativa za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom

Table 1. Regulations for areas endangered by explosive atmospheres

REGULATIVA ZA PROSTORE UGROŽENE EKSPLOZIVNOM ATMOSFEROM	
EU: Directive 94/9/ EC of the European Parliament and the Council (ATEX 95)	EU: Directive 1999/92/EC of the European Parliament and the Council (ATEX 137)
HR: Pravilnik o opremi i zaštitnim sustavima namijenjenim za uporabu u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, N.N., br. 123/05.	HR: Pravilnik o najmanjim zahtjevima sigurnosti i zaštite zdravlja radnika te tehničkom nadgledanju postrojenja, opreme, insta- lacija i uređaja u prostori- ma ugroženim eksploziv- nom atmosferom, N.N., br. 39/06. i 106/07.
Primjena (načela/područje):	Primjena (načela/područje):
Tehnički zahtjevi na proizvode (temeljeno na "proizvod- nim" normama).	Tehnički zahtjevi na uporabu (temeljeno na "korisničkim" normama).

ILUSTRACIJA KONCEPCIJE PROTUEKSPLOZIJSKE ZAŠTITE

Za kratku i načelnu ilustraciju spomenutih zahtjeva odabran je elektromotorni pogon (EMP) budući da je jedan od najznačajnijih dijelova postrojenja ugroženih eksplozivnom atmosferom u smislu protueksplozijske zaštite.

Spomenute su ilustracije primarno usmjerene na elektromehanički pretvarač (elektromotor) budući da se, u većini EMP-a u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, upravo motor nalazi u zoni, a o čemu će kasnije biti više riječi.

Današnja se (tradicionalna) metodologija osiguranja protueksplozijske zaštite EMP-a u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom temelji na primjeni uređaja (elektromotora) koji

osiguravaju određenu razinu sigurnosti (eng. Equipment Protection Levels - EPL) prema IEC pristupu, odnosno koji, prema europskom pristupu, udovoljavaju određenoj kategoriji, a koji su zahtijevani mjestom primjene (zonom).

Takvi su prostori (za zapaljive plinove i pare), sukladno normi HRN EN 60079-10, podijeljeni u tri zone - zona 0, 1 i 2. Zona 0 je prostor u kojemu je eksplozivna atmosfera prisutna trajno ili dulje razdoblje ili učestalo. Zonu 1 čine prostori u kojima se pojava eksplozivne atmosfere tijekom normalnog rada može očekivati, dok u zoni 2 pojava eksplozivne atmosfere u normalnom radu nije očekivana, a ako se ipak pojavi trajat će vrlo kratko.

Tablica 2 prikazuje, za pojedine zone, zahtijevane razine sigurnosti, odnosno kategorije opreme.

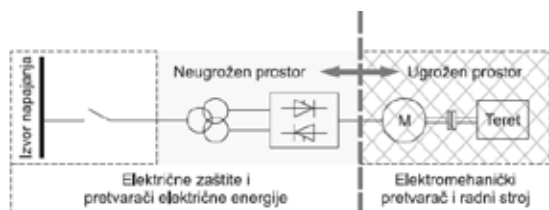
Tablica 2. Zahtijevane kategorije, odnosno EPL ovisno o zonama

Table 2. Determined categories, or EPL, depending on zones

Zona	Zahtijevana kategorija	Zahtijevana razina sigurnosti (eng. EPL)
0	1	Ga
1	1 ili 2	Ga ili Gb
2	1, 2 ili 3	Ga, Gb ili Gc

Razinu sigurnosti (eng. EPL) Ga, odnosno kategoriju 1, za prostore ugrožene eksplozivnom (plinskom) atmosferom, osiguravaju uređaji koji nisu uzročnici paljenja u normalnom radu kao niti kod očekivanog pogrešnog funkcioniranja (kvara). Takvi uređaji osiguravaju potrebnu razinu sigurnosti/zaštite i kod pojave dvaju kvarova. Ova razina sigurnosti u praksi uobičajeno nije primjenjivana kod elektromotora. Razinu sigurnosti Gb, odnosno kategoriju 2 imaju uređaji koji nisu uzročnici paljenja u normalnom radu kao niti kod učestalih kvarova koji su uzeti u razmatranje. Ovu razinu zaštite osiguravaju npr. elektromotori u vrsti zaštite "Ex d", tj. oklapanje. Razina sigurnosti Gc, odnosno kategorija 3 svojstvena je uređajima koji nisu uzročnici paljenja u normalnom radu. Ovu razinu zaštite osiguravaju npr. elektromotori u vrsti zaštite "Ex n", tj.

neiskreće/nepaleće izvedbe. Slika 2 (Gavranić, Ban, Žarko, 2007., 2008.) prikazuje strukturu elektromotornog pogona uobičajenu za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom.



Slika 2. Elektromotorni pogon u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom (zona 1)

Figure 2. Electromotor drive in an area endangered by explosive atmosphere (zone 1)

Potrebno je, gdje god je to moguće, komponente elektromotornog pogona kao što su: izvor napajanja, električne zaštite, pretvarači električne energije i sl. instalirati izvan prostora ugroženog eksplozivnom atmosferom. Elektromehanički pretvarač (elektromotor) je komponenta EMP-a koja je uobičajeno u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom. Iz spomenutih su razloga upravo elektromotor, odnosno njegove primijenjene mjere protueksplozijske zaštite odabrane za ilustraciju u ovom radu.

Temeljna (rutinska) ispitivanja protueksplozijske zaštite elektromotora

Sukladnost protueksplozijske zaštite elektromotora primijenjenog u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom (zonama) sa zahtjevima tražene razine sigurnosti, odnosno kategorije, potvrđuje se postupkom ispitivanja i certifikacije elektromotora tijekom njegove proizvodnje i nakon proizvodnje.

Današnji normativni dokumenti iz područja protueksplozijske zaštite precizno definiraju (temeljna) ispitivanja koja je potrebno provesti pri postupku certifikacije protueksplozijski zaštićenih elektromotora. Tablica 3 (Kelava, Gavranić, Deškin, 2008.), za ilustraciju, prikazuje neka najznačajnija ispitivanja koja se provode kod kaveznih elektromotora u vrsti zaštite oklapanje "Ex d" i povećana sigurnost "Ex e".

Kao (temeljno) ispitivanje od posebne važnosti za "Ex e" elektromotore ukratko ćemo ilustrirati utvrđivanje vremena t_E . Utvrđivanje (poznavanje) vremena t_E je od posebne važnosti i kod odabira i podešavanja zaštite od preopterećenja elektromotora u vrsti zaštite "Ex e" (spomenuta zaštita mora biti certificirana u smislu zahtjeva ATEX direktiva).

Tablica 3. Temeljna ispitivanja protueksplozijski zaštićenih kaveznih asinkronih elektromotora

Table 3. Basic researchs of explosion-protected squirrel-cage induction motors

Vrsta zaštite	Ispitivanje
Ex d	Mjerenja temperatura (zagrijavanja)
Ex e	Provjera izolacijskog sustava
	Ispitivanja u praznom hodu i kratkom spoju
Ex e	Utvrđivanje vremena t_E
	Kontrola zračnih razmaka i razmaka po površini
	Ispitivanje otpornosti na udar
Ex d	Ispitivanje kućišta na referentni tlak
	Ispitivanje povećanim tlakom i probojno paljenje
	Mjerenja zaštitnih sastava/raspora

Protueksplozijska se zaštita elektromotora općenito, a posebice "Ex e" elektromotora, među ostalim, temelji i na ograničenom zagrijavanju. Iz tih razloga se zagrijavanjima elektromotora u vrsti zaštite "Ex e", tj. povećana sigurnost (kako statora, tako i rotora) posvećuje posebna pozornost za utvrđivanje temperaturnog razreda te određivanje dopuštenog vremena stajanja u kratkom spoju - t_E . Nijedna površina elektromotora ne smije dosegnuti temperaturu višu od temperature određene temperaturnim razredom i klasom izolacije.

Odabrani i primijenjeni zaštitni uređaj za zaštitu elektromotora u vrsti zaštite povećana sigurnost "Ex e" od preopterećenja (ispitan i certificiran) mora isključiti zakočeni elektromotor unutar vremena t_E . Navedeno vrijeme t_E treba biti navedeno na označnoj pločici elektromotora.

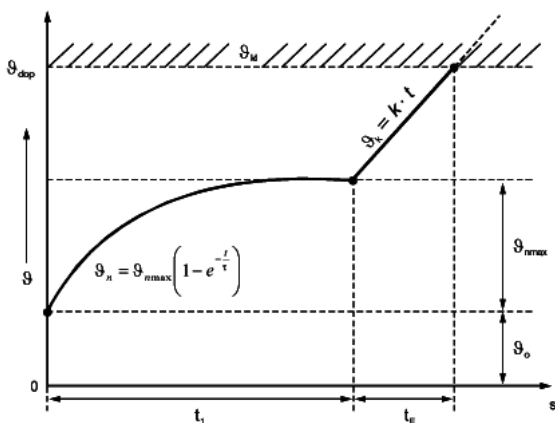
Najveća dopuštena ukupna temperatura ϑ_{dop} (Gavranić, 2006., Kelava, Gavranić, Deškin, 2008.) iznosi:

$$\vartheta_{dop} = \vartheta_o + \vartheta_n + \vartheta_k \leq \vartheta_{kl} \quad [1]$$

gdje je:

- ϑ_o - najviša očekivana temperatura okoline, uobičajeno 40 °C;
- ϑ_n - nadtemperatura (zagrijanje) normalnog pogona;
- ϑ_k - nadtemperatura (zagrijanje) zbog kvara (zakočeni rotor) - odgovara vremenu t_E ;
- ϑ_{kl} - najveća dopuštena ukupna temperatura određena temperaturnim razredom i klasom izolacije.

Objašnjenje zagrijavanja na primjeru zakočenog motora prikazuje slika 3.



Slika 3. Zagrijavanje motora i vrijeme t_E

Figure 3. Motor warming and time t_E

Suvremena dijagnostika elektromotora i detektiranje uzročnika paljenja

Kako je već spomenuto, tijekom eksploatacije elektromotora može nastati degradacija njegove protueksplozijske zaštite što može uzrokovati pojavu učinkovitih uzročnika paljenja unutar elektromotora (npr. mehaničke i električne iskre, povišena zagrijavanja i sl.), a koji nisu prisutni kod potpuno ispravnog elektromotora.

Trenutno važeća koncepcija/metodologija osiguranja protueksplozijske zaštite ne analizira, u dovoljnoj mjeri, mogućnosti pojave uzročnika paljenja koji mogu nastati tijekom eksploatacije elektromotora (npr. oštećenja kaveza rotora, slabljenje izolacijskog sustava namota statora i

sl.). Današnja koncepcija pretpostavlja, za cijeli vijek primjene motora, stanje protueksplozijske zaštite kakvo je bilo kada je motor bio nov, odnosno kada je bio certificiran. Na spomenutoj se pretpostavci temelji protueksplozijska zaštita EMP-a tijekom cijelog vijeka primjene motora (temeljem nje se ocjenjuje pravilnost izbora motora, biraju se i podešavaju električne zaštite i sl.). Današnja koncepcija načelno govori, s naslova protueksplozijske zaštite, o obvezi provedbe pregleda, održavanja i popravaka motora kako bi se održalo stanje kakvo je bilo kada je motor bio nov, odnosno certificiran.

Ista koncepcija ne definira postupke za dijagnostiku mogućih kvarova (uzročnika paljenja), a time niti kriterije za ocjenu rezultata dijagnostike. Upravo rečeno čini ozbiljnu manjkavost trenutno važeće koncepcije osiguranja protueksplozijske zaštite, ali također je ograničavajući element i kod provedbe realne procjene rizika. Ova koncepcijska manjkavost posebice dolazi do izražaja u primjeni, i to u nemogućnosti ocjene stvarnog stanja protueksplozijske zaštite motora (posebice većih snaga). Jedan od ciljeva ovog rada je i upozoriti na navedenu manjkavost.

Kako bi se sa sigurnošću utvrdila primjenjivost elektromotora i nakon višegodišnje uporabe, u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom, nužno je provesti detaljna ispitivanja stanja elektromotora.

Temeljna ispitivanja protueksplozijske zaštite (ovisna o vrsti protueksplozijske zaštite), ilustrirana u Tablici 3, mogu biti nedovoljna za kvalitetnu procjenu elektromotora kao mogućeg uzročnika paljenja te je uz njih nužna i provedba specijalističkih suvremenih dijagnostičkih ispitivanja kao što su ispitivanja stanja kaveza rotora, namota statora, zračnih raspورا i sl. Upravo je ovim ispitivanjima moguće otkriti kvarove elektromotora koji mogu biti učinkoviti uzročnici paljenja u starim postrojenjima.

Tablica 4 (Ban, Wolf, Cettolo, 1993.) jasno ilustrira da kvarovima rotora i namota statora treba posvetiti posebnu pozornost budući da su najučestaliji kvarovi asinkronih elektromotora (srednjih i većih snaga) i mogu biti učinkoviti uzročnici paljenja u prostorima ugroženim eks-

plozivnom atmosferom. Tablica prikazuje kvarove za kavezne asinkrone elektromotore.

Tablica 4. Udio pojedinih kvarova u ukupnim kvarovima asinkronog elektromotora

Table 4. Portion of individual faults in the total number of breakdowns in an asynchronous electrical motor

Vrsta kvara	% ukupnih kvarova
Kvarovi namota statora	26,50
Kvarovi rotora	31,65
Kvarovi paketa statora	9,34
Kvarovi paketa rotora	13,25
Oštećenja vratila i ležaja	12,94
Ostali kvarovi	6,32

Kod dijagnostike protueksplozijski zaštićenih asinkronih elektromotora nužno je voditi računa o sveobuhvatnosti dijagnostičkih postupaka koji se primjenjuju.

Danas je razvijen cijeli niz dijagnostičkih metoda od kojih je dio prikazanih u Tablici 5 (*Gavranić, 2002., Kelava, Gavranić, Deškin, 2008., Tavner, 1987.*), odnosno Tablici 6 (*Gavranić, 2002., Kelava, Gavranić, Deškin, 2008., Tavner, 1987.*) i obično je, uz temeljna ispitivanja protueksplozijske zaštite, dovoljna uporaba jedne ili dviju navedenih dijagnostičkih metoda kako bi se u potpunosti ispitao elektromotor. Sve je značajnija i primjena trajnog on-line nadzora elektromotora (npr. naftnih platformi).

Tablica 5. On-line metode tehničke dijagnostike

Table 5. On-line methods of technical diagnostics

ON-LINE
Analiza spektra linijske struje namota statora
Mjerenje i analiza vibracija
Mjerenje rasipnih magnetskih tokova

Tablica 6. Off-line metode tehničke dijagnostike

Table 6. Off-line methods of technical diagnostics

OFF-LINE
Analiza odziva na udarni napon
Mjerenje otpora štapova i prstena
Primjena penetranta
Vizualni pregled

Kvarovi elektromotora (npr. kaveza rotora) mogu biti ozbiljni uzročnici paljenja. Tumačenje i ocjena dobivenih rezultata dijagnostičkih ispitivanja jest područje kojemu treba dati posebnu važnost budući da današnja koncepcija protueksplozijske zaštite i normativni dokumenti koji ju prate ne daju odgovor na ovakva pitanja. Iskustva u području dijagnostike kaveznih asinkronih elektromotora i u području protueksplozijske zaštite (u smislu ispitivanja elektromotora u uvjetima prisutnosti eksplozivne atmosfere) jedini su danas raspoloživi alati i podloga za budući ustroj zahtijevanih dijagnostičkih postupaka i definiranje kriterija za ocjenu dobivenih rezultata.

Uz sve opisane nužnosti primjene dijagnostičkih metoda (u smislu opće metodologije protueksplozijske zaštite i provedbe procjene rizika), one imaju posebnu važnost i kod ranog otkrivanja kvarova (preventivno održavanje i smanjenje troškova).

Primjer provjere i pregleda protueksplozijski zaštićenih elektromotora

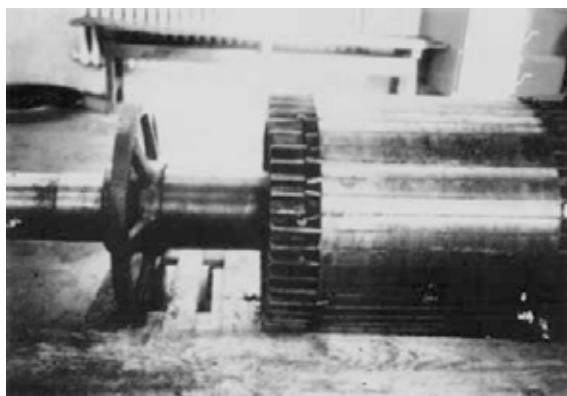
Današnjom je pravno normativnom regulativom, kako u Europi tako i Hrvatskoj, propisana provedba procjene rizika opreme i postrojenja u smislu ugroženosti eksplozijom.

Sukladno navedenom obveza je poslodavca, među ostalim, provesti i analize mogućih uzročnika paljenja, kako električnih tako i neelektričnih. Upravo je u elektromotornim pogonima starih postrojenja velika mogućnost nastanka kvarova koji mogu postati učinkoviti uzročnici paljenja eksplozivne atmosfere.

Slike 4 i 5 prikazuju primjere učestalijih nedostataka na elektromotorima u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, a koji nastaju tijekom dugogodišnje eksploatacije (kao što su primjer lošeg održavanja i lošeg općeg stanja elektromotora te primjer oštećenja kaveza rotora).



Slika 4. Loše održavanje i opće stanje elektromotora
Figure 4. Poor maintenance and general condition of an electrical motor



Slika 5. Oštećen kavez rotora
Figure 5. Damaged rotor squirrel cage

Aktivnosti i ispitne metode opisane u prethodnom poglavlju su našle, manje ili više, svoju primjenu u elektromotornim pogonima starih postrojenja.

Analizirajući rezultate dobivene primjenom tih postupaka moguće je uočiti i izdvojiti nepravilnosti i kvarove koji se najčešće javljaju u EMP-u starih postrojenja, a mogu biti uzročnici paljenja eksplozivne atmosfere. Spomenuti nedostaci pregledno su prikazani u Tablici 7.

Prikazani se nedostaci odnose i na niskonaponske i na visokonaponske kavezne asinkrone elektromotore u vrstama zaštite povećana sigurnost "Ex e" i oklapanje "Ex d".

Tablica 7. Učestali nedostaci na elektromotorima starih postrojenja

Table 7. Common deficiencies in old plant electrical motors

Nedostaci/Kvarovi
Uočena su mehanička oštećenja i narušena IP zaštita, neoriginalni dijelovi (npr. vijci, brtve).
Kontrolom i mjerenjem zaštitnih sastava izmjerene su vrijednosti koje ne udovoljavaju zahtjevima normi i/ili dokumentaciji prema kojoj je motor ispitan pri postupku certifikacije.
Površine sastava su oštećene.
Izmjerene su znatne nesimetrije u otporima namota te u strujama pojedinih namota/faza.
Izmjerene vrijednosti otpora izolacije statorskog namota manje su od minimalno zahtijevanih.
Snimljeni spektri statorskih struja ukazuju na oštećenja kaveza rotora.
Vibracijsko stanje elektromotora nije zadovoljavajuće.
Provjere stanja izolacijskog sustava namota (primjenom metode analize odziva na udarni napon) ukazuju na oslabljenu međuzavojnu izolaciju i sl.

PRISTUP ANALIZI RIZIKA U PROSTORIMA UGROŽENIM EKSPLOZIVNOM ATMOSFEROM

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 njihova značajna poskupljenja rada. Suprotstavljenost spomenutih zahtjeva moguće je, u manjoj ili većoj mjeri, pomiriti s 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.

Današnja pravno normativna regulativa iz područja protueksplozijske zaštite (ATEX) samo načelno ukazuje na procjenu rizika "kao opću kategoriju" nedajući opću metodologiju, zahtjeve analize, ocjene rezultata (kategorije prihvatljivosti) i sl. (Gavranić, Fišter, 2005.). Spomenuta regulativa (normativni dio) daje za neke, vrlo rijetke, slučajeve detaljniji opis provedbe procjene rizika.

Tako npr. norme niza IEC 60079 donose faktore za procjenu rizika koji se može pojaviti kod kaveznih asinkronih elektromotora. Procjena rizika (vrijednost faktora rizika) uzima u obzir nazivni napon elektromotora, stupanj mehaničke (IP) zaštite, prosječnu učestalost pokretanja, uvjete okoliša, izvedbu kaveza rotora, broj pari polova, temperaturni razred i sl. te ovisno o ukupnom (zbrojnom) faktoru rizika definira posebna/dodatna ispitivanja "Ex e" elektromotora koja je nužno provesti pri postupku certifikacije, odnosno definira dodatne mjere koje treba poduzimati tijekom primjene ovih elektromotora u ugroženim prostorima.

Ovaj rad želi upozoriti na važnost i nužnost provedbe sveobuhvatne i cjelovite procjene rizika koja značajno pridonosi poboljšanju sigurnosti, ali koja i kritički uzima u obzir tehničku i ekonomsku opravdanost primjene sigurnosnih mjera.

Rad, također, želi ukazati i na nužnost provedbe dijagnostičkih metoda za utvrđivanje stvarnog i trenutnog stanja protueksplozijske zaštite elektromotora (posebice bitno nakon njegove višegodišnje uporabe). Primjena današnje (tradicionalne) metodologije osiguranja protueksplozijske zaštite postrojenja bez provedbe spomenute procjene rizika i dijagnostičkih ispitivanja trenutnog stanja protueksplozijske zaštite ne jamči prihvatljivu i cjelovitu razinu sigurnosti (Gavranić, Ban, Žarko, 2007., 2008.).

Za analizu svih opasnosti i opasnih događaja koji se mogu pojaviti u postrojenju ugroženom eksplozivnom atmosferom posebno je važna analiza i procjena tehnološkog rizika.

Tehnološki je rizik neizbježna odrednica svih postrojenja, posebice onih ugroženih eksplozivnom atmosferom i često nije u potpunosti uklonjiv, ali je uz pravodobnu analizu, u većini slučajeva predvidiv i njime se može upravljati.

U današnjoj je literaturi vidljiva značajna različitost definiranja pojma "rizik", no većina definicija spomenutog pojma objedinjuje tri elementa/pitanja (Gavranić, 2007., Škanata, 1999.):

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

Ako 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 ovaj način (Škanata, 1999.):

$$R = \{(Sim pSi, cSi)\} \quad [2]$$

gdje je R rizik, dok je $i = 1,2,3...n$ skup svih mogućih neželjenih scenarija.

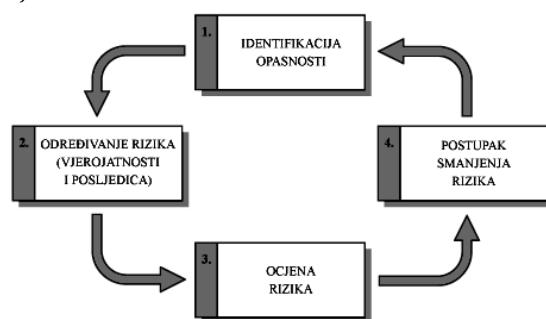
Prikazani pristup zahtijeva traženje svih neželjenih događaja, određivanje njihove učestalosti i mogućih posljedica, što može biti kompliciran i dugotrajan posao.

Za iznalaženje neželjenih događaja, odnosno scenarija postoji velik broj metoda, npr. FMEA (eng. Failure Mode and Effects Analysis), HAZOP (eng. Hazard and Operability), "što-ako", stablo kvara i stablo događaja (eng. FT - Fault Tree odnosno ET - Event Tree) i sl.

Procjena rizika kao znanstveno-tehnička disciplina nužna je i neizostavna odrednica novog i cjelovitog pristupa analizi protueksplozijske zaštite.

Osnovnu strukturu, odnosno osnovni tok postupka procjene rizika možemo prikazati slikom 6 (Gavranić, 2007., Petitfrere, Proust, 2007., Rogers, 2000.). Procjena rizika je iterativan postupak.

Već smo spomenuli da procjena rizika mora prepoznati i ocijeniti svaku opasnost koja se može pojaviti, ali isto tako procjena rizika mora realno sagledati potrebu, nužnost i opravdanost primjene određenih, odnosno zahtijevanih sigurnosnih mjera.



Slika 6. Osnovna struktura postupka procjene rizika
Figure 6. Basic structure of a risk estimate procedure

ZAKLJUČAK

Ovaj rad donosi prikaz danas važeće koncepcije, odnosno metodologije osiguranja protueksplozijske zaštite koja se temelji na europskim "ATEX" direktivama i odgovarajućim normativnim dokumentima koji uređuju ovo područje. Navedena su najznačajnija (i na konkretnim primjerima ukratko ilustrirana) temeljna (tradicionalna) ispitivanja elektromotora ovisna o primijenjenoj vrsti protueksplozijske zaštite.

Ukazano je na manjkavosti ove metodologije te su ukratko prikazani neki prijedlozi za njezino poboljšanje, posebice s naslova uvođenja procjene rizika i dijagnostičkih ispitivanja u analize elektromotornih pogona ugroženih eksplozivnom atmosferom.

Budući razvoj opće metodologije osiguranja protueksplozijske zaštite trebao bi biti usmjeren prema objedinjavanju danas važeće metodologije i načela procjene rizika kao nove znanstvene discipline u području protueksplozijske zaštite. Rad, također, upozorava i na važnost uvođenja dijagnostičkih ispitivanja elektromotora kako bi definirao njegovo trenutno i stvarno stanje protueksplozijske zaštite.

Zadovoljavajuću razinu sigurnosti EMP-a u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom moguće je osigurati jedino objedinjavanjem svih, u ovom zaključku navedenih, elemenata.

LITERATURA

Ban, D., Wolf, R., Cettolo, M.: Kompjuterizirana "ON-LINE" dijagnostika stanja rotora asinkronih motora, *IV. međunarodni simpozij o novim tehnologijama*, EDZ, Pula, 1993.

Directive 1999/92/EC of the European Parliament and the Council (ATEX 137).

Directive 94/9/EC of the European Parliament and the Council (ATEX 95).

Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres - Part 10: Classification of hazardous areas (IEC 60079-10), IEC, 2002.

Gavranić, I.: Dijagnostika protueksplozijski zaštićenih asinkronih elektromotora, *S-bilten, S-Komisija*, Zagreb, 2002.

Gavranić, I.: Posebitosti električnih instalacija i uređaja u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, *Kigen*, 8, 2006.

Gavranić, I.: Methodology of Risk Assessment in Explosive Atmosphere/Hazardous Areas, *Ex-Journal*, Zagreb, 2007.

Gavranić, I., Fišter, J.: Procjena rizika postrojenja, *VI. međunarodno savjetovanje Ex 2005.*, Ex-Agencija, Dubrovnik, 2005.

Gavranić, I., Ban, D., Žarko, D.: Electrical Drives for Explosive Atmospheres – Motor Selection and Risk Assessment, EDPE, High Tatras (Slovakia), *Proceedings of the 16th International Conference on Electrical Drives and Power Electronics*, 2007.

Gavranić, I., Ban, D., Žarko, D.: Explosion Protected Electrical Drives – Risk Assessment and Technical Diagnostics, EPE-PEMC, Poznan (Poland), *Proceedings of the 13th International Power Electronics and Motion Control Conference*, 2008.

Kelava, M., Gavranić, I., Deškin, J.: Practical Experience with Inspection in Plants at Risk of Explosive Atmospheres, *PCIC Europe*, Weimar, 2008.

Marinović, N.: *Protueksplozijska zaštita za eksplozivnu atmosferu*, Etekon, Zagreb, 2005.

Petitfrere, C., Proust, C.: Analysis of ignition risk on mechanical equipment in ATEX, *PCIC Europe*, Paris, 2007.

Pravilnik o najmanjim zahtjevima sigurnosti i zaštite zdravlja radnika te tehničkom nadgledanju postrojenja, opreme, instalacija i uređaja u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, N.N., br. 39/06. i 106/07.

Pravilnik o opremi i zaštitnim sustavima namijenjenim za uporabu u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, N.N., br. 123/05.

Rogers, R. L.: *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.

Škanata, D.: *Metoda procjene rizika za odlagalište radioaktivnog otpada* (doktorska disertacija), FER, Zagreb, 1999.

Tavner, P.J.: *Condition Monitoring of Electrical Machines*, Research studies press LTD, Letchworth, 1987.

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL RISKS IN AREAS ENDANGERED BY EXPLOSIVE ATMOSPHERES

SUMMARY: Risks caused by explosive atmospheres are unavoidable in many modern-day technologies and technological plants (such as oil and gas rigs, oil and gas refineries, chemical and food industries, etc.). Such plants are constantly being upgraded by new, up-to-date developments, but they are also becoming more and more endangered by possible noxious and dangerous incidents (events) which can take place during the application of these technologies. Dangers and risks related to possible injuries and negative health and environmental effects are often found in such plants. The complexity of new plants on the one hand and the lack of maintenance (or poor maintenance) of old ones on the other can become serious sources of hazard and technological risk when these plants are operating in conditions of explosive atmosphere. Plants endangered by explosive atmospheres must meet high safety requirements, which often leads to limited implementation of up-to-date technologies and dramatically increases their running costs. The divergence between safety demands and technological demands can be more or less neutralized by conducting analyses of technological risks. Risk analyses and estimates must identify and analyze all hazardous events taking place in areas endangered by explosive atmospheres in order to prevent potential formation of ignition agents and/or explosive atmospheres which can eventually lead to an explosion. Analyses and risk estimates for areas endangered by explosive atmospheres must be studied together with the demands of the ATEX directives, which legally and technically regulate explosion protection in Europe.

Key words: *explosive atmosphere, explosion protection, safety level, risk analysis, ATEX directives*

*Subject review
Received: 2008-09-26
Accepted: 2010-01-04*