

PROTIVEKSPLOZIVNA ZAŠTITA

Tekst je napisan od strane Mr Zorana Markovića, dipl. ing. el. (kao seminarski rad na postiplomskim studijama, predmet Odabrana poglavlja iz specijalnih električnih instalacija) i Mr Nedžada Hadžiefendića, dipl. ing. el., pod mentorstvom Prof. dr Zorana Radakovića, dipl. ing. el.

Decembar 2006

1. UVOD

Projektovanje instalacija elektrenergetike i automatike u eksplozivno ugroženim prostorima od projektanta traži znatno veći stepen odgovornosti i odlično poznavanje propisa vezanih za ovu oblast. Razlog je više nego očigledan, bez obzira što je i proces projektovanja "klasičnih" instalacija, pogotovo u industrijskim postrojenjima, složena i zahtevna inženjerska procedura, sa visokim stepenom odgovornosti.

U projektovanju i upotrebi ovakvih vrsta instalacija, često se sreće termin "distribuirana odgovornost", koji naglašava da odgovornost za pravilan i bezbedan rad instalacije ne leži samo na plećima projektanta, već i izvođača radova, a kasnije i na samom korisniku - putem održavanja i pravilnog korišćenja u skladu sa preporukama datim u projektu i tehnološkim uslovima.

1.1 Osnovne definicije i pojmovi

Terminologija u skladu sa odredbama IEC 50/1990 ali i JUS N.S8.XXX propisima.

- **Protiveksplozivno (PEX) zaštićeni električni uređaj** – električni uređaj konstruisan na takav način da prilikom svog rada ne izaziva paljenje okolne eksplozivne atmosfere.
- **Tip zaštite protiveksplozivno zaštićenog električnog uređaja** – specifične mere koje se primjenjuju na električnom uređaju kako bi se sprečilo paljenje okolne eksplozivne atmosfere.
- **Grupa protiveksplozivno zaštićenog električnog uređaja** – klasifikacija električnih uređaja prema eksplozivnoj atmosferi za koju su namenjeni (mestu upotrebe):
I. Grupa 1 – električni uređaji za rudnike u kojima se javlja metan
II. Grupa 2 - električni uređaji za sva ostala mesta (dakle izuzev onih u grupi 1) u kojima se javlja eksplozivna atmosfera
- **Maksimalna temperatura površine** – najviša temperatura koja se postiže pri radu uređaja u najnepovoljnijim uslovima, u granicama naznačenih opterećenja, na bilo kom delu električnog uređaja, koja bi mogla da izazove paljenje okolne eksplozivne atmosfere.
- **Temperaturna klasa protiveksplozivno zaštićenog električnog uređaja** – klasifikacija pomenutih električnih uređaja zasnovana na maksimalnoj temperaturi površine.
- **Temperatura paljenja eksplozivne gasovite atmosfere** – najniža temperatura zagrejanje površine na kojoj, pri posebnim uslovima, nastaje paljenje smeše zapaljive materije u obliku gasova, para i vazduha.
- **Temperatura stvaranja zapaljive eksplozivne smeše (temperatura zapaljivosti)** – najniža temperatura tečnosti na kojoj, u određenim standardizovanim uslovima, ta tečnost isparava u količini koja je dovoljna da obrazuje zapaljivu smešu pare sa vazduhom.
- **Donja granica eksplozivnosti (DGE)** – najmanja koncentracija zapaljivog gasa, pare ili magle pri kojoj još uvek postoje uslovi za eksploziju ili sagorevanje.
- **Gornja granica eksplozivnosti (GGE)** – najveća koncentracija zapaljivog gasa, pare ili magle pri kojoj još uvek postoje uslovi za eksploziju ili sagorevanje.
- **Maksimalni eksperimentalni bezbedonosni zazor (MEBZ)** – maksimalni zazor u spoju između dva dela unutrašnje komore ispitnog uređaja koji kada se unutrašnja smeša gasova

- zapali, u specificiranim uslovima sprečava paljenje spoljne smeše gasova širenjem plamena kroz spoj dužine 25mm, za sve koncentracije ispitnih gasova i para u vazduhu.
- **Minimalna struja paljenja (MSP)** – najveća struja koja kod 1000 iskri ne izaziva nijedno paljenje u definisanom strujnom kolu napona 24V DC, induktiviteta 95mH sa standardima definisanim iskrištem (iskra je veštački izazvana varnica električne prirode u iskrištu koje je deo pomenutog strujnog kola). Vrednost MSP iskazuje se kao odnos MSP ispitivanog gasa i MSP za laboratorijski metan.
 - **Opasni prostor** – prostor u kome se može očekivati pojava eksplozivne gasovite atmosfere u takvoj količini, koja zahteva posebne mere za izradu, instaliranje i upotrebu električnih uređaja.
 - **Bezopasni prostor** - prostor u kome se ne očekuje pojava eksplozivne gasovite atmosfere u tolikoj količini, koja zahteva posebne mere za izradu, instaliranje i upotrebu električnih uređaja.
 - **Prirodna ventilacija** – kretanje vazduha pod dejstvom vetra ili temperaturnog gradijenta i njegova zamena svežim vazduhom.
 - **Opšta veštačka ventilacija** – kretanje vazduha po celom prostoru pod dejstvom veštačkih sredstava (ventilatora) i njegova zamena svežim vazduhom
 - **Lokalna veštačka ventilacija** - kretanje vazduha u oblasti pojedinog izvora opasnosti ili na lokalnom prostoru pod dejstvom veštačkih sredstava (ventilatora) i njegova zamena svežim vazduhom.

1.2 Klasifikacija zona opasnosti

Klasifikacija zona opasnosti se vrši prema verovatnoći da eksplozivna smeša postoji. Kriterijum postojanja eksplozivne smeše je da ona egzistira u koncentraciji od 10% DGE (čime se ide na stranu sigurnosti).

- **Zona opasnosti 0** – prostor u kome eksplozivna smeša postoji trajno ili se pojavljuje često ili je njena pojava ne suviše česta ali je trajanje duže (verovatnoća $10^{-2} < v < 1$).
- **Zona opasnosti 1** – prostor u kome eksplozivna smeša ne postoji trajno ili se ne pojavljuje često, ali se ipak može očekivati u normalnim pogonskim situacijama (verovatnoća $10^{-4} < v < 10^{-2}$).
- **Zona opasnosti 2** – prostor u kome eksplozivna smeša postoji samo u nenormalnim pogonskim situacijama (havarijama), dok je verovatnoća pojave u normalnim pogonskim uslovima zanemarljiva (ako je i moguća njena pojava, u pitanju je vrlo kratko vreme - vjerovatnoća $10^{-8} < v < 10^{-4}$).

Pre klasifikovanja zone opasnosti, potrebno je utvrditi ili oceniti:

- količinu ispuštanja ili intenzitet ispuštanja zapaljive i eksplozivne materije
- brzinu isticanja
- koncentraciju
- DGE
- temperaturu paljenja
- gustinu u odnosu na vazduh
- prepreke i njihov karakter
- radni pritisak i temperaturu
- kretanje vetra.

Razlog za veliki broj ulaznih podataka koji su potrebni za klasifikaciju, leži u činjenici da je i kvalitet i kvantitet eksplozivne zone vrlo zavistan od uslova sredine, izvora smeše, prisustva

ventilacije itd. Male promene ovih uslova mogu izazvati bitne promene u osobinama eksplozivne zone, što opet direktno utiče na izbor opreme i način projektovanje samih instalacija.

1.3 Klasifikacija protiveksplozivno zaštićenih električnih uređaja

Klasifikacija se izvodi prema vrsti i stepenu zaštite električnog uređaja od uticaja okolne eksplozivne atmosfere:

- **Nepropaljivo kućište "Exd" (neprodorni oklop)** – tip uređaja kod koga je kućište u stanju da izdrži unutrašnju eksploziju zapaljive smeše koja je prodrla u unutrašnjost kućišta, bez oštećenja i bez izazivanja paljenja spoljne eksplozivne atmosfere, kroz bilo koje spojeve ili otvore na kućištu (ulazak eksplozivne atmosfere iz okoline u kućište uređaja je uvek u manjoj ili većoj meri moguće. Kod neprodornog oklopa komponenta je napravljena tako da i u slučaju da dođe do unutrašnje eksplozije, ne dođe do spoljne eksplozije. To kod drugih tipova komponenti napred navedenih nije slučaj, jer mere zaštite kod drugih tipova prijemnika primarno su zasnovane ili na sprečavanje ulaska spoljašnje eksplozivne atmosfere u kućište komponente, ili već ako uđu u opasnoj koncentraciji da se zaštitnim merama te komponente spreči eksplozija unutar kućišta, a ne štite od eksplozije materije koja se nalazi spolja, ako je njen dio ušao unutra i ako je dejstvom uređaja izazavana unutrašnja eksplozija. Naravno, od vrste zone opasnosti zavisi mogućnost da spoljašnja eksplozivna atmosfera proдре u kućište uređaja. Što je vjerovatnoća prisustva eksplozivne atmosfere veća i što je veća koncentracija eksplozivne smeše veća je i opasnost da ona u opasnoj količini proдре u kućište uređaja.
- **Punjenje peskom "Exq"** - tip uređaja kod koga je kućište napunjeno peskom ili nekim drugim praškastim materijalom sa specificiranim karakteristikama, tako da je isto u stanju da spreči da bilo koji električni luk ili visoka temperatura nastala u kućištu izazove eksploziju zapaljive spoljne eksplozivne atmosfere.
- **Potapanje u ulje "Exo"** – tip uređaja koji je ceo ili u pojedinim delovima potopljen u ulje i to na takav način da pri pojavi električnog luka ili visoke temperature unutar kućišta isti neće upaliti eksplozivnu gasovitu atmosferu koja se može nalaziti iznad ulja ili izvan kućišta.
- **Uređaji sa tipom zaštite "Exn"** – tip uređaja koji ima osobinu da ne varniči u normalnom pogonu i da je hermetički zatvoren (non-sparking), pri čemu je stepen zaštite manji od zaštite povećana bezbednost "e". Maksimalna temperatura površine električnog uređaja mora da bude manja od najniže temperature eksplozivne gasovite atmosfere za koju je uređaj konstruisan. Delovi rotacionih mašina, ventilatori, kapa ventilatora, zaštitna rešetka itd. moraju da budu takve izrade i dobro učvršćeni da je sasvim onemogućeno njihovo krivljenje ili pomeranje koje bi moglo da dovede do trenja, udara i sl. Priključna kutija rotacione mašine mora da ima stepen mehaničke zaštite najmanje IP54, a priključak za uzemljenje mora da je prikladan, za preseke provodnika od 35 mm².
Osigurači se smatraju uređajima koji ne varniče ako zadovoljavaju jedan od uslova:
 - o da prekidaju struju od minimalno 4kA, da su nepopravljivi i punjeni peskom, sa umetkom bez indikatora,
 - o da su sa jednim umetkom naznačene vrednosti do 6A, 250V, ugrađeni u držač stepena mehaničke zaštite najmanje IP64

Kućište koje sadži osigurače mora da bude zabravljeno, tako da je umetanje ili vađenje umetaka osigurača, u slučaju zamene, moguće samo ako je isključeno.

Što se tiče svetiljki u ovoj izvedbi nisu dozvoljene natrijumove sijalice niskog pritiska. Normalan rad ne predviđa zamenu sijalica pod naponom. Grla sa navojem moraju da budu takve konstrukcije da sprečavaju odvrtnje sijalice u slučaju pojave vibracije ili promene temperature.

Posebna vrsta uređaja u ovoj izvedbi su uređaji sa „ograničenim disanjem kućišta“. Princip se zasniva na tome da su normalna industrijska kućišta uređaja tako dobro zaptivena da predstavljaju prepreku prolasku smeše zapaljivih gasova i para u kućište, tako da celokupan sadržaj koncentracije smeše ne prelazi donju granicu eksplozivnosti datog uzročnika eksplozivne atmosfere.

- **Povećana bezbednost "Exe"** - tip uređaja kod koga se primjenjuju dodatne mjere, tako da isti ima povećanu bezbednost od mogućnosti povećanja temperature i pojave električnog luka ili varnice unutar i na spoljnjim delovima uređaja koji u normalnom pogonu ne stvara lukove i varnice. Za ove uređaje definiše se i granična temperatura T_E . Temperatura T_E je maksimalna dozvoljena temperatura uređaja ili dela uređaja koja je jednaka nižoj od dve temperature koje su određene:

- 1) opasnošću paljenja eksplozivne gasovite atmosfere
- 2) termičkom stabilnošću upotrebljenih materijala konstrukcije uređaja;

Električni uređaji ove izvedbe ispunjavaju posebne zahteve u vezi sa:

- o stepenom IP zaštite,
- o ograničenjem zagrevanja uređaja u granicama propisanog vremena,
- o ograničenjem napona na 1 kV,
- o otpornošću na dinamička naprezanja.

Primena ove vrste zaštite je moguća za električne uređaje koji u normalnom pogonu:

- o ne iskre,
- o ne stvaraju električni luk,
- o ne zagreva se iznad granične temperature.

Osnov zaštite čini dobra i kvalitetna izolacija, otporna na proces starenja, kvalitetno izvedeni spojevi, odgovarajući vazdušni razmaci neizolovanih delova pod naponom i adekvatna mehanička zaštita.

- **Povećan pritisak "Exp" (nadpritisak)** - tip uređaja kod koga je kućište pod pritiskom u odnosu na spoljašnju sredinu (ostvareno pomoću zaštitnog gasa unutar kućišta). Prisustvom zaštitnog gasa se sprečava prodor spoljašnje eksplozivne atmosfere u kućište uređaja. Zaštitni gas predstavlja sredstvo za održavanje povećanog pritiska ili za razblaživanje zapaljivih i eksplozivnih gasova i para u meri da njihova koncentracija bude znatno niža od donje granice eksplozivnosti. To može biti bilo koji inerti gas ili čist vazduh. Na taj način se sprečava prodor eksplozivne atmosfere u električni uređaj normalne industrijske izvedbe. Stepem mehaničke zaštite ovakvih uređaja ne sme da bude manji od IP40. Samo kućište se izvodi od nezapaljivog materijala, otpornog na zaštitni gas koji ne sme da bude zapaljiv. Maksimalna temperatura ulaznog zaštitnog gasa ograničena je na 40°C . Svi delovi električnog uređaja u kućištu koji ostaju pod naponom posle prestanka dovoda zaštitnog gasa moraju da budu izvedeni u nekom od oblika protiveksplozivne zaštite električnih uređaja za rad u eksplozivnoj atmosferi.

- **Svojstvena bezbednost „SAMOSIGURNOST“ Exi**

Uređaji sa sopstvenom bezbednošću su oni kod kojih je protiveksplozivna zaštita bazirana na ograničenju energije uzročnika paljenja, što znači da ni iskra, niti termički efekat, ne mogu da nastanu u normalnom radu ili prilikom kvara, ne mogu da budu uzročnik paljenja eksplozivne atmosfere, jer je energija kola manja od minimalne potrebne energije za paljenje okružujuće eksplozivne smeše. Uveden je faktor sigurnosti koji je definisao dve kategorije bezbednosnih kola:

1. Električni uređaj "Exi_a" – sadrže kola sa svojstvenom bezbednošću koja nisu u stanju da izazovu paljenje eksplozivne atmosfere i njima je dozvoljena primena i upotreba u zoni opasnosti „0“.

2. Električni uređaj "Exi_b" – sadrže kola sa svojstvenom bezbednošću koja nisu u stanju da izazovu paljenje eksplozivne atmosfere, ali sa stepenom bezbednosti koji se dozvoljava za rad u zoni opasnosti „1“.

Formatted: Bullets and Numbering

Svaki uređaj sopstvene bezbednosti mora da ispunjava osnovni zahtev: pouzdano ograničavanje napona i struje na izlazu, pa i u slučaju kratkog spoja, na propisanoj vrednosti koja obezbeđuje svojstvenu bezbednost. Ograničenje napona se vrši Zener diodama koje su tako dimenzionisane da mogu podneti struju bez oštećenja a ograničenje struje poluprovodničkim limiterima. Nepokvarljive komponente čine polaznu osnovu u realizaciji kola sa svojstvenom bezbednošću kao što su: transformatori i prigušnice, otpornici za ograničenje struje, poluprovodnici, sigurnosna premošćenja, itd.

Inkapsulirani uređaji "Exm"

U ovom tipu zaštite električnih uređaja za rad u eksplozivnoj atmosferi, delovi samog uređaja i njegove komponente, koji bi mogli da zapale eksplozivnu atmosferu varničenjem, ili zagrevanjem površina, su obloženi kompaundom (elastomerom), tako da ne može doći do paljenja eksplozivne atmosfere. Termoaktivni, termoplastični, elastomerni materijali sa puniocima ili bez njih, sa aditivima ili bez njih, dakle, smatraju se kompaundima. Kompaundi su i materijali epoksidnih smola. Ovaj tip zaštite se primenjuje samo kod električnih uređaja bez pokretnih elemenata, ali ako ih i ima, ti delovi ne mogu da budu u direktnom dodiru sa samim kompaundom. U slučaju kvara kod ovih uređaja nije predviđena popravka, već praktično potpuna zamena originalnim delom.

U postupku atestiranja ovih uređaja, posebno se mora dokazati da:

1. Debljine kompaunda, između inkapsuliranih komponenata i prema spoljašnjim površinama, odgovaraju konstrukcionim zahtevima.

2. Inkapsulirani uređaji mogu da izdrže struje kratkog spoja od 4kA, ako se napoajaju iz spoljašnjih izvora.

3. Kompaund ne sadrži šupljine,

4. Uvod električnog kabla u kompaund obezbeđuje sprečavanje prodora eksplozivne atmosfere u inkapsulirani električni uređaj.

5. Tip zaštite mora da bude sačuvan i za slučaj unutrašnjeg kvara ili dozvoljenog preopterećenja samog uređaja.

6. Nema prekoračenja jednoznačne maksimalne temperature u normalnom pogonu na spoljašnjoj strani uređaja.



Slika 1. Fluorescentna svjetiljka u Ex izvedbi



Slika 2. Energetska sklopka u Exd izvedbi

1.4 Kratak pregled izazivača eksplozija

Izazivači paljenja i eksplozije mogu biti električne i neelektrične prirode. U neelektrične spadaju mehanička iskra, otvoreni plamen, zavarivanje, lemljenje itd. Električni uzročnici paljenja, po pravilu, su opasniji od neelektričnih i oni predstavljaju dejstvo elektriciteta u raznim oblicima. Pri tome se razlikuju električni uzročnici koji se nalaze unutar električnog sistema (mreža sa električnim izvorima, potrošačima i komandno-signalnim elementima) i uzročnici van električnog sistema (atmosfersko pražnjenje i statički elektricitet). Električni izazivači unutar električne mreže mogu se podeliti na one koji se dešavaju unutar električnih uređaja i na one koji se dešavaju u samoj električnoj mreži.

Da bi se sprečila eksplozija u slučaju dejstva električnih izazivača unutar uređaja, isti se prave specijalno zaštićeni, prema prethodno navedenoj klasifikaciji.

Da bi se sprečila eksplozija u slučaju dejstva električnih izazivača unutar električne mreže, potrebno je pravilno projektovati, izvesti i održavati pomenutu mrežu.

1.5 Klasifikacija eksplozivnih smeša

Kao eksplozivne smeše koje mogu izazvati eksploziju razlikujemo:

- zapaljive gasove i pare (nastaju direktno kao nusprodukt nekog tehnološkog procesa ili indirektno isparavanjem zapaljivih tečnosti)
- eksplozivne prašine kao smeše vazduha i sitnih čestica sa eksplozivnim svojstvima.

Prema odredbama JUS N.S8.850, ugrožen prostor od smeše prašina sa okolnim vazduhom delimo na:

- zonu višeg stepena zaprašenosti – zona 11 (prostor u kome se nalazi ili povremeno očekuje zaprašenost veća od 20% koncentracije unapred određene donje granice eksplozivnosti (DGE))
- zonu nižeg stepena zaprašenosti – zona 12 (prostor u kome koncentracija prašine u atmosferi ne prelazi granicu zone 11, ili se prašina pojavljuje samo u nataloženom obliku, a u atmosferi se može pojaviti samo ako posebnim uticajem dođe do mešanja prašine sa atmosferom).

Na osnovu gore navedenih termina i definicija, zapaljivi gasovi i pare se mogu razvrstati u određene grupe i podgrupe. Široka podgrupa kojoj pripadaju svi gasovi i pare osim metana, se može podijeliti na tri podgrupe, okarakterisane parametrima kojima se karakterišu uređaji sa vrstama zaštite: prema maksimalnom eksperimentalnom bezbedonosnom zazoru (MEBZ) za **nepropaljivo kućište "Exd" (neprodorni oklop)** i prema minimalnoj struji paljenja (MSP) za **sopstvenu bezbednost "Exi"**. U tabeli 1. data je podela zapaljivih gasova i para na grupe u zavisnosti od vrednosti MEBZ ili MSP.

| Grupa | Granice grupe prema MEBZ | Granice grupe prema odnosu MSP |
|-------|----------------------------|--------------------------------|
| I | za rudnike, metan | - |
| II | industrijski gasovi i pare | - |
| IIA | >0.9 | >0.8 |
| IIB | 0.5 do 0.9 | 0.45 do 0.8 |
| IIC | <0.5 | <0.45 |

Tablica 1. Podela zapaljivih gasova i para na grupe

Gasovi i pare se takođe razvrstavaju u temperaturne klase (vidi definicije pojmova), kako je to prikazano u tablici 2. Kako se kao maksimalna temperatura okoline uzima vrednost od 40⁰ C (ako nije drugačije definisano), dozvoljene nadtemperature uređaja dobijaju se umanjnjem graničnih temperatura za tih 40⁰ C.

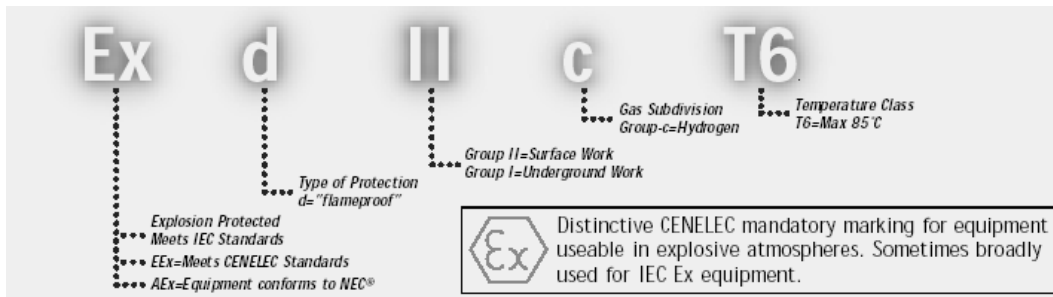
| Temperaturna klasa | Temperatura paljenja |
|--------------------|---------------------------------------|
| T1 | >450 ⁰ C |
| T2 | 300 ⁰ C-450 ⁰ C |
| T3 | 200 ⁰ C-300 ⁰ C |
| T4 | 135 ⁰ C-200 ⁰ C |
| T5 | 100 ⁰ C-135 ⁰ C |
| T6 | 85 ⁰ C-100 ⁰ C |

Tablica 2. Podela zapaljivih gasova i para na temperaturne klase

Navedene podele nam omogućuju da se nakon određivanja tipa Ex zone izabere adekvatna elektroenergetska oprema koja se u istu može ugraditi bez opasnosti od havarije. Oznaka uređaja (slika 3) u sebi sadrži tačnu informaciju o:

- vrsti i stepenu zaštite električnog uređaja od uticaja okolne eksplozivne atmosfere
- grupi protiveksplozivno zaštićenog električnog uređaja (za gasove i pare i odgovarajućoj podgrupi)
- temperaturnoj klasi

Pri tome je očigledno da se uređaji iz strožije klase (eksplozivne grupe) mogu koristiti za manje stroge, ali ne i obrnuto!



Slika 3. IEC oznaka uređaja u Ex izvedbi (preuzeto iz IEC standarda)

2. OSNOVNI PRINCIPI PROJEKTOVANJA ELEKTRIČNIH INSTALACIJA U Ex PROSTORIMA

Primarni uslov koji instalacija projektovana za Ex prostor mora zadovoljiti je da ni pod kojim uslovima (bez obzira da li je u pitanju normalni ili havarijski režim rada) ne bude uzročnik paljenja eksplozivne atmosfere. To znači da pomenuta instalacija mora zadovoljavati vrlo stroge kriterijume koji su dokazani detaljnim tehničkim proračunima, mora biti izvedena potpuno u skladu sa tehničkim preporukama i propisima i prema istima se mora i održavati.

Polaznu osnovu za projekat elektrotehničkih instalacija u Ex prostoru čini Elaborat o zonama opasnosti, čija je izrada obavezna. U njegovu izradu moraju biti uključeni projektanti svih struka, a pogotovo elektrotehničke i mašinske, jer ovi sistemi moraju funkcionisati sinhronizovano i pri tome obezbeđivati neprekidnost tehnološkog procesa i bezbednost korisnika. Elaborat o Ex zonama mora da, između ostalog, sadrži:

- detaljan projektni zadatak sa svim potrebnim ulaznim podacima
- određivanje vrste materije koja čini eksplozivnu smešu, kao i definisanje vremena njene pojave i njene koncentracije
- detaljan proračun rasprostranjenosti i kvaliteta Ex zona u zavisnosti od vrste eksplozivne smeše
- crteže rasporeda i vrste Ex zona
- predloge i uputstva za ponašanje osoblja u ugroženim prostorijama, uputstva projektantima mašinskih i elektro instalacija radi obezbeđivanja sigurnog rada osoblja i kvalitetnog funkcionisanja opreme (sa smernicama za izbor iste) u ovim prostorima.

Prilikom projektovanja instalacija u Ex sredinama, često se pravi greška jer se smatra da je dovoljno voditi računa samo o uređajima koji se smeštaju direktno u opasni prostor i time moraju biti u odgovarajućoj Ex izvedbi. Zadovoljenje ovog uslova predstavlja samo delimični, ali ne i potpuni nivo zaštite od havarije. Potrebno je razmotriti celokupan sistem zaštite: električni izvor – mreža – uređaj.

2.1. Izbor komutaciono-zaštitne opreme

Prevashodno se misli na izbor komutaciono-zaštitnih elemenata koji se ne nalaze u opasnom prostoru. Drugim rečima, treba izbegavati postavljanje razvodnih tabli sa komutaciono-

zaštitnom opremom u Ex sredine, jer to traži da pomenuta oprema, uključujući i samu razvodnu tablu u kojoj se isti nalaze bude napravljena u odgovarajućoj Ex izvedbi. Pored činjenice da se time višestruko poskupljuje instalacija, treba uzeti u obzir da postavljanje razvodne table u Ex prostor podrazumijeva prisustvo čoveka u istom (ako se želi uključivanje/isključivanje nekog elektroenergetskog potrošača), što i bez obzira na Ex izvedbu uređaja predstavlja izvestan rizik. Zamislite kako se oseća radnik koji vrši uključivanje i isključivanje prekidača na razvodnoj tabli u Ex zoni.

Samim izborom komutaciono-zaštitne opreme mogu se, međutim, smanjiti rizici od pregrevanja kablova i oštećenja električnih potrošača koji rade u Ex prostoru (što, ako je neuočeno, prilikom sledećeg ciklusa rada tog potrošača može izazvati havariju), kao i smanjiti procenat predimenzionisanja kablova (koje je posledica strogih uslova da kabl izdrži sva moguća naprezanja koja se mogu javiti prilikom rada, a da se pritom njegova izolacija ne zagreje iznad granice koja može izazvati paljenje odgovarajuće eksplozivne smeše).

Prilikom izbora komutaciono-zaštitne opreme mora se voditi računa da se ista upotrebljava samo u granicama njenih nominalnih vrednosti – snage, napona, struje, frekvencije, vrste pogona itd. Takođe, jako je bitno uzeti u obzir ambijentalne uslove ugradnje (nadmorsku visinu i temperaturu) jer promena istih u odnosu na one navedene u specifikaciji uređaja skoro uvek podrazumijeva smanjenje efikasnosti uređaja i ne garantuje njegov pravilan rad.

Elementi koji se najčešće koriste kao zaštita od preopterećenja i kratkog spoja su prekidači (bilo da su u pitanju motorno zaštitni prekidači, glavni (distributivni) prekidači, ili MCB (miniature circuit breaker)) i osigurači. Pojedini prekidači takođe imaju mogućnost zaštite od prevelikog napona, što je pored dva prethodno navedena tipa kvara, najčešći uzrok pregrevanja izolacije kablova. Preporučuje se upotreba novijih serija ovih prekidača, od kojih svi, uključujući MCB-eve (tzv. instalacione prekidače) imaju mogućnost "rezanja" struje kratkog spoja, čime se smanjuje njen uticaj na zagrevanje kablova koji provodi struju kvara. Istu osobinu imaju i visokoučinski osigurači, pa je preporučljiva i njihova upotreba. Izborom ovakvih elemenata, pogotovo kada su u pitanju prekidači, može se :

- izborom krive prekidanja podesiti vreme delovanja u slučaju preopterećenja (koje se obično bira kraće u odnosu na potrošače koji se ne nalaze u opasnom prostoru), a istovremeno, ako je u pitanju motor, sprečiti njegov ispad prilikom polaska, opet izborom krive prekidanja
- smanjiti struju kratkog spoja koju kablovi moraju da izdrže i time sprečiti pregrevanje njihove izolacije, što bi moglo dovesti do toga da maksimalna temperatura površine kablova bude veća od temperature paljenja odgovarajuće eksplozivne smeše.

2.2. Izbor, proračun i način vođenja kablova

Sa stanovišta upotrebe kablova u Ex prostorima delimo ih u dve grupe: "obični" i vatrootporni kablovi. Može se reći da i jedni i drugi podležu istoj vrsti proračuna kada je u pitanju njihov izbor prema strujnom opterećenju, ali je razlika u tome što su vatrootporni kablovi u stanju da izdrže uslove posthvarijskog stanja (visoke temperature i požar), pod uslovom da nisu mehanički razoreni eksplozijom koja je uzročnik havarije. Iz gore pomenutih razloga, vatrootporni kablovi koriste se kada je u uslovima izuzetno visoke temperature potrebno ostvariti izolacionu i električnu funkcionalnost potreban vremenski period.

Osnovni princip zaštite prilikom izbora kablova koji će se položiti čitav ili delom u Ex prostoru, uz ocenu vjerovatnoće kvara i činjenicu da se u normalnom pogonu kablovi ne zagrevaju prekomerno, ne izazivaju iskre i varnice, niti električni luk, je princip povećana bezbednost.

Imajući to u vidu, potrebno je:

- ograničiti zagrevanje kablova u bilo kom režimu rada
- obezbediti pouzdan nivo izolacije
- obezbediti zaštitu od mehaničkih i hemijskih uticaja

- zaštititi ga adekvatno od preopterećenja, kratkog spoja i prenapona.

Proračun kablova koji prolaze kroz Ex prostore, bez obzira da li napajaju potrošač koji je okružen opasnom atmosferom ili ne, mora zadovoljiti dva seta kriterijuma, tj. mora se ograničiti zagrevanje kabla u dva karakteristična režima rada:

1. normalan režim rada
2. režim kratkog spoja

Normalan režim rada: vrši se izbor kabla prema zagrevanju njegove izolacije u ovom režimu rada uz uslov da maksimalna radna struja kabla dostigne najviše 85% trajno dozvoljene struje kabla, dobijene proračunom prema standardu. Navedeni način proračuna po principu maksimalne struje se odnosi i na intermitentni rad motora. Maksimalna struja ne mora se odnositi na polazne struje motora, pogotovo u slučaju teških polazaka, jer bi tada kabl bio izuzetno predimenzionisan za normalan režim rada. U tom slučaju mora se izvršiti proračun da bi se došlo do maksimalne temperature kabla prilikom polaska motora i ako je ta temperatura manja od dozvoljene za odgovarajuću temperaturnu klasu, povećanje preseka nije potrebno.

Naime, prema tablici 3., u kojoj su date maksimalne temperature različitih vrsta izolacije kabla, očigledno je da je najkritičniji slučaj kombinacija mineralne izolacije (sa metalnim plaštom i kada se kablovi ne dodiruju – dozvoljena temperatura 105°C) i eksplozivne materije temperature klase T6 (temperatura paljenja 85°C), pa smanjenju nivoa zagrevanja kabla na temperaturu ispod 85°C otprilike odgovara maksimalno opterećenje kabla od 85% (imajući u vidu da kriva zavisnosti porasta temperature kabla od strujne opterećenosti istog nije linearna).

| Tip izolacije | Najveća dozvoljena temperatura na provodniku (°C) |
|--|---|
| PVC masa i prirodna guma | 70 |
| Umreženi polietilen i etilen propilen | 90 |
| Mineralna izolacija sa PVC omotačem ili metalnim plaštom, kada se kablovi dodiruju | 70 na omotaču |
| Mineralna izolacija sa metalnim plaštom kada se kablovi ne dodiruju | 105 na izolaciji |

Tablica 3. Najveće dozvoljene temperature izolacije kabla

Režim kratkog spoja: vrši se izbor kabla prema zagrevanju njegove izolacije u režimu kratkog spoja uz uslov da presek kabla proračunat prema formuli:

$$S_{\min} = k \cdot I_t \cdot \sqrt{t}$$

gde je:

I_t - termička struja kratkog spoja na najkritičnijem mestu sa stanovišta zagrevanja kabla - ulasku kabla u Ex zonu

t - vreme delovanja zaštitnog elementa na isključenju struje I_t i

k - konstanta koja zavisi od temperaturne klase eksplozivne atmosfere

bude manji od onog izabranog prema trajno dozvoljenom strujnom opterećenju kabla, dobijenom proračunom prema standardu. Zbog vrlo malih vremena delovanja današnjih zaštitnih uređaja prilikom kratkih spojeva, dužina kabla po pravilu više utiče na prigušenje struje kratkog spoja svojom impedansom, nego što povećava vreme reagovanja zaštitnog uređaja. Bez obzira na to da li je struja kvara 10 ili 15kA (na primer), ta se vremena vrlo malo razlikuju.

Konstanta k ima vrednost kao u tablici 4. Najkritičniji slučaj je opet kombinacija mineralne izolacije (sa metalnim plaštom i kada se kablovi ne dodiruju – dozvoljena temperatura 105°C) i

temperатурне класе експлозивне смеше T6 (temperatura paljenja смеше 85⁰C), па је и константа k тада највећа. Међутим, овде разлог зашто је ова комбинација најкритичнија није исти као у случају номиналног режима рада. Наиме, почетна температура је она из *tablice 3* сведена на уманјено струјно оптерећење од 85 %, док је крајња температура дефинисана температурном класом, а има се у тренутку искључења кvara. Пораст температуре (разлика између крајње и почетне температуре) сада је мањи што је почетна температура већа. С друге стране константа k је обрнуто сразмјерна управо порасту температуре, па је иста већа што је тај пораст мањи, што одговара наведеној најкритичнијој комбинацији.

| Temperатурна класа | Konstanta k |
|--------------------|---------------|
| T1,T2,T3 | 8.7 |
| T4 | 10.1 |
| T5 | 14.3 |
| T6 | 19 |

Tablica 4. Vrednost konstante k

Da bi uslovi proračuna u potpunosti važili, potrebno je da električna otpornost provodnika po jedinici dužine kabla bude u granicama propisane, a nikako veća, jer bi u slučaju nominalnog opterećenja kabla došlo do prekoračenja dozvoljene temperature izolacije, čime bi se pored smanjenja veka trajanja kabla izgubila tačnost izvedenog proračuna i u prvom i u drugom režimu rada (preopterećenje i kratak spoj).

Potrebno je napomenuti da su navedenim proračunima obuhvaćeni svi režimi rada,

uključujući i preopterećenje kod intermitentnog pogona kod motora.

Navedeni uslovi koje proračunati kabl mora da ispuni odnose se na slučaj kada je u pitanju klasičan kablovski sistem. Naime, kablovski razvod vođen u cevnom sistemu (u Americi) predstavlja za kablove Exd sistem zaštite – nepropaljivo kućište, čime za isti nije potrebno vršiti dodatne proračune izdržljivosti.

Napajanje opasnog prostora nadzemnim električnim mrežama treba izbegavati, imajući u vidu zabranu vođenja ovih vodova iznad rezervoara sa zapaljivom tečnošću, magacina sa eksplozivima i sigurnosna rastojanja koja se u ostalim slučajevima moraju zadovoljiti.

U slučaju da kabl ne zadovoljava gornje uslove, potrebno je povećati njegov presek sve do granice kada će ih isti zadovoljiti, što se opet mora proveriti proračunom.

2.3. Izbor instalacione energetske opreme i opreme za automatiku

Kao što je ranije napomenuto, za izbor električnog uređaja neophodno je utvrditi klasifikaciju mesta na kome će se taj uređaj ugraditi i zatim vrstu zapaljivog gasa ili смеше eksplozivne prašine koja ga okružuje (temperатурnu klasu i eksplozivnu grupu). Pri tom se ponekad, gledajući potrošnju samog uređaja, može zaključiti u kojoj se Ex izvedbi uređaj može izvesti. Na primer, nije moguće imati uređaj u Exi_a, Exi_b izvedbi, a da to bude neki iole veći energetska potrošač, jer je kod ovih uređaja princip zaštite u ograničenju energije koja se istom doprema i koja je reda veličine mJ. Uređaji koji su na ovaj način zaštićeni su razni senzori, davači (merni instrumenti) i manji izvršni elementi u polju, tj. oprema za automatiku.

Na osnovu klasifikacije zona opasnosti, razlikuje se primena električnih uređaja:

2.3.1. zona opasnosti 0

U ovoj zoni poželjno je izbjegavati ugradnju električnih uređaja. Ako se to ne može izbeći, mogu se koristiti:

- Exi_a uređaji
- Exd uređaji
- Exe uređaji
- Exp uređaji
- Exe uređaji
- neiskreći uređaji u kućištu "nepropaljivo kućište" sa vijčanim rasporom manjim od MEBZ (vijčani raspor je mjesto gdje se odgovarajuće površine različitih delova nepropaljivog kućišta dodiruju i kroz kroz koje je moguće prenošenje unutrašnje eksplozije na spoljašnju eksplozivnu atmosferu, a koji je oblika vijka)
- zabranjeno je koristiti utikačke naprave i razvodnike.

Napomene vezane za upotrebu sigurnosnih (ili tzv. Zener) barijera prilikom napajanja Exi_{a,b} uređaja: Exi_{a,b} uređaji u stvari predstavljaju elemente koji imaju u sebi kola sa svojstvenom bezbednošću i karakterišu se malom potrošnjom pri kojoj nominalno funkcionišu. Kao zaštitni elementi koji garantuju da energija koja im se doprema nije veća od one koja bi mogla da izazove paljenje eksplozivne smeše, nalaze se Zener barijere (ime su dobile po Zener diodama koje se nalaze u njima i imaju ulogu brzog sprečavanje protoka povećane energije prema prijemniku). One se ugrađuju u posebnim kućištima, što bliže potrošaču koji se nalazi u Ex prostoru ali van granica Ex prostora i uloga im je u ograničenju napona i struja na izlazu na karakteristikama Ex zone specificirane vrednosti, bez obzira da li je u pitanju režim normalnog rada ili kratkog spoja. Razlog za što manje rastojanje potošača u Ex zoni i sigurnosne barijere je akumulisana energija u kablovima koji ih povezuju, koja se javlja kao magnetna energija u induktivnostima kablova. Akumulisana energija u vodovima može da dovede do povećanja nivoa energije koji se doprema uređaju i time neutrališe sigurnosni uticaj barijere. Zato je, bez obzira na njihovu međusobnu udaljenost, potrebno proračunati uticaj kabla na povećanje energije dopremljene uređaju u odnosu na onu propuštenu barijerom.

2.3.2. zona opasnosti 1

U ovoj zoni dozvoljena je upotreba sledećih vrsta zaštite:

- uređaji koji se ugrađuju i u zonu 0
- Exd uređaji
- Exi_a i Exi_b uređaji
- Exm uređaji – kućišta punjena čvrstim materijalima (inkapsulacija)
- Exo uređaji
- Exp uređaji
- Exq uređaji
- zabranjeno je u ovoj zoni postavljati razvodne table i postrojenja napona iznad 1kV.

2.3.3. zona opasnosti 2

U ovoj zoni dozvoljena je upotreba sledećih vrsta zaštite:

- uređaji koji se ugrađuju i u zonu 1 i u zonu 2
- Exp uređaji pod uslovom da postoji signal upozorenja u slučaju pada nadpritiska ispod minimalne propisane vrednosti
- Exn uređaji za zonu 2
- uređaji u normalnoj industrijskoj izvedbi koji u normalnom radu ne iskre, ne varniče i ne zagrevaju se u meri da bi mogli uzrokovati paljenje okolne atmosfere
- zabranjeno je u ovoj zoni postavljati razvodne table i postrojenja napona iznad 1kV.

2.3.4. zona 11, 12 – opasne prašine

U ovoj zoni dozvoljena je upotreba uređaja kod kojih su temperature horizontalnih i/ili površina nagnutih prema horizontali za manje od 60⁰:

- za 75 ⁰C manje od temperature tinjanja zapaljive prašine (tinjavo paljenje je pojava koja ne odgovara niti paljenju u slučaju visoke temperature prašine i granične energije (energije pri kojoj može doći do paljenja) niti paljenju u slučaju velike energije i granične temperature. Pored dovoljne energije i dovoljne temperature, mora biti dovoljna i zapremina prašinate materije koja emituje (koja ima) tu energiju i temperaturu. Temperatura tinjanja je ona temperatura nataložene zapaljive prašine pri kojoj temperatura tog sloja naglo počne da raste. U skladu sa gore rečenim, ova temperatura je zavisna od debljine nataložene prašine).
- najviše 2/3 temperature paljenja izražene u ⁰C uskovitlane prašine (prašinasta zapaljiva atmosfera) uz uslov da prašine nisu podložne tinjanju (prašine koje imaju osobinu da ne tinjaju, već se direktno pale, bez prethodnog tinjanja).

U zoni 11 se mogu primjenjivati i uređaji u zaštiti IP65 za provodljive i IP64 za neprovodljive prašine. U zoni 12 mogu se koristiti uređaji sa zaštitom IP54 koji su neiskreći i IP65 koji su iskreći i kada su u pitanju provodljive prašine. Ako su u zoni 12 u pitanju neprovodljive prašine, tada je dozvoljena upotreba svih tipova uređaja u zaštiti IP54.

Posebna grupa prašina su eksplozivne prašine i za uređaje koji su njima okruženi važe sledeći uslovi:

- mora se sprečiti svako prodiranje prašina eksploziva u kućište električnog uređaja kod kojih postoji mogućnost stvaranja iskre, luka ili nedozvoljene temperature
- temperatura delova uređaja do kojih može da proдре prašina eksploziva može da iznosi najviše 2/3 od temperature paljenja izražene u ⁰C, odnosno od temperature razlaganja eksploziva
- sam uređaj mora da bude takve konstrukcije da je potpuno sprečeno stvaranje elektrostatickih naboja, mehaničke iskre ili zagrevanja kućišta uređaja trenjem.

2.4. Sistemi zaštite od visokih napona dodira

Prilikom kvara električnog uređaja pri kome isti dolazi na odgovarajući napon, tzv. napon dodira, moguće je pored pogubnog dejstva na čoveka u slučaju dodirivanja uređaja u kvaru, izazvati i paljenje eksplozivne smeše, bilo iskrom između delova različitog potencijala, bilo zagrevanjem na mestima većeg podužnog otpora strujama kvara. Na osnovu klasifikacije zona opasnosti, može se napraviti sledeća podela oblasti primenjivanja sistema zaštite u eksplozivnim sredinama:

2.4.1. zona opasnosti 0

- dozvoljena je upotreba isključivo IT sistema. Ovaj sistem pokazuje značajne prednosti u odnosu na sisteme sa direktno uzemljenom mrežom, a glavne su sledeće: mali napon dodira i time manji od napona paljenja i male struje greške i time mogućnost dugotrajnog ispravnog rada u slučaju jednostrukog kvara (pri čemu se prvi kvar signalizira u cilju njegovog što detektovanja i otklanjanja, a time i sprečavanja pojave drugog kvara; za tu namenu je obavezna upotreba kontrolnika izolacije). Mana ovog sistema zaštite je neselektivnost, odnosno nemogućnost detekcije strujnog kola u kome je do kvara došlo.

2.4.2. zona opasnosti 1

- pored IT sistema dozvoljena je upotreba i TT i TN-S sistema uz uslov da se kvar prekida za vreme kraće od 0,1s. Pomenuti sistemi se usvajaju kao moguća mera zaštite od napona dodira u zoni opasnosti 1 jer je procena da je verovatnoća pojave opasnog kvara i postojanja eksplozivne atmosfere mala.

Sistem TN-C zabranjen je u svim zonama opasnosti. Naime, zbog eventualne nesimetrije, tj. neravnomernog opterećenja faza, može se pojaviti struja kroz PEN provodnik, koja na otpornosti ovog provodnika stvara pad napona, koji je opet veći što je zvezdište mreže dalje. Ovaj se napon prenosi na kućišta uređaja priključenih na PEN provodnik. On nije dovoljno velik da izazove posledice po čoveka u slučaju direktnog dodira kućišta, ali se stvara trajna potencijalna razlika u opasnim prostorima, što je neprihvatljivo.

2.4.3. zona opasnosti 2

- pored gornjih sistema zaštite dozvoljena je upotreba i TN-C-S sistema, ali samo ako je razdvajanje PE i N provodnika izvršeno van zone opasnosti i ako je izvršena provera maksimalnog napona koji se može pojaviti na uređaju u slučaju nesimetričnog opterećenja faza. Uz ova dva obavezna uslova, izbegnute su prethodno navedene loše strane TN-C sistema.

U slučaju TN-C-S sistema postoji stalna opasnost od prekida PEN provodnika, jer se kao posledica toga dobijaju fazni naponi na kućištu. Opasnost se smanjuje ako se kablovi kvalitetno polože.

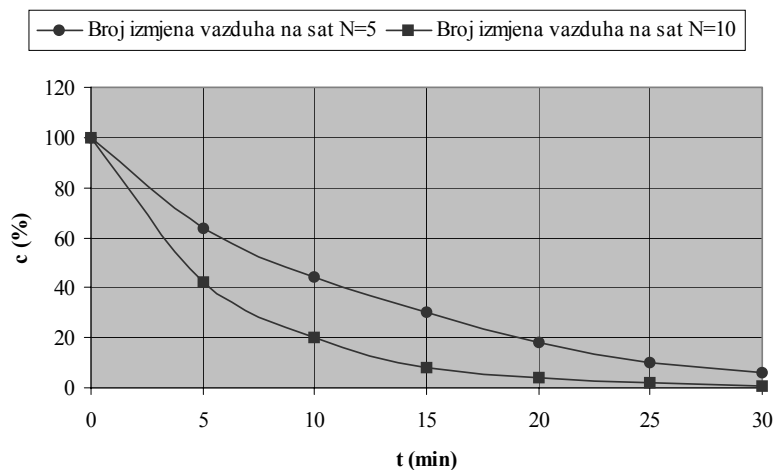
3. VENTILACIJA OPASNOG PROSTORA

Kako je osnov stvaranja eksplozivne atmosfere mešanje opasnih čestica sa vazduhom, jasno je da ventilacija ima vrlo bitnu ulogu u prevenciji stvaranja eksplozivne smeše. Efikasnom ventilacijom postiže se koncentracija eksplozivne materije u vazduhu manja od 10 % DGE, čime se u potpunosti eliminiše opasnost od eksplozije. Primenom ventilacije može se postići potreban broj izmena vazduha u jedinici vremena, pri čemu je težnja na stvaranju podpritiska u kritičnoj prostoriji većom količinom odsisnog u odnosu na potisni vazduh (time se sprečava nekontrolisano širenje eksplozivnih para i prašina).

U sistemu ventilacije eksplozivne atmosfere koncentracija zapaljivih čestica mora biti manja od 50% DGE a temperatura najviše 80% temperature paljenja čestica sa najmanjom temperaturom zapaljivosti.

3.1. Vrste ventilacije

Podelu ventilacije možemo obaviti na osnovu dva kriterijuma, prema načinu izvođenja i načinu kontrole.

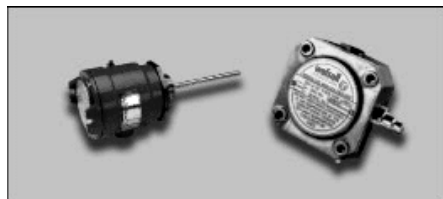


Slika 5. Zavisnost koncentracije eksplozivne materije u vazduhu u odnosu na maksimalnu (početnu) koncentraciju od dužine i intenziteta trajanja ventilacije

Prema načinu izvođenja ventilaciju delimo na prirodnu i veštačku (pojmovi su objašnjeni u tački 1.1). Veštačka ventilacija se deli na opštu i lokalnu, pri čemu opšta podrazumeva kretanje vazduha i njegovu zamenu svežim pomoću ventilatora na čitavom prostoru, dok je lokalna ona koja obavlja istu funkciju na isti način, ali ograničena na pojedinačni izvor ispuštanja ili usko područje.

Prema načinu kontrole, ventilaciju delimo na nadgledanu i kontrolisanu. Nadgledana ventilacija je ona za koju se kaže da ima kontaktorsku kontrolu i time nema pravih kontrolnih elemenata. To praktično znači da mi nemamo tačnu informaciju o stanju protoka u mašinskom kanalu (tj. statusu ventilacije) i time adekvatnu blokadu rada odgovarajućih električnih potrošača, a emisija opasnih materija može još uvek biti prisutna. Reperni element o statusu ventilacije je kontaktor za uključenje/isključenje odgovarajućeg ventilatora, koji opet predstavlja izvršni element čije nam stanje govori samo o tome da je naredba upućena ali ne i izvršena.

Kontrolisana ventilacija ima kontrolne uređaje koji daju uslov za odvijanje tehnološkog procesa koji generiše eksplozivne materije preko uslova dovođenja napona tim ili susjednim tehnološkim potrošačima (onim koji nisu generatori eksplozivne materije, ali se mogu nalaziti u Ex zoni koju je stvorio njemu susjedni tehnološki potrošač). Kontrolni uređaji po svojoj prirodi imaju tačnu informaciju o statusu ventilacije. Oni mogu biti merači protoka (diferencijalnog pritiska), mehaničke klapne koje direktno govore o postojanju protoka u mašinskom kanalu, itd. Nestanak ventilacije (koji se ne mora desiti samo zbog isključenja motora ventilatora) prouzrokuje automatsko isključenje procesa i ukidanje napona odgovarajućim elektro uređajima. Razlika u odnosu na nadgledanu ventilaciju je u tome što je naredba za prestanak napajanja pojedinih grupa električnih potrošača došla na osnovu stvarnog prekida toka vazduha, u odnosu na slučaj kada naredba dolazi na osnovu isključenja ventilatora (nadgledana ventilacija) što nije jedini uzrok zbog koga može prestati ventilacija.



Slika 6. Termostati u Ex izvedbi za kontrolu temperature u ventilacionom kanalu

Komparativnim pregledom osobina nadgledane i kontrolisane ventilacije, jasno je da nadgledana ventilacija nije dovoljno pouzdana, te zbog toga malo utiče na smanjenje opasnosti jer ne smanjuje vjerovatnoću pojave Ex zone ispod dozvoljene.

3.2. Upravljanje ventilacijom i povezanost rada električnih potrošača i rada ventilacije

Prilikom izrade elaborata o zonama opasnosti određuje se dispozicija i tip Ex zone kada radi ventilacija, čime se uslovljava dispozicija i tip električnih potrošača koji se u njoj postavljaju. Ti potrošači moraju biti u odgovarajućoj Ex izvedbi, dok potrošači koji se ne nalaze u Ex zoni kada radi ventilacija ne moraju. Za ove poslednje predviđena je, međutim, blokada rada u slučaju kada ventilacija ne radi, i to ukidanjem napona napajanja. Razlog za ovo leži u činjenici da po prestanku ventilacije prvobitno određena zona opasnosti može vrlo lako da se proširi i na one delove prostorije u kojima se nalaze potrošači koji nisu u Ex izvedbi, čime bi oni, ako ostanu pod naponom, mogli izazvati paljenje eksplozivne atmosfere. Štaviše, u slučaju prestanka ventilacije preporučuje se blokada dovoda napon i onih potrošača koji su u Ex izvedbi, jer je teško proceniti da li je prestankom ventilacije Ex zona promjenila svoj kvalitet (tip) i prešla npr. iz zone 2 u zonu 1, čime odgovarajuća Ex izvedba uređaja više ne mora biti zadovoljavajuća.

Kako je čest slučaj da se tehnološki proces koji generiše eksplozivnu materiju odvija u popodnevnim i noćnim časovima (kada radi osvetljenje) i da istovremeno imamo zahtev iz Elaborata o zonama opasnosti da se u slučaju nestanka ventilacije isto isključi, postavlja se pitanje kako će zatečena službena lica bezbedno izaći iz Ex prostorije. Zato je potrebno ili vremenski zategnuti isključivanje svetla u slučaju nestanka ventilacije ili ostaviti pod naponom onoliko svetiljki koliko je potrebno za izlazak iz prostorije ili hitne intervencije. Pri tome, za svetiljke koje ostaju uključene se mora vrlo pažljivo odrediti stepen zaštite tj. Ex izvedba.

Rad sistema za ventilaciju možemo vremenski podeliti u nekoliko segmenata:

- predventilacija, sa preuključenjem odsisnog u odnosu na potisni ventilator
- radni režim ventilacije
- postventilacija
- planiran prekid rada ventilacije (po završetku trajanja tehnološkog procesa – generatora Ex atmosfere)
- neplanirani prekidi rada ventilacije (u toku trajanja tehnološkog procesa – generatora Ex atmosfere)



Slika 7. Motorno zaštitni prekidač (za pokretanje ventilatora) u Ex izvedbi sa mernim instrumentom – ampermetrom

Bez obzira da li je u pitanju nadgledana ili kontrolisana ventilacija, potrebno je izvršiti predventilaciju Ex prostora pre dovođenja napona napajanja potrošačima u njoj, čak prema onome malopre rečenom, ne vodeći računa da li je potrošač u Ex izvedbi ili ne.

Predventilacija je obavezna u trajanju dovoljnom za minimum 5 izmena vazduha u prostoriji. Ovim se svi zaostaci Ex atmosfere koji su zatečeni u prostoriji izbace iz iste i obezbedi bezbedan start električnih potrošača. Poželjno je par minuta pre uključenja potisnog ventilatora uključiti odsisni ventilator (vremensko zatezanje zavisi od kapaciteta odsisnog ventilatora da se ne bi stvorio prevelik podpritisk i niska temperatura u prostoriji), kako bi se Ex koncentrat odsisao pre nego li se rasprši potisnim ventilatorom.

Ako su u pitanju lako zapaljive materije i njihovo intenzivno generisanje, poželjno je prilikom planiranog zaustavljanja tehnološkog procesa ostaviti ventilaciju da radi još neko vreme (bez obzira što ponovnom uključenju tehnološkog procesa mora predhoditi predventilacija), da bi se ovom "postventilacijom" eliminisao prodor Ex atmosfere u druge delove objekta mašinskim kanalima ili šupljinama između prostorija. Postventilaciju je moguće izbeći ako se nakon planiranog isključenja ventilacije, tehnološkim uslovima ograniči izvor Ex sredine od daljnjeg isparavanja (curenja) u količinama koje su dovoljne za postizanje koncentracije od 10% DGE.

U slučaju neplaniranog nestanka ventilacije, svim potrošačima bi trebali ukinuti napon, mada se u dogovoru sa projektantom za izradu Ex elaborata može usvojiti da im se napon ne ukida ako je prekid ventilacije bio kratkotrajan (par desetina sekundi, što opet zavisi od tipa i rasprostranjenosti Ex zone) ili da im se napon ukine ali se ne predviđa predventilacija prostorije kao predušlov za ponovno uključenje potrošača, opet uz isti uslov – da je prekid ventilacije bio kratkotrajan.

U slučaju ako ne radi ventilacija, (bez obzira da li je u pitanju planirani ili neplanirani prekid) i samim tim i proces koji stvara eksplozivnu atmosferu, potrebno je imati blokadni element koji ukida vezu trenutno ugašenog klimatizacionog sistema koji ventilira kritičnu prostoriju i ostatka klimatizacionog sistema čitavog objekta, čime se eliminiše eventualni prenos onoga što je ostalo od eksplozivne atmosfere preko mašinskih kanala u kritične delove ventilacionog sistema ili čak u druge prostorije. Takav element je tzv. diht klapna, koja se izrađuje ili na mehaničkom ili na električnom principu (ima sopstveni motorni pogon).

U savremenim objektima, posao nadzora i upravljanja celokupnim sistemom ventilacije i klimatizacije (uključujući i segment elektromotornog pogona i segment automatike rada termotehničkih potrošača), pa i delovima elektroenergetskog sistema objekta (distribucija električne energije, osvetljenje) se prepušta mikroprocesorskim regulatorima, koji software-ski, koristeći prednosti direktne digitalne regulacije zamenjuju relejni princip kontrole i upravljanja.



Slika 8. Mikroprocesorski regulator u Ex_i izvedbi za nadzor i upravljanje klimatizacionog sistema zaduženog za ventilaciju Ex prostora

Međutim, kao i u slučaju požara kao havarijskog stanja, nije dozvoljena samo software-ska obrada signala blokade i vremenskog zatezanja pojedinih sistema (električnih potrošača) u Ex prostorima, već se sve mora odraditi hardware-ski (tj. relejno). Ovo je sadržano u našim propisima za protivpožarnu i protiveksplozivnu zaštitu, a posledica je nepoverenja u mikroprocesorsku programibilnu tehniku, odnosno uverenja da su rešenja sa relejnom logikom sigurnija. Software-ska blokada je poželjna ali samo kao redundantna onoj obaveznoj – hardware-skoj.

3.3. Dispozicija instalacione opreme u zavisnosti od karakteristika Ex zone i ventilacije

Karakteristike Ex zone predstavljaju vrstu eksplozivnog gasa ili prašine a time i temperaturnu klasu i grupu, s tim da se iz podatka o vrsti eksplozivne supstance izvlači i njena specifična težina. Ovo je jako bitno da bi se procenilo u kom se delu prostorije, gledano visinski, nalazi najveća koncentracija eksplozivne atmosfere. Znajući ovaj podatak i znajući gdje se tačno nalazi fizički izvor Ex gasa, pare ili prašine, utvrđuje se dispozicija potisnih i odsisnih rešetki za cirkulaciju vazduha, električnih svetiljki, sklopki za svetlo, razvodnih kutija, trasa kablova i eventualno nekih električnih potrošača koji su uključeni u tehnološki proces a ne predstavljaju izvor Ex atmosfere.

Rastojanje između otvora za izbacivanje vazduha sa prisustvom eksplozivne materije i otvora za usis svežeg vazduha za sisteme klimatizacije mora da bude takvo da se onemogućí povratak izbačenih opasnih čestica nazad u objekat. Ovo rastojanje ne sme biti manje od 15m po horizontali i 6m po vertikali. Oko otvora za izbacivanje eksplozivne smeše i vazduha ne sme da se nalazi nikakav izvor paljenja u krugu prečnika 50 puta prečnika tog otvora za odsis. Povezivanja klimatizacionih kanala koji služe za lokalni odsis i glavnih klimatizacionih kanala (koji mogu biti fizički povezani iako elementi u njima ne moraju biti funkcionalno u vezi), u slučaju kada se jednim od njih ventilira ugroženi prostor a drugim ne, ili kada se i lokalnim odsisom i glavnim kanalom ventilira ugroženi prostor ali različitih karakteristika (tj. različitih zona opasnosti), nije dozvoljeno.

Izbor ventilatora za prinudnu ventilaciju često je predmet dogovora projektanata i mašinskih i elektro-instalacija, i to kako njegovog tipa, tako i njegove dispozicije. Kada se isti upotrebljavaju u eksplozivnim prostorima ne smeju biti uzročnici paljenja pregrevanjem, električnim i mehaničkim uzrocima. Upotreba ventilatora u zoni opasnosti 0 se izbegava, a ako je to neizbežno, ventilator mora da ima odgovarajući atest. Strujno kolo ventilatora bi trebalo da ima dobru i brzu zaštitu u vidu motorno-zaštitnog prekidača novije generacije.

Za projektanta električnih instalacija posebno je bitan dispozicioni odnos završetaka mašinskih kanala sa ogovarajućim rešetkama i svetiljki i sklopki za svetlo. Ako bi se kojim slučajem desilo da glavna struja vazduha kojom se ventilira kritična prostorija (i koja samim tim sadrži dovoljno opasnu koncentraciju Ex čestica) prelazi preko pomenutih električnih elemenata instalacije, a da oni nisu predviđeni u Ex izvedbi, direktno se ugrožava sigurnost same instalacije i njenog korisnika. Naime, projektant koji izrađuje elaborat o Ex zonama određuje dispoziciju i tip Ex zone **kada radi ventilacija** pa se može desiti da svetiljke i sklopke za svetlo ne zalaze u elaboratom određene zone i time ne moraju biti u Ex izvedbi. Međutim, projektant mašinskih instalacija može, uled nedovoljne koordinacije između projekata, postaviti usisno/odsisna mesta (rešetke) tako da se desi slučaj opisan gore. Ovo je još jedan pokazatelj da su Elaborat o zonama opasnosti sa jedne strane i projekat električnih i mašinskih instalacija sa druge strane uzročno posljedično povezani i da se ni prilikom izrade ni prilikom analize ne mogu posmatrati kao odvojene celine.

4. ZAKLJUČAK

Eksplozije su česti uzročnici požara, havarija u tehnološkom procesu i obimnih materijalnih šteta kao i gubitka ljudskih života. Zato je potrebno pokloniti veliku pažnju izradi projekata, pogotovo onih za energetiku i automatiku, jer elementi koji su njima predviđeni po prirodi svoje funkcije i konstrukcije predstavljaju moguće izazivače eksplozija. Sam proces projektovanja instalacija energetike i automatike treba da bude maksimalno koordinisan sa izradom i primenom Elaborata o zonama opasnosti i izradom mašinskog projekta, treba da sadrži detaljna uputstva o vrsti i tipu izabrane opreme, načinu njene ugradnje, kao i spisak tehnoloških

mera koji treba da svede rizik korišćenja prostorija sa Ex atmosferom na minimum. Kao odgovornost izvođača radova nameće se ispravno izvođenje instalacije, a kao odgovornost korisnika njeno pravilno korišćenje i održavanje.

5. PRILOZI

| Назив гаса | Запремински % гаса у смеши са ваздухом | | Разлика између граница |
|----------------|--|---------------|------------------------|
| | Доња граница | Горња граница | |
| Метан | 5,3 | 15 | 9,7 |
| Ацетилен | 2,5 | 81 | 78,5 |
| Етилен | 2,8 | 28,6 | 25,8 |
| Етан | 3,0 | 12,5 | 9,5 |
| Пропилен | 2,4 | 10,3 | 7,9 |
| n-бутан | 1,9 | 8,5 | 6,6 |
| n-пентан | 1,4 | 7,8 | 6,4 |
| Водоник | 4,1 | 74,6 | 70,2 |
| Угљен-моноксид | 12,5 | 74,2 | 61,7 |
| Водени гас | 6,2 | 72 | 65,8 |
| Природни гас | 4,5 | 17 | 12,5 |

... садржаја влаге и хемијског састава.

У зависности од максималне брзине пораста притиска, врши се и посебна класификација прашина (тестирање прашина у затвореном суду). Производ запремине V и максималне брзине пораста притиска (dp/dz) изражава се тада преко релације

$$K_{st} = V^{1/3} \times (dp / dz)_{max} (\text{barms}^{-1})$$

Према овако добијеној вредности за K_{st} , прашине делимо у класе, према табели 12.

| Класа прашине | $K_{st}(\text{barms}^{-1})$ |
|---------------|-----------------------------|
| 1 | ≤ 100 |
| 2 | 100-200 |
| 3 | > 200 |

Карактеристике неких прашина приказане су у табели до:

| Врста површине | Температура паљења облака (°C) | Минимална енергија искре за паљење облака (mJ) | Максимални притисци (10 ³ bar) | Брзина пораста притиска (10 ³ bar/s) | | Класа прашина |
|---------------------------------|--------------------------------|--|---|---|-------------|---------------|
| | | | | Про-сечна | Макси-мална | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Пољопривредни производи: | | | | | | |
| Какао | 420 | 100 | 430 | 4000 | 8000 | 1 |
| Кафа | 410 | 160 | 340 | 1000 | 2000 | 1 |
| Декстрин | 400 | 40 | 720 | 12000 | 48000 | 2 |
| Сојино брашно | 540 | 50 | 460 | - | 20300 | 1 |
| Шећерна прашина | 350 | 30 | 620 | 11000 | 34000 | 1 |
| Житна прашина | 430 | 30 | 660 | 7000 | 19000 | 1 |
| Кукурузни скроб | 380 | 30-40 | 760 | 15000 | 47000 | 2 |
| Пластичне масе: | | | | | | |
| Целулозни ацетат | 320 | 10-15 | 760 | 19000 | 47000 | 1 |
| Метил целулоза | 360 | 20 | 690 | 13000 | 41000 | 1 |
| Метил метакрилат | 440 | 15-20 | 690 | 3000 | 12000 | 1 |
| Фенол формалдехидне смоле | 460 | 10-15 | 550 | 12000 | 41000 | 1 |
| Полиамид | 500 | 20 | 620 | 12000 | 48000 | 1 |
| Полистирол | 490 | 15 | 620 | 17000 | 48000 | 1 |
| Полиуретани | 450 | 80 | 590 | 6000 | 14000 | 1 |
| Метали: | | | | | | |
| Алуминијум атомизирани | 640 | 15 | 620 | 24000 | 69000 | 3 |
| Алуминијум млевен | 550 | 80 | 480 | 14000 | 29000 | 1 |

| Величина честица (µm) | Минимална енергија паљења(mJ) |
|-----------------------|-------------------------------|
| 710 - 1680 | >5000 |
| 355 - 709 | 250 - 500 |
| 180 - 354 | 50 - 250 |
| 105 - 179 | <10 |
| 53 - 104 | <10 |
| 5 | <10 |

Табела 53. Зависности минималне енергије паљења од величине честица прашина