

*Elektrotehnički fakultet
Univerzitet u Beogradu*

SEMINARSKI RAD

*Tema: Problematika projektovanja instalacija
elektroenergetike i automatike u Ex prostorima*

Student: Marković Zoran, dipl.el.inž.

Mentor: prof. dr. Zoran Radaković

Beograd, 2003

SADRŽAJ

	strana
1. UVOD	1
1.1. Osnovne definicije i pojmovi	1
1.2. Klasifikacija zona opasnosti.....	2
1.3. Klasifikacija protiveksplozivno zaštićenih električnih uređaja.....	3
1.4. Kratak pregled izazivača eksplozija.....	4
1.5. Klasifikacija eksplozivnih smješa.....	5
2. OSNOVNI PRINCIPI PROJEKTOVANJA ELEKTRIČNIH INSTALACIJA U Ex PROSTORIMA.....	6
2.1. Izbor komutaciono-zaštitne opreme.....	7
2.2. Izbor, proračun i način vođenja kablova.....	8
2.3. Izbor instalacione energetske opreme i opreme za automatiku.....	9
2.4. Sistemi zaštite od visokih napona dodira.....	12
3. VENTILACIJA OPASNOG PROSTORA.....	13
3.1. Vrste ventilacije	13
3.2. Upravljanje ventilacijom i povezanost rada električnih potrošača i rada ventilacije.....	14
3.3. Dispozicija instalacione opreme u zavisnosti od karakteristika Ex zone i ventilacije.....	16
4. ZAKLJUČAK.....	18
5. PREGLED JUGOSLOVENSКИH STANDARDA KOJI DETALJNO ODREĐUJU PROJEKTOVANJE INSTALACIJA ENERGETIKE I AUTOMATIKE U EX PROSTORIMA.....	19
6. LITERATURA	22

1. UVOD

PROJEKTOVANJE instalacija elektroenergetike 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 zahtijevna inženjerska procedura, sa visokim stepenom odgovornosti.

Tekst pred Vama ima za cilj priplizavanje problematike projektovanja kada su u pitanju Ex prostori i to za instalacije energetike do naponskog nivoa 20kV i automatike rada klimatizacionih sistema i sa njima vezanih tehnoloških procesa.

U projektovanju i upotrebi ovakvih vrsta instalacija, često se sreće termin "distribuirana odgovornost", koji naglašava da odgovornost za pravilan i bezbjedan 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.

Da bi se izložena materija mogla razumijeti, potrebno je definisati neke osnovne pojmove. U propisima i naučnoj literaturi navedene definicije su manje-više međusobno usklađene, pa se mogu usvojiti kao postulati za dalje proučavanje ove oblasti. Terminologija je u skladu sa odredbama IEC 50/1990 ali i JUS N.S8.XXX propisima.

1.1 Osnovne definicije i pojmovi

- **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 mjere koje se primjenjuju na električnom uređaju kako bi se spriječilo paljenje okolne eksplozivne atmosfere.
- **Grupa protiveksplozivno zaštićenog električnog uređaja** – klasifikacija električnih uređaja prema eksplozivnoj atmosferi za koju su namijenjeni (mjestu upotrebe):
 - I. Grupa 1 – električni uređaji za rudnike u kojima se javlja metan
 - II. Grupa 2 - električni uređaji za sva ostala mjesta (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 dijelu 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 zagrijane površine na kojoj, pri posebnim uslovima, nastaje paljenje stehiometrijske smješe zapaljive materije u obliku gasova, para i vazduha.
- **Temperatura stvaranja zapaljive eksplozivne smješe (temperatura zapaljivosti)** – najniža temperatura tečnosti na kojoj, u određenim standardizovanim uslovima, ta tečnost isparava u količini koja je dovoljna da obrazuje zapaljivu smještu pare sa vazduhom.
- **Donja granica eksplozivnosti (DGE)** – najmanja koncentracija zapaljivog gasa, pare ili magle pri kojoj još uvijek postoje uslovi za eksploziju ili sagorijevanje.
- **Gornja granica eksplozivnosti (GGE)** – najveća koncentracija zapaljivog gasa, pare ili magle pri kojoj još uvijek postoje uslovi za eksploziju ili sagorijevanje.
- **Maksimalni eksperimentalni bezbjedonosni zazor (MEBZ)** – maksimalni zazor u spoju između dva dijela unutrašnje komore ispitnog uređaja koji kada se unutrašnja smješa gasova zapali, u specificiranim uslovima sprečava paljenje spoljnje smješe 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 vještački izazvana varnica električne prirode u iskrištu koje je dio pomenutog strujnog kola). Vrijednost 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 zahtijeva posebne mjere za izradu, instaliranje i upotrebu električnih uređaja.
- **Bezopasni prostor** - prostor u kome se ne očekuje pojava eksplozivne gasovite atmosfere u tolikoj količini, koja zahtijeva posebne mjere za izradu, instaliranje i upotrebu električnih uređaja.
- **Prirodna ventilacija** – kretanje vazduha pod dejstvom vjetera ili temperaturnog gradijenta i njegova zamijena svježim vazduhom.
- **Opšta vještačka ventilacija** – kretanje vazduha po cijelom prostoru pod dejstvom vještačkih sredstava (ventilatora) i njegova zamijena svježim vazduhom
- **Lokalna vještačka ventilacija** - kretanje vazduha u oblasti pojedinog izvora opasnosti ili na lokalnom prostoru pod dejstvom vještačkih sredstava (ventilatora) i njegova zamijena svježim vazduhom.

1.2 Klasifikacija zona opasnosti

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

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

Prije klasifikovanja zone opasnosti, potrebno je utvrditi ili ocijeniti:

- 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 vjetera.

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 smješe, prisustva ventilacije itd.. Time male promjene ovih uslova mogu izazvati bitne promjene 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 "d" (neprodorni oklop)** – tip uređaja kod koga je kućište u stanju da izdrži unutrašnju eksploziju zapaljive smješe koja je prodrla u unutrašnjost kućišta, bez oštećenja i bez izazivanja paljenja spoljnje eksplozivne atmosfere, kroz bilo koje spojeve ili otvore na kućištu (ulazak eksplozivne atmosfere iz okoline u kućište uređaja je uvijek u manjoj ili većoj mjeri moguće. Kod neprodornog oklopa komponenta je napravljena tako da i u slučaju da dođe do unutrašnje eksplozije, ne dođe do spoljnje eksplozije. To kod drugih tipova komponenti naprijed navedenih nije slučaj, jer mjere 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 mjerama te komponente spriječi 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 smješe veća je i opasnost da ona u opasnoj količini proдре u kućište uređaja (čak ne i linearna)).
- **Punjenje pijeskom "q"** - tip uređaja kod koga je kućište napunjeno pijeskom ili nekim drugim praškastim materijalom sa specificiranim karakteristikama, tako da je isto u stanju da spriječi da bilo koji električni luk ili visoka temperatura nastala u kućištu izazove eksploziju zapaljive spoljnje eksplozivne atmosfere.
- **Potapanje u ulje "o"** – tip uređaja koji je cio ili u pojedinim djelovima 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 "n"** – tip uređaja koji ima osobinu da ne varniči u normalnom pogonu i da je hermetički zatvoren (non-sparking, hermetically-sealed), pri čemu je stepen zaštite manji od zaštite povećana bezbijednost "e".



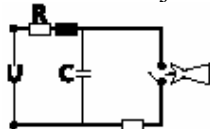
- **Povećana bezbijednost "e"** - tip uređaja kod koga se primjenjuju dodatne mjere, tako da isti ima povećanu bezbijednost od mogućnosti povećanja temperature i pojave luka ili varnice unutar i na spoljnjim dijelovima uređaja koji u normalnom pogonu ne stvara lukove i varnice. Za ove uređaje definiše se i granična temperatura T_E i vrijeme t_E (temperatura T_E je maksimalna dozvoljena temperatura uređaja ili dijela uređaja koja je jednaka nižoj od dvije temperature koje su određene:

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

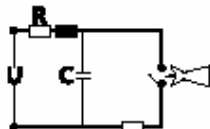
vrijeme t_E je vrijeme u kom se namotaj motora naizmjenične struje pri direktnom puštanju u rad (polasku) zagrije od temperature koju dostiže pri nominalnom opterećenju i pri maksimalnoj temperaturi okoline do granične temperature.



- **Povećan pritisak "p" (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.



- **Električni uređaj "i_a"** – uređaj sa svojstvenom bezbijednošću koji ne može da izazove paljenje eksplozivne atmosfere u normalnom radu, sa pojavom jednog kvara ili sa bilo kojom kombinacijom dva kvara.



- **Električni uređaj "i_b"** – uređaj sa svojstvenom bezbijednošću koji ne može da izazove paljenje eksplozivne atmosfere u normalnom radu, ni u slučaju pojave jednog kvara (u označavanju, razlika između i_a i i_b tipa uređaja je u dodavanju slovne oznake posle grafičke oznake).

Napomena: kola sa svojstvenom bezbijednošću – samosigurnost su ona u kojima ni jedna varnica niti termička pojava, izazvane u normalnom radu ili u specificiranim uslovima kvara, nisu u stanju da u propisanim ispitnim uslovima izazovu paljenje datih gasova ili para, zbog niskih energija.

- **Bezbedonosna (zaštitna) barijera** – naprava kojom se ograničava energetska izlaz iz barijere, dakle ograničava napon i/ili struja do nivoa kada nije moguće izazivanje paljenja. Na taj način kolo priključeno na izlaz barijere postaje kolo sa svojstvenom bezbijednošću, pri čemu se moraju ispuniti uslovi u pogledu preseka i dužine strujnog kola i karakteristika prijemnika dati u tehničkim specifikacijama barijere.
- **Inkapsulirani uređaji "m"** – potencijalni uzročnici eksplozije u uređaju su potpuno inkapsulirani čvrstim materijalom.



Slika 1. Fluoroscentna 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 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 podijeliti na one koji se dešavaju unutar električnih uređaja i na one koji se dešavaju u samoj električnoj mreži.

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

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

1.5 Klasifikacija eksplozivnih smješa

Kao eksplozivne smješe koje mogu uzazvati eksploziju razlikujemo:

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

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

- zonu višeg stepena zaprašenosti – zona 11 (prostor u kome se nalazi ili povremeno očekuje zaprašenost veća od 20% koncentracije unaprijed 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 miješanja 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, karakterisane parametrima kojima se karakterišu uređaji sa vrstama zaštite: prema maksimalnom eksperimentalnom bezbijedonosnom zazoru (MEBZ) za **nepropaljivo kućište "d" (neprodorni oklop)** i prema minimalnoj struji paljenja (MSP) za **svojstvenu bezbijednost "i"**. U *tabeli 1.* data je podjela zapaljivih gasova i para na grupe u zavisnosti od vrijednosti 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. Podijela 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 vrijednost od 40⁰ C (ako nije drukčije definisano), dozvoljene nadtemperature uređaja dobijaju se umanjnjem graničnih temperatura za tih 40⁰ C.

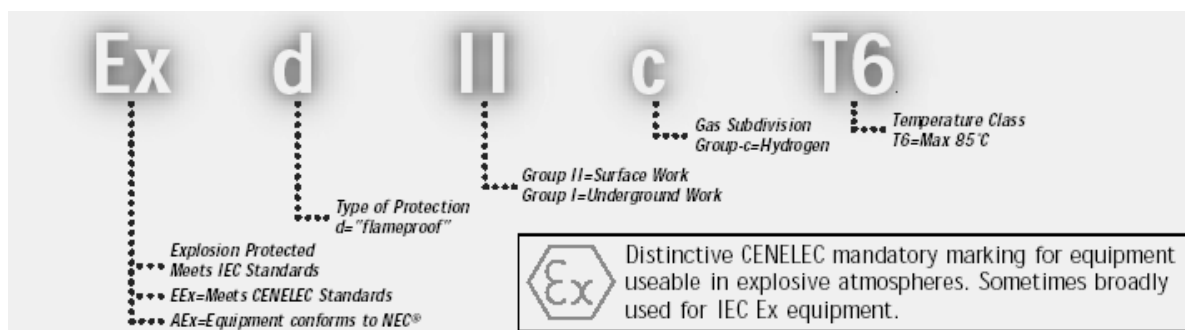
Temperaturna klasa	Temperatura paljenja
T1	>450°C
T2	300°C-450°C
T3	200°C-300°C
T4	135°C-200°C
T5	100°C-135°C
T6	85°C-100°C

Tablica 2. Podijela zapaljivih gasova i para na temperaturne klase

Navedene podijele 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 bezbjednost korisnika. Elaborat o Ex zonama mora da, između ostalog, sadrži:

- detaljan projektni zadatak sa svim potrebnim ulaznim podacima

- određivanje vrste materije koja čini eksplozivnu smjesu, kao i definisanje vremena njene pojave i njene koncentracije
- detaljan proračun rasprostranjenosti i kvaliteta Ex zona u zavisnosti od vrste eksplozivne smješe
- crteže rasporeda i vrste Ex zona
- predloge i uputstva za ponašanje osoblja u ugroženim prostorijama, uputstva projektantima mašinskih i elektro instalacija radi obezbjeđivanja sigurnog rada osoblja i kvalitetnog funkcionisanja opreme (sa smjernicama 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 smještaju direktno u opasni prostor i time moraju biti u odgovarajućoj Ex izvedbi. Zadovoljenje ovog uslova predstavlja samo djelimični, ali ne i potpuni nivo zaštite od havarije. Potrebno je razmotriti cjelokupan sistem zaštite: električni izvor – mreža – uređaj.

2.1. Izbor komutaciono-zaštitne opreme

Prevažodno se misli na izbor komutaciono-zaštitnih elemenata koji se ne nalaze u opasnom prostoru. Drugim riječima, treba izbjegavati 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 čovjeka u istom (ako se želi uključivanje/isključivanje nekog elektroenergetskog potrošača), što i bez obzira na Ex izvedbu uređaja predstavlja izvjestan rizik.

Samim izborom komutaciono-zaštitne opreme mogu se, međutim, smanjiti rizici od pregrijavanja 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 zagrije iznad granice koja može izazvati paljenje odgovarajuće eksplozivne smješe).

Prilikom izbora komutaciono-zaštitne opreme mora se voditi računa da se ista upotrebljava samo u granicama njenih nominalnih vrijednosti – snage, napona, struje, frekvencije, vrste pogona itd. Takođe, jako je bitno uzeti u obzir ambijentalne uslove ugradnje (nadmorsku visinu i temperaturu) jer promjena istih u odnosu na one navedene u specifikaciji uređaja skoro uvijek 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 motorski zaštitni prekidači, glavni (distributivni) prekidači, MCCB (moulded case circuit breaker) 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 pregrijavanja izolacije kabla. 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 zagrijavanje kabla 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 vrijeme dijelovanja 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, spriječiti njegov ispad prilikom polaska, opet izborom krive prekidanja
- smanjiti struju kratkog spoja koju kablovi moraju da izdrže i time spriječiti pregrijavanje njihove izolacije, što bi moglo dovesti do toga da maksimalna temperatura površine kabla bude veća od temperature paljenja odgovarajuće eksplozivne smješe.

2.2. Izbor, proračun i način vođenja kablova

Sa stanovišta upotrebe kablova u Ex prostorima dijelimo ih u dvije 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 kabla koji će se položiti čitav ili dijelom u Ex prostoru, uz ocijenu vjerovatnoće kvara i činjenicu da se u normalnom pogonu kablovi ne zagrijevaju prekomijerno, ne izazivaju iskre i varnice niti električni luk, je princip povećana bezbjednost. Imajući to u vidu, potrebno je:

- ograničiti zagrijavanje kablova u bilo kom režimu rada
- obezbijediti pouzdan nivo izolacije
- obezbijediti 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 zagrijavanje kabla u dva karakteristična režima rada:

1. normalan režim rada
2. režim kratkog spoja

Normalan režim rada: vrši se izbor kabla prema zagrijavanju 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 presijeka 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 105⁰C) i eksplozivne materije temperaturne klase T6 (temperatura paljenja 85⁰C), pa smanjenju nivoa zagrijavanja kabla na temperaturu ispod 85⁰C 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 zagrijavanju njegove izolacije u režimu kratkog spoja uz uslov da presijek kabla proračunat prema formuli:

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

bude manji od onog izabranog prema trajno dozvoljenom strujnom opterećenju kabla, dobijenom proračunom prema standardu.

(gdje je I_t - termička struja kratkog spoja na najkritičnijem mjestu sa stanovišta zagrijavanja kabla - ulasku kabla u Ex zonu (zbog vrlo malih vremena djelovanja današnjih zaštitnih uređaja prilikom kratkih spojeva, dužina kabla po pravilu više utiče na prigušenje struje kratkog spoja svojom impedansom, nego što povećava vrijeme reagovanja zaštitnog uređaja (zbog dužeg vremena reakcije istog na manju struju kratkog spoja – koja je manja jer je mjesto izbijanja kratkog spoja udaljenije od početka kabla) jer su ta vremena danas, za struje kratkih spojeva koje su uvijek reda makar nekoliko kA, vrlo kratka (pogotovo ako su u pitanju zaštitni uređaji koji imaju elektronske elemente kao okidače) i samim tim, bez obzira na to da li je struja kvara 10 ili 15kA (na primjer, ta se vremena vrlo malo razlikuju), t - vrijeme djelovanja zaštitnog elementa na isključenju struje I_t i k konstanta koja zavisi od temperaturne klase eksplozivne atmosfere)

Konstanta k ima vrijednost kao u *tablici 4*. Najkritičniji slučaj je opet kombinacija mineralne izolacije (sa metalnim plaštom i kada se kablovi ne dodiruju – dozvoljena temperatura 105⁰C) i temperaturne klase eksplozivne smješe T6 (temperatura paljenja smješe 85⁰C), pa je i konstanta k tada najveća. Međutim, ovdje razlog zašto je ova kombinacija najkritičnija nije isti kao u slučaju nominalnog režima rada. Naime, početna temperatura je ona iz *tablice 3* svedena na umanjeno strujno opterećenje od 85 %, dok je krajnja temperatura definisana temperaturnom klasom, a ima se u trenutku isključenja kvara. Porast temperature (razlika između krajnje i početne temperature) sada je manji što je početna temperatura veća. S druge strane konstanta k je obrnuto srazmjerna upravo porastu temperature, pa je ista veća što je taj porast manji, što odgovara navedenoj najkritičnijoj kombinaciji.

Temperaturna klasa	Konstanta k
T1, T2, T3	8.7
T4	10.1
T5	14.3
T6	19

Tablica 4. Vrijednost 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 vijeka 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 cijevnom (conduit) 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 izbjegavati, 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 presijek sve do granice kada će ih isti zadovoljiti, što se opet mora provjeriti proračunom.

2.3. Izbor instalacione energetske opreme i opreme za automatiku

Kao što je ranije napomenuto, za izbor električnog uređaja neophodno je utvrditi klasifikaciju mjesta na kom će se taj uređaj ugraditi i zatim vrstu zapaljivog gasa ili smješe eksplozivne prašine koja ga okružuje (temperaturnu klasu i eksplozivnu grupu). Pri tom se ponekad, gledajući potrošnju samog uređaja, može zaključiti u kojoj se Ex izvedbi dotični može izvesti. Na primjer,

nije moguće imati uređaj u Exia,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 (mjerni instrumenti) i manji izvršni elementi u polju, tj. oprema za automatiku.

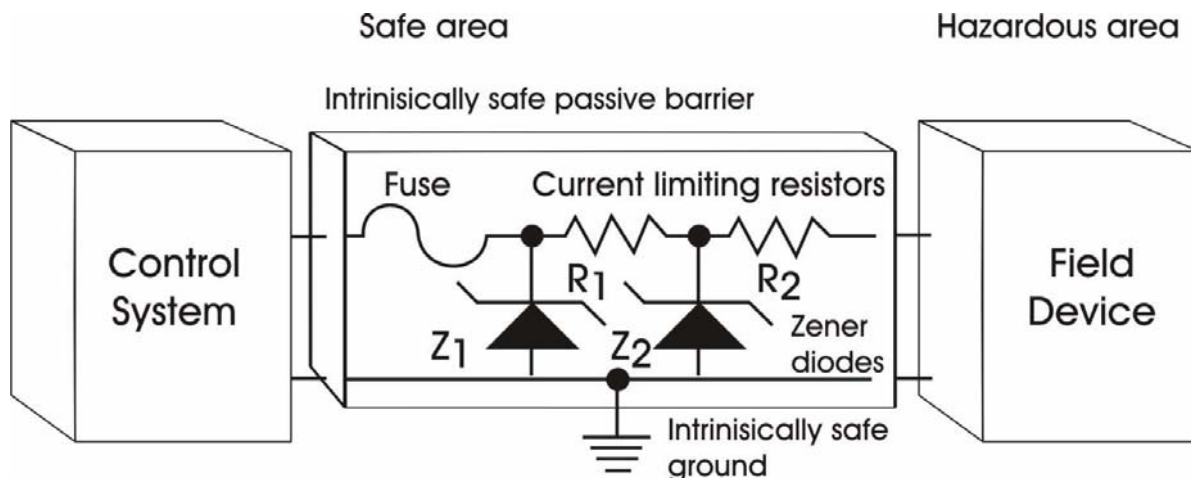
Na osnovu klasifikacije zona opasnosti, razlikuje se primjena električnih uređaja:

2.3.1. zona opasnosti 0

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

- Exia uređaji
- Exd i Exd (uređaji sa dvostrukom zaštitom u seriji kod kojih spoljašnji neprodorni oklop ne smije imati ravne raspore - zazor)
- Exe i Exd (ista napomena kao u prethodnom slučaju)
- Exp i Exp (uređaji sa dvostrukom zaštitom u seriji kod kojih Exp mora biti sa automatskim isključenjem u slučaju greške, tj. nestanka nadpritiska)
- Exe i Exp (ista napomena kao u prethodnom slučaju)
- Exd i Exp (ista napomena kao u prethodnom slučaju)
- neiskreći uređaji u kućištu "nepropaljivo kućište" sa vijačnim rasporom manjim od MEBZ (vijačani raspor je mjesto gdje se odgovarajuće površine različitih dijelova nepropaljivog kućišta dodiruju i 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 Exia,b uređaja: Exia,b uređaji u stvari predstavljaju elemente koji imaju u sebi kola sa svojtvenom bezbjednošću 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 smješe, 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 vrijednosti, bez obzira da li je u pitanju režim normalnog rada ili kratkog spoja. Razlog za što manje rastojanje potrošača 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



Slika 4. Blok šema izvedbe Zener barijere (preuzeta iz IEC standarda)

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
- Exia i Exib uređaji
- Exm uređaji – kućišta punjena čvrstim materijalima (inkapsulacija)
- Exo uređaji
- Exp uređaji
- Exq uređaji
- Exs uređaji – specijalna zaštita
- 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
- Exp uređaji pod uslovom da postoji signal upozorenja u slučaju pada nadpritiska ispod minimalne propisane vrijednosti
- Exn uređaji za zonu 2
- uređaji u normalnoj industrijskoj izvedbi koji u normalnom radu ne iskre, ne varniče i ne zagrijevaju se u mjeri 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 nagutih 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 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 spriječiti svako prodiranje prašina eksploziva u kućište električnog uređaja kod kojih postoji mogućnost stvaranja iskre, luka ili nedozvoljene temperature

- temperatura dijelova uređaja do kojih može da prodre prašina eksploziva može da iznosi najviše 2/3 od temperature paljenja izražene u $^{\circ}\text{C}$, odnosno od temperature razlaganja eksploziva
- sam uređaj mora da bude takve konstrukcije da je potpuno spriječeno stvaranje elektrostatičkih naboja, mehaničke iskre ili zagrijavanja kućišta uređaja trenjem.

Protection method	Identification letters	Permitted in zone	Principle
Flameproof	d	1 or 2	Containment
Intrinsic safety i_a	i_a	0,1,2	Energy limited
Intrinsic safety i_b	i_b	1 or 2	Energy limited
Pressurization	p	1 or 2	Expels vapors
Increased safety	e	1 or 2	No arcs
Immersed in oil	o	1 or 2	Arc immersion
Filled with powder/sand	q	1 or 2	Arc immersion
Encapsulated	m	1 or 2	Hermetic seal
Apparatus with "n" protection	n	2	No sparking

Tablica 5. Tehnike zaštite priznate od IEC-a; napomena: principi zaštite "m" i "n" nisu specificirani u JUS standardima ali jesu u IEC standardima i primjenjuju se u praksi (tabela preuzeta iz IEC standarda)

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 čovjeka u slučaju dodirivanja uređaja u kvaru, izazvati i paljenje eksplozivne smješe, bilo iskrom između dijelova različitog potencijala, bilo zagrijavanjem na mjestima većeg podužnog otpora strujama kvara. Na osnovu klasifikacije zona opasnosti, može se napraviti sledeća podjela oblasti primjenjivanja 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 namjenu 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 vrijeme kraće od 0,1s. Pomenuti sistemi se usvajaju kao moguća mjera zaštite od napona dodira u zoni opasnosti 1 jer je procjena da je vjerovatnoća pojave opasnog kvara i postojanja eksplozivne atmosfere mala.

Sistem TN-C zabranjen je u svim zonama opasnosti. Naime, zbog eventualne nesimetrije, tj. neravnomjernog opterećenja faza, može se pojaviti struja kroz PEN provodnik, koja na otpornosti ovog provodnika stvara pad napona, koji je opet veći što je zvjezdište mreže dalje. Ovaj se napon prenosi na kućišta uređaja priključenih na PEN provodnik. On nije dovoljno velik da izazove

posledice po čovijeka u slučaju direktnog dodira kućišta, ali stvara dugotrajna 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 provjera maksimalnog napona koji se može pojaviti na uređaju u slučaju nesimetričnog opterećenja faza. Uz ova dva obavezna uslova, izbjegnute 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.

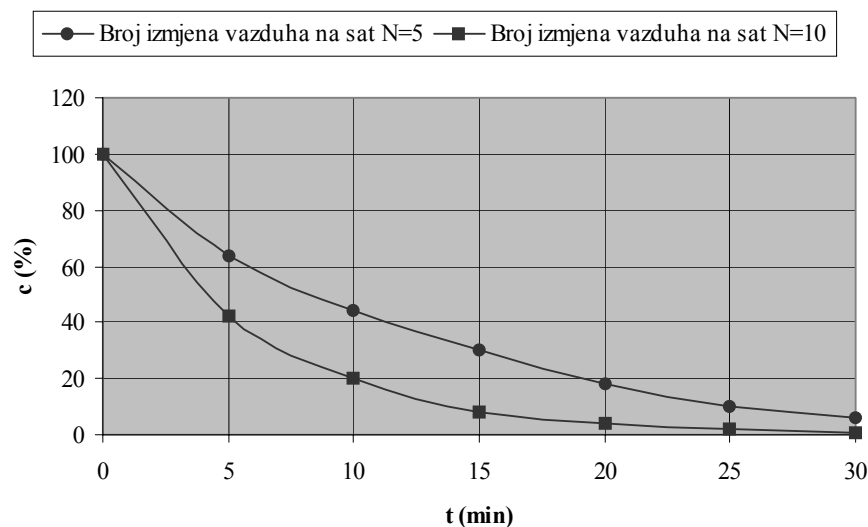
3. VENTILACIJA OPASNOG PROSTORA

Kako je osnov stvaranja eksplozivne atmosfere miješanje opasnih čestica sa vazduhom, jasno je da ventilacija ima vrlo bitnu ulogu u prevenciji stvaranja eksplozivne smješe. Efikasnom ventilacijom postiže se koncentracija eksplozivne materije u vazduhu manja od 10 % DGE, čime se u potpunosti eliminiše opasnost od eksplozije. Primjenom ventilacije može se postići potreban broj izmjena 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). Izuzetak su prostorije u farmaciji, koje pored zahtijeva za podpritiskom zbog prisutnosti Ex zone mogu imati i kontradiktoran zahtijev za nadpritiskom jer to traži odgovarajući tehnološki proces.

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

3.1. Vrste ventilacije

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

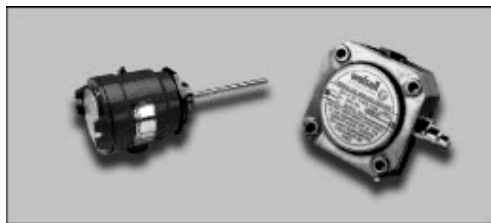


Slika 5. Zavisnost koncentracije eksplozivne materije u vazduhu u odnosu na maksimalnu (početnu) koncentraciju od dužine i intenziteta trajanja ventilacije

Prema načinu izvođenja ventilaciju dijelimo na prirodnu i vještačku (pojmovi su objašnjeni u tački 1.1). Vještačka ventilacija se dijeli na opštu i lokalnu, pri čemu opšta podrazumijeva kretanje vazduha i njegovu zamijenu svježim pomoću ventilatorima 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 dijelimo 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 uvijek 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 pak, 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 mjerači protoka (diferencijalnog pritiska), flow switch-evi (mehaničke klapne koje direktno govore o postojanju protoka u mašinskom kanalu), diferencijalni presostati na motorima ventilatora 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 dijelove 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 dovođenja pod napon i onih potrošača koji su u Ex izvedbi, jer je teško procijeniti 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 osvijetljenje) i da istovremeno imamo zahtjev iz Elaborata o zonama opasnosti da se u slučaju nestanka ventilacije isto isključi, postavlja se pitanje kako će zatečena službena lica bezbjedno izaći iz Ex prostorije. Zato je potrebno ili vremenski zategnuti isključivanje svijetla u slučaju nestanka ventilacije ili ostaviti pod naponom onoliko svjetiljki koliko je potrebno za izlazak iz prostorije ili hitne intervencije. Pri tome, za svjetiljke koje ostaju uključene se mora vrlo pažljivo odrediti stepen zaštite tj. Ex izvedba.

Rad sistema za ventilaciju možemo vremenski podijeliti u nekoliko segmenata:

- predventilacija, sa preduključenjem 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 mijernim instrumentom – ampermetrom

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

Predventilacija je obavezna u trajanju dovoljnom za minimum 5 izmjena vazduha u prostoriji. Ovim se svi zaostaci Ex atmosfere koji su zatečeni u prostoriji izbace iz iste i obezbijedi bezbjedan start električnih potrošača. Poželjno je par minuta prije uključjenja potisnog ventilatora uključiti odsisni ventilator (vremensko zatezanje zavisi od kapaciteta odsisnog ventilatora da se ne bi stvorio prevelik podpritisak i niska temperatura u prostoriji), kako bi se Ex koncentrat odsisao prije 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 vrijeme (bez obzira što ponovnom uključanju tehnološkog procesa mora predhoditi predventilacija), da bi se ovom "postventilacijom" eliminisao prodor Ex atmosfere u druge dijelove objekta mašinskim kanalima ili šupljinama između prostorija. Postventilaciju je moguće izbjeći 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 preduslov 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 dijelove 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).

Kao dodatna mjera sigurnosti, signal sa diferencijalnog presostata motora ventilatora se odvodi direktno u kolo isključenja motora ventilatora (dakle ima i izvršnu a ne samo alarmnu funkciju), ali samo kada su u pitanju ventilatori koji ventiliraju iz/u Ex sredine. Takođe je poželjno reagovati na preveliko zaprljanje filtera isključenjem uređaja koji emituju značajnu toplotnu energiju (npr. izmjenjivači toplote).

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



Slika 8. Mikroprocesorski regulator u Exia 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 protivpožarnim i protiveksplozionim propisima, a posledica je nepovijerenja u mikroprocesorsku programibilnu tehniku, odnosno uvjerenja da su rešenja sa relejnom logikom sigurnija. Software-ska blokada je poželjna ali samo kao redundantna onoj obaveznoj – hardware-skoj.

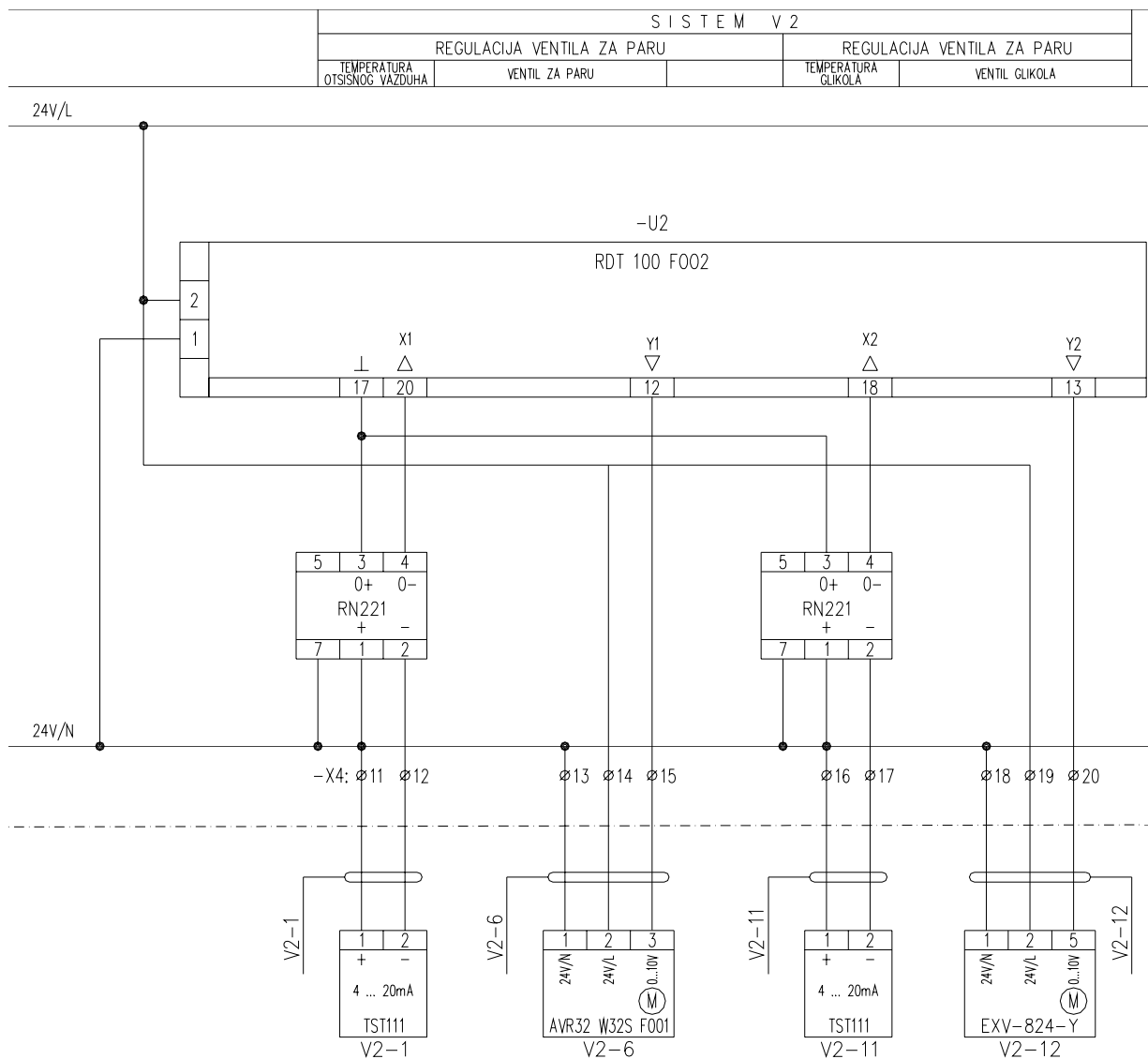
3.3. Dispozicija instalacione opreme u zavisnosti od karakteristika Ex zone i ventilacije

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 procijenilo u kom se dijelu 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 svjetiljki, sklopki za svijetlo, 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 svježeg vazduha za sisteme klimatizacije mora da bude takvo da se onemogućí povratak izbačenih opasnih čestica nazad u objekat. Ovo rastojanje ne smije biti manje od 15m po horizontali i 6m po vertikali. Oko otvora za izbacivanje eksplozivne smješe i vazduha ne smije 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 projektanta i mašinskih i elektro instalacija, i to kako njegovog tipa, tako i njegove dispozicije. Kada se isti upotrebljavaju u eksplozivnim prostorima ne smiju biti uzročnici paljenja pregrijevanjem, električnim i mehaničkim uzrocima. Upotreba ventilatora u zoni opasnosti 0 se izbjegava, a ako je to neizbježno, ventilator mora da ima odgovarajući atest. Strujno kolo ventilatora bi trebalo da ima dobru i brzu zaštitu u vidu motorsko-zaštitnog prekidača novije generacije, sa tipom koordinacije 2.

Za projektanta električnih instalacija posebno je bitan dispozicioni odnos završetaka mašinskih kanala sa ogovarajućim rešetkama i svjetiljki i sklopki za svijetlo. 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 svjetiljke i sklopke za svijetlo 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 mjesta (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 cijeline.



Slika 9. Primjer projektovanja instalacija automatike u opasnom prostoru. Na slici je prikazan mikroprocesorski regulator za upravljanje opremom u polju; senzori temperature su u Exia izvedbi i šalju strujni signal o temperaturi preko Zener barijere

Legenda (prema slici):

U2 (tip RDT 100 F002) – automatski regulator (X1,2 – senzorski ulazi, Y1,2 – regulacioni izlazi)

RN221 – Zener barijera

V2-1,11 (tip TST111) – senzori temperature sa strujnim izlazom 4...20mA

V2-6 (tip AVR32 W32S F001) – regulacioni ventil

V2-12 (tip EXV-824-Y) – regulacioni ventil u Ex izvedbi

Napomena: sva oprema je proizvodnje firme SAUTER – Švajcarska.

4. ZAKLJUČAK

Eksplodije 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 primjenom 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 mjera 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. PREGLED JUGOSLOVENSКИH STANDARDA KOJI DETALJNO ODREĐUJU PROJEKTOVANJE INSTALACIJA ENERGETIKE I AUTOMATIKE U EX PROSTORIMA

- JUS Z.C0.005 1979 Zaštita od požara i eksplozija – Klasifikacija materija i robe prema ponašanju u požaru (classification of materials and goods depending on their behavior in a fire)
- JUS Z.C0.007 1978 Zaštita od požara - Klasifikacija zapaljivih tečnosti prema temperaturi paljenja i temperaturi ključanja (classification of the flammable and combustible liquids according to the flash and the boiling point)
- JUS Z.C0.010 1979 Karakteristike opasnih zapaljivih gasova, tečnosti i isparljivih čvrstih supstanci (combustible, reactive and health hazard materials)
- JUS Z.C0.012 1979 Zaštita od požara i eksplozija – Utvrđivanje kategorija i stepena opasnosti od materija pri požaru (categories and grades identification of the fire hazards of materials)
- JUS ISO 6184-1 1994 Sistemi za zaštitu od eksplozije - Deo 1: Određivanje indeksa eksplozije zapaljive prašine u vazduhu (Identičan sa ISO 6184-1:1985) (explosion protection systems - part 1: determination of explosion indices of combustible dusts in air)
- JUS ISO 6184-2 1994 Sistemi za zaštitu od eksplozije - Deo 2: Određivanje indeksa eksplozije zapaljivih gasova u vazduhu (Identičan sa ISO 6184-2:1985) (explosion protection systems - part 2: determination of explosion indices of combustible gases in air)
- JUS ISO 6184-3 1994 Sistemi za zaštitu od požara od eksplozije – Deo 3: Određivanje indeksa eksplozije mešavina gorivo/vazduh, osim mešavina prašina/vazduh i gas/vazduh (Identičan sa ISO 6184-3:1985) (explosion protection systems - part 3: determination of explosion indices of fuel/air mixtures other than dust/air and gas/air mixtures)
- JUS ISO 6184-4 1994 Sistemi za zaštitu od eksplozije - Deo 4: Određivanje efikasnosti sistema za prigušivanje eksplozija (Identičan sa ISO 6184-4:1985) (explosion protection systems - part 4: determination of efficiency of explosion suppression systems)
- JUS N.S8.001 1990 Protiveksplozijska zaštita - Električni uređaji i instalacije namenjeni za rad u eksplozivnoj atmosferi (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - electrical equipment and installations for use in explosive atmospheres)
- JUS IEC 79-15 1997 Električni uređaji za eksplozivnu gasovitu atmosferu - Deo 15: Električni uređaji sa tipom zaštite “n” (Identičan sa IEC 79-15:1987) (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - part 15: electrical apparatus with type of protection “n”)
- JUS IEC 79-17 1995 Električni uređaji za eksplozivnu gasovitu atmosferu - Deo 17: Preporuke za pregled i održavanje električnih instalacija u opasnim prostorima (osim u rudnicima) (Identičan sa IEC 79-17:1990) (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - part 17: recommendations for inspection and maintenance of electrical installations in hazardous areas (other than mines))
- JUS IEC 79-19 1995 Električni uređaji za eksplozivnu gasovitu atmosferu - Deo 19: Popravka i remont uređaja koji se koriste u eksplozivnoj atmosferi (osim za rudnike i izradu eksploziva) (Identičan sa IEC 79-19:1993) (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - part 19: repair and overhaul for apparatus used in explosive atmospheres (other than mines or explosive))
- JUS N.S8.003 1981 Protiveksplozijska zaštita - Klasifikacija eksplozivnih gasova i para (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - classification of flammable gases or vapors)

JUS N.S8.006 1987 Protiveksplozijska zaštita - Zone opasnosti prostora ugroženih eksplozivima (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - classification of hazardous areas with explosives)

JUS N.S8.007 1991 Protiveksplozijska zaštita - Zone opasnosti prostora ugroženih eksplozivnim smešama gasova i para (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - classification of hazardous areas with explosive atmospheres)

JUS N.S8.007/1 1992 Protiveksplozijska zaštita - Zone opasnosti prostora ugroženih eksplozivnim smešama gasova i para – Izmene (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - classification of hazardous areas with explosive atmospheres – amendments)

JUS N.S8.008 1982 Protiveksplozijska zaštita - Klasifikacija prostora ugroženih eksplozivnom prašinom (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - classification of areas endangered by explosible dust mixtures)

JUS N.S8.010 1987 Protiveksplozijska zaštita - Električni uređaji u prostorima ugroženim eksplozivima (electrical apparatus for explosive gas atmosphere - electrical equipment for use in areas with explosives)

JUS N.S8.011 1991 Protiveksplozijska zaštita - Opšti zahtevi za konstrukciju protiveksplozijski zaštićenih električnih uređaja namenjenih za upotrebu u prostorima ugroženim od eksplozivne atmosfere (electrical apparatus for potentially explosive gas atmospheres - general requirements for construction of electrical apparatus for use in explosive atmospheres)

JUS N.S8.020 1972 Merenje temperature paljenja plinova i para (ignition temperature measuring of gas and vapour)

JUS N.S8.030 1977 Protiveksplozijska zaštita - Aparat za određivanje maksimalnog eksperimentalnog sigurnosnog raspora (test apparatus for ascertainment of maximum experimental safe gap)

JUS N.S8.031 1977 Protiveksplozijska zaštita - Metoda za određivanje maksimalnog eksperimentalnog sigurnosnog raspora (method of test ascertainment of maximum experimental safe gap)

JUS N.S8.040 1972 Aparat za ispitivanje samosigurnih strujnih kola (spark test apparatus for intrinsically safe circuits)

JUS N.S8.041 1981 Protiveksplozijska zaštita - Određivanje minimalne struje paljenja (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - minimal ignition current)

JUS N.S8.051 1991 Protiveksplozijska zaštita - Ispitivanje izolacionih materijala (electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - testing of insulating material)

JUS N.S8.052 1991 Protiveksplozijska zaštita - Klasifikacija izolacionih materijala (electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - classification of insulating material)

JUS N.S8.090 1982 Protiveksplozijska zaštita - Zahtevi za električne instalacije i uređaje u prostorima ugroženim od eksplozivne atmosfere (izuzev rudnika) (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - requirements for electrical installations and equipment for use in explosive atmospheres (other than mines))

JUS N.S8.101 1990 Protiveksplozijska zaštita - Neprodorni oklop - Opšti tehnički uslovi (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - flameproof enclosure – general requirements)

JUS N.S8.121 1990 Protiveksplozijska zaštita - Neprodorni oklop – Ispitivanja (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - flameproof enclosure – tests)

JUS N.S8.123 1990 Protiveksplozijska zaštita - Neprodorni oklop - Ispitivanje kućišta sa odužnim otvorima (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - flameproof enclosure – testing of enclosures with went openings)

29.260.20 JUS N.S8.201 1987 Protiveksplozijska zaštita - Vrsta zaštite "povećana sigurnost" - Opšti tehnički uslovi (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - type of protection "increased safety" - general requirements)

JUS N.S8.202 1987 Protiveksplozijska zaštita – Telekomunikacioni uređaji i sastavni delovi za elektroniku i vrstu zaštite "povećana sigurnost" (electrical apparatus for explosive gas atmospheres

- telecommunication devices and components for electronics for type of protection "increased safety")
- JUS N.S8.203 1990 Protiveksplozijska zaštita - Akumulatori za vrstu zaštite "povećana sigurnost" - Opšti tehnički uslovi (electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - accumulators – increased safety - general technical conditions)
- JUS N.S8.221 1987 Protiveksplozijska zaštita - Vrsta zaštite "povećana sigurnost" – Ispitivanja (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - type of protection "increased safety" – testing)
- JUS N.S8.223 1990 Protiveksplozijska zaštita - Akumulatori za vrstu zaštite "povećana sigurnost" – Ispitivanja (electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - accumulators - increased safety – tests)
- JUS N.S8.241 1987 Protiveksplozijska zaštita - Postupci za kontrolu temperature motora sa kaveznom rotorom (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - methods of control of the temperature of cage rotor motors)
- JUS N.S8.242 1987 Protiveksplozijska zaštita - Dopunsko ispitivanje motora sa kaveznom rotorom (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - additional testing of cage rotor motors)
- JUS N.S8.244 1987 Protiveksplozijska zaštita - Posebni uslovi za motore u "povećanoj sigurnosti" (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - special requirements for motors in type of protection "e")
- JUS N.S8.301 1991 Protiveksplozijska zaštita - Samosigurnost (electrical apparatus for potentially explosive gas atmospheres - intrinsic safety "i")
- JUS N.S8.302 1987 Protiveksplozijska zaštita – Kategorizirana strujna kola (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - categorized current circuit)
- JUS N.S8.321 1991 Protiveksplozijska zaštita - Ispitivanje samosigurnosnih i pridruženih uređaja (electrical apparatus for potentially explosive gas atmospheres - test of intrinsically safe and associated apparatus)
- JUS N.S8.401 1981 Protiveksplozijska zaštita - Punjenje čvrstim materijalima (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - solid insulation filled apparatus)
- JUS N.S8.421 1981 Protiveksplozijska zaštita - Ispitivanje električnih uređaja zaštićenih čvrstim materijalima (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - testing procedure for solid insulation-filled apparatus)
- JUS N.S8.501 1981 Protiveksplozijska zaštita - Uranjanje u tečnost (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - oil-immersed apparatus)
- JUS N.S8.521 1981 Protiveksplozijska zaštita - Ispitivanje električnih uređaja koji su zaštićeni uranjanjem u tečnost (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - testing procedure for oil-immersed apparatus)
- JUS N.S8.601 1990 Protiveksplozijska zaštita - Natpritisak (electrical apparatus for potentially explosive atmosphere - pressurized apparatus "p")
- JUS N.S8.602 1991 Protiveksplozijska zaštita - Natpritisak - Električni uređaji koji sadrže unutrašnji izvor zapaljivog gasa ili pare (electrical apparatus for potentially explosive gas atmospheres - pressurised apparatus "p")
- JUS N.S8.610 1987 Protiveksplozijska zaštita - Tehnički zahtevi za izradu i ispitivanje prostorija i zgrada u zaštiti "natpritisak" (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - construction and use of rooms or buildings protected by pressurization)
- JUS N.S8.611 1991 Protiveksplozijska zaštita - Prisilna ventilacija za zaštitu analizatorskih kukica (electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - artificial ventilation for the protection of analyser(s) houses)
- JUS N.S8.621 1990 Protiveksplozijska zaštita - Ispitivanje električnih uređaja u zaštiti natpritisakom (electrical apparatus for potentially explosive atmosphere - test procedures for pressurized enclosures)
- JUS N.S8.701 1981 Protiveksplozijska zaštita - Punjenje peskom (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - sand-filled apparatus)

- JUS N.S8.721 1981 Protiveksplozijska zaštita - Ispitivanje električnih uređaja koji su zaštićeni punjenjem peskom (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - testing procedure for sand-filled apparatus)
- JUS N.S8.741 1977 Protiveksplozijska zaštita - Određivanje minimalne zaštitne visine (determination of minimum safe height)
- JUS N.S8.742 1977 Protiveksplozijska zaštita - Konstrukcija i upotreba metalnog zaslona (construction and use of a screen)
- JUS N.S8.850 1982 Protiveksplozijska zaštita - Električni uređaji u prostorima ugroženim zapaljivom prašinom - Opšti tehnički uslovi (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - electrical apparatus for explosive dust atmospheres - general requirements)
- JUS N.S8.901 1991 Protiveksplozijska zaštita - Posebni zahtevi za ventilatore u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom (electrical apparatus for potentially explosive gas atmospheres - specific requirements for ventilators in explosive gas atmospheres)
- JUS N.S8.910 1991 Protiveksplozijska zaštita - Naglavne rudarske svetiljke (electrical apparatus or potentially explosive atmospheres - caplamps for mines susceptible to firedamp)
- JUS N.S8.911 1982 Protiveksplozijska zaštita - Ispitivanje mašina za paljenje mina (electrical apparatus for explosive gas atmospheres - testing of blasting machines)
- JUS N.S8.920 1991 Protiveksplozijska zaštita - Ručni elektrostatički pištolji i pomoćni uređaji (electrical apparatus for potentially explosive gas atmospheres - electrostatic hand - held spraying equipment)
- JUS N.S8.921 1991 Protiveksplozijska zaštita - Instalisanje i upotreba ručnih elektrostatičkih pištolja i pridruženih uređaja (electrical apparatus for potentially explosive gas atmospheres - requirements for the selection, installation and use of electrostatic spray equipment for flammable materials).

6. LITERATURA

- [1] R.Jovanov. "Protiveksplozijska zaštita", Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd, 1996.
- [2] Grupacija standarda JUS N.S8.XXX.
- [3] Standard IEC 79-10, decembar 1995.
- [4] Kataloška dokumentacija raznih proizvođača opreme u Ex izvedbi.