

Ventilacija prostora ugroženih eksplozivnom atmosferom

Miodrag Isailović, dipl. ing., SUP Beograd,
Uprava za protivpožarnu i
preventivno-tehničku zaštitu, Mije
Kovačevića 2—4, 11000 Beograd

1. Eksplozivna atmosfera

Pod eksplozivnom atmosferom podrazumeva se smeša zapaljivih materija sa vazduhom u obliku gasa, pare ili magle, u atmosferskim uslovima, u kojoj se nakon paljenja požar širi po čitavoj nepotrošenoj masi. Prostor u kome je eksplozivna atmosfera prisutna ili se može očekivati njena pristupnost u količinama koje zahtevaju posebne mere u pogledu tehnoloških i drugih postupaka, načina izvođenja električnih i mašinskih instalacija itd., naziva se ugroženi prostor. Smeše navedenih materija sa vazduhom mogu biti zapaljive ili eksplozivne, a obrazuju ih:

- zapaljivi gasovi,
- pare i magle zapaljivih tečnosti,
- zapaljiva prašina.

Zapaljive smeše su smeše zapaljivih gasova, para i magli zapaljivih tečnosti ili prašine sa vazduhom, u kojima u atmosferskim uslovima, uz prisustvo inicijalnog izvora toplote, dolazi do procesa brze oksidacije odnosno gorenja, pri čemu je brzina fronta plamena do 2 m/s. Magle zapaljivih tečnosti nastaju prilikom raspršivanja, npr. boja i lakova, sredstava za pranje i sl.

Pod **eksplozivnim** smešama podrazumevaju se takve smeše vazduha sa zapaljivim gasovima, parama, raspršenim zapaljivim tečnostima, ili sa zapaljivom prašinom pod atmosferskim uslovima kod kojih pod dejstvom spoljnog toplotnog izvora može doći do procesa brze oksidacije odnosno sagorevanja, koje se ispoljava u vidu eksplozije praćene oslobađanjem velike količine toplotne i mehaničke energije, izražene povećanjem pritiska. Eksplozivno sagorevanje obavlja se brzinama širenja plamena od 0,5 do 30 m/s i pritiscima od 4 do 10 bar (deflagracija) odnosno 1000 do 4000 m/s i pritiscima od 10 do 60 bar (detonacija).

Zapaljive i eksplozivne smeše u praksi se najčešće pojavljuju:

U praksi se vrlo često susrećemo sa prostorima u kojima postoje ili se mogu očekivati smeše zapaljivih materija sa vazduhom u obliku gasa, pare ili magle. U cilju smanjenja odnosno eliminacije opasnosti od požara i eksplozija koja je u takvim prostorima vrlo visoka, primenjuje se niz mera, među kojima je vrlo značajna ventilacija, pošto se putem izmene vazduha u prostoru može postići razblaženje eksplozivnih i zapaljivih smeša odnosno njihovo odvođenje iz ugroženog prostora. U radu su izložene preporuke koje treba uvažiti pri projektovanju sistema za prirodnu prinudnu ventilaciju.

Ključne reči: opasnost; prostor; eksplozija; ventilacija; preporuke

Key words: danger; space; explosion; ventilation; recommendations

- pri proizvodnji, skladištenju i pretakanju zapaljivih gasova i tečnosti,
- u tehnološkim procesima u kojima se prerađuju zapaljive tečnosti i gasovi (rafinacija, ekstrakcija, kondenzacija i dr.),
- pri proizvodnji i primeni boja i lakova,
- u transportu i preradi žitarica,
- pri preradi pamuka, vune i drugih vlaknastih materijala,
- pri obradi drveta i drugih materijala (plastika, pojedini metali i sl.),
- pri korišćenju zapaljivih tečnosti i gasova za proizvodnju toplotne energije (kotlarnice, domaćinstva, industrijske peći i dr.),
- pri preradi i transportu uglja itd.

2. Eksplozivne i zapaljive smeše zapaljivih gasova, para i magle sa vazduhom

Eksplozivne i zapaljive smeše formiraju se u unutrašnjosti posuda u kojima se prerađuju ili drže zapaljive tečnosti i gasovi, kao i pri isparavanju zapaljivih tečnosti iz otvorenih posuda u toku tehnoloških operacija. Osim tih pojava, koje se zbog tehnoloških procesa smatraju uobičajenim, smeše se formiraju i pri curenju na spojevima cevovoda i zaptivačima pumpi, oko odušnih ventila na rezervoarima,

pri curenju zapaljivih komprimovanih gasova na ventilima ili spojevima gasovoda, pri nanošenju i sušenju boja i lakova, na mestima gde se vrši pranje delova zapaljivim tečnostima, u laboratorijama u kojima se koriste zapaljive tečnosti i gasovi, prilikom presipanja goriva u rezervoare motornih vozila itd. Očigledno je da u praksi postoji veliki broj mesta na kojima je moguće prisustvo eksplozivnih i zapaljivih smeša i da tu pojavu treba da prati čitav niz mera koje treba da spreče mogućnost nastanka požara i eksplozije.

Za formiranje eksplozivnih i zapaljivih smeša presudni su sledeći uslovi:

- zapreminski odnosi (koncentracija),
- pritisak,
- temperatura smeše,
- temperatura i energija uzročnika paljenja.

Zapreminski odnosi su najvažniji element u proceni opasnosti od nastajanja požara i eksplozija. Ako je zapreminski odnos zapaljive materije (gas, pare) i vazduha takav da sva zapaljiva materija izgori, a da se pri tome ne potroši sav kiseonik, takva smeša se smatra *siromašnom*. Ako dođe do potpunog sagorevanja zapaljive materije, pri čemu se utroši sav kiseonik u pitanju je *stehiometrijska* smeša. Kada pri sagorevanju ostane višak zapaljive materije u pitanju je *bogata* smeša. Odnosi zapaljive materije i vazduha u praktičnoj primeni izražavaju se preko gornje i donje granice zapaljivosti koje su pri normalnom atmosferskom pritisku i temperaturi okoline od 20°C identične sa gornjom i donjom granicom eksplozivnosti.

Donja granica eksplozivnosti (DGE) je koncentracija zapaljivog gasa, pare ili magle u vazduhu ispod koje se neće stvoriti eksplozivna atmosfera (izraženo u zapreminskim %).

Gornja granica eksplozivnosti (GGE) je koncentracija zapaljivog gasa, pare ili magle u vazduhu iznad koje se neće stvoriti eksplozivna atmosfera (izraženo u zapreminskim %).

Granice eksplozivnosti za zapaljive tečnosti i gasova propisane su u jugoslovenskom standardu *JUS Z.C0.010 — Karakteristike opasnih zapaljivih gasova, tečnosti i isparljivih čvrstih supstanci*. Sa stanovišta prakse, interesantnija je donja granica eksplozivnosti, jer se ona lakše dostigne, pri čemu naglo poraste opasnost od požara i eksplozije.

U ovom radu se radi ilustracije navode podaci za materije koje se najčešće susreću u praksi. Ne treba izgubiti iz vida da se u praktičnoj primeni nalaze uglavnom smeše više

gasova ili para zapaljivih tečnosti, tako da se za njih granice eksplozivnosti određuju odgovarajućim formulama.

Benzini su zapaljive tečnosti koje se najčešće susreću u praksi pošto se koriste kao gorivo za motorna vozila, razređivači za boje i lakove, sredstva za pranje i odmašćivanje itd. Pri njegovoj upotrebi dolazi do isparavanja, a brzina tog procesa zavisi od temperature okoline. Zapremina stvorene pare na temperaturi od 0°C i pritisku od 1013 mbar izračunava se po obrascu:

$$V = G \times 22,4/M \text{ (m}^3\text{)}$$

gde je M - molekulska masa, a G — masa zapaljive tečnosti (kg).

Masa od 0,046 kg benzina pod navedenim uslovima daje:

$$V = 0,046 \times 22,4/86 = 0,012 \text{ m}^3$$

odnosno 12 litara pare. Ukoliko bi se ta količina pare unela u prostor zapremine 1 m³, u njemu bi se postigla koncentracija koja odgovara donjoj granici eksplozivnosti (DGE = 1,2 zapreminskih procenata).

Masa od 0,0414 kg n-butana pod navedenim uslovima daje:

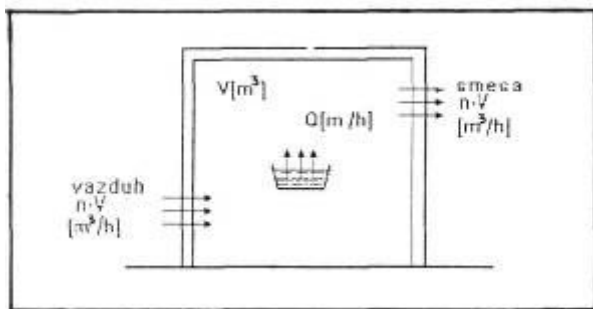
$$V = 0,0414 \times 22,4/58 = 0,0160 \text{ m}^3$$

odnosno 16 litara pare. Ukoliko bi se ta količina pare unela u prostor zapremine 1 m³, u njemu bi se postigla koncentracija koja odgovara donjoj granici eksplozivnosti za n-butan koji predstavlja pretežni deo tečnog naftnog gasa koji se koristi u domaćinstvima (DGE = 1,6 zapreminskih procenata). To praktično znači da je u prostoriji zapremine 30 m³ (npr. prosečna zapremina kuhinje) dovoljno da iscuri 1,24 kg butana, pa da se pri temperaturi od 0°C i pritisku od 1013 mbar stvori eksplozivna atmosfera. Jasno je da je na višim temperaturama brzina isparavanja veća, pa se u prostoru brže formira eksplozivna atmosfera.

U prostorijama u kojima su zapaljive i eksplozivne smeše postoji velika opasnost od nastajanja požara i eksplozije, pa je neophodno preduzimanje mera da se taj rizik smanji (tzv. primarna protiveksplozijska zaštita). Osnovne preventivne mere tiču se samog tehnološkog procesa i ukoliko je to moguće treba smanjiti na najmanju meru

Gas ili para	Granice ekspl. (zapreminski %)	Rel. gustina (vazduh = 1)	Gas ili para	Granice ekspl. (zapreminski %)	Rel. gustina (vazduh = 1)
Vodonik	4,0-75,6	0,069	Etilenoksid		1,632
Metan	5,0-15,0	0,554	Metilhlorid		1,784
Amonijak	15-28,0	0,597	Aceton	2,5 - 13,0	2,0
Acetilen	1,5-80,0	0,906	I-butan		2,067
Ugljen-monoksid	12,5-74,0	0,967	Propanol		2,07
Etilen	2,7-34,0	0,975	n-butan	1,5-8,5	2,091
Etan	3,0-15,5	1,049	Pentan	1,4-8,0	2,48
Metanol	5,5-40,0	1,11	Benzol	1,2-8,0	2,77
Sumpor-vodonik		1,190	Heksan		2,97
Propilen	2,0-11,7	1,481	Toluol	1,2-7,0	3,18
Propan	2,1-9,5	1,562	Heptan		3,45
Etanol	3,5-15,0	1,59	Oktan	0,84-3,2	3,86
Benzin	1,2-6,0		Olovni tetraetil		11,1

Napomena: Vrednosti granica eksplozivnosti u tabeli mogu se razlikovati u izvesnoj meri od podataka u priručnicima i literaturi



Slika 1.

primenu zapaljivih gasova ili tečnosti. Pri projektovanju tehnološkog procesa treba nastojati da se on odvija u zatvorenom sistemu odnosno bez kontakta sa spoljnom atmosferom. Kako je prisustvo kiseonika jedan od uslova za odvijanje procesa gorenja, kao preventivna mera u zatvorenim sistemima može se primeniti smanjenje količine kiseonika ispod određene granice uvođenjem inertnog gasa (azot, argon, ugljen-dioksid i dr.). Kiseonik se može potpuno eliminisati iz zatvorenog sistema u kome se odvija tehnološki proces (vakuumiranjem) i zameniti inertnim gasom.

Izvođenjem dobrog zaptivanja (hermetizacijom) pojedinih delova opreme u kojoj se odvijaju tehnološke operacije, onemogućava se stvaranje smeša, a naročito oko zaptivača mešalica, na poklopcima, oko zaptivača vratila pumpi itd.

Osnovni princip eliminacije opasnosti paljenja eksplozivnih smeša je da se smanji na minimum mogućnost jednovremene pojave eksplozivne atmosfere i uzročnika paljenja. Međutim, i pored primene svih mera ne mogu se u potpunosti eliminisati pojave smeša zapaljivih gasova, para i magli zapaljivih tečnosti na mestima gde se u toku procesa vrši ubacivanje sirovina ili se uzimaju uzorci, u lakirnicama gde se vrši nanošenje boje, oko odušnih otvora rezervoara, oko sigurnosnih ventila, na mestima gde se vrši pranje delova zapaljivim tečnostima i sl. U zavisnosti od intenziteta izvora opasnosti, učestanosti pojave i trajanju na takvim mestima se formiraju tzv. zone opasnosti:

- zona opasnosti 0 je prostor u kojem je eksplozivna atmosfera stalno ili duži period vremena,
- zona opasnosti 1 je prostor u kojem je verovatno da će se eksplozivna atmosfera pojaviti za vreme normalnog pogona,
- zona opasnosti 2 je prostor u kojem nije verovatno da će se eksplozivna atmosfera pojaviti za vreme normalnog pogona a ako se ipak pojavi, trajće samo kratko vreme.

Zone opasnosti određuju se po postupku definisanom u jugoslovenskom standardu *JUS N.S8.007/1991* i *JUS N.S8.007/1/1992* — *Protiveksplozijska zaštita. Zone opasnosti prostora ugroženih eksplozivnim smešama gasova i para*.

Zapaljivi gasovi i pare sa vazduhom se mešaju na dva načina: difuzijom ili strujanjem. Strujanje se bazira na razlici pritiska, dok se difuzija bazira na razlici u koncentraciji molekula. Proces mešanja difuzijom je karakterističan za unutrašnjost posuda u kojima se prerađuju ili drže zapaljive tečnosti i gasovi, dok je proces mešanja strujanjem karakterističan za slučajeve u kojima zapaljivi gasovi ili pare zapaljivih tečnosti dolaze u neposredan dodir sa kiseonikom iz vazduha u prostorijama. Vrlo često se mešanje vrši kombinovano (istovremeno difuzijom i strujanjem), tako da se uz dovoljnu izdašnost izvora zapaljivih gasova ili para može doći do stvaranja eksplozivnih ili zapaljivih smeša. Mešanje strujanjem je izraženo

kod gasova čija je gustina manja od gustine vazduha (vodonik, metan kao pretežni deo prirodnog gasa, amonijak i dr.) i koji teže da se kreću u vis, mešajući se intenzivno sa vazduhom. Proces mešanja gasova čija je gustina veća od gustine vazduha je nešto sporiji od prethodnog slučaja tako da se smeša razliva duž poda i ispunjava udubljenja u podu. Očigledno je da se u prostorijama ne može očekivati ravnomerna koncentracija eksplozivnih i zapaljivih smeša sa vazduhom zbog uticaja prirodnog strujanja kroz otvore i procepe kao i zbog drugih strujanja vazduha izazvanih razlikom u gustini vazduha (strujanja oko zagrejanih površina opreme i sl.). Ova činjenica je posebno značajna pri proceni da neka prostorija predstavlja neugrožen prostor odnosno prostor u kome je koncentracija zapaljivih i eksplozivnih smeša ispod donje granice eksplozivnosti.

3. Ventilacija ugroženih prostora

Iz prethodnih razmatranja može se zaključiti da bi se rizik od požara i eksplozija smanjio kada bi se mogle uspešno odstraniti eksplozivne smeše i uzročnici paljenja odnosno kada bi se moglo sprečiti njihovo jednovremeno pojavljivanje. To praktično znači da bi se intenzivnim strujanjem vazduha u ugroženom prostoru (ubacivanjem svežeg vazduha i izvlačenjem eksplozivnih smeša). Ukoliko je moguće proceniti mesta nastanka eksplozivnih smeša, mogla bi se intenzivnim odsisavanjem eliminisati opasnost od nastanka požara i eksplozija. Prema tome, ventilacijom prostorija ugroženih eksplozivnom atmosferom postiže se razblaženje nastale koncentracije eksplozivnih smeša i odvođenje nastalih smeša izvan ugroženog prostora. Ventilacija prostorija može se ostvariti prirodnim putem ili primenom ventilacionih sistema (prinudna ventilacija).

Uticaj ventilacije na promene koncentracije eksplozivnih smeša biće ilustrovan jednim jednostavnim primerom. U prostoriji zapremine V (m^3), nalazi se izvor koji oslobađa zapaljivi gas ili pare zapaljivih tečnosti kapaciteta Q (m^3/h), pri čemu je koncentracija ravnomerna u celoj prostoriji. Prostorija se provetrava prirodnim putem, sa otvorima na naspramnim stranama prostorije.

Izraz za koncentraciju homogene smeše u prostoru je:

$$y = \frac{Qt}{V + Vnt} 100 \quad (\%)$$

gde su:

- y (%) — zapreminska koncentracija smeše u vazduhu,
- Q (m^3/h) — intenzitet izvora zapaljivog gasa ili pare pod normalnim pritiskom,
- V (m^3) — zapremina prostora,
- n ($1/h$) — broj izmena zapremine prostora u toku jednog časa,
- t (h) — vreme.

Za jedno stanje u vremenu važi odnos:

$$Qt = V y n t + V y$$

Da bi se dobila zakonitost pojave mešanja strujanjem, postavlja se diferencijalna jednačina:

$$Q dt = V y n dt + V dy$$

Čije je rešenje:

$$e^{-nt} = C(Q - V ny)$$

Za početne uslove $t = 0$ i $y = 0$ dobija se $C \cdot Q = 1$ odnosno $C = 1/Q$, tako da se dobija jednačina koja opisuje

Količina vazduha izražena u zapreminama prostorije V	IV	2V	3V	4V	5V	6V	7V
Provetrenost u %	63,21	86,47	95,02	98,17	99,33	99,75	99,91

zakonitost promene koncentracije u toku vremena:

$$y = \frac{Q}{Vn} (1 - e^{-nt})$$

Ta zakonitost prikazana je na sl. 2.

Interesan je i slučaj kada je prirodno provetravana prostorija zapremine V (m^3), u kojoj ne postoji stalni izvor zapaljivog gasa ili pare u kratkom intervalu vremena, napunjena homogenom smešom koncentracije y_0 (slučaj prosipanja lako isparljive i zapaljive tečnosti ili kratkotrajnog ispuštanja gasa). Zakonitost promene koncentracije u tom slučaju se dobija iz jednačine ravnoteže:

$$Q dt = V y n dt + V dy$$

Kako je $Q dt = 0$, diferencijalna jednačina dobija oblik:

$$V n y dt + V dy = 0$$

Rešenje jednačine je:

$$C y = e^{-nt}$$

Iz početnih uslova $t = 0$ i $y = y_0$ dobija se zakonitost promene koncentracije:

$$y = y_0 e^{-nt}$$

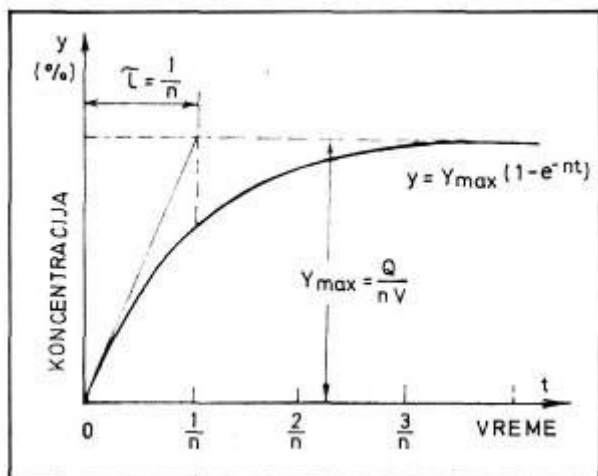
iz koje se vidi da ona zavisi samo od broja izmena vazduha u prostoriji.

Postavlja se pitanje koliko je izmena u ovom slučaju potrebno da bi se posmatrana prostorija potpuno provetrila? Provetrenost prostorije može se izraziti preko odnosa:

$$p = \frac{y_p - y}{y_p} 100 (\%)$$

Tabela prikazuje provetrenost prostorije u datom slučaju u zavisnosti od broja izmena zapremine vazduha:

Iz tabele se vidi da se prirodnim provetravanjem sa 5 izmena volumena prostorije postiže ostatak prethodne



Slika 2.

koncentracije manji od 1%, što znači da ako smo imali 100% koncentraciju zapaljivog gasa ih para zapaljivih tečnosti, posle 5 izmena vazduha u prostoriji koncentracija će opasti ispod donje granice eksplozivnosti bilo kojeg gasa ili pare pošto se DGE uglavnom kreće iznad 1% (acetilen 1,5% itd.) Vreme trajanja pojedine izmene zavisi od načina ventilacije. Prinudnom ventilacijom se petostruka izmena može izvršiti u znatno kraćem vremenu nego pri prirodnoj ventilaciji. Prema tome, ako želimo da neki prostor, kao što je na primer gasna kotlarnica (u kojoj se mogu očekivati zapaljive i eksplozivne smeše zbog curenja gasa u toku noćnog prekida rada), učinimo neugroženim, možemo pre korišćenja izvršiti provetravanje sa petostrukom izmenom vazduha i onda koristiti bez opasnosti od izbijanja požara ili eksplozije. U svim ostalim slučajevima, odnosno kada postoji izvor zapaljivih gasova i para, broj izmena mora se odabrati uzimajući u obzir čitav niz faktora (temperatura u prostoriji, spoljni uslovi, učestalost emitovanja izvora, vrsta prozora, učestalost otvaranja vrata itd.).

4. Preporuke za projektovanje i izvođenje ventilacionih sistema

U zavisnosti od tehnološkog procesa i uslova koji iz njega proizilaze, najpovoljnije je da se prostorije ugrozene eksplozivnom atmosferom provetravaju prirodnim putem. Mnoga postrojenja u hemijskoj i petrohemijskoj industriji se upravo zbog toga postavljaju na otvorenom prostoru odnosno na neograđenim čeličnim konstrukcijama, tako da je neprekidno obezbeđeno razblaživanje koncentracije i odvođenje eksplozivnih smeša. Prirodno provetravanje je naročito pogodno u prostorijama u kojima se očekuju smeše koje su lakše od vazduha kao što su kotlarnice koje koriste prirodni gas i sl. Pri prirodnom provetravanju prostorija u kojima se očekuju smeše lakše od vazduha, otvori za ulaz svežeg vazduha treba da su u blizini poda prostorije, ali ne niže od 30 cm (zbog snega i rastinja) i ne više od 1/3 visine prostorije. Odvodni otvori moraju biti na što većoj visini na suprotnom spoljnom zidu u odnosu na dovodne otvore, kako bi se obezbedilo poprečno ispiranje prostorije. Najmanja visina na koju se postavlja odvodni otvor iznosi 2/3 ukupne unutrašnje visine prostorije računajući od poda do donje ivice odvodnog otvora. Dovodni i odvodni otvori moraju biti izvedeni tako da ne postoji mogućnost njihovog zatvaranja i da je obezbeđena njihova efektivna površina. Proračun potrebnih površina dovodnog i odvodnog otvora vrši se prema poznatim metodama koje su objašnjene u priručnicima.

Prinudna ventilacija izvodi se ugradnjom odsisnih ventilatora i obezbeđenjem prirodnog dovoda svežeg vazduha odnosno ugradnjom ventilatora za ubacivanje svežeg vazduha. Ukoliko postoje mesta na kojima će se eksplozivna smeša verovatno pojaviti za vreme normalnog pogona, odnosno mesta na kojima nije verovatno da će se eksplozivna smeša pojaviti za vreme normalnog pogona, a ako se ipak pojavi traje samo kratko vreme, najpovoljnije rešenje je da se ugradi *lokalni sistem odsisavanja* sa prirodnim dotokom svežeg vazduha. To je slučaj sa mestom za uzimanje uzoraka i šaržiranje sirovina u hemijskim postrojenjima, na mestima spajanja delova lepkovima koji sadrže zapaljive komponente, na mestima gde se vrši ručno nanošenje boje ili lakiranja delova, sa kadama za nanošenje boje potapanjem, u termičkoj obradi metala, sa kanalima za popravku vozila i sl.

Za smeše koje su lakše od vazduha, postavljaju se usisne haube iznad samog mesta nastanka, a za smeše koje su teže od vazduha vrši se bočno ili donje odsisavanje. U navedenim slučajevima treba smatrati da u unutrašnjosti haube i u odvodnom kanalu, kao i u kućištu ventilatora, postoji odgovarajuća zona opasnosti. Ista zona se prostire i oko izduvnog otvora kanala. Veličina zone opasnosti oko izduvnog otvora zavisi od pravca duvanja vetrova, okolnih objekata i drugih uslova. Rastojanje između otvora za izbacivanje zagađenog vazduha iz prostorija ugroženih eksplozivnim smešama i otvora za usisavanje svežeg vazduha mora biti najmanje 15 m po horizontali i 6 m po vertikali. Oko izduvnih otvora ne sme se nalaziti izvor paljenja u sfernom radijusu od najmanje pedesetostrukog prečnika okruglog otvora, odnosno kraće strane ako je kanal pravougaonog preseka. Izduvni otvori ne smeju biti na visini manjoj od 2,2 m od poda odnosno tla. Prilikom proračuna ovakvih sistema mora se voditi računa da koncentracija u kanalima ne sme da pređe 50% od vrednosti donje granice eksplozivnosti. Jasno je da ovaj način ventilacije ugrožava okolinu, pa se pri projektovanju sistema za lokalnu ventilaciju o tome mora voditi računa. Za velike sisteme za lokalno odsisavanje, kao što su sistemi u štamparijama za duboku štampu, gde se koriste štamparske boje sa zapaljivim razređivačima (toluol i dr.), primenjuju se sistemi za rekuperaciju rastvarača kako bi se sprečilo zagađenje okoline.

Opšta ventilacija prostorija u kojima vlada eksplozivna atmosfera vrši se radi obezbeđenja mikroklimatskih uslova za radnike koji rade u takvim prostorijama. Osim toga, opštom ventilacijom se obezbeđuje razređivanje smeša koje nisu odstranjene lokalnim ventilacionim sistemima i nadoknađuje se vazduh koji je odveden tim sistemima.

U prostorijama ugroženim eksplozivnim smešama ne mogu se koristiti ventilacioni sistemi sa recirkulacijom, zbog opasnosti od povećanja koncentracije. U takvim prostorijama sistemi opšte i lokalne ventilacije moraju biti kontrolisani odgovarajućim uređajem, pošto bi u slučaju prestanka rada moglo doći do širenja smeše na celu prostoriju odnosno do povećanja koncentracije u delovima prostora koji nisu klasifikovani kao zone opasnosti. U takvom slučaju rizik od požara i eksplozije je izuzetno visok. Kontrola rada ventilacionih sistema može se ostvariti u dva oblika:

- nadgledana ventilacija je prinudno provetravanje radnog prostora u kome je strujanje vazduha nadgledano kontrolom rada elektromotora ventilatora i vremenskog davača, tako da se po ispadanju iz rada bilo kog elektromotora ventilatora isključuju uređaji koji predstavljaju izvor opasnosti, a ponovo se mogu uključiti tek kad se pet puta izmeni vazduh u tom prostoru;
- kontrolisana ventilacija je prinudno provetravanje radnog prostora u kome je strujanje kontrolisano kontrolnim uređajem (npr. krilna sklopka, presostat i sl.) i vremenskim davačem tako da se pri prestanku ili smanjenju strujanja vazduha isključuju iz rada uređaji koji predstavljaju opasnost, a ponovo se mogu uključiti tek kada se pet puta izmeni vazduh u tom prostoru.

Samo se trajno nadgledana ili kontrolisana prinudna ventilacija može tretirati kao primarna mera protiveksplozijske zaštite, koja se uvažava pri određivanju zona opasnosti. Pri tome treba imati u vidu i učestalost prekida rada takve ventilacije i trajanje prekida (nestanak električne energije, brzina startovanja dizel-agregata i dr.).

Komore sistema za ventilaciju namenjene opsluživanju ugroženih prostora smeštaju se odvojeno od ostalih komora i to u prostorije izgrađene od materijala otpornog prema požaru najmanje 2 sata. Prostorija mora biti prostrana

da bi se nesmetano obavljali kontrola i održavanje, a električna oprema komora i oprema i uređaji u toj prostoriji moraju biti u protiveksplozijskoj zaštiti shodno *JUS N.S8.090 — Protiveksplozijska zaštita. Zahtevi za električne instalacije i uređaje u prostorima ugroženim od eksplozivne atmosfere*. Ako se komora za ventilaciju, preko koje se ubacuje svež vazduh u zonu opasnosti nalazi u samoj zoni, ona mora imati senzor koji reaguje na promenu pritiska struje vazduha do koje dolazi usled prekida rada elektromotora, zatvaranja klapni i sl., a sva električna oprema mora biti u protiveksplozijskoj zaštiti.

Ventilatori kao mehanički uređaji sa rotirajućim delovima mogu biti uzročnici požara u sledećim slučajevima:

- pri prekomernom porastu temperature kliznih ili kotrljajućih ležaja ventilatora ili elektromotora,
- pri varničenju do kojeg dolazi zbog loma delova ili nedozvoljenog ugiba vratila ventilacionog kola, ili zbog prisustva metalnih delova u kućištu u kome je smešteno kolo,
- pri proklizavanju klinastog ili pljosnatog kaiša koji se koristi za prenos snage sa elektromotora,
- pri pojavi statičkog elektriciteta koji nastaje zbog primene neadekvatnih kaiševa,
- pri kvarovima na elektromotoru i napojnim kablovima odnosno pri pregrevanju ili kratkom spoju.

Ovi uzročnici požara su posebno opasni ako se komora odnosno ventilator koristi u zonama opasnosti, pa se za ventilatore postavljaju posebni uslovi. Kotrljajući ležaji moraju biti predviđeni za rad od najmanje 40 000 radnih sati. Klizni ležaji mogu se upotrebiti samo u slučaju kada se utvrdi da temperatura ležaja u normalnim pogonskim uslovima ne prelazi 80% temperature paljenja gasova ili para zapaljivih tečnosti koje se nalaze u vazduhu. Kod ovih ležaja ne sme doći do smanjenja efekta zaptivanja na zaptivačima pri maksimalnom broju obrtaja.

Vratila ventilatorskog kola prema veličini ugiba mogu biti kruta (mali ugib), ili elastična (veći ugib). Kritični broj obrtaja u prvom slučaju mora biti najmanje za 30%, a u drugom slučaju najmanje za 60% manji od normalnog pogonskog broja obrtaja. Ventilatorsko kolo mora biti statički i dinamički izbalansirano, osigurano od pomeranja i zakretanja i mora posedovati konstrukciju koja ne podleže zamaranju i koja može izdržati mehaničke udare. Kućište, rotor, zaštitna kapa i druge obloge moraju biti izrađeni tako da su isključeni svaka deformacija ili pomeranje ventilatora. Razmak između ventilatorskog kola i kućišta ne sme biti manji od 2 mm. U toku rada ventila-tora dozvoljeno je smanjenje razmaka do 1 mm, pod uslovom da pri probnom pogonu sa brojem obrtaja koji je za 50% veći od normalnog broja, ventilatorsko kolo ne dođe u dodir sa nepokretnim delovima ventilatora pri ispitivanju koje mora trajati najmanje 24 časa.

Za ventilatore koji se koriste u prostorijama ugroženim eksplozivnom atmosferom, materijal kućišta i ostalih elemenata ne sme pri radu da stvara varnice. Za izradu ventilatorskih kola u takvim slučajevima koriste se materijali koji su dobri provodnici toplote (aluminijum i njegove legure, bakar i njegove legure). Ako se za kolo koristi legura aluminijuma sa više od 0,4% magnezijuma, kućište i ostali delovi moraju biti prevučeni materijalom koji ne stvara varnice pri udaru čvrstih čestica. Usisni deo takvih ventila-tora mora biti izrađen od bakra ili mesinga, ili obložen tim materijalom. Ventilatori se obezbeđuju od upada stranih tela (alata, materijala i sl.) tako što se na ulaznom i izlaznom otvoru postavlja negoriva mehanička zaštitna rešetka sa otvorima okca čija je strana najviše 8 mm. Svi razdvojnici de-lovi ventilatora moraju biti premošteni bakarnom pletenicom ili pocinkovanom trakom, a kućište ventilatora poveza-no na uzemljivač radi odvođenja statičkog elektriciteta.

Ventilatori namenjeni radu u zonama opasnosti moraju biti izrađeni u skladu sa *JUS N.S9.901 - Protiveksplozijske zaštite. Posebni zahtevi za ventilatore u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom*. Kao dokaz o podobnosti ventilatori moraju biti ispitani i atestirani od strane ovlašćene ustanove i označeni propisanim oznakama radi raspoznavanja.

Za pogon ventilatora upotrebljavaju se pljosnati ili klinasti kaiševi. Materijali koji se koriste za njihovu izradu spadaju u kategoriju zapaljivih materijala. Tokom upotrebe kaiša dolazi do njihovog istezanja, što može prouzrokovati proklizavanje. Ukoliko se o tome ne vodi računa, usled trenja dolazi do paljenja remena i prenošenja požara na druge gorive materije (prašinu, kablove, boju i dr.).

Usled trenja kaiša o kaišnik i savijanja samog kaiša stvara se statički elektricitet koji je jedan od najopasnijih uzročnika požara. Zbog toga se ventilatori sa pogonom preko kaiša mogu upotrebljavati u zonama opasnosti, pod uslovom da kaiševi ne mogu da stvaraju statički elektricitet, a da izmerena električna otpornost ne prelazi 10 Q. Da bi se izvršilo odvođenje statičkog elektriciteta koji nastaje na kaišnom prenosu, preduzimaju se sledeće mere:

- galvansko povezivanje i uzemljivanje svih metalnih delova ventilatora i elektromotora,
- prepariranje površine kaiša antistatičkim sredstvima radi povećanja površinske provodljivosti,
- povećanje specifične provodljivosti neprovodljivih kaiševa dodavanjem provodljivih materijala.

Kaiševi koji se koriste u zonama opasnosti moraju biti atestirani od strane proizvođača, a u toku upotrebe moraju se kontrolisati karakteristike koje se odnose na stvaranje statičkog elektriciteta.

Električni uređaji i instalacije na ventilacionim komorama (elektromotori ventilatora i dempera, termostati, krajnji prekidači ukoliko se nalaze u zonama opasnosti) moraju biti izvedeni prema propisima koji se odnose na protiveksplozijsku zaštitu.

Pri projektovanju ventilacionih sistema treba nastojati da svaki deo ugroženog prostora koji predstavlja zaseban požarni sektor, ima svoj sistem opšte i lokalne ventilacije. Ukoliko to nije prihvatljivo rešenje, ventilacioni kanali se mogu međusobno spajati i priključivati na isti sistem u slučajevima kada su prostorije posebni požarni sektori ako su međusobno odvojene zidovima čija otpornost prema požaru iznosi 90 minuta i ako ukupna površina prostorije ne prelazi 1000 m². Međusobno povezivanje kanala za odvođenje zagađenog vazduha iz prostorija iste požarne opasnosti nije dozvoljeno ako se u tim prostorijama odvijaju tehnološki procesi pri kojima se pojavljuju gasovi i pare koje u međusobnom dodiru reaguju uz oslobađanje toplote, materije koje mogu stvarati zapaljive smeše i zapaljive materije koje se mogu taložiti ili kondenzovati u kanalima. U ovom slučaju se na granicama požarnih sektora moraju predvideti klapne otporne prema požaru koje se automatski zatvaraju u slučaju promene neke od požarnih veličina (dim, toplota, zračenje i dr.). Kanali lokalnog odsisavanja ne smeju se povezivati sa kanalima opšte ventilacije.

Ventilacioni kanali za odvođenje eksplozivnih smeša moraju biti izrađeni od negorivog materijala, hermetizovani, termički izolovani negorivim materijalom i vidno postavljeni, a ne smeju prolaziti kroz prostorije namenjene evakuaciji u slučaju požara.

Rastojanje između kanala u kojima je temperatura vazduha iznad 80°C i kanala kojima se transportuju eksplozivne smeše, mora biti najmanje 1,0 m. Kanali čija je temperatura vazduha 80°C postavljaju se iznad kanala kojima se

transportuju eksplozivne smeše.

Ako u sistemu za ventilaciju postoji opasnost od prodora eksplozivnih smeša do izmenjivača toplote, njegova temperatura mora biti niža za najmanje 20% od najniže temperature samopaljenja prisutnih zapaljivih gasova i para zapaljivih tečnosti. Među zapaljivim tečnostima sa najnižom temperaturom samopaljenja je benzin, sa 287,8°C, tako da bi temperatura izmenjivača toplote mogla da bude najviše do 230°C.

U prostorijama ugroženim eksplozivnom atmosferom mora postojati mogućnost za kontrolu sistema za ventilaciju sa jednog mesta odakle bi se korigovala reakcija na detektovanu pojavu (pojava eksplozivnih smeša iznad DGE i sl.). Da bi se ta kontrola mogla vršiti, postavljaju se na stabilne instalacije za detekciju eksplozivnih gasova i para sa senzorima na mestima najveće opasnosti. U takvim slučajevima bi se mogla intenzivirati ventilacija (npr. uključivanje druge brzine ventilatora), ili bi se moglo vršiti zatvaranje pojedinih ogranaka sistema radi efikasnijeg odsisavanja i sl.

Ventilacioni sistemi sprežu se najčešće sa sistemima za automatsko otkrivanje i dojavu požara. U slučaju promene neke od požarnih veličina (povišenje temperature, pojava dima ili plamena i sl.), isključuju se iz upotrebe svi sistemi koji opslužuju požarni sektor odnosno sistemi koji prolaze kroz sektor u kome je došlo do promene. Pri tome se zatvaraju sve klapne otporne prema požaru na granicama požarnog sektora.

Zaključak

Opasnost od nastajanja požara i eksplozija u prostorijama ugroženim eksplozivnom atmosferom odnosno smešama zapaljivih materija sa vazduhom u obliku gasa, pare ili magle je velika pošto su u takvim prostorijama uglavnom prisutni i najčešći uzročnici paljenja. Osnovni princip eliminacije opasnosti od paljenja eksplozivnih smeša je da se smanji na minimum mogućnost jednovremene pojave eksplozivne atmosfere i uzročnika paljenja. Značajnu ulogu u tome igra ventilacija, pošto se intenzivnim strujanjem vazduha u ugroženom prostoru (ubacivanjem svežeg vazduha i izvlačenjem eksplozivnih smeša) može izvršiti razblaženje nastale koncentracije, čime bi se smanjile ili eliminisale zone opasnosti. Ukoliko je moguće proceniti mesta nastanka eksplozivnih smeša, mogla bi se intenzivnim odsisavanjem eliminisati opasnost od nastanka požara i eksplozija. Pri projektovanju sistema za ventilaciju prostorija ugroženih eksplozivnom atmosferom, primenjuju se specifične mere zaštite koje se odnose na dispoziciju kanala, izbor ventilatora i druge opreme, smeštaj ventilacionih komora i dr.

Literatura

- [1] Bogner, M., M. Isailović: *Tehnički propisi u grejanju, hlađenju i klimatizaciji*, Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije, Beograd, 1995.
- [2] Reknagel, Sprenger: *Grejanje i klimatizacija*, Građevinska knjiga, Beograd, 1984.
- [3] Stojanović, D.: *Zaštita od požara i eksplozija*, Institut zaštite od požara i eksplozija, Sarajevo, 1988.
- [4] * * *: *National Fire Codes - NFPA 90A - Air Conditioning and Ventilating Systems*, 1986.
- [5] Jovanov, R., N. Kleut: *Prostori ugroženi eksplozivnim smešama*, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd, 1994.