

Slika 7.22 Pravila za razmeštanje detektora u hodniku

Britanski standard BS 5839-1 nalaže drugačija pravila zbog činjenice da se prema ovom standardu hodnikom smatraju prostorije širine do 5 m. Pri postavljanju detektora u takvim prostorijama, maksimalno rastojanje između tačkastih detektora dima i toplote može da se poveća za polovinu razlike između 5 m i širine hodnika. Drugim rečima, ako se sa w označi širina hodnika, poluprečnik pokrivanja iznosi:

- za detektore toplote $(5 \text{ m} - w) / 2 + 5.3 \text{ [m]}$,
- za detektore dima $(5 \text{ m} - w) / 2 + 7.5 \text{ [m]}$.

Ruski standard **HTB-88**, kada su u pitanju hodnici, navodi korekciju koja se odnosi samo na tačkaste detektore dima, u smislu da maksimalno rastojanje detektora dima koje je u ovom poglavlju dato u tabeli 7.11, može da se u prostorijama sa širinom do 3 m poveća za 1.5 puta (inače, ovo pravilo važi i za postavljanje u prostorijama sa visinom do 1.7 m).

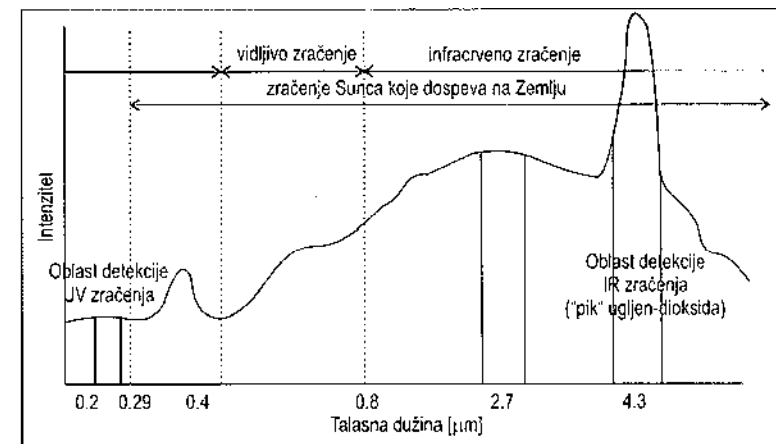
Američki standard **NFPA 72** definiše hodnik na sličan način kao i britanski standard, kao prostoriju širine do 4.6 m (15 ft). Rastojanje između detektora se ne definiše jednoznačno, već u skladu sa maksimalnom površinom pokrivanja detektora. Na primer, za postavljanje detektora dima (9.1 m × 9.1 m površina pokrivanja) navodi se da u hodniku širine 3 m (10 ft) i dužine 25 m (odn. 82 ft), treba postaviti 2 detektora, što daje rastojanje od 12.5 između detektora sa simetričnim rasporedom (ovo je ilustrovano u donjem delu slike 7.20). Bez obzira što se radi o hodniku, standard navodi da najveća udaljenost detektora dima od zida ne sme da pređe vrednost od $0.7 \times S$ (slika 7.17), što upravo toliko iznosi - $0.7 \times 9.1 \text{ m} = 6.4 \text{ m}$.

8 Postavljanje detektora plamena

Kod požara koji počinju tinjanjem prođe relativno dosta vremena dok ne dođe do punog razvoja požara. Međutim, u visokim objektima ili na otvorenom prostoru gde se skladišti lako zapaljivi materijal, kao na primer, derivati nafte ili hemijske materije, ne samo da nije moguće iskoristiti konvekciju produkata požara za detekciju već se i požar razvija veoma brzo. U takvim slučajevima jedino praktično rešenje su detektori zračenja plamena (eng. *flame detectors*, rus. *пламени излучатели*).

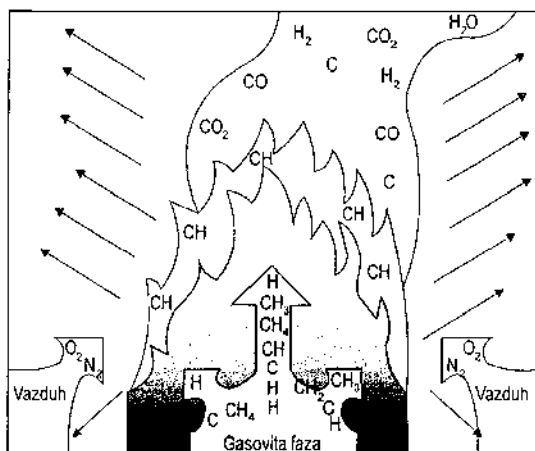
Zračenje žarišta požara u zavisnosti od temperature gorenja i hemijskih reakcija ima različit spektralni sastav. Spektralno zračenje plamena je prilično složeno i sastoji se iz:

- *kontinualnog zračenja*, koje se formira kao posledica zagrevanja različitih čvrstih i tečnih čestica koje se obrazuju nad žarištem požara pri nepotpunom sagorevanju (čestice čađi, vodene pare itd.). Kontinualno zračenje ima dva karakteristična pika u oblasti od 2.8 μm i 4.3 μm , što je uslovljeno zračenjem vodene pare i radikala OH (2.8 μm), a takođe i zračenjem zagrejanog ugljen-dioksida (4.3 μm), slika 8.1;
- *linearnog spektra*, koji se formira kao rezultat hemijskih reakcija u plamenu (uzajamno dejstvo molekula materije). Sastav ovog spektra zavisi od tipa goriva i oksidansa;
- *pojedinačnih linija*, koje se formiraju kao rezultat elektronskih prelaza u atome pod dejstvom spoljašnje energije.



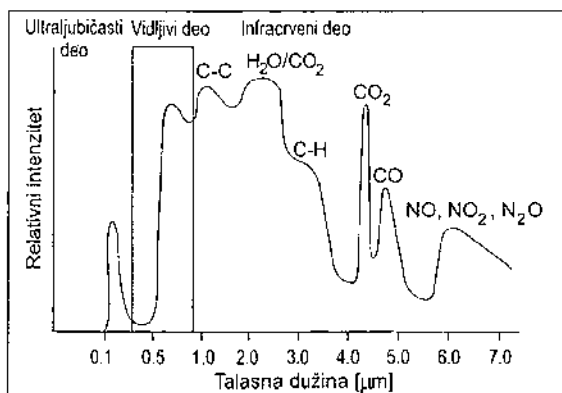
Slika 8.1 „Tipičan“ spektralni sastav požara ugljovodnika

Detektori plamena su posebno pogodni za detekciju požara ugljovodonika, imajući u vidu „glavnu“ hemijsku reakcije požara: $\text{HC} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ i „anatomiju“ požara prikazanu na slici 8.2.



Slika 8.2 „Anatomija“ požara

Iako spektar zračenja plamena ima različit sastav po intenzitetu i dijapazonu i zavisi od sastava gorive materije, temperature i brzine sagorevanja, moguće je da se za konkretno gorivo definiše karakterističan oblik spektra zračenja. Na slici 8.3 je prikazan tipičan izgled spektra koji nastaje pri požaru naftnih derivata.



Slika 8.3 Izgled spektra požara benzina

U skladu sa talasnom dužinom koju služi za detekciju požara i primenjenom tehnologijom, detektore plamena je moguće podeliti na:

1. ultraljubičaste - do $0.38 \mu\text{m}$,
2. vidljive - od $0.38 \mu\text{m}$ do $0.78 \mu\text{m}$
3. približno infracrvene - od $0.78 \mu\text{m}$ do $1.3 \mu\text{m}$
4. infracrvene - $1.3 \mu\text{m}$ do $10 \mu\text{m}$
5. kombinovane - kombinacija prethodnih i to: UV/IR, IR2 (dva IC senzora), IR3 (tri IC senzora) i multi IR (sadrže više IC senzora).

Navedena podela je više teorijske prirode, jer u praksi primenu nalaze ultraljubičasti, infracrveni i kombinovani detektori, što je u skladu i sa podelom koju daje međunarodni i evropski standard.¹⁾

Najvažnije osobine koje treba da poseduje detektor plamena jesu:

- osetljivost na plamen treba da bude dovoljno visoka da osigura detekciju maksimalno dozvoljenog razvoja požara u čitavom području koje se štiti,
- brzina odziva mora biti takva da požari sa brzim razvojem budu otkriveni u najranijoj fazi,
- detektor mora da bude neosetljiv na zračenja koja ne potiču od požara da bi se eliminisali lažni alarmi,
- što više onemogućiti blokiranje ili smanjenje apsorpcije zračenja zbog zaprljanosti detektora prašinom, uljem, vodom, itd.

8.1 Princip realizacije ultraljubičastog detektora plamena

U ultraljubičastom delu spektra koriste se brojači fotona ili indikatori napunjeni gasom. Senzori imaju veliku osetljivost i rade u impulsnom režimu, što znači da se prag alarma definiše preko broja impulsa u jedinici vremena koje generiše fotoelement. Obrada signala od detektora je uglavnom analogna, dok se zaštita od smetnji od stranih izvora svetlosti realizuje promenom osetljivosti, optičkim i električnim filtriranjem. Uzak frekventni opseg UV zračenja je podeljen na tri dela na osnovu *bioloških efekata*:

- UV-A (od 400 nm do 315 nm),
- UV-B (315 nm do 280 nm) i
- UV-C (280 nm do 100 nm).

¹⁾ Definicije iz ISO 7240-10 i EN 54-10: Point flame detectors

3.1 infrared (IR) detector - flame detector responding only to radiation having wavelengths greater than 850 nm .

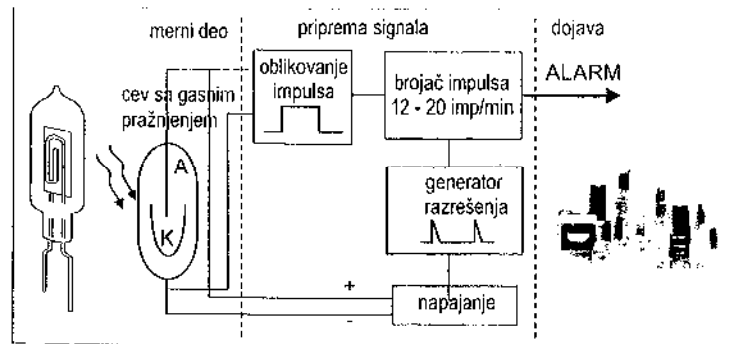
3.2 ultra-violet (UV) detector - flame detector responding only to radiation having wavelengths less than 300 nm .

3.3 multiband detector - a flame detector having two or more sensing elements, each responding to radiation in a distinct wavelength range and each of whose outputs may contribute to the alarm decision.

Energija UV zračenja koja dospeva na površinu Zemlje sastavljena je uglavnom od UV-A i malog dela UV-B komponente. Zbog toga se za detekciju požara koristi UV-C komponenta u okviru koje dolazi do jonizacije i koja ima najveću energiju. Opšte prihvaćena granica jonizacije je na talasnim dužinama počev od 100 nm i energijom fotona koja je veća od 12.4 eV.

Ultraljubičasto zračenje u detektoru registruje fotoelektrična elektronska cev sa hladnom katodom (slična cevi Geiger - Müllerovog brojača, instrumenta za detekciju jonizujućeg zračenja), u okviru jedne uske spektralne oblasti (185-245 nm, ili 180 do 260 nm, zavisno od proizvođača). Elektroni koji se izdvajaju sa katode ubrzavaju se ka anodi, sudaraju sa molekulima jonizovanog gasa kojim je ispunjena cev, čime se stvaraju uslovi za „lavinski“ efekat. Trenutna impulsna struja koja nastaje je proporcionalna intenzitetu zračenja i površini katode.

Osetljivost na požar kod ovih detektora najčešće se definiše u odnosu na rastojanje na kome može da se detektuje požar na površine 0.1 m². Ultraljubičasti detektori obično detektuju požar na rastojanju od 10 do 12 m sa vremenom odziva od par sekundi, ali su u stanju da daju odziv i u vremenu od nekoliko milisekundi, što ih čini pogodnim i za detekciju eksplozije.



Slika 8.4 Princip rada ultraljubičastog detektora plamena

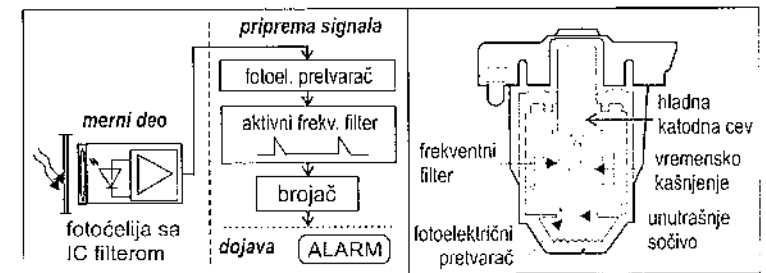
Ultraljubičasti detektor otkriva požare tečnost (alkohol, špiritus), požare gasova (sumpor, vodonik, amonijak) ili požare metala bez razvoja dima. Lažne dojave mogu biti izazvane elektrolučnim i autogenim zavarivanjem, fotografskim blicem (halogene svetiljke) ili rendgen i gama zračenjem.

Pošto se ultraljubičasto zračenje lako apsorbuje na organskim materijalima u čvrstom, tečnom i gasovitom stanju, to može da predstavlja problem kod detekcije. Tanak sloj ulja ili masti, gotovo nevidljiv za oko, može potpuno da onesposobi detektor; pare acerona, toluena, itd. uzrokuju slabljenje signala a takođe je i dim jak apsorber.

8.2 Princip realizacije infracrvenog detektora plamena

Infracrveni detektor plamena reaguje na infracrveni deo spektra koji je karakterističan za otvoreni požar. Detektovano zračenje se preko filtera vodi na optoelektrični pretvarač koji daje električni signal. Pošto u ovoj mernoj oblasti postoje i drugi izvori zračenja (sunce, grejalica), dodatni kriterijum za procenu je i treperenje plamena koje predstavlja važan faktor pri konstrukciji detektora. Infracrveni detektori plamena koriste oblast spektra između 4.15 μm i 4.55 μm i dodatno vrše procenu treperenja plamena požara frekvencije od 5 do 30 Hz.

Princip rada infracrvenog detektora plamena je prikazan na slici 8.5. U praktičnoj realizaciji detektora jedan aktivni frekventni filter filtrira frekvenciju treperenja i jedan brojač memoriše ulazne impulse u jedinici vremena. Da bi detektor plamena generisao signal alarma potrebno je da budu ispunjena dva uslova: da talasna dužina odgovara IC području koje se detektuje i da frekvencija treperenja odgovara treperenju plamena.



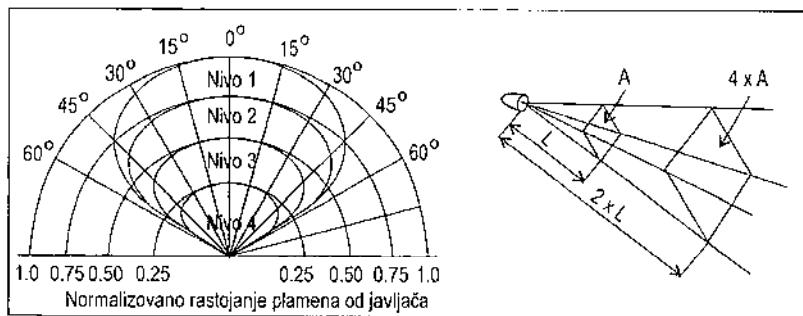
Slika 8.5 Princip rada i presek infracrvenog detektora plamena

Infracrveni detektor detektuje otvorene požare bez razvoja dima, dakle, primenjuje se tamo gde se koriste lako plamteći materijali. Lažne dojave mogu biti izazvane zračenjem usijanih tela, pa da bi se povećala imunost na lažne alarme neophodno je koristiti što veće talasne dužine u IC području. Razvojem tehnologije to područje je stalno pomerano prema delu spektra koji daje plamen materijala koji sadrže ugljenik. Savremeni infracrveni detektori plamena rade u području oko 4.3 μm gde snažna atmosferska apsorpcija uzrokovana ugljen-dioksidom, koindicira sa značajnim emisivnim pikom u spektru plamena koji je takođe uzrokovan ugljen-dioksidom. Rad u ovom području - od 4.1 μm do 4.7 μm je standardan za većinu detektora plamena koji se danas nude na tržištu.

Bez obzira o kom tipu detektora plamena se radi, porastom rastojanja od požara (u liniji ose detektora i ugaono u odnosu na optičku osu detektora) požar mora da zauzima veću površinu da bi bio otkriven od strane detektora, odnosno, požar će se detektovati u razvijenijoj fazi.

8.3 Pravila za postavljanje

Bez obzira na činjenicu da se danas na tržištu mogu naći detektori plamena sa prostornim uglom pokrivanja od 90° do 120° , osetljivost i opseg detekcije, a samim tim i vreme odziva, zavise od površine plamena. Pošto elektromagnetno zračenje (dakle, i zračenje plamena) opada sa kvadratom rastojanja, to znači da dupliranjem rastojanja detektora od plamena do detektora stiže samo $1/4$ energije zračenja plamena. Drugim rečima, da bi detektor plamena imao isto vreme odziva, ako se rastojanje detektora plamena poveća dva puta od mogućeg mesta izbijanja požara, površina plamena mora da bude četiri puta veća, slika 8.6.



Slika 8.6 Nivoi osetljivosti detektora plamena za isto vreme odziva

Poznata je činjenica da detektori plamena imaju najbrži odziv u odnosu na sve ostale tipove detektora požara kod požara zapaljivih tečnosti. Za razliku od drugih tipova detektora požara koji zahtevaju postojanje tavanice koja usmerava prostiranje produkata sagorevanja ka detektoru, zračenje plamena se prošire linearno, tako detektori plamena mogu da se koriste u prostorima sa velikom visinom, u prostorima koji nemaju tavanicu i van objekta, s tim da detektor „vidi“ sve lokacije na kojima može da dođe do paljenja. Zbog toga, prilikom postavljanja treba uzeti u obzir postojanje prepreka ili pregrada koje mogu da naprave „senku“ u odnosu na detektor. Na drugoj strani, pošto su detektori plamena neosetljivi na tinjajuće požare ili na požare sa dosta dima, oni ne spadaju u detektore opšte namene, kao što je to slučaj sa detektorima dima.

Ultraljubičasto i infracrveno zračenje plamena koje se koristi za detekciju razlikuje se prema dubini prodiranja kroz različite materijale. Ulje, masti, prašina i slično znatno apsorbiraju ultraljubičasto zračenje u opsegu koji se koristi za detekciju, a takođe i veća količina dima koji prethodi razvoju plamena.

Sa druge strane, kada se koriste detektori plamena koji koriste infracrveni deo spektra zračenja plamena za detekciju treba obratiti pažnju na druge izvore

ovog tipa zračenja ukoliko postoje u prostoru koji se štiti. Ako postoji mogućnost da u nekom delu dana infracrveni detektor plamena bude izložen sunčevom zračenju, treba da se izabere detektor plamena koji nije osetljiv u tom delu spektra.

Iako infracrveni detektori plamena imaju veću imunost na kontaminaciju optičkog „prozora“ detektora i ne gube sposobnost detekcije, ipak može da dođe do smanjenja osetljivosti, tabela 8.1.

Tabela 8.1 Redukcija osetljivosti infracrvenog detektora plamena u odnosu na zaprejanost

Kontaminacija	Procenat osetljivosti
Vodeni sprej	75%
Isparenja	75%
Dim	75%
Tanak sloj ulja	86%
Tanak sloj slane vode	86%

Prema evropskom standardu EN 54-14 osnovni faktori koji treba da se uzmu obzir prilikom postavljanja su sledeći:

- postojanje direktna linija „vida“ između detektora i bilo koje tačke u prostoru koji se nadgleda,
- postojanje prepreka koje mogu da blokiraju zračenje i
- postojanje interferentnih izvora zračenja.

Pored ovoga, ovaj deo standarda daje preporuke koje se odnose na smanjivanje stope lažnih alarmiranja (obrađeno u poglavlju o lažnim alarmima u sistemu za dojavu požara), dok preporuke o zapremini prostora koji se nadgleda nisu date, već su navedena samo maksimalna rastojanja za detekciju u delu EN 54-10 *Filame detectors - Point detectors* (25 m, 17 m i 12 m, za Klase 1, 2 i 3, respektivno).²⁾

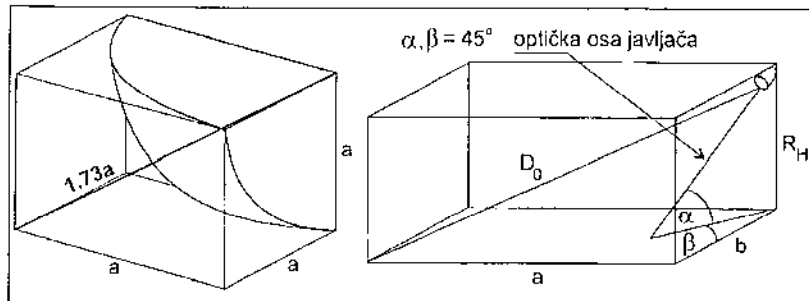
Nemački standard VDE 0833-2 daje slična upozorenja kada je u pitanju smanjivanje osetljivosti detektora plamena sa rastojanjem, sa napomenom da vibracije mogu da utiču na rad detektora, i kao i detektori dima, mogu da se koriste u ambijentima u kojima vlažnost ne prelazi 95%.

Kada je pitanju postavljanje detektora plamena, nemački standard navodi da orijentacija detektora plamena treba da bude takva da kompletan prostor bude obuhvaćen, a da broj detektora zavisi od zapremine i lokalnih uslova.

Kada se detektor plamena postavlja u ugao prostorije ili na zid, optička osa detektora treba da bude podešena pod uglom od 45° u odnosu na pod ili zid, i da na taj način obezbedi simetričan kružni ugao od 90° za nadgledanje kvadra koji predstavlja prostoriju koja se nadgleda. (slika 8.7).

²⁾ Za testiranje dometa detektora plamena prema standardu EN 54-10 koriste se dva tipa „test plamena“: žuti plamen površine 0.10 m^2 ($33 \times 33 \text{ cm}$) i nevidljivi plamen (plamen alkohola) površine 0.25 m^2 ($50 \times 50 \text{ cm}$).

Očigledno, za razliku od evropskog standarda koji definiše maksimalno rastojanje za detekciju nezavisno od ugla u odnosu na optičku osu detektora (domet detektora), nemački standard definiše maksimalno rastojanje u osi detektora i dimenzije zapremine koja može da se nadgleda.



Slika 8.7 Postavljanje detektora plamena

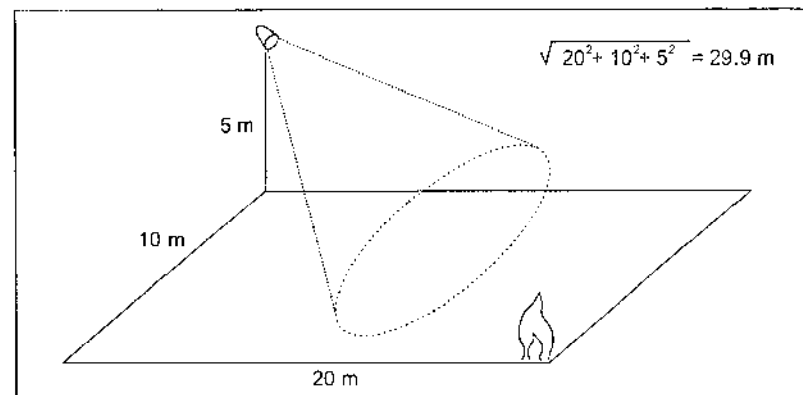
Navedena pravila evropskog i nemačkog standarda, iako to deluje na prvi pogled, nisu u suprotnosti. Naime, detektor plamena pokriva i prostor koji je izvan 1/8 sfere koja je definisana dometom u skladu sa EN 54-10 (slika levo), ali plamen mora da bude intenzivniji (da zahvata veću površinu). Zbog toga standard VDE 0833-2 predviđa mogućnost montaže i na većoj visini, ali projektant ima odgovornost da na osnovu procenjenog rizika proračuna oblast efektivnog nadzora.

Tabela 8.2 Oblast nadgledanja detektora plamena u skladu sa VDE 0833-2

Detektor plamena EN 54-10	Veličine a, b, R _H	Najveće rastojanje u prostoru koji se nadgleda D ₀
Klasa 1	26 m	45 m
Klasa 2	20 m	33 m
Klasa 3	13 m	23 m

Naravno, vrednosti koje su navedene u prethodnoj tabeli za veličine a, b i R_H se odnose na dimenzije kvadra tako da najveće rastojanje detekcije predstavlja kvadratni koren zbira kvadrata navedenih veličina, tj.:

$$D_0 = \sqrt{a^2 + b^2 + R_H^2}, \text{ što je ilustrovano na sledećoj slici.}$$



Slika 8.8 Primer određivanja maksimalnog rastojanja za detekciju

Proračun efektivnog nadzora može da bude olakšan činjenicom da neki proizvođači osetljivost detektora plamena definišu posredno, preko procenta udaljenosti od izvora zračenja. Standardna osetljivost iznosi 2%, što u praksi znači da detektor može da detektuje plamen koji je visok 2% u odnosu na rastojanje od detektora. Drugim rečima, detektor klase 1 (dometa 25 m) će detektovati plamen čija je visina najmanje 50 cm.

Nemački standard navodi da za prostorije sa visinom većom od 26 m treba da se posebno za svaki slučaj definišu površine koje se nadgledaju. Najzad, ako se detektori plamena koriste za detektorsku zavisnost tipa B, u tom slučaju detektori u okviru detektorskog para treba da budu orijentisani jedan prema drugom (nasuprot ili ukršteno) u odnosu na istu površinu koju nadgledaju.

Britanski standard BS 5839-1, kao i prethodno navedeni standardi, napominje da je namena detektora plamena da zamene tačkaste detektore dima i toplote u prostorijama s velikom visinom i da se jedino rešenje za detekciju na otvorenom prostoru. Kod postavljanja, treba imati u vidu da je zračenje plamena obrnuto proporcionalno kvadratu rastojanja i da zbog te činjenice maksimalno rastojanje treba da se odredi prema uputstvima proizvođača.

Ruski standard НПБ 88-2001 izričito nalaže da svaka tačka u prostoru koji se štiti treba da se nadgleda korišćenjem najmanje dva detektora plamena, koji su postavljeni jedan nasuprot drugog. Površina koja se nadgleda proračunava se na osnovu ugla pod kojim je postavljen detektor i njegove klasifikacije (maksimalnog rastojanja pod kojim može da detektuje plamen) koja je data u standardu НПБ 72-98 *Извещатели пламени пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний* i na osnovu tehničkih karakteristika koje daje proizvođač.

Standard НПБ 72-98 definiše 4 klase detektora plamena, sa napomenom da se rastojanja odnose na detekciju test požara TF-5 i TF-6 i da maksimalno vreme odziva mora da bude do 30 s.

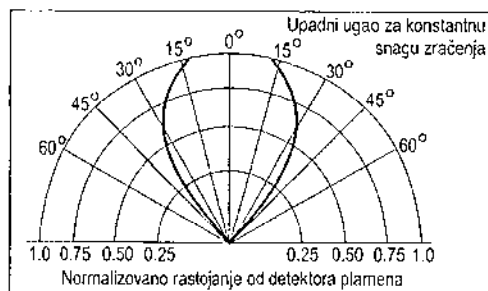
Tabela 8.3 Maksimalno rastojanje za detekciju požara TF-5 i TF-6 u skladu sa НПБ 72-98

Detektor plamena НПБ 72-98	Najveće rastojanje detekcije
Klasa 1	25 m
Klasa 2	17 m
Klasa 3	12 m
Klasa 4	8 m

I američki standard NFPA 72 definiše osetljivost detektora plamena preko rastojanja duž optičke ose na kojem se detektuje plamen definisane površine za definisano vreme. Međutim, kada su u pitanju kriterijumi za postavljanje, ovaj standard nalaže da se uzmu u obzir sledeći faktori:

1. veličinu požara koji treba da se otkrije,
2. tip gorivog materijala,
3. osetljivost detektora,
4. polje „vida“ detektora plamena,
5. rastojanje detektora od požara
6. apsorpciju energije zračenja plamena u atmosferi,
7. prisustvo drugih izvora koji emituju zračenje,
8. namenu sistema za dojavu požara i
9. zahtevano vreme odziva.

Kako osetljivost, i samim tim brzina detekcije, direktno zavisi od ugaonog rastojanja požara od optičke ose detektora, standard naglašava da veći ugao zahteva i veću površinu požara koji se detektuje. Fenomen polja „vida“ detektora plamena je ilustrovan na slici 8.9. Sa slike je očigledno, da prema ovom standardu deklarirana osetljivost detektora može da se prihvati samo u okviru prostornog ugla od 60°.



Slika 8.9 Osetljivost detektora plamena u skladu sa NFPA 72

9 Postavljanje detektora ugljen-monoksida

Ugljen-monoksid je jedan od vodećih uzroka smrti izazvanih trovanjem pod različitim okolnostima u svetu. Ovaj nevidljivi gas, bez mirisa i ukusa (često se naziva i „tihi“ ili „nevidljivi ubica“), nastaje nepotpunim sagorevanjem goriva koja sadrže ugljenik (fosilna goriva, drvo, ugali), svoje toksično dejstvo ispoljava tako što se dospevši u organizam preko disajnih organa, vezuje za hemoglobin u krvi i pretvara ga u karboksi-hemoglobin. U toj reverzibilnoj reakciji, udahnuti ugljen-monoksid se ponaša daleko agresivnije od kiseonika i vezuje za hemoglobin 240 puta brže, čime umanjuje sposobnost krvi da čeliče, tkiva i organe snabdeva kiseonikom. Efekti nastalog trovanja se kreću od glavobolje i mučnine, sve do smrtnog ishoda. Brzina vezivanja i uticaj CO na organizam zavisi od mnogo faktora, kao što su: pol, starost, fizička kondicija, postojanje akutnih i hroničnih bolesti, itd. Do fatalnog ishoda dovodi velika doza u kratkom vremenskom periodu, ali i mala doza u kombinaciji sa dugim vremenom ekspozicije.

U tabeli 9.1 su prikazani efekti izloženosti ugljen-monoksidu za različita vremena ekspozicije (ppm/min)¹⁾, tj. simptomi trovanja i odgovarajuća koncentracija koja izaziva te simptome. Generalno, može se reći da nema posledica pri izloženosti koncentraciji do 50 ppm u trajanju do 8 sati, i da je gornja granica tolerancije na CO do 100 ppm, pod uslovom da vreme ekspozicije nije duže od par sati.

Tabela 9.1 Simptomi uticaja CO na organizam

Konc. [ppm]	Simptomi
10 - 24	Efekti mogu da se jave tek posle dugog izlaganja
25	Opšte definisana maksimalno dozvoljena koncentracija
50	Maksimalno dozvoljena koncentracija na radnom mestu. Bez efekata pri izlaganju do 8 h.
100	Lakša glavobolja nakon 1-2 h.
200	Vrtoglavica, mučnina, zamor i glavobolja posle 2-3 h.
400	Glavobolja i mučnina posle 1-2 h. Životna ugroženost posle 3 h.
800	Glavobolja, mučnina, vrtoglavica posle 45 min., gubitak svesti posle 1 h, smrt nakon 2-3 h.
1000	Gubitak svesti posle 1 h.
1600	Mučnina, vrtoglavica posle 20 min.
3200	Mučnina, vrtoglavica posle 5-10 min., gubitak svesti posle 30 min.
6400	Mučnina, vrtoglavica posle 1-2 min., gubitak svesti posle 10-15 min.
12800 (1.28 %)	Momentalni psihološki efekti, gubitak svesti, smrt posle 1-3 min.

¹⁾ ppm - milioniti deo (eng. *parts per milion*). Na primer, u masi 1 ppm odgovara 1 mg u 1 kg, ili zapreminski - u procentima 0.1% zapreminc gasa u vazduhu je 1000 ppm (1 ppm = 1 µl/l).