

9.1 Principi konstrukcije javljača 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 javljači zračenja plamena (eng. *flame detectors*, rus. *пламени извещатели*)⁴¹⁾.

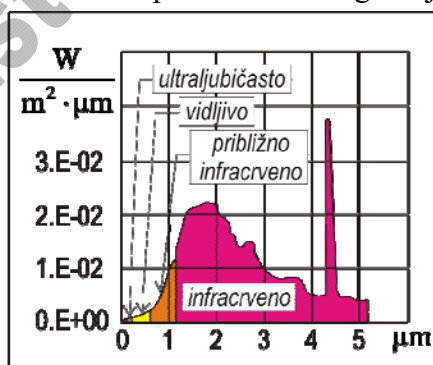
Najvažnije osobine koje treba da poseduje javljač plamena jesu:

- 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,
- javljač 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 javljača prašinom, uljem, vodom, itd.

Zračenje žarišta požara u zavisnosti od temperature gorenja i hemijskih reakcija ima različit spektralni sastav. Spektar zračenja plamena je prilično složen 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);
- *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.

Iako spektar zračenja plamena ima različit sastav po intenzitetu i dijapazonu, moguće je da se za konkretno gorivo definiše karakterističan oblik spektra zračenja. Intenzitet pojedinih delova spektra zračenja varira zavisno od veličine požara i uslova gorenja.



Slika 9.1 Zračenje plamena

Ljudsko oko može da vidi samo mali deo energije zračenja plamena. Nevidljivi deo zračenja plamena čovek registruje kao toplotu. Požari materija koje ne sadrže ugljovodonike nemaju pik CO₂ na 4.3 μm i mogu biti detektovani ultraljubičastim javljačem plamena. CO₂ pik reprezentuje samo 2% od ukupne energije požara.

⁴¹⁾ 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.

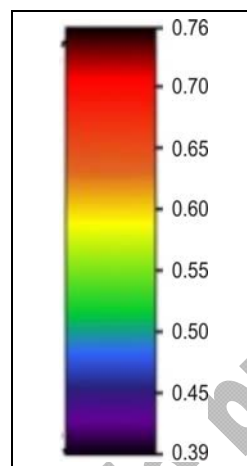
3.3 multiband detector - a flame detector having two or more sensing elements, each responding to radiation in a distinct wavelength range and each of whose outputs may contribute to the alarm decision.

Osnovna podela javljača plamena bazira se na talasnoj dužini koju javljači koriste za detekciju i koja je presudna za konstrukciju javljača.

Slika 9.2 Deo elektromagnetnog spektra

Najčešća podela dela elektromagnetnog spektra

Talasna dužina	Opseg
do 0.4 μm	Ultraljubičasto
0.4 do 0.8 μm	Vidljivo 0.4 do 0.5 μm - plavo 0.5 do 0.6 μm - zeleno 0.6 do 0.78 μm - crveno
0.75 do 1.4 μm	približno IC
1.4 do 3.0 μm	kratkotalasno IC
3.0 do 8.0 μm	srednjetalasno IC
3.0 do 15.0 μm	dugotalasno - toplotno IC

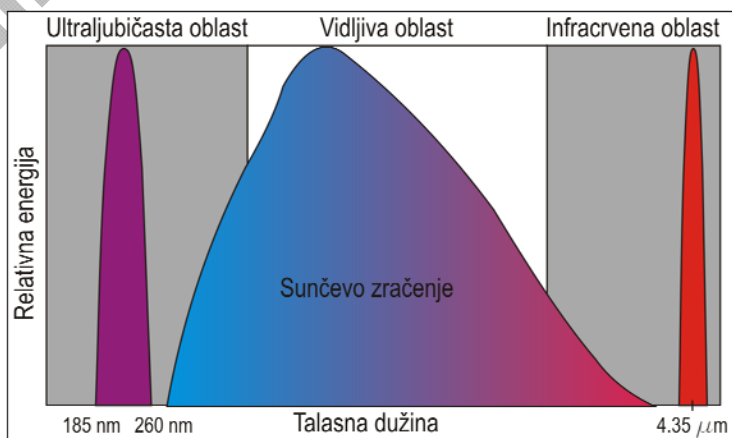


U skladu sa talasnom dužinom koju služi za detekciju požara i primenjenom tehnologijom, javljače plamena je moguće podeliti na:

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

U praksi primenu nalaze ultraljubičasti, infracrveni i kombinovani javljači. Veoma retko se primenjuju javljači koji su osetljivi na vidljivu oblast zračenja (0.4 μm do 0.8 μm). Javljači plamena reaguju na otvoreni plamen znatno brže nego drugi javljači i zato se koriste za otkrivanje požara koji odmah obrazuju otvoreni plamen, što je slučaj kod požara tečnosti i gasova. Kod ovih javljača nije bitna udaljenost od požara. Primenjuju se za zaštitu proizvodnih mašina i za nadgledanje slobodnog prostora (hangari za avione, tornjevi za bušenje).

Ometajuće veličine kod javljača plamena mogu nastati kod žarećih požara ili kod požara sa jakim razvojem dima jer, naročito kod ultraljubičastog zračenja, čestice dima reflektuju ili apsorbuju zračenje. Detekcija u zatvorenom prostoru je olakšana činjenicama da staklo ne propušta ultraljubičastu komponentu sunčevog zračenja sa talasnom dužinom manjom od 0.33 μm i da veštačko svetlo u sebi ne sadrži ovu komponentu. Otkrivanje zračenja žarišta požara na bazi fona zračenja zahteva posebne mere zaštite od pojave lažnih alarma.



Slika 9.3 Opsezi detekcije javljača plamena (ultraljubičastog i infracrvenog)

9.2 Ultraljubičasti javljač plamena

U ultraljubičastom delu spektra koriste se brojači fotona ili indikatori napunjeni gasom. Senzori imaju veliku osetljivost i rade na principu spoljnog fotoefekta, u impulsnom režimu, što znači da je količina impulsa u jedinici vremena koje generiše fotoelement presudna za aktiviranje javljača. Obrada signala od javljača je uglavnom analogna.

Zaštita od smetnji od stranih izvora svetlosti realizuje se na nekoliko načina: promenom osetljivosti, optičkim i električnim filtriranjem.

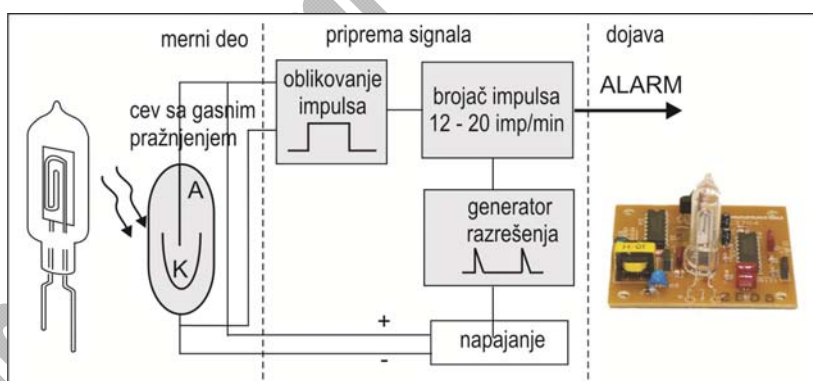
Uzak frekventni opseg UV zračenja je podeljen na tri dela, a na osnovu *bioloških efekata*. Postoje tri komponente UV zračenja:

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

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. Opšte prihvaćena granica jonizacije je na talasnim dužinama od oko 100 nm i energijom fotona koja je veća od 12.4 eV.

Ultraljubičasto zračenje u javljaču registruje foto-električna elektronska cev sa hladnom katodom (slična cevi *Geiger - Müllerovog* brojača, instrumenta za detekciju jonizujućeg zračenja), u okviru 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.

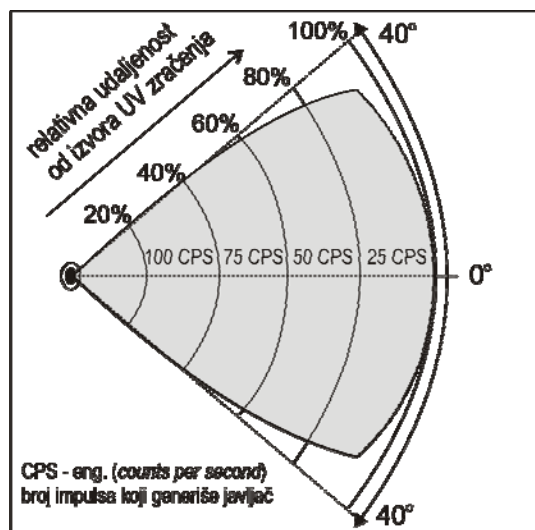
Osetljivost na požar kod ovih javljača najčešće se definiše u odnosu na rastojanje na kome može da se detektuje požar nafte površine 0.1 m². Ultraljubičasti javljači obično detektuju požar na rastojanju od 10 do 12 m sa vremenom odziva od par sekundi, ali su u stanju da daju odziv i u vremenu od nekoliko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



Slika 9.4 Princip rada ultraljubičastog javljača plamena

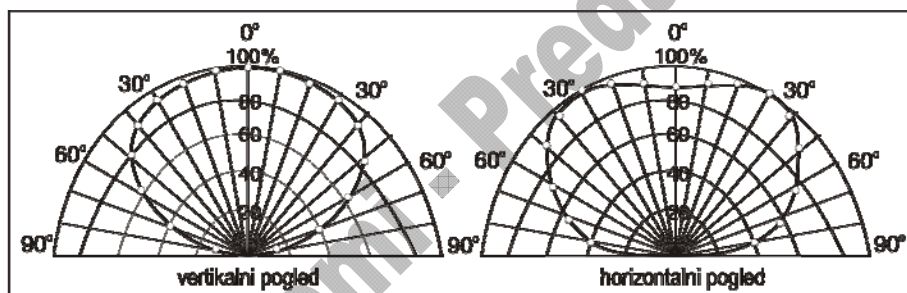
Osetljivost UV javljača plamena zavisi od veličine plamena, rastojanja i tipa goriva. Broj impulsa zavisi od ugla i udaljenosti od izvora UV zračenja. Javljač treba da ima uže „vidno polje“, jer reflektovano ultraljubičasto zračenje može da se detektuje i da aktivira alarm, čak i ako požar nije u polju vida javljača.

Ultraljubičasti javljač otkriva požare tečnosti (alkohol, špiritus), požare gasova (sumpor, vodonik, amonijak) ili požare metala bez razvoja dima.



Slika 9.5 „Odbrojanje“ ultraljubičastog javljača

Lažne dojave mogu biti izazvane elektrolučnim i autogenim zavarivanjem, fotografskim blicem (halogene svetiljke) ili rendgen i gama zračenjem. Na slici 9.6 je prikazano polje osetljivosti većine komercijalnih ultraljubičastih javljača plamena. Sa slike se vidi da javljač ima horizontalno „polje vida“ do 140°, međutim preporuka je da to polje bude oko 100°.



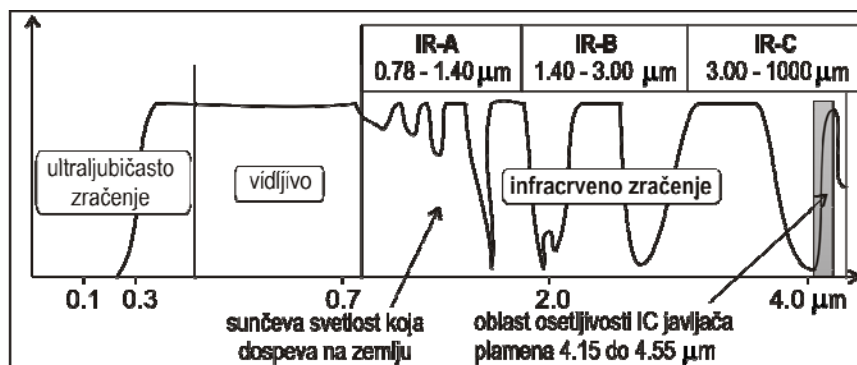
Slika 9.6 „Vidno polje“ ultraljubičastog javljača

Ultraljubičasto zračenje se lako apsorbira na organskim materijalima u čvrstom, tečnom i gasovitom stanju što može da bude veliki problem kod detektovanja ovim javljačem. Tanak sloj ulja ili masti, gotovo nevidljiv za oko, može potpuno da onemogući javljač; pare acetona, toluena, itd. uzrokuju slabljenje signala a takođe je i dim jak apsorber.

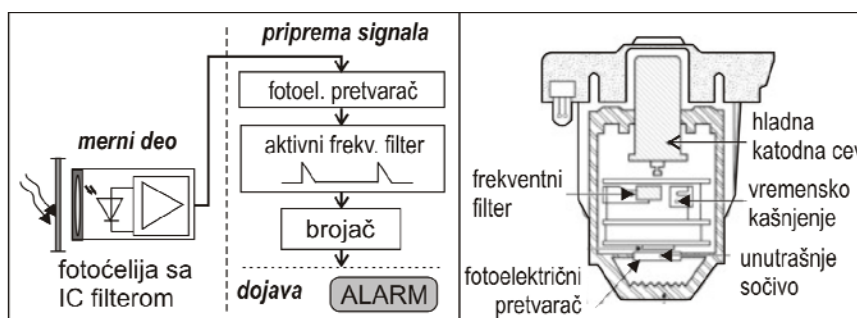
9.3 Infracrveni javljač plamena

Infracrveni javljač plamena reaguje na infracrveni deo spektra koji je karakterističan za otvoreni požar. Detektovano zračenje se preko jednog 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 i predstavlja važan faktor pri konstrukciji javljača. Infracrveni javljači plamena koriste oblast spektra između $4.15 \mu\text{m}$ i $4.55 \mu\text{m}$ i dodatno vrše procenu treperenja plamena požara frekvencije od 5 do 30 Hz.

Spektar treperenja koje nastaje difuznim plamenom (požari na sudovima sa tečnošću) daje gustinu energije koja može da se predstavi u obliku eksponencijalne funkcije. Najveći deo energije se nalazi u području do 10 Hz i većina javljača ima područje koje se proteže ka nižim frekvencijama, do 2 Hz i niže. Amplituda treperenja difuznog plamena je mnogo manja za tzv. plavi plamen ili za plamen koji je proizveden sagorevanjem gasa iz gorionika visokog pritiska. I u ovim slučajevima je moguće detektovati treperenje, pa samim tim i požar.



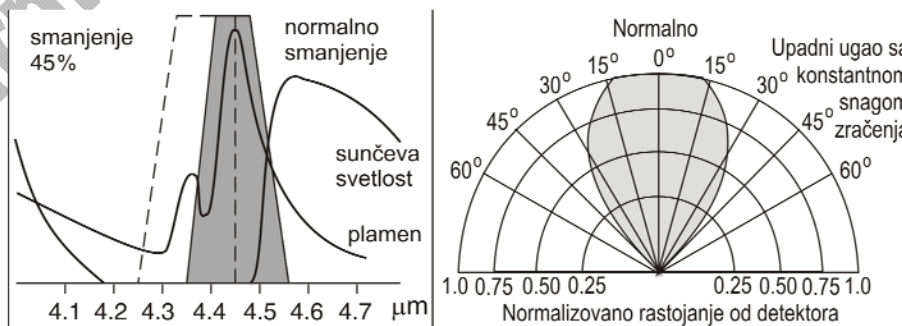
Slika 9.7 Spektralna osetljivost infracrvenog javljača



Slika 9.8 Princip rada i presek infracrvenog javljača požara

Infracrveni javljač detektuje otvorene požare bez razvitka 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. Sa razvojem tehnologije to područje je stalno pomerano prema onom delu spektra koji daje plamen materijala koji sadrže ugljenik.

Tek krajem 70-ih godina realizovani su senzori koji mogu da rade na dužinama većim od $3 \mu\text{m}$, što je omogućilo konstrukciju javljača koji rade u području $4.3 \mu\text{m}$ gde snažna atmosferska apsorpcija uzrokovana ugljen-dioksidom, koinducira sa značajnim emisionim pikom u spektru plamena koji je takođe uzrokovan ugljen-dioksidom. Rad u ovom području ($4.1 \mu\text{m}$ do $4.7 \mu\text{m}$) je danas standardan. Ako se pogleda spektar sunca i plamena u ovom području (slika 9.9) vidi se da se atmosferska apsorpcija, koja prouzrokuje ulegnuće u sunčevom spektru koje je vrlo oštro i vrlo duboko, ne poklapa tačno sa pikom emisije plamena koji je pomeren i proširen Doplerovim efektom. U tom slučaju je moguće da se izabere područje koje daje značajno povećano odbacivanje sunčevog zračenja i neznatno odbacivanje signala plamena.



Slika 9.9 Mikrometarsko područje i „vidno polje“ javljača

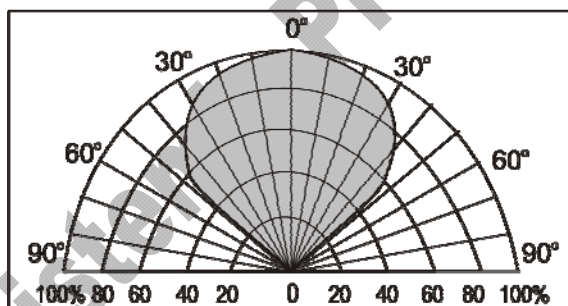
Korišćenje javljača koji je prikazan na slici u praksi znači da javljač može da detektuje požar na rastojanju do 20 m, ali ne daje alarm kad je izložen sunčevoj svetlosti.

Na levom delu slike 9.9 se vidi da se pomeranjem područja u oblasti od $4.1\ \mu\text{m}$ do $4.7\ \mu\text{m}$ kao rezultat dobija da je 20 puta smanjena osetljivost na sunčevo zračenje, a da je oko dva puta (oko 40%) smanjena osetljivost na zračenje plamena. Na desnom delu slike je prikazano „vidno polje“ ovakvog tipa javljača. Očigledno je da što je veće ugaono rastojanje plamena od optičke ose javljača, požar će se detektovati u razvijenijoj fazi, tj. požar mora da zauzima veću površinu da bi bio detektovan od strane javljača.

9.4 Posebne vrste javljača plamena

Jedan od pristupa za realizaciju javljača koji bi pokrio sva područja zračenja plamena jeste korišćenje širokopojasnog javljača plamena, koji je najčešće predstavljen kombinacijom ultraljubičastog i infracrvenog javljača. Time bi se aktivirao alarm samo u slučaju kad oba javljača detektuju alarm. Međutim, iako ova kombinacija znatno redukuje pojavu lažnih alarma, ona znatno smanjuje i sposobnost detekcije, jer ostaju nerešeni problemi apsorpcije zračenja kod oba javljača. Ako se za vezu iskoristi „ILI“ logika, sposobnost detekcije će biti veća nego kad se koriste zasebno oba javljača, ali je zato manja pouzdanost dojave alarma, tj. znatno je povećana osetljivost na lažne alarme.

U poslednje vreme se vrlo često primenjuje kombinovani javljač plamena čiji je rad zasnovan na korišćenju dvokanalnog IC javljača plamena. Kod ovakvog tipa javljača jedan senzor je namenjen detekciji zračenja plamena, dok drugi detektuje zračenje u području iznad ili ispod talasne dužine od oko $4.3\ \mu\text{m}$. Upoređivanjem amplituda oba signala donosi se odluka o alarmu. Glavna praktična poteškoća kod ovakvog pristupa jeste da osetljivost oba kanala bude jednaka tokom životnog doba javljača, jer se odluka o alarmu donosi na bazi odnosa dva signala.



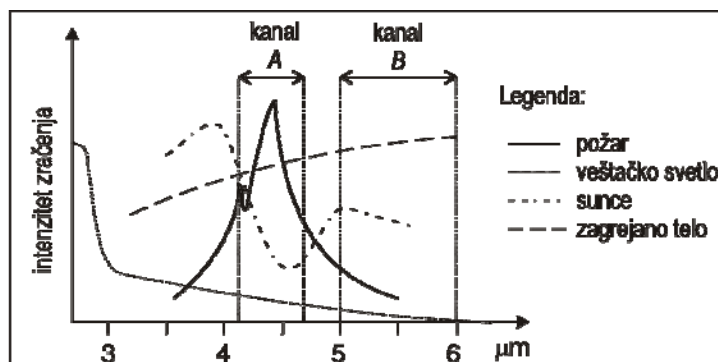
Slika 9.9 Odziv infracrvenog javljača

Na slici je prikazan tipičan odziv („vidno polje“) dvokanalnog kombinovanog javljača. Prikazani odziv je u odnosu na parafin kao gorući materijal.

Najčešći način praktične realizacije dvokanalnog javljača plamena je korišćenjem dva fotoelektrična senzora koji su osetljivi na dve različite talasne dužine. Prvi senzor, kanal A, reaguje na požarne gasove koji daju infracrvenu svetlost u opsegu spektralne karakteristike CO_2 - od $4.1\ \mu\text{m}$ do $4.7\ \mu\text{m}$. Ovi gasovi su proizvod gorenja materijala koji u sebi sadrže ugljenik. Drugi senzor, kanal B, meri infracrvenu energiju u opsegu talasnih dužina od $5\ \mu\text{m}$ do $6\ \mu\text{m}$, koja se emituje od izvora smetnji (sunčeva svetlost, veštačko svetlo i drugi izvori zračenja).

Signali sa tipičnom frekvencijom treperenja od 2 Hz do 20 Hz se upoređuju u elektronskom kolu po amplitudi i fazi. Kad požar emituje infracrvenu energiju, amplituda signala prvog senzora je mnogo veća nego od drugog senzora i aktivira se alarm.

Nasuprot tome, vibracije zagrejanog tela (na primer, motora) proizvode sinhroni signal i u kanalu A i kanalu B. Pošto je u tom slučaju signal u kanalu A manji nego u kanalu B, alarm se ne aktivira. Ako se u isto vreme pojavi plamen, generisaće se asinhroni signal u kanalu A i doći će do aktiviranja alarma. Osetljivost i vreme odziva ovog javljača može da se podešava u dva koraka pomoću mikroprekidača. Na slici 9.10 je ilustrovana pozicija kanala za detekciju u odnosu na spektar zračenja plamena i opsege zračenja koji izazivaju lažno alarmiranje.



Slika 9.10 Spektri plamena i mogućih izvora lažnih zračenja

„Logika“ rada dvokanalnog javljača, odnosno uslovi za aktiviranje alarma, zasnivaju se na odnosu signala na kanalima A i B. Uslovi za signalizaciju alarma su da je $A:B \gg 1$ - signal sinhron ili asinhron i $A:B \geq 1$ - signal asinhron.

Javljači plamena se prema međunarodnom i evropskom standardu klasifikuju u četiri klase, u skladu sa najvećim rastojanjem na kojem mogu da detektuju požar određene površine u za vreme do 30 s:

1. klasa javljača plamena - detekcija na rastojanju do 25 m,
 2. klasa javljača plamena - detekcija na rastojanju do 17 m,
 3. klasa javljača plamena - detekcija na rastojanju do 12 m, i
 4. klasa javljača plamena kod kojih rastojanja daje proizvođač - van opsega 12 - 25 m.
- Inače, za sve klase, većina proizvođača navodi kao vreme odziva vremenske intervale od 3, 5, 6 ili manje od 10 s.

10.1 Uticaj ugljen-monoksida na organizam

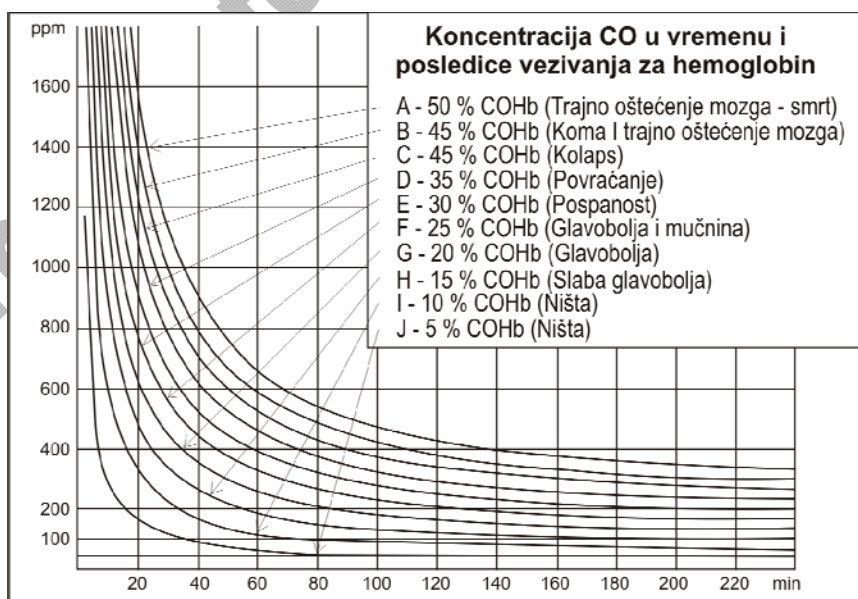
Prisustvo javljača ugljen-monoksida (CO) na tržištu i njihova praktična upotreba u sistemima za dojavu požara je relativno novijeg datuma. Ugljen-monoksid je prateći produkt tinjajućih požara, gas bez boje i mirisa. Nastaje kao posledica nepotpunog sagorevanja čvrstih, tečnih i gasovitih gorivih materijala i može da se nagomila u stanovima, kućama, hotelskim sobama, itd. Zbog toga, vreme odziva javljača ugljen-monoksida treba da bude što manje, imajući u vidu da se prostiranje ugljen-monoksida obavlja ne samo konvekcijom već i difuzijom. Ovaj tip javljača je ponekad jedino rešenje kada se detekcija obavlja u sredini u kojoj su prisutni prašina ili pare različitog porekla.

Poznato je da se kiseonik koji se unosi disanjem distribuira kroz organizam posredstvom hemoglobina u krvi, međutim, kada je ugljen-monoksid prisutan u okolnoj sredini on se daleko brže od kiseonika vezuje za hemoglobin. 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 CO u kratkom vremenskom periodu, ali i mala doza u kombinaciji sa dugim vremenom ekspozicije.

Na slici 10.1 su prikazani efekti izloženosti ugljen-monoksidu za različita vremena ekspozicije (ppm/min)⁴²⁾, a u tabeli 10.1 na sledećoj strani, simptomi trovanja i odgovarajuća koncentracija koja izaziva te simptome. Sa slike se vidi 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.

Prema istraživanjima koja su sprovedena u SAD, u periodu od 2004. do 2006. godine, dva najčešća izvora ugljen-monoksida su bile peći u kući i automobili. Najčešći razlozi i mesta nastanka CO su sledeći:

- o blokirani ili loše projektovani dimovodni kanali i loša ventilacija,
- o sistemi za grejanje na gas,
- o izduvni gasovi automobila, generatora, ...
- o upotreba roštilja u zatvorenim prostorima,
- o u kući: kvar peći, bojlera i slično.



Slika 10.1 Uticaj CO na organizam

⁴²⁾ 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% zapremine gasa u vazduhu je 1000 ppm.

Tabela 10.1 Simptomi uticaja CO na organizam

Konc. [ppm]	Simptomi
50	Bez efekata pri izlaganju do 8 h.
200	Slaba glavobolja posle 2-3 h.
400	Glavobolja i mučnina posle 1-2 h.
800	Glavobolja, mučnina, vrtoglavica posle 45 min., gubitak svesti posle 2 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.

Osim navedenih mesta nastanka CO u domaćinstvima, ovaj gas je prisutan u mnogim tehnološkim procesima, kao na primer:

- o u metalurškoj industriji (topionice, livnice),
- o u rudnicima uglja i plinarama,
- o pri destilaciji uglja, nafte i drveta,
- o pri autogenom zavarivanju,
- o u kovačnicama, velikim perionicama i kuhinjama na butan gas,
- o pri radu u šahtovima, itd.

10.2 Principi konstrukcije javljača CO

Namena javljača ugljen-monoksida je da signalizira premašenje određene koncentracije CO u toku nekog vremenskog perioda. Zavisno od tehnologije koja je iskorišćena za realizaciju senzora, i samim tim načina detekcije, postoje četiri tipa javljača CO:

- optičko-hemijski javljači CO (eng. *opto-chemical CO detector*),
- bioimitacioni javljači CO (eng. *biomimetic CO detector*),
- poluprovodnički javljači CO (eng. *metal oxide semiconductor CO detector*) i
- elektrohemijski javljači CO (eng. *electro-chemical detector CO*).

Senzor *optičko-hemijskog* javljača CO je predstavljen umetkom od materije koja je u dodiru sa ugljen-monoksidom menja boju čime se signalizira prisustvo ugljen-monoksida. Najveća prednost ovog tipa javljača CO je niska cena, međutim oni pružaju nizak nivo zaštite zbog toga što se informacija o promeni boje senzora teže prenosi na daljinu (centrali). Danas se ovaj tip javljača smatra zastarelim i ne primenjuje se u sistemima za dojavu požara.

Senzor *bioimitacionog* javljača CO je disk od sintetičkog hemoglobina koji reaguje u dodiru sa CO na isti način kao i hemoglobin u organizmu, tako da se u javljaču nadgleda infracrveni snop svetlosti koji prolazi kroz disk. Drugim rečima, sa porastom koncentracije CO protok IC snopa kroz disk se smanjuje, što je uslov za signalizaciju alarma.

Princip rada *poluprovodničkog* javljača CO se sastoji u tome da se poluprovodnik od kalaj dioksida (SnO_2) zagreva električnom strujom u određenim vremenskim intervalima, sve dok ne dostigne temperaturu na kojoj reaguje (oko 400 °C) u dodiru sa ugljen-monoksidom tako što menja otpor (O_2 povećava, a CO smanjuje otpor). Ovaj tip javljača karakteriše dugotrajnost u radu i brzi odziv, međutim, njihova eksploatacija i održavanje su daleko skuplji od ostalih tipova javljača. Takođe, poluprovodnički javljač CO je podložan lažnim alarmima koji mogu biti izazvani gasovima i isparenjima koji ne sadrže ugljen-monoksid. Iako ima vek trajanja od 5-10 godina, u poslednje vreme se sve više zamenjuje elektrohemijskim javljačima CO.

Kao senzori u *elektrohemijskim* javljačima CO najviše se koriste senzorski elementi *Taguchi*⁴³⁾ tipa (senzor je poznat i kao *TGS - Taguchi Gas Sensor*), koji inače mogu da se koriste i za otkrivanje ugljovodonika, kao što su metan ili propan. Suština rada senzora *Taguchi* tipa je u tome što je senzorski element oklopljen slojem oksida kalaja (SnO_2) ili oksida cinka (ZnO) koji u kombinaciji sa ugljen-monoksidom menja električni otpor senzora. Da bi se izbegao potpuni utrošak oksida, element se povremeno zagreva da bi se izazvao obrnuti hemijski proces koji obnavlja potrošeni sloj oksida kalaja ili cinka.

Elektrohemijski javljači CO koriste dve elektrode od platine i elektrolit - najčešće sumpornu kiselinu. Oksidacijom na jednoj elektrodi ugljen-monoksid prelazi u ugljen-dioksid, dok se na drugoj elektrodi izdvaja kiseonik. Na osnovu merenja struje moguće je veoma precizno odrediti koncentraciju CO u okolnoj atmosferi. U odnosu na druge tipove senzora, elektrohemijska ćelija ima veoma veliku preciznost i skoro linearan odziv na porast koncentracije CO. Vek trajanja ćelije je oko 5 do 7 godina i danas je ovaj tip javljača preovlađujući u SAD i zapadnoj Evropi. Danas su na tržištu najzastupljeniji javljači ugljen-monoksida koji sadrže elektrohemijski senzor samostalno, ili u kombinaciji sa senzorom toplote.⁴⁴⁾

Postoji nekoliko zahteva u skladu sa savremenim standardima, koje javljači CO treba da zadovolje:

- prema najnovijim izmenama standarda većine razvijenih zemalja, upotreba javljača CO je obavezna u školama, bolnicama, hotelskim sobama i svim prostorijama gde duže borave deca, stare ili hendikepirane osobe,
- signal alarma koji se generiše na osnovu otkrivanja CO mora da se razlikuje od signala alarma drugih tipova detektora,
- javljač CO mora da ima indikaciju o svim tipovima kvara kao i drugi tipovi javljača požara, a posebno indikaciju kraja operativne sposobnosti - životnog veka senzora,
- napajanje sistema koji sadrži javljače CO mora da bude takvo da obezbedi nesmetan rad javljača CO, čak i ako centralna jedinica (centrala za dojavu požara) nije u funkciji,
- svi javljači CO moraju da imaju mogućnost testiranja ispravnosti i funkcionalnosti.



Slika 10.2 Struktura i izgled senzora CO, primer realizacije javljača CO

Senzor se odlikuje visokom pouzdanošću u radu, uzrok lažnih alarmiranja mogu biti preparati za čišćenje koji sadrže amonijak, npr. tečnosti za pranje stakla ili u spreju.

10.3 Primena javljača CO

Kod požara sa izraženim plamenom gde se stvara veoma mala količina ugljen-monoksida ovi javljači su uglavnom neprimenljivi, s tim što mogu da se iskoriste za veoma rano otkrivanje požara, pre nego što dođe do razbuktavanja plamena. Tehnologija koja je upotrebljena za

⁴³⁾ Naoyoshi Taguchi, u oktobru 1968. je predstavio prvi polu-rovodnički senzor kojim mogu da se detektuju gasovi koji nastaju sagorevanjem poznat kao TGS (Taguchi Gas Sensor).

⁴⁴⁾ Javljači ugljen-monoksida se u međunarodnom standardu ISO 7240 obrađuju u dva dela: Part 6: *Carbon-monoxide fire detectors using an electrochemical cell* i Part 8: *Carbon-monoxide fire detectors using an electrochemical cell in combination with a heat sensor*, dok evropski standard EN 54-26: *Point fire detectors using carbon monoxide sensors* jedinstveno tretira ovaj tip javljača bez obzira na način realizacije.

elektrohemijski senzor u javljaču je takva da omogućava veliku brzinu odziva i tačnost uz malu potrošnju.

Javljači ugljen-monoksida ne predstavljaju zamenu za javljače dima i njihovo postavljanje se **ne preporučuje** u slučajevima:

- kada je prostor koji se štiti put za evakuaciju, u kojima je potrebna detekcija dima da na vreme obezbedi adekvatnu vidljivost za evakuaciju,
- kada je u prostoriji moguće pregrevanje mašina, opreme, ili postoji opasnost od požara zbog električnih uzroka (pregrevanje kablova, kratak spoj),
- kada je prostorija izložena izduvnim gasovima, alkoholnim parama, vodoniku, amonijaku ili nekim hemikalijama koje se koriste u različitim sprejevima,
- kada postoji zahtev za otkrivanje požara zapaljivih tečnosti, tj. u slučajevima kada se očekuje brz razvoj požara.

Na drugoj strani, javljači ugljen-monoksida se postavljaju kao **dopunska zaštita** uz javljače dima u slučajevima:

- kada postoji rizik od tinjajućih požara,
- kada postoji rizik od nastanka požara u zatvorenom prostoru.

Otkrivanje ugljen-monoksida ovim tipom javljača može da se iskoristi kao **glavni metod detekcije** u slučajevima:

- kada postoji rizik isključivo od tinjajućih požara, ili požara sa sporim razvojem kod kojih je vrlo verovatno da će pre doći do stvaranja CO nego čestica dima,
- kada su optički javljači dima neprimenjivi zbog mogućih izvora lažnih alarmiranja, na primer u hotelskim sobama sa kupatilom iz koga isparanje mogu da dovedu do lažnih alarmiranja, ili u prostorijama u kojima prašina može da simulira prisustvo dima,
- u situacijama gde efekat stratifikacije zbog stvaranja vrellog sloja vazduha može da ograniči kretanje dima,
- ako prostorija ima površinu do 50 m².

Osetljivost javljača ugljen-monoksida mora da bude podešena posebno za svaku primenu na nivo iznad normalnog nivoa CO za dati ambijent, tako da savremeni javljači imaju mogućnost podešavanja na više načina rada.

Prag alarma javljača ugljen-monoksida je različito definisan u standardima pojedinih zemalja. Prema zahtevima evropskog standarda EN 54-26 *Point fire detectors using carbon monoxide sensors*, za bilo koju promenu koncentracije CO od 1 ppm/min, javljač mora da signalizira alarm pre nego što koncentracija dostigne 60 ppm.

Zahtevi ruskog standarda su da javljač mora da reaguje u opsegu od 20 do 80 ppm, pri čemu postoje dve klase javljača:

1. klasa koja može da detektuje (i alarmira) koncentracije u opsegu od 20 do 40 ppm i
2. klasa javljača sa osetljivošću u opsegu od 41 do 80 ppm.

U zapadnim standardima ne postoji takva podela na klase, već prag koncentracije i vreme potrebno za alarmiranje zavise od proizvođača. U tabeli 10.2 su prikazane najčešće karakteristike javljača CO većine proizvođača koje se odnose na prag alarmiranja i brzinu odziva.

Tabela 10.2 Odziv i pragovi alarma javljača ugljen-monoksida

Način rada	Prag alarma [ppm]	Vreme dojave alarma [s]	Primena
1	30	60	Prostorije za spavanje bez prisustva CO
2	45	30	Dopunska zaštita u predvorjima
3	45	60	Prostorije za spavanje sa niskim nivoom CO
4	60	30	Prostorije sa nagomilanim materijalom
5	75	30	Dopunska zaštita u kuhinjama i kotlarnicama

Pri izboru odgovarajućeg javljača ugljen-monoksida za određenu primenu, osim podataka koji se odnose na prag alarmiranja i brzinu odziva, danas se sve više insistira na podatku o veku trajanja javljača, jer je još uvek mali broj javljača koji mogu da signaliziraju utrošak elektrohemijske ćelije, tj. da signaliziraju da senzor nije više u funkciji.

Evropski standard ne definiše precizno pravila za postavljanje javljača CO. U većini standarda evropskih zemalja se navodi da su ta pravila ista kao za postavljanje javljača dima. Međutim, imajući u vidu da je specifična težina ugljen-monoksida veoma bliska specifičnoj težini vazduha (0.9667, CO₂ - 1.5189), postoje preporuke da visina postavljanja bude u visini disanja odraslog čoveka, dakle negde oko 1.5 m, posebno u prostorijama sa nedovoljnom ventilacijom.

Kada je u pitanju lokacija, odnosno mesta postavljanja detektora ugljen-monoksida, najprecizniji u tome je standard ISO 7240-6. U standardu se naglašava da ugljen – monoksid ima veću pokretljivost od dima, ali njegova koncentracija može biti smanjena pod uticajem sistema za ventilaciju i na koncentraciju mogu uticati konvekcione struje. Zato se prilikom postavljanja moraju uzeti u obzir ista razmatranja kao i kod postavljanja detektora dima. Na drugoj strani, sistemi koji vrše recirkulaciju vazduha, a koji su ograničeni na samo jednu prostoriju imaju mali efekat na razređivanje koncentracije ugljen-monoksida, jer je njihov efekat sličan prirodnoj difuziji ugljen – monoksida.

Dalje, standard navodi da efekat stratifikacije manje utiče na detektore CO nego na druge tipove detektora, ali bez obzira na tu činjenicu, kada se razmatra mesto postavljanja detektora treba da se uzmu obzir sledeće oblasti:

- o područja gde CO gas može biti prisutan iz izduvnih i normalnih proizvodnih procesa (npr. parkinzi, dokovi za utovar, parkirališta sa povratnom strujom vazduha itd);
- o zatvorene prostorije u kojima je dozvoljeno pušenje.

Uopšteno dim cigarete ne sadrži dovoljnu količinu CO da izazove alarme, čak i kada je dim jasno vidljiv. Međutim, u prostorijama gde može da dođe do pojave dima ili rasplamsavanja tokom požara, važno je proceniti verovatnu količinu CO pre postavljanja detektora

Na drugoj strani, detektori CO nisu pogodni za otkrivanje sledećih tipova požara:

- o tečnosti koje čisto sagorevaju,
- o PVC izolovanih kablova,
- o zapaljivih metala;
- o određenih hemikalija koje su sklone samooksidaciji i
- o materijala koji ne sadrže ugljenik.

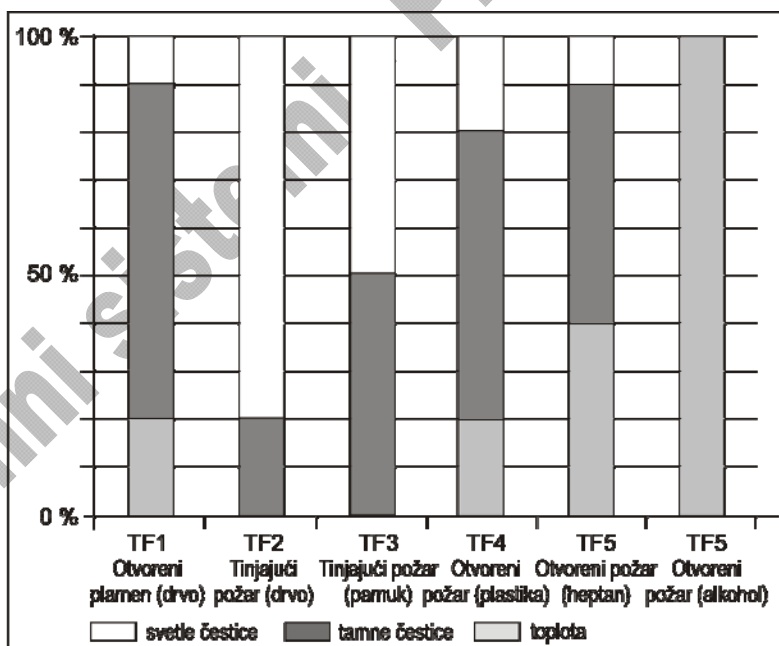
Najzad, prema ovom standardu vizuelni indikator koji se nalazi na detektoru treba da bude jasno vidljiv sa udaljenosti od 6 m, pri intenzitetu osvetljenja od 500 lux i pod uglovima od 5° od ose detektora u svim pravcima i 45° u jednom pravcu.

11.1 Osnovi višesenzorske detekcije

Višesenzorska (zbog postojanja više kriterijuma za alarmiranje i odlučivanje - *višekriterijumska*) detekcija se bazira na činjenici da je većina požara koji se dešavaju praćena skoro svim produktima sagorevanja koji služe za detekciju. Ako se detektuje većina, ili svi produkti – energetski i materijalni (čvrsti i gasoviti), koji prate proces sagorevanja, požar će biti otkriven u svojoj najranijoj fazi. Više senzora u jednom kućištu javljača takođe omogućava da se na bazi više informacija iz različitih izvora procesom višekriterijumskog odlučivanja donese odluka o alarmnom stanju. Višesenzorski javljači požara se realizuju na dva načina: kao javljači koji sadrže više senzora *istog tipa* ili kao javljači sa više senzora *različitog tipa* u istom kućištu javljača.⁴⁵⁾ Prema evropskom standardu, višesenzorski javljač požara mora da poseduje mogućnost isključivanja pojedinih senzora, pri čemu preostali senzori moraju da zadrže površinu pokrivanja koja je zadata standardom za svaki individualni senzor (detektor) određenog tipa. Pri tome se napominje u tom slučaju vreme odziva detektora sa preostalim senzorima može da bude duže.

U vreme pisanja ovog teksta, evropski standardi iz ove oblasti su još uvek bili u pripremi - EN 54-29 *Point detectors using a combination of smoke and heat sensors* i EN 54-30 *Point detectors using a combination of carbon monoxide and heat sensors*.

Procentualna zastupljenost pojedinih produkata sagorevanja za tipske požare je prikazana na slici 11.1 (poglavljje 4). Tipski požari se razlikuju i prema zastupljenosti CO i CO₂ (slika 11.2). Poznavanje učešća pojedinih produkata sagorevanja može značajno da olakša izbor javljača tokom projektovanja sistema za dojavu požara. Savremene tendencije u proizvodnji javljača idu u pravcu realizacije „pravog“ višesenzorskog javljača požara koji pri donošenju odluke o alarmu uzima u obzir sve parametre požara.

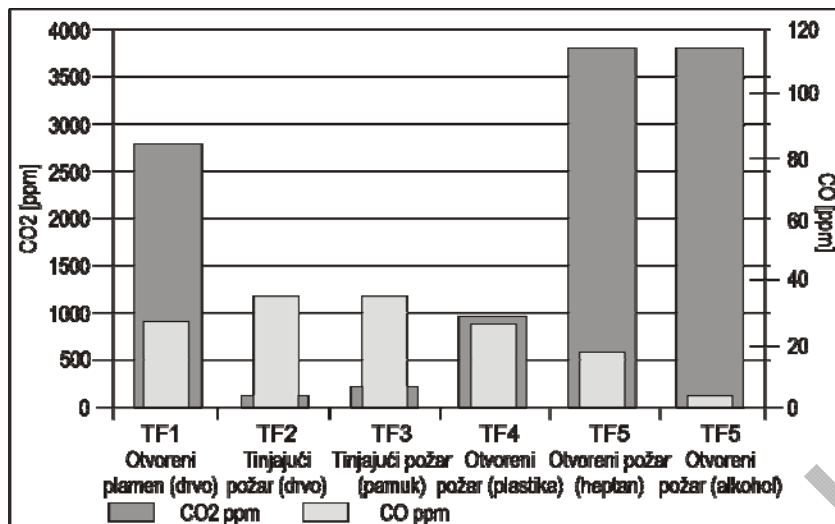


Slika 11.1 Odnos čestica i toplote kod tipskih požara TF1 - TF6

⁴⁵⁾ ISO 7240-15: 3.2.2 **multisensor fire detector** - detector incorporating sensors within one mechanical housing which responds to more than one physical phenomena of fire, e.g. smoke and heat smoke and gas, heat and gas.

EN 54-1: 3.11.8 **multi-sensor/criteria detector** - detector which responds to more than one phenomenon of fire.

ГОСТ Р 53325-2009: 3.13 **извещатель пожарный комбинированный**: Автоматический пожарный извещатель, реагирующий на два или более физических факторов пожара.



Slika 11.2 Koncentracija CO i CO₂ kod tipskih požara TF1 do TF6

Zavisno od proizvođača, na tržištu postoje različite kombinacije senzora kojima se realizuje višesenzorski (eng. *multisensor*, rus. *мульти-сенсорный*) javljač požara. Najčešća kombinacija na tržištu je da se u istom kućištu nalaze optički senzor dima i senzor toplote. Najjednostavnija varijanta u tom slučaju je da javljač poseduje tri načina rada: *da obavlja samo detekciju dima*, *da radi samo kao javljač toplote*, ili *da obavlja i jedan i drugi tip detekcije*. Pri tome, kriterijum za odlučivanje nije jednostavna „I“ logika između dobijenih signala, već se odluka donosi na osnovu manje ili više složenih algoritama koji uzimaju u obzir nekoliko graničnih vrednosti koncentracije dima i temperature kao pragove alarma.

Kao posledica ubrzanog razvoja senzorske tehnologije danas su na tržištu prisutni različiti načini realizacije višesenzorskih javljača požara. To se ogleda i u standardizaciji, jer na primer, međunarodni standard ISO 7240: Multisensor fire detectors - Part 15: *Point type fire detectors incorporating a smoke sensor (using scattered light, transmitted light or ionisation) in combination with a heat sensor* obrađuje samo kombinaciju detekcije dima i toplote.

Evropski standard ima čak tri dela (na nivou predloga) koja su posvećena višesenzorskim javljačima, i to: EN 54-29: *Multi-sensor fire detectors – Point detectors using combination of smoke and heat sensors*, EN 54-30: *Multi-sensor fire detectors – Point detectors using combination of carbon monoxide and heat sensors* i EN 54-31: *Multi-sensor fire detectors – Point detectors using combination of smoke, carbon monoxide and optionally heat sensors*.

Američki standard definiše višesenzorski i višekriterijumski detektor na isti način, pri čemu se naglašava da detektor treba da generiše samo jedan signal alarma koji se dobija procenom na osnovu algoritama (softvera) u samom detektoru, ili u centralnoj jedinici (centrali za dojavu požara).⁴⁶⁾

Činjenica da detektor može da sadrži više senzora istog tipa ima za posledicu da proizvođači danas koriste različite strategije za poboljšanje detekcije, pre svega u delu optičke detekcije dima. Razvoj ide u dva pravca:

- korišćenje *više uglova* kod principa refleksije (najmanje dva izvora svetlosti) i
- korišćenje *drugih talasnih dužina* izvora svetlosti.

Kada je u pitanju korišćenje više uglova refleksije, izračunava se odnos dva ugla refleksije emitovane svetlosti od čestica dima, koji se menja sa promenom veličina čestica. Ovaj pristup

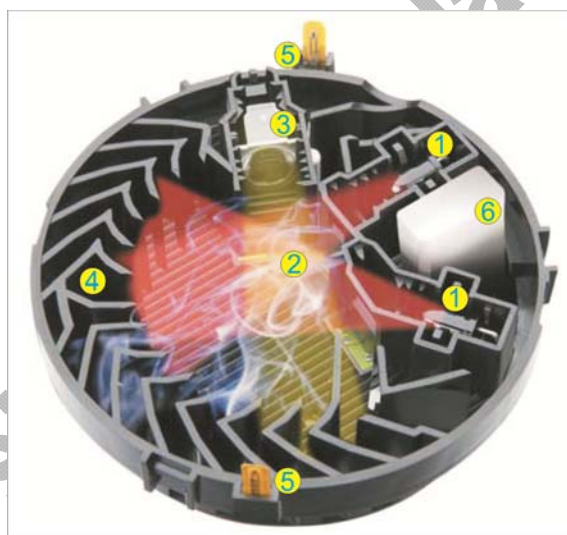
⁴⁶⁾ NFPA 72 2013 Edition 3.3.66.12 *Multi-Criteria Detector*. 3.3.66.13 *Multi-Sensor Detector*. A device that contains multiple sensors that separately respond to physical stimulus such as heat, smoke, or fire gases, or employs more than one sensor to sense the same stimulus. This sensor is capable of generating only one alarm signal from the sensors employed in the design either independently or in combination. The sensor output signal is mathematically evaluated to determine when an alarm signal is warranted. The evaluation can be performed either at the detector or at the control unit. This detector has a single listing that establishes the primary function of the detector.

omogućava da se odbaci signal koji nastaje od čestica prašine i uopšte od čestica koje su veće od čestica dima.

Kada je u pitanju korišćenje drugih talasnih dužina, danas većina detektora dima koji rade na principu refleksije koristi kao izvor svetlosti LED diode koje emituju blisko IC zračenje u delu oko 880 nm. Poboljšanje ide u pravcu korišćenja plavih (450 nm) i UV LED dioda (<380 nm) kao izvora svetlosti, čime se povećava osetljivost na „bezdimne“ požara sa jako izraženim plamenom kod kojih je veličina čestica dima oko 80 nm.

Uloga senzora za ugljen-monoksid u ovoj kombinaciji se ne sastoji samo u poboljšanoj detekciji kod tinjajućih požara, već i u eliminisanju lažnih alarma kao posledice prisustva prašine ili različitih isparenja. Zbog svega navedenog, u daljem tekstu prikazana su nekoliko načina realizacije višesenzorskih javljača požara nekih od najpoznatijih proizvođača u svetu.

Pristup korišćenja odnosa dva ugla refleksije u prisustvu dima u optičkoj komori je ilustrovan na slici 11.3.⁴⁷⁾ Višesenzorski javljač sa slike sadrži dva izvora usmerene svetlosti (1) koja se u prisustvu dima delom odbija (2) ka prijemniku (3) čime se omogućava detekcija čestica i svetlog i tamnog dima zbog koji zbog razlike u veličini imaju i različite uglove refleksije. „Lavirint“ na obodu javljača ima ulogu da apsorbira svetlost iz izvora i time onemogući slučajnu refleksiju kada nema dima u komori, i da zadrži čestice prašine. Javljač poseduje i dva senzora temperature (5) i elektrohemijski senzor ugljen-monoksida (6). Ovakva konfiguracija senzora zahteva relativno složenu obradu vrednosti koje se dobijaju od pojedinih senzora i ta obrada se u ovom slučaju obavlja u centralnoj jedinici sistema.



Slika 11.3 Primer korišćenja dva izvora svetlosti u višesenzorskom javljaču

Da prisustvo više senzora različitog tipa u kućištu javljača ne mora da podrazumeva i složenu obradu podataka koje oni prikupljaju, pokazuje primer dva višesenzorska javljača koji su prikazani na slikama 11.4 i 11.5 i koji za razliku od prethodnog primera omogućavaju i detekciju plamena⁴⁸⁾.

I jedan i drugi javljač imaju predefinisana šest načina (nivoa) rada koji se razlikuju pre svega u osetljivošću na dim. Na primer, javljač na slici 11.4 može da se podesi na sledeća šest nivoa osetljivosti (načina detekcije), i to:

Nivo 1. Ima nisku imunost na lažne alarme, sa visokom osetljivošću fotoelektričnog senzora na gustinu dima od 1 %/ft, ili senzora ugljen- monoksida na vrednosti veće od 45 ppm.

Nivo 2. Srednja imunost na lažne alarme, i srednja osetljivost - reaguje samo na optičku gustinu dima od 2 %/ft.

⁴⁷⁾ Siemens, S-LINE FDOOT241-9 fire detector

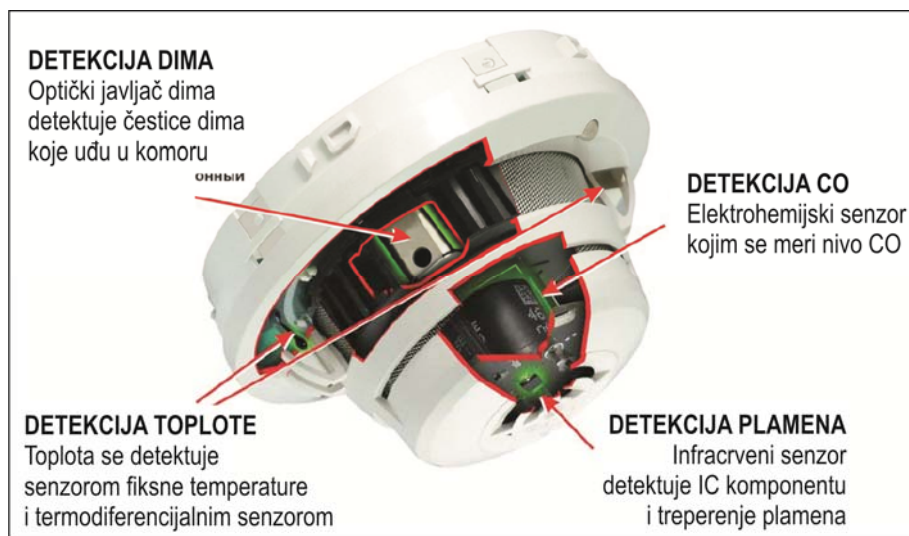
⁴⁸⁾ System Sensor - Multi-criteria detector 2251CTLE – COPTIR i NOTIFIER SMART⁴

Nivo 3. Standardna imunost na lažne alarme, niska osetljivost na optičku gustinu dima sa pragom alarma od 3 %/ft. Treba napomenuti da prva tri nivoa podrazumevaju generisanje signala alarma od strane optičkog senzora bez kašnjenja.

Nivo 4. Odlikuje se visokom imunošću na lažne alarme, prag alarmiranja optičkog senzora je postavljen na 3 %/ft, ali se signal alarma prosleđuje sa kašnjenjem (zbog provera) koje može da iznosi do 10 minuta, pri čemu vreme kašnjenja počinje da teče kada koncentracija dima pređe 0.75 %/ft.

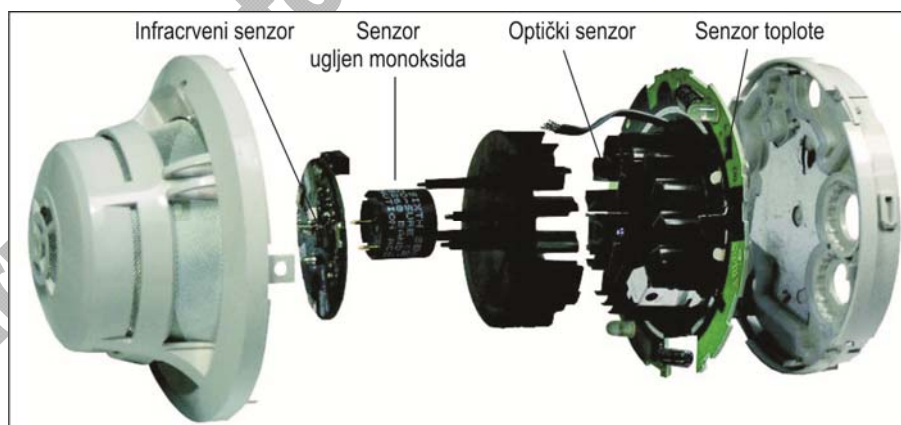
Nivo 5. Ima veoma visoku imunost na lažna alarmiranja jer je prag alarmiranja postavljen na 4 %/ft sa odlaganjem generisanja alarmnog signala na isti način kao kod nivoa 5.

Nivo 6. U ovom načinu rada, javljač se ponaša kao javljač toplote klase A1R, što znači da radi kao javljač fiksne temperature sa pragom alarma od 60 °C i kao termodiferencijalni javljač.



Slika 11.4 Višesenzorski javljač sa 4 senzora

Kod javljača na slici 11.5 nivoi rada su isto definisani kada je u pitanju detekcija dima, dok temperaturni prag alarma iznosi 57 °C.



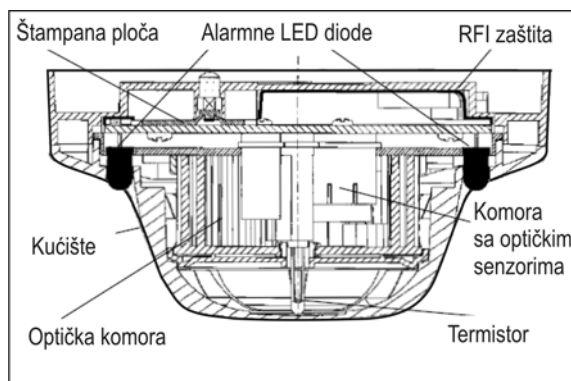
Slika 11.5 Višesenzorski javljač sa 4 senzora

Ipak, najčešća kombinacija senzora koja se danas koristi za realizaciju višesenzorskih javljača požara, a koja sa druge strane ne zahteva složenu obradu, jeste kombinacija koja omogućava detekciju dima i detekciju toplote sa eventualnim prisustvom elektrohemijskog senzora za detekciju ugljen-monoksida.

Na primer, kod kombinacije senzora jednog proizvođača (slika 11.6)⁴⁹⁾, osnovni način rada može da bude samo detekcija toplote (opseg merenja do 88 °C, sa pragom alarma koji se podešava), ili samo detekcija dima sa osetljivošću od 1 - 4.5 %/m zamračenja snopa u komori detektora, pri čemu bi na primer, prag alarma bio 4 %/m. Ovaj prag alarma koncentracije dima važi sve do momenta dok senzor toplote ne detektuje temperaturu iznad 40 °C. U tom slučaju osetljivost javljača na dim se značajno povećava, a samim tim se smanjuje koncentracija dima koja predstavlja prag alarmiranja na 3 %/m.

Kod drugog proizvođača⁵⁰⁾, kombinacija detekcije dima i toplote se realizuje kroz pet različitih načina rada.

Prvi način rada se odlikuje visokom osetljivošću na dim i na porast temperature što omogućava primenu javljača kako za tinjajuće požare, tako i za požare koji se brzo razvijaju. U drugom načinu rada osetljivost na dim je normalna, kao i kod standardnog optičkog javljača dima, i ne koristi se detekcija toplote. Treći način rada se dobija podešavanjem oba senzora na prosečnu osetljivosti na dim i porast temperature. U četvrtom načinu rada osetljivost na dim je niža od normalne, dok je osetljivost na porast temperature visoka. Najzad, u petom načinu rada se ne koristi detekcija dima, dakle, javljač radi kao javljač fiksne temperature.



Slika 11.6 Kombinacija detekcije dima i detekcije toplote

U tabeli 11.1 su date karakteristike javljača koje se odnose na pragove alarma i vremena odziva za svaki od opisanih pet načina rada.

Tabela 11.1 Karakteristike načina rada kombinovanog javljača (detekcija dima i toplote)

Način rada	Osetljivost na dim [%/m ili dB/m]	Osetljivost na toplotu (relativna)	Način rada	Min. vreme alarmiranja [s]
1	1.1 ili 0.05	Visoka	Višesenzorski	20
2	2.1 ili 0.09	Nema	Dim (opt.)	30
3	2.8 ili 0.12	Niska	Višesenzorski	20
4	4.2 ili 0.19	Visoka	Višesenzorski	20
5	Nema	Fiksna	Toplota A1R	15

Na kraju, treba napomenuti da korišćenjem opisanog principa rada, pojedini proizvođači kombinacijama različitih pragova alarmiranja (u %/m i °C) omogućavaju da se javljač podesi čak na 15 različitih načina rada.

⁴⁹⁾ Hochiki – ACA-E Multi-sensor

⁵⁰⁾ Apollo - Discovery Multisensor Detector