

Dušan V. Pokrajac, dipl. inž.el.
JP za PEU, RMU "Soko" Sokobanja
mr. Tomislav Mirić, dipl. inž.
Oldham- Francuska

Termokatalitički senzor na dinamičkom režimu

Uvod

U podzemnim rudnicima, koji su deklarirani u metanskom režimu rada, postoji stalna potencijalna opasnost od pojave eksplozivne smese metana u jamskom vazduhu. Iz navedenog proizilazi potreba za stalnim uvidom u gasno stanje, radi sprečavanja rizika od pojave eksplozivne smese.

Prvi sistem za praćenje gasno-ventilacionih parametara (osnovna funkcija praćenje koncentracije metana) instaliran je u RMU "Soko" 1978. godine, i to je bila oprema francuske kompanije Oldham. Ovaj sistem je bio u funkciji sve do pred kraj 1997. godine, a osnovni nedostatak mu je bio to što nije bilo kontinualnog merenja, već je sa svakog mernog mesta merenje vršeno u vremenskim intervalima od 2 min.

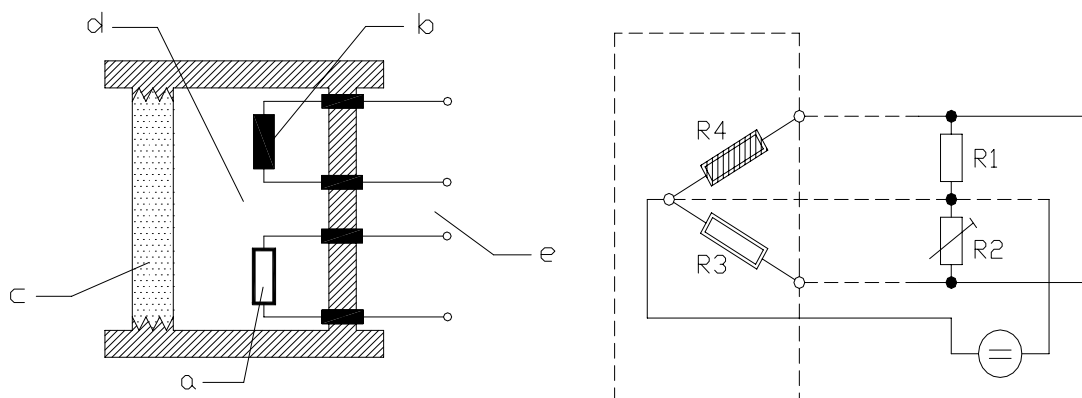
Početkom 1993. godine u rad je puštena oprema engleske kompanije Sieger, koja je obezbedila kontinualno merenje u opsegu od 0-3% metana.

Oba ova sistema su u osnovi imali klasičan termokatalitički senzor za merenje koncentracije metana.

Početkom 2000 te godine zahvaljujući donaciji francuske vlade JP za PEU je dobilo novu mernu opremu, koju su Francuzi razvili u saradnji sa jednom ruskom laboratorijom, u kojoj je kao osnovni detektujući element ugrađen termo katalitički senzor na dinamičkom režimu, što je i predmet ovog rada. Pojava ovog senzora je po svemu sudeći produžila vek termokatalitičkih senzora uprkos intenzivnom razvoju, ima već nekoliko godina, IR senzora za eksplozivne smese.

1. Klasičan termokatalitički senzor

Kod "klasičnih" termo katalitič davača, merna glava (senzor) je deo mernog mosta (Vinstonov most), u čijoj dijagonali nema pojave signala bez prisustva gasa. Merna glava je po pravilu odvojena od mosta (retka su rešenja da je sve integrisano u jednom sklopu). Primer jednog termokatalitičkog davača šematski je dat na sledećoj slici.



- a – merni otpornik R_4
- b – referentni otpornik R_3
- c – disk od sinterovanog materijala
- d – merna komora
- e – priključci

Razvojem „klasičnih“ termokatalitičkih davača usvojeno je rešenje da se oba otpora nalaze u istoj komori, s tim što je referentni deaktiviran posebnim nanosom (premazom) koji onemogućava sagorevanje gasa na njemu.

Otpori R_4 i R_3 (merne spirale od platinske vrlo tanke žice) se zagrevaju strujnim tokom do temperature na kojoj katalitički sagoreva metan na otporu R_4 . Oba otpora su, u principu, iste nominalne vrednosti. Njihove spirale su izradjene indentičnim postupkom, sa istim katalitičkim premazima, osim što je na referentnom na kraju dodat deaktivirajući sloj. I pored toga razlike su neminovne, pa se na kraju izborom električnih parametara uparuju merni i referentni otpornik, da bi se razlika medju njima minimizirala. Time se postiže stabilna nula, polazni osnov za svako merenje. Pa ipak sa vremenom, ova dva elementa nejednako stare, te dolazi do odstupanja nule, što se kompenzuje promenljivim otporom u drugoj grani mernog mosta.

Smesa gasa i vazduha ulazi difuzno u mernu komoru (d) preko diska od poroznog sinterovanog materijala ili keramike(c). Zbog toga merna komora (d) mora po svojim osobinama odgovarati nepropaljivom kućištu (Ex d) jer u njoj sagoreva metan, iako pri nižim (katalitičkim) temperaturama.

Jasno, što je veća koncentracija metana u toliko je veća temperatura, odnosno električni otpor na mernom otporniku zbog sagorevanja, dok se na referentnom otporniku ništa ne menja. Tako dolazi do razbalansiranosti mernog mosta. Mera te razbalansiranosti je u korelaciji sa koncentracijom gasa. Ta je zavisnoist u visokoj meri linearna i ona se ustanovljava baždarenjem etalonskim gasom. Zahvaljujući toj linearnosti baždari se samo u jednoj tački, pošto je nula već uspostavljena na čistom vazduhu.

Ova vrsta senzora je u upotrebi u jamskim kopovima u Srbiji od 1978. godine. Kroz dugogodišnju praksu su se pokazali veoma pouzdano, sa jedinom zamerkom da starenjem dolazi do promene karakteristika referentnog otpora R_3 te češće iziskuju podešavanje nule, često većeg od onog što je proizvođač predvideo.

2. Termokatalitički senzor na dinamičkom režimu

Šematski prikaz davača za merenje koncentracije metana na dinamičkom režimu rada dat je na sledećoj slici:

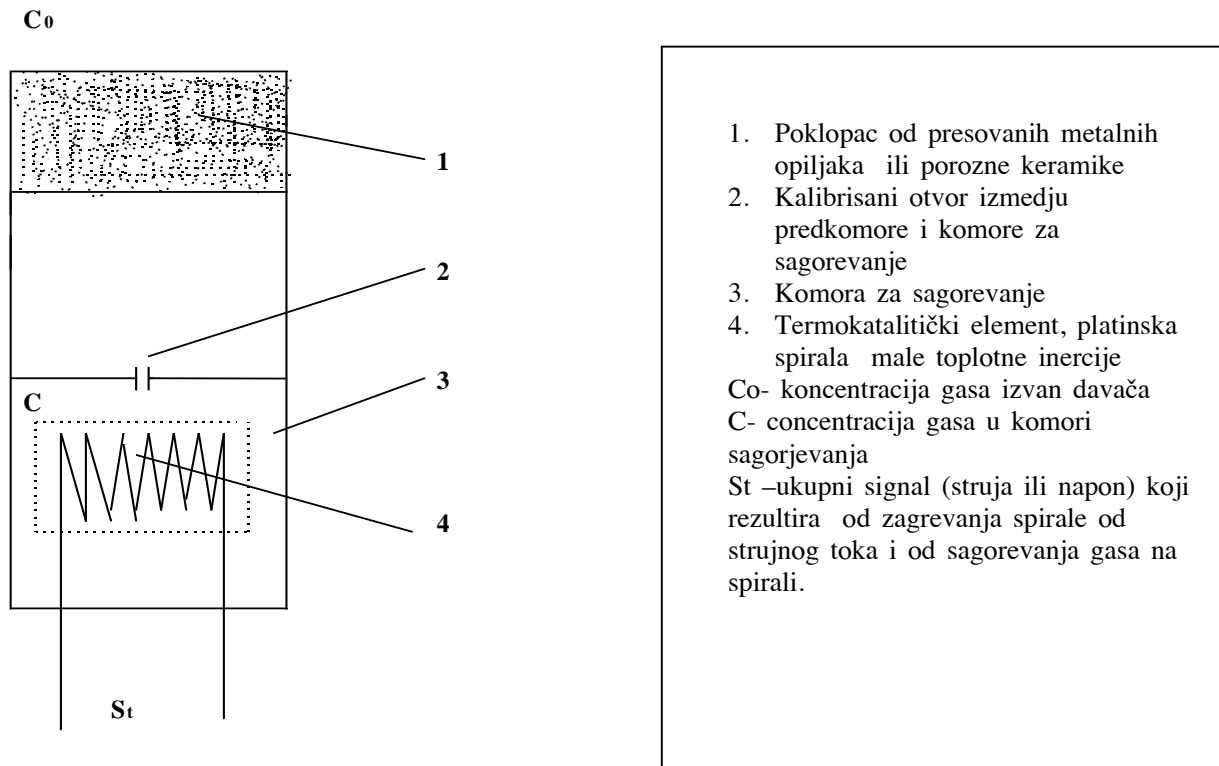


Figure 1

Kad se spirala stavi pod napon ona će se zagrijati i početi da sagorijeva gas koji se nalazi u komori. Kako je u prvo vreme dotok gasa kroz kalibrisani otvor manji od količine gasa koji sagori na spirali,

koncentracija gasa C će opadati. Kad količina sagorelog gasa bude jednaka količini doteklog gasa, koncentracija se stabilizuje na vrijednosti C_i (vidi sliku 3). Lako je pokazati teoretski, a to i eksperimenti potvrđuju da koncentracija u komori opada po eksponencijalnom zakonu.

U trenutku kad je koncentracija bliska C_i , isključuje se napon i komora se puni i napuni se približno za isto toliko vrijeme. Tada se ponovo uključuje napon i tako ciklički stalno.

Ponavlja se jedan prelazni proces, na kojem mjerimo signal u dvije uzastopne tačke, a na osnovu toga određujemo koncentraciju, kao što ćemo kasnije videti. Potvrđuje se poznata istina da je prelazni proces mnogo rečitiji, informativniji, od stacionarnog.

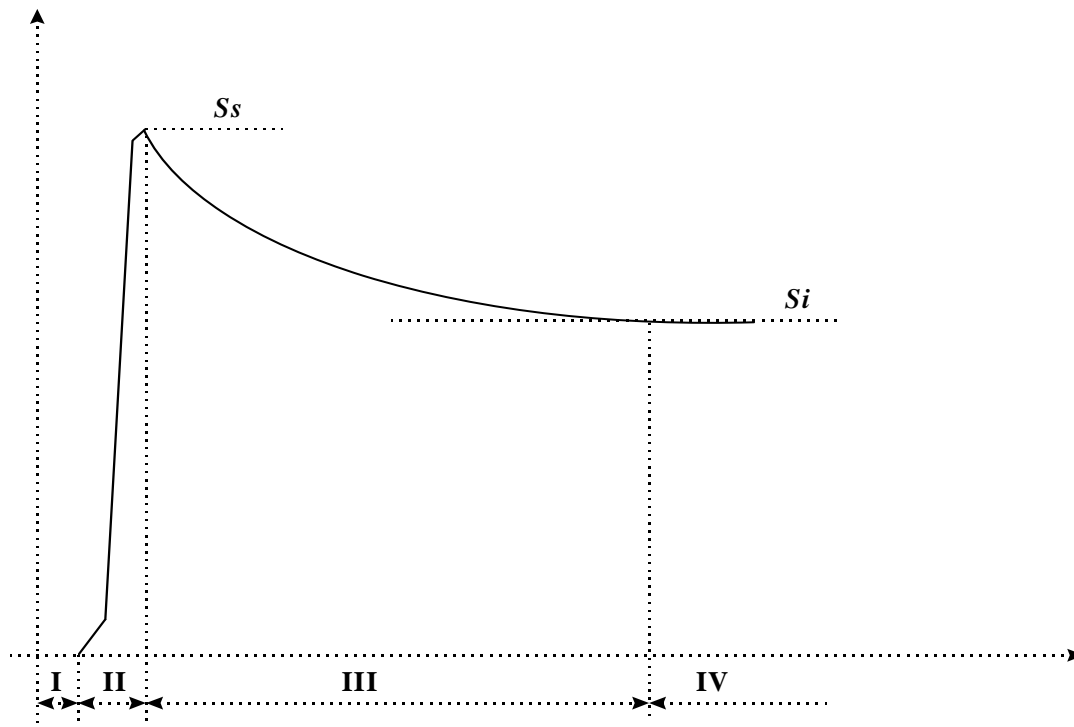


Figure 3

Jedan kratak vremenski period posle dovođenja napona na spiralu ($t=0$) odgovara vremenu reakcije sistema (inercija sistema) a signal ostaje na nuli (faza I), posle spirala vrlo brzo zagrijava od struje i sagorevanja gasa dok signal ne dostigne svoj maksimum S_s (Faza II). U fazi III, koja je najinteresantnija za metrologiju, flux spoljnog gasa kroz otvor manji je od kolicine sagorjelog gasa i koncentracija pada do tačke ravnoteže kad je signal S_i . Signal ostaje zatim konstantan na minimalnoj vrednosti S_i (Faza 4)).

Slijedeći zakon eksponencijalnog opadanja u fazi III koncentracija se menja po zakonu :

$$C = C_s [r + (1 - r) e^{-t/T}]$$

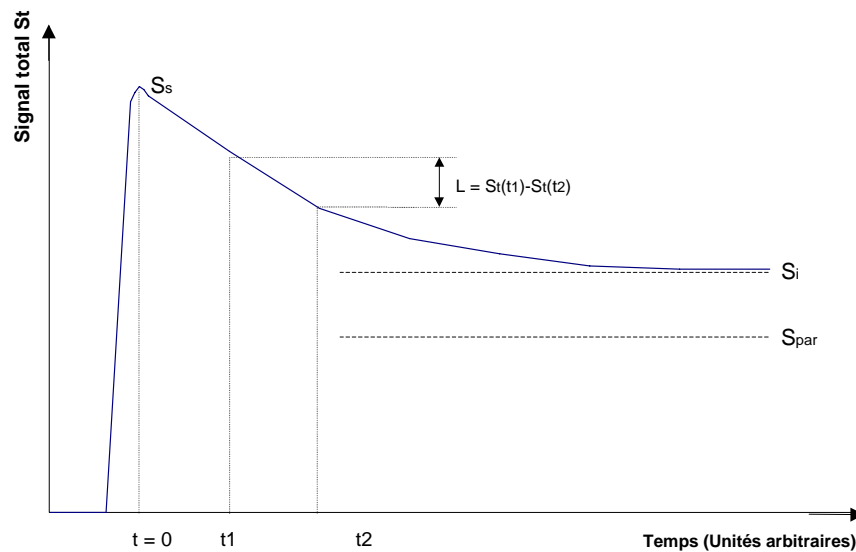
Gdje su : $r = C_i/C_s$ faktor redukcije koncentracije, a T -vremenska konstanta Obe ove veličine su karakteristika svakog gasa posebno. Vreme t racuna se od kraja faze II ($t=0$).

Kako je signal proporcionalan sa koncentracijom $S = k \times C$, to dobijamo :

$$S = k C_s [r + (1 - r) e^{-t/T}]$$

Ovo je, naravno, samo deo signala i on se odnosi na doprinos sagorevanja gasa. Drugi deo signala, parazitni signal, je rezultat pre svega zagrevanja otpornika strujnim tokom ali i ambijentnom temperaturom. U njemu učestvuju i drugi relevantni faktori kao što je pritisak vazduha, vlažnost, promena otpora sa starenjem i slično.

$$S_t = S + S_{par}$$



Slika 4

Na ovoj krivoj koordinatni pocetak ($t=0$) je pomjeren na kraj faze II. Ukupni (totalni) signal se mjeri u dvije tacke t_1 i t_2 na prelaznoj krivoj.

Razlika signala u te dvije tacke $L(t_1, t_2) = S(t_1) - S(t_2)$ proporcionalna je sa koncentracijom.

3. Uredjaj realizovan na bazi termokatalitičkog senzor na dinamičkom režimu

Iz teorije koja je predhodno izložena vidljivo je da ceo niz parametara stoje pred konstruktorom da ih adaptira najbolje što može svom konkretnom slučaju. Komentarisat ćemo samo ukratko neke od njih.

Prečnik kalibrisanog otvora i kapacitet sagorevanja spirale, stoje očigledno u medjusobnoj vezi. Već je rečeno da je poželjna spirala sa što manjom temičkom inercijom, ali kad se to jednom postigne minimiziranjem dimenzija žice i same spirale, termokatalitički nanos treba da ostvari što intenzivnije sagorevanje i tako poveća osetljivost davača. Prečnik kalibrisanog otvora značajno utiče na prirodu eksponencijalne krive, određuje njen gradijent, nivo C_i (S_i) i vreme za koje se on dostiže (vremenska konstanta).

Izbor tačaka t_1 i t_2 u kojima se meri signal je od velike važnosti. Tačku t_1 treba izabrati dovoljno daleko od maksimuma, kako se ne bi desilo da sa starenjem spirale, kada se taj maksimum neznatno deformiše i pomera u desno, da ta tačka ostane na levoj strani od maksimuma.

Medjusobni razmak tačaka t_1 i t_2 je od vrlo velikog značaja. On neće biti isti za stacionarne davače u rudnicima koji su stalno izloženi prisustvu gasa i davače u industriji (stacionarne ili portabilne) gde je prisustvo gasa pre svega incidentno.

Pogodan izbor ova dva parametra omogućava konstrukciju takozvanog “univerzalnog” eksplozimetra. Naime klasični eksplozimetri pokazuju tačno samo koncentraciju gasa za kojeg su kalibrisani i iskazuju je u procentima donjeg praga njegove eksplozivnosti. Svaki drugi eksplozivni gas oni samo indiciraju, a samo merenje eksplozivnosti može odstupati i do 300% u ekstremnim slučajevima.

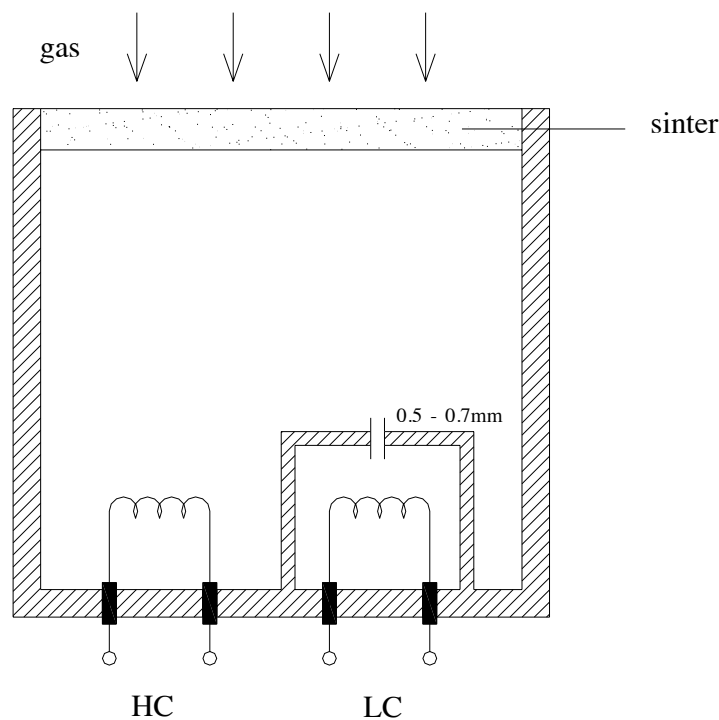
Ovo čini praktično neupotrebljivim ove eksplozimetre, u sredinama gde ne znamo koji je gas prisutan, ili kad se radi o mešavini gasova.

Dinamički režim omogućava da se pogodnim izborom parametara t_1 i t_2 realizuje eksplozimetar koji će jednako dobro meriti eksplozivnost većine zapaljivih gasova, a za one ekstremne slučajeve greška ne prelazi par desetina procenata (u odnosu na sadašnjih 300%).

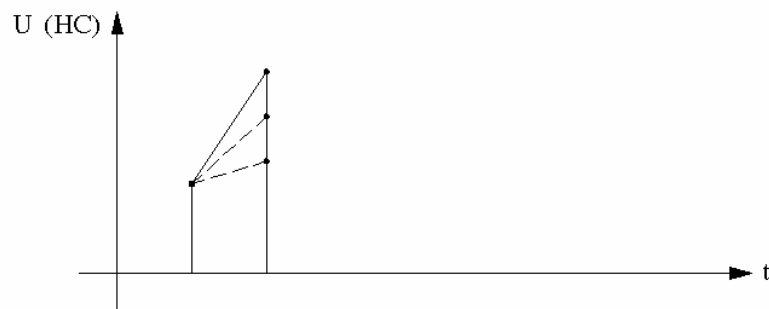
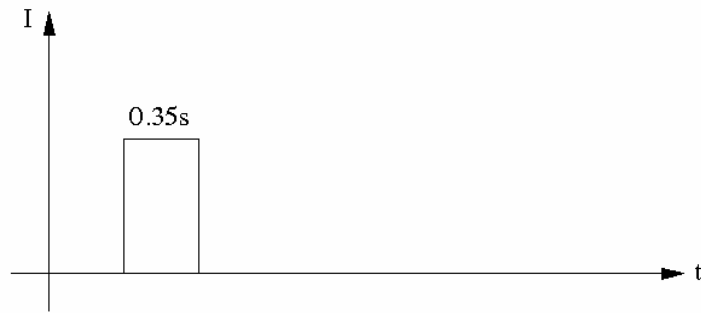
Izloženi princip je bilo moguće realizovati samo primenom mikro-kontrolera, što je i učinjeno u saradnji francuske kompanije Oldham i jedne ruske laboratorije, te je realizovan i konkretni merni uređaj nazvan DMS-01. Opseg merenja ovog uređja je od 0-100% metana, i on pored katalitičkog senzora na dinamičkom režimu koji radi u opsegu od 0-5% metana ima ugrađen u istoj mernoj komori i katarometrijski senzor koji pokriva opseg od 5-100% metana.

Katarometrijski senzor je zasnovan na različitoj termoprovodnosti metana i vazduha. Naime, dio toplote zagrijane spirale odvodi se konvekcijom kroz okolnu sredinu (vazduh odnosno njegovu mešavinu sa gasom) time se temperatura otpornika smanjuje, a time i njegov otpor. Kad se ima u vidu različita termoprovodnost vazduha i metana onda je mera promene otpornosti u korelaciji sa koncentracijom.

Izgled same merne ćelije (senzora) dat je na sledećoj slici:

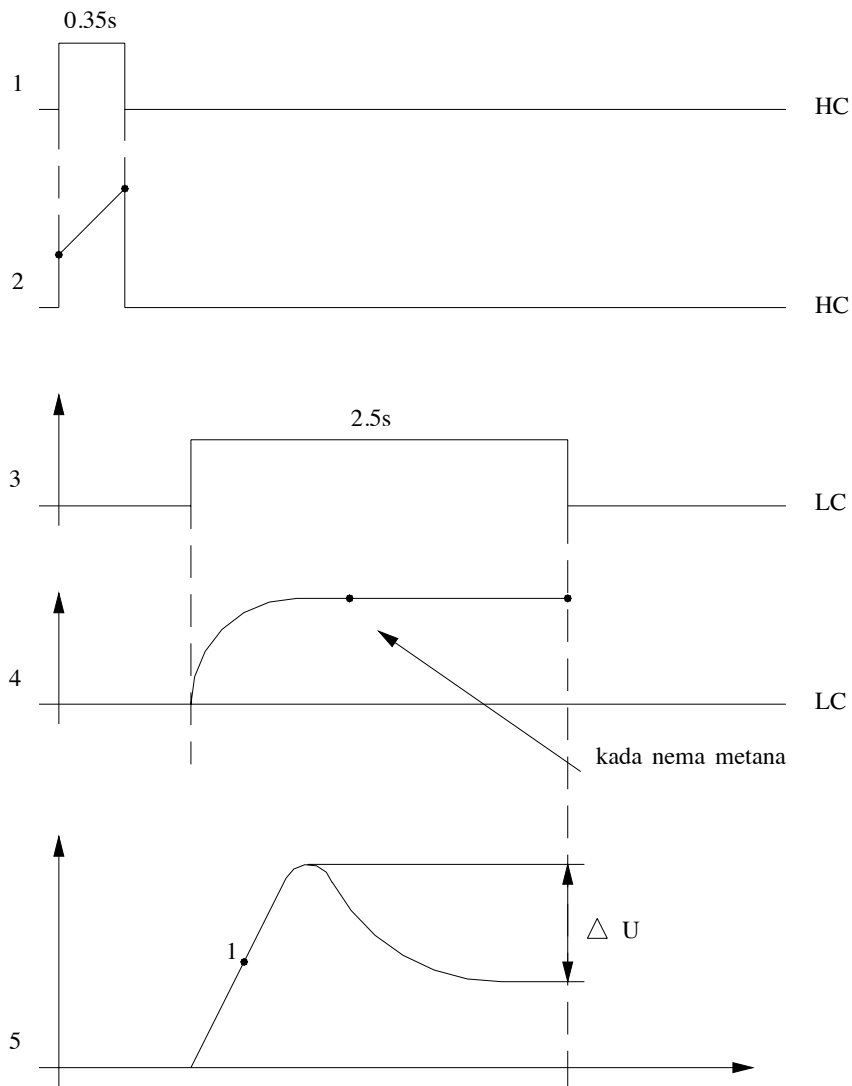


Princip rada uređaja je sledeći: posredstvom μ -kontrolera se prvo uključuje termoprovodni senzor za visoke koncentracije metana HC, kratkim strujnim impulsom trajanja 0.35s, za to vreme je termokatalitički senzor isključen (nema sagorevanja metana).



Ukoliko je koncentracija metana veća, kriva pada jer se žica intenzivnije hladi. (element se stalno nalazi pod naponom) već opisana odlika katarometrijskih senzora.

Ukoliko je koncentracija metana iznad nivoa DGE ($5\%CH_4$), senzor za niske koncentracije ostaje isključen, u suprotnom se uključuje, ali samo pri koncentracijama manjim od DGE. Vremenski tok jednog ciklusa merenja u slučaju da je nakon inicijalnog uključanja DMS-01 izmerio koncentraciju manju od DGE dat je na sledećoj slici:



1 – kratki strujni impuls za termoprovodni senzor, trajanja 0,35s

2 – odziv senzora HC

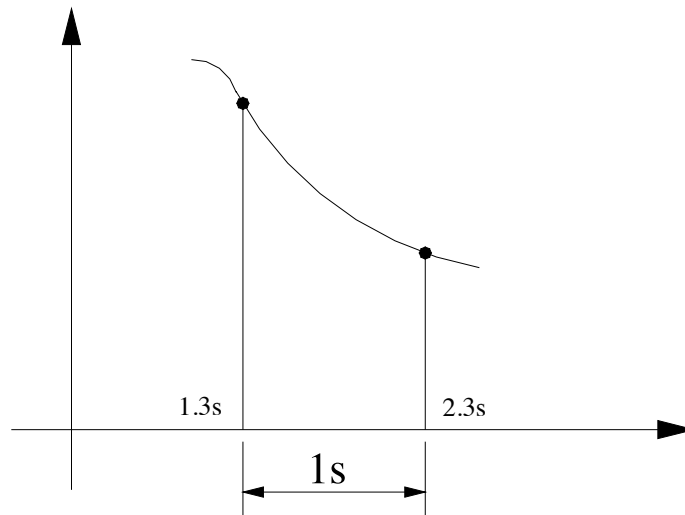
3 – strujni impuls za zagrevanje LC davača, u trajanju 2,5s (uključuje se u $t=1s$ a isključuje u $t=3.5s$), kada se dostigne određena temperatura (oko $450^{\circ}C$) i odpočinje gorenje metana.

4 - odziv senzora LC u odsustvu metana

5 – odziv senzora u prisustvu metana

Ukratko ponovljeno, LC senzor je tipični termokatalitički, nalazi se u komori sa kalibrisanim otvorom 0.5 – 0.7mm. Gas prolazi kroz ovako kalibrisan otvor, uključuje se senzor (LC) i kada žica dostigne određenu temperaturu počinje gorenje metana. Količina koja sagoreva proporcionalna je koncentraciji u kućištu, a nakon određenog vremena, pošto je napajanje senzor isključen uspostavlja se ravnoteža. Prelazni proces od trenutka uključivanja do stabilizacije se koristi za merenje.

Merenje se vrši u dve tačke, prva tačka u 1.3s a druga u 2.3s (nakon uključivanja senzora). Koncentracija je razlika dva signala.



Nakon impulsa od 2.5s, pravi se pauza od 5s da bi se komora ponovo napunila, i proces se nadalje ciklično ponavlja. Ceo ciklu merenja tako traje 7,5s i ciklično se ponavlja, sve do trenutka dok senzor niže koncentracije ne premaši DGE (5%metan) nakon čega se uključuje senzor za veće koncentracije HC. Dalji rad uređaja se odvija poistom principu kao i prilikom prvog puštanja u rad (kada spadne koncentracija ispod DGE isključuje se senzor HC a uključuje senzor LC).

4. Analiza Ex zaštite termokatalitičkog senzora na dinamičkom režimu

Konkretni uređaj DMS-01, je atestiran u rusiji u skladu sa zahtevima GOST 22782.3-77. Ne postoji u grupi standarda serije JUS N.S8....., ekvivalentan standard GOST 22782.3-77, za specijalnu vrstu zaštite, međjutim uslovi iz tačke 1.1,1.2 i 1.3 navedenog standarda ne protivureče zahtevima iz standarda JUS N.S8.011 u pogledu, naprimer: sniženja stepena koncentracije eksplozivne smeše ili da se specijalnim konstrukcionim i elektronskim postupcima ograniči zagrevanje kritičnih mesta uređaja iznad dozvoljenog nivoa.

Zahvaljujući primena rezultata “najvišeg tehnološkog nivoa” za izradu primarnog elementa senzora niskih koncentracija metana (termokatalitički senzor sa spiralom od žice prečnika 10 μm) i mikro kontrolera za upravljanjem rada senzora, postignuti su sledeći rezultati u obezbeđivanju uslova naročite vrste Ex zaštite:

- napajanje senzora preko el. kola sa svojstvenom bezbednošću sa max. vrednostima električnih parametara: $U_m=1.41\text{V}$, $I_{ib}=116\text{ mA}$.
- ograničenje zagrevanja termoelementa do bezbedne granice ($\leq 450^\circ\text{C}$).
- posredstvom μ -kontrolera se prvo uključuje termoprovodni senzor za visoke koncentracije metana, za to vreme je termokatalitički senzor isključen (nema sagorevanja metana), pa ako je koncentracija metana iznad nivoa DGE (5% CH_4), senzor za niske koncentracije ostaje isključen, u suprotnom se uključuje, ali samo pri koncentracijama manjim od DGE.
- Zahvaljujući izuzetno niskoj energiji dovoljnoj za precizan rad senzora (zahvaljujući malom prečniku žice), visokom temperaturnom koeficijentu promene otpora ($K=3.9 \times 10^{-3}$) i maloj termičkoj inerciji (ciklus merenja traje 7.5s, pri čemu je zagrevanje 2.5s, a hladjenje 5s), dobijen je efekat oslobađanja male termičke energije, što opet ima za posledicu malu temperaturu zagrevanja senzora ($T_{\text{max}}=73^\circ\text{C}$, prilog 3 protokola IL VE IGDN No 308.S20000-I, list 7), a koja je daleko niža od bezbedne temperature $t_{\text{bez}}=295^\circ\text{C}$, dobijen uz faktor sigurnosti 1.5. Merenja u navedenom prilogu su izvedena u uslovima napajanja senzora $U=1.41\text{V}$, $I=116\text{ mA}$, u prisustvu smeše propana 5,3% i vazduha, zagrejane na 50°C (smeša odgovara grupi gasova IIA).
- Prodor mernog gasa unutar senzora izveden je preko sinterovane mase čime je eliminisana mogućnost prodora ugljene prašine unutar senzora a što pomera dopuštenu temperaturnu granicu unutra senzora sa 150 na 450°C .

Na osnovu svega napred navedenog u "Izveštaju o ispitivanju Ex-uređjaja Br S0201045x", CENEx-a prihvaćeni su rezultati ispitivanja data u Prilogu br. 3 ruskog protokola, konstrukcione i softverske postupke u smislu ograničavanja temperature zagrevanja senzora iznad bezbednog nivoa, kao i primenjenu zaštitu od prodora ugljene prašine unutar senzora, čime je izbegnuta potreba ugradnje senzorskih elemenata i detektora u "Ex d" kućište. Ispunjeni su uslovi naročite vrste zaštite, što dopušta da se u oznaku vrste Ex zaštite unese i znak "S".

Sama konstrukcija senzora, odnosno princip rada na dinamičkom režimu, omogućio je projektantima da uređjaj koji koristi ovaj senzor, uslove svojstvene bezbednosti preko graničnih krivi (IEC 79-11) ispunjava bez ikakvih problema, odnosno daleko ispod granične krive za I, čak ispod krive i za IIC grupu gasova. Zaključak iz "Izveštaju o ispitivanju Ex-uređjaja Br S0201045x", da vrednost kapacitivnosti treba tražiti na krivoj za "C+40Ω", budući da je za limitiranje struje iz izvora od 13,5V na 250 mA, potrebno vezati serijski otpornik vrednosti od $54\Omega > 40\Omega$. Uvećanjem napona za faktor sigurnosti $k=1,5$, pokazuje se da ako se na apcisi uzme tačka koja odgovara naponu 20,25V i povuče vertikala, nema preseka sa graničnom krivom za "C+40Ω", do vrednosti $C=10000\mu F$, što znači da se za navedeni napon i struju praktično može vezati kapacitet bilo koje vrednosti, a da se ne ugrozi svojstvena bezbednost kola u prisustvu metanske eksplozivne smese. Ruskim protokolom je ispitivanje sprovedeno na aparatu za generisanje varnice (varničar). Eksplozivni gas činila je smeša 15% kiseonika i 85% vodonika, koja po eksplozivnosti odgovara IIA grupi gasova. Pri ukupno 16000 varnica nije došlo do paljenja smeše.

Prema rezultatima ispitivanja a u skladu sa jugoslovenskim standardom JUS N.S8.011,oznaka tipa protiv eksplozivne zaštite za dati uređjaj je Ex ia s I, s tim da je primena uređjaja uslovljena posebnom odlukom Ministarstva za rudarstvo i energetiku, s obzirom da je materijal od koga je izradjeno kućište detektora po sadržaju aluminijuma ne zadovoljava zahtev t.8.1, JUS N.S8.011.

5. Upporedna analiza karakteristika klasičnog i termokatalitičkog senzora na dinamičkom režimu

Upporedjenje je vršeno između klasičnog termokatalitičkog senzora engleske kompanije Sieger i termokatalitičkog senzora na dinamičkom režimu DMS-01. U analizi su uzeti najznačajniji parametri za rad senzora i detektora u koji se isti ugradjuju:

	Sieger	DMS-01
Noninalni napon napajanja senzora	2,12V	1,41V
Nominalna struja senzora	175 mA	116 mA
Opseg merenja	0-3%	0-5% 5-100%
Vreme odziva	20s	15s
Tačnost	$\pm 0,1\%$ v/v	$\pm 0,2\%$ v/v opseg 0-5% $\pm 5\%$ v/v opseg 5-100%
Napon napajanja detektora	12V	6-15V , nominalno12V
Struja napajanja detektora	90 mA	10mA pri napajanju 12V
Ex zaštita	Ex ia d I	Ex ia s I

Dinamiki režim rada donosi prednosti u neuporedivo manjoj potrebnoj struji za rad samog detektora (10mA naspram 90mA). Senzor u toku zagrevanja povuče 116 mA, međjutim konstruktori uređjaja su dodali bateriju koja "ispegla" taj pik, tako da se u periodu relaksacije (nakon zagrevanja od 2,5s narednih 5s se komora puni gasom i senzor nije aktivan), baterija dopuni i trajna vrednost struje koju detektor "povlači" iz izvora ne premašuje 10 mA. Takodje je napon za rad senzora niži, 1,41V u odnosu na 2V.

Ono po čemu klasični termokatalitički senzori nadmašuju senzor na dinamičkom režimu rada, je preciznost, s tim da treba imati u vidu da prvi rade u manjem opsegu (0-3%), a drugi u većem opsegu (0-5%). Ova greška je manja od dopuštene greške za merni opseg IEC normom 61779-1,6 , koja iznosi $\pm 5\%$ od punog opsega skale.

Tremokatalitički senzori na dinamičkom režimu su u prednosti i po vremenu odziva, što je logična posledica jer su klasični termokatalitički senzori motani žicom prečnika 25 μm , a dinamički prečnikom $\leq 10 \mu m$.

6. Zaključak

Zahvaljujući primeni rezultata “najvišeg tehnološkog nivoa” za izradu primarnog elementa senzora niskih koncentracija metana (termokatalitički senzor sa spiralom od platinske žice prečnika $\leq 10 \mu\text{m}$) i mikro kontrolera za upravljanje radom senzora, termokatalitički senzori na dinamičkom režimu rada ostvaruju sledeće prednosti u odnosu na “klasičan” termokatalitički senzor:

1. Samo sa jednim elementom, bez referentnog, određujemo koncentraciju, izbegavajući tako sve neugodnosti koje referentni element nosi sa sobom (potreba selekcije –uparivanja elemenata, radnog i komparativnog, različito starenje ova dva elementa, koje se ne može izbjeći, a koje dovodi do odstupanja nule i sl.)

2. Na dinamičkom režimu, faktički element upoređujemo sam sa sobom, on je sebi referentan, komparativan, ako mu se karakteristike menjaju sa vremenom te su promjene iste u tački t_1 i t_2 (slika br. 4). Na taj način je rešen problem odstupanja nule što i jeste jedna od najvećih prednosti ovog senzora.

3. Potrošnja samog senzora je mnogostruko manja u odnosu na klasične termokatalitičke senzore, jer nema referentnog elementa pa se samim tim ne greju dva elementa (potrošnja 50% manja). Senzor ne radi stalno (samo 2.5s) a 5 sekundi se puni ponovo komora (opet smanjena potrošnja). I na kraju ovako tanka žica od $10 \mu\text{m}$ se veoma brzo zagreje i ohladi.

4. Za razliku od klasičnih termokatalitičkih senzora koji moraju da budu ugrađeni u nepropaljivo kućište, odnosno realizovani u Ex d, Ex zaštita ovog senzora je ia, što umnogome olakšava konstrukciju samog detektora.

5. Pogodan izbor parametra termokatalitičkog senzora na dinamičkom režimu omogućava konstrukciju takozvanog “univerzalnog” eksplozimetra. Naime klasični eksplozimetri pokazuju tačno samo koncentraciju gasa za kojeg su kalibrisani i iskazuju je u procentima donjeg praga njegove eksplozivnosti. Svaki drugi eksplozivni gas oni samo indiciraju, a samo merenje eksplozivnosti može odstupati i do 300% u ekstremnim slučajevima. Ovo čini praktično neupotrebljivim ove eksplozimetre, u sredinama gde ne znamo koji je gas prisutan, ili kad se radi o mešavini gasova.

Dinamički režim omogućava da se pogodnim izborom parametara (t_1 i t_2) realizuje eksplozimetar koji će jednako dobro meriti eksplozivnost većine zapaljivih gasova, a za one ekstremne slučajeve greška ne prelazi par desetina procenata (u odnosu na sadašnjih 300).

Generalni zaključak je da i pored pojave IR senzora, izmenjeni termokatalitički senzor na dinamičkom režimu rada će imati svoje zapaženo mesto kako u rudarstvu tako i u industriji.

Literatura:

1. Patentna dokumentacija: "Metod mjerenja koncentracije termokatalitičkim elementom na dinamičkom režimu". Patent francuske kompanije Oldham iz 2001 godine, ispred grupe autora: dr Basovski Boris, mr Mirić Tomislav i drugi.
2. Izveštaj o ispitivanju Ex-uređaja Br. S0201045x, Cenex-Vinč, septembar 2001. godine, mr Ratko Mikić, dr Miroljub Dimić, dr Milan Trtanj.
3. Protokol o ispitivanju IL VE IGD No308.S2000-I, od 25.12.2000. godine, i pet originalnih izveštaja o ispitivanju pojedinih karakteristika Ex-uređaja.
4. Rudarska elektrotehnika, dr Nenad Marinović, Školska knjiga Zagreb 1982.
5. Sistemi za praćenje gasno ventilacionih parametara u funkciji primarne protiv eksplozivne zaštite (PPEZ) u rudnicima sa metanskim režimom rada, sa konkretnim primerom RMU "Soko", Ex tribina, oktobar 2000. godine Novi Sad