

Analiza izrade i ugradnje termoparova u elektroenergetskim postrojenjima

MILOŠ VORKAPIĆ, BOGDAN POPOVIĆ, VESNA JOVIĆ,
IHTM- Centar za mikroelektronske tehnologije
i monokristale, Beograd

Stručni rad
UDC:621.311.22

Merenje temperature, pored pritiska, je najčešći tip merenja u procesnoj industriji i termoelektranama. Termoparovi su najčešće u kontaktu sa uređajima. Izbor i kvalitet finalne montaže termoelemenata je bitno sa stanovišta funkcionisanja merno-regulacionog kola. Pravilno povezivanje termoparova u procesu zavisi od proizvođača. Ovaj rad daje pregled dostignuća IHTM-CMTM, koji se predstavlja kao proizvođač termoparova na srpskom tržištu skoro deceniju u proizvodnji i servisiranju za klijente. Rad je koristan za osoblje koje se bavi projektovanjem i proizvodnjom termoparova. Najčešći uzroci grešaka koji su se dogodili tokom eksploatacije su prikazane u ovom radu.

Ključne reči: termopar, merni uložak, elementi termopara, ispravnost termopara

1. UVOD

Poznato je da merenja temperature predstavljaju više od 50% celokupnih merenja u industriji. Oko 50%-60% svih industrijskih merača temperature čine termoparovi [1], 30%-40% su otporni termometri, dok ostatlo predstavljaju drugi senzori temperature (na primer, termistori za niske temperature, optički pirometri za visoke temperature, itd).

U odnosu na druga kontaktna merila temperature (termistore i otporne termometre) prednosti termoparova su: merenje na visokim temperaturama, robusni su i imaju veliku brzinu odziva [2]. Mnogo napora je utrošeno u razvoj nove procesne

instrumentacije u proteklim decenijama i primenu najnovijih dostignuća na polju elektronike [3]. Ovo obuhvata SMART senzore temperature i prateću digitalnu elektroniku koja omogućava digitalni izlazni signal i računarsku kontrolu procesa. U ovom radu ćemo se baviti primarnim elementima (senzorima) industrijskog merenja temperature: termoparovima koji se proizvode u IHTM-CMTM-u iz Beograda.

IHTM-CMTM kao domaći proizvođač termoelemenata nudi niz pogodnosti: moguće modifikacije i prilagođenje merila temperature prema konkretnim potrebama, stručne konsultacije, brzo reagovanje što je posebno značajno za servisiranje i baždarenje termoelemenata.

Tabela 1. Pregled broja ugrađenih termoelemenata koje proizvodi IHTM – CMTM

Termoelement Objekat JP EPS	Termopar	Otporni termometar	Mantel merni uložak za termopar	Mantel merni uložak za otporni termometar
TENT-A	968	757	752	738
TENT-B	170	27	-	-
TE-TO Novi Sad	-	153	12	-
TE-TO Zrenjanin	42	18	26	-
TE Kostolac	16	48	-	-
TE KOLUBARA	94	86	-	-
TE MORAVA	46	-	24	-
Ukupno	1336	866	814	738
	2425		1552	

Adresa autora: Miloš Vorkapić, IHTM- Centar za mikroelektronske tehnologije i monokristale, Njegoševa 12, Beograd

Rad primljen: 02. 10. 2009.

Uz to, CMTM poseduje odgovarajuću mernu opremu za verifikaciju ostvarenih karakteristika termoelemenata. CMTM je akreditovana laboratorija kod Direkcije za mere i dragocene metale.

Proizvodnja termoelemenata u CMTM-u počinje 2003. godine, a u periodu od 2005. do 2008. godine je isporučeno 2425 komada raznih vrsta termoelemenata u objektima JP EPS. U tabeli 1. dat je pregled ugrađenih termoelemenata.

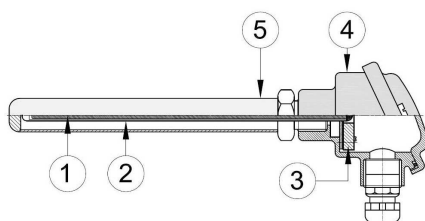
2. KONSTRUKCIJA TERMOPARA

Prema konstrukciji, termoparovi mogu biti:

- rastavljivi (sa zamenljivom zaštitnom cevi);
- nerastavljivi (sa fiksiranom zaštitnom cevi);
- termopar u obliku mernog uložka.

Termopar čine sledeći elementi (slika 1):

1. merni uložak sa mernim senzorom;
2. keramička oplata;
3. priključni blok;
4. priključna glava;
5. spoljašnja metalna zaštitna cev;



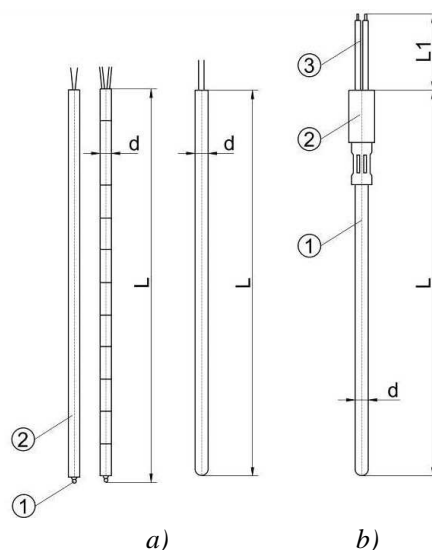
Slika 1 – Elementi termopara

2.1 Merni uložak

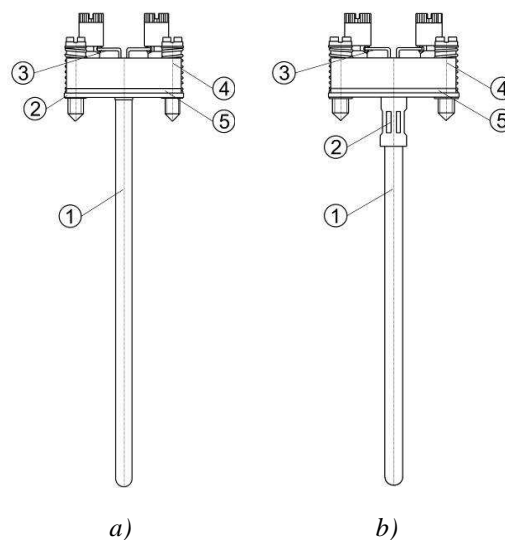
Merni uložak [4] je osnovni element svakog termopara. Može biti različitih konstrukcionih rešenja i dimenzija. Pored standardne izrade može biti i u MANTEL (mineralno izolovani merni kabl) izradi. Pregled opcija za odabir mernog uložka, koji se proizvode u IHTM-CMTM-u, slika 2.

Na slici 2 a) data je varijanta mernog uložka koja se sastoji od termoelektroda (1) i keramičke oplata (2) koja može biti različitih prečnika i dužina. Mantel merni uložak, slika 1 b), sastoji se od mantel zaštitne čaure (1), prelaznog dela (2) i ekstenzionog kabla (3). Zaštitna čaura (L) kao i ekstenzioni kabl (L1) mogu biti različite dužine i to zavisi od zahteva i potrebe kupca.

Merni uložak se izrađuje i u varijanti sa oprugama i pločicom, s tom razlikom što se kod standardnog mernog uložka pločica vari na zaštitnu čauru, dok kod mantel mernog uložka pločica se pertluje na mantel zaštitnu čauru, slika 3.



Slika 2 – Merni uložak bez pločice: a) standardan, b) mantel



Slika 3 – Merni uložak sa pločicom i oprugama: a) standardna izrada, b) mantel izrada

Na slici 3a) dat je standardni merni uložak sa delovima: 1) zaštitna čaura, 2) pločica sa oprugama, 3) ekstenzioni kabl sa klemama, 4) priključni blok, 5) podloška od klingerita. Na slici 2b) dat je mantel merni uložak sa delovima: 1) mantel zaštitna čaura, 2) pertlovana pločica sa oprugama, 3) ekstenzioni kabl sa klemama, 4) priključni blok, 5) podloška od klingerita.

2.2 Keramička oplata

Keramička oplata se koristi kao zaštitni omotač termoelektroda (kod termoparova). U pogledu mon-

taže, keramika može da bude postavljena spolja ili unutar zaštitne šaure.

Za sličaj mantela keramika se nalazi unutar zaštitne košuljice (oplate) i time zajedno sa košuljicom čini neraskidivu celinu. Izgled poprečnog preseka oplate dat je slici 4.

Keramička oplata (keramičke cevčice) se izrađuju od materijala koji je dat u tabeli 2, a oblik i dimenzije keramičkih oplata variraju od zavisnosti od proizvođača.

Tabela 2 - Materijal keramičke oplate

Mat. oplate	Max. radna temperatura °C	Postojanost
Keramika (KER 610)	do 1500	Najviše u upotrebi i koristi se za spoljašnju i unutrašnju zaštitu termoelementa. Za sve gasove bez prisustva tečnih kiselina i alkalnih para.
Oksidna keramika (KER 710)	do 1900	(Al ₂ O ₃ -99,7%). Za alkalne pare i peći za topljenje stakla i pečenje krečnjaka. Posедуje najveću mehaničku otpornost u odnosu na druge vrste keramika.
Porozna keramika (KER 530)	do 1600	Koristi se najviše pri spoljnoj zaštiti termoelementa kada je reč o gasovima. Veoma je otporna na temperaturne šokove.

Dimenzije su uglavnom standardizovane i njih propisuje proizvođači. Pri različitim vrednostima temperature mernog opsega termopara, keramička oplata zadržava svoja elektroizolaciona i mehanička svojstva, sprečavaju prljanje termoelektroda kao i njihovo prespajanje. Uglavnom se proizvode kružnog poprečnog preseka sa jednim, dva ili četiri kanala.



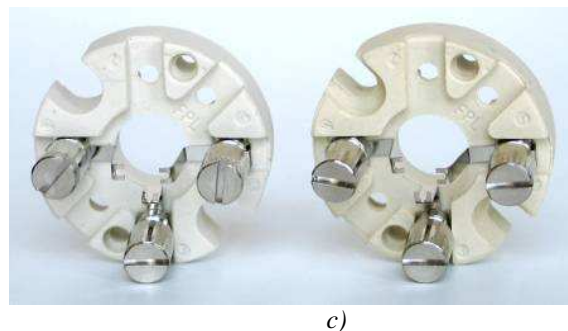
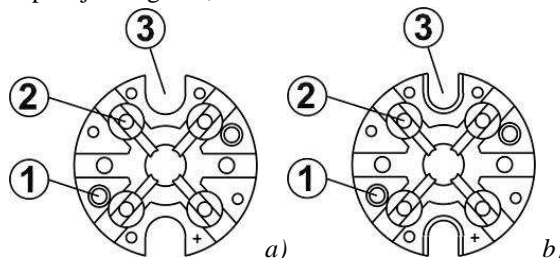
Slika 4 – Keramičke oplate za različite primene

2.3 Priključni blok

Priključni blok se nalazi unutar priključne glave. Izrađuje se u dve dimenzije: keramički blok za tip A i keramički blok za tip B priključnu glavu (po DIN 43729).

Način vezivanja bloka može biti izveden na dva načina:

- direktno vezivanje zavrtnjem i
- indirektno vezivanje putem odstoynika i opruge na priključnu glavu; videti sliku 5.



Slika 5 – Vezivanja keramičkog bloka: a) direktno, b) indirektno, c) fotografija

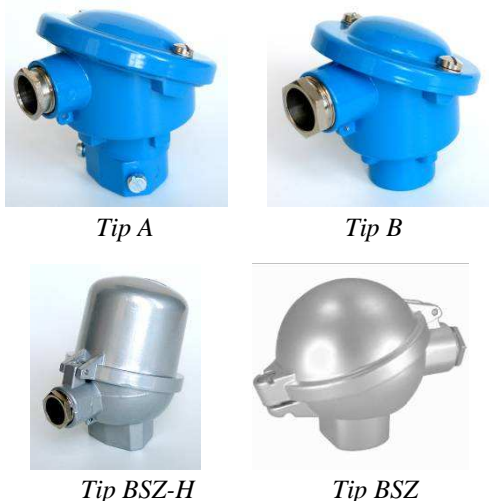
Osnovni elementi keramičkog bloka su (slika 5a i 5b): 1. prolazni otvor, 2. kontakt klemna, 3. kanal za vezu bloka sa priključnom glavom.

2.4 Priključna glava

Priključna glava je element termopara ili u kome se nalazi keramički blok sa klemama za povezivanje hladnog kraja termoelektroda i ekstenzionog kabla [5]. Priključna glava štiti priključni blok i krajeve termopara od fizičkih oštećenja i prodora hemijskih agenasa i omogućava pristup električnih vodova za priključenje termopara na merni instrumenti, odnosno u merno električno kolo.

Postoji više tipova priključnih glava, a podela je napravljena prema obliku i vrsti materijala od koje su izrađene. Na slici 6 su fotografije priključnih glava koje su najviše u upotrebi.

U tabeli 2 su navedeni tipovi priključnih glava sa osnovnim karakteristikama.



Slika 6 – Fotografije priključnih glava

Tabela 3 - Tipovi priključnih glava

Glava	Meh. zaštita	Proc. prik.	Izlaz za kabl	Poklopac
Tip A	IP 66	M24x1.5 R1/2	M20x1.5 R1/2 PG 16	Sa dva zavrtnja
Tip B				
BSZ-H	IP 65 IP 66			Sa jednim zavrtnjem
BSZ	IP 65 IP 67			

2.5. Spoljašnja metalna zaštitna cev

Spoljašnje zaštitne cevi su napravljene od materijala koji su otporni na fizičko i hemijsko dejstvo mernog fluida u celom deklarisanom mernom opsegu (štiti od korozije, prodiranja vlage, mehaničkih udara i sl).

Materijal mora da bude odabran tako da bude kompatibilan sa materijalom od koga su izrađene termoelektrode, a u zavisnosti od tipa termopara ili otpornog termometra i njihovog mernog opsega, upotrebljavaju se obični i visokotemperaturni čelici i razne oksidne keramike.

3. MERNI SPOJ TERMOPARA

Termopar predstavlja spoj dva različita metala na čijim krajevima postoji razlika potencijala u zavisnosti od razlike temperatura na kojima se nalazi spoj i krajevi metalnih žica (elektroda) termopara. Termoparovi koji se koriste u praksi za merenje temperature su napravljene od metalnih legura, koje u paru imaju za rezultat predvidljivu i ponovljivu zavisnost između razlike temperatura toplog i hladnog kraja i razlike napona na krajevima termopara.

Termoparovi mere razliku temperatura između spoja i krajeva elektroda (žica) a ne apsolutnu temperaturu. U praksi se jedan kraj termopara nalazi na poznatoj (referentnoj) temperaturi, što omogućava da se iz izmerene razlike potencijala odredi temperatura drugog, tzv. toplog kraja.

Relacija između razlike temperature (ΔT) krajeva termopara i razlike potencijala na krajevima termopara (V) je nelinearna i obično se prikazuje polinomom n -tog reda:

$$\Delta T = \sum_{n=0}^N a_n V^n \quad (1)$$

pri čemu su koeficijenti a_n dati za n od 0 do 9.

Vrednosti koeficijenata se nalaze u bazama podataka NIST-a [6], i nacionalnom metrološkom uputstvu [7].

Oznaka tipa termopara je međunarodno standardizovana latinična slovna oznaka, po IEC 584-1/1995 standardu, koja označava termoelektrična svojstva termopara, ali ne i tačan hemijski sastav njegovih termoelektroda.

Danas je međunarodno standardizovano 8 tipova termoparova koji zajedno pokrivaju široki merni opseg temperatura od -200 °C do 1800 °C.

Tip K termopar je relativno jeftin i široko korišćen za merenja temperature u oksidacionim atmosferama i temperaturnom opsegu od -200 °C do $+1260$ °C. U oksidacionoj atmosferi ovaj tip termopara može da se koristi i bez zaštite, ako su drugi uslovi pogodni: nema potrebe za mehaničkom zaštitom i zaštitom od taloženja nečistoća. Zaštita termopara keramikom ili metalnom oblogom se pokazuje dobrom pri radu u redukujućim atmosferama u cilju produženja njegovog radnog veka.

U ovom radu prikazujemo osnovne karakteristike tipa K jer je najzastupljeniji CMTM-ov proizvodni artikal.

Termoelektrode moraju biti po celoj svojoj dužini sjajne, glatke, ravnomernog preseka, bez naprslina, bez oštih savijanja pod uglom i bez varova. Pre i posle formiranja mernog spoja, termoelektrode moraju biti termički stabilisane i ne smeju ispoljavati nikakve vidove nehomogenosti.

Postoje četiri načina spoja termoelektroda termopara [8] koja se postavljaju u zaštitnu cev od nerđajućeg čelika ili Inconel-a. Ove mogućnosti su šematski prikazane u tabeli 4.

Svaki od načina ima svoje prednosti i mane koje su navedene u tabeli. Zaštitne cevi sa malim prečnicima imaju brže vreme odziva dok zaštitne cevi sa većim prečnicima imaju duži radni vek i bolji su za merenje viših temperatura.

Tabela 4 - Načini postavljanja toplog spoja u zaštitnoj oblozi termopara

Način postavljanja	Karakteristike	Šematski prikaz
Zatvoren i izolovan topli spoj	Relativno dobro rešenje. Ima duže vreme odziva. Koristi se tamo gde se zahteva izolacija mere-nog električnog kola.	
Zatvoren i uzemljen za oplatu topli spoj	Uzemljen spoj ima spoj zalemljen za zaštitnu cev. Žice su kompletno izolovane od zagađivača. Dobro vreme odziva	
Izložen topli spoj	Ima brže vreme odziva, ali i nedostatak u mehaničkoj i hemijskoj zaštiti. Ne koristiti se u korozivnim fluidima i atmosferama ili temperaturama preko 300 °C.	
Izložen topli spoj brzom odzivu	Izloženi spoj ima najbrže vreme odziva, idealno za merenje brzih temperaturnih promena. Najbrže vreme odziva, ima tipične vrednosti 2 sekunde ali sa finim baždarenjem spoja žica vremenska konstanta može biti reda 10-100 ms	

3.1. Primena mantel merih uložaka

Manteli, kao merni uložci termoparova zbog fleksibilnosti (savitljivosti), omogućavaju merenje temperature i na teško pristupačnim mestima. Otporni su na vibracije, pritisak i imaju dug radni vek.

Mantel merni uložci su posebno pogodni za termoparove koji rade u:

- pećima / sušarama;
- gasovitim i tečnim medijima (vazduh, gas, voda, ulje i sl.);
- na površinama kontejnera, cevovoda, aparatura i mašina;
- u laboratorijskim i eksperimentalnim uređajima;
- u sredinama sa visokim i niskim pritiskom.

4. FAKTORI KOJI UTIČU NA KVALITET FORMIRANOG TERMPARA I IZBOR TERMOPARA ZA SPECIFICIRANU NAMENU

4.1 Ispravnost termopara

Da bi se formirao gotov termopar važno je da se poštuju postupci u proceduri izrade.

Za svaki proizvedeni termopar [7] se određuje greška merenja na osnovu koje se on svrstava u jednu od tri klase tačnosti prema tabeli 5.

Spajanje termoelektroda i kvalitet toplog spoja– Za spajanje termoelektroda, odnosno formiranje kuglice termopara koristi se mikro plazma zavarivanje na uređaju "Plasmafix 50s" proizvođača "Oerlikon". Svaka degradacija termoelektroda u spoju izazvana neadekvatnim zavarivanjem se odražava na kvalitet izrađenog termopara.

Do sada je rađeno, takvi su bili zahtevi kupaca, sa maksimalnom debljinom termoelektroda za K-tip od 3.5mm, i minimalnim prečnikom žica za termoelektrode od 0.5 mm..

Što je prečnik termoelektroda veći, manja je brzina odziva termopara koji zbog veće mase ima i veću toplotnu inerciju. Sa druge strane vek trajanja termopara, posebno pri radu na visokim temperaturama, je duži što su termoelektrode masivnije. Prečnik termoelektroda utiče i na veličinu temperaturnog gradijenta duž termopara: što su elektrode tanje, provođenje toplotne energije kondukcijom je manje, pa se sledstveno tome i deo termopara van mernog mesta slabije zagreva.

Tabela 5 - Dozvoljene greške merenja termoparova K-tipa

	Klasa tačnosti 1	Klasa tačnosti 2
Opseg temp.	(-40 do +375) °C	(-40 do +333) °C
Dozvoljena greška	± 1,5 °C	± 2,5 °C
Opseg temp.	(375 do 1000) °C	(333 do 1200) °C
Dozvoljena greška	± 0,004 t	± 0,0075 t

Keramička oplata – (elektroizolacioni materijal) Pažljiv izbor izolacionih materijala, kao i spoljne zaštitne cevi je veoma kritičan. Treba da se vidi kvalitetna kombinacija materijala u zavisnosti od tipa termoelementa i posebno je važno da materijal termoelektrode ne reaguje ni na koji način sa materijalom termoelektrode, što može da se desi na visokim temperaturama (slika 7). Osim ovoga, mora se imati u vidu da se sa povećanjem temperature povećava i električna provodljivost većine izolacionih materijala, pa se mogu formirati i tzv. „lažni spojevi”. Ovo je izraženije pri radu sa termoparovima sa tanjim termoelektrodama.

Oštećena žica ili slab kontakt – Ukoliko je žica oštećena (ili prekinuta), dolazi do pogrešnog očitavanja temperature. Na izlazu se javlja promenljivi signal koji nam signalizira da postoji mogućnost prekida žice ili kontakata. Vibracije se javljaju tokom procesa

i mogu oštetiti zavaren spoj (topli kraj), što za rezultat ima otkaz termopara.



Slika 7 – Spoj termoelektroda koje čine termopar u zaštitnoj keramičkoj oblozi

Odabir priključne glave – sa stanovišta primene i vrste termoelementa veoma je bitno koji tip priključne glave se koristi. Skorašnja upotreba glave tipa B, koja je i dalje u upotrebi, sve se više zamenjuje glavom tipa BSZ. Razlog je svakako ekonomičnost i funkcionalnost glave BSZ koja ima na jednom kraju vijačnu vezu. Na drugom kraju nalazi se osigurač kojim je poklopac pričvršćen na glavu. Upravo, ovakav način veze omogućava montažerima bržu i kvalitetniju montažu termoelemanata kao i njihovo povezivanje u merno kolo.

Spoljašnjim pregledom, formiranog termopara se utvrđuje:

- da merni spoj termopara nije oštećen ili zaprljan;
- da termoelektrode zadovoljavaju propisane uslove u pogledu prečnika i izgleda spoja (zavarene kuglice);
- da je električna izolacija propisno izvedena;
- da spoljašnja armatura zaštitnog omotača ili glave nije oštećena;
- da termoelektrode nemaju drugih zavarenih mesta osim mernog spoja;

4.2 Greške merenja koje nastaju pri montaži termoparova

Jedna od najčešćih grešaka u montaži termopara je da se ne obezbedi odgovarajuća dužina uronjavanja termopara. Prilikom postavljanja standardnog ili mantel mernog uloška dolazi do neželjenog prenosa toplote od mernog uloška (merne sonde) do spoljašnje zaštitne cevi. Ova greška nastaje kao rezultat različitih temperatura vrha termopara (topli kraj) koji je uronjen u fluid čija se temperatura meri i kraja termopara (hladan kraj) koji se nalazi u spoljašnjoj sredini, zbog čega dolazi do pojave toplotnog fluksa kroz termopar i odvođenja toplote kondukcijom. Način ugradnje termopara i kriva temperature duž mernog uloška (termoelektroda ili mantel), prikazani su na slici 8.

Empirijsko pravilo pri određivanju minimalne dužine uronjavanja termopara, je da se dužina uronjavanja određuje u zavisnosti od prečnika merne sonde i da iznosu 7 do 10 njenih veličina.

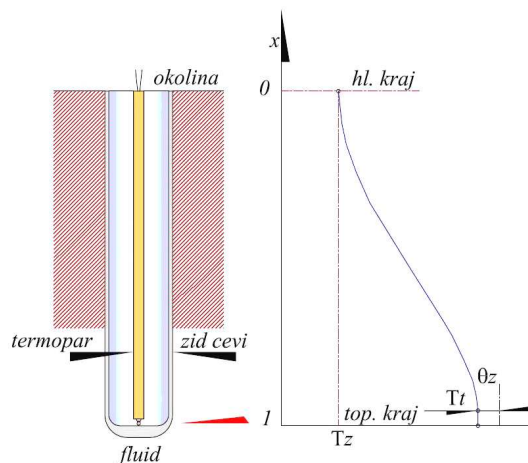
Greška u merenju temperature usled zračenja nastaje usled prenosa toplote zračenjem između termopara i zida suda ili cevovoda u koji je termopar ugrađen. Ova greška se javlja pri temperaturama većim od 400 °C, pri kojima zračenje kao mehanizam prenosa toplote postaje značajno. Gustina toplotnog fluksa, q , koja se prenosi zračenjem se opisuje Stefan-Boltzmann-ovim zakonom:

$$q = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

gde je:

ε emisivnost kuglice termopara, σ je Stefan-Boltzmannova konstanta ($5.7 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$) a sa T je označena apsolutna temperatura emitera zračenja.

Pošto je zračenje proporcionalno apsolutnoj temperaturi na četvrti stepan, kuglica termopara će na vrlo visokim temperaturama emitovati zračenjem više toplote nego što prima, što prouzrokuje grešku merenja temperature takve sredine (npr. merenje temperature u plamenu). [S. Brohez, C. Delvosalle, G. Marlair: "A two-thermocouple probe for radiation corrections in compartment fires", Fire Safety Journal 39 (2004) pp. 399–411].



Slika 8 - Šematski prikaz raspodele temperature duž termopara koji je uronjen u fluid čija se temperatura meri

Greška usled zračenja može da se smanji izolacijom zida, poliranjem površine termopara, zaklanjanjem termopara od izvora zračenja i sl. Pri merenju temperatura fluida koji struje velikim brzinama, greška merenja nastaje zbog prelaza kinetičke energije fluida u toplotu koju termopar registruje. Ovaj tip greške merenja, θ (razlika temperature spoja termo-

elektroda termopara i stvarne temperature fluida) se može izraziti sledećom zavisnošću:

$$\theta_v = \frac{v^2}{2 \cdot c_p} \quad (3)$$

gde je:

v brzina strujanja fluida a c_p specifični toplotni kapacitet. Ova greška nastaje samo samo pri vrlo velikim brzinama fluida i otklanja se specijalnom ugradnjom termoparova sa zaštitnom cevi.

4.3. Odziv termopara

Smatra se da je masa samog senzora direktno u vezi sa brzinom odziva. Senzori manje mase (tanje žice samog senzora, tanja izolacija i sl.) imaju za rezultat brži odziv. Svako dodavanje zaštite senzoru usporava njegovu brzinu odziva. Najveću brzinu odziva bi imali termoparovi čiji je spoj termoelektroda direktno u sredini čija se temperatura meri. Ovo je posebno važno kada su termoparovi deo sistema kontrole brzina grejanja i hlađenja termičkih postrojenja, kada je obezbeđenje brzine merenja krucijalno. U većini drugih industrijskih primena odziv nije od primarne važnosti, već je to potreba da spoj termoelektroda bude zaštićen u agresivnoj sredini.

4.4. Izolacija termopara

Čest problem koji se javlja kod termoparova su greške u merenju temperature usled loše izolacije. Da bi se proverila izolacija, potrebno je izvršiti merenje otpora izolacije i uzemljenja termoelektroda između termoelektroda i metalne košuljice. Otpornost izolacije treba da bude veća od 109Ω na 500 VDC. Veliki problem svakako predstavlja i prodor vlage na hladnom kraju ili izlazu što su posledice loše konstrukcije.

Daleko ili nepravilno „zalivanje” termoelektroda može da dovede do prodora vlage i štetnih materijala u gasovitom stanju na kontakte termopara izazivajući na taj način smanjenje električne otpornosti izolacije. To se može ponekad popraviti čišćenjem kontakata i keramike i obezbeđivanjem dovoljne dužine izolacionog materijala.

Električna otpornost izolacije između termoelektroda i zaštitne cevi, mora biti veća od [9]:

- $10 M\Omega$ na temperaturi $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ i relativnoj vlažnosti vazduha koja nije veća od 80%;
- $70 k\Omega$ na temperaturi do $600 \text{ }^\circ\text{C}$;
- $25 k\Omega$ na temperaturi od $600 \text{ }^\circ\text{C}$ do $800 \text{ }^\circ\text{C}$;
- $5 k\Omega$ na temperaturi od $800 \text{ }^\circ\text{C}$ do $1000 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.5. Produžni kablovi termopara

Najbolji način za povezivanje termoelektroda termopara sa indikatorskim instrumentom [10] je koriš-

ćenjem kablova koji su napravljeni od istog materijala kao i termoelektrode termopara. Ovakvi provodnici koji imaju istu elektromotornu silu (EMS) na izlazu kao i termopar se nazivaju **produžnim kablovima**. Upotrebom produžnih kablova izbegava se pojava „greške na spojevima žica”. Iz ekonomskih razloga često se kao produžni kablovi koriste jeftinije legure sa sličnim EMS izlazom u ograničenom opsegu temperatura - $200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ovakvi kablovi se nazivaju **kompensacionim kablovima**. Za termopar K-tipa (kao i za druge tipove „neplemenitih, relativno jeftinih” termoparova; IEC-584.) produžni kablovi su praktično istog sastava kao i žice termopara.

4.6. Zaštita termopara

Termopar sa potpuno izloženim spojem (treći prikaz u tabeli 4) je najosetljiviji na dejstvo elektromagnetnog zračenja, posebno onog srednjih i visokih frekvencija, ali zato ima najmanju vremensku konstantu odziva.

Uzemljen termopar je zatvoren u metalnu oplatu i spoj termoelementa je električno spojen sa metalnom zaštitnom cevi (drugi šematski prikaz u tabeli 4). Ova vrsta izvedbe termopara je osetljiva na lutajuće elektromagnetne signale i pokazuje veću grešku merenja usled provođenja i zračenja toplotne energije.

Neuzemljen termopar (prvi prikaz u tabeli 4) je takođe zatvoren u zaštitnu metalnu oplatu, ali je spoj električno izolovan od nje. Ova vrsta montaže dovodi do sporijeg odziva termopara ali je zato on zaštićen od elektromagnetnih uticaja.

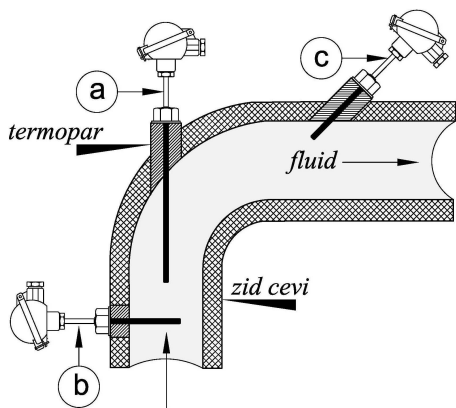
4.7. Ugradnja termopara

Pravilna ugradnja [11], uključujući obradu površina na kojima se ugrađuju termoparovi, je bitna za kvalitetno praćenje temperature.

Imajući u vidu uticaj temperature na neizolovane cevi (uticaj zračenja i hlađenja), da bi se dobila tačna merenja treba termički izolovati prostor oko senzora pri čemu se smanjuje masa senzora kao i gubitak topline preko senzora, ili da se poveća kontaktna površina između senzora i površine gde se montira.

Ugradnja termoparova u cevovodima [5]:

- 1.) termoparovi postavljeni u suprotnom smeru od toka fluida (kada se radi o cevima malog poprečnog preseka) - slika 9-a;
- 2.) Termoparovi postavljeni vertikalno u odnosu na poprečni presek cevi (kada se radi o cevima velikih poprečnog preseka) - slika 9-b;
- 3.) Termoparovi postavljeni koso nad smerom protoka fluida (ako ne postoji mogućnost vertikalne montaže) – slika 9-c.



Slika 9 - Šematski prikaz ugradnje termoparova u cevovodima

4.8 Periodično kalibrisanje termopara

Pregled termoparova (prvi,periodični) obuhvata:

- spoljašnji pregled;
- ispitivanje greške merenja termopara.

Stepen netačnosti zavisi od procesa u okolini i čistoće materijala koji se koristio pri konstrukciji termopara. Nije uobičajeno da termopar na temperaturi od 1000°C radi duži vremenski period. Da bi se smanjila netačnost sistema trebalo bi povremeno rekalibrisati senzor.

4.9. Tačnost termopara

Ispitivanjem greške merenja termopara utvrđuje se da li su ispunjeni propisani uslovi u pogledu vrednosti dozvoljene greške za pojedine termoparove. Tačnost merenja je funkcija celog sistema. Da bi se postigla željena tačnost merenja fokus se prvenstveno stavlja na temperaturu samog senzora, a da se pri tome ne uzimaju u obzir svi elementi sistema za merenje temperature.

4.10. Etaloniranje termopara

Razmatra se nesigurnost etaloniranja. Veoma je bitno da su termoparovi kalibrisani i u prihvatljivim granicama greške [12].

Nakon kalibracije dobija se sertifikat o etaloniranju. Kalibracija u laboratorijskim uslovima teoretski osiguravae puno manje neizvesnosti pri merenju. Poznajući nesigurnost senzora veći je stepen poverenja u sopstvena merenja.

5. ZAKLJUČAK

Pri izboru termopara treba da se vodi računa o maksimalnoj temperaturi, tačnosti merenja kao i da li se temperatura meri povremeno ili trajno. Pri odabiru zaštitne cevi treba da se vodi računa o eksploatacionim uslovima u pogonu. Zaštitne cevi su tokom eksploata-

cije izložene velikim naprezanjima. Sa povećanjem temperature povećava se plastičnost i žilavost materijala, a pri smanjenju temperature javlja se osobina krтости.

Zaštitna cev termopara kao i zaštitna košuljica mantel mernog uloška se izrađuju od legiranih čelika, a po pravilu oni su:

- čvršći,
- ne gube svoju čvrstoću ni pri višim temperaturama,
- imaju bolju nosivost pri dinamičkom opterećenju,
- veću korozivnu otpornost,
- otpornost na habanje.

Termoparovi se tokom vremena troše i pri tome ne može dovoljno pouzdano da se odredi njihova trajnost. Keramička cev unutar zaštitne cevi štiti termopar od štetnih uticaja i produžava vek trajanja mernog spoja. Termoparovi su zastupljeni u mnogim procesima i koriste se za široki opseg temperatura, jednostavno se proizvode i mogu se praviti u različitim dimenzijama.

Veliki broj termoparova koji je u upotrebi u JP EPS, uslovljava intenzivan razvoj tehnologije za izradu termoparova kao i razvoj sistema za ispitivanje i umeravanje termoparova u IHTM-CMTM-u.

Prema ISO 9001:2008 merna oprema i kriterijumi za održanje kvaliteta za izradu termoparova i tačnosti merenja, u saglasnosti je Metrološkim uputstvom za pregled termoparova.

Za pripremu tehnološkog procesa izrade i sklapanja termoparova potrebni su:

- plan i program proizvodnje,
- radionički crteži delova, podsklopova i sklopova,
- šeme sklapanja svih delova koji ulaze u sklopove, kao i podaci o priborima i materijalima koji su da potrebni da se sklapanje izvrši,
- Tehnički uslovi za realizaciju.

Da bi IHTM-CMTM ostvario stabilnu poziciju na domaćem tržištu mora da poseduje visoki stepen koordinacije poslovnih funkcija. Ulaganje napora u cilju optimizacije poslovnih funkcija ogleda se kroz: a) ostvarivanje i unapređenje kvaliteta izrade termoparova; b) razvijanje sopstvenog proizvodnog programa.

LITERATURA

- [1] JP EPS, Elaborat TE „Nikola Tesla“, Merljive veličine u pogonu, Beograd, 2000;
- [2] A. Volbrecht, W. Gordon: "Temperature measurement: Making sense of it all", Sensors, june 1998.;

- [3] J. R. Gyorki: "Signal Conditioning for Your Thermocouples", from Signal Conditioning & PC-Based Data Acquisition Handbook, 3rd Ed., IOtech, 2004, ed. John R. Gyorki.;
- [4] B. Popović, M. Vorkapić, M. Marinković, D. Tanasković, „Tehnologija proizvodnje mernih senzora temperature i njihova eksploatacija”, Kongres metrologa 2007., Zlatibor, 2007;
- [5] Beckerath, Alexander vonEberlein, Anselm Julien, Hermann Kersten, Peter Kreutzer, Jochem, WIKA Handbook , Pressure & Temperature Measurement, U.S. Edition, Printing: Corporate Printers, Cumming, GA 2008;
- [6] <http://srdata.nist.gov/its90>;
- [7] Metrološko uputstvo za pregled termoparova, DMDM, Glasnik 4/98 i 3/2001;
- [8] www.tempmeassystems.com;
- [9] ASTM, Manual on the use of thermocouples in temperature measurement, American Society for Testing and Materials, 1983.;
- [10] Platinum, copper and nickel resistance thermometers (for industrial and commercial use), International Recommendation R-84, OIML, 2003.;
- [11] D. Tasić, V. Živković, „Osnovi metrologije”, SZMDM, Beograd, 2000;
- [12] Pravilnik o metrološkim uslovima za termoparove, Direkcija za mere i dragocene metale, Sl. SRJ 34/96;
- [13] www.omega.com;
- [14] D. Stanković, „Fizičko tehnička merenja”, Bgd, 1997.
- [15] G. Danković, Termoelektrične pojave”, SZMDM, int. publ., 1998;
- [16] A. Hamzić, „Niskotemperaturna fizika i superprovodljivost, PMF u Zagrebu, Zagreb, 2005.

SUMMARY

ANALYSIS OF DESIGN AND INSTALLATION THERMOCOUPLES IN POWER PLANTS

Measurement of temperature, in addition to pressure, is the most common type of measurement in the process industry and power plants. Thermocouples are most common in contact with devices. The selection and quality of final assembly thermoelements is important from the standpoint of the functioning regulation circuits. Proper connection thermocouples in process depend on the manufacturer. This paper gives overview achievements IHTM-CMTM, who represents as manufacturer thermocouples on the Serbian market almost a decade in manufacturing and servicing for customers. The paper is useful for staffs who are engaged in designing and producing thermocouples. The most common causes of errors that occurred during their exploitation are shown here.

Key words: thermocouple, measuring insert, thermocouple elements, thermocouple accuracy