

ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
Научно веће Института

ОВДЕ

ПРЕДМЕТ: ЗАХТЕВ ЗА ВАЛИДАЦИЈОМ И ВЕРИФИКАЦИЈОМ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

У складу са Правилником о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача (Сл. Гласник РС 38/2008, Прилог 2) обраћамо се Научном већу Института за рударство и металургију Бор са молбом да покрене поступак за валидацију и верификацију техничког решења под називом

СИСТЕМ ЗА ТЕСТИРАЊЕ ТЕМПЕРАТУРНИХ СЕНЗОРА

аутора:

Др Драган Р. Миливојевић, дипл.инж.ел.
Владимир Деспотовић, дипл.инж.ел.
Маријана Павлов, дипл.инж.ел.
Др Виша Тасић, дипл.инж.ел.
Мр. Дарко Бродић, дипл.инж.ел.
Др Дејан Танкић, дипл.инж.маш.
Владан Миљковић, дипл.инж.ел

Техничко решење (М83 – ново лабораторијско постројење) је резултат реализације пројекатпрема Министарству за период 2011-2014, бр ТР34005 - Развој напредних материјала и технологија за мултифункционалну примену заснованих на еколошком знању и ТР33037 – Развој и примена дистрибуираног система надзора и управљања потрошњом електричне енергије код великих потрошача.

За рецензенте предлагемо:

1. Проф. Др Зоран Стевић, ванредни професор ФЕПН Београд
2. Др Радојле Радетић, научни сарадник, ЕМС Србије - Бор

У Бору, 01.12.2011.

Сагласни руководиоци пројеката:

ТР34005

Др Ана Костов, научни саветник

ТР33037

Др Драган Миливојевић, научни сарадник

У име аутора:

Драган Р. Миливојевић



INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR

19210 Bor, Zeleni bulevar 35

Tel: (030) 436-826; faks: (030) 435-175; E-mail: institut@irmbor.co.rs



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
НАУЧНО ВЕЋЕ
Број: IV/8.7.
Од 06.12.2011.године

На основу Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, прилог 2 (Сл.гласник РС бр.38/2008), Научно веће је на IV-ој седници одржаној дана 06.12.2011. године донело:

ОДЛУКУ

*о покретању поступка за валидацијом и верификацијом
техничког решења и именовању рецензента*

I

На захтев др Драгана Миливојевића, научног сарадника Института за рударство и металургију у Бору, Научно веће је покренуло поступак за валидацијом и верификацијом техничког решења под називом „Систем за тестирање температурних сензора“ и донело Одлуку о именовању следећих рецензента за давање мишљења о наведеном техничком решењу:

1. проф.др Зоран Стевић, ванредни професор, ФЕПН Београд
2. др Радоле Радетић, научни сарадник, ЕМС Бор



ПРЕДСЕДНИК НАУЧНОГ ВЕЋА

Др Миланко Љубојевић, дипл.инж.руд.
Научни саветник



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
19210 Бор, Зелени булевар 35
Тел:(030)436-826;факс:(030)435-175;E-mail: institut@irmbor.co.rs



**ТЕХНИЧКО I RAZVOJNO REŠENJE
(M83 – NOVO LABORATORIJSKO POSTROJENJE)**

SISTEM ZA TESTIRANJE TEMPERATURNIH SENZORA

Bor, 2012.

1. Naslovi i Evidencioni brojevi projekata:

1. RAZVOJ NAPREDNIH MATERIJALA I TEHNOLOGIJA ZA MULTIFUNKCIONALNU PRIMENU ZASNOVANU NA EKOLOŠKOM ZNANJU

Evidencioni broj Ugovora TR-34005 (2011 – 2014.)

Rukovodilac: Ana Kostov, Institut za rudarstvo i metalurgiju

2. RAZVOJ I PRIMENA DISTRIBUIRANOG SISTEMA ZA NADZOR I UPRAVLJANJE POTROŠNJOM ELEKTRIČNE ENERGIJE KOD VELIKIH POTROŠAČA

Evidencioni broj Ugovora TR33037 (2011 - 20141.)

Rukovodilac: Dragan R. Milivojević, Institut za rudarstvo i metalurgiju

2. Organizacija koordinator:

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU U BORU

3. Organizacije učesnici:

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU U BORU
TEHNIČKI FAKULTET U BOR

4. Korisnici:

IRM Bor, JKP TOPLANA, ENERGAN TIR D.O.O.

5. Naziv tehničkog i razvojnog rešenja:

SISTEM ZA TESTIRANJE TEMPERATURNIH SENZORA

6. Autori:

Dr Dragan R. Milivojević dipl.inž.el.

Vladimir Despotović dipl.inž.el.

Marijana Pavlov dipl.inž.el.

Dr Viša Tasić dipl.inž.el.

Dr Darko Brodić, dipl.inž.el.

Dr Dejan Tanikić, dipl.inž.maš.

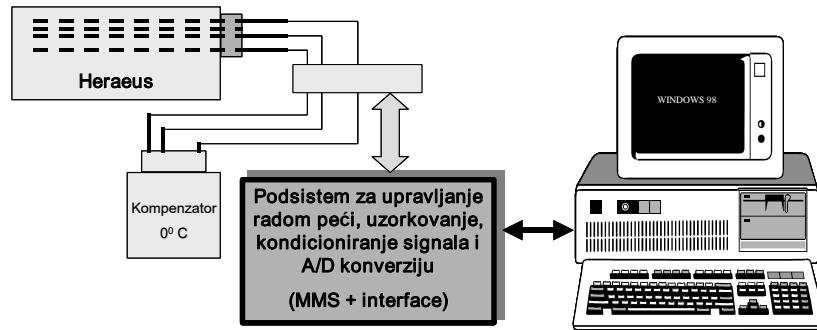
Vladan Miljković, dipl.inž.el.

7. Oblast na koju se tehničko i razvojno rešenje odnosi:

MATERIJALI I HEMIJSKE TEHNOLOGIJE, METROLOGIJA I ELEKTRONIKA,

1. UVOD

Merni pretvarač temperature izveden kao spoj dva različita materijala naziva se termopar. U Institutu za rudarstvo i metalurgiju (IRM) u Boru proizvode se termoparovi na bazi plemenitih metala (platine, njenih legura i rodijuma; Pt-Rh-Pt). Saglasno podeli termoparova i zvaničnim oznakama, radi se o termoparovima tipa *S*, *R* i *B*: (*S type* ~Pt -10% Rh Vs Pt ~0 to 1450 °C; *R type* ~Pt -13% Rh Vs Pt ~0 to 1450 °C; *B type* ~Pt -30% Rh Vs Pt -6% Rh ~0 to 1750 °C) [1]. Da bi termoparovi mogli da se plasiraju na tržištu, neophodno je ispitati njihove karakteristike. Za te potrebe razvijen je odgovarajući merni sistem. Ispitivanja karakteristika termoparova vrše se u Laboratoriji za primenjenu elektroniku i računarsku tehniku u IRM.



Slika 1. Uprošćena šema mernog sistema

Prilikom formiranja sistema za testiranje maksimalno je korišćena već postojeća oprema, kao što je peć za žarenje (tipa Heraeus) i mikroprocesorska merna stanica - MMS [2]. Iako peć nije nova, njene osnovne funkcije: maksimalna temperatura i nivo regulacije grejanja sasvim su zadovoljavajuće. Mikroprocesorska merna stanica je tip programirljivog logičkog kontrolera [3] i u konkretnom slučaju se koristi za upravljanje radom peći, kao i za merenje i akviziciju podataka.

Kontrolisani deo mernog sistema [4] predstavlja žarna peć sa kontrolom i regulacijom temperature. Iz razloga racionalnosti u peć je moguće istovremeno uneti ukupno 8 termoparova.

Veza MMS sa pomenutim podsistemom za zagrevanje je dvosmerna: sadrži elemente upravljanja radom peći i prihvata ulazne naponske signale sa termoparova. Za efikasnu interakciju merne stanice sa kontrolisanim komponentama mernog sistema ostvaren je poseban sklop za prilagođenje – *interfejs* [5].

Interfejs je realizovan na posebnoj štampanoj ploči i ugrađen u kabinet MMS (slika 1). Sa mernom stanicom ostvaruje vezu preko sistemske magistrale koristeći neke od kontrolnih signala i signale podataka (*Data Bus*) [6]. Osnovna funkcija interfejsa je upravljanje radom peći, izbor ulaznog signala, njegovo kondicioniranje, A/D konverzija i prenos digitalnih podataka u mernu stanicu.

2. PROBLEMATIKA I STANJE U OBLASTI TESTIRANJA, UMERAVANJA I BAŽDARENJA TEMPERATURNIH SENZORA

Termoparovi su merni pretvarači koji se ne podešavaju, odnosno mogu samo da se ustanove njihove merne karakteristike za određeni opseg temperature. To se postiže metodom kalibracije, baždarenja, umeravanja ili validacije.

Zavisno od tipa (vrste) termopara, temperaturnog opsega i od željene tačnosti, koriste se tri osnovne metode za kalibraciju termoparova:

- termopar se kalibriše poređenjem sa standardnim etalonom koji poseduje dotična institucija,
- termopar se kalibriše poređenjem sa standardnim platinskim otpornim termometrom (SPRT) u kriolitu, ili u komori sa tečnošću koja se meša i
- termopar se kalibriše na temperaturi 630.74 °C i u tri posebne temperaturne tačke definisane propisom IPTS (Međunarodna Praktična Temperaturna Skala): tačke mržnjenja cinka, srebra i zlata (IPTS-68).

Poređenje se vrši u odnosu na teorijske (tablične) vrednosti termoelektromotorne sile (*tems*) na krajevima termopara na određenim temperaturama. Ovaj način provere termoparova koristi se u nekim domaćim institucijama i laboratorijama.

U Svetu se kalibracija temperaturnih senzora vrši na sličan način. Na primer, u SAD je postupak kalibracije propisan odgovarajućim standardima. Jedan od njih definisan je u Nacionalnom institutu za standarde i tehnologiju (NIST – National Institute for Standard and Technology) publikacijom Natl.Inst.Stand.Technol.Spec.Publ. 25-35, aprila 1989. [7]. Ovaj dokument sadrži opis metoda i alata koje treba koristiti i uslova koji moraju da se ispune kako bi se izvršilo proveravanje, validacija, kalibracija i baždarenje termoparova i dokumentovanje njihovih karakteristika. Te metode se odnose na komercijalnu opremu i materijale, identifikuju njihove karakteristike i svojstva, ali nikako ih ne preporučuju za korišćenje, ili favorizuju za konkretnu upotrebu. Osnovni dokument proširen je dodatnim aktima i svi zajedno sadrže:

- specifikaciju procedure (postupka) merenja,
- teorijsku osnovu i projektovanje,
- opis NIST mernog sistema,
- proceduru kalibracije,
- merenje, i greške merenja (veličinu grešaka, sistematske i slučajne greške),
- formu izveštaja i
- opis interne kontrole kvaliteta procedure.

S obzirom da se u Institutu za rudarstvo i metalurgiju u Boru proizvode termoparovi na bazi plemenitih metala, posebna pažnja poklonjena je metodi kalibracije ovih elemenata, ali je oprema i metoda dovoljno opšta da mogu da se kalibrišu i drugi temperaturni senzori u temperaturnom opsegu od 0 do 1100 °C.

3. SUŠTINA, OPIS I KARAKTERISTIKE TEHNIČKOG REŠENJA

Sistem za testiranje temperaturnih senzora predstavlja složeno rešenje koje u osnovi sadrži dve različite komponente: elektronske sklopove (hardver) i programe za podršku rada sistema (softver).

3.1 Hardver

Najveći deo hardvera rezultat je sopstvenog razvoja (slika 1) i uključuje:

- žarnu peć sa lokalnom kontrolom,
- komandni i merni sistem i
- nadređeni računar.

Način povezivanja pojedinih modula i integracija u jedinstveni merni sistem je originalno rešenje podređeno zadatim i napred definisanim uslovima merenja. U osnovi može da se posmatra kao *kontrolni* i *kontrolisani* podsistem.

Personalni računar sa dodatom mernom stanicom i sklopom za vezu ima funkciju kontrolne komponente, slika 2. Peć za žarenje, kompenzator i deo elektronskog modula za vezu predstavljaju kontrolisani podsistem, slika 3.

Suština rada sistema sastoji se u mogućnosti da se radom peći, merenjem i prikazom rezultata merenja komanduje sa jednog mesta, odnosno sa personalnog računara. Na istom računaru razvijena su softverska rešenja za analizu rezultata i kreiranje odgovarajućih izveštaja.

Osnovni deo Kontrolisanog mernog podsistema [3] predstavlja žarna peć sa kontrolom rada grejača i regulacijom temperature. Za zagrevanje termoparova iskorišćena je cilindrična peć za žarenje Heraeus TPK snage 3 kW (slika 3), koja može da postigne temperaturu do 1100 °C. Konstrukcijom metalnog homogenizatora omogućeno je da se u peć istovremeno unese ukupno 8 termoparova u isto toliko aksijalnih cilindričnih šupljina. Homogenizator služi da uspori i stabilizuje proces zagrevanja komore peći i da obezbedi ravnomernu prostornu raspodelu temperature. Naravno da je potrebno obezbediti fiksnu temperaturu jednog od krajeva termopara. Postupak merenja zahteva fiksnu temperaturu jednog od krajeva termopara. Međutim u ovom slučaju za tu svrhu koristi se posuda sa kristalima leda u vodi (kompenzator), slika 1 i 3.

Primenjena mikroprocesorska merna stanica je uređaj opšte namene, ali ovde je iskorišćena u posebne svrhe i zato je razvijen kompletan nov elektronski modul za spregu vezu sa žarnom peći. Ova veza je dvosmerna: sadrži elemente upravljanja radom peći (komande) i prihvata ulazne naponske signale sa termoparova (merenje).

Interfejs je realizovan na posebnoj kao posebna štampanoj ploči i ugrađen u specijalni kabinet MMS (slika 7). Sa mernom stanicom ostvaruje vezu preko sistemske magistrale koristeći neke od kontrolnih signala i signale podataka. Osnovna funkcija interfejsa je upravljanje radom peći, izbor termopara, selekcija ulaznog signala, njegovo kondicioniranje, A/D konverzija i prenos digitalnih podataka u mernu stanicu.

Komande peći su diskretne (uključenje i isključenje) i ostvaruju se preko digitalnih izlaza (PA6 konkretno) Izbor jednog od 8 ulaza vrši se selektorom 8/1, kontrolisanim digitalnim izlazima (PA3-PA5), slika 4 a). Da bi se dobilo na stabilnosti signala posle selekcije analognog ulaza, uvodi se vreme kašnjenja (*Delay Time*) koje prethodi merenju.

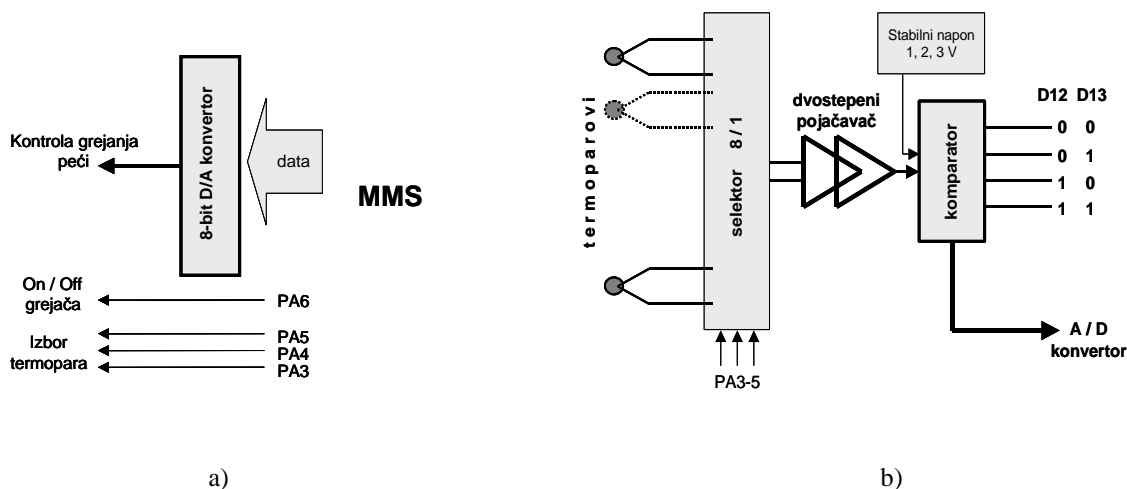


Slika 2. Kontrolni deo sistema: PC računar, MMS sa interfejsom i instrumenti

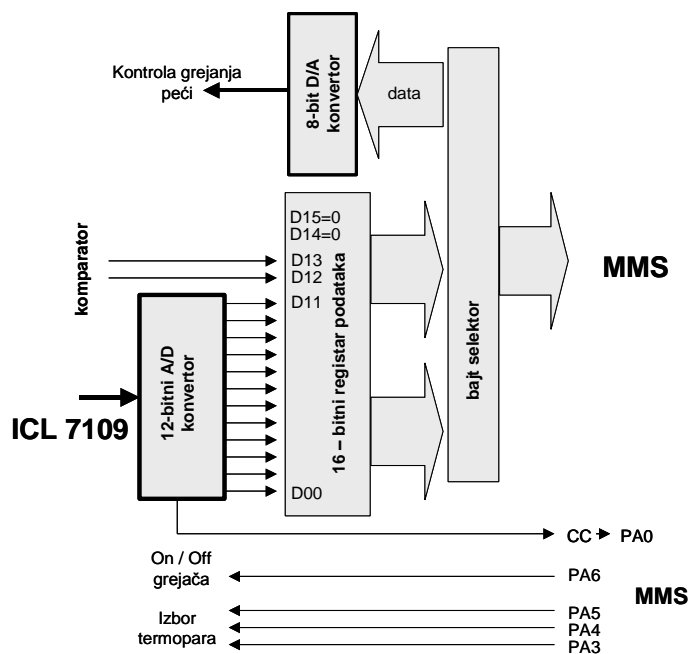


Slika 3. Kontrolisani deo sistema: žarna peć, kompenzator i termoparovi

Izlazni električni signal iz izabranog termopara je u granicama od 0 do 16 mV, za temperaturni opseg od 0 do 1700 °C [7]. Za prihvatanje ovakvog ulaza potrebno je obezbediti odgovarajuće pojačanje. To se postiže dvostepenim pojačavačem (OP07), slika 4 b). Nakon pojačanja dobija se izlazni signal opsega 0 – 4 V. Intefejs sadrži 12-bitni A/D konvertor (ICL7109, slike 5 i 6). Pri uobičajenoj upotrebi mernog sistema 12-bitna konverzija sasvim zadovoljava svojom tačnošću.



Slika 4. Blok šema veze kontrolnog i kontrolisanog mernog podsistema: a) komande, b) izbor i kondicioniranje signala



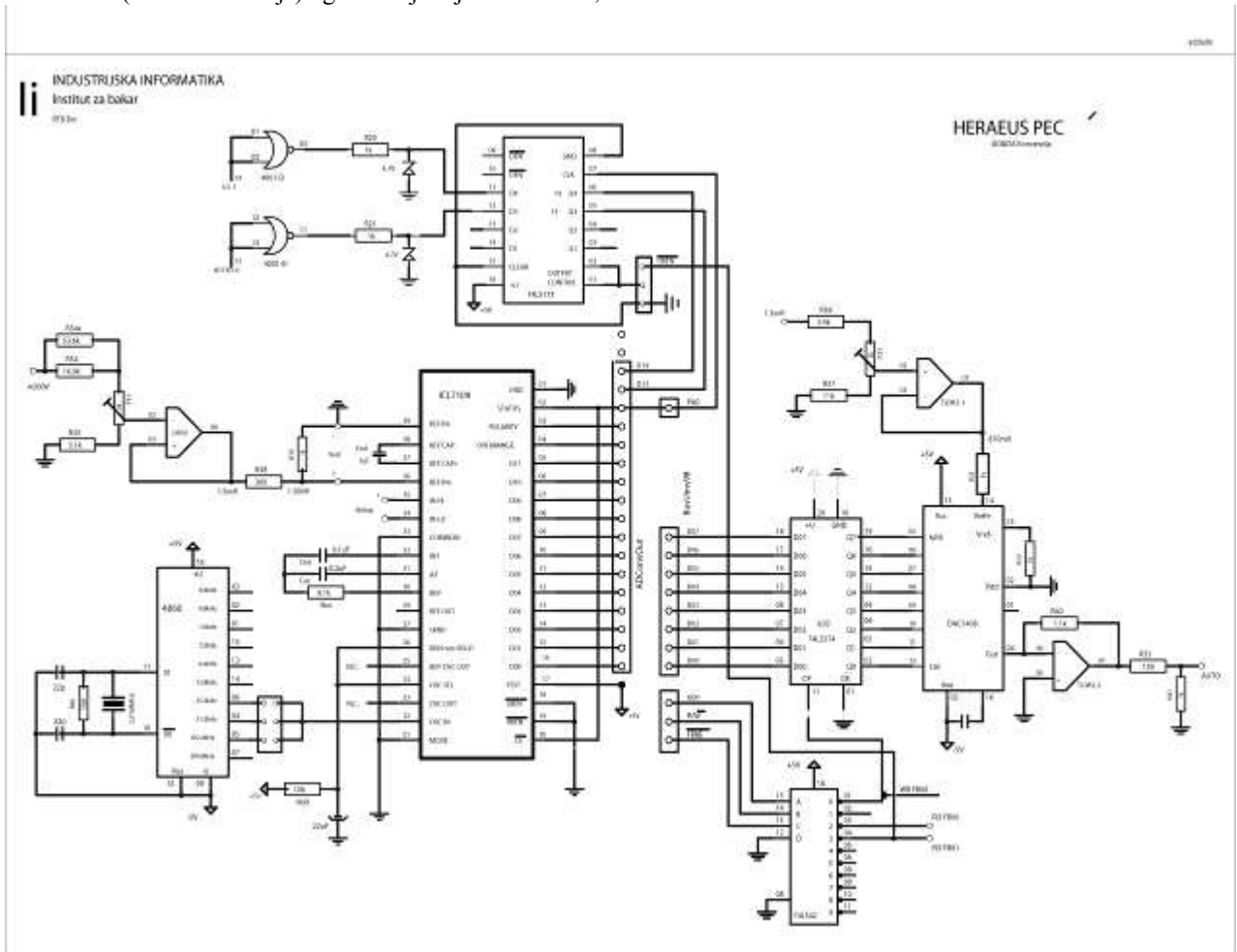
Slika 5. Globalna šema interfejs modula

Tabela 1. Definicija bitova najveće težine pri A/D konverziji

U_i	D13	D12
$0 < U_i < 1 \text{ V}$	0	0
$1 < U_i < 2 \text{ V}$	0	1
$2 < U_i < 3 \text{ V}$	1	0
$3 < U_i < 4 \text{ V}$	1	1

Međutim, kada se vrši provera i baždarenje termoparova, u nameri da se ti rezultati proglase zvaničnim (registracija i akreditacija laboratorije), potrebno je zadovoljiti zahtev da razlika vrednosti temperature izmerene termoparom koji se testira u odnosu na zvanično izmerenu temperaturu ne bude veća od 1^0 C u čitavom mernom opsegu. Uz konsultaciju kompetentnih stručnjaka iz ove oblasti, zaključeno je da 14-bitna A/D konverzija zadovoljava

ovaj zahtev. A/D konverzija je poboljšana uvođenjem automatske regulacije pojačanja (ARP). Ulazni napon u A/D konvertor podeljen je u 4 nivoa: (0-1 V), (1-2 V), (2-3 V) i (3-4 V). Ulazni napon (pojačani izlaz iz termopara) poredi se pomoću komparatora (LM339, slika 6) sa jednim od stabilnih referentnih naponskih nivoa: 1 V, 2 V, 3 V i zavisno od rezultata poređenja, postavljaju se bitovi D13 i D12 u reči (14-bitne) konverzije, saglasno tabeli 1. Kompletna elektronika (MMS i interfejs) ugrađena je u jedan kabinet, slika 7.



Slika 6. Električna šema kondicioniranja signala ems iz termopara i A/D konverzija



Slika 7. MMS sa interfejsom

3.2 Softver mernog sistema

Rad hardverske komponente sistema za testiranje termoparova podržan je odgovarajućim programskim rešenjima i to na nivou merne stanice i PC računara.

Postupak kalibracije termoparova obuhvata sledeće procedure koje se odvijaju u realnom vremenu:

- početak procedure (start),
- izbor tipa termopara,
- zadavanje temperature na kojoj će biti vršeno merenje,
- uključenje žarne peći,
- isključenje grejača i vreme stabilizacije toplotnog fluksa u vreme merenja,
- merenje termoelektromotorne sile etalona i uzoraka na izabranim temperaturama,
- akvizicija podataka merenja,
- završetak rada u realnom vremenu (real-time procedure).

Kalibracija počinje aktiviranjem odgovarajućeg programa na PC računaru. Radi se o složenom programskom modulu koji predstavlja aplikaciju tipa SCADA (Supervisory Control And Data Aquisition) [4] razvijenog za tu namenu i radi u realnom vremenu (Real-time program) [7].

Na nivou MMS sve funkcije kontroliše složeno programsko rešenje – *Izvršni sistem (Executive System)* [2, 3]. Izvršni sistem ima neke odlike operativnog sistema i to naročito u delu upravljanja resursima. Osim provere ispravnosti sopstvenih hardverskih celina, izvršni sistem ima zadatak da stalno kontroliše ulazno-izlazne operacije (zbog komandi sa nadređenog PC). Permanentna veza sa PC računarom podržana je komunikacijskim programskim modulom. MMS interpretira primljene komande i kontroliše rad žarne peći tako što prema potrebi uključuje ili isključuje njen grejač. Da bi rezultati merenja bili što objektivniji, definisan je postupak merenja. On se sastoji u sledećem:

- kada peć dostigne zadatu temperaturu isključuje se grejač,
- empirijski je određeno vreme od 10 sekundi za stabilizaciju toplotnog fluksa unutar peći,
- najpre se preko selektora (slika 4 b)) izabere etalon, sačeka se 75 ms za stabilizaciju sample&hold sklopova, a zatim se izvrše 4 uzastopna merenja *tems*,
- srednja vrednost (aritmetička sredina) rezultata merenja se smešta u memorijski registar,
- nakon toga, bira se prvi (od ukupno sedam) testni termopar i na isti način vrši merenje njegove *tems*, kao pri merenju etalona
- između merenja testnih termoparova vrši se merenje etalona,
- postupak se sprovodi do kraja; odnosno do poslednjeg – sedmog ispitivanog termopara,
- svi rezultati merenja formiraju poruku u memoriji MMS.

Za svaku temperaturu na kojoj se vrši merenje gornji postupak se ponavlja tri puta. Kompletna poruka sa rezultatima merenja se prosleđuje PC računaru [8]. Iako je u standardnom postupku predviđeno merenje u opsegu od 0 do 1100 °C u koracima od po 100 °C, moguće je proizvoljno birati merne tačke.

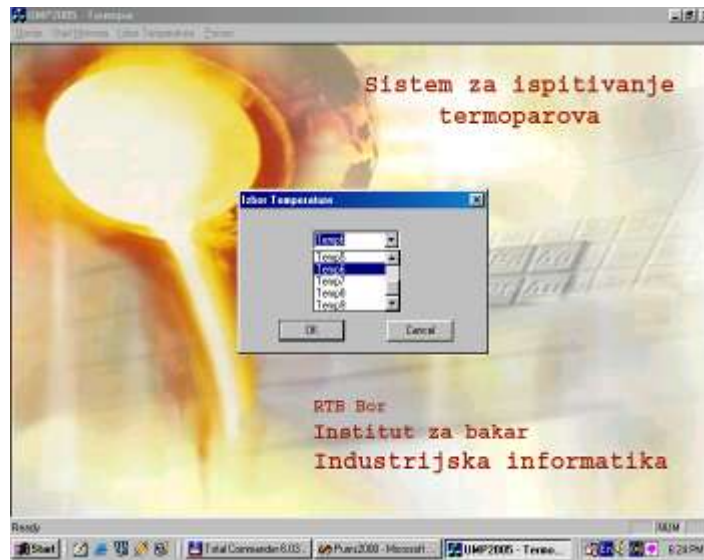
Merenje se završava generisanjem datoteke na PC računaru sa svim slogovima koji sadrže: vremenske trenutke merenja, temperature na kojima je merenje vršeno i dekadne ekvivalente *tems* za etalon i za svaki od termoparova u svim mernim tačkama, slika 8:

T4	12 15 12:01:42	5572	66	5573	5932	5576	5974	5578	5649	5577	5603	5579	5649	5578	5533	5580
	12 15 12:01:57	5580	66	5583	5938	5580	5979	5582	5654	5584	5608	5585	5655	5584	5537	5587
	12 15 12:02:12	5586	65	5586	5945	5591	5986	5588	5663	5589	5614	5590	5660	5592	5540	5592
T5	12 15 12:16:45	6317	63	6320	6743	6321	6804	6324	6389	6325	6351	6328	6396	6328	6292	6331
	12 15 12:16:59	6332	67	6334	6762	6335	6821	6343	6400	6337	6364	6339	6414	6342	6301	6344
	12 15 12:17:15	6345	53	6346	6772	6348	6833	6350	6415	6352	6377	6354	6426	6354	6311	6357
T6	12 15 12:31:44	6868	45	6872	7352	6855	7382	6833	6937	6835	6866	6832	6918	6834	6844	6880
	12 15 12:31:58	6838	21	6840	7342	6839	7389	6836	6936	6839	6876	6843	6922	6837	6827	6836
	12 15 12:32:14	6835	24	6846	7348	6838	7392	6838	6937	6841	6875	6842	6921	6845	6842	6899

Slika 8. Izgled slogova sa rezultatima merenja na tri različite temperature

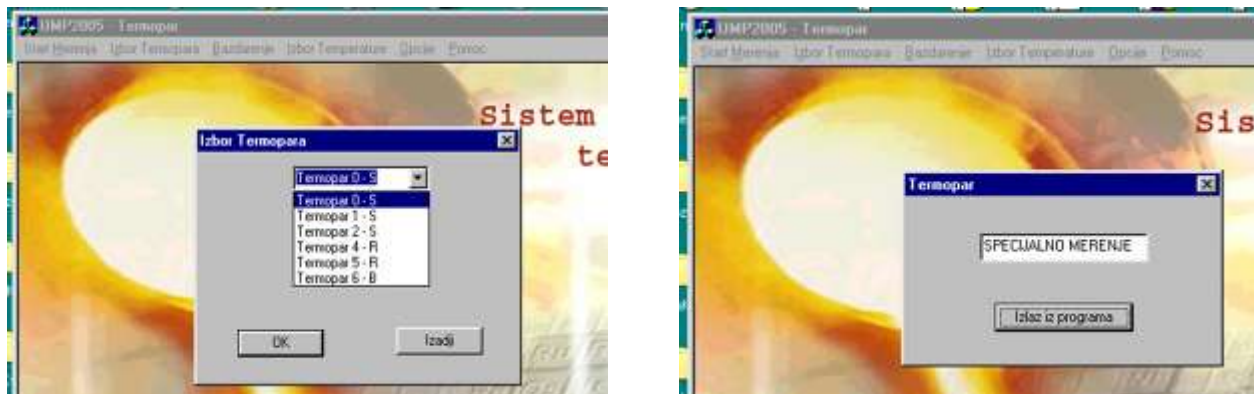
Čitav proces testiranja sastoji se iz dva koraka: interaktivni rad i off-line analiza.

Interaktivni rad kontrolisan je SCADA programom na nadređenom PC računaru, razvijenim za datu namenu. Aplikacija je razvijena u Visual C++ 6.0 okruženju pod radnim nazivom Program za Testiranje Termoparova (PTT), čija poslednja verzija PTT09 podržava rad kontrolisanog podsistema [4]. Program je korisnički orjentisan i omogućava jednostavnu konfiguraciju i izbor parametara merenja, kao što su zadavanje temperature, izbor termopara ili izbor načina merenja putem „padajućih menija“ i „dijalog prozora“ (slike 9 i 10).



Slika 9. Osnovni ekran programa za testiranje termoparova (zadavanje temperature)

Sastoji se od dva modula koji rade u realnom vremenu: modul za rad sa operaterom i modul za podršku komunikacija sa mernom stanicom [2, 4]. U pozadini ovog programa izvršava se komunikacijski program koji uspostavlja vezu sa mernom stanicom, prenosi komande i prihvata podatke merenja. Program poseduje i kontrolno-dijagnostičke rutine za proveru ispravnosti prenetih podataka sa mogućnošću korekcije grešaka prenosa.

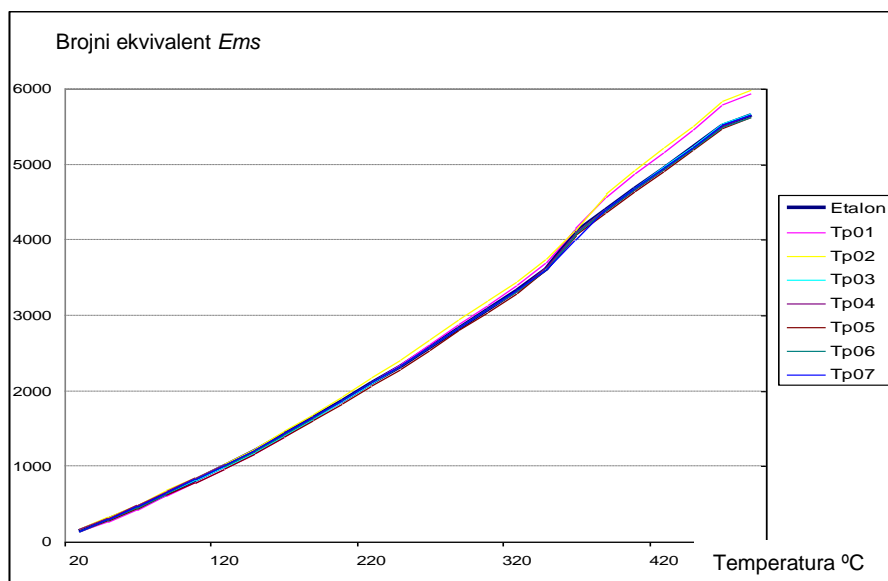


a) b) Slika 10. a) izbor termopara i b) izbor načina merenja

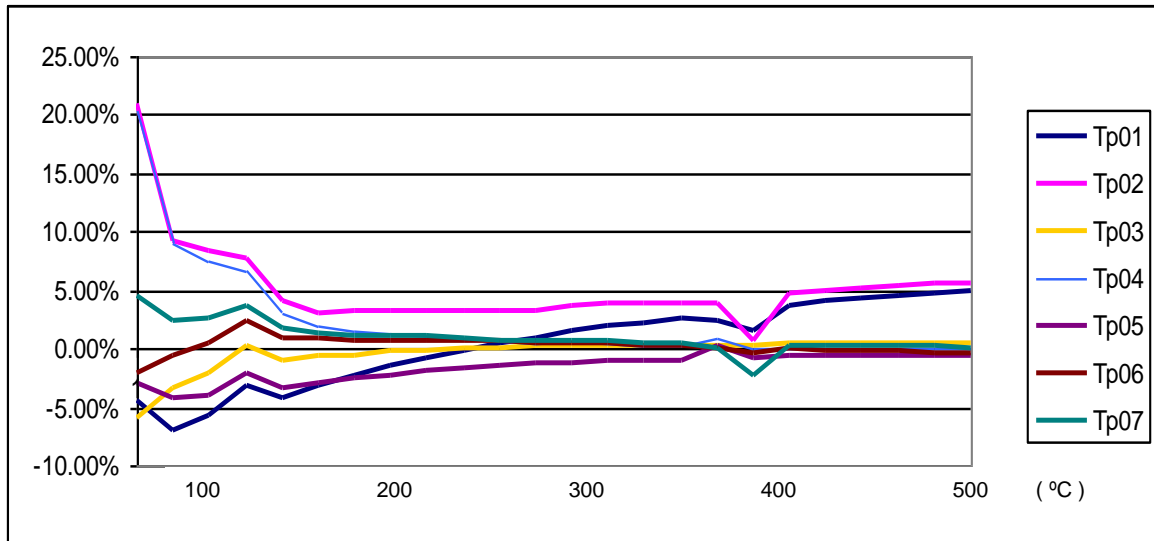
Merenjima u poslednjoj definisanoj tački (1100⁰ C u ovom slučaju) završava se rad u realnom vremenu (merenje). Podaci sa merne stanice smeštaju se na PC računaru u odgovarajuću datoteku tekstualnog tipa (.txt) i mogu se koristiti za dalju obradu. Za analizu podataka merenja i generisanje odgovarajućih izveštaja koristi se programski modul (makro) za off-line obradu podataka razvijen u Visual Basic for Application (VBA) jeziku za korišćenjem MS Excel programa. Izveštaji se formiraju za svaki od testiranih termoparova, [9]. Za slučaj eksperimenta sa sedam uzoraka termoparova (oznake Tp01 do Tp07) u temperaturnom opsegu od 20 do 500 °C prikazan je sledeći skup izveštaja: relativne greške testiranih termoparova u odnosu na etalon (tabela 2), uporedni dijagram izmerenih temperatura etalona i testiranih termoparova (slika 11) i dijagram relativnih grešaka testiranih termoparova (slika 12).

Tabela 2. Relativne greške testiranih termoparova u odnosu na etalon

T (°C)	Tp01	Tp02	Tp03	Tp04	Tp05	Tp06	Tp07
20	-4,41%	20,96%	-5,87%	20,22%	-2,90%	-2,16%	4,48%
40	-7,06%	9,19%	-3,41%	8,91%	-4,27%	-0,57%	2,44%
60	-5,68%	8,42%	-2,21%	7,49%	-4,06%	0,44%	2,51%
80	-3,28%	7,72%	0,18%	6,72%	-2,11%	2,38%	3,66%
100	-4,29%	4,14%	-0,94%	3,08%	-3,41%	0,89%	1,64%
120	-3,23%	3,10%	-0,67%	1,93%	-3,02%	0,86%	1,32%
140	-2,26%	3,16%	-0,52%	1,63%	-2,64%	0,77%	1,20%
160	-1,42%	3,15%	-0,28%	1,32%	-2,25%	0,72%	1,04%
180	-0,76%	3,13%	-0,14%	1,04%	-1,92%	0,71%	1,01%
200	-0,09%	3,22%	-0,02%	0,92%	-1,66%	0,67%	0,88%
220	0,43%	3,33%	0,05%	0,72%	-1,51%	0,57%	0,77%
240	0,92%	3,32%	0,16%	0,50%	-1,35%	0,53%	0,70%
260	1,46%	3,75%	0,22%	0,63%	-1,18%	0,46%	0,69%
280	1,85%	3,96%	0,27%	0,52%	-0,96%	0,41%	0,61%
300	2,14%	3,92%	0,21%	0,31%	-1,08%	0,27%	0,52%
320	2,51%	3,85%	0,29%	0,26%	-0,97%	0,25%	0,51%
340	2,40%	3,98%	0,33%	0,93%	0,22%	-0,07%	0,00%
360	1,53%	0,68%	0,15%	-0,02%	-0,75%	-0,39%	-2,36%
380	3,73%	4,80%	0,40%	0,09%	-0,71%	0,01%	0,34%
400	4,03%	5,00%	0,43%	0,06%	-0,64%	-0,08%	0,28%
420	4,30%	5,20%	0,45%	0,03%	-0,62%	-0,16%	0,21%
440	4,54%	5,37%	0,46%	0,02%	-0,57%	-0,26%	0,18%
460	4,80%	5,56%	0,48%	0,01%	-0,55%	-0,38%	0,14%
480	4,90%	5,65%	0,48%	-0,04%	-0,51%	-0,44%	0,11%

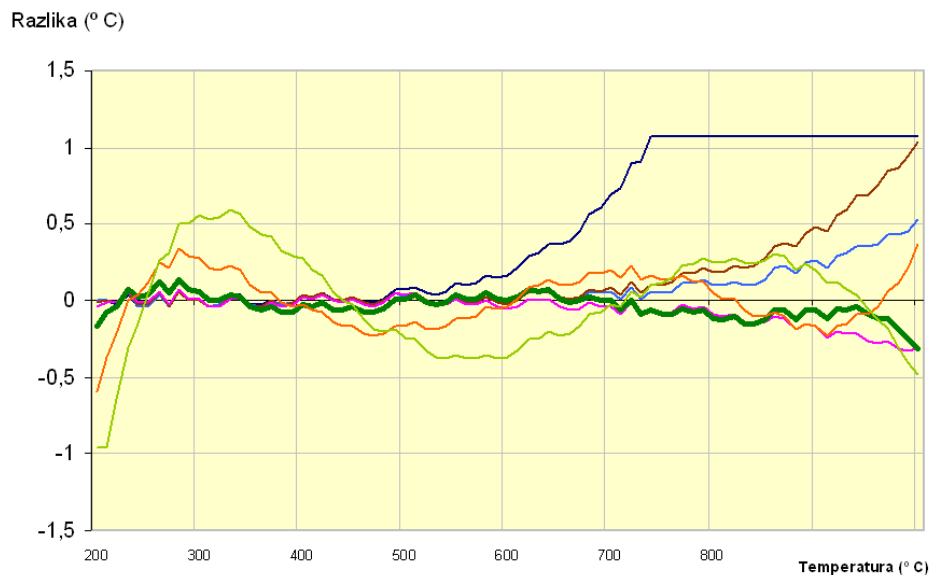


Slika 11. Uporedni dijagram izmerene *ems* etalona i testiranih termoparova



Slika 12. Dijagram relativnih grešaka testiranih termoparova

Treba imati u vidu da se testirani termoparovi primenjuju u temperaturnom opsegu od 0 do 1700 °C [10, 11], a da je primenom raspoložive opreme bilo moguće vršiti testiranje samo do 1100 °C. Da bi se pokrio celokupni opseg do 1700 °C, a imajući u vidu visok stepen linearnosti radne karakteristike termoparova, na temperaturama višim od 1100 °C vršena je polinomska aproksimacija. Poređenjem merenih rezultata i vrednosti dobijenih primenom polinomskih modela u merenom opsegu temperatura ustanovljeno je da je za termoparove tipa S optimalna aproksimacija polinomom petog reda (tamnozeleno linija na slici 14). Za termopar tipa R polinom devetog reda daje nabolju aproksimaciju. Rezultati dobijeni primenom polinomske aproksimacije su zatim ekstrapolirani na opseg od 1100 °C do 1700 °C u kojima nije bilo moguće vršiti merenja.



Slika 13. Apsolutna greška u polinomijalnoj aproksimaciji radne krive za termopar tipa S

4. Zaključak

Sistem za testiranje temperaturnih senzora razvijen je sa ciljem da se vrši testiranje ispravnosti termoparova na bazi platine proizvedenih u Institutu za rudarstvo i metalurgiju. Standardna procedura je da se svi proizvedeni termoparovi upućuju u institucije koje su akreditovane za njihovu validaciju, čime se potvrđuje njihova ispravnost, ili se odbacuju kao neispravni. Međutim, povremeno se dešava da čitava serija termoparova ne zadovolji tražene kriterijume, što zahteva da se njihova proizvodnja vrati na sam početak. Osim izgubljenog vremena, to značajno povećava i troškove proizvodnje. Prvenstvena namena sistema za testiranje temperaturnih senzora jeste da se utvrdi postoje li eventualne greške u procesu proizvodnje i broj neispravnih termoparova koji se upućuju na validaciju svede na minimum, čime se značajno redukuju troškovi. Realizovano rešenje svojim karakteristikama u potpunosti odgovara projektovanim zahtevima. Takođe, ovaj sistem je korišćen i u nastavne svrhe za realizaciju praktičnih vežbi iz oblasti senzora i aktuatora na Tehničkom fakultetu u Boru.

LITERATURA

- [1] Dragan R. Milivojevic, Visa Tasic, Marijana Pavlov, Zoran Andjelkovic, Calibration System for Thermocouple Testing http://www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/january_09/P_368.pdf Sensors & Transducers Journal (ISSN 1726-5479), Vol. 100, Issue 1, 2009, pp 16–27,
- [2] D.Milivojević, Mikroprocesorska merna stanica kao element industrijskih upravljačko-kontrolnih sistema, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, 2008.
- [3] J.A. Bryan, E.A. Bryan, Programmable Controllers – theory and implementation, Industrial Text Company, Atlanta 1997.
- [4] D.R. Milivojevic, V. Despotovic, V.Tasic, M. Pavlov: Control Program as an Element of Distributed Control System, Information Technology and Control, Information Technology and Control, (ISSN 1329-124X), 2010. Vol.39. No.2. <http://itc.ktu.lt/itc392/Milivoj392.pdf> pp. 152-158.
- [5] D.R. Milivojević, V.Despotović, V.Tasić, Z.Eškić, Podsystem za integraciju UMS u merni sistem, ETRAN 2006, Beograd, 6-10 06. 2006. Zbornik radova, Sveska 3, strane 314-316.
- [6] D.R.Milivojevic, V.Tasic. MMS in Real Industrial Network. Information Technology and Control, ISSN1392-124X Kaunas, Technologija, 2007, Vol. 36, No. 3, pp. 318 - 322.
- [7] D.R.Milivojević, B.Lazić, V.Tasić SCADA – rezultat sopstvenog razvoja, Časopis BAKAR broj 1. IBB Bor 2000.
- [8] G.W. Burns and M.G. Scroger, The Calibration of Thermocouple and Thermocouple Materials – NIST Spetial Publication 250-230, National Institute of Standards and Technologz, Gelthesburg, MD 20899, 1989.
- [9] R. Đalović, L.Gomidželović i R. Petrović, Merenje visokih temperatura u industrijskim postrojenjima – termoelementi, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Bor 2008. broj stranica 252.
- [10] Kamalsinh V. Jadeja, Thermocouple Validation and Testing, ASTM International, Oct 2011.
- [11] Thermocouple calibration procedure, Branon Instrument Co. Seattle, Wa, 2009.

**Предмет: Мишљење о испуњености критеријума
за признање техничког решења**

На основу достављеног материјала, у складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитавном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије („Службени гласник РС“, бр. 38/2008) рецензент **проф. др Зоран Стевић**, а према Одлуци НВ Института за рударство и металургију бр. IV/8.7. од 06.12.2011. године, оценио је да су испуњени услови за признање својства техничког решења следећем резултату научноистраживачког рада:

Назив: „СИСТЕМ ЗА ТЕСТИРАЊЕ ТЕМПЕРАТУРНИХ СЕНЗОРА“ развијен у оквиру пројеката:

- 1) РАЗВОЈ НАПРЕДНИХ МАТЕРИЈАЛА И ТЕХНОЛОГИЈА ЗА МУЛТИФУНКЦИОНАЛНУ ПРИМЕНУ ЗАСНОВАН НА ЕКОЛОШКОМ ЗНАЊУ - TR34005 и
- 2) РАЗВОЈ И ПРИМЕНА ДИСТРИБУИРАНОГ СИСТЕМА НАДЗОРА И УПРАВЉАЊА ПОТРОШЊОМ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ КОД ВЕЛИКИХ ПОТРОШАЧА – TR33037

Аутор/аутори: Драган Миливојевић, Владимир Деспотовић, Маријана Павлов, Виша Тасић, Дарко Бродић, Дејан Таникић и Владан Миљковић

Категорија техничког решења: **Ново лабораторијско постројење – М83**

Образложење

Рецензентска комисија је утврдила да је предложено решење урађено за потребе Института за рударство и металургију Бор.

Субјект који решење користи је: Институт за рударство и металургију Бор и Технички факултет у Бору.

Субјект који је решење прихватио је: Институт за рударство и металургију Бор; Хемијско-техничка лабораторија, Металургија, Специјална производња и Технички факултет у Бору.

Резултати су верификовани од стране Научног већа Института за рударство и металургију Бор.

Предложено решење се користи на следећи начин: Врше се привремена и повремена мерења квалитета произведених термопарова и њихова карактеризација и разврставање и одржавање експерименталних вежби из предмета Сензори и актуатори на ТФ у Бору.

Област на коју се техничко решење односи је: Метрологија, Материјали, Електроника и телекомуникације.

Проблем који се техничким решењем решава је: Провера квалитета и тачности термопарова, њихово разврставање и класификација.

Стање решености тог проблема у свету је следеће: И у Земљи и у Свету овим послом се бави велики број специјализованих лабораторија. Многе од њих су званично акредитоване.

Суштина техничког решења састоји се у:

Остварен је систем за проверу, калибрацију и карактеризацију термопарова. Систем се састоји од опреме која је или развијена за ту намену, или је прилагођена конкретној потреби. Сва опрема је под контролом сопствених програмских решења. Иако постоје извесни прописани услови које мерне методе морају да задовоље, овде су учињена нека побољшања, како би резултати мерења били прецизнији (14-битна конверзија, вишеструка мерења на истој температури...). За анализу резултата мерења развијени су одговарајући програми који генеришу адекватне извештаје.

Карактеристике предложеног техничког решења су:

Предложено техничко решење представља лабораторијско постројење подржано одговарајућим програмима и служи за калибрацију температурних сензора, првенствено термопарова. Може истовремено да проверава највише 7 термопарова и то у температурном опсегу од 0 до 1100 °C. Поступак калибрације је дефинисан у складу са захтевима за ову врсту провере и одвија се под програмском контролом персоналног рачунара. Резултати се приказују у одговарајућем облику и смештају у базе података. Карактеристике уређаја и мерних метода су се потврдиле у практичном раду.


Резултат је реализован у: Институту за рударство и металургију у Бору **и примењује се:** код корисника наведених у пратећој документацији.

Могућности примене предложеног техничког решења су следеће:

Примарно подручје примене система је у метрологији за проверу и калибрацију температурних сензора. Уз одговарајућа прилагођења, могуће је вршити и друге врсте компаративних мерења температура. Уколико би се испунили неки услови, мање технички, више организациони, овај интегрални систем би могао да се прогласи званичним мерним системом и методом за калибрацију и бажарење термопарова.

На основу свега наведеног рецензенти су оценили да резултат научноистраживачког рада под називом „СИСТЕМ ЗА ТЕСТИРАЊЕ ТЕМПЕРАТУРНИХ СЕНЗОРА“ развијен у оквиру пројеката: *Развој напредних материјала и технологија за мултифункционалну примену заснован на еколошком знању - TP34005* и *Развој и примена дистрибуираног система надзора и управљања потрошњом електричне енергије код великих потрошача – TP33037* представља научни резултат, **Ново лабораторијско постројење М-83**, који поред стручне компоненте пружа оригинални теоријски и/или научноистраживачки допринос.

Рецензент:


Проф. Др Зоран Стевић, дипл.инж.ел.

**Предмет: Мишљење о испуњености критеријума
за признање техничког решења**

На основу достављеног материјала, у складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитавном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије („Службени гласник РС“, бр. 38/2008) рецензент **Др Радоје радетић, научни сарадник**, а према Одлуци НВ Института за рударство и металургију бр. IV/8.7. од 06.12.2011. године, оценио је да су испуњени услови за признање својства техничког решења следећем резултату научноистраживачког рада:

Назив: „СИСТЕМ ЗА ТЕСТИРАЊЕ ТЕМПЕРАТУРНИХ СЕНЗОРА“ развијен у оквиру пројеката:

- 1) РАЗВОЈ НАПРЕДНИХ МАТЕРИЈАЛА И ТЕХНОЛОГИЈА ЗА МУЛТИФУНКЦИОНАЛНУ ПРИМЕНУ ЗАСНОВАН НА ЕКОЛОШКОМ ЗНАЊУ - ТР34005 и
- 2) РАЗВОЈ И ПРИМЕНА ДИСТРИБУИРАНОГ СИСТЕМА НАДЗОРА И УПРАВЉАЊА ПОТРОШЊОМ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ КОД ВЕЛИКИХ ПОТРОШАЧА – ТР33037

Аутор/аутори: **Драган Миливојевић, Владимир Деспотовић, Маријана Павлов, Виша Тасић, Дарко Бродић, Дејан Таникић и Владан Миљковић**

Категорија техничког решења: **Ново лабораторијско постројење – М83**

Образложење

Рецензентска комисија је утврдила да је предложено решење урађено за потребе Института за рударство и металургију Бор.

Субјект који решење користи је: Институт за рударство и металургију Бор и Технички факултет у Бору.

Субјект који је решење прихватио је: Институт за рударство и металургију Бор: Хемијско-техничка лабораторија, Металургија, Специјална производња и Технички факултет у Бору.

Резултати су верификовани од стране Научног већа Института за рударство и металургију Бор.

Предложено решење се користи на следећи начин: Врше се привремена и повремена мерења квалитета произведених термопарова и њихова карактеризација и разврставање и одржавање експерименталних вежби из предмета Сензори и актуатори на ТФ у Бору.

Област на коју се техничко решење односи је: Метрологија, Материјали, Електроника и телекомуникације.

Проблем који се техничким решењем решава је: Тестирање и калибрација температурних сонди.

Стање решености тог проблема у свету је следеће: Сва мерила, а нарочито она која су у јавној употреби подлежу обавези тестирања, калибрације и баждарења. Те активности обављају се у званичним, акредитованим лабораторијама. У Земљи и у Свету овим послом се

бави велики број специјализованих лабораторија. Све оне користе сопствене методе провере, али све те методе обавезно поштују стандарде дефинисане у овој области. О поступцима, као и о резултатима испитивања постоје дефинисане форме документације.

Суштина техничког решења састоји се у:

Суштина овог решења огледа се у његовој практичности. Сви елементи постројења, и хардверски и софтверски резултат су сопственог развоја. Уз обавезно поштовање стандарда, искоришћени су расположиви ресурси, тако да је у погледу реализације и финансијске компоненте, решење оптимално. Посебне погодности у коришћењу система пружа његов начин рада и контроле помоћу РС рачунара.

Карактеристике предложеног техничког решења су:

Тачност мерења која је остварена 14-битном конверзијом и поуздани резултати који се добијају вишеструким мерењима на свакој мерној температури основне су карактеристике мерног система. Начин контроле рада грејне пећи, избора мерних температура и обраде података мерења су аутоматизовани. Прихватање података мерења, њихова обрада и креирање извештаја су под контролом програмских решења на РС рачунару.

Све наведене карактеристике уређаја и мерних метода потврђене су у процесу производње термопарова и на практичним вежбама студената ТФ у Бору.

Резултат је реализован у: Институту за рударство и металургију у Бору **и примењује се:** код корисника наведених у пратећој документацији.

Могућности примене предложеног техничког решења су следеће:

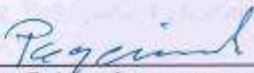
Наведено техничко решење примењује се у Лабораторији Института и то за проверу квалитета термопарова на бази племенитих метала који се производе у Институту. Резултати тих провера се од великог значаја за сам производни процес термопарова, јер могу да се користе и при процесу легирања племенитих метала Pt-Rh-Pt. На тај начин се избегава производња шкарта, скраћује се време производње и смањују трошкови.

На истом систему уз одговарајућа прилагођења, могуће је вршити и друге врсте компаративних мерења температура.

Веома је био подесан за извођење практичних вежби из предмета Сензори и актуатори на техничком факултету у Бору.

На основу свега наведеног рецензенти су оценили да резултат научноистраживачког рада под називом „СИСТЕМ ЗА ТЕСТИРАЊЕ ТЕМПЕРАТУРНИХ СЕНЗОРА“ развијен у оквиру пројеката: *Развој напредних материјала и технологија за мултифункционалну примену заснован на еколошком знању - TP34005* и *Развој и примена дистрибуираног система надзора и управљања потрошњом електричне енергије код великих потрошача - TP33037* представља научни резултат, **Ново лабораторијско постројење М-83**. Систем представља ново и оригинално решење постројења, али и поступка у тестирању температурних сензора.

Рецензент:


Др Радојле Радетић, научни сарадник



Универзитет у Београду
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ
☎ +381(0) 30 424 - 555, факс: 030 421 - 078
PIB: 100629192, MB: 07130210
улица Војске Југославије 12, 19210 Бор

University of Belgrade
TECHNICAL FACULTY IN BOR
☎ +381 (0)30 424 - 555, fax: 030 421 - 078
PIB: 100629192, MB: 07130210
Street: Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor



Број: 1/6-488
Бор, 03. 04. 2012.

На основу захтева аутора, др Драгана Миливојевића и члана 23. Статута Техничког факултета у Бору, издајемо

П О Т В Р Д У

Потврђујемо да је **СИСТЕМ ЗА ТЕСТИРАЊЕ ТЕМПЕРАТУРНИХ СЕНЗОРА**, реализован у Институту за рударство и металургију у Бору, коришћен за лабораторијске вежбе студената Техничког факултета у Бору из наставног предмета Сензори и актуатори. У програму овог предмета обавезне су експерименталне вежбе провере карактеристика термопарова. Мерења, анализа резултата и креирање извештаја представљају први део испита.

Декан

Проф. др Милан Антонијевић



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ

19210 Бор, Зелени булевар 35
Тел: (030)432-299; факс: (030)435-175; E-mail: institut@irmbor.co.rs



НАЗИВ ЗАПИСА	ВРСТА : в.	Ознака:
Захтев за валидацијом и верификацијом техничког решења	МАТ.ДОК.:	

Датум:

ДОКАЗ О ПРИМЕНИ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Потврђујем да је Лабораторија за хемијско испитивање (ХТК) Института за рударство и металургију Бор користила *Систем за тестирање температурних сензора* реализован у Институту за рударство и металургију Бор – Индустријска информатика, за проверу термопарова које примењује у сопственим мерним уређајима.

У Бору, фебруара 2012.



Управник Лабораторије:

Мр. Новица Милошевић, дипл. хем.



INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR

19210 Bor, Zeleni bulevar 35

Tel: (030) 436-826; faks: (030) 435-175; E-mail: institut@irmbor.co.rs



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
НАУЧНО ВЕЋЕ
Број: VII/6.6.
Од 14.03.2012. године

На основу Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, прилог 2 (Сл.гласник РС бр.38/2008), Научно веће је на VII-ој седници одржаној дана 14.03.2012. године донело:

ОДЛУКУ
о прихватању техничког решења

I

На основу покренутог поступка за валидацијом и верификацијом техничког решења под називом „Систем за тестирање температурних сензора“, аутора: *др Драган Р. Миливојевић, др Виша Тасић, Владимир Деспотовић, Маријана Павлов, др Дарко Бродић, др Дејан Таникић, Владимир Миљковић* и мишљења рецензената и корисника о наведеном техничком решењу, Научно веће је донело Одлуку о прихватању наведеног техничког решења.



ПРЕДСЕДНИК НАУЧНОГ ВЕЋА

Др Милево Бубојевић
Др Милево Бубојевић, дип.инж.руд.
Научни саветник