

Program za snimanje temperaturnih polja u pećima

Srđan Damjanović, Predrag Katanić
Fakultet poslovne ekonomije Bijeljina
Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Bijeljina, Republika Srpska, BiH
vsst@teol.net

Biljana Petrić
Orao a.d.
Metrološka laboratorija
Bijeljina, Republika Srpska, BiH
biljana.petric@orao.aero

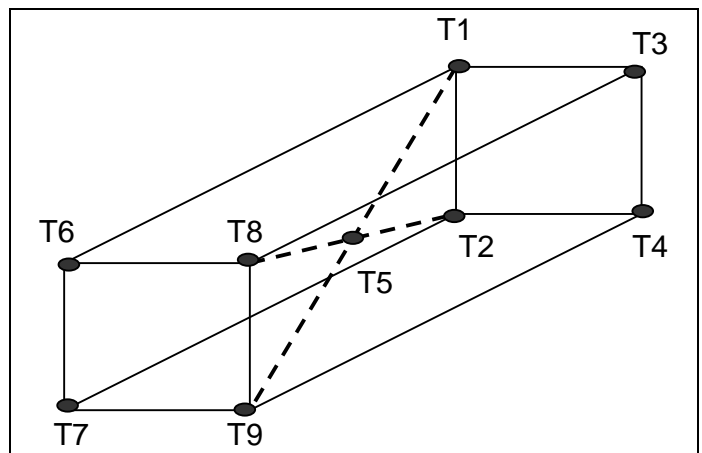
Sadržaj — U ovom radu je predstavljen program, koji se koristi za snimanje homogenosti temperaturnog polja u pećima, pomoću mjerno-akvizicionog sistema Agilent 34970A. Napravljen je u Metrološkoj laboratoriji Orao a.d. u Bijeljini. Ovaj program se prvobitno koristio za snimanje homogenosti temperaturnog polja u vakumskim pećima. U ovim pećima instaliranim u Orao a.d. Bijeljina se termički obrađuju razni rezervni dijelovi za avionske motore i od velike je važnosti dobra homogenost temperaturnog polja u peći, kako ne bi dolazilo do pojave škarta u proizvodnji rezervnih dijelova, a time i velikih finansijskih gubitaka. Nakon toga se ovaj program primjenjuje za snimanje homogenosti temperaturnog polja i u više firmi u Republici Srpskoj, Federaciji BiH, Srbiji, Crnoj Gori i Hrvatskoj. Osim na pećima, ovaj program je korišćen i za snimanje homogenosti temperaturnih polja u sterilizatorima, frižiderima, hladnjačama i drugim prostorima, gdje je bitan raspored temperature u prostoru na tehnologiju nekog proizvodnog procesa. Nakon svakog izvršenog ispitivanja dobijali smo vrlo korisne informacije o rasporedu temperatura u prostoru i otkrivali kritična mjesta, koja je bilo neophodno otkloniti. Na osnovu ovih podataka se preduzimaju neke korektivne mjere na samoj peći, kako bi se obezbjedila bolja homogenost temperaturnog polja. Čak i ako nije moguće uraditi korekcije na samoj peći, onda se izvještaj o izvršenom snimanju homogenosti temperaturnog polja koristi, kao osnova za određivanje optimalne zapremine u kojoj se postavljaju dijelovi, koji se termički obrađuju u peći, a sve u cilju smanjenja škarta prilikom termičke obrade u pećima. (Abstract)

Ključne riječi - program; temperatura; karakteristike; mjerenje; izvještaj;

I. UVOD

Metrološka laboratorija Orao a.d. iz Bijeljine vrši etaloniranje mjerne opreme u Republici Srpskoj, Federaciji BiH, Srbiji, Crnoj Gori i Hrvatskoj. Posjeduje etalone za 25 fizičkih veličina. Akreditovana je laboratorija od strane BATA (Institut za akreditovanje BiH) prema standardu BAS EN ISO/IEC 17025/2006 u pogledu osposobljenosti za obavljanje etaloniranja u području: električnih veličina, vremena i frekvencije, dimenzionih veličina, mehaničkih veličina, fluidnih veličina, temperature, vlažnosti i termofizičkih osobina. Metrološka laboratorija vrši etaloniranje davača temperature i indikatora/regulatora temperature, koji se nalaze na pećima, sterilizatorima i frižiderima. Pored etaloniranja mjernih instrumenata na pećima, vrši se i snimanje temperaturnih karakteristika (homogenosti) unutrašnje radne zapremine peći.

Industrijske peći se koriste za termičku obradu materijala. Unutar peći se nalazi grejna komora, u koju se postavljaju dijelovi, koji se termički obrađuju. Grejna komora najčešće je izgrađena od čeličnog kućišta, oko koga se nalaze šamotne cigle, a oko njih neki izolacioni materijal. Kao sastavni dio grejne komore su i grejni elementi (grijači), koji su najčešće pojedinačno zamjenjivi. Regulisanje temperature u pećima se vrši preko regulatora temperature, na koji se dovodi obično jedan ili više davača temperature (najčešće termopar), koji se postavlja unutar radne zapremine peći. Mjerenje temperature pomoću samo jednog davača temperature u radnoj zapremini peći može biti jedan od razloga pojave neravnomjerne raspodjele temperature unutar radne zapremine peći, što ima za posljedicu neravnomjerno zagrijavanje dijelova, koji se termički obrađuju. Ovo dovodi do pojave škarta u proizvodnji. Pored indikatora temperature na pećima se često postavlja i pisač temperature, koji služi za zapis temperature u toku čitavog perioda termičke obrade dijelova u peći.



Slika 1. Raspored termoparova unutar zapremine peći.

Uniformnost temperaturnog polja u radnoj zapremini peći (homogenost) se provjerava najčešće u tri vrijednosti temperature, ali može i na manje ili više vrijednosti temperatura u zavisnosti od zahtjeva korisnika. Ova snimanja se za temperature u opsegu od 300 °C do 1100 °C rade sa 6 do 9 termoparova K tip, koji se unutar zapremine peći raspoređuju na način prikazan na slici 1. Za temperature u opsegu od -100 °C do 300 °C snimanja se u frižiderima, kupatilima, sterilizatorima i pećima rade sa 6 do 9 otpornih termometara Pt100.

Nakon što se postave unutar zapremine peći, termoparovi se pomoću kompenzacionih kablova vode do merno-akvizicionog sistema Agilent 34970A. Mjerno-akvizicioni sistem kontinuirano mjeri temperaturu na svakom davaču temperature, a pomoću računara se podaci o izmjeranim temperaturama preuzimaju i zapisuju u Excel-u. Ove izmjerene vrijednosti se automatski prikazuju i na grafiku.

Provjera uniformnosti temperaturnog polja peći se vrši u praznoj peći. Nakon dostizanja i stabilisanja postavljene temperature, vrši se mjerenje i zapis temperature sa svakog davača svakih 10 do 60 sekundi u periodu od minimum trideset minuta, ali tako da se vidi minimum pet ciklusa promjene temperature.

II. RAD PROGRAMA

Primjena računara u metrologiji dala je jedan novi kvalitet procesa mjerenja, koji se ogleda u sljedećem.

1) Proširene su mogućnosti metrologije, jer je automatizovanje mjerenja primjenom računara omogućilo da se izvode i ona mjerenja koja ranije nije bilo, moguće obaviti, s obzirom na zahtijev da se u kratkom vremenskom intervalu izvrši veliki broj mjerenja na velikom broju mjernih tačaka.

2) Povećan je kvalitet mjerenja smanjenjem ukupne mjerne nesigurnosti s obzirom na sljedeće:

a) uticaj subjektivnog faktora pri mjerenjima sveden je na najmanju mjeru, isključivanjem, mogućih grubih grešaka pri očitavanju, zapisivanju i obradi rezultata mjerenja,

b) ostvarena je skoro potpuna identičnost postupka mjerenja, što je značajno poboljšalo ponovljivost mjerenja, i time smanjilo slučajnu komponentu mjerne nesigurnosti, kod višestruko ponovljenih mjerenja,

c) po pravilu, povećan je broj mjernih tačaka, kao i broj ponovljenih mjerenja po jednoj mjernoj tački u odnosu na klasična mjerenja, što takođe smanjuje slučajnu komponentu mjerne nesigurnosti,

d) omogućena je automatska primjena korekcija, čime je smanjen broj neisključenih sistematskih grešaka, a sa time i sistematska komponenta mjerne nesigurnosti,

e) omogućeno je izvođenje mjernog postupka izvan radnog vremena, kada su smanjene smetnje svih vrsta, a posebno noću kada su optimalni uslovi za mjerenje.

3) Smanjeni su troškovi mjerenja, jer je:

a) skraćeno vrijeme mjerenja, a kompletni izveštaji o mjerenju se dobijaju odmah po završetku mjernog postupka,

b) smanjeno angažovanje stručnog kadra, s obzirom da veći dio mjernog postupka može da se odvija bez kontrole operatora, ili pod kontrolom niže stručnog kadra,

c) produženo raspoloživo radno vrijeme na 24 sata dnevno.

4) Omogućena je automatizacija kalibracije, što je ubrzalo i podiglo kvalitet kalibracije klasičnih etalona i mjernih sredstava, i omogućilo kalibraciju programabilnih etalona i mjernih sredstava.

5) Mjerni postupak i postupak obrade rezultata mjerenja nisu razdvojeni, već se, štaviše, obavljaju simultano, sa mogućnošću da se mjerni rezultati prikazuju odmah, ili naknadno putem reprodukovanja sa zapisa.

Provjera uniformnosti temperaturnog polja peći se u Metrološkoj laboratoriji Orao a.d. vrši merno-akvizicionim sistemom Agilent 34970A. Akvizicioni sistem Agilent 34970A sastoji se iz sljedećih komponenti:

- kontrolna jedinica sa displejom;
- HP-IB kartica za komunikaciju sa računaram;
- USB/GPIB interfejs, tip: Agilent 82357A;
- RS232 interfejs;
- tri 34902A zamjenske kartice sa 16 mjernih kanala, za mjerenje napona, otpora, temperature pomoću termopara sa automatskom kompenzacijom hladnog kraja i temperature sa otpornim termometrima (dvožično ili četverožično);
- digitalni multimetar (6 1/2 digita).

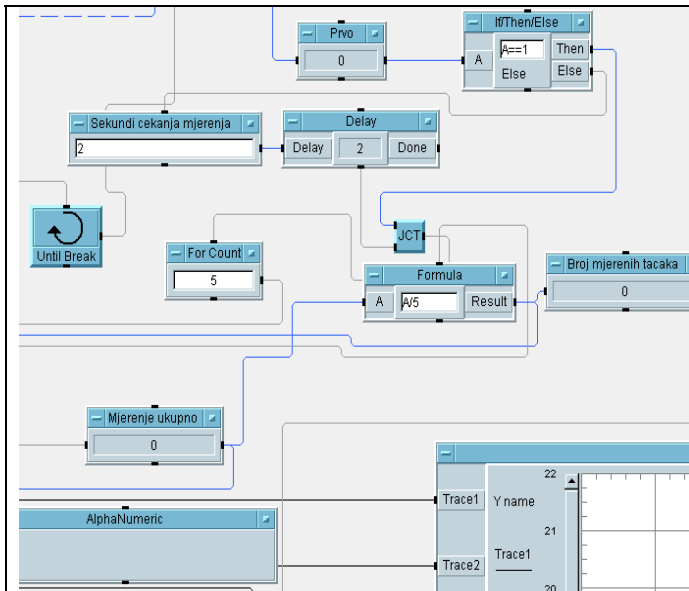
Mjerno-akvizicionim sistemom se daljinski upravlja preko računara. Komunikacija između mjerno-akvizicionog sistema i PC računara se ostvaruje preko USB/GPIB interfejsa Agilent 82357A ili RS232 porta. USB/GPIB interfejs se na računar spaja na USB port, a na akviziciono-kontrolnu jedinicu Agilent 34970A na HP-IB port.

Radom akvizicionog sistema upravlja korisnički program, koji se izvršava na personalnom računaru. Program određuje vrste mjerenja, koje treba obaviti i njihov vremenski raspored, oblik i vremenski raspored mjernih podataka, koje daju merni instrumenti, kao i vrste matematičkih operacija koje izvodi računar nad tim podacima, pre njihovog alfanumeričkog ili grafičkog predstavljanja. Uslužni programi su pisani u programskom paketu VEE Pro 6.0. VEE Pro je linijski programski jezik prvenstveno namijenjen za programsko povezivanje računara sa Hewlet Packard (odnosno danas Agilent) mjernim instrumentima, ali i programabilnim mjernim instrumentima ostalih najpoznatijih svjetskih proizvođača. Pomoću programskog jezika VEE Pro programabilni instrumenti i uređaji se mogu spajati sa računaram preko sljedećih interfejsa:

- GPIB,
- Serial,
- GPIO,
- USB/GPIB,
- Lan.

Programski paket VEE Pro 6.0. je objektno orjentisan. Program se pravi tako što se sastavlja iz gotovih blokova. Svaki blok predstavlja niz naredbi, koje čine jednu cjelinu (n.p. IF, FOR, UNTIL BREAK petlje, matematičke funkcije, brojači, grafici, displeji, dugmad i dr.). Programer ove gotove blokove prilagođava svome programu i povezuje ih u jednu cjelinu. Softverski paket Agilent VEE Pro omogućava korisniku mjerenja pomoću nekih gotovih alata, ali istovremeno mu obezbjeđuje mogućnost pravljenja sopstvenog programa, koji bi korisniku trebalo obezbjeđiti jednostavno i efikasno korišćenje mogućnosti akvizicionog sistema Agilent

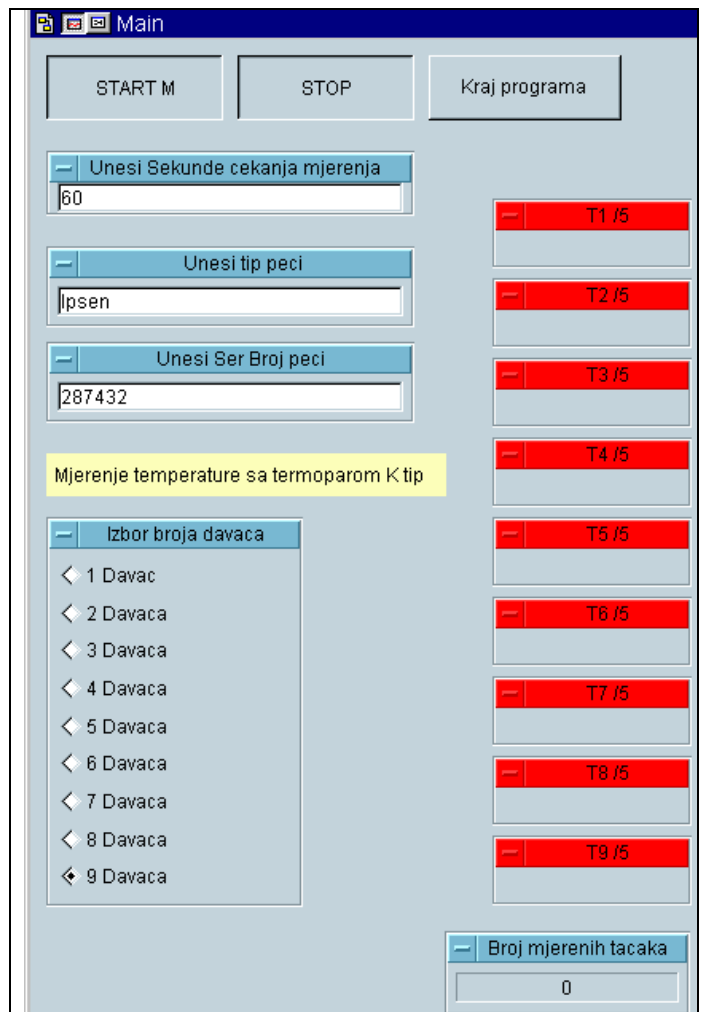
34970A. Mi smo iskoristili ovu mogućnost i napravili više programa, koji omogućuje komunikaciju računara sa mjerno-akvizicionom sistemom Agilent 34970A. Napravljeni su programi za više tipova davača temperature (termoparove K, R, N, J tip i otporne termometre Pt100), kao i programi sa kombinacijom više davača. Kontinualan zapis izmjerenih vrijednosti temperature ili napona i grafički prikaz tih vrijednosti se vrši pomoću Microsoft Excel-a. Na slici 2. prikazan je izgled dijela programa napisanog u programskom paketu VEE Pro 6.0. za merenje pomoću akviziciono-kontrolne jedinice Agilent 34970A.



Slika 2. Izgled programiranja u VEE Pro.

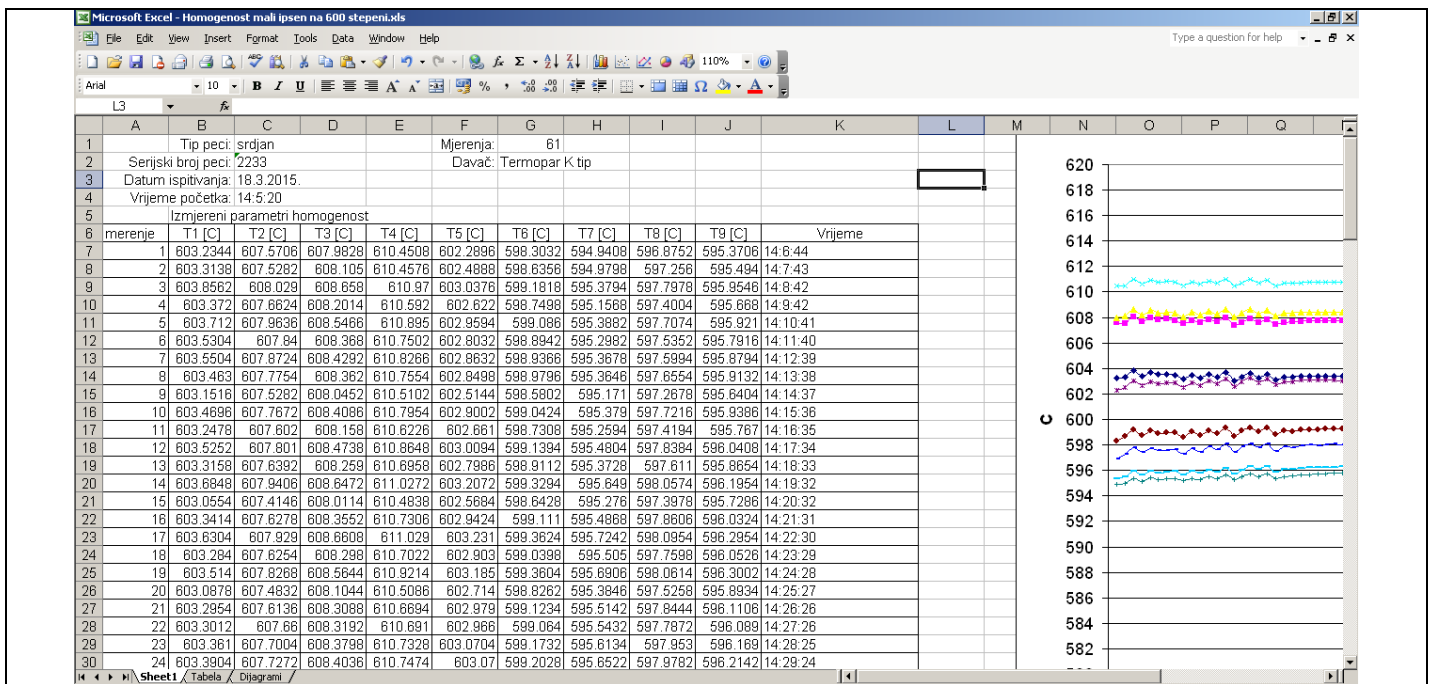
Na slici 3. prikazan je izgled ekrana glavnog programa za snimanje homogenosti temperaturnog polja peći, pomoću termoparova K tip. Operater može izabrati jedan do 9 termoparova, sa kojima želi da vrši snimanje. Operater takođe bira vrijeme između dva ciklusa mjerenja. Jedan ciklus mjerenja predstavlja vrijeme mjerenje temperature sa svih 9 termoparova i akvizicioni sistem ovo može da izvrši u jednoj sekundi. Snimanja homogenosti temperaturnog polja u pećima uglavnom traje i po nekoliko sati, tako da bi teorijski moglo da se dobije nekoliko hiljada ili desetina hiljada mjerenja sa svakog davača temperature. Ovo nije problem za akvizicioni sistem, već za operatera da poslije obradi tako veliki broj dobijenih podataka, od kojih se veliki broj ponavlja. Praćenjem dobijenih rezultata temperatura u pećima, utvrdili smo da je sasvim dovoljno da se mjerenja rade svakih 10 do 60 sekundi, a ne svake sekunde. Da bi se dodatno smanjila mjerna nesigurnost prilikom mjerenja, isprogramirali smo obradu izmjerenih vrijednosti tako da se uvijek prikazuje usrednjena vrijednost temperature zadnjih pet mjerenja. Displej za prikaz srednje vrijednosti zadnjih pet mjerenja temperature napravljen je pomoću jednog *shift* registra. *Shift* registar je gotov programski blok, koji postoji u programskom paketu VEE Pro 6.0. Ovaj registar je napravljen da u svakom trenutku pamti zadnjih pet (ili već koliko se programira) rezultata mjerenja, koja dolaze na njegov ulaz. Na izlazu iz ovog registra računa se

srednja vrijednost od pet vrijednosti, koje se u tom trenutku nalaze u registru. Ovakav registar postoji za svaki davač temperature sa kojim se radi mjerenje. Tako da se kao izlazni podaci iz ovog programa, koji se šalju u Excel, uzimaju srednje vrijednosti zadnjih pet mjerenja za svaki signal, koji se mjeri.

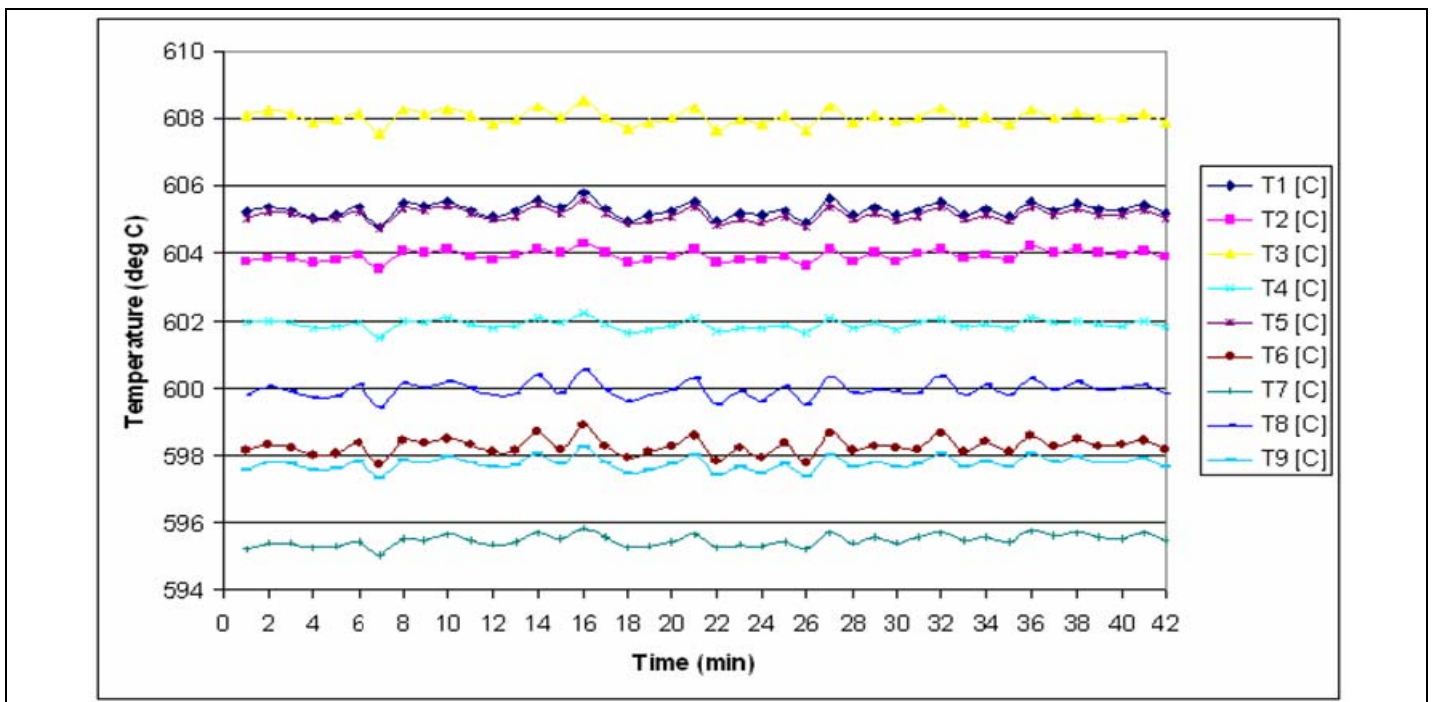


Slika 3. Izgled glavnog ekrana programa.

Na slici 4. prikazan je izgled Excel dokumenta, u kome su prikazani rezultati mjerenja homogenosti temperaturnog polja u jednoj peći. Rezultati mjerenja po davačima temperature su raspoređeni po kolanama, a jedan mjerni ciklus se upisuje u jednom redu. Za svaki mjerni ciklus se upisuje i podatak o vremenu, kada je počelo mjerenje za taj mjerni ciklus, a za vrijeme se uzima sistemsko vrijeme sa računara. Sa svakim mjernim ciklusom automatski se rezultati mjerenja prikazuju i na Excel dijagramu. Da bi se mogli međusobno razlikovati rezultati mjerenja između više davača, rezultati mjerenja svakog davača se prikazuju u drugoj boji. Kada se završi snimanje homogenosti temperaturnog polja na terenu, naknadno se u laboratoriji vrši obrada dobijenih rezultata i pravi izvještaj o ispitivanju. Na slici 5. prikazan je izgled jednog dijagrama, sa obrađenim rezultatima snimanja homogenosti temperature u jednoj vakumskoj peći.



Slika 4. Excel dokument u koji se upisuju rezultati mjerenja.



Slika 5. Dijagram rasporeda temperaturnog polja u peći.

Naknadna obrada rezultata mjerenja je neophodna, jer se iz dijagrama vrlo lako uočava, koji dio peći je najtopliji, odnosno najhladniji. Takođe se uočava i kolika su pojedinačna odstupanja svakog davača na radnoj temperaturi. Na ovaj način se otkrivaju tačke u kojima je temperatura znatno veća ili znatno manja od očekivane. To je vrlo bitan podatak, jer se na osnovu njega procjenjuje da li se dobra homogenost temperaturnog polja u čitavoj radnoj zapremini peći zadovoljava zahtjeve kupca, odnosno standarda koje kupac

koristi u svom radu ili samo u pojedinim dijelovima radne zapremine. Na osnovu ovih podataka se preduzimaju neke korektivne mjere na samoj peći, kako bi se obezbjedila potrebna homogenost temperaturnog polja. Neke od tih korektivnih mjera su:

- zamjena grijača na peći;
- zamjena davača temperature, indikatora i regulatora temperature u peći;

- zamjena izolacione obloge na peći;
- popravka izolacije oko vrata peći;
- ugradnja ventilatora u peći itd.

Nakon provedenih korektivnih mjera na peći, obično se ponovo radi snimanje homogenosti temperaturnog polja u peći, kako bi se utvrdilo da li su učinjene korekcije dovele do poboljšanja. Ako nije moguće uraditi korekcije na samoj peći, onda se izvještaj o izvršenom snimanju homogenosti temperaturnog polja koristi kao osnova za određivanje optimalne zapremine u kojoj se postavljaju dijelovi, koji se termički obrađuju u peći.

III. ZAKLJUČAK

Značaj ovog programa leži prvenstveno u činjenici da je u Metrološkoj laboratoriji Orao a.d. zamjenjen stari instrument za snimanje homogenosti temperaturnog polja u pećima. Taj instrument je bio višekanalni mjerač i pisac temperature, koji je izmjerene vrijednosti zapisivao u vidu tačaka na papiru. To je bio instrument čija je klasa tačnosti zadovoljavala najstrožije zahtjeve snimanja homogenosti temperaturnog polja, ali je bila izuzetno teška obrada i analiza podataka, pogotovo kada se koristilo 9 davača temperature. Najveća prednost upotrebe mjerno-akvizicionog sistema za snimanje homogenosti temperature temperaturnog polja u pećima je upravo naknadna obrada i analiza dobijenih podataka, kao i mogućnost prikaza i štampanja dobijenih rezultata u raznim oblicima, kao i olakšano pravljenje izvještaja o izvršenom ispitivanju. Izvještaji o ispitivanju se prave prema međunarodnim standardima, ali sadržaj izvještaja o ispitivanju nije tema ovog rada.

Osnovni doprinosi primjene realizovanog merno-akvizicionog sistema za snimanje homogenosti temperature temperaturnog polja u pećima mogu se iskazati u sljedećem:

1) Velika brzina merenja

Povećanje brzine mjerenja postignuto je zahvaljujući znatno većoj brzini rada računara u poređenju sa čovjekom kao operatorom. Operatoru koji očitava i ručno zapisuje rezultate mjerenja sa devet davača temperature treba daleko više vremena, nego kada to radi računar. Doprinos veće brzine mjerenja ima za posljedicu skraćenje ukupno potrebnog vremena za izvođenje mjerenja, a time i smanjenje troškova ispitivanja.

2) Manja mjerna nesigurnost

Uticaj subjektivnog faktora pri mjerenjima sveden je na najmanju mjeru, isključivanjem mogućih grubih grešaka pri očitavanju, zapisivanju ili obradi rezultata mjerenja. Usrednjavanjem mjernih rezultata značajno je smanjen tipA mjerne nesigurnosti, koji potiče od ponavljanja rezultata mjerenja.

3) Fleksibilnost u izražavanju i predstavljanju rezultata mjerenja

Temperature sa svih davača temperature se prikazuju na jednom ekranu, što je puno preglednije nego posmatranje pojedinačnih instrumenata. Sve vrijednosti izmjerene mjerno-

akvizicionim sistemom mogu se odmah odštampati na štampaču i memorisati u Excel dokumentu. Tako se, poslije završenog ispitivanja, memorisane vrijednosti mogu naknadno obrađivati, analizirati i štampati.

Ovaj program bi se uz vrlo male dorade mogao koristiti i za razna druga mjerenja temperature, kada se vrši istovremeno mjerenje temperature sa više davača.

LITERATURA

- [1] Srđan Damjanović, Predrag Katanić, "Akviziciono-merni sistem Agilent 34970A na ispitnoj stanici za turbo-mlazne motore VIPER," *Zbornik radova sa Simpozijuma INFOTEH 2009*, C-4, str. 262-266, Jahorina 2009.
- [2] Srđan Damjanović, Predrag Katanić, "Idejni projekat mjerno-akvizicionog sistema za ispitivanje turbomlaznih motora sa 120 mjernih signala," *Zbornik radova sa Kongresa metrologa Srbije 2009*, Palić 2009, ISBN 978-86-7892-212-1.
- [3] User's Guide Agilent 34970A Data Acquisition/Switch Unit.
- [4] Standard Rolls-Royce RPS953, Laboratory control procedure for heating furnaces and associated equipment and thermal processing of materials.
- [5] Standard GE Aircraft Engines Specification, No.P10TF1, issue No.S6, Vacuum heat treating and brazing.

ABSTRACT

This paper presents the program, which is used to record the temperature field homogeneity in the furnace, using measuring and acquisition system Agilent 34970 made in Metrology Laboratories Orao a.d. in Bijeljina. This program was originally used to record the homogeneity of temperature field in vacuum furnaces. In these furnaces installed in Orao a.d. Bijeljina is thermally treated various spare parts for aircraft engines where is of the great importance to good homogeneity of the temperature field in the furnace, in order to avoid proliferation of scrap in the production of spare parts and thus the great financial losses. After that, the program is used for recording temperature field homogeneity in many companies in the Serbian Republic, Federation of Bosnia and Herzegovina, Serbia, Montenegro and Croatia. In addition to furnaces, this program is used to record and homogeneity of temperature fields in sterilizers, refrigerators, freezers and other areas where is significant temperature distribution in space technology on a manufacturing process. After each test performed, we have received very useful information about the temperature distribution in the room and discovered critical points, which was necessary to eliminate. Based on these data, some corrective measures are performed in the furnace in order to ensure better homogeneity of temperature field. In case that is not possible to make corrections in the furnace report the completed set of homogeneous temperature field are used as the basis for determining the optimal volume. The deploy components are heat treated in order to minimize scrap material during heat treatment in the furnace.

PROGRAM FOR THE RECORDING TEMPERATURE CHARACTERISTIC IN THE FURNANCE

Srdjan Damjanovic, Biljana Petric, Predrag Katanic