



**UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
ODSEK ZA ELEKTROTEHNIKU I RAČUNARSTVO
KATEDRA ZA RAČUNARSKU TEHNIKU I RAČUNARSKE
KOMUNIKACIJE**



DIPLOMSKI RAD

REALIZACIJA PROGRAMSKE PODRŠKE SISTEMA ZA VOĐENJE TUNELSKPE PEĆI U PRELAZNOM REŽIMU RADA I SISTEMA ZA DETEKCIJU NEOČEKIVANIH DOGAĐAJA

Predmet : Ekspertni sistemi u upravljanju sistemima

Mentor:
Prof. Dr. Dragan Kukolj

Kandidat:
Miroslava Dražić

Novi Sad, jul 2003.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj, RBR:		
Identifikacioni broj, IBM:		
Tip dokumentacije, TD:		Monografska publikacija
Tip zapisa TZ:		Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada, VR:		Diplomski rad
Autor, AU:		Miroslava Dražić
Mentor, MN:		dr Dragan Kukolj
Naslov rada, NR:		Realizacija programske podrške sistema za vođenje tunelske peći u prelaznom režimu rada i sistema za detekciju neočekivanih događaja
Jezik publikacije, JP:		srpski
Jezik izvoda, Ji:		srpski
Zemlja publikovanja, ZP:		Srbija I Crna Gora
Uže geografsko područje, UGP:		Srbija, Vojvodina
Godina, GO:		2003.
Izdavač, IZ:		Autorski reprint
Mesto i adresa, MA:		21410 Futog, Đure Đakovića 18
Fizički opis rada, FO: (broj poglavlja/strana/literature/tabela/slika/priloga)		9/43/14/4/25/1
Naučna oblast, NO:		Elektrotehnika
Naučna disciplina, ND:		Ekspertni sistemi
Predmetna odrednica, PO:		Dijagnostika, predikcija, estimacija, fazi sistem
UDK:		
Čuva se, ČU:		U biblioteci FTN, Novi Sad Trg Dositeja Obradovića 6
Važna napomena, VN:		
Izvod, IZ:		
Datum prihvatanja teme, DP:		18. februar 2003.
Datum odbrane, DO:		18. jul 2003.
Članovi komisije, KO:	Predsednik:	Dr. Miroslav Popović, red. prof
	Član:	Dr. Branislav Atlagić, docent
	Član mentor:	Dr. Dragan Kukolj, vanr. prof
		Potpis mentora:

UNIVERSITY OF NOVI SAD FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :		
Identification number, INO		
Documet type, DT :	Monographic's publication	
Type of record, TR :	Word printed record	
Contents code, CC :	Diploma work	
Author, AU :	Miroslava Drazic	
Mentor, MN :	Ph. D.E.E. Dragan Kukolj	
Title, TL :	Realization of program support for leading tunnel stove during transitional working period and detection of unexpected events	
Language of text, LT :	Serbian	
Language of abstract, LA :	Serbian	
Country of publication, CP :	Serbia and Montenegro	
Locality of publication, LP :	Serbia, Vojvodina	
Publication year, PY :	2003.	
Publisher, PB :	Author's reprint	
Publication place, PP :	21410 Futog, Djure Djakovica 18	
Physical description, PD : (chapter/pages/literature/tables/pictures/graphs/app.)	9/43/14/4/25/1	
Scientific field, SF :	Electical engineering	
Scientific discipline, SD :	Expert systems	
Subject / Key words, S/KW :	Diagnostics, prediction, estimation, fuzzy sistems	
UC :		
Holding data, HD :	Library of FTN, Novi Sad Trg Dositeja Obradovica 6	
Note, N :		
Abstract, AB :		
Accept by the Scientific Board on, ABS :	February, 18 th 2003	
Defended, DE :	July, 18 th 2003	
Defend board, DB :	President:	Ph. D.E.E. Miroslav Popovic, full prof
	Member:	Ph. D.E.E. Branislav Atlagic, ass. prof.
	Member, Mentor:	Ph. D.E.E. Dragan Kukolj, assoc. prof
		Menthor's sign:

SADRŽAJ:

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA	5
1. UVOD	6
2. ANALIZA POSMATRANOG SISTEMA	7
2.1. Tunelska peć	7
2.1.1. Princip rada tunelske peći	7
2.2. Matematički model sistema i estimacija osnovnih parametara	8
2.3.1. Predlog skupa najbitnijih procesnih veličina - 8 temperatura	9
2.3.2. Skupovi procesnih veličina neophodnih za estimaciju 8 temperatura	9
3. ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNI DEO	10
3.1. Analiza problema.....	10
3.1.1. Rukovanje bazom sirovih podataka	10
3.1.2. Identifikacija stanja (režima) globalnog sistema	10
3.1.3. Analiza globalne dijagnostike	11
3.1.4. Analiza lokalne dijagnostike	11
3.1.5. Kriterijum završetka istraživačko-razvojnog dela	11
3.2. Definisanje i identifikacija režima posmatranog procesa	11
3.2.1. Matrice uzoraka	12
3.2.2. Režimi N,S,F	12
3.3. Globalna dijagnostika – Gaussian-metoda	33
4. KONSTRUKCIJA (TS) FUZZY MODELA.....	15
4.1. Matrice uzoraka	16
4.1.1. Matrica ulaznih vrednosti X	16
4.1.2. Matrica izlaznih vrednosti Y	17
4.1.3. Matrica uzoraka Z	17
5. REALIZACIJA DIJAGNOSTIČKOG SISTEMA NA PRIMERU ESTIMACIJE TEMPERATURE U TUNELSKOJ PEĆI	19
5.1. Način rada programa TSKOnline	19
5.1.1. Opis funkcionalnosti i neophodne inicijalizacije	20
5.1.2. Grafički korisnički interfejs	23
5.2. Dijagnostički proračun	24
5.2.1. Dijagnostika u slučaju da ne postoji izmerena vrednost	24
5.2.2. Dijagnostika u slučaju da postoji izmerena vrednost	24
6. ANALIZA REZULTATA OSTVARENIH U REALNOM SISTEMU	26
6.1. Ilustracija rezultata	26
7. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA SA ASPEKTA GENERISANIH ALARMA	29
7.1. Procena stanja u usporenom režimu rada	29
7.1.1. Prikaz osam najvažnijih temperatura u usporenom režimu rada	29
7.2. Prikaz generisanih alarma na primeru temperatura T75 i T91	30

*Realizacija programske podrške sistema za vođenje tunelske peći u prelaznom režimu rada
i sistema za detekciju neočekivanih događaja*

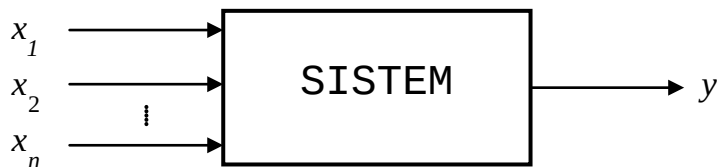
7.2.1. Prikaz generisanih alarma na primeru temperatura T75 i T91	30
7.2.2. Detaljna analiza generisanih alarma na primeru dve temperature	33
8. VOĐENJE SISTEMA U PRELAZNOM REŽIMU RADA	35
8.1. Razlike i sličnosti sa programskom podrškom TSKOnline	35
8.1.1. Uvodne napomene	35
8.1.2. Priprema modela	36
8.2. Način rada programa Tranzijentni rezim	37
8.2.1. Funkcionalne karakteristike	37
8.2.2. Grafički korisnički interfejs	40
9. ZAKLJUČAK	41
PRILOG: Organizacija podataka na priloženom CD medijumu	42
LITERATURA	43

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

- Projektovanje dijagnostičkog sistema za detekciju neočekivanih događaja, otkaza termo-parova i stanja globalnog sistema u procesu pečenja gline u tunelskoj peći;
- Izrada procedura u programskom paketu Visual C++ za projektovanje programske podrške dijagnostičkog sistema;
- Testiranje razvijene programske podrške na realnom problemu estimacije temperature u tunelskoj peći;
- Razvoj u programskom jeziku Visual C++ programske podrške prediktora fizičkih veličina;
- Realizacija programske podrške za vođenje sistema u prelaznom režimu rada.

1. UVOD

U opštem slučaju pod sistemom se podrazumeva skup entiteta povezan određenim skupom relacija među njima. Jedan takav uopšteni sistem koji je opisan sa n ulaznih i jednom izlaznom promenljivom predstavljen je na Slici 1.1.



Slika 1.1. - Uopšteni sistem sa n ulaza i jednim izlazom

Svaki uopšteni sistem moguće je modelirati pomoću njegovih parametara, odnosno predstaviti ga preko matematičkog modela. Postoje sistemi kod kojih nije poznat matematički model i u tom slučaju nije jednostavno odrediti ponašanje njegovih parametara u toku vremena t , jer ne postoji unapred poznati zakon po kojem se ti parametri menjaju. Međutim, ti parametri se mogu estimirati, odnosno izračunati na osnovu nekih drugih parametara.

U procesnoj industriji, u opštim složenim sistemima, osim upravljanja postoji potreba za određenim informacijama o tom sistemu koje teorija upravljanja ne može da pruži. Neke od tih informacija mogu se dobiti pomoću SCADA programa koji je nadležan za monitoring sistema, akviziciju podataka i eventualnu detekciju nekih događaja posmatranog sistema. Ostale informacije mogao bi da pruži sistem koji je dizajniran da detektuje neočekivane stohastičke događaje. Projektovanje ovakvog jednog sistema predmet je ovog rada.

Neočekivani događaji su, kao što im samo ime kaže, događaji koji se ne mogu unapred predvideti i u opštem slučaju nisu poznati. Npr., to može biti otkaz senzora koji meri određenu procesnu veličinu, neispravna komunikacija između upravljanja i mernog sistema, nagla promena neke procesne veličine u vremenu, odlazak sistema u nedozvoljeni režim itd. Usled ovakvih događaja dolazi do raznih neželjenih efekata: gubi se na kvalitetu proizvoda, povećavaju se vreme i troškovi proizvodnje, itd. Sve ove probleme moguće je prevazići pažljivim projektovanjem dijagnostičkog sistema. Međutim, kod detekcije neočekivanih događaja javlja se više problema. Prvi problem predstavlja sama detekcija, tj. postupak prepoznavanja stohastičkog događaja. Drugi i ne manje bitan problem jeste pouzdanost sa kojom se može tvrditi da je jedan takav proces detektovan.

Dizajniranje sistema za detekciju neočekivanih događaja moguće je zasnivati na postojećoj teoriji iz ove oblasti u kombinaciji sa istraživačkim radom. U kontekstu toga, ovaj rad je koncipiran tako da se iz opšteg može izvući konkretno i obrnuto, da se iz konkretnog (praktične realizacije) može izvući opšte (teorija). Zbog toga ovaj rad ima dve faze:

- razvojno-istraživački segment;
- konkretnu realizaciju dijagnostičkog sistema.

Bitno je napomenuti da osim akademskog, ovaj rad ima i praktičan smisao jer se odnosi na rešenje konkretnog problema detekcije neočekivanih događaja u procesu pečenja gline u tunelskoj peći pri proizvodnji crepova koji se koriste u građevinarstvu.

Zbog kompleksnosti problema koji se obrađuje, ovaj rad se oslanja i prepliće sa velikim brojem dokumentovanih radova vezanih za konkretni problem, a ponuđeno rešenje kao i razvoj oslanja se na programski paket Visual C++ 6.0.

Celokupna dokumentacija i opis svih programa napisanih u razvojnoj fazi kao i krajnje rešenje, zbog svog obima priloženi su na CD medijumu i predstavljaju sastavni deo ovog rada.

2. ANALIZA POSMATRANOG SISTEMA

Sistem koji se razmatra je tunelska peć sa osnovnim karakteristikama datim u poglavlju 2.1. Merna i regulaciona oprema realizovana je pomoću programabilnog logičkog kontrolera "INFO73" – Informatika, Beograd. Signali sa svih davača bilo da su oni digitalni ili analogni kao i svi izvršni organi vezani su na PLC i bilo koja akcija izvršava se preko njega. Što se tiče analognih signala peć je opremljena sa 112 termoparova NiCr-Ni, 16 otpornih davača temperature Pt100, pretvaračima pritiska (-500÷500 Pa za potpritisak u peći, 0÷400 kPa za merenje pritiska zemnog gasa, 0÷10 kPa za merenje pritiska vazduha za sagorevanje), 2 merača temperature na bazi optičkog spektra zračenja materijala. Zbog velikog broja termoparova u cilju smanjenja troškova upotrebljen je multiplekser u sprezi sa analognim ulaznim modulom za obradu signala termoparova. Vreme skeniranja svih termoparova iznosi 60s. PLC autonomno vrši merenje i regulaciju temperature kao i ostalih veličina vezanih za rad peći. Jedan personalni računar opremljen sa programom za komunikaciju sa PLC-om neprekidno prikuplja podatke iz PLC-a i zapisuje ih u bazu podataka svakih 60s.

2.1. Tunelska peć

Osnovni podaci:

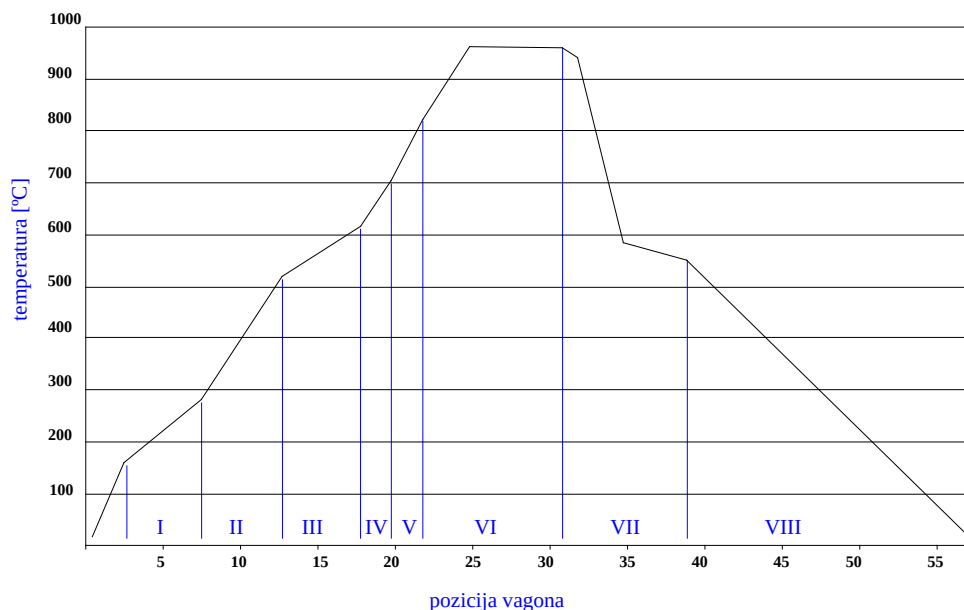
- dužina: 137 m
- širina: 6.8 m
- unutrašnja visina: 2.7 m
- širina vagona: 4500 mm
- dužina vagona: 2350 mm
- broj crepova na vagonu: 2900 kom
- težina crepa: 3140 g
- kapacitet: 90000 kom./dan
- prosečna potrošnja gasa: 13500 m³/dan

2.1.1. Princip rada tunelske peći

Tunelska peć predstavlja jedan tunel od vatrostalnog materijala koji se greje po svojoj dužini na različite temperature. Vagon natovaren osušenom robom (glinenim crepovima koji se peku) gura se kroz peć i dok kroz nju prolazi on se zagreva, drži se na određenoj temperaturi, pa se potom ohladi. Vagon kroz peć putuje diskontinualno, odnosno periodično se gura sa dužinom jednog sloga napred. Slog je jedan zid napravljen od crepova. Temperatura u funkciji od udaljenosti od ulaza peći zavisi od tehnologije pečenja gline i izgleda kao na Slici 2.1.

Tunelska peć se deli na sledeće funkcionalne celine, polazeći od ulaza:

- I zona prve recirkulacije
- II zona druge recirkulacije
- III zona treće recirkulacije
- IV zona visokobrzinskih gorionika sa kontrolom plamena
- V zona gorionika sa pilot plamenom
- VI glavna vatra
- VII brzo hlađenje
- VIII klasično hlađenje



Slika 2.1. - Promena temperature po dužini tunelske peći

U zoni prve, druge i treće recirkulacije nema gorionika, crep se zagreva pomoću vrućih dimnih gasova koji se vuku prema ulazu pomoću ventilatora dimnih gasova.

Zona visokobrzinskih gorionika sa kontrolom plamena sastoji se od četiri reda gorionika. Regulacija temperature se vrši na osnovu temperature u četvrtom redu, a regulacija snage gorionika se postiže širinskom modulacijom pauze između konstantnih perioda rada gorionika (10s). Ova vrsta regulacije snage gorionika inače važi i za ostale regulacione grupe.

Zona gorionika sa pilot plamenom sastoji se od pet redova gorionika, i podeljena je na dva regulaciona kruga. U prvoj grupi se nalazi tri reda, a u drugoj grupi dva reda gorionika.

U zoni glavne vatre nalazi se 18 redova gorionika. Cela zona je podeljena na tri regulaciona kruga sa po tri gorioničke grupe.

U zoni brzog hlađenja vrši se naglo hlađenje crepa do kritične temperature (na kritičnoj temperaturi od 573°C menja se struktura materijala - vrši se prekrizacija kvarca pa brzina hlađenja u okolini te tačke ne sme da pređe brzinu koja je određena sastavom materijala). To se postiže uduvavanjem hladnog vazduha sa velikom brzinom u peć. To je najkritičnija zona u kojoj se vrlo lako može upropastiti crep. Ako se crep previše ohladi u ovoj zoni tada on strada odmah jer se stvaraju mikropukotine. Sa druge strane, ako ostane suviše vruć stradaće u zoni klasičnog hlađenja jer tamo više nema mogućnosti regulacije brzine hlađenja.

Zona klasičnog hlađenja sastoji se od velikog broja otvora za odvod toplog vazduha. Ti otvori se podešavaju ručno. U toku eksploatacije ovde ne treba ništa menjati. Jedini uslov za dobro funkcionisanje klasičnog hlađenja je da roba ulazi u zonu sa određenom temperaturom.

2.2. Matematički model sistema i estimacija osnovnih parametara

Zbog izuzetne kompleksnosti posmatranog sistema matematički model nije poznat. Iz tog razloga razvijen je estimator koji vrši estimaciju najbitnijih procesnih veličina koje su važne za proces upravljanja sistemom i kontrolu kvaliteta proizvoda. Rad estimatora se bazira na TS fuzzy principu. Detaljnije o ovom estimatoru i razlozima njegovog postojanja u sistemu biće reči u nastavku a opširnije se može naći u [1], [2].

2.2.1. Predlog skupa najbitnijih procesnih veličina - 8 temperatura

Ne ulazeći u analizu tehnološkog postupka, i načina izbora skupa najvažnijih procesnih veličina, na osnovu dosadašnjih ekspertnih analiza vezanih za posmatrani sistem, predložen je sledeći skup od 8 temperatura $\{T_{21}, T_{31}, T_{34}, T_{51}, T_{75}, T_{91}, T_{96}, T_{107}\}$.¹

Predloženi skup osim što se koristi kao skup parametara bitnih za upravljanje procesom, odnosno kontrolu kvaliteta proizvoda, služi i za grubo modeliranje sistema, pa se na osnovu tog skupa mogu izvući sve neophodne informacije o njegovom globalnom ponašanju.

2.2.2. Skupovi procesnih veličina neophodnih za estimaciju 8 temperatura

Estimator služi za estimaciju 8 temperatura $\{T_{21}, T_{31}, T_{34}, T_{51}, T_{75}, T_{91}, T_{96}, T_{107}\}$. Da bi estimacija bila moguća, neophodno je imati po jedan skup ulaznih veličina za svaku od temperatura koja se želi estimirati.² U Tabeli 2.1 predstavljeni su polazni a u Tabeli 2.2. redukovani skupovi ulaznih veličina za svaku od temperatura koja se estimira [3].

Izlazi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T-21	T231	T133	T154	T19	T32	T20	T22	T33	T15
T-31	T231	T133	T156	T28	T45	T29	T30	T42	T39
T-34	T231	T133	T155	T32	T36	T33	T35	T37	T26
T-51	T231	T133	T157	T49	T53	T50	T43	T52	T41
T-75	T231	T133	T158	T73	T77	T74	T76	T78	T68
T-91	T231	T133	T159	T89	T93	T90	T92	T83	T85
T-96	T231	T133	T151	T87	T98	T88	T97	T103	T104
T-107	T231	T133	T152	T153	T105	T100	T106	T101	T104

Tabela 2.1. - Pregled temperatura za estimaciju i odgovarajućih ulaznih procesnih veličina

Izlazi	1	2	3	4
T-21	T22	T32	T20	T133
T-31	T29	T39/30	T42	T156
T-34	T36	T35	T32	T155
T-51	T52	T49	T43	T231
T-75	T77	T74	T68	T133
T-91	T83	T90	T92	T133
T-96	T97	T103	T87	T133
T-107	T101	T105	T100	T133

Tabela 2.2. - Redukovani skupovi ulaznih veličina za estimaciju

Prilikom estimacije T_{xx} temperatura, iz Tabele 2.2. koriste se samo one ulazne veličine koje nisu u poljima markiranim žutom bojom (one koje su u poljima žute boje se izbacuju).³

¹ Notacija T_{xx} ne podrazumeva nužno da se pod oznakom T smatra temperatura. Interna notacija literature i dokumentacije korišćene u okviru ovog rada koristi oznaku T_{xx} kao interni zapis određenih procesnih veličina, pa se tako može dogoditi da se npr. oznaka T_{51} odnosi na fizički senzor koji zaista meri temperaturu, dok recimo oznaka T_{231} ne podrazumeva uopšte temperaturu već parametar guranja vagona kroz tunelsku peć.

² Pod pojmovima *osam (najbitnijih) temperatura* ili *izlazi* podrazumevaće se skup $\{T_{21}, T_{31}, T_{34}, T_{51}, T_{75}, T_{91}, T_{96}, T_{107}\}$. Pod pojmom *ulazne veličine* podrazumevaće se procesne veličine na osnovu kojih se vrši estimacija neke od temperatura T_{xx} .

³ U tabelama 2.1. i 2.2 od svih polja koja predstavljaju ulazne veličine, polja sa žutom bojom izdvajaju one veličine iz skupa ulaznih veličina, koje fizički nisu temperature.

3. ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNI DEO

U uvodu je napomenuto da ne postoji odgovarajuća teoretska podloga koja bi pokrila sve segmente projektovanja dijagnostičkog sistema za detekciju neočekivanih događaja, otkaza termo-parova i stanja globalnog sistema u procesu pečenja gline u tunelskoj peći. To podrazumeva da se kao prvi korak posle analize problema utvrdi skup potrebnih eksperimenata kojim bi se pronašla rešenja koja bi vodila ka konačnom izgledu projektovanog sistema. Potom treba odrediti prag tačnosti rada projektovanog sistema koji će omogućiti pouzdanu detekciju nad nepoznatim test-skupom uzoraka.

3.1. Analiza problema

Posmatran sistem predstavljen je pomoću 8 temperatura koje su bitne za upravljanje i kontrolu kvaliteta proizvoda. Pored toga, za svaku od temperatura dat je i estimacioni skup (Tabela 2.2) na osnovu kojeg se svaka posmatrana temperatura može estimirati [2]. Estimator je razvijen više godina na *Institutu za računarstvo i automatiku, Katedra za računarsku tehniku i računarske komunikacije Univerziteta u Novom Sadu* i kako je rečeno detaljnije informacije o tome mogu se naći u [1], [2], [3].

U okviru procesa pečenja gline, jedan personalni računar sa programskom podrškom za komunikaciju sa PLC-om stalno prikuplja podatke iz PLC-a i zapisuje ih u bazu podataka svakih 60s. Ta baza naziva se **istorijat procesnih veličina** ili **baza sirovih podataka**. Kako nije poznat matematički model sistema, već samo estimator, sve potrebne tehnike i algoritmi za projektovanje dijagnostičkog sistema oslanjaju se samo na bazu sirovih podataka. Ideja detekcije svodi se na koncept upoređivanja trenutnog uzorka izmerenih procesnih veličina (temperatura) sa nekim sračunatim vrednostima na osnovu estimiranih i izmerenih vrednosti uzorka i nekih zakonitosti koje su izvedene na osnovu proučavanja baze sirovih podataka. Čitav istraživačko-razvojni deo odnosi se isključivo na pronalaženje mehanizama detekcije neočekivanih događaja na osnovu već poznatih u istorijatu procesnih veličina.

3.1.1. Rukovanje bazom sirovih podataka

Izmereni podaci sa merno-akvizicionog dela posmatranog sistema u dužem vremenskom periodu od 24.XII 2000. do 28.II 2002. godine, smešteni su na CD medijum u određenom formatu. Da bi mogli biti korišćeni postoji gotov DOS program koji čita željene podatke iz baze i formira izlazne ASCII datoteke. Postoji više načina čitanja podataka (npr. samo za jedan dan, ili npr. za 10 uzastopnih dana) pa stoga postoji 4 verzije tog programa: **prevodi2.exe**, **prevodi3.exe**, **prevodi4.exe** i **prevodi5.exe**. Zbog poštovanja pravila o tajnosti poslovanja preduzeća za koje se projektuje dijagnostički sistem, programi za čitanje i baza sirovih podataka nisu prikazani u ovom radu.

3.1.2. Identifikacija stanja (režima) globalnog sistema

Pošto je osnovna ideja dijagnostika globalog sistema odnosno detekcija neočekivanih događaja, neophodno je odrediti mehanizme detekcije svih mogućih stanja posmatranog sistema. To se može učiniti na osnovu posmatranja svih temperatura iz skupa 8 najbitnijih

temperatura u vremenu. Funkcije za detekciju stanja napisane su u programskom paketu Matlab 5.3 i priložene su na CD medijumu, kao i izlazne ASCII datoteke.

3.1.3. Analiza globalne dijagnostike

Na osnovu svih definisanih stanja u kojima može da se nađe globalni sistem, potrebno je odrediti tehnike kojima će prevashodno neko od stanja biti detektovano, a potom i mehanizme na osnovu kojih će se dati i konačna dijagnostika. Osnovni preduslov za pronalaženje ovih tehnika jeste potreba da svi algoritmi budu tako odabrani da projektovani sistem može da radi u realnom vremenu.

Kao polazna osnova za detekciju režima i dijagnostiku stanja globalnog sistema koristi se lokalni pristup zasnovan na bazi svih važnijih statističkih veličina uzoračkog skupa izmerenih vrednosti za svaku od posmatranih 8 temperatura posebno.⁴

3.1.4. Analiza lokalne dijagnostike

U lokalnoj dijagnostici najpre su postavljeni zahtevi koji su specificirali šta se sve želi detektovati. Postojala je potreba da se prati ponašanje sistema na lokalnom nivou i time su definisani zahtevi za sledećim informacijama za svaku od 8 temperatura posebno:

- u kom su odnosu vrednosti funkcija gustina raspodele verovatnoća (Gaussiana) tekućeg uzorka temperature za svaki od definisanih režima, i na osnovu toga eventualno detektovati pripadnost nekom od režima na lokalnom nivou za posmatranu T_{xx} temperaturu;
- detekcija ponašanja temperature T_{xx} dobijene sa istoimenog senzora u skladu sa definisanim režimima sistema odnosno, da li njena izmerena ili estimirana vrednost pripada nekom od segmenata koji se mogu definisati kao npr.: (1) ispravno, (2) blago odstupanje, (3) veliko odstupanje, (4) segment koji označava otkaz termopara (senzora);
- detekcija prekoračenja razlike izmerene i estimirane vrednosti ($e = y - \hat{y}$) u odnosu na MAG_{xx} (maksimalnu apsolutnu grešku) modela pri obuci estimatora za posmatranu T_{xx} temperaturu.

3.1.5. Kriterijum završetka istraživačko-razvojnog dela

Kao i u svakom istraživanju želja je da se dostigne tačnost od 100%. To znači da bi svaka detekcija bila 100% tačna i svaka dijagnostika takođe. U realnosti, to je retko ostvarivo pa se kriterijum definiše tako da svako parcijalno rešenje problema zadovoljava određenu tačnost, odnosno postoji normalizovani težinski faktor k pomoću kojeg se tvrdi sa sigurnošću p ($p = k * 100$ [%]) da je izvršena ispravna detekcija, odnosno dijagnostika.

⁴ Postojala je želja da se kao treći pristup primeni fuzzy logika ali su neki segmenti u istraživačkom radu već primenili osnovne elemente fuzzy zaključivanja, stoga takav pristup nije obrađen posebno, a rezultati na osnovu prethodnog pristupa dali su više nego zadovoljavajuće rezultate, tako da fuzzy pristup nije bio neophodan.

3.2. Definisanje i identifikacija režima posmatranog procesa

Kako režimi posmatranog procesa nisu specificirani, prvi korak u identifikaciji režima podrazumeva izvlačenje iz baze sirovih podataka svih postojećih izmerenih vrednosti za svaku od 8 najbitnijih temperatura. Dobijene su datoteke formata **M_yy_mm.txt**, gde se oznake za **yy** i **mm** odnose na godinu i mesec respektivno. Drugi korak predstavlja formiranje i štampanje grafikona promena svih 8 temperatura u vremenu.

3.2.1. Matrice uzoraka

U svakoj od datoteka oblika **M_yy_mm.txt** nalazi se po jedna matrica uzoraka dimenzija $m \times n$, gde je m proizvoljan broj vrsta a n je fiksni broj kolona: $n=8$. Šema matrice uzoraka data je izrazom (3.1.1).

$$M = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{18} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{28} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{38} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \dots & x_{m8} \end{bmatrix}_{m \times 8} \quad (3.1.1)$$

Svaka vrsta matrice M predstavlja po jedan uzorak veličine 8 elemenata $[x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}]$ koji odgovara izmerenim vrednostima temperatura $[T_{21}, T_{31}, T_{34}, T_{51}, T_{75}, T_{91}, T_{96}, T_{107}]$ u nekom trenutku k , a svaka kolona matrice M predstavlja vektor jedne od posmatranih 8 temperatura u vremenu, naravno sa usklađenim indeksima (kolona 1 odnosi se na T_{21} , kolona 2 na T_{31} , ... kolona 8 na T_{107}). Kako su uzorci sakupljeni u intervalu od 60s, u jednom danu postoji $24 \cdot 60 = 1440$ uzoraka. Pošto se svaka matrica odnosi na jedan mesec, to znači da je ukupan broj uzoraka u svakoj matrici otprilike oko $30 \cdot 1440 = 43200$. Međutim usled grešaka merno-akvizicionog sistema, taj broj ne mora da bude fiksni.

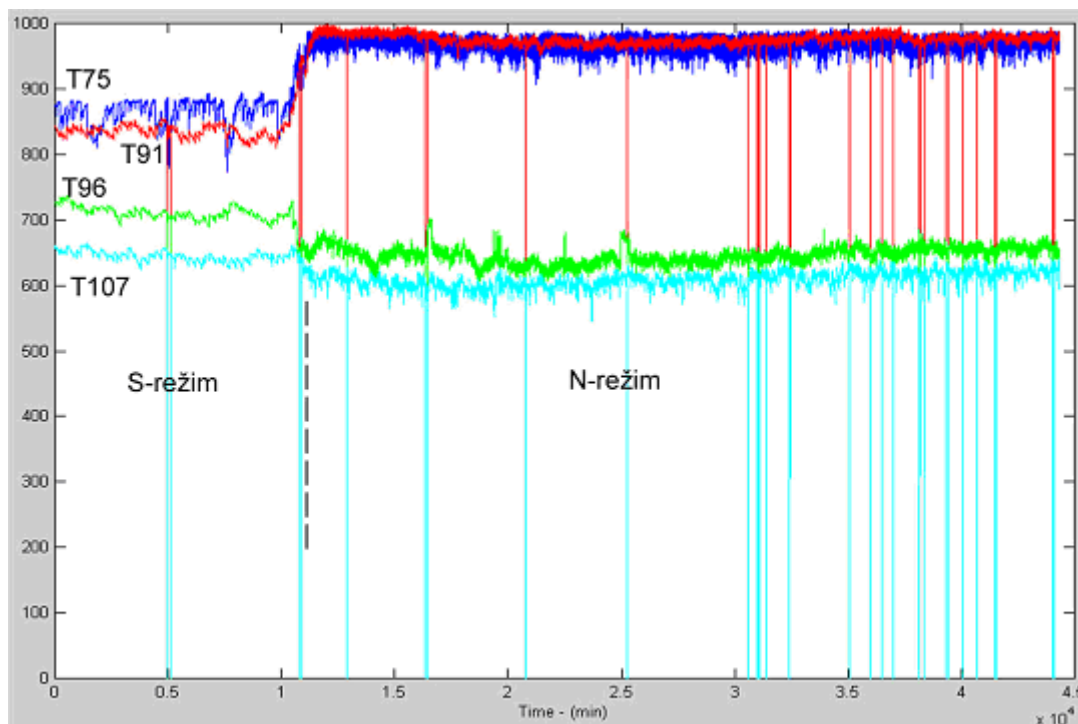
3.2.2. Režimi N i S

Na osnovu grafikona 8 najbitnijih temperatura u vremenu uočeno je da se proces može okarakterisati sa 2 različita ponašanja i shodno tome formirana su 2 režima. To su Nominalni režim (**N**) i režim Smanjene proizvodnje (**S**).

Za nominalni režim (**N**) je izabran onaj koji se u periodu od 15 meseci pokazao najzastupljenijim. Nominalni režim se može posmatrati kao stacionarni režim.

Za režim smanjene proizvodnje (**S**) izabran je režim rada sistema u vreme praznika kada se usporava proces proizvodnje a time ujedno smanjuje i obim. Tada se menja tehnologija pečenja gline, pa se shodno tome menja i 8 najbitnijih temperatura. Uočeno je da su to periodi oko nove godine (kraj decembra i početak januara) i period oko prvog maja. Moglo bi se reći i za ovaj režim da je stacionarni, ali uz smanjeni obim proizvodnje. Ipak, ovaj režim je nazvan **S** radi razlikovanja od režima **N**.

Na Slici 3.1 prikazan je grafikon na kome se mogu jasno uočiti razlike između dva režima: **N** i **S**.



Slika 3.1. - Grafikon promene 4 temperature u vremenu uz identifikaciju 2 režima

NAPOMENA: višebrojne vertikalne linije na grafiku predstavljaju trenutke kada sve procesne veličine imaju vrednost 0, a to je posledica greške u merno-akvizicionom sistemu: objašnjava se pojavom nestanka napajanja u jednom od podsistema merno-akvizicione jedinice, pa se za dati trenutak za sve vrednosti upisuju nule!

3.3 Lokalna dijagnostika – Gaussian metoda

Ako se posmatrani sistem dekomponuje na podisteme, tako da svaki podsistem bude opisan pomoću jedne od 8 najbitnijih temperatura, interesantno je posmatrati lokalne režime odnosno režime podsistema.

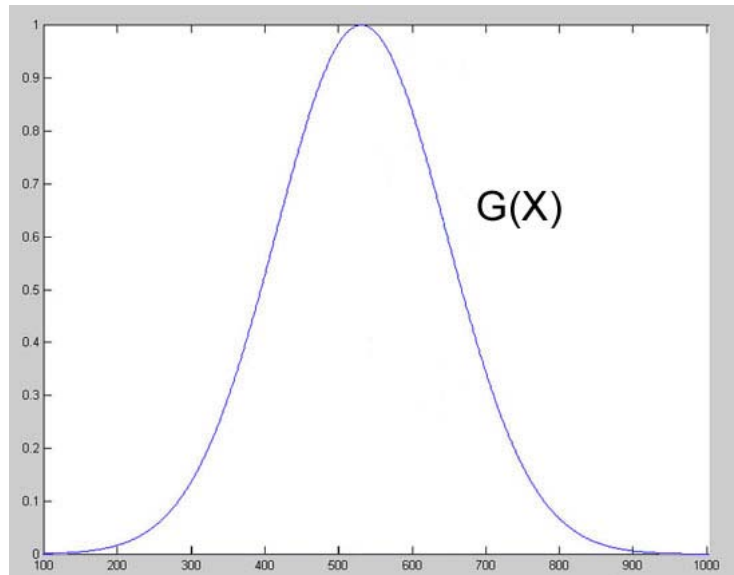
Ako se za slučajnu promenljivu X izabere skup poznatih vrednosti $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, tada se prema izrazima (3.1.2) i (3.1.3) mogu odrediti srednja vrednost m i standardna devijacija s date slučajne promenljive, respektivno, gde je $D(X)$ varijansa (disperzija) slučajne promenljive X .

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.1.2)$$

$$s = \sqrt{D(X)} \quad (3.1.3)$$

Na osnovu parametara m i s lako je odrediti funkciju gustine raspodele verovatnoća za slučajnu promenljivu X , koja je data izrazom (3.1.4). Grafik te funkcije prikazan je na Slici 3.2. koji se naziva Gaussian ili normalna Gausova raspodela u oznaci $N(m,s)$.¹⁷

$$G(X) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-m)^2}{2s^2}} \quad (3.1.4)$$



Slika 3.2. - Gaussian

U opštem slučaju parametri Gaussiana m i s su proizvoljne vrednosti, međutim praktičnije je posmatrati normalizovani Gaussian gde se osim normalizacije vrši i standardizacija slučajne promenljive X , odnosno uzima se da je $X^*=(X-m)/s$. Tada je Gaussian zadat izrazom (3.1.5).

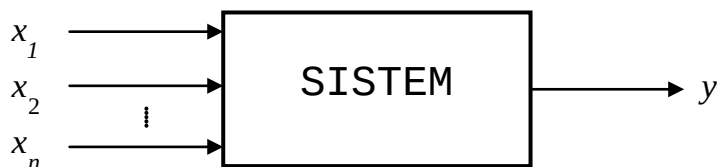
$$G(X) = e^{-\frac{X^{*2}}{2}} \quad (3.1.5)$$

¹⁷ U opštem slučaju potrebno je nekim od testova Matematičke statistike proveriti da li slučajna promenljiva X ima Normalnu Gaussovu raspodelu, mada se kod 99% procesnih veličina sreće baš takva raspodela. Ako to nije slučaj jednostavnim transformacijama se može učiniti da se raspodela slučajne promenljive X svede na Normalnu Gaussovu raspodelu.

4. KONSTRUKCIJA TAKAGI-SUGENO (TS) FUZZY MODELA

Uopšteno posmatrano, Takagi-Sugeno (TS) *fuzzy* model se koristi za opisivanje i modelovanje sistema posredstvom ustanovljenih relacija između relevantnih veličina tog sistema. Pomenute relacije su predstavljene u formi *if-then* pravila. Dakle, svaku relaciju karakteriše odgovarajući uslovni i odgovarajući konsekventni (posledični) deo. Konsekvenca se može tumačiti kao akcija koja će biti preduzeta na podacima sistema ako je uslov iz pravila zadovoljen, tj. ako je tačan. Takagi-Sugeno *fuzzy* model pripada kategoriji modela koji se kreiraju na osnovu izmerenih podataka nekog određenog sistema. Takvi podaci se koriste za formiranje adekvatnog broja *fuzzy* skupova. *Fuzzy* skup je poseban tip skupa kod koga svaki element karakteriše odgovarajući stepen pripadnosti tom *fuzzy* skupu – mali realan broj iz intervala $[0,1]$. Za svaki *fuzzy* skup, formira se jedno *if-then* pravilo.

U skladu sa prethodno rečenim, TS *fuzzy* model je najpre teorijski razmatran i analiziran u odnosu na uopšteni sistem koji je opisan sa n ulaznih i jednom izlaznom promenljivom:



Slika 4.1-Uopšteni sistem sa n ulaza i jednim izlazom

Krajnji zadatak i cilj *fuzzy* modeliranja, za takav sistem, jeste numeričko i grafičko definisanje aproksimativne funkcionalne zavisnosti između postojećeg ulaza i izlaza sistema $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Na osnovu tako utvrđene funkcionalne zavisnosti, moguće je za bilo koje vrednosti ulaza predvideti ponašanje sistema na izlazu.

Jedan ulazno-izlazni uzorak sistema čine konkretne, izmerene vrednosti svih ulaza u nekom vremenskom trenutku i izmerena vrednost izlaza u istom trenutku.

Konstrukcija TS *fuzzy* modela sprovodi se kroz dva elementarna koraka:

1. Strukturna identifikacija
2. Parametarska procena

U koraku koji predstavlja strukturnu identifikaciju, posmatraju se ulazno-izlazni uzorci sistema i od njih se formiraju odgovarajuće ulazno-izlazne matrice. U odnosu na izmerene ulaze i izlaze, tj. u odnosu na dobijene ulazno-izlazne uzorke sistema sprovodi se tzv. *klaster analiza* (ovde je to realizovano pomoću PM konkurentne neuronske mreže). Vrednosti dobijene u ovom koraku se smeštaju u matricu centara. Svaka kolona ove matrice sadrži koordinate odgovarajućeg klastera. Na osnovu prethodno sračunate matrice centara za svaki uzorak iz matrice uzoraka se određuje njegovo rastojanje od centara svih postojećih klastera i ta rastojanja se smeštaju u matricu rastojanja. Na osnovu prethodno sračunatih matrica sračunava se tzv. partitivna matrica. Sadržaj partitivne matrice definiše stepen pripadanja svakog postojećeg uzorka formiranim klasterima tj. u pitanju je postupak kojim se skup ulazno-izlaznih podataka sistema raspodeljuje između zahtevanog broja klastera.

Drugi korak TS *fuzzy* modeliranja, parametarska procena, omogućava izračunavanje parametara koji izgrađuju TS *fuzzy* pravila tipa *if-then*, i koja obezbeđuju aproksimaciju funkcionalne zavisnosti ulazno-izlaznih veličina sistema. Polazna osnova parametarske procene su podaci grupisani sprovođenjem klaster analize. Dobijeni klasteri se usvajaju kao

fuzzy skupovi (za svaku ulaznu promenljivu) u slučaju TS fuzzy modela prvog reda, pa je time broj TS fuzzy pravila istovetan broju klastera.

Prilikom sračunavanja parametara koji izgrađuju TS fuzzy pravila tipa *if-then* javlja se potreba za sračunavanjem inverzne matrice velikih dimenzija. Rešenje ovog problema je nađeno u prethodnoj SVD (*Singular Value Decomposition*) dekompoziciji matrice.

Potreba za adaptivnim fuzzy modelom razvila se iz potrebe za upravljanjem u realnom vremenu. Statički fuzzy modeli se obučavaju nad velikim skupom uzoraka što iziskuje mnogo vremena. Tako se razvila ideja o fuzzy modelu koji će se obučavati “*on-line*”, odnosno, koji će se na osnovu izmerenih ulazno-izlaznih uzoraka u toku samog rada doobučavati (samopodešavati). U tu svrhu je umesto statičke metode najmanjih kvadrata iskorišćena rekurzivna metoda najmanjih kvadrata. Tako se za svaki novi uzorak vrši korekcija parametara koji izgrađuju TS fuzzy pravila.

4.1. Matrice uzoraka

Ulazno-izlazni uzorci (podaci), koji karakterišu neki uopšteni sistem, predstavljaju se vrstama matrice, označene sa Z . Broj kolona ove matrice zavisi od dimenzionalnosti ulaza sistema, tj. zavisi od broja ulaznih promenljivih n . Jedan uzorak čine izmerene konkretne vrednosti za n ulaznih promenljivih sistema i odgovarajuća izlazna vrednost izmerena za takav ulaz. Izmerene ulazne vrednosti formiraju matricu označenu sa X , a odgovarajuće izlazne vrednosti matricu Y . Dakle, matrica uzoraka Z je kompozicija matrica X i Y .

4.1.1. Matrica ulaznih vrednosti X

Za svaku, od ukupno n ulaznih promenljivih sistema, izmerene su konkretne vrednosti u nekom određenom vremenskom trenutku, a u skladu sa unapred zadatim i zahtevanim kriterijumima. Na taj način su dobijene ulazne vrednosti jednog uzorka. Ako se pretpostavi da se zahteva ukupno N različitih uzoraka, matrica ulaznih vrednosti X ima sledeći oblik:

$$X = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_N]^T \quad (4.1.1)$$

Sa x_k za $k=1,2,3,\dots,N$ su predstavljene ulazne vrednosti jednog uzorka. U pitanju je vektor sa sledećom formom:

$$x_k = [x_{k1} \ x_{k2} \ \dots \ x_{kn}] \quad (4.1.2)$$

Simboličke oznake $x_{k1} \ x_{k2} \ \dots \ x_{kn}$ su trenutno izmerene koordinate vektora x_k , odnosno izmerene ulazne vrednosti k -tog uzorka.

Kombinovanjem izraza (4.1.1) i (4.1.2) dobija se opšti oblik matrice ulaznih promenljivih X predstavljen izrazom (4.1.3). Prikazana matrica opisuje ulaz n -dimenzionalnog sistema (sistem sa ukupno n ulaza) i sadrži ulazne vrednosti od N uzoraka, pri čemu ulazne vrednosti jednog uzorka čine jednu vrstu razmatrane matrice.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & x_{N3} & \dots & x_{Nn} \end{bmatrix}_{N \times n} \quad (4.1.3)$$

4.1.2. Matrica izlaznih vrednosti $\mathbf{Y}$

Svako, od ukupno N postojećih ulaznih vrednosti $\mathbf{x}_k$ odgovara jedna određena vrednost y_k izmerena na izlazu sistema. Izmereni izlazi formiraju matricu izlaznih vrednosti $\mathbf{Y}$.

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \dots \\ y_N \end{bmatrix}_{N \times 1} \quad (4.1.4)$$

gde je y_k izlazna vrednost izmerena za ulazne vrednosti $\mathbf{x}_k$ k -tog uzorka.

4.1.3. Matrica uzoraka $\mathbf{Z}$

Razmatrana matrica uzoraka $\mathbf{Z}$ objedinjuje vrednosti matrice ulaza $\mathbf{X}$ i matrice izlaza $\mathbf{Y}$ i na taj način se koristi kao ulaz za klaster analizu. Dakle, matrica $\mathbf{Z}$ predstavlja kompoziciju matrica $\mathbf{X}$ i $\mathbf{Y}$. Ako se poštuju *MATLAB*-ova pravila predstavljanja matrica, matrica uzoraka ima oblik opisan izrazom (2.1.5) odnosno izrazom (2.1.6).

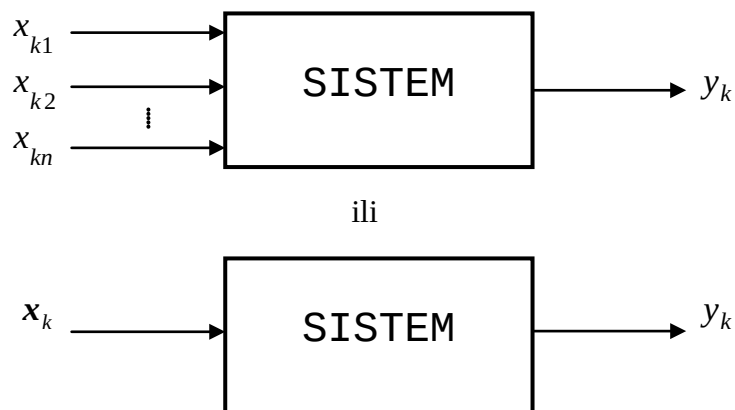
$$\mathbf{Z} = [\mathbf{X}, \mathbf{Y}] \quad (4.1.5)$$

$$\mathbf{Z} = [\mathbf{X}^T, \mathbf{Y}^T]^T \quad (4.1.6)$$

Kombinovanjem jednog od predhodna dva izraza sa izrazima (4.1.3) i (4.1.4) dobija se opšta forma matrice uzoraka $\mathbf{Z}$:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} & y_1 \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} & y_2 \\ x_{31} & x_{32} & \dots & x_{3n} & y_3 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{Nn} & y_N \end{bmatrix}_{NX(n+1)} = [\mathbf{z}_1 \quad \mathbf{z}_2 \quad \mathbf{z}_3 \quad \dots \quad \mathbf{z}_N]^T \quad (4.1.7)$$

Dakle, na osnovu, prethodno opisanih pravila označavanja ulazno-izlaznih vrednosti jednog uzorka, razmatrani uopšteni sistem se, u odnosu na taj uzorak, može predstaviti kao na slici 4.2.



Slika 4.2-Uopšteni sistem u odnosu na k -ti uzorak

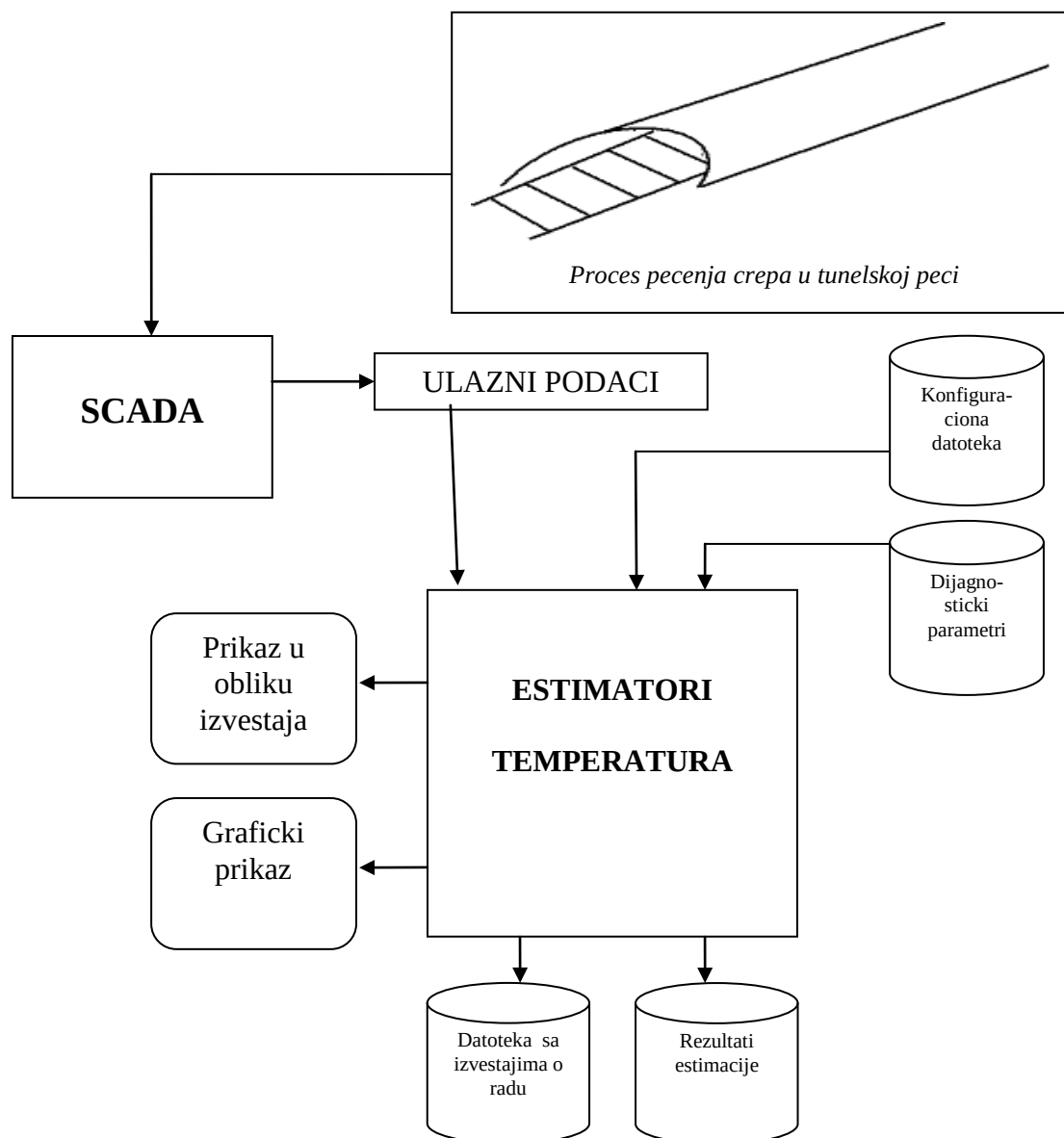
5. REALIZACIJA DIJAGNOSTIČKOG SISTEMA NA PRIMERU ESTIMACIJE TEMPERATURA U TUNELSKOJ PEĆI

5.1. Način rada programa *TSKOnline*

Konkretna realizacija dijagnostičkog sistema izvedena je u programskom paketu *Visual C++ 6.0* u vidu projekta nazvanog *TSKOnline*.

Kontrola nad kompleksnim sistemima zahteva pouzdane informacije o trenutnom tehnološkom stanju. Ovo stanje je definisano stanjem mnogih različitih komponenti. Neke od ovih komponenti su pod stalnim nadzorom SCADA sistema.

TSKOnline je program koji je predviđen za rad u realnom vremenu na operatorskoj stanici procesa C2. Koristi se tako što od SCADA sistema prima ulazne podatke (trenutne vrednosti temperatura), a zatim vrši njihovu estimaciju i na osnovu dobijene izlazne vrednosti vrši dijagnostiku režima rada sistema i po potrebi izdaje odgovarajuća obaveštenja.



Slika 5.1 – Blok dijagram realnog sistema

SCADA sistem koji nadgleda proces proizvodnje u određenom vremenskom intervalu (60 sekundi) šalje podatke estimatoru tako što ih smešta u određenu tekstualnu datoteku. Estimator prihvati podatke, obriše datoteku, obradi podatke i rezultate smesti u takođe predodređeni katalog, a ime datoteke u koju upisuje rezultate formira na osnovu datuma za koji su ulazni podaci prosleđeni (*godina_mesec_dan.txt*). Ova datoteka sadrži u svakoj vrsti sledeće podatke: vreme, estimirana i izmerena izlazna vrednost za svaki model (po redosledu iz konfiguracione datoteke). U isti katalog smeštaju se i izveštaji koje program formira u toku rada, sa imenom datoteke: *Izveštaji_godina_mesec.log*. Jednostavan grafički opis navedenog prikazan je dijagramom na slici 5.1. U nastavku ovog dokumenta biće detaljno opisan način rada ovog programa.

5.1.1 Opis funkcionalnosti i neophodne inicijalizacije

Po pokretanju programa *TSKOnline.exe* program izvrši neophodne inicijalizacije i učita dve datoteke koje su neophodne za njegov rad. Imena tih datoteka su navedena u prva dva reda datoteke sa ekstenzijom *ini*, tj. *TSKOnline.ini*. To su tzv. konfiguraciona datoteka (ekstenzije *cfg*) i datoteka sa dijagnostičkim parametrima (ekstenzije *txt*).

Konfiguraciona datoteka se prethodno mora pripremiti pomoću programa *TSKModel.exe*. Konfiguraciona datoteka (kao i datoteka sa dijagnostičkim parametrima) treba da se nalazi u istom katalogu u kojem se nalazi i program, inače će program javiti grešku pri pokušaju da je učita. U konfiguracionoj datoteci nalazi se zapis o broju modela, a zatim u novoj vrsti za svaki model sledi ime modela i u nastavku podaci o tome da li je model adaptivan i njegov faktor zaboravljanja ukoliko postoji (ako je podatak o adaptaciji različit od nule). Primer sadržaja konfiguracione datoteke:

```
8
21.mod 0
31.mod 0
34.mod 0
51.mod 0
75.mod 0
91.mod 0
96.mod 0
107.mod 0
```

Kao što je već napomenuto, modeli se konstruišu uz pomoć programa *TSKModel*. Prethodno se moraju pripremiti tzv. *train* tj. obučavajući skupovi za svaki model ponaosob. Obučavajući skupovi se formiraju na osnovu dobijenih rezultata u analizi iz glave 3 i na osnovu [9]:

1 ulaz	2 ulaz	3 ulaz	Izlaz
T32	T20	T22	T-21
T28	T30	T45	T-31
T32	T36	T35	T-34
T49	T52	T43	T-51
T76	T74	T77	T-75
T83	T85	T90	T-91
T97	T87	T103	T-96
T101	T105	T100	T-107

Tabela 5.1. - Konačan obučavajući skup za svih 8 modela

Dakle, obučavajući skup za model 21.mod bi se sastojao od ulaza: 32, 20 i 22 i izlaza 21, i tako redom za svih 8 temperatura.

Ovako konstruisani modeli moraju se nalaziti u istom katalogu u kojem je i program (iz istih razloga iz kojih se u tom katalogu mora nalaziti i konfiguraciona datoteka). Na osnovu njih se (kao što je već objašnjeno) vrši estimacija izlazne vrednosti a na osnovu nje i dijagnostika funkcionisanja sistema na jedan od dva ugrađena mehanizma.

Primer sadržaja ASCII datoteke:

3	5	10	30
6.5478250e+002	1.7935734e+001	5.917908	4.596798
7.9903630e+002	1.5450821e+001	9.257915	9.278562
7.0073000e+002	1.6092837e+001	5.930598	4.681746
8.4367830e+002	2.1537697e+001	7.397662	5.360647
9.7534700e+002	1.1196103e+001	7.199920	6.331461
9.7958590e+002	7.1551199e+000	3.658347	3.998014
6.6144770e+002	1.2832861e+001	9.310041	7.179467
5.7738010e+002	1.9936243e+001	8.354042	6.504328

Prvi i drugi parametar (3 i 5) služe kao ponderski koeficijenti pri određivanju opsega u kome je dozvoljeno kretanje greške. Treći parametar (10) služi za određivanje broja posle koliko uzastopnih alarma program treba da izda obaveštenje korisniku; a četvrti parametar (22) je vrednost koja predstavlja granicu za akumulaciju graške poslednjih 20 vrednosti koja ako se prekorači uzastopno onoliko puta koliko označava treći parametar, generiše se alarm.

Ostali podaci u datoteci su dobijeni na bazi proračuna za modele iz određene konfiguracione datoteke. Svaka vrsta odgovara jednom modelu, po istom redosledu modela navedenom u konfiguracionoj datoteci. Prva i druga vrednost predstavljaju srednju vrednost m i standardnu devijaciju s izlazne veličine tekućeg modela. Treća i četvrta vrednost predstavljaju srednju vrednost m' i standardnu devijaciju s' razlike izmerene (Y_i) i estimirane (Y_i') izlazne veličine (greške) tekućeg modela.

Nakon inicijalizacije promenljivih i uspešnog učitavanja dve navedene datoteke pokreću se tri niti i to: nit zadužena za proveru da li postoji ulazna datoteka, nit zadužena za obradu podataka i nit zadužena za komunikaciju sa programom *Graf.exe*.

Nit zadužena za proveru da li postoji ulazna datoteka proverava svakih 20 sekundi, tj. po isteku trećine perioda od 60 sekundi po kojem SCADA sistem šalje podatke, da li postoji datoteka *Estim10.txt* u katalogu koji je naveden u trećoj vrsti datoteke *TSKOnline.ini* i ako postoji postavlja događaj o postojanju datoteke koji očekuje druga nit koja je zadužena za obradu podataka.

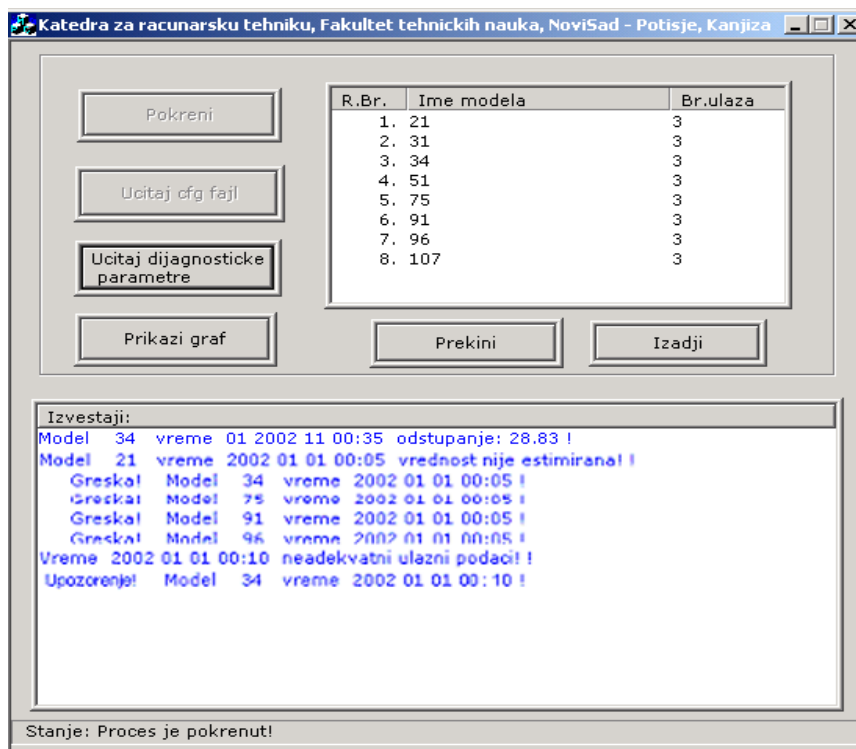
Nit zadužena za obradu podataka očekuje događaj o prispeću podataka i ako je on postavljen poziva funkciju za obradu podataka i postavlja događaj za *DDE* (Dynamic Data Exchange) komunikaciju u slučaju da je pokrenuta grafika.

Funkcija za obradu podataka prihvata ulazne podatke za svaki model: proveriti da li dimenzije ulaznih podataka odgovaraju ulaznim podacima modela i ako odgovaraju poziva funkciju koja traži odziv modela, briše ulaznu datoteku, zatim postavlja događaj za komunikaciju sa programom zaduženim za grafiku (ako je potrebno), uklanja događaj o postojanju ulazne datoteke i generiše alarm ukoliko je potrebno.

Nit zadužena za komunikaciju sa programom *Graf.exe* prihvata podatke koje prosleđuje funkcija koja je zadužena za obradu podataka i šalje ih programu *Graf.exe*, ako je pokrenut, koji ih prihvata pomoću *DDE* komunikacije i grafički prikazuje.

Ulazna datoteka (*Estim10.txt*) koju očekuje prva nit sastoji se od jedne vrste u kojoj su prvo navedeni godina, mesec, dan, sat, minut i sekund a zatim podaci (ulazi i izlaz) za onoliko modela koliko ih ima u konfiguracionoj datoteci.

Nakon učitavanja svih neophodnih datoteka i pokretanja programa posle izvesnog vremena on izgleda kao na slici 5.2.



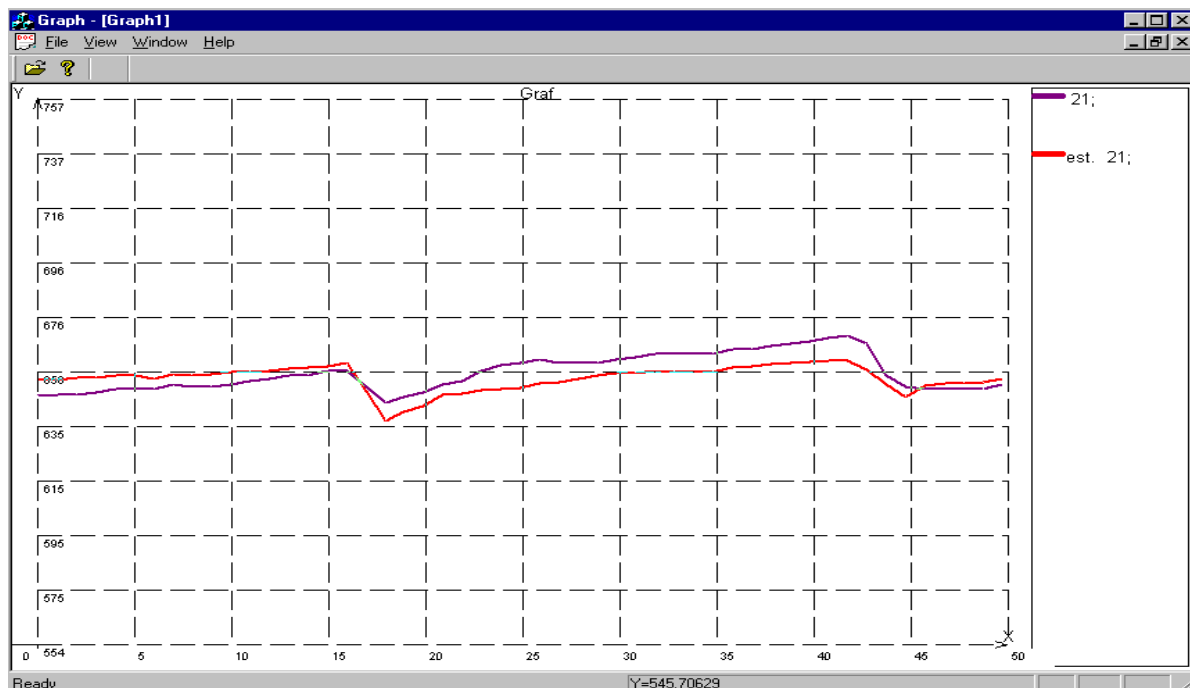
Slika 5.2. - Izgled programa u toku rada

Kao što se može uočiti sa slice 5.2. program u toku rada izdaje i odgovarajuća obaveštenja korisniku. Ova obeštenja imaju sledeće značenje:

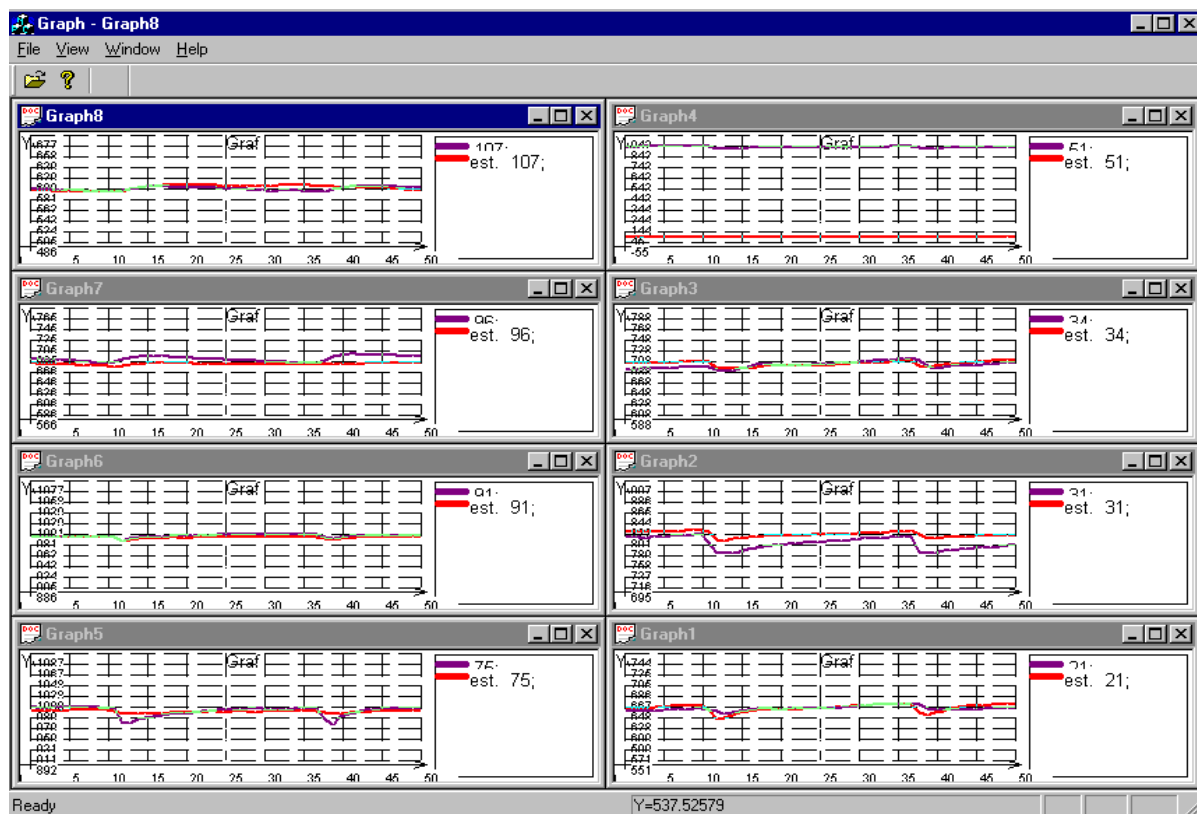
- obaveštenje "*Model xy vreme z vrednost nije estimirana*" znači da neki od ulaznih podataka za model xy u vremenu z nisu bili adekvatni za estimator (jedan ili više ulaza su manji ili jednaki nuli), tako da vrednost nije estimirana već je postavljena na vrednost "0";
- obaveštenje "*Vreme z neadekvatni ulazni podaci*" označava da bar jedan ulaz u svakom od modela nije bio adekvatan u smislu estimacije (manji ili jednak nuli), a kao posledica toga sve estimirane vrednosti su postavljene na nulu (za svaki od modela);
- obaveštenje "*Greška! Model xy vreme z*" predstavlja upozorenje za model xy u vremenu z da se estimirana i izmerena vrednost bitno razlikuju (na osnovu parametara datih u ASCII datoteci sa dijagnostičkim parametrima – strana 21);
- obaveštenje "*Upozorenje! Model xy vreme z*" predstavlja takođe upozorenje o razmimoilaženju estimirane i izmerene vrednosti na datom modelu xy, ali u manjem opsegu od prethodnog (u tom smislu se ispisuje "upozorenje" ili "greška"). Kao i u prethodnom slučaju, generisanje poruke određuju parametri dati u ASCII datoteci dijagnostičkih parametara.

5.1.2 Grafički korisnički interfejs

Ugrađena grafička podrška omogućava korisniku da u svakom trenutku grafički prati jednu ili više karakterističnih temperatura. Za svaku od temperatura se istovremeno *online* prikazuju izmerena i estimirana vrednost temperature - slike 5.3 i 5.4.



Slika 5.3 – Prikaz temperature T21



Slika 5.4 – Prikaz svih osam temperatura istovremeno

5.2. Dijagnostički proračun

Dijagnostički proračun funkcioniše na jednom od dva ugrađena mehanizma i to u zavisnosti od toga da li u datom momentu postoji izmerena vrednost odgovarajuće temperature ili ne.

5.2.1 Dijagnostika u slučaju da ne postoji izmerena vrednost

Dijagnostika se zasniva na proceni odsupanja neke vrednosti od njene srednje vrednosti koja je proračunata na dužem vremenskom periodu. Ako se za slučajnu promenljivu Y izabere skup poznatih vrednosti $Y=\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$, tada se mogu odrediti srednja vrednost m i standardna devijacija s date slučajne promenljive, respektivno, gde je $D(Y)$ varijansa (disperzija) slučajne promenljive Y :

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (5.2.1)$$

$$s = \sqrt{D(Y)} \quad (5.2.2)$$

Na osnovu podataka iz datoteke sa dijagnostičkim parametrima određuju opsezi za svaki od modela za izračunavanje grešaka:

$$\text{opseg1} = 3s \quad (5.2.3)$$

$$\text{opseg2} = 5s \quad (5.2.4)$$

Greške se tako detektuju na sledeći način:

$$m - \text{opseg1} < Y' < m + \text{opseg1} \quad (5.2.5)$$

$$m - \text{opseg2} \leq Y' \leq m - \text{opseg1} \text{ ili } m + \text{opseg1} \leq Y' \leq m + \text{opseg2} \quad (5.2.6)$$

$$Y' > m + \text{opseg2} \text{ ili } Y' < m - \text{opseg2} \quad (5.2.7)$$

Ukoliko se vrednost nađe u opsegu (5.2.5) ne generiše se obaveštenje jer se estimirana vrednost nalazi unutar dozvoljenog opsega. Ukoliko se vrednost nađe u opsegu (5.2.6) generiše se obaveštenje: “Upozorenje! Model xy vreme z”. Ukoliko se vrednost nađe u opsegu (5.2.7) generiše se obaveštenje: “Greška! Model xy vreme z”.

5.2.2 Dijagnostika u slučaju da postoji izmerena vrednost

Dijagnostika u ovom slučaju se zasniva na proceni odsupanja neke vrednosti od srednje vrednosti (m') greške, tj. razlike izmerene (Y_i) i estimirane (Y_i') izlazne veličine tekućeg modela:

$$m' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - Y_i'| \quad (5.2.8)$$

$$s' = \sqrt{D(|Y - Y'|)} \quad (5.2.9)$$

Na osnovu koeficijenata iz datoteke sa dijagnostičkim parametrima opsezi su:

$$\text{opseg1}' = 3s' \quad (5.2.10)$$

$$\text{opseg2}' = 5s' \quad (5.2.11)$$

Greške se tako detektuju na sledeći način:

$$0 \leq |Y - Y'| < m' + \text{opseg1}' \quad (5.2.12)$$

$$m' + \text{opseg1}' \leq |Y - Y'| \leq m' + \text{opseg2}' \quad (5.2.13)$$

$$m' + \text{opseg2}' < |Y - Y'| \quad (5.2.14)$$

Ukoliko se vrednost nađe u opsegu (5.2.12) ne generišu se alarmi, a ukoliko se vrednost nađe u jednom od poslednja dva opsega izračuna se vrednost:

$$VR = \frac{|Y - Y'|}{\text{opseg1}'} \quad (5.2.15)$$

Vrednost iz formule (5.2.15) se sumira, tj. nalazi se akumulacija ove vrednosti u poslednjih 20 tačaka:

$$\text{akumulacija} = \sum_{i=n-20}^n VR_i \quad (5.2.16)$$

Ukoliko je za model xy u vremenu z došlo do generisanja alarma: “*Model xy vreme z odstupanje: j* ” to znači da je akumulacija greške u poslednjih 20 vrednosti bila veća od zadatog četvrtog parametra u prvoj vrsti datoteke *Parametri.txt* uzastopno onoliko puta koliko označava treći parametar u datoteci, a odstupanje izmerene od estimirane vrednosti u tom trenutku iznosi j .

NAPOMENA: ukoliko postoji izmerena vrednost izlaza (Y) za svaki od modela, proračun greške se obavezno vrši na način opisan u poglavlju 5.2.1., jedino ukoliko izmerena vrednost ne postoji, proračun se vrši na način opisan u poglavlju 5.2.2.

6. ANALIZA REZULTATA OSTVARENIH U REALNOM SISTEMU

6.1. Ilustracija rezultata

Ilustracija dijagnostike sistema data je na primeru dijagnostike temperatura u tunelskoj peći. Rezultati su posledica rada programa u realnom vremenu i u stvarnom procesu proizvodnje.

Sadržaj datoteke sa izveštajima za period od 14. do 16. decembra 2002. god. (Izveštaj_02_12.log):

```
Vreme 02 12 14 12:02 neadekvatni ulazni podaci!
Model 34 vreme 02 12 14 12:30 odstupanje: 29.63
Model 34 vreme 02 12 14 13:22 odstupanje: 36.01
Model 34 vreme 02 12 14 13:32 odstupanje: 23.73
Model 34 vreme 02 12 14 13:42 odstupanje: 21.44
Model 34 vreme 02 12 14 16:10 odstupanje: 39.88
Model 34 vreme 02 12 14 16:20 odstupanje: 26.79
Model 34 vreme 02 12 14 16:30 odstupanje: 23.49
Model 34 vreme 02 12 14 16:40 odstupanje: 23.30
Model 34 vreme 02 12 14 16:58 odstupanje: 32.20
Model 34 vreme 02 12 14 17:08 odstupanje: 35.71
Model 34 vreme 02 12 14 17:18 odstupanje: 20.30
Model 34 vreme 02 12 14 17:57 odstupanje: 32.40
Model 34 vreme 02 12 14 18:07 odstupanje: 29.99
Model 34 vreme 02 12 14 19:04 odstupanje: 19.64
Model 107 vreme 02 12 14 19:28 odstupanje: 39.27
Model 107 vreme 02 12 14 19:38 odstupanje: 34.43
Model 107 vreme 02 12 14 19:48 odstupanje: 28.34
Model 34 vreme 02 12 14 20:50 odstupanje: 44.37
Model 34 vreme 02 12 14 21:00 odstupanje: 15.94
Model 34 vreme 02 12 14 21:47 odstupanje: 46.65
Model 34 vreme 02 12 14 21:57 odstupanje: 10.08
Model 34 vreme 02 12 14 22:49 odstupanje: 15.98
Model 34 vreme 02 12 15 02:26 odstupanje: 35.59
Model 34 vreme 02 12 15 02:36 odstupanje: 15.39
Model 34 vreme 02 12 15 04:11 odstupanje: 38.74
Model 34 vreme 02 12 15 04:21 odstupanje: 38.60
Model 34 vreme 02 12 15 04:31 odstupanje: 18.18
Model 34 vreme 02 12 15 06:17 odstupanje: 12.21
Model 34 vreme 02 12 15 08:07 odstupanje: 21.50
Vreme 02 12 16 03:28 neadekvatni ulazni podaci!
```

Vrste označene bojama su na isti način obeležene u nastavku, tj. u datotekama sa konkretnim vrednostima izmerenih i estimiranih veličina korespondentnom bojom je označeno mesto na kom je generisan alarm. Npr: alarm označen plavom bojom je generisan 14. 12. 2002. god. u 12:02h i zaista u to vreme u datoteci *02_12_14.txt* su se pojavile sve nulte vrednosti (što je takođe označeno plavom bojom na sledećoj strani). Što se tiče sledeće vrste koja je označena crvenom bojom generisan je alarm za model 34 sa datim odstupanjem izmerene od estimirane vrednosti (to mesto je takođe obeleženo crvenom bojom u datoteci sa rezultatima – to je treći model po redu sa leve strane jer je treći po redu i u konfiguracionoj datoteci). Može se primetiti da je odstupanje upravo onoliko koliko je navedeno u poruci alarma. Na sličan način pronađeni su i ostali alarmi označeni bojama.

*Realizacija programske podrške sistema za vođenje tunelske peći u prelaznom režimu rada
i sistema za detekciju neočekivanih događaja*

Delovi datoteka sa konkretnim vrednostima izmerene i estimirane izlazne vrednosti za
14.12.2002. god.(02_12_14.txt):

```
12 14 02 12 00 00 643.31 644.00 810.04 831.00 701.32 685.00 839.24 848.00 984.68 982.00 971.72 973.00 664.48 672.00 581.76 583.00
12 14 02 12 01 00 643.73 645.00 810.25 832.00 701.66 685.00 848.52 848.00 984.99 983.00 971.74 974.00 663.56 671.00 581.76 583.00
12 14 02 12 02 00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
12 14 02 12 03 00 644.17 646.00 810.25 831.00 702.05 686.00 839.74 850.00 984.21 984.00 971.74 973.00 661.76 670.00 583.83 582.00
12 14 02 12 04 00 642.76 646.00 804.87 828.00 689.08 682.00 839.31 836.00 985.58 970.00 971.00 963.00 661.73 669.00 583.19 581.00
...
12 14 02 12 20 00 641.60 625.00 809.79 820.00 698.94 671.00 841.56 844.00 985.88 981.00 973.26 975.00 668.23 676.00 580.44 588.00
12 14 02 12 21 00 641.60 625.00 810.14 822.00 699.90 672.00 843.10 844.00 985.87 981.00 973.26 975.00 666.74 676.00 579.56 587.00
12 14 02 12 22 00 642.47 626.00 810.34 823.00 700.89 674.00 840.53 845.00 985.84 982.00 973.26 975.00 666.74 676.00 578.95 587.00
12 14 02 12 23 00 643.37 627.00 810.71 823.00 701.77 677.00 843.54 847.00 985.87 982.00 973.90 974.00 666.74 675.00 580.44 586.00
12 14 02 12 24 00 644.56 628.00 811.18 825.00 702.16 679.00 840.40 847.00 985.81 982.00 974.06 974.00 667.21 675.00 578.95 586.00
12 14 02 12 25 00 645.23 629.00 811.94 826.00 702.76 677.00 840.86 848.00 985.60 983.00 974.06 975.00 665.31 675.00 578.95 586.00
12 14 02 12 26 00 644.62 628.00 811.94 826.00 702.73 676.00 845.64 849.00 985.67 984.00 973.26 976.00 664.33 674.00 578.62 586.00
12 14 02 12 27 00 644.83 628.00 812.08 825.00 702.83 677.00 846.57 851.00 985.37 984.00 973.93 976.00 663.91 673.00 578.62 585.00
12 14 02 12 28 00 645.08 628.00 812.35 827.00 702.83 676.00 838.90 852.00 984.86 985.00 973.93 975.00 662.59 673.00 578.62 585.00
12 14 02 12 29 00 644.17 628.00 812.48 826.00 702.63 671.00 842.98 852.00 984.86 984.00 973.90 974.00 662.59 671.00 578.04 585.00
12 14 02 12 30 00 643.98 626.00 811.72 826.00 702.63 673.00 845.77 853.00 985.62 985.00 973.90 974.00 661.29 671.00 577.37 584.00
12 14 02 12 31 00 644.62 627.00 812.90 827.00 702.73 675.00 843.76 855.00 985.07 986.00 973.90 974.00 660.08 670.00 576.39 584.00
12 14 02 12 32 00 643.29 627.00 812.87 813.00 695.74 671.00 844.09 834.00 984.05 967.00 971.99 963.00 659.88 665.00 575.37 582.00
12 14 02 12 33 00 630.26 625.00 800.93 779.00 688.71 664.00 829.43 813.00 975.62 961.00 969.37 970.00 665.39 663.00 581.40 588.00
12 14 02 12 34 00 629.56 620.00 793.60 789.00 683.38 662.00 827.55 813.00 978.44 966.00 971.24 975.00 671.13 671.00 582.74 595.00
12 14 02 12 35 00 641.51 619.00 797.53 797.00 684.35 664.00 832.32 815.00 980.46 969.00 971.47 977.00 674.68 670.00 584.03 598.00
12 14 02 12 36 00 632.76 620.00 801.05 802.00 685.96 668.00 830.60 815.00 982.18 969.00 972.28 977.00 678.37 675.00 582.55 600.00
12 14 02 12 37 00 635.35 623.00 803.23 807.00 688.51 673.00 835.46 818.00 984.07 971.00 973.27 979.00 680.85 677.00 583.59 601.00
12 14 02 12 38 00 636.36 626.00 805.53 810.00 691.19 675.00 833.31 821.00 984.74 973.00 973.46 977.00 679.40 676.00 579.59 601.00
12 14 02 12 39 00 637.32 628.00 806.26 812.00 692.29 677.00 833.96 822.00 985.44 974.00 973.46 977.00 680.12 676.00 580.81 601.00
12 14 02 12 40 00 637.81 629.00 807.11 813.00 693.19 678.00 834.24 824.00 985.90 974.00 974.10 976.00 681.82 678.00 580.05 601.00
...
12 14 02 13 12 00 637.98 633.00 808.88 813.00 699.16 658.00 836.98 838.00 985.79 976.00 972.89 977.00 667.52 669.00 569.17 576.00
12 14 02 13 13 00 638.81 634.00 809.40 813.00 699.84 658.00 838.37 840.00 985.65 977.00 972.89 978.00 666.17 669.00 569.17 577.00
12 14 02 13 14 00 639.11 635.00 809.90 813.00 700.84 660.00 835.64 840.00 985.52 978.00 973.52 977.00 665.17 669.00 567.47 578.00
12 14 02 13 15 00 639.87 636.00 809.87 814.00 701.02 661.00 838.43 841.00 985.21 978.00 972.89 977.00 664.22 669.00 567.47 577.00
12 14 02 13 16 00 640.25 636.00 810.26 817.00 701.92 662.00 832.57 843.00 985.21 979.00 973.02 977.00 665.19 670.00 565.87 576.00
12 14 02 13 17 00 640.32 638.00 810.98 816.00 703.01 664.00 840.44 846.00 984.56 981.00 973.74 978.00 664.24 668.00 568.98 576.00
12 14 02 13 18 00 640.64 637.00 810.84 816.00 702.81 664.00 837.57 845.00 984.80 980.00 973.52 976.00 663.33 668.00 562.20 575.00
12 14 02 13 19 00 641.35 638.00 811.09 817.00 703.18 665.00 840.96 846.00 984.25 981.00 972.89 976.00 661.90 667.00 562.20 575.00
12 14 02 13 20 00 641.79 639.00 811.54 817.00 703.66 666.00 841.56 848.00 984.06 981.00 973.52 976.00 661.08 667.00 562.20 575.00
12 14 02 13 21 00 643.05 640.00 812.24 820.00 704.01 666.00 837.81 849.00 983.70 981.00 973.66 976.00 662.32 667.00 561.05 575.00
12 14 02 13 22 00 642.73 641.00 812.46 819.00 704.01 668.00 842.08 852.00 983.41 983.00 974.38 977.00 660.32 665.00 564.36 576.00
12 14 02 13 23 00 642.98 642.00 812.46 820.00 704.08 668.00 840.16 851.00 983.70 983.00 972.82 976.00 660.08 665.00 560.41 574.00
12 14 02 13 24 00 643.58 642.00 812.87 822.00 704.16 668.00 844.59 851.00 983.19 983.00 972.82 976.00 659.33 665.00 559.13 573.00
12 14 02 13 25 00 643.58 642.00 812.76 822.00 704.10 669.00 844.12 852.00 982.93 983.00 973.52 975.00 658.64 664.00 559.13 573.00
12 14 02 13 26 00 643.77 642.00 813.72 825.00 704.10 669.00 841.42 853.00 982.93 983.00 973.52 976.00 657.92 664.00 557.89 573.00
12 14 02 13 27 00 644.58 642.00 814.57 824.00 704.05 669.00 845.55 854.00 982.58 984.00 973.52 976.00 659.12 664.00 558.32 572.00
12 14 02 13 28 00 637.10 643.00 809.69 800.00 703.74 671.00 839.10 849.00 982.67 983.00 973.20 974.00 659.51 661.00 559.13 573.00
12 14 02 13 29 00 631.70 639.00 792.30 782.00 682.29 664.00 832.38 815.00 979.08 962.00 969.07 964.00 666.29 669.00 561.54 575.00
12 14 02 13 30 00 634.62 639.00 798.08 794.00 683.81 660.00 832.00 813.00 981.38 968.00 969.70 971.00 671.83 673.00 573.05 585.00
12 14 02 13 31 00 636.08 643.00 801.29 798.00 687.71 663.00 836.47 818.00 984.19 973.00 971.25 975.00 677.45 673.00 577.60 593.00
12 14 02 13 32 00 636.90 643.00 802.63 802.00 688.73 665.00 837.54 819.00 984.46 974.00 971.25 975.00 679.17 674.00 576.77 595.00
12 14 02 13 33 00 638.54 644.00 803.62 806.00 690.54 667.00 837.18 822.00 985.36 975.00 971.42 974.00 681.26 674.00 577.30 596.00
12 14 02 13 34 00 639.39 645.00 805.25 810.00 691.71 668.00 833.90 824.00 985.70 976.00 971.49 974.00 683.18 674.00 577.69 598.00
12 14 02 13 35 00 639.52 647.00 806.26 812.00 695.21 671.00 839.96 826.00 985.93 978.00 972.47 976.00 682.27 675.00 578.87 598.00
12 14 02 13 36 00 639.96 647.00 806.54 812.00 695.21 671.00 838.12 828.00 985.78 978.00 971.62 975.00 682.27 675.00 577.69 597.00
12 14 02 13 37 00 640.71 648.00 807.14 814.00 695.89 671.00 838.97 829.00 985.32 978.00 971.71 975.00 682.27 675.00 577.26 597.00
12 14 02 13 38 00 640.65 648.00 807.58 816.00 696.49 673.00 838.38 832.00 985.32 979.00 971.71 975.00 682.27 675.00 577.83 598.00
12 14 02 13 39 00 641.00 648.00 807.86 814.00 697.07 673.00 837.78 832.00 985.32 980.00 972.34 975.00 681.20 674.00 577.25 598.00
12 14 02 13 40 00 641.31 651.00 808.89 817.00 698.05 672.00 841.18 833.00 984.98 980.00 971.71 974.00 682.83 674.00 577.25 598.00
12 14 02 13 41 00 642.83 655.00 809.87 818.00 700.85 678.00 845.18 836.00 984.18 982.00 973.49 975.00 682.13 676.00 578.84 599.00
12 14 02 13 42 00 643.14 654.00 810.11 821.00 700.44 679.00 838.22 837.00 984.17 982.00 972.47 974.00 681.70 674.00 577.51 597.00
12 14 02 13 43 00 643.63 655.00 810.53 823.00 701.51 680.00 841.49 838.00 984.17 982.00 972.47 974.00 682.13 674.00 577.51 597.00
12 14 02 13 44 00 644.78 656.00 811.13 824.00 702.86 683.00 842.39 841.00 983.69 984.00 973.35 974.00 681.18 674.00 577.20 598.00
12 14 02 13 45 00 645.13 658.00 811.40 825.00 703.54 684.00 847.29 841.00 982.68 985.00 973.35 975.00 680.84 674.00 577.20 597.00
12 14 02 13 46 00 645.52 659.00 811.54 825.00 703.88 684.00 846.80 842.00 982.56 986.00 972.61 974.00 679.36 673.00 577.80 597.00
```

*Realizacija programske podrške sistema za vođenje tunelske peći u prelaznom režimu rada
i sistema za detekciju neočekivanih događaja*

Delovi datoteka sa konkretnim vrednostima izmerene i estimirane izlazne vrednosti za
15. 12. 2002. god.(02_12_15.txt):

12 15 02 02 16 00 630.23 624.00 800.66 807.00 675.22 643.00 831.29 829.00 985.92 977.00 971.11 968.00 668.28 681.00 575.53 594.00
12 15 02 02 17 00 630.23 624.00 800.88 806.00 675.56 644.00 828.17 831.00 985.92 978.00 971.11 968.00 667.31 681.00 575.61 594.00
12 15 02 02 18 00 630.07 625.00 801.33 806.00 677.30 644.00 834.91 832.00 985.97 978.00 971.23 968.00 667.31 680.00 575.62 593.00
12 15 02 02 19 00 630.63 625.00 802.25 809.00 678.32 646.00 831.47 833.00 985.97 979.00 971.23 968.00 666.36 680.00 574.94 592.00
12 15 02 02 20 00 630.85 625.00 802.80 810.00 681.26 646.00 832.53 834.00 985.93 980.00 971.11 968.00 666.36 679.00 575.10 591.00
12 15 02 02 21 00 631.40 626.00 803.07 811.00 681.26 647.00 833.86 835.00 985.99 980.00 971.11 969.00 666.36 678.00 575.81 591.00
12 15 02 02 22 00 631.76 627.00 803.83 810.00 682.78 648.00 834.00 836.00 986.08 981.00 971.11 969.00 664.76 678.00 575.13 591.00
12 15 02 02 23 00 632.53 628.00 804.11 813.00 683.35 649.00 831.93 836.00 985.86 981.00 971.11 968.00 664.76 678.00 575.22 590.00
12 15 02 02 24 00 632.53 628.00 804.11 815.00 684.76 650.00 834.90 838.00 985.51 982.00 971.11 969.00 664.16 678.00 575.22 590.00
12 15 02 02 25 00 632.53 628.00 805.14 814.00 685.57 651.00 831.49 839.00 985.67 982.00 971.11 969.00 663.27 677.00 575.25 590.00
12 15 02 02 26 00 633.30 629.00 805.74 816.00 686.59 651.00 838.31 840.00 985.42 982.00 971.01 969.00 662.76 675.00 575.25 590.00
12 15 02 02 27 00 633.30 630.00 806.30 815.00 687.35 652.00 838.86 841.00 985.42 983.00 971.11 969.00 661.26 674.00 575.33 589.00
12 15 02 02 28 00 633.54 630.00 806.59 817.00 689.00 652.00 834.39 842.00 985.42 983.00 971.11 968.00 660.80 674.00 575.37 588.00
12 15 02 02 29 00 632.82 630.00 806.46 814.00 688.14 653.00 833.76 843.00 985.25 983.00 971.11 968.00 663.67 677.00 575.25 588.00
12 15 02 02 30 00 633.34 630.00 806.46 814.00 687.64 650.00 839.40 842.00 985.25 983.00 971.23 967.00 659.80 674.00 575.53 587.00
12 15 02 02 31 00 633.71 630.00 806.74 818.00 688.59 650.00 840.55 845.00 984.67 984.00 971.23 968.00 659.80 674.00 575.53 587.00
12 15 02 02 32 00 624.09 629.00 800.02 794.00 678.21 649.00 833.44 836.00 985.04 974.00 970.40 962.00 662.33 667.00 575.50 586.00
12 15 02 02 33 00 622.77 626.00 776.64 783.00 660.28 643.00 826.58 813.00 976.23 951.00 968.55 959.00 664.63 677.00 574.26 589.00
12 15 02 02 34 00 625.95 625.00 775.29 787.00 659.74 641.00 825.49 810.00 981.30 960.00 968.79 965.00 669.06 683.00 573.82 597.00
12 15 02 02 35 00 627.33 626.00 778.10 792.00 660.19 642.00 823.93 813.00 984.07 966.00 969.20 969.00 675.02 685.00 574.18 601.00
12 15 02 02 36 00 628.08 626.00 780.05 794.00 660.39 645.00 825.29 816.00 985.22 968.00 969.89 969.00 677.31 687.00 576.45 603.00
12 15 02 02 37 00 628.64 627.00 782.85 796.00 661.64 647.00 830.83 818.00 985.76 970.00 969.77 970.00 679.22 687.00 577.15 605.00
12 15 02 02 38 00 629.05 628.00 783.79 799.00 662.34 648.00 831.81 819.00 985.51 971.00 969.83 970.00 679.64 687.00 576.73 605.00
12 15 02 02 39 00 629.46 629.00 786.47 800.00 663.14 648.00 830.63 821.00 985.29 972.00 969.83 970.00 679.32 687.00 577.80 606.00
12 15 02 02 40 00 629.87 630.00 786.91 800.00 663.42 650.00 827.22 821.00 985.42 973.00 970.37 971.00 679.32 687.00 576.73 606.00
12 15 02 02 41 00 630.65 630.00 788.38 802.00 664.71 652.00 831.08 823.00 985.22 974.00 970.53 971.00 679.73 687.00 577.80 606.00
12 15 02 02 42 00 631.76 631.00 791.21 802.00 666.16 653.00 833.72 825.00 984.91 974.00 970.53 970.00 679.73 687.00 576.73 605.00
12 15 02 02 43 00 632.94 634.00 794.23 805.00 669.02 655.00 835.17 826.00 984.52 975.00 970.61 971.00 678.35 687.00 577.41 604.00
12 15 02 02 44 00 633.86 634.00 796.67 806.00 670.92 657.00 834.23 828.00 984.18 976.00 970.61 970.00 678.80 687.00 577.41 604.00
12 15 02 02 45 00 634.12 636.00 798.87 806.00 675.03 659.00 834.23 829.00 983.22 977.00 970.61 970.00 678.90 687.00 577.41 604.00
12 15 02 02 46 00 634.89 637.00 800.05 809.00 676.70 660.00 830.65 830.00 983.05 978.00 971.25 969.00 677.63 687.00 577.41 603.00

12 15 02 04 01 00 630.36 624.00 790.30 783.00 681.85 648.00 820.70 806.00 982.94 973.00 971.98 970.00 670.84 682.00 571.92 584.00
12 15 02 04 02 00 630.77 625.00 792.17 786.00 682.69 649.00 820.90 807.00 983.70 975.00 971.90 970.00 670.84 683.00 571.98 583.00
12 15 02 04 03 00 631.53 625.00 793.96 788.00 685.10 650.00 816.96 809.00 983.70 975.00 972.07 970.00 672.16 683.00 571.95 583.00
12 15 02 04 04 00 631.96 625.00 794.54 787.00 686.57 651.00 821.81 810.00 983.92 975.00 972.07 970.00 672.00 683.00 572.02 583.00
12 15 02 04 05 00 632.74 625.00 796.31 790.00 687.45 650.00 820.62 811.00 983.92 976.00 972.07 970.00 671.54 684.00 572.05 582.00
12 15 02 04 06 00 633.32 626.00 797.84 791.00 688.67 650.00 821.09 812.00 983.67 977.00 972.07 970.00 670.68 684.00 572.12 581.00
12 15 02 04 07 00 633.32 626.00 798.89 792.00 689.34 651.00 820.03 813.00 983.67 977.00 972.07 971.00 670.31 684.00 572.19 581.00
12 15 02 04 08 00 633.54 626.00 799.64 793.00 690.25 652.00 821.30 814.00 983.88 978.00 972.07 970.00 668.48 683.00 572.19 579.00
12 15 02 04 09 00 633.99 626.00 800.01 792.00 691.40 652.00 821.57 816.00 984.12 978.00 972.00 969.00 668.48 683.00 571.54 578.00
12 15 02 04 10 00 633.19 627.00 800.01 793.00 690.51 652.00 821.02 816.00 983.42 978.00 971.25 968.00 666.53 681.00 571.12 577.00
12 15 02 04 11 00 634.81 626.00 800.30 795.00 692.74 654.00 822.79 818.00 983.88 980.00 971.84 969.00 667.34 682.00 571.65 578.00
12 15 02 04 12 00 634.45 627.00 801.15 796.00 693.61 653.00 823.44 820.00 984.35 981.00 972.00 970.00 667.99 681.00 571.73 578.00
12 15 02 04 13 00 635.27 628.00 801.41 799.00 694.89 655.00 822.29 821.00 984.68 981.00 972.00 969.00 666.25 681.00 571.77 577.00
12 15 02 04 14 00 635.27 628.00 800.92 799.00 694.42 653.00 823.01 820.00 984.49 980.00 972.00 969.00 665.49 679.00 571.86 576.00
12 15 02 04 15 00 635.27 627.00 801.67 797.00 695.46 654.00 821.95 821.00 984.49 981.00 972.17 970.00 665.18 677.00 571.86 576.00
12 15 02 04 16 00 636.12 628.00 802.22 799.00 696.21 656.00 825.62 822.00 984.68 982.00 972.00 969.00 663.85 676.00 571.86 575.00
12 15 02 04 17 00 636.50 629.00 802.80 800.00 697.39 658.00 826.06 824.00 984.68 982.00 972.00 969.00 663.51 676.00 571.35 574.00
12 15 02 04 18 00 636.12 629.00 802.96 802.00 696.67 658.00 823.16 824.00 984.56 982.00 971.42 969.00 661.27 673.00 571.52 573.00
12 15 02 04 19 00 636.50 629.00 803.08 802.00 697.84 659.00 824.41 825.00 984.47 983.00 971.25 968.00 660.68 674.00 571.01 572.00
12 15 02 04 20 00 638.25 630.00 803.96 805.00 699.54 662.00 828.08 827.00 984.85 984.00 971.95 969.00 661.87 675.00 570.91 573.00
12 15 02 04 21 00 637.76 632.00 804.11 805.00 699.60 661.00 828.08 827.00 985.14 983.00 971.36 968.00 659.76 674.00 571.80 572.00
12 15 02 04 22 00 639.15 631.00 804.99 806.00 700.97 664.00 826.74 828.00 985.01 985.00 972.00 969.00 660.75 675.00 571.01 573.00
12 15 02 04 23 00 639.58 632.00 804.87 807.00 701.15 665.00 828.25 829.00 985.01 984.00 972.00 969.00 659.76 673.00 571.62 571.00
12 15 02 04 24 00 636.68 632.00 804.40 792.00 687.93 664.00 820.90 800.00 979.57 965.00 970.58 956.00 659.34 672.00 571.70 572.00
12 15 02 04 25 00 626.64 631.00 780.54 770.00 679.81 656.00 816.75 789.00 978.50 962.00 968.57 965.00 662.54 677.00 569.91 579.00
12 15 02 04 26 00 638.10 625.00 772.30 769.00 674.79 652.00 816.51 792.00 981.39 966.00 969.73 968.00 668.38 681.00 569.67 585.00
12 15 02 04 27 00 629.38 625.00 774.39 773.00 671.97 653.00 810.49 795.00 983.36 968.00 969.96 969.00 671.74 682.00 569.12 586.00
12 15 02 04 28 00 630.67 627.00 776.91 779.00 673.28 654.00 818.28 798.00 984.60 969.00 969.88 970.00 675.93 683.00 568.63 587.00
12 15 02 04 29 00 631.79 627.00 779.56 779.00 674.98 657.00 816.44 801.00 985.37 971.00 970.61 971.00 678.14 684.00 568.63 586.00
12 15 02 04 30 00 632.56 628.00 783.22 783.00 676.70 659.00 816.07 803.00 985.24 971.00 970.71 971.00 679.07 684.00 568.70 585.00
12 15 02 04 31 00 633.68 630.00 786.27 785.00 679.18 661.00 820.45 805.00 984.96 971.00 970.71 970.00 679.07 684.00 568.63 585.00
12 15 02 04 32 00 635.71 631.00 790.24 788.00 682.05 662.00 821.71 807.00 984.49 973.00 972.12 972.00 681.17 685.00 568.56 586.00

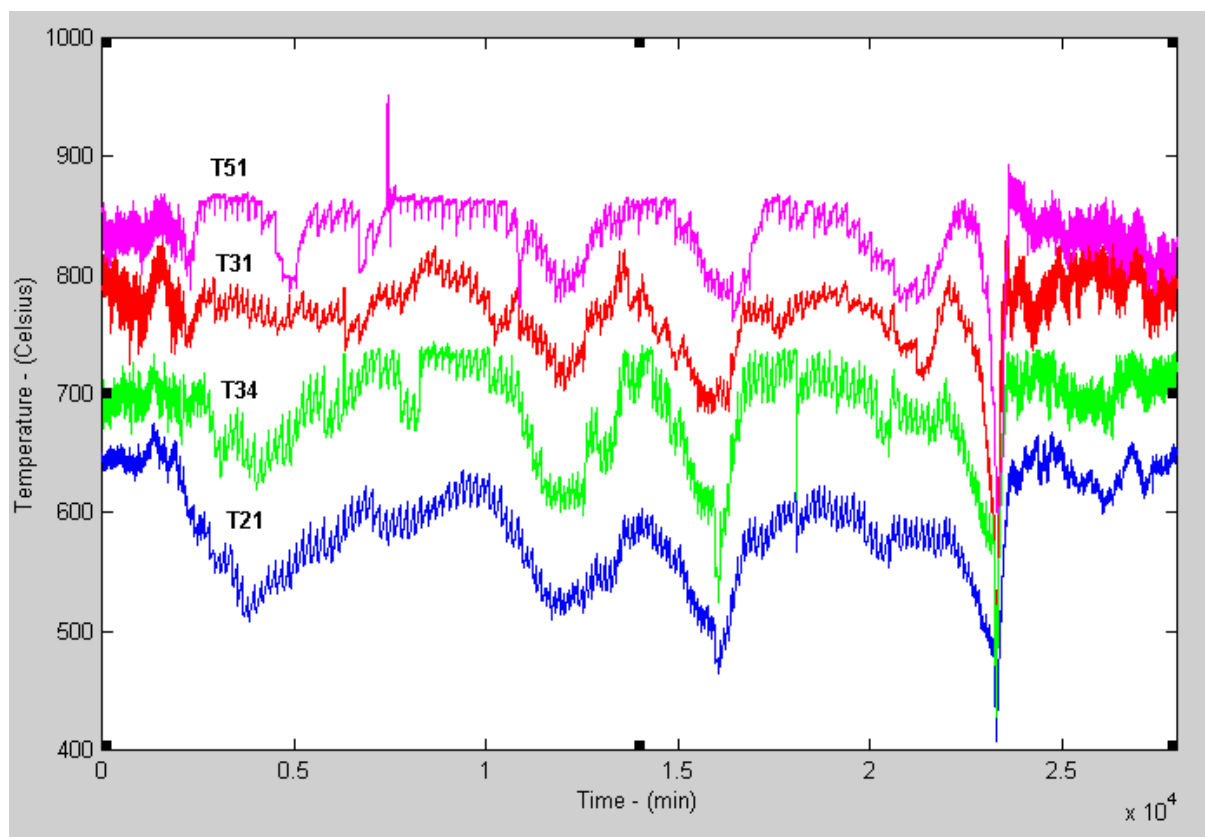
7. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA SA ASPEKTA GENERISANIH ALARMA U USPORENOM REŽIMU RADA

7.1. Prikaz stanja u usporenom režimu rada

Dobijeni rezultati su analizirani na vremenskom periodu u kojem sistem prelazi u tzv. usporeni režim rada, režim S (glava 3), pošto se u tom režimu očekuje najveći broj alarma. Naime, pošto su modeli obučeni na podacima iz nominalnog režima u usporenom režimu bi estimirana i izmerena vrednost temperature trebalo značajno da se razlikuju.

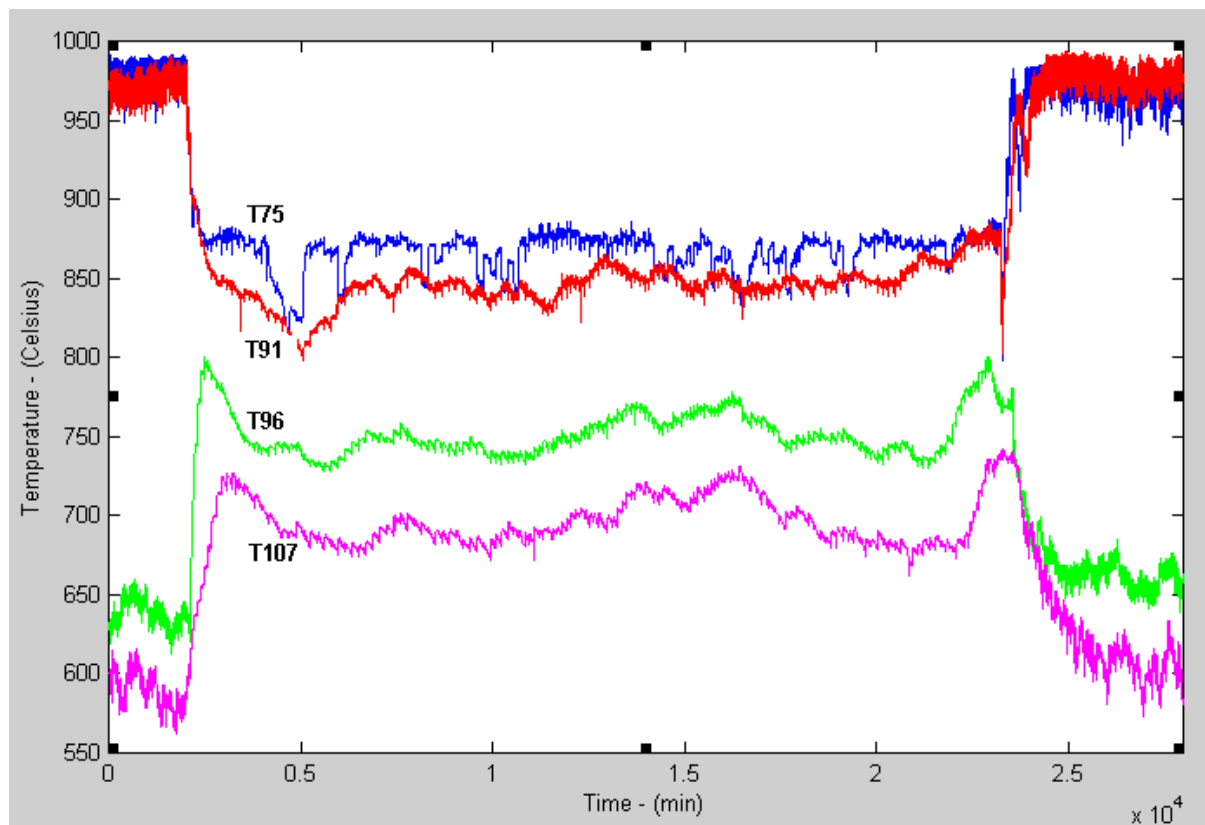
7.1.1 Prikaz osam najvažnijih temperatura u usporenom režimu rada

U usporenom režimu se sve temperature razlikuju za određeni nivo u odnosu na vrednost u nominalnom režimu. Grafikoni temperatura prikazani su na slici 7.1 i 7.2.



Slika 7.1. - 4 temperature (°C) : (T21,T31,T34,T51) od 23.12 2002. do 11.1.2003.

Na grafikonu 7.1 su prikazane temperature T21, T31, T34 i T51. Iz priloženog se može primetiti da pomenute temperature u usporenom režimu rada imaju značajne oscilacije kada je u pitanju vrednost temperature ali o nekom značajnijem odstupanju srednje vrednosti temperature u odnosu na temperaturu u nominalnom režimu rada ne može se govoriti.



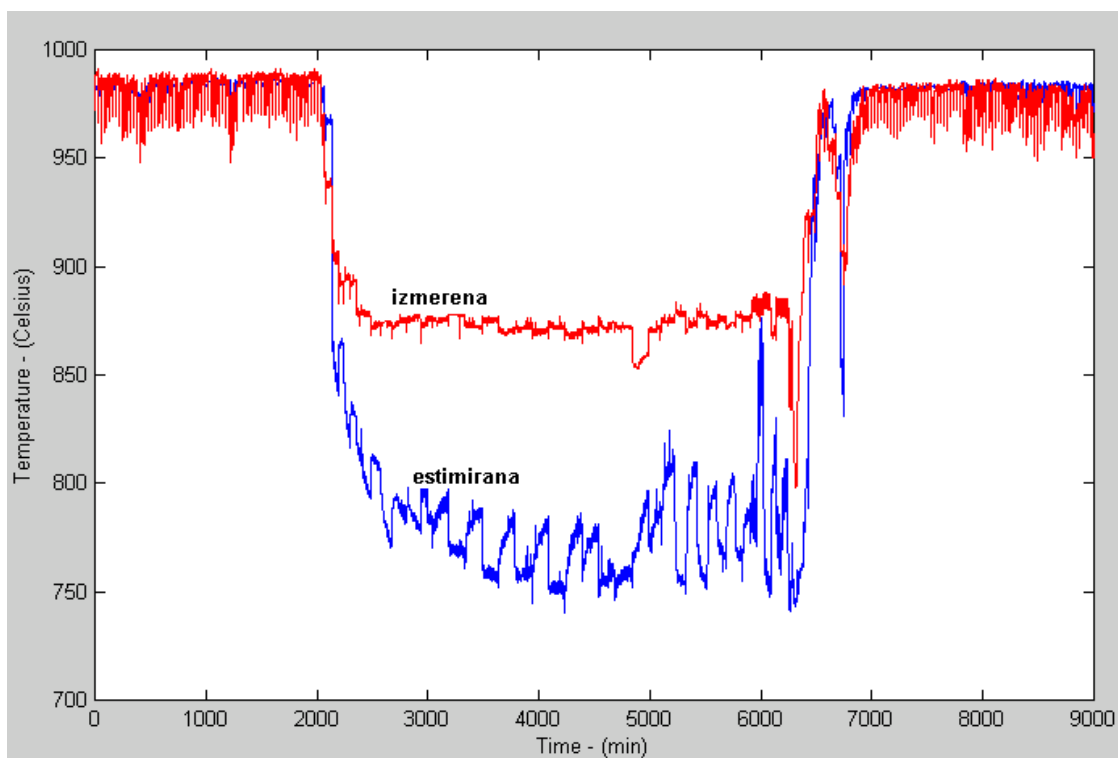
Slika 7.2. - 4 temperature (°C) : (T75,T91,T96,T107) od 23.12.2002. do 11.1.2003.

Na grafikonu 7.2. prikazane su preostale četiri temperature T75, T91, T96 i T107. Ove temperature u usporenom režimu rada imaju značajnu promenu nivoa srednje vrednosti temperature u odnosu na nominalni režim rada i to: kod temperatura T75 i T91 uočljiv je pad srednje vrednosti, dok je kod temperatura T96 i T107 uočljiv porast srednje vrednosti temperature. Ako se uzme u obzir slika 2.1. - promena temperature po dužini tunelske peći - može se zaključiti da u zoni prve, druge i treće recirkulacije i u zoni visokobrzinskih gorionika sa kontrolom plamena postoje veće oscilacije ali ne i promena nivoa temperature u usporenom režimu rada u odnosu na nominalni režim rada; u zoni gorionika sa pilot plamenom i u zoni gde je glavna vatra u usporenom režimu rada se zapaža značajan pad nivoa temperature u odnosu na nominalan režim rada i to u iznosu od 100°C. U zoni brzog hlađenja i u zoni klasičnog hlađenja u usporenom režimu rada dolazi do značajnog porasta srednje vrednosti temperature u odnosu na nominalni režim rada i to u iznosu od 100°C.

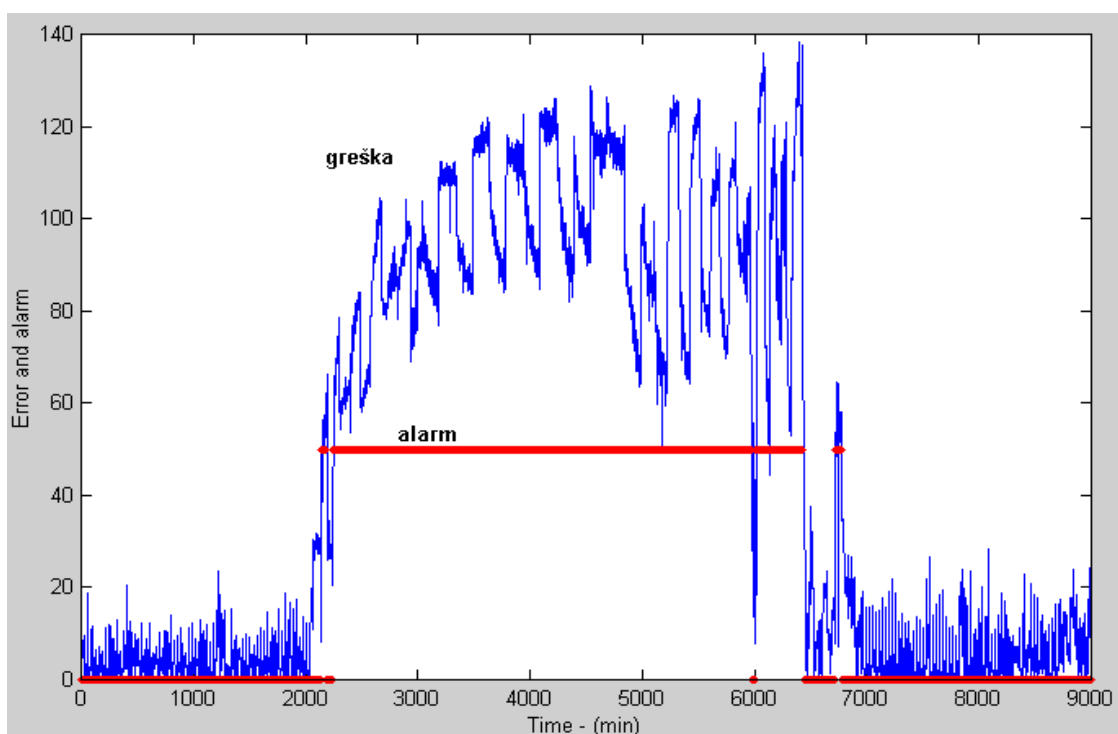
7.2. Prikaz generisanih alarma

Na osnovu estimirane i izmerene vrednosti proračunava se greška na osnovu koje se generišu alarmi. Najreprezentativnije temperature za grafički prikaz greške koja se javlja u usporenom režimu rada i generisanih alarma su upravo temperature u zoni gorionika sa pilot plamenom, tj. temperatura T75 i u zoni gde je glavna vatra, tj temperatura T91.

7.2.1. Prikaz generisanih alarma na primeru temperatura T75 i T91

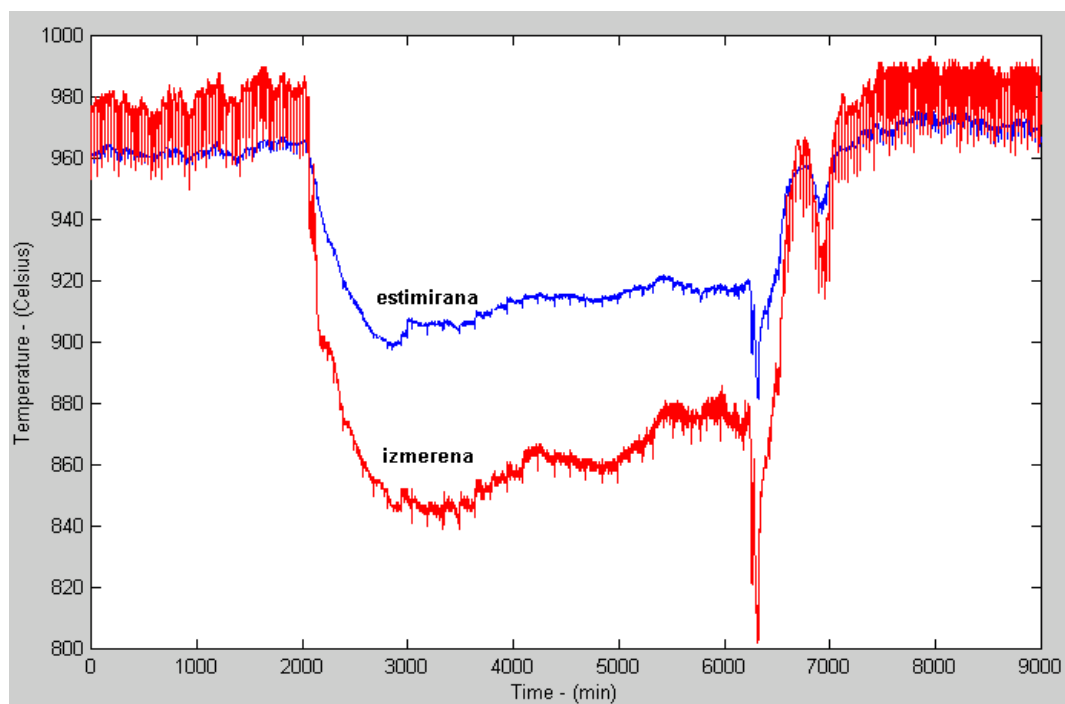


Slika 7.3. - Temperatura T75 (°C): estimirana i izmerena vrednost u periodu od 23.12 2002. do 11.1.2003.

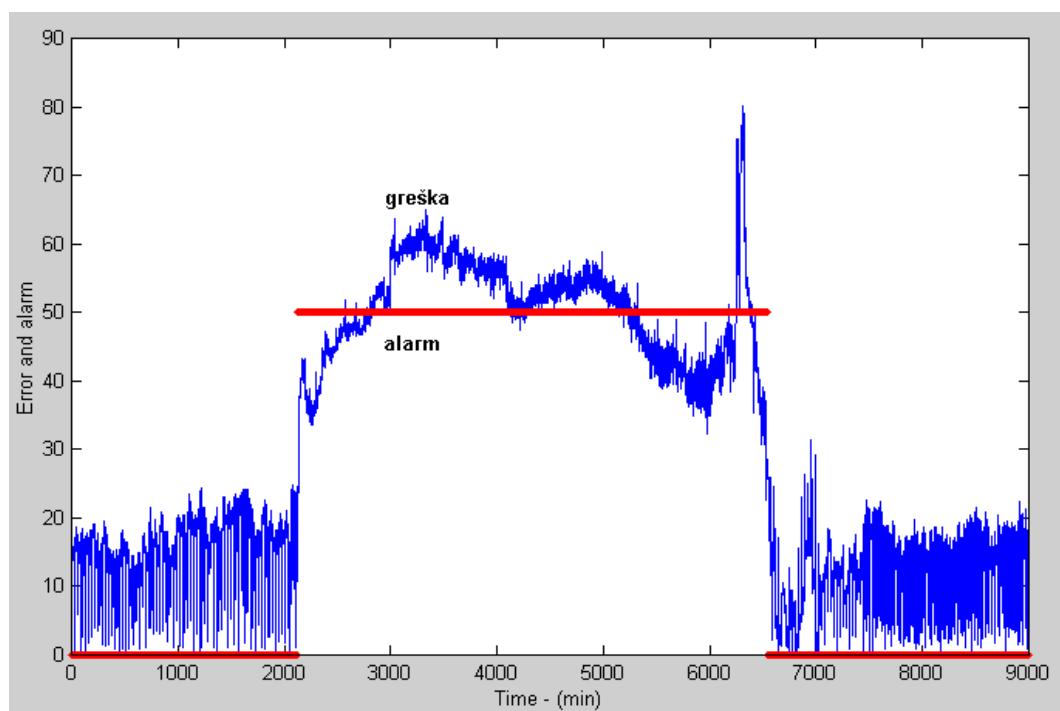


Slika 7.4. - Temperatura T91 (°C): greška i generisani alarmi u periodu od 23.12 2002. do 11.1.2003.

Na slici 7.4., tj. grafikonu za temperaturu T75, na kojem su prikazani greška i generisani alarmi može se приметiti da su alarmi generisani skoro u celokupnom periodu usporenog režima rada. Uzimajući u obzir način proračuna greške mogu se analizirati generisni alarmi.



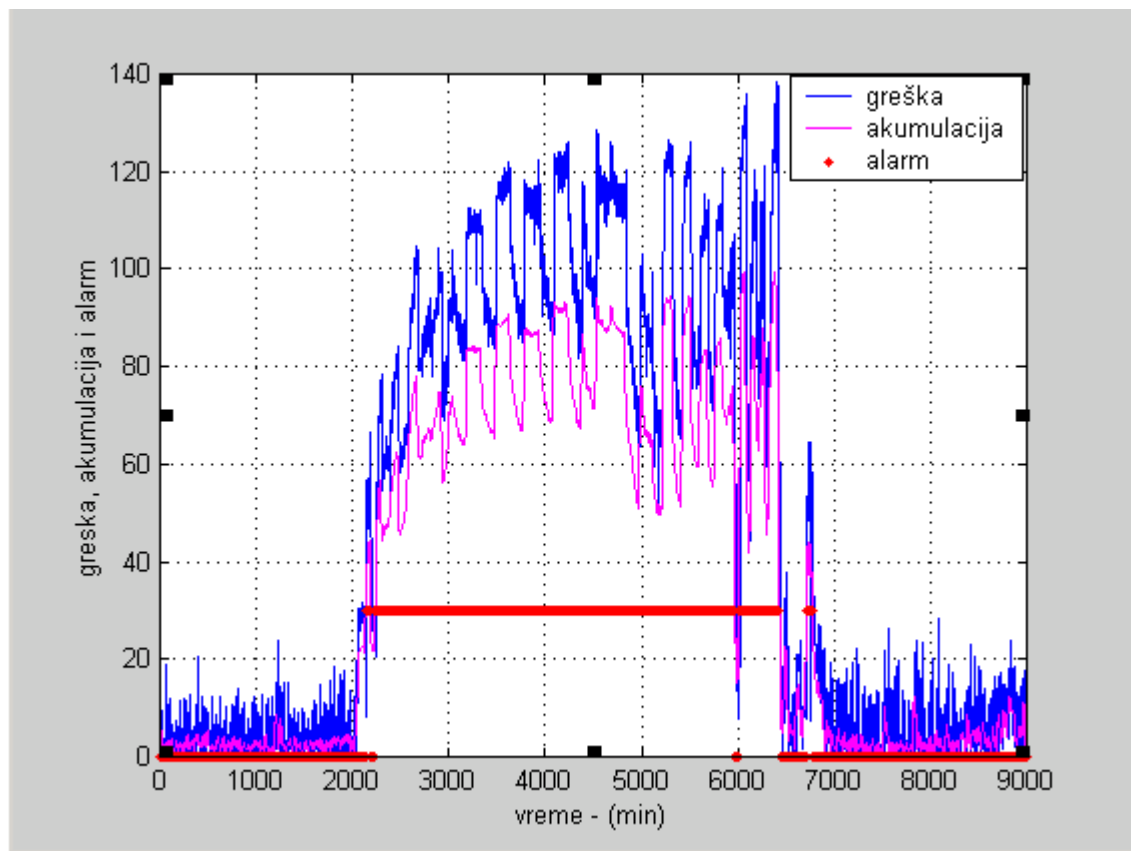
Slika 7.5. - Temperatura T91 (°C): estimirana i izmerena vrednost u periodu od 23.12 2002. do 11.1.2003.



Slika 7.6. - Temperatura T91 (°C): greška i generisani alarmi u periodu od 23.12 2002. do 11.1.2003.

7.2.2. Detaljna analiza generisanih alarma na primeru temperatura T75 i T91

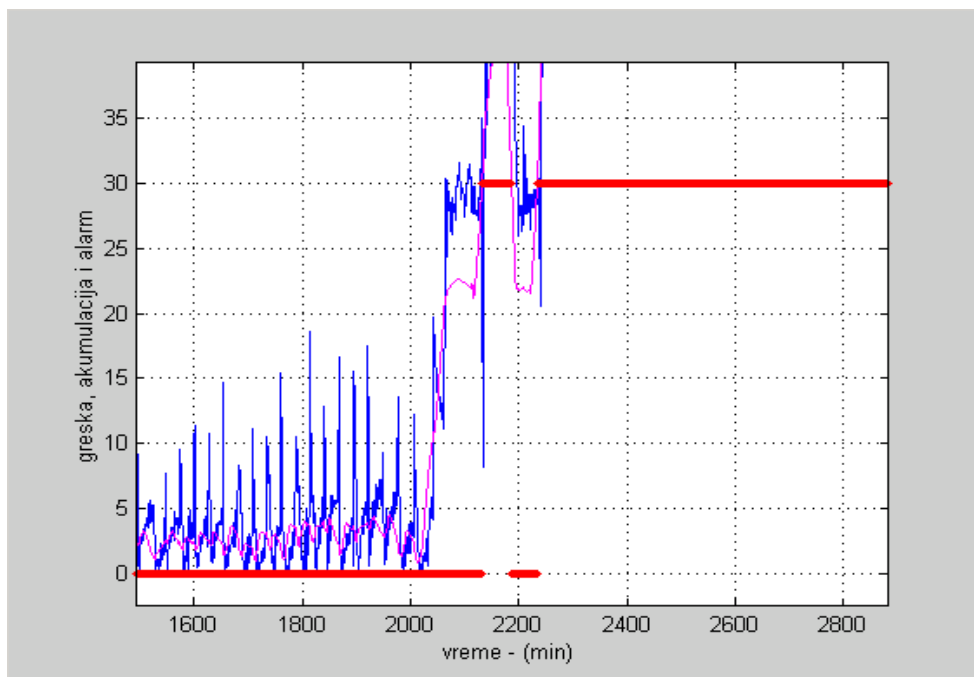
Na slici 7.7. pored apsolutne greške i generisanih alarma prikazana je i akumulacija greške.



Slika 7.7. - Temperatura T75 - Apsolutna greška, akumulacija i alarmi

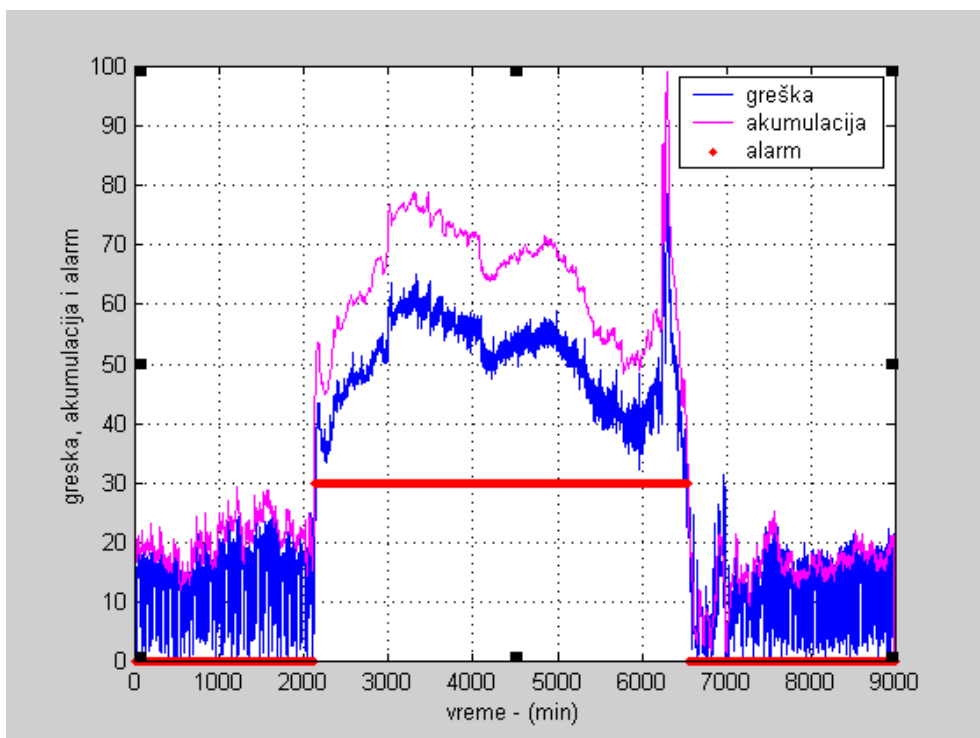
Kao što je objašnjeno u poglavlju 5.2. alarmi se generišu na osnovu greške između estimirane i izmerene vrednosti temperature s tim što se apsolutna greška uslovno rečeno normira pomoću formule (5.2.15) a zatim i akumulira u poslednjih dvadeset vrednosti formula (5.2.16). Na ovaj način dobijena vrednost se poredi sa pragom koji je definisan u datoteci *Parametri.txt* kao četvrti parametar u prvoj vrsti i ako je akumulacija veća od zadatog praga generiše se alarm sa odgovarajućim obaveštenjem.

Na dijagramu se vidi da su alarmi počeli da se javljaju kada je akumulacija prešla prag (u ovom slučaju) postavljen na vrednost 30, i dok god je akumulacija bila iznad tog praga alarmi su neprestano generisani. Da bi se bolje uočio momenat početka generisanja alarma na slici 7.8. prikazan je uveličan odgovarajući deo grafikona sa slike 7.7.



Slika 7.8. – Početak generisanja alarma

Na slici 7.8. jasno se vidi da se alarmi nisu pojavljivali sve dok je akumulacija greške bila ispod vrednosti 30. Prvi put kada je akumulacija greške prešla zadati prag i alarm je generisan u istom trenutku (trenutak 2150). Sve dok je akumulacija greške bila iznad praga i alarmi su generisani. U trenutku kada je vrednost akumulacije greške ponovo pala ispod 30 (trenutak 2180) alarmi su prestali da se pojavljuju, dok ponovo akumulacija greške nije postala veća od praga (trenutak 2250).



Slika 7.9. - Temperatura T91- greška, akumulacija i generisani alarmi

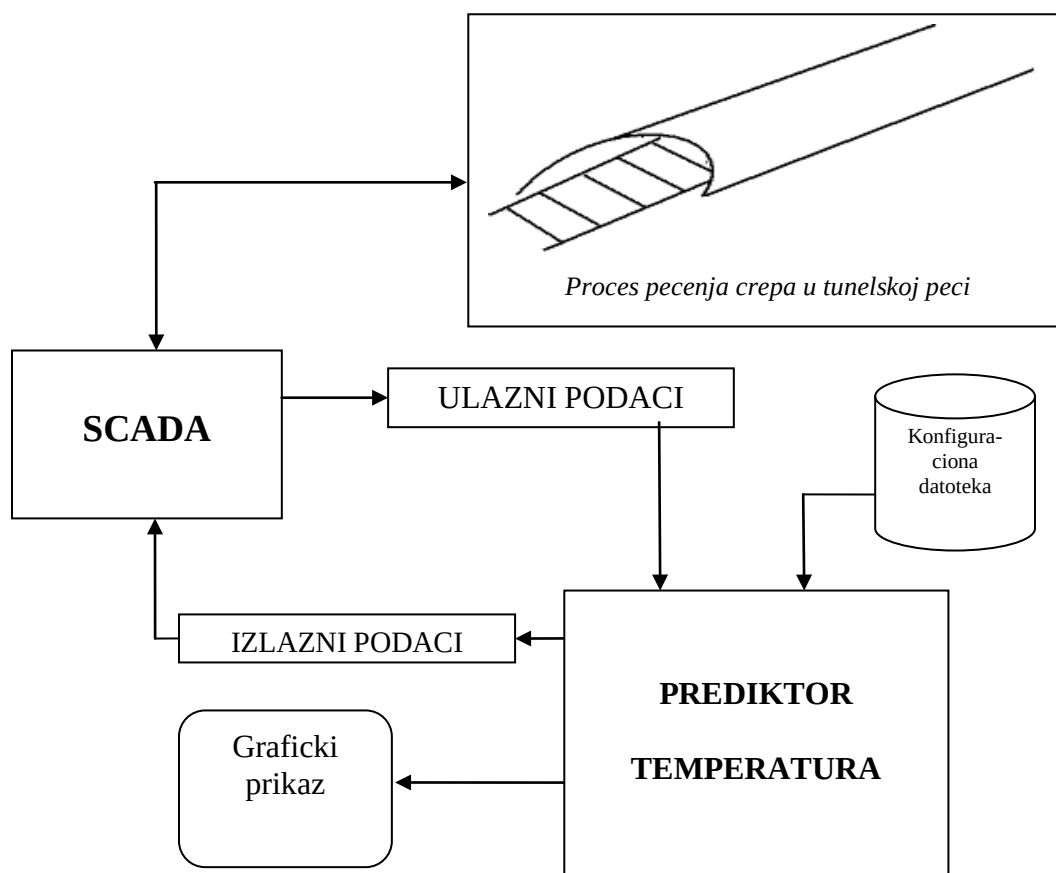
8. VOĐENJE SISTEMA U PRELAZNOM REŽIMU RADA

8.1. Uvodne napomene, razlike i sličnosti sa programskom podrškom TSKOnline

Programska podrška razvijena za vođenje sistema u prelaznom režimu rada (*Tranzijentni rezim.exe*) bazirana je na istoj koncepciji kao i programska podrška razvijena za estimaciju temperatura (*TSKOnline.exe*) u tunelskoj peći ali sa drugom namenom. Naime, koristeći se istim alatima kao u prethodnoj aplikaciji razvijena je programska podrška koja sistem vodi kroz **prelazni režim rada**, tj. prevodi iz jednog režima rada u drugi (iz nominalnog u usporeni režim rada ili obrnuto).

8.1.1 Uvodne napomene

Program je namenjen za rad u realnom vremenu na istoj operaterskoj stanici procesa C2. Koristi se tako što od SCADA sistema prima ulazne podatke o trenutnim vrednostima temperatura, a zatim vrši predikciju tih vrednosti u bliskom vremenskom intervalu (deset minuta) i na osnovu dobijene vrednosti i ulaznih podataka koje prima od korisnika izdaje komandu namenjenu PLC-u o nivou izmene vrednosti temperatura. Dakle, umesto dosadašnjeg estimatora ugrađen je prediktor najvažnijih osam temperatura.



Slika 8.1. – Blok dijagram sistema

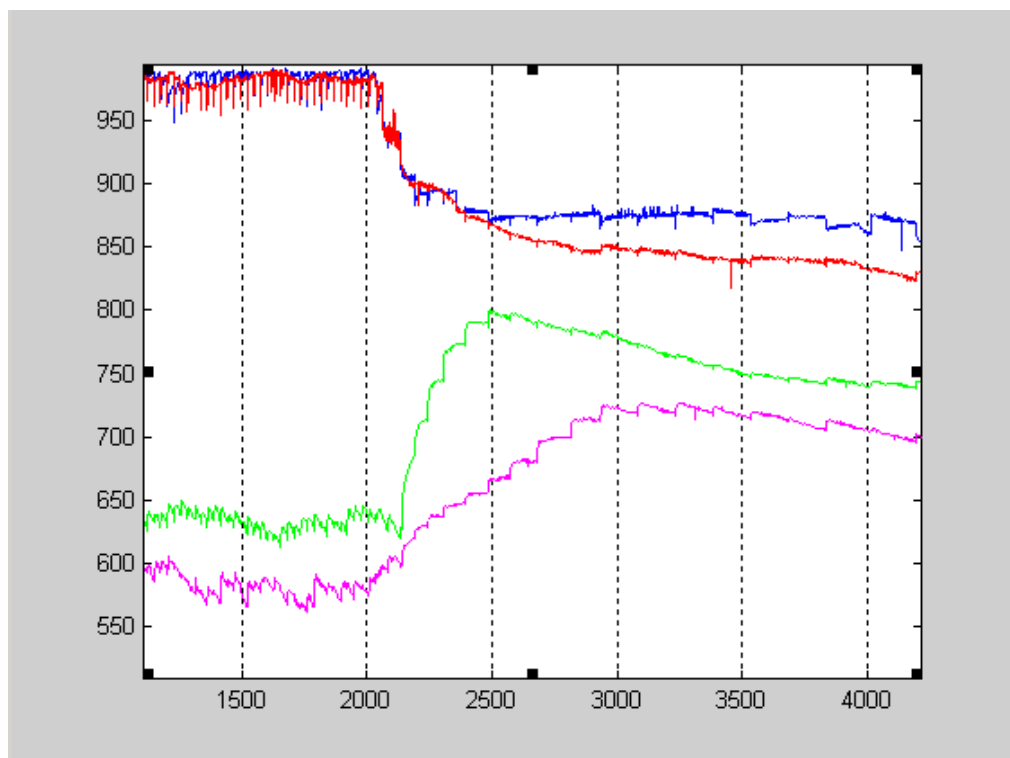
Po pokretanju program izvrši neophodne inicijalizacije i učitava tzv. konfiguracionu datoteku (ekstenzije *cfg*).

Konfiguraciona datoteka se, kao i u prethodnom slučaju, mora pripremiti pomoću programa *TSKModel.exe*. Konfiguraciona datoteka treba da se nalazi u istom katalogu u kojem se nalazi i program, inače će program javiti grešku pri pokušaju da je učitava. U konfiguracionoj datoteci nalazi se zapis o broju modela, a zatim u novoj vrsti za svaki model sledi ime modela i u nastavku podaci o tome da li je model adaptivan i njegov faktor zaboravljanja ukoliko postoji (ako je podatak o adaptaciji različit od nule). Primer sadržaja konfiguracione datoteke je prikazan na strani 20.

8.1.2. Priprema modela

Kao što je već pomenuto korištenjem programa *TSKModel.exe* napravljeni su modeli osam najvažnijih temperatura. Za razliku od programa koji je imao zadatak da radi estimaciju temperatura (*TSKOnline*) u programu koji ima za zadatak da radi predikciju temperatura modeli su obučeni na potpuno drugačiji način.

Kao prva razlika ističe se odabir vremenskog intervala na čijim podacima će modeli biti obučeni. Naime, dok je za prethodnu aplikaciju to bio isključivo nominalni režim rada sada je potrebno da se podaci za obuku modela uzmu, niti iz nominalnog, niti iz usporenog režima rada, već upravo iz vremenskog intervala kada sistem prelazi iz jednog režima u drugi. Ako bi se uvećao deo grafikona sa slike 7.2. na kojem dolazi do prelaska sistema iz nominalnog u usporeni režim rada dobilo bi se grafikon kao na slici 8.2.



Slika 8.2. - Prelazak sistema iz nominalnog u usporeni režim rada

Sa slike 8.2. može se primetiti da je tzv. prelazni režim rada trajao približno 1000 minuta tj. od 2000-itog do 3000-itog trenutka. Ako bi se pronašli odgovarajući trenuci u

izvornim podacima utvrdilo bi se da je to vremenski period od 24. decembra 2002. godine u 9 sati i 19 minuta do 25. decembra 2002. godine u 2 sata i 6 minuta.

Kao druga ali ne i manje važna razlika ističe se odabir temperatura koje predstavljaju ulaze modela prilikom njihove obuke. Prilikom obuke modela namenjenih programu za estimaciju određenih temperatura, kao što je već pokazano u glavi 5.1 ovog dokumenta, kao ulazi su uzete tri temperature iz najbližeg okruženja izdvojenih osam temperatura koje su pojedinačno imale najveći uticaj (korelaciju) sa odgovarajućom temperaturom koja je predstavljala izlaz. U ovom slučaju situacija je značajno drugačija jer se kao ulazi uzimaju vrednosti iste temperature ali vremenski pomereni po 10 minuta. Obučavajući skupovi za modele se formiraju na osnovu tabele 8.1:

1 ulaz	2 ulaz	Izlaz
T21(k-20)	T21(k-10)	T-21(k)
T31(k-20)	T31(k-10)	T-31(k)
T34(k-20)	T34(k-10)	T-34(k)
T51(k-20)	T51(k-10)	T-51(k)
T75(k-20)	T75(k-10)	T-75(k)
T91(k-20)	T91(k-10)	T-91(k)
T96(k-20)	T96(k-10)	T-96(k)
T107(k-20)	T107(k-10)	T-107(k)

Tabela 8.1. - *Obučavajući skupovi 8 modela*

Dakle obučavajući skup za model određene temperature se sastoji od dva ulaza: iste temperature u (k-20)-tom i (k-10)-tom trenutku i izlaza iste temperature u k-tom trenutku. Na ovaj način se praktično ostvaruje prediktor veličina u datom sistemu.

8.2. Način rada programa *Tranzijentni rezim*

Funkcionalne karakteristike programske podrške *Tranzijentni režim* su vrlo slične programskoj podršci *TSKOnline* što će se videti u nastavku.

8.2.1. Funkcionalne karakteristike

Nakon inicijalizacije promenljivih i uspešnog učitavanja konfiguracione datoteke pokreću se tri niti, slično kao i u prethodnoj aplikaciji. To su: nit zadužena za proveru da li postoji ulazna datoteka, nit zadužena za obradu podataka i nit zadužena za komunikaciju sa programom *Graf.exe*.

Nit zadužena za proveru da li postoji ulazna datoteka proverava po isteku određenog vremenskog intervala da li postoji datoteka sa ulaznim podacima i ako postoji postavi događaj o postojanju datoteke koji očekuje druga nit koja je zadužena za obradu podataka.

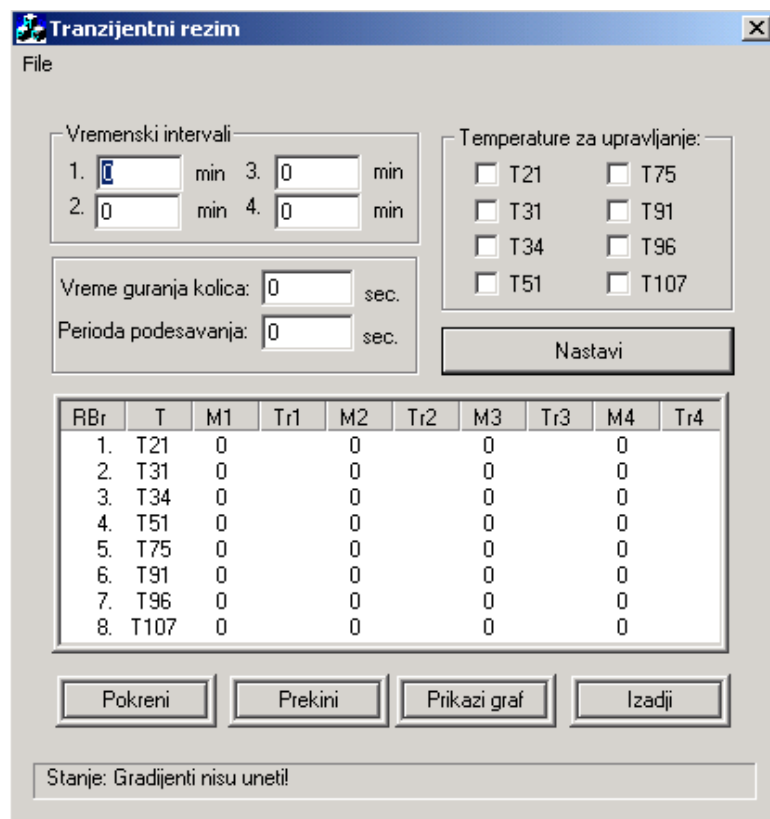
Nit zadužena za obradu podataka očekuje događaj o prispeću podataka i ako je on postavljen poziva funkciju za obradu podataka i postavlja događaj za *DDE* komunikaciju ako je pokrenuta grafika.

Funkcija za obradu podataka prihvata ulazne podatke za svaki model: proveru da li dimenzije ulaznih podataka odgovaraju ulaznim podacima modela i ako odgovaraju poziva funkciju koja traži odziv modela, briše ulaznu datoteku, zatim postavlja događaj za

komunikaciju sa programom zaduženim za grafiku (ako je potrebno) i uklanjanja događaj o postojanju ulazne datoteke.

Nit zadužena za komunikaciju sa programom *Graf.exe*, ako je pokrenut, prihvata podatke koje prosleđuje funkcija koja je zadužena za obradu podataka i šalje ih programu *Graf.exe*, koji ih prihvata pomoću DDE komunikacije i grafički prikazuje.

Nakon učitavanja svih neophodnih datoteka i pokretanja programska podrška izgleda kao na slici 8.3.



Slika 8.3. - Izgled programa Tranzijentni režim

Na slici 8.3. prikazan je program neposredno nakon njegovog pokretanja. Za njegov rad neophodno je da se unesu potrebni podaci od strane korisnika kao što su vremenski intervali, maksimalni gradijenti temperatura, vreme guranja kolica i sl. U nastavku će ukratko biti opisan način korištenja programa.

Kao prvo, neophodno je da se unesu vremenski intervali izraženi u minutama kojih ukupno može biti četiri, a koji zbirno određuju ukupno vreme trajanja trnszijentnog režima. Nakon unetih vremenskih intervala neophodno je i da se unesu gradijenti za svaku temperaturu ponaosob. To se može učiniti ako se odaberu željene temperature (obično svih osam) i pritisne dugme *Nastavi*. Tada će se otvoriti novi dijalog prozori od kojih je jedan prikazan na slici 8.4. U ovom dijalogu korisnik treba da unese maksimalu dozvoljenu vrednost gradijenta i željenu temperaturu na kraju vremenskog intervala za svaki od unetih intervala, u ovom primeru prvi i drugi (iz tog razloga su treći i četvrti potamljeni i neaktivni), i tako za svaku temperaturu ponaosob. Nakon što su uneti svi gradijenti potrebno je uneti i vreme guranja kolica kao i period podešavanja u sistemu.

Kada je definisano sve što je potrebno za rad programa isti se može i pokrenuti pritiskom na dugme *Pokreni*. U toku rada program izgleda kao na slici 8.5. Plavom bojom su označeni maksimalni i trenutni gradijenti temperatura u vremenskom intervalu koji protiče u

datom trenutku. Korisnik u svakom trenutku može da interveniše u smislu menjanja postojećih parametara, pokretanja grafičke podrške (pritiskom na dugme *Prikaži graf*) ili zaustavljanja programa.

The screenshot shows a dialog box titled "T107". It contains four sections for setting time intervals and their corresponding maximum gradient and final temperature. The first two intervals are set to 40 minutes, with a maximum gradient of 40 and a final temperature of 550. The last two intervals are set to 0 minutes, with a maximum gradient of 0 and a final temperature of 0. At the bottom are "OK" and "Cancel" buttons.

Interval	Maksimalna vrednost gradijenta	Temperatura na kraju intervala
Prvi vremenski interval	40	550
Drugi vremenski interval	40	500
Treci vremenski interval	0	0
Cetvrti vremenski interval	0	0

Slika 8.4. - Unos gradijenata

The screenshot shows the "Tranzijentni režim" window. It includes settings for time intervals, temperature management, and a table of data. The time intervals are set to 50, 70, 0, and 0 minutes. The temperature management section has checkboxes for T21, T31, T34, T51, T75, T91, T96, and T107, all of which are checked. The "Vreme guranja kolica" is set to 1500 seconds, and the "Perioda podesavanja" is set to 60 seconds. The table below shows data for 8 different temperatures (T21 to T107) across various parameters (RBr, T, M1, Tr1, M2, Tr2, M3, Tr3, M4, Tr4).

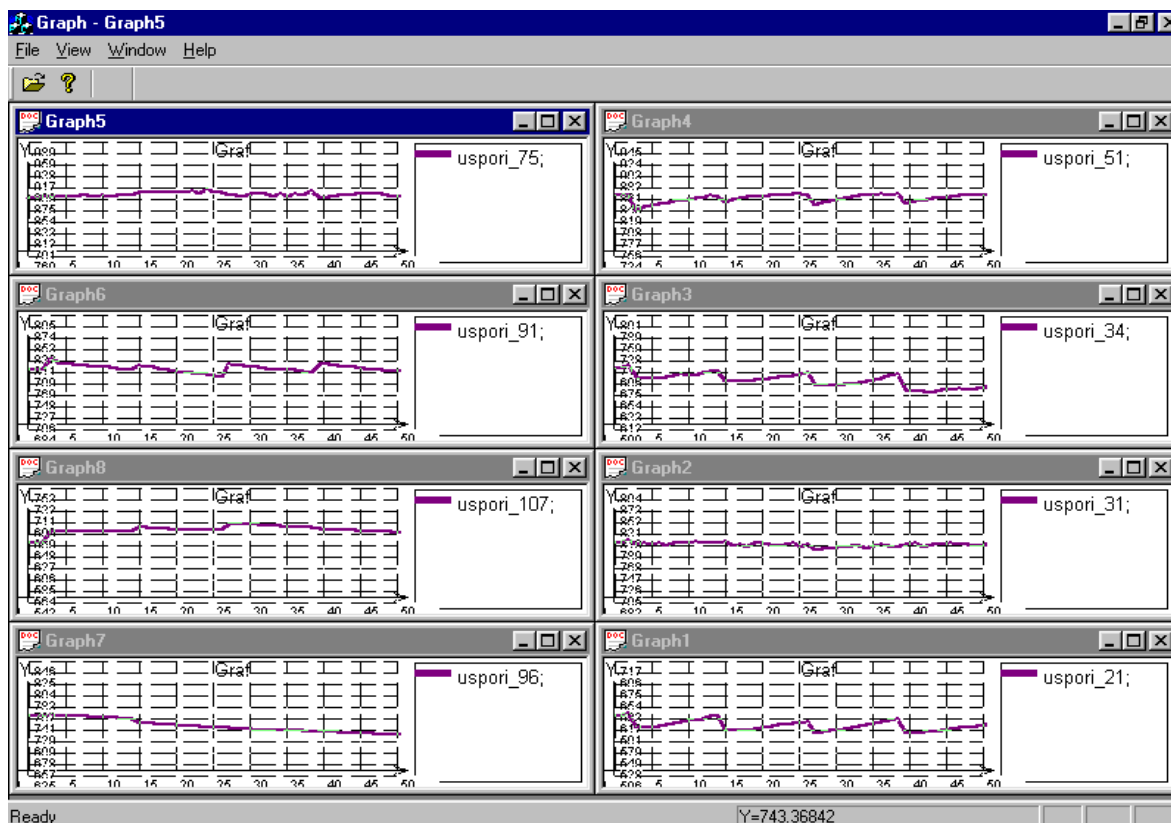
RBr	T	M1	Tr1	M2	Tr2	M3	Tr3	M4	Tr4
1.	T21	100	0.54	100		0		0	
2.	T31	20	1.90	20		0		0	
3.	T34	20	1.74	20		0		0	
4.	T51	30	0.02	30		0		0	
5.	T75	30	0.70	30		0		0	
6.	T91	40	0.90	40		0		0	
7.	T96	40	0.90	40		0		0	
8.	T107	40	1.00	40		0		0	

Buttons at the bottom: Pokreni, Prekini, Prikazi graf, Izadji. Status bar: Stanje: Proces je pokrenut!

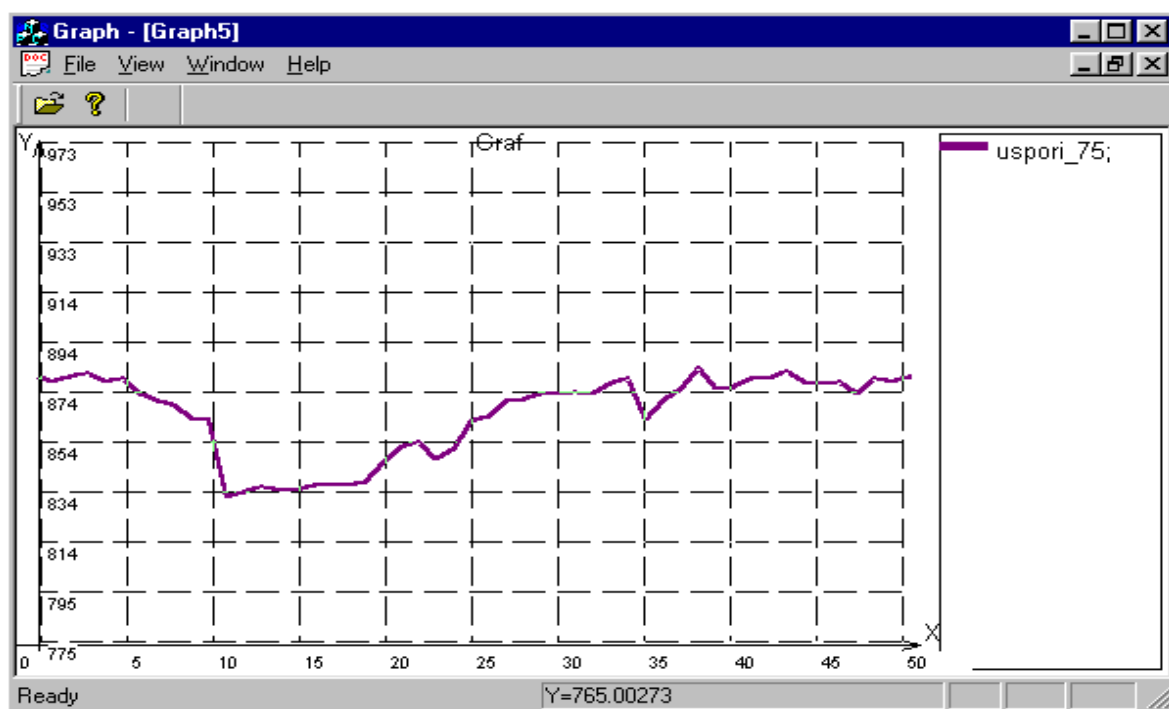
Slika 8.5. - Izgled programa u toku rada

8.2.2. Grafički interfejs

Kao što je već napomenuto program pruža mogućnost i grafičkog praćenja trenutnog stanja aiatema. Ugrađena grafička podrška omogućava korisniku da u svakom trenutku grafički prati jedinu ili više karakterističnih temperatura - slike 8.6. i 8.7.



Slika 8.6. - Prikaz osam temperatura istovremeno



Slika 8.7. - Prikaz temperature T75

9. ZAKLJUČAK

Opisano je jedno rešenje razvoja sistema za detekciju neočekivanih događaja i dijagnostiku stanja u procesu pečenja gline u tunelskoj peći. Takođe, prikazano je rešenje estimatora fizičkih veličina sistema, koji na osnovu ulaznih izmerenih podataka estimira vrednost izlazne temperature u eksploataciji, kao i prediktora istih.

Dobijeno rešenje dijagnostičkog sistema zadovoljilo je osnovnu polaznu pretpostavku: uspešnost detekcije neočekivanih događaja, u tunelskoj peći C2. Primenom sistema za estimaciju uspostavljeno je rano otkrivanje loših termoelemenata a samim tim i smanjenje škarta, koji nastaje zbog pogrešne informacije sa mernih mesta. Oslobađa se deo radnog vremena visokokvalifikovanog čoveka, koji je do sada vršio grafičku analizu arhiviranih podataka i na osnovu njih ocenio stanje termoelemenata.

Na osnovu dobijenih rezultata rada programa u realnom sistemu i analize istih, može se, takođe, zaključiti da je razvijeno rešenje estimatora fizičkih veličina u potpunosti zadovoljilo očekivanja i postavljene kriterijume. Jedini neophodan preduslov za postizanje visoke tačnosti estimacije je pravilan izbor obučavajućeg skupa podataka.

Brzina izvršavanja dijagnostičkog sistema u realnom vremenu zadovoljila je uslov koji nameće perioda odabiranja u upravljanju globalnim sistemom, koja iznosi $T=60s$.

PRILOG: Organizacija podataka na priloženom CD medijumu

Koren imenika X:\ sadrži sledeće direktorijume PRVOG NIVOA:

- 1_Dokument
- 2_Procena rezima
- 3_TSK modeli
- 4_Programska podrška
- 5_Analiza rezultata

U nastavku, sledi sadržaj svakog od direktorijuma:

- 1_Dokumenti\
 - Diplomski rad.doc
 - Naslovna strana.doc
- 2_PROCENA_REZIMA\
 - ulazi\ M_yy_mm.txt
 - procena_rezima.m
 - stampaj.m
- 3_TSK Modeli\
 - Tranzijentni režim\
 - modeli\ xx.mod
 - priprema\
 - Dec01_Txx.txt
 - Dec02_Txx.txt
 - pripremi_podatke.m
 - train.m
 - test.m
 - test\ Txx_test.txt
 - train\ Txx_train.txt
 - TSKOnline\
 - modeli\ xx.mod
 - test\ Txx_test.txt
 - train\ Txx_train.txt
- 4_Programska podrška\
 - Tranzijentni režim\
 - Pripremi podatke\ izvorni kod
 - Tranzijentni režim\ izvorni kod
 - Graf_tr\ izvorni kod
 - TSKOnline\
 - Pripremi podatke\ izvorni kod
 - TSKOnline\ izvorni kod
 - Graf_online\ izvorni kod
- 5_Analiza rezultata\
 - Analiza alarma\
 - Txx_bez_nula.txt
 - akumulacija.m
 - alarm.m
 - pozovo_alarm.m
 - pozovi_akumulaciju.m
 - Prikaz usporenog rezima\
 - Grafika_bez_nula.txt
 - prikaz.m

LEGENDA: DIREKTORIJUMI OZNACENI **PLAVOM** BOJOM SU KORENSKI DIREKTORIJUMI CD-a.
DATOTEKE KOJE SU OZNACENE **CRVENOM** BOJOM SU MATLAB-DATOTEKE.
DATOTEKE KOJE SU **POTAMLJENE** SU ASCII DATOTEKE (.txt)
ZELENOM BOJOM SU OZNACENI KOMENTARI.
SVE OSTALO SU DIREKTORIJUMI.

GENERALNE OZNAKE:
xx={21, 31, 34, 51, 75, 91, 96, 107}

LITERATURA

- [1] G. Cmiljanović, D.Kukolj : “Faza I projekta: Razvoj estimatora stanja procesa u realnom vremenu, Naslov faze: Selekcija podskupa ulaznih veličina značajnih za upravljanje tunelskom peći C2”, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2001.
- [2] G. Cmiljanović: “Realizacija programske podrške samoorganizujućeg Takagi–Sugeno fuzzy modela”, diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2001.
- [3] V. Jurišić: “Jedan pristup modelovanja sistema sa Takagi-Sugeno metodom zaključivanja”, diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 1998.
- [4] A. Dajko: “Jedno rešenje implementacije Singular Value Decomposition (SVD) algoritma unutar realizacije Stepwise Forward Selection metode (SFSM) sa dodatnom trivijalnom i relacionom redukcijom rešenja (skupa veličina) u Visual C++ okruženju”, ispitni zadatak iz predmeta Upravljanje Velikim Sistemima, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2002.
- [5] “Voice-Command System On DSP”, Internal Report, Micronas NIT, Novi Sad, 2001.
- [6] D. Kulolj, G. Cmiljanović, Z.Knežević, L. Lovaš: “Korišćenje istorijata dosadašnjih merenja u formiranju matematičkog modela pojedinih mernih mesta u tunelskoj peći”, izveštaj, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2001.
- [7] D. Kukolj: *Upravljanje Velikim Sistemima*, predavanja 1997-1998.
- [8] D. Kukolj: *Ekspertni sistemi u upravljanju*, predavanja 1998-1999.
- [9] A. Dajko: “Projektovanje sistema za detekciju neočekivanih događaja i dijagnostiku stanja u složenim sistemima”, Novi Sad, 2002.
- [10] A. Hansen: “Programiranje na jeziku C – Potpuni vodič za programski jezik C”, Mikro knjiga, Beograd, 1991.
- [11] “NUMERICAL RECIPES IN C: THE ART OF SCIENTIFIC COMPUTING”, Cambridge University Press 1988-1992
- [12] L. Lovaš: “Predikcija temperatura tunelske peći za pečenje gline”, ispitni rad iz predmeta Upravljanje velikim sistemima, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2001.
- [13] William G. Fenton, M. McGinnity, Liam P.Maguire: “Fault Diagnosis of Electronic Systems Using Intelligent Techniques: A Review”, IEEE transactions on systems, man, and cybernetics – part C: applications and reviews, vol.31. no.3, august 2001.
- [14] D. Kukolj: “Fast Adaptive Takagi-Sugeno-Kang Fuzzy Model, IEEE Transitions on Fuzzy Systems” (to be published).