

Zdravko Eškinja
Brodarski Institut d.o.o.
zdravko.eskinja@hrbi.hr

Ivan Mišković
Brodarski Institut d.o.o.
ivan.miskovic@hrbi.hr

Krunoslav Horvat
Brodarski Institut d.o.o.
krunoslav.horvat@hrbi.hr

Davor Bojić
HEP d.d.
davor.bojic@hep.hr

Držislav Šikić
HEP d.d.
drzislav.sikic@hep.hr

Milan Stojsavljević
IEE d.d.
milan.stojsavljevic@ie-zagreb.hr

REGISTRATOR PRIJELAZNIH POJAVA U SUSTAVU TURBINSKE REGULACIJE

SAŽETAK

U složenim postrojenjima kao što su proizvodni pogoni hidroelektrana, svaka nezgoda i neplanirani zastoj rada može uzrokovati ogromne ekonomske gubitke, ekološka zagađenja i ljudske žrtve. Nesreće nastaju uslijed degradacije kvalitete ugrađenih komponenti, vanjskih utjecaja i ljudskog faktora, odnosno pogreške. Za evaluaciju takvih događaja od posebne važnosti su vjerodostojni i pouzdani zapisi sinkronizirani sa signalom točnog vremena. Ovaj rad predstavlja aplikaciju za snimanje dinamičnih prijelaznih pojava u proizvodnom procesu. Aplikacija za snimanje prijelaznih pojava, dizajnirana je za automatsko pribavljanje vrijednosti signala prilikom prijelaznih pojava koje često završavaju sigurnosnom obustavom pogona. Svrha snimanja je analiza signala procesa tijekom prijelazne pojave koja je rezultirala rušenjem rada sustava. Posthavarijska dijagnostika je ovdje opisana kao dio hidro elektroenergetskog proizvodnog sustava. Aplikacija je prilagođena i testirana za sekvencu sigurnosnog zaustavljanja sustava turbinske regulacije na hidroelektrani „Lešće“. Ostvarena je sinergija više umreženih komponenti koje izvode složenu zadaću snimanja i skladištenja brzih dinamika upravljanog sustava, pri čemu se koristi samo postojeća oprema bez dodatnih troškova.

Glavne riječi: prijelazne pojave, zapis, arhiva procesnih varijabli

TRANSIENT RECORDER OF THE TURBINE GOVERNANCE SYSTEM

SUMMARY

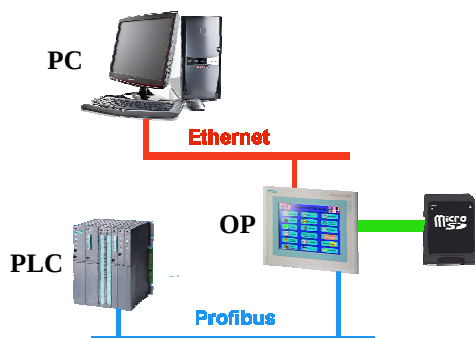
In large-scale and complex industrial systems as hydro plant, unplanned outages accidents cause huge economic losses, environmental contamination, and human injuries, due to component degradation, exogenous changes, and operational mistakes. In order to ensure safety and increase operational performance and reliability of complex system, this study proposes a low cost transient recorder for rapid-reaction kinetics. The transient recorder is described for automated data acquisition from stopped-flow reaction signals. Its purpose is to analyze the historical failure data of dynamic transient events. The application of the integrated post-failure approach, here described as the specific example of the hydro plant turbine government system, shows how several components can cooperate and contribute to completion of the transient recorder system. The system is designed and tested for safety stop sequence in turbine governance of hydro plant „Lešće“.

Key words: transient events, record, process data archive

1 UVOD

Usavršavanjem procesa i povećavanjem proizvodnih kvota, preventivna analiza u industriji mahom dobiva na važnosti. Neplanirani prekidi proizvodnje uzrokuju velike ekonomske gubitke, pa se pod svaku cijenu pokušavaju izbjeći. Ulaganjem neznatnih sredstava te pravovremenim popravcima moguće je postići kvalitetniji i kontinuirani rad stroja. Ne smije se zaboraviti da su trajno praćenje i redovite analize procesnih varijabli ključne aktivnosti za pravovremene intervencije i sprečavanje havarija. Prijelazne pojave koje se zbivaju u vremenu neposredno prije i poslije događaja koji je uzrokovao automatsko zaustavljanje u nuždi sadrže niz informacija o sustavu uz pomoć kojih se detaljnom analizom može ustanoviti uzrok hitnog zaustavljanja. Ovaj rad predstavlja aplikaciju za snimanje karakterističnih veličina stanja tijekom dinamičkih prijelaznih pojava u proizvodnom procesu. Aplikacija za snimanje prijelaznih pojava, dizajnirana je za automatsko pribavljanje vrijednosti signala prilikom sigurnosnog zaustavljanja agregata u HE Lešće. Svrha snimanja je analiza signala procesa tijekom prijelazne pojave koja je rezultirala rušenjem rada sustava.

Posthavarijska dijagnostika je ovdje opisana kao dio hidro elektroenergetskog proizvodnog sustava. Aplikacija je prilagođena i testirana za sekvencu sigurnosnog zaustavljanja sustava turbinske regulacije na hidroelektrani Lešće. Temeljni zahtjevi na ovu aplikaciju su spremanje vrijednosti procesnih varijabli sinkroniziranih sa signalom točnog vremena, odgovarajuće vrijeme uzorkovanja i zapis u trajanju od četiri minute na lako pristupnu lokaciju, zaštićenu od eventualnih nezgoda. Snimanje procesnih podataka i njihovo skladištenje nije moguće izvesti kao samostalnu funkciju na programibilnom logičkom kontroleru (PLC), zbog ograničenja malom količinom memorijskog prostora i drugih sličnih radnih svojstava. Upravo nedostaci PLC-a zahtijevaju interakciju svih programibilnih komponenti u sustavu: PLC-a, operatorskog panela (OP) i osobnog računala (Slika 1).

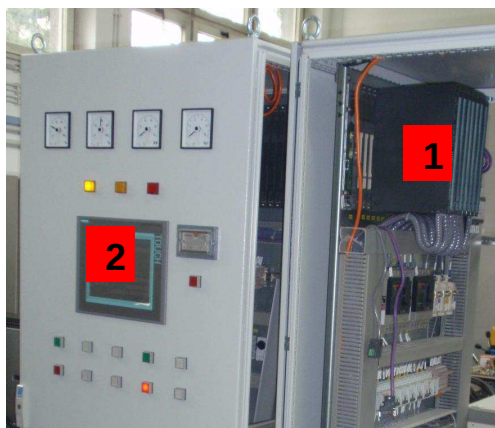


Slika 1. U mreženi sustav

Uređajima ovog umreženog sustava pridjeljeni su različiti zadaci: PLC prikuplja i privremeno sprema podatke iz procesa, operatorski panel preuzima podatke i zapisuje ih na karticu, računalo omogućava jednostavan pristup i pregled informacija a uređaji za sinkronizaciju sa signalom točnog vremena (GPS) osiguravaju da su zapisi veličina stanja sinkronizirani sa signalom točnog vremena. Sinkronizacija sa signalom točnog vremena obavlja se preko središnjeg sustava realiziranog u okviru procesne informatike cijelog postrojenja. Na slici 2 na kojoj je radi vizualizacije fotografija dva ormara turbinskog regulatora prikazani su uređaji (PLC i OP) koji su smješteni u ormaru turbinskog regulatora.

U konkretnoj aplikaciji usko grlo je spora komunikacija između PLC-a i OP-a. Pri prijenosu podataka od procesne jedinice do operatorskog panela nisu iskorišteni svi kapaciteti Profibus mreže, zbog opasnosti da se veza ne zaguši i time ugrozi nadzor nad procesom proizvodnje agregata. U svrhu zaobilazanja ovih fizičkih ograničenja pojedinih komponenti, u sustav je integrirana jednostavna metoda komprimiranja – RLE (Run-Length Encoding) metoda [2].

Standardna industrijska rješenja za prikupljanje podataka nužnih za preventivnu i posthavarijsku dijagnostiku su zasebne jedinice s rezervnim napajanjem u specijalnom kućištu (Standardno industrijsko rješenje registratora prijelaznih pojava). Alternativno rješenje primjeni RLE metode i korištenja postojeće opreme zahtijevalo bi zamjenu postojećih upravljačkih procesnih jedinica s novijim, tehnološki naprednijim, npr. PAC (Programmable Automation Controller) koji ima dostatnu procesorsku snagu i memoriju.



Slika 2. PLC(1) i OP(2) u ormaru turbinskog regulatora

Glavna prednost standardnog industrijskog rješenja registratora prijelaznih pojava je fizička neovisnost od proizvodnog sustava, a najveća mana je cijena koja premašuje cijenu turbinskog regulatora. Ako pretpostavimo da kvar koji uzrokuje prekid napajanja ili uništenje regulacijskog PLC-a u većini slučajeva nije vezan uz turbinsku regulaciju, upotreba standardnog industrijskog rješenja registratora prijelaznih pojava stoga nije opravdana. Na slične prepreke nailazi i promjena postojeće te ugradnja nove, skuplje tehnologije. SCADA sustavi nisu predviđeni za prikupljanje podataka s malim vremenom uzorkovanja, no uz male softverske preinake moguća je primjena registratora prijelaznih pojava sa SCADA sustavom umjesto operatorskim panelom. Zbog fizičke povezanosti upravljačkog i dijagnostičkog sustava registrator prijelaznih pojava je izveden na način da ne utječe na kvalitetu proizvodnje, brzinu ili pouzdanost upravljačkog procesa. Prekid komunikacije, neuspjeli zapis, pa ni kvar na upravljačkom panelu neće zaustaviti proizvodnju.

2 REGISTRATOR PRIJELAZNIH POJAVA

Funkcija registratora prijelaznih pojava je arhiviranje vrijednosti procesnih varijabli (8 analognih i 16 binarnih signala). Vrijeme uzorkovanja u programu turbinske regulacije iznosi 20 milisekundi i to vrijeme uzorkovanja je prihvatljivo za registrator prijelaznih pojava sustava turbinske regulacije. Zadano vrijeme zapisa za registrator prijelaznih pojava iznosi 4 minute. Prema tome potrebno je pohraniti i zapisati 216kB memorije:

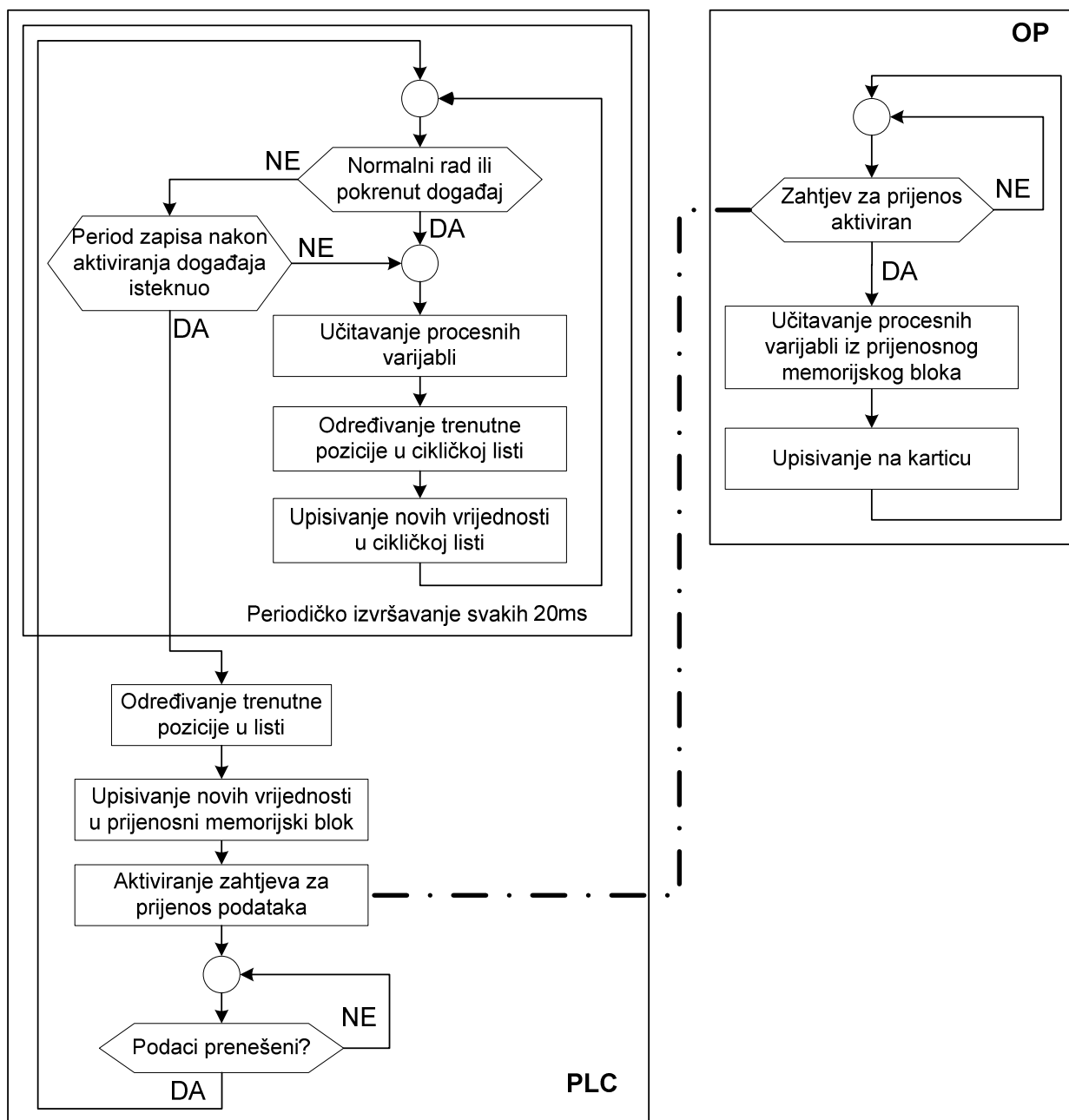
$$\begin{aligned} \text{Broj uzoraka} &= \text{Trajanje zapisa} / \text{Vrijeme uzorkovanja} = 4 \times 60 \times 50 = 12k \\ \text{Zauzeće memorije zapisa} &= \text{Broj uzoraka} \times \text{Zauzeće memorije svih varijabli} \\ &= 12k \times 9 \times 2B = 216kB \end{aligned}$$

Iako korišteni PLC: CPU 412-2 DP ima FEPROM karticu, nije moguće automatski kreirati željene datoteke s podacima [1] jer je kartica ujedno i glavna memorijska lokacija za programski kod procesa (turbinske regulacije). Operatorski panel MT 277 sadrži vlastitu Mikro SD karticu. PLC i operatorski panel su povezani Profibus mrežom, a osobno računalo se ethernetom može spojiti na panel. Koncept ove aplikacije odnosno registratora prijelaznih pojava je da PLC prikuplja potrebne vrijednosti procesnih varijabli te ih šalje na panel čiji je zadatak zapisivanje na memorijsku karticu i omogućavanje pristupa kartici preko etherneteta.

2.1 Opis algoritma

Upravljačke komponente i komunikacijska mreža u sustavu turbinske regulacije su uglavnom bazirani na Siemensovim rješenjima, što je uvjetovalo da i algoritam turbinske regulacije bude implementiran u istom programskom sučelju. S obzirom na mjesto izvođenja i programsko okruženje program se može podijeliti na dva modula: prvi se izvodi na PLC-u turbinskog regulatora, a drugi na operatorskom panelu.

PLC se programira u programskom alatu Step7 gdje se varijable pohranjuju u tzv. podatkovne blokove, a programi definiraju u funkcijama i organizacijskim blokovima. Iz organizacijskog bloka svakih 20ms poziva se funkcija za učitavanje i privremeni zapis trenutnih vrijednosti signala. Maksimalni kapacitet memorijskih blokova u PLC-u je 64kB. Privremeni zapis za registrator prijelaznih pojava je stoga riješen kao ciklička lista koja se sastoji od 4 memorijska bloka. Svaki element liste ima devet 16-bitnih riječi, a četiri minute prijelazne pojave je ekvivalentno 12 000 elemenata. Glavni organizacijski blok (slika 3.) se odvija ciklički - poziva funkcije odgovorne za sažimanje podataka i upravljanje prijenosom podataka na panel. Prijenos se izvodi na način da panel postupno očitava vrijednosti iz dodatnog memorijskog bloka veličine 3.186kB dok se ne prenese cijela snimka. Veličina bloka je ograničena maksimalnom veličinom taga-a koji iznosi tisuću i šesto 16-bit elemenata.

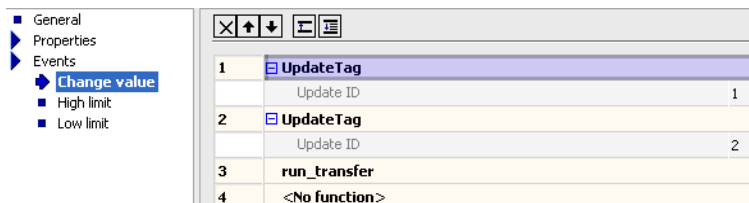


Slika 3. Shema algoritma

Sažimanje podataka se izvodi na PLC-u neposredno prije prijenosa na panel. Princip korištene RLE metode jest zamjena ponavljanja vrijednosti u nizu brojem ponavljanja i iznosom te vrijednosti. Tako dobiveni niz za svaku promjenu vrijednosti sadrži dva elementa – broj i iznos. Iz navedenog jednostavno

je zaključiti da upotreba ove metode ima smisla samo u nizovima s kratkotrajnim dinamičkim promjenama. U suprotnom postiže se negativni efekt – više podataka za istu informaciju.

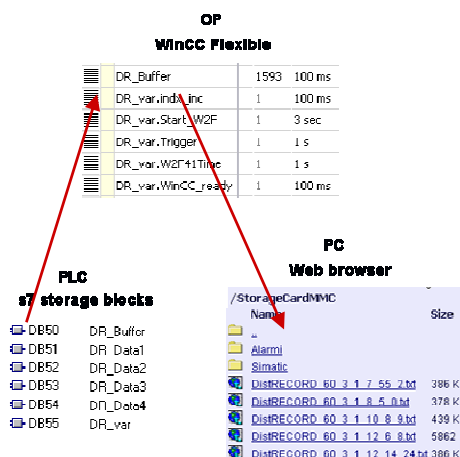
Panel komunicira s upravljačkom jedinicom preko profibus mreže brzine 1,5Mbit/s. Programsko okruženje u kojem je razvijeno korisničko sučelje panela – WinccFlexible nije predviđen za direktan prijenos većih količina podataka pa je bilo nužno napisati i integrirati vlastite Visual Basic (VB) skripte. Zadatak skripte je da učitava sve podatke, dekodira kompresirane informacije i zapiše ih na memorijsku karticu [3]. Skripte se pozivaju promjenom vrijednosti tzv. oznake (eng. tag) koja je direktno povezana s određenom varijablom na PLC-u – vidi Slika 4.



Slika 4. Pozivanje VB skripte

Podaci se upisuju postepeno - učitavanjem pojedinačnog prenesenog bloka pokreće se zapis, a završetkom zapisa PLC promijeni vrijednost komunikacijskog bloka i zada novi zahtjev za prijenos.

S obzirom da komponente imaju različita programska okruženja, vrijednosti procesnih varijabli se pohranjuju u različite programske forme kao što su podatkovni blokovi na PLC-u ili oznake na OP-u dok se ne zapišu kao tekstualni niz u datoteku (Slika 5).



Slika 5. Prijenos vrijednosti procesnih varijabli kroz različite komponente

2.2 Korisničko sučelje

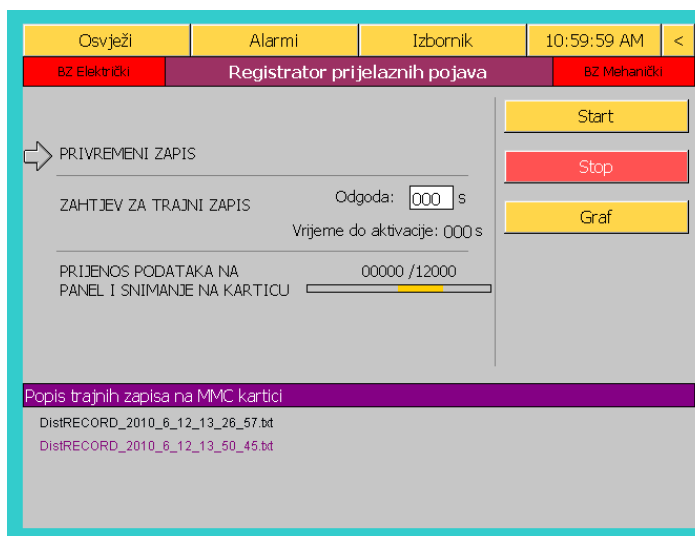
Na operatorskom panelu turbinskog ormara kreirano je korisničko sučelje (slika 6) koje omogućuje kontrolu i nadzor nad regulatorom prijelaznih pojava. Iako se snimanje prijelaznih pojava aktivira automatski kao reakcija na neku od turbinskih zaštita, ovo je dobar način nadzora i kontrole. Grafičko sučelje omogućava brz i pregledan prikaz bitnih parametara arhive: vrijeme kreiranih datoteka, trenutno stanje zapisivanja.

Korisničko sučelje registratora je dio sučelja lokalne upravljačke jedinice turbinskog regulatora. Osnovni zaslon je podijeljen u 3 retka i svaki opisuje odgovarajući proces.

Privremeni zapis je proces cikličkog zapisivanja vrijednosti signala promatranih varijabli. Vrijednosti promatranih varijabli se zapisuju u ciklički spremnik sve dok ne počne prijenos podataka na panel i snimanje na karticu. Zahtjev za aktivaciju prijenosa se može zadati s željenom odgovodom. Na ovaj način omogućeno je podešavanje sadržaja registratora u odnosu na trenutak početka prijelazne pojave.

Maksimalno trajanje zapisa je 4min, pa u skladu s tim i maksimalna odgoda 240s što znači da će rezultat zapisa biti vrijednosti varijabli od trenutka zapisa. Uz svaki redak je strelica koja signalizira trenutnu aktivnost, a navedene su i informacije o tijeku procesa.

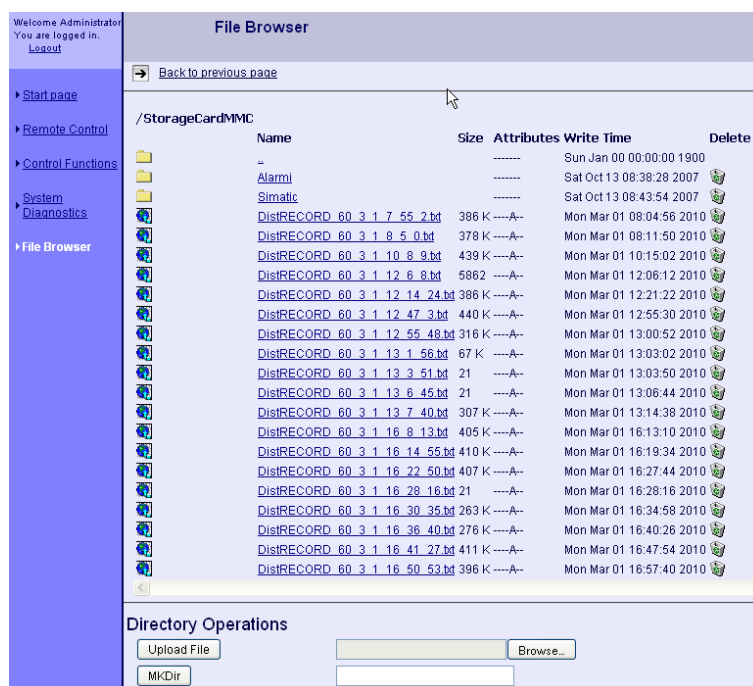
Uz automatski rad omogućeno je i osnovno upravljanje arhivom: direktno pokretanje i zaustavljanje registratora prijelaznih pojava. Ovaj način rada koristi se u testnom načinu rada s ciljem provjere i ispitivanja rada sustava turbinske regulacije.



Slika 6. Korisničko sučelje registratora

2.3 Analiza podataka

Prijelazne pojave su pohranjene na memorijsku karticu, kojoj se osim klasičnog načina može pristupiti i preko ethernet-a nekim od web pretraživača (Slika 7). Upisom korisničkog imena i lozinke osim prikaza, omogućeno je i preuzimanje svih snimljenih zapisa.

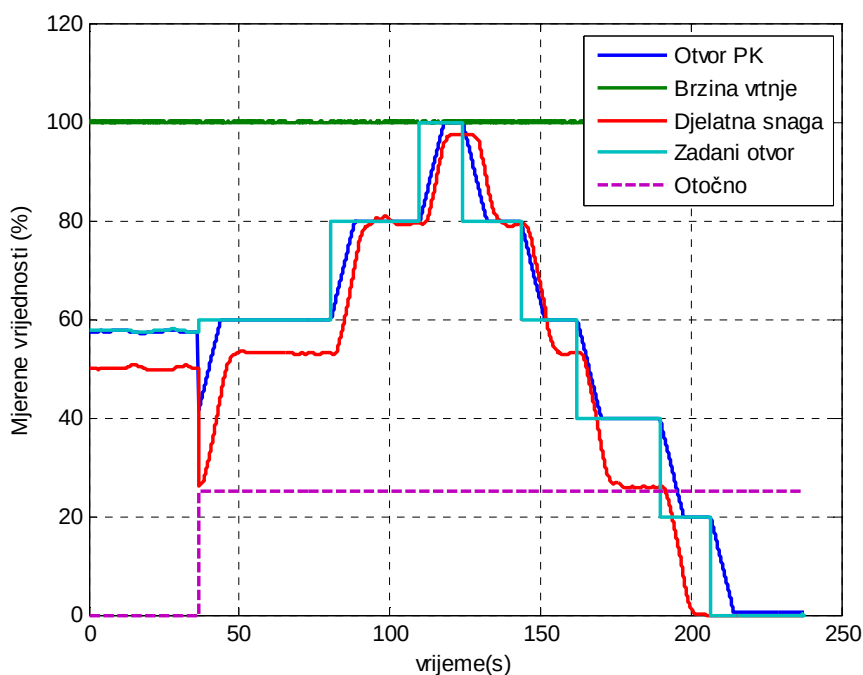


Slika 7. Pristup MMC kartici na web sučelju

Podaci su zapisani u tekstualnom formatu s ekstenzijom *txt*. Ime datoteke sadrži naziv „DistRECORD“, datum i vrijeme pokretanja zapisa sinkronizirano sa signalom točnog vremena. Vrijednosti različitih varijabli su odvojene razmakom. Redom su navedene vrijednosti: osam 16 bitne vrijednosti, a zatim šesnaest binarnih. Nove vrijednosti su zapisane u novom redu.

Grafovi prikazani na slikama (Slika 8 i Slika 9) predstavljaju snimljene signale veličina stanja procesa tijekom prijelazne pojave u testnom načinu rada. Prva četiri snimljena signala su analogna, a peti je binarni sa slijedećim značajkama:

- **Otvor PK** – [0-100%] – otvor privodnog kola – regulacijski signal
- **Brzina vrtnje** – [0-100%] – brzina vrtnje normirana na nazivnu vrijednost
- **Radna snaga** – [MW] – trenutna proizvodnja el. energije (100% - nazivna snaga)
- **Zadani otvor** – [0-100%] – programski ili ručno zadani otvor privodnog kola
- **Otočni rad** - [0%-isključen ; 25%- uključen] – binarni signal – označava rad agregata u otočnom načinu rada

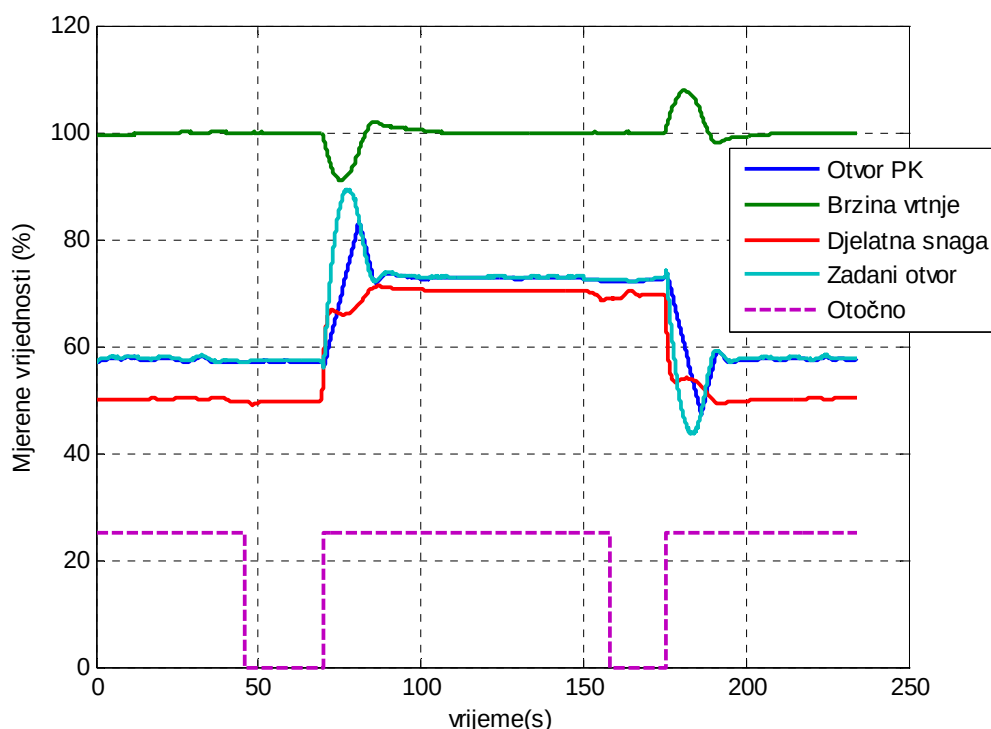


Slika 8. Odziv sustava turbinske regulacije na skokovitu promjenu zadane vrijednosti otvora privodnog kola

Analizom odziva veličina stanja sustava turbinske regulacije na neki događaj moguće je utvrditi ispravnost rada sustava turbinske regulacije jer su sve veličine/varijable stanja međusobno zavisne, slijede fizikalne zakone i direktno utječu na rad stroja odnosno agregata [4].

Prijelaz hidroagregata s mrežnog na otočni način rada uzrokuje dinamičke odzive brzine vrtnje, a time i drugih procesnih varijabli sustava turbinske regulacije. Maksimalne i minimalne vrijednosti, nadvišenja i oscilacije varijabli za određene uvijete su odgovarajuće propisani. Svako odstupanje od dopuštenih i očekivanih iznosa upućuje na degradaciju u kvaliteti rada određene komponente i sustava turbinske regulacije u cjelini i zahtjeva odgovarajuću korektivnu radnju.

Oscilacije i nagle promjene su specifične samo za pojedine varijable odnosno veličine stanja tijekom prijelazne pojave, dok druge varijable imaju konstantne ili sporo promjenjive vrijednosti. Kao primjer tome je odziv sustava pri promjeni otvora privodnog kola u mrežnom radu gdje je brzina vrtnje konstanta a sve ostale varijable/veličine stanja se brzo promijene pa drže istu vrijednost. Ovakvi signali opravdavaju upotrebu RLE kompresije gdje efikasnost može biti veća i od 70% [5]. Drugi način kompresije jest upotreba manjeg vremena uzorkovanja za one varijable koje nemaju brzu dinamiku npr. komponente tlakova u hidrauličkom sustavu, tlakova u cjevovodu, spirali itd.



Slika 9. Odziv sustava turbinske regulacije pri prijelazu agregata iz mrežnog u otočni način rada

3 ZAKLJUČAK

Registrator prijelaznih pojava i zapisi karakterističnih veličina stanja tijekom kontroliranih i nekontroliranih prijelaznih pojava su izuzetno korisni u ispitivanju i otkrivanju uzroka kvara u sustavu turbinske regulacije. Glavna prednost je spremanje važnih informacija o procesu na sigurnu lokaciju: vanjsku memorijsku karticu i udaljeno računalo u Ethernet mreži. Primjena ove aplikacije u sustavu turbinske regulacije ne zahtijeva dodatne uređaje i opremu, a izvođenje potrebnih programa ne utječe na rad turbinskog regulatora. Eventualni prekid komunikacije ili neki nepredviđeni kvar u softveru neće prouzročiti štetu ili prekinuti proizvodnju agregata. Korištene komponente (Siemens CPU 400 i panel MP277) nisu predviđene za rad s većim količinama podataka. Zato je bilo nužno odgovarajuće uskladiti i povezati rad svih komponenti u okviru turbinske regulacije. Usko grlo primijenjenog rješenja registratora prijelaznih pojava jest spora komunikacija između PLC-a i OP-a. Ubrzanje komunikacije je izvedeno na način da se podaci komprimiraju RLE (Run-Length Encoding) metodom čime se postiže i do 70% brže vrijeme prijenosa podataka. Važni podaci o ponašanju sustava turbinske regulacije tijekom poremećaja na ovaj način postaju lako dostupni, spremni i izuzetno korisni za analize.

4 LITERATURA

- [1] System Software for S7-300/400 System and Standard Functions, Siemens, Reference Manual December 2002, pp 283 – 350.
- [2] K Sayood, "Introduction to Data Compression", Academic Press, 2000,USA pp. 13-35
- [3] D Salomon, "Data Compression", the complete reference, Computer Science Departement, Californica State University; Northridge,2007, pp. 17-42.
- [4] F.D. Anger, R. V. Rodríguez, M. Ali., "Industrial and engineering applications of artificial intelligence and expert system" Overcas publisher organisation, Amsterdam 1996., pp 67-81.
- [5] L. M. Thompson, "Industrial data communications", ISA, 2002,USA, pp. 13-26