

ИСПИТИВАЊЕ И ПРИМЕНА НАДГРАЂЕНОГ И АДАПТИРАНОГ СОФТВЕРСКОГ СИСТЕМА ЗА ДИЈАГНОСТИКУ РАДА ПАРНОГ БЛОКА ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ

TESTING AND USE OF UPGRADED AND ADAPTED SOFTWARE SYSTEM FOR THE OPERATION DIAGNOSIS OF A STEAM POWER PLANT

проф. др Бранислав М. Савић, дипл. инж. *, ас. мр Радиша Јовановић, дипл. инж. *,
проф. др Зоран Рибар, дипл. инж. *, проф. др Владимир Стевановић, дипл. инж. *,
Милорад Добросављевић, дипл. инж.**

* *Машински факултет Универзитета у Београду, Краљице Марије 16*
** *Термоелектрана »Костолац Б«, Николе Тесле бб, Дрмно*

Abstract: The results presented in this paper follow the previous phase of development of adaptive software system for on-line operation diagnosis of a steam power unit. The development of this software system was realized through the project 213001 participated by Minister of science of Republic Serbia from National program of energy efficiency. Issue of this project is realization of software system for the automated process analysis in real time for getting instructive information for the possibility of intervention to improve the operation of steam turbine unit. The work of this referent software system depends from the basic software system for the operation diagnosis of a steam power unit which should inform it about the operation conditions and operational states of different components of steam turbine unit in the nearest previously time period. The both software systems should work parallelly and autonomously, but their “communication” would realize after the formed base of results. However, beside the “communication” role, the basic software system gives through the detailed analysis of process much more information about steam turbine unit operation, characteristic for the expert system. In meantime this software system was upgraded with the new software modules to complete the operation diagnosis and also adapted for the analysis of operation in the regimes with by-pass of high pressure heat exchangers which were often presented in operation.

Key words: Steam Turbine Unit, Performances, Software, Process Analysis

1. УВОД

Развој основног софтверског система за дијагностику рада, контролу економичности и стања парног блока термоелектране се одвијао хронолошки фазно према стеченом искуству, али и према расположивим ресурсима корисника, што се може пратити из приказаних референци [1-7]. Поред веома оштрих услова везаних за рад софтвера са процесуираним подацима који изискују комплетно различиту софтверску логику у односу на класичну, недостатак мањег броја, али важних, мерних података је додатно

усложио развој софтверског система. Са друге стране реализација договора о прикључењу ових недостајућих мерења је захтевала додатну адаптацију софтверског система и увођење нових софтверских модула.

Софтверска организација, која је описана детаљно у нашим претходним радовима [3-7], базирана је на модуларном принципу са тачно дефинисаним функцијама различитих софтверских јединица, што омогућује релативно једноставну надградњу софтверског система са новим софтверским модулима.

Идентификација функционог погонског стања постројења, односно његових појединих компоненти, је од великог значаја. Може бити разлог за превентивно интервентно деловање у процесу одржавања. Такође, може да служи за утврђивање реалних могућности парног блока у погледу могућих режима и побољшања његовог рада. Ова карактеристика утврђивања функционог погонског стања је врло важна као извор информација за развој пројекта у другој фази за on-line интервентно деловање за побољшање рада блока према постојећем погонском стању. Праћење погонског стања се реализује прорачуном проточних константи делова турбине, као и прорачуном промена коефицијената пролаза топлоте за регенеративне загрејаче и кондензатор у оквиру турбопостројења. Постојећи софтверски систем је проширен недостајућим софтверским модулима за ове потребе и у вези са допунски прикљученом групом мерних сигнала.

Развој нових софтверских модула на бази прикључења недостајућих мерења омогућује пре свега комплетнију контролу процеса у области турбине ниског притиска и регенеративног загревања главног кондензата. Ту спадају софтверски модул за одређивање стања у систему регенеративног загревања главног кондензата укључујући и стања одговарајућих одузимања паре из турбине, софтверски модул за прорачун протока одузимања паре из турбине (треба да се напомене да се не врши мерење протока у регенеративном систему загрејача ниског притиска), софтверски модул за контролу процеса у асиметричној двопроточној турбини ниског притиска, и утицај одвијања овог процеса на потхлађивање главног кондензата у кондензатору, софтверски модул за праћење стања делова турбине ниског притиска преко одговарајућих проточних константи, као и софтверски модул за одређивање погонског стања регенеративних загрејача ниског притиска преко коефицијента пролаза топлоте.

Прорачуни текућих трендова различитих параметара процеса и перформанси за референтне нивое оптерећења, који дају информације о временском току њихових вредности у погонским условима, се реализују помоћу специјализованог софтверског модула. Ове вредности су важне не само за праћење рада јединице и њеног стања, већ такође за испитивање валидности процесуираних вредности параметара (софтверски модул за филтрирање). Праћење погонских услова и перформанси помоћу текућих трендова даје софтверском систему важну карактеристику адаптивности. С обзиром да промена стања постројења и његових компоненти се не одвија релативно брзо, сем у случају акцидентних услова, то је за параметре који контролишу погонско стање појединих компоненти постројења уведен и прорачун тзв. «дугих трендова».

Заинтересованост корисника за праћењем специфичне потрошње блока бруто израчунавањем унете количине угља је резултирала развојем још једног софтверског модула. Коришћењем аналогних сигнала за брзине дозатора, предвиђено је да се на бази њихове познате «геометрије» која укључује и насипну висину, уз повремено «ручно» уношење основних података о угљу из лабораторије ТЕ, срачунава потрошња горива и перформансе парног блока. Овим је омогућено затварање биланса парног блока на за сада једино могућ начин према расположивим ресурсима.

Развој софтверског алата за директан приступ подацима у реалном времену са сервера надзорног информационог система омогућава да се сада формира поуздано

референтна база података за потребе софтверског система. Овакав приступ подацима је истовремено неопходан за развој софтверског система за потребе on-line интервентног деловања. Рад оваквог софтвера је проверен на лицу места у термоелектрани.

Две врло важне новине су уведене везане за рад софтверског система. Рад основног софтверског система је сада реализован у «вижуал» софтверском окружењу у односу на раније «дос» окружење. Такође, резултати се, за разлику од раније, записују у професионалну базу података, чиме се повећава њихова поузданост читања и записивања, као и манипулација резултатима.

Кориснички интерфејс је реализован у «вижуал» софтверском окружењу, а у њему је остварена и различита графичка презентација резултата.

За добијање релевантних информација о погонским условима рада и стању блока предвидели смо анализу рада блока за довољно дуг погонски период од годину дана. Успешно коришћење софтверског система за овакав дужи погонски период рада би требало истовремено да потврди његову робустност у односу на сложене услове непредвидивих промена и расположивости појединих процесуираних параметара.

С обзиром да је разматрани референтни период укључио у дужем временском периоду рад блока у режимима са искљученим регенеративним загрејачима високог притиска, то смо били принуђени да извршимо додатне адаптације софтверског система којима би се обухватили и ови режими са промењеном погонском конфигурацијом рада парног блока, и са којима се очигледно мора рачунати у већем степену. Пројектним условима се обично предвиђа само режим максималне снаге са искљученим регенеративним загрејачима високог притиска са номиналним протоком свеже паре, обично ограниченог временског трајања, због повећаних напрезања услед максималног протока кроз турбину. Међутим, у нашем електроенергетском систему рад у режимима са искљученим регенеративним загрејачима високог притиска је присутан на нижим оптерећењима, много чешће него што се мисли, због немогућности «регуларног» повећања снаге услед присутне погонске неспремности појединих уређаја постројења. Рад у режимима са искључењем регенеративних загрејача високог притиска, иначе може да буде веома интересантан као начин остваривања обртне резерве у електроенергетском систему у условима мањка производње [8]. У случајевима преласка са регуларног режима на рад са искљученим загрејачима високог притиска било би пожељно кад би он могао да се реализује постепеним обилажењем-бајпасовањем загрејача високог притиска да би се избегла напрезања услед нагле промене параметара процеса.

Да би се добио увид у учестаност референтних нивоа оптерећења, параметара и перформанси за дужи временски период уведена је статистичка анализа резултата које се врши у оквиру посебних софтверских модула за период од месец и годину дана. У склопу овако добијених резултата истовремено може да се добије увид у кретање појединих параметара или перформанси по референтним нивоима оптерећења, одступања њихових вредности и утицај ових одступања на одступање специфичне потрошње топлоте или снаге. Статистичка анализа се, такође, обавља посебно за режиме без и са обилажењем регенеративних загрејача високог притиска.

Основне карактеристике предметног софтверског система су да он омогућује:

- Идентификацију стационарних режима и одређивање средњих вредности параметара процеса за идентификоване режиме
- Филтрирање, односно испитивање (вишекритеријумско) валидности процесуираних мерних вредности параметара процеса
- Прорачун недостајућих параметара и перформанси применом одговарајуће развијене методологије на бази расположивих обрађених мерних вредности

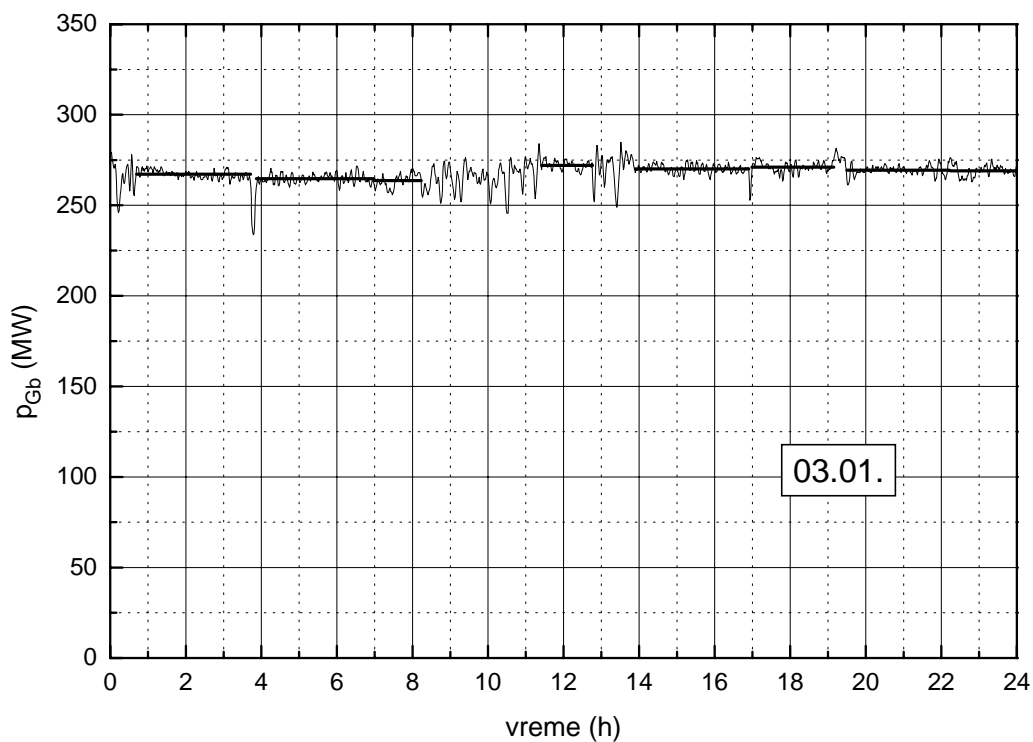
- Праћење у континуитету степена корисности, односно специфичне потрошње топлоте турбопостројења и парног блока за идентификоване режиме
- Потпуну анализу утицаја појединих параметара и перформанси процеса, односно прорачун одступања њихових вредности за идентификоване режиме и утицаја на економичност
- Прорачун текућих трендова за различите параметре и перформансе процеса за референтне нивое оптерећења који дају увид у кретање појединих параметара процеса и перформанси у погонским условима рада за поједине нивое оптерећења
- Комплетну софтверску контролу процеса, која омогућује и добијање линије експанзије у турбини за изабрани идентификовани режим
- Праћење промене стања појединих компоненти постројења (преко промене проточних константи делова турбине, коефицијената пролаза топлоте за измењиваче топлоте, текућих трендова одступања параметара и перформанси)
- Статистичку обраду режима и основних перформанси постројења у дужем периоду

2. ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА

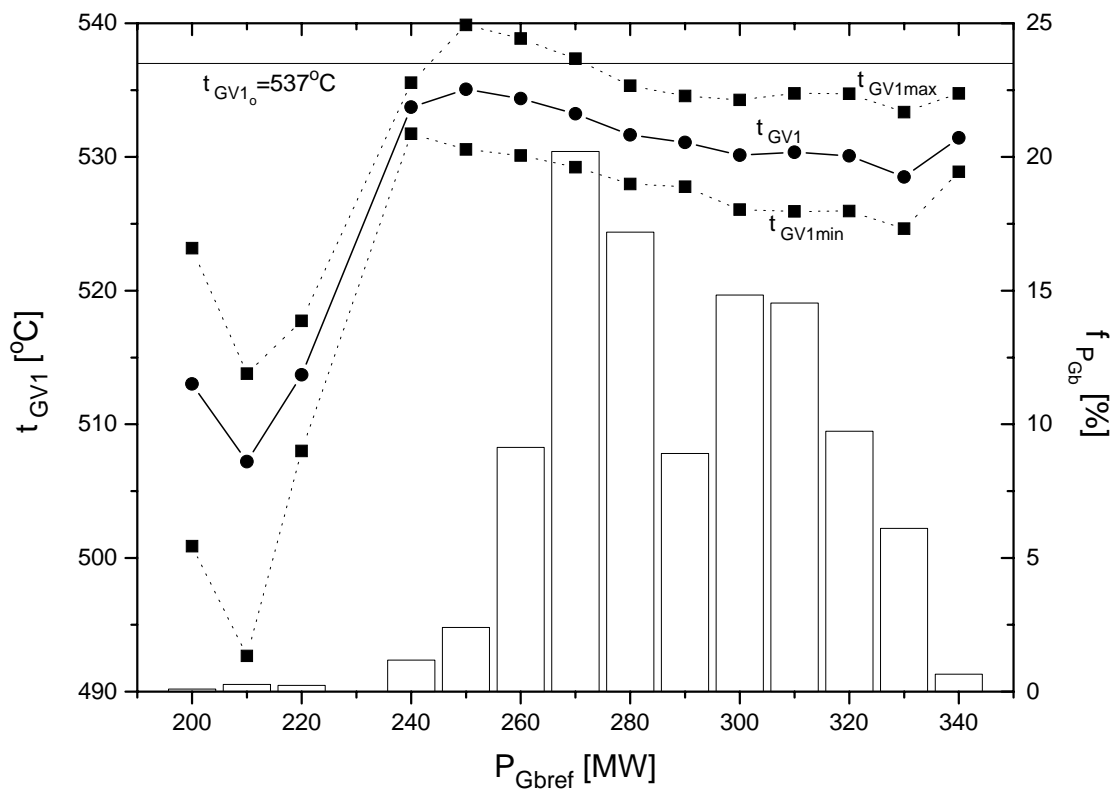
Софтверски модул за «идентификацију стационарних режима» омогућује њихово «препознавање» на основу специфично уграђене софтверске логике и постављених улазних критеријума (гранични градијенти промене оптерећења, максимално одступање оптерећења, минимално трајање «стационарног» режима), и прорачунава средње вредности процесуираних вредности параметара процеса из референтне базе података за «идентификоване» стационарне режиме за потребе наредних анализа. Пошто се комплетна анализа процеса заснива на резултатима које реализује овај софтверски модул, то је на сл.1 дат пример добијених резултата «идентификације» стационарних режима за један од многобројних дана за разматрани референтни период рада блока од годину дана. Добра «идентификација» стационарних режима од стране овог софтверског модула је веома важна за добијање валидних средњих вредности различитих процесуираних параметара процеса за стационарне режиме неопходних за добру контролу и анализу процеса које следе даље у оквиру софтверског система.

Праћење параметара којима се може контролисати процес даје увид у могућности побољшања управљања процесом. На сл. 2 је дат приказ статистички обрађених вредности за температуру свеже паре по референтним нивоима оптерећењима. За оцену квалитета контроле процеса свакако су важна и одступања температуре, максимално и минимално, које су, такође, приказана. Одступањима вредности параметара даје се све више значај у оцени квалитета вођења процеса. Позадински, преко бар секција, је дато учешће референтних нивоа оптерећења у разматраном периоду.

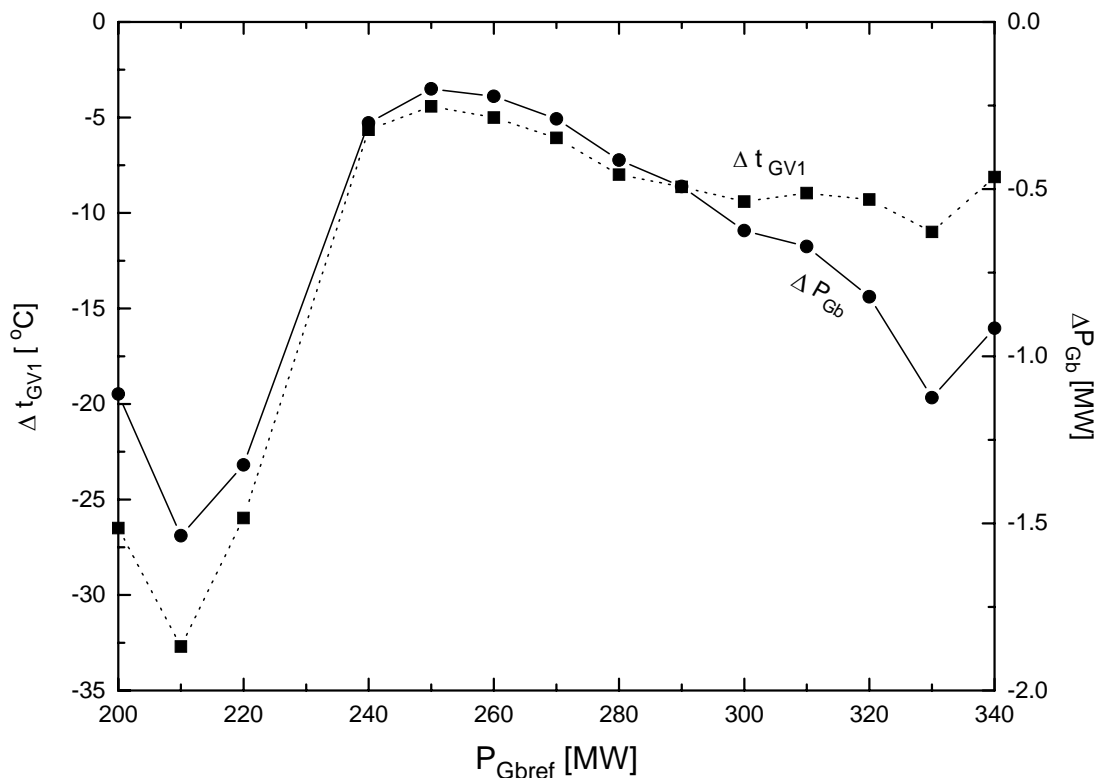
Одступања температуре свеже паре и њихов утицај на економичност у односу на пројектне услове су дати на сл. 3. Економичност је овде представљена, на пријемчивији начин по нашем мишљењу, преко губитка снаге, у односу на могућност приказа преко одступања специфичне потрошње топлоте. Наравно, ова одступања не одговарају реалном погонском стању блока, пошто нису ни рачуната у односу на постојеће погонске перформансе појединих компоненти постројења. Задатак развоја адаптивног софтверског система за on-line дијагностику рада, контролу економичности и стања парног блока термоелектреане ће бити добијање оперативних информација инструктивног карактера за потребе on-line интервентног деловања на побољшање одвијања процеса на бази текућег стања постројења, а не у односу на пројектне услове



Сл. 1. "Идентификовани" стационарни режими за референтни дан



Сл. 2 Температура свеже паре са максималним и минималним одступањима

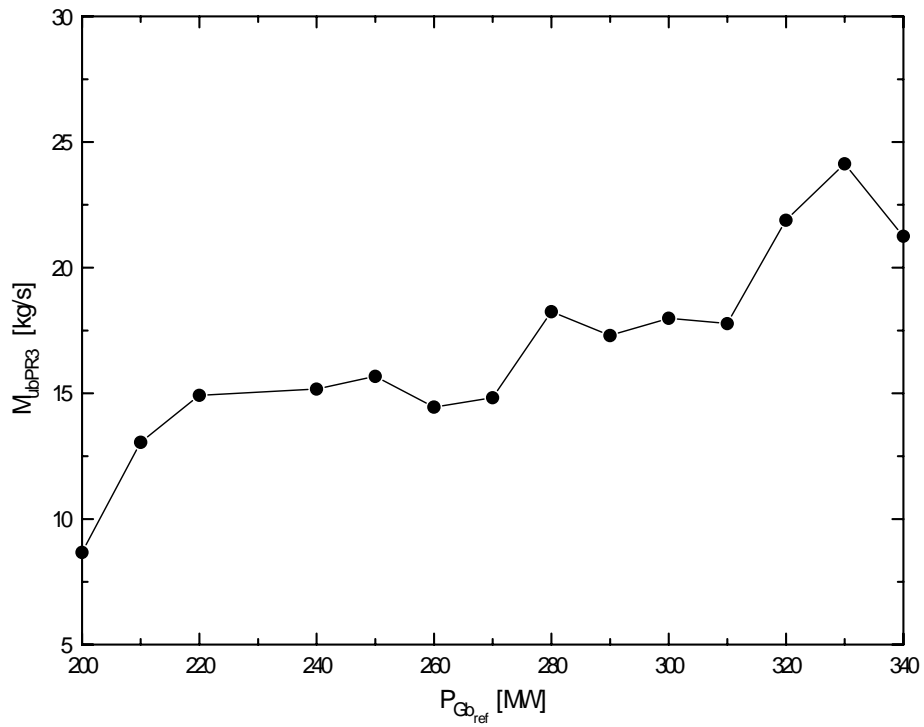


Сл. 3 Одступање температуре свеже паре и његов утицај на губитак снаге

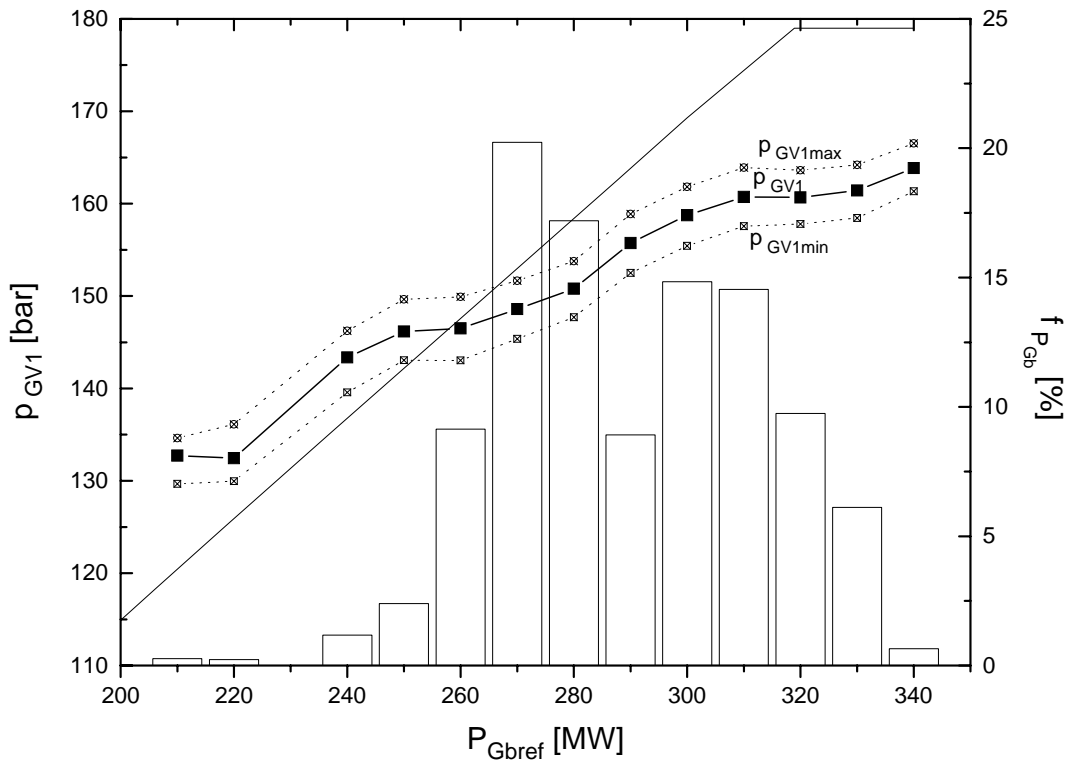
који вероватно и у почетном периоду рада блока нису постигнути. Утицај одступања параметара на економичност ће бити рачунат на бази утврђених постојећих погонских перформанси. На тај начин ће се моћи добити информације оперативног карактера за побољшање процеса и остварење могућих уштеда засноване на реалним условима.

Резултати контроле убризгавања напојне воде ради регулисања температуре свеже паре, добијени помоћу одговарајућег софтверског модула, показују да је присутно убризгавање и поред очигледног подбацавања вредности температуре свеже паре – сл. 4. Ово се може објаснити на два начина: да је можда задата вредност температуре постављена ниже од номиналне вредности, из ограничавајућих разлога због утврђеног стања главних паровода или прегрејача у котлу, или пак да је присутан неодговарајући рад регулишућих кругова температуре свеже паре. Слична ситуација је присутна и код температуре догрејане паре.

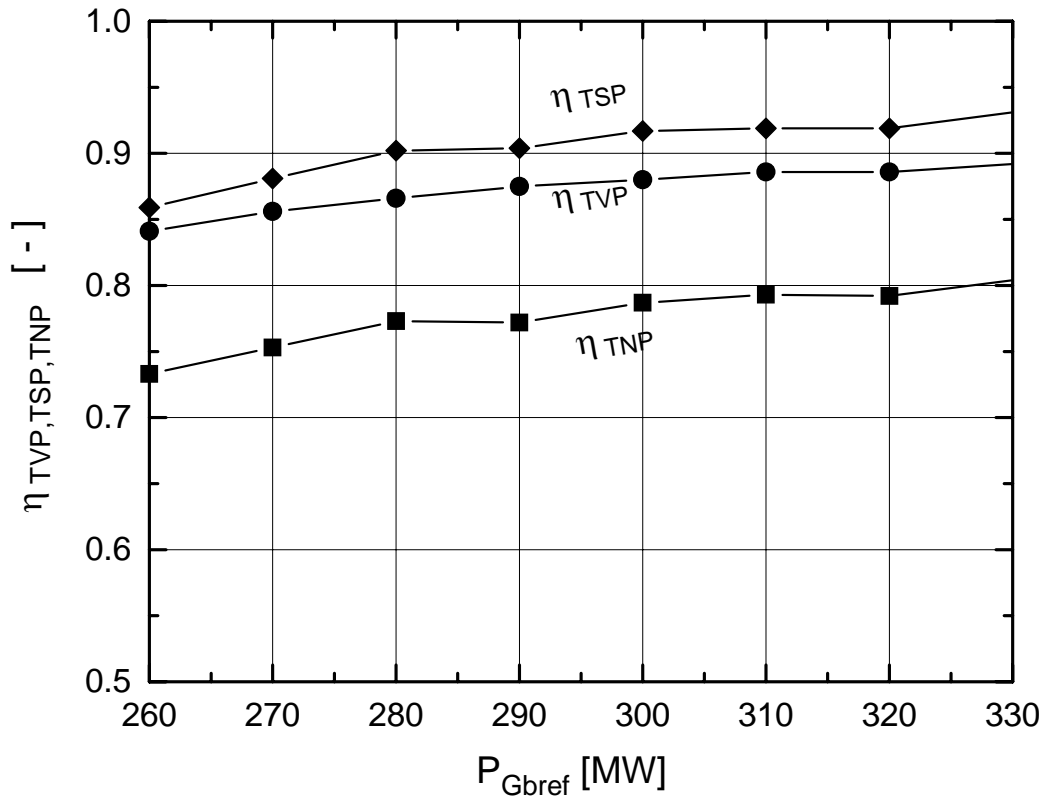
На сл. 5 је приказана реализована промена притиска свеже паре у клизном режиму са минималним и максималним готово уједначеним одступањем за разматрани анализирани референтни период од годину дана. Такође, је упоредо дата референтна карактеристика промене притиска са оптерећењем дефинисана на бази пројектних подлога (изведена из података са топлотних шема за основне режиме рада блока) [7]. С обзиром да се клизни притисак одређује за одговарајуће стање постројења, дефинисано и стањем турбине, односно одговарајућим њеним проточним константама, то би нормално требало очекивати одступање клизног притиска у односу на референтну пројектну карактеристику са променом стања постројења. Зато је предвиђено да се у развоју софтверског система за on-line оперативну примену потребан притисак свеже паре за одговарајући режим рачуна на основу постојећег утврђеног стања постројења, односно појединих његових компоненти. У односу на овако одређен притисак свеже паре рачунаће се одступања притиска и њихов утицај на економичност, што ће одговорити реалном стању постројења и његовим могућностима.



Сл. 4 Убризавање напојне воде у хладњак прегрејача број 3



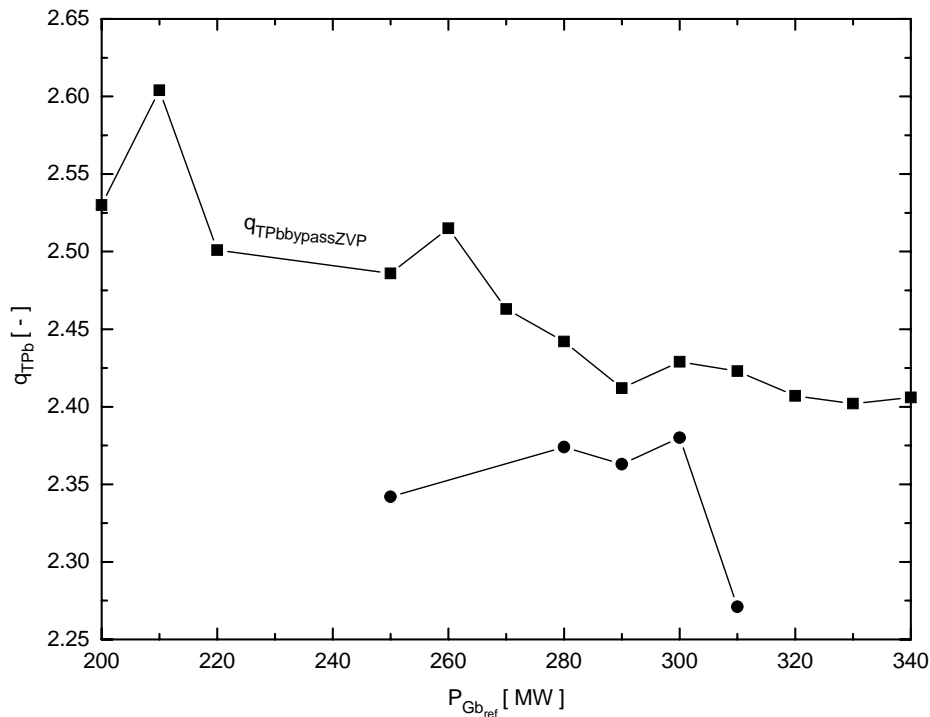
Сл. 5 Промена и одступање притиска свеже паре



Сл. 6 Промене степена корисности турбине високог, средњег и ниског притиска

Прорачун перформанси целине и појединих компоненти постројења је свакако једна од најважнијих карактеристика софтверског система. Праћење промена степена корисности турбина високог, средњег и ниског притиска може се убројити и у праћење промене погонског стања ових компоненти. На сл. 6 су приказани добијени резултати ових перформанси за референтне нивое оптерећења. Генерално је присутно благо снижење степена корисности са смањењем оптерећења које се повећава са смањењем снаге. За степен корисности турбине високог притиска резултати се незнатно разликују у односу на пројектне податке са топлотних шема што може да говори о релативно непромењеном стању ове турбине. Нешто је изразитије смањење степена корисности турбине средњег притиска: 2 до око 3% на вишим оптерећењима па и до око 5% на нижим. Највеће промене су код турбине ниског притиска, како се могло и очекивати, са снижењем степена корисности око 5% на највишим оптерећењима, па и до 10% на најнижим оптерећењима. Међутим, треба напоменути да су подаци изведени из топлотних шема као референтних подлога испоручиоца о готово константној вредности за степен корисности турбине ниског притиска у најмању руку неочекивани. Промена оптерећења мора да се рефлектује на степен корисности турбине ниског притиска, како је иначе и познато из литературе [9], односно мора се очекивати нижа вредност са смањењем оптерећења, и то интензивније смањење са све нижим оптерећењима, односно реално би требало очекивати промену сличну резултатима добијеним на сл.6.

Рад у дужем временском периоду у режимима са искљученим регенеративним загрејачима високог притиска је захтевао, поред извршене знатне адаптације софтверског система којима би се обухватили и ови режими са промењеном погонском конфигурацијом парног блока, и адаптацију софтверских модула за посебне статистичке обраде резултата за режимо са и без обилажења регенеративних загрејача високог притиска. Захваљујући томе приказани су посебни резултати за специфичну

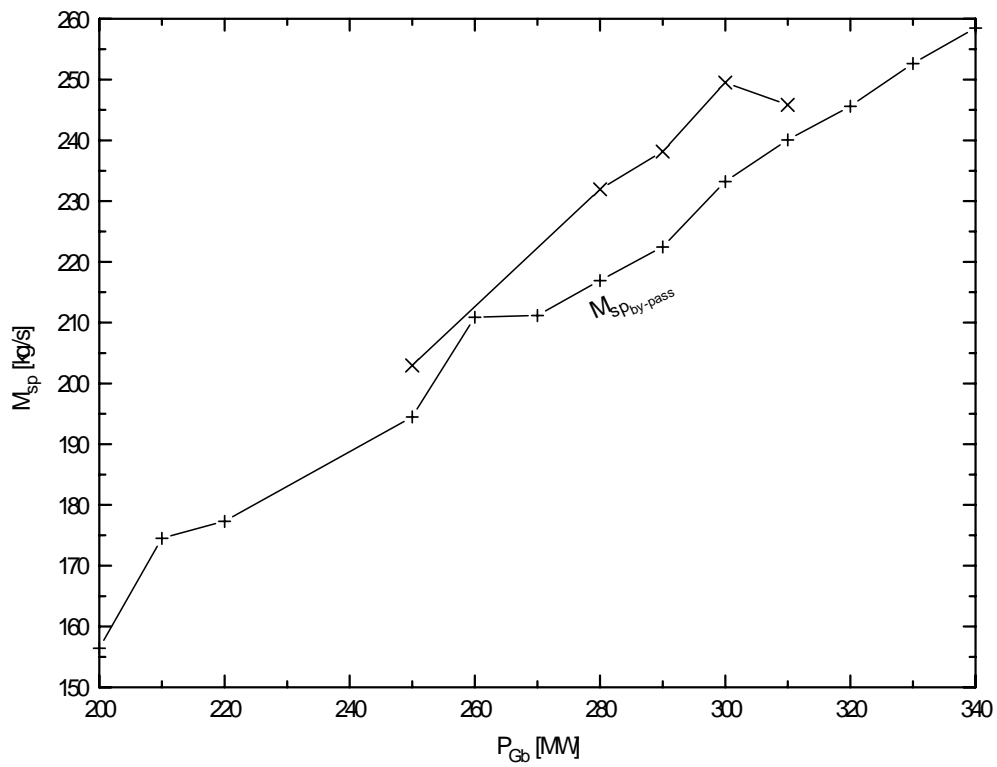


Сл. 7 Специфична потрошња топлоте турбопостројења бруто

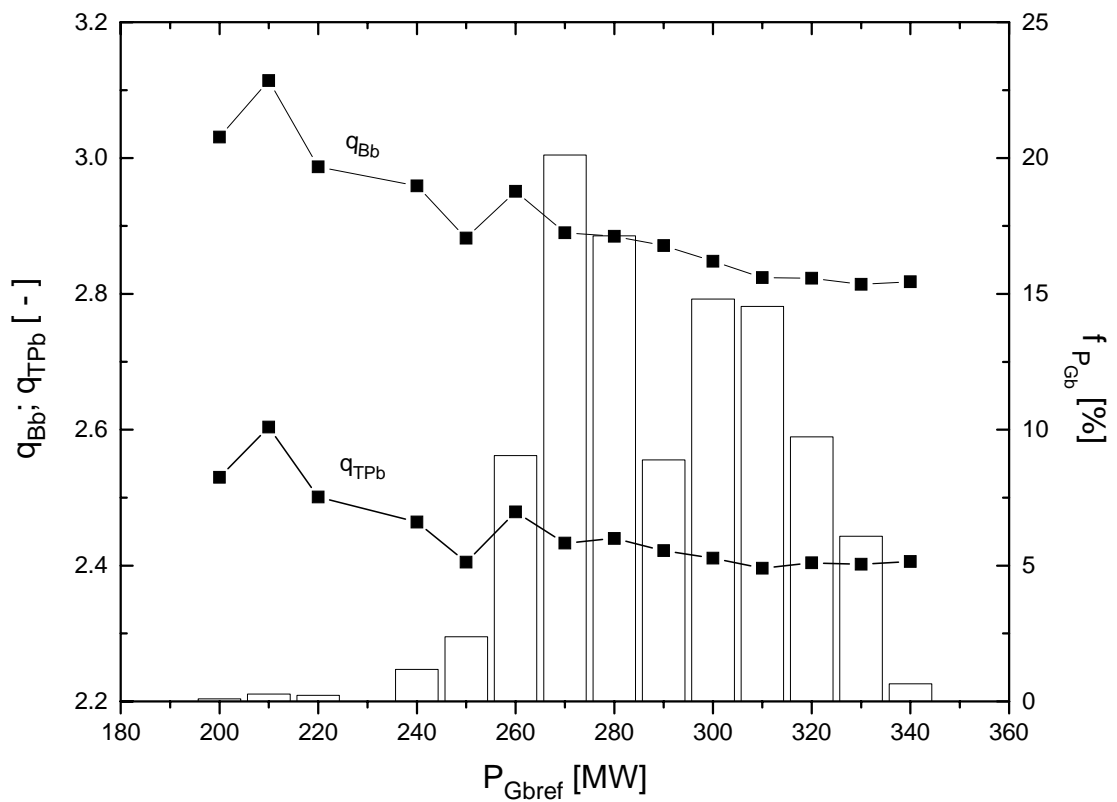
потрошњу турбопостројења бруто за режиме са обилажењем и без обилажења загрејача високог притиска – сл. 7, а на сл. 8 резултати промене протока свеже паре за ове случајеве. Обилажење загрејача високог притиска се манифестује већом специфичном потрошњом топлоте турбопостројења бруто – сл. 7, односно са мањим протоком свеже паре – сл. 8. На бази резултата анализа приказаних у раду [8], рад у режимима са обилажењем регенеративних загрејача високог притиска у односу на регуларан рад ових загрејача у режимима без обилажења омогућује повећање снаге до око 10%, са повећањем специфичне потрошње топлоте блока за око 4.5 %.

Резултати промене специфичне потрошње топлоте турбопостројења и блока бруто за укључене све режиме показују очекивано благо смањење са повећањем оптерећења – сл. 9.

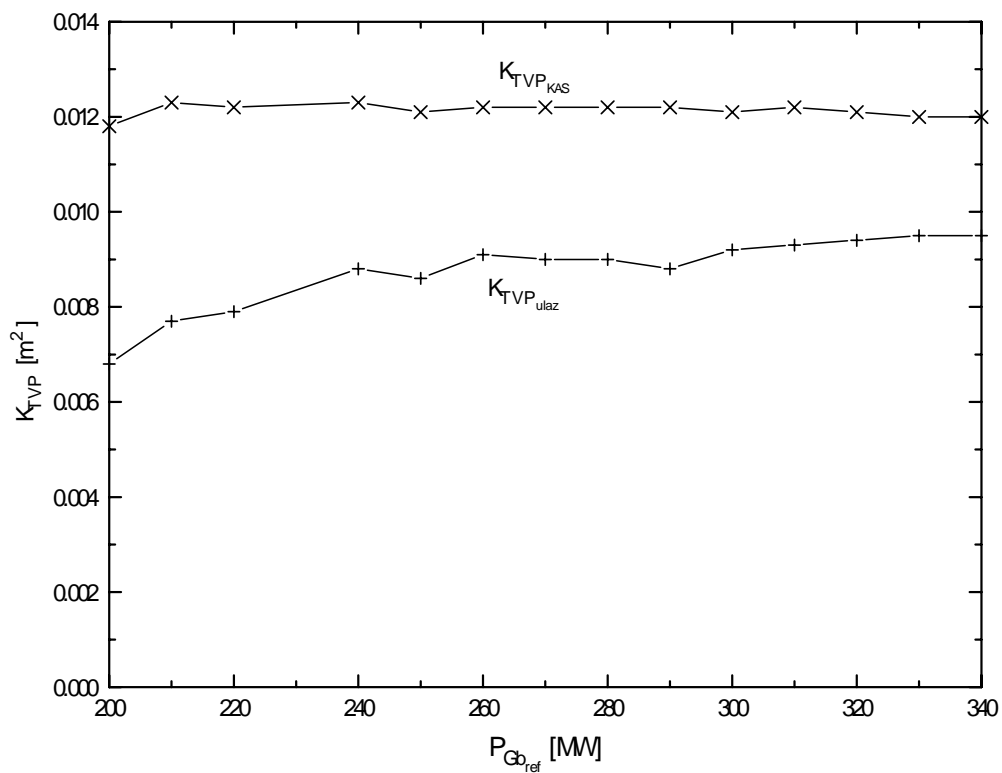
Свакако један од најважнијих задатака се односи на одређивање параметара за праћење погонског стања појединих компоненти постројења. Овај задатак је од посебног значаја као база информација за развој софтверског система за on-line примену у следећој фази. Стање турбине карактерише проточна константа проточних делова турбине са непромењеним протоком. На сл. 10 су приказани резултати прорачуна две проточне константе за турбину високог притиска: нижих вредности за део улаз - излаз турбине и виших вредности за део комора првог акционог ступња – излаз турбине. Очигледно је да су бољи резултати са другом константом, код које је вредност практично непромењена са променом оптерећења, односно да не би био довољно тачан прорачун режима турбине високог притиска коришћењем прве проточне константе. За турбину ниског притиска, која је асиметрична, а има и спрегнута одузимања, резултати су приказани на сл. 11 за сваки део са непромењеним протоком посебно за оба проточна дела турбине ниског притиска – лево и десно. Због великих проточних пресека, као и рада делом у области влажне паре, флукуације вредности проточних константи су очекивано веће, пре свега код излазних делова турбине. Али ове флукуације су отприлике око средње приближно константне вредности, те се проточне константе могу извести релативно поуздано.



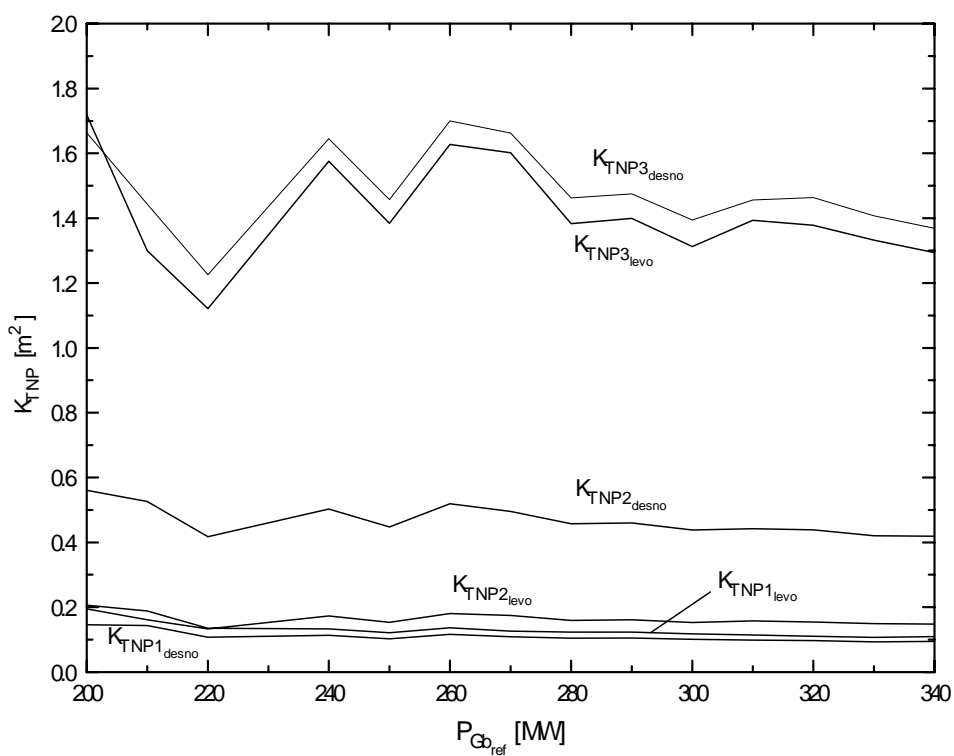
Сл. 8 Проток свеже паре за случај са и без обилажења рег. загрејача ВП



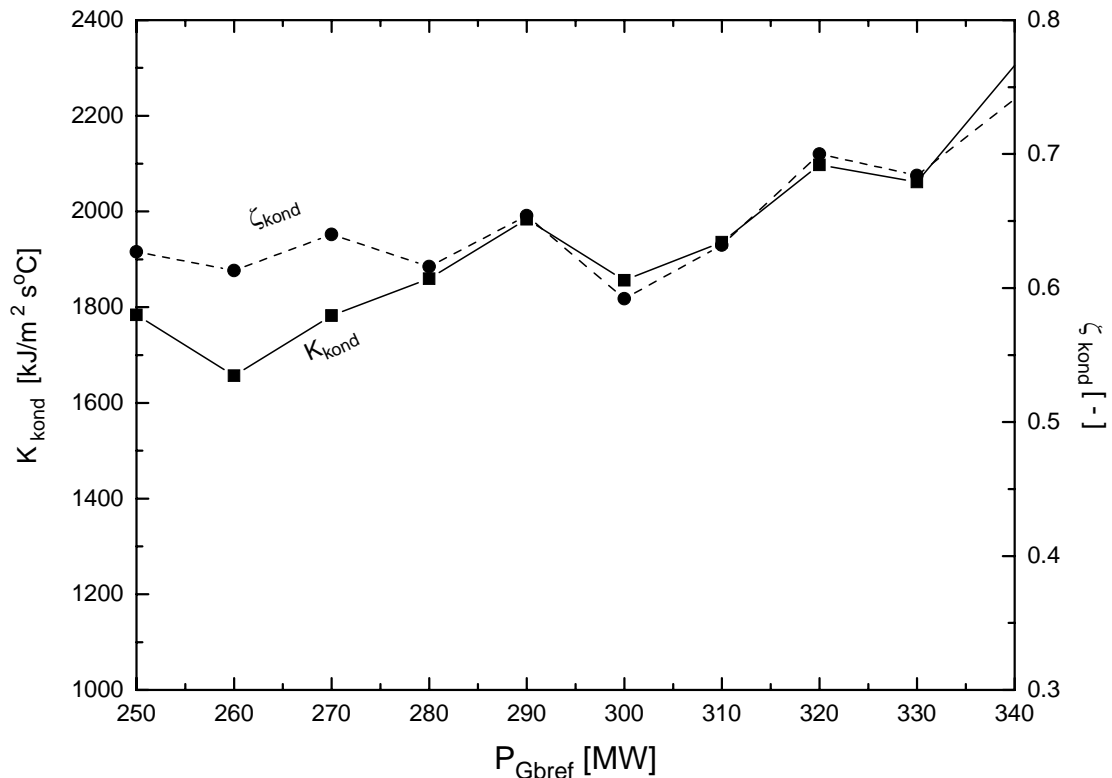
Сл. 9 Специфична потрошња топлоте турбопостројења и блока бруто



Сл. 10 Проточне константе за турбину високог притиска



Сл. 11 Проточне константе за турбину ниског притиска



Сл. 12 Коefицијент пролаза топлоте и коefицијент запрљаности за кондензатор

Праћење функционог погонског стања регенеративних загрејача и кондензатора се врши преко промена коefицијената пролаза топлоте. За кондензатор су на сл. 12 приказани резултати прорачуна коefицијента пролаза топлоте за анализирани погонски период рада, али и коefицијента запрљаности кондензатора. Треба напоменути да оба параметра су условно дефинисана на претходни начин, јер укључују све неповољности рада кондензаторског система.

3. ЗАКЉУЧАК

С обзиром да софтверски систем за дијагностику рада парног блока термоелектране представља и представљаће извор информација о погонским условима рада и функционом погонском стању постројења, неопходан за развој и рад планираног адаптивног софтверског система са могућношћу on-line инструктивног оперативног деловања ради побољшања рада парног блока, његово испитивање и примена је од примарне важности. Но, поред ове његове веома важне улоге, он омогућује детаљну интроспекцију рада блока у погонским условима, први пут могућу на овај начин код нас, са великом базом резултата везаних за погонске услове рада, стање и економичност парног блока. Овај софтверски систем, који има карактеристике експертског система, процесуира 120 аналогних мерних сигнала и продукује нових израчунатих 521 параметара.

Надграђени софтверски систем за дијагностику рада блока, према опису из увода, је успешно испитан на довољно дугом узорку погонског рада блока од годину дана. Истовремено пошто су се подаци из процеса у овом периоду, доста неочекивано, односили већим делом на режиме рада са обилажењем регенеративних загрејача високог притиска, софтверски систем је морао бити адаптиран и за ове режиме, који су

чешћи у нашем електроенергетском систему него што се иначе претпоставља. Добијени резултати су дискутовани у оквиру рада.

На крају треба да се истакне да дијагностика и анализа процеса имају највећи значај у експлоатацији термоенергетских постројења у циљу повећања њихове економичности, поузданости, расположивости и радног века. Њихова улога се и повећава са старошћу блокова и њиховим промењеним стањем и перформансама, а којима је због тога потребна већа пажња и брига. На жалост мора се констатовати да се у нашим условима не посвећује довољна пажња овим важним функцијама, а чији развој и примена једино могу на прави начин да промовишу рад и знање примењено у експлоатацији постројења.

РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] Savić, B., Vasiljević, N., Damnjanović, S., Rosić, B., Automatic Economy Control of Thermal Power Plant by Using of Processing Measured Data, *XXVIII.KWT-Kolloquium*, Dresden, 1996, P 47a-b.
- [2] Savić, B., Stojaković, M., Vasiljević, N., Damnjanović, S., Rosić, B., Software Package for Economy Control and Diagnosis of Operating Conditions of Steam Turbine Plant, *Proceedings, Amer. Power Conf., 59th Ann. Meeting*, Chicago, 1997, Vol. 59-II, pp. 646-651.
- [3] Savić, B., Stevanović, V., Ribar, Z., Dobrosavljević, M., Nikolić, M.: Preliminary Analysis of Steam Turbine Unit Performnces of “Kostolac-B” Power Plant within Development of Software System for Diagnosis of their Operation, *Simpozium: Power Plants 2004*, 2.-5. nov. 2004, Vrnjačka Banja.
- [4] Savić, B., Stevanović, V., Ribar, Z., Jovanović, R., Dobrosavljević, M., Nikolić, M.: Some Results of Development and Preliminary Testing of Software System for Diagnosis of Operation, Economy and Operating State of Steam Power Plant, *12. Symposium of Thermal Engineers*, Soko banja, 18.-21.10.2005.
- [5] Savić, B., Jovanović, R., Ribar, Z., Stevanović, V., Dobrosavljević, M., Application of the software system for operation diagnosis of a steam power unit, *Simpozium: Power Plants 2006*, 19.-22. September. 2006, Vrnjačka Banja.
- [6] Savić, B., Jovanović, R., Ribar, Z., Stevanović, V., Dobrosavljević, M., First results from testing of a software system for diagnosis of the operation, economy and operational state of steam power plant, *38. KWT-Kolloquium*, Dresden, 24. und 25. October 2006, P6.
- [7] Савић, Б. и сар.: Софтверски систем за дијагностику рада, контролу економичности и стања парног блока термоелектране, пројекат ЕЕ107-150А финансиран од стране Министарства науке и заштите животне средине, Република Србије, Машински факултет Универзитета у Београду, 2003.-2006.
- [8] Savić, B., Perković, B., Živanović, T, M., Comparative Analysis of Operation in the Regimes with by-pass of High Pressure Heat Exchangers for Two of the Same Power but Different Configuration Steam Turbine Units, *Amer. Power Conf., 61st Ann. Meeting*, Chicago, April 6-8, 1999., Log. 40.
- [9] Kostyuk, A. and Frolov, V., Steam and Gas Turbines, Mir Publishers Moscow, 1988, p. 343.