

АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПРИПРЕМЕ ЛОЖИШТА У РЕЖИМУ ПРОМЕНЕ РЕФЕРЕНТНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СНАГЕ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ БЛОКОВА – ТЕНТ Б1

Жељко Ђуровић, Горан Квашчев

Електротехнички факултет, Београд

Александар Илић, Петар Татомировић

Термоелектрана “Никола Тесла Б” Обреновац

IZVOD

Модерни системи управљања пружају могућност за лакшу и комфорнију оптимизацију управљачких и регулационих структура термо блокова. Након имплементације система управљања „Siemens SPPA-T3000“ на блоку ТЕНТ Б1 у капиталном ремонту 2012. године, приступило се темељном подешавању управљачких и регулационих кругова комплетног постројења. Посебна пажња посвећена је котловској регулацији која по својој комплексности засигурно представља и највећи изазов. Једна од најбитнијих функција котловске регулације је „припрема ложжишта“ која представља спону између турбине, која је изузетно динамична и са брзим одзивима и котла који је због своје структуре и комплексности инертан и спор. Добро подешена припрема ложжишта је веома важна за бољу координацију рада турбине и котла, као и за постизање веће ефикасности целог постројења. Приликом подешавања припреме ложжишта мора се сагледати котловско постројење у целисти, почевши од стања самих актуатора у погону па до конструкције котла.

У раду је извршена детаљна анализа проналажења најбољег решења по питању трајања, а и саме изведбе припреме ложжишта котловске регулације на термо-енергетском блоку ТЕНТ Б1. С обзиром да је стање котловског постројења ТЕНТ Б1 на звидном нивоу, успешно је реализована регулација блока са новом унапређеном логиком припреме ложжишта. Модификацијом ПИД регулатора ложења постигли су се много бољи резултати регулације. На тај начин добијен је много бржи одзив уз задржане строге захтеве по питању стабилности и поузданости комплетног постројења.

Кључне речи – котловска регулација, припрема ложжишта

ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE FUEL PREPARATION IN REGIMES OF CHANGING REFERENCE OF ELECTRICAL LOAD ON THERMAL POWER UNITS – TENT B1

ABSTRACT

Modern control systems provide the ability for easy and comfortable optimization of the control structure at thermal power plants. After the implementation of new control system "Siemens SPPA-T3000" on the thermal unit TENT B1 during overhaul 2012th year, all control loops are adjusted. Special attention was on boiler control, because of its complexity, it is certainly the most challenging control loop. One of the most important control functions of the boiler control is "fuel preparation" which represents the connection between the turbine which is a highly dynamic and with fast response time, and the boiler which is because of its structure and complexity inert and slow. Good adjusted fuel preparation is very important for better coordination of turbine and boiler, as well as for better efficiency of the whole plant. During adjustment of the fuel preparation must be viewed boiler plant as a whole, starting with the actuator response up to the construction of the boiler.

This paper presents a detailed analysis for finding the best solution of fuel preparation, with optimal duration and parameters, in the boiler control at thermal unit TENT B1. Because of good condition of the boiler at thermal unit TENT B1, it is successfully implemented control structure with the new improved logic of the fuel preparation. Fuel PID controller modification provide much better control results. In this way, its provided a much better response with retained strict requirements in terms of stability and reliability of the power plant.

УВОД:

Након капиталног ремонта и имплементације новог система управљања који су извршени 2012. године на блоку Б1 термоелектране Никола Тесла у Обреновцу, инжињери компаније Siemens-а су имплементирали и нови начин регулације комплетног блока. Постављено решење регулације је било „типско“ решење Siemens-а које они примењују на свим својим пројектима. С обзиром да сваки термоенергетски блок има своје особености и специфичности, а посебно имајући у виду да су варијације квалитета угља који користи блок ТЕНТ Б1 велике, поједине регулационе структуре имплементираних Siemens-овог решења нису дале задовољавајуће резултате. У складу са тиме оформљен је тим инжењера састављен од професора са Електротехничког факултета у Београду и инжењера са термоелектране Никола Тесла Б који је на основу искуства са других термоенергетских блокова у Србији, извршио прилагођавање регулационих структура особеностима ТЕНТ Б1.

Овај рад је посвећен једном сегменту главног регулатора ложења који се назива „припрема ложишта“. Његов основни циљ је да омогући промену електричне снаге блока за што краће време не нарушавајући стабилност основних термодинамичких параметара у котлу. На неколико дијаграма биће приказани резултати предложеног решења од стране Siemens-а као и резултати добијени новим подешавањима.

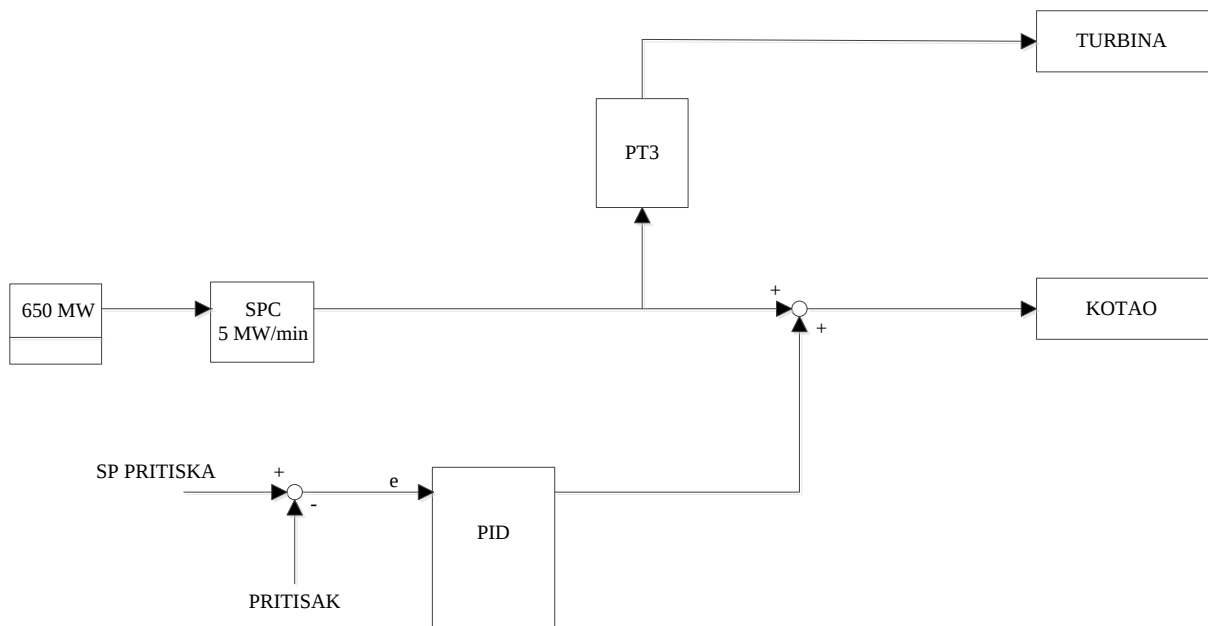
ПРИПРЕМА ЛОЖИШТА

Квалитет рада једног термоенергетског блока умногоме зависи од међусобне синхронизације котла и турбине. Котао је због својих димензија и природе размене енергије која се дешава у њему спор и инертан. Временске константе које карактеришу процесе у котлу се мере минутима, док је, са друге стране, турбина веома брза и њени одзиви се дешавају са временских константама које представљају део секунде. Улога припреме ложишта је да синхронизује рад котла у турбине, тако да приликом захтева за промену електричне снаге, ова два објекта, због значајно различитих динамика, један другом не нарушавају стабилност.

Када се зада повећање жељене електричне снаге блока, мора се благовремено обезбедити одговарајуће повећање угља који се убацује у млинове, као и ваздуха и воде а на турбини је потребно додатно отворити вентиле. Отварање вентила изазива обарање притиска на излазу из котла. С обзиром да је главна управљана величина у регулацији котла управо притисак на његовом излазу, лоша синхронизација у раду између турбине и котла довешће до нарушавања стабилности рада котла. Ова нестабилност се углавном одражавају на велике девијације притиска и/или температуре свеже паре од референтних

вредности. С обзиром на инертност котла, свака од ових девијација захтева додатно време за поновну стабилизацију релевантних физичких величина.

Пошто је потребно време да би се количина угља која се убаца у ложиште разгорела и дала прираштај притиска паре на излазу из котла, а у циљу повећања захтевања електричне снаге на блоку, потребно је или мало одложити реакцију турбине и тиме дати котлу више времена или се на неки други начин обезбедити да не дође до нарушавања стабилности рада котла. Један од најчешће примењиваних решења у индустрији јесте метод одлагања захтева, какав је и Сименс применио на блоку Б1. На слици 1 је приказан структурни блок дијаграм овакве припреме ложишта.



Слика 1: припрема ложишта

На слици 1 је са PT3 означена функција преноса трећег реда чија је једна од битнијих карактеристика временско померање одзива у односу на сигнал на улазу. Свако повећање или смањење електричне снаге блока захтева промену динамике допремљене количине угља у ложиште а након неког времена отварање вентила на турбини. Време за које је закашњено слање захтева ка турбини треба да буде тако подешено да одговара одзиву котла односно, то треба да буде време које је потребно да се нова количина угља разгори. Сименсово решење је да се та функција оствари кашњењем преко филтра трећег реда чија је карактеристика приказана на слици 2.



Слика 2: одзив филтра трећег реда на повећање снаге са градијентом од 5 MW/min

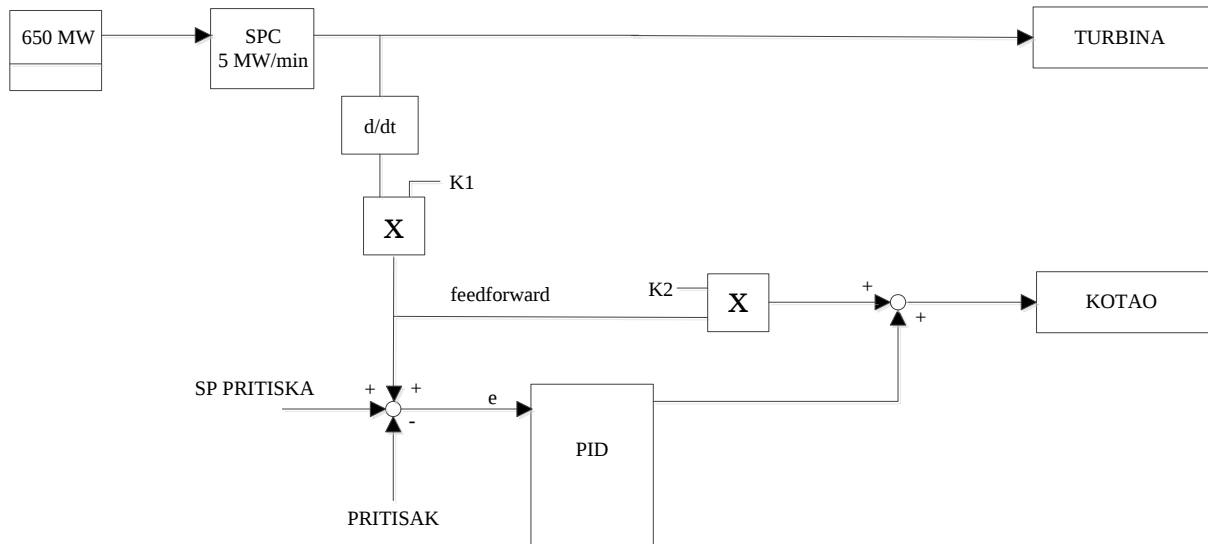
На слици 2 се види понашање на излазу филтра када се на његов улаз доведе захтев за повећање снаге од 0 - 20 MW са градијентом од 5 MW/min. Његов излаз се полако мења конвергирајући ка вредности која се налази на његовом улазу. На промену улаза, излаз филтра почиње да се мења за отприлике 100 sec. То значи да када руковаоц зада захтев за повећање снаге, тај захтев ће прво отићи ка котлу и убациће се потребна количина угља. Тек после 100 – ак секунди тај захтев ће почети да се прослеђује и турбини. За то време количина угља која је убачена у ложиште одразиће се на прираштај притиска паре на излазу из котла.

Овакав вид припреме ложишта има три главна недостатка у нашем случају:

1. Количина енергије која је акумулирана у ложишту није увек иста. Притисак на излазу из котла није константна вредност. У стабилном режиму рада он се мења у опсегу до ± 4 bar-а око задате вредности. Да би снага коју блок предаје мрежи била константа турбински вентили се померају како би компензовали ове осцилације притиска. Пошто регулација ложења тежи да осцилације притиска сведе на минимум, количина угља која се убације у ложиште се стално мења па самим тим и акумулирана енергија у ложишту је променљива. Сходно томе када је акумулација енергије већа време које је потребно да турбина „чека“ котао је мање и обрнуто па самим тим ради економичнијег рада и припрема ложишта треба да буде променљива.
2. С обзиром да се квалитет угља мења од одличног до јако лошег време одзива котла када је угаљ добар је краће него када је лош па је тиме и време чекања котла променљиво.

3. Котао је динамичан систем. При номиналној снази он сагорева око 700 – 800 t/h угља уз помоћ седам – осам млинова. При том сагоревању се потроши око $1,6 \times 10^6$ Nm³ /h ваздуха и око 2000 t/h воде. Сви ови параметри су спрегнути и не могу се подешавати независно. Постоје ситуације које захтевају интервенцију руковоаца блоком. То су ситуације при којима долази до нагле промене калоричне вредности угља или отежане замене млинова, и тада уобичајено руковалац реагује тако што повећава или смањује задату снагу блока, како би помогао котлу да одржи притисак и температуру паре у близини задатих вредности. Руковаоц очекује да након тих интервенција турбина реагује одмах и учинак блок РТЗ, који одлаже акцију за 100 или 150 секунди, није прихватљиво.

У намери да се пронађе решење које ће пребродити наведена три проблема, припремљен је, тестиран и имплементиран нови приступ. На слици 3 је приказан структурни блок дијаграм новог решења.



Слика 3: нова припрема ложишта

Захтев за променом снаге се директно шаље на турбину без кашњења. Регулација ложења чији је циљ регулација притиска на излазу из котла, посредством диференцирања захтева за електричном снагом, препознаје тренутак повећања/смањења снаге. Уколико је рецимо у питању повећање снаге, регулатор ложења зна да ће турбина одмах почети да отвара вентиле и да ће то изазвати пад притиска на излазу из котла који он неће моћи да испрати. Због тога у тренутку повећавања снаге ложење убацује додатну количину угља која није последица пропада притиска већ превентива регулације ложења како би успела да компензује очекивани долазећи пад притиска. Чим се детектује захтев за повећање снаге, припрема ложишта формира лажну, већу грешку која се прослеђује ПИД регулатору, чиме га мотивише да тренутно промени количину угља која се убацује у ложиште. Оно што је управо овде јако битно је да та лажна грешка пролази кроз ПИД. Значи није у питању нека

фиксна вредност повећања количине угља већ пошто она пролази кроз ПИД, претрпи дејство и пропорционалног и интегралног и диференцијалног члана, те је повећање количине угља одговарајуће за регулацију притиска. Пропорционално и диференцијално дејство ПИД регулатора ће моментално одреаговати на велику грешку која је последица припреме ложишта и убацити количину угља док ће интегрално дејство извршити „фино“ подешавање количине угља која се убацује у ложиште.

На овај начин се постиже да припрема ложишта није константна величина већ је у великој мери прилагођена и тренутном стању котла као и калоријској вредности угља. Када је акумулирана енергија у котлу већа, количина угља која се убацује у ложиште је мања и обрнуто. Исто тако уколико је угаљ доброг квалитета интегрални члан ПИД регулатора ће убацити мању количину угља и обрнуто. Са друге стране, вредност овог прираштаја у грешци ПИД регулатора је ограничена на 4 бара. Сходно томе ће припрема ложишта бити занемарљива ако је притисак значајно већи од задатог а захтева се повећање снаге, или ако је притисак значајно мањи од задатог а захтева се смањење снаге. То значи да руковацац променом сет-поинта снаге заиста може да помогне котлу у ситуацијама појаве великог поремећаја.

Важно је напоменути да овакав вид регулације захтева добро подешене одзиве актуатора у погону. Извршни органи, првенствено се мисли на додаваче угља, морају бити у добром стању и морају изузетно добро „слушати“ регулатор. Захваљујући редовном и квалитетном одржавању на ТЕНТ Б1, стање опреме у погону је на више него задовољавајућем нивоу.

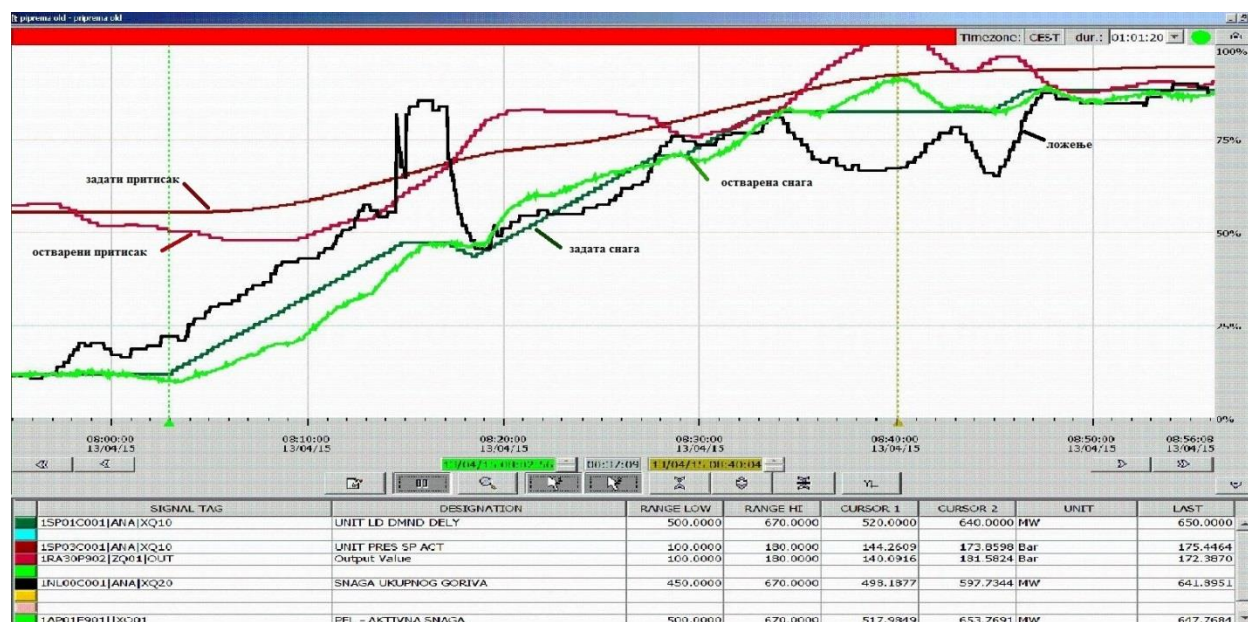
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

На слици 4 је приказан дијаграм добијен приликом промене захтеване електричне снаге а применом решења које су инсталирали инжињери из Сименса. На овој слици су приказани следећи сигнали:

- Црна линија – количина угља
- Тамно зелена линија – задата (жељена) активна снага
- Светло зелена линија – остварена активна снага
- Тамно црвена линија – задата вредност притиска свеже паре на излазу из котла
- Светло црвена линија – остварена вредност притиска свеже паре наизлазу из котла

На овој слици се види кашњење између регулације ложења и турбине. Прво регулатор ложења почиње да убацује угаљ па после одређеног времена турбина почиње са дизањем снаге. У тренутку задавања веће снаге акумулирана енергија у ложишту је била мала што се види по притиску паре јер је он у опадању. Иако је регулатор ложења почео раније да повећава количину угља то није било довољно да повећање активне снаге прати задату активну снагу (светло зелена линија не прати тамно зелену линију). Такође у тренутку

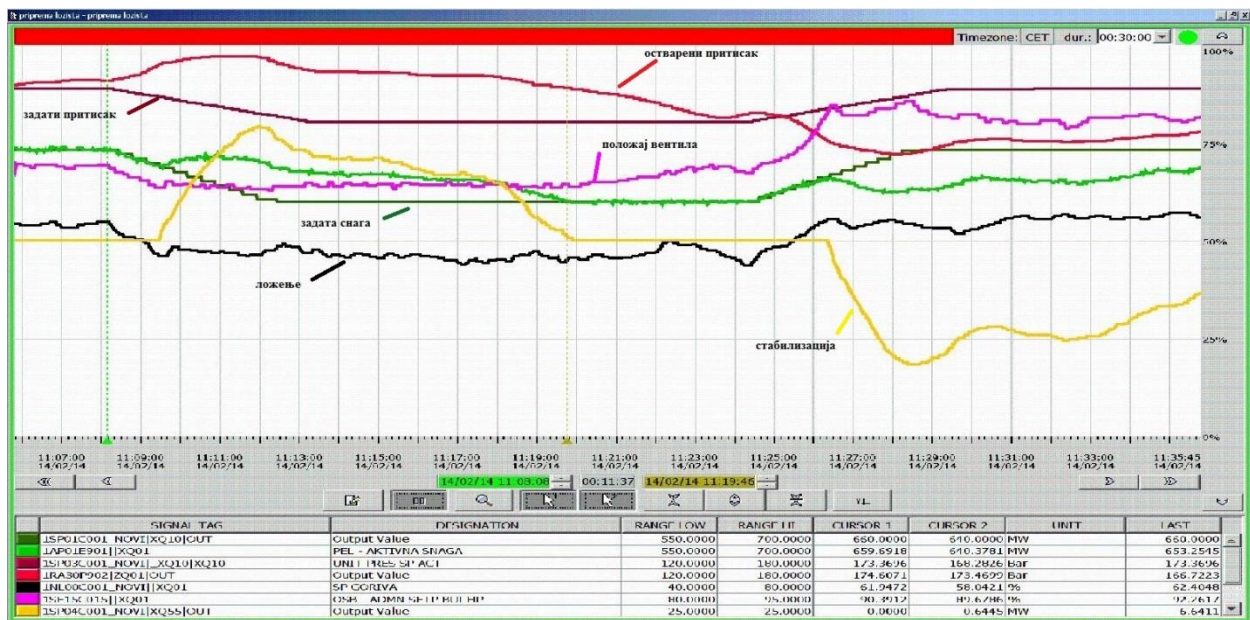
када је активна снага достигла жељену снагу од 640 MW она почиње и даље да расте све до 653 MW. То нам говори да је током дизања снаге укупна колична угља која је убачена у ложиште већа него што би требало и тај вишак енергије се види након дизања снаге. Закључак на основу овог дијаграма је да регулација није добро препознала тренутно стање у ложишту па самим тим није адекватно ни извршила припрему ложишта.



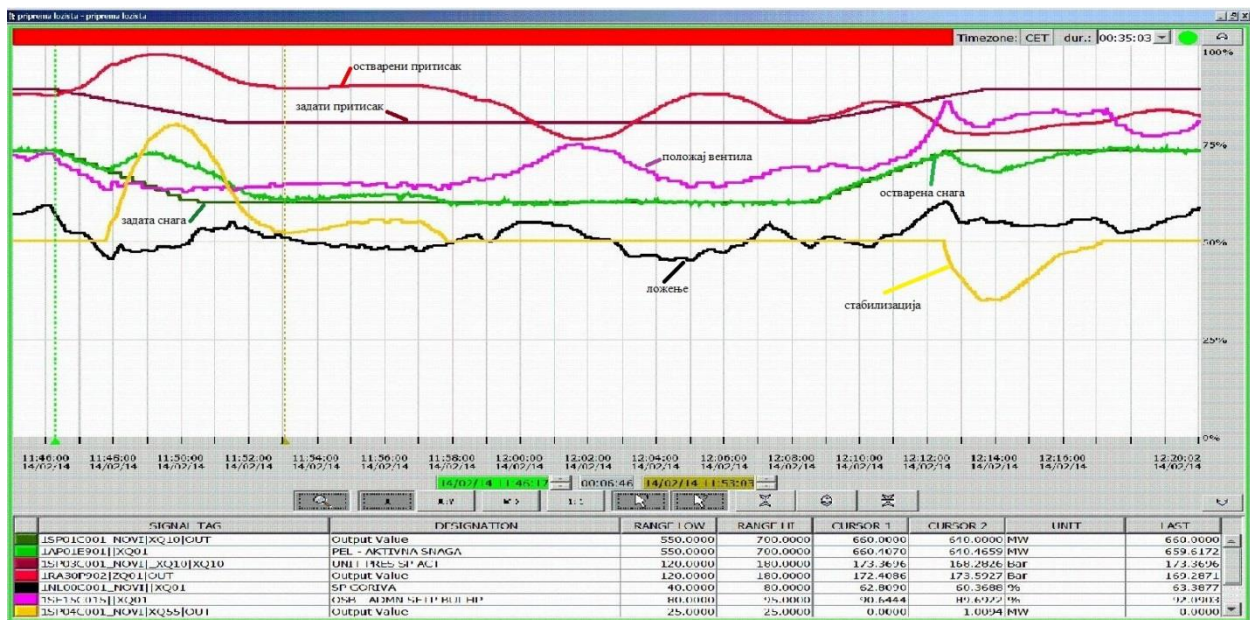
Слика 4: припрема ложишта са ПТЗ филтром

На наредним дијаграмима биће приказани резултати добијени новом припремом ложишта и то хронолошки како је и текло њено подешавање. На слици 5 је приказан одзив блока без било какве припреме ложишта. Извршено је прво спуштање а затим подизање снаге за по 20 MW. Промене снаге су урађене са градијентом од 5 MW/min. Налогом за смањење снаге, турбински вентили почињу да притварају (жута линија) и то доводи до пораста притиска. Количина угља која се у том тренутку смањује је недовољна. Снага само један кратак период прати задату снагу а онда престаје да опада услед дејства стабилизације која не дозвољава турбини да више притвара вентиле да не би дошло до претераног раста притиска. Уместо 4 минута, спуштање снаге за 20 MW је трајало око 12 минута.

Након активирања припреме ложишта и подешавања њеног појачања на K1=18, урађен је исти тест (Слика број 6). Припрема ложишта је дала ефекта, снага је спуштена за мало мање од 7 минута. Оно што се може видети са слике да је почетно спуштање горива знатно веће него у претходном случају али опет недовољно јер опет имамо прораду стабилизације.

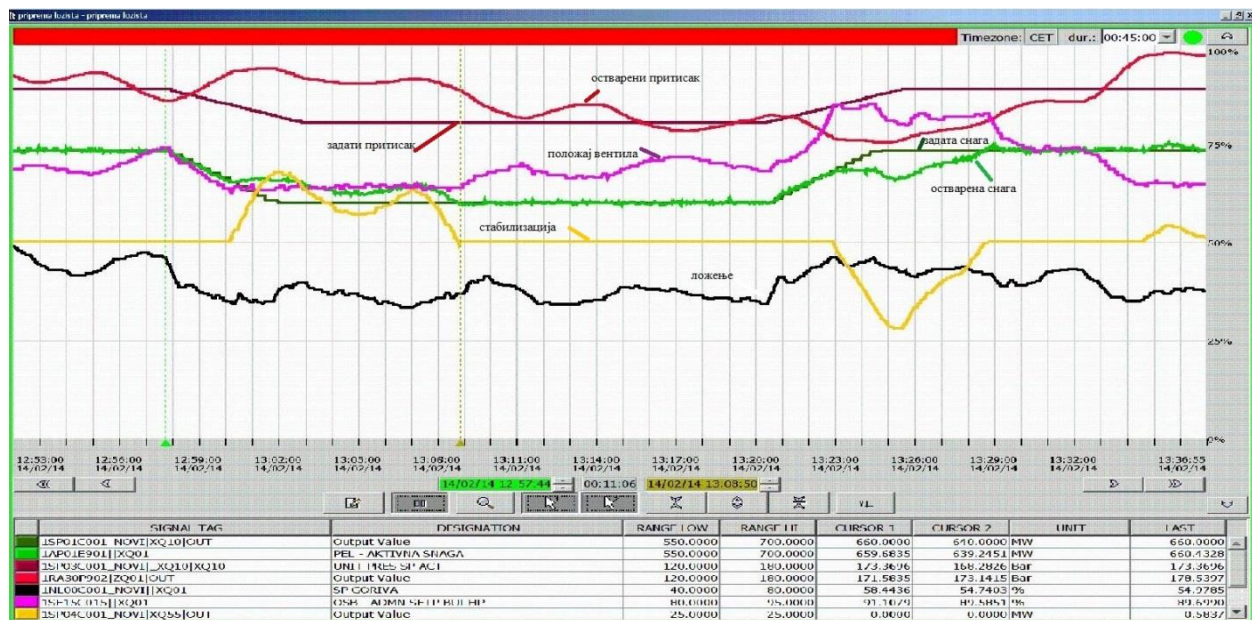


Слика 5: реакција котла без припреме ложишта



Слика 6: реакција котла са припремом ложишта са појачањем K1=18

Додатним повећавањем појачања K1 у припери ложишта нису добијени бољи резултати (Слика 7). Утицај стабилизације је и даље велики. Оно што се на овом дијаграму може видети то је да након дизања снаге имамо поново прораду стабилизације. То нам говори да је приликом дизања стабилизације припрема ложишта била јака и да је убацила у ложиште више угља него што је потребно.

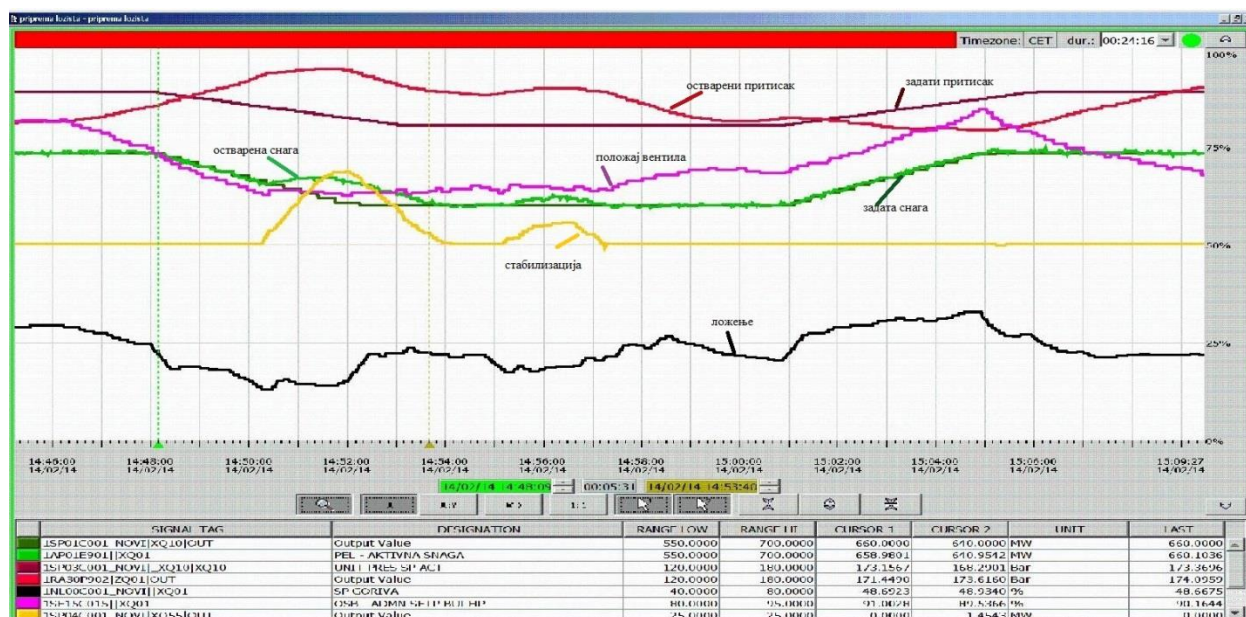


Слика 7: реакција котла са припремом ложишта са појачањем $K1=26$

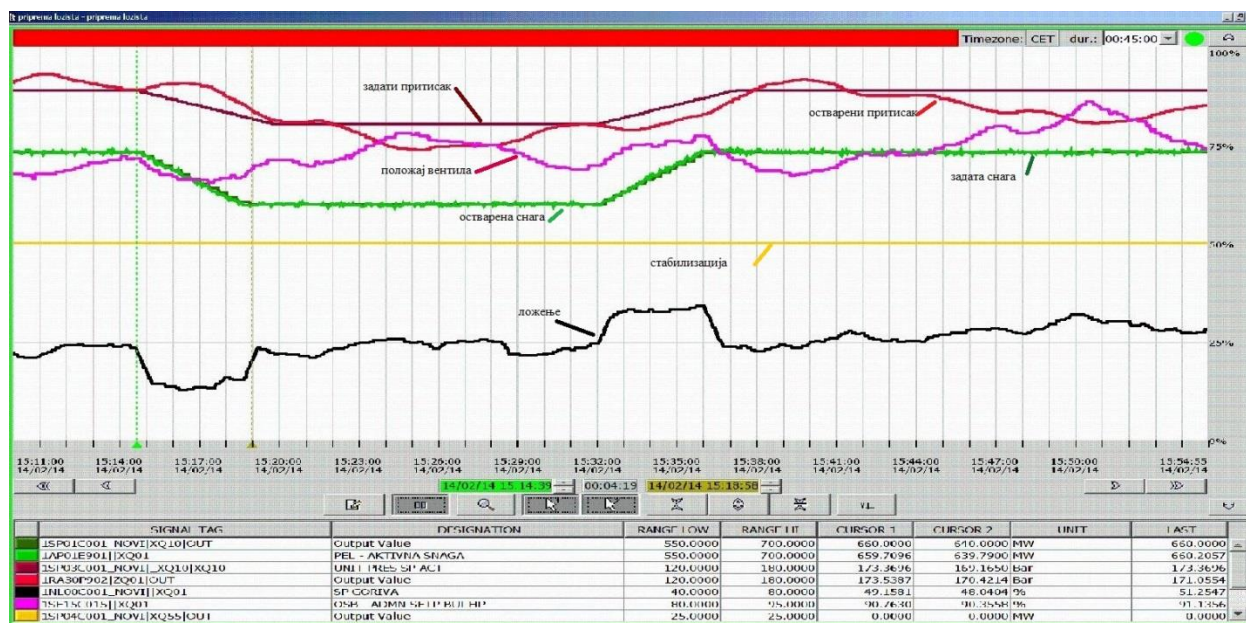
Након ових тестова, аутори овог рада су дошли на идеју да постојећој структури припреме ложишта додају и такозвану „feedforward“ грану која се може наћи у литератури. Овакав вид структуре је стандардан у свим видовима регулације у којима се појављује мерљиви поремећај и он делује на извршни орган директно заобилазећи ПИД регулатор. У нашем случају детекција промене снаге је поред улаза у ПИД регулатор као припрема ложишта одведена и директно на извршне органе. На тај начин приликом подизања снаге у ложиште се убаци једна фиксна количина угља за ту промену а преосталу количину угља одмерава ПИД регулатор. На тај начин ПИД регулатор отклања мање промене па је самим тим његова реакција јача.

Појачање „feedforward“ структуре, $K2$, не би требало да буде велико већ одмерено на начин да помогне ПИД регулатору у настојању да одржи притисак свеже паре у оквиру дозвољених одступања од референтне вредности. Пошто је припрема ложишта у претходном примеру била јака за овај пример она је смањена. Са оваквим подешањима спуштање снаге је било за 5,5 минута али уз доста мању прораду стабилизације док при подизању снаге утицај стабилизације скоро да није ни постојао (Слика 8).

Исти тест је поновљен само сада са мало јачим појачањем feedforward гране ($K2=1.5$). Добијени су жељени резултати. Спуштање и подизање снаге је остварено за 4 минута без прораде стабилизације. Добијени дијаграми су приказани на слици 9.



Слика 8: припрема ложишта са појачањем 20 и „fedforward“ структура са појачањем 1



Слика 9: припрема ложишта са појачањем 20 и „feedforward“ структура са појачањем 1

ЗАКЉУЧАК

Припрема ложишта је једна од значајних функција коју треба да обави главни регулатор ложења у сваком термо-енергетском постројењу. Ова функција је од значаја у ситуацијама када се повећава или смањује захтевана електрична снага блока. Припрема ложишта се може реализовати на различите начине, при чему је неопходно поштовати специфичности појединих блокова. Овај рад приказује хронолошки развој, примену и анализу различитих решења ове функције на блоку Б1 термоелектране Никола Тесла у Обреновцу. Закључак ове анализе је да се примена „fedforward“ структуре уз истовремену корекцију сигнала грешке на главном регулатору, без икаквог одлагања захтева према турбину, могу добити задовољавајући резултати.

ЛИТЕРАТУРА

CLARKE, R., WADDINGTON, J., and WALLACE, J. N.: `The application of Kalman filters to load/pressure control of coal fired boilers`. IEE Colloquium, 1989, Digest No. 1989/27 pp. 2/1 – 2/6

CORTI, L., DEMARCO, A., RADICE, A., and ZIZZO, A.: `Control and modelling of coal mills`. Proceedings of the IFAC Symposium on Power Plants, Pittsburgh, 1986, pp. 92 – 97

FAN, G. Q., and REES, N. W.: `An intelligent expert system (KBOSS) for power plant coal mill supervision and control`, Control Engineering Practice, 1997, 4, (1), pp. 101 – 108

MAFFEZZONI, C.: `Concepts, practice and trends in fossil fired power plant control`. proceedings of the IFAC Symposium on Power Plants and Power Systems, Beijing, China, 1986, pp. 1 -9

PARKER, D.: `Prototype design of operator knowledge base support system for pf mills`. ME thesis, University of New South Wales, 2003