

# ПРИЛОГ РЕГУЛАЦИЈИ ЛОЖЕЊА НА ТЕНТ Б1

Александар Милић дипл.инж.маш.  
Александар Илић дипл.инж.ел.  
Термоелектрана “Никола Тесла Б” Обреновац

**Абстракт** – Један од најбитнијих регулационих кругова у свакој термоелектрани је регулација ложења. Добро подешена регулација ложења и оптерећења млинова обезбеђује стабилан и сигуран рад термо блока. Уколико имамо лошу расподелу оптерећења млинова може доћи до лошег сагоревања у котлу и до мањег искоришћења капацитета млинова.

У старој изведби регулације ложења прерасподела оптерећења млинова је била ручна и оператер је одлучивао који млин ће више, а који мање оптеретити. Овом логиком је било тешко испратити брзе поремећаје у систему ложења који потичу од промене квалитета угља, нестанка угља на дозаторима, промењивог протока угља дозатора, и др. Нови системи управљања нам пружају могућност потпуне аутоматизације и оптимизације расподеле горива са максималним искоришћењем капацитета млинова.

У раду је представљена нова регулациона структура прерасподеле оптерећења по млиновима. Приказани су резултати где се види да аутоматизована прерасподела врши оптималну расподелу горива, обезбеђује боље сагоревање и продужава радни век уређаја. Логика је направљена за блок Б1 у термоелектрани „Никола Тесла Б“ у Обреновицу.

**Кључне речи** – ложење, прерасподела оптерећења

## IMPROVEMENT OF THE COMBUSTION REGULATION ON UNIT TENT B1 BOILER

**Abstract** – regulation of combustion in terms of thermic load of the boiler is one of the most important systems in every thermal power unit. Benefits of effective coal feeder regulation are even distribution of coal on mills, better combustion, and better mill capacity utilization.

In previous control systems, distribution of coal on the mills was manual, and it was up to an operator how the distribution is performed. Due to lignite variations in quality and structure, it was hard task to adjust coal flow quantity on all mills evenly. Any irregularity in coal flow through the feeder such as partial jamming was obstructing amount of fuel delivered to the furnace for required thermal load. New control system provide possibility to automatically compensate for this irregularities and keep fuel energy delivered to boiler at required level. In this study is described technical solution for even coal distribution on all operating mills, and maximal utilization of mill capacity. Results from the unit operation with characteristic diagrams are shown, where it can be noticed how new logic is providing many benefits. This solution is implemented in TPP Nikola Tesla unit B1, in Obrenovac.

## 1. УВОД:

Приликом сагоревања лигнита променљиве топлотне моћи на великим термоенергетским постројењима, посебан изазов представља оптимално руковање системима за припрему и транспорт горива до ложишта – млиновима и дозаторима. Један од најбитнијих задатака система за управљање сагоревањем јесте да обезбеди континуално и равномерно топлотно оптерећење ложишта, и максимално искоришћење капацитета млинова. Ово је посебно важно у ситуацијама када је угаљ лошијег квалитета, односно ниже топлотне моћи.

Котао ВВ1800 на блоку ТЕНТ Б1, снаге 620 MW, опремљен је са осам млинова за угаљ, типа N400.42 и као гориво користи колубарски лигнит. Циљеви које регулација система за сагоревање треба да оствари, као и начин на који су решени на ТЕНТ Б1 биће обрађени у овом раду, а то су:

- Континуална расподела оптерећења по млиновима у погону
- Остваривање максималног капацитета млинова
- Превентивно спречавање преоптерећења млинова – „загушивања“

Реализацијом ових циљева постиже се стабилан рад термоенергетског постројења – блока, са широким дијапазоном квалитета лигнита различитих топлотних моћи (5000 – 9000 кJ/kg), садржаја воде и гранулације.

Наведени циљеви се ефикасно могу остварити само одговарајућом аутоматском регулацијом, јер је динамика промене често таква да човек - оператер због нехомогеног угља не може довољно брзо испратити све промене. Увођењем новог система управљања на ТЕНТ Б1 у ремонту 2012 године, стекли су се услови да се искуства стечена у експлоатацији млинова имплементирају у аутоматску регулацију система за сагоревање.

У нормалном погону котао ТЕНТ Б1 ради са 6 или 7 млинова, и укупном потрошњом угља од 700 - 900 тона на час. Номинални капацитет млина је 140 тона на час, међутим у пракси то зависи од стања самог млинског кола чије су ударне плоче изложене абразивном дејству угља. Када постројење ради са угљем лошијег квалитета односно ниже топлотне моћи, да би се остварила потребна продукција паре у котлу млинови имају задатак да самелеу и убаце у ложиште већу количину угља него када је угаљ веће топлотне моћи. Нису ретки случајеви да се захтевана продукција котла односно снага блока не може остварити јер угаљ нема адекватну топлотну моћ. У таквим случајевима од изузетне је важности да се млинови могу максимално оптеретити на безбедан начин како би што више горива било убачено у ложиште и одржала максимално могућа продукција за врсту угља који се користи у том тренутку. Ово је изузетно тежак задатак за човека – оператера, јер у том случају мора континуално да преподешава оптерећења свих млинова да би у сваком тренутку користио максимални капацитет сваког млина. Наиме, процес дозирања угља из бункера у млин чак и при константним брзинама дозатора није увек равномеран. Проток угља често варира због налета у бункеру, заглављивања већих комада угља на бункерским затварачима и самом дозатору, сабијања и лепљења влажних партија угља на делове система за транспорт итд.

## 2. МЛИНСКО ПОСТРОЈЕЊЕ

Задатак млинског постројења је да самеле и осуши сирови угаљ , односно да га припреми за стабилно сагоревање у ложишту. Колубарски лигнити имају садржај воде од око 50 % , и да би се припремили за сагоревање садржај воде у самлеваном угљеном праху треба да се сведе на око 10 %. За испаравање те количине воде из угља, потребна је велика топлотна енергија, коју обезбеђују врели гасови узети са врха ложишта котла и рециркулационим каналом доведени до млина.

Рециркулисани гасови из ложишта се усисавају вентилаторским дејством млина и њихова количина зависи директно од броја обртаја млинског кола. На убуду рециркулационог канала у ложиште налази се и место где се додаје примарни ваздух (топао ваздух , део одузет од припремљене потребне количине укупног ваздуха за сагоревање). Улога примарног ваздуха је регулација температуре аеросмеше, тј њено одржавање испод 180 С.

Уколико је количина угља која долази на млевање или њен садржај воде такав да са количином рециркулисаних гасова које извлачимо из ложишта температура аеросмеше прелази 180 С , онда се у рециркулациони канал додаје одређена количина примарног ваздуха која хлади гасове, у циљу задржавања температуре аеросмеше на излазу из млина у предвиђеним границама – до 180 С.

Температура аеросмеше се у пракси показала као најпоузданији параметар за оцену искоришћења капацитета млина. Препорука је да се њена температура одржава у границама 160 -180 С. Главни утицај на температуру аеросмеше имају количина угља која се меље и примарни ваздух. Количина угља се регулише брзином дозатора , и зависи од захтеване продукције котла.

Можемо издвојити два карактеристична режима рада млина:

### 1. Угаљ је високе топлотне моћи или нижег садржаја воде

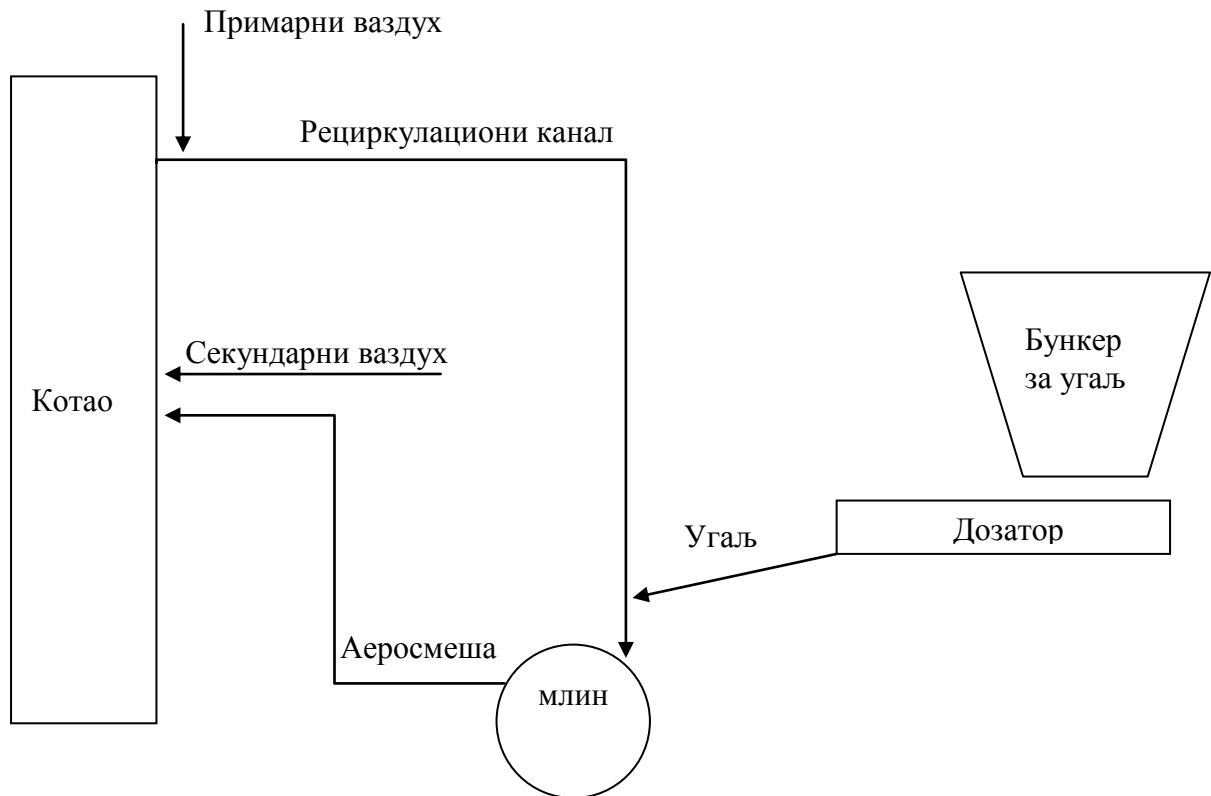
У овом случају млинови су „растеређени“, односно потребна количина угља је значајно нижа од максималне количине коју млинови могу да самеле.

У овом режиму примарни ваздух је тај који одржава температуру аеросмеше на горњој препорученој граници од 180 °С, јер је количина угља по млину мала и само испаравање воде из угља није довољно да одржи температуру аеросмеше у дозвољеним границама а његова количина се регулише како би се температура аеросмеше одржала на горњој дозвољеној граници.

### 2. Угаљ је ниске топлотне моћи, или већег садржаја воде

Са угљевима из ове категорије температуре аеросмеше су ниже, и на основу експлоатационих искустава сматра се да је млин максимално оптерећен када је температура аеросмеше у зони од 160 до 165 °С. Даље оптерећивање млина тако да температура аеросмеше падне испод 160 °С се не препоручује зато што постоји опасност од „загушивања“ млина, тј. немогућности да млин самеле и транспортује ту количину угља, што за последицу може имати и принудно заустављање млина. Разлози за ниже температуре аеросмеше у овом сценарију су велике количине воде која треба да се издвоји из угља у процесу млевења, јер са оваквим угљевима је за исту снагу

блока потребан већи проток угља кроз млинове у односу на случај под бројем 1. Примарни ваздух се држи на минималној количини од 25000 нормалних кубних метара на час, да не би додатно хладио аеросмешу.

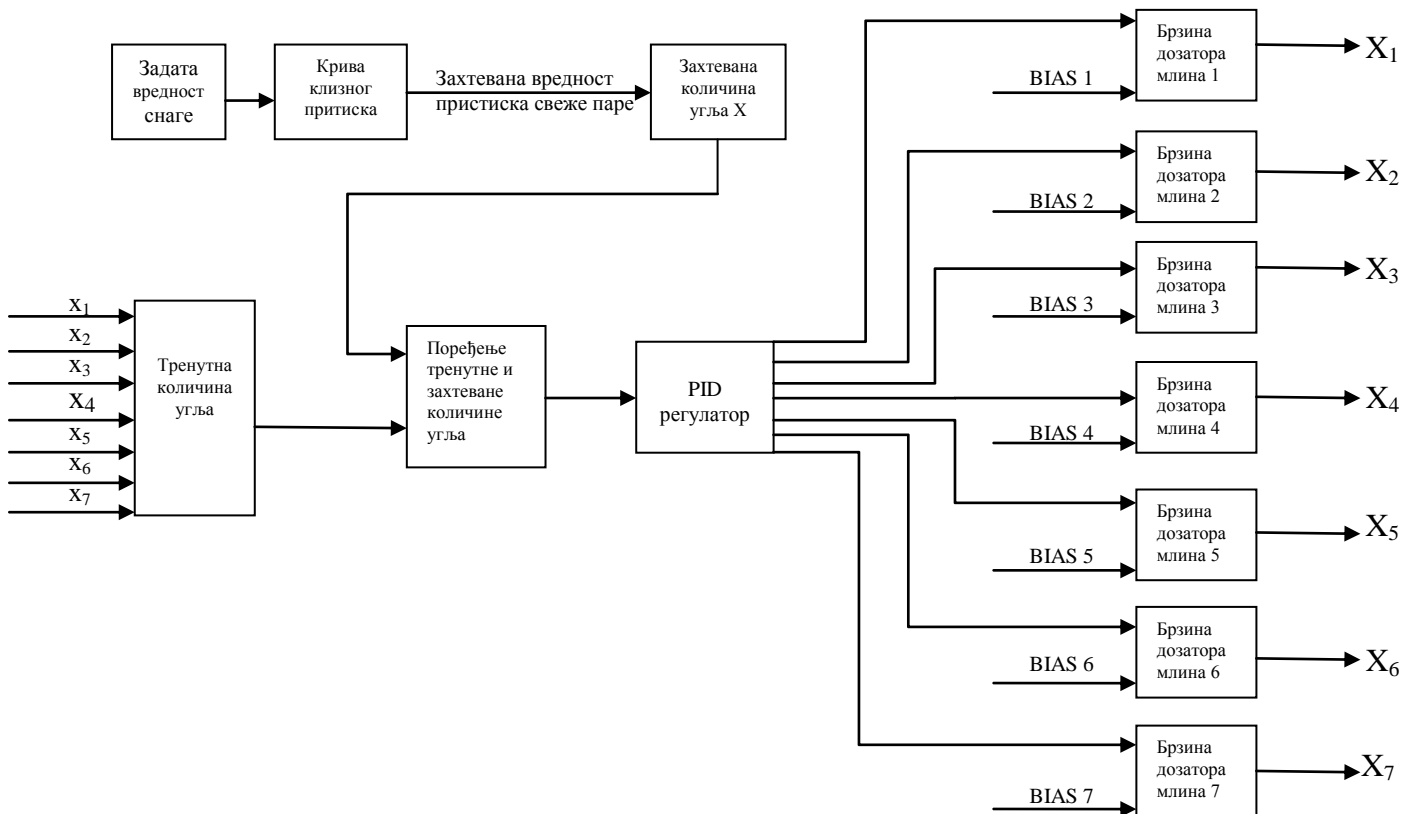


Слика 1: Млински круг

### 3. КОНЦЕПТ РАСПОДЕЛЕ ОПТЕРЕЋЕЊА ПО МЛИНОВИМА

Из до сада наведених потенцијалних проблема и карактеристичних случајева може се закључити да је за ефикасно коришћење ресурса млинова у раду потребно решење које ће омогућити безбедан рад млинова при максималном капацитету, са посебним освртом на спречавање загушења (потхлађивања) млинова. Граница између рада млина пуним капацитетом и његовог загушења је проблем коме се мора посветити посебна пажња.

У циљу сагледавања задатка који се ставља пред млинове представићемо упрошћену шему регулације снаге термо блока:



Слика 2: Упрошћен регулациони круг формирања количине горива за задату снагу блока при раду са 7 млинова (најчешћи случај)

Захтевана вредност снаге блока је она снага коју генератор треба да испоручи и зависи од захтева диспечера. На основу захтеване снаге, се за припадајуће турбопостројење формира вредност притиска свеже паре на излазу из котла. Припадајућа крива клизног притиска за дато турбопостројење дефинише који је потребан притисак свеже паре за захтевану снагу.

На основу захтеваног притиска се формира вредност потребне количине горива (угља) да би се тај притисак паре остварио.

Потребна количина угља представља практично збир појединачних брзина дозатора млинова у погону, и изражава се у процентима. Такође, брзине млинских дозатора се изражавају у процентима, и то тако да 40 % брзине дозатора представља минималну брзину, а максимална је ограничена на 90%. Разлог за ограничавање максималне брзине дозатора је тај што је максимални капацитет дозатора већи од максималног капацитета млина.

Када би за сваку брзину дозатора количина угља коју он испоручује била једнозначно одређена, пробем расподеле оптерећења дозатора би био прилично лак, и захтевана количина угља би се једноставно поделила на 7 једнаких делова, тј. на свих 7 млинова би био прослеђен захтев са истом брзином дозатора.

У пракси, при одређеној брзини дозатора, количина угља коју он испоручује може знатно да варира. Разлози су најчешће вежани за на лепе у бункерима угља који онемогућавају пун проток кроз отворе на бункерским затварачима (шиберима). Такође комбинација отворених шибера игра значајну улогу. На излазу бункера за угљак дозатору, најчешће су отворена 2 или 3 шибера, од укупно 8. Комбинација отворених шибера се мења аутоматски, да би се угљак трошио из свих делова бункера што равномерније и спречила појава „бунара“ у бункерима, и свака промена шибера ће такође утицати на проток угља кроз дозатор без промене брзине дозатора.

Још један фактор који утиче на проток угља кроз дозатор је тзв. нож, односно граничник висине нивоа на излазу из дозатора. Ножеви се током рада хабају услед абразије, па се са њима мења и висина слоја угља која излази из дозатора.

Никако не треба заборавити и чињеницу да је радни век млинског кола око 2000 часова, и како се ближи истеку свог ресурса, његова моћ млевења, односно капацитет значајно опада, па ће самим тим и максимална брзина дозатора коју млин може да изнесе временом опадати.

Као мера оптерећености млина, односно количине угља која долази у млин са припадајућег дозатора узета је температура аеросмеше. То је најпоузданији индиректни показатељ јер са порастом количине угља која се меље, расте и количина влаге која из њега испарава, и хлади аеросмешу због високе латентне топлоте воде.

На основу наведеног, може се закључити, што је у пракси више пута и показано разним испитивањима да ћемо идеалну расподелу угља по млиновима направити ако тежимо да на свим млиновима имамо приближно исту температуру аеросмеше. Пре увођења новог система управљања на блоку Б1, оператор је био тај који је деловањем на поједине брзине дозатора преко коректора брзине (BIAS) тежио да доведе млинове на што приближнији ниво оптерећења. Ово није био нимало лак задатак, управо зато што су промене честе и непредвиђене. Као резултат немогућности оператора да испрати и одреагује на ове промене јављала се често ситуација да млинови нису подједнако оптерећени. Због безбедности рада блока, оператор је такође морао да остави довољну резерву до максималног капацитета млина, да не би рад блока био угрожен загушивањем млинова уколико регулација почне да додатно повећава количину угља услед доласка на сагоревање угља мање топлотне моћи.

Са новим системом управљања, отворила се могућност да се управо појединачни коректори брзине (BIAS-и) дозатора уведу у аутоматски рад са својом наменском логиком.

Логика BIAS-а је конципирана тако да континуално прати температуру аеросмеше млина, као и вредност средње температуре аеросмеше свих млинова у раду, и да својим деловањем тежи да доведе температуру аеросмеше млина што ближе средњој вредности.

На овај начин постигнута је готово идеална расподела брзина дозатора која се врши континуално и обезбеђује максималну утилизацију капацитета сваког млина појединачно.

Овакав начин расподеле најбоље показује своје предности и бенефите кад је угаљ лошијег квалитета, односно недовољног квалитета да би се возила захтевана снага блока. Тада аутоматика у сваком тренутку обезбеђује максимално могућу количину угља која се може самлети што резултира максимално могућом снагом за дати угаљ.

Као што је раније напоменуто, искуствена доња граница температуре аеросмеше при којој не постоји опасност од загушивања млина при трајном раду је 160 °C

У ситуацији када се квари угаљ, регулација ложења ће тежити да повећа количину горива да би одржала захтевану снагу, и као резултат повећања количине угља почеће да опадају температуре аеросмеше на свим млиновима.

У граничном случају, при захтеву снаге већем од могућности млинова да самељу потребну количину угља, температуре аеросмеше ће почети да падају испод 160 °C.

Овај случај је захтевао посебну пажњу како би се осигурала безбедност рада термостројења при раду са максималним капацитетима млинова.

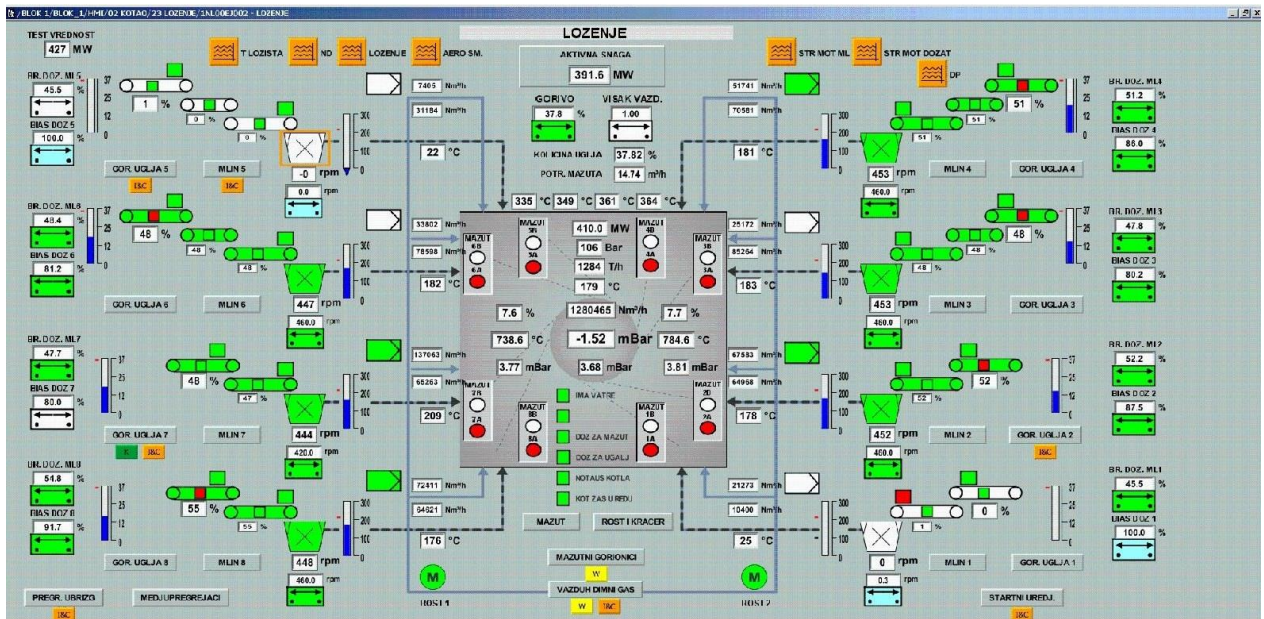
Након детаљне анализе и потребе за једноставним а поузданим решењем, дошло се до закључка да је најефикаснији механизам растерећење дозатора у тренутку када температура аеросмеше падне испод 160 °C и истовремено искључивање датог млина из регулације оптерећења по температури аеросмеше.

Пракса је показала да најбољи ефекат даје растерећење дозатора за 5 % , односно да је то вредност растерећења која је готово увек довољна да би се температура аеросмеше вратила у дозвољене границе, а да притом не изазове промене у количини горива које регулациони кругови немогу да испрате. Количина горива која је одузета са потхлађеног млина се аутоматски подједнако додаје на остале млинове чија је температура аеросмеше већа од 160 °C.

Када се температура аеросмеше „опорави“ након растерећења дозатора, млин поново улази у регулацију. На овај начин је омогућено да оператери довољно безбедно могу радити са млиновима оптерећеним до максимума, без опасности од загушивања млинова.

## 4. ПРИМЕРИ ИЗ ПРАКСЕ

Као што се може видети са слике 2 расподела жељене количине угља се остварује уз помоћ ПИД регулатора. Он се стара да дозатори млинова увек убацују у котлао ону количину угља коју тражи регулатор притиска. Прерасподела ложења увек жељену количину угља расподељује равномерно по млиновим који су раду. Оператор може по потреби да коригује количину угља за поједини млин тако што делује на „биас“ који припада датом млину. Због више фактора сви млинови се не понашају исто за исту количину угља. Неки млинови се брже хладе него други. Да би се до предупредило односно да би млинови који су у бољем стању самлели више угља, оператор има могућност да коригује расподелу угља тако што деловањем на одговарајући биас. Дејством оператора не повећава се тражена количина угља већ се она само другачије прерасподељује по млиновима. На слици 3 је приказана слика преко које оператор управља млиновима.



Слика 3: слика на операторским станицама преко које се управља млиновима

Као што се види са слике 3 сваком дозатору се може задавати жељена брзина (када су на аутоматичи то ради регулација) као и потрбна корекција прерасподеле. С обзиром на честе промене квалитета и протока угља, оператор је принуђен да доста времена проводи делујући на биас-е трудећи се да одржи температуре аеросмеша у жељеном опсегу.

Да би се олакшао рад оператеру а и да би се регулација ложења учинила бољом направљен је посебан регулациони круг који води рачуна о биас-има.

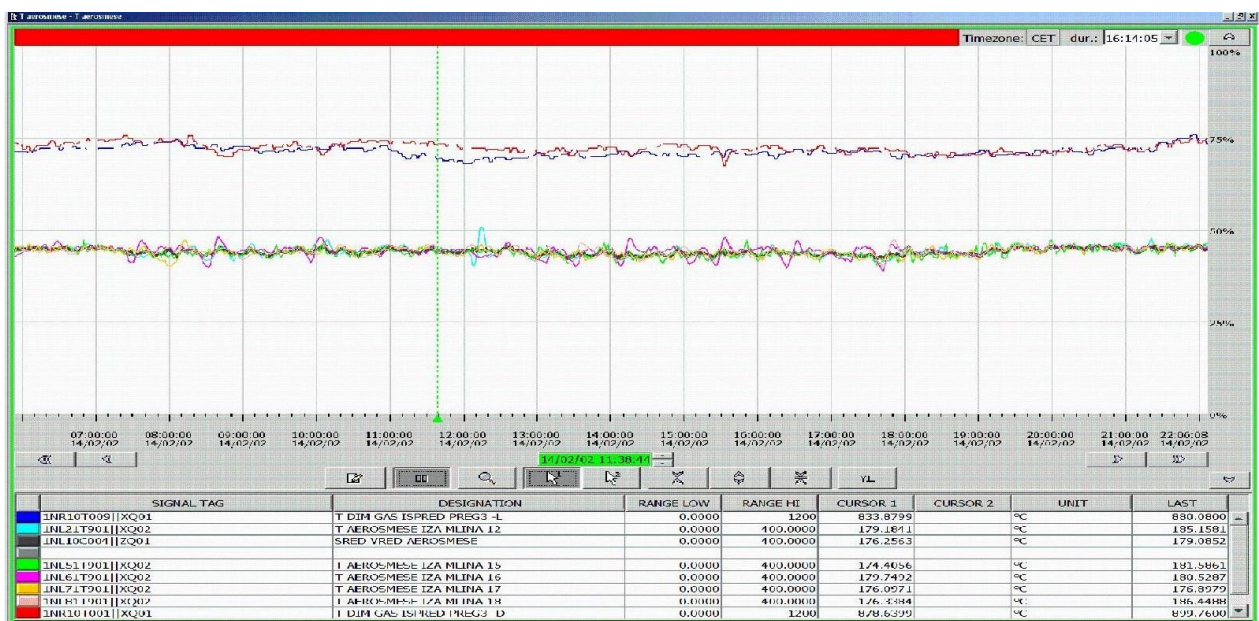
Биаси се користе за регулацију аеросмеше млинова. Да би сви млинови били подједнако оптерећени и као последица тога температура у ложишту била што равномернија, пожељно је да сви млинови који су у раду имају приближно исте температуре аеросмеше. Регулациони кругови биас-а израчунавају средњу температуру аеросмеше млинова који су у раду и труде се да сви млинови одржавају ту температурау.



При регулацији температуре биаси воде рачуна и да примарни ваздух буде на минимуму односно да се млин хлади само угљем. То је добро из више разлога:

- Узимањем примарног ваздуха за регулацију температуре аеросмеше, смањује се количина секундарног ваздуха што доводи до лошијег сагоревања
- Пошто у овом случају имамо два независна регулациона круга која воде рачуна о температури аеросмеше (регулација примарног ваздуха и биас-и), потребно је раздвојити те регулационе кругове да не би ушли у колизију. С обзиром да се средња температура аеросмеше креће обично око 170 °С а да је температура која се регулише примарним ваздухом 180°С, биаси су подешени да они оду на свој максимум пре него што температура дође до 180°С. На тај начин ако температура и даље расте њену регулацију даље преузима примарни ваздух.

На слици 4 приказан је тренд температура аеросмеше са биас-има у аутоматизи.

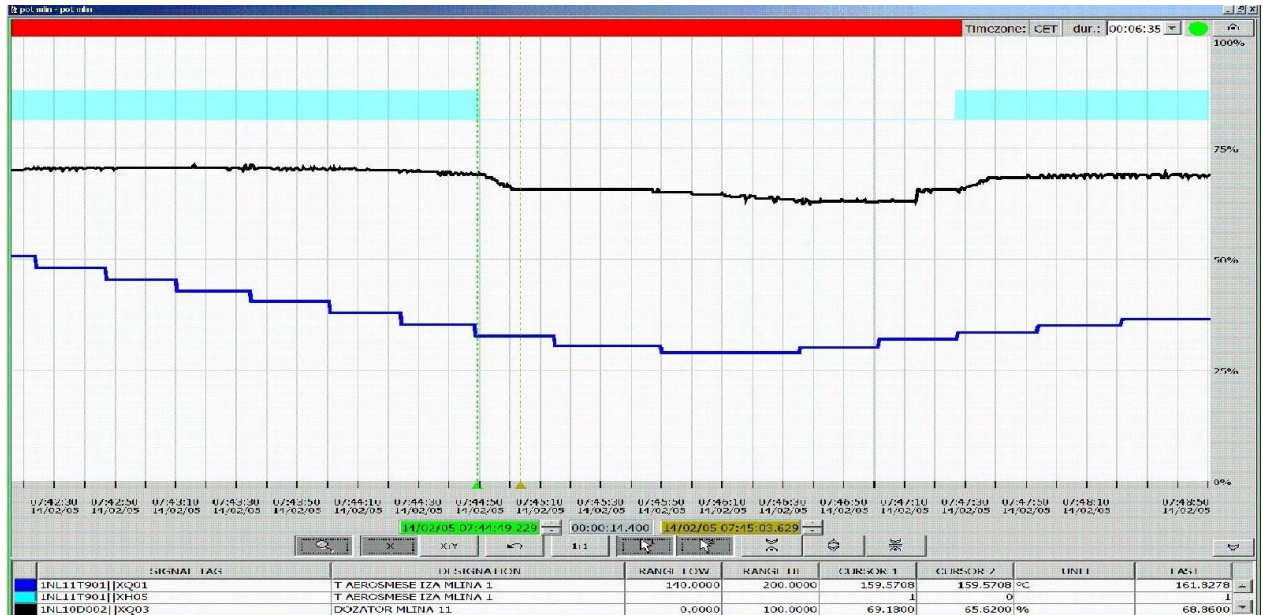


Слика 4: регулација температуре аеросмеше са биас-има у аутоматизи

Као што се види са слике 4, све температуре аеросмеше су доста изједначене и приближно исте са средњом температуром аеросмеше (сива линија). Као последица тога температуре у ложишту леве и десне стране су такође веома изједначене и њихова разлика иде максимално до 50°С.

Поред захтева за одржавањем температура у ложишту, увек се тежи да се производи што је могуће више енергије. То за собом повлачи максимално оптерећивање млинова. Када млинови раде на максимуму капацитета, врло лако се може десити да се у њих почне убацивати количина угља коју они не могу да самелу. Посебно је критична ситуација ако при таквом режиму рада дође до испада неког од млинова, регулација ће у том тренутку недостатак тог млина покушати да искомпензује подизањем оптерећења на другим млиновима. Да не би имали проблема са затрпавањем млинова а да при томе можемо да возимо њихов максимум направљен је посебан регулациони круг који то не дозвољава. Наиме, пошто се радна температура млинова креће у распону од 160°С до 180°С, руковоаци кад год виде да им се температуре млинова приближавају доњој граници почињу да спуштају снагу како би растеретили млинове. Након имплементације новог регулационог круга, када температура аеросмеше млина постане мања од 160°С, подизање оптерећења његовог дозатора се зауставља. То оптерећење преузимају

млинови који немају проблема са температурама. Поред престанка оптерећивања дозатора, регулација постепено спушта његову тренутну брзину са 5%. На тај начин се смањује количина угља ка млину и његова температура се враћа у нормалу. Када његова температура поново постане већа од 160°C, дозатор се враћа у стандардну регулацију. На овај начин омогућено је руковоаоцима да максимално оптерете млинове не плашећи се да ће у проблем због тога. На слици 5 је приказан пример пада температуре на једном од млинова као и реакција регулације у том тренутку.



Слика 5: пад температуре аеросмеше на млину

Услед пада температуре аеросмеше (тамно плава линија) јавља се сигнал ниске температура аеросмеше и регулација то детектује (светло плава линија). Да би се температура што брже вратила, брзина дозатора се смањује за 5% (црна линија). Скоро тренутно се може видети реакција смањивања брзине дозатора на температури аеросмеше. Она почиње да се враћа назад. Кад температура поново буде преко 160°C дозатор поново улази у прераспделу угља.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Са уведенем новом логиком прерасподеле оптерећења постигнути су изузетно значајни позитивни ефекти за термостројење ТЕНТ Б1, који би се укратко могли класификовати као:

- Максимално искоришћење капацитета млинова
- Побољшана стабилност ложишта услед уједначеније расподеле угља
- Повећан удео секундарног ваздуха у односу на примарни
- Повећана безбедност рада котла
- Смањена потрошња мазута услед лошег угља

Последња ставка је посебно значајна, и она представља са економског аспекта најзначајнији допринос оваквог система регулсиања оптерећења млинова.

За разлику од блока Б1, на блоку Б2 је и даље у погону стари аналогни систем управљања где су и даље актуелни сви проблеми наведени у раду и регулацији млинских кругова, који су посебно изражени у ситуацијама када на сагоревање дође угљаш лошијег квалитета. Нису ретке ситуације да блок Б2 због лошег квалитета угља није у стању да производи ни 520 MW, што је технички минимум блокова на ТЕНТ Б, односно вредност испод које блокови не би смели да раде трајно због више фактора. У таквим ситуацијама се за подршку сагоревања користи мазут, тј. сагоревањем мазута се надокнађује топлотна енергија која није унесена у ложиште примарним горивом – угљем. На блоку Б2 када је угљаш лош, оператор мора оставити одређену резерву у капацитету млина како не би дошао у ситуацију да му се више млинова загуше и евентуално дестабилизују ватру у ложишту.

Услед тога, количина угља која се може самлети и транспортовати на блоку Б2 је знатно мања од количине на блоку Б1 при истом квалитету угља.

Само у периоду од 01.09 до 01.12.2013 године на блоку Б1 постигнута је уштеда од преко 500 тона мазута (вредност 250 000 еура) у ситуацијама када је угљаш ниске топлотне моћи (коришћење мазута за подршку ватре). Блок Б2 је потрошио у датом периоду 670 тона, док је блок Б1 потрошио само 142 тоне. За ову уштеду на блоку Б1 је највише заслужна боља регулација сагоревања и расподеле угља по млиновима.