



### Техничко решење

<b>Аутори:</b>	П. Стефановић, М. Ерић, В. Спасојевић, А. Ерић, Д. Цветиновић, З. Марковић, И. Лазовић, П. Шкобаљ, А. Маринковић, Н. Живковић, Р. Јовановић, (сарадници Лабораторије за термотехнику и енергетику, Института ВИНЧА)
<b>Назив:</b>	<b>GUARANTEE MEASUREMENTS - TEST A OF THE UPGRADED ESP AT TPP MORAVA – 125 MWe - НИВ – ЛТЕ – 604</b> База података о раду реконструисаног електрофилтерског постројења и емисији прашкастих материја термоелектране “Морава” – 125MW у Свилајнцу
<b>Врста и квантификација научноистраживачког резултата</b>	Критичка евалуација података, база података, приказани детаљно као део међународних пројеката, публиковани као интерне публикације или приказани на Интернету (M86=2).
<b>Корисник:</b>	RAFAKO S.A. Пољска ЈП ЕПС, огранак Термоелектране „Никола Тесла“ – Термоелектрана "Морава"
<b>Датум израде:</b>	октобар, 2016. године.

### Образложење и опис испитивања

ТЕ "Морава" инсталисане снаге 125 MW пуштена је у рад 1969. године и према EU Direktivi 2001/80/EC спада у групу великих постројења. Котао модел ОР-380 произвела је компанија RAFAKO S.A. Блок се користи у базном оптерећењу за континуалну производњу са просечно 6500 сати рада годишње. У претходних пар година су у неколико фаза извршени реконструктивни захвати на котлу и турбини са циљем продужења радног века и повећања степена корисности на номиналној снази од 120 MW. На основу донације ЕУ, 134187/DH/WKS/RS и међународног уговора IPA 2014/355-478 тј. CRIS 2014 /355-478: "Improvement of air quality by reduction of dust emission from Morava Thermal Power Plant - RESTART" (RAFAKO пројекат бр. 605007), компанија RAFAKO S.A. из Пољске је током 2016. године обавила реконструкцију и модернизацију електрофилтерског постројења у циљу смањења нивоа емисије прашкастих материја у ваздух. Према уговору, након оптимизације рада електрофилтера требало је спровести гаранцијска мерења означена као ТЕСТ А. Ова мерења су имала за циљ да се утврди испуњеност уговором гарантованих вредности (при нормалним и гарантованим условима рада котла и електрофилтерског постројења) следећих параметара:

- концентрација прашкастих материја у димном гасу иза реконструисаног електрофилтера одређена према ISO 9096 треба да буде испод  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ , сведено на суви гас и садржај  $\text{O}_2$  од 6%,
- концентрација прашкастих материја иза електрофилтера у случају испада једне од електричних секција треба да је испод  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ , сведено на суви гас и садржај  $\text{O}_2$  од 6%,
- пад притиска димног гаса кроз реконструисани електрофилтер треба да буде  $\leq 230\text{ Pa}$ ,



- д) просечна потрошња електричне енергије електрофилтерског постројења, са загрејачима и отресачима у раду, у току периода од 24h треба да буде  $\leq 320 \text{ kW/h}$ ,  
д) ниво буке око реконструисаног електрофилтера на растојању од 1m треба да буде  $\leq 85\text{dB}$ .

Осим наведених параметара, било је потребно одредити и карактеристике угља коришћеног током теста, радне параметре котла као и параметре димног гаса на улазу у електрофилтере и упоредити их са пројектним / гарантованим вредностима, те дати јасне ставове по питању испуњености свих наведених гаранцијских услова.

За обављање гаранцијских мерења – ТЕСТ А компанија Рафако S.A. је ангажовала Лабораторију за термотехнику и енергетику Института Винча, ordering document Nr. 405000280/Zk1 од 23.09.2016., која је ова мерења извршила у периоду 05÷07.10.2016. Урашене су две серије по 3 мерења, укупно 6 мерења: мерење означено са ТЕСТ 1 обављено је дана 05.10.2016., мерења ТЕСТ 2, 3 и 4 извршена су дана 06.10.2016. а мерења ТЕСТ 5 и 6 дана 07.10.2016.

Резултати гаранцијских мерења –ТЕСТ А, заједно са резултатима лабораторијских анализа узорака угља, пепела и шљаке узетих током мерења, чије анализе су обављене у акредитованој лабораторији за испитивање (акред. бр. 01-264) Института „Винча“, као и вредностима радних параметара блока, котла и реконструисаног електрофилтера који су регистровани током мерења, чине обимне базе података о раду котла и реконструисаног електрофилтерског постројења, квалитету коришћеног угља и нивоу емисије прашкастих материја у ваздух. Добијени подаци су у форми табела приказани у извештају NIV–LTE–604 "Guarantee Measurements - Test A of the Upgraded ESP at TPP Morava – 125 MWe" из октобра 2016. Осим база података, у Извештају су приказани и резултати обављених прорачуна, извршена је критичка анализа и евалуација прикупљених података, дати су коментари и изведени потребни закључци.

### Основне карактеристике ТЕ "Морава"

Котао ТЕ "Морава" је П-типа са поткритичним параметрима паре, класичним ложиштем и одвојеним конвективним каналом. Око ложишта уграђено је 6 млинова тип KSG N90.60 тако да млазни горионици формирају тангецијално сагоревање угљеног праха, при чему се максимална континуална продукција паре остварује са 5 млинова ложених угљем пројектног квалитета, док је шести у резерви. У ТЕ "Морава" се сагорева угаљ из подземних рудника и површинских копова "Дрмно" и "Колубара" и широког је опсега квалитета. Опсег вредности карактеристика квалитета угља и гарантоване вредности за пројектовање реконструисаног електрофилтерског постројења су приказане у следећој табели:

	<i>Јединица</i>	<i>Опсег</i>	<i>Гарантована вредност</i>
<b>доња топлотна моћ</b>	kJ/kg	7800÷12617	8522
<b>садржај пепела</b>	%	21,5÷36,4	23,74
<b>укупна влага</b>	%	42,3÷16,88	38,52
<b>укупан сумпор</b>	%	1,1÷3,22	1,42
<b>сумпор у пепелу</b>	%	0,37÷0,7	0,42
<b>угљеник</b>	%	22,43÷32,9	24,0
<b>водоник</b>	%	2,08÷2,69	2,17
<b>азот</b>	%	2,0÷0,9	1,84
<b>кисеоник</b>	%	8,9÷7,65	8,71



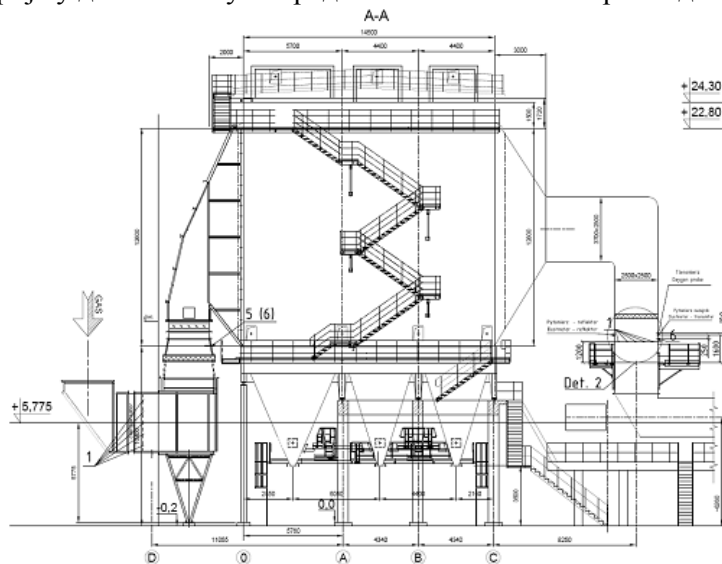
На блоку не постоји постројење за одсумпоравање димног гаса. Димни гас после ложишта и конвективног канала се дели на два дела и води паралелно кроз посебне канале до 2 загрејача ваздуха, затим кроз 2 коморе електрофилтера и на крају помоћу 2 вентилатора димног гаса потискује до димњака. Неке од пројектних радних параметара котла и параметара димног гаса на улазу у електрофилтер су приказане у следећој табели:

<i>Параметар</i>	<i>Јединица</i>	<i>Вредност</i>
пројектна нето снага блока	MWe	120
гарантована нето снага блока	MWe	108
потрошња угља	t/h	148
садржај несагорелог у пепелу испред ЕФ	%	1,0÷1,5
садржај влаге и димном гасу испред ЕФ	%	14,0
проток димног гаса на уласку у оба ЕФ	Nm <sup>3</sup> /h влажног	700000
проток димног гаса на уласку у оба ЕФ	m <sup>3</sup> /s влажног	325,09
температура димног гаса на уласку у ЕФ	°C	170

Електрофилтерско постројење на ТЕ "Морава" је 1968. године произвео ELEX AG Zurich Швајцарска, а 2016. године модернизовао и реконструисао Рафако S.A. Реконструисани електрофилтери имају две коморе са по 4 електричне/механичке зоне отпашивања и треба да омогуће емисију прашкастих материја испод 50 mg/Nm<sup>3</sup> за референтне услове 0°C, 1013 mbar, суви гас, 6%O<sub>2</sub>. Испод сваке од комора се налази по 6 пирамидалних бункера, укупно 12., са пнеуматским системом за сакупљање летећег пепела и хидрауличним системом за његов транспорт. Бункери имају вентиле са контратеговима чиме је омогућено заптивање између бункера и транспортног система.

### Реализација програма испитивања

Шематски приказ електрофилтера са положајем мерних места за мерење концентрације прашкастих материја у димном гасу испред и иза ЕФ на ТЕ "Морава" дат је на слици 1.



Слика 1. Шематски приказ електрофилтера са положајем мерних равни испред и иза ЕФ

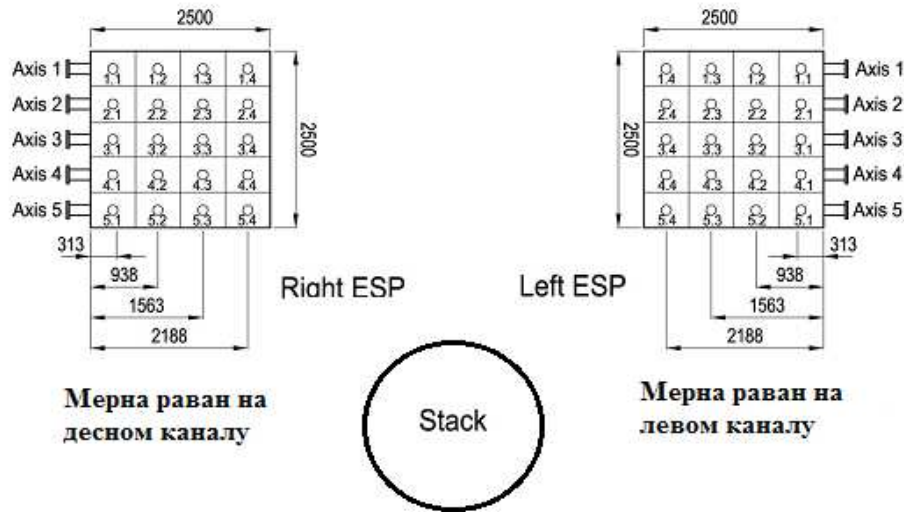


На слици 2 су дате фотографије мерних места испред (лево) и иза (десно) електрофилтера на десној грани канала димног гаса. Реконструисани ЕФ има два улазна канала (један за леву и један за десну комору). Димензије канала у мерном пресеку на улазу у ЕФ су 3300x2900 [mm] (висина x дубина). На мерним местима испред ЕФ нису изведене одговарајуће радне платформе у складу са EN 15259 (слика 2 лево). Такође, ове мерне равни нису у сагласности са захтевима ISO 9096 и EN 15259 стандарда, што може да доведе до велике систематске грешке мерења па је концентрација прашкастих материја на улазу у ЕФ одређена на основу биланса минералних материја из угља и пепела у котлу током испитивања.



**Слика 2. Фотографије мерних места за мерење концентрације прашкастих материја у димном гасу испред (лево) и иза (десно) ЕФ на десном каналу димног гаса**

На излазу сваке од комора ЕФ налази се кратак хоризонтални канал са кривином до вертикалног правоугаоног канала 2500x2500 mm, који је на коти 9,25 m опремљен радном платформом и мерном равни са 5 бочних хоризонталних отвора на коти 10,45 m. Отвори су изведени од стране наручиоца и у свакој од оса су дефинисане по 4 мерне тачке (укупно 20) у сагласности са стандардом EN 15259. Унутрашњи пречник отвора је 125mm, а дужина наглавка 250mm. Изнад саме мерне равни се налази оптички детектор аутоматског континуалног мерног система за мерење концентрације прашкастих материја DURAG 290 AW. Положај мерних равни не испуњава захтеве стандарда ISO 9096 и EN 15259 по питању потребних дужина правих деоница канала испред и иза мерне равни, али на постројењу не постоји могућност да се задовоље препоруке наведеног стандарда. Стога је било очекивано да брзинско и поље концентрација прашкастих материја у мерној равни није униформно. Прихватљивост коришћења ових мерних равни је испитана и потврђена посебним тестом хомогености брзинског поља у складу са захтевима ISO 9096 т. 5.3, EN 13284-1 т. 5.2 и EN 15259 т. 6.2.1.с. Резултати овог испитивања су такође дати у Извештају НИВ-ЛТЕ-604. На слици 3 је дат приказ пресека мерне равни за мерење концентрације прашкастих материја у димном гасу са распоредом и ознакама мерних тачака у пресеку канала.



Слика 3. Приказ пресека мерне равни за мерење концентрације прашкастих материја у димном гасу и положај мерних тачака у пресеку мерне равни

У складу са предложеним Планом мерења од септембра 2016. године (дат као Прилог Извештаја НИВ-ЛТЕ-604), сарадници Института за нуклеарне науке "Винча" извршили су уговорено испитивање кроз две серије од по три мерења, која су обављена у мерним равнима на обе гране иза ЕФ. Извршено је мерење и одређивање следећих величина:

- барометарски притисак,
- статички притисак димног гаса у каналу (у свакој од мерних оса сваке од мерних равни) према SRPS ISO 10780:2010,
- температура димног гаса (у свакој од мерних тачака сваке од мерних равни) коришћењем дигиталних термометара са термопарским сондама тип К (NiCrNi),
- садржај  $O_2$  (у изабраној оси сваке од мерних равни) према стандардима SRPS EN 14789 (2009) и SRPS ISO 12039:2011, мерни опсег методе: 0-25%,
- садржај  $CO_2$  (у изабраној оси сваке од мерних равни) према SRPS ISO 12039:2011, мерни опсег методе: 0-25%,
- садржај  $CO$  (у изабраној оси леве мерне равни) према SRPS EN 15058 (2009), мерни опсег методе: 0 – 3750  $mg/Nm^3$ ,
- садржај  $SO_2$  (у изабраној оси десне мерне равни) према SRPS ISO 7935 (2010), мерни опсег методе: 0 – 14285  $mg/Nm^3$ ,
- $NO_x$  прерачунати као  $NO_2$  (у изабраној оси десне мерне равни) према SRPS ISO 10849 (2010), мерни опсег методе: 0 – 10268  $mg/Nm^3$ ,
- садржај влаге у димном гасу (у пресеку сваке од мерних равни) кондензацијом и адсорпцијом у силикагелу и потом одређивање масе кондензоване влаге гравиметријском методом SRPS EN 14790:2009,
- густина димног гаса (у пресеку сваке од мерних равни), прорачуна на основу мерених вредности статичког притиска, температуре и састава димног гаса ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , влага),
- динамички притисак у димном гасу / брзина димног гаса (у свакој од мерних тачака сваке од мерних равни на излазу из ЕФ, укупно 2x5x4 мерних тачака), брзина и проток димног гаса прорачунати према SRPS ISO 10780:1994 и SRPS ISO 3966:1977,



- концентрација прашкастих материја (у свакој од мерних тачака сваке од мерних равни на излазу из ЕФ, укупно 2x5x4 мерних тачака, време узорковања 3 min у свакој мерној тачки) према SRPS ISO 9096 (2009) и SRPS EN 13284-1, мерни опсег методе: 20–1000 mg/Nm<sup>3</sup>,
- средња вредност пада притиска кроз ЕФ одређено као разлика укупног притиска у димном гасу на улазу у ЕФ и на излазу из ЕФ, узимајући у обзир повећање компоненте динамичког притиска услед смањења попречног пресека (убрзања струје) у пресеку канала димног гаса на излазу из ЕФ у односу на пресек канала димног гаса на улазу у ЕФ и коригујући вредност пада укупног притиска добијену мерењем и прорачуном за остварени проток димног гаса током теста на пројектну вредност протока од 700000 Nm<sup>3</sup>/h.

Осим ових мерења, акредитована Лабораторија за горива и термотехничка испитивања Института "Винча" извршила је елементарну и техничку анализу узорака угља сакупљених током теста као и садржаја сагоривих материја у узорцима пепела и шљаке сакупљених током теста у складу са следећим међународним стандардима и методама:

- садржај влаге, према ISO5068-1 и 2:2007,
- садржај пепела према ISO 1171:2010,
- доња топлотна моћ према ISO 1928:2009,
- садржај сумпора према SRPS ISO 334:1999,
- садржај испарљивих према ISO 5071-1:2013,
- елементарна анализа према ASTM D 4239, ASTM D 5373.

У току обављених тестова извршено је и мерење нивоа буке на растојању 1m од извора (ЕФ) на 11 локација око леве и десне коморе ЕФ, у складу са захтевима стандарда IEC 61672-1:2002 Class1. Добијени резултати су дати као Прилог Извештаја НИВ-ЛТЕ -604.

Током гаранцијских мерења ТЕСТ А, котло ТЕ "Морава" је радио нормално у складу са оперативним инструкцијама након реконструкције, али са смањеном продукцијом која одговара нивоу снаге од 115 MW<sub>e</sub> услед проблема ограничене снаге генератора (≤120 MW<sub>e</sub>). На основу података о раду блока издвојених из базе података процесног компјутерског мерно регулационог система, рад блока током испитивања је био веома стабилан. Свих 6 млинова је било у погону током сваког од 6 мерења, без коришћења мазутних горионика и при истом оптерећењу додавача. У односу на гарантовани квалитет, угаљ коришћен током испитивања је био са већим садржајем пепела што је отежавајућа околност за постизање ниских нивоа емисије прашкастих материја, без обзира на високу ефикасност отпрашивања ЕФ. Стога је и концентрација прашкастих материја на уласку у ЕФ била виша од гарантованих вредности при свим тестовима осим током теста бр. 5. Садржај влаге је био мањи а доња топлотна моћ коришћеног угља је била већа од гарантованих вредности. Утврђено је да је температура димног гаса на уласку у леви ЕФ била у нивоу гарантоване вредности, док је на уласку у десни ЕФ била нешто нижа. Проток димног гаса је био за око 10% виши од гарантоване вредности што је такође неповољна околност за постизање ниских нивоа емисије прашкастих материја.

Током гаранцијских мерења ТЕСТ А, електрофилтерско постројење ТЕ "Морава" је радило нормално. Постојењем су руководили представницима фирме RAFAKO у складу са оперативним упутствима за реконструисано постројење. При тестовима бр. 1, 2 и 3 сва електрична поља су била на оптималном нивоу снаге. Током теста бр. 4 прво поље леве коморе ЕФ је било искључено, док су сва остала поља леве и десне коморе била на



оптималном нивоу снаге. Током тестова бр. 5 и 6 било је искључено прво поље десне коморе ЕФ, док су сва остала одржавана на оптималном нивоу снаге.

Утврђена је потрошња електричне енергије напајања електрофилтерског постројења на основу читавања са бројила на почетку гаранцијских испитивања и након истека 48 часова. Читавање бројила је извршено у присуству представника ТЕ "Морава" и фирме RAFAKO. Из базе компјутерског мерно-регулационог аквизиционог система су издвојени подаци о раду електрофилтерског постројења (вредности мерених напона и струја на одговарајућим секцијама). Издвојени подаци су обрађени и анализирани и у форми 144 дијаграма дати као Прилог Извештаја НИВ-ЛТЕ -604.

Осим услова стационарности извора, у циљу задовољења услова за квалитет обављених мерења датих у ISO 9096, током сваког од обављених тестова су праћени и проверавани заптивност линија за узорковање, испуњеност услова изокинетизма протока током узорковања, издвојене су и мерене наслаге прашине испред филтера, утврђен је укупан бланк сваког од мерења и извршена валидација обављених узорковања. Наведене мере и резултати њиховог спровођења дате су у Извештају НИВ-ЛТЕ -604.

### **Закључак**

На основу резултата извршених гаранцијских мерења емисије након реконструкције електрофилтерског постројења ТЕ "Морава", обрађених резултата и извршених анализа закључено је следеће:

1. У прој серији тј. у прва три теста, при нормалном раду котла и укључених свих 8 електро секција ЕФ, измерене су вредности концентрације прашкастих материја на излазу из ЕФ од преко  $60 \text{ mg/Nm}^3$  (сведено на  $O_2=6\%$ ). Међутим, током ових тестова садржај пепела у сагореваном угљу је био далеко изнад гарантованих/пројектних вредности па је концентрација прашкастих материја на улазу у ЕФ била и за 50% већа од гарантоване вредности па електрофилтер и поред високе ефикасности отпрашивања (изнад 99,91%) није успевао да излазну концентрацију сведе на испод  $50 \text{ mg/Nm}^3$ . Међутим, применом корекционих кривих за параметре који су одступали од гарантоване вредности, добијена је коригована вредност емисије прашкастих материја на излазу из ЕФ чија је вредност испод гарантованих  $50 \text{ mg/Nm}^3$ .
2. У другој серији тестова, при нормалном раду котла, када је једно од 8 електричних поља ЕФ било искључено а остала радила са оптималним параметрима рада, измерене су вредности концентрације прашкастих материја на излазу из ЕФ од преко  $90 \text{ mg/Nm}^3$  (сведено на  $O_2=6\%$ ). У овом посебном случају рада ЕФ постројења средња вредност концентрације прашкастих материја на излазу из ЕФ је увек била испод гарантоване вредности тј.  $\leq 100 \text{ mg/Nm}^3$  ( $O_2=6\%$ ).
3. На основу мерења и анализе, може се закључити да је коригована вредност пада притиска димног гаса кроз ЕФ мањи од гарантоване вредности од 230 Pa.
4. Средња електрична потрошња ЕФ постројења у периоду од два дана трајања испитивања је била испод гарантоване вредности од 320 kWh/h.
5. На основу резултата мерења нивоа буке може се закључити да је бука испод гарантоване вредности од 85 dB (A).

Извештај НИВ-ЛТЕ-604 је предат фирми RAFAKO и исти је усвојен без примедби. Са основним резултатима гаранцијских мерења и главним закључцима приказаним у Извештају НИВ-ЛТЕ-604 упознати су и представници инвеститора (консултантска фирма VPC East) ЈП



ЕПС-а, ТЕ "Морава" који такође нису имали примедби на презентирани резултате и закључке обзиром да је сходно Уговору, применом корекционих кривих ЕФ потпуно испунио гарантоване услове за емисију прашкастих материја.



Na osnovu pregledane dokumentacije za predloženo tehničko rešenje: **Baza podataka o radu rekonstruisanog elektrofilterskog postrojenja i emisiji praškastih materija termoelektrane "Morava" – 125MW u Svilajncu**, detaljno dato u Izveštaju **GUARANTEE MEASUREMENTS - TEST A OF THE UPGRADED ESP AT TPP MORAVA – 125 MWe, NIV-LTE 604**, autora: P. Stefanović, M. Erić, V. Spasojević, A. Erić, D. Cvetinović, Z. Marković, I. Lazović, P. Škobalj, A. Marinković, N. Živković, R. Jovanović, saradnika Laboratorije za termotehniku i energetiku Instituta za nuklearne nauke „Vinča”, podnosim sledeći:

## IZVEŠTAJ

Tehničko rešenje „**Baza podataka o radu rekonstruisanog elektrofilterskog postrojenja i emisiji praškastih materija termoelektrane "Morava" – 125MW u Svilajncu**”, detaljno dato u Izveštaju **GUARANTEE MEASUREMENTS - TEST A OF THE UPGRADED ESP AT TPP MORAVA – 125 MWe, NIV-LTE 604**, autora: P. Stefanović, M. Erić, V. Spasojević, A. Erić, D. Cvetinović, Z. Marković, I. Lazović, P. Škobalj, A. Marinković, N. Živković, R. Jovanović, saradnika Laboratorije za termotehniku i energetiku Instituta za nuklearne nauke „Vinča”, predstavlja detaljnu, veoma obimnu i kompleksnu bazu podataka prikupljenih tokom garancijskih ispitivanja (Test A) rekonstruisanog i modernizovanog elektrofilterskog postrojenja termoelektrane Morava u Svilajncu, obavljenih nakon optimizacije rada postrojenja. Osim rezultata merenja emisije praškastih materija, radnih parametara bloka, kotla i elektrofilterskog postrojenja, formirana baza podataka sadrži i rezultate laboratorijskih analiza uzoraka uglja, šljake i elektrofilterskog pepela uzetih tokom ispitivanja i rezultate proračuna i evaluacije prikupljenih podataka.

Na osnovu donacije EU 134187/DH/WKS/RS i prema međunarodnom Ugovoru IPA 2014/355-478 tj. CRIS 2014 /355-478: “Improvement of air quality by reduction of dust emission from Morava Thermal Power Plant - RESTART” (RAFAKO projekat br. 605007), kompanija RAFAKO S.A. iz Poljske je tokom 2016. godine obavila rekonstrukciju i modernizaciju elektrofilterskog postrojenja u cilju smanjenja nivoa emisije praškastih materija u vazduh. Kao Izvođač rekonstrukcije RAFAKO je sa izabranom nezavisnom, akreditovanom Laboratorijom za termotehniku i energetiku Instituta “Vinča” sklopio ugovor (ordering document Nr. 405000280/Zk1 od 23.09.2016.) o obavljanju garancijskih merenja (Test A). Garancijskim ispitivanjima (Test A) rekonstruisanog i modernizovanog elektrofilterskog postrojenja trebalo je proveriti ostvarenje ugovorenih garantovanih vrednosti radnih parametara, između ostalih, nivo emisije praškastih materija, pad pritiska dimnog gasa kroz elektrofilter, potrošnju energije i nivo buke EF postrojenja u radu. Tehničko rešenje tj. baza svih referentnih podataka o radu rekonstruisanog i modernizovanog elektrofilterskog postrojenja je predstavljeno u formi elaborata interne oznake NIV-LTE 604, napisanom na engleskom jeziku. Elaborat je napisan na 47 strana, sa 49 tabela sa podacima, 4 šeme od kojih dve sa tehničkim crtežima, 6 fotografija i 4 priloga.

U prvom poglavlju elaborata je objašnjen osnovni razlog za sprovođenje ispitivanja. U prethodnih par godina su u nekoliko faza izvršeni rekonstruktivni zahvati na kotlu i turbini TE Morava sa ciljem produženja radnog veka, povećanja stepena korisnosti na nominalnoj snazi od 120 MW i smanjenja pratećeg negativnog uticaja na životnu okolinu uključujući i smanjenje emisije praškastih materija u vazduh ispod graničnog nivoa prema evropskoj i domaćoj legislativi. Nakon obavljenih rekonstruktivnih zahvata i izvršene optimizacije rada postrojenja, potrebno je bilo u što kraćem roku pristupiti garancijskim merenjima na rekonstruisanom EF sa ciljem provere i potvrde garancijskih vrednosti definisanih ugovorom.

U drugom poglavlju su dati osnovni tehnički podaci kotla TE Morava i osnovne tehničke karakteristike rekonstruisanog i modernizovanog EF. Date su dve slike sa tehničkim crtežima rekonstruisanog EF u dva pogleda.

U trećem poglavlju je opisan položaj mernih ravni u kojima je obavljeno merenje i date su njihove geometrijske karakteristike. Data je šema mreže mernih tačaka (ukupno 20) u mernoj ravni. Analizirani su uslovi ispunjenosti zahteva za korektnost položaja mernih ravni prema standardu ISO 9096.

U četvrtom poglavlju je opisana korišćena metodologija, navedene su metode i standardi prema kojima je izvršeno merenje potrebnih parametara, uzorkovanje i obrada dobijenih rezultata. Dat je spisak merne opreme koja je korišćena tokom merenja i dat je šematski prikaz sistema za uzorkovanje. Opisane su mere koje laboratorija sprovodi tokom merenja u cilju održavanja kvaliteta merenja.

U petom poglavlju su dati parametri/uslovi rada kotla i EF postrojenja ostvareni tokom ispitivanja.

U šestom poglavlju su tabelarno prikazani rezultati obavljenih merenja, rezultati laboratorijskih analiza uzoraka uglja, šljake i pepela uzetih tokom ispitivanja i podaci o pogonskim parametrima bloka i EF dobijeni od tehničke službe TE Morava. Parametri rada elektrofilterskog postrojenja (vrednosti struje i napona po sekcijama EF) su obrađeni i u formi 144 dijagrama su dati u prilogu Izveštaja. U posebnom prilogu je opisan način određivanja pada pritiska kroz EF i primenjena metodologija korekcije usled promene poprečnog preseka kanala. Podaci prikupljeni tokom merenja i dobijeni proračunima su obrađeni, evaluirani i prezentirani na način koji nedvosmisleno daje odgovor na pitanje ispunjenosti garantnih uslova koji su bili predmet obavljenog ispitivanja.

U sedmom poglavlju elaborata sumirani su rezultati obavljenih ispitivanja. Utvrđeno je da je srednja vrednost ostvarenih koncentracija praškastih materija na izlazu iz rekonstruisanih EF u prvoj seriji od 3 sukcesivna merenja (kada su sva električna polja EF bila uključena i radila pri optimalnim parametrima) bila iznad  $50 \text{ mg/Nm}^3$ , a u drugoj seriji (kada je jedno električno polje EF bilo isključeno a ostala radila pri optimalnim parametrima) ispod ugovorom garantovanih vrednosti od  $100 \text{ mg/Nm}^3$ . Obzirom da je kvalitet sagorevanog uglja bio daleko lošiji od garantovanih/projektnih vrednosti, preporučeno je da se rezultati prve serije merenja koriguju primenom korekcionih krivih, na osnovu čega je dobijena korigovana vrednost emisije praškastih materija ispod garantovane vrednosti od  $50 \text{ mg/Nm}^3$ . Takođe je potvrđeno da su vrednosti sopstvene električne potrošnje EF, pada statičkog pritiska dimnog gasa kroz EF kao i nivo buke pri radu EF ispunile ugovorom garantovane vrednosti.

Kao sastavni deo ovog elaborata priloženi su sledeći Prilozi:

- Primena korekcionih krivih na rezultate garancijskih merenja na dve strane,
- Plan merenja na 17 strana
- Radni parametri rekonstruisanog EF tokom garacijskih ispitivanja na 24 strane,
- Izveštaj o merenju nivoa buke na 5 strana, i

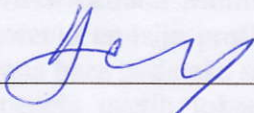
## MISLJENJE

Tehničko rešenje - **Baza podataka o radu rekonstruisanog elektrofilterskog postrojenja i emisiji praškastih materija termoelektrane "Morava" – 125MW u Svilajncu, detaljno data u Izveštaju "GUARANTEE MEASUREMENTS - TEST A OF THE UPGRADED ESP AT TPP MORAVA – 125 MWe", NIV-LTE 604"**, autora: P. Stefanović, M. Erić, V. Spasojević, A. Erić, D. Cvetinović, Z. Marković, I. Lazović, P. Škobalj, A. Marinković, N. Živković i R. Jovanović, predstavlja detaljnu bazu podataka sa rezultatima garancijskih ispitivanja rada elektrofilterskog

postrojenja i emisije praškastih materija na izlazu iz elektrofilterskog postrojenja termoelektrane "Morava". Pregledan tabelaran, grafički i tekstualni prikaz rezultata pruža uvid u stanje rekonstruisanog i modernizovanog elektrofilterskog postrojenja. Adekvatno obrađeni podaci prikupljeni tokom ispitivanja ukazuju na to da posle primene korekcija zbog znatno težih uslova rada tokom garancijskih ispitivanja u odnosu na garantovane uslove rada (pre svega zbog znatno povećanog sadržaja pepela u uglju sagorevanog tokom prve serije merenja, ulazna koncentracija praškastih materija je bila i do 50% veća od ugovorene-projektne vrednosti) elektrofiltersko postrojenje ispunjava sve ugovorom definisane garancijske uslove. Zaključeno je da je pad pritiska dimnog gasa kroz rekonstruisano i modernizovano elektrofiltersko postrojenje manji od garantovane vrednosti, da je prosečna električna potrošnja električne energije EF postrojenja manja od garantovane vrednosti i da je ostvareni nivo buke pri radu elektrofiltera ispod ugovorom garantovane vrednosti. Baza podataka formirana na osnovu sprovedenih ispitivanja je adekvatno obrađena, evaluirana i u formi preglednog elaborata sa priložima dostavljena korisniku.

U skladu sa gore iznetim činjenicama, mišljenja sam da predloženo tehničko rešenje ispunjava uslove da bude priznato u kategoriji: **Kritička evaluacija podataka, baza podataka, prikazani detaljno kao deo međunarodnih projekata, publikovani kao interne publikacije ili prikazani na Internetu (M86=2) u skladu sa Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučno istraživačkih rezultata istraživača (Sl. Glasnik RS 38/2008).**

u Beogradu, 8. februar 2017. god.

  
\_\_\_\_\_  
Dr Slobodan Đekić, dipl.maš.inž.,

На основу увида у документацију за предложено техничко решење: **База података о раду реконструисаног електрофилтерског постројења и емисији прашкастих материја, детаљно дато у извештају GUARANTEE MEASUREMENTS - TEST A OF THE UPGRADED ESP AT TPP MORAVA – 125 MWe, NIV-LTE 604**, аутора: П. Стефановића, М. Ерића, В. Спасојевића, А. Ерића, Д. Цветиновића, З. Марковића, И. Лазовића, П. Шкобаља, А. Маринковић, Н. Живковића и Р. Јовановића, сарадника Лабораторије за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке „Винча“, подносим:

## ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење: **База података о раду реконструисаног електрофилтерског постројења и емисији прашкастих материја, детаљно дато у извештају GUARANTEE MEASUREMENTS - TEST A OF THE UPGRADED ESP AT TPP MORAVA – 125 MWe, NIV-LTE 604**, аутора: П. Стефановића, М. Ерића, В. Спасојевића, А. Ерића, Д. Цветиновића, З. Марковића, И. Лазовића, П. Шкобаља, А. Маринковић, Н. Живковића и Р. Јовановића, сарадника Лабораторије за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке „Винча“, представља базу података прикупљених током гаранцијских испитивања електрофилтерског (ЕФ) постројења термоелектране "Морава". Резултати лабораторијских анализа узорака угља и ЕФ пепела узетих током испитивања заједно са резултатима мерења радних параметара и потрошње електричне енергије реконструисаних ЕФ и резултатима прорачуна и евалуације прикупљених података, формирају обимну базу података о стању опреме блока и раду ЕФ постројења, као и о карактеристикама коришћеног угља.

Елаборат NIV-LTE 604 написан је на енглеском језику и садржи укупно 47 страна, 49 табела са подацима, 10 слика и 3 Прилога. Елаборат садржи резултате гаранцијских испитивања емисије прашкастих материја у ваздух из реконструисаног ЕФ постројења термоелектране "Морава" у Свилајнцу. Циљ испитивања је био да се прикупе подаци неопходни за доношење одлуке о томе да ли реконструисано ЕФ постројење испуњава услове дефинисане уговором по питању нивоа емисије прашкастих материја у димном гасу на излазу из ЕФ, за нормалне услове, сув димни гас, садржај  $O_2=6\%$  и при нормалним и гарантованим радним условима котла и ЕФ постројења, услове захтеваног максималног пада притиска кроз ЕФ, максималног нивоа буке и нивоа потрошње електричне енергије. Елаборат NIV-LTE 604 техничког решења састоји се од следећих 7 поглавља:

RESUME Report on Guarantee measurements – TEST A,

1. Description of the measurement objective,
2. Description of the plant, materials handling,
3. Description of measurement site and plane,
4. Measurement and analytic methods, apparatus,
5. Operating conditions of the plant during the measurements,
6. Results of Guarantee measurements - TEST A,
7. Conclusions

са Прилозима:

- Emission measurement plan
- Electrostatic Precipitator System working parameters during Guarantee measurements - Test A (TPP MORAVA Control Room data)
- Noise Emission testing Report No. TT 01/16

У првом поглављу елабората NIV-LTE 604 је објашњен основни разлог за спровођење

овог испитивања. У претходном периоду су извршени реконструктивни захвати на котлу и турбини са циљем продужења радног века и повећања степена корисности на номиналној снази од 120 MW. Компанија RAFAKO S.A. је током 2016. године обавила реконструкцију и модернизацију електрофилтерског постројења у циљу смањења нивоа емисије прашкастих материја у ваздух. Уговором је RAFAKO S.A. преузео обавезу да гарантује утврђени максимални ниво емисије прашкастих материја у димном гасу на излазу из реконструисаног ЕФ постројења од  $50 \text{ mg/Nm}^3$ , за нормалне услове и при нормалним и гарантованим радним условима котла и ЕФ постројења. У периоду 05÷07.10.2016. обављена су гаранцијска испитивања реконструисаног ЕФ постројења названа ТЕСТ А.

У другом поглављу су дати основни технички подаци котла, реконструисаног ЕФ постројења, пројектне карактеристике угља (доња топлотна моћ, садржај пепела, садржај сагорљивог, садржај воде и сумпора) и основни пројектни параметри димног гаса на улазу у ЕФ.

У трећем поглављу дефинисан је положај изабраних мерних равни и мерних места, њихов шематски приказ и геометријске карактеристике, дата је скица мреже мерних тачака са ознакама и положајем мерних тачака у мерној равни, дат је коментар положаја мерне равни с обзиром на дужине правих деоница пре и после мерне равни.

У четвртном поглављу је детаљно описана линија за узорковање прашкастих материја из димног гаса и дата је шема система. Табеларно је дат списак мерне опреме која је коришћена током мерења, дефинисана је методологија и наведене су методе и стандарди према којима је извршено мерење потребних параметара, узорковање и обрада добијених резултата. Набројане су све активности које се спроводе у циљу обезбеђења квалитета испитивања.

У петом поглављу су описани услови рада котла и ЕФ постројења остварени током испитивања.

У шестом поглављу су табеларно приказани резултати за обе серије по 3 мерења тј. за свих 6 тестова. Поред свих измерених вредности на објекту, табеларно је дат биланс садржаја минералних материја у угљу, пепелу и шљаци и поступак прорачуна концентрације прашкастих материја на улазу у ЕФ. Такође су дате вредности елементарне и техничке анализе узорака угља, као и резултати лабораторијских анализа узорка шљаке и ЕФ пепела за сваки од 6 тестова. У овом поглављу су дати и подаци о паду притиска димног гаса кроз филтер као и измереној сопственој потрошњи електричне енергије ЕФ.

У поглављу седам су сумирани основни резултати обављених испитивања и закључено је:

- у првој серији тј. у прва три теста, при нормалном раду котла и укључених свих 8 електро секција ЕФ, измерене су вредности концентрације прашкастих материја на излазу из ЕФ од преко  $60 \text{ mg/Nm}^3$  (сведено на  $O_2=6\%$ ). Међутим, током ових тестова садржај пепела у сагореваном угљу је био далеко изнад гарантованих/пројектних вредности па је концентрација прашкастих материја на улазу у ЕФ била и за 50% већа од гарантоване вредности па електрофилтер и поред високе ефикасности отпрашивања (изнад 99,91%) није успео да излазну концентрацију сведе на испод  $50 \text{ mg/Nm}^3$ . Међутим, применом корекционих кривих за параметре који су одступали од гарантоване вредности, добијена је коригована вредност емисије прашкастих материја на излазу из ЕФ чија је вредност испод гарантованих  $50 \text{ mg/Nm}^3$ ;
- у другој серији тестова, при нормалном раду котла, када је једно од 8 електричних поља ЕФ било искључено а остала радила са оптималним параметрима рада, измерене су вредности концентрације прашкастих материја на излазу из ЕФ од преко  $90 \text{ mg/Nm}^3$  (сведено на  $O_2=6\%$ ). У овом посебном случају рада ЕФ постројења средња вредност концентрације прашкастих материја на излазу из ЕФ је увек била испод гарантоване вредности тј.  $\leq 100 \text{ mg/Nm}^3$  ( $O_2=6\%$ );

- да је коригована вредност пада притиска димног гаса кроз реконструисане ЕФ испод гаранцијом утврђене вредности од 230 Pa,
- да је сопствена потрошња електричне енергије ЕФ постројења мања од гарантоване вредности и
- да је остварена бука при раду реконструисаних ЕФ на месту мерења испод гаранцијом дефинисане вредности од 85dB.

## МИШЉЕЊЕ

Техничко решење - База података о раду реконструисаног електрофилтерског постројења и емисији прашкастих материја, детаљно дато у **GUARANTEE MEASUREMENTS - TEST A OF THE UPGRADED ESP AT TPP MORAVA – 125 MWe, NIV-LTE 604**, представља комплексну базу података која садржи резултате гаранцијских испитивања електрофилтерског постројења термоелектране “Морава”. Прегледан табеларан, графички и текстуални приказ резултата обављених испитивања дат у елаборату техничког решења пружа увид у стање испитиваног електрофилтерског постројења. Адекватно обрађени подаци прикупљени мерењем омогућавају доношење недвосмисленог закључка о испуњености гаранцијских услова. База података је обрађена, евалуирана и у форми прегледног елабората NIV-LTE 604 достављена: а) извођачу модернизације ЕФ (RAFAKO S.A.), б) представнику инвеститора (консултантској фирми VPC East) и в) кориснику, ЈП ЕПС огранак ТЕНТ и ТЕ „Морава“ који су извештај усвојили без примедби.

У складу са програмским задатком, примењене су стандардне референтне методе за одређивање емисије прашкастих материја из стационарног извора. Ниво емисије је оцењен на основу утврђених просечних средњих масених концентрација прашкасте материје у димном гасу у мерном пресеку на каналима димног гаса на коти 10,45 м, а у складу са програмским задатком и захтевима наручиоца мерења RAFAKO S.A. Елаборат техничког решења NIV-LTE 604 детаљно, прецизно и прегледно представља резултате гаранцијских испитивања нивоа емисије прашкастих материја у димном гасу, погонске параметре блоковског и ЕФ постројења током испитивања, резултате лабораторијских анализа узорака угља, пепела и шљаке узетих током испитивања, вредности електричних радних параметара ЕФ по свим секцијама током испитивања, резултате мерења нивоа буке и одређивања пада притиска димног гаса кроз ЕФ, те резултате пратећих прорачуна, коментаре и закључке.

На основу добијених резултата испитивања донет је валидан закључак у погледу испуњености гарантованих услова нивоа емисије прашкастих материја на излазу из реконструисаног и модернизованог ЕФ постројења и квалитету његовог рада након спроведене реконструкције.

Према претходно изнетим чињеницама, мишљења сам да предложено техничко решење испуњава услове да буде признато у категорији: *Критичка евалуација података, база података, приказани детаљно као део међународних пројеката, публиковани као интерне публикације или приказани на Интернету (M86=2)* у складу са Правилником о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научно истраживачких резултата истраживача (Сл. Гласник РС 38/2008).

у Београду, 29.01.2017. год.



Др Борислав Перковић, научни саветник