

Саво Мирковић

**ЕФТ – Рудник и термоелектрана „Станари”, д. о. о,
Станари, Република Српска, Босна и Херцеговина**

Техничке карактеристике термоелектране „Станари” са посебним освртом на неке специфичности

Стручни рад
УДК: 621.311.22

Рад обухваћа крајњак приказ пројекта изградње Термоелектране „Станари”, инсталисане снаге 300 MW и основне податке о пројекту, као што су карактеристике уља, технички параметри блока и технички подаци о основној опреми (коџао, турбина, генератор и помоћни системи). С обзиром да је предвиђена технологија сагоревања уља у циркулационом флуидизираним слоју и директни суви расхладни систем, у раду је даће детаљнији опис наведеног коџла и ваздухом хлађеног кондензатора, пошто ове технологије нису заступљене у термоелектранама електроенергетског система Републике Српске и региону.

Кључне ријечи: термоелектрана „Станари”, подаци, примјењене технологије

Увод

По преузимању рудника лигнита „Станари” у мају 2005. године од стране ЕФТ групе и његове почетне консолидације, већ 2006. године је донешена одлука о изградњи термоелектране (ТЕ) и започете припремне активности које су у завршној фази и које су генерално обухватиле следеће:

- израда претходне студије оправданости,
- израда студије водоснабдевања,
- детаљни еколошки мониторинг (квалитет ваздуха, земљишта, воде, бука, вибрације и метеоролошки параметри),
- израда регулационог плана рударско-енергетског комплекса Станари,
- припрема студије оправданости са идејним пројектом изградње ТЕ „Станари”,
- израда студије утицаја на животну средину,
- израда студије социолошког утицаја пројекта,
- израда студије тржишта електричне енергије југоисточне Европе,

Електронска адреса аутора: savo.mirkovic@eft-stanari.net

- израда студије уклапања ТЕ „Станари” на електроенергетски систем БиХ,
- откуп земљишта на локацији ТЕ „Станари”,
- истражни радови (геомеханика, геофизика, сеизмика, хидрогеологија),
- израда тендерске документације и уговарање изградње ТЕ, те
- припрема платоа за изградњу ТЕ (насипање и равнање терена, изградња приступног пута, довођење градилишне струје, опремање бунара за снабдевање водом градилишта и будуће ТЕ и др.).

Концепт изградње ТЕ је заснован и пројектован на истраженим и потврђеним резервама и квалитету угља у Станарском басену у износу од око 108 милиона тона. Карактеристике угља су дате у табл. 1. Специфичност Станарског угља-лигнита је низак садржај сагорљивог сумпора (0,07–0,20%), као и низак садржај пепела (4–15%).

Основни подаци о блоку ТЕ „Станари”

Уговор о изградњи ТЕ „Станари” између ЕФТ- Рудник и Термоелектрана „Станари”, д. о. о. (као инвеститора) и Dongfang Electric Corporation Ltd. (DEC) из Кине (као генералног извођача и испоручиоца опреме по систему „кључ у руке”), потписан је 5. маја 2010. године. Уговор обухвата пројектовање, изградњу, испоруку и монтажу опреме, функционалне пробе, пуштање у рад и подешавање оптималних параметара рада блока ТЕ. Уговорен је блок инсталисане снаге 300 MW са поткритичним параметрима паре, котлом са сагоријевањем у циркулационом флуидизираним слоју (circulating fluidized bed – CFB) и емисијама усклађеним са директивама ЕУ, ($SO_2 < 200 \text{ mg/Nm}^3$; $NO_x < 200 \text{ mg/Nm}^3$, чврсте честице $< 30 \text{ mg/Nm}^3$ и $CO < 200 \text{ mg/Nm}^3$).

Уговором је обухваћена комплетна технолошка опрема са помоћним постројењима и унутрашњим системом допреме угља, изузев разводног постројења и транспортног система за угаљ од рудника до ТЕ.

Избор кинеског генералног испоручиоца, као најповољнијег, је извршен између још 4 понуде:

- SNC Lavalin, (Канадско-Пољска компанија), која је понудила блок снаге 420 MW са наткритичним параметрима паре, како је Студијом изводљивости и идејним пројектом било и предвиђено. У понуди је био понуђен котао од стране пољског произвођача Рафако и турбогенератор од стране чешког произвођача Шкода, алтернативно Сименс.
- Doosan Babcock, блок истих карактеристика као претходни,
- EM-Aljans, Русија, блок снаге 350 MW са наткритичним параметрима паре, и
- СЕС Тлмаче, Словачка, блок снаге 350 MW са поткритичним параметрима паре.

Основни технички подаци о блоку су:

- гарантована временска расположивост, 90%,
- годишња производња електричне енергије на бази 7500 радних сати 2.000 GWh,
- часовна потрошња пројектног угља 304 t,
- специфична вриједност CO_2 за гориво 1,01 kg/kg,
- годишња потрошња пројектног угља 2,315.000 t,
- сопствена потрошња блока 37 MW,

Таблица 1. Приказ карактеристика „Станарског” угља

Карактеристике		Параметар		
		Нижи квалитет	Пројектни угаљ	Виши квалитет
1.	Техничка анализа			
1.1	Влага, [%]	48,00	50,00	52,00
1.2	Пепео, [%]	15,60	9,80	4,00
1.3	Укупни сумпор, [%]	0,10	0,15	0,17
1.4	Сумпор у пепелу, [%]	0,08	0,08	0,05
1.5	Сагориви сумпор, [%]	0,02	0,07	0,12
1.6	Кокс, [%]	29,12	25,50	21,60
1.7	C-fix, [%]	13,50	15,63	17,48
1.8	Испарљиво, [%]	22,88	24,50	26,40
1.9	Сагорљиво, [%]	36,40	40,20	44,00
1.10	Горња топлотна вредност, [MJ/kg]	9,30	10,66	12,01
1.11	Доња топлотна вредност, [MJ/kg]	7,5	9,10	10,00
2.	Елементарна анализа			
2.1	Угљеник, [%]	23,14	26,00	29,28
2.2	Водоник, [%]	2,13	2,33	2,52
2.3	Сагориви сумпор, [%]	0,02	0,77	0,12
2.4	Кисеоник + Азот, [%]	11,11	11,81	12,09
3.	Хемијски састав пепела			
3.1	SiO ₂	58,00	54,00	47,00
3.2	Fe ₂ O ₃	3,00	7,00	8,00
3.3	Al ₂ O ₃	27,00	24,00	20,00
3.4	CaO	5,00	6,00	12,00
3.5	MgO	3,00	4,00	6,00
3.6	SO ₃	1,33	1,91	1,60
3.7	P ₂ O ₅	0,20	0,20	0,20
3.8	TiO ₂	0,60	0,60	0,60
3.9	Na ₂ O	0,80	0,80	0,80
3.10	K ₂ O	0,90	0,90	0,90
3.11	Реакција	6,74 кисела	4,20 кисела	2,44 кисела

- снага на прагу ТЕ 263 MW,
- специфична потрошња топлоте 9.365 kJ/kg,
- степен корисности блока–брото 38,5%, и
- степен корисности–нето 34%.

ТЕ је предвиђена да ради у базном режиму са могућим техничким минимумом од 50%.

Основни подаци о опреми

Парни котлао

Изабран је котлао са сагоријевањем у *CFB*, бубњем и природном циркулацијом, поткритичним параметрима паре са компактним слободно-стојећим ложиштем, монтиран на челичну конструкцију у затвореном објекту. Огријевне површине у ложишту су мембранског типа, а прегријачи су смјештени у двострујном конвективном каналу са задње стране котла. Из ложишта димни гасови пролазе кроз три циклона који се налазе између ложишта и конвективног канала. Произвођач котла је кинеска компанија DEC, која има значајна искуства са *CFB* котловима и која има годишњи капацитет за производњу енергетске опреме од око 30.000 MW. Предности *CFB* котлова у односу на котлове са класичним сагоријевањем су, углавном, следеће:

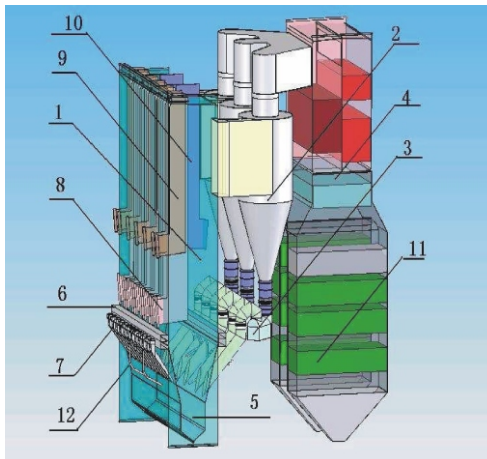
- могућност ефикасног и економичног сагоријевања угљева различитог квалитета, без значајне претходне припреме у смислу мљевања и хомогенизације (на ТЕ „Станари” величина самљевених честица које се убацују у ложиште је 0–15 mm),
- могућност додавања самлевеног кречњака (CaCO_3) као сорбента директно у ложиште котла, који реагује и везује сумпор диоксид из димног гаса и ствара калцијум сулфат (CaSO_4), тако да нису потребна посебна постројења за одсумпоравање димног гаса, и
- релативно ниска температура сагоријевања у ложишту (800–900 °C), којом се умањује могућност настанка азотних оксида, тако да посебне мјере нису потребне (у случају ТЕ „Станари” предвиђена је температура у слоју од око 850 °C, а максимална 870 °C).

На сл. 1 дат је шематски приказ котла са основним саставним дијеловима. У котлу се налази укупно 10 огревних површина, укључујући економајзер и цијевни загријач ваздуха. Димензије ложишта су: 48,2 m (висина) и 51,4 m (ширина). Котловски бубањ, дужине 22,5 m и пречника 1,8 m, смјештен је на коти 56,7 m. Дно ложишта је конструктивно изведено као водом хлађени цијевни зид гдје се доводи примарни ваздух и гдје су смјештена 2 потпална горионика. Секундарни ваздух се доводи на 2 горња нивоа ложишта. У ложишту су још смјештени зидни мембрански екрани и задњи преградни мембрански зид. Између ложишта и прегријачког дијела се налазе 3 циклона у којима се гасовити продукти сагоријевања одвајају од чврстих честица (пепео, пијесак и нертни материјал и кречњак), који одлазе у конвективни дио котла, а чврсте честице се преко 2 U-цијеви по циклону враћају у ложиште.

Прегријачки канал је подијелен на 2 дијела и у њему су смјештени конвективни прегријачи свеже паре (3 степена) и међупрегријане паре (2 степена). Након

Слика 1. Приказ одабраног котла на ТЕ „Станари”

- (1) – ложиште,
- (2) – циклони,
- (3) – U-цијеви,
- (4) – задњи пролаз,
- (5) – довод примарног ваздуха,
- (6) – довод секундарног ваздуха,
- (7) – пневматски довод угља,
- (8) – предгрејач паре,
- (9) – међупрегрејач паре,
- (10) – развојени цијевни зид,
- (11) – загријач ваздуха,
- (12) – довод кречњака



тога, два димна канала се спајају у један и пролазе преко загријача напојне воде–економијера, а затим се поново дијеле и пролазе кроз цијевни загријач ваздуха (ЦЗВ). Након ЦЗВ, димни гас пролази кроз постројење за одвајање летећих честица (врећасте филтере), вентилаторе димног гаса и одлазе у димњак висине 150 m. Основни подаци о котлу се налазе у оквиру табл. 2.

Припрема и транспорт угља до котловских бункера (којих има 5) врши се транспортерима преко два дробилична постројења са крајњом гранулацијом од 0–15 mm, затим преко система дозатора и вентилатора убацује у ложиште преко 10 горњоника. Одвод пепела са дна ложишта је континуиран преко четири ротациона хладњака. Напајање котла са водом се обавља са три електромоторне напојне пумпе (3 × 5,3 MW), од којих су две радне и једна у резерви.

Поред вентилатора примарног и секундарног ваздуха, котловско постројење је опремљено и са три вентилатора за флуидизацију и две дуваљке за дозирање угља. Осим главног котла, предвиђена је и изградња помоћне котловнице са котлом капацитета 45 t/h (параметри паре: притисак 1,6 MPa, температура 350 °C), који ће бити ложен дизел горивом и служиће за потпалу и евентуалну подршку главног котла.

Парна турбина

Турбина је кондензациона акциона тростепена, са једним међупрегријањем, двокућишна са дуплим излазом из цилиндра ниског притиска и са 7 одузимања и директним ваздушним хлађењем. Састоји се од турбине високог притиска (ТВП), који има 1 + 8 степени, затим од турбине средњег притиска (ТСП) са 7 степени и турбине ниског притиска (ТНП), који има 2 + 4 степена. Дужина задњих лопатица у дијелу ТНП је 661 mm. Довод паре у ТВП се врши преко два стоп-вентила и четири регулациона вентила, а у ТСП преко два једнокућишна стоп и регулациона вентила. Регенеративно загријавање напојне воде се обавља у три загријача ниског притиска, деаератору и три загријача високог притиска. Турбина је опремљена и осталом потребном опремом за подмазивање, регулацију, прекретним уређајем и дигиталним електро-хидрауличним

Таблица 2. Основни подаци о котлу на ТЕ „Станари”

Параметар	Јединица мјере	Максимална трјана продукција котла – BMCR	Продукција котла за пројектовани ниво – TMCR
Снага блока	MW	327,15	300
Проток свеже паре	th ⁻¹	1065	957,8
Притисак свеже паре на излазу из котла	MPa	17,4	17,4
Температура свеже паре на излазу из котла	°C	540	540
Проток међупрегрејане паре	th ⁻¹	872,106	789,65
Притисак међупрегрејане паре на улазу у котао	MPa	3,893	3,521
Притисак међупрегрејане паре на излазу у котла	MPa	3,713	3,341
Температура међупрегрејане паре на улазу из котла	°C	333,6	323,6
Температура загријане напојне воде на излазу из котла	°C	540	540
Притисак у бубњу	MPa	18,72	18,72
Температура загрејане напојне воде на улазу у котао	°C	283,4	276,5
Гарантован степен корисности котла	%	–	89,94
Потрошња угља	th ⁻¹	331	304
Потрошња кречњака	th ⁻¹	1,5	1,4
Температура димних гасова на излазу из ЦЗВ	°C	160	151
Температура топлог ваздуха	°C	260	257

системом за контролу и управљање. Испоручилац турбине је DEC, а из наведеног кратког описа се види да је конструкција турбине компактна и да се од ЛМЗ (Лењинградски Металски Завод) турбина разликује по мањем броју радних кола, две осовине, шест лежајева, дужини задњих лопатица, доводу паре са четири регулациона вентила, три загријача ниског притиска и др.

Електрични генератор

Електрични генератор ће такође бити произведен од стране кинеске компаније DEC. Активна снага генератора је 300 MW, привидна 353 MW, фактор снаге 0,85. Вриједност излазног напона је 20 kV, а струје 10,2 kA. Генератор је са једним паром

полова и 3000 о/мин. Побудни систем је статички тиристорски претварач. Намотаји статора ће бити хлађени водом, док ће се језгро статора и ротор хладити водоником. Генератор је металним оклопљеним сабирничким системом, а преко генераторског прекидача ће бити повезан са блок трансформатором снаге 370 MVA. Средњенапонска вриједност развода у ТЕ је 6 kV.

Расхладни систем

Пројектни притисак излазне паре из ТНП за пројектну просјечну температуру околине од 11,2 °C је 12,6 kPa. За остале услове се креће од 6,7 kPa, што је доња граница тј. тачка пригушења, па до 32 kPa у љетним условима, када је температура околине 32 °C. Температура излазне паре за пројектне услове је 38,3 °C. Предвиђено је да се излазна пара из турбине кондензује и хлади у кондензатору хлађеним ваздухом (Air Cooled Condenser – ACC). Наведени систем је одабран првенствено због недостатка довољних количина воде на локацији изградње ТЕ (расположиво је око 85 m³/h сирове воде из 3 артерска бунара). ACC систем је пројектован по кинеском стандарду VGB 131 Me, на основу кога се израчунава потребна расхладна површина по следећем обрасцу:

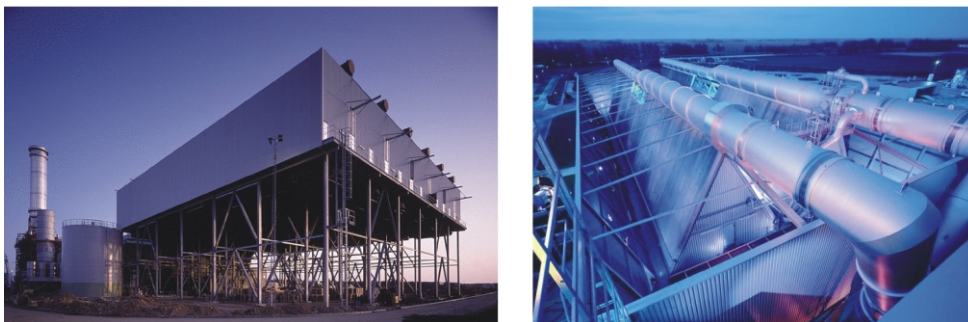
$$M_p (h_p - h_k) = kA\theta \quad m \quad (1)$$

гдје су: M_p [kgs⁻¹] – масени проток паре, h_p [Jkg⁻¹] – енталпија излазне паре, h_k [Jkg⁻¹] – енталпија кондензата, k [Wm⁻²] – коефицијент преноса топлоте, A [m²] – расхладна површина, и θ [K] – логаритамска средња температурна разлика.

Ваздухом хлађени кондензатор је спољашњег типа, вишећелијски са принудном промајом, монтиран на челичну конструкцију и сачињавају га вишеструки модули са сноповима ребрастих цијеви постављених на оквирима. Кретање амбијенталног ваздуха, као расхладног средства, обезбијеђено је вентилаторима са електропогоном. Састоји се из примарног и секундарног дијела. Излазна пара из турбине до кондензатора се води главним пароводом пречника 5500 mm, а затим се преко 6 цијевовода води на врхове модула. Брзина кретања паре у наведеном пароводу је 80–85 m/s. Пара и кондензат теку сноповима ребрастих цијеви у примарном дијелу, скупљају се у одводним цијевима и воде у резервоар кондензата, одакле се конденз пумпама враћа у циклус. Регулација и одржавање пројектованог вакуума у кондензатору у екстремним условима рада се обавља искључењем парних секција (којих има 6) и могуће је радити само са једном. Пошто је свака секција опремљена са по 5 вентилатора, у нормалним условима рада вакуум се контролише промјеном брзине обртаја преко фреквентних регулатора или искључењем појединих вентилатора или група. Укупан број цијевних снопова је 300, од чега је 252 снопа чини примарни дио, а 48 секундарни дио (који има улогу дефлагматора и заштиту система од смрзавања). Димензије снопова су 10,3 2,35 m у примарном дијелу и 9,3 2,35 m у секундарном дијелу.

Укупне димензије ACC система су 69,66 58,625 m. Висина постоља за вентилатор износи 32 m (укупно 30 комада, са снагом мотора од 132 kW, протоком ваздуха од

око 480 m^3 по вентилатору и брзином тока ваздуха од 2 m/s). Пречник вентилатора је 9144 mm . Укупна расхладна површина АСС система је 877.495 m^2 , сл. 2.



Слика 2. Приказ компоненти расхладног система на ТЕ „Станари”

Основне предности АСС система у односу на класичне су: нижи инвестициони трошкови изградње и краће вријеме изградње, заузима мању површину, једноставан за руковање и регулацију и лакше је чишћење и одржавање система. Поред АСС система предвиђена је изградња расхладног система за хлађење помоћног кондензата који се састоји од два затворена плочаста спољашња измјењивача са принудном циркулацијом ваздуха. Помоћни кондензат настаје од хлађења свих механизма у ТЕ, (хладњаци уља, водоника, статора генератора, лежајева, узорака, фреквентних регулатора, итд.). Наведени систем ради са 100% резервом и значајан је потрошач воде. Температурни пад Δt наведеног система је $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Закључак

На основу расположивих количина и квалитета угља изабран је *CFS* когао оптималне снаге са високом ефикасношћу од око 90% , с обзиром да сагоријева лигнит високе влажности, око 50% . Такође предност сагоријевања угља у *CFS* котловима са аспекта ограничења емисија SO_2 и NO_x је у овом случају у потпуности искоришћена те су емисије SO_2 за пројектни угаљ око 93 mg/Nm^3 , пепела око 16 mg/Nm^3 , NO_x и CO су мање од 200 mg/Nm^3 . Нискотемпературним сагоријевањем је елиминисан проблем зашљакивања огревних површина. С обзиром да је угаљ са малим садржајем пепела, предвиђено је додавање веће количине инертног материјала за старт (150 t), као и повећана ефикасност циклона, како би избјегли значајније додавање инертног материјала у раду блока. Недостатак наведене технологије је релативно висока сопствена потрошња блока од око 12% , која је дијелом и због АСС система хлађења и већи притисак на излазу из *CNP* ($12,6 \text{ kPa}$), што смањује степен корисности турбине и блока, али је примјена АСС система условљена недостатком довољних количина воде за хлађење блока на локацији Станара.

Литература

- [1] ***, Basic Design of TPP “Stanari” – Southwest Electric Power Design Institute (SWEPTDI), Chengdu, China

Abstract

Technical Characteristics of TPP “Stanari” with Regards to Certain Specificities

by

Savo MIRKOVIĆ

EFT – TPP “Stanari”, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

Brief presentation of the Project on Construction of Thermal Power Plant “Stanari” with the installed power of 300 MW as well as basic project data such as coal characteristics, technical unit parameters and technical data on main equipment (boiler, turbine, generator and auxiliary systems) are presented in this paper. The project adopts circulating fluidized bed technology of coal combustion, and direct dry cooling system. Since these technologies have not been applied to the thermal power plants in Republika Srpska and region this document shall contain more detailed description of above mentioned boiler and air-cooled condenser.

Key words: thermal power plants “Stanari”, information, applied technology

Author's e-mail: savo.mirkovic@eft-stanari.net

Рад примљен: 1. септембра 2010.
Рад ревидиран: 20. децембра 2010.
Рад прихваћен: 20. јануара 2011.