

ИСПИТИВАЊЕ И АНАЛИЗА РАДА ПАРНОГ ТУРБОПОСТРОЈЕЊА СНАГЕ 210 MW

С. Милић¹, М. В. Петровић^{*1}, М. Б. Бањац¹, Ђ. Петковић¹, Д. Ђукановић¹
Н. Јанков², В. Деспотовић², Д. Милетић²

*Универзитет у Београду - Машински факултет¹
Електропривреда Србије, Огранак ТЕКО Костолац²*

Апстракт: Термоелектрана Костолац А2 у је у погону од 1980. а до 2019. је имала више од 200,000 радних сати. Електропривреда Србије (ЕПС) се припрема за значајније захвате на турбопостројењу у циљу продужења радног века и повећања снаге блока. Циљ спроведених испитивања је био да се утврди тренутно стање постројења и његових појединих најважнијих компонената и да се добију подаци за будуће вођење и одржавање блока као подлоге за планирану будућу модернизацију. У раду су приказани примењене мерне технике, начин обраде података мерења и главни резултати испитивања. Одређена је специфична потрошња топлоте и степен корисности турбопостројења као и радне карактеристике свих компоненти турбопостројења. Урађени су биланси масе и енергије за више режима рада. На основу резултата израчунат је утицај одступања појединих параметара и рада компоненти на снагу блока и специфичну потрошњу турбопостројења. Дате су смернице за погон термоелектране.

Кључне речи: парна турбина, погонска испитивања, комбинована производња топлотне и електричне енергије, степен корисности турбопостројења

TESTING AND ANALYSIS OF OPERATION OF A 210 MW STEAM TURBINE

S. Milić¹, M. V. Petrović^{*1}, M. B. Banjac¹, Đ. Petković¹, D. Đukanović¹
N. Jankov², V. Despotović², D. Miletić²

*University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering¹
Elektroprivreda Srbije –Branch TEKO Kostolac²*

Abstract: The Kostolac A2 thermal power plant (TPP) has been in operation since 1980 and, by 2019, had more than 200,000 operating hours. Elektroprivreda Srbije (EPS) is preparing for significant interventions at the turbo plant to extend the working life and increase the power of the unit. The aim of the conducted tests was to determine the current condition of the plant and its individual most essential components and obtain data for the future management and maintenance of the unit as a basis for the planned future modernization. The paper presents the applied measurement techniques, the method of processing measurement data, and the main test results. The specific heat consumption and the degree of efficiency of the turbo plant as well as the operating characteristics of all components of the turbo plant, were determined. Mass and energy balances were made for several operating modes. Based on the results, the influence of deviations of individual parameters and component operation on the block power and specific consumption of the turbo plant was calculated. Guidelines for the operation of the thermal power plant are given.

Key words: steam turbine, steam turbine testing, combine heat and power production, thermal efficiency

* Corresponding author e-mail: mpetrovic@mas.bg.ac.rs

1. УВОД

Током експлоатације долази до погоршања радних карактеристика компоненти које доводе до смањење степена корисности парног турбопостројења, односно, до смањења произведене електричне енергије при истој доведеној количини топлоте. Погоршање радних карактеристика турбина су последица повећања зазора, запрљања, механичких оштећења, промене геометрије. Овакве појаве најчешће не доводе до хаварија, али негативно утичу на рад читавог постројења. Погоршање карактеристика могуће је утврдити спровођењем термотехничких погонских испитивања која се најчешће спроводе пре планираних ремонта како би се могао утврдити обим потребних захвата. Према искуствима са обављених термотехничких испитивања губитак снаге услед погоршања карактеристика код различитих електрана износи 3-10%. Гаранцијска (пријемна) термотехничка испитивања парних турбина или парних турбопостројења најчешће се планирају и спроводе након спроведених захвата како би се провериле уговорене вредности радних карактеристика уграђене опреме и/или створила база референтних података о параметрима постројења после капиталних ремонта. Испитивања се обављају и пре великих захвата како би се утврдило стање постројења и одредио обим радова ради отклањања уочених проблема.

Да би се могли извести валидни закључци испитивања морају бити изведена са великим бројем инструмената, без икаквих мањкавости и у складу са важећим стандардима и савременим стањем технике у овој области.

Иако је основни циљ гаранцијских и погонских испитивања парног турбопостројења одређивање специфичне потрошње топлоте турбопостројења, она имају и знатно шири значај и служе за:

- верификацију прорачуна и метода које је спровео испоручилац на основу чега он употпуњује базу за будуће прорачуне и повећава сигурност при давању гаранције;
- добијање података о појединим компонентама постројења. Уколико су карактеристике неких од компонената знатно слабије у односу на очекиване вредности, накнадном интервенцијом могуће је остварити побољшање степена корисности блока;
- добијање референтних података о постројењу и могућност поређења резултата са будућим резултатима испитивања уколико се ради о пријемним испитивањима која се спроводе непосредно по завршетку пробног погона; таквим поређењима могуће је открити узроке пада степена корисности постројења и добити важни подаци који се посредно могу користити приликом одржавања постројења, планираних ремонта или замене појединих компоненти;
- генерисање економских показатеља производње ел. енергије на номиналним и карактеристичним парцијалним режимима рада, који су веома битни у погледу за стварање потпуно јасне слике о рентабилности рада постројења и ефикасног вођења постројења у електроенергетском систему;
- обуку запослених инжењера у погледу спровођења испитивања, детаљнијег упознавања са радом постројења, анализе процеса и провере рада мерне опреме у електрани.

У овом раду ће бити приказани резултати и изнешена нека искуства са испитивања парног турбопостројења термоелектране ТЕ Костолац А2.

2. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О ТЕРМОЕЛЕКТРАНИ И ИСПИТИВАЊУ

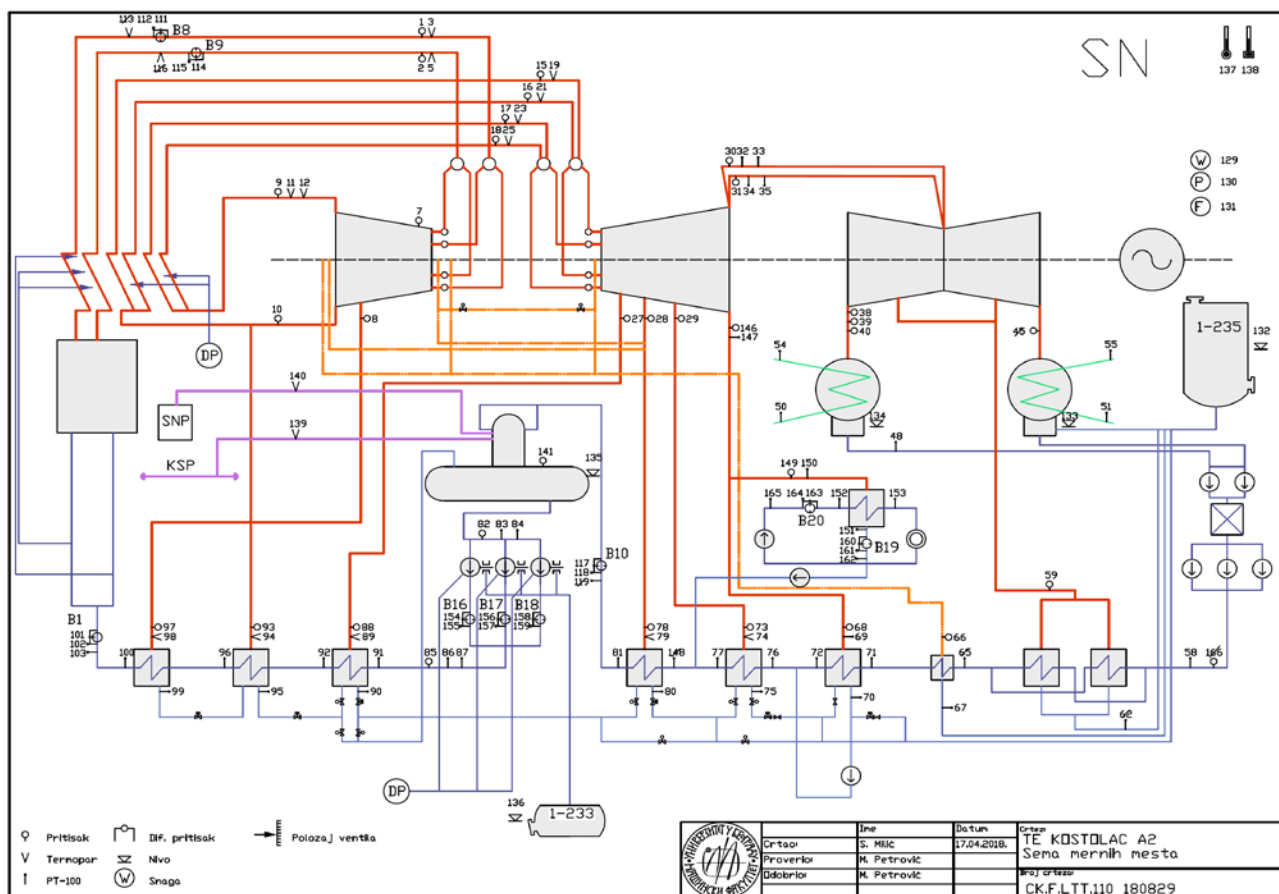
Термоелектрана ТЕ Костолац А2 је у погону од 1980. године са инсталираних 210 MW. Од прве синхронизације на мрежи блок је имао више од 200,000 радних сати до тренутка термотехничких испитивања парног турбопостројења 2019. године. Као гориво се користи лигнит из рударског басена Костолац. Током протеклих година на турбопостројењу блока је спроведено више захвата у циљу повећања степена корисности, расположивости и поузданости. Лабораторија за топлотне турбомашине Машинског факултета у Београду је била ангажована да спроведе термотехничка испитивања и анализу рада турбопостројења и:

- утврди стање турбопостројења ради даљег праћења рада блока током експлоатације,
- одреди степен корисности турбопостројења бруто у кондензационом и топлификационом режу рада,
- одреди радне карактеристике парне турбине, кондензатора загрејача главног кондензата и напојне воде и напојне пумпе,
- анализира резултате испитивања и утврди евентуална одступања у раду појединих компоненти, како би се неопходни захтеви у погледу одступања отклонили и на тај начин побољшао степен корисности турбопостројења и повећала снага блока,
- дефинише захвате у току наредних планираних ремонта ради побољшања стања турбопостројења.

Термотехничка испитивања су спроведена током јануара и фебруара 2019. године [1]. Основи подаци о блоку су приказани у таб. 1. На сл. 1 је приказана шема мерних места према којој су проведена наведена испитивања. У припремној фази испитивања постављена су 104 мерна инструмента од којих: 56 мерила температуре, 39 трансмитера притиска док су протоци посредно мерени на 9 мерних пригушница (Δn).

Табела 1 - Пројектни подаци блока

Величина	Јед.	Вредност
Начин регулисања парне турбине	-	млазничко
Параметри свеже паре на улазу у турбину	[bar] / [°C]	127.48 / 540.0
Масени проток свеже паре	[kg/s]	176.11
Параметри догрејане паре на улазу у турбину	[bar] / [°C]	23.97 / 540.0
Притисак у кондензатору	[bar]	0.042
Температура напојне воде	[°C]	242
Електрична снага на прикључцима генератора	[MW]	210



Сл. 1 – Шема мерних места ТЕ Костолац А2

Загревање воде за даљинско грејање се врши одузетом паром са излаза турбине средњег притиска у три истоветна површинска размењивача топлоте. Испитивање је спроведено на 7 топлификационих и 6 кондензационих режима рада. Током испитивања рада блока у топлификационом режиму испитивани су режими када је у раду један, два или сва три размењивача топлоте за загревање воде за даљинско грејање. За рад у кондензационом режиму испитивања су спроведена на: 215 MW, 219 MW, 206 MW, 190 MW и 170 MW и када су загрејачи високог притиска ван погона (200 MW).

Током термотехничких испитивања спроведено је и испитивање кондензатора на заптивеност. Испитивања су спроведена према стандарду DIN 1943 [2].

Приликом сваког од испитивања пре почетка самог мерања спроведи је изолација циклуса ради успостављања тока радне материје према топлотној шеми, као и стабилизације радних параметара. Сви радни параметри су били у границама дозвољених одступања, док је њихова промена у току снимања режимима била у дозвољеним границама флукуације.

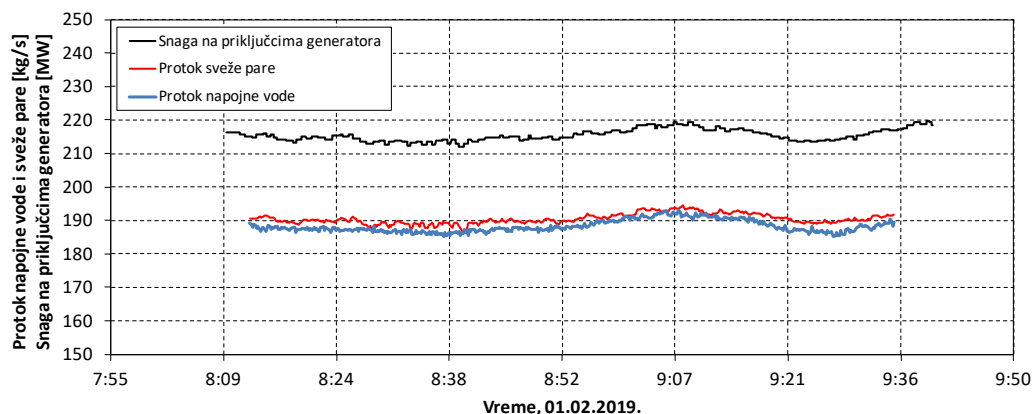
3. ГЛАВНИ РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА

Временски период снимања радних параметара за сваки од режима износио је 90 минута, при чему су били задовољени и услови флукуације радних параметара у предметном интервалу испитивања. Интервал узорковања је био подешен на 5 секунди. Интервал изолације циклуса износио је 30 минута, док је интервал стабилизације параметара износио 60 минута.

Након завршених испитивања приступило се обради измерених вредности параметара, које је обухватало:

- прерачунавање сирових вредности параметара (отпорност, напон и јачина струје) у физичке величине према кривама еталонирања,
- одређивање средње вредности свих параметара за интервал снимања параметара и одговарајуће мерне несигурности,
- одређивање средње вредности вишеструко мерених величина,
- прорачун термофизичких својства воде и водене паре [3] за одговарајућа мерна места,
- прорачун протока за измерене вредности пада притиска на одговарајућим пригушницама [4],
- прорачун радних карактеристика компоненти парног турбопостројења,
- прорачун главних термодинамичких параметара парног турбопостројења,
- прорачун мерних несигурности резултата прорачуна [5],
- прорачун утицаја одступања радних параметара и карактеристика на степен корисности турбопостројења и снагу блока.

На сл. 2 приказана је промена снаге на прикључцима генератора, као и промена протока напојне воде и свеже паре за испитивани режим K215 (кондензациони режим рада и оствареном снагом на прикључцима генератора од 215 MW).



Сл. 2 – Дијаграм промене снаге на прикључцима генератора и протока свеже паре и напојне воде за испитивани режим K215

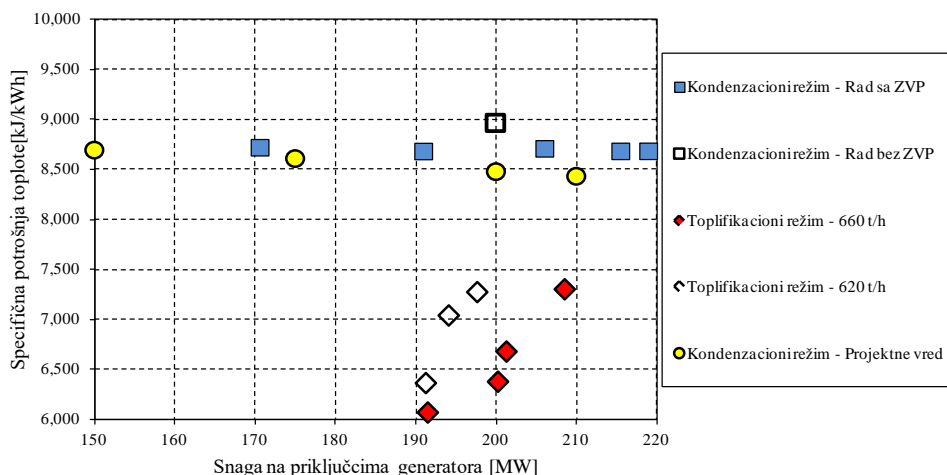
Остварена мерна несигурности прорачуна степена корисности турбопостројења износи 1.35%, при томе је вредност мерне несигурности мерења снаге генератора износила 0.87%, док је вредност мерне несигурности доведене количине топлоте турбопостројењу износила 1.03%. Вредност специфичне потрошње топлоте турбопостројења је приказана у таб. 2, као и на сл. 3. Такође, на сл. 3 приказане су и вредности специфичне потрошње топлоте за пројектне услове блока. На сл. 4 је приказана топлотна шема са кључним резултатима за испитивани кондензациони режим K206.

Табела 2 - Преглед кључних резултата испитивања за кондензационе режиме

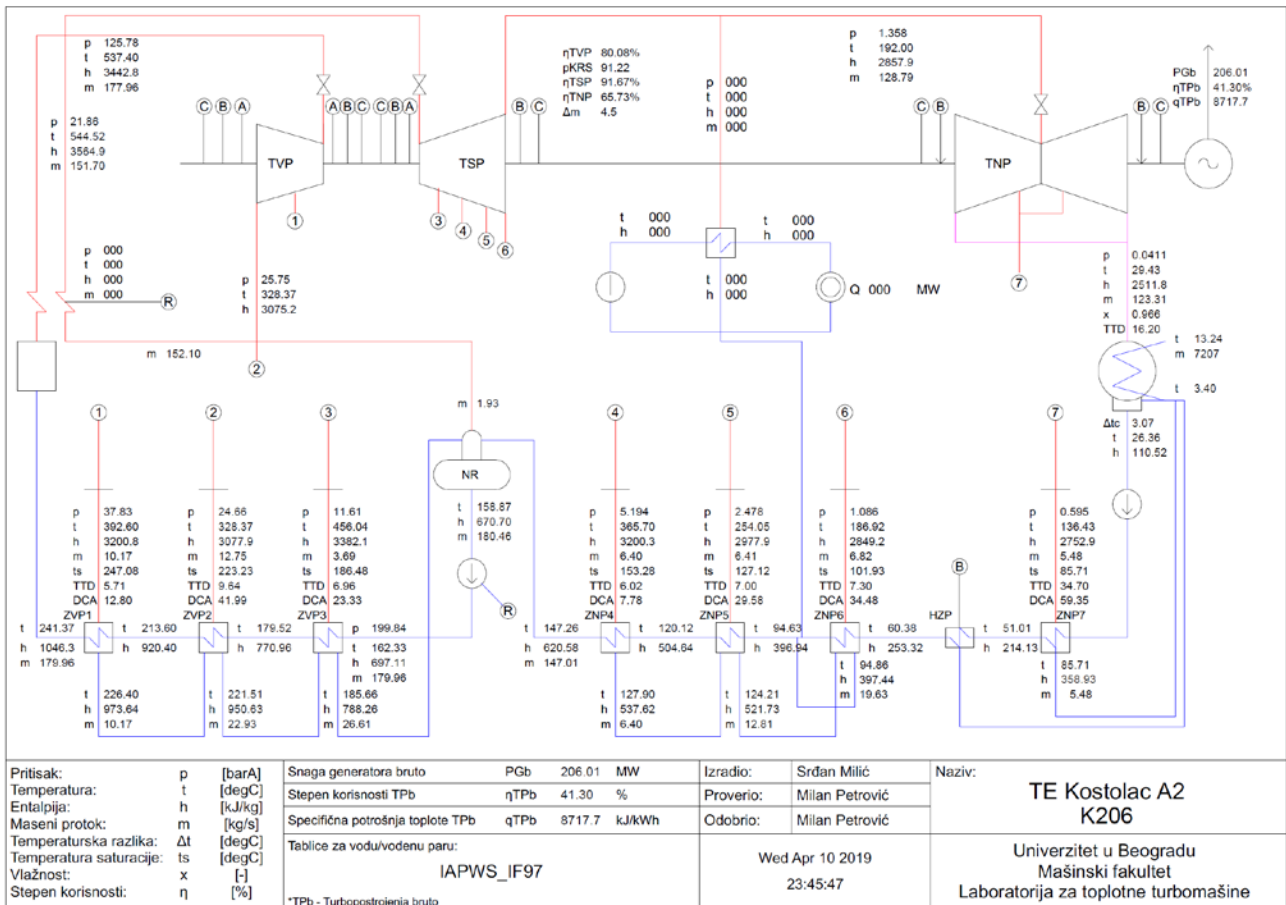
Назив	Јед.	K215	K219	K206	K191	K170	K200
Активна снага ген. бруто	[MW]	215.47	218.94	206.01	190.93	170.56	199.86
Проток свеже паре	[kg/s]	187.12	190.57	177.96	162.71	144.45	153.39
Спец. потрошња паре	[kg/MWs]	0.868	0.870	0.864	0.852	0.847	0.767
Спец. потрошња паре	[t/MWh]	3.13	3.13	3.11	3.07	3.05	2.76
Спец. рад генератора бруто	[kJ/kg]	1,151.5	1,148.9	1,157.6	1,173.4	1,180.8	1,303.0
Спец. потрошња топлоте	[kJ/kWh]	8,692.2	8,692.7	8,717.7	8,690.9	8,728.9	8,977.1
Степен корисности ТП бруто	[%]	41.42	41.41	41.30	41.42	41.24	40.10

Табела 2 (наставка) - Преглед кључних резултата испитивања за топлификационе режиме

Naziv	Јед.	T201_2Z	T194_2Z	T197_1Z	T208_1Z	T200_3Z	T191_3Z	T191_max
Aktivna snaga gen. bruto	[MW]	201.32	194.13	197.68	208.57	200.26	191.28	191.52
Toplotna snaga	[MW]	75.70	62.08	45.84	45.58	91.21	90.00	112.00
Protok sveže pare	[kg/s]	185.40	177.25	176.38	185.56	186.46	178.45	186.05
Spec. potrošnja pare	[kg/MWs]	0.921	0.926	0.892	0.890	0.931	0.933	0.971
Spec. potrošnja pare	[t/MWh]	3.32	3.33	3.21	3.20	3.35	3.36	3.50
Spec. rad generatora bruto	[kJ/kg]	1,085.9	1,079.6	1,120.8	1,124.0	1,074.0	1,071.9	1,029.4
Spec. potrošnja toplote	[kJ/kWh]	6,683.9	6,683.7	7,278.6	7,306.8	6,382.6	6,368.6	6,074.4
Степен корисности ТП бруто	[%]	53.86	53.86	49.46	49.27	56.40	56.53	59.26
Spec. potrošnja topl za EE	[kJ/kWh]	7,849.2	7,840.1	8,143.6	8,139.5	7,661.1	7,686.5	7,558.1
Степен корисности ТП бруто за производњу ЕЕ	[%]	45.86	45.92	44.21	44.23	46.99	46.84	47.63



Сл. 3 – Специфична потрошња топлоте турбопостројења за рад у кондензационом и топлификационом режиму



Сл. 4 – Топлотна шема са резултатима за испитивани кондензациони режим K206

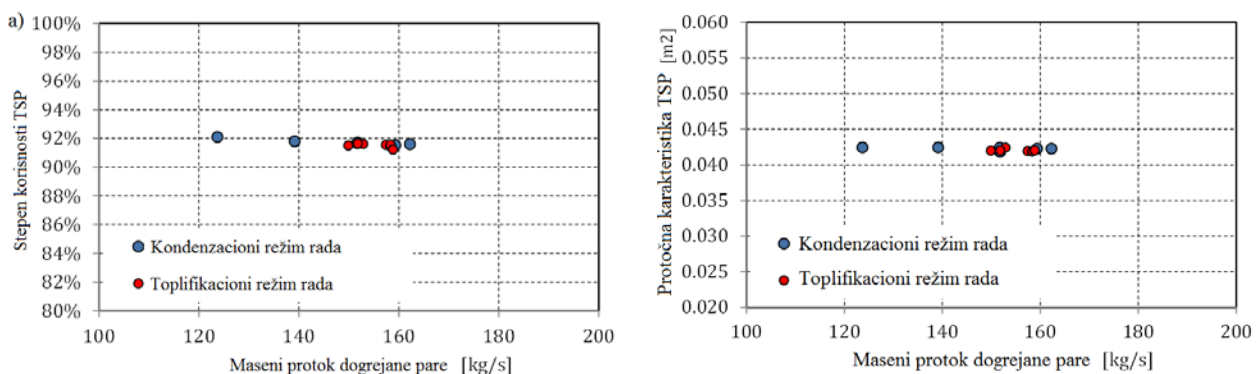
4. АНАЛИЗА И ПРОВЕРА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА

За анализу и проверу резултата испитивања користе се следеће методе:

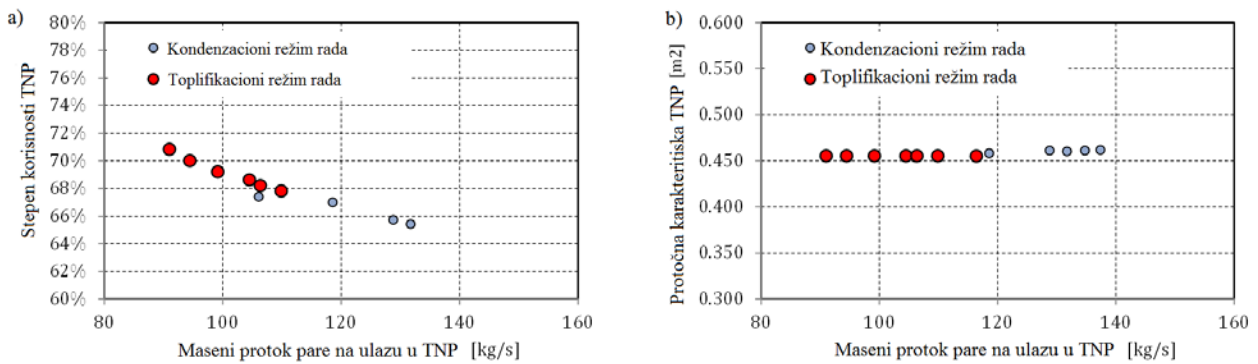
- прорачун степена корисности групе ступњева ТСП и укупног степена корисности ТНП,
- прорачун проточне карактеристике ТСП и ТНП,
- биланс по Првом закону термодинамике.

Вредности степена корисности групе ступњева и проточних карактеристика турбине средњег притиска (ТСП) и турбине ниског притиска (ТНП) су приказани на сл. 4.

Вредности степена корисности групе ступњева ТСП остаје иста независно од промене режима. Вредност укупног степена корисности ТНП укључује и губитак са излазном брзином, стога зависи и од режима рада. Вредност проточне карактеристике ТСП и ТНП се не мења променом режима рада.



Сл. 4 – Турбина средњег притиска: а) Степен корисности групе ступњева, б) Проточна карактеристика



Сл. 5 – Турбина ниског притиска: а) Степен корисности, б) Проточна карактеристика.

У таб. 3 су приказани резултати прорачуна биланса по Првом закону термодинамике за све режиме испитивања. Разлика између доведене и одведене енергије за све режиме није већа од 1.07%, што је мање од укупне мерне несигурности испитивања (1.35%).

Табела 3 – Биланс енергије турбопостројења по Првом закону термодинамике за кондензационе режиме

	Jed.	K215	K219	K206	K191	K170	K200
Укупно доведено	[kW]	525,216	533,684	503,626	465,376	417,630	502,669
Укупно одведено	[kW]	527,196	537,210	506,416	468,003	420,053	506,006
Разлика	[%]	0.38	0.66	0.55	0.56	0.58	0.66
Мерна несигурност	[%]	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35

Табела 3 (наставка) – Биланс енергије турбопостројења по Првом закону термодинамике за топлификационе режиме

	Jed.	T201_2Z	T194_2Z	T197_1Z	T208_1Z	T200_3Z	T191_3Z	T191_max
Укупно доведено	[kW]	519,761	500,139	498,199	523,226	523,074	504,156	521,816
Укупно одведено	[kW]	524,236	503,437	502,691	527,718	527,679	508,881	526,638
Разлика	[%]	0.86	1.07	0.90	0.86	0.88	0.94	0.92
Мерна несигурност	[%]	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35

Претходно приказани резултати прорачуна указују да су испитивања ваљано спроведена, да је изолација циклуса урађена како би се омогућио ток радне материје да буде у складу са прорачуном топлотне шеме и да није било пропуста у мерењима величина притиска, температуре и протока. Добијени су веродостојни подаци који се могу даље користити за доношење закључака у погледу квалитета рада постројења.

5. ДОДАТНЕ АНАЛИЗЕ У ЦИЉУ ПОБОЉШАЊА РАДА ТЕ КОСТОЛАЦ А2

Резултати термотехничких испитивања показују тренутно стање парног турбопостројења ТЕ Костолац А2, као и појединих компонената. Поређењем ових резултата са референтним стањем турбопостројења могу се уочити евентуални недостаци у раду или одступање у радним карактеристикама појединих система или уређаја.

За анализу рада постројења коришћена је следећа документација:

- пројектна документација ТЕ Костолац А2 [6],
- корекционе криве за радне параметре турбопостројења које је за турбопостројење ТЕ Костолац А2 израдила Лабораторија за топлотне турбомашине, и

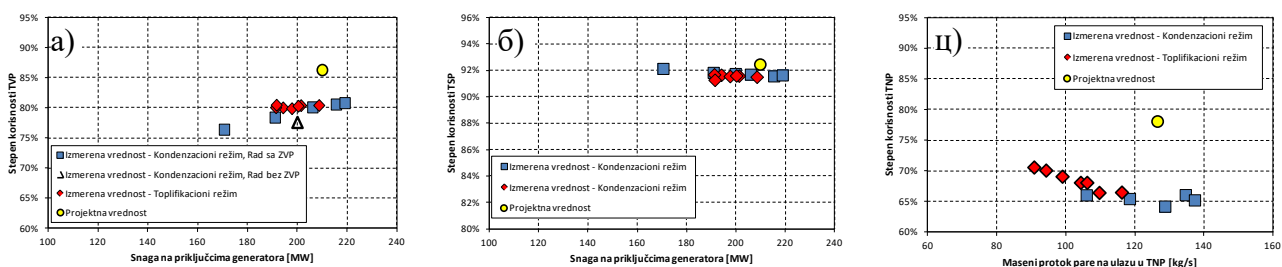
- прорачун топлотне шеме за различите режиме и услове рада турбопостројења ТЕ Костолац А2, које је за потребе предметних термотехничких испитивања израдила Лабораторија за топлотне турбомашине.

На пораст специфичне потрошње топлоте турбопостројења и смањење електричне снаге генератора бруто утичу следећа одступања:

- одступања у погледу основних термодинамичких параметара од пројетованих,
- одступања у погледу радних карактеристика опреме у експлоатацији од пројетованих.

Вредност притиска свеже паре и температуре свеже и догрејане паре су приближно једнаке пројектним вредностима и њихов утицај на специфичну потрошњу топлоте и снагу блока је приказан у таб. 6.

На сл. 5 приказане су вредности степена корисности ТВП, ТСП и ТНП одређене испитивањем и приказане су поредбено са вредностима које је дао испоручилац опреме.



Сл. 5 – Вредност степена корисности: а) ТВП, б) ТСП и ц) ТНП на основу резултата испитивања и поређење са пројектним вредностима

Према резултатима приказаних на сл. 5 може се донети закључак:

- вредност степена корисности ТВП је мања за 6 процентних поена од пројектоване вредности и умањује снагу блока за 2.1%,
- вредност степена корисности ТСП је мања за 1 процентни поен од пројектоване вредности и умањује снагу блока за 0.3%,
- вредност степена корисности ТНП је мања за 10 процентних поена од пројектоване вредности и умањује снагу блока за 1.9%.

За познате геометријске податке који су приказани у таб. 4, спроведен је и термички прорачун кондензаторског постројења. Прорачун је спроведен према измереној температури расхладне воде и вредности протока расхладне воде одређеног на основу енергетског биланса кондензатора.

У таб. 5 приказане су вредности температуре и протока расхладне воде за све испитиване режиме рада.

Табела 4 - Подаци о кондензатору

Назив	Јед.	Вредност
Тип		ЛМЗ 200-КЦС-5
Број ходова расхладне воде	[-]	2
Број цеви	[-]	16,760
Материјал цеви	[-]	месинг
Спољашњи пречник цеви	[mm]	28
Дебљина зида цеви	[mm]	1
Удео ојачаних цеви	[%]	0
Проток расхладне воде	[m ³ /h]	25,000
Температура расхладне воде на улазу	[°C]	12

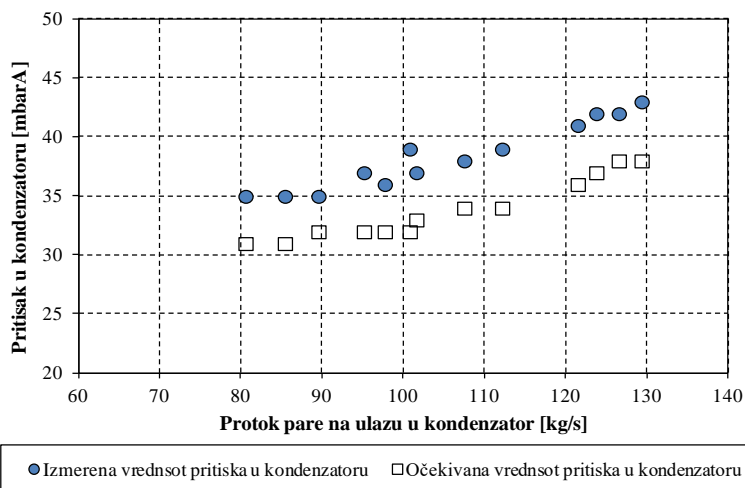
Табела 5 - Подаци испитивања за кондензатор (кондензациони режим)

Назив	Јед.	K215	K219	K206	K191	K170	K200_ZVP
m паре на улазу у КОНД	[kg/s]	126.51	129.32	121.46	112.14	100.77	123.74
p у кондензатору	[bar]	0.042	0.043	0.041	0.039	0.039	0.042
m расхладне воде	[kg/s]	7,112	7,102	7,161	7,195	7,159	7,181
t расхладне воде на улазу	[°C]	3.26	3.27	3.40	3.46	3.51	3.63
Размењена топлота	[MJ/s]	309.64	316.21	298.22	274.79	246.95	304.27

Табела 5 (наставкак) - Подаци испитивања за кондензатор (топлификациони режим)

Назив	Јед.	T201_2Z	T194_2Z	T197_1Z	T208_1Z	T200_3Z	T191_3Z	T191_max
m паре на улазу у КОНД	[kg/s]	95.13	95.97	101.58	107.48	89.53	85.40	80.55
p у кондензатору	[bar]	0.037	0.036	0.037	0.038	0.035	0.035	0.035
m расхладне воде	[kg/s]	7,035	7,064	7,041	6,990	7,104	7,201	7,146
t расхладне воде на улазу	[°C]	2.90	2.95	2.99	3.04	3.05	3.08	3.13
Размењена топлота	[MJ/s]	234.88	231.99	249.74	263.27	221.91	213.40	203.52

На сл. 6 су приказане измерене вредности притиска у кондензатору и вредности притиска за пројектовано стање кондензатора. Детаљна анализа рада кондензатора [1] је показала да је уочено одступање измереног притиска у кондензатору од очекиваних вредности притиска последица запрљаности цеви која утиче на размену топлоте, као и незаптивеност и велики продор ваздуха.



Сл. 6 – Измерене вредности притиска у кондензатору и очекиване вредности притиска у кондензатору

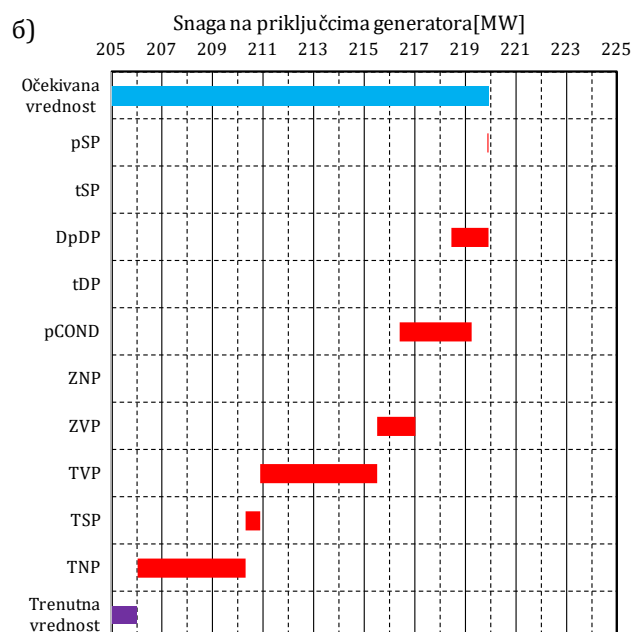
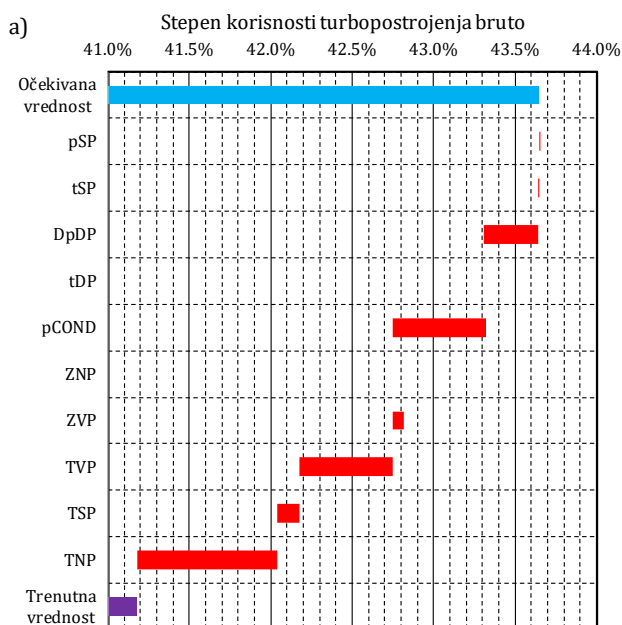
На основу познатих геометријских параметара загрејача ниског и високог притиска спроведени су термички прорачуни одговарајућих загрејача. Утицај одступања радних карактеристика загрејача од пројектних вредности су приказани су у таб. 6.

У таб. 6 и сл. 7 је приказан утицај одступања сваког параметра на снагу и специфичну потрошњу топлоте. Као резултат прорачуна добија се снага која треба да се постигне за укупно доведену количину топлоте када би постројење радило према пројекту.

У кондензационом режиму рада K206 са снагом блока од 206 MW укупно доведена топлота турбопостројењу износи 498.9 MJ/s. Уколико би постројење радило са пројектним радним параметрима и карактеристикама за доведену топлоту од 499.6 MJ/s било би могуће остварити снагу блока од 219.9 MW. Погоршане радне карактеристике парне турбине утичу на губитак снаге у износу од 9.4 MW што је уједно и највећи губитак снаге. Већа вредност притиска у кондензатору од очекиване вредности умањује снагу за 2.8 MW, док погоршан рад загрејача високог притиска доводе до губитка снаге од 1.5 MW. Одступање притиска и температуре свеже и догрејане паре доводе до губитка снаге од 0.9 MW.

Табела 6 – Утицај параметара и стања опреме на снагу и специфичну потрошњу топлоте при испитивању К206 (Пројектно стање је стање са пројектим параметрима и карактеристикама компонената а са масеним протоком свеже паре од 640.7 t/h као при испитивању)

Назив	Јед.	Пројекат	Испит.. К206	Разлика	ΔP %	ΔP MW	Δq %	Δq kJ/kWh
Ел. снага	[MW]	219.9	206.01	-13.89				
Доведена топлота ТП	[MJ/s]	499.60	498.87					
Спец. потрошња топлоте	[kJ/kWh]	8248.2	8717.7	+469.5				
Масени проток свеже паре	[kg/s]	177.96	177.96					
Масени проток свеже паре	[t/h]	640.7	640.7					
Притисак свеже паре	[bar]	127.48	125.78	-1.70	-0.009	-0.02	-0.009	-0.71
Температура свеже паре	[oC]	540.0	537.4	-2.60	0.013	0.03	0.016	1.33
Пад притиска у догрејачу паре	[%]	10.80	15.11	4.31	-0.681	-0.90	0.767	38.28
Температура догрејане паре	[oC]	540.0	544.5	4.52	0.370	0.81	-0.034	-2.84
Притисак кондензације	[mbar]	23.0	41.0	18.0	-1.283	-2.82	1.328	109.41
Загрејачи ниског притиска	[-]				0.282	0.62	-0.158	-13.04
Загрејачи високог притиска	[-]				-0.689	-1.51	0.169	13.95
Степен корисности ТВП	[%]	86.20	80.08	-6.12	-2.110	-4.63	1.326	109.22
Степен корисности ТСП	[%]	92.40	91.67	-0.73	-0.278	-0.61	0.301	24.84
Степен корисности ТНП	[%]	78.00	71.00	-7.00	-1.940	-4.26	1.992	164.10
Укупно умањење снаге (само негативне промене)					-6.8%	-14.1		
Повећање спец. потрошње топлоте (само позитивне промене)							5.9%	+461.1



Сл. 7: Анализа утицаја одступања радних карактеристика у ТЕ Костолац А2 на: а) вредност степена корисности парног турбопостројења и б) снагу генератора бруто.

Највећи утицај на губитак снаге су погоршане радне карактеристике ТВП, ТНП, кондензаторског постројења и загрејача високог притиска. За побољшање рада потребно је спровести капитални ремонт постројења који би обухватио замену турбине новом турбином модерног дизајна са већим вредностима степена корисности чиме би се постигла и већа снага, као и враћање у пројектно стање кондензаторског постројења и загрејача високог притиска.

6. ЗАКЉУЧАК

Испитивања парних турбопостројења су важан елемент укупног исправног и економчног рада парног блока. Поред регулисања односа између купца и испоручиоца опреме, термотехничка испитивања имају и знатно шири и већи значај с обзиром да се тако добијају референтни подаци о раду постројења а посредно могу бити уочени и отклоњени недостаци у раду постројења. Валидација резултата испитивања спроведена помоћу анализе степена корисности ТСП и ТНП, као и њихових проточних карактеристика, док је израдом биланса по И закону термодинамике показана висока конзистентност резултата. На основу таквих резултата изведени су веродостојни и поуздани закључци. Губитак снаге у парном турбопостројењу због одступања параметара процеса и стања компоненти турбопостројења износи 14 MW, при чему је степен корисности мањи за 5.9%. Степен корисности ТВП је нижи за 6% од пројектованог стања и нижи степен корисности ТВП повећава спец. потрошњу топлоте за ~1.3% и смањује ел. снагу за ~2.1%. Турбина ниског притиска је изведена са Баумановим ступњем и према пројектним подацима степен корисности ТНП износи 78%. Током испитивања степен корисности ТНП је био нижи за 8%, односно, његова вредност је била 70%. Нижи степен корисности ТНП повећава спец. потрошњу топлоте за ~2% и смањује ел. снагу за ~2%. Кондензатор ради са вишим притиском кондензације. На свим режимима је притисак кондензације био за око 15 mbar већи од очекиване вредности. Лош вакуум у кондензатору повећава спец. потрошњу топлоте за 1.3% и смањује снагу постројења за 1.3%. Радне карактеристике загрејача високог притиска одступају од очекиваних вредности, нарочито ЗВП5 и ЗВП6. Лошији рад ових загрејача се компензује већим одузимањем паре за ЗВП7 и при том се снага блока смањи за 0.7%, док се спец. потрошња топлоте повећа за 0.2%.

7. РЕФЕРЕНЦЕ

- [1.] Петровић, М., Милић, С., Бањац, М., Ђукановић, Д., Петковић, Ђ.: Анализа рада са термотехничким испитивањима парног турбопостројења ТЕ Костолац А2 снаге 210 MW. LTT-01/19, Универзитет у Београду – Машински факултет, 2019
- [2.] DIN 1943: Thermal Acceptance Tests of Steam Turbines. 1975
- [3.] Properties of water and steam, The Industrial Standard IAPWS-97, Springer, Berlin. 1998
- [4.] ISO 5167-1: Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full, Part 1: General principles and requirements. 2003
- [5.] VDI 2042: Thermal Acceptance Tests of Steam Turbine – Examples (to DIN 1943) Evaluation. 1976
- [6.] Пројектна документација ТЕ Костолац А2