

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Енергија и животна средина

Број индекса: 44/2013

Јелена Р. Николић

**Иницијална процена применљивости
когенерације у термоелектранама
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Доцент др Давор Кончаловић -ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да се упозна са технологијама које се користе у когенрацијским процесима као и технологијама за производњу електричне енергије у термоелектранама. Након упознавања са литературом од кандидата се очекује да, у виду алгорита, да преглед услова које је неопходно испунити како би термоелектрана прешла са производње електричне енергије на комбиновану и истовремену производњу електричне и топлотне енергије.

Препоручена литература:

- [1] Н. Лукић, *Енергија и окружење* [скрипта], Факултет инжењерских наука, Крагујевац
- [2] Д. Д. Штрбац, Б. Д. Гвозденац, З. Д. Милосављевић, (2011), *Енергија и окружење* [скрипта], Нови Сад, Факултет техничких наука
- [3] М. Бојић, *Термодинамика*, Крагујевац, Факултет инжењерских наука, 2011

Крагујевац, октобар 2016

Ментор:

Давор Кончаловић, доцент

Захвалница

Овом приликом желим да се захвалим свом ментору, доценту др Давору Кончаловићу, на стрпљењу, помоћи и свим сугестијама које ми је упућивао током израде овог завршног рада.

Хвала мојим родитељима, Мири и Раши, који су увек били уз мене и помагали ми у реализацији свих циљева и замисли и уз то ме чинили срећном.

Хвала Милану и Ани на свим прелепим тренуцима, саветима и на Олги, која, вероватно још увек, није ни свесна значаја сваког њеног осмеха, који је мој велики покретач.

Желим да се захвалим и пријатељима који су ми основне студије учинили лепшим, лакшим и вредним памћења, првенствено Зорану, Николи, Коки и Стефану.

Хвала вам на свему.

Крагујевац, 2016

Јелена Р. Николић

Abstract

Nowadays the world imposes the need for use of electric energy which is still generated from fossil fuels in power plants. In addition to the limited supplies of these fuels, their use has a very bad impact on the environment because the emissions of gas released by burning are affecting the increase of the greenhouse effects, primarily carbon dioxide. In addition, thermal power plants are characterized by low levels of thermodynamic efficiency, which reaches a value of up to about 33%. The efficiency of thermal power plants can be increased if the heat that was normally ejected into the environment, was used in the cycle. This process, which simultaneously produces thermal and electrical energy is called cogeneration, also known as CHP (Combined Heat and Power Plant). Numerous examples of various world countries, as well as those from the European Union, show that the use of cogeneration in thermal power plants is justified from energetic as well as economical aspects. The fact that the possible range of their power is very large effects the development of these facilities. In this thesis is considered the possibility of application of cogeneration in power plants, with a review of the criteria for testing benefits synchronized production of heat and electricity, compared to their separate manufacturing. On this basis created an algorithmic scheme for the initial assessment of the efficiency of the introduction of cogeneration in the power plants. At the very end, an overview of the application of thermal energy power plants in the Republic of Serbia, is given.

Keywords: power plants, cogeneration, energy, efficiency

Резиме

Данашње време намеће потребу за коришћењем електричне енергије, која се, најчешће, и даље генерише употребом фосилних горива у термоелектранама. Поред тога што су залихе ових горива ограничене, њихова примена има јако лош утицај на животну средину, јер се сагоревањем ослобађа емисија гасова који утичу на повећање ефекта стаклене баште, пре свега угљен-диоксида. Уз то, термоелектране карактерише низак степен термодинамичке корисности, који достиже вредност до око 33%. Ефикасност термоелектрана може бити повећана, уколико би се у циклусу користила и топлота која се иначе избацује у околину. Овај процес, у коме се истовремено производи и топлотна и електрична енергија, назива се когенерација. Бројни примери разних светских земаља, као и из земаља Европске уније показују да је употреба когенерације у термоелектранама оправдана, како са енергетског, тако и са економског аспекта. На развој употребе ових постројења утиче и чињеница да је могући опсег њихових снага веома велики. У раду је разматрана могућност примене когенеративних постројења у термоелектранама, уз осврт на критеријуме за испитивање предности синхронизоване производње топлотне и електричне енергије, у односу на њихову одвојену производњу. На основу тога је креирана алгоритамска шема за иницијалну процену ефикасности увођења когенерационих постројења у термоелектране. На самом крају, дат је преглед стања примене термоелектрана-топлана у Републици Србији.

Кључне речи: Термоелектрана, когенерација, енергија, ефикасност

Садржај

1.0 Увод.....	7
2.0 Когенерација.....	10
3.0 Класификација когенерације	11
4.0 Разлози примене когенеративних постројењаи тешкоће које ту примену прате.....	12
5.0 Компоненте когенерационих постројења.....	13
5.1. Механички подсистеми	13
5.2. Систем за снабдевање горивом.....	13
5.3. Постројење за третман воде.....	13
5.4. Кондензатор и размењивачи топлоте.....	13
5.5. Котао утилизатор и системи за одвођење димних гасова.....	14
5.6. Погонске машине.....	15
5.6.1. Парна турбина	15
5.6.2. Гасна турбина	17
5.6.3. Мотор СУС	20
5.6.4. Поређење најчешће коришћених технологија у когенеративном поступцима.....	21
5.7.Акумулатор топлоте	22
5.8.Систем за снабдевање електричном енергијом.....	22
6.0.Показатељи ефикасности когенеративног постројења.....	23
6.1. Енергетски степен корисности	23
6.2. Факторисани степен корисности	24
6.3. Ексергетски степен корисности.....	24
6.3.1. Конвенционални ексергетски степен корисности	24
6.3.2. Рационални ексергетски степен корисности	25
6.3.3. Корисни ексергијски коефицијент	25
6.4. Фактор уштеде горива	25
6.5. Економски критеријум	27
7.0. Могућност увођења когенерационих постројења у термоелектране.....	28
8.0. Осврт на примену термоелектрана-топлана у свету и Републици Србији.....	30
9.0.Закључак	32
Литература.....	33

Попис табела и слика

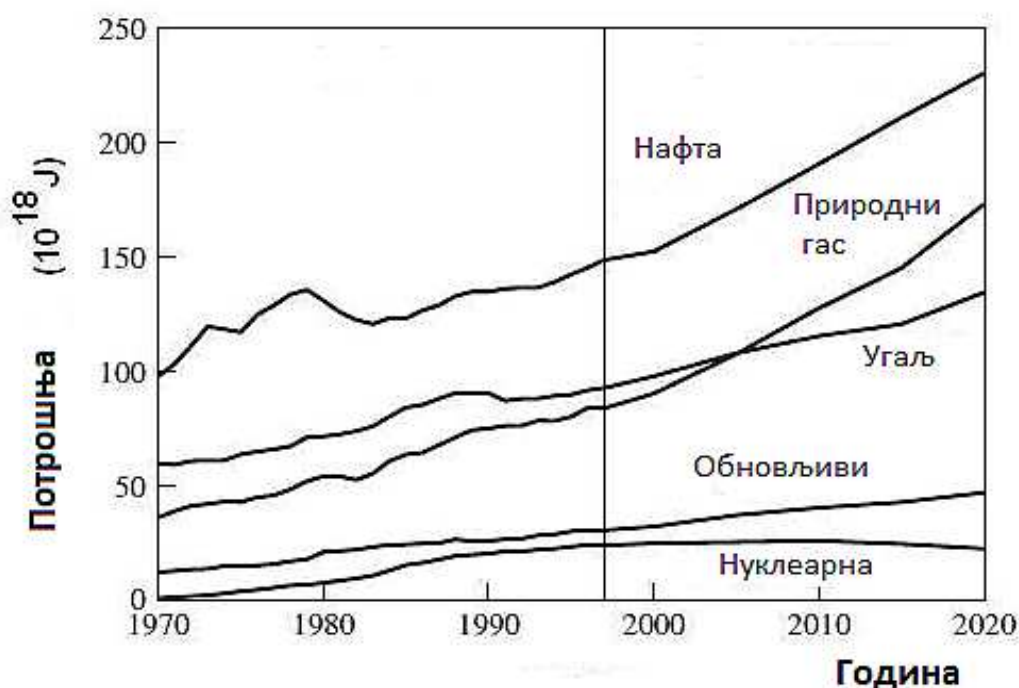
Слика 1. Досадашња потрошња енергетских ресурса и предвиђања до 2020.године	7
Слика 2. Упрошћени приказ термоелектране на угаљ	8
Слика 3. Идеалан Ранкинов циклус	9
Слика 4. Упоредни приказ ефикасности когенеративног постројења и одвојене производње топлотне и електричне енергије.....	10
Слика 5. Шематски приказ котла утилизатора	14
Слика 6. Когенеративно постројење са противоритисном парном турбином.....	16
Слика 7. Когенеративно постројење са конде. парном турбином са одузимањем паре	16
Слика 8. Брајтонов идеални циклус	17
Слика 9. Најчешћи начини уградње парне турбине у когенеративно постројење	18
Слика 10. Когенеративно постројење са комбинованим циклусом.....	19
Слика 11. Когенеративно постројење са Дизел мотором и котлом утилизатором.....	20
Слика 12. Алгоритамска шема за иницијалну процену ефикасности примене когенерације у термоелектранама	29
Слика 13. Процентуални удео примене когенерације у процесима генерисања електричне енергије у водећим земљама у развоју	30
Слика 14. Предвиђања за повећање употребе термоелектрана-топлана до 2030. године	30
 Табела 1. Поређење најзаступљенијих когенеративних постројења.....	21

1.0 Увод

Живот људи на земљи је тешко замислив без употребе разних видова енергије. Сходно томе, стални пораст популације са собом доноси и константно веће потребе за енергијом, као и енергетским изворима, који би те потребе привремено задовољили.

Значајна потрошња енергије, започета у време индустријске револуције, је подстакнута могућношћу употребе јефтиних фосилних горива, пре свега, нафте, угља и земног гаса, који су и данас доминантни енергенти. Поред тога што спадају у групу енергетских извора чије су залихе ограничене, примена фосилних горива утиче на животно окружење, јер се њиховом употребом емитују гасови стаклене баште, за које се процењује да су главни разлог повећања глобалног загревања. За разлику од фосилних горива, обновљиви извори енергије (у наставку текста ОИЕ) спадају у групу чистих енергетских извора који потрошачу омогућују енергетску независност. Иако се о њиховој употреби, као и о употреби нуклеарних горива све чешће говори, још увек се не може говорити о напуштању употребе фосилних горива. Разлог овоме се може тражити у дугој историји коришћења ових горива, њиховој прилично ниској иницијалној цени, због које се земље у развоју најчешће одлучују за њихову употребу, као и слабој технолошкој подршци сектору за обновљиве изворе енергије.

На слици 1 је представљена досадашња потрошња енергетских ресурса и предвиђена потрошња за 2020. годину.



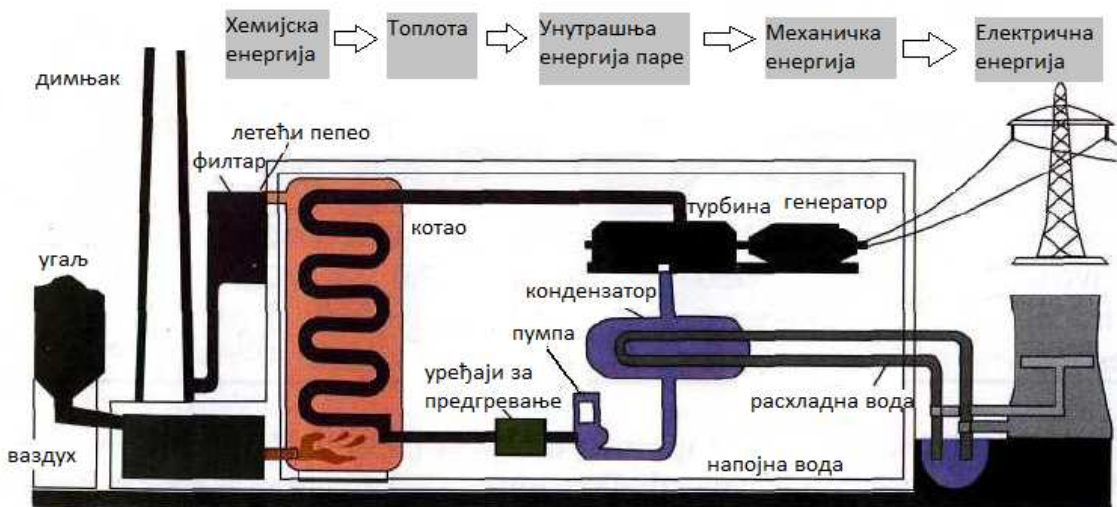
Слика 1.

Досадашња потрошња енергетских ресурса и предвиђања до 2020.године [1]

На приказаној слици се може приметити да се за 2020. годину прогнозира благо смањење потрошње нуклеарне енергије, док ће у порасту бити коришћење ОИЕ, као и фосилних горива, попут природног гаса.

Индустријски, транспортни, комерцијални и стамбени сектор представљају најчешће класификације, када се говори о потрошњи енергије. Кључни облик коришћења енергије у поменутим секторима је електрична енергија, која се најчешће генерише употребом фосилних горива (око 63 % укупно произведене количине електричне енергије) у термоелектранама [1].

На слици 2 је представљен упрошћени приказ термоелектране на угаљ.

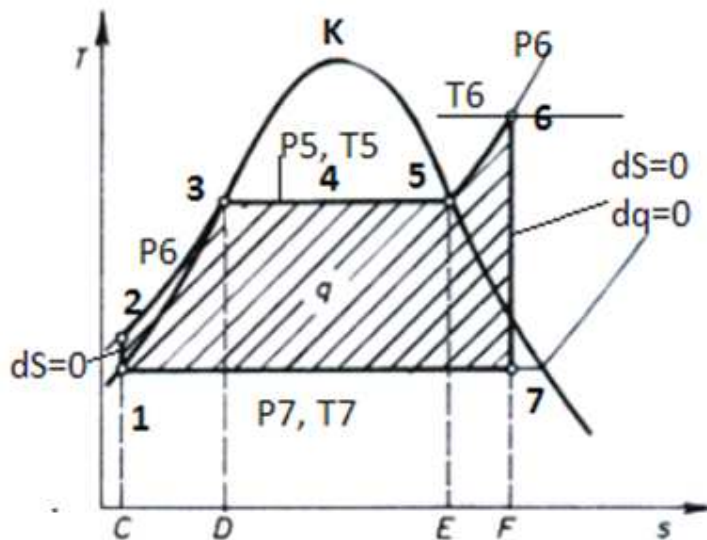


Слика 2. Упрошћена шема термоелектране на угаљ [2]

У термоелектранама, топлотна енергија која загрева котлао добија се сагоревањем горива у ложишту, где се подстицање сагоревања врши убацивањем ваздуха (тј. кисеоника) помоћу вентилатора. Загревањем воде у котлу долази до настанка водене паре, која се у прегрејачима прегрева до температуре од 500-600°C и притиска 90-100 bar. Новонастала сува пара експандира у турбини, при чему долази до конвертовања њене струјне енергије у механички рад, који даље покреће ротор генератора. Пара се из турбине пребацује у кондензатор, где се врши њено хлађење и кондезовање. Тако настала вода се поново шаље у котлао, након чега се цео процес понавља. Хлађење кондензатора се врши или у расхладним торњевима/кулама, или водом из река/језера/океана. Гасовити продукти сагоревања из котла иду у филтере, након чега се испуштају у атмосферу.

Промене стања паре се могу објаснити Ранкиновим (Rankine) циклусом, који је у T-s дијаграму представљен на слици 3. Процес 1-2 представља изентропско сабијање воде у пумпи, док се процес 2-3 односи на изобарско ($p_6 = \text{const}$) загревање воде до температуре кључања. Тачка 3 представља стање кључале воде у котлу, чији је притисак p_3 , док је процес испаравања воде у котлу представљен линијом 3-4. Сушење добијене паре у прегрејачу приказано је процесом 4-5, док се процес 5-6 односи на прегревање суве паре на притиску $p_6 = p_4 = p_5 = p_3$. Процес 6-7 представља изентропску експанзију прегрејане паре у турбини, до притиска и температуре који владају у кондензатору, а који су представљени тачком 7. Ова водена пара се, при константном притиску и температури, потпуно кондензује до кључале течности, приказане тачком 1,

при чему се топлота предаје хладној води кондензатора, који у овом случају представља топлотни понор.



Слика 3. Идеалан Ранкинов циклус

Термодинамички степен корисности у термоелектранама најчешће достиже вредност до 33%. Ниска вредност овог степена корисности последица је чињенице да се у циклусу не користи топлота која се одбацује у околину. Највећи губитак настаје у кондензатору, где водена пара предаје топлоту окружењу. Ова топлота се касније не може искористити, зато што је пара на притиску нижем од атмосферског и има ниску температуру. Међутим, уколико би се крајњи притисак паре увећао до 2 bar, дошло би до повећања њене температуре до око 140°C и као таква могла би да се користи за грејање зграда, њихово снабдевање топлом водом, или за технолошке процесе у фабрикама. Постројење у коме се истовремено производи топлотна енергија и механички рад (који се најчешће користи у процесима генерисања електричне енергије) назива се когенеративним постројењем.

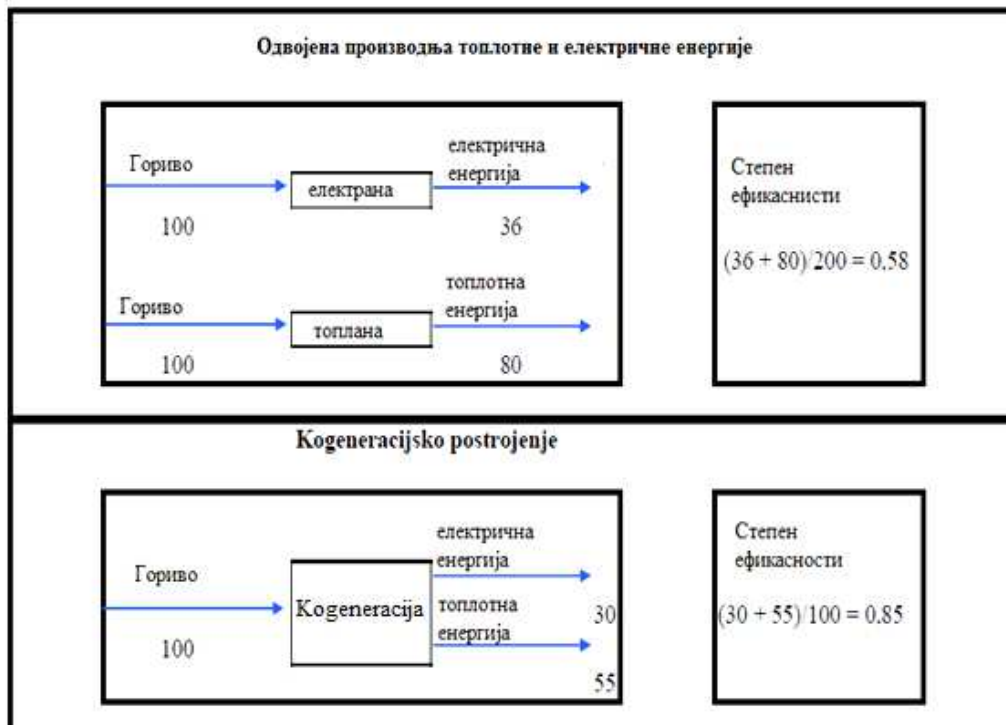
2.0 Когенерација

Концепт когенерације се заснива на симултаној производњи електричне и топлотне енергије из једног енергетског извора. У поређењу са термоелектранама, когенеративна постројења су енергетски ефикаснија, што се огледа и у смањеној потрошњи фосилних горива, чиме се утиче на умањење утицаја постројења на животну средину (тзв. еколошког отиска постројења енг. Environmental footprint).

Према [5] као веома актуелна технологија, које се све чешће примењује, когенерација се у литератури може наћи под називима:

- „Kraftwärmekopplung“ (KWK), које је примењено у немачком говорном подручју
- „Cogeneration Plant“, најзаступљеније у америчком говорном подручју
- „Combined Heat and Power Plant“ (CHP), карактеристично за енглеско говорно подручје
- „Production combinee de chaleur et d'energie electrique“, среће се у француској литератури
- „Produzione combinata di calore e di energia elettrica“, назив који је заступљен у италијанској литератури

Предности когенерације у односу на постројења за одвојену производњу топлотне и електричне енергије, најбоље се могу уочити на слици 4, која јасно показује да је степен ефикасности когенеративног постројења и до 30% већи од корисности у постројењима у којима се одвојено производе топлотна и електрична енергија. Како се приказани степен ефикасности односи на когенеративно постројење у коме се користи сва топлотна енергија произведена у њему, он представља теоријску вредност, која је у реалним околностима нешто мања.



Слика 4.

Упоредни приказ ефикасности когенеративног постројења и засебне производње топлотне и електричне енергије [3]

3.0 Класификација когенерације

Класификација и подела когенерационих процеса и постројења врши се на основу различитих критеријума. У зависности од тога да ли је примарна производња електричне или топлотне енергије разликују се:

- електропривредна (у којој је примарна производња електричне енергије) и
- индустријска когенерација, која укључује и когенерацију у топланама, у којима се производи примарно топлотна енергија.

У случају електропривредне когенерације електрична енергија се из електродистрибутивних мрежа испоручује корисницима, док се топлотна енергија посредством топлификационих далековаода испоручује, најчешће, великим индустријским постројењима или системима за даљинско грејање. У случају индустријске когенерације топлотна и електрична енергија се најпре користе у технолошким процесима унутар саме индустрије, док се вишкови електричне енергије предају осталим корисницима на енергетском тржишту.

Најчешћа класификација когенерације је извршена према њеној инсталираној снази, шеми рада, намени, као и према врсти коришћене технологије.

На основу поделе према величини инсталиране снаге, дате у раду [4], разликују се:

- микрокогенерација- инсталиране снаге мање од 50 kW;
- мини-когенерација- инсталиране снаге мање од 1 MW;
- мала когенерација- когенерацијска јединица инсталиране снаге мање од 5-10 MW;
- велика когенерација- постројења чија је инсталирана снага већа од 10 MW.

Према директиви 2004/8/ЕС примена когенерације се може поделити у четири основне категорије:

1. мала когенерациона постројења која произведну електричну енергију најчешће користе за загревање воде и простора у зградама;
2. велика когенерациона постројења која су обично придружена производњи паре у великим зградама и чији се рад базира на употреби мотора СУС, парним и гасним турбинама;
3. велика когенерациона постројења која топлотом снабдевају локалну мрежу за грејање и налазе се у околини термоелектрана, или великих постројења са рекуператорима, у којима може да се спаљује отпад;
4. когенерациона постројења која се примарном енергијом снабдевају из обновљивих извора енергије и могу да буду малог или великог капацитета.

Са аспекта управљања оптерећењем, системе когенерације је могуће поделити на системе за покривање базног топлотног оптерећења, системе за покривање базног електричног оптерећења и на системе за праћење електричног, односно топлотног оптерећења, у којима су когенеративни системи пројектовани тако да задовоље укупне потребе за електричном, односно топлотном енергијом, на посматраном локалитету [4].

На основу коришћене технологије у когенеративном постројењу, разликују се процеси у којима се користи противпритисна парна турбина, кондензационе парне турбине, гасне турбине, СУС мотори, комбиновани процеси, микротурбине и све остале технологије, чијом применом је могућа истовремена производња топлотне и електричне енергије у једном процесу.

У овом завршном раду ће бити речи о примени великих когенеративних постројења у термоелектранама, који за погон најчешће користе гасне и парне турбине, као и СУС моторе, чија се снага креће и до неколико стотина MW.

4.0 Разлози примене когенеративних постројења и тешкоће које ту примену прате

Примена когенеративних постројења се разматра, најпре, због енергетске и економске исплативости, али и због смањивања негативних последица примене фосилних горива, при генерисању топлотне и електричне енергије, на животну средину.

Разлоге за све већу примену великих когенеративних постројења треба тражити у:

- повећаној ефикасности при трансформацији примарног горива у процесу истовремене производње топлотне и електричне енергије, чиме се директно утиче на смањење трошкова и побољшање економичности у пословању произвођача;
- омогућеној јефтинијој испоруци топлотне енергије;
- повећању локалне, регионалне и опште сигурности, која се огледа у смањењу ризика прекида снабдевања електричном и топлотном енергијом, као и у смањењу ризика од увозне зависности;
- повећању запослености, јер развој когенерације нуди могућност у отварању нових радних места;
- побољшању стања у области заштите животне средине, јер се смањују емисије CO₂, као и осталих гасова који појачавају ефекат стаклене баште.

Без обзира на све наведене предности које когенерација пружа у поређењу са одвојеном производњом топлотне и електричне енергије, обим у којем је имплементирана је у многим земљама умањен захваљујући монополистичком положају електропривредних компанија, као и високим инвестиционим/иницијалним ценама. Стога је неопходно успоставити одређене регулативе, којима ће се подстицати улагање у когенерацију, али и подстићи позитивна свест грађана, када је примена ових постројења у питању.

5.0 Компоненте когенерационих постројења

5.1. Механички подсистеми

Правилно функционисање система, транспортовање радне течности (воде, горива, уља и компримованог ваздуха) као и струјне енергије омогућено је применом адекватно димензионисаних хидрауличних водова и елемената за везивање, уз прописно заптивање. У оквиру механичких подсистема обухваћени су и резервоари, судови под притиском, пумпе, као и сигурносни елементи којима се регулише и мери притисак, проток и температура.

5.2. Систем за снабдевање горивом

Улога овог система огледа се у осигуравању континуалног рада погонске машине, што се постиже обезбеђивањем захтеване количине горива, одговарајуће температуре, као и притиска који радна машина захтева. Код система који за снабдевање користе природни гас, компресор гас доводи на одговарајући притисак и таквог га шаље погонској машини. Уколико се, пак, говори о СУС погонским машинама, који не захтевају високе притиске гаса на улазу, аксијални турбокомпресори представљају добро решење. Поред регулације притиска, овај систем треба да обезбеди могућност промене количине горива који захтева погонска машина. Систем за снабдевање горивом, поред наведеног, треба да обезбеди и сигурност у раду, посебно када је изложен високом притиску [5].

5.3. Постројење за третман воде

За потребе рада постројења, декарбонисана и деминерализована вода се обезбеђује у постројењу за хемијску прераду воде. Након извршене деминерализације, контрола се врши провером проводљивости воде, као и провером њене рН вредности. Поред ових параметара, контролише се и количина кисеоника у води. Овим контролама квалитета, најчешће су обухваћени: напојна и котловска вода, кондензат, сабирни кондензат, прегрејана пара, као и пара из бубња. Иако постројење за третман воде ради у прекидима, њиме се треба омогућити непрекидни рад целог когенерацијског постројења, што се постиже употребом резервоара одговарајуће запремине.

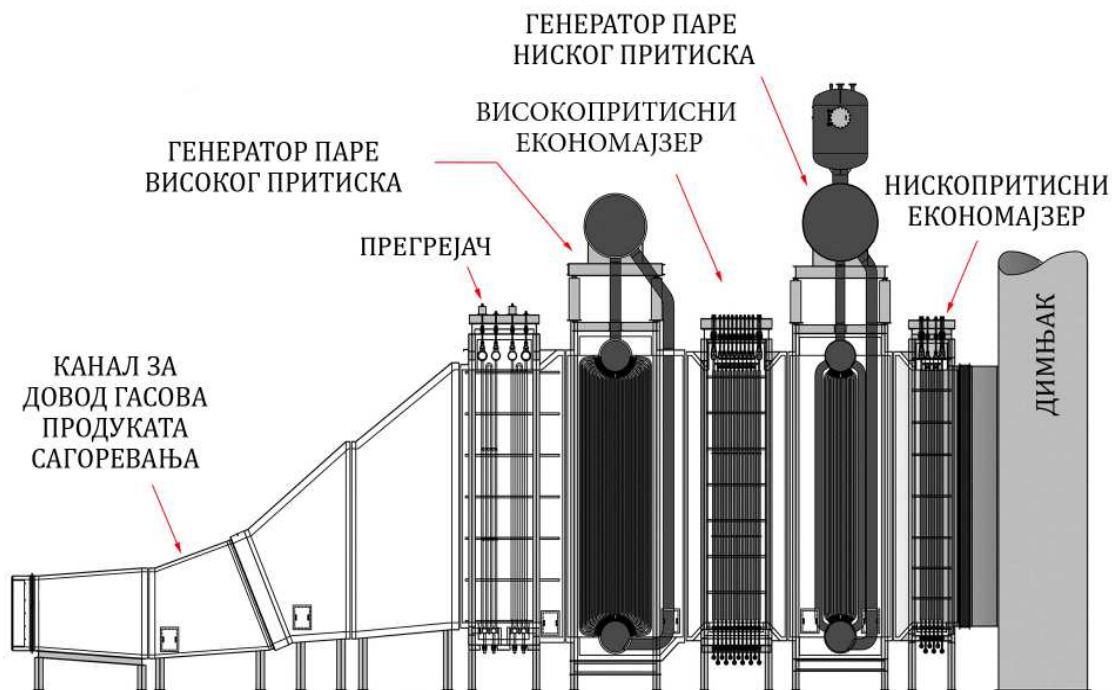
5.4. Кондензатор и размењивачи топлоте

Кондензатор је размењивач топлоте чији је задатак да пару, која излази из турбине, претвори у кондензат. Кондензатор је облика металног суда у коме се налазе цеви, кроз које струји расхладни флуид. До формирања кондензата долази при додиру паре са површином чија је температура нижа од температуре засићене паре при задатом притиску у кондензатору. Према врсти расхладног медијума, кондензаторе је могуће поделити у водене и ваздушне, при чему се, ради већег степена корисности, у савременим парно-турбинским постројењима, користе водени кондензатори.

5.5. Котао утилизатор и системи за одвођење димних гасова

Котао утилизатор (Слика 5) је уређај код кога се за рад користе продукти сагоревања гасне турбине и СУС мотора. Толотна енергија на изласку из гасне турбине представља енергију на улазу у котао утилизатор. Пројектовање котла се врши тако да, спрегнут са радном машином, увек остане у границама сигурности. Стварање паре у котлу зависи од сагоревања из турбине, али и од жељеног притиска, температуре и притиска паре. На топлотни улаз у котао утилизатор се може утицати постављањем пригушивача између погонске машине и котла. Овим се омогућује постепено увођење котла у рад при покретању погонске машине, чиме се избегавају нагле промене температуре, а самим тим се смањују и термички напони у котлу.

Издувни гасови система се одводе ка димњаку, који је димензионисан тако да осигурава одговарајуће брзине и температуре димних гасова, при њиховом контакту са атмосферским ваздухом, при чему не долази до појаве значајних отпора струјању. Због буке коју овај систем производи, често је неопходно постављање пригушивача буке, који се у случају ванградских постројења постављају најчешће у заобилазном воду, између котла и погонске машине [5].



Слика 5.

Шематски приказ котла утилизатора [5]

5.6. Погонске машине

У когенерационим поступцима, најкоришћеније су оне технологије које као погонску машину имају:

- Противпритисну парну турбину
- Кондензацијску парну турбину
- Комбиновани циклус
- СУС мотор
- Гасну турбину

Одабир погонске машине врши се на основу њене очекиване топлотне и електричне производње, капацитета, величине, као и од висина инвестиционих и трошкова одржавања.

Изабрана погонска машина у највећој мери утиче на цену постројења, као и на карактеристике свих његових подсистема.

5.6.1. Парна турбина

Парне турбине спадају у једне од најстаријих уређаја у којима се врши претварање енергије водене паре у механички рад, потребан за добијање електричне енергије. Овај процес претварања топлотне у механичку енергију се може поделити у две фазе, при чему прва фаза подразумева експанзију паре, односно пад притиска и повећање запремине, када се топлотна енергија претвара у кинетичку. У другој фази процеса, кинетичка енергија паре покреће ротор парне турбине и на тај начин ствара обртни момент на његовим лопатицама и тада ротор има велику брзину, која представља једну од главних карактеристика ових турбина.

Као радни флуид, код парних турбина се користи пара која се производи у котлу, што овим турбинама омогућава велику предност по питању могућности сагоревања горива који се на други начин не могу користити у процесима производње електричне енергије. Са друге стране, велики недостатак ових постројења се огледа у веома високој цени.

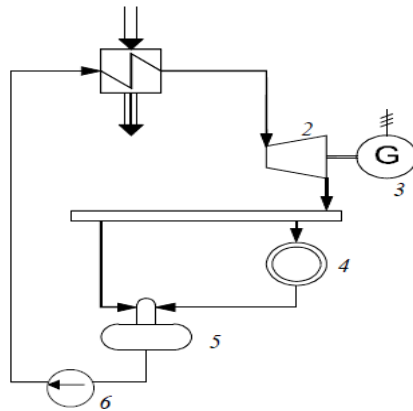
На основу притиска на излазу из турбине разликују се противпритисне и кондензацијске турбине, које могу бити са регулисаним или нерегулисаним одузимањем паре, у зависности од ефектности постројења и технолошких услова.

5.6.1.1. Противпритисне турбине

Когенерацијско постројење са противпритисном парном турбином (Слика 6) је најједноставније постројење за истовремену производњу топлотне и електричне енергије. Излазни притисак је код ових турбина исти, или виши од атмосферског, због чега је овакво постројење прикладно за уградњу у енергане већих индустријских погона, у којима се за грејање троше знатне суме новца, јер се њоме најјекономичније и најлакше врши, како управљање, тако и одржавање.

Највећи недостатак овог система се огледа у немогућности производње електричне енергије уколико се истовремено не троши и одређена количина паре за загревање. Због тога се, при употреби овог постројења, тежи задовољењу потреба за топлотном енергијом. У наведеном случају генератор електричне енергије се спаја са енергетском мрежом из које се у случају потребе купује електрична енергија, или којој се продаје

електрична енергија у случају да постројење производи више него што је потребно за његово правилно функционисање.

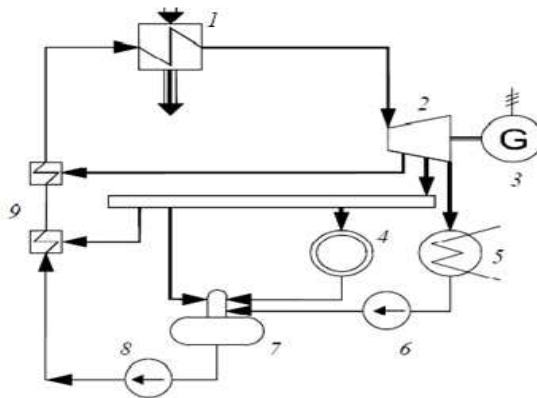


Слика 6.

Когенеративно постројење са противоритисном парном турбином
 1-парни котло, 2-парна турбина, 3-генератор електричне енергије, 4-потрошач
 топлотне енергије, 5-размењивач топлоте, 6-напојна пумпа [3]

5.6.1.2. Кондензацијска турбина

Код кондензацијских турбина (Слика7) излазни притисак је нижи од атмосферског, због тога што се у њима постиже максимални пад притиска, чиме је омогућена веома ефикасна трансформација енергије водене паре у механички рад. Како рад постројења са овом турбином захтева кондензатор, али и због саме цене конструкције, кондензацијске турбине се чешће користе у термоелектранама него у градским топланама и индустрији.



Слика 7.

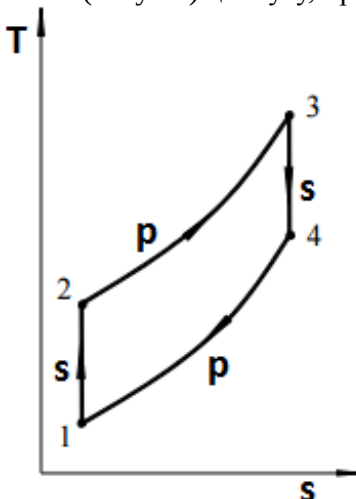
Когенеративно постројење са кондензацијском патном турбином са одузимањем паре
 1-парни котло, 2-парна турбина, 3-генератор електричне енергије, 4-потрошач
 топлотне енергије, 5- кондензатор, 6-пумпа кондензата, 7-размењивач топлоте,
 8-напојна пумпа, 9- грејач напојне воде [3]

На слици 7 је приказано когенерационо постројење са кондезацијском турбином са одузимањем паре и са слике се може увидети да се део одузете паре одводи потрошачу, најчешће ради неког технолошког процеса. Други део одузете паре се користи за поновно загревање кондензата, који се назад шаље систему, док се преостали део паре, након проласка кроз турбину, одводи у кондензатор. Због губитка који настаје у кондензатору, оваква постројења имају мањи укупни степен корисности од постројења са противпритисном парном турбином.

5.6.2. Гасна турбина

Гасну турбину чини вишестепени компресор, комора за сагоревање и вишестепена турбина. Компресор и турбина су постављени као лик и одраз у огледалу и сачињени су од низа покретних аксијалних лопатичних радних кола, која су углавном раздвојена непокретним лопатицама. Између компресора и турбине налази се комора за сагоревање.

Гасна турбина ради по Брајтоновом (Brayton) циклусу, приказаном на слици 8.



Слика 8. Брајтонов идеални циклус

Процес од 1 до 2 представља изентропско сабијање гаса, након кога се у систем доводи топлота од стања 2 до стања 3 из коморе за сагоревање. Затим у турбини загрејани гас експандира (процес 3-4) и тада се ствара рад, који се може употребити за погон компресора, као и за покретање генератора. Следи изобарско одвођење топлоте, све док се не успостави равнотежа између температуре гаса са температуром околине (од 4 до 1).

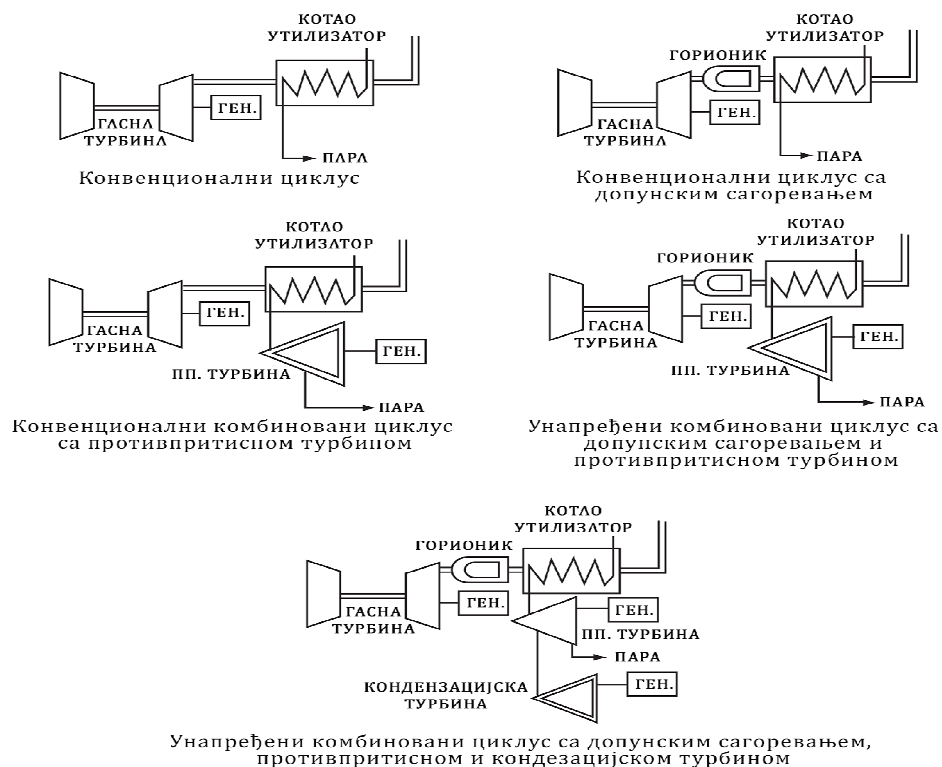
Удео механичке енергије која се троши на покретање компресора сразмеран је температури продуката сагоревања, те се треба тежити остварењу рада са највишим могућим температурама, при чему ваздух на улазу у турбину треба да има најнижу могућу вредност. Због високе ефикасности, као и због својстава природног гаса, гасну турбину је погодно користити у процесима когенерације. Поред тога, она представља једну од еколошки најприхватљивијих погонских машина, јер је њена емисија угљен-диоксида знатно мања у поређењу са осталим погонским уређајима.

5.6.2.1. Подела гасних турбина

Једна од могућих подела гасних турбина извршена је на основу броја вратила на турбини, при чему постоје турбине са једним или са више вратила. Код турбина са једним вратилом остварује се директна веза турбинског и компресорског дела, па се, сходно томе, сви делови турбине okreћу истом угаоном брзином. Како се од турбине захтева да ради са истим бројем обртаја, нема енергије која би се трошила за промену брзине, ове турбине су погодне за производњу електричне енергије. Са друге стране, код турбина са више вратила угаоне брзине компресорског и турбинског дела су различите. Овакво извођење омогућава компресору да ради са оптималним бројем обртаја, док се број обртаја код турбине прилагођава оптерећењу. Код турбине са два вратила, један део турбине користи се за покретање компресора и обрће се истом брзином као и он, док се у остатку турбине производи механичка енергија на неком другом броју обртаја, који не зависи од броја обртаја компресора. Турбине са три вратила се одликују постојањем нископритисног и високопритисног компресора, при чему се вратило сваког дела окреће независно, као и вратило турбинског дела.

Најчешћи начини уградње парне турбине са више вратила у когенерацијско постројење су:

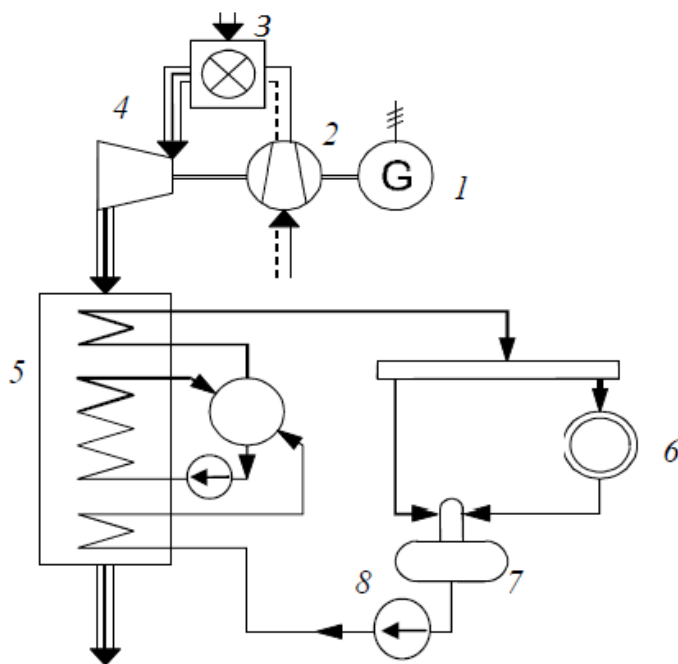
- конвенционални циклус
- конвенционални циклус са допунским сагоревањем
- конвенционални комбиновани циклус са противпритисном турбином
- комбиновани циклус са допунским сагоревањем и противпритисном турбином
- унапређени комбиновани циклус са допунским сагоревањем, противпритисном турбином и кондензацијском турбином (Слика 9)



Слика 9. Најчешћи начини уградње парне турбине у когенеративно постројење [5]

5.6.2.2. Комбиновани циклус

Комбиновани циклус се остварује у когенеративном постројењу код кога је гасна турбина у спрези са котлом утилизатором (Слика 10). Из гасне турбине излазе гасови високе температуре, која може достићи и 600°C и самим тим долази до испуштања велике количине топлоте. Испуштена топлота се може користити за грејање, или друге технолошке потребе.



Слика 10. Когенеративно постројење са комбинованим циклусом
1-генератор електричне енергије, 2-компресор, 3-комора за сагоревање, 4- гасна турбина, 5-котао утилизатор, 6-енергетски потрошач, 7-размењивач топлоте, 8- напојна пумпа [3]

5.6.2.3. Комбиновани циклус са додатним сагоревањем горива

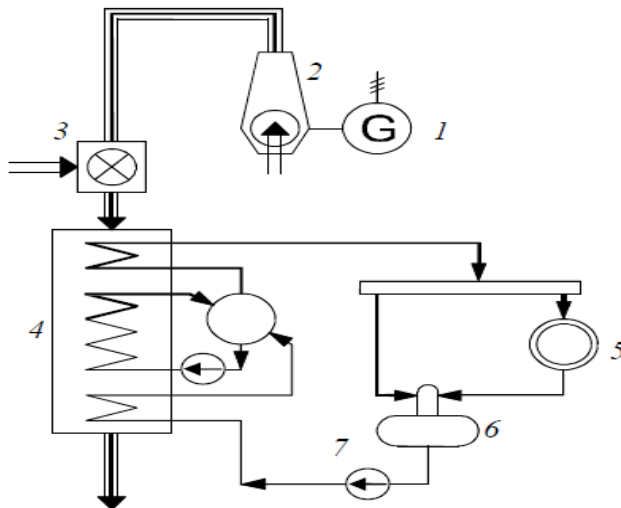
Продукти сагоревања гасне турбине су богати кисеоником и као такви су погодни за даље сагоревање. Продукција паре се може повећати додатним сагоревањем у наменском горионику, који гориво сагорева користећи продукте сагоревања гасне турбине и налази се пре уласка продукта сагоревања у котао утилизатор. Овим принципом се може подићи температура сагоревања и до 1000°C , чиме се може удвостручити количина паре која се производи у котлу утилизатору. Поред овога, овакво постројење је погодно у системима где се могу очекивати варијације у производњи паре, јер је флексибилнији од система који није опремљен гориоником.

5.6.3. Мотор СУС

Моторе са унутрашњим сагоревањем карактеришу ниски трошкови почетних улагања, брзо покретање, али и поуздан рад у случају исправног одржавања, као и висок потенцијал када је реч о употреби отпадне топлоте. По конструктивном извођењу најчешће разликујемо два основна типа мотора СУС: Дизелов (Diesel) мотор и Отов (Otto) мотор, при чему се Дизелов мотор користи у когенерацијским постројењима у којима се као гориво користе нафта, лож уље или комбинација природног гаса и нафте. Са друге стране Ото мотори се користе у постројењима у којима се као гориво користи природни гас. Како се тежи ка смањењу емисија издувних гасова и побољшању еколошке прихватљивости когенеративних постројења, Отов мотор све чешће замењује широко прихваћене Дизел моторе. Топлотна енергија се код СУС мотора може прикупљати са различитих извора:

- система за одвођење издувних гасова;
- расхладног система мотора;
- система за хлађење уља;
- система за хлађење турбомењача;

Код ових мотора, ефикасност у производњи електричне енергије се креће и до 40%, поготово ако је реч о великим моторима, док се укупна ефикасност когенеративног постројења са СУС мотором креће и до 80%. Ови мотори се, због величине, углавном користе за мање системе, попут болница, постројења за третман воде, индустријских постројења и осталих објеката инсталираних снага до 30 MW. Код већих постројења уобичајена је примена више мотора, јер се на тај начин додатно повећава ефикасност постројења, због могућности да све јединице раде у оптималном режиму. На слици 11 је приказана поједностављена шема когенеративног постројења са дизел мотором у комбинацији са котлом утилизатором [5].



Слика 11. Когенеративно постројење са Дизел мотором и котлом утилизатором
1-генератор електричне енергије, 2- Дизелов мотор, 3-додатно загревање, 4-котао утилизатор, 5- топлотни потрошач, 6- размењивач топлоте, 7-напојна пумпа [3]

5.6.4. Поређење најчешће коришћених технологија у когенеративним поступцима

У табели 1, представљен је приказ најзаступљенијих когенеративних постројења, са њиховим главним технолошким карактеристикама

Погонска машина	Гориво	Снага [MW]	Однос топлотне и електричне енергије	Електрична ефикасност	Укупна ефикасност	Радни медијум за пренос топлотне енергије
Кондензацијска турбина са одузимањем	Свако фосилно гориво	Од 1 до преко 50	3:1 до 8:1	До 40%	Изнад 70%	Водена пара
Противпритисна турбина	Свако фосилно гориво	Од 0.5 до преко 150	3:1 до 10:1	До 80%	Изнад 80%	Водена пара
Гасна турбина	Природни гас, био гас, плинско уље, нафтни плин	Од 3 до преко 30	1:1 до 3:1	35-45%	60-80%	Водена пара, топла вода
Мотор са унутрашњим сагоревањем	Плин, бензин, дизел горива	Од 0.03 до преко 20	0,5:1 до 3:1	35-45%	65-90%	Водена пара, топла вода

Табела 1. Поређење најзаступљенијих когенеративних постројења [3]

5.7.Акумулатор топлоте

Акумулатор топлоте представља изоловани резервоар у коме се, током краћег временског периода, складишти топлотна енергија. Температура се у акумулаторима топлоте мења довођењем хладне воде на дно акумулатора и одвођењем воде са врха акумулатора, при чему се ниво воде у акумулатору одржава константним. Улога акумулатора у самом когенеративном систему је велика, јер се захваљујући њима одржава притисак у систему и у случају пуцања цевовода, акумулатор представља извор воде који омогућује нормалан рад система. Поред тога, улога акумулатора огледа се у могућности оптимизације система даљинског грејања, јер се ускладиштеном топлотом може намирити његова вршна потреба. Такође, акумулаторима топлоте се балансира рад постројења, јер постоји могућност производње електричне енергије онда када је њена тржишна цена висока [5].

5.8.Систем за снабдевање електричном енергијом

У когенеративном постројењу велики део подсистема, али и расвета, вентилација, контролни системи и сви остали елементи који представљају основне компоненте ових система, за свој рад користе електричну енергију. Из тог разлога ови системи имају потребу за постојањем одговарајућих напојних, електро система, јер прекид напајања из електродистрибутивне мреже може имати велике последице по само когенеративно постројење. Сходно наведеном опрема, инсталирана у постројењу се, најчешће, дели на виталну и не-виталну и на основу тога се димензионише генератор који напаја виталну опрему у случају да дође до евентуалног прекида напајања постројења из електродистрибутивне мреже [5].

6.0. Показатељи ефикасности когенеративног постројења

Сходно све већој актуелности саме когенерације, у последње време се предлажу бројни критеријуми за испитивање предности когенерације у односу на одвојену производњу топлотне и електричне енергије. Према [6] аспекти који су најчешће изучавани и од којих зависи ефикасност самог система су:

- енергетски степен корисности;
- факторисани степен корисности;
- ексергетски степен корисности;
- фактор уштеде горива;
- економски критеријум;

6.1. Енергетски степен корисности

Критеријум енергетског степена корисности заснива се на закону о одржању енергије, те се њиме сагледава само квантитативна страна искоришћења енергије у жељеним процесима. Може се изразити формулом:

$$\eta_{chp} = \frac{Q_t + W_e}{Q_g} \quad (1)$$

При чему је ознаком η_{chp} означен енергетски степен корисности за истовремену производњу електричне и топлотне енергије, док се ознака Q_t односи на корисну произведену енергију, W_e на бруто електричну енергију система, а Q_g на енергију која се доводи горивом у јединици времена. На основу наведене формуле увиђа се да енергетски степен корисности представља однос испоручене корисне енергије и улазне енергије.

У оквиру овог критеријума може се увести и степен корисности у производњи електричне енергије, који се изражава односом бруто произведене електричне енергије у јединици времена и топлоте добијене горивом:

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_g} \quad (2)$$

На исти начин се може представити и степен корисности у производњи топлотне енергије, који је представљен односом:

$$\eta_t = \frac{Q_t}{Q_g} \quad (3)$$

Енергетски степен корисности може да се представи и као збир парцијалних степена корисности у производњи топлотне и електричне енергије, односно изразом:

$$\eta_{chp} = \eta_e + \eta_t \quad (4)$$

6.2. Факторисани степен корисности

Факторисани степен корисности узима у обзир термодинамичку, техничку и економску разлику између електричне и топлотне енергије. Њиме се надомештавају недостаци енергетског степена ефикасности и односи се на основно когенерацијско постројење са гасном турбином. Овај степен корисности се може приказати изразом:

$$\eta_{chp-f} = \frac{\alpha_t * Q_t + \alpha_e * W_e}{\alpha_g * Q_g} \quad (5)$$

При чему се коефицијенти $\alpha_t, \alpha_e, \alpha_g$ у изразу (5) односе на тежински фактор топлотне енергије, електричне енергије и хемијске енергије, респективно. Тежински фактори су економски критеријуми, чија је вредност најчешће дефинисана државним директивама. У многим земљама се најчешће узима да је $\alpha_e = \alpha_g$, док се α_t не узима као константна вредност, већ се представља односом степена корисности производње електричне и топлотне енергије у одвојеним процесима:

$$\alpha_t = \frac{\eta_{esep}}{\eta_{tsep}} \quad (6)$$

Од велике је важности правилно одабирање тежинских фактора, јер погрешан резултат одабира може довести до погрешне процене ефикасности система.

6.3. Ексергетски степен корисности

У литератури се уобичајено срећу три дефиниције ексергијског степена корисности:

- конвенционални ексергетски степен корисности;
- рационални степен корисности;
- „корисни“ ексергетски коефицијент;

Заједничка карактеристика за наведене коефицијенте огледа се у њиховој применљивости у обичајеним стањима процеса, у којима су границе система јасно дефинисане.

6.3.1. Конвенционални ексергетски степен корисности

Конвенционални ексергетски степен базира се на ексергијском билансу улазних и излазних параметара и може се писати у облику:

$$\eta_{chpex(k)} = \frac{E_{iz}}{E_{ul}} = \frac{W + E_{qt}}{E_g} \quad (7)$$

У наведеном изразу (7) ознаке E_{ul} и E_{iz} се односе на улазну и излазну ексергију у контролној запремини, док E_{qt} представља ексергију испоручене топлотне енергије, а E_g ексергију горива, а ексергија електричне енергије је представљена ознаком W . Улазна ексергија је једнака збиру излазне ексергије и неповратности процеса, односно:

$$E_{ul} = E_{iz} + I \quad (8)$$

За ексергију горива се може сматрати да је за 4-6% већа од доње топлотне моћи горива и може се користити за сва постројења и компоненте.

Конвенционални ексергетски степен даје добар утисак о термодинамичком систему само уколико се сав долазни ток ексергије трансформише у друге облике.

6.3.2. Рационални ексергетски степен корисности

Овај степен корисности се изражава као однос жељеног ексергијског излаза и коришћене ексергије:

$$\psi = \frac{E_{zeljeno}}{E_{korisno}} \quad (9)$$

$E_{zeljeno}$ се одрађује испитивањем функције система и представља збир свих излазних ексергија из система, заједно са свим нуспроизводима насталих у систему.

6.3.3. Корисни ексергијски коефицијент

За разлику од конвенционалног степена корисности, корисни ексергетски коефицијент, узима у обзир нетрансформисане ексергијске токове. Ексергијски садржај је овде потпуно дефинисан температуром, притиском и саставом, као и референтним стањем, те се он може придружити било којој материји или топлотном току. Корисни ексергијски коефицијент се може представити изразом:

$$\eta_{chpe(x)} = \frac{E_{iz} - E_{tr}}{E_{ul} - E_{tr}} \quad (10)$$

Укупна ексергија која улази у систем је увек већа од ексергије на излазу из система, јер се одређена количина ексергије неповратно уништи у самом систему и директно је повезана са термодинамичком неповратношћу процеса. Ознака E_{tr} у изразу (10) се односи на нетрансформисани део ексергије.

6.4. Фактор уштеде горива

Фактор уштеде горива је битан критеријум, којим се врши упоређивање енергетске ефикасности постројења за случајеве одвојене производње електричне и топлотне енергије дефинисане пројектом, комбиноване производње топлотне и електричне енергије дефинисане пројектом, као и комбинација одвојене и комбиноване производње топлотне и електричне енергије, који се примењује онда када

когенеративно постројење не може да произведе пројектом дефинисану количину топлотне и електричне енергије.

Укупна потрошња горива се изражава преко примарне енергије и применом критеријума за фактор уштеде горива се може израчунати изразом:

$$F_{total} = F_{chp} + (F_{wsep} + F_{qsep}) \quad (11)$$

При чему F_{chp} представља енергију која се горивом доводи постројењу за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије у јединици времена, док F_{wsep} и F_{qsep} представљају енергију доведену горивом за одвојену производњу електричне, односно топлотне енергије. Збир енергија за одвојену производњу дефинише потребе додатних количина примарне енергије за производњу пројектом дефинисане топлотне и електричне енергије.

Израз за фактор релативне потрошње горива се може користити у било којој комбинацији когенерације и одвојене производње топлотне и електричне енергије и има облик:

$$\Phi = \frac{F_{total}}{F_{ref}} \quad (12)$$

F_{ref} се односи на потрошњу горива у референтном случају у коме се целокупна потребна количина топлотне и електричне енергије генерише одвојено.

Уколико се врши поређење когенеративног процеса, са процесом одвојене производње топлотне и електричне енергије, при истим пројектним параметрима, тада се разлика у потрошњи горива може дефинисати као апсолутна вредност представљена изразом (13):

$$\Delta F = (F_{dwsep} + F_{dqsep}) - F_{dchp} \quad (13)$$

Вредности у загради се односе на потрошњу горива при одвојеној производњи топлотне и електричне енергије, док се други члан односи на потрошњу горива у когенеративном процесу, при истим пројектним параметрима.

Фактором уштеде, FESR, представља се релативна уштеда примарне енергије у процесу когенерације у поређењу са одвојеном производњом. Дефинише се као однос разлике потрошене примарне енергије при истовремено комбинованој и одвојеној производњи и енергије која се потроши при одвојеној производњи.

$$FESR = \frac{\Delta F}{F_{wsep} - F_{qsep}} = 1 - \frac{f + 1}{\eta_{chp} \left(\frac{1}{\eta_{esep}} + \frac{f}{\eta_{esep}} \right)} \quad (14)$$

При чему f представља фактор топлоте који се дефинише као однос произведене корисне топлотне енергије и електричне енергије:

$$f = \frac{Q_t}{W_e} \quad (15)$$

Уштеда примарне енергије је дефинисана и Директивом Европске Уније о промоцији когенерације изразом:

$$PES = \left[1 - \frac{1}{\frac{ChpH\eta}{RefH\eta} + \frac{ChpE\eta}{RefE\eta}} \right] * 100\% \quad (16)$$

При чему се $RefH\eta$ односи на референтну ефикасност за одвојену производњу топлоте, $RefE\eta$ на референтну ефикасност за одвојену производњу електричне енергије, $ChpH\eta$ на топлотну ефикасност когенерације, док се $ChpE\eta$ односи на електричну ефикасност когенерације.

Топлотна ефикасност когенерације се дефинише као однос годишње производње корисне топлоте и унете енергије горива за производњу укупне годишње корисне топлоте и електричне енергије. На сличан начин се дефинише и електрична ефикасност когенерације, као однос годишње производње електричне енергије са унетом енергијом горива за производњу укупне корисне топлотне и електричне енергије.

6.5. Економски критеријум

Са аспекта економског критеријума узима се у обзир цена компоненти, која укључује и одржавање делова система и цену горива, те је за спровођење економске анализе неопходно познавање цена компоненти, која може бити дата као функција променљивих термодинамичких параметара, или добијена од произвођача опреме.

За одређивање економског критеријума, неопходно је конвертовати капиталну инвестицију у цену по секунди, што се може постићи применом једначине:

$$Z_k = Z_k * CRF * \frac{\varphi}{N * 3600} \left[\frac{\text{US\$}}{\text{s}} \right] \quad (17)$$

Z_k представља цену к-те компоненте у US\$/s, CRF фактор повратка капитала, φ фактор који узима у обзир одржавање компоненте и његова вредност се најчешће креће од 1,06÷1,1. N означава број часова рада годишње.

Фактор повратка капитала CRF је дефинисан:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (18)$$

У изразу (18) i представља годишњу камату банке, док је n рок отплате, који је често једнак радном веку опреме.

Целокупна анализа рада постројења може се извршити на основу обрасца:

$$C_{tot} = C_g * m_g * H_d + \sum_{1}^n Z_{kn} \quad (19)$$

У обрасцу (19) H_d представља доњу топлотну моћ горива [MJ/kg], C_g укупне трошкове рада постројења, m_g потрошњу горива [kg/s], док $\sum Z_{kn}$ представља укупну цену компоненте.

7.0. Могућност увођења когенерационих постројења у термоелектране

Након реконструкције, термоелектране на угаљ потенцијално могу постати термоелектране-топлане. Овакав концепт је могућ уколико се термоелектрана налази у близини града или индустријског центра коме би се испоручивала топлотна енергија. Когенеративно постројење топлотну енергију може да испоручује и болницама, рафинеријама, цигланама и осталим постројењима у којима се јавља стална потреба за топлотном енергијом, било за технолошке процесе, или за потребе загревања санитарне воде. Уколико је термоелектрана знатно удаљена од места коме се предаје топлота, поред инвестиционих улагања у ремонт постојеће термоелектране у термоелектрану-топлану, расте трошак изградње топловода као и губици топлоте који настају због дужине истог. На економичност когенерације из ванградских термоелектрана-топлана се додатно може утицати акумулирањем топлоте у дужим магистралним топоводима, којима се врши транспортовање топлоте до градске дистрибутивне мреже. Када је реч о иницијалним инвестицијама, због већ постојећих термоелектрана, инвестиција у њихову изградњу су већ измирене и не утичу на повећање производне цене енергије. Још један битан услов, за одређивање исплативости увођења овог система у термоелектране, је уравнотежена производња топлотне и електричне енергије, јер повећана потрошња за једним извором доводи до повећане производње оба производа и до неискоришћености топлотне енергије [7].

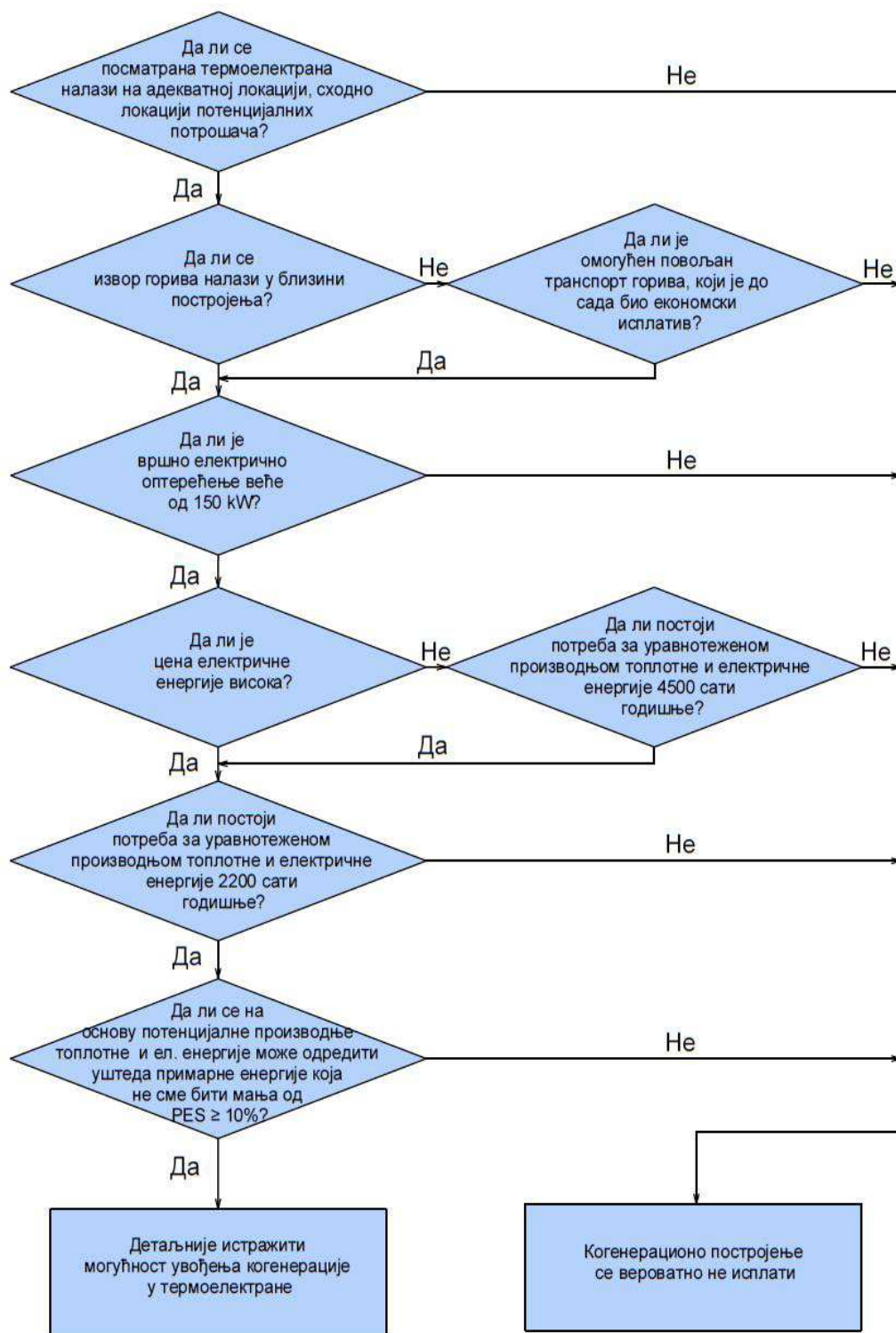
На основу правила о раду дистрибутивног система, дефинисаног праћењем потрошње у претходном периоду, утврђено је да систем може да дистрибуира енергију, уколико је његово вршно енергетско оптерећење веће од 150kW [8].

Ефикасност система одређује и потреба за истовременом производњом електричне и топлотне енергије која не би требало да буде мања од 4500 h на годишњем нивоу. Систем који испоручује мање топлотне енергије је исплатив само у случају високе цене електричне енергије, при чему је минималан број сати, током којих се истовремено производе оба облика енергије, 2200 у току године [9]. Свакако, систем најисплативије ради уколико се оба облика енергије генеришу током целе године.

Како градске топлане најчешће као гориво користе природни гас, когенерациона постројења у ванградским термоелектранама на угаљ могу бити економски јако оправдана, поготово у земљама које имају домаћи угаљ, а увозе природни гас, јер девизни издаци који се остварују тим путем осетно оптерећују економски развој земље. Поред базне цене, на период отплате постројења значајно утиче доступност горива, као и могућност његовог транспорта. Уколико су ови трошкови високи, мала је вероватноћа да ће постројење бити исплативо. Очекивани период отплате код енергетски ефикасних термоелектрана-топлана је око 5 година [10].

Још један битан услов који треба бити испуњен код когенерационих система чија је снага већа од 1 MWe је количина уштеђене примарне енергије, која је прописана Директовом Европске Уније и у раду представљена изразом (16). Вредност овог параметра код ефикасно оправданих когенеративних система не сме бити мања од 10% [11].

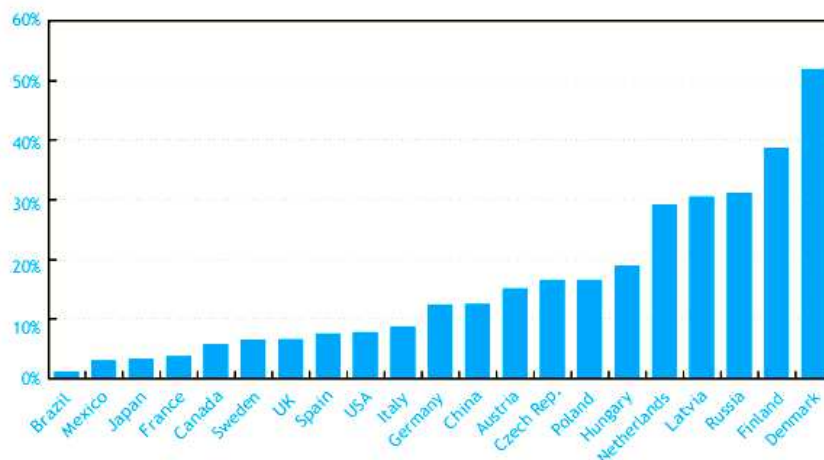
Алгоритам за иницијалну процену ефикасности увођења когенерационих постројења у термоелектране приказан је на слици 12.



Слика 12.
Алгоритамска шема за иницијалну процену ефикасности примене когенерације у термоелектранама

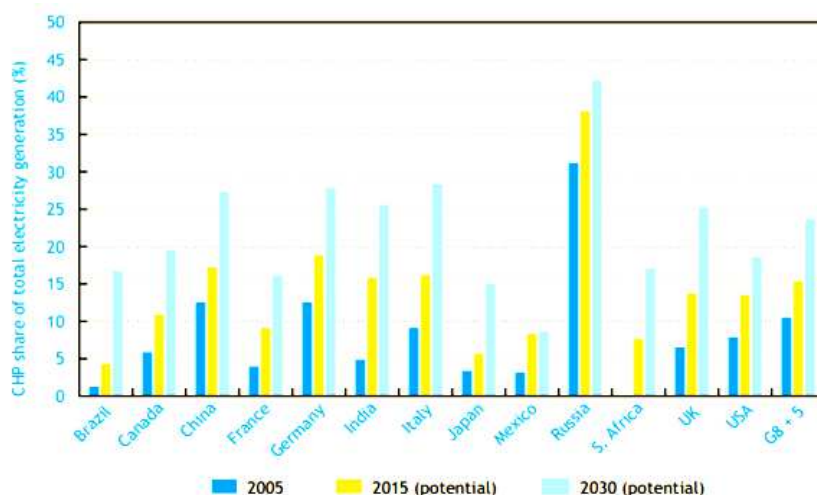
8.0. Осврт на примену термоелектрана-топлана у свету и Републици Србији

Према [12], удео укупно произведене електричне енергије у свету из когенерације је само 10%. Са слике 13 се може уочити да само мали број земаља у свету има изражен проценат у примени когенерационих постројења, попут Данске и Финске.



Слика 13. Процентуални удео примене когенерације у процесима генерисања електричне енергије у водећим земљама у развоју [12]

Иако је тренутна процентуална заступљеност у светској производњи електричне енергије у термоелектранама-топланама веома мала, стручњаци сматрају да ће се до 2030. године забележити видљив пораст када је употреба ових постројења у питању (Слика 14.) [12]. Разлог овоме виде у позитивним економским ефектима које когенерација пружа и који се не могу занемарити.



Слика 14. Предвиђања за повећање употребе термоелектрана-топлана до 2030. Године [12]

Када је у питању употреба когенерације у Републици Србији, у оквиру Електропривреде Србије, користе се термоелектране-топлане „Нови Сад“, „Зрењанин“ и „Сремска Митровица“, у којима се 2011. године произвело 1,1% укупне производње електричне енергије у земљи. У овај процентуални удео производње на територији Републике Србије нису укључене термоелектране на простору Аутономне покрајине Косова и Метохије. Поред ових истакнутих постројења, ремонт је спроведен и у блоковима А1 и А2 у Термоелектрани „Никола Тесла“, који генеришу топлоту којом се греје Обреновац. Поред тога, блокови А5 и А6, укупне електричне снаге 2x280MWe снабдевају технолошком паром индустријски погон „Уљарице“ у Обреновцу, са око 10000-13000 тона на годишњем нивоу. Реконструисаним блоковима Термоелектране „Костолац А“ је омогућено грејање Пожаревца и Костолца. Систем когенерације је спроведен и у термоелектрани „Колубара“, чија је генерисана топлота мале снаге и користи се за грејање локалних објеката [7]. Електропривреда Србије има у циљу изградњу савременог гасно-парног постројења на природни гас, у оквиру термоелектране-топлане „Нови Сад“ [13].

У одређеним објектима Електропривреде Србије примена когенерације и даље није заступљена, иако за њено спровођење постоји могућност. Таква термоелектрана се налази на територији општине Свилајнац, који не располаже градском топлификационом мрежом („ТЕ Морава“). Поред ове термоелектране, могуће је проширити капацитете ТЕ Колубара, којима би се омогућило грејање Лазаревца, који располаже топлофикационом мрежом.

9.0. Закључак

Доба у коме сада живимо означаће употреба електричне енергије као ресурса без кога се не може замислити обављање свакодневних активности. Иако је временом дошло до унапређења технологија за генерисање електричне енергије, посебно кроз примену обновљивих извора енергије, употреба термоелектрана се и даље веома високо котира на лествици технологија за производњу електричне енергије на велико. Као постројења у којима се користе фосилна горива, термоелектране представљају велику претњу животној средини. Поред емисије гасова, који се ослобађају током сагоревања фосилних горива, рад електроана карактеришу и емисије чађи и пепела, проблем њиховог складиштења, проблеми са рудницима и површинским коповима, као и загађивање и прекомерна употреба воде. Уз то, термоелектране имају низак степен термодинамичке ефикасности, јер се део топлоте, током циклуса производње електричне енергије, одаје околини.

Како је, у овом тренутку и степену развоја, нереално очекивати да се термоелектране у потпуности замене обновљивим видовима енергије, процес когенерације може да представља идеалну спону у концепту побољшања ефикасности самих електроана, како са новчаног аспекта, тако и са еколошког. Наиме, увођење ових постројења би омогућило подизање степена корисности целог система, јер би се из истог горива добијала, како електрична, тако и топлотна енергија, која је, такође, неопходна, за свакодневне активности, али и за разне технолошке потребе у индустрији. Термоелектране, које иницијално нису предвиђене за симултану производњу топлотне и електричне енергије, након имплементације когенерације, достижу веома висок степен ефикасности. Поменути степен се може пратити кроз више критеријума, попут енергетског, ексергетског, као и преко уштеде горива. Поред тога, когенерацијом је омогућено смањење увозне зависности, смањење губитака у мрежи, као и повећање расположивости капацитета мреже. У овом завршном раду је представљена алгоритамска шема иницијалне процене ефикасности претварања конвенционалних термоелектрана у термоелектране-топлане. Свакао, неопходно је додатно испитивање ове могућности, јер на рад термоелектране имају утицај разне околности, технолошки параметри и националне политике које нису разматране током креирања предлога предметног алгоритма.

Иако иза појма когенерације стоје бројне предности, њена примена није веома заступљена, јер се овим процесом, у земљама где је то могуће, генерише око 10% укупно произведене енергије. По питању коришћења постројења за истовремену производњу топлотне и електричне енергије стање у Србији је прилично лоше. Разлог овоме се може тражити у веома високој иницијалној инвестицији, због које људи често не желе да се одрекну традиционалног, одвојеног начина производње топлотне и електричне енергије. Из ових разлога је неопходно стварање нових оквира за афирмацију којом би се истицале све предности примене ових постројења, као и спровођење регулатива.

Оптимистичну слику даје управо велики коефицијент економске ефикасности, којим се показује период отплате у зависности од почетних улагања, цене горива, цене одржавања и века експлоатације. Релативно кратак отплатни период когенерацију поставља на сигурно место, када је њен даљи развој у питању, те предвиђања за 2030. годину указују на могућност рапидне примене овог концепта.

Литература

- [1] Н. Лукић, *Енергија и окружење* [скрипта], Факултет инжењерских наука, Крагујевац
- [2] Д.Д. Штрбац, Б.Д. Гвозденац, З.Д. Милосављевић, (2011), *Енергија и окружење* [скрипта], Нови Сад, Факултет техничких наука
- [3] I. Jakovljević, *Prilog proračunu parne turbine u kogeneracijskom sustavu sa promjenjivim uvjetima pogona*, 2012, doktorska disertacija, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci
- [4] *Energetska efikasnost kogeneracijske proizvodnje energije i ograničenja u Republici Srpskoj*, Z.N.Milovanović, S.R. Dumonjić-Milovanović, Naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost | ENEF 2015, Banja Luka, 25-26. septembar 2015. godine
- [5] Д. Кончаловић, 2014, *Методологија за одређивање когенерационог потенцијала топлане*, докторска дисертација, Факултет инжењерских наука, Крагујевац
- [6] Д. Митровић, Д. Живковић, Б. Стојановић, Ј. Јаневски, М. Игњатовић, М. Стојиљковић, *Приказ метода за анализу рада постројења за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије*, преузето са: e2014.drustvo-termicara.com/papers/download/96, Јула 2016. Године
- [7] В. Стефановић, *Когенерација из угља: примери из ЕУ, стање и могући развој у Србији*, преузето са: www.e2012.drustvo-termicara.com/papers/download/66, Јула 2016
- [8] ЈП ЕПС, број 5941/10, Одлука о оснивању јавних предузећа за дистрибуцију електричне енергије, од 23. Новембра 2005. године
- [9] D. Rajković, (2011), *Proizvodnja i pretvorba energije* [skripta], Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- [10] <http://gossengineering.com/articles/unep-fact-sheet-on-cogeneration-chp.pdf>, приступљено септембра 2016.
- [11] The Commission for Energy Regulation, 2012, *Certification Process for High Efficiency CHP Decision Paper*, Dublin, преузето са <http://www.cer.ie/docs/000155/cer12125.pdf>, септембра 2016
- [12] International Energy Agency, *Cogeneration and District Energy*, s.l. : IEA, 2009.
- [13] З. Обрадовић, В. Краварушић, *Нова визија ТЕ-ТО Нови Сад-Изградња гасно-парног блока високе енергетске ефикасности*, преузето са www.e2008.drustvo-termicara.com/resources/files/papers/54774a.pdf, септембра 2016.