

Факултет инжењерских наука

Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Примењена механика и аутоматско управљање

Предмет: Механика флуида

Број индекса: 61/2010

Дејан З. Јовановић

**Истраживање могућности увођења тригенерације и
повећање енергетске ефикасности затвореног
базена Спортског центра Парк у Крагујевцу**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Проф. др Слободан Савић - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба:

- да се упозна са терминима когенерације и тригинерације, њиховом применом, предностима и манама,
- да објасни конверзије когенерационих постројења применом парних и гасних турбина као и употребом нових технологија,
- да истражи могућности увођења тригенерације у циљу повећања енергетске ефикасности затвореног базена Спортског Центра Парк у Крагујевцу и
- коришћењем програмског пакета RETScreen дође до најприхватљивијег и енергетски најефикаснијег решења.

Препоручена литература:

[1] http://www.retscreen.net/ang/g_combine.php.

[2] Вуловић, А., Јовановић, Н., Савић, С., Гордић, Д., Неке могућности повећања енергетске ефикасности затвореног базена спортског центра Парк у Крагујевцу, 7. Национална конференција о квалитету живота, Фестивал квалитета 2012, Крагујевац, стр. Б73-Б76, Крагујевац, 2012.

[3] Вуловић, А., Јовановић, Н., Савић, С., Гордић, Д., Шуштершич, В., Увођење система тригенерације у циљу уштеде енергије, Трактори и погонске машине, 17(4),. 102-110, 2012.

Садржај

1. Резиме.....	4
2. Увод.....	5
3. Когенерација	6
3.1. Могући потенцијал когенерације у Србији	6
3.2. Развој когенерацијских термоенергетских постројења	8
3.3. Законска регулатива за когенерацијска постројења	9
3.4. Предности и препреке когенерације	10
3.5. Подела когенерацијских термоенергетских постројења	10
3.5.1. Парне турбине	12
3.5.2. Енергетска биланс парне турбине	14
3.5.3. Термодинамичке основе.....	14
3.5.4. Елементи постројења.....	15
3.5.5. Турбопостројење и парни блок.....	15
3.5.6. Принцип рада	16
3.5.7. Степен корисног дејства.....	17
3.5.8. Гасна турбина	18
3.5.9. Технолошки опис гасне турбине	18
3.5.10. Компресор и турбина.....	19
3.5.11. Загађење животне средине које изазива гасна турбина	20
3.5.12. Перформансе, предности и мане	20
3.5.13. Предности и мане гасних турбина	21
3.5.14. Мотори са унутрашњим сагоревањем.....	22
3.5.15. Когенерацијска постројења са комбинованим циклусима	22
4. Тригенерација.....	23
4.3. Тригенерација – когенерација с апсорпцијским уређајима (APU).....	24
4.4. Расхладни торањ.....	25
4.5. Соларно апсорпцијско хлађење	26
5. Програмски пакет RETScreen.....	27
5.3. Радни лист Start	27
5.4. Радни лист (Energy model).....	31
5.5. Анализа трошкова (Cost Analysis).....	33
5.6. Емисиона анализа (Emission Analysis)	34
5.7. Финансијска анализа (Financial Analysis).....	35
6. Закључак.....	37
7. Литература.....	38

1. РЕЗИМЕ

У раду је истраживана могућност увођења тригенерације у циљу повећања енергетске ефикасности затвореног базена Спортског центра Парк у Крагујевцу. Готово увек трошкови загревања просторија и воде код оваквих објеката, посебно у зимском периоду, превазилазе зараду па се зато дотирају из градских буџета. Такво стање је веома неисплативо и као такво, дугорочно није одрживо.

У првом делу овог завршног рада дате су напомене о когенерацији и тригенерацији. Разматрају се специфични услови у којима затворени базен СЦ Парк функционише као и њихов утицај на избор тригенерационог постројења.

У раду је, потом, приказано прорачунско решење које је добијено коришћењем програма RETScreen.

Кључне речи: енергија, когенерација, тригенерације, енергетска ефикасност, RETScreen.

ABSTRACT

This paper examines the possibility of introducing trigeneration in order to increase energy efficiency at the indoor swimming pool at the Sports Centre Park in Kragujevac. The costs of heating the water and the facilities usually exceed the income, especially in winter; therefore these kinds of facilities are most commonly subsidized from the city budget. This situation is highly unprofitable and, as such, it is not sustainable in the long term.

The first part of this paper introduces cogeneration and trigeneration. It also analyses the conditions typical for the indoor swimming pool at the Sports Centre Park, and their impact on the choice of trigeneration system.

The second part of the paper presents numerical solutions obtained using RETScreen software.

Key words: energy, cogeneration, trigeneration, efficiency, RETScreen.

2. УВОД

Енергетска криза последњих година узима велики замах и она се огледа у климатским променама и не тако далеком нестанку фосилних горива што резултира поскупљењем енергената на тржишту. Као одговор овом проблему, дошло је до промена у енергетској политици чиме се тежи проналажењу алтернативних извора енергије и побољшању ефикасности постојећих решења. Поводом тога Европска унија (ЕУ) је донела низ закона којима подстиче прелазак на енергију са малом емисијом CO₂, односно поставља обавезујући циљ од 20% удела обновљивих извора енергије (соларна енергија, биомаса, енергија ветра итд.) до 2020. године.

У савременом свету непрекидно расте потрошња енергије. При томе потрошња електричне енергије расте брже од потрошње других облика енергије, будући да је она веома погодна за коришћење, јер се може претворити у сваки други облик енергије. Растућу потрошњу електричне енергије задовољава њена производња трансформацијом механичке енергије воде (хидроелектране), експанзијом паре или гаса произведених сагоревањем фосилних горива (термоелектране), или фисијом нуклеарног горива (нуклеарне електроелектране). Како је у структури извора електричне енергије у свету доминантно учешће термоелектрана на фосилна и друга горива, укупна ефикасност трансформације примарне енергије у електричну енергију је врло мала. Са друге стране, производња топлотне енергије за грејање и технолошке потребе обавља се у котловима на угаљ, течна или гасовита горива уз губитке од 10 – 20% у зависности од врсте горива и капацитета котлова. Когенерацијом се у једном постројењу истовремено добијају и електрична и топлотна енергија, па су укупни губици примарне енергије садржане у гориву мањи него када се њихова производња обавља у одвојеним постројењима.

Принцип когенерације је познат прилично дуго. Још почетком двадесетог века когенерациона постројења су снабдевала топлотом и струјом домаћинства и фабрике. Предности когенерацијских постројења у односу на класична постројења са одвојеним снабдевањем електричне и топлотне енергије видљиве су ако се упореде губици који настају при производњи енергије у оба система.

Когенерација (често се користи и израз комбинована производња топлотне и електричне енергије на енглеском Combined Heat and Power, CHP) представља производњу електричне енергије са истовременим коришћењем отпадне топлоте. При томе се топлотна енергија може користити у разним процесима као што су процеси грејања и хлађења. Комбиновањем когенерацијског постројења с апсорбционим расхладним системом могуће је искористити сезонске вишкове топлоте за добивање расхладне енергије, чиме се побољшава економичност. Помоћу оваквог концепта, могуће је достићи укупну ефикасност процеса до 75% (електрична и расхладна енергија). Такав процес назива се тригенерација (**Combined Heat, Cooling and Power production** или **CHCP**).

3. КОГЕНЕРАЦИЈА

Заједничка производња електричне и топлотне енергије или когенерација представља један од кључних начина рационалног управљања енергијом. Когенерацијска постројења дају знатно бољу енергетску ефикасност, односно уштеду фосилних горива, чиме се уједно смањује загађење околине у односу на одвојену производњу електричне енергије у термоелектранама и топлотне енергије у котловима.

Као један од најрационалнијих начина кориштења фосилних горива, когенерација се примјењује под називима :

- „Kraftwärmekopplung” (KWK) у немачком говорном подручју,
- „Cogeneration Plant” претржно у америчком говорном подручју;
- „Combined Heat and Power Plant” (CHP) претржно у енглеском говорном подручју;
- „Production combinee de chaleur et d`energie electrique” претежно у француском говорном подручју;
- „Produzione combinata di calore e di energia elettrica” у италијанском говорном подручју.

Производња топлотне енергије се може користити у технолошким процесима, процесима грејања те у процесима хлађења када говоримо о тригенерацији. Предности когенерацијских постројења, у односу на класичне, с одвојеном производњом електричне и топлотне енергије, видљиве су ако се међусобно упореде губици који настају при производњи енергије у оба разматрана облика. Такво поређење когенерацијске и одвојене производње енергије из погледа степена искоришћења које је дато на слици 3.1. Из слике је видљиво да је за исту количину горива искористивост когенерације и до 30 % већа од искористивости код одвојене производње топлинске и електричне енергије. Треба напоменути да је овакав степен искоришћења когенерацијског постројења својствен режиму рада при којем се утроши сва произведена топлотна енергија.

3.1. *Могући потенцијал когенерације у Србији*

Карактеристика данашњих система за производњу електричне и топлотне енергије у Србији је да је производња електричне енергије концентрисана (у релативно великим јединицама, на коначном броју локација, дефинисаних близином речних токова или акумулација воде и близини рудника лигнита), док је производња топлотне енергије веома дистрибуирана (распоређена на врло велики број релативно малих произвођача у близини колективних или индивидуалних потрошача). Инсталисани капацитет извора електричне енергије у Електропривреди Србије је 8355 MWe, од чега 5171 MWe у термоелектранама на лигнит, 353 MWe у термоелектранама-топланама на мазут или природни гас, а остатак у проточним (1849 MWe) и акумулационим (982 MWe) хидроелектранама. У укупној инсталисаној снази когенерација (у термоелектранама-топланама) учествује са 4,2%, али је стварно учешће когенерације у укупној инсталисаној снази још веће када се узму у обзир капацитети постојећих кондензационих блокова на локацијама термоелектрана „Никола Тесла А” (блокови А1 и А2) и „Костолац А” (блокови А1 и А2), који су реконструисани тако да омогућавају одузимање паре за потребе топлификационих система у Обреновцу, односно у Пожаревцу и Костолцу. Док се тренутно грејање Новог Сада, Зрењанина и Сремске Митровице из когенерационих постројења обавља уз велике тешкоће (из тих разлога није у функцији ни когенерација са гасним турбинама на локацији топлане „Нови Београд”), у три града (Обреновац, Костолац и Пожаревац) је обезбеђено успешно снабдевање топлотом система даљинског грејања реконструкцијом термоелектрана на угаљ, а започета је па обустављена

изградња топловода од термоелектране „Никола Тесла А” за даљинско грејање великог дела Београда, чији би завршетак био од вишеструког друштвеног интереса.

Због ограничених капацитета доступних рудника лигнита, рачуна се на постепену градњу нових капацитета за производњу електричне енергије на гас. Како се гас већ користи за производњу топлотне енергије, то пружа озбиљну могућност даљег развоја когенерације на гас. У том смислу су, поред надградње постојећих термоелектрана- топлана на гас са парним циклусом на трима локацијама (Нови Сад, Зрењанин, и Сремска Митровица), као потенцијалне локације за реализацију нових пројеката когенерације са комбинованим гасно-парним циклусом изабрани Нови Београд, Ниш, Суботица и Крагујевац.

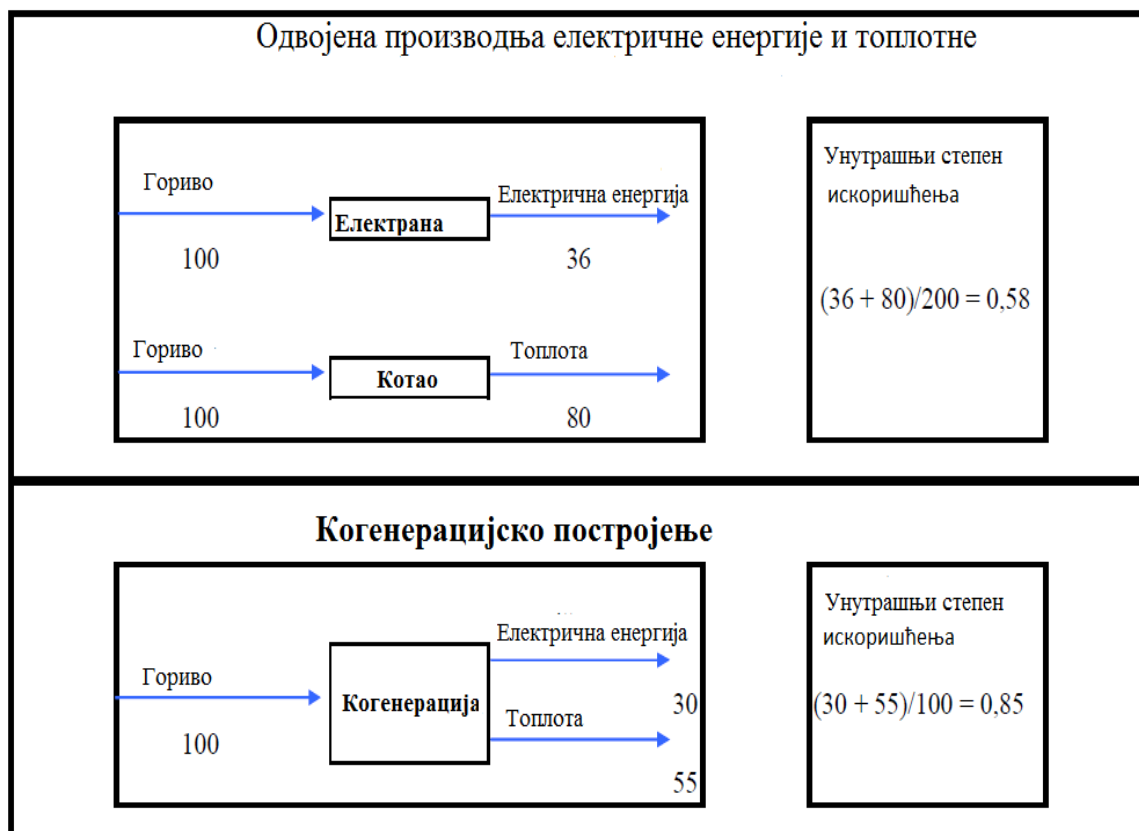
У дугорочној пројекцији развоја електро-енергетског система Србије, уколико и даље буду на снази ограничена могућност приступа резервама угља на подручју Косова и Метохије (сада под привременом управом савета безбедности УН) и Закон о забрани градње нуклеарних електрана, учешће производње електричне енергије на природни гас (укључујући и когенерацију где год је то могуће и оправдано) морало би да значајно порасте, табела 3.1. .

Табела 3.1 Будућа структура производње електричне енергије у Србији

година	2006.	2012.	2018.	2024.	2030.
Термоелектране на лигнит	71,31	71,77	65,15	61,92	56,27
Хидроелектране (свих снага)	28,22	25,86	22,14	24,30	22,07
Комби-циклуси на природни гас	0,47	2,14	11,82	111,23	18,42
Нови обновљиви извори	0,00	0,23	0,89	2,55	3,24

У стратегији привредног развоја Србије до 2010. године формиран је програм могућих реконструкција постојећих термоенергетских постројења и градње нових капацитета за спрегнуту производњу топлотне и електричне енергије и увођења комбинованих гасно-парних циклуса. Међу таквим постројењима су постојеће и нове термоелектране на лигнит у близини већих конзумних центара топлотне енергије, топлане на гас у већим градовима (у Београду, Нишу, Суботици), као и термоелектране, топлане на гас (Нови Сад, Зрењанин, Сремска Митровица).

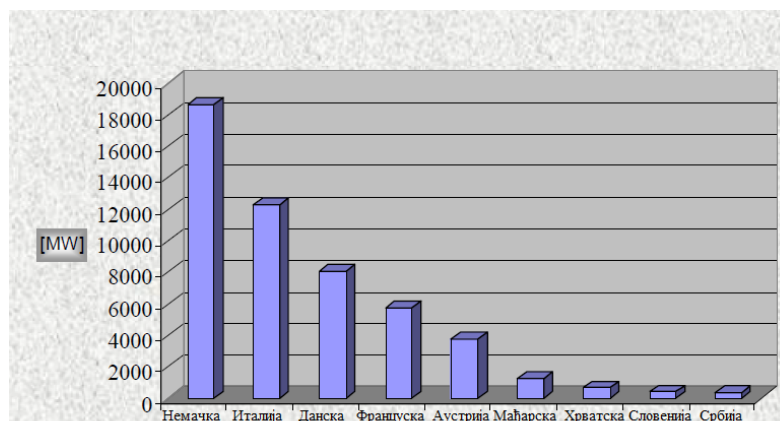
Осим тога, предвиђено је да се за когенерацију користе каптажни и кисели гас из извора нафте, као и природни гас у широкој потрошњи за микрокогенерацију. Недостатак реконструкције кондензационих термоелектрана на угљ у термоелектране-топлане ради остварења спрегнуте производње електричне и топлотне енергије је губитак дела електричне снаге и смањење производње електричне енергије. Међутим, имајући у виду да се, уместо непроизведене електричне енергије, производи око 5 пута више топлотне енергије и тиме замењују увозна горива, јасно је да таква когенерација на домаћа горива има посебан стратешки и економски значај. Ово тим пре што се и иначе велики део електричне енергије произведене у грејној сезони троши за потребе грејања (или догревања) простора, те би топлотна енергија из когенерације у знатној мери заменила или смањила такву нерационалну потрошњу електричне енергије.



Слика 3.1 Однос когенерације и конвенционалног система

3.2 Развој когенерацијских термоенергетских постројења

Нагли пораст цена горива изазвао је потребу за развијањем енергетских технологија и повећањем степена искористивости постројења. Истовремено долази и до упознавања о све сиромашнијим изворима енергије, које прати и нагло јачање еколошке свести. Све је то омогућило когенерацијским постројењима, као системима с високим степеном искористивости и могућности искоришћења отпадне топлоте, значајнију улогу у производњи електричне енергије. Просечан удео електричне енергије произведене у когенерацијским постројењима данас износи око 10 % и има тенденцију пораста. Тако постоје земље са изразито развијеном когенерацијом попут Данске, где се чак 40 % електричне енергије произведе из когенерацијских постројења. Као супротни пример земље с неразвијеном когенерацијом можемо узети Француску, с изразито развијеном нуклеарном енергетиком, где само 2 % произведене електричне енергије потиче из когенерацијских постројења. На слици 3.2 приказана је инсталирана снага когенерацијских постројења у појединим државама Европе.



Слика 3.2 Графички приказ производње електричне енергије когенерацијом у Европи

Когенерација се може дефинисати као процес коришћења примарне енергије горива за производњу два корисна енергетска облика: топлотне енергије и корисног рада. Добијени корисни рад користи се најчешће за производњу електричне енергије, док се произведена топлотна енергија користи у технолошким процесима, процесима грејања или хлађења.

Когенерација је такође производња електричне енергије из отпадне топлоте било ког термичког процеса. Процес се одвија са максималним искоришћењем хемијске енергије горива, тј. смањењем губитака, али је предуслов за то велики број радних сати током године.

У литератури се когенерација често означава и као СНР процес (скраћеница од Combined Heat and Power - комбиновање топлоте и снаге).

3.3. Законска регулатива за когенерацијска постројења

Све до 70-тих година прошлог века, до прве светске енергетске кризе, није правно била регулисана дистрибуција енергије произведене у когенерацијским постројењима. Услед великог пораста цене сирове нафте на светском тржишту, 1978. године Амерички конгрес је донео Закон о јавној потрошњи енергије, Public Utility Regulatory Policy Act (PURPA). Основни задатак овог закона је регулисање потрошње увозне нафте, коришћења алтернативних извора енергије уз повећање ефикасности и диверсификацију производње електричне енергије. Осим наведеног, важан задатак овог закона је и стварање тржишта електричном енергијом произведеном у когенерацијским постројењима. Наведеним законом регулисана је могућност куповине електричне енергије од независних компанија, које би уз електричну енергију дистрибуирале и топлотну енергију, те на тај начин смањиле јединичну цену произведене електричне енергије и повећале стабилност крајњих корисника потребном енергијом. Сталним порастом потрошње електричне и топлотне енергије, услед оптужби да ПУРПА не осигурава довољну заштиту и потпору когенерацијским постројењима због све веће конкуренције на енергетском тржишту, 1992. године, од стране Националне Енергетске Регулаторне Агенције, донешен је Закон, Енергу Полицу Акт, који омогућава продају на велико свим произвођачима електричне и топлотне енергије. Законом је омогућена конкурентност свих произвођача електричне и топлотне енергије на основу тржишних цена. 11. августа 2004. године донешен је важан документ европског енергетског законодавства-Директива 2004/8/ЕЦ Европског парламента и Већа о производњи системом когенерације на темељу потрошње корисне енергије на унутршњем тржишту енергије.

Сврха ове Директиве је:

- промоција ефикасности когенерације темељене на ефикасној топлотној потрошњи (уштеда примарне енергије најмање 10 посто у односу на одвојену производњу топлотне и електричне енергије),
- смањење губитака у мрежи и
- смањење емисије у облику стаклене баште

У складу с тим, државно министарство у Уредби о минималном уделу електричне енергије произведене из обновљивих извора енергије и когенерације чија се производња подстиче одредило је циљ да се до 31. октобра 2010. године у укупној потрошњи електричне енергије у Републици Србији постигне минимални удео од 2 % произведене електричне енергије у когенерацијским постројењима. Темељем чланка 14. Закона о енергији (Н. Н. бр. 68/2001 и 177/2004.), Министарство привреде доноси Правилник о коришћењу обновљивих извора енергије и когенерације који је ступио на снагу 01.01.2006. године. Такође темељем чланка 28. ставка 3. Закона о енергији (Н. Н. бр. 68/2001 и 177/2004.), Влада Републике Србије је донела Тарифни кодекс за производњу електричне енергије из обновљивих извора енергије и когенерације којим се одређује право повлашћених произвођача електричне енергије на постицајну цену електричне енергије коју оператер тржишта плаћа за испоручену електричну енергију произведену из постројења која користе обновљиве изворе енергије из когенерацијских постројења.

3.4. Предности и препреке когенерације

Примена когенерацијских постројења се првенствено разматра због њихове високе енергетске ефикасности, те због економских и еколошких предности које оне доносе. Енергетски степен искоришћења неких когенерацијских постројења може износити и до 90 %, а најчешће се креће од 70 до 85 %. Когенерацијска постројења имају и мању емисију штетних гасова (на пример, CO₂, SO₂ и NO_x) по јединици произведене енергије.

Најзначајније предности когенерације, у односу на одвојену производњу електричне енергије у класичној електрани и топлотне енергије у котловима, јесу:

- уштеде примарне енергије,
- квалитетнији доток енергијом и већа поузданост, што је од велике важности за потрошаче осетљиве на прекиде дотока електричне енергије,
- смањење штетног утицаја на околину због већег степена искоришћења енергије и смањења потрошње примарног енергента и
- већа исплативост постројења.

Когенерације имају значајну улогу и као дистрибуирани извор енергије због позитивних учинака:

- мањи губици у мрежи,
- смањење загушења у преносу,
- повећање квалитета напона и повећање поузданости снабдевања електричне енергије и
- смањење штетног утицаја на природу.

3.5. Подела когенерацијских термоенергетских постројења

Концепт когенерације се заснива на истовременој производњи топлотне и електричне енергије из једнога енергетског извора. Данас се користе различити концепти когенерацијских постројења с тим да срце сваког постројења чини погонска мотори (eng. prime mover) који хемијску или топлотну енергију трансформише у механичку енергију тј.

снагу. Најчешће употребљавани су мотори са унутаршњим сагоревањем, плинске и парне турбине. Погонски мотори се граде са снагама од неколико стотина MW до више стотина MW. Следећа табела даје приказ најзаступљенијих типова когенерацијских постројења.

Табела 3.2 Приказ когенерацијских постројења

погонски мотор	гориво	снага	однос топлотне и електричне енергије	електрична ефикасност	укупна ефикасност	пренос топлотне енергије
кондезацијска парна турбина са обузимањем	свако фосилно гориво	1 до 500+	3:1 до 8:1	до 40%	изнад 70%	водена пара
парне турбине	свако фосилно гориво	0,5 до 150+	3:1 до 10:1	до 80%	изнад 80%	водена пара
гасне турбине	природни гас, плинско уље, нафтни плин	3 до 30+	1:1 до 3:1	35 до 40%	60 до 80%	водена пара, топла вода
мотор са унутрашњим сагоревањем	плин, бензин, дизелска горива	0,03 до 20+	0,5:1 до 3:1	35 до 40%	65 до 90%	водена пара, топла вода

Когенерацијска постројења такође можемо поделити према гориву које најчешће користе:

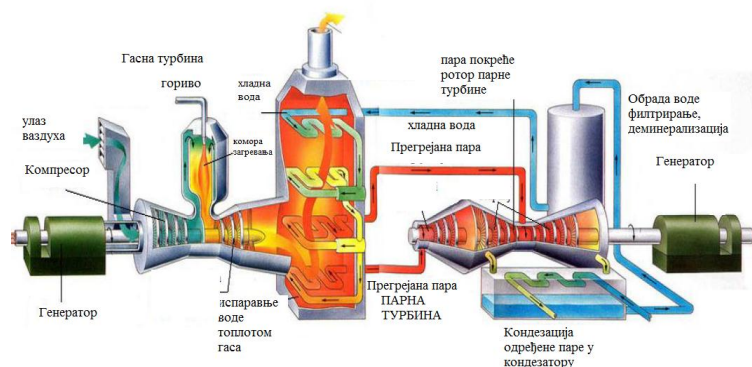
- природни гас,
- угаљ,
- лож уље и
- биомасу.

Когенерацијска постројења можемо према намени поделити на три категорије:

- индустријске термоелектране,
- термоелектране – топлане (ТЕ-ТО) и
- мала постројења.

У последње време, одговарајући на високу цену горива и високе захтеве за очување човекове околине, посебно значајан развој постигла је комбинована гасно-парна турбинска постројења за производњу електричне енергије, слика 3.3.

Тај развој им је омогућио да су она данас постала најекономичнија најперспективнија постројења за снабдевање електричном енергијом.



Слика 3.3 Когенерацијско постројење

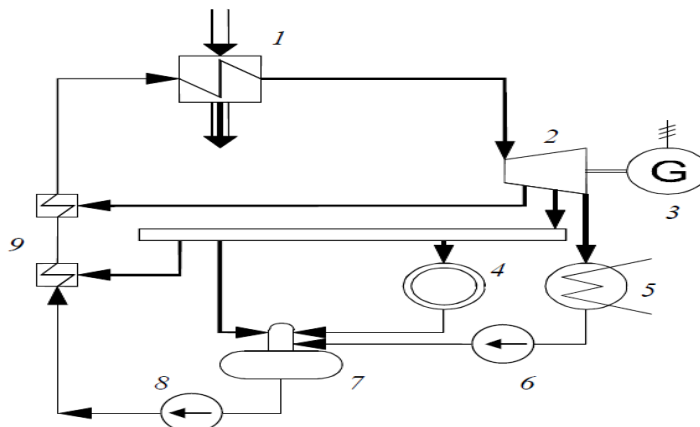
Многе земље у свету, а нарочито оне које имају довољно земног гаса, за развој своје енергетике одабрале су комбиноване гасно-парна турбинска постројења. За српску енергетику су комбиноване гасно-парна турбинска постројења такође једно од најприхватљивијих решења.

3.5.1. Парне турбине

Когенерацијска веза са гасном парном турбином је најкласичнија веза за производњу механичке и топлотне енергије. Когенерацијско парно-турбинско постројење могуће је поделити у два основна дела од којих један чини постројење за производњу и доток паре (котловско или паро-генераторско постројење) и турбинско постројење у којем се унутрашња енергија паре претвара у кинетичку енергију, тј, у механички рад у облику обрта ротора турбине. Осим наведеног, да би парнотурбинско постројење могло функционисати потребно је имати постројење за припрему воде, постројење за припрему и добавку горива, и сву потребном опрему и арматуру.

Овакав склоп прикладан је за уградњу у електране већих индустријских погона који троше много паре за грејање и као такав је најекономичнији и најједноставнији за управљање и одржавање. Највећи недостатак ове машине је немогућност производње електричне енергије ако се истовремено не троши и одговарајућа количина паре за загревање, која би експанзијом у турбини произвела ту енергију. Процес се обично подешава да задовољи потребе у топлотној енергији, а генератор електричне енергије се паралелно спаја са спљашњом мрежом. У случају мањка електричне енергије потребне за рад машине она се узима из мреже, а у случају вишка предаје се мрежи. Когенерацијски састав са кондензацијском турбином са одузимањем паре најчешће је примењив тамо где је због осигурања сталног и сигурног снабдевања електричном енергијом, поред производње топлотне енергије, нужен аутономан извор, као нпр. у рафинеријским, петрохемијским и сличним процесним погонима који су врло осетљиви на прекиде у дотоку ел. енергије.

Основна шема таквог постројења приказана је на слици 3.4.



Слика 3.4 Когенерацијски систем с кондезацијском турбином с одузимањем паре

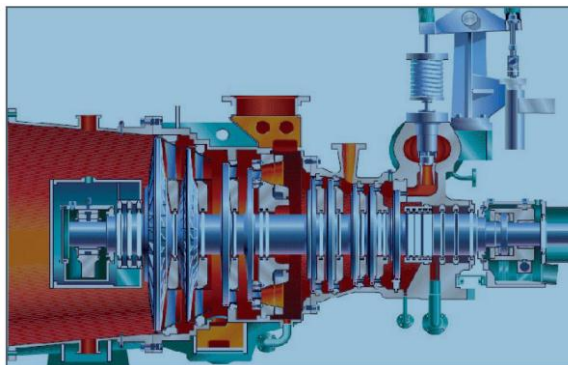
Парне турбине су погонске машине које топлотну енергију паре претварају у механичку. Као погонско средство обично се користи водена пара.

Топлотна енергија паре, која је добијена у парном котлу или нуклеарном реактору, а читава се као повећање параметара притиска и температуре изнад стања околине, претвара се у механички рад посредним путем. Прва фаза процеса претварања енергије је експанзија паре, тј. пад притиска и температуре те пораст обима. Експанзијом топлотна енергија се претвара у кинетичку. У другој фази те конверзије, кинетичка енергија парног млаза користи се за стварање ободне силе на ротору и његово окретање, чиме добијамо механички рад. Експанзија паре може се одвијати у улазним сапницама, статорским лопатицама, а делом у роторским лопатицама, те према томе разликујемо два основна типа парних турбина, и то:

- акцијске парне турбине и
- реакцијске парне турбине.

Конверзија енергије путем кинетичке енергије парног млаза велике брзине даје парној турбини једно од основних обележја - велику брзину обртања ротора. Већина највећих стационарних турбина има брзину обртања 3000 мин⁻¹, док бродске, индустријске и разни типови мањих јединица имају још веће брзине обртања. Горња граница је око 30000 мин⁻¹.

Величина парне турбине и њена ефективна снага могу бити врло различите. Овде треба нагласити, да се израђују јединице снаге од неколико стотина W, док је истовремено у току уградња гигантских турбина снаге 1500 MW и више.

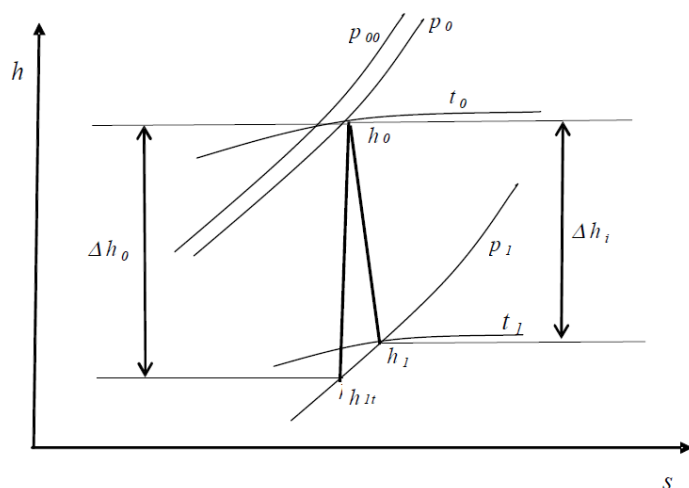


Слика 3.5. Парна турбина

С обзиром на висину притиска на крају експанзије, разликујемо кондензационе и протутлачне турбине. У кондензацијским турбинама искоришћава се пара до притиска кондензата, који је одређен температуром расхладне воде, а у протутлачним турбинама пара експандира до притиска знатно вишег од притиска кондензације јер се пара, која је делимично ескалирала у парној турбини употребљава за грејање или за друге технолошке процесе. Противпритисак на крају експанзије у турбини зависи првенствено о потребном притиску паре за топлотне потрошаче. Овде ваља споменути и турбине с одузимањем. У турбинама с одузимањем, део паре, који је делимично експандирао, одводи се из турбине између два ступња и најчешће се употребљава за разне технолошке процесе, а преостала пара експандира до протутлака или притиска кондензације. Тамо где се пара користи за регенеративно загревање воде турбине се изводе с неколико одузимања.

3.5.2. Енергетска биланс парне турбине

При реалној трансформацији енергије у турбини се јављају губици радне способности флуида и рада, који су последица неповративости процеса. Технички рад којег пара при стварној експанзији кроз турбину преда ротору турбине, сведено на јединицу масе – дакле 1 kg паре, назива се специфични, или јединични унутрашњи рад турбине. Овако дефинисан однос поменутих радова се назива унутрашњи или индицирани степен искоришћења турбине. Конверзија енергије у турбини може се пратити помоћу h - s дијаграма, као на слици 3.6., где је приказан теоретски и стварни топлотни пад који се остварује услед експанзије паре у турбини.



Слика 3.6. Приказ експанзије паре у турбини

3.5.3. Термодинамичке основе

Добијање рада у топлотним моторима се одвија помоћу радног тела - флуида (гаса, паре односно течности или мешавине), чијим се променама стања у току процеса од доведене топлоте финално добија механички рад. То значи, да би се покренуо топлотни мотор мора му се доводити одређена количину топлоте из топлотног извора, која се у радном циклусу преводи у користан рад. Међутим, да би оваква машина давала рад перманентно, после извршеног рада мора се једна количина неискоришћене топлоте одвести из процеса да би се радно тело вратило у првобитно стање и процес почео изнова. Ово је директно повезано са Другим законом термодинамике из кога следи да осим топлотног извора, мора постојати и топлотни понор, коме ће се предати један део топлоте која представља чист, али и неизбежан губитак.

Опште гледано, сваки термодинамички циклус топлотног мотора се састоји из сабијања радног тела, довођења топлоте, ширења радног тела (при чему се добија рад) и одвођења једног дела топлоте. Наравно, за сабијање радног тела на почетку процеса потребно је уложити неки рад. Најједноставније је ако један део добијеног рада на крају процеса уложи у то сабијање, што оставља вишак, користан неискоришћени рад за покретање неке машине.

3.5.4. Елементи постројења

У парној турбини процес започиње увођењем воде у пумпу, која је сабија и диже њен притисак на жељену вредност. Затим се доводи топлота тако да вода у цевима постројења почиње да кључа, и најзад потпуно испарава, чиме се добија сувозасићена пара. Ако се након тога пара још загрева, каже се да турбина ради са прегрејаном паром. Пара се затим уводи у турбину и ту предаје део своје енергије ротору турбине, при чему јој пада притисак и шири се. Са једне стране цилиндра имамо затворен, загрејан гас под високим притиском (продукти сагоревања), док је са друге стране клипа нормалан, атмосферски притисак. Гас под високим притиском гура клип при чему се повећава запремина у којој је он заробљен, и тиме се гас шири и хлади. Тако пара која је обавила рад излази из турбине раширена и охлађена (и већ делимично кондензована), и сада је потребно додатно је охладити како би се вратила у почетно стање и кружни процес могао кренути изнова. Дакле, потребан је раније споменути топлотни понор, да преузме овај вишак енергије. У пракси то ће најчешће бити околина, поготово за велика постројења.

Користећи околни ваздух или воду из реке хладимо пару са изласка из турбине док се потпуно не кондензује. Затим вода може поново отићи у пумпу. То значи да пара на изласку из турбине мора бити нешто више температуре од околине, да би могла бити хлађена телима узетим из околине. Ово директно одређује величину одведене, "неопходно бачене" топлоте. Део постројења где се радно тело хлади и кондензује уз помоћ расхладне воде назива се кондензатор. У кондензатору влада притисак доста испод атмосферског, да би се кондензовање паре могло одвијати на температурама једва нешто вишим од температуре околне (а не на 100 степени Целзијуса као на атмосферском притиску). Турбине спадају у проточне машине које континуално дају рад, за разлику од клипних мотора који дају рад у "налетима". Радни флуид код парних турбина (ПТ) прима топлоту од спољашњег извора за разлику од, рецимо, дизел и бензинских мотора, где се топлота доводи изнутра - сагоревањем горива у самом радном телу (ваздуху), тако да ПТ није мотор са унутрашњим сагоревањем. Такође парна турбина има (најчешће) затворен циклус, где се радно тело изнова враћа у процес по његовом завршетку.

Битно је напоменути да се под паром не мисли на водену пару и ако је она највише у примени због практичних разлога доступности и цене. Парне турбине раде са живиним парама, са парама фреона и других расхладних течности. Теоретски гледано, циклус се може остварити са паром било које супстанце ако би он био у граници температура извора и понора. Ипак, велике индустријске и енергетске машине су пројектоване и грађене искључиво за рад са водом и воденом паром из практичних разлога.

3.5.5. Турбопостројење и парни блок

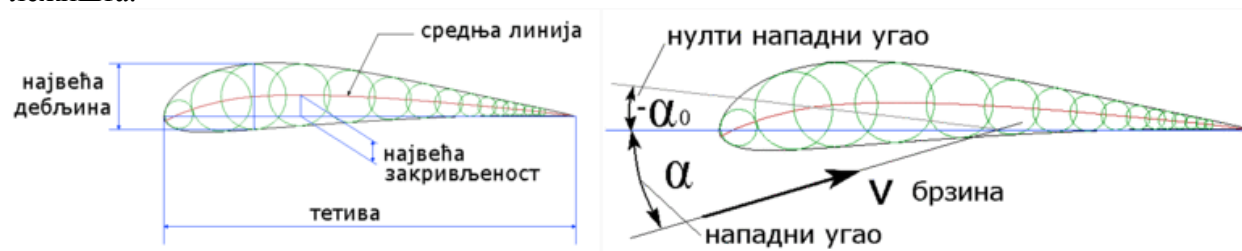
Радно тело се загрева у парном котлу где му се предаје већина топлоте добијена сагоревањем горива, најчешће фосилних. У том случају, загрејани продукти сагоревања представљају топлотни извор. Такође, може се користити отпадна топлота од неке друге машине или индустријског процеса. Код нуклеарних постројења вода, односно пара, загревају се топлотом добијеном у нуклеарном реактору. Парна турбина са кондензатором,

пумпама, цевоводима и осталом и опремом се назива турбопостројење. Турбопостројење заједно са парним котлом, односно са котловским постројењем назива се парни блок.

3.5.6. Принцип рада

Већ је напоменуто да се пара у турбини прерађује у једном или више корака и при томе се у сваком кораку искористи један део њене енергије. Ово се обавља у ступњевима турбине.

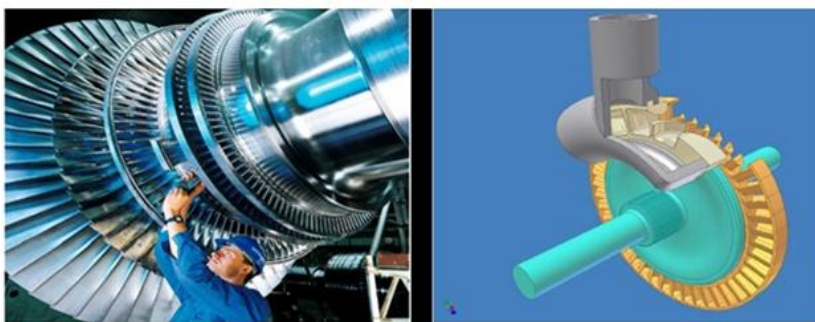
Степен турбине чине непокретна решетка преткола, причвршћена за кућиште и покретна решетка радног кола, спојена са вратилом. Под решетком се подразумева већи број идентичних аерофила постављених на истом међусобном одстојању. Код турбомашина се мисли на кружне решетке, где су лопатице (аерофилна тела) постављене осносиметрично. Лопатице радног кола заједно са вратилом чине ротор који се ослања на лежишта.



Слика 3.7. Основне геометријске карактеристике аерофила

Пара под високим притиском наилази прво на непокретне лопатице преткола. Оне скрећу струју паре и усмеравају је под одређеним углом. При томе се канали између лопатица сужавају и тиме се врши убрзавање струје паре. Тако пара бива скренута и приметно убрзана. Укупна енергија паре остаје иста, али се њена кинетичка енергија повећала на рачун енергије услед притиска и температуре. Тако је пара сада раширена, на nižем притиску и температури него пре почетка процеса. Овако убрзана пара сада струји преко покретних лопатица радног кола које је само скрећу. Ова промена смера струјања паре доводи до стварања силе која гура лопатице супротно од правца промене брзине паре, а пошто се оне могу слободно окретати са вратилом, то узрокује обртање ротора. Пара сада излази са мањим притиском и температуром, што значи да је један део енергије предат ротору као механички рад. Затим пара одлази у наредни ступањ где се процес одвија из почетка, и тако све до последњег ступња и уласка у кондензатор. Претходно описан процес се односи на акциони ступањ.

Реакциони ступањ је онај код ког се пара у радном колу не само скреће, него и додатно убрзава. Сваки од ове две врсте ступњева има своје мане и предности. Акциони ступњеви могу прерадити већу количину енергије при добром степену корисности, али се мора прибегавати специјалним конструкцијским решењима да би се смањио нежељени пролазак паре кроз зазоре између покретних и непокретних делова, што га чини и скупљим. Реакциони ступањ је једноставнији за израду али даје мању количину рада, па реакциона турбина мора имати већи број ступњева. Сврха постојања више ступњева је у следећем: ступањ се може израдити да убрзава пару до енормних брзина и да један ступањ прерађује огромну количину енергије; међутим, губици услед трења при овако великим брзинама би били јако велики - толики да би ступањ радио са изузетно ниским степеном искришћења.

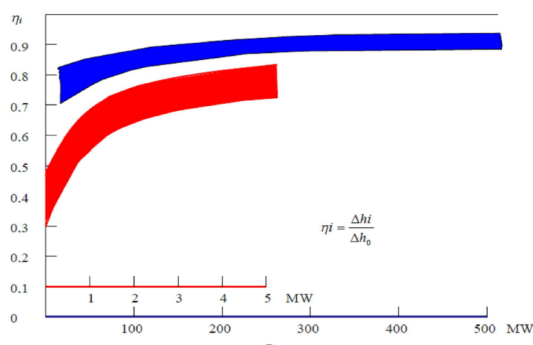


Слика 3.8 Ротор модерне парне турбине

Слика 3.9. Кертис парна турбина

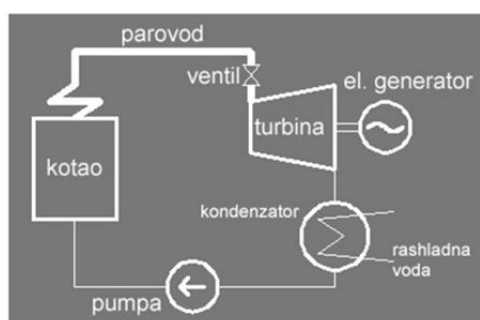
3.5.7. Степен корисног дејства

Степен искоришћења топлотних мотора представља однос добијеног рада и уложене топлоте по једном циклусу. Код конвенционалних постројења он се креће у распону 0.3 - 0.4. Повећање степена искоришћења нам пружа могућност већег искоришћења полазне енергије. Степен искоришћења се може повећавати довођењем топлоте при вишим температурама и притисцима, што је условљено развојем нових конструкционих материјала. Исто тако, повишење степена искоришћења се постиже одузимањем једног дела паре из турбине за потребе загревања воде пред улазак у котао. Код конвенцијалних блокова велике снаге пара на улазу у турбину је температуре око 500 - 550 ° С, са притиском од око 180 bara.



Слика 3.10 Унутрашње искоришћење турбине у зависности од снаге турбогенератора

Парне турбине се у енергетици често користе и за производњу топлоте, на пример за даљинско грејање. Ово се ради због тога што овакво постројење има већи укупан степен корисности производње топлоте и ел. енергије него код случаја одвојене производње.

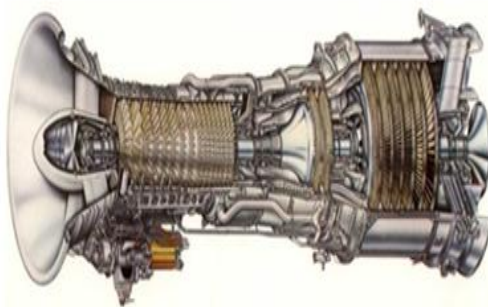


Слика 3.11 Шема постројења парне турбине

3.5.8. Гасна турбина

Гасна турбина је ротациона машина коју покреће енергија тока гаса произведеног сагоревањем горива. На предњем крају, гасна турбина има компресор а на задњем турбину, док су коморе за сагоревање између компресора и турбине.

Већина изведби гасних турбина категорише се као машине са унутрашњим сагоревањем, мада постоје и они које спадају у категорију машина са спољашњим сагоревањем. Ова врста турбина су у ствари машине које раде на погон топлим ваздухом.



Слика 3.12 Гасна турбина

На слици 3.12 је приказан изглед једне гасне турбине.

Патент за гасну турбину какву познајемо данас, регистровао је Енглец, *ser Frank Whittle* 1930. године. Његов патент односио се на гасну турбину за погон ваздухоплова - млазног авиона. Користећи његов патент и допринос научника *Coleya* и *Mossa*, компанија *Whittle* је развила ефикасну и употребљиву гасну турбину.

3.5.9. Технолошки опис гасне турбине

Гасна турбина ради на принципу термодинамичког циклуса познатог као Брајтонов циклус. У овом циклусу, атмосферски ваздух се компримира - сабија, загрева у коморама за сагоревање, затим пролази експанзију у турбини, где захваљујући додатној енергији ослобођеној из сагорелог горива ослобађа више снаге него што је потребно за покретање компресора, односно за први део циклуса - компресију.

Снага произведена експанзијом гаса у турбини а коју добрим делом троши компресор, пропорционална је апсолутној температури гаса који пролази кроз лопатице турбине. Због тога је најефикасније користити гасну турбину на највишим практично могућим температурама гаса на лопатицама турбине коју омогућују материјали и технологија унутрашњег хлађења лопатица турбине, а истовремено компресор треба да усисава ваздух што је могуће ниже температуре. Како је временом технологија материјала дозвољавала све више температуре на улазу у турбинско коло, постизан је све повољнији однос притиска ваздуха на излазу из компресора и температуре ваздуха на улазу у коморе за сагоревање.

Већи притисци и температуре директно утичу на већи коефицијент корисног дејства и већу специфичну снагу турбине (однос тежине турбине и излазне снаге). Због тога је општи тренд развоја гасних турбина стално усмерен на комбинацију што виших температура и притисака. Медутим, то поскупљује производњу, али доноси и већу економску корист код коришћења турбине. Савремене индустријске турбине имају избалансирани однос између перформанси и цене који даје максимално економичну машину са аспекта како произвођача, тако и корисника.

Издувни гасови гасне турбине имају врло високе температуре, 450 до 5500° C, а код најновијих модела и преко 6500° C. Тако високе температуре допуштају утилизациону употребу издувних гасова - у утилизационим котловима за производњу водене паре, која се даље користи за погон парне турбине. Овај систем - комбинација гасне и утилизационе парне турбине врло често се примењује, чиме се повећава економичност постројења.

Механички посматрано, гасна турбина је мање комплексан уређај од клипних мотора са унутрашњим сагоревањем. Једноставији модели гасних турбина имају само један покретни део: осовину, на којој се налазе компресор и турбина (овде није разматран систем за напајање турбине горивом као ни уређаји за пренос снаге са турбине на погоњењи уређај). Међутим, потребна прецизност израде делова и коришћење легура отпорних на високе температуре које су неопходне за постизање високе ефикасности, често чине производњу гасних турбина, чак и једноставнијих модела, компликованијом од производње клипних мотора са унутрашњим сагоревањем. Гасна турбина има три основна дела: компресор, коморе за сагоревање и турбину.

3.5.10. Компресор и турбина

Компресор и турбина спојени су осовином преко које турбина преноси ротациони моменат на компресорска кола, те ћемо их описати заједно. Код простијих изведби гасних турбина постоји само једна осовина, док изведба twin spool турбине има две осовине (једна у другој), од којих дужа спаја компресор ниског притиска са турбином ниског притиска, а краћа (спољна осовина већег пречника) спаја компресор високог притиска са турбином високог притиска. Спољна (краћа) осовина има у овој изведби много већи број обртаја од дуже (унутрашње). Постоје и изведбе гасних турбина са три осовине једна у другој, са истим принципом рада. Компресори на гасним турбинама могу да буду аксијални, радијални, или комбиноване изведбе. Радијални (центрифугални) компресори код којих је излаз компримираног ваздуха по ободу лопатичног кола су робустни, мање коштају али су ограничени на однос компресије до 6 или 7:1, што није довољно за ефикасан рад модерних турбина. Примењивани су на старијим гасним турбинама, а данас се примењују само на турбинама мање снаге.

Аксијални компресори код којих је излаз компримираног ваздуха паралелан са осом машине су ефикаснији, већег капацитета и данас се, иако скупљи, углавном примењују на гасним турбинама. Аксијални компресор турбине најчешће има више степени - парова ротационих компресорских кола и статорских кола за усмеравање тока ваздуха на лопатице следећег степена. У принципу је лакше пројектовати и произвести турбину него компресор, јер је технички гледано лакше постићи експанзију врелог ваздуха него компресију хладног ваздуха. Турбине обично захтевају мањи број степени - парова ротационих турбинских и статорских кола од аксијалних компресора.. Пројектовање и израда турбине је компликована због потребе да се користе материјали који имају дуг животни век при раду у струји врелог ваздуха. Најкритичнији је први степен турбине, где је температура највиша. Посебним системима хлађења турбинских кола постиже се да материјал лопатица турбине, који се топи на око 10000° C ефикасно ради неколико хиљада сати на температури врелог ваздуха од преко 16000° C. У коморама за сагоревање одвија се мешање ваздуха са горивом и сагоревање горива, развијају се врели гасови - продукти сагоревања, који се усмеравају на турбину. Коморе за сагоревање морају да испуне многе технолошке захтеве, чија важност се разликује у зависности од места примене и врсте гасне турбине. Наравно да су неки од тих захтева противуречни са неким другим, па се увек тражи оптимални однос потреба и могућности, цене и ефикасности као и задовољавање потреба за заштитом животне средине од гасова на излазу из турбине. Ти захтеви су следећи:

1. Висока ефикасност сагоревања у свим радним режимима;
2. Низак ниво несагорелих угљоводоника, угљен монооксида, мало оксида и нитрата на високом радном режиму, мало видљивог дима (минимално загађење животне средине);
3. Мали губитак притиска гасова, уобичајени губитак је 3-5 %;
4. Сагоревање мора бити стабилно при свим радним режимима;
5. Поуздано паљење горива на ниским температурама као и на великим надморским висинама (за авионске турбине);
6. Равномерно сагоревање горива;
7. Мале варијације температуре гасова - за дужи животни век турбине;
8. Животни век коморе од неколико хиљада радних сати;
9. Могућност коришћења више врста горива - природни или земни гас и дизел гориво за индустријску примену, керозин за примену у авијацији;
10. Дужина и пречник погодни за габарите комплетне турбине;
11. Минимална цена, минимално одржавање и оправке;
12. Минимална тежина (за примену у авијацији).

Комора за сагоревање састоји се од три основна дела - кућишта, пламене цеви и система за убризгавање горива. Кућиште мора да издржи цикличне притиске и може да буде део спољњег оклопа гасне турбине. Унутар кућишта налази се систем за убризгавање горива и пламенацев релативно танких зидова у којој се одвија мешање горива са ваздухом и сагоревање.

3.5.11. Загађење животне средине које изазива гасна турбина

Ако издувне гасове гасне турбине упоредимо са издувним гасовима осталих мотора, на пример са дизел или бензинским мотором, мерењима и испитивањима утврђено је да гасна турбина примењена на нивоу тла производи мање полутаната - угљен монооксида, несагорелих угљо-водоника, оксида сумпора и азота, дима и чађи.

3.5.12. Перформансе, предности и мане

Гасне турбине се производе у распону излазне снаге од неколико стотина киловата (kW) до неколико стотина мегавата (MW), у зависности од примене.

Температура гасова који погоне гасну турбину једнак је од најважнијих карактеристика овог уређаја. Осим погонске енергије за главну намену уређаја, издувни гасови гасних турбина садрже још увек велику количину енергије погодну за примену у многим комбинованим системима енергија-топлота. Најчешће се ова енергија, да не би отишла у неповрат, користи у генераторима паре (парним котловима) а касније за производњу електричне струје. Исто тако, ова енергија се користи за потребе грејања воде, горива и просторија, што знатно подиже укупни коефицијент корисног дејства гасних турбина.

Температуру издувних гасова гасне турбине одређује комбинација два фактора температуре паљења горива у коморама за сагоревање и компресионог односа компресора. Типичне аеро-изведене турбине имају вишу температуру паљења горива од индустријских турбина, али када се у обзир узме и компресиони однос и укупна количина компримираног ваздуха, температура издувних гасова код ове две врсте турбина је подједнака - на нивоу од 4500° до 5500° C.

У пракси, треће и турбуленција гасова на колима компресора и турбине код гасних турбина узрок су следећих појава:

- компресија ваздуха у компресору није идеална - изентропска, па је због тога температура ваздуха на излазу из компресора виша од идеалне;

- експанзија гасова на лопатицама турбине такође није изентропска, што смањује степен искоришћења енергије садржане у врелим гасовима;
- појављују се губици притиска на усису ваздуха, у коморама за сагоревање и на издуву, што опет смањује степен искоришћења турбине.

Критични делови у конструкцији гасне турбине су лежајеви - традиционално се производе као хидро-динамички уљни лежајеви или уљем хлађени котрљајући лежајеви. Много су ефикаснији клизни лежајеви који се последњих 20-ак година успешно примењују на мањим турбинама, посебно код микро-турбина.

Ефикасност гасних турбина умногоме зависи од тога да ли се издувни гасови испуштају у атмосферу или се даље користе за погон утилизационих уређаја, јер гасови на испусту са собом односе између 60 и 70 % укупне енергије сагорелог горива.

Технологија производње гасних турбина константно напредује и има тенденцију даљег напретка, посебно применом информационих технологија (нарочито је важна примена апликација које раде на бази методе коначних елемената у пројектовању), што резултује производњом све мањих а ефикаснијих турбина, ефикаснијим сагоревањем горива и бољим хлађењем делова турбине. Ако посматрамо емисију гасова у атмосферу, технолошки изазов за будућност је тежња да врели гасови буду што више температуре на улазу у турбинско коло, али да се смањи температура сагоревања горива, посебно да не буде "вршних" температура у коморама за сагоревање, јер ови "врхови" повећавају проценат оксида азота у издувним гасовима који су значајан загађивач животне средине.

3.5.13. Предности и мане гасних турбина

Предности гасних турбина у односу на остале погонске машине су: -веома висок однос снага/тежина:

- мањи габарити у односу на остале погонске машине исте снаге;
- кретање у само једном правцу, са много мање вибрација;
- мање покретних делова;
- мањи радни притисак;
- већа радна брзина;
- мања цена подмазивања и мања потрошња уља.

Осим набројаних предности, гасне турбине имају и одређене недостатке када их поредимо са осталим погонским машинама:

- висока цена;
- мањи коефицијент корисног дејства, посебно на нижим режимима рада и празном ходу;
- дуже време потребно за стартовање;
- слабији и спорији одзив на захтев за променом радног режима.

Број обртаја осовине гасне турбине је врло висок када се упореди са осталим погонским машинама. У принципу важи правило - што мања гасна турбина, то већи број обртаја. Тако велике турбине имају број обртаја 10.000 - 30.000 о/мин, а гасне микро-турбине чак и до 100.000 о/мин. Код примене гасних турбина у верзији погона преко осовине турбине, врло високи излазни број обртаја смањује се на број обртаја који одговара погоњеном средству разним врстама редуктора.

Гасна турбина није много захтевна по питању одржавања у погону, посебно новије турбине које немају систем уља за подмазивање. Међутим, велика пажња се полаже на преглед и инспекцију турбине пред свако стартовање. Том приликом нарочито се детаљно прегледају лопатице компресора, а лопатице турбинских кола још пажљивије.

Најекономичнија примена гасне турбине за производњу електричне струје је у комбинованом циклусу снага-снага, значи у комбинацији гасне и парне турбине, на који начин се степен корисног дејства постројења подиже и изнад 60 % (0,60). Ако се за ову намену користи турбина обичног циклуса, овај коефицијент износи само 40 % (0,40) .

3.5.14. Мотори са унутрашњим сагоревањем

Клипни мотори који се користе у когенерацији су мотори са унутрашњим сагоревањем и раде на истом принципу као и бензински и дизел мотори у аутомобилима. Иако је систем концептуално сличан гасној турбини, постоје битне разлике. Клипни мотори постижу већу енергетску ефикасност, али је теже коришћење топлотне енергије коју производе, јер је она, углавном, на нижим температурама и расута између издувних гасова и система за хлађење мотора.

Постоје две врсте мотора, сврстане по начину паљења, а то су Отто и Дизел.

Мотори који немају спољни извор паљења горива (дизел) користе се обично за велике когенерације, а углавном су четворотактне машине са директним убризгавањем, опремљене турбомењачем и међухладњцима. Дизел мотори могу да раде са лож уљем, мазутом и природним гасом. Мотор је, заправо, у двојном моду горива пошто мала количина уља за ложење (око 5 % уноса топлоте) мора да се убризгава са гасом да би се осигурало паљење. Мотор може да ради са гасом само ако му је обезбеђено непрекидно снабдевање гасом. Ефикасност им је од 35-45 % а излазни опсег је до 15 MW. Расхладни системи су сложенији него код мотора који се пале преко варнице и температуре су ниже од 80 °C, чиме се ограничава излазна топлота. Нивои вишка излазног ваздуха су велики.

Мотори који се пале на варницу (Отто) представљају деривате њихових еквивалентних дизел мотора. Они, такође, могу користити издувне гасове у сврху прикупљања топлоте.

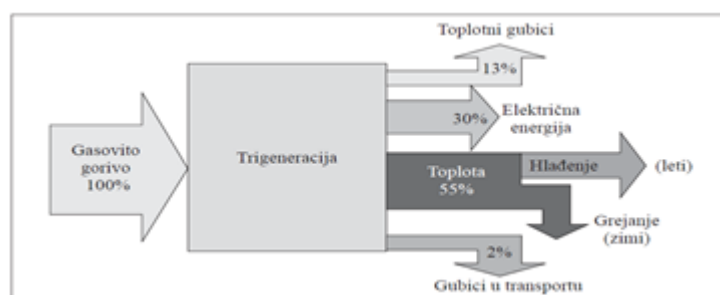
Ефикасност је нижа него код мотора који се пале на компресију, између 27-35 %, а излазни опсег ограничен је на максималних 2 MW. Нови мотори који се пале на варницу изнад 3 MW користе преткомору где је смеша стехиометријска. Мали мотори немају комору и они се називају конвенционални. Мотори са преткомором имају ефикасност 44 %. Степен корисности мотора који се пале на варницу износи 83 % и мало је мањи него код дизел мотора. Они су погодни за мање, једноставније инсталације, често где се топлота хлађења и издувних гасова каналише заједно са отпадном топлотом котла, обезбеђујући ниску или средњу температуру топлоте воде.

3.5.15. Когенерацијска постројења са комбинованим циклусима

Неки велики системи (излазна снага генерално већа од 3MW) комбинацију гасне турбине и парне турбине, где се врели издувни гасови из гасне турбине користе за производњу паре за парне турбине. Ово се назива комбиновани циклус. Системи комбинованих циклуса гасне турбине су усвојени од стране јавних комуналних предузећа у којима су залихе природног гаса у изобиљу о чему сведочи и чињеница да су већ изграђене електране снаге до 1.800 MW. У когенерационој примени, издувна или пропуштена пара из парне турбине се користи за даљи поступак или друге могућности грејања. Главна предност когенерације је њена већа укупна ефикасност у производњи електричне енергије, у поређењу са описаним алтернативама. Комбиновани циклуси са гасним турбинама су најчешће случај, али, такође, могу бити пројектовани и за дизел моторе. Постоји најмање пет модела који се спроводе у свету.

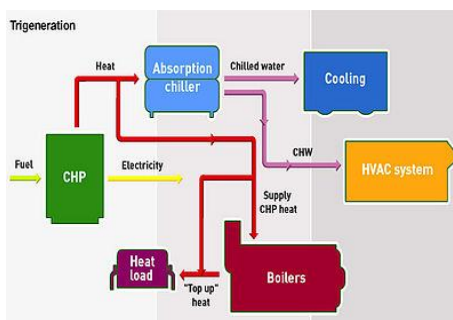
4. Тригенерација

Тригенерација (engl. *trigeneration* - **Combined Heat, Cooling and Power production** ili **CHCP**) је истовремена производња топлоте, електричне енергије и хладноће. Омогућава подизање степена искоришћења енергије примарног извора, а то могу бити хемијска енергија, фосилно гориво, или соларна енергија. Под тригенерацијом подразумева се комбинована производња електричне енергије и топлоте за грејање и хлађење. Систем тригенерације производи ова три корисна облика енергије трошећи као примарни извор енергије гас. Електрична енергија произведена гасним мотором користи се за потребе уређаја и осветљења зграде, као и за погон опреме потребне за грејање и хлађење. Користи се и велики део отпадне топлоте из расхладне воде мотора и издувних гасова. Добијена топлота у зимском периоду може да се директно користи за грејање, а у летњем периоду за погон апсорпционих чилера. Иако су инвестициони трошкови система са тригенерацијом већи, они су економични у односу на системе у којима се електрична енергија и топлота за грејање и хлађење производе одвојено.



Слика 4.1. Биланс система тригенерације

Као и код когенерације отпадна топлота је нуспродукт који је резултат производње електричне енергије те се на најбољи начин жели искористити такав "отпадни" облик енергије у Конвенционалне термоелектране претварају само 1/3 хемијске у електричну енергију. Остатак се изгуби на загревање. Термоелектрана због таквог расипања топлотне енергије који има неповољан утицај на околину мора повећати искористивост производње електричне енергије или неког другог облика енергије. Једна од метода побољшавања производње електричне енергије је когенерација (Combined Heat and Power ili CHP), где се више од 4/5 енергије из фосилних горива претвара у искористиву енергију (електричну и топлотну), а резултат је уз економичност и еколошки прихватљивија производња. У климатски топлијим подручјима или у врућим летњим месецима појављује се потреба за хлађењем различитих објеката, али и у различитим производним индустријским процесима где су потребне ниске температуре. Због тога је било потребно проширење ЦХП технологије.



Слика 4.2. Шема тригенерационог система

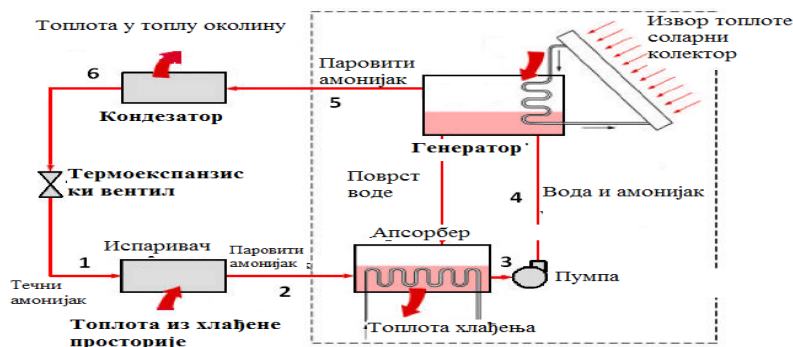
Комбиновањем когенерацијског постројења с апсорбционим расхладним системом могуће је искористити сезонске вишкове топлоте за добивање расхладне енергије, чиме се побољшава економичност. Помоћу оваквог концепта, могуће је достићи укупну ефикасност процеса до 75% (електрична и расхладна енергија). Такав процес назива се тригенерација (**Combined Heat, Cooling and Power production** или **CHCP**). Топла вода или загрејани испусни гас из когенерацијског постројења служи као покретачка енергија за апсорпционе расхладне уређаје. На тај начин се може више од 80 % топлотне енергије претворити у расхладну воду која се затим доводи до потрошача.

4.1 Тригенерација–когенерација с апсорпцијским уређајима (APY)

Када се когенерацијско постројење (плински мотор + генератор) повеже на апсорпцијске расхладне уређаје (APY) тј. чилере, остварен је тригенерацијски систем за производњу топлотне, расхладне и електричне енергије унутар јединственог погона. У летњем периоду, за потребе и могућности потпуног енергетског покривања климатизације (хлађења) планирани тригенерацијски систем (TRC) може из когенерације (гасни мотор радом стално производи електричну струју те одаје отпадну топлоту), преко два једностепена апсорпцијска расхладна уређаја (APY) на врућу воду, који као расхладну радну супстанцу користе бинарну смесу литијум бромид-вода ($\text{LiBr}/\text{H}_2\text{O}$). Врућа вода ($70\text{--}90^\circ\text{C}$) за погон генератора паре апсорпцијских расхладних уређаја (APY) припрема се у дизајнираним измјењивачима топлоте, којима се потребна топлота доводи из гасова и супстанци воденог хлађења плинског мотора. Како је за остваривање укупно потребног расхладног учинка потребно довести више топлоте, плински мотор може радити с оптерећењем 85%, јер се тиме може остварити потребна енергетска вредност комфорног хлађења из отпадних топлота.



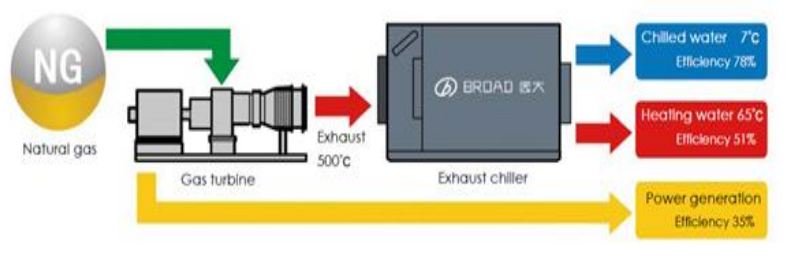
Слика 4.3 . Слика 4.4. Апсорпцијски расхладни уређаји (APY)



Слика 4.5. Апсорпцијски расхладни уређаји (APY)

Како би се топлотне енергија "претворила" у расхладну енергију, користи се уређај познат и као апсорпциони чилер или хладњак. За разлику од "уобичајених" хладњак, апсорпциони хладњак уместо механичког користи термички компресор. Ови уређаји за свој рад као радну снагу покреће мешавина две материје, од којих је једна расхладна материја која циркулише кроз испаривач и кондензатор, док друга радна материја, мора имати могућност да отопи, односно, апсорбује прву радну супстанцу од куда уређају и име. Као радни флуид користи се комбинација амонијака и воде, где вода представља растварач док амонијак кружи, или лити бромиде LiBr (или NH₃) и воде где лити бромид LiBr представља растварач док вода кружи. Основе рада уређаја дате су на слици 4.6 (у додацима) 1-

Процес започиње у ИСПАРИВАЧУ преко којег струји топао ваздух, при чему радна супстанца која на испаривач долази у течном облику, преузима топлоту од ваздуха те испарава истовремено хладећи топли ваздух, 2-3 Гасовити радни флуид улази у АПСОРБЕР где се отапа у другој супстанци при чему се ослобађа топлота, 3-4 Мешавина се тада помоћу ПУМПЕ шаље у ГЕНЕРАТОР, 4-5 у генератору се додаје топлотна енергија при спољном ваздуху (који струји преко кондензатора) при чему се кондензује, односно долази до њеног растапање чиме је процес заокружен (након што течност прође још кроз термоекспанзиски вентил у којем се редукује радни притисак). Чему долази до испаравања прве материје из друге материје (испарења), 5-6 Гасовити радни флуид улази у КОНДЕНЗАТОР где предаје топлоту у топлу околину.



Слика 4.6 Пример система тригенерације

4.2 Расхладни торањ

Расхладни торањ (engl. cooling tower) се најчешће користи за преузимање топлоте код водом хлађеног кондензатора системом хлађења, климатизације и уређаја процесне индустрије. Потрошња воде (морске) у расхладном торњу је само око 5% потрошње у једним пролазу измене топлоте, што овакав систем чини најјефтинијим за рад са расхладном водом (чија се расхладна енергија плаћа). И губици загрејане воде су врло мали, чиме су смањене негативне последице за околину. Расхладни торњеви могу охладити расхладну воду, која у савременој техници хлађења има врло важну улогу за 3-6°C. Когенерацијско/тригенерацијски системи могу се покретати и из обновљивих извора енергије, нпр. биоплина или биогорива. Код биоплинског когенерацијског постројења, за функционални рад система потребна је топла вода за загревање биомасе у дигестору (ферментору) те се у ту сврху може искористити део когенерацијске топлотне енергије (водено хлађење мотора/генератора, хлађење моторног уља и сл.). Као биогориво могуће је користити зелени биодизел из кукуруза, уљане репице, посебно узгајаних алги и сл.. Таква се топлотна енергија може користити за производњу процесне паре, загријавање воде или ваздуха, у процесу тригенерације, где се дио енергије (испушни плин timer)

користи и за хлађење. Дакле, основна предност тригенерације је да повећана ефикасност енергента у односу на конвенционалне електране, које служе само за производњу електричне енергије и индустријске системе који служе само за производњу паре или вруће воде за техничке процесе. Комерцијално данас доступне когенерацијске технологије су парне и плинске турбине, микротурбине, мотори с унутрашњим сагоревањем (плински, Отто, дизел, биоплински), Стирлингов мотор и гориви чланци, у широком распону електричне снаге од 1 kW (Stirling) до 250 MW (плинске турбине) и више (плински мотори). Познатији светски произвођачи когенерацијских енергана су Caterpillar, Jenbacher, MWM, York, Trane, McQuay, Deutz, Carrier itd. Укупна ефикасност когенерације просечно износи 70-85% (27-45% електричне и 40-50% топлотне енергије) за разлику од конвенционалних електрана, где је укупна ефикасност 30-51%, наравно само електричне енергије.

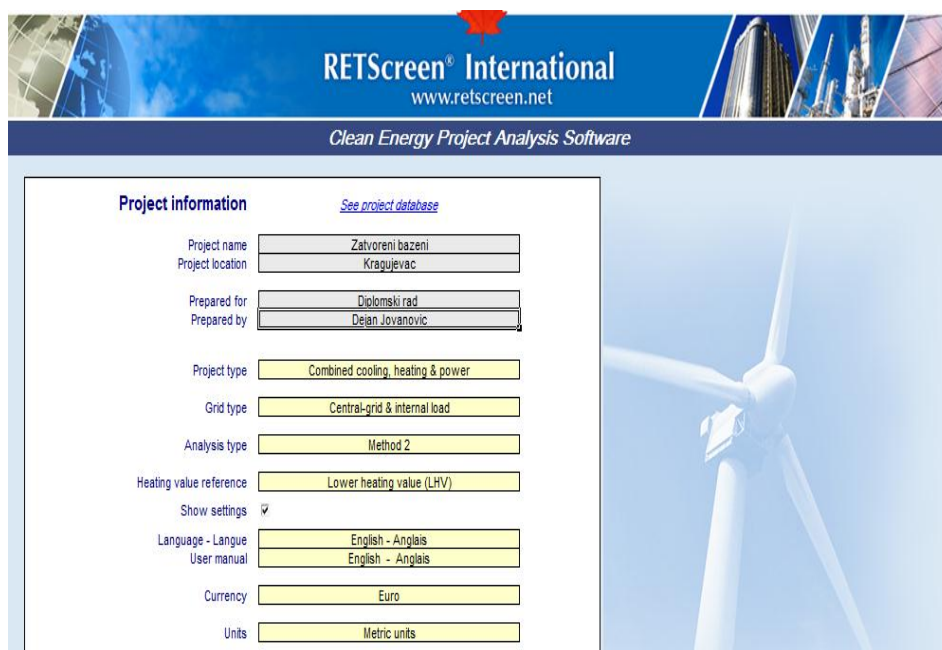
4.3. Соларно апсорпцијско хлађење

Као један од извора топлотне енергије, који се може користити у апсорпцијском чилеру је и топлотна енергија добијена сунчевим зрачењем. Оваквим системом добија се CO₂ неутрално хлађење, за разлику од вентилатора са механичким компресором, који користи електричну енергију за свој рад. Иако је за рад пумпе потребна електрична енергија, уштеда према класичним расхладницима је изузетно велика те се за напајање пумпи може користити и енергија добијена из фотонапонског система чиме овакав систем постаје у потпуности енергетски независан. Иако су могућности примене ових уређаја велике, од примене на местима где не постоји приступ електроенергетској мрежи, местима где је снабдевање електричном енергијом непоуздана и нестабилна, те на местима где постоји велики број сунчаних дана, њихова примена је тренутно због изузетно високих инвестиционих трошкова и дугог времена отплате ограничена. Са растућим ценама енергената, те са све већим улагањима у развој технологија за коришћење соларне енергије, што последично значи и повољнију и доступнију технологију у будућности, може се очекивати прво већа и шира примена ових система у комерцијалним апликацијама, што након тога последично значи и појаву ових система у малопродаји. Нажалост, време када ћемо се моћи сам захваљујући сунцу, грејати, хладити и гледати TV у сопственом дому, морамо још причекати једно извесно време.

5. Програмски пакет RETScreen

RETScreen је светски софтвер за подршку при доношењу одлука у области “чисте” енергије. Овај програмски алат омогућава инжењерима, архитектама као и финансијским стручњацима да утврде финансијску исплативост пројекта из области обновљиве енергије, енергијске ефикасности, когенерације или тригенерације. Сам софтвер се састоји од одређеног броја радних листова које корисник током рада попуњава. Осам радних листова (Start, Energy Model, Load & Network Design (Load & Network), Equipment Selection, Cost Analysis, Greenhouse Gas Emission Reduction Analysis (GHG Analysis), Financial Summary, Sensitivity and Risk Analysis (Sensitivity) и Tools) су дати у CHP Excel фајлу. У даљем делу рада биће више речи о сваком радном листу посебно и то за случај конкретног, у раду разматраног проблема.

5.1 Радни лист Start



Project information [See project database](#)

Project name: Zatvoreni bazeni
Project location: Kragujevac
Prepared for: Diplomski rad
Prepared by: Dejan Jovanovic
Project type: Combined cooling, heating & power
Grid type: Central-grid & internal load
Analysis type: Method 2
Heating value reference: Lower heating value (LHV)
Show settings: ☒
Language - Langue: English - Anglais
User manual: English - Anglais
Currency: Euro
Units: Metric units

Слика 5.1. Почетни прозор програма **RETScreen**

Први радни лист је Старт, приказан на сл. 5.1. у који се уносе подаци о пројекту: име, локација, тип пројекта, валута, тип електро-дистрибутивне мреже, клима. За тип пројекта се узима тригенерација односно Combined Heat, Cooling and Power production или CHCP. Тип мреже за коју је прикачено постојење представља централну мрежу и унутрашње постојење. За тип анализе се скоро увек узима метода 2 из простог разлога што се у старту отварају нове картице у старту две више него при методи 1, ово нам већи број картица додаје и прецизнији излазни подаци. Language (језик) се може бирати од зависности од самог корисника, овде је изабран енглески само зато што сам програм нема све адекватне преводе на српском језику. Валута (Currency) је узет euro самим тим све касније унете инфорамције морају бити унуте у односу на евро. Јединице (Units) приказане су метрички.

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	43.7	43.7
Longitude	°E	20.7	20.7
Elevation	m	217	217
Heating design temperature	°C	-7.9	
Cooling design temperature	°C	31.0	
Earth temperature amplitude	°C	20.6	

Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m²d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
January	0.3	81.6%	1.64	94.4	1.3	-2.0	549	0
February	1.9	74.6%	2.39	94.2	1.6	-0.4	451	0
March	6.2	68.4%	3.36	94.1	2.0	4.7	366	0
April	11.6	66.7%	4.11	93.9	1.9	10.0	192	48
May	16.5	69.1%	4.96	94.1	1.5	15.7	47	202
June	19.4	70.5%	5.63	94.1	1.3	19.5	0	282
July	21.6	68.5%	5.92	94.1	1.2	22.2	0	360
August	21.4	68.1%	5.26	94.2	1.2	22.2	0	353
September	16.8	73.8%	3.85	94.3	1.3	17.0	36	204
October	11.8	77.6%	2.64	94.5	1.5	11.1	192	56
November	5.7	79.7%	1.60	94.3	1.7	4.3	369	0
December	1.4	82.9%	1.32	94.4	1.5	-0.9	515	0
Annual	11.3	73.5%	3.56	94.2	1.5	10.3	2,716	1,504
Measured at	m				10.0	0.0		

Слика 5.2. Локација Краљево

Што се тиче локације пројекта, RetScreen као програм нема могућност да изабере Крагујевац као локацију, него је узета најближа могућа, а то је Краљево. Познато је да се клима у ова два града не разликује баш много, па је овакав избор могућ и оправдан. На слици су приказани параметри града Краљева: географска ширина, географска дужина, елевација, пројектована температура грејања, пројектован температура хлађења, амплитуда температуре земље, као и средње вредности које дефинишу временске прилике (температура, влажност, притисак, брзина ветра, итд.).

RETScreen Load & Network Design - Combined cooling, heating & power project		
Heating project		Unit
Base case heating system		Single building - space heating
Heated floor area for building	m²	3,072
Fuel type		Natural gas - m³
Seasonal efficiency	%	70%
Heating load calculation		
Heating load for building	W/m²	120.0
Domestic hot water heating base demand	%	50%
Total heating	MWh	1,349
Total peak heating load	kW	368.6
Fuel consumption - annual	m³	204,188
Fuel rate	€/m³	0.300
Fuel cost	€	61,256
Proposed case energy efficiency measures		
End-use energy efficiency measures	%	5%
Net peak heating load	kW	350.2
Net heating	MWh	1,282

Слика 5.3. Радни лист (Load & Network)

За пројекат грејања неопходно је унети податке о броју зграда, површини, врсти горива која се користи, цени горива и сл. Објекат у коме се налази затворени базен у Крагујевцу у саставу је Спортског центра Парк и има површину од 5600 m² у пројекту је узета вредност од 3072 m² коју чине приземље и први спрат док подрум од 2528 m² нисмо узели у разматрање из саме чињенице да се у њему налазе постројења и да на њих не одлази велика количина електричне енергије. Базени су почели са радом крајем децембра 2011. године. За загревање се користи природни гас, чија је цена у тренутку израде овог рада 0.3 €/m³, са тенденцијом раста у наредном периоду. Због поједностављења прорачуна сва потребна топлотна енергија (топлотна енергија за загревање воде базена, санитарне воде, као и енергија потребна за радијаторско и подно грејање) сведена је на топлотно оптерећење по јединици површине. Тренутно се ова енергија добија из два извора: из електричне енергије централне мреже и коришћењем природног гаса. Подаци су узети за целокупну годину тј. за 12 месеци. На овом радном листу су унете поршина подног грејања за зграде, тип горива, сезонска ефикасност, оптерећење грејања за зграду, основна потреба за загревањем топле воде, потрошња горива – годишња, Проток горива, Трошкови горива. Као тип горива за грејање уносимо природни гас, површину грејања

смо предходно објаснили, сезонска ефикасност код нових зграда износи од 60-80% узета вредност у овом случају је 70%, основна потреба за загревањем топле воде износи око 50%. Трошкови горива код изабраног модела износе 61 256 € резултат је испао одговарајућ јер је симетричан са вредностима који су добијени за дванаест месеци потрошње у затвореним базенима.

Cooling project	Unit	
Base case cooling system		
	Single building - space cooling	
Cooled floor area for building	m²	1,000
Fuel type	Electricity	
Coefficient of performance - seasonal	3.00	
Cooling load calculation		
Cooling load for building	W/m²	80.0
Non-weather dependant cooling	%	0%
Total cooling	MWh	147
Total peak cooling load	kW	80.0
Fuel consumption - annual	MWh	49
Fuel rate	€/kWh	0.052
Fuel cost	€	2,543
Proposed case energy efficiency measures		
End-use energy efficiency measures	%	5%
Net peak cooling load	kW	76.0
Net cooling	MWh	139

Слика 5.4 Модел хлађења система

За модел хлађења система су попуњене картице површина подног хлађења по згради, тип горива, коефицијент перформанси – сезонски, прорачун оптерећења хлађења, оптерећење хлађења по згради, хлађење независно од времена. Гориво за хлађење у овом моделу је струја цена горива износи 2543 €. Код овакве врсте објекта, са доста стаклених површина, топлотно оптерећење износи 120 W/m². Мера енергетске ефикасности износи 5% .

Power project		Unit			
Base case power system					
Grid type		Central-grid & internal load			
Base case load characteristics					
	Power gross average load	Power net average load	Cooling average load	Heating average load	
Month	kW	kW	kW	kW	
January	119	119	0	322	
February	101	101	0	255	
March	95	95	0	181	
April	95	93	6	126	
May	90	82	25	79	
June	79	67	36	62	
July	88	73	44	62	
August	63	49	43	62	
September	96	87	26	75	
October	104	102	7	122	
November	90	90	0	197	
December	88	88	0	267	
System peak electricity load over max monthly average		40.0%			
Peak load - annual		167	140	80	369
Electricity	MWh	819	770		
Electricity rate - base case	€/kWh	0.052	0.052		
Total electricity cost	€	42,592	€	40,048	

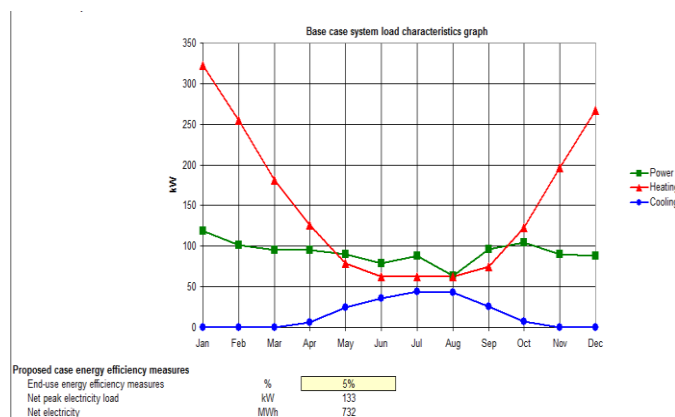
Слика 5.5. Пројекат електричне енергије

Током израде рада били су доступни подаци о потрошњи електричне енергије за дванаест месеци у 2012. и 2013. години што је приказано. Унета је и цена струје 0.052 €/kWh.

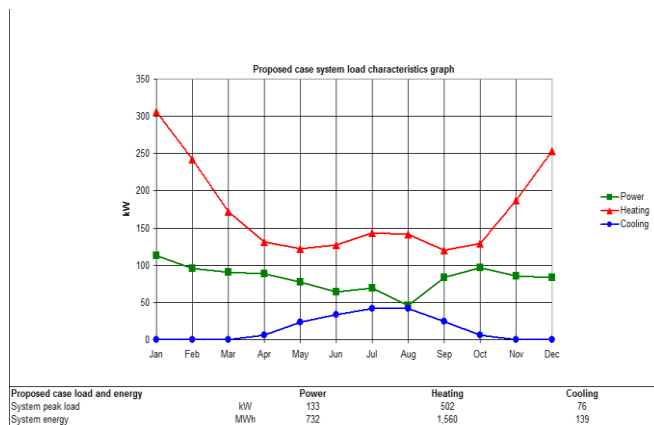
Proposed case load characteristics

Month	Power net average load kW	Power for cooling kW	Power system load kW	Cooling system load kW	Heating net average load kW	Heat for cooling kW	Heating system load kW
January	113	0	113	0	306	0	306
February	96	0	96	0	242	0	242
March	90	0	90	0	172	0	172
April	88	0	88	6	120	12	131
May	78	0	78	24	75	47	122
June	64	0	64	34	59	68	127
July	70	0	70	42	59	84	143
August	46	0	46	41	59	83	142
September	83	0	83	25	71	49	120
October	97	0	97	7	116	13	129
November	86	0	86	0	187	0	187
December	84	0	84	0	254	0	254
Peak load - annual	133	0	133	76	350	152	502

Слика 5.6. Основне карактеристике на годишњем нивоу



Слика 5.7. График карактеристика



Слика 5.8. Дијаграм потрошње енергије

На слици 5.8 дат је дијаграм потрошње енергије. Плавом бојом приказана је потрошња електричне енергије, зеленом топлотне енергије а црвеном бојом потрошња енергије за хлађење. Са дијаграма се јасно види да су највећи захтеви за енергијом затвореног базена Спортског центра Парк усмерени ка топлотној енергији, што је и логично (велика потрошња топле воде за загревање самог базена, за потребе санитарне воде као и грејања-радијаторског и подног). Такође, може се видети зависност потрошње топлотне енергије од периода године. Највећа потрошња је током зимског периода, у децембру, јануару и фебруару. Током летњег периода би се смањила потреба за топлотном енергијом, са минимумом у јулу и августу. Супротно томе, током зимских месеци није потребно расхлађивање просторија. Потреба за расхлађивањем се јавља крајем априла и почетком маја, да би максимум био забележен у јулу и августу, после чега долази до

поновног пада и задржавања на нули. Потрошња електричне енергије приказана је плавом линијом. Уочава се да је она знатно мања у односу на потрошњу топлотне енергије, а релативно мања и у односу на енергију потребну за расхлађивање. Потрошња електричне енергије је уједначена током године, са незнатним повећањем током зимског периода.

Сумирајући ове чињенице закључује се да је најбитније обезбедити доволну количину топлотне енергије која је нужна за правилно функционисање целокупног система, док је неминовно постојање и вишка произведене електричне енергије која ће се продавати по субвенционисаној цени и тиме "покрити" део трошкова.

5.2 Радни лист (Energy model)

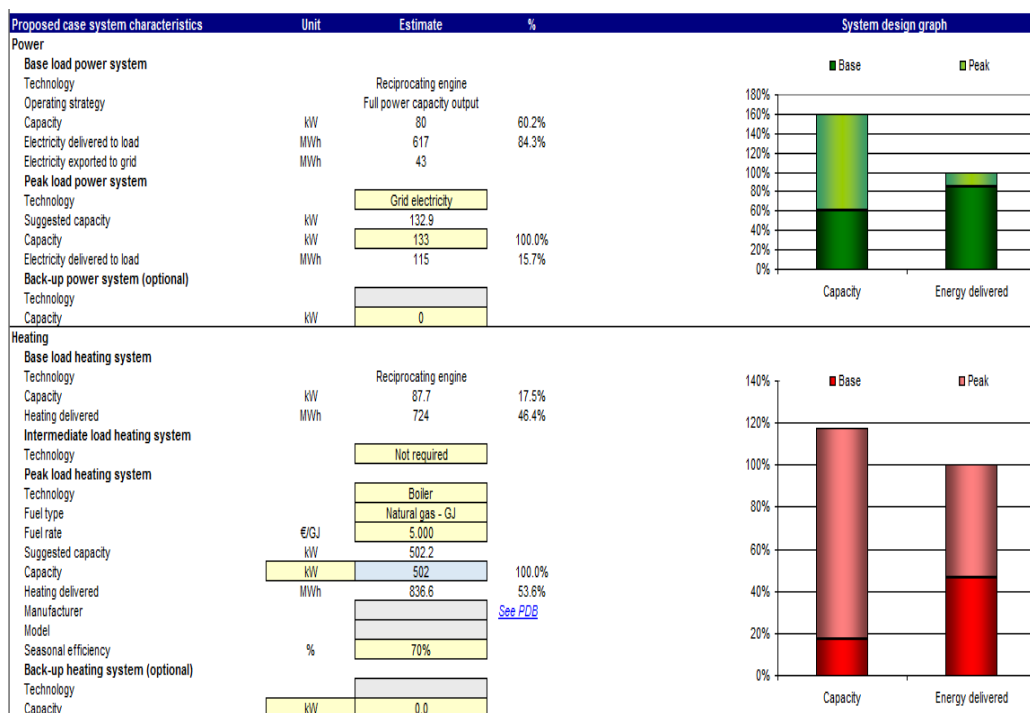
RETScreen Energy Model - Combined cooling, heating & power project				
Proposed case cooling system			Incremental initial costs	
Base load cooling system				
Technology	Absorption			
Fuel source	Heating system			
Capacity	kW	88.0	115.8%	
Coefficient of performance - seasonal		0.50		
Manufacturer	Robur			
Model	RTCF300			
Cooling delivered	MWh	139	100.0%	1 unit(s)
Peak load cooling system				
Technology	Not required			

Слика 5.9. Предложени систем за хлађење

На слици 5.9 приказано је предложено решење тригенеративног система. За хлађење је изабрана технологија примене једињења које упија воду. Такође, унети су подаци о капацитету постројења. Код грејања су примењени подаци о технологији когенерације и гориву. На основу података о потрошњи електричне енергије, изабран је клипни мотор снаге 80kW. Овај мотор задовољава 115% потребе за електричном енергијом. Електрична енергија достављена оптерћењу приликом производње енергије би износио 617 MWh, а вишак електричне енергије би износио 43 MWh и продавао би се централној мрежи по субвенционисаној цени.

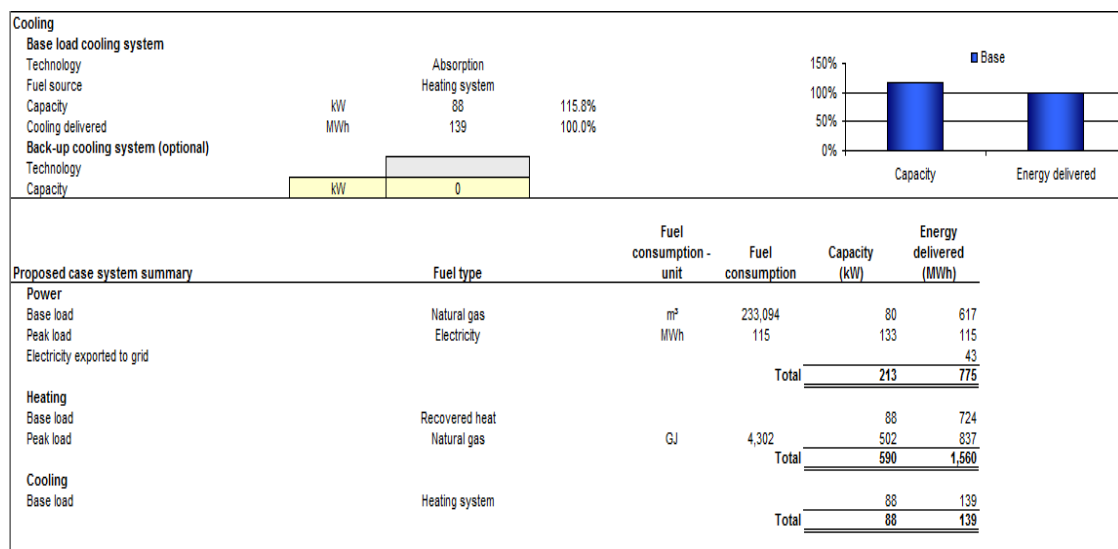
Proposed case power system			
System selection	Base load system		
Base load power system			
Technology	Reciprocating engine		
Availability	h	8,250	94.2%
Fuel selection method	Single fuel		
Fuel type	Natural gas - m³		
Fuel rate	€/m³	0.300	
Reciprocating engine			
Power capacity	kW	80	60.2%
Minimum capacity	%	30.0%	
Electricity delivered to load	MWh	617	84.3%
Electricity exported to grid	MWh	43	
Manufacturer			
Model			
Heat rate	kJ/kWh	12,000	
Heat recovery efficiency	%	47.0%	
Fuel required	GJ/h	1.0	
Heating capacity	kW	87.7	17.5%

Слика 5.10 Предложени случај енергетског система



Слика 5.11 Основне системске карактеристике предложеног система за електричну енергију и грејање

Из слике 5.11 можемо видети да је укупан капацитет постројења снаге која износи 62%, док проценат испоруке електричне енергије достављене оптерећењу износи 84,3% односно 617 MWh, а проценат испоруке мрежи износи 43 MWh. Све се може прочитати са графика. Карактеристике предложеног система за грејање укупан капацитет износи 17,5% , испоручена топлота систему износи 724 MWh односно 46,4%, тип горива је природни гас. Из тога можемо видети да је изабрани систем мотора солидно искоришћен.



Слика 5.12 Основне системске карактеристике предложеног система за хлађење

Узети систем за хлађење износи 115% од укупног капацитета, само искоришћење система износи 100% то се може видети и на графику у горњем десном углу слике 5.12. Испод система за хлађење можемо видет кратак преглед система предложеног случаја.

5.3. Анализа трошкова (Cost Analysis)

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study					
Feasibility study	cost	1	€ 5,000	€ 5,000	
Sub-total:				€ 5,000	3.5%
Development					
Development	cost	1	€ 5,000	€ 5,000	
Sub-total:				€ 5,000	3.5%
Engineering					
Engineering	cost			€ -	
Sub-total:				€ -	0.0%
Power system					
Base load - Reciprocating engine	kW	80.00	€ 1,100	€ 88,000	
Peak load - Grid electricity	kW	132.94		€ -	
Road construction	km			€ -	
Transmission line	km			€ -	
Substation	project			€ -	
Energy efficiency measures	project			€ -	
User-defined	cost			€ -	
Sub-total:				€ 88,000	62.0%
Heating system					
Base load - Reciprocating engine	kW	87.7		€ -	
Peak load - Boiler	kW	502.2		€ -	
Energy efficiency measures	project	1		€ -	
User-defined	cost			€ -	
Sub-total:				€ -	0.0%
Cooling system					
Base load - Absorption	kW	88.0	€ 500	€ 44,000	
Energy efficiency measures	project			€ -	
User-defined	cost			€ -	
Sub-total:				€ 44,000	31.0%
Balance of system & miscellaneous					
Spare parts	%			€ -	
Transportation	project			€ -	
Training & commissioning	p-d			€ -	
User-defined	cost			€ -	
Contingencies	%		€ 142,000	€ -	
Interest during construction			€ 142,000	€ -	
Sub-total:				€ -	0.0%
Total initial costs				€ 142,000	100.0%

Слика 5.13 Почетни трошкови

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Parts & labour	project			€ -
User-defined	cost		€ 20	€ -
Contingencies	%			€ -
Sub-total:				€ -
Fuel cost - proposed case				
Natural gas	m³	233,094	€ 0.300	€ 69,928
Natural gas	GJ	4,302	€ 5.000	€ 21,512
Electricity	MWh	115	€ 52.000	€ 5,962
Sub-total:				€ 97,402
Annual savings				
Fuel cost - base case				
Natural gas	m³	204,188	€ 0.300	€ 61,256
Electricity	MWh	819	€ 52.000	€ 42,592
Sub-total:				€ 103,848
Periodic costs (credits)				
User-defined	cost			€ -
End of project life	cost			€ -

Слика 5.14 Годишњи трошкови и годишња уштеда

На слици 5.14 можемо видети да почетни трошкови нису мали, новац који је потребан за уградњу система за производњу електричне енергије износи 88 000 €, додатни трошкови за уградњу система за хлађење износи 44 000 €. Укупни трошкови износи 142 000 €. Слика 5.14 нам показује обавезне годишње трошкове за струју и гас који износи 97 402 €. Годишња уштеда овог модела би износила за струју и гас 103 848 €.

5.4. Емисиона анализа (Emission Analysis)

Base case electricity system (Baseline)				
Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO ₂ /MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO ₂ /MWh
United States of America	Coal	0.941		0.941
☐ Baseline changes during project life				
Base case system GHG summary (Baseline)				
Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO ₂ /MWh	GHG emission tCO ₂
Natural gas	69.1%	1,927	0.197	380.6
Electricity	30.9%	862	0.941	811.2
Total	100.0%	2,789	0.427	1,191.8
Proposed case system GHG summary (Combined cooling, heating & power project)				
Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO ₂ /MWh	GHG emission tCO ₂
Natural gas	62.7%	2,200	0.197	434.5
Natural gas	34.1%	1,195	0.197	236.0
Electricity	3.3%	115	0.941	107.9
Total	100.0%	3,510	0.222	778.4
Electricity exported to grid	MWh	43	T&D losses 1.0%	0
				0.4
			Total	778.8

Слика 5.15 Емисиона анализа

У првој ставци на слици 5.15 можемо видети извештај о гасовима стаклене баште основног случаја, приказује се основна емисија природног гаса и електричне енергије. За природни гас износи 680,6 t CO₂, за производњу електричне енергије износи 811,2 t CO₂ укупна вредност емитованог угљен-диоксида у атмосверу износи 1 191,8 t CO₂. Друга ставка на слици 5.16 представља укупну количину о гасовима стаклене баште при примени система тригенерације. Укупана емисија за природни гас износи 670,5 t CO₂, електричне струје 107,9 t CO₂. Целокупна емисија за систем тригенерације износи 778,89 t CO₂.

GHG emission reduction summary					
Combined cooling, heating & power project	Base case GHG emission tCO ₂	Proposed case GHG emission tCO ₂	Gross annual GHG emission reduction tCO ₂	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO ₂
	1,191.8	778.8	413.0	0%	413.0
Net annual GHG emission reduction	413	tCO ₂	is equivalent to	75.6	Cars & light trucks not used

Слика 5.16 Извештај о смањењу емисије стаклене баште

Слика 5.16 нам приказује разлику емитовања штетних гасова између конвенционалног система и система тригенерације која износи 413,09 t CO₂.

5.5. Финансијска анализа (Financial Analysis)

Financial parameters			
General			
Fuel cost escalation rate	%		2.0%
Inflation rate	%		8.0%
Discount rate	%		6.0%
Project life	yr		25
Finance			
Incentives and grants	€		
Debt ratio	%		
Income tax analysis			
Annual income			
Electricity export income			
Electricity exported to grid	MWh		43
Electricity export rate	€/MWh		52.00
Electricity export income	€		2,237
Electricity export escalation rate	%		2.0%

Слика 5.17 Финансиски параметри

Project costs and savings/income summary			
Initial costs			
Feasibility study	3.5%	€	5,000
Development	3.5%	€	5,000
Power system	62.0%	€	88,000
Heating system	0.0%	€	0
Cooling system	31.0%	€	44,000
Balance of system & misc.	0.0%	€	0
Total initial costs	100.0%	€	142,000
Annual costs and debt payments			
O&M		€	0
Fuel cost - proposed case		€	97,402
Total annual costs		€	97,402
Periodic costs (credits)			
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		€	103,848
Electricity export income		€	2,237
Total annual savings and income		€	106,085

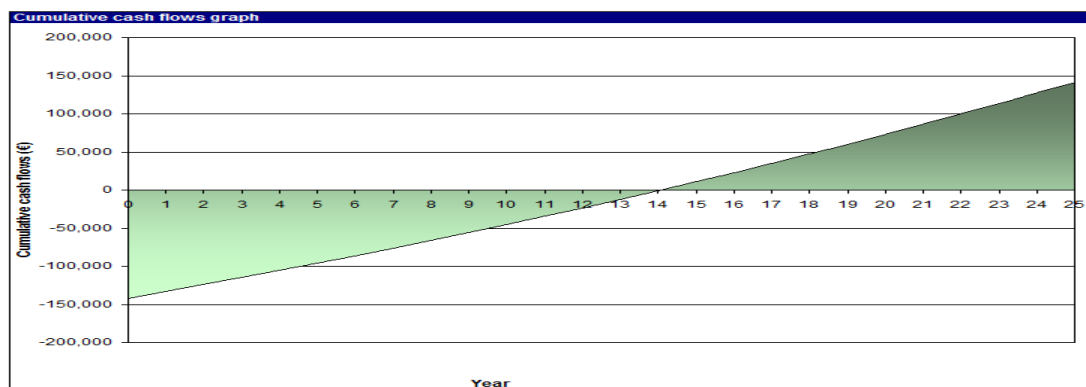
Слика 5.18 Извештај о трошковима и уштеди/приходу пројекта

Већ смо говорили о уштеди/приходима пројекта на слици 5.15 дате вредности су поново узете у обзир.

Yearly cash flows			
Year #	Pre-tax €	After-tax €	Cumulative €
0	-142,000	-142,000	-142,000
1	8,856	8,856	-133,144
2	9,033	9,033	-124,111
3	9,214	9,214	-114,897
4	9,398	9,398	-105,499
5	9,586	9,586	-95,913
6	9,778	9,778	-86,135
7	9,973	9,973	-76,162
8	10,173	10,173	-65,989
9	10,376	10,376	-55,613
10	10,584	10,584	-45,029
11	10,795	10,795	-34,234
12	11,011	11,011	-23,222
13	11,232	11,232	-11,991
14	11,456	11,456	-535
15	11,685	11,685	11,151
16	11,919	11,919	23,070
17	12,157	12,157	35,227
18	12,401	12,401	47,628
19	12,649	12,649	60,276
20	12,902	12,902	73,178
21	13,160	13,160	86,337
22	13,423	13,423	99,760
23	13,691	13,691	113,451
24	13,965	13,965	127,416
25	14,244	14,244	141,660

Слика 5.19 Годишњи проток новца

Графичко представљање трошкова дато је на слици 5.19. За сам почетак иградње пројекта треба да се одвоји 142 000€. Век пројекта је 25 година. Можемо уочити да је период отплате четрнаест година, време отплате можемо смањити при избору модела и површине хлађења система. Такође можемо уочити да након дужег временског периода можемо и уштедети велику количину новца али у односу на дужину временског периода који је потребан морамо рећи да је овај модел лошији и неисплатив.



Слика 5.20. График кумулативног прилива новца

6. ЗАКЉУЧАК

Примена система тригенерације за инвеститоре у Републици Србији, при тренутном односу цена природног гаса и електричне енергије, углавном није повољна. За одређивање исплативости инвестирања у тригенерацију неопходно је да се претходно уради техно-економска анализа, при чему треба узети у обзир цене природног гаса и електричне енергије, као и њихову потрошњу. На примеру затвореног базена Спортског центра Парк у Крагујевцу, који је разматран у овом завршном раду, показано је колико је систем тригенерације енергетски исплативији од постојећег класичног система. За овај систем је, свакако, повољније да је цена електричне енергије виша а гаса што нижа. На основу анализа тржишта ових енергената претпоставља се да ће у будућности тако и бити.

Са свакодневним повећањем потрошње електричне енергије у Србији, неопходно је водити рачуна о њеном рационалном коришћењу, као и примени одговарајућих мера којима се постиже растерећење мреже, децентрализација производње и повећање ефикасности система. Управо у тим аспектима тригенерација показује одличне резултате, због чега се и очекује њен продор на тржиште и све већа примена.

7. Литература

- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/trigeneration>
- [2] <http://termotehnika.vinca.rs/Papers/potencijal-kogeneracije-toplotne-i-elektricne-energije-u-srbiji>
- [3] <http://www.esco.rs/kogeneracija.html>
- [4] http://www.esco.rs/images/kogeneracija02_big.jpg
- [5] Петровић, М. и др., Анализа примене гасних турбина и гасних мотора за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије у топлани „Церак“ у Београду - елаборат, Београд, 2004.
- [6] Трифуновић, М., Гасне турбине и млазни погон, Виша поморска школа, Титоград, 1960.
- [7] <http://www.zelenaenergija.org/srbija/clanak/trigeneracija-i-solarno-apsorpcijsko-hladenje/1670>
- [8] Бојић, М., Термодинамика, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2011.
- [9] Соколовић, С., Стање и правци развоја енергетике Србије, Трактори и погонске машине, 11(1), стр. 7-10, 2006.
- [10] <http://www.laibach.eu/trigeneracija>
- [11] <http://www.kgh-kongres.org/drustvo/casopis.html>
- [12] Вуловић, А., Јовановић, Н., Савић, С., Гордић, Д., Неке могућности повећања енергетске ефикасности затвореног базена спортског центра Парк у Крагујевцу, 7. Национална конференција о квалитету живота, Фестивал квалитета 2012, Крагујевац, 2012, 7-9. јун, стр. Б73-Б76.
- [13] Николић, Р., Фурман, Т., Томић, М., Симикић, М., Самарџија, М., Коришћење обновљивих извора енергије у Србији, Трактори и погонске машине, 16(3), стр. 7-14, 2011.
- [14] http://www.retscreen.net/ang/g_combine.php
- [15] Вуловић, А., Јовановић, Н., Савић, С., Гордић, Д., Шуштершич, В., Увођење система тригенерације у циљу уштеде енергије, Трактори и погонске машине, 17(4), стр. 102-110, 2012.