

**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: 100/2011

Лука Буквић

**Испитивање могућности увођења когенерације у
индустијски објекат помоћу софтверског пакета
RETScreen**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану

1. Проф. др Слободан Савић – ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____
Оцена: _____

У оквиру завршног рада кандидат треба да:

- објасни појам когенративног процеса, његове предности и мане, као и разлог његове употребе,
- опише технологије које се користе у процесу когенерације и изврши избор оптималне,
- изврши анализу примене оваквог процеса на конкретном примеру индустријског објекта помоћу програмског пакета RETScreen,
- резултате анализе представи, објасни и изведе закључак о исплативости пројекта.

Препоручена литература:

- [1] 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
- [2] <http://www.retscreen.net/ang/home.php>
- [3] Кочовић, В., Употреба когенерације у земљама из окружења кроз примењене технологије, остварене економске и еколошке добити, Завршни рад, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2012

Резиме

Основни задатак овог рада је испитивање могућности употребе когенерационог постројења у циљу постизања енергетске ефикасности и смањења трошкова електричне и топлотне енергије. Анализа обухвата одређивање најоптималнијег когенерационог модела са најкраћим периодом отплате. Пројекат је рађен за објекат приватне фирме „ALUROLL“ која се бави производњом алуминијумске и ПВЦ столарије. Да би се бавили конкретним анализама неопходно је да се прво објасни појам когенерације, предности и мане, опишу неке врсте когенерационих технологија и изврши избор најоптималнијег. У раду ће бити описан и софтверски пакет RETScreen који је и коришћен за прорачун са циљем утврђивања могућности увођења когенерације. Кроз анализу конкретног проблема биће описане основне функције овог програма.

Кључне речи: когенерација, електрична енергија, исплативост, *RETScreen*

Abstract

The primary objective of this graduate thesis is to analyze the possibilities of cogeneration plant use in order to achieve energy efficiency and costs reduction of electricity and heat. The analysis includes the determination of the optimal cogeneration model with the shortest repayment period. The project was done for the building, owned by private company „ALUROLL“, that produces aluminium and PVC as their primary activity. In order to refer to the specific analysis it is therefore necessary to explain the concept of cogeneration, its advantages and disadvantages, the descriptions of some types of cogeneration technologies, and make the most suitable choice. One section of the work is also engaged in describing a software package RETScreen, which is used for the calculation in order to determine the possibilities of introducing cogeneration. Through the analysis of a particular issue, some of the basic functions of this program will be explained.

Keywords: cogeneration, electricity, profitability, *RETScreen*

Садржај:

Резиме	3
1. Увод.....	6
2. Когенерација	7
2.1 Дефинисање когенерације	7
2.2 Когенерација са економског аспекта	9
2.3 Предности когенерације	11
2.4 Препреке за когенерацију	12
3. Когенерационе технологије и постројења	13
3.1 Гасне турбине.....	13
3.1.1 Термодинамичке основе рада гасних турбина	14
3.1.2 Употреба гасних турбина	15
3.1.3 Постојење гасне турбине с коришћењем отпадне топлоте димних гасова	16
3.2 Парне турбине.....	16
3.2.1 Термодинамичка основа парне турбине.....	17
3.2.2 Постојење парне турбине	18
3.2.3 Противпритисна парна турбина	19
3.2.4 Постојење кондензационе турбине са регулисаним одузимањем паре.....	20
3.3 Мотори са унутрашњим сагоревањем	20
3.3.1 Отто мотори.....	21
3.3.2 Дизел мотори	21
3.4 Остале технологије	22
3.4.1 Стирлингови мотори.....	22
3.4.2 Гориве ћелије	22
4. Анализа изводљивости пројекта	24
4.1 Модел индустријског објекта и потрошња енергије	24
4.2 Анализа пројекта когенерационог постројења помоћу програма <i>RETScreen</i>	25
4.2.1 Информације о пројекту	25
4.2.2 Пројекат грејања	27
4.2.3 Електро-енергетски пројекат	28
4.2.4 Избор когенерационе технологије.....	30
4.2.5 Анализа трошкова	33

4.2.6 Смањење емисије издувних гасова	35
4.2.7 Анализа финансијске исплативости пројекта.....	36
5. Закључак.....	39
6. Литература	40

1. Увод

Већ читав век трага се за методама које ће омогућити рационало и ефикасно снабдевање и употребу енергије. Тај процес је дуг, тежак и чини се бескрајан. Један од првих облика енергије које је човек почео да користи била је топлотна енергија, будући да су први људи ватру почели да користе пре милион година, а пре приближно осамсто хиљада овладали су овом вештином. Са развојем цивилизација ова потреба била је све већа, поготово у крајевима света чија је клима хладна и неповољна за живот. Топлотна енергија међутим није остала једини извор енергије који је човеку неопходан, открићем електричне енергије фактички настаје ново доба употребе енергије. Ово и јесте управо вид енергије чија потрошња расте брже од других будући да је најповољнија за коришћење јер се може претварати у друге облике енергије. Коришћењем механичке енергије воде у хидроелектранама, сагоревањем фосилних горива у термомо-електранама и фисијом нуклеарних горива годишње се у читавом свету произведе на хиљаде TWh електричне енергије. Највећа количина електричне енергије добија се у термоелектранама а будући да се око 10-15% енергије садржане у гориву испусти у облику димних гасова, а чак 45-60% у виду расхладне воде, може се лако закључити да се постиже мала енергетска ефикасност. До пре четрдесетак година ниске цене горива омогућавале су производњу релативно јефтине електричне енергије. Нагли пораст цена горива изазвао је потребу за тражењем и развијањем нових енергетских технологија и повећањем ефикасности постројења за производњу електричне енергије. Са сазнањем да су извори енергије све сиромашнији, повећала се еколошка свест код људи о очувању животне средине и преосталих ресурса. Оваква нова ситуација натерала је индустријске земље на стварање законске регулативе која уводи конкуренцију на отвореном тржишту електричне енергије. Рационализација коришћења енергије је императив садашњице.

Ако се под рационализацијом подразумева понашање које омогућује најефикасније остварење постављених циљева, тада са становишта енергетике треба да се обезбеди: сигурност у снабдевању довољном количином јефтине и квалитетне енергије, односно рационално трошење расположивих енергетских ресурса [1].

2. Когенерација

2.1 Дефинисање когенерације

У енергетским постројењима сагоревањем фосилних горива долази до трансформације хемијске у друге видове енергије. На пример, у типичној електрани која као гориво користи угаљ долази најпре до трансформисања хемијске енергије угља у топлотну, топлотна затим прелази у кинетичку енергију у облику паре. Захваљујући турбини кинетичка енергија се претвара у механичку која се, најзад, трансформише у електричну енергију. При овим трансформацијама, нарочито при настанку механичке енергије у турбинама дешавају се нужни губици, који се манифестују у виду велике количине топлоте ниске температуре. Изгубљена топлота не може се користити за производњу механичке или електричне енергије, али је погодна за загревање воде, грејање објекта и слично. Ово је заправо и основни принцип когенерације, да се отпадна топлота која настаје у процесу проиводње електричне енергије искористи у практичне сврхе.

Степен искоришћености постројења у просечној термоелектрани која као енергент користи угаљ креће се од 35-40%, што говори да се више од 50% енергије неповратно губи, што кроз хлађење и кондезацију, што кроз губитке у самом систему. У циљу искоришћења те енергије примењује се поступак когенерације. Когенерација (Combined Heat and Power или CHP) је секвенцијално коришћење примарне енергије горива за производњу двају корисних енергетских облика: топлотне енергије и механичког рада. Притом се добијени механички рад најчешће користи за добијање електричне енергије, док се топлотна енергија може користити у разним технолошким процесима, процесима грејања, односно у процесима хлађења. Као гориво може се користити природни гас, биомаса, дрвна грађа или водоник (у случају горивних ћелија), а избор технологије за когенерацију зависи од расположивости и цене горива [2]. Ефикасност когенерације зависи највише од избора технологије, а износи од 70-85% (од 27-45% електричне енергије и од 40-50% топлотне енергије).

Конвенционалне електране емитују топлоту као постпроизвод при генерисању електричне струје у околину кроз торњеве за хлађење, као издувне гасове, или неким другим средствима. ЦХП троши топлотну енергију или за индустријске потребе или за домаћинства. У Скандинавији и источној Европи енергија се кроз топловоде води до локалних домаћинства. Топлотна енергија добијена когенерацијском техником, такође, може бити коришћена и у апсорцијским хладњацима за хлађење. Електране које производе струју, топлоту и хладе

називају се и тригенерацијама, или уопште полигенерацијама. Когенерација је термодинамички најповољнија у искоришћавању горива. У одвојеној производњи струје топлота која се јавља као нуспроизвод мора бити бачена као топлотни отпад. Термоелектране (укључујући и нуклеарне) и уопште, топлотне машине не претварају сву расположиву енергију у користан облик [2].

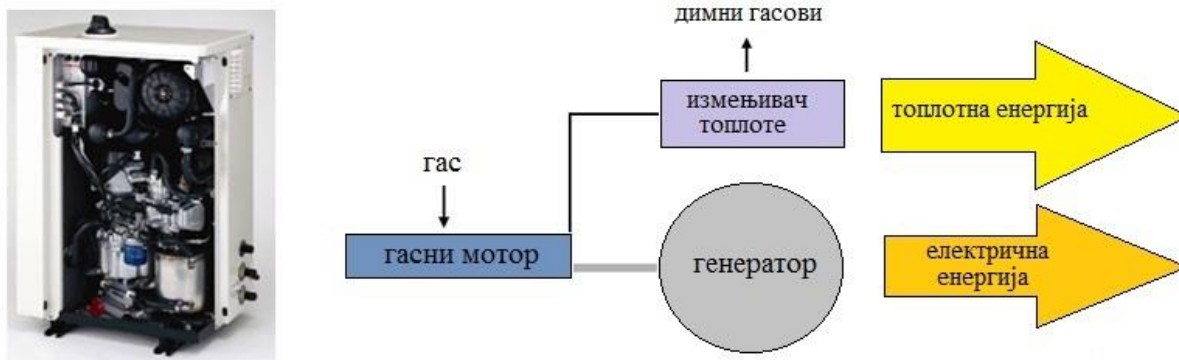
ЦХП хвата одбачену топлоту и тиме омогућава већи степен корисности од око 70%. То значи да се мање горива мора потрошити за исти износ корисне енергије. Процес когенерације је ефикаснији ако је место потрошње ближе месту производње, док му корисност пада са удаљеношћу потрошача. Већа удаљеност подразумева коришћење добре изолације цеви, при чему се трошкови изразито увећавају, док се струја може транспортовати на далеко већу удаљеност за исте губитке. Когенерацијске електране се могу наћи у подручјима са централним грејањем или у великим градовима, болницама, рафинеријама [2].

Когенерација као начин добијања енергије се примењује још од почетка двадесетог века, али прави замах је доживела тек у задње време и то захваљујући ЕУ која се низом законских регулатива труди да подстакне овај вид добијања енергије. Тако да данас у земљама као што су Данска, Финска, Летонија, Холандија, постоји велики број когенеративних постројења.

У изради когенерационих јединица приметан је велики технолошки напредак, који се пре свега манифестује у њиховој већој енергетској ефикасности. Највећа предност система копроизводње је поузданост снабдевања енергијом јер се производи независно од јавне мреже, а сем тога то је и одлична инвестиција за оне објекте у којима би требало да загрева просторије већих површина. Широка палета когенерационих јединица различитих називних снага омогућава снабдевање за најширу групу корисника [3]:

- велике и мале индустријске погоне,
- здравствене установе,
- јавно-образовне заводе,
- трговачке и спортске центре,
- природне паркове и планинске домове,
- удаљена пољопривредна газдинства,
- пословне просторе и
- обичне стамбене објекте (куће, зграде).

На слици 1.1 приказана је основна шема једног когенеративног процеса, који функционише на следећи начин [4]:



Слика 1.1. Шема когенеративног процеса

- гасни мотор покреће генератор који производи електричну енергију,
- додатна топлота се преко плочастог измењивача топлоте користи у сврхе грејања и припреме потрошне топле воде,
- променљивом регулацијом броја обртаја мотора, достиже се степен корисности од 90% (за најниже бројеве обртаја) до 96%,
- мотор се прикључује на природни ($0,6 - 1,9 \text{ m}^3/\text{h}$) или течни гас (пропан $0,76 - 1,55 \text{ kg/h}$),
- оваква централа може да независно снабдева жељени објект по потреби монофазном или трофазном струјом снаге до $4,7 \text{ kW}$.

2.2 Когенерација са економског аспекта

Уградња когенеративних постројења има економског смисла једино у случају када постоји потрошња целокупне количине произведене топлоте. Пре доношења одлуке о примени когенерационог постројења неопходно је извршити анализу потрошње енергената током године, чиме се утврђује економска оправданост пројекта. Потребно је упоредити економичност производње енергије у когенеративном постројењу у односу на одвојено снабдевање топлотном и електричном енергијом. Након утврђивања потребе за когенерационом технологијом одређује се период исплативости и то на основу више параметара, од којих су најбитнији цена и квалитет радне машине у коју је најчешће укључена и цена пратеће опреме (систем за хлађење и вентилацију, систем за коришћење издувних гасова, управљачка и контролна јединица и сл.). Квалитетан гасни генератор сет је предвиђен да се експлоатише преко 100 хиљада сати, односно преко 15 година у континуитету. У односу на тај период утврђено је да је куповина опреме само 15% укупних трошкова а да је одржавање и сервисирање самог система 25%, потрошња уља 5%, и највећи део, односно 55 % одлази на гориво [2]. Трошкови горива зависе од врсте горива (дизел, бензин, гас..) и од карактеристика самог погонског агрегата. У неизоставне трошкове убрајају се и цена електричне опреме потребне за прикључак на мрежу, прилагођавање постојећег система и потрошача топлотне

енергије, остали трошкови инсталације и монтаже, који подразумевају инжењеринг, правне и финансијске услуге.

Уштеда остварена когенерацијом на годишњем нивоу може се изразити формулом [2]

$$U = T_{op} - T_{ko} \quad (1)$$

где је :

U - годишња уштеда остварена когенерацијом (дин/год.)

T_{op} - трошкови одвојене производње топлотне и електричне енергије (дин/год.)

T_{ko} - трошкови производње когенерацијом (дин/год.).

Трошкови когенерацијског постројења састоје се из следећих трошкова

$$T_{ko} = T_{gk} + T_{ok} \quad (2)$$

где су:

T_{gk} - трошкови горива утрошеног за рад когенерацијског постројења (дин/год.)

T_{ok} - трошкови одржавања когенерацијског постројења (дин/год.)

Трошкови горива за рад когенерацијског постројења могу се израчунати као

$$T_{gk} = E_e \cdot g_e \cdot c_g \quad (3)$$

где је:

E_e - позната произведена електрична енергија ((кWh)е/год.)

g_e - позната специфична потрошња горива ($m^3/(kWh)e$)

c_g - позната јединична цена горива (дин/ m^3)

Трошкови одржавања когенерацијског постројења могу се израчунати

$$T_{ok} = E_e \cdot k_o \cdot k_v \quad (4)$$

где је:

E_e - позната произведена електрична енергија ((кWh)е/год.)

k_o - цена одржавања

k_v - курс валуте.

Након периода отплате когенеративног постојења једини трошкови су они који се тичу цене горива и сервисирања, односно одржавања когенеративног постројења. Претходне формуле омогућавају веома једноставну проверу уштеде трошкова, при чему је потребно познавати количину потрошених енергената и количину произведене струје. Наравно, будући да гориво које постројење користи представља највећи трошак које корисник издваја, треба имати у виду и пораст цене горива на годишњем нивоу који обично износи око 2 %.

2.3 Предности когенерације

Примена когенерационих система се првенствено разматра због њихове високе енергетске ефикасности и с тиме повезаним еколошким и економским предностима. Укупни степен ефикасности ових постројења (топлотна ефикасност) у неким случајевима износи и преко 90%, па се може констатовати да, у односу на традиционалне системе, когенерација представља најефикаснији облик претварања енергије, како са енергетске тачке гледишта тако и са аспекта заштите окружења. Когенерацијском производњом смањује се утицај на окружење по свим аспектима, а посебно се смањује емисија CO_2 , SO_2 и NO_x . Најзначајније предности когенерацијске производње у односу на одвојену производњу електричне енергије у класичној електрани и топлотне у котларници/топлани огледа се кроз [1]:

- повећану уштеду примарне енергије, из чега произилазе и мањи трошкови,
- већу поузданост при снабдевању енергијом, при чему је то посебно важно за потрошаче који захтевају непрекидно снабдевање,
- смањење штетног утицаја на окружење, јер из високе енергетске ефикасности и мање потрошње примарног енергента произлази мања емисија штетних материја, мања количина отпадне топлоте и мања емисија буке,
- готово загарантовану исплативост у периоду од неколико година,
- кратак рок изградње због пакетне изведбе агрегата и претходно фабрички склопљених елемената, и
- олакшање у добијању разних дозвола, нарочито у случају индустријских погона или неког јавног објекта.

Предности когенерацијских система над класичним системима са одвојеним снабдевањем електричном и топлотном енергијом, видљиве су ако се међусобно упореде губици који настају при производњи енергије у оба посматрана система. При том треба истаћи да је овакав степен искоришћења когенерацијског постројења својствен режиму рада при ком се утроши сва топлотна енергија произведена у систему. Основна предност когенерације је 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. Когенерације имају значајну улогу као дистрибуирани извор енергије због позитивних учинака [1]:

- мањи губици у мрежи,
- смањење запушења у преносу,
- повећање квалитета напона и
- повећање поузданости снабдевања електричном енергијом.

2.4 Препреке за когенерацију

Иако постоји велики потенцијал за когенерацијску производњу, кључне препреке за когенерацију су и даље присутне. Међу најважнијим препрекама могу се сматрати [1]:

- изостанак јасно дефинисаног и једноставног поступка прикључења на мрежу, као и грађевинско-техничке процедуре изградње когенерацијског постројења,
- неповољан однос цена електричне енергије и горива који подстиче коришћење електричне енергије,
- непостојање утврђивања и поступка стицања права продаје као и износа откупне цене за вишак електричне енергије,
- недовољна заинтересованост и неразумевање финансијских институција за финансирање пројеката и когенерације,
- изостанак специјалног образовања и оспособљавања стручњака за услуге консултовања о енергетској ефикасности, због које је слабо разумевање примене когенерације у погледу задовољавања топлотних потреба,
- информисање и едукација потенцијалних корисника,
- спора динамика доношења и имплементација закона, а посебно непостојање специфичног законског акта за когенерацију у којем би се целокупна проблематика могла системски дефинисати.

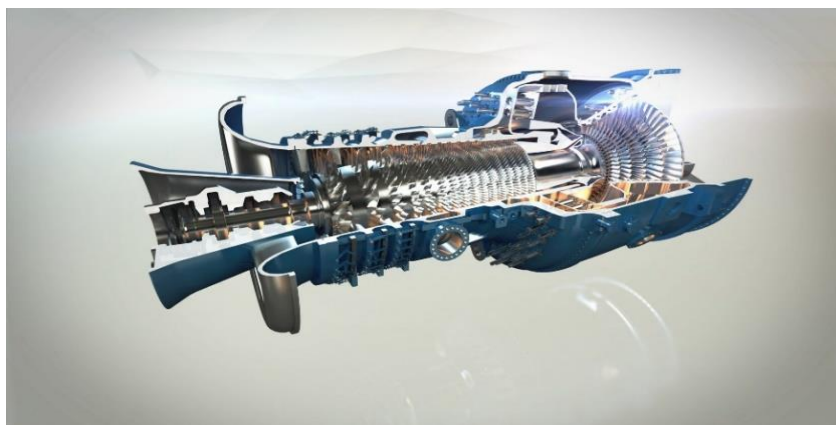
3. Когенерационе технологије и постројења

Масовно доступне когенеративне технологије су парне и гасне турбине, микротурбине, мотори са унутрашњим сагоревањем, Стирлингов мотор и горивне ћелије, у широком распону снаге од 1 kW за Стирлингов мотор до 250 MW за гасне турбине. Избор технологије која се користи у процесу когенерације зависи пре свега од намене објекта, односно да ли је у питању стамбени објекат, пословни простор (који има сличне карактеристике као стамбени) или индустријски у којима се као захтев поставља већа проиводња топлотне енергије, која је неопходна у појединим технолошким процесима. На избор постројења битно утиче цена топлотне машине. Цена мотора по киловату снаге расте са смањењем снаге па је когенерација препоручљивија код већих и енергетски захтевнијих објеката код којих се користе машине веће снаге. Осим трошкова саме радне машине, генератора и целокупне опреме, неопходно је имати у виду и цену горива које се користи, инсталације, монтаже, пројектовања, сервисирања и сличног.

У когенеративном процесу вишак топлоте се не добија само у процесу производње електричне енергије, већ и хлађењем мотора, уља за подмазивање, добија се у виду издувних гасова и слично. Когенеративно постројење омогућава да се та топлота искористи за различите технолошке процесе или за грејање чиме постиже фактор искоришћења примарног горива од око 85%. При избору когенеративног постројења тежи се да се са минимумом инсталиране снаге постигне максимална корист [1].

3.1 Гасне турбине

Гасне турбине раде на принципу коришћења енергије врелих гасова који настају сагоревањем горива. На предњем крају има компресорска а на задњем турбинска радна кола, док се између њих налази комора за сагоревање [5]. Модел гасне турбине GT13E2 (слика 3.1) има снагу од 565 MW и ефикасност 53.8 %.



Слика 3.1. Гасна турбина GT13E2

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 усава 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 [5]. Шема гасне турбине дата је на следећој слици



Слика 3.2. Шема гасне турбине

3.1.1 Термодинамичке основе рада гасних турбина

За описивање рада ових машина користи се Брајтонов (Џулов циклус). P-V дијаграм Брајтоновог циклуса је приказан на слици 3.3 [6]



Слика 3.3. Џулов циклус

У компресору се изоентропски сабија чист ваздух-идеалан гас од стања 1 до стања 2. У комору за сагоревање се изобарски доводи топлота од стања 2 до 3. Топлота се доводи или из спољашње средине или изобарским сагоревањем убризганог горива. Даље, у турбини до притиска околине изентропски експандирају претходно загрејани ваздух или врели продукти сагоревања од стања 3 до 4. Тада се добија рад који се може корисно употребити за погон генератора (ради добијање електроенергије) и који надокнађује енергију потребну за погон компресора. Коначно се помоћу размењивача топлоте на притиску околине изобарски одводи топлота од стања 4 до 1, све до изједначавања температуре гасова са температуром околине. Тиме је радна материја доведена у почетно стање 1, чиме се затвара циклус.

3.1.2 Употреба гасних турбина

Гасне турбине се користе за подручје снаге од 1,6-10 MW. Имају лошију електроенергетску карактеристику у односу на моторе, али зато имају бољу топлотну карактеристику [1].

Гасне турбине се могу користити у различитим варијантама, као:

- 1) Прости или обични циклус – намена турбине у овом случају је само да производи снагу неопходну за погон неке друге машине, а издувни гасови одлазе у атмосферу.
- 2) Комбиновани циклус топлота–снага или снага–топлота–снага, код којег се гасној турбини додаје и измењивач топлоте, који енергију садржану у издувним гасовима претвара у корисну топлотну енергију.
- 3) Комбиновани циклус снага–снага, где се гасна турбина користи у комбинацији са парном турбином. При томе гасна турбина користи енергију издувних гасова за производњу паре високог притиска која погони парну турбину.

Најекономичнија примена гасне турбине за производњу електричне струје је у комбинованом циклусу снага–снага, значи у комбинацији гасне и парне турбине, њиме 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) [5]. Један од највећих недостатака гасне турбине јесте њена превисока цена.

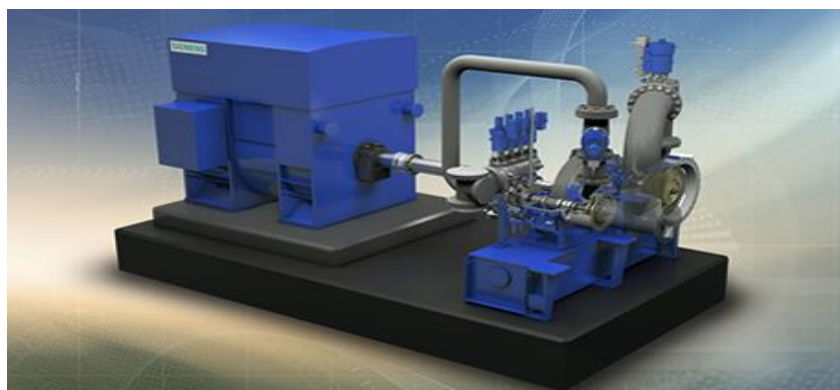
3.1.3 Постројење гасне турбине с коришћењем отпадне топлоте димних гасова

Принцип рада постројења са гасном турбином са коришћењем отпадне топлоте је следећи. На издувни део гасне турбине додаје се котло који служи за производњу паре која, пак, служи или у индустријске сврхе или за грејање.

Температуре на излазу из гасне турбине су изузетно високе (до 600°C) тако да могу послужити у даљој производњи паре. Ту се уочава повезаност комбинованог и когенерацијског процеса – производња паре за грејање, али и поновну производњу електричне енергије. Додатна производња и електричне енергије још додатно повећава степен корисности процеса [7].

3.2 Парне турбине

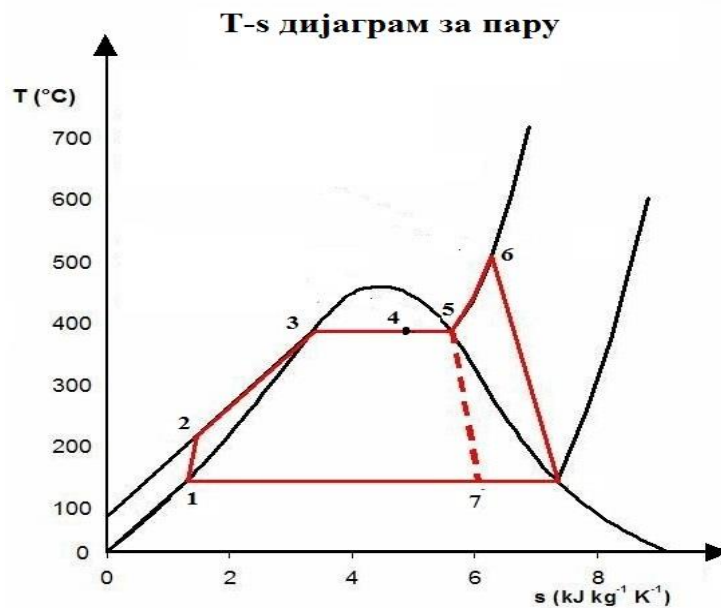
Парне турбине су топлотни уређаји у којима се топлотна енергија, садржана у пари, претвара најпре у кинетичку енергију, а након тога у механички рад. Рзликују се аксијалне (претварање топлоте у кинетичку енергију се врши у статорским лопатицама) и реакцијске (делимично у статорским а делимично у роторским лопатицама). Обзиром да парна турбина производи ротационо кретање, посебно је погодна за употребу као погонска машина за генераторе електричне струје - данас у свету око 80% свих генератора за производњу електричне енергије погоне парне турбине. Претварање енергије у парној турбини догађа се захваљујући разлици улазних и излазних параметара паре (притисак, температура). Сама турбина не утиче на величину тих параметара. Ти услови су наметнути из спољашње средине док турбина, користећи разлику енергетског нивоа који произлази из разлике улазних и излазних погонских параметара паре, производи корисну механичку енергију уз неизбежне губитке чија величина првенствено зависи од њихове конструкције [8].



Слика 3.4. Модел парне турбине

3.2.1 Термодинамичка основа парне турбине

Парне турбине раде по Ранкинеовом циклусу (слика 3.5). У овом циклусу имамо комплетну кондензацију паре уместо њене некомплетне кондензације у Carnot-овом циклусу. Тако у овом циклусу више немамо ниско ефикасан компресор већ напојну пумпу која је мала и врло ефикасна [6].



Слика 3.5. Ранкинеов циклус

На претходној слици приказан је идеалан Ранкинеов циклус. Тачка 3 представља стање кључале воде у котлу. Процес испаравања воде у котлу је приказан линијом 3-4, а процес сушења паре у прегрејачу линијом 5-6. Испаравање воде у котлу и њено сушење обавља се на рачун топлоте добијене сагоревањем угља или природног гаса. Изоентропска експанзија (експанзија при константној ентропији) тако прегрејане паре дешава се на линији 6-7. Овај процес траје све док се у турбини не постигне притисак и температура који владају у кондензатору (тачка 7). У процесу 7-1 долази до кондензације ове водене паре при константном притиску и температури и при томе се у кондензатору ослобађа топлота хладној води кондензатора. У процесу 1-2 пумпа врши сабијање течности. За покретање пумпе обично се користи турбина јер се углавном налазе на истом вратилу. Тај процес је изоентропски, при чему се занемарљиво повећава температура воде [6]. Загревање воде до њеног кључања представљено је линијом 2-3.

Количина топлоте која се доводи при константном притиску у процесима означених линијама: 2-3, 3-4 и 4-6 једнака је разлици енталпија у крајњој тачки 6 и почетној тачки 2 овог процеса, па следи да је доведене топлота q_d [6]

$$q_d = h_1 - h_2 \quad (5)$$

Одведена топлота из кондензатора при процесу 7-1 је [6]

$$q_o = h_1 - h_7 \quad (6)$$

Степен корисности Rankine-овог циклуса (а самим тим и степен свеукупног искоришћења енергије у овом постојењу) дат је једначином [6]

$$\eta = \frac{q_d - |q_o|}{q_d} = \frac{h_6 - h_2 - (h_7 - h_1)}{h_6 - h_2} = \frac{h_6 - h_7 - (h_2 - h_1)}{h_6 - h_2} \quad (7)$$

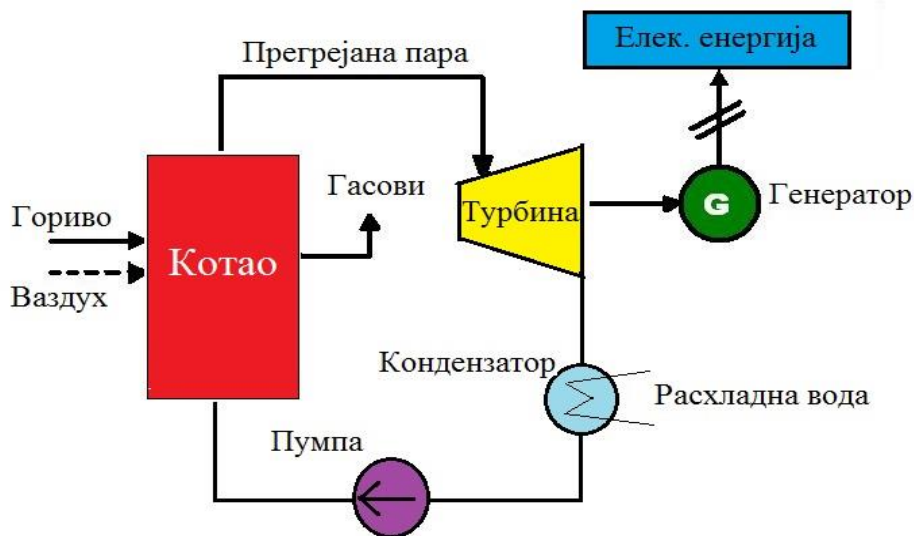
У датом изразу $h_6 - h_7$ представља специфични технички рад који се добија при изоентропској експанзији у турбини, а израз $h_2 - h_1$ представља специфични технички рад који се утроши за погон пумпе. Међутим овај рад је много мањи од оног који се добија у турбини, тако да се може занемарити. Коначно, израз за термодинамички степен корисности циклуса гласи [6]

$$\eta \approx \frac{h_6 - h_7}{h_6 - h_2} \quad (8)$$

Углавном, термодинамички степен корисности износи до 33% , али проблем је што се не користи топлота која се избацује ван циклуса у околину, међутим употребом измењивача топлоте та енергија се може искористити за производњу корисне топлоте, чиме се знатно повећава степен корисности [6].

3.2.2 Постројење парне турбине

Постројење парне турбине (слика 3.6) састоји се од парног котла, напојних пумпи, паровода, парне турбине, кондензатора и пратеће опреме. Савремена парна турбина састоји се од неколико сетова (комплета) непокретних лопатица за усмеравање (статора) и лопатица на колима које потискује пара (ротора). Ротор је повезан са осовином, која на излазу из турбине даје користан механички рад - ротационо кретање које се користи за погон различитих уређаја. Величине ротора и статора зависе од снаге турбине. Зазори између лопатица статора и ротора су минимални да не би долазило до непредвиђених губитака притиска паре, што захтева веома прецизну израду делова и балансирање ротора. Когенерациони систем базиран на парној турбини се најчешће користи у индустрији, пре свега, због лако доступних чврстих и отпадних горива који су одмах доступни за употребу у котлу [8]. Уколико се парне турбине користе у процесима когенерације, пара се може користити директно за неке индустријске процесе или се преко измењивача топлоте може искористити за грејање погона или канцеларија.



Слика 3.6. Шематски приказ постројења парне турбине

Вода се загрева и испарава у котлу, захваљујући грејачу који омогућава постизање жељене температуре. Затим пара из котла доспева у турбину која покреће генератор за производњу електричне енергије. У кондензатору се експандирана пара кондензује, одакле јој се даље повећава притисак помоћу пумпе за напојну воду. Притисак који влада у кондензатору је доста нижи од атмосферског из разога да би се пара кондензовала на температури нешто вишој од температуре околине (а не на 100°C као при атмосферском притиску) [8]. Након тога пара се, даље, преко пумпе поново шаље у котао, при чему се циклус затвара. Данас се парне турбине производе у невероватном распону снаге - од мање од 1 kW до више од 1,5 милиона kW (за погон генератора у електранама).

3.2.3 Противпритисна парна турбина

Код противпритисних турбина пара на изласку из турбине има доста вишу температуру од околине и користи се за индустријске процесе и грејање санитарне воде. Најчешћи облик оваквог постројења заснива се на производњи паре у генератору паре која затим експандира, односно долази до њеног ширења у турбини и потом се доводи до разводника који одводи топлоту даље у топловодни систем. У турбини се врши експанзија до противпритиска са температуром засићења. Оваква постројења су јефтина, једноставна за одржавање и управљање и користе се најчешће у индустрији за производњу топлотне и електричне енергије. Потреба и потрошња топлотне и електричне енергије варира тако да у случају да имамо превелику количину паре, вишак увек можемо избацити у атмосферу. На основу потребе за топлотно енергијом одређује се режим рада постројења. Количина произведене електричне и топлотне енергије

не може се билансирати, што је највећи проблем. Напросто, не можемо сабирати топлотну и електричну енергију [7].

3.2.4 Постројење кондензационе турбине са регулисаним одузимањем паре

За овакав систем потребно је имати на располагању турбину са два степена: високо и нископритисни. Након експанзије у високопритисном делу турбине врши се експанзија након које долази до одузимања паре. Све се то одвија на константном притиску. Овај погон је повољнији пошто имамо два степена рада:

- чисти кондензаторски
- чисти противпритисни

Чисти кондензаторски погон значи да не постоји потреба за топлотом, па се производи само електрична енергија. У супротном примеру, код чистог противпритисног случаја потреба за топлотном енергијом је толико велика да уопште нема производње у нископритисном делу турбине. Нископритисни део турбине не може остати без паре (хлађење) [7].

3.3 Мотори са унутрашњим сагоревањем

Мотори са унутрашњем сагоревањем су топлотни мотори код којих долази до сагоревања горива у цилиндру мотора при чему се продукти сагоревања користе за потискивање клипа и вршења рада.

У току свог рада СУС мотор обавља четири основна процеса:

1. усисавање
2. сабијање (компресију)
3. сагоревање, односно ширење (експанзију) и
4. издувавање.

Уколико се ова четири процеса обављају у четири различита такта (два обртаја коленастог вратила) ради се о чевортактним моторима, а уколико се процес усисавања и сабијања обављају у једном такту, а сагоревања и издувавања у другом, реч је о двотактним моторима. По конструкцији су слични четворотактним моторима, с тим што немају вентиле и брегасто вратило. Према начину паљења две основне врсте мотора са унутрашњим сагоревањем су Отто и Дизел.

3.3.1 Отто мотори

Смеша за сагоревање (горива и ваздуха), код ото мотора, остварује се изван цилиндра мотора, у посебном уређају - карбуратору. Ова смеша се кроз усисни вентил уводи у цилиндар и помоћу клипа сабија (7-11 bar). Сабијена смеша у цилиндру пали се електричном варницом, па у цилиндру порасте притисак (25-40 bar) и у следећем такту се остварује рад, притиском ове смеше на чело клипа, који се даље преко клипног механизма преноси на коленасто вратило. Код ото мотора користе се течна и гасовита горива. Као гасовита горива најчешће се користе: течан гас под притиском, природни гас, метан, водоник и др. Најчешће се користе следећа течна горива: бензин, бензен, алкохол (метанол) и др. Течна горива се у карбуратору претварају у фину маглу, па се затим у цилиндру претварају у гасовито (парно) стање, због загревања од унутрашњих зидова цилиндра и компресије смеше горива и ваздуха. Сагоревање код ото система се одиграва приближно при константној запремини [9].

Ефикасност им је између 27-35%, а излазни опсег је ограничен на 2 MW.

3.3.2 Дизел мотори

Код дизел система (мотора) ваздух се уводи у цилиндар и сабија на већи притисак (25- 40 bar), па се при крају компресије постиже температура паљења горива (720-1000 K) које се у том тренутку убризгава у цилиндар. Због самопаљења горива настаје нагло сагоревање и скок притиска (60-100 bar), па се при експанзији у следећем такту (преко притиска на чело клипа) добија рад. У дизел моторима најчешће се користе разне врсте течних дизел горива. Ова горива се посебном пумпом високог притиска (350-500 bar) кроз fine брызгалке убризгавају у цилиндар, тако да настане фина магла која брзо плане. Сагоревање се делимично одвија при константној запремини, а касније прелази у сагоревање при константном притиску. Ефикасност им је од 35-45% а излазни опсег је до 15 MW [6].

3.4 Остале технологије

3.4.1 Стирлингови мотори

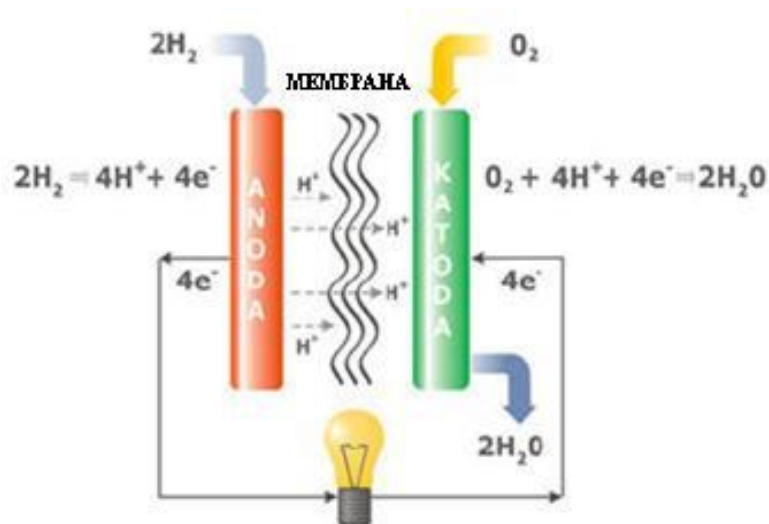
Стирлингов мотор је топлотни мотор који ради са цикличном компресијом и експанзијом ваздуха или неког другог гаса, при чему долази до претварања топлоте у механички рад. Пошто нема сагоревања (експлозије) у самом мотору, Стирлиног мотор се сврстава у моторе са спољашњим сагоревањем. Топлота се може довести из других извора без сагоревања као што су соларна енергија, нуклеарна енергија и отпадна топлота. Као радни медијум користи се обичан ваздух који се непрекидно налази унутар мотора, односно нема размене са спољном околином. Хладан ваздух се најпре сабија, потом долази до загревања компримованог ваздуха, експанзије и на крају хлађења гаса пре понављања следећег циклуса. Основни делови мотора су извор топлоте, грејач, измењивач топлоте, хладњак и примач топлоте, односно околина.

Табела 1. Карактеристике Стирлинг мотора

Опсег снаге [MW]	0.003-0.1
Однос снаге и количине топлоте	1.2-1.7
Електрична ефикасност [%]	10-35
Топлотна ефикасност [%]	40-80
Укупна ефикасност [%]	>90
Врста горива	Сва горива

3.4.2 Гориве ћелије

Гориве ћелије су електрохемијски уређаји за непосредно претварање хемијске енергије, садржане у неком хемијском елементу или једињењу, у истосмерну електричну струју. На аноди гориве ћелије врши се процес деелектронације горива (електрооксидација). Тако ослобођени електрони путују спољашњим електричним кругом, преко потрошача, до катодe. Катјони настали на аноди путују кроз електролит до катодe. На катоди гориве ћелије редукује се други елемент или једињење који учествује у хемијској реакцији. Најчешће је то кисеоник. Тако настали јони спајају се у коначни производ реакције који се одводи из гориве ћелије [11].



Слика 3.7. Горива ћелија

Електролит може бити чврсти и течни. Било која течност са способношћу провођења јона може бити течни електролит. Радна температура гориве ћелије, због испаравања електролита, представља ограничење при употреби киселих водених раствора, па се због тога као кисели електролит употребљава концентрирана фосфорна киселина. Постоје и гориве ћелије са алкалним електролитом. Као чврсти електролити употребљавају се полимерне мембране са могућношћу јонске измене, док се код неких високо температурних горивих ћелија употребљавају и допирани керамички електролити [11].

4. Анализа изводљивости пројекта

4.1 Модел индустријског објекта и потрошња енергије

Објекат компаније "ALUROLL" спада у индустријске објекте, а осим хале и канцеларијског простора површине од близу 5000 m², обухвата и магацине површине од око 8000 m². Пројекат се односи на хале у којима се врши производња и канцеларије, а будући да ту највећи број радника борави, највећа количина енергије користи се за загревање тог простора. Машине које су у оваквом индустријском објекту највећи потрошачи електричне енергије такође се налазе у простору који спада у домен пројекта. Процес производње је такав да није потребна топлотна енергија у неком од индустријских процеса, као што је то случај нпр. у млекарама, сушарама, пиварама и сл. где је присутна велика потрошња топлоте у процесима термичке обраде производа. Зато се увођење когенерације, са аспекта произведене топлоте, разматра у смислу коришћења те топлоте искључиво за грејање простора.

Потрошња електричне енергије представљена је на следећој слици



Слика 4.1. Потрошња електричне енергије по месецима

Види се да је потрошња струје неравномерна током већег дела године, а највећа је у летњем периоду када је и производња најинтензивнија.

Што се тиче топлотне потрошње, објекат поседује сопствену котларницу, а као енергент троши мрки угаљ који набавља по цени од 12500 дин/t. Фирми је у току

године испоручено 115 t угља. Највећа потрошња угља је остварена у периоду од децембра до марта.

4.2 Анализа пројекта когенерационог постројења помоћу програма *RETScreen*

RETScreen је софтвер који омогућава инжењерима, финансисјким стручњацима и осталим корисницима да врше анализе пројеката везаних за чисту енергију и на основу резултата одлучују о исплативости и одрживости тих пројеката [12]. Програм је реализован у виду *Microsoft®Excel* фајла, а осим испитивања когенерације, омогућава и приказ других пројектних модела: пројекте везане за енергетску ефикасност (од индустријских постројења до стамбених објеката), употребу обновљивих извора енергије, грејање, хлађење и сл. Пре саме имплементације одређене технологије неопходно је извршити прединвестиционе студије, студије изводљивости, развоја. *RETScreen* омогућава уштеду новца и времена које се односе на ове фазе пројекта на тај начин што омогућава све врсте анализа везаних за одређени пројекат: анализу енергије, анализу трошкова, анализу емисије штетних гасова, финансијску анализа и анализу ризика. Основне предности које се постижу употребом овог програмског алата су брзина, поузданост, једноставност и јефтина анализа одрживости неког енергетског пројекта, чиме се *RETScreen* са правом сврстава у водећи светски програм из своје области. Коришћење софтвера заснива се на налажењу потребних података и попуњавању осам радних листова (*Start, Load & Network Design (Load & Network), Energy Model, Equipment Selection, Cost Analysis, Greenhouse Gas Emission Reduction Analysis (GHG Analysis), Financial Summary, Sensitivity and Risk Analysis (Sensitivity) и Tools*).

У следећем делу рада биће извршена комплетна анализа когенеративног модела за индустријски објекат "ALUROLL" д.о.о.

4.2.1 Информације о пројекту

На самом почетку софтверске анализе потребно је унети основне информације о пројекту (слика 4.2), а то су назив пројекта, локација објекта, тип пројекта (грејање, хлађење, когенерација, тригенерација..), тип мреже, врста анализе, референта вредност грејања, језик, валута као и локација најближе метеоролошке станице. Оне се уносе у радном листу *Почетак*.

Project information		See project database
Project name	ALUROLL	
Project location	Kraquievac	
Prepared for	ALUROLL	
Prepared by	Luka Bukvic	
Project type	Combined 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	User-defined	
Symbol	Rsd	
Units	Metric units	

Site reference conditions		Select climate data location
Climate data location	Kraljevo	

Слика 4.2. Основне информације о пројекту

Пројекат се односи на компанију "ALUROLL", чија је основна делатност производња и продаја индустријских и гаражних врата, ролетни, комарника, рампи као и пратеће опреме за алуминијумску и ПВЦ столарију. Једна од ставки коју је потребно попунити односи се на топлотну моћ. Постоји опција између избора доње топлотне моћи (LHV) и горње (HHV). Изабрано је да програм у наредним калкулацијама рачуна доњу топлотну моћ горива, односно то значи да вода у продуктима сагоревања горива остаје у стању паре. Један од параметара које програм користи за прорачун јесте и локација објекта. Одабиром Краљева као најближег понуђеног места, усвајају се климатски подаци измерени за тај град у претходној години по месецима (дневно топлотно зрачење, атмосферски притисак, брзина ветра, температуре ваздуха и земље) (слика 4.3).

Country - region
Province / State
Climate data location
Latitude
Longitude
Elevation
Heating design temperature
Cooling design temperature
Earth temperature amplitude

Serbia

n/a

Kraljevo

°N

°E

m

°C

°C

°C

43.6

20.7

217

-7.7

31.2

20.6

Source

Ground

Ground

Ground

NASA



	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Jan	0.7	81.4%	1.64	94.4	1.4	-2.0	536	0
Feb	1.6	74.2%	2.39	94.2	1.6	-0.4	459	0
Mar	5.7	69.1%	3.36	94.1	2.1	4.7	381	0
Apr	11.5	66.0%	4.11	93.9	1.8	10.0	195	45
May	16.6	68.5%	4.96	94.1	1.4	15.7	43	205
Jun	19.5	70.2%	5.63	94.1	1.2	19.5	0	285
Jul	21.6	68.2%	5.92	94.1	1.2	22.2	0	360
Aug	21.7	66.5%	5.26	94.2	1.2	22.2	0	363
Sep	17.0	72.7%	3.85	94.3	1.3	17.0	30	210
Oct	11.8	77.5%	2.64	94.5	1.5	11.1	192	56
Nov	5.3	79.9%	1.60	94.3	1.7	4.3	381	0
Dec	1.3	82.8%	1.32	94.4	1.5	-0.9	518	0
Annual	11.3	73.1%	3.56	94.2	1.5	10.3	2,736	1,523
Source	Ground	Ground	NASA	NASA	Ground	NASA	Ground	Ground

Measured at

m

10

0

Слика 4.3. Климатски подаци града Краљево

На основу тих информација *RETScreen* у каснијој анализи омогућава одређивање температура грејања које се сматрају оптималним у различитим периодима године и на основу њих рачуна потрошњу горива потребну за задовољавање топлотних захтева објекта.

4.2.2 Пројекат грејања

У радном листу *Мрежа и оптерећење* уносе се подаци који се односе на услове и стање објекта, а састоје се од дела у коме се уносе подаци везани за грејање и дела где се уносе информације везане за потрошњу електричне енергије.

Пројекат грејања (слика 4.4) подразумева уношење информација о томе колико зграда има, колика је квадратура, које се гориво користи, колико је топлотно оптерећење зграде и сл [13].

Heating project	Unit	
Base case heating system	Single building - space heating	
Heated floor area for building	m²	4,830
Fuel type		Coal
Seasonal efficiency	%	70%
Heating load calculation		
Heating load for building	W/m²	90.0
Domestic hot water heating base demand	%	5%
Total heating	MWh	917
Total peak heating load	kW	434.7
Fuel consumption - annual	t	145
Fuel rate	Rsd/t	12500.000
Fuel cost	Rsd	1,811,133
Proposed case energy efficiency measures		
End-use energy efficiency measures	%	5%
Net peak heating load	kW	413.0
Net heating	MWh	872

Слика 4.4. Пројекат грејања

Од енергената објекат троши мрки угаљ чија је цена 12500 дин/т. Потребе грејања санитарне воде нису веће од 5%. Мере енергетске ефикасности износе око 5%. Најзахтевније је одредити топлотно оптерећење објекта. Оно знатно зависи од изолације, а будући да објекат који је предмет пројекта спада у средње изоловане објекте, узето је да је топлотно оптерећење 90 W/m². На основу цене горива коју је програм израчунао (1,811,133 дин), може се закључити да је изабрано топлотно оптерећење јако близу реалног.

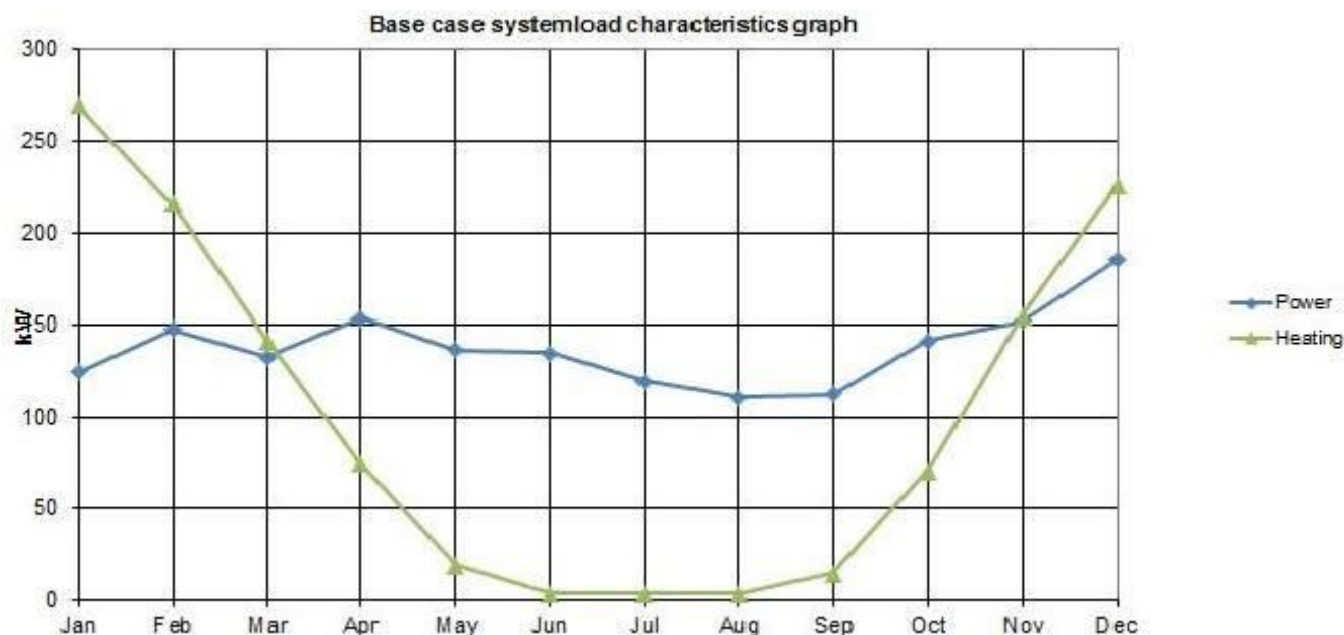
4.2.3 Електро-енергетски пројекат

Корисник овде уноси снагу средњег оптерећења електричне мреже у kW (слика 4.5), односно снагу за обрачун (уколико се читају рачуни за електричну енергију). Потребно је унети и цену струје по kWh, која у овом случају износи 5.315 дин.

Power project	Unit		
Base case power system			
Grid type	Central-grid & internal load		
Base case load characteristics			
Month	Power gross average load kW	Power net average load kW	Heating average load kW
January	125	125	248
February	148	148	199
March	133	133	130
April	154	154	69
May	137	137	17
June	135	135	4
July	120	120	4
August	111	111	4
September	113	113	13
October	142	142	65
November	152	152	143
December	185	185	208
System peak electricity load over max monthly average	10.0%		
Peak load - annual	204	204	400
Electricity	MWh	1,217	1,217
Electricity rate - base case	Rsd/kWh	5.315	5.315
Total electricity cost	Rsd	6,467,061	Rsd 6,467,061

Слика 4.5. Обрачунска снага по месецима

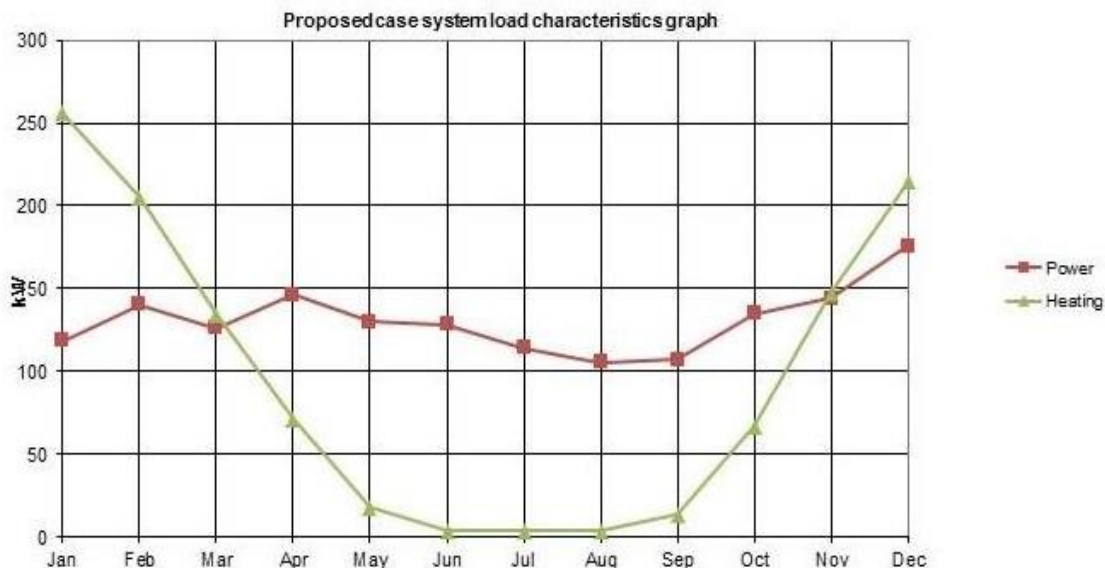
За прекорачени пик изнад максималне месечне вредности усваја се вредност од 10%, односно 204 (у kW снаге). На основу унетих података добијен је график потрошене топлотне и електричне енергије на годишњем нивоу (слика 4.6).



Слика 4.6. Потрошња топлотне и електричне енергије

График има очекивани изглед, односно потрошња електричне енергије не осцилује много током године, док крива која представља потрошњу топлоте експоненцијално опада све, негде до месеца маја, где постаје приближно линеарна. Та линеарност се задржава до септембра, што је и логично јер у овом периоду нема потрошње топлотне енергије, а након тога расте. Ако се усвоје, као

у овом примеру, мере енергетске ефикасности од 5%, предложен случај потрошње ће изгледати као на слици 4.7.



Слика 4.7. Предложени случај потрошње

Између овог и претходог графика уочава се велика сличност. Разлика је у томе што је овом случају, на основу предложених мера енергетске ефикасности од 5%, потрошња топлоте и струје нешто смањена, па ће кључне тачке графика бити ниже у правцу осе која показује потрошњу у kW.

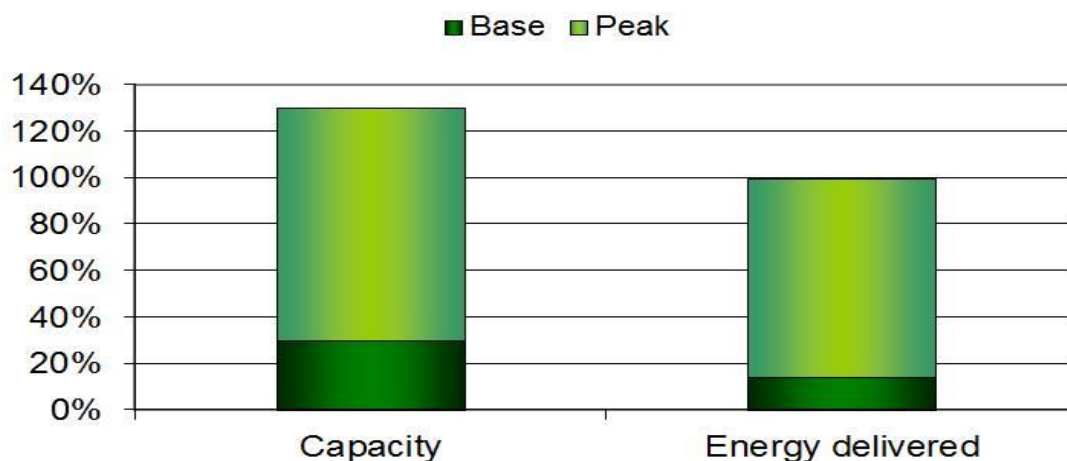
4.2.4 Избор когенерационе технологије

Избор технологије која се примењује, капацитет машине, број сати које та радна машина треба да обавља, као и врста горива и његова цена врше се у радном листу *Енергетски модел* (слика 4.8). Овде, такође, постоји могућност избора конкретног модела мотора из базе података коју поседује *RETScreen*.

Proposed case power system				
System selection	Base load system			
Base load power system				
Technology	Reciprocating engine			
Availability	h	2,800		32.0%
Fuel selection method	Single fuel			
Fuel type	Natural gas - m ³			
Fuel rate	Rsd/m ³	39.750		
Reciprocating engine				
Power capacity	kW	58		30.0%
Minimum capacity	%	50.0%		
Electricity delivered to load	MWh	162		14.0%
Electricity exported to grid	MWh	0		
Manufacturer	Ford Power Products			
Model	LRG 425 EFI			
Heat rate				1 unit(s)
Heat recovery efficiency	%	47.0%		
Fuel required	GJ/h	0.7		
Heating capacity	kW	63.6		15.4%

Слика 4.8. Енергетски модел

За радну машину одабран је клипни мотор релативно мале снаге од 58 Kw/h који као гориво користи природан гас. Број радних сати је одређен на основу потреба производње и одабрано је да мотор ради 32% времена, односно 2800 часова. Цена природног гаса је 39.750 дин/м³. Јако битно је одредити снагу мотора и оптерећење које мотор задовољава. Изабрано је базно оптерећење које задовољава 30% капацитета. Минимални капацитет којим мотор може да ради је 50%. На основу овога, количина електричне енергије која се доставља систему је свега 14%. Капацитет који овакав систем задовољава и испорука енергије приказани су на слици 4.9.



Слика 4.9. Капацитет електричне енергије и испоручена енергија

Максимални капацитет система може се прочитати са графика и види се да он износи 130%. Ту спада електрична енергија коју обезбеђује изабрани мотор, док осталих 100% потиче од електродистрибутивне мреже на коју је објект прикључен. Треба нагласити да је мотор изабран тако да испуњава базни модел оптерећења, који износи око 30%. То значи да мотор ради са предложених 100% капацитета (слика 4.10), тј. целокупна енергија коју производи искористи се за потребе објекта.

Suggested capacity	kW	193.3	
Capacity	kW	194	100.3%

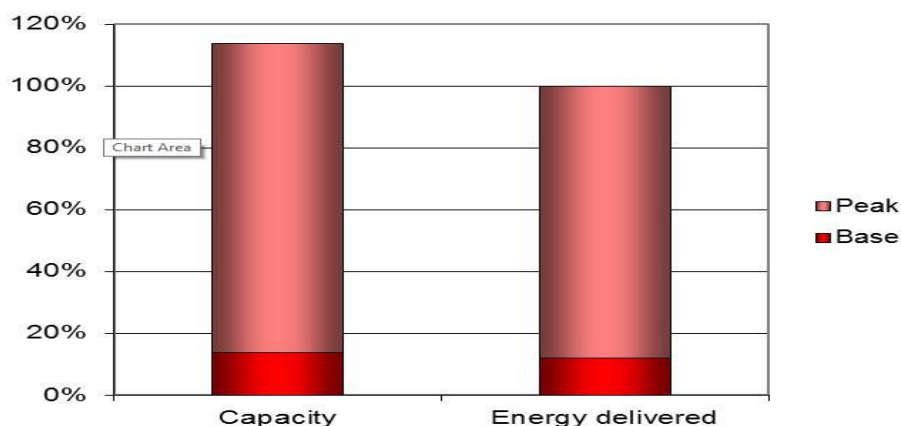
Слика 4.10. Предложени капацитет

Карактеристике препорученог грејног система су такође доступне и приказане су на слици 4.11.

Heating			
Base load heating system			
Technology		Reciprocating engine	
Capacity	kW	63.6	13.9%
Heating delivered	MWh	116	11.9%
Intermediate load heating system			
Technology		Not required	
Peak load heating system			
Technology		Boiler	
Fuel type		Natural gas - m³	
Fuel rate	Rsd/m³	39.750	
Suggested capacity	kW	458.9	
Capacity	kW	459	100.0%
Heating delivered	MWh	852.8	88.1%
Manufacturer			See PDB
Model			
Seasonal efficiency	%		
Back-up heating system (optional)			
Technology			
Capacity	kW	0.0	

Слика 4.11. Карактеристике препорученог грејног система

Укупан капацитет у погледу топлотне енергије који мотор задовољава износи 14%, а испоручена топлота је 12%. Ови подаци јасно су приказани на слици 4.12.



Слика 4.12. Дијаграм карактеристика грејног система

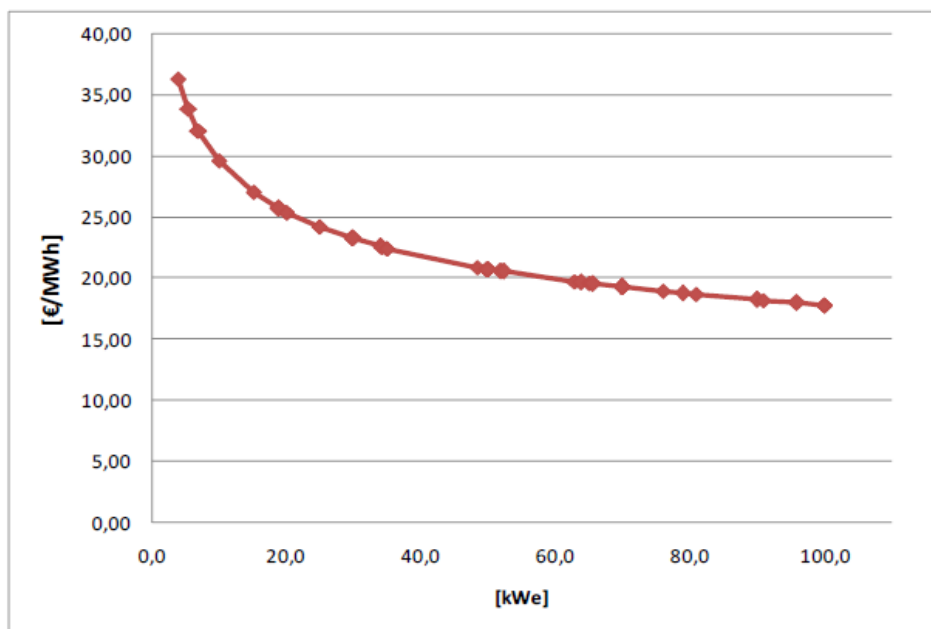
4.2.5 Анализа трошкова

Увођење когенерације или имплементација било код пројекта не би имала смисла уколико трошкови реализације и одржавања тог пројекта превазилазе уштеду. Зато софтверски пакет *RETScreen* у посебном радном листу омогућава уношење трошкова инсталације постројења, трошкове самог мотора, одржавања, замене делова. Најпре ће бити представљени почетни трошкови пројекта (слика 4.13).

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study					
Feasibility study	cost	1	Rsd 120,000	Rsd 120,000	
Sub-total:				Rsd 120,000	1.6%
Development					
Development	cost	1	Rsd 100,000	Rsd 100,000	
Sub-total:				Rsd 100,000	1.3%
Engineering					
Engineering	cost			Rsd -	
Sub-total:				Rsd -	0.0%
Power system					
Base load - Reciprocating engine	kW	58.00	Rsd 128,700	Rsd 7,464,600	
Peak load - Grid electricity	kW	195.00		Rsd -	
Road construction	km			Rsd -	
Transmission line	km			Rsd -	
Substation	project			Rsd -	
Energy efficiency measures	project			Rsd -	
User-defined	cost			Rsd -	
Sub-total:				Rsd 7,464,600	97.1%
Heating system					
Base load - Reciprocating engine	kW	63.6	Rsd -	Rsd -	
Peak load - Boiler	kW	413.0		Rsd -	
Energy efficiency measures	project			Rsd -	
User-defined	cost			Rsd -	
Sub-total:				Rsd -	0.0%
Balance of system & miscellaneous					
Spare parts	%			Rsd -	
Transportation	project			Rsd -	
Training & commissioning	p-d			Rsd -	
User-defined	cost			Rsd -	
Contingencies	%		Rsd 7,684,600	Rsd -	
Interest during construction			Rsd 7,684,600	Rsd -	
Sub-total:				Rsd -	0.0%
Total initial costs				Rsd 7,684,600	100.0%

Слика 4.13. Почетни трошкови

У оквиру овог прозора понуђена је могућност уписивања трошкова који се тичу студије изводљивости (120000 дин.), развоја пројекта, инжењеринга, као и трошкова радне машине по kW. За трошкове студије изводљивости и развоја пројекта изабрано је укупно 220000 дин. Ови трошкови зависе пре свега од тога колико се озбиљна и прецизна студија ради, као и од тога колика је вероватноћа реализације пројекта. У случају да није у потпуности сигурна финансијска исплативост, наручилац пројекта највероватније није спреман да уложи нека велика средства у ове сврхе. Пошто се наш пројекат односи на приватну фирму, усвојено је 220000 дин. као максимум који је власник спреман да уложи. Највећи део почетних улагања се наравно односи на саму цену мотора, која се процењује на основу снаге и рачуна се по kW. Смањењем снаге мотора повећава се његова цена по kW радне снаге (слика 4.14). Зато се препоручеје да захтеви објекта буду такви да је потребна уградња постројења што веће снаге, како би пројекат когенерације био исплатив.



Слика 4.14. Цена мотора у зависности од снаге

Са слике 4.13 може се видети да су укупни почетни трошкови пројекта когенерације у нашен случају 7,684,600 дин.

У наредном делу уносе се годишњи трошкови који укључују цену одржавања и цену горива, која и представља незаобилазни и највећи трошак. Након тога софтвер представља израчунату годишњу уштеду коју корисник остварује (слика 4.15).

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Parts & labour	project			Rsd -
User-defined	cost	100	Rsd 1,000	Rsd 100,000
Contingencies	%		Rsd 100,000	Rsd -
Sub-total:				Rsd 100,000
Fuel cost - proposed case				
Natural gas	m³	57,355	Rsd 39.750	Rsd 2,279,868
Electricity	MWh	994	Rsd 5,315.000	Rsd 5,280,552
Sub-total:				Rsd 7,560,420
Annual savings				
Fuel cost - base case				
Electricity	MWh	1,217	Rsd 5,315.000	Rsd 6,467,061
Coal	t	173	Rsd 12,500.000	Rsd 2,167,168
Sub-total:				Rsd 8,634,229

Слика 4.15. Годишњи трошкови и уштеда

За трошкове одржавања усвојено је да на годишњем нивоу износе око 100,000 дин. Ту је урачуната евентуална замена делова, као и цена природног гаса и струје. Годишња уштеда износи 8,643,229 дин.

4.2.6 Смањење емисије издувних гасова

Један од битних разлога увођења когенерације је и смањење емисије гасова стаклене баште. Зато програм *RETSscreen* у свом саставу садржи и део посвећен управо израчунавању смањења емисије штетних гасова (слика 4.16). За Србију постоји податак у самом програму да је емисија угљен-диоксида 0.285 t/MWh. У основном случају је на основу потрошње електричне и топлотне енергије процењено да је емисија гасова 895.3 t. Коришћењем система когенерације та вредност се своди на 390.3 t, односно за 505 t је смањена. Ови подаци приказани су на слици 4.16.

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	
Serbia	Natural gas	0.271	5.0%	0.285	
☐ Baseline changes during project life					
Base case system GHG summary (Baseline)					
Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission tCO ₂ /MWh	GHG emission tCO ₂	
Coal	56.3%	1,568	0.350	548.3	
Electricity	43.7%	1,217	0.285	347.1	
Total	100.0%	2,785	0.321	895.3	
Proposed case system GHG summary (Combined heating & power project)					
Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission tCO ₂ /MWh	GHG emission tCO ₂	
Natural gas	35.3%	541	0.197	106.9	
Electricity	64.7%	994	0.285	283.4	
Total	100.0%	1,535	0.254	390.3	
GHG emission reduction summary					
Combined 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 tCO ₂
	895.3	390.3	505.0		505.0

Слика 4.16. Редуkcија емисије угљен-диоксида

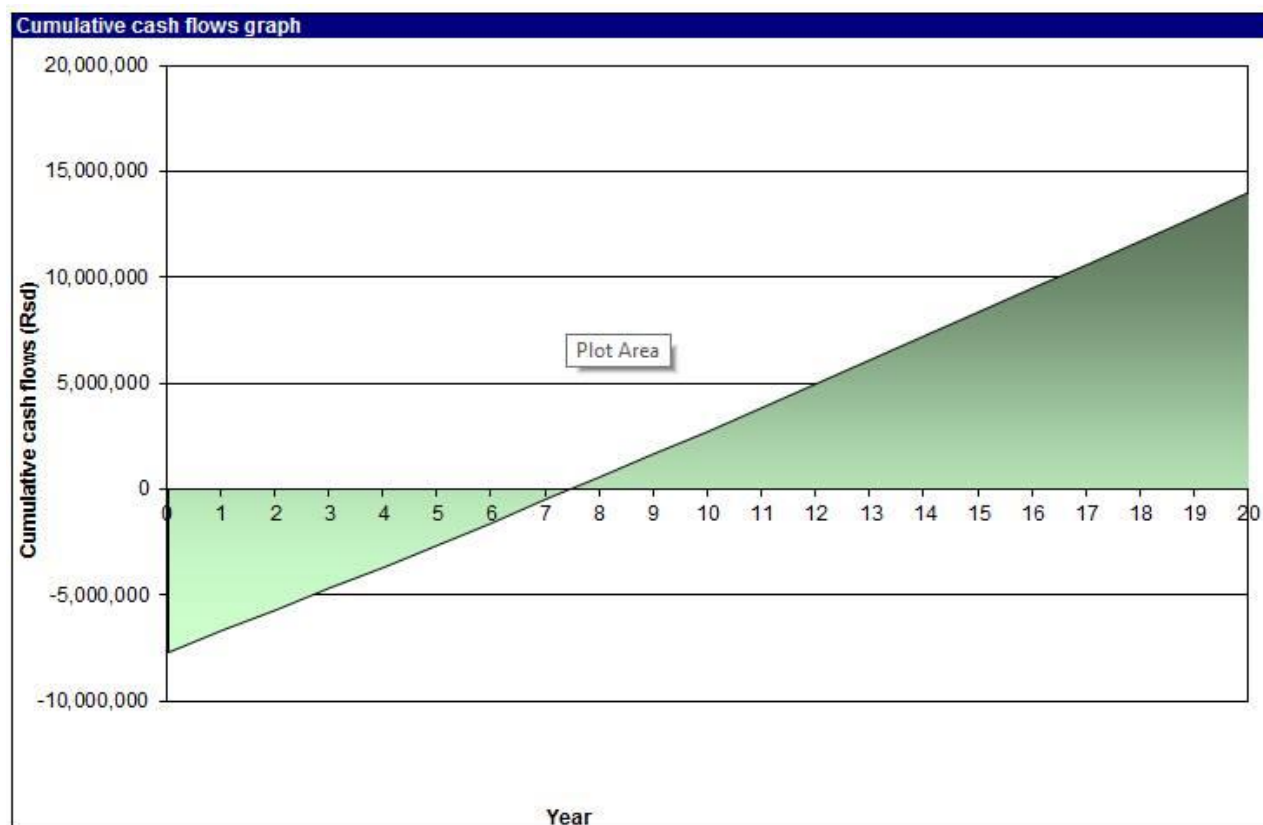
4.2.7 Анализа финансијске исплативости пројекта

Циљ сваке анализе или пројекта јесте да се покаже да ли има економску оправданост, односно финансијску исплативост и одрживост. Уколико се пројекат когенерације односи на период од 20 година, као што је у конкретном случају, треба имати у виду промене на тржишту струје као и стопу инфлације. Емпиријски је одређено да пораст цене горива износи 2%, а стопа инфлације 8%. Ово су фактички последњи финансијски параметри који се уносе пре приказа укупних трошкова и уштеде за одабрани период. Укупни почетни капитал потребан за уградњу когенерационог постројења, годишњи трошкови горива и одржавања, као и ток новца за сваку годину појединачно, а у укупном интервалу од 20 година, представљени су на слици 4.17.

Project costs and savings/income summary				Yearly cash flows			
Initial costs				Year	Pre-tax	After-tax	Cumulative
Feasibility study	1.6%	Rsd	120,000	#	Rsd	Rsd	Rsd
Development	1.3%	Rsd	100,000	0	-7,684,600	-7,684,600	-7,684,600
Power system	97.1%	Rsd	7,464,600	1	987,285	987,285	-6,697,315
Heating system	0.0%	Rsd	0	2	1,000,551	1,000,551	-5,696,764
				3	1,013,564	1,013,564	-4,683,200
				4	1,026,277	1,026,277	-3,656,923
				5	1,038,639	1,038,639	-2,618,284
				6	1,050,596	1,050,596	-1,567,688
Balance of system & misc.	0.0%	Rsd	0	7	1,062,087	1,062,087	-505,601
Total initial costs	100.0%	Rsd	7,684,600	8	1,073,046	1,073,046	567,445
Annual costs and debt payments				9	1,083,401	1,083,401	1,650,846
O&M		Rsd	100,000	10	1,093,075	1,093,075	2,743,921
Fuel cost - proposed case		Rsd	7,560,420	11	1,101,983	1,101,983	3,845,903
Total annual costs		Rsd	7,660,420	12	1,110,033	1,110,033	4,955,936
Periodic costs (credits)				13	1,117,124	1,117,124	6,073,060
				14	1,123,149	1,123,149	7,196,210
				15	1,127,989	1,127,989	8,324,198
				16	1,131,516	1,131,516	9,455,714
				17	1,133,590	1,133,590	10,589,304
				18	1,134,062	1,134,062	11,723,366
				19	1,132,767	1,132,767	12,856,134
				20	1,129,528	1,129,528	13,985,662
Annual savings and income							
Fuel cost - base case		Rsd	8,634,229				
Total annual savings and income		Rsd	8,634,229				

Слика 4.17. Трошкови, уштеда и ток капитала

Као резултат анализа вршених у програму добија се крајњи график тока новца који даје јаснију слику отплате пројекта (слика 4.18).



Слика 4.18. График тока новца

Са графика или из финансијког извештаја (слика 4.17) се може прочитати да је почетна свота капитала потребног за један овакв подухват 7,684,600 дин. Период отплате уложеног новца је нешто већи од седам година и након тога постиже се велика уштеда, која би за период од 20 година износила скоро 14,000,000 RSD, што је готово два пута више од уложених средстава.

5. Закључак

Примена когенерационог постројења разматрана је пре свега због многобројних предности које овакав процес поседује у односу на устаљене начине снабдевања енергијом. Степен ефикасности је знатно већи, а у зависности од услова може достићи 85%, и управо је та чињеница била кључна за започињање оваквог пројекта.

Конкретан случај иплеметације ове технологије разматран је за индустријски објекат, а добијени резултати показују да уз правилан избор технологије и оптерећења когенерација може да донесе, после одређеног периода, повраћај уложених средстава, након чега се сваке наредне године остварује све већа уштеда. За анализу је послужио програм *RETScreen* који, заправо, треба да представи јаснију слику о тренутном стању објекта и стању након уградње когенерационог постројења. У конкретном случају је заправо највећи проблем био избор снаге мотора, односно модела оптерећења, будући да од тога највише зависи финансијска анализа. Одабран је мотор снаге 58 kW, који задовољава базно оптерећење, односно испуњава 30% капацитета за електричном енергијом или 14% за топлотном. Једино у том случају процес увођења когенерације био би исплатив за разматрани објекат. Анализе су вршене и за случај средњег и вршног оптерећења, међутим, добијени резултати не оправдавају реализацију пројекта.

Треба напоменути да програм *RETScreen* јако помаже при избору одређеног система, али има и недостатке. Они се тичу начина одређивања грејних карактеристика објекта. Програм захтева уношење топлотне оптерећености објекта и сам врши калкулацију потрошеног горива. Зато је потребно ускладити рачуне енергената са топлотним оптерећењем, будући да мала варијација тог параметра знатно утиче на резултат. Проблем се може решити дорађивањем самог програма, при чему би корисник могао ручно да уноси количину енергената коју троши за грејање, на месечном нивоу. Тиме би се стекао бољи увид у карактеристике самог објекта, а резултати би били нешто прецизнији.

6. Литература

- [1] Марковић, Д., Процесна и енергетска ефикасност, Универзитет Сингидунум, Београд, 2010.
- [2] Кочовић, В., Употреба когенерације у земљама из окружења кроз примењене технологије, остварене економске и еколошке добити, Завршни рад, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2012.
- [3] <http://www.gorenje-indop.si/sr/43391>
- [4] <http://www.grejanje.com/strana.php?pID=89>
- [5] <http://www.paluba.info/smf/index.php?topic=9845.0>
- [6] Бојић, М., Термодинамика, Машински факултету у Крагујевцу, Крагујевац, 2011.
- [7] Бабић, М., Едукациони материјал, Предмет енергија и животна средина, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 2013.
- [8] <http://www.paluba.info/smf/index.php?topic=9276.0;imode>
- [9] <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/226592/gasoline-engine>
- [10] http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/basics/jtb_diesel_engine.pdf
- [11] http://issuu.com/iipp/docs/casopis_iipp_15/59
- [12] <http://retscreen.net/ang/home.php>
- [13] 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.