

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Нивостудија: Основне академске студије

Модул: Индустијско инжењерство

Предмет: Механика флуида

Број индекса: 75/2011

Душан Војиновић

**Могућност увођења когенерације у
индустрији пива помоћу софтверског пакета
RETScreen**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану

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

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена:

У оквиру овог завршног рада треба да се:

- објасни шта је когенерациони процес, наведу предности и мане, као и разог његове примене,
- опише технологије које се користе у процесу когенерације и изврши избор оптималне,
- изврши анализа примене оваквог процеса на конкретном примеру индустријског објекта помоћу програмског пакета RETScreen и
- резултати анализе представе, објасне и изведе закључак о исплативости пројекта.

Препоручена литература:

[1] 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

[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] <http://www.etscreen.net/ang/home.php> .

Резиме

Основни задатак овог завршног 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 централни део фабрике Ад “Јагодинска пивара“ Јагодина. У циљу обављања конкретних анализа, неопходно је да се прво објасни појам когенерације, предности и мане, опишу неке врсте когенерационих технологија и изврши избор најоптималнијег решења. 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 Ad ” Jagodinska brewery” from Jagodina. 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	5
2. Когенерација	6
2.1 Дефинисање когенерације	6
2.2 Когенерација са економског аспекта	8
2.3 Предности когенерације	9
2.4 Недостаци когенерације	10
3. Когенерационе технологије и постројења	11
3.1 Гасне турбине	11
3.2 Парне турбине.....	13
3.2.1 Постојеће парне турбине	14
3.3 Мотори са унутрашњим сагоревањем	14
3.3.1 Ото мотори.....	15
3.3.2 Дизел мотори	15
4. Уопштено о АД “ Јагодинска пивара“	16
5. Анализа изводљивости пројекта	17
5.1 Анализа пројекта когенерационог постројења помоћу програма <i>RETScreen</i>	17
5.1.1 Информације о пројекту	18
5.1.2 Пројекат грејања.....	19
5.1.3. Електро-енергетски пројекат	20
5.1.4 Избор когенерационе технологије.....	21
5.1.5 Анализа трошкова	24
5.1.6 Смањење емисије издувних гасова	25
5.1.7 Анализа финансијске исплативости пројекта.....	26
6. Закључак.....	28
7. Литература.....	29

1. Увод

Читав век трага се за методама које ће омогућити рационало и ефикасно снабдевање и употребу енергије. Тај процес је тежак, дуг 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 цивилизације 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 термoeлектроанама и фисијом нуклеарних горива годишње се у читавом свету произведе на хиљаде TWh електричне енергије. Највећа количина електричне енергије добија се у термoeлектроанама 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

Трансформације хемиске у друге видове енергије настаје сагоревањем фосилних горива у енергетском постројењу. 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.

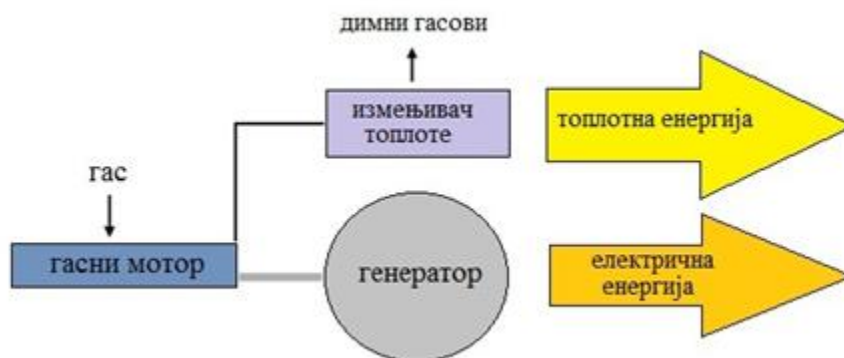
Степен искоришћења у просечној термоелектрани која као енергент користи уље јесте од 35-40%, што значи да се више од 50% губи непотребно, што кроз хлађење и кондензацију, што кроз губитак у самом систему. Когенерација се користи у циљу у циљу искоришћења те енергије. Когенерација (Combined Heat and Power или СНР) 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).

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.

Когенерацијске електране се могу наћи у подручјима са централним грејањем или у великим градовима, болницама, рафинеријама [2]. 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 осим 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 је приказана основна шема једног когенерационог процеса



Слика 1.1. Шема когенеративног процеса

Овај когенерациони процес функционише на следећи начин [4]:

- 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 овок система има смисла једино 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. Квалитетан гасни генератор 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.

Након периода отплате когенеративног постојења једини трошкови су они који се тичу цене горива и сервисирања, односно одржавања когенеративног постројења.

2.3 Предности когенерације

Применом когенерационог система се разматра због њихове високе енергетске ефикасности и с тиме повезаним еколошким и економским предностима. 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,
- краatak 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 томе 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 запужења у преносу,
- повећање квалитета напона и
- повећање поузданости снабдевања електричном енергијом.

2.4 Недостаци когенерације

Иако постоји велики потенцијал за когенерацијску производњу, кључне препреке за когенерацију су и даље присутне. Међу најважнијим недостацима 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 које 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 kN за Стирлингов мотор до 250 MN 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. 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.

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

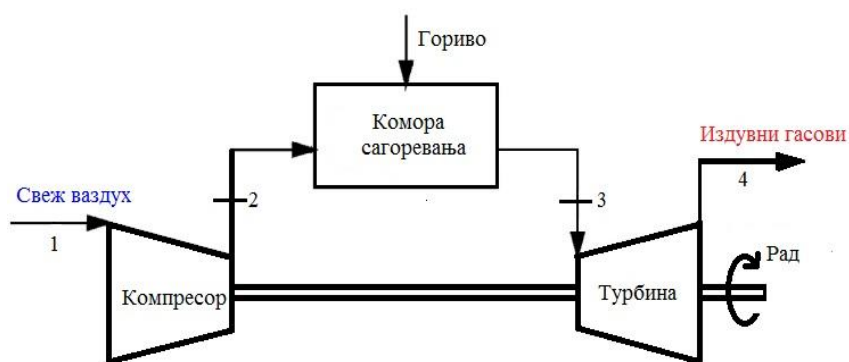
3.1 Гасне турбине

Ове турбине раде коришћењем врелих гасова који настају сагоревањем горива. На задњем крају су турбинска радна кола док су на предњој компресорска радна кола, између се налази комора за сагоревање [5]. На слици 3.1 ће се видети турбина на којој су означене зоне (хладна и топла) и сваки део посебно.



Слика 3.1. Изглед гасне турбине

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 [5]. Шема гасне турбине дата је на слици 3.2.



Слика 3.2. Шема гасне турбине

Принцип рада гасне турбине је заснован на Брајтоновом (Џуловом циклусу). На слици 3.3 се може видети изглед Џуловог циклуса у P-V дијаграму.

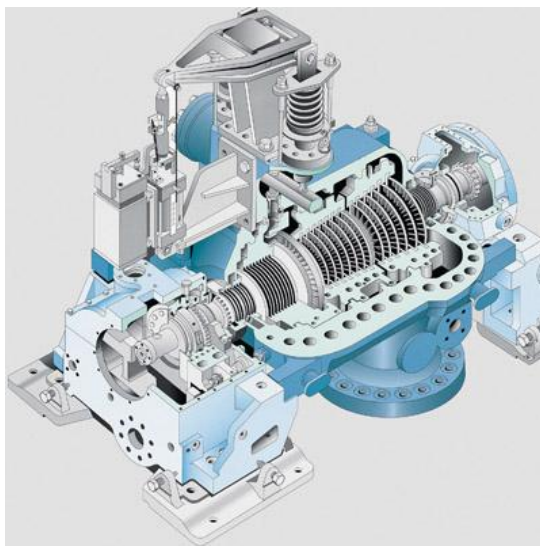


Слика 3.3. Џулов циклус

У компресору се изентропски 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.

3.2 Парне турбине

Парне турбине (Слика 3.4) су топлотни уређаји у којима се топлотна енергија, садржана у пари, претвара најпре у кинетичку енергију, а након тога у механички рад. Разликују се аксијалне (претварање топлоте у кинетичку енергију се врши у статорским лопатицама) и реакцијске (делимично у статорским а делимично у роторским лопатицама) [8].

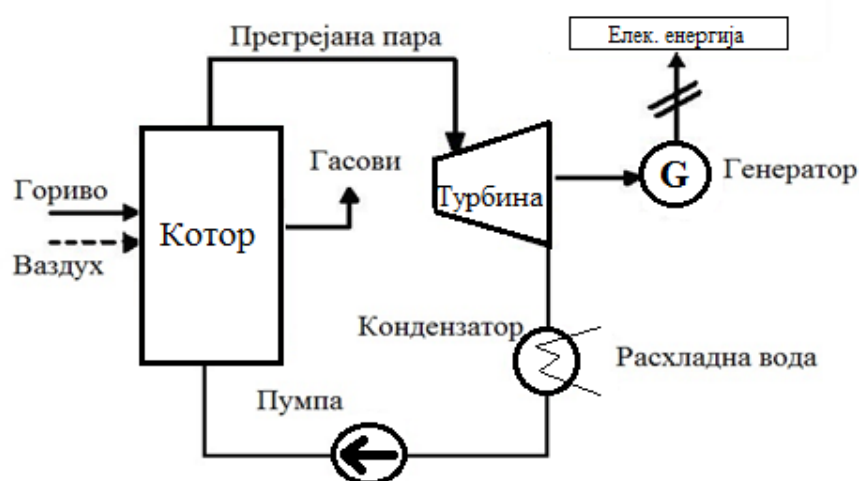


Слика 3.4. Изглед парне турбине

За разлику од гасне рад ове турбине се може представити по Ранкинеовом циклусу.

3.2.1 Постројење парне турбине

Рад парне турбине заснива се на Ранкинеовом циклусу (слика3.5). У овом циклусу вода се помоћу грејача загрева и достиже жељену температуру. Пара се из котла преводи до турбине која служи за покретање генератора, који производи електричну енергију. Након што се експандирана пара у кондензатору кондензује, уз помоћ напојне пумпе повећа јој се притисак. Након овога, преко пумпе водена пара се поново шаље у котлао где се циклус затвара. У кондензатору се као медијум за хлађење обично користи вода или ваздух, али део топлоте који се доводи кондензатору увек остаје неискоришћен [9].



Слика 3.5. Шематски приказ постројења парне турбине

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 вршење 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, али немају вентиле и брегасто вратило. Према начину паљења две основне врсте мотора са унутрашњим сагоревањем су Ото и Дизел.

3.3.1 Ото мотори

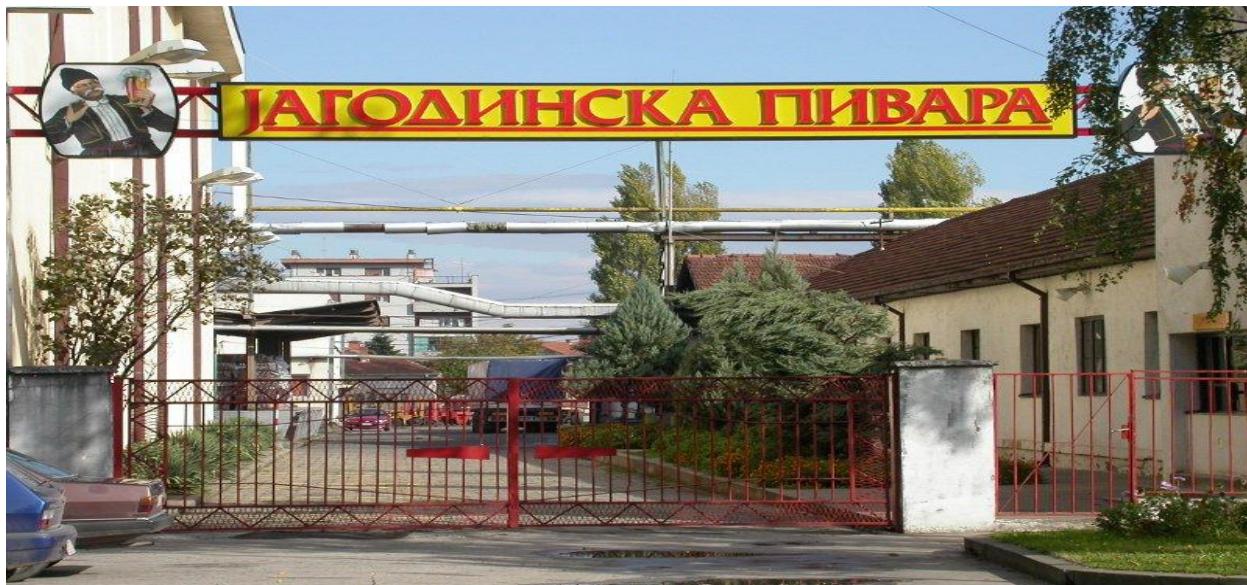
Смеша за сагоревање (горива и ваздуха), код ото мотора, остварује се изван цилиндра мотора, у посебном уређају - карбуратору. Ова смеша се кроз усисни вентил уводи у цилиндар и помоћу клипа сабија (7-11 bar). Сабијена смеша у цилиндру пали се електричном варницом, у цилиндру порасте притисак (25-40 bar) 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. Ефикасност им је између 27-35%, а излазни опсег је ограничен на 2 MW [10].

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. Ефикасност им је од 35-45% а излазни опсег је до 15 MW [6].

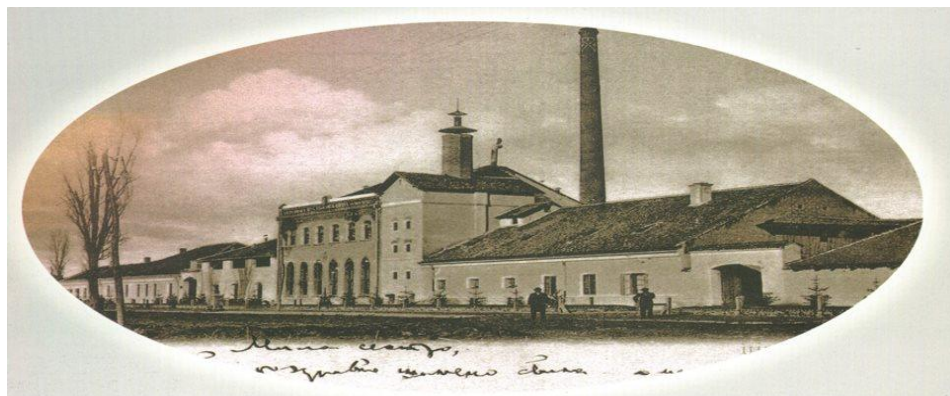
4. Уопштено о АД“ Јагодинска пивара“

Јагодинска пивара (слика 4.1) се налази у улици Стевана Првовенчаног 133, у Јагодини. Њен први правни власник и оснивач је био Филип Станковић, познати марвени трговац из Смедерева, близак сарадник Кнеза Милоша. Јагодинска пивара је после тога неколико пута променила власника, све док није дошла у власништво државе. Данас се бира директор који одговара за пословање Јагодинске пиваре од стране државе.



Слика 4.1 Изглед Јагодинске пиваре

Јагодинска пивара је настала 21. децембра 1852. године, као једна од првих индустрија у тадашњој Србији. Од тада до данашњих дана, Јагодинска пивара је два пута рушена и то 1912. и 1915. године, да би током 1921. наставила са пословањем. На слици 4.2 види се стари изглед Јагодинске пиваре.



Слика 4.2 Стари изглед пиваре

Јагодинска пивара запошљава 278 радника у различитим секторима и има своја стоварасти у Крагујевцу, Крушевцу и тд. Организациони тим чине: скупштина акционара, управни одбор, надзорни одбор, извршни одбор и секретар друштва.

Данас се у Јагодинској пивари највише производи сок и пиво. Годишњи капацитет производње је до 300,000 hl пива и 20,000 hl сока. Поред тога, постоје и одређени капацитети за минералну воду.

5. Анализа изводљивости пројекта

Ова пивара се простире на 21,000 m², али у самом раду ће се разматрати 10,000 m² (објекти управне зграде и дела производње).

5.1 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 [11]. 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 уштеде 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*).

5.1.1 Информације о пројекту

На самом почетку потребно је унети основне подаке о пројекту, слика 5.1.

The screenshot displays a software interface with two main sections: "Project information" and "Site reference conditions".

Project information (with a link [See project database](#)):

- Project name: Ad"Jagodinska pivara"
- Project location: Jagodina
- Prepared for: Fakultet inženjerskih nauka
- Prepared by: Dusan Vojnovic
- 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 (with a link [Select climate data location](#)):

- Climate data location: Krusevac
- Show data: ☒

Слика 5.1 Основни подаци у програму

Пројекат се односи на АД“ Јагодинска пивара“ са локацијом у Јагодини, чија је главна делатност производња алкохолних и безалкохолних пића. 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. Будући да програм у себи не садржи град Јагодину, изабрано је најближе место, а то је Крушевац.

Ово је неопходно, због усвајања климатских података, измерених за тај град у претходној години по месецима (дневно топлотно зрачење, атмосферски притисак, брзина ветра, температуре ваздуха и земље).

5.1.2 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 5.2) 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	10,000
Fuel type	Natural gas - m³	
Seasonal efficiency	%	70%
Heating load calculation		
Heating load for building	W/m²	90.0
Domestic hot water heating base demand	%	5%
Total heating	MWh	1,889
Total peak heating load	kW	900.0
Fuel consumption - annual	m³	282,852
Fuel rate	RSD/m³	39,950
Fuel cost	RSD	11,299,945
Proposed case energy efficiency measures		
End-use energy efficiency measures	%	5%
Net peak heating load	kW	855.0
Net heating	MWh	1,775

Слика 5.2 Пројекат грејања

И овде се уносе подаци о коликој се површини ради. Од енергената објекат троши гас чија је цена 39,950 дин/ m³. 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 (11, 299, 945 дин), може се закључити да је изабрано топлотно оптерећење јако близу реалног.

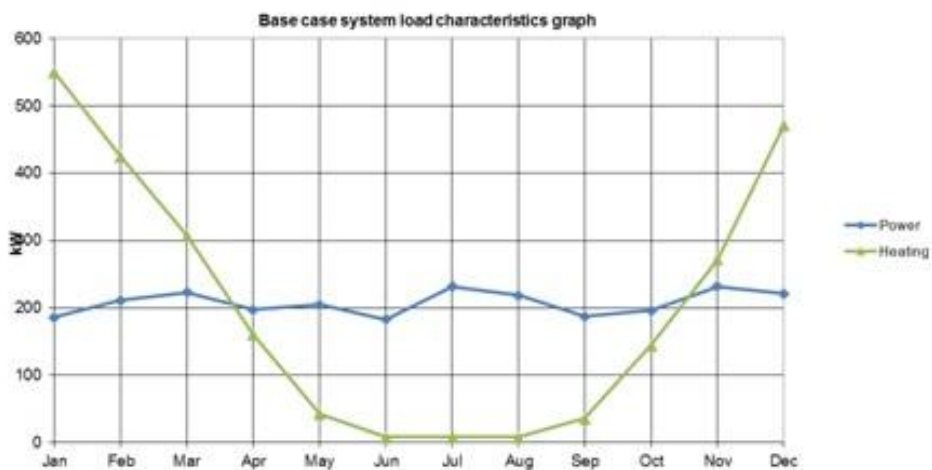
5.1.3. Електро-енергетски пројекат

Корисник овде уноси снагу средњег оптерећења електричне мреже у kW (слика 5.3), односно снагу за обрачун (уколико се читају рачуни за електричну енергију). Потребно је унети и цену струје по kWh, која у овом случају износи 6,550 дин.

Base case load characteristics			
Month	Power gross average load kW	Power net average load kW	Heating average load kW
January	186	186	550
February	211	211	425
March	223	223	308
April	197	197	160
May	205	205	42
June	183	183	8
July	232	232	8
August	219	219	8
September	187	187	36
October	196	196	145
November	232	232	272
December	221	221	471
System peak electricity load over max monthly average			
Peak load - annual	10.0%	255	900
Electricity			
Electricity rate - base case	MWh	1,826	1,826
Total electricity cost	RSD/kWh	6,550	6,550
	RSD	11,963,448	11,963,448

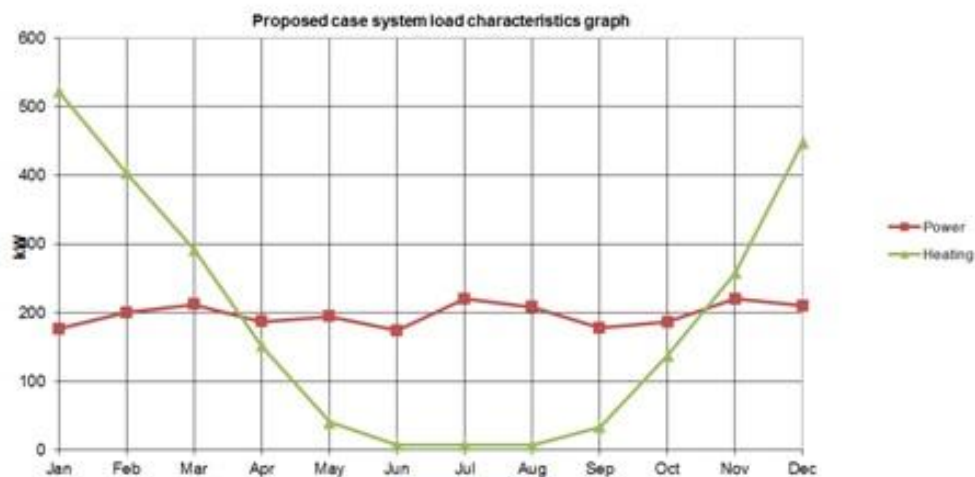
Слика 5.3 Обрачунска снага по месецима

За прекорачени пик изнад максималне месечне вредности усваја се вредност од 10%, односно 255 (у kW снаге). На основу унетих података добијен је график потрошене топлотне и електричне енергије на годишњем нивоу (слика 5.4).



Слика 5.4 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 5.5.



Слика 5.5 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.

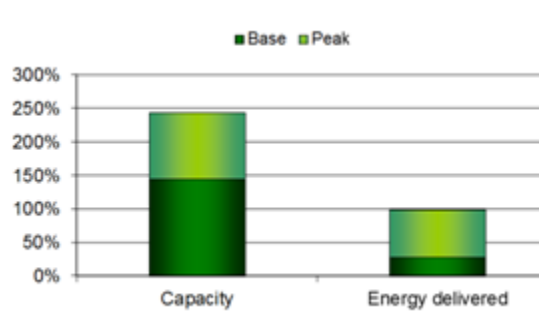
5.1.4 Избор когенерационе технологије

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 5.6). 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	Reciprocating engine			
Technology				
Availability	h	2,500		28.5%
Fuel selection method	Single fuel			
Fuel type	Natural gas - m ³			
Fuel rate	RSD/m ³	39,950		
Reciprocating engine				
Power capacity	kW	350		144.4%
Minimum capacity	%	50.0%		
Electricity delivered to load	MWh	495		28.5%
Electricity exported to grid	MWh	380		
Manufacturer				
Model				
Heat rate	kJ/kWh	12,000		
Heat recovery efficiency	%	47.0%		
Fuel required	GJ/h	4.2		
Heating capacity	kW	383.8		44.9%

Слика 5.6 Енергетски модел

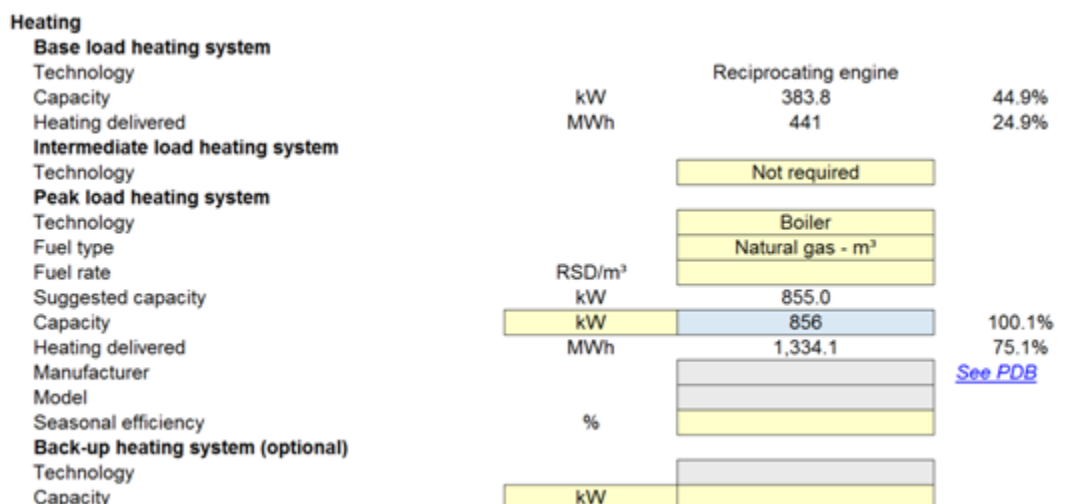
За радну машину одабран је клипни мотор релативно велике снаге од 350 Kw/h који као гориво користи природан гас. Број радних сати је одређен на основу потреба производње и одабрано је да мотор ради 28,5% времена, односно 2,500 часова. Цена природног гаса је 39,950 дин/м³. Јако битно је одредити снагу мотора и оптерећење које мотор задовољава. Изабрано је базно оптерећење које задовољава 144,4% капацитета. Због проблема законодавне природе у Србији, вишак произведене електричне енергије не може да се извози, а да би ми испунили наше захтеве потребно је користити овај мотор. Минимални капацитет којим мотор може да ради је 50%. На основу овога, количина електричне енергије која се доставља систему је свега 28,5%. Капацитет који овакав систем задовољава и испорука енергије приказани су на слици 5.7.



Слика 5.7 Капацитет електричне енергије и испоручена енергија

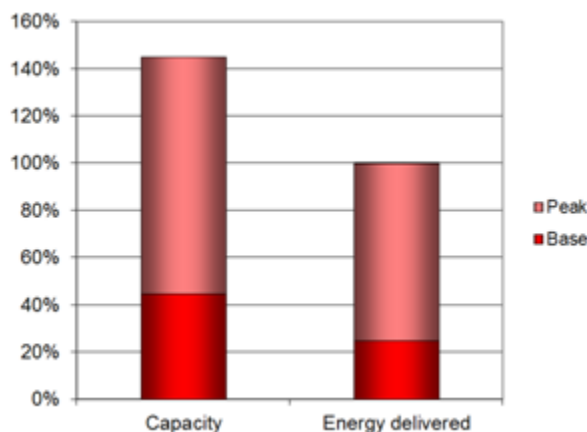
Максимални капацитет система може се прочитати са графика и види се да он износи 254%. Ту спада електрична енергија коју обезбеђује изабрани мотор, док осталих 100% потиче од електродистрибутивне мреже на коју је објекат прикључен. Треба нагласити да је мотор изабран тако да испуњава базни модел оптерећења, који износи око 30%. То значи да мотор ради са предложених 100% капацитета тј. целокупна енергија коју производи искористи се за потребе објекта.

Карактеристике препорученог грејног система су такође доступне и приказане су на слици 5.8.



Слика 5.8 Карактеристике препорученог грејног система

Укупан капацитет у погледу топлотне енергије који мотор задовољава износи 45%, а испоручена топлота је 25%. Ови подаци јасно су приказани на слици 5.9.



Слика 5.9 Дијаграм карактеристика грејног система

5.1.5 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 5.10).

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study					
Feasibility study	cost		RSD 200,000	RSD -	
Sub-total				RSD -	0.0%
Development					
Development	cost		RSD 150,000	RSD -	
Sub-total				RSD -	0.0%
Engineering					
Engineering	cost			RSD -	
Sub-total				RSD -	0.0%
Power system					
Base load - Reciprocating engine	kW	350.00	RSD 135,000	RSD 47,250,000	
Peak load - Grid electricity	kW	243.00		RSD -	
Road construction	km			RSD -	
Transmission line	km			RSD -	
Substation	project			RSD -	
Energy efficiency measures	project			RSD -	
User-defined	cost			RSD -	
Sub-total				RSD 47,250,000	100.0%
Heating system					
Base load - Reciprocating engine	kW	383.8		RSD -	
Peak load - Boiler	kW	856.9		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 47,250,000	RSD -	
Interest during construction			RSD 47,250,000	RSD -	
Sub-total				RSD -	0.0%
Total initial costs				RSD 47,250,000	100.0%

Слика 5.10 Почетни трошкови

У оквиру овог прозора понуђена је могућност уписивања трошкова који се тичу студије изводљивости (200,000 дин.), развоја пројекта, инжењеринга, као и трошкова радне машине по kW. За трошкове студије изводљивости и развоја пројекта изабрано је укупно 350,000 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 велику фирму, усвојено је 350,000 дин. као максимум који је менаџмент 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. Зато се препоручује да захтеви објекта буду такви да је потребна уградња постројења што веће снаге, како би пројекат когенерације био исплатив.

Са слике 5. 10 може се видети да су укупни почетни трошкови пројекта когенерације у нашен случају 47,250,000 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 приказује израчунату годишњу уштеду коју корисник остварује (слика 5.11).

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Parts & labour	project	100	RSD 10,000	RSD 1,000,000
User-defined	cost			RSD -
Contingencies	%		RSD 1,000,000	RSD -
Sub-total:				RSD 1,000,000
Fuel cost - proposed case				
Natural gas	m³	309,026	RSD 39.950	RSD 12,345,575
Electricity	MWh	1,240	RSD 6.550	RSD 8,122
Sub-total:				RSD 12,353,697
Annual savings				
Fuel cost - base case				
Natural gas	m³	282,852	RSD 39.950	RSD 11,299,945
Electricity	MWh	1,826	RSD 6,550.000	RSD 11,963,448
Sub-total:				RSD 23,263,393

Слика 5.11 Годишњи трошкови и уштеда

За трошкове одржавања усвојено је да на годишњем нивоу износе око 10,000 дин. Ту је урачуната евентуална замена делова, као и цена природног гаса и струје. Годишња уштеда износи 23,263,393 дин.

5.1.6 Смањење емисије издувних гасова

Један од битних разлога увођења когенерације је и смањење емисије гасова стаклене баште. Зато програм *RETScreen* у свом саставу садржи и део посвећен управо израчунавању смањења емисије штетних гасова (слика 5.12). За Србију постоји податак у самом програму да је емисија угљен-диоксида 0,844 t/MWh. У основном случају је на основу потрошње електричне и топлотне енергије процењено да је емисија гасова 2,388,2 t. Коришћењем система когенерације та вредност се своди на 1,621,9 t, односно за 766,3 t је смањена. Ови подаци приказани су на слици 5.12

	Base case GHG emission tCO2	Proposed case GHG emission tCO2	Gross annual GHG emission reduction tCO2	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO2
Combined heating & power project	2,388.2	1,621.9	766.3		766.3

Слика 5. 12 Редукација емисије угљен-диоксида

5.1.7 Анализа финансијске исплативости пројекта

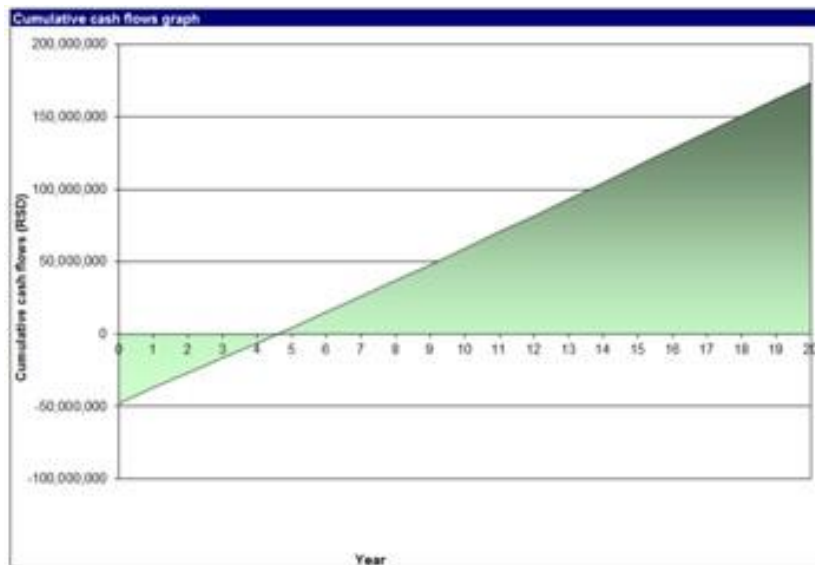
Циљ сваке анализе или пројекта, између осталог, је и да се покаже да ли има економску оправданост, односно финансијску исплативост и одрживост. Уколико се пројекат когенерације односи на период од 20 година, као што је у конкретном случају, треба имати у виду промене на тржишту струје као и стопу инфлације. Емпиријски је одређено да пораст цене горива износи 2%, а стопа инфлације 8%.

			#	RSD	RSD	RSD
			0	-47,250,000	-47,250,000	-47,250,000
Power system	100.0%	RSD	1	10,060,377	10,060,377	-37,189,623
Heating system	0.0%	RSD	2	10,186,535	10,186,535	-27,013,088
			3	10,320,232	10,320,232	-16,692,855
			4	10,451,004	10,451,004	-6,241,851
			5	10,578,345	10,578,345	4,336,494
			6	10,701,703	10,701,703	15,038,197
Balance of system & misc	0.0%	RSD	7	10,820,475	10,820,475	25,858,671
Total initial costs	100.0%	RSD	8	10,934,005	10,934,005	36,792,676
			9	11,041,579	11,041,579	47,834,255
			10	11,142,421	11,142,421	58,976,676
			11	11,235,684	11,235,684	70,212,360
Annual costs and debt payments			12	11,320,450	11,320,450	81,532,810
O&M		RSD	13	11,395,719	11,395,719	92,928,529
Fuel cost - proposed case		RSD	14	11,460,406	11,460,406	104,388,935
			15	11,513,333	11,513,333	115,902,267
Total annual costs		RSD	16	11,563,219	11,563,219	127,455,486
			17	11,578,677	11,578,677	139,034,164
Periodic costs (credits)			18	11,588,200	11,588,200	150,622,364
			19	11,580,153	11,580,153	162,202,517
			20	11,552,764	11,552,764	173,755,282
Annual savings and income						
Fuel cost - base case		RSD				23,263,383
Electricity export income		RSD				2,488
Total annual savings and income		RSD				23,265,871

Слика 5.13 Трошкови, уштеда и ток капитала

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 5.13.

Као резултат анализа вршених у програму добија се крајњи график тока новца који даје јаснију слику отплате пројекта (слика 5.14).



Слика 5.14 График тока новца

Са графика или из финансијског извештаја (слика 5.14) се може прочитати да је почетна свота капитала потребног за један овакв подухват 47,250,000 дин. Период отплате уложеног новца је нешто већи од четири и по године и након тога постиже се велика уштеда, која би за период од 20 година износила скоро 173,755,282 дин. , што је готово три пута више од уложених средстава.

6. 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.

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 350 kW, који је већи од потребног за разматрани простор али морамо водити рачуна да је ово само један од објеката који Јагодинска пивара поседује. У зависности како се систем покаже Јагодинска пивара би и у остале објекте увела исти систем. 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.

7. 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://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/basics/jtb_diesel_engine.pdf
- [10] <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/226592/gasoline-engine>
- [11] <http://retscreen.net/ang/home.php>