

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Процесни апарати и постројења

Број индекса: 414/2011

Слободан Б. Тодоровић

**Истраживање когенерационих потенцијала топлана-
енергана које послују у оквиру Пословног удружења
топлана Србије и израда одговарајућих база података, са
посебним освртом на нову опрему која се мора
инсталисати у њих ради успостављања когенерационе
производње топлотне и струјне енергије**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. Др Милун Бабић - ментор**
- 2. Др Вања Шуштершич**
- 3. Др Слободан Савић**

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

Предмет овог рада је утврђивање потенцијала когенерације топлотне и електричне енергије у у топланама које послују у оквиру удружења топлана Србије и могућности повећања повећања садашњег занемарљиво малог учешћа когенерације у укупној производњи електричне енергије. Обрађени су могући утицаји когенерације на повећање енергетске ефикасности коришћења примарне енергије и на смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште, као и економска оправданост увођења когенерационих постројења у објектима пословног удружења.

Препоручена литература:

[1] Parsons Charles A. (1911). The Steam Turbine. University Press, Cambridge

[2] Traupel W. (1977) (?? German). Thermische Turbomaschinen

[3] Thurston R. H. (1878). A History of the Growth of the Steam Engine. D. Appleton

Крагујевац, датум

25. 03. 2013. год.

ментор:

Др Милун Бабић

Резиме:

Предмет овог рада је утврђивање потенцијала когенерације топлотне и електричне енергије у у топланама које послују у оквиру удружења топлана Србије и могућности повећања повећања садашњег занемарљиво малог учешћа когенерације у укупној производњи електричне енергије. Обрађени су могући утицаји когенерације на повећање енергетске ефикасности коришћења примарне енергије и на смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште, као и економска оправданост увођења когенерационих постројења у објектима пословног удружења.

Затим ће бити речи о одабиру одговарајућих парних и гасних турбина у циљу одржавања грејног капацитета и истовременог добијања електричне енергије за покривање потреба становништва Србије, као и могућности евентуалног извоза вишка електричне енергије, чиме би се повећао буџет наше земље.

Кључне речи:

Топлана, когенерација, електрична енергија, топлотна енергија, парна турбина, гасна турбина, гас, мазут, угаљ...

Abstract:

The object of this study was to evaluate the potential of cogeneration of heat and electricity in power stations operating in the Serbian Association of heating and increase the current negligible share of cogeneration in total electricity production. Potential impacts of cogeneration energy efficiency of primary energy use and reduce emissions of greenhouse gases were analyzed, as well as economic feasibility of introducing cogeneration plants to facilities of this business association.

Then it will be discussed the selection of appropriate steam and gas turbines in order to maintain the heating capacity and simultaneously obtaining electrical energy to meet the needs of the population of Serbia, and the possibility of eventual export of surplus electricity, which would increase the budget of our country.

Keywords:

Heating plants, cogeneration, electricity, heat, steam turbines, gas turbines, gas, oil, coal ...

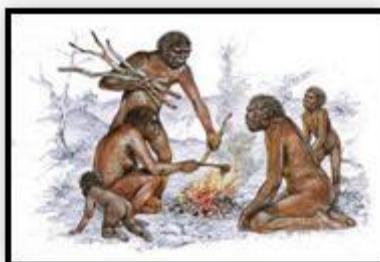
Садржај

1.0 Увод	6
2.0 Турбине	10
2.1 Гасна турбина	10
2.1.1 Технолошки опис гасне турбине	11
2.1.2 Делови гасне турбине	12
2.1.3 Загађење животне средине које изазива гасна турбина	13
2.1.4 Перформансе, предности и мане	13
2.1.5 Предности и мане гасних турбина	14
2.2 Парна турбина	15
2.2.1 Термодинамичке основе	16
2.2.2 Елементи постројења	17
2.2.3 Турбопостројење и парни блок	18
3.0 Одабир турбина	20
4.0 Опис турбина	27
4.1 Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	27
4.2 Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	28
4.3 SST-110	29
4.4 SST-111	29
4.5 KKK (Siemens) CFR 5 G5	30
4.6 6B Heavy Duty Gas Turbine	31
4.7 MS5002E Gas Turbine	32
5.0 Закључак	33
6.0 Литература	36

1.0 Увод

Живимо у свету енергије. Све што нас окружује засновано је на коришћењу енергије. Енергија је потребна свим живим бићима. Нама је потребна да би смо се могли кретати. Енергију добијамо од хране коју узимамо. Биљке добијају енергију од Сунчеве светлости, животиње једу биљке или друге животиње. Машине добијају енергију сагоревањем горива (нафте, угља, гаса и др.). На планети Земљи је све мање искористиве енергије[1].

У савременом свету непрекидно расте потрошња енергије, при чему потрошња електричне енергије расте брже од потрошње других облика енергије, будући да је она веома погодна за коришћење, јер се може претворити у сваки други облик енергије. Растућу потрошњу електричне енергије задовољава њена производња трансформацијом механичке енергије пада воде (хидроелектране), експанзијом паре или гаса произведених сагоревањем фосилних горива (термоелектране), или фисијом нуклеарног горива (нуклеарне електране). Како је у структури извора електричне енергије у свету доминантно учешће термоелектрана на фосилна и друга горива, укупна ефикасност трансформације примарне енергије у електричну енергију је врло мала. При томе се путем расхладне воде у окружење или водени ток испушта отпадна топлота (45-60% од енергије садржане у гориву), а путем димних гасова у атмосферу честични и гасовити загађивачи (и око 15% енергије садржане у гориву). С друге стране, производња топлотне енергије за грејање и технолошке потребе обавља се у котловима на угљ, течна или гасовита горива, уз губитке од 10%-20% у зависности од врсте горива и капацитета котлова. Когенерацијом се у једном истом постројењу истовремено добијају и електрична и топлотна енергија, те су укупни губици примарне енергије садржане у гориву мањи него када се њихова производња обавља у одвојеним постројењима[11].



Слика 1.1 Почетни облици коришћења енергије [1]

Принцип когенерације је дуго познат. Још почетком двадесетог века когенерациона постројења су снабдевала топлотом и струјом домаћинства и фабрике. Когенерација, или комбионована производња топлоте и струје (CHP, combined heat and power production), је процес у ком се производе електрична и термална енергија (за грејање и/или за хлађење) са високом ефикасношћу процеса. Процес укључује три основна елемента: 1) симултана производња електричне струје и топлоте; 2) критеријум високе ефикасности процеса; и 3) месни критеријум који узима у обзир удаљеност јединице за конверзију енергије и потрошача. Иако је процес когенерације тек последњих година постао популаран у широј јавности, он као технолошки процес постоји још од открића парних и стирлинг мотора (18. и 19. век, респективно). Данас постоји неколико технологија које остварују когенерациони процес: клипни мотори, гасне турбине, стирлинг мотори, и гориве ћелије. Димни гасови било које електране такође могу бити примењени у процесу когенерације[2].

Прва модерна употреба енергетског рециклирања је вероватно била одрађена од стране Томаса Едисона. Његова 1882 Pearl Street Station, прва светска комерционална енергана, је производила и електричну и топлотну енергију, користећи отпадну топлоту за загревање зграда у суседству. Рециклирањем је у Едисоновој електрани постигнут степен корисности од 50 %.

У раним годинама 20. века дошло је до руралне електрификације изградњом електрана за производњу електричне енергије, чиме је обесхрабрена употреба когенерације. Забрањено је да се приватно производи и продаје енергије, док државни објекти нису практиковали употребу когенерације. Тек 1978. године је дозвољена производња енергије и енерганама у приватном власништву.

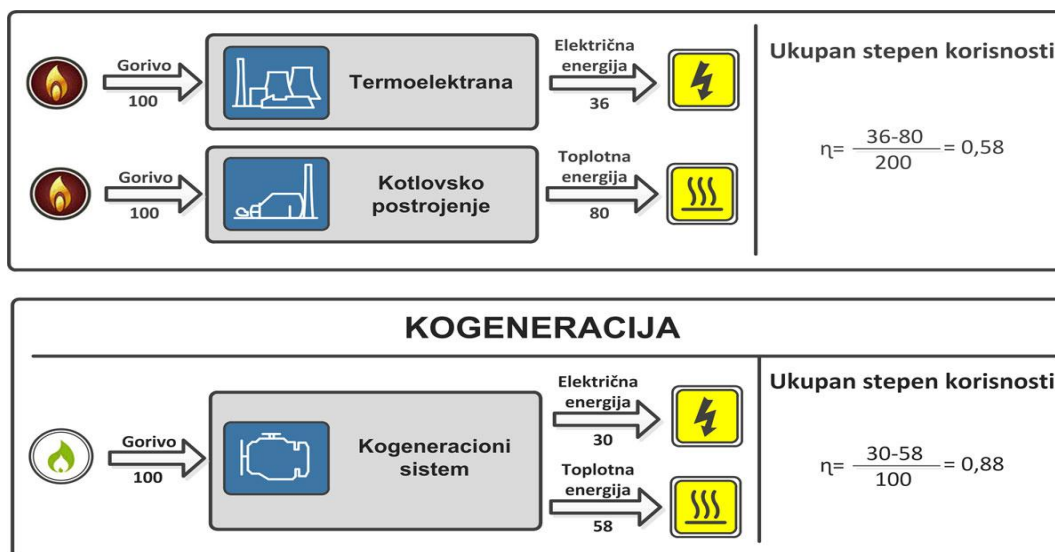
У Европској унији је систем когенерације укључен у енергетској политици преко СНР директиве. Енергетска ефикасност и когенерација се помињу у уводним параграфима директиве о когенерацији Европске уније 2004/08/ЕС. Ова директива има за циљ да подржи когенерацију и успоставити метод за израчунавање когенеративних могућности у појединачним земљама. Развој когенерације је био веома неуједначен током година, и доминирао је током последњих деценија негде мање негде више у зависности о којој земљи је реч. Као целина Европска Унија производи 11 % електричне енергије когенерацијом чиме се уштеди елика количина енергије дневно. У зависности од земље, когенерацијом се уштеди од 2 до 60 % енергије. У Европи се налазе три града који су најинтезивнији корисници когенерације на свету и то су Данска, Холандија и Финска.

И друге земље праве велике напоре да побољшају своју енергетску ефикасност. По извештајима из Немачкој, у тој земљи може когенерацијом да се произведе 50% електричне енергије од укупне потребе становништва. У Немачкој се планира да се производња електричне енергије когенерацијом повећа са садашњих 12.5% на 25% до 2020. године. У Уједињеном Краљевству циљ је да се емисија штетних гасова редукује за 60% до 2050 користећи когенерацију.

Експанзијом когенерације у Француској, Немачкој, Италији и Уједињеном Краљевству би могла да се удвостручи уштеда примарног горива до 2030. године. То би повећало уштеду у Европи са 155.69 Twh на 465 Twh у 2030. години. Такође би резултовало повећање производње електричне енергије когенерацијом за 16% до 29% до 2030. године.

У Србији постоји неколико постројења за когенерацију, међу којима је једно у Крагујевцу, али су сва тренутно неактивна, тако да у Србији практично и не постоји употреба когенерације.

У конвенционалним системима за производњу електричне енергије остварује се ефикасност горива, односно фактор искоришћења од 30% до 40%, што значи да се само трећина његовог потенцијала конвертује у корисну енергију. Неискоришћени енергетски потенцијал од око 70% се у виду топлотне енергије ослобађа без искоришћења и има третман сувишне - отпадне топлоте[3].



Слика 1.2 Когенерација [3]

На слици 1.2 један приказан је однос добијања електричне и топлотне енергије стандардним системима у односу на когенерацијско постројења. Когенеративно постројење омогућава да се отпадна топлотна енергија (пара и топла вода) која се ослобађа у примарном процесу генерисања електричне енергије, хлађењем мотора, уља за подмазивање као и издувних гасова, искористи за потребе технолошких процеса или за грејање простора, чиме се постиже фактор искоришћења примарног горива преко 85%[3].

Когенеративни систем обично чини комбинација следећих постројења: гасни мотор, парна или гасна турбина, генератор електричне енергије, измењивач топлоте и генератор паре. Избор и комбинација наведених делова система, њихов број и димензионисање зависи од конкретног пројектног задатка, технолошког процеса и односа произведене топлотне и електричне енергије који треба остварити[3].

Систем је пожељно што максималније оптеретити у што дужем временском интервалу јер тада цена произведеног kWh електричне и топлотне енергије експоненцијално опада.

Дакле фактор оптерећења би требао да тежи 100%. Когенеративна постројења постижу највиши степен ефикасности и искоришћења до 90% од укупне енергије примарног горива када ради са сто посто оптерећења и тада су уштеде највеће.

СНР постројења су нашла примену како у индустрији тако и у објектима. Погодна су за примену у следећим областима:

- Индустрија
 - Прехрамбена индустрија
 - Грађевинска индустрија
 - Индустрија папира
 - Хемијска и фармацеутска
 - Пиваре
- Објекти
 - Болнице

- Хотели и ресторани
- Стамбене зграде
- Школе
- Спортски центри

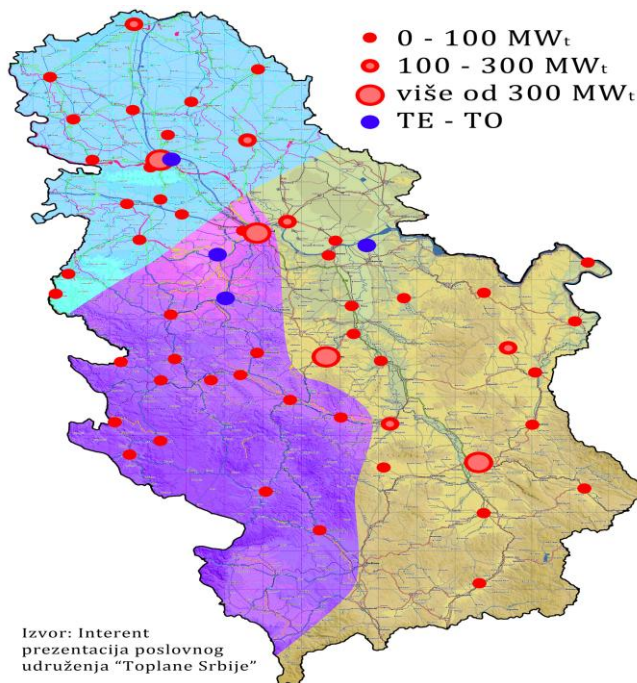
Као енергент, савремена когенеративна постројења обично користе природни гас или у последње време биогаз као технолошку иновацију у овој области[3].

На слици 1.3 је приказано когенерационо постројење које користи биогаз као енергент.



Слика 1.3 Когенерационо постројење за биогаз[3]

Задатак рада на овом мастеру раду је био поверен тиму који чине Слободан Тодоровић, Бојан Недељковић и ја, Вук Туцаковић. Тим је сагледао комплетан проблем и због обимности пројекта који треба да урадимо ми смо међусобно комуницирали и већину пројекта одрадили заједно, то се највише огледа у прикупљању података и њиховом уношењу у базу података. Онда је свако од нас, због разлога који намеће пракса и израде ових радова, узео по један сегмент овог пројекта који скупа опет представљају једну комплетну целину.



Слика 1.4. Мрежа топлана Србије

На слици 1.4 приказана је мрежа топлана у Србији. Свако од чланова групе је узео по једну област са дате мапе за прикупљање података. Мој део је био плави део на датој мапи. Мој задатак је био да обратим већу пажњу на одабир одговарајућих турбина и њихову цену. Подаци су унети у програм Microsoft Access Database.

На основу анализе прикупљених података донет је закључак да би у свим топланама које послују на топлотној мапи Србије било упутно и оправдано користити когенерацију са парним и гасним турбинама а не са моторима СУС. У случајевима где је производ процеса пара потребно је користити парне турбине. Међутим код примене гаса се приступило појединачној анализи да ли је оправдано користити гасне турбине или моторе СУС. На основу тих анализа, на основу цена, као и на основу текућег и инвестиционог одржавања дошло се до закључка да би најбоље било користити гасне турбине. Због свега тога у наредном тексту је дат посебан осврт на ту класу турбина односно на гасне и парне турбине, где су дате њихове предности и мане, затим цене и наравно за сваку топлану је одређен тип и број турбина.

Потребно је напоменути да се приликом одабира имао у виду посебан систем тарифирања (feed-in), па се зато настојало да се користе турбине чија је снага мања од 10 MW, при чему се такође морало водити рачуна да се не потиже укупна цена инвестиције.

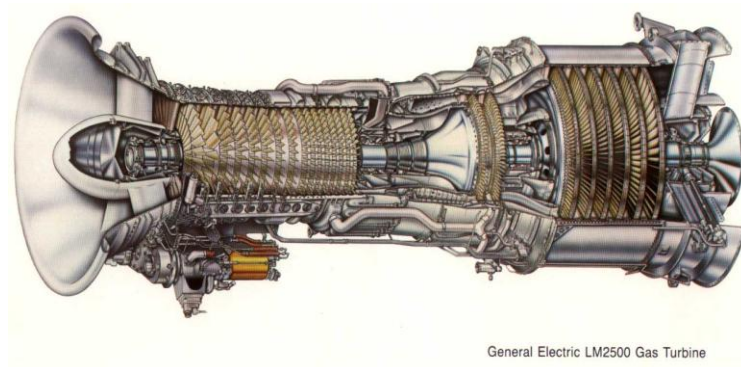
Подаци о турбинама су прикупљани из каталога познатих и светски признатих произвођача и након упоређивања њиховим међусобних карактеристика предложене су турбине које по свим критеријумима највише одговарају.

2.0 Турбине

2.1 Гасна турбина

Гасна турбина је ротациона машина коју покреће енергија тока гаса произведеног сагоревањем горива. На предњем крају, гасна турбина има компресор а на задњем турбину, док су коморе за сагоревање између компресора и турбине[4].

Већина изведби гасних турбина категорише се као машине са унутрашњим сагоревањем, мада постоје и изведбе које спадају у категорију машина са спољним сагоревањем. Ова врста турбина су у ствари машине које раде на погон топлим ваздухом[4].



Слика 2.1.1 Гасна турбина[4]

На слици 2.1.1 је приказан изглед једне гасне турбине.

Патент за гасну турбину какву познајемо данас, регистровао је Енглец, сер Frank Whittle 1930. године. Његов патент односио се на гасну турбину за погон ваздухоплова - млазног авиона. Користећи његов патент и допринос научника Coleya и Mossa, компанија Whittle је развила ефикасну и употребљиву гасну турбину[4].

2.1.1 Технолошки опис гасне турбине

Гасна турбина ради на принципу термодинамичког циклуса познатог као Брајтонов циклус. У овом циклусу, атмосферски ваздух се компримира - сабија, загрева у коморама за сагоревање, затим пролази експанзију у турбини, где захваљујући додатној енергији ослобођеној из сагорелог горива ослобађа више снаге него што је потребно за покретање компресора, односно за први део циклуса - компресију[4].

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, постижан је све повољнији однос притиска ваздуха на излазу из компресора и температуре ваздуха на улазу у коморе за сагоревање[4].

Већи притисци и температуре директно утичу на већи коефицијент корисног дејства и већу специфичну снагу турбине (однос тежине турбине и излазне снаге). Због тога је општи тренд развоја гасних турбина стално усмерен на комбинацију што виших температура и притисака. Медутим, то поскупљује производњу, али доноси и већу економску корист код коришћења турбине. Савремене индустријске турбине имају избалансиран однос између перформанси и цене који даје максимално економичну машину са аспекта како произвођача, тако и корисника[4].

Издувни гасови гасне турбине имају врло високе температуре, 450 до 5500° C, а код најновијих модела и преко 6500° C. Тако високе температуре допуштају утилизациону употребу издувних гасова - у утилизационим котловима за производњу водене паре, која се даље користи за погон парне турбине. Овај систем - комбинација гасне и утилизационе парне турбине врло често се примењује, чиме се повећава економичност постројења[4].

Механички посматрано, гасна турбина је мање комплексан уређај од клипних мотора са унутрашњим сагоревањем. Једноставнији модели гасних турбина имају само један покретни део: осовину, на којој се налазе компресор и турбина (овде није разматран систем за напајање турбине горивом као ни уређаји за пренос снаге са турбине на погоњењи уређај). Међутим, потребна прецизност израде делова и коришћење легура отпорних на високе температуре које су неопходне за постизање високе ефикасности, често чине производњу гасних турбина, чак и једноставнијих модела, компликованијом од производње клипних мотора са унутрашњим сагоревањем[4].

2.1.2 Делови гасне турбине

Гасна турбина има три основна дела: компресор, коморе за сагоревање и турбину[4].

Компресор и турбина

Компресор и турбина спојени су осовином преко које турбина преноси ротациони моменат на компресорска кола, те ћемо их описати заједно. Код простијих изведби гасних турбина постоји само једна осовина, док изведба twin spool турбине има две осовине (једна у другој), од којих дужа спаја компресор ниског притиска са турбином ниског притиска, а краћа (спољна осовина већег пречника) спаја компресор високог притиска са турбином високог притиска. Спољна (краћа) осовина има у овој изведби много већи број обртаја од дуже (унутрашње). Постоје и изведбе гасних турбина са три осовине једна у другој, са истим принципом рада. Компресори на гасним турбинама могу да буду аксијални, радијални, или комбиноване изведбе. Радијални (центрифугални) компресори код којих је излаз компримираног ваздуха по ободу лопатичног кола су робустни, мање коштају али су ограничени на однос компресије до 6 или 7:1, што није довољно за ефикасан рад модерних турбина. Примењивани су на старијим гасним турбинама, а данас се примењују само на турбинама мање снаге[4].

Аксијални компресори код којих је излаз компримираног ваздуха паралелан са осом машине су ефикаснији, већег капацитета и данас се, иако скупљи, углавном примењују на гасним турбинама. Аксијални компресор турбине најчешће има више степени - парова ротационих компресорских кола и статорских кола за усмеравање тока ваздуха на лопатице следећег степена[4].

У принципу је лакше пројектовати и произвести турбину него компресор, јер је технички гледано лакше постићи експанзију врелог ваздуха него компресију хладног ваздуха. Турбине обично захтевају мањи број степени - парова ротационих турбинских и статорских кола од аксијалних компресора. Неке мање гасне турбине производе се и у центрифугалној изведби, али највећи број гасних турбина је аксијалне изведбе. Пројектовање и израда турбине је компликована због потребе да се користе материјали који имају дуг животни век при раду у струји врелог ваздуха. Најкритичнији је први степен турбине, где је температура највиша. Посебним системима хладења турбинских кола постиже се да материјал лопатица турбине, који се топи на око 10000° C ефикасно ради неколико хиљада сати на температури врелог ваздуха од преко 16000° C[4].

У коморама за сагоревање одвија се мешање ваздуха са горивом и сагоревање горива, развијају се врели гасови - продукти сагоревања, који се усмеравају на турбину. Коморе за сагоревање морају да испуне многе технолошке захтеве, чија важност се разликује у зависности од места примене и врсте гасне турбине. Наравно да су неки од тих захтева противуречни са неким другим, па се увек тражи оптимални однос потреба и могућности, цене и ефикасности као и задовољавање потреба за заштитом животне средине од гасова на излазу из турбине. Ти захтеви су следећи [4]:

1. Висока ефикасност сагоревања у свим радним режимима;
2. Низак ниво несгорелих угљоводоника, угљен монооксида, мало оксида и нитрата на високом радном режиму, мало видљивог дима (минимално загађење животне средине);
3. Мали губитак притиска гасова, уобичајени губитак је 3-5 %;
4. Сагоревање мора бити стабилно при свим радним режимима;

5. Поуздано паљење горива на ниским температурама као и на великим надморским висинама (за авионске турбине);
6. Равномерно сагоревање горива;
7. Мале варијације температуре гасова - за дужи животни век турбине;
8. Животни век коморе од неколико хиљада радних сати;
9. Могућност коришћења више врста горива - природни или земни гас и дизел гориво за индустријску примену, керозин за примену у авијацији;
10. Дужина и пречник погодни за габарите комплетне турбине;
11. Минимална цена, минимално одржавање и оправке;
12. Минимална тежина (за примену у авијацији).

Комора за сагоревање састоји се од три основна дела - кућишта, пламене цеви и система за убризгавање горива. Кућиште мора да издржи цикличне притиске и може да буде део спољњег оклопа гасне турбине. Унутар кућишта налази се систем за убризгавање горива и пламена цев релативно танких зидова у којој се одвија мешање горива са ваздухом и сагоревање[4].

2.1.3 Загађење животне средине које изазива гасна турбина

Ако издувне гасове гасне турбине упоредимо са издувним гасовима осталих мотора, на пример са дизел или бензинским мотором, мерењима и испитивањима утврђено је да гасна турбина примењена на нивоу тла производи мање полутаната - угљен монооксида, несагорелих угљо-водоника, оксида сумпора и азота, дима и чађи[4].

2.1.4 Перформансе, предности и мане

Гасне турбине се производе у распону излазне снаге од неколико стотина киловата (kW) до неколико стотина мегавата (MW), у зависности од примене[4].

Температура врелих гасова који погоне гасну турбину једна је од најважнијих карактеристика овог уређаја. Осим погонске енергије за главну намену уређаја, издувни гасови гасних турбина садрже још увек велику количину енергије погодну за примену у многим комбинованим системима енергија-топлота. Најчешће се ова енергија, да не би отишла у неповрат, користи у генераторима паре (парним котловима) а касније за производњу електричне струје. Исто тако, ова енергија се користи за потребе грејања воде, горива и просторија, што знатно подиже укупни коефицијент корисног дејства гасних турбина[4].

Температуру издувних гасова гасне турбине одређује комбинација два фактора - температуре паљења горива у коморама за сагоревање и компресионог односа компресора. Типичне аеро-изведене турбине имају вишу температуру паљења горива од индустријских турбина, али када се у обзир узме и компресиони однос и укупна количина компримираних

ваздуха, температура издувних гасова код ове две врсте турбина је подједнака - на нивоу од 4500° до 5500° C[4].

У пракси, трење и турбуленција гасова на колима компресора и турбине код гасних турбина узрок су следећих појава[4]:

- компресија ваздуха у компресору није идеална - изентропска, па је због тога температура ваздуха на излазу из компресора виша од идеалне;
- експанзија гасова на лопатицама турбине такође није изентропска, што смањује степен искоришћења енергије садржане у врелим гасовима;
- појављују се губици притиска на усису ваздуха, у коморама за сагоревање и на издуву, што опет смањује степен искоришћења турбине.

Критични делови у конструкцији гасне турбине су лежајеви - традиционално се производе као хидро-динамички уљни лежајеви или уљем хладени котрљајући лежајеви. Много су ефикаснији клизни лежајеви који се последњих 20-ак година успешно примењују на мањим турбинама, посебно код микро-турбина[4].

Ефикасност гасних турбина умногоме зависи од тога да ли се издувни гасови испуштају у атмосферу или се даље користе за погон утилизационих уређаја, јер гасови на испусту са собом односе између 60 и 70 % укупне енергије сагорелог горива[4].

Технологија производње гасних турбина константно напредује и има тенденцију даљег напретка, посебно применом информационих технологија (нарочито је важна примена апликација које раде на бази методе коначних елемената у пројектовању), што резултује производњом све мањих а ефикаснијих турбина, ефикаснијим сагоревањем горива и бољим хлађењем делова турбине. Ако посматрамо емисију гасова у атмосферу, технолошки изазов за будућност је тежња да врели гасови буду што више температуре на улазу у турбинско коло, али да се смањи температура сагоревања горива, посебно да не буде "вршних" температура у коморама за сагоревање, јер ови "врхови" повећавају проценат оксида азота у издувним гасовима који су значајан загађивач животне средине[4].

2.1.5 Предности и мане гасних турбина

Предности гасних турбина у односу на остале погонске машине су[4]:

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

Осим набројаних предности, гасне турбине имају и одређене недостатке када их поредимо са осталим погонским машинама[4]:

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

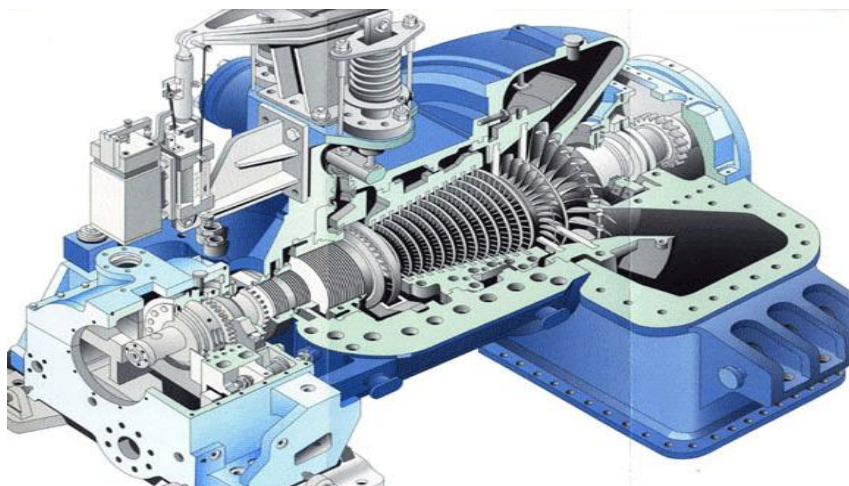
Број обртаја осовине гасне турбине је врло висок када се упореди са осталим погонским машинама. У принципу важи правило - што мања гасна турбина, то већи број обртаја. Тако велике турбине имају број обртаја 10.000 - 30.000 о/мин, а гасне микро-турбине чак и до 100.000 о/мин. Код примене гасних турбина у верзији погона преко осовине турбине, врло високи излазни број обртаја смањује се на број обртаја који одговара погоњеном средству разним врстама редуктора[4].

Гасна турбина није много захтевна по питању одржавања у погону, посебно новије турбине које немају систем уља за подмазивање. Међутим, велика пажња се полаже на преглед и инспекцију турбине пред свако стартовање. Том приликом нарочито се детаљно прегледају лопатице компресора, а лопатице турбинских кола још пажљивије[4].

Најекономичнија примена гасне турбине за производњу електричне струје је у комбинованом циклусу снага-снага, значи у комбинацији гасне и парне турбине, на који начин се степен корисног дејства постројења подиже и изнад 60 % (0,60). Ако се за ову намену користи турбина обичног циклуса, овај коефицијент износи само 40 % (0,40) [4].

2.2 Парна турбина

Парна турбина је механичка справа која издваја термалну енергију из паре под притиском и претвара је у користан механички рад. Припада групи топлотних мотора, попут мотора са унутрашњим сагоревањем (-{СУС}-) и парне машине, који претварају топлотну енергију у механички рад. Са друге стране, парна турбина спада у групу турбомашина заједно са пумпама, вентилаторима, хидрауличним и гасним турбинама и турбокомпресорима. Ужи део ове групе представља група топлотних турбомашина коју чине парне и гасне турбине и турбокомпресори[5].



Слика 2.2.1 Парна турбина[5]

На слици 2.2.1 је приказан изглед једне парне турбине.

Парне турбине се користе за погон бродова, разних машина при процесима у индустрији - пумпи, компресора, млинова итд., али највише се користе у енергетици за покретање електричних генератора у електранама. Висок степен корисности постројења, великих снага, велик однос снаге према маси машине, сигурност у погону, висок степен аутоматизације неки су од разлога да парна турбина и данас заузима водеће место у производњи електричне енергије[5].

2.2.1 Термодинамичке основе

Добијање рада у топлотним моторима се одвија помоћу радног тела - флуида (гаса, паре односно течности или мешавине), чијим се променама стања у току процеса од доведене топлоте финално добија механички рад. То значи, да би се покренуо топлотни мотор мора му се доводити одређена количину топлоте из топлотног извора, која се у радном циклусу преводи у користан рад. Међутим, да би оваква машина давала рад перманентно, после извршеног рада мора се једну количина неискоришћене топлоте одвести из процеса да би се радно тело вратило у првобитно стање и процес почео изнова. Ово је директно повезано са Другим законом термодинамике из кога следи да осим топлотног извора, мора постојати и топлотни понор, коме ће се предати један део топлоте која представља чист, али и неизбежан губитак[6].

Опште гледано, сваки термодинамички циклус топлотног мотора се састоји из сабијања радног тела, довођења топлоте, ширења радног тела (при чему се добија рад) и одвођења једног дела топлоте. Наравно, за сабијање радног тела на почетку процеса потребно је уложити неки рад. Најједноставније је ако један део добијеног рада на крају процеса уложи у то сабијање, што оставља вишак, користан неискоришћени рад за покретање неке машине[6].

2.2.2 Елементи постројења

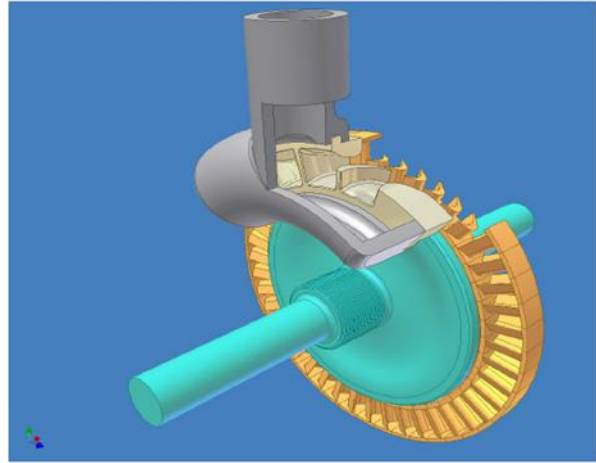
У парној турбини процес започиње увођењем воде у пумпу, која је сабија и диже њен притисак на жељену вредност. Затим се доводи топлота тако да вода у цевима постројења почиње да кључа, и најзад потпуно испарава, чиме се добија сувозасићена пара. Ако се након тога пара још загрева, каже се да турбина ради са прегрејаном паром. Пара се затим уводи у турбину и ту предаје део своје енергије ротору турбине, при чему јој пада притисак и шири се. Са једне стране цилиндра имамо затворен, загрејан гас под високим притиском (продукти сагоревања), док је са друге стране клипа нормалан, атмосферски притисак. Гас под високим притиском гура клип при чему се повећава запремина у којој је он заробљен, и тиме се гас шири и хлади[6].

Тако пара која је обавила рад излази из турбине раширена и охлађена (и већ делимично кондензована), и сада је потребно додатно је охладити како би се вратила у почетно стање и кружни процес могао кренути изнова. Дакле, потребан је раније споменути топлотни понор, да преузме овај вишак енергије. У пракси то ће најчешће бити околина, поготово за велика постројења. Користећи околни ваздух или воду из реке хладимо пару са изласка из турбине док се потпуно не кондензује. Затим вода може поново отићи у пумпу. То значи да пара на изласку из турбине мора бити нешто више температуре од околине, да би могла бити хлађена телима узетим из околине. Ово директно одређује величину одведене, "неопходно бачене" топлоте. Део постројења где се радно тело хлади и кондензује уз помоћ расхладне воде назива се кондензатор. У кондензатору влада притисак доста испод атмосферског, да би се кондензовање паре могло одвијати на температурама једва нешто вишим од температуре околне (а не на 100 степени Целзијуса као на атмосферском притиску). Турбине спадају у проточне машине које континуално дају рад, за разлику од клипних мотора који дају рад у "налетима". Радни флуид код парних турбина (ПТ) прима топлоту од спољњег извора за разлику од, рецимо, дизел и бензинских мотора, где се топлота доводи изнутра - сагоревањем горива у самом радном телу (ваздуху), тако да ПТ није мотор са унутрашњим сагоревањем. Такође парна турбина има (најчешће) затворен циклус, где се радно тело изнова враћа у процес по његовом завршетку[6].

Битно је напоменути да се под паром не мисли на водену пару и ако је она највише у примени због практичних разлога доступности и цене. Парне турбине раде са живиним парама, са парама фреона и других расхладних течности. Теоретски гледано, циклус се може остварити са паром било које супстанце ако би он био у граници температура извора и понора. Ипак, велике индустријске и енергетске машине су пројектоване и грађене искључиво за рад са водом и воденом паром из практичних разлога[6].



Слика 2.2.2.1 Ротор модерне парне турбине[6]



Слика 2.2.2.2 Кертис парна турбина[6]

2.2.3 Турбопостројење и парни блок

Радно тело се загрева у парном котлу где му се предаје топлота добијена сагоревањем горива, најчешће фосилних. У том случају, загрејани продукти сагоревања представљају топлотни извор. Такође, може се користити отпадна топлота од неке друге машине или индустријског процеса. Код нуклеарних постројења вода, односно пара, загревају се топлотом добијеном у нуклеарном реактору. Парна турбина са кондензатором, пумпама, цевоводима и осталом пратећом опремом се назива турбопостројење. Турбопостројење заједно са парним котлом, односно са котловским постројењем назива се парни блок[6].

2.2.4 Принцип рада

Већ је напоменуто да се пара у турбини прерађује у једном или више корака и при томе се у сваком кораку искористи један део њене енергије. Ово се обавља у ступњевима турбине[7].

Ступањ турбине чине непокретна решетка преткола, причвршћена за кућиште и покретна решетка радног кола, спојена са вратилом. Под решетком се подразумева већи број идентичних аерофила постављених на истом међусобном одстојању. Код турбомашина се мисли на кружне решетке, где су лопатице (аерофилна тела) постављене осносиметрично. Лопатице радног кола заједно са вратилом чине ротор који се ослања на лежишта[7].

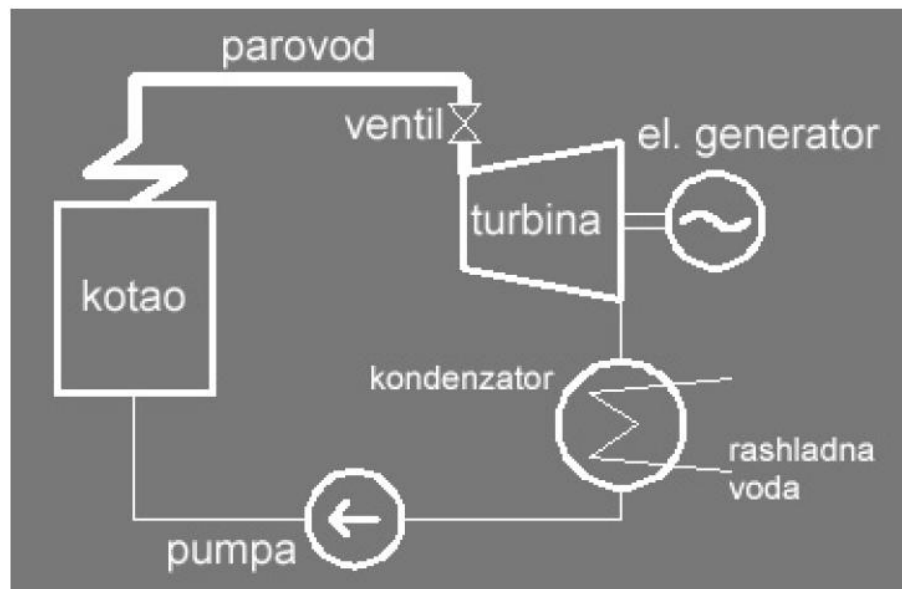
Пара под високим притиском наилази прво на непокретне лопатице преткола. Оне скрећу струју паре и усмеравају је под одређеним углом. При томе се канали између лопатица сужавају и тиме се врши убрзавање струје паре. Тако пара бива скренута и приметно убрзана. Укупна енергија паре остаје иста, али се њена кинетичка енергија повећала на рачун енергије услед притиска и температуре. Тако је пара сада раширена, на nižем притиску и температури него пре почетка процеса. Овако убрзана пара сада струји преко покретних лопатица радног кола које је само скрећу. Ова промена смера струјања паре доводи до стварања силе која гура лопатице супротно од правца промене брзине паре, а пошто се оне могу слободно окретати са вратилом, то узрокује обртање ротора. Пара сада излази са мањим притиском и температуром, што значи да је један део енергије предат ротору као механички рад. Затим пара одлази у наредни ступањ где се процес одвија из почетка, и тако све до последњег ступња и уласка у кондензатор. Претходно описан процес се односи на акциони ступањ[7].

Реакциони ступањ је онај код ког се пара у радном колу не само скреће, него и додатно убрзава. Сваки од ове две врсте ступњева има своје мане и предности. Акциони ступњеви могу прерадити већу количину енергије при добром степену корисности, али се мора прибегавати специјалним конструкцијским решењима да би се смањио нежељени пролазак паре кроз зазоре између покретних и непокретних делова, што га чини и скупљим. Реакциони ступањ је једноставнији за израду али даје мању количину рада, па реакциона турбина мора имати већи број ступњева. Сврха постојања више ступњева је у следећем: ступањ се може израдити да убрзава пару до енормних брзина и да један ступањ прерађује огромну количину енергије; међутим, губици услед трења при овако великим брзинама би били јако велики - толики да би ступањ радио са изузетно ниским степеном корисности[7].

2.2.5 Степен корисног дејства

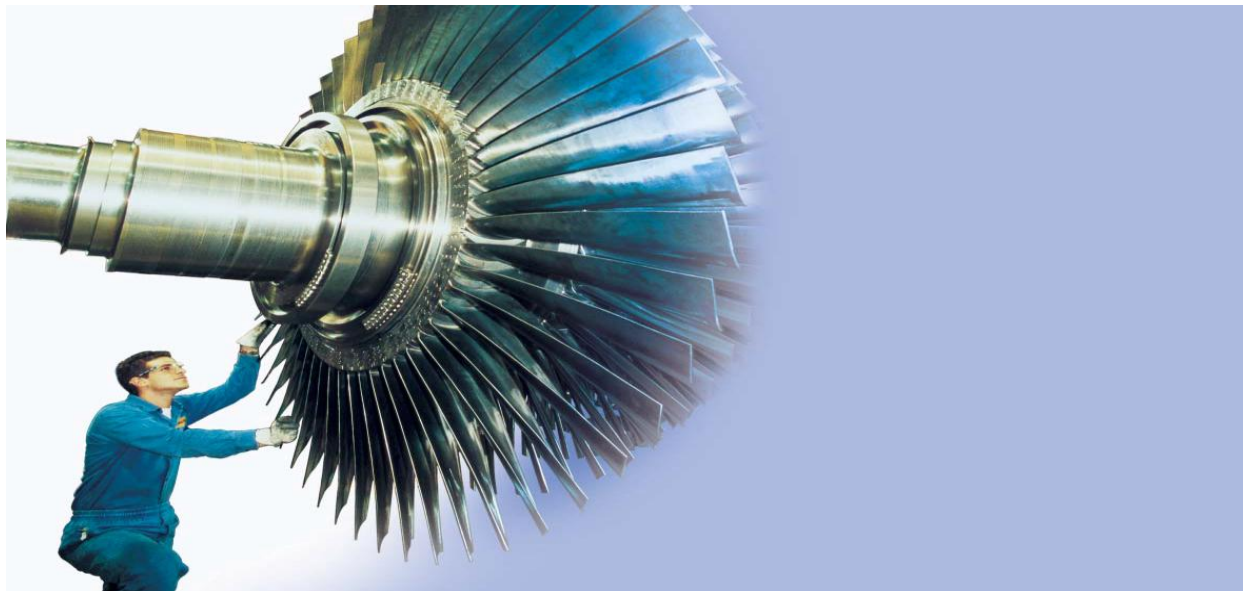
Степен корисности топлотних мотора представља однос добијеног рада и уложене топлоте по једном циклусу. Код конвенционалних постројења он се креће у распону 0.3 -0.4. Повећање степена корисности нам пружа могућност већег искоришћења полазне енергије. Степен корисности се може повећавати довођењем топлоте при вишим температурама и притисцима, што је условљено развојем нових конструкционих материјала. Исто тако, повишење степена корисности се постиже одузимањем једног дела паре из турбине за потребе загревања воде пред улазак у котло. Код конвенцијалних блокова велике снаге пара на улазу у турбину је температуре око 500 - 550 ° C, са притиском од око 180 bara[8].

Парне турбине се у енергетици често користе и за производњу топлоте, на пример за даљинско грејање. Ово се ради због тога што овакво постројење има већи укупан степен корисности производње топлоте и ел. енергије него код случаја одвојене производње[8].



Слика 2.2.5.1 Шема постројења парне турбине[8]

3.0 Одабир турбина



Након утврђеног когенерационог потенцијала сваке од топлана које се налазе на топлотној мапи Србије потребно је одабрати одговарајуће турбине за производњу електричне енергије и тај одабир је потребно извршити за сваки катао понаособ који је у функцији у топлани и то на основу његове снаге.

Што се тиче одабира одговарајућих турбина коришћени су каталози познатих произвођача као што је на пример „Siemens“ о чему ће нешто више бити речи у даљем раду.

На следећим примерима дат је комплетан поступак одабира турбина за три одабране топлане и то једне великог капацитета као што је топлана Крагујевац (више од 300 MW), затим одабир турбина за топлану Панчево, која је средњег капацитета (100-300MW) и на још једном примеру за топлану малог капацитета као што је топлана Јагодина (мање од 100 MW).

Што се тиче одабира турбина за остале топлане поступак се може наћи у прилогу односно у „Microsoft Access“ документу.

Одабир турбина за топлану Крагујевац која на топлотној мапи Србије спада у топлане великог капацитета.

Табела 3.1 Одабир турбина за топлану Крагујевац

ЕНЕРГЕТИКА д.о.о. КРАГУЈЕВАЦ				
Редни број	ВРСТА КОТЛА	ГОРИВО	НАЗИВНА СНАГА (MW)	ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА (MW)
1	Парни	Гас	54.31	16.29
2	Парни	Гас	54.31	16.29
3	Парни	Угаљ	108.62	32.59
4	Парни	Угаљ	108.62	32.59
5	Парни	Угаљ	198.28	59.48
6	Вреловодни	Гас/Мазут	11.38	3.41
7	Вреловодни	Гас/Мазут	11.38	3.41
8	Вреловодни	Гас/Мазут	13.28	3.98
9	Вреловодни	Мазут	12.07	3.62
10	Парни	Гас/Мазут	4.43	1.33
11	Вреловодни	Мазут	1.21	0.36
12	Вреловодни	Мазут	1.21	0.36
13	Вреловодни	Гас/Мазут	14	4.2
14	Вреловодни	Гас/Мазут	13.28	3.98
15	Парни	Мазут	3.31	1
16	Парни	Мазут	3.31	1
17	Парни	Мазут	3.31	1
18	Топловодни	Гас	0.52	0.12
19	Топловодни	Гас	0.52	0.12

Табела 3.2 Одабир турбина за топлану Крагујевац-наставак

ЕНЕРГЕТИКА д.о.о. КРАГУЈЕВАЦ			
Редни број	ТОПЛОТНА ЕНЕРГИЈА (MW)	ТИП ТУРБИНЕ	БРОЈ ТУРБИНА
1	31.5	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	4
2	31.5	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	4
3	63	SST-110	5
4	63	SST-110	5
5	115	SST-110 + SST-111	7 + 1
6	6.6	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
7	6.6	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
8	7.7	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
9	7	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
10	2.57	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
11	0.7	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
12	0.7	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
13	8.12	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
14	7.7	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
15	1.92	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
16	1.92	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1

17	1.92	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
18	0.3	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
19	0.3	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1

Одабир турбина за топлану Панчево која на топлотној мапи Србије спада у топлане средњег капацитета.

Табела 3.3 Одабир турбина за топлану Панчево

ЈКП ГРЕЈАЊЕ ПАНЧЕВО				
Редни број	ВРСТА КОТЛА	ГОРИВО	НАЗИВНА СНАГА (MW)	ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА (MW)
1	Вреловодни	Гас	8.62	2.59
2	Вреловодни	Гас	17.24	5.172
3	Вреловодни	Гас	17.24	5.172
4	Вреловодни	Гас	39.66	11.9
5	Вреловодни	Гас	39.66	11.9
6	Вреловодни	Гас	12.07	3.62
7	Топловодни	Гас	2.21	0.66
8	Топловодни	Гас	5.01	1.503
9	Топловодни	Гас	3	0.9
10	Топловодни	Гас	3	0.9
11	Топловодни	Гас	3.45	1.035
12	Топловодни	Гас	3.45	1.035
13	Топловодни	Гас	6.9	2.07
14	Топловодни	Гас	8.62	2.586
15	Топловодни	Гас	1.72	0.516
16	Топловодни	Гас	6.03	1.9
17	Топловодни	Гас	6.9	2.07
18	Топловодни	Мазут	2.07	0.62
19	Топловодни	Гас	6.9	2.07
20	Топловодни	Мазут	3.45	1.035
21	Топловодни	Гас	3.45	1.035

Табела 3.4 Одабир турбина за топлану Панчево-наставак

ЈКП ГРЕЈАЊЕ ПАНЧЕВО			
Редни број	ТОПЛОТНА ЕНЕРГИЈА (MW)	ТИП ТУРБИНЕ	БРОЈ ТУРБИНА
1	5	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
2	10	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	2
3	10	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	2
4	23	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	3
5	23	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	3
6	7	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
7	1.28	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
8	2.907	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	2
9	1.745	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
10	1.745	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
11	2	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
12	2	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
13	4	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
14	5	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
15	1	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
16	3.5	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	2
17	4	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
18	1.2	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
19	4	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
20	2	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
21	2	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1

Одабир турбина за топлану Јагодина која на топлотној мапи Србије спада у топлане малог капацитета.

Табела 3.5 Одабир турбина за топлану Јагодина

ЈП ТОПЛАНА ЈАГОДИНА				
Редни број	ВРСТА КОТЛА	ГОРИВО	НАЗИВНА СНАГА (MW)	ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА (MW)
1	Вреловодни	Гас	50	15
2	Вреловодни	Гас-Мазут	24.14	7.24
3	Топловодни	Гас	2.16	0.65
4	Топловодни	Гас	2.16	0.65
5	Вреловодни	Гас	6.03	1.82
6	Вреловодни	Гас	6.03	1.82
7	Вреловодни	Гас	4.31	1.293
8	Топловодни	Гас	0.6	0.18

Табела 3.6 Одабир турбина за топлану Јагодина-наставак

ЈП ТОПЛАНА ЈАГОДИНА			
Редни број	ТОПЛОТНА ЕНЕРГИЈА (MW)	ТИП ТУРБИНЕ	БРОЈ ТУРБИНА
1	29	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	3
2	14	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	2
3	1.25	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
4	1.25	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1
5	3.5	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	2
6	3.5	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	2
7	2.5	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1
8	0.35	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1

Пошто морају да се задовоље потребе становништва за топлотном енергијом, а когенерацијом добијамо 58 % топлотне и 30 % електричне енергије док 12 % оде на губитке зато се узима да је постојећа производња топлотне енергије 58 % од укупне енергије која је потребна да се произведе датом турбином. По том критеријуму извршен је одабир турбина. Док је степен корисности датих турбина при когенерацији 58 %.

Табела 3.7 Типови турбина и њихова максимална снага

ТУРБИНА	ПРОИЗВОЂАЧ	ТИП	СНАГА (MW)
Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	Caterpillar Company	Гасна	5
Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	Caterpillar Company	Гасна	1.1
SST-110	Siemens	Парна	7
SST-111	Siemens	Парна	12
KKK (Siemens) CFR 5 G5	Siemens	Парна	1
6B	General Electric Company	Гасна	43
MS5002E	General Electric Company	Гасна	31.1

Табела 3.8 Цене коришћених турбина

ТУРБИНА	ЦЕНЕ ТУРБИНА СА ГЕНЕРАТОРОМ И УГРАДЊОМ (дин)
Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	33000000
Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	7260000
SST-110	46200000
SST-111	79200000
KKK (Siemens) CFR 5 G5	6600000
6B	283800000
MS5002E	205260000

На следећим табелама биће приказана укупна средства која ће бити утрошена приликом набавке турбина за когенерацијско постројење. Утрошена новчана средства биће приказана такође кроз претходна три примера тј. за топлане Крагујевац, Панчево и Јагодину.

Табела 3.9 Утрошена новчана средства за набавку турбина у топлани Крагујевац

ЕНЕРГЕТИКА д.о.о. КРАГУЈЕВАЦ				
Редни број	ТИП ТУРБИНЕ	ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА (MW)	БРОЈ ТУРБИНА	УТРОШЕНА НОВЧАНА СРЕДСТВА
1	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	16.29	4	132000000
2	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	16.29	4	132000000
3	SST-110	32.59	5	231000000
4	SST-110	32.59	5	231000000
5	SST-110 + SST-111	59.48	7 + 1	402600000
6	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	3.41	1	33000000
7	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	3.41	1	33000000
8	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	3.98	1	33000000
9	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	3.62	1	33000000
10	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1.33	1	33000000
11	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	0.36	1	7260000
12	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	0.36	1	7260000
13	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	4.2	1	33000000
14	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	3.98	1	33000000
15	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1	1	7260000
16	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1	1	7260000
17	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1	1	7260000
18	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	0.12	1	7260000
19	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	0.12	1	7260000
УКУПНА УТРОШЕНА НОВЧАНА СРЕДСТВА				1410420000

Табела 3.10 Утрошена новчана средства за набавку турбина у топлани Панчево

ЈКП ГРЕЈАЊЕ ПАНЧЕВО				
Редни број	ТИП ТУРБИНЕ	ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА (MW)	БРОЈ ТУРБИНА	УТРОШЕНА НОВЧАНА СРЕДСТВА
1	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	2.59	1	33000000
2	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	5.172	2	66000000
3	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	5.172	2	66000000
4	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	11.9	3	99000000
5	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	11.9	3	99000000
6	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	3.62	1	33000000
7	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	0.66	1	7260000
8	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1.503	2	14520000
9	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	0.9	1	7260000
10	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	0.9	1	7260000
11	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1.035	1	7260000
12	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1.035	1	7260000
13	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	2.07	1	33000000
14	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	2.586	1	33000000
15	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	0.516	1	7260000
16	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1.9	2	7260000
17	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	2.07	1	33000000
18	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	0.62	1	7260000
19	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	2.07	1	33000000
20	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1.035	1	7260000
21	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1.035	1	7260000
УКУПНА УТРОШЕНА НОВЧАНА СРЕДСТВА				615120000

Табела 3.11 Утрошена новчана средства за набавку турбина у топлани Јагодина

ЛП ТОПЛАНА ЈАГОДИНА				
Редни број	ТИП ТУРБИНЕ	ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА (MW)	БРОЈ ТУРБИНА	УТРОШЕНА НОВЧАНА СРЕДСТВА
1	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	15	3	99000000
2	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	7.24	2	66000000
3	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	0.65	1	7260000
4	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	0.65	1	7260000
5	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1.82	2	14520000
6	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	1.82	2	14520000
7	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D	1.293	1	33000000
8	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)	0.18	1	7260000
УКУПНА УТРОШЕНА НОВЧАНА СРЕДСТВА				248820000

4.0 Опис турбина

4.1 Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D

Табела 4.1.1 Основне карактеристике турбине[9]

Карактеристике турбине	
Тип	Solar Taurus 60 S ET 7001 S-59-D
Снага	5 MW
Потрошња гаса при пуном оптерећењу	1500 Nm³/h (3.433 kJ/kWh)
Улазни притисак	12-15.5 bar
Проток издувних гасова	21.37 kg/s
Температура издувних гасова	481°C
Генератор	6140 KVA; 10500 V; 50 Hz;
Контролни систем	Digicon
Систем за стартовање	Електрични, 400 V
Спољашње димензије	2,20m ширина * 9,00m дужина * 3,25m висина
Тежина	38 тона
Гориво	Природни гас или дизел



Слика 4.1.1 Изглед турбине монтиране у постројење[9]

4.2 Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)

Табела 4.2.1 Основне карактеристике турбине[9]

Карактеристике турбине	
Тип	Solar Saturn 20 ES1601-WK-R (T1500)
Снага	1.1 MW
Потрошња гаса при пуном оптерећењу	480 Nm ³ /h (зависи од квалитета гаса)
Улазни притисак	11- 12.5 bar
Проток издувних гасова	6,47 kg/s
Температура издувних гасова	485 °C
Генератор	1370 KVA; 11000 V; 50 Hz;
Потребан квалитет гаса	31,300 - 43,100 kJ / Nm ³
Систем за стартовање	Хидраулични
Тежина	10 тона



Слика 4.2.1 Изглед турбине монтиране у постројење[9]

4.3 SST-110

Ова серија парних турбина пружа највећу трошковну ефикасност и високе перформансе.

Табела 4.3.1 Основне карактеристике турбине[10]

Карактеристике турбине	
Тип	SST-110
Снага	7 MW
Улазни притисак	131 bar
Улазна температура суво засићене паре	530 °C
Спољашње димензије	6 m дужина; 2.8 m ширина; 3.2 m висина



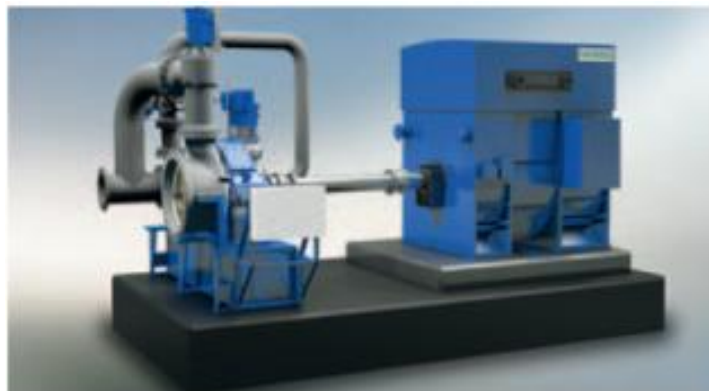
Слика 4.3.1 Изглед турбине[10]

4.4 SST-111

SST-111 је парна турбина дизајнирана за флексибилан рад и високу ефикасност.

Табела 4.4.1 Основне карактеристике турбине[10]

Карактеристике турбине	
Тип	SST-111
Снага	12 MW
Улазни притисак	131 bar
Улазна температура суво засићене паре	530 °C
Спољашње димензије	8 m дужина; 4 m ширина; 4 m висина
Издувни притисак	0.6 bar



Слика 4.4.1 Изглед турбине[10]

4.5 KKK (Siemens) CFR 5 G5

Табела 4.5.1 Основне карактеристике турбине[10]

Карактеристике турбине	
Тип	KKK (Siemens) CFR 5 G5
Снага	1 MW
Потрошња паре	10 t/h при пуном оптерећењу
Притисак улазне паре	16,6 - 25,4 bar
Излазни притисак	0,0 - 1,5 bar
Температура улазне паре	300 - 378 °C
Генератор	AEG 1250 KVA, 400 V, 50 Hz
Тежина	9 тона
Спољашње димензије	3,50 дужина; 2,50 висина; 2,40 - 2,75 ширина



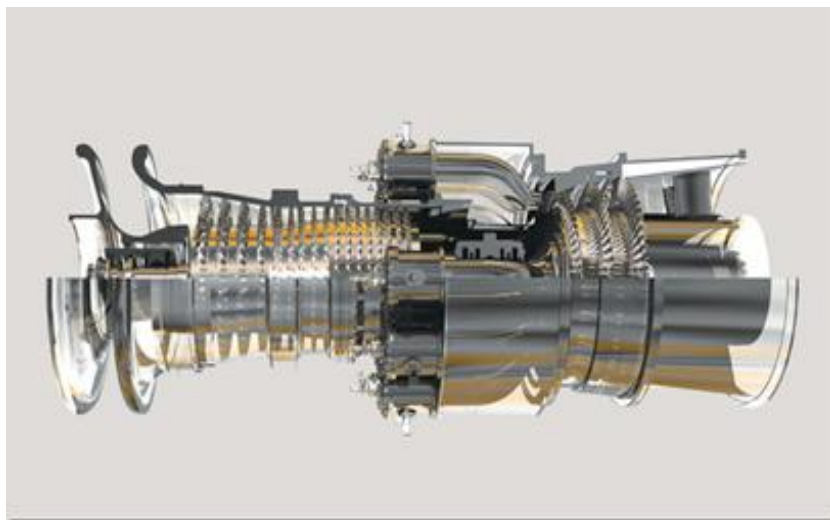
Слика 4.5.1 Изглед турбине монтиране у постројење[10]

4.6 6B Heavy Duty Gas Turbine

Ова врста турбине нуди ниску цену инсталације као и ниске трошкове одржавања. Са више од 1200 јединица у употреби и са више од 60 милиона радних сати ова турбина спада у коришћење. Нуди високу доступност и поузданост у једноставном циклусу и когенерацији, као и једноставно монтирање у индустријским постројењима. 6В гасна турбина може да издржи више стартова потребних за максимално оптерећење, и да прими широк спектар гасовитих и течних горива, као што су лож уља, биоетанол, гасови из компресора и да се брзо инсталира за хитне потребе. Одликује је и већа ефикасност као и мања емисија штетних гасова[9].

Табела 4.6.1 Основне карактеристике турбине[9]

Карактеристике турбине	
Излазна снага	43 MW ел. енергије
Топлотна ефикасност (%)	33.1-обичан циклус, 85 у когенерацији
Емисија штетних гасова	NOx=9-15 mg/Nm ³ /4-7 ppm, CO=38-14 mg/Nm ³ /25-9 ppm
Време стартовања	Мање од 15 мин. од времена стартовања
Интервал сагоревања	24 000 часова / 800 стартова
Интервал проласка врелог гаса	24 000 часова / 800 стартова
Радни век ротора	200.000 часова / 5000 стартова
Механички погон	57 550 КС



Слика 4.6.1 Изглед турбине[9]

4.7 MS5002E Gas Turbine

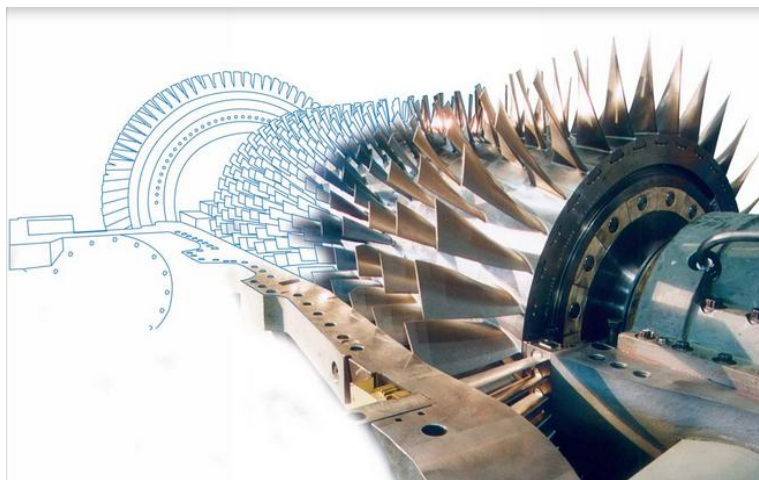
Спада у најновије решење у GE породици гасних турбина. Двоструко вратило обезбеђује доказану способност за употребу у производњи електричне енергије. Ова врста турбине је задржала веома добре и доказане карактеристике од претходних модела GE серије које поседују изузетну поузданост и доступност[9].

Карактеристике и предности[9]:

- Висока ефикасност
- Мали утицај на животну средину
- Висока поузданост
- Лакоћа рада и одржавања
- Ниски трошкови

Табела 4.7.1 Основне карактеристике турбине[9]

Карактеристике турбине	
Излазна снага	31.1 MW
Топлотна ефикасност (%)	35
Емисија штетних гасова	NOx = 18 ppm
Проток издувних гасова	101 kg/s
Температура издувних гасова	510 °C
Број обртаја при оптерећењу	3000/3600 rpm
Притисни однос	17:01
Топлотна стопа	10285 kJ/kWh



Слика 4.7.1 Изглед турбине[9]

5.0 Закључак

Учешће производње електричне енергије у когенерационим енергетским постројењима у укупној производњи електричне енергије у Србији је за читав ред величине мање од просечног учешћа у Европској Унији, које се, подстицано посебном Директивом 2004/8/ЕС, убрзано удвостручује. Том чињеницом и на повећаним интересом за рационализацију потрошње примарне енергије засновано законским опредељењем да когенерацију сврстава у повлашћене произвођаче, намеће се потреба Србије за брзу промену тог учешћа на више. Пораст увозне зависности и цена енергије у Србији дају додатни подстицај когенерацији топлотне и електричне енергије и рационализацији потрошње примарне енергије уопште, нарочито ако се има у виду и очекивано. У оквиру потенцијала когенерације за дугорочно планирање и коришћење у Србији доминантно учешће имају електроенергетски извори уз адекватни топлотни конзум, а следе га когенерација у већим системима даљинског грејања, у индустрији и (микрокогенерација) у широкој потрошњи природног гаса. При томе би око 5,4 TWh/год. могло бити остварено у електропривреним когенерационим постројењима и око 3,6 TWh/год. у свим осталим когенерационим постројењима. То значи да би предност у постројењима веће снаге имале конвенционалне технологије термоелектрана са парним циклусом на угаљ, које би (као што је већ учињено у ТЕ „Никола Тесла А” и ТЕ „Костолац”) биле реконструисане или грађене нове са одузимањем паре за снабдевање топлотом већих система даљинског грејања и термоелектрана-топлана са парним циклусом на гас и мазут, које би биле реконструисане додавањем гасних турбина (repowering) или грађење нове у виду постројења са комбинованим гасно-парним циклусом, док би за мање снаге предност имала нова постројења са гасним турбинама и/или гасним моторима, укључујући и микрогенерацију у широкој потрошњи.

Прихватајући и опредељујући се за ову тему ми смо мислили да постоје релевантни подаци којима можемо једноставно прићи и користити их и да их обрађујемо на начин који нама одговара. На самом почетку смо посетили сајтове статистичког удружења Србије и тамо смо пронашли доста података, затим смо ишли од енергане до енергане и на крају смо дошли до пословног удружења. Пронашли смо један документ који је био мало обимнији али он није био приређен на тај начин да можемо да обрадимо податке. Због тога смо велику пажњу посветили тематизацији података до којих смо долазили, оријентација нам је била окренута на то да направимо базу података која може, ако то буде дозвољено од стране пословног удружења топлана Србије и других одговорних лица да буде доступна online, то јест на интернету. Тиме смо дошли до концепта који је приказан у овом раду.

На основу прикупљених података и обраде поменутих извршили смо анализу когенерационог потенцијала у топланама удружења топлана Србије и добили податке за когенерациони потенцијал што је приказано у табели 5.1.

Табела 5.1 Когенерациони потенцијал топлана

КОГЕНЕРАЦИОНИ ПОТЕНЦИЈАЛ			
ТОПЛАНА	ТОПЛОТНА ЕНЕРГИЈА (MW)	ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА (MW)	УКУПНИ КОГЕНЕРАЦИОНИ ПОТЕНЦИЈАЛ (MW)
JKP BEOGRADSKE ELEKTRANE SEKTOR NOVI BEOGRAD	928.38	480.15	1408.53
JKP BEOGRADSKE ELEKTRANE SEKTOR BANOVO BRDO	293.68	140.34	434.02
JKP BEOGRADSKE ELEKTRANE SEKTOR CERAK	272.095	140.73	412.825
JKP BEOGRADSKE ELEKTRANE SEKTOR DUNAV	386.22	199.78	586
JKP BEOGRADSKE ELEKTRANE SEKTOR VOŽDOVAC	242.542	125.4	367.942
JKP BEOGRADSKE ELEKTRANE SEKTOR KARABURMA	83.81	46.43	130.24
JKP BEOGRADSKE ELEKTRANE SEKTOR KONJARNIK	378	195.52	573.52
JKP BEOGRADSKE ELEKTRANE SEKTOR MLADENOVAC	123.9	64.11	188.01
JKP NOVOSADSKA TOPLANA	655.18	343.08	998.26
ENERGETIKA DOO KRAGUJEVAC	358.05	185.13	543.18
JKP GRADSKA TOPLANA NIŠ	237.602	122.729	360.331
JKP TOPLANA BOR	58	30	88
JKP GREJANJE PANČEVO	116.377	60.289	176.666
JKP SUBOTIČKA TOPLANA	121	62.58	183.58
JKP GRADSKA TOPLANA KRUŠEVAC	83.5	43.19	126.69
JKP za grejanje i održavanje zgrada ČAČAK	100.55	42.05	142.6
JP TOPLANA KRALJEVO	75.85	39.07	114.92
JKP TOPLANA ŠABAC	72.3	37.39	109.69
JKP ENERGETIKA TRSTENIK	70	36.2	106.2
JKP TOPLOTA UŽICE	43	22.19	65.19
JP za stam.usluge i toplif. SMEDEREVO	25.9	13.41	39.31
FAP STAN doo u restruktuiranju PRIBOJ	54	27.94	81.94
JP TOPLANA KIKINDA	58.83	30.323	89.153
JP TOPLANA JAGODINA	55.35	28.653	84.003
JKP TOPLANA VALJEVO	36.987	42.157	79.144
JKP TOPLIFIKACIJA SREMSKA MITROVICA	9.95	34.89	44.84
JKP TOPLANA LESKOVAC	50.5	26.26	76.76
JKP ENERGAN SOMBOR	47.946	24.794	72.74
JKP GRADSKA TOPLANA PIROT	50	26.05	76.05

TOPLIFIKACIJA MORAVIJA ZAJEČAR AD ZAJEČAR	40.1	21.21	61.31
JKP KOMUNALAC MAJDANPEK	39.2	20.26	59.46
JKP STANDARD KOSOVSKA MITROVICA	38	19.6	57.6
JP JEDINSTVO KLADOVO	28.4	14.69	43.09
JKP BADNJEVO NEGOTIN	14.0619	7.262	21.3239
ENERGETIKA I ODRŽAVANJE DOO ZEMUN	111.831	14.399	126.23
JP STAMBENO RUMA	29.96	15.562	45.522
JP TOPLANA BEČEJ	20	10.34	30.34
JKP TOPLANA LOZNICA	21.482	10.799	32.281
JKP GRADSKA TOPLANA NOVI PAZAR	14	7.24	21.24
JKP STANDARD RJ EKOTERM VRBAS	16.911	8.16	25.071
JP Direkcija za izgradnju BAJINA BAŠTA	16.66	8.624	25.284
JP NOVI DOM VRANJE	12.109	6.25	18.359
JP 3 SEPTEMBAR NOVA VAROŠ	5.9	3.05	8.95
JKP TOPLANA KNJAŽEVAC	11.425	5.918	17.343
JP TOPLANA BEOČIN	11.4	5.88	17.28
JKP Gornji Milanovac Gornji Milanovac	10.04	5.18	15.22
DP "Novi Sad-Gas" Novi Sad, Toplana "Partizan Bačka Palanka	12.11	6.3	18.41
VELIKA PLANA	9.15	4.74	13.89
JKP IZVOR PETROVAC NA MLAVI	9.24	4.77	14.01
JKP GRADSKA TOPLANA KOSJERIĆ	7.5	3.87	11.37
JKP DRINA MALI ZVORTNIK	6.6	3.41	10.01
JKP 7 JULI BATOČINA	6.4	3.32	9.72
PEĆINCI	2.95	1.52	4.47
JKP TEMERIN TEMERIN	7.7	3.982	11.682
JKP USLUGA ODŽACI	5.46	2.722	8.182

У складу са овим когенерационим потенцијалима у раду су приказане турбине које по својим перформансама највише одговарају оваквим постројењима. Предложене турбине су одабране у складу са постојећим процесима који се одвијају у топланама и које могу да одговоре когенерационим потенцијалима сваке од топлана.

6.0 Литература

- [1] <http://www.cnti.info/energija/>
- [2] Martin Pehnt, Martin Cames, Corinna Fischer, Barbara Praetorius, Lambert Schneider, Katja Schumacher, Jan-Peter Voß:” Mikro Cogeneration” Berlin 2002.g.
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Cogeneration>
- [4] <http://www.paluba.info/smf/index.php?topic=9845.0>
- [5] Cotton K.C. (1998). Evaluating and Improving Steam Turbine Performance
- [6] Parsons Charles A. (1911). The Steam Turbine. University Press, Cambridge
- [7] Traupel W. (1977) (?? German). Thermische Turbomaschinen
- [8] Thurston R. H. (1878). A History of the Growth of the Steam Engine. D. Appleton
- [9] <http://www.stromerzeuger-discount.com/4.html>
- [10] <http://www.siemens.com/entry/cc/en/>
- [11] <http://termotehnika.vinca.rs/content/files/potencijal-kogeneracije-toplotne-i-elektricne-energije-u-srbiji.pdf>