

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренос топлоте и масе

Број индекса: 101/2010

Никола М. Петровић

Трансформација фосилних горива у електричну енергију у комбинованим постројењима

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Небојша Лукић, ред. проф. - ментор
2. Др Ненад Марјановић, ред. проф.
3. Др Вања Шуштершић, ванр. проф.

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да објасни процес трансформације фосилних горива (угља, нафте и природног гаса) у електричну енергију у термоелектранама. Изврши детаљан приказ и опис свих делова термоенергетског постројења и поделу термоелектрана са акцентом на рад, предности и мане изградње комбинованих постројења. Представи статистичке податке цена електричне енергије, угља, нафте, и природног гаса за домаћинства и индустрију у земљама Европске Уније (Немачка и Француска) и у Републици Србији. Уради економску анализу, изврши компарацију и донесе закључак на основу цена природног гаса и електричне енергије за домаћинства и индустрију о стању енергетике у наведеним земљама (Немачкој, Француској и Србији).

Препоручена литература:

[1] J.A. Fay, D.S. Golomb, *Energy and the Environment*, Oxford University Press, New York (2002).

[2] D.Y. Goswami, F. Kreith, *Energy Conversion*, CRC Press, New York (2007).

[3] M. Vujanović, *Diplomski rad*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb (2003).

...

Крагујевац, 2013.

ментор:

Проф. др Небојша Лукић

РЕЗИМЕ

Предмет овог завршног рада је трансформација фосилних горива у електричну енергију у комбинованим постројењима. Извршена је генерална класификација извора енергије (обновљиви и необновљиви) са нагласком на фосилна горива (угаљ, нафта и природни гас). Дат је приказ општих карактеристика, места налажења и примене ових енергетских извора, као и преглед резерви, производње и потрошње ових енергената у свету и у Републици Србији. Описане су функције главних делова термоенергетског постројења која користе фосилна горива (комора за сагоревање, гасна турбина и компресор; котло, системски делови котла (прегрејач паре, међупрегрејач и економајзер), парна турбина и кондензатор; као и места за складиштење и припрему горива, расхладни торањ, електрични генератор). Уз приложене шеме рада дат је детаљан опис поступка производње електричне енергије у гасно – турбинским, парно – турбинским и комбинованим постројењима. Разматран је значај изградње, предности и мане комбинованих постројења. Приказани су статистички подаци цена електричне енергије, угља, нафте и природног гаса за домаћинства и индустрију у земљама Европске Уније (Немачка и Француска) и у Републици Србији. Урађена је економска анализа и компарација на основу цена природног гаса и електричне енергије за домаћинства и индустрију о стању енергетике у наведеним земљама (Немачкој, Француској и Србији).

Кључне речи: Фосилна горива, Електрична енергија, Термоелектрана, Комбиновано постројење

ABSTRACT

The subject of this final work is transformation of fossil fuels into electrical energy in combined plants. The general classification of the power sources was done (renewable and in renewable) with the emphasize on the fossil oils (coal, oil and natural gas). The description of general characteristics, places where they are found and the usage of these sources was given, as well as the survey of reserves, production and consumption of these substances in the world and in Republic of Serbia. The functions of the main elements of thermo-electric power plant which use fossil fuels were described (combustion chamber, gas turbine and compressor, boiler, the parts of the boiler (superheater, economizer and reheater), steam turbine and condenser, and also the storage places and the places for fuel preparation, cooling tower, electrical generator. Together with the working schemes general description of electrical energy production in gas turbine, steam turbine and combined plants was given. The importance of building, advantages and disadvantages of combined plants were considered. Statistical facts regarding the price of electrical energy, coal, oil and natural gas for households and industry in European Union (Germany and France) and Serbia were shown. Economic analysis and comparison based on the price of natural gas and electrical energy for households and industry was also done regarding the state energetics in these countries (Germany, France and Serbia)

Keywords: Fossil fuel, Electrical energy, Thermoelectric plant, Combined plant

САДРЖАЈ

1	Увод	1
2.	Извори енергије	2
2.1	Угаљ	5
2.1.1	Класификација угља	6
2.1.2	Настанак угља	7
2.1.3	Резерве и потрошња угља	7
2.1.4	Производња и потрошња угља у Србији	9
2.1.5	Прерада и оплемењивање угља	10
2.2	Нафта	12
2.2.1	Настанак нафте	13
2.2.2	Физичке и хемијске особине нафте	13
2.2.3	Налазишта, вађење и добијање нафте	15
2.2.4	Резерве и потрошња нафте	17
2.2.5	Производња нафте у Србији	18
2.3	Природни гас	19
2.3.1	Особине природног гаса	19
2.3.2	Употреба природног гаса	20
2.3.3	Резерве природног гаса	22
2.3.4	Потрошња природног гаса у Србији	22
3	Делови термоенергетских постројења која користе фосилна горива	23
3.1	Места за складиштење и припрему горива	24
3.2	Компресор	24
3.3	Комора за сагоревање	25
3.4	Гасна турбина	26
3.5	Парна турбина	27
3.6	Кондензатор	28
3.7	Котао	30
		32

3.8	Делови уграђени у котао	
3.9	Електрични генератор	35
4	Производња електричне енергије	36
4.1	Гасно – турбинска постројења	38
4.2	Парно – турбинска постројења	39
4.3	Комбинована турбинска постројења	48
4.3.1	Основна извођења комбинованих постројења	50
4.3.2	Степен корисног дејства комбинованих постројења	54
5	Поређење цена фосилних горива и електричне енергије	56
6	Економска анализа цена природног гаса и електричне енергије	61
7	Закључак	64
8	Литература	66

1. Увод

Енергија је способност вршења рада. Ова општа дефиниција је део основних дефиниција савремене физике и то у оном делу који треба да одговори на питање о узроку и пореклу природних феномена акције, дејства и силе. Сваки физички систем поседује енергију у извесној количини. Количина енергије система није апсолутна вредност, већ релативна у односу на референтно стање. Енергија физичког система се дефинише као количина механичког рада кога систем може да произведе када мења своје текуће стање и прелази у референтно стање.

Облици енергије

Енергија се може јавити у неколико облика:

1. Потенцијална енергија – настаје као последица положаја који објекат има у односу на друге објекте
2. Кинетичка енергија – настаје као последица кретања тела
3. Хемијска енергија – настаје као последица хемијских веза међу атомима супстанце објекта
4. Електрична енергија – настаје као последица наелектрисања тела
5. Топлотна енергија – настаје као последица загрејаности тела
6. Нуклеарна енергија – настаје као последица нестабилности атомских језгра објекта
7. Електромагнетна енергија – то је енергија зрачења, што може бити светлост, радио-таласи или други појавни облик истог феномена електромагнетног зрачења

Закон одржања енергије

Закон одржања енергије тврди да се у затвореном систему не може мењати укупан износ енергије, он остаје константан. Овај закон је последица транслационе симетрије времена, што значи да физички процес не може зависити од тренутка почетка процеса на временској оси. Неки рад (и облици енергије) нису лако мерљиви без присуства посматрача.

Енергија је једна од кључних потреба човечанства, у циљу покретања комплетног сектора транспорта, индустријског сектора као и домаћинства, а живот савременог човека незамислив је без употребе ових производа. Зато је и циљ сваке земље да обезбеди довољне количине енергије, односно енергената, за потребе своје привреде као и сигурно и континуирано снабдевање привреде енергентима, по стабилним и конкурентним ценама.

2 *Извори енергије*

Енергија се појављује у акумулисаним или прелазним облицима. У зависности од тога да ли се појављује у природи разликујемо примарне и секундарне изворе енергије. Обзиром на ниво коришћења примарни извори енергије могу бити:

- *конвенционални* извори енергије и
- *неконвенционални* извори енергије.

Обзиром на природну обновљивост извори енергије могу бити:

- *обновљиви* извори енергије или
- *необновљиви* извори енергије.

Примарни извори енергије могу бити:

- носиоци хемијске енергије (горива),
дрво, тресет, угаљ, сирова нафта, природни гас, уљани шкриљци, биомаса
- носиоци потенцијалне енергије,
снага воде, плима и осека
- носиоци нуклеарне енергије,
нуклеарна горива
- носиоци кинетичке енергије,
ветар, морски таласи
- носиоци топлотне енергије и
геотермална енергија, топлота мора
- носиоци енергије зрачења
Сунчево зрачење.

Обновљиви и необновљиви извори енергије

Обновљиви извори енергије (Renewable energy source) који се користе за производњу електричне или топлотне енергије представљају енергетске ресурсе из околне средине, а не из потрошње минералних горива (угаљ, нафта, гас). Одликују их неколико важних особина: свеприсутност и географска варијабилност на Земљи, мањи утицај на животну средину од конвенционалних извора енергије нарочито у погледу емисије токсичних гасова стаклене баште у атмосферу па се сматра се да ће у будућности постати најважнији извор енергије, како еколошке мере за контролу животне средине постају строжије. Највећа препрека за све веће коришћење обновљивих извора енергије је генерално знатно виша цена у односу на конвенционалне изворе [1]. У њих спадају:

1. Хидроенергија

Хидроелектране захтевају поуздано снабдевање протоком воде. Да би се овај проток остварио вода која је потребна за покретање хидроелектране мора да буде на одређеној

висини. Већина хидроелектрана захтева изградњу брана дуж река, како би се извесна количина воде задржала позади бране и самим тим створила висинска разлика у односу на ниво речног корита. Цеви повезане са акумулисаном водом спроводе је при високом притиску до улаза у хидротурбину при чему се генерише механички рад помоћу ког се покреће електрични генератор. Технологија хидроенергије је добро развијена и помоћу ње се производи 19% светске електричне енергије.

2. Енергија ветра

Енергија ветра се углавном користи за производњу електричне енергије помоћу ветрогенератора. Ветрогенератор претвара кинетичку енергију ваздуха који се креће (ветра) помоћу лопатица ротора (елисе), преносног механизма и електрогенератора у електричну енергију. Енергија добијена из ветра зависи од средње брзине ветра и то тако што је пропорционална трећем степену брзине ветра.

3. Соларна енергија

Сунчево зрачење представља део спектра електромагнетног зрачења у области таласних дужина $0,3 - 2 \mu\text{m}$. Главне компоненте соларног спектра обухватају ултраљубичасти ($< 0,38 \mu\text{m}$), видљиви ($0,38 - 0,78 \mu\text{m}$) и инфрацрвени ($> 0,78 \mu\text{m}$) део спектра. Енергетски садржаји ових делова су 6%, 48% и 46% од укупног зрачења, респективно. Енергија електромагнетног зрачења је сразмерна фреквенцији, а обрнуто пропорционална таласној дужини. Ултраљубичасти фотони, који имају краће таласне дужине и самим тим и већу појединачну енергију него видљиви или инфрацрвени фотони, су потенцијално опаснији за живе организме, иако је њихов укупан удео у соларној енергији много мањи.

Најједноставнији начин искоришћења соларне енергије је помоћу соларних колектора чиме се врши сакупљање топлотне енергије. Та топлотна енергија се може искористити за: грејање воде у домаћинствима, базенима, радијаторима или за подно грејање. Напреднији начин је директна производња електричне енергије фотонапонским ћелијама. Овај начин подразумева да се постављањем панела полупроводничких особина и њиховим излагањем сунчевом зрачењу директно добије електрични напон односно електрична енергија.

4. Биомаса

Органска материја у биљкама и земљишту представља привремени систем за складиштење соларне енергије. Претварањем угљен диоксида из ваздуха и воде из земље у органску материју процесом фотосинтезе складишти се енергија сунчевог зрачења у виду хемијске енергије органске материје. Оваква органска материја се може користити и као фосилно гориво. Код овог енергента нема емисије угљен диоксида, јер се ослобађа иста количина угљен диоксида колика је и апсорбована путем фотосинтезе. Ефикасност конверзације сунчевог зрачења у енергију биомасе је веома ниска (мања од 1%).

Биогориво

Биогорива обухватају широк спектар горива која потичу из биомасе. Термин обухвата чврсту биомасу, течна горива и различите биогасове. Течна горива укључују биоалкохоле, као што су биоетанол и уља (биодизел). Гасовита биогорива укључују биогас, депонијски гас и синтетички гас.

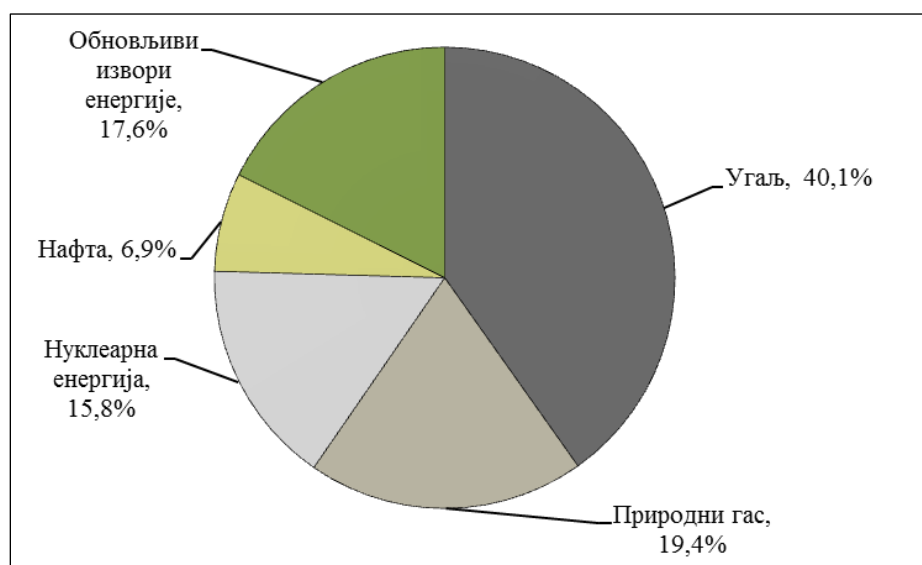
5. Геотермална енергија

Унутар геотермалних постројења топлота се преноси из подземних резервоара воде на површину земље, где се може користити за производњу електричне енергије или за грејање. Електране снаге 100 MW захтевају велике геотермалне површине (око 1700 km²), како би се обезбедио константан извор топлог флуида. Већина данашњих електрана које користе геотермалну енергију прикупљају десет пута већу количину топлоте него што је потребно, како би се смањили трошкови у раду. Због овога подземни резервоари се полако хладе, али то је занемарљиво у односу на високу ефикасност и економичност ових електрана.

6. Енергија плиме и осеке

Енергија плиме и осеке је форма хидроенергије која користи кретање воде услед деловања гравитацијских сила Сунца и Месеца. Ствара се захваљујући генераторима који представљају велике подводне турбине постављене у одговарајућим подручјима где се кинетичка енергија претвара у електричну енергију. Енергија плиме и осеке има огроман потенцијал за будуће енергетске пројекте, а највише због огромних површина светских океана.

На слици 1 дат је приказ обновљивих извора енергије у свету (2003. година).



Слика 1 Проценат обновљивих и необновљивих извора енергије у свету [2]

7. Океанска термална енергија

Топлота која се може искористити из океанских површина је велика. Да би се искористила потребно је деловати механичком силом коју ствара турбина како би се извршила циркулација водених површина кроз електрану. Због изузетно тешких услова за изградњу јавља се застој у развоју електрана овог типа.

8. Енергија таласа и океана

Океански таласи се формирају на површини океана деловањем ветра. Трењем и силом притиска ваздуха и воде, енергија ветра се трансформише у енергију таласа и одговарајућим механичким уређајима се може претворити у механички рад.

Тренутно у свету око 17,6% потрошње примарне енергије потиче од обновљивих извора мада су технолошки капацитети значајно већи.

Насупрот обновљивим изворима су необновљиви извори енергије (Non-renewable energy source). Они би се могли дефинисати као извори за чије резерве се очекује да ће бити исцрпљене за максимално неколико стотина година, а чије би обнављање трајало вишеструко дуже.

У необновљиве изворе енергије спадају:

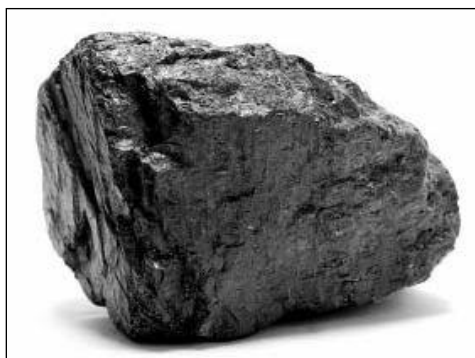
1. угаљ
2. нафта
3. природни гас
4. нуклеарна енергија

Угаљ, нафта и природни гас се називају фосилна горива. Само име фосилна горива говори о њиховом настанку. Пре много милиона година остаци биљака и животиња су се таложили на дно океана или на тло. С временом је те остатке прекрио слој блата, муља и песка. У тим условима развијале су се огромне температуре и велики притисци, а то су идеални услови за претварање остатака биљака и животиња у фосилна горива. Главни извор енергије фосилних горива је угљеник и његовим сагоревањем у атмосферу се ослобађа угљен-диоксид. То је главни проблем искоришћавања фосилних горива гледано са еколошког аспекта.

2.1 Угаљ

Производња дрвеног угља, који се прави од дрвета, је стара 6000 година, јер је тај угаљ погоднији за топљење метала. Кинези су користили угаљ 1000 година пре нове ере, а и Римљани су га користили за топљење метала. Енглези су вадили угаљ из рудника у XII веку и извозили га у Фландрију, данашњи северни део Белгије. У XVII веку примењује се за уличну расвету. Проналаском парне машине Џејмса Вата почиње индустријска револуција која је створила невероватну потражњу за угљем.

Угаљ (слика 2) је био основни енергетски извор све до половине XX века када примат преузима нафта, мада је угаљ и даље основни извор за производњу електричне и топлотне енергије.



Слика 2 Угаљ

Угаљ је црна или црно-смеђа седиментна стена органског порекла која има способност горења, па се користи као фосилно гориво које се вади из земље рударским методама. Састоји се примарно од угљеника и угљоводоника, али и других супстанци. Веома је важно гориво и извор електричне енергије. На пример у САД сагоревањем угља се добија половина потребне електричне енергије, док у Србији учествује у укупној потрошњи преко 50%, док у производњи струје учествује са преко 85% (у термоелектранама). У финалној потрошњи угаљ (уз кокс и сушени лигнит) учествује са 14%. Производња угља бољих квалитета у Србији је ниска и са трендом даљег опадања.

2.1.1 Класификација угља

Постоје разне методе за класификацију према пореклу, намени, старости, топлотној моћи и другим особинама угља. Према класификацији Економске комисије ОУН за Европу (United Nations Economic Commission for Europe) постоји само подела на камени и мрки угаљ. Камени угаљ има горњу топлотну моћ, без пепела, већу од 23,87 MJ/kg (до 36 MJ/kg). Испод те границе су врсте мрког угља, где се лигнит такође сврстава.

Лигнит се одликује очуваном дрвенастом структуром, бледе мрке или прљаво жуте боје. Садржај угљеника је 25 – 35%; водоника до 5,5% у сувој материји; кисеоника 25 – 30%; пепела 7 – 14% и влаге 40 – 50%. Топлотна вредност износи 6 – 12,5 MJ/kg, уз извесан садржај сумпора.

Мрки угаљ се одликује слабије одржаном дрвенастом структуром, мрке или црне боје. Садржај угљеника је 65 – 80%; водоника 3 – 5%; кисеоника 18 – 25%; пепела до 25%; испарљивих материја 45 – 54%. Топлотна вредност износи 12,6 – 23,8 MJ/kg. Од каменог угља се разликује, што поред хумусних супстанци садржи и извесну количину хумусних киселина.

Камени угаљ се дели на више подгрупа. Критеријум за класификацију је количина присутних испарљивих супстанци. Антрацит има 4 – 7% испарљивих супстанци, полуантрацит 8 – 12%, мршави камени угаљ 12 – 18%, масни камени угаљ 18 – 35%, гасни камени угаљ 33 – 38% и гаснопламени камени угаљ до 45% испарљивих супстанци. Садржај угљеника је 80 – 98%; пепела 0,5 – 40%; кисеоника око 5%, а топлотна моћ је у границама 25 – 36 MJ/kg.

2.1.2 Настанак угља

Процес настанка угља није у потпуности објашњен [3]. Оквирно се процес настанка може поделити на две фазе:

1. Припремана фаза или фаза хумификације

У овој фази се врши акумулација, измена и трансформација органске супстанце у тресет (сапропел). Врши се на површини земље у воденој средини, под дејством микробиотичког фактора и у анаеробним условима. Фаза траје десетинама хиљада година.

2. Фаза угљенификације или фаза карбонизације

Ова фаза обухвата процесе у којима се тресет, путем дијагенезе и метаморфозе претвара у лигнит, мрки угаљ, камени угаљ и антрацит. Ова фаза се одвија у деловима земљине коре где постоје анаеробни услови и адекватни притисак и температура. У овом процесу се остварује повећање процента угљеника у органској супстанци, уз смањивање процената кисеоника, водоника и азота.

2.1.3 Резерве и потрошња угља

Највеће резерве угља су на северној хемисфери између 35 и 50 степени северне географске ширине. Резерве угља (табела 1) су добро истражене, нарочито у развијеним земљама. Са тренутном годишњом потрошњом (3,7 милијарди тона годишње каменог и мрког угља и 0,9 милијарди тона лигнита) има довољно угља за неколико стотина година експлоатације.

Табела 1 Доказане резерве угља

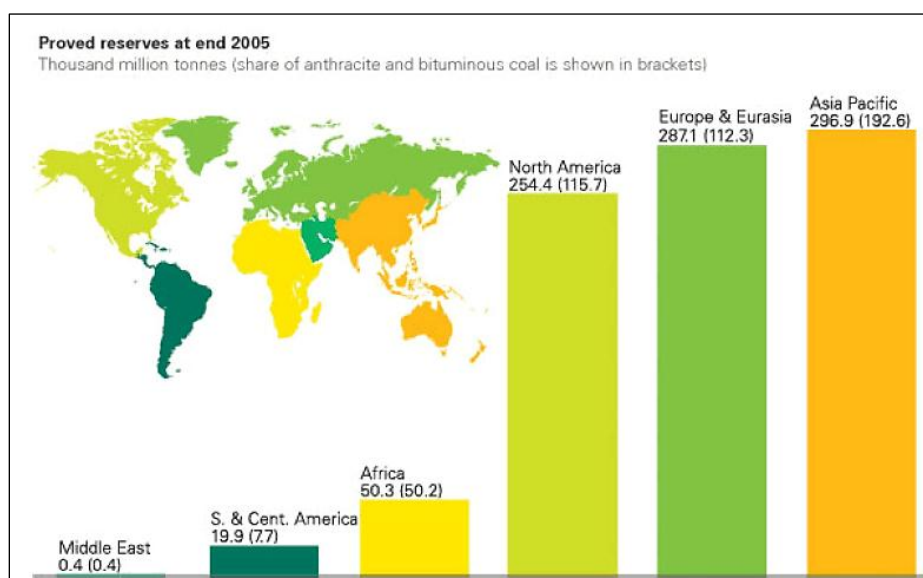
Врста угља	Количина угља (милијарде тона)
Камени угаљ	510
Мрки угаљ	279
Лигнит	196
Укупно	987

Расподела резерви овог енергента је неравномерна. Свега шест земаља (САД, Кина, Русија, Аустралија, Индија и Немачка) располаже са 75% свих светских резерви (табела 2). У последњих неколико година су додатна истраживања још увећала износе резерви.

Табела 2 Листа земаља са највећим резервама угља

Земља	Проценат (%)
САД	25
Русија	16
Кина	12
Аустралија	9
Индија	7,5
Немачка	6

Највеће доказане резерве угља налазе се у Азијско-пацифичкој енергетској регији на подручју бившег СССР-а, односно Северне Америке [4], што је приказано на слици 3.



Слика 3 Доказане резерве угља у хиљадама милиона тона – 2005. година

Према постојећим подацима, од укупне количине ископаног угља, 76% је искоришћено за производњу електричне енергије. У целокупној производњи електричне енергије угаљ учествује са око 40%. Овај однос се није значајније мењао последњих тридесетак година и сада износи око 4800 TWh годишње.

У задње време нема значајнијих промена у потрошњи угља. То је и разумљиво јер су технологије за искоришћавање достигле максимум, па нема великих могућности

напретка. Према грубим предвиђањима угља има за још око двеста година искоришћавања данашњим темпом. То значи да у блиској будућности неће бити проблема са снабдевањем угљем, али услед економских и еколошких разлога би могло доћи до смањења искоришћења те енергије.

2.1.4 Производња и потрошња угља у Србији

Србија располаже солидним количинама угља слабијег квалитета и то врстама лигнита, мрког и каменог угља. Лигнит се јавља у три басена: Костолачком, Косовском (75% од укупних резерви) и Колубарском; мрког угља има у два басена: Сењско-Ресавском и у околини Алексинца (Алексиначки рудници); каменог угља има у два басена: Ибарском (Ушће, Баљевац и Јарандо) и Тимочком (Вршка чука, Јерма, Добра срећа, Подвис, Тресибаба и Ртањ). У наведеним басенима лигнита су подигнуте термоелектране ради његове адекватније експлоатације [3].

Производња угља за термоелектране и остале потрошаче одвија се у енергетској компанији Електропривреда Србије (ЕПС), у четири јавна предузећа: Рударски басен „Колубара”, површински копови „Костолац”, површински копови „Косово” и Јавно предузеће за подземну експлоатацију угља „Ресавица”. Од укупно произведене количине угља у 2001. години 90% је утрошено на производњу електричне енергије у ЕПС-у, а од тога је у термоелектрани искоришћено 67,5%. Преостали део произведеног угља је пласиран на тржиште за потребе индустрије и широке потрошње као комадни угаљ (6%) и за производњу сушеног угља (4%). Од укупно произведене количине угља (подземне експлоатације) у 2000. години за производњу електричне енергије је испоручено 19%, док је за потребе индустрије и широке потрошње испоручено 81% произведеног угља.

ЈП Рударски басен „Колубара” своју делатност развија на резервама лигнита у Колубарском басену. Басен заузима површину од 600 km^2 , а преостале доказане резерве лигнита у овом басену износе 2,2 милијарде тона. Највећи део лигнита (око 90%) користи се за производњу електричне енергије у ТЕ „Никола Тесла” у Обреновцу, ТЕ „Колубара” у Великим Црљенима и ТЕ „Морава” у Свилајнцу. Из колубарског угља годишње се произведе 17 милијарди kWh електричне енергије и то у четири копа басена Колубара: поље „Б”, поље „Д”, „Тамнава – Запад” и „Тамнава – Исток”, годишње се откопа и одложи око 60 милиона m^3 чврсте масе. Интересантно је то да коп „Колубаре Д” обезбеђује довољно угља за 32% потрошње електричне енергије Србије.

ЈП површински копови „Костолац” поред производње електричне енергије, „Термоелектране и копови Костолац” бави се и вађењем и брикетирањем лигнита. Костолачки угљени басен се налази на 90 km југоисточно од Београда. Активна су три површинска копа: „Дрмно”, „Дириковац” и „Кленовник” који снабдевају угљем ТЕ „Костолац А” и „Костолац Б”. ТЕ „Костолац А” садржи два блока укупне снаге 281 MW и производи око 716 GWh електричне енергије, док је ТЕ „Костолац Б” укупне снаге 640

MW и производи око 3027 GWh електричне енергије. Блок Б2 снаге 320 MW у ТЕ „Костолац Б“, који је пуштен у рад 1991. године, последњи је изграђени производни капацитет у ЕПС-у. „Термоелектране и копови Костолац“, чине 11% од укупних производних потенцијала у Србији.

2.1.5 Прерада и оплемењивање угља

Припрема и сушење

Угаљ извађен из рудника, површинском експлоатацијом (ровни угаљ) осим горивих састојака садржи одређену количину негоривих материјала (јаловина). Поступцима припреме сирови угаљ се дели на угаљ, смесу угља и јаловине и јаловину. Након тога следи процес сортирања на крупнији и ситнији угаљ. Ако производња угља иде ка ТЕ онда он у њу стиже без икакве припреме (лигнит), а ако има већу топлотну моћ онда се термоелектранама испоручује ситнији угаљ, а крупнији осталим потрошачима. Садржај влаге у нискокалоричним лигнитима је веома висок (30 – 60%). Да би се смањили трошкови транспорта и повећала топлотна моћ примењује се поступак сушења лигнита који смањује садржај влаге на око 20%.

Брикетирање

Брикетирање је процес укрупњавања (агломерације) угљене прашине под притиском (неколико стотина бара) да би се добио облик погоднији за употребу. Данас овај поступак нема велику примену, јер се ТЕ граде у близини рудника и троше све врсте угља па и угљену прашину. Такође, угаљ се мање троши у индустрији и домаћинствима јер га замењује гас, лож уље и електрична енергија [3].

Дестилација угља

Дестилација је поступак загревања угља без присуства кисеоника чиме добијамо кокс, полукокс, гасове и течности. Поступак дестилације тече на следећи начин:

- 373-550 K испарава хидроскопска влага,
- 550-575 K издваја се вода везана у хемијским једињењима, угљен-диоксид (CO_2) и сумпор у облику сумпорводоника (H_2S),
- 575-625 K стварају се гориви гасови,
- 625-675 K наставља се стварање гасова; угаљ постаје кашаста маса,
- 675-775 K испуштање паре и гасова,
- 775-875 K настајање полукокса,
- 875-1215 K полукокс се претвара у кокс.

Постоје три основне фазе у поступку дестилације: почетна (575 – 625 K), главна и крајња (око 1000K). У зависности од жељеног коначаног продукта (кокс, полукокс или

гасове) разликујемо неколико поступака дестилације (коксовање, швеловање или добијање гасова и течних угљоводоника).

Швеловање се изводи на температури до 875 K, а основна сврха је производња катрана и полукокса. У поступку дестилације најчешће се употребљава мрки угаљ или камени угаљ слабијег квалитета. Треба да садрже најмање 6 – 8% битумена. Полукокс се употребљава за расплињавање или у ТЕ, али је његова велика мана што је лако запаљив, па га је тешко транспортовати. Катран има примену у хемијској индустрији, грађевинарству или у производњи синтетичког бензина. За коксовање су погодне само одређене врсте каменог угља (масни камени угаљ). Такође, битан је и садржај пепела (до 7%) и влаге (до 10%). Од 1 t угља добијемо 750 – 850 kg кокса који разврставамо по крупноћи у класе. Други по важности продукт коксовања је коксни гас. Од 1 t угља добијамо 300 – 340 Nm³ гаса, чија је топлотна моћ 18,4 – 19,3 MJ/Nm³. Коксни гас садржи 5 – 6% угљен-моноксида (CO), 55 – 60% водоника (H₂) и око 25% угљоводоника (C_nH_m). Након пречишћавања и одвајања катрана (30 – 40 kg), бензена, (8 – 10 kg) и амонијака (10 kg), коксни гас се може употребити као гориво у индустрији и домаћинствима. За добијање гасова и течних угљоводоника употребљава се угаљ са већим садржајем испарљивих састојака. Процес је исти као швеловање и коксовање али су тада кокс, полукокс и катран споредни производи. Од течних производа важан је продукт бензен (C₆H₆), амонијак (NH₃) и нафтален (C₁₀H₈), а од гасних производа расветни гас.

Расплињавање угља – добијање генераторских гасова

Расплињавање угља – добијање генераторских гасова је хемијски процес у коме се гориви састојци угља претварају у гасове. Тако се горива малих топлотних моћи (дрво, лигнит) претварају у технички погоднија гасовита горива. Угаљ претварамо у гас због лакшег транспорта; осим тога котлови који као гориво користе гас су лакши и једноставније конструкције, а као продукте сагоревања немамо сумпор. Од 1 t угља добијамо око 300 – 350 Nm³ расветног гаса топлотне моћи 17 – 24 MJ/Nm³. Он у свом саставу највише садржи водоник, метан (CH₄), угљен-моноксид и тешке угљоводонике.

Постројење за добијање оваквих гасова називамо генератор гасова у који се доводи гориво које се запали, ваздух, водена пара или њихова смеша. Тако се добија: ваздушни, водени или генераторски гас. Основна разлика у односу на дестилацију је што се у овом процесу дешавају хемијске промене, па је главни производ гас, док је код дестилације најчешће главни производ кокс. Ваздушни гас добијамо ако у генератор гасова доводимо суви ваздух или смешу кисеоника и азота. Ако употребимо мешавину кисеоника и водене паре добијамо тзв. нискокалорични водени гас топлотне моћи до 11 MJ/Nm³. Добијање висококалоричног воденог гаса је слично али уз велике притиске (до 100 bar) и топлотна моћ му је до 18 MJ/Nm³. Коначно у процесу метанизације ако користимо смешу водоника и водене паре добијамо синтетички природни гас топлотне моћи до 37,3 MJ/Nm³.

Подземна гасификација

Удувавањем ваздуха или смеше ваздуха и кисеоника у руднике угља добијамо гас. Циљ је рационализација експлоатације угља са енергетског, еколошког и економског аспекта. Добијени гас можемо користити као гориво у ТЕ, за производњу топле воде у котларницама, за сушење у ротационим сушарама, за производњу грађевинских материјала. Подземну гасификацију можемо применити код оних налазишта које не можемо рационално експлоатисати или код напуштених рудника који се класичним путем више не користе. Тиме повећавамо коришћење ванбилансних резерви угља. У односу на површинску и подземну експлоатацију имамо мања улагања по јединици топлоте, краће време за изradу постројења и већу продуктивност (20 – 400%).

2.2 Нафта

Нафта је главни енергетски извор друге половине XX века. Осим нафте све се више користе и алтернативни извори енергије, пре свих обновљиви извори енергије. У циљу задовољавања текућих и успешно планираних будућих потреба за енергијом, Светски савет за енергију је поставио три основна стратешка циља за XXI век:

- Приступачност изворима енергије, што значи да енергија мора бити доступна по ценама које су прихватљиве и одрживе.
- Расположивост енергетских извора у смислу непрекидне понуде.
- Прихватљивост у смислу усклађености развоја и заштите животне средине.

На слици 4 дат је приказ нафтне платформе на води.



Слика 4 Изглед нафтне платформе на води

Сирова нафта је по хемијском саставу смеша различитих угљоводоника, чији се молекули састоје од угљеника и водоника и малих количина једињења сумпора, кисеоника и азота (до 7%). У њој су заступљени угљоводоници који садрже од један до педесет и више угљеникових атома претежно из хомологог низа алкана (парафина), затим цикличних угљоводоника – циклоалкана, ароматичних угљоводоника и других органских једињења. У налазиштима могу бити у течном, гасовитом па и у чврстом стању што зависи од температуре и притиска. Незасићених угљоводоника практично и нема у сировој нафти, али су зато присутни у продуктима њене прераде. Према овим групама које садрже, нафта се дели на парафинску, нафтенску и мешану.

Као гориво, нафта се убраја у природна течна горива.

2.2.1 Настанак нафте

Нафта је настала од масних и воштаних супстанци различитих ситних биљних и животињских морских организама – планктона. Под повољним условима, који су владали у раним геолошким добима, велике количине тих организама су се таложиле на морско дно. У средини сиромашној кисеоником услед деловања анаеробних бактерија дошло је до разлагања њихових органских остатака: беланчевина, угљених хидрата, масти и других лако распадљивих органских материја. Отпорније масне и воштане супстанце гомилале су се у облику муља (сапропел) и тај основни материјал временом је наносом речног муља, био покривен заштитним слојем. Под притиском слојева земље и при повишеној температури, маст се претварала најпре у прабитумен, а онда у нафту. На органско порекло нафте указује присуство сложених високомолекулских једињења (холестерол, хормони, хлорофил) која нису могла настати једноставном синтезом, као и оптичка активност нафте. И састав слане воде, који прати нафту, сведочи о њеном морском пореклу. С друге стране постоји мишљење да нафта потиче из неиспитаних и недовољно познатих дубина Земље. Томе у прилог говоре налази нафте у вулканским подручјима (на Камчатки), нагомилавање нафте у великим дубинама у минералима кристаластог порекла (Венецуела) и налази нафте у пукотинама литосфере на дну Индијског океана.

2.2.2 Физичке и хемијске особине нафте

Познавање физичких и хемијских особина нафте је веома битно за све етапе процеса експлоатације нафте [5]. Одређују се релативно једноставним лабораторијским методама. Физичке особине обухватају:

1. Опште особине

Густина је физичка карактеристика која одређује класификацију, цену и начин прераде нафте. Густина нафте је у границама $0,65 - 1,1 \text{ g/cm}^3$. Густина различитих

угљоводоника, са истим бројем угљеникових атома у молекулу, повећава се по редоследу: алкани → циклични угљоводоници → ароматични угљоводоници. Густину већу од 1 g/cm^3 имају нафте са повећаним садржајем смоле и асфалтних материја.

Вискозност представља меру унутрашњег трења течности при кретању и зависи од температуре и хемијског састава флуида. Течност која има већу вискозност је мање покретна, а она са већом вискозношћу је више покретна течност. Вискозност се дели на апсолутну (динамичку и кинематску) и релативну вискозност. У технологији прераде нафте се чешће користи кинематска вискозност која се креће у широком опсегу, а на 20°C најчешће износи око $40 - 60 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Растворљивост течних угљоводоника, који чине нафту је велика. И зато она представља молекулско-дисперзиони систем. Једино асфалтне материје немају добру растворљивост, па зато са нафтом граде колоидно-дисперзиони систем. Нафта садржи различите, растворене гасове: H_2 , CO , CO_2 , N_2 , H_2S , а део алкана ($\text{C}_1 - \text{C}_4$) садржаних у њој је у гасном агрегатном стању. Њихова растворљивост опада са порастом температуре, а расте са порастом притиска (Хенријев закон). Нафта је слабо растворљива у води, а добро растворљива у органским растварачима.

2. Термичке особине

Температура замућења је температура на којој се опажа прво замућење у нафти које је последица издвајања парафина веће молекулске масе у чврстом агрегатном стању.

Температура стињавања је температура на којој нафта губи одлике флуида и престаје да тече. Она је обично нижа за $2 - 3^\circ\text{C}$ у односу на температуру замућења. Ове температуре су различите за различите врсте нафте и крећу се у опсегу $-20 - 32^\circ\text{C}$. Стињавање нафте није промена хемијског састава нафте већ промена агрегатног стања виших парафина из течног у чврсто и разликује се од згушњавања нафте које се одвија услед испаравања лакших фракција нафте, при чему се мења хемијски састав, као и растворљивост виших парафина при чему се они издвајају у чврстом стању. Ове температуре је неопходно познавати, јер су стињавање и згушњавање непожељни процеси који узрокују тешкоће при транспорту и преради нафте.

Температура паљења је температура на којој се нафта пали. Она је за већину нафти између $30 - 70^\circ\text{C}$. Нафта са температуром паљења испод 20°C спада у класу лако запаљивих течности и руковање са њом укључује специјалне мере предострожности.

Топлотна вредност (топлотна моћ) представља количину топлоте која се ослободи по јединици запремине (за гасна) или јединица масе (за течна и чврста горива). Она за нафту износи између $44000 - 48000 \text{ kJ/kg}$.

Познавање термичких особина нафте је неопходно због спречавања појаве пожара и експлозија.

3. Оптичке особине

Боја и флуоресценција – Боја нафте варира од светле (жућкасте) за нафте мањих до тамне (скоро црне) за нафте већих густина. Тамна боја потиче од асфалтних материја и

ароматичних угљоводоника. Изузетно ретко нафта је безбојна. Нафта најчешће показује плаву или зелену флуоресценцију која при дужем дејству сунчевих зрака нестаје.

Индекс преламања светлости и оптичка активност – Индекс преламања (рефракције) светлости се креће од 1,39 – 1,49 и зависи од густине нафте. Расте са порастом молекулске масе компонената код парафина или бројем прстенова у молекулу код цикличних угљоводоника. Готово све сирове нафте су оптички активне и скрећу раван поларизоване светлости у десно.

4. Проводност нафте

Нафта не проводи струју.

5. Мирис нафте

Мирис нафте је различит и зависи од њеног састава. Лаке нафте имају мирис бензина што је последица присуства лаких угљоводоника алканског и циклоалканског низа. Нафта са великим садржајем ароматичних угљоводоника има пријатан–ароматичан мирис. Непријатан мирис нафте може потицати од присуства једињења сумпора–меркаптана (тиола) и сумпороводоника.

Хемијске особине нафте одређују квалитативни и квантитативни састав нафте. У самој нафти се током стајања под утицајем ваздуха, влаге, сунчеве светлости и топлоте дешавају хемијске промене. Оне су најчешће сведене на стварање смеђе обојених (ређе безбојних) вискозних флуида који су продукти реакција оксидације и полимеризације. Брзина њиховог стварања, као и њихова количина је већа што је садржај незасићених угљоводоника у нафти већи. Састав материја је доста сложен; то су незасићени угљоводоници великих молекулских маса ($M_r = 500 - 2000$); аморфне структуре и њихово присуство у дериватима нафте мора се строго контролисати, јер је непожељно (запушавање цевовода, дизни, вентила).

При манипулисању нафтом током експлоатације, транспорта или прераде, у индустријским постројењима, се дешава и хемијска промена која се назива корозија. Корозија се дефинише као хемијска промена при којој се нека супстанца (метал, неметал, њихова неорганска или органска једињења) разара под дејством супстанце из спољашње средине. У инжењерској пракси везаној за експлоатацију и прераду нафте најприсутнија је корозија метала.

2.2.3 Налазишта, вађење и добијање нафте

Њена се налазишта могу наћи у седиментним слојевима оних подручја где је у давним геолошким добима било море. Дубина нафтоносних слојева је различита; од неколико метара до 7600 метара и више. Што је већа дубина, већи је и притисак под којим се нафта налази. У просеку је потребно 5 – 10 дана за бушотину дубине до 1500 m, 60 – 90 дана за 3500 m док за бушотину дубине од 5000 m потребно је 100 – 150 дана. Цена бушења је око 25 \$ по метру за бушотину до 1000 m, а 250 \$ по метру за бушотине до

5000 m. Најдубља до сада постигнута бушотина је 9169 m и налази се у Оклахоми (САД). Бушења у мору су двоструко скупља. За процес бушења потребно је одвојити око 60% од укупних инвестиција. Бушење се одвија у две етапе. Прво иду прелиминарна истраживања да се утврди распрострањеност и врста седимента који садрже угљоводонике. Циљ је да се одреди економичност експлоатације при чему се рачуна да она траје бар 20 – 30 година. Друга етапа представља само вађење нафте које се може одвијати на три начина:

- Примарно – ако је притисак у налазишту већи од хидростатичког притиска нафте у цеви (еруптивно налазиште). Не требају додатни уређаји нити енергија за извлачење нафте на површину. То је најјекономичнији начин.
- Секундарно – упумпавање воде или гаса чиме се одржава притисак у налазишту како би се продужило еруптивно понашање налазишта.
- Терцијално – убацивање хемикалија или прегрејане паре чиме се смањује вискозност нафте ради лакшег вађења. Јако скуп процес производње.



Слика 5 Изглед нафтне пумпе

Нафта и природни гас избијају на многим местима сами из земље. Оваква природна врела нису важна за производњу нафте. Велике количине нафте добијају се из дубљих слојева земље, изливањем (еруптирањем) из бушотина на принципу артеских бунара. Прва бушења обављана су насумице. Данас се пре постављања дубинске сонде спроводе геолошка и геофизичка истраживања, која дају податке о геолошкој структури подземних слојева. На тај начин се знатно смањује број јалових бушења. Савремене технике бушења су се развиле из ручног бушења, обављаног у потрази за сољу и водом. Сва бушења се данас изводе машинским путем на два начина: ударно и окретно. Код ударног бушења сечиво, причвршћено на доњем крају алатки, диже се 30 – 40 cm, а затим се пушта да

падне на дно бушотине. Савремено окретно бушење готово је потпуно истиснуло старије ударно бушење. Сечиво, причвршћено на крају цеви, својим ротационим стругањем мрви камен и продире у дубину. Кад цев целом својом дужином уђе у земљу на њу се цевном спојницом надовеже друга цев. Процес се понавља све док бушотина не досегне нафтоносни слој. Изнад бушотине налази се торањ челичне конструкције, висок до 54 m, са дизалицама за придржавање и извлачење алатки и цеви, као и са погонским и контролним уређајима. За време бушења издробљени материјал се непрестано испира са дна бушотине јаким млазом ретке суспензије глине у води, која се утискује у цев. Да се бушотина необруши, у њу се спуштају заштитне цеви. Од продора подземних вода бушотине се штите цементирањем. Кад бушотина допре до нафтоносног слоја, нафта и гас навиру у бушотину услед појаве природног притиска који, ако је довољно велик, може избацити нафту на површину земље. Код врло високих притисака настају снажне „ерупције”, при чему млаз нафте достиже десетак метара изнад површине земље. Овакве дивље ерупције некад су често изазивале катастрофалне пожаре, које је врло тешко, па и немогуће угасити. Данас се то спречава посебним уређајима који затварају сонду и регулишу притисак при излазу нафте. Код недовољних притисака нафта се мора црпети помоћу пумпи (слика 5). Нафтоносни слој се никада не може потпуно исцрпети. Кад се притисак нафте нафтоносног слоја у суседном подручју изједначи с притиском у бушотини, нафта не протиче. Велике количине нафте које упркос свим савременим методама вађења, остају у земљи (више од 50%), могле би се извадити само на рударски начин. Редовни пратилац нафте у њеним налазиштима је земни гас.

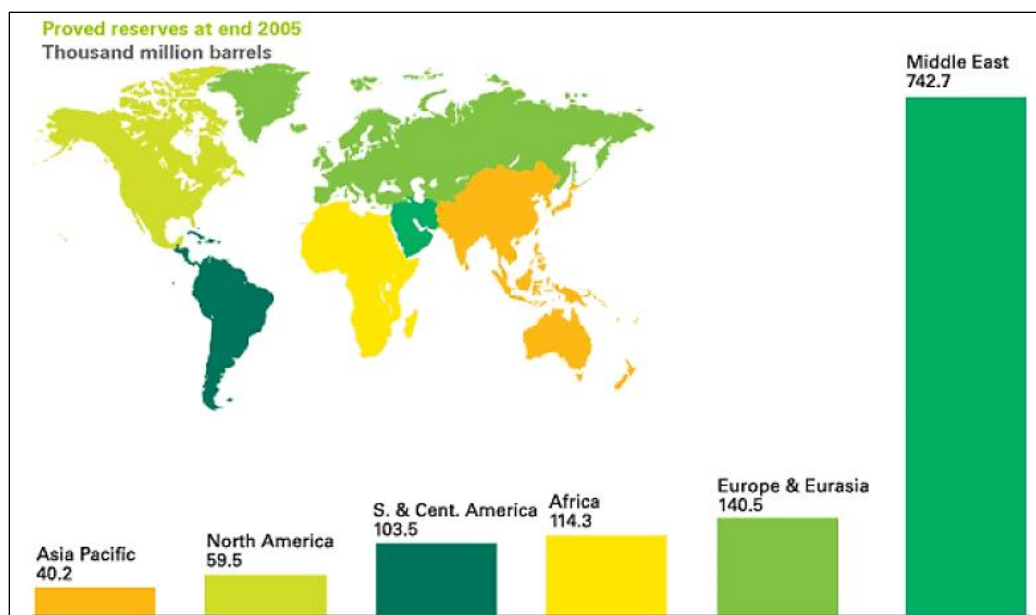
2.2.4 Резерве и потрошња нафте

Нафта је данас у свету један од најзначајнијих стратешких производа (обично се назива „црно злато”). Због тога земље произвођачи нафте имају велику моћ у геополитичким односима, а контрола над извориштима нафте један је од најзначајнијих узрока криза у свету. Земље које су највећи извозници нафте (али не увек и произвођачи) су груписане у интересну организацију ОПЕК (Организација петролеумских експортних земаља).

Смањење резерви нафте подигло би њену цену, што би учинило да алтернативни извори енергије постану више искоришћенији. Већи део резерви течних фосилних горива налази се у нестабилном подручју Блиског истока (слика 6).

Највећи произвођачи нафте [4] су:

1. Саудијска Арабија (10,37 милиона барела)
2. Русија (9,27 милиона барела)
3. Сједињене Америчке Државе (8,69 милиона барела)
4. Иран (4,09 милиона барела)
5. Мексико (3,83 милиона барела).



Слика 6 Доказане резерве нафте у милијардама барела – 2005. година

2.2.5 Производња нафте у Србији

Нафтна индустрија Србије (НИС) је највећа компанија у Србији која се бави истраживањем и производњом нафте, гаса, као и производњом геотермалне енергије. Већина нафтних и гасних налазишта налази се на територији Војводине. Као партнер, НИС учествује у концесији за производњу нафте у Анголи. Највећа налазишта су „Велебит”, „Киkinда”, „Киkinда Варош”, „Елемир”, „Турија”, „Мокрин” и „Мартонош”. Обим експлоатације НИС-а износи око милион тона нафтног еквивалента годишње. Од тренутка оснивања до данас отворено је преко 60 налазишта (преко 300 бушотина), произведено око 45 милиона тона нафте на територији Србије и око 4 милиона тона нафте на концесионим налазиштима Анголе. Такође је произведено више од 30 милијарди метара кубних природног гаса.

Максимална производња нафте остварена је 1982. године (1,3 милиона тона нафте), да би од тада имала лагани тренд пада, али са укључивањем производње у Анголи (преко 200000 t нафте), укупна производња показује тренд раста. Прорачунима се прогнозира одржавање садашњег нивоа производње нафте у Војводини, тако што се природни пад производње из лежишта надокнађује производњом из нових лежишта и на рачун допунских метода. За допунске методе је карактеристично да обезбеђују производњу нафте која заостаје после примарне производње у лежиштима и уз мањи ризик, обезбеђујући повећану производњу уз значајна инвестициона улагања, али и ниже економске ефекте. У рафинеријама у Панчеву и Новом Саду производи се спектар нафтних деривата – од моторних бензина и дизел-горива, до мазива и сировина за

петрохемијску индустрију. Максималан годишњи капацитет обе рафинерије је 7,3 милиона тона сирове нафте. У току је модернизација Рафинерије нафте „Панчево”, вредна 500 милиона евра. Највећи објекат програма модернизације је изградња комплекса хидрокрекинга и хидрообrade који ће омогућити НИС-у да у потпуности пређе на производњу моторних бензина и евро дизела. Према стандардима ЕУ из 2009. године НИС је почео производњу евро дизела, а 2010. године је укинута производња оловног бензина и покренута производња евро бензина.

2.3 Природни гас

Природни или земни гас је природно гасовито фосилно гориво са високим садржајем метана. Редовно је присутан у налазиштима нафте (гасна капа изнад лежишта) и сирова нафта га садржи на излазу из бушотуне у издвојеном или у раствореном облику. Овај се гас након довођења на површину у сепараторима одваја од нафте и чисти од примеса (воде, остатака нафте, механичких нечистоћа) на самом налазишту, да би се довео у границе прописаног квалитета и потом транспортовао гасоводима великих пречника до крајњих корисника. Поред метана, природни гас који прати налазишта нафте садржи и извесну количину етана (C_2H_6), пропана (C_3H_8) и бутана (C_4H_{10}) и назива се и влажни (богати) земни гас.

Природни гас се јавља и у посебним лежиштима где нема нафте. Ту је присутан тзв. суви (сиромашни) земни гас који се претежно састоји од метана и не садржи пропан и бутан. Утврђено је да је распрострањен у седиментним, али и у еруптивним стенама. Налазишта гаса се налазе на дубинама од неколико метара, до петнаест хиљада метара; под притиском који је некад виши од 300 bar и температурама (зависно од дубине) које могу бити више и од 180°C.

2.3.1 Особине природног гаса

По свом хемијском саставу овај гас је смеша нижих алкана, $C_1 - C_4$. Садржај појединих угљоводоника у природном гасу се разликује од налазишта до налазишта. Осим угљоводоника земни гас у мањој мери садржи и примесе: сагорљиве (угљен-моноксид и водоник) и несагорљиве (угљен-диоксид, кисеоник и водоник) а неки природни гасови садрже и извесне количине сумпороводоника [6].

Хемијски састав земног гаса из нашег гасовода (чвориште у Панчеву; 1991. година) дат је у *табели 3*.

Табела 3 Састав природног гаса

Гас	Уобичајни састав (%)	Састав чворишта Панчево (%)
<i>Гасовити угљоводоници</i>		
Метан	50 – 98	92,599
Етан	< 10	2,784
Пропан	< 7	0,413
Бутан	< 7	0,056
<i>Примесе</i>		
Водоник	/	/
Угљен-моноксид	/	/
Угљен-диоксид	< 30	2,416
Кисеоник	< 12	/
Азот	< 28	1,729
Сумпороводоник	< 2	/

Природни гас је гас без боје и мириса, температура паљења му је 650°C, граница експлозивности 4,4 – 15%, а октански број 120 – 130. Са саставом му се мења и топлотна моћ, већа је, што је већи удео угљоводоника са већим бројем угљеникових атома. Доња топлотна моћ земних гасова је око 34 MJ/m³, а горња топлотна моћ 38 – 41 MJ/m³.

При његовом сагоревању настају мале количине продуката штетних по животну околину. Захваљујући чињеници да му је главни састојак метан он у поређењу са осталим фосилним горивима има најмањи коефицијент емисије угљен-диоксида по јединици ослобођене енергије. Зато се земни гас сматра као природно, еколошко гориво.

2.3.2 Употреба природног гаса

Употреба природног гаса се може поделити на његову употребу као горива (за грејање у индустрији, домаћинству и за покретање мотора са унутрашњим сагоревањем) и у хемијској индустрији (производња водоника у индустрији азотних ђубрива, метанола, етена, пропена, бутена). У последње време се све више користи за покретање возила као алтернативно гориво пре свега бензина, али и дизел горива и то у сабијеном (компримованом) облику као компримовани природни гас (КПГ) или у прерађеном облику као течни нафтни гас (ТНГ).

Компримовани природни гас (КПГ)

Компримовани природни гас КПГ (CNG – Compressed natural gas) је облик у коме се ради лакшег манипулисања (мање запремине резервоара) користи природни гас под

притиском, као алтернативно гориво за покретање аутомобила. Он се у аутомобилима налази у резервоарима под притиском од 300 bar и више. Бензиски мотори се релативно једноставним методама могу прилагодити да користе ово гориво.

Предности употребе компримованог облика природног гаса као горива су: нижа цена у односу на остала горива, нижа цена експлоатације аутомобила на ово гориво (мада је цена самог аутомобила на ову врсту горива нешто виша), као и смањена емисија штетних издувних гасова тако да се и без њиховог пречишћавања постижу норме тражене по стандарду EURO 5 (European emission standards). Овај гас се користи углавном за покретање возила већих маса (камиона, градских аутобуса), а ређе за путничке аутомобиле, јер је маса боце за његово чување велика. Његов недостатак је ретка распрострањеност продајних пунктова—компресорских станица. У 2007. години у Србији су постојале само четири јавне пунионице за КППГ и то у Београду, Панчеву, Чачку и Крушевцу, као и једна у рафинерији у Новом Саду.

Течни нафтни гас (ТНГ)

Течни нафтни гас (LNG— Liquid natural gas) је гориво са широм употребом од КППГ, и добија се превозињем у течном стању смеше гасова, пропана и бутана, издвојених из природног гаса у постројењима на самом налазишту нафте. Овај гас се добија и из рафинеријских гасова добијених у поступцима примарне прераде нафте. Складишти се на повишеном притиску тако да се налази у течном агрегатном стању и непосредно пре употребе прелази у гасно агрегатно стање.

Састав течног нафтног гаса је сезонски променљив. Код нас се веома дуго користила смеша састава 35% пропана и 65% бутана. Према новим стандардима у зимским месецима ова смеша треба да садржи 75% пропана и 25% бутана; у прелазним месецима 45% пропана и 55% бутана, а у летњим месецима 12% пропана и 88% бутана. Топлотна моћ му је нешто нижа у односу на бензин што узрокује нешто већу потрошњу. Највише се користи као енергент у домаћинству, индустрији, као и гориво за аутомобиле.

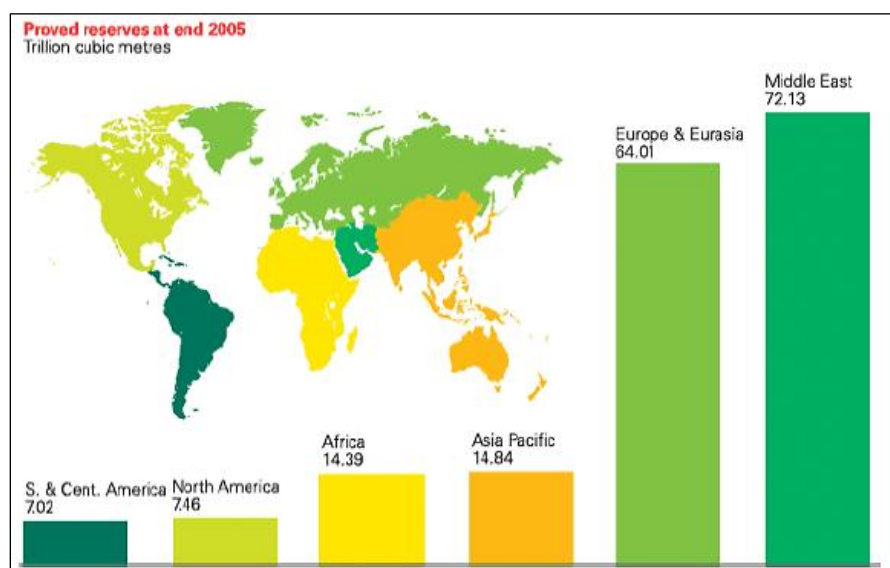
ТНГ је безбојан, веома запаљив и експлозиван гас, карактеристичног мириса, 1,9 пута тежи од ваздуха, није отрован. Сагорева бурно, ослобађајући велику количину топлоте, а продукти сагоревања су угљен-диоксид и водена пара. Са ваздухом ствара експлозивне смеше које се лако могу запалити у присуству отвореног пламена. Међутим, у односу на друге запаљиве гасове, границе експлозивности смеше ТНГ су веома уске: 2 – 9% за смешу пропан-бутан у односу 35:65%. Његов октански број је 90 – 110, а топлотна моћ му је у зависности од састава између $25,5 \text{ MJ/dm}^3$ (за чисти пропан) и $28,7 \text{ MJ/dm}^3$ (за чист бутан). Његова употреба као горива у моторима са унутрашњим сагоревањем има следеће предности: емитоване количине угљен-диоксида у издувним гасовима су упола мање у односу на остала горива, а и количине оксида азота, сумпор-диоксида и честица чађи су изузетно ниске [6].

Развијене земље већ дуги низ година систематски раде на употреби ТНГ за погон моторних возила у градовима са великим интензитетом саобраћаја (аутобуси, такси

возила). Да би се то спровело неопходно је изградити густу мрежу пумпних станица на којима се точи ТНГ. Наша земља у том погледу доста заостаје. Поред неоспорних предности при употреби гасних горива за погон возила постоје и недостаци, а то су велика запремина резервоара, његова тежина и релативно сложена дистрибуција.

2.3.3 Резерве природног гаса

Природног гаса, као и нафте, једног дана ће нестати. Највећи део резерви природног гаса налази се на подручју Блиског истока [4] тј. бившег СССР-а (слика 7).



Слика 7 Доказане резерве гаса у хиљадама милијарди кубних метара – 2005. година

2.3.4 Потрошња природног гаса у Србији

У Србији производња природног гаса се обавља на подручју Војводине и централне Србије. На подручју Војводине коришћење природног гаса је започело 1952. године на бази домаћег гаса, док на подручју Централне Србије тек 1982. године, највећим делом на бази увозног гаса из некадашњег СССР-а, а данас Русије. Програм гасификације источног дела СФР Југославије је усвојен 1973. године, те је његова реализација омогућила развој магистралне гасоводне мреже и развој потрошње природног гаса у Србији.

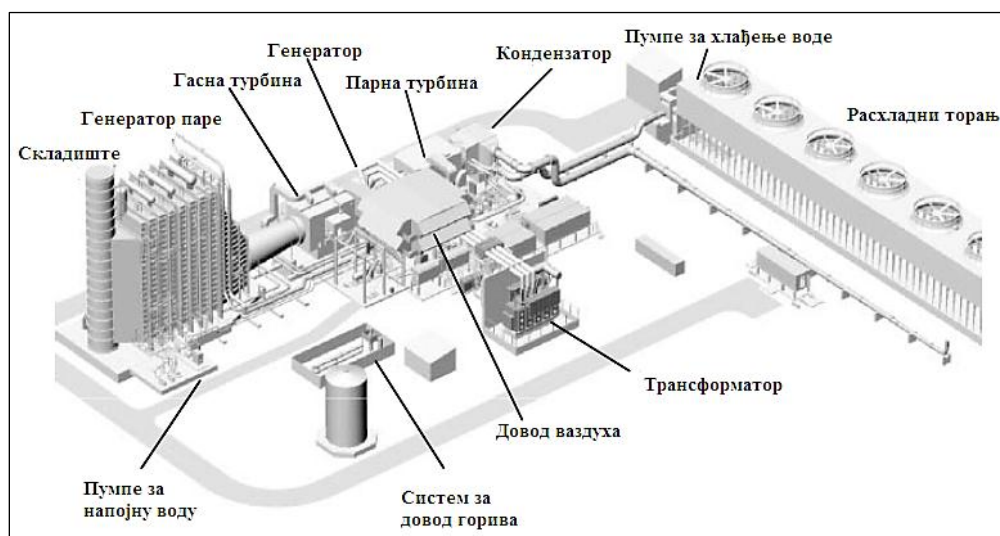
Потрошња природног гаса у Србији се до 1978. године базирала на сопственој производњи гаса. У овом периоду потрошња је бележила сталну стопу раста, али учешће природног гаса у укупној потрошњи гаса није прелазило 10%. У периоду 1978. – 1990. године бележи се интензиван раст потрошње природног гаса на бази сопствене

производње и увоза гаса из некадашњег СССР (данас Русије). Укупна потрошња природног гаса у 1990. години је износила око $2750 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ што је представљало 13% од укупне потрошње енергије. У Србији, због познатих околности, деведесетих година долази прво до опадања потрошње природног гаса (1993. године остварена потрошња од $1088 \cdot 10^6 \text{ m}^3$), да би потом наступио постепени раст.

Основна карактеристика тржишта гаса на целој територији Републике Србије се заснива на томе да понуда домаће производње гаса буде стално мања од потражње, а потребне недостајуће количине природног гаса обезбеђиване су увозом из иностранства, односно Русије. Висока увозна зависност у потрошњи природног гаса повезана је са скромним домаћим резервама и недовољним степеном истражености. Сопствена производња никад није била довољна за предвиђени развој гасне привреде у Србији и од пре десетак година стално опада, да би данас учешће домаће производње било око 10 % укупне потрошње.

3. Делови термоенергетских постројења која користе фосилна горива

У електранама (слика 8) која користе фосилна горива за сагоревање ослобађа се хемијска енергија, која омогућава пораст енталпије гасова насталих сагоревањем. Та енталпија се преноси конвекцијом и зрачењем на радни флуид (вода/пара), а енталпија радног флуида се претвара у механички рад у турбини. На крају се механички рад који се јавља на вратилу турбине претвара у електричну енергију у генератору.



Слика 8 Шематски приказ електране са главним компонентама

Главне компоненте електрана које користе фосилна горива су: комора за сагоревање, гасна турбина и компресор као делови гасно-турбинског постројења; котао, системски делови котла (прегрејач паре, међупрегрејач и економајзер), парна турбина и кондензатор као делови парно-турбинског постројења; као и места за складиштење и припрему горива, расхладни торањ, електрични генератор [1].

3.1 Места за складиштење и припрему горива

Електране које користе угаљ поседују посебно одређена места на којима се налази угаљ. Та места су веома пространа и варирају у зависности од количине електричне енергије коју та електрана производи. Угаљ се обично довози возом или бродом у зависности од локације саме електране и сортира се по свом квалитету, величини и тоplotној моћи. Такође у свакој електрани се налази одређена залиха угља (за наредних неколико недеља) у случају да се јаве одређени проблеми приликом испоруке.

Електране које користе нафту поседују велике резервоаре у којима се нафта складишти. Нафта се може испоручивати нафтоводима, танкерима, железничким и камионским цистернама. Ове електране садрже залиху нафте од најмање тридесет дана у својим резервоарима, како би избегле неправилности у раду. Нафта се обично купује из рафинерија у оном облику у којем сагорева у електрани.

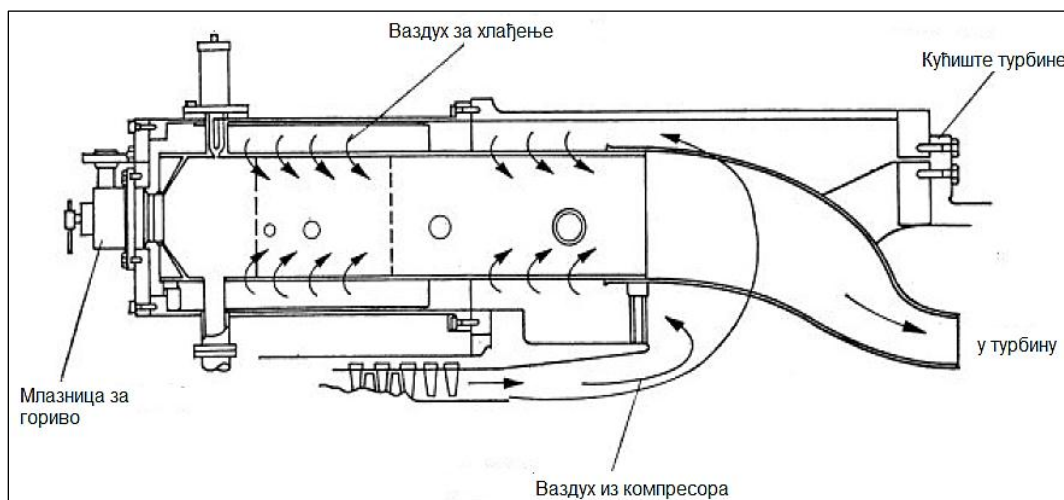
Електране које користе природни гас се снабдевају њиме помоћу гасовода у којима влада висок притисак (компримовани природни гас). Неке електране користе течни природни гас. Он се транспортује помоћу хладњача танкера на температури од - 164 °C. Течни природни гас се складишти у хладњачама резервоара све до употребе.

3.2 Компресор

Компресори су тоplotне машине које компримују и транспортују гасове. Због дејства међумолекулских еластичних сила и сила трења, температура гасовитог радног флуида од улаза до излаза из компресора може знатно да порасте и то утолико више што је излазни притисак виши. Компресори могу бити радијални и аксијални. Код аксијалних компресора струјање ваздуха се врши у смеру вратила, док код радијалних струјање ваздуха је радијално на роторско коло. Радијални компресори су лакши и ефикаснији у односу на аксијалне, али се аксијални компресори користе у већим енергетским постројењима. Компресор за рад користи енергију насталу услед рада турбине јер су турбина и компресор најчешће на истом вратилу. Компримовани ваздух са гасовима сагоревања ствара радни медијум који експандира касније у турбини.

3.3 Комора за сагоревање

Улога коморе за сагоревање (слика 9) је да обезбеди темељно мешање горива и ваздуха тако да гориво у потпуности сагори. Паљење се постиже варницом, која настаје паљењем млаза лаке нафте, све док пламен не постане самоодржив. У комори за сагоревање честице млевеног угља или капљице нафте сагоревају веома брзо, од споља до средине, остављајући за собом негориви минерални материјал. Та несагорива минерална материја се назива пепео. У модерним термоелектранама при сагоревању се формира око 90% минералне материје односно пепела који се издувава из котла, а касније сакупља у колектору за скупљање честица. Око 10% минералних материја пада на дно котла у виду шљаке. Када се дно котла испуни водом, пепео и вода формирају мокри муљ, који се затим испушта. Међутим део тог муља се не испусти већ остане у цевима, које се налазе у котлу, и отежава пренос топлоте у систему. Због тога шљака мора да се уклони с времена на време помоћу парне млазнице или механичким стругањем. Угаљ сагорева релативно споро, нафта брже, а гас најбрже. За потпуно сагоревање фосилних горива испоручује се вишак ваздуха у комору за сагоревање. Млевени угаљ захтева 15 – 20% вишка ваздуха, а нафта и природни гас 5 – 10%.



Слика 9 Пример коморе за сагоревање

Комора за сагоревања се састоји од два цилиндра. У првом цилиндру се одвија процес сагоревања услед чега се постижу високе температуре, а други има заштитну улогу од деловања топлоте зрачења. Цилиндри су међусобно повезани и између њих се одвија прострујавање ваздуха. За сагоревање се доводи 3 – 6 пута више ваздуха од теоретски потребног због снижења максималних температура. Коморе за сагоревање треба да обезбеде стабилно сагоревање у широким границама оптерећења, једноличну расподелу температура димних гасова на излазу из коморе да губитак притиска у њој буде што мањи.

У класичном гасно турбинском постројењу можемо имати више комора за сагоревање које се слажу уздужно, по ободу. Такво слагање користимо како бисмо смањили димензије.

3.4 Гасна турбина

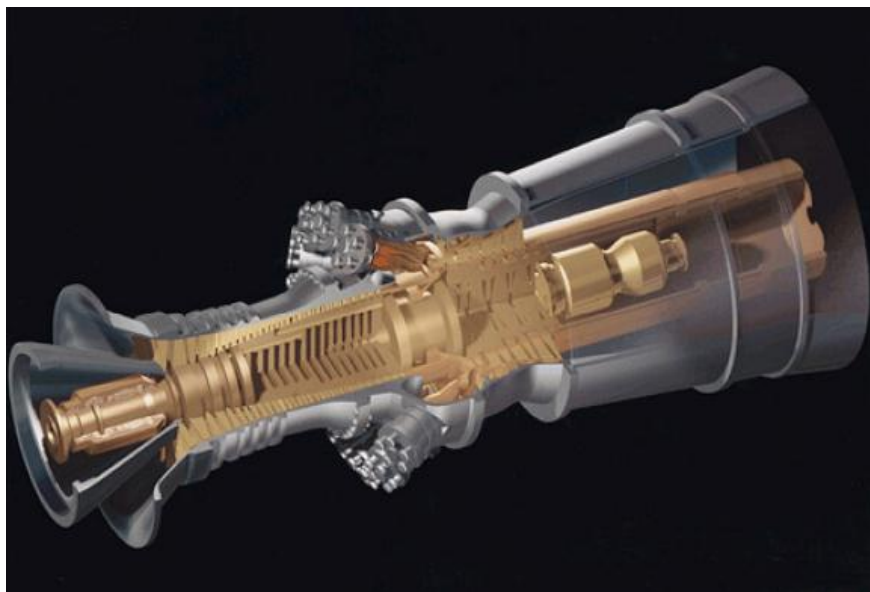
Гасне турбине претварају у механички рад струјну енергију гасовитих продукта сагоревања горива у компримованом ваздуху. Извори струјне енергије за гасну смешу су ћелије за сагоревање, у које се помоћу високопритисних компресора убацује компримовани ваздух и гориво. У ћелији за сагоревање гориво сагорева у компримованом ваздуху услед чега притисак и температура продукта сагоревања нагло расту. Гасовити продукти сагоревања се затим уводе у гасну турбину у којој се струјни рад продукта сагоревања претвара у механички рад.

У електранама које садрже гасну турбину и користе као гориво нафту, природни или синтетички гас, гасови настали њиховим сагоревањем се директно користе за погон гасне турбине. Гасне турбине се лако могу инсталирати у систем и флексибилније су по питању оптерећења при раду, али је њихов степен искоришћења нижи у односу на постројења која користе парне турбине. Па се зато гасне турбине углавном користе при производњи електричне енергије при максималном оптерећењу, као и у виду помоћних електрана за производњу електричне енергије. Међутим многа гасно – турбинска постројења која користе природни гас данас обично раде са комбинованим циклусом, чиме се постиже већа ефикасност. Гасне турбине раде на принципу Брајтоновог циклуса (Brayton cycle). Компримовани ваздух улази у комору за сагоревање где се течно или гасовито гориво убризгава. Сагоревањем горива повећава се температура сагоревања гаса. Температура димних гасова је око 1100 – 1200 °C, што представља максималну толерисану меру данашњих легура челика, које се користе за изградњу лопатица гасних турбина. Чак и на овим температурама проблем представљају термичка напрезања и корозија, тако да је спољашње/унутрашње хлађење лопатица турбине ваздухом или водом неопходно.

Гасне турбине (слика 10) су реакционог типа где лопатице формирају конвергентне млазнице у којој гасови настали сагоревањем експандирају тако да се енталпија претвара у кинетичку енергију. Као и код парних турбина гасне турбине се састоје од неколико редова покретних и непокретних лопатица.

Радни флуид се састоји од азота, кисеоника, водене паре и угљен-диоксида. Не рециклира се у компресору и у комори за сагоревање, али се зато отпушта у атмосферу. У неким системима део енергије је још увек у издувним гасовима и користи се у измењивачима топлоте како би се ваздух, који улази у комору за сагоревање, загрејао и тиме повећао укупан степен корисности Брајтоновог циклуса. Али на крају овог процеса издувни гасови се ипак отпуштају у атмосферу. Овај цео процес рада гасних турбина је у

потпуности суротан од принципа рада парних турбина код којих се радни флуид (пара) рециклира у котлу у виду кондензоване воде.



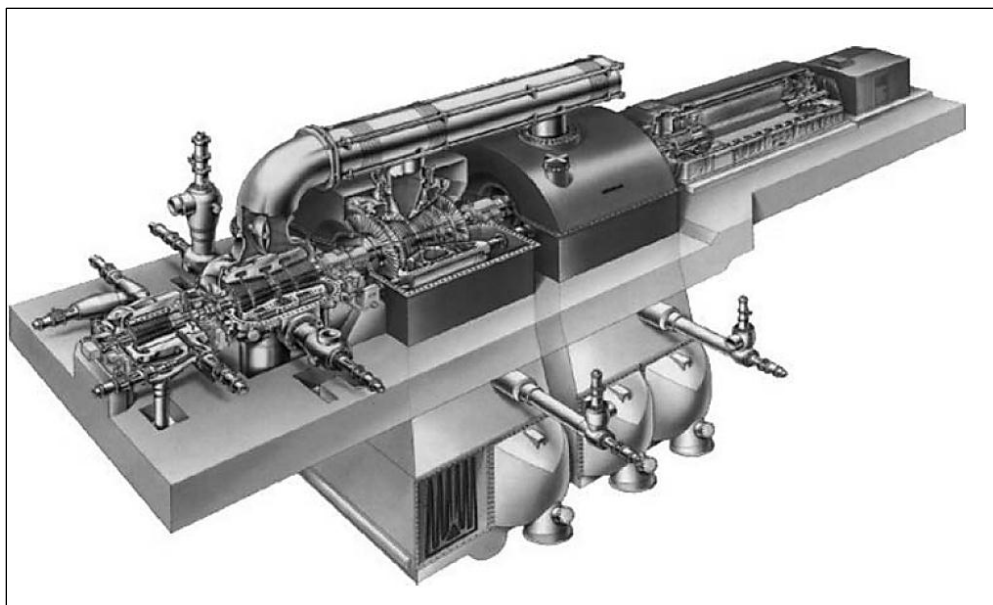
Слика 10 Пример гасне турбине

3.5 Парна турбина

Парне турбине претварају струјну енергију паре, углавном водене, у механички рад. Оне увек раде у оквиру парног постројења у коме улогу извора струјне енергије за водену пару има ложиште котловског постројења или фисиони нуклеарни реактор. У ложишту (реактору) производи се топлота која у котловском постројењу претвара воду у водену пару. Водена пара високе температуре и притиска одлази из котла у парну турбину у којој се врши механички рад, а затим са смањеном струјном енергијом користи у технолошким процесима.

Сваки произвођач турбина има јединствене карактеристике које утичу на ефикасност, поузданост и цену турбине [2]. На слици 11 приказан је модеран парно турбински генератор који се користи у термоелектранама на угаљ. Парне турбине поседују неке заједничке карактеристике:

1. Захтевају изузетно велике количине енергије за њихово напајање (покретање) што подразумева велике капиталне инвестиције.
2. Животни век је око 30 – 40 година са минималним трошковима одржавања.
3. Током свог животног века раде константном брзином, обично око $1800 - 3600 \text{ min}^{-1}$, при фреквенцији од 50 Hz.



Слика 11 Пример модерног парно турбинског генератора за електране које користе угаљ

Најоптерећенија компонента парних турбина су лопатице. Оне су оптерећене центрифугалном силом, притиском који ствара пара, као и услед хармоничке побуде (појава неправилности у кретању лопатица по ободу). После лопатица други најважнији део парних турбина је ротор. Конструкција ротора мора да испуњава следеће услове:

- направљени су од легуре челика велике чврстоће, са одговарајућим хемијским и физичким особинама,
- да се узме у обзир центрифугална сила која настаје услед кретања тела ротора и пораст центрифугалне силе услед рада лопатица,
- велика отпорност на појаву кртог лома, који се јавља у току рада машина при великим брзинама,
- да се избегне појава деформација услед високих и ниских вредности притиска при раду ротора под оптерећењем.

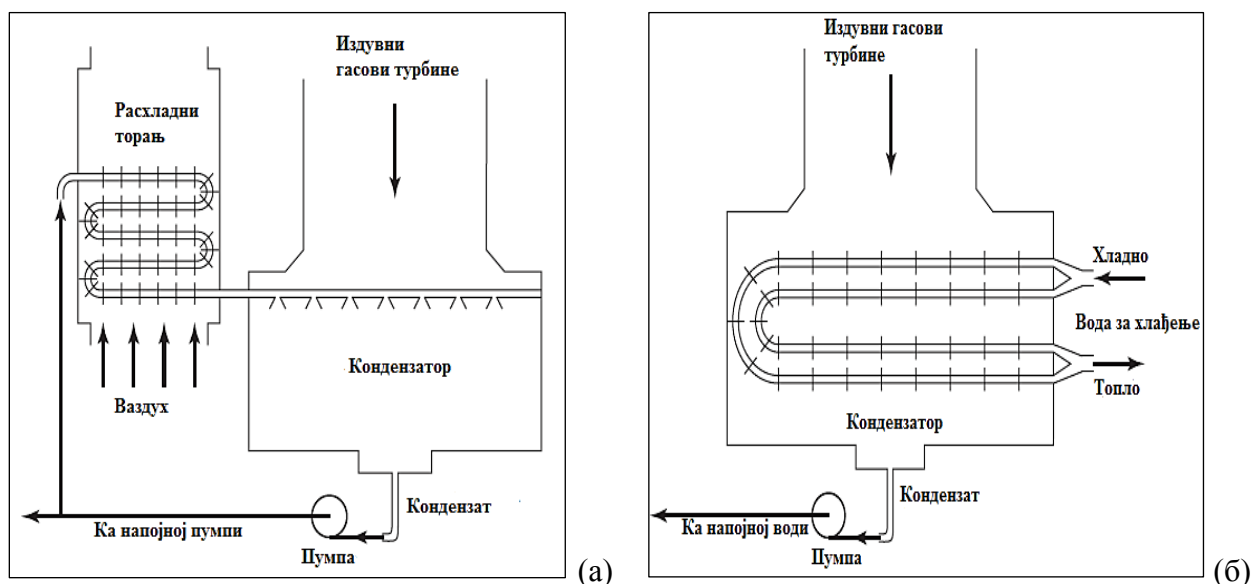
3.6 Кондензатор

Кондензатор је класични размењивач топлоте који „враћа” пару натраг у течно стање након што експандира у турбини. Новонастали кондензат се помоћу пумпи враћа натраг у процес. Притисак у класичном кондензатору је изузетно мали (подпритисак је око 0,045 bar). Пошто је кондензатор размењивач топлоте потребно је обезбедити и медијум, коме ће се топлота предати, како би се пара охладила до температуре кондензата. Управо због тога су термоелектране смештене на рекама и мору, јер се тако лакше

обезбеђује медијум који ће преузимати сву ту топлоту. Постоји могућност да термоелектрана ради двофазно (као и топлана). Тада се та пара може одводити вреловодима и служити као грејање.

У циклусима топлотних мотора након вршења корисног рада, радни флуид мора пренети топлоту на хладно тело. Електране са парним турбинама раде на истом принципу као и топлотни мотори. Оне ослобађају већу количину топлоте у околину (два/три пута више) у односу на електричну енергију коју електрана производи. Електроенергетска постројења снаге 1000 MW, степена корисног дејства око 25% ослобађају 3000 MW топлотне енергије у околину, док електроенергетска постројења исте снаге са степеном корисног дејства око 40% ослобађају 1500 MW топлотне енергије. Један део ове топлоте се одаје околини због система кондензације у парном циклусу, а остатак се ослобађа у атмосферу путем издувних гасова. У Ранкиновом циклусу (Rankine cycle) након експанзије у турбини пара се прво кондензује у воду у кондензатору, а затим се вода рециклира у котлу помоћу напојне пумпе. Хладна вода из кондензатора одаје своју топлоту у атмосферу путем расхладног торња или у оближње водене површине. Кондензатор не служи само за кондензацију напојне воде котла, већ и за смањење притиска паре кондензоване воде. Смањењем притиска паре настаје вакуум који поспешује укупну снагу турбине.

Постоје две врсте кондензатора: кондензатор са директним контактом и кондензатор са површинским контактом [1]. Кондензатор са директним контактом је приказан на слици 12 (а). Издувни гасови турбине пролазе кроз низ млазница, кроз које се

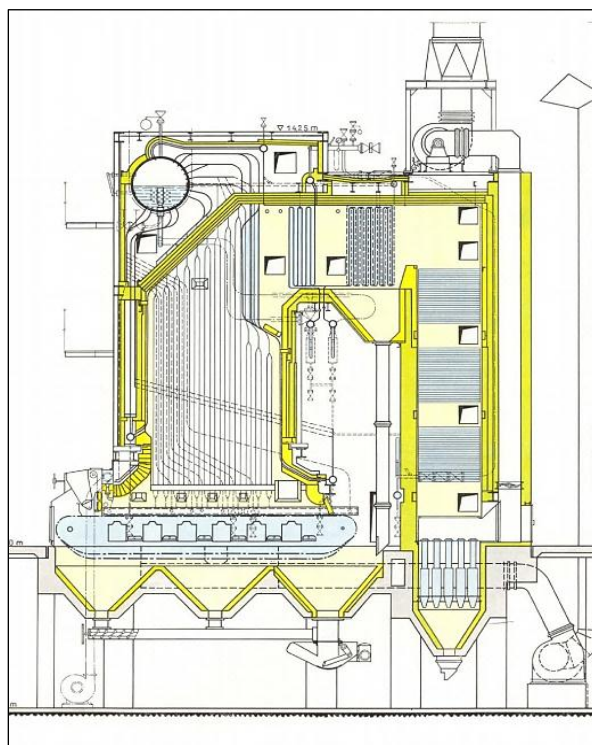


Слика 12 Кондензатори у термоенергетском постројењу (а) кондензатор са директним контактом, (б) кондензатор са површинским контактом

вода за хлађење прска, кондензујући пару директним контактом. Топли кондензат се упумпава у расхладни торањ где улази ваздух и на тај начин хлади кондензат који тече кроз цеви. Охлађени кондензат се рециклира у млазницама. Пошто је вода за хлађење у директном контакту са издувним гасовима њена чистоћа мора да се одржава, баш као и код напојне воде. Ова особина система чини цео процес скупљим па зато већина електрана које користе фосилна горива користе кондензаторе са површинским контактом (слика 12 (б)). Издувни гасови турбине пролазе поред низа цеви у којима протиче вода за хлађење, јер код електрана великих снага велике количине паре морају да се кондензују. Контактна (додирна) површина може да буде до 100000 m^2 за електране снаге 1000 MW . Правилно функционисање кондензатора подразумева компликоване прорачуне преноса топлоте.

3.7 Котао

Котао (генератор паре) чини средишњи део сваке термоелектране. Укратко он служи за производњу паре, са одређеним параметрима (температура и притисак), која ће се касније у турбини искористити за производњу електричне енергије. На слици 13 дат је пример котла ложен каменим угљем.



Слика 13 Пример котла ложен каменим угљем на помичној ланчаној решетки

Котлове делимо на:

- челичне котлове,
- ливене котлове,
- котлове за посебне намене.

Најчешће примењивани и најекономичнији котлови су челични котлови.

Челични котлови

Челични котлови се деле на три групе: водоцевне, ватроцевне и цилиндричне. Ватроцевни котлови функционишу тако да пламен струји кроз цеви, које се налазе унутар воде, и на тај начин преносе топлоту на воду. Водоцевни котлови су најчешћи и најбројнији са аспекта термоелектрана. Као што и само име каже код њих вода или пара се налазе у самим цевима. На тај начин је могуће постићи знатно веће притиске и температуре него код ватроцевних котлова. Водоцевни котлови се деле на: хоризонталне са равним цевима и вертикалне са савијеним цевима (природна или присилна циркулација).

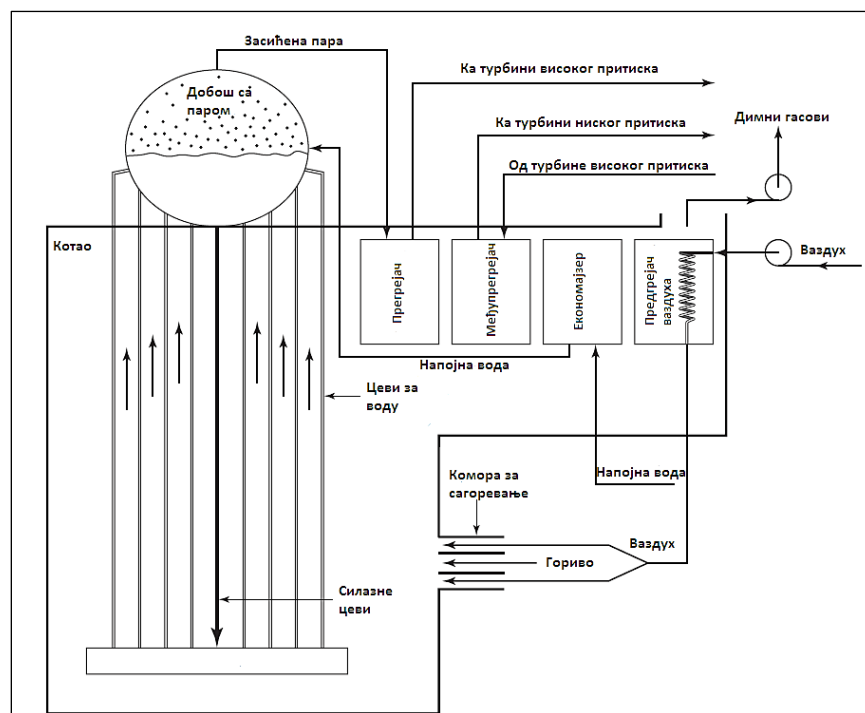
Вертикални котлови са савијеним цевима

Вертикални котлови са савијеним цевима представљају највећу и најважнију групу котлова. Овакви типови се налазе у великим термоенергетским постројењима за производњу електричне енергије. За сагоревање могу користити све врсте горива: чврсто гориво на решетки (равној или косој), чврсто гориво у флуидизованом слоју и сагоревање у простору (угљена прашина, течна и гасна горива). Природна циркулација у котлу остварује се због разлике у густинама воде и водене паре. Силазне цеви се зато не загревају, тако да се лакше успоставља природна циркулација. Када се не могу обезбедити овакви услови користимо различите врсте пумпи како би се обезбедила несметана циркулација.

Котао је централна компонента сваке термоелектране која користи фосилна горива. Већина модерних котлова су типа „водени зид” у којем су зидови у потпуности изграђени од вертикалних цеви како би се доводила напојна вода у котао или одводила пара из котла. У модерним котловима овог типа, пећи и разне преграде котла су у потпуности интегрисане.

На слици 14 је приказан тип котла „водени зид”. Напојна вода се загрева помоћу грејача до температуре 230 – 260 °C и шаље у економајзер где се даље загрева до температуре око 315 °C. Она се затим одводи у добош са паром, који се налази на врху котла. Димензије добоша са паром су обично 30 m дужине и пречника 5 m. Унутар добоша пара је одвојена од воде посредством гравитације. Из добоша течност пролази кроз силазне цеви до дна котла, а топла вода под притиском од дна котла тече у смеру на горе, кроз цеви, где се стварно кључање воде одвија. Одвојена пара пролази кроз још један део котла. Тај део котла се назива прегрејач и у њему се температура паре подиже на 565 °C, при притиску од 24 МПа. Ове вредности температуре и притиска паре су више од

критичних вредности температуре и притиска воде. Сада та пара са надкритичним вредностима покреће турбину високог притиска. После одређеног времена пара излази из турбине и одлази у део котла који се назива међупрегрејач. У њему се температура паре поново подиже на вредност око $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, при притиску од $3,7\text{ МПа}$. Сада она са овим параметрима покреће турбину ниског притиска. У циљу оптимизације топлотне ефикасности ваздух за сагоревање се предгрева на температуру $250 - 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ у делу котла који се назива предгрејач ваздуха. У непосредној близини коморе за сагоревање топлота се преноси са гасова насталим сагоревањем на цеви котла зрачењем, док се мало даље од коморе за сагоревање топлота преноси само конвекцијом. Пламен угља и нафте је веома светао због зрачења несагоривих честица угљеника и пепела, а пламен природног гаса је мање видљив због одсуства честица у пламену. Међутим већина преноса топлоте зрачењем свих пламена се одвија у невидљивом делу спектра инфрацрвеног зрачења.



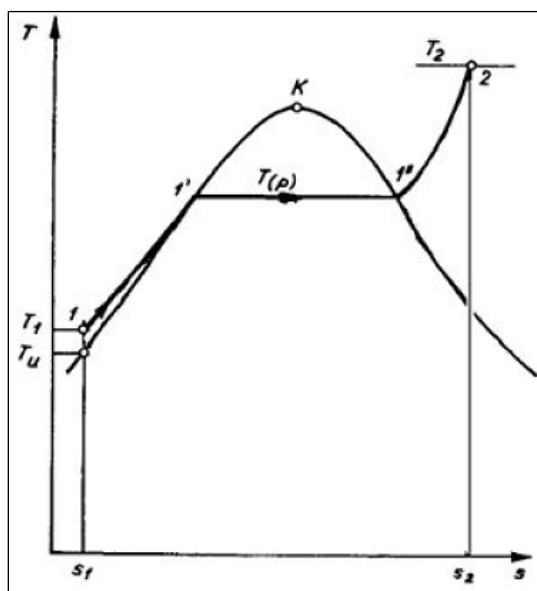
Слика 14 Шематски приказ котла типа „водени зид“

3.8 Делови уграђени у котао

Постоје поступци и делови који се уграђују у котао како би се обезбедила већа ефикасност, као и повећање снаге постројења. У делове котла спадају прегрејач паре, економајзерске површине, међупрегрејач, предгрејач ваздуха, кондензатор и расхладни торањ.

Прегрејач паре

Како би се повећао степен корисног дејства читавог процеса користимо прегрејач паре. Он има утицај и на саму технологију израде, јер пара нема капљице воде у себи па је мање корозивна и ерозивна. Прелаз топлоте може бити путем конвекције или зрачењем. У пракси се увек користи мешавина ова два начина прелаза топлоте. На *слици 15* приказан је $T-s$ дијаграм прегревања паре у котлу.



Слика 15 $T-s$ дијаграм прегревања паре у котлу

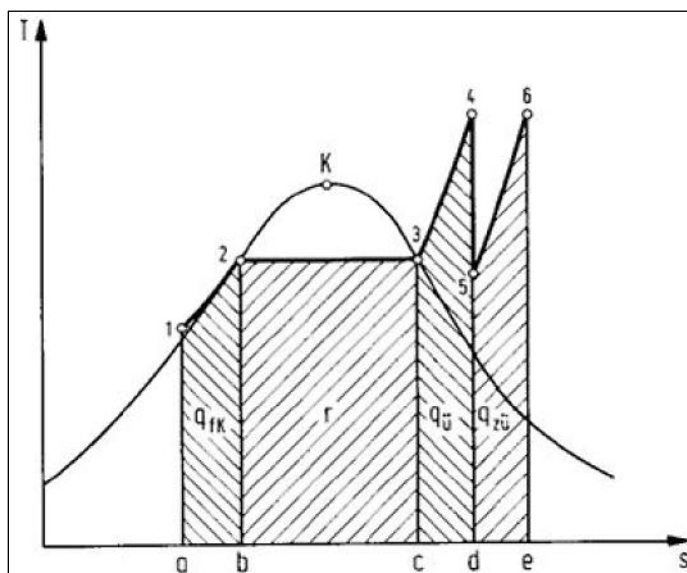
Економајзерске површине

Економајзерске површине су постављене у задњем делу котла тако да се искоришћава део топлоте који би се иначе испустио у околину. Тиме уједно и смањујемо температуру димних гасова. На економајзерским површинама загревамо напојну воду и ваздух. У загрејачима напојне воде вода се по правилу загрева испод температуре засићења, јер у супротном настаје водена пара што може изазвати оштећења у облику кавитације. За свој рад загрејачи воде троше релативно мало енергије и заузимају мало простора. Уколико систем садржи загрејаче воде брже ће се пустити у погон котао и смањиће се оптерећење грејних површина.

Међупрегрејач

Код уградње међупрегрејача користи се турбина подељена на високопритисни и нископритисни део. Пара експандира у високопритисном делу турбине до притиска међупрегревања и након тога се враћа у котао. У котлу се још једном загрева, најчешће поновно на температуру свеже паре, и одводи се у нископритисни део турбине. Ту пара поновно експандира стварајући користан рад. Уградњом међупрегрејача повећава се

укупан степен корисног дејства постројења, смањује се влажност паре што је изузетно битно за дуговечност турбине и смањује се величина кондензатора, горионика и самог котла. Негативна страна уградње међупрегрејача је повећање цене турбине, као и самих укупних инвестиционих трошкова. На слици 16 приказан је $T - s$ дијаграм међупрегревања.



Слика 16 Приказ међупрегревања у $T - s$ дијаграму

Предгрејач ваздуха

Предгрејач ваздуха је смештен иза грејача напојне воде који служи за њено предгревање. Раде на мањим притисцима, а и мање су величине. Ваздух предгревамо због подизања степена ефикасности, сушења горива и побољшања сагоревања. Преко 70% свих предгрејача ваздуха су грејачи ротационог типа састављени од лимених саћа која се греју димним гасовима, а хладе ваздухом.

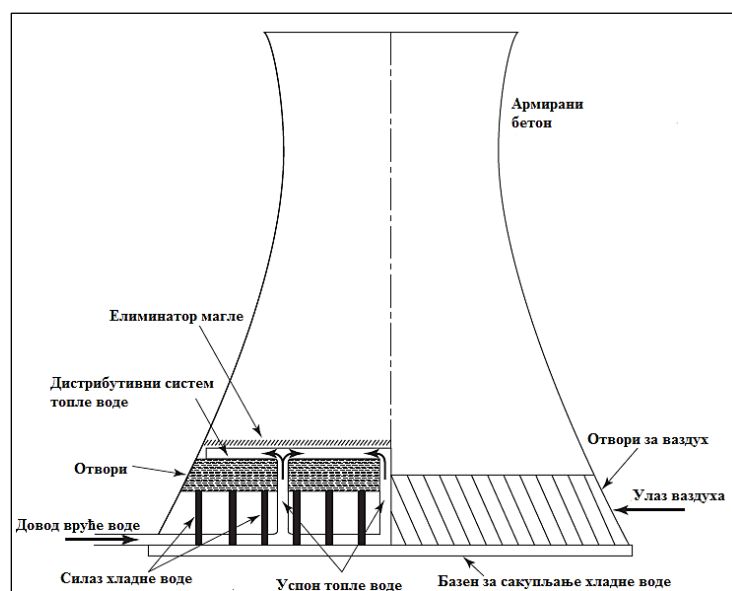
Расхладни торњеви

Постоје две врсте расхладних торњева: у којима део воде испарава („влажни”) и у којима део воде не испарава („суви”). Постоје и комбинације ова два типа расхладних торњева, као и комбинације расхладних торњева и водених површина које служе за хлађење.

Расхладни торњеви у којима део воде испарава („влажни”)

У расхладним торњевима овог типа врућ кондензат или вода за хлађење се хлади преносом топлоте у атмосферу и испаравањем самог дела циркулационе воде, чиме се апсорбује из ваздуха и воде латентна топлота испаравања. Расхладни торањ је обично

карактеристичног облика изграђен у близини фосилних или нуклеарних електрана. Шема типичног расхладног торања у којем део воде испарава је приказан на *слици 17*.



Слика 17 Шематски приказ расхладног торања у којем део воде испарава („влажни“)

Топла вода из кондензатора се прска преко густо поређаних и преплетених цеви. Ваздух се увлачи кроз отворе на дну торања природним путем, а топлота се преноси са воде за хлађење директно на ваздух и додатно се хлади њеним испаравањем. Хладна вода улази, услед гравитације, у базен у коме се сакупља сва вода, и из кога рециркулише назад у кондензатор. Елиминатор магле се налази изнад цеви које формирају решеткаст облик. Обично се облак магле формира изнад куле, посебно по хладном времену. Овај бели облак се често сматра загађивачем, али чињеница је да се он састоји од капљица воде или леда.

Расхладни торњеви у којима не испарава део воде („суви“)

У сувим расхладним торњевима рецикулациона вода протиче кроз ребрасте цеви изнад којих се налази хладан ваздух. У сувим расхладним торњевима сва топлота се преноси у атмосферу. Предности овако конструисаног торања су да вода не испарава и да су јефтинији за одржавање. У недостатке убрајамо скупљу изградњу, као и то да је притисак на турбинама већи што потпомаже смањењу степена искоришћења система.

3.9 Електрични генератор

Електрични генератор представља средишни део електране. То је место где се електрична енергија генерише. Вратило турбине се окреће са намотајима унутар

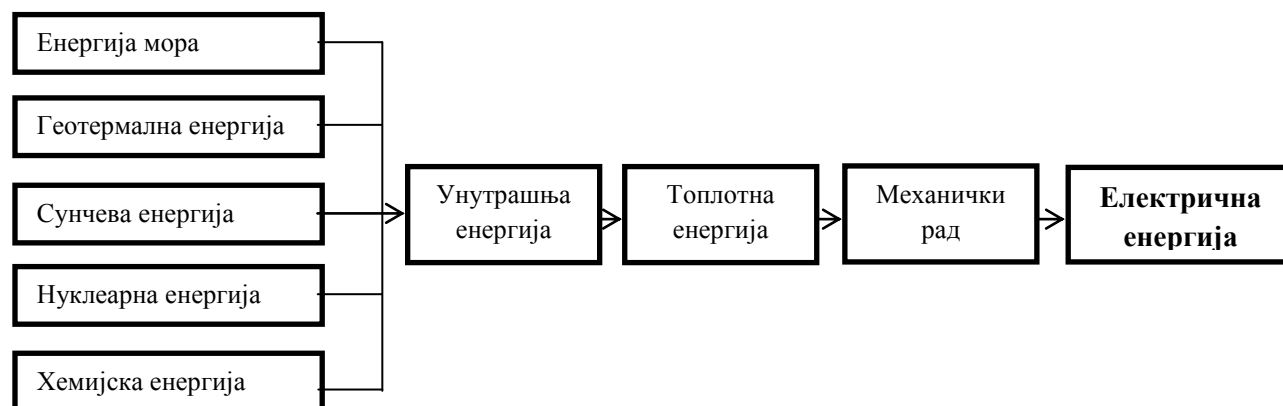
магнетног поља и тако изазива електричну струју да тече унутар намотаја. Електрична излазна снага генератора једнака је механичкој улазној снази вратила, уз појаву малих губитака услед отпора намотаја, као и губитака који се јављају услед трења. Да би се спречила појава прегревања генератора услед јављања губитака (трење и отпор намотаја), генератор се хлади са гасовима високе проводљивости, као што су водоник или хелијум. Генератор производи наизменичну струју: 60 Hz у САД и 50 Hz у већини других земаља. Вратило турбине мора да ротира при тачно одређеној брзини како би се произвела тачно одређена фреквенција наизменичне струје. Напон који се производи помоћу генератора се претвара помоћу трансформатора на одређени ниво и затим прослеђује у мрежу. Губици услед отпора су пропорционални квадрату струје, али су и линеарно пропорционални напону, па је зато корисно да се снага преноси струјом нижих параметара и високим напонам. Далеководи обично преносе електричну енергију у опсегу од стотину киловолти, док се корисник напаја струјом од 110 V или 220 V. Да би се корисник напајао струјом ових параметара, струја из далековода одлази у трафостанице у којима се напон трансформише на жељену вредност. Из тих трафостаница корисник добија електричну енергију.

4 Производња електричне енергије

Електране су индустријски објекти за производњу електричне енергије. У центру скоро свих електрана се налази генератор, ротирајућа машина која претвара механичку снагу у електричну енергију стварајући релативно кретање између магнетног поља и проводника. Врста горива потребног за погон генератора зависи од неколико разлога: доступности горива, цене, као и од типа технологије која се примењује за одређени енергетски систем. Већина електрана у свету сагорева фосилна горива како би произвела електричну енергију. Такође неке електране као гориво користе нуклеарну енергију, али све већа је употреба обновљивих извора енергије као што су сунце, ветар, таласи и хидроенергија [1].

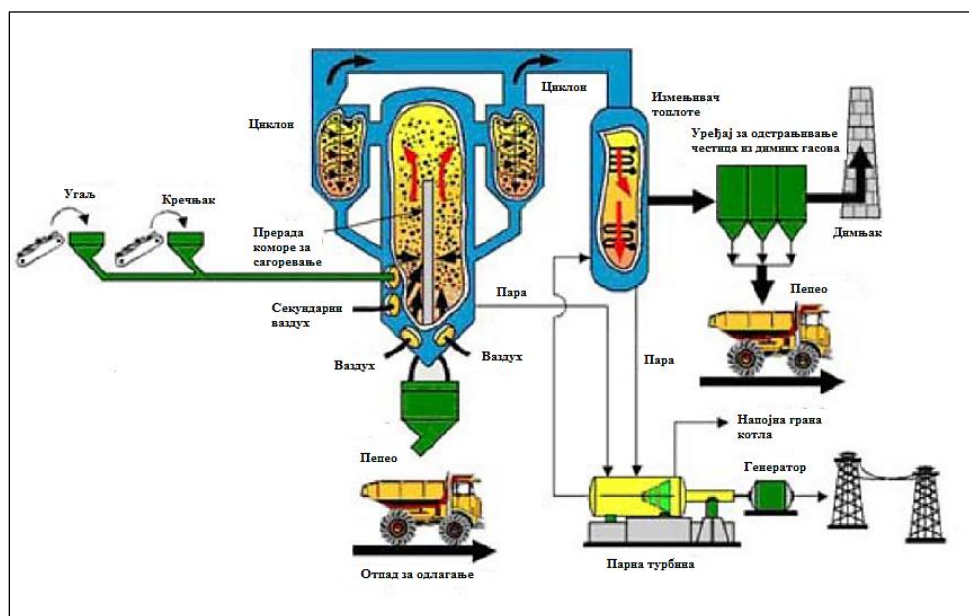
Електране у којима се потенцијална енергија воде претвара у електричну енергију називамо *хидроелектранама*. Ту спадају и електране које користе ефекат плиме и осеке. *Ветроелектране* су електране у којима се користи кинетичка енергија ветра. *Термоелектране* које користе фосилна горива су електране у којима се топлотна енергија, која настаје приликом хемијске реакције сагоревања фосилних горива, претвара у механички рад, а механички рад у електричну енергију. Топлотна енергија се такође може добити трансформацијом нуклеарне енергије (фисијом), као и из унутрашње енергије геотермалних извора или мора. Један од начина добијања електричне енергије је и помоћу фотонапонских ћелија. То је полупроводнички уређај који претвара енергију сунчевог зрачења директно у електричну енергију помоћу фотоелектричног ефекта. Групе

фотонапонских ћелија формирају соларне модуле, познатије и као соларне панеле (фотонапонске плоче). На слици 18 дата је шема претварања различитих облика енергије у електричну енергију.



Слика 18 Шематски приказ претварања различитих облика енергије у термоелектранама у електричну енергију [7]

У термоелектранама са парном турбином, претварање енергије настале сагоревањем угља (слика 19), нафте или фракција нафте, као и природног гаса започиње процесом њиховог сагоревања, односно процесом трансформације хемијске енергије горива у унутрашњу енергију продукта сагоревања.



Слика 19 Шематски приказ термоелектране на угља [7]

Сагоревање горива се одвија у ложишту које је део парног котла. Оно служи за припрему и регулацију потпуног сагоревања, као и за одвод пепела. Начин конструкције ложишта зависи од карактеристика горива па се зато разликују ложишта за чврста, течна и гасовита горива. Сагоревањем гасови напуштају ложиште и струје око парног котла одлазећи кроз димњак у околину (атмосферу).

Унутрашња енергија сагорелих горива се претвара у топлотну енергију, па је задатак парног котла да ту енергију, ослобођену сагоревањем горива, доведе води и воденој пари која на излазу из парног котла има одређен притисак и температуру. У суштини парни котао представља размењивач топлоте. Он је конструисан као систем цеви да би се што више повећала површина преко које топлотна енергија прелази на воду и водену пару. У парни котао се доводи кондензована водена пара (која настаје у кондензатору термоелектране), гориво и ваздух за сагоревање, а из њега се одводе произведена водена пара, гасови настали сагоревањем и пепео као крути несагориви део горива.

Подела термоелектрана према врсти покретача

Покретач је машина која у низу енергетских трансформација прва претвара било који облик енергије у механичку енергију. Према врсти покретача термоелектране делимо на:

- гасно – турбинска постројења (кружна постројења),
- парно – турбинска постројења,
- комбинована постројења.

4.1 Гасно – турбинска постројења

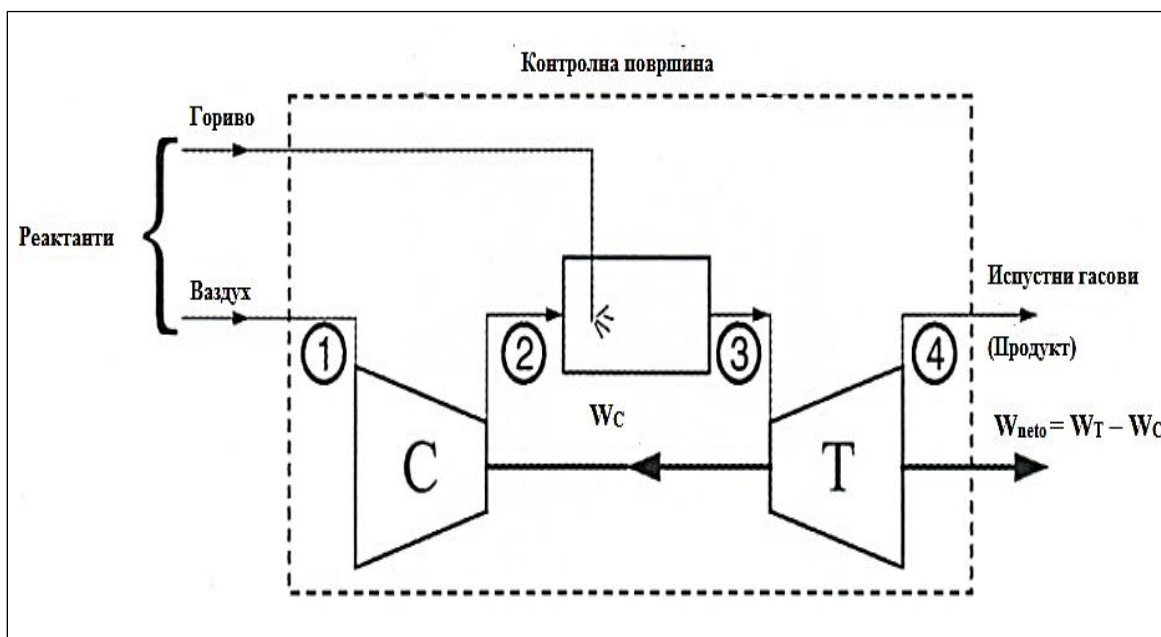
Гасно–турбинска постројења користе динамички притисак протока гасова за директно управљање турбином. Сам процес који се одвија у гасној турбини не разликује се много од принципа рада парне турбине. Различит је медијум који експандира, као и поступак добијања радног медијума. Такође, пад енталпије у гасној турбини је много мањи, а пораст запремине већи. У циљу повећања степена корисности рада термоелектране, мора се повећати температура медијума који улази у турбину. Тада настаје проблем хлађења система, пре свега лопатица унутар парне турбине. Да би се лопатице охладиле користи се компримовани ваздух из компресора. Избор материјала од кога су оне израђене је веома битан фактор при повећавању отпорности самих лопатица на температуру. Најчешће се користе високо легирани материјали на бази никла који успешно подносе високе температуре [8].

У гасним електранама механичка енергија се претвара у електричну енергију помоћу гасних мотора, који су најчешће четворотактни мотори. Ове електране су обично у оквиру система металуршких постројења ради лакшег искоришћења гасова из високих

пећи, гасова који настају при добијању кокса, као и за искоришћење земног гаса. Постоје два основна циклуса по којем могу радити гасне турбине:

- отворени циклус,
- затворени циклус.

Данас се готово искључиво користи отворени циклус (слика 20) где продукти сагоревања директно пролазе кроз турбину.

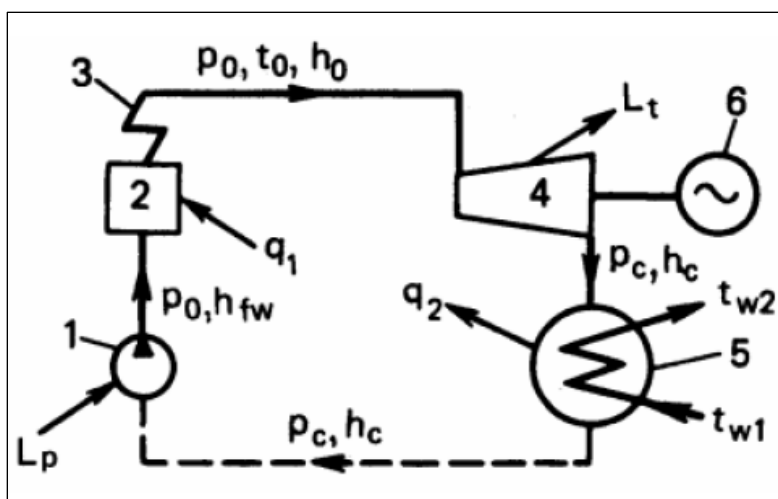


Слика 20 Шематски приказ гасно – турбинског постројења – отворени циклус

Свако гасно-турбинско постројење састоји се од компресора, коморе за сагоревање и гасне турбине. Компресор служи за сабијање ваздуха кога усисава из околине и компримује га до неког одређеног притиска. Компримовани ваздух доводи се до коморе за сагоревање где се греје услед сагоревања горива. Смеша која настаје (загрејани ваздух и гасови сагоревања) експандира у гасној турбини чиме се ствара момент који се користи у производњи електричне енергије и при раду компресора.

4.2 Парно – турбинска постројења

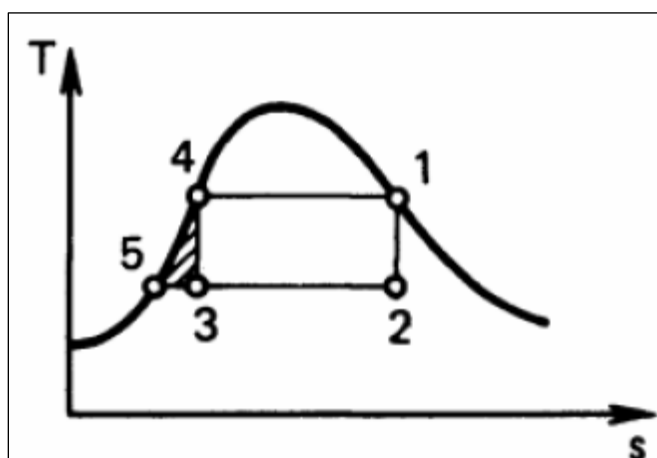
Најједноставније парно – турбинско постројење садржи напојну пумпу, котао, прегрејач паре, парну турбину, кондензатор и електрични генератор (слика 21). Постојење користи водену пару као радни медијум.



Слика 21 Шематски приказ парно – турбинског постројења: (1) напојна пумпа, (2) котло, (3) прегрејач паре, (4) парна турбина, (5) кондензатор, (6) електрични генератор

Уколико би постројење било конструисано без прегрејача паре, турбини би се доводила засићена пара. У том случају процес би био најближи Карноовом циклусу (Carnot cycle) са доводом топлоте при константној температури за испаравање воде, као и за одвод топлоте при константној температури за кондензацију паре у кондензатору.

Температура – специфична ентропија ($T-s$) дијаграм Карноовог циклуса за влажну пару приказан је на слици 22. Промена стања 3 – 4 у дијаграму приказује изоентропску компресију влажне паре до пуне кондензације у посебном компресору; промена стања 4 – 1 приказује испаравање воде у котлу; промена стања 1 – 2 је изоентропска експанзија у турбини; промена стања 2 – 3 је парцијална кондензација паре у специјалном кондензатору [9].



Слика 22 $T-s$ дијаграм Карноовог циклуса са влажном паром

Теоретске вредности доведене и одведене специфичне количине топлоте могу се добити из израза (4.1, 4.2):

$$q_{1th} = h_1 - h_4 \quad (4.1)$$

$$q_{2th} = h_2 - h_3 \quad (4.2)$$

q_{1th} – доведена специфична количина топлоте (теоретска вредност),

q_{2th} – одведена специфична количина топлоте (теоретска вредност),

h_1, h_2, h_3, h_4 – специфична енталпија стања 1, 2, 3 и 4.

Теоретски специфични корисни рад у Карноовом циклусу једнак је разлици доведене и одведене специфичне количине топлоте и дат је једначином (4.3).

$$w = q_{1th} - q_{2th} = (h_1 - h_4) - (h_2 - h_3) = (h_1 - h_2) - (h_4 - h_3) = w_{exp} - w_{comp} \quad (4.3)$$

w – специфични корисни рад,

w_{exp} – специфични рад експанзије,

w_{comp} – специфични рад компресије.

Рад компресије влажне паре је много већи од рада компресије воде. Тако на пример, за изоентропску компресију влажне паре при вредности притиска 0,1 – 3 МПа, при којем се пара у потпуности кондензује, потребан је специфични рад од 455 kJ/kg. Са друге стране за компресију воде, за исте вредности притиска, потребан је рад од 2,75 kJ/kg, што је 165 пута мање него за компресију паре. Због тога се у парно – турбинским постројењима за потпуну кондензацију паре у кондензатору не користи Карноов циклус, већ Ранкинов циклус (Rankine cycle). Шема таквог постројења са Ранкиновим циклусом приказана је на *слици 21*, а T–s дијаграм овог циклуса на *слици 23*.

У T–s дијаграму промена стања а' – а приказује изоентропску компресију воде у напојној пумпи; промена стања а – b представља загревање воде до засићења (до тачке кључања); промена стања b – c приказује испаравање воде у испаривачу котла; промена стања c – d представља прегревање паре у котлу; промена стања d – e представља изоентропску експанзију у турбини; промена стања e – а' представља кондензацију експандиране паре у кондензатору.

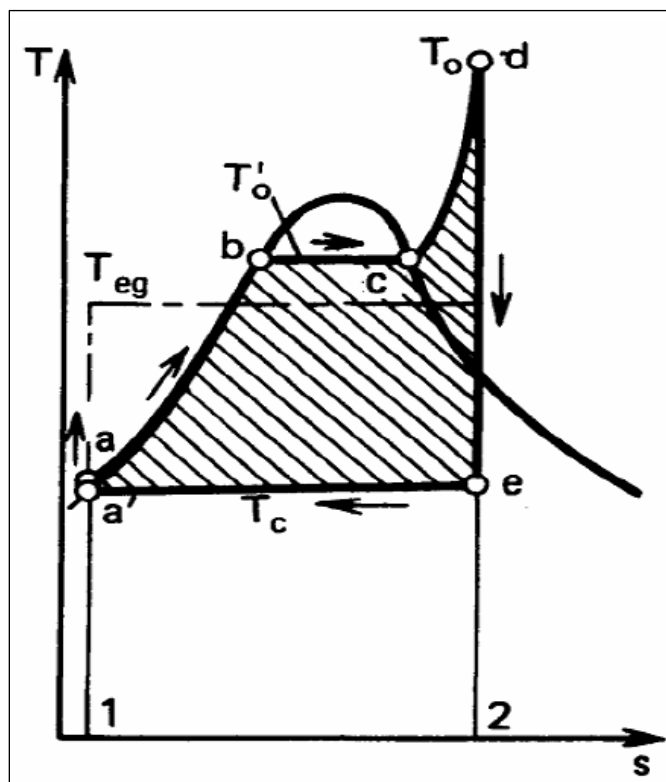
Процес загревања воде до засићења, испаравања воде и прегрејавања паре одвија се при константном притиску (ако се занемаре губитци струјања). Због тога је доведена специфична количина топлоте (површина 1abcd21 у T–s дијаграму, на *слици 23*) једнака разлици специфичних енталпија у целом циклусу, што је приказано једначином (4.4).

$$q_1 = h_0 - h_{fw} \quad (4.4)$$

q_1 – доведена специфічна кількість теплоти,

h_0 – специфична енталпија на улазу у турбину (на крају прегрејавања),

h_{fw} – специфична енталпија напојне (доводне) воде (feed water).



Слика 23 Т-s дијаграм идеалног циклуса парно – турбинског постројења (Ранкинов циклус)

Одвођење топлоте из система одвија се у кондензатору, где се пара кондензује при константном притиску, и предаје топлоту расхладној води. Ова одведена специфична количина топлоте се такође може приказати као разлика специфичних енталпија што је приказано једначином (4.5).

$$q_2 = h_{ct} - h'_c \quad (4.5)$$

q_2 – одведена специфична количина теплоте,

h_{ct} – специфична енталпија на улазу у кондензатор (након експанзије у турбини),

h'_c – специфична енталпија кондензата на крају кондензације (засићена вода).

Теоретски специфични корисни рад у Ранкиновом циклусу једнак је разлици доведене и одведене специфичне количине топлоте и може се описати једначином (4.6).

$$w = q_1 - q_2 = (h_0 - h_{fw}) - (h_{ct} - h'_c) = (h_0 - h_{ct}) - (h_{fw} - h'_c) = w_{exp} - w_{comp} \quad (4.6)$$

Термодинамички степен корисног дејства циклуса представља однос теоретски добијеног рада из идеалног циклуса и доведене топлоте и дат је једначином (4.7).

$$\eta_t = \frac{w}{q_1} = \frac{(h_0 - h_{ct}) - (h_{fw} - h'_c)}{h_0 - h_{fw}} = \frac{w_{exp} - w_{comp}}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (4.7)$$

η_t – термодинамички степен корисног дејства Ранкиновог циклуса.

Сређивањем једначине (4.7) добијамо следећи израз (4.8):

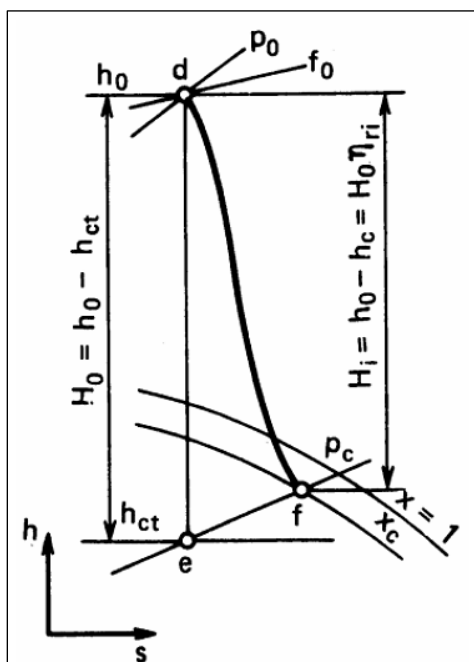
$$\eta_t = \frac{(h_0 - h_{ct}) - (h_{fw} - h'_c)}{(h_0 - h'_c) - (h_{fw} - h'_c)} \quad (4.8)$$

Како је рад потребан за компресију напојне воде готово занемарив (мањи од 1%) у поређењу са радом експанзије на парној турбини, врло често се једначина (4.8) за степен корисног дејства Ранкиновог циклуса своди на облик једначине (4.9):

$$\eta_t = \frac{h_0 - h_{ct}}{h_0 - h'_c} = \frac{H_0}{h_0 - h'_c} \quad (4.9)$$

H_0 – расположиви топлотни пад на турбини.

Расположиви топлотни пад се графички одређује са h - s дијаграма (слика 24).



Слика 24 h - s дијаграм експанзије паре у турбини [9]

Прво се одреди почетна специфична енталпија (h_0), која се добија као пресек вредности за почетне параметре прегрејане паре на улазу у турбину (најчешће су то пресеци линија константног притиска (p_0) и константне температуре (T_0)), затим повуче вертикална линија (при константној ентропији) до притиска на крају експанзије (p_c) и добија се линија изоентропске експанзије. Дужина те линије (расположиви топлотни пад на турбини, дат једначином (4.10)) представља теоретски рад који се добија изоентропском експанзијом (1 kg паре) на турбини.

$$H_0 = h_0 - h_{ct} \quad (4.10)$$

Вредност H_0 се може и израчунати. Ако експанзија на турбини се завршава у подручју прегрејане паре и ако користимо својства идеалнога гаса добијамо (за идеални гас) једначину (4.11):

$$H_0 = \frac{\kappa}{\kappa-1} p_0 v_0 \left[1 - \left(\frac{p_c}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right] \quad (4.11)$$

κ – експонент изоентропе за прегрејану пару ($\kappa = 1,3$),

p_0 – притисак на улазу у турбину,

p_c – притисак на крају експанзије,

v_0 – специфична запремина прегрејане паре на улазу у турбину.

Процес експанзије у турбини је једним делом неповратан, јер се део расположивог топлотног пада претвора у губитке и одлази у околину. Из тог разлога се процес експанзије на турбини одвија са повећањем ентропије до излазног притиска. Како се изобара у h – s дијаграму повећава, при повећању ентропије, рад експанзије на турбини је мањи од теоријског рада за изоентропску експанзију (слика 24). Из тог разлога у T – s дијаграму на слици 25 се линија експанзије на турбини губи повећањем ентропије.

Специфични рад који гасови експанзијом предају ротору турбине назива се специфични индицирани рад и дат је једначином (4.12).

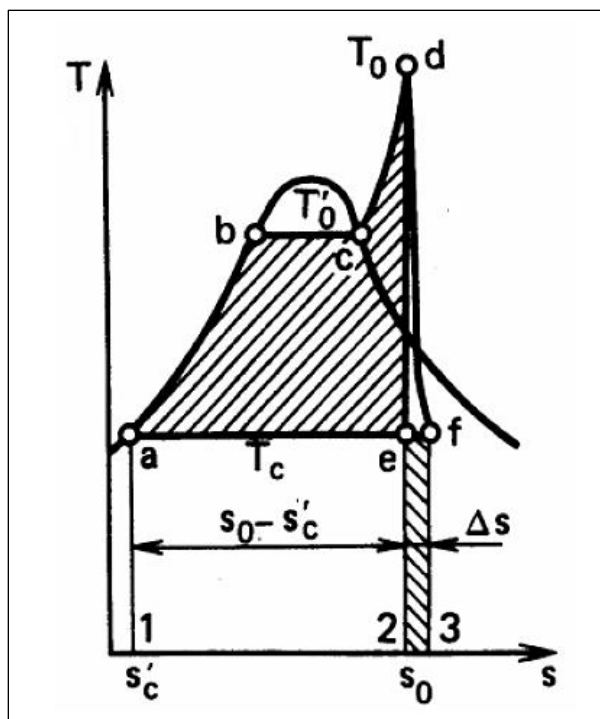
$$w_i = h_0 - h_c = H_i \quad (4.12)$$

w_i – специфични индицирани рад,

h_c – енталпија на крају експанзије,

H_i – индицирани топлотни пад на турбини.

Стварни рад који се добија експанзијом паре (1 kg) на спојници погонског вратила турбине назива се специфични ефективни рад. Њему одговара и ефективни топлотни пад (H_e) на турбини.



Слика 25 Т-s дијаграм реалног циклуса парно – турбинског постројења

Однос индицираног и расположивог топлотног пада на турбини је релативни индицирани степен корисног дејства турбине и може се приказати једначином (4.13).

$$\eta_{ri} = \frac{H_i}{H_0} \quad (4.13)$$

η_{ri} – релативни индицирани степен корисног дејства турбине.

Однос индицираног топлотног пада и доведене специфичне топлоте називамо индицирани степен корисног дејства парно – турбинског постројења и описује се једначином (4.14).

$$\eta_i = \frac{H_i}{q_1} = \frac{H_i}{h_0 - h'_c} = \frac{H_0 H_i}{(h_0 - h'_c) H_0} = \eta_t \eta_{ri} \quad (4.14)$$

η_i – индицирани степен корисног дејства парно – турбинског постројења.

Такође, индицирани степен корисног дејства може се приказати једначином (4.15) као однос индициране снаге и укупне количине топлоте, која се у котлу предаје радном медијуму.

$$\eta_i = \frac{w_i \dot{m}}{q_1 \dot{m}} = \frac{P_i}{Q} \quad (4.15)$$

$\dot{m}$ – масени проток паре,

P_i – индицирана снага,

Q – укупна количина топлоте.

Ефективна снага је снага коју турбина предаје потрошачу (генератору) на спојници. Мања је од индициране снаге коју је пара предала ротору турбине за вредност снаге механичких губитака. Снагу механичких губитака чини снага аеродинамичких губитака трења при струјању паре и трења које се јавља у лежајевима помоћне опреме турбине (пумпа за уље, регулатор погона) и израчунава се из једначине (4.16).

$$P_e = P_i - P_m \quad (4.16)$$

P_e – ефективна снага,

P_m – снага механичких губитака.

Однос ефективне и индициране снаге представља механички степен корисног дејства турбине и дат је једначином (4.17).

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \quad (4.17)$$

η_m – механички степен корисног дејства турбине.

Теоретска снага турбине је приказана једначином (4.18):

$$P_0 = \dot{m}H_0 \quad (4.18)$$

P_0 – теоретска снага турбине.

Однос ефективне и теоретске снаге представља релативни ефективни степен корисног дејства турбине и дат је изразом (4.19).

$$\eta_{re} = \frac{P_e}{P_0} = \frac{P_i P_e}{P_0 P_i} = \eta_{ri} \eta_m \quad (4.19)$$

P_e – ефективна снага,

η_{re} – ефективни степен корисног дејства турбине.

Однос ефективне снаге турбине и укупне количине топлоте доведене котлу је ефективни степен корисног дејства турбине и приказан је изразом (4.20).

$$\eta_e = \frac{P_e}{Q} = \frac{P_i P_e}{Q P_i} = \eta_i \eta_m = \eta_t \eta_{ri} \eta_m = \eta_t \eta_{re} \quad (4.20)$$

η_e – ефективни степен корисног дејства турбине.

Однос снаге на прикључцима електричног генератора и ефективне снаге представља степен корисног дејства електричног генератора и може се описати једначином (4.21).

$$\eta_{eg} = \frac{P_{el}}{P_e} \quad (4.21)$$

P_{el} – снага на прикључцима електричног генератора,
 η_{eg} – степен корисног дејства електричног генератора.

Једначина (4.22) представља однос електричне снаге генератора и теоријске снаге турбине, као и релативни електрични степен корисног дејства турбинског постројења.

$$\eta_{rel} = \frac{P_{el}}{P_0} = \frac{P_e P_{el}}{P_0 P_e} = \eta_{re} \eta_{eg} = \eta_{ri} \eta_m \eta_{eg} \quad (4.22)$$

η_{rel} – релативни електрични степен корисног дејства турбинског постројења.

Производ ефективног и релативног електричног степена корисног дејства представља електрични степен корисног дејства турбинског постројења и израчунава се из једначине (4.23).

$$\eta_{el} = \eta_t \eta_{rel} = \eta_t \eta_{ri} \eta_m \eta_{el} \quad (4.23)$$

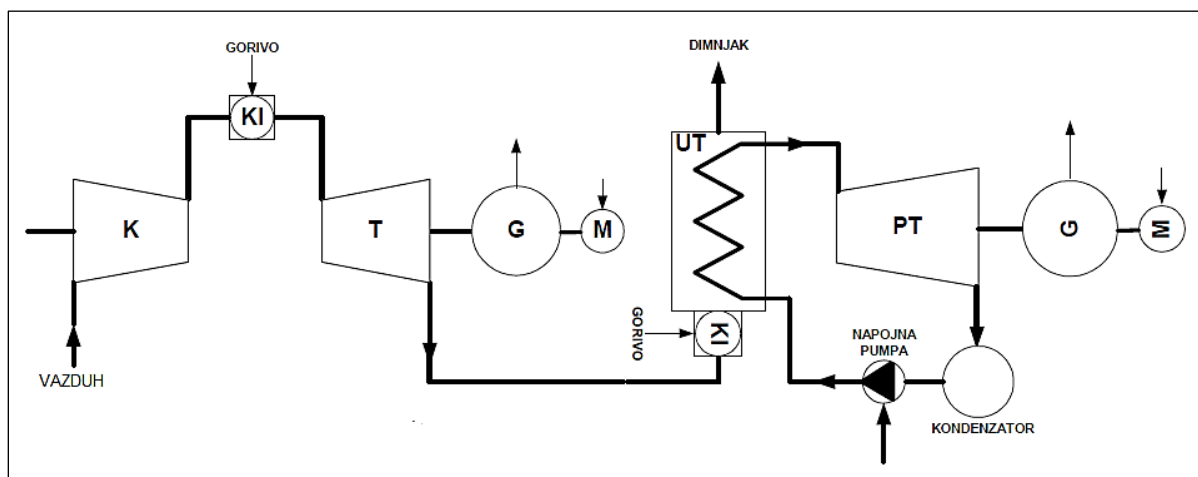
η_{el} – електрични степен корисног дејства турбинског постројења [9].

Постоје два начина за повећање степена корисног дејства турбинског постројења. Први начин се заснива на повећању степена корисног дејства термодинамичког процеса повећањем разлике средњих температура доводне топлоте у котлу и одводне топлоте у кондензатору. Други начин се заснива на побољшању делова система односно повећања степена корисног дејства турбине и електричног генератора, као и на смањењу различитих губитака постројења.

При одређивању степена корисног дејства турбинског постројења узимају се у обзир и додатни губици топлоте у котлу, енергија потребна за погон напојних пумпи, губитак притиска и топлоте у цевоводу паре.

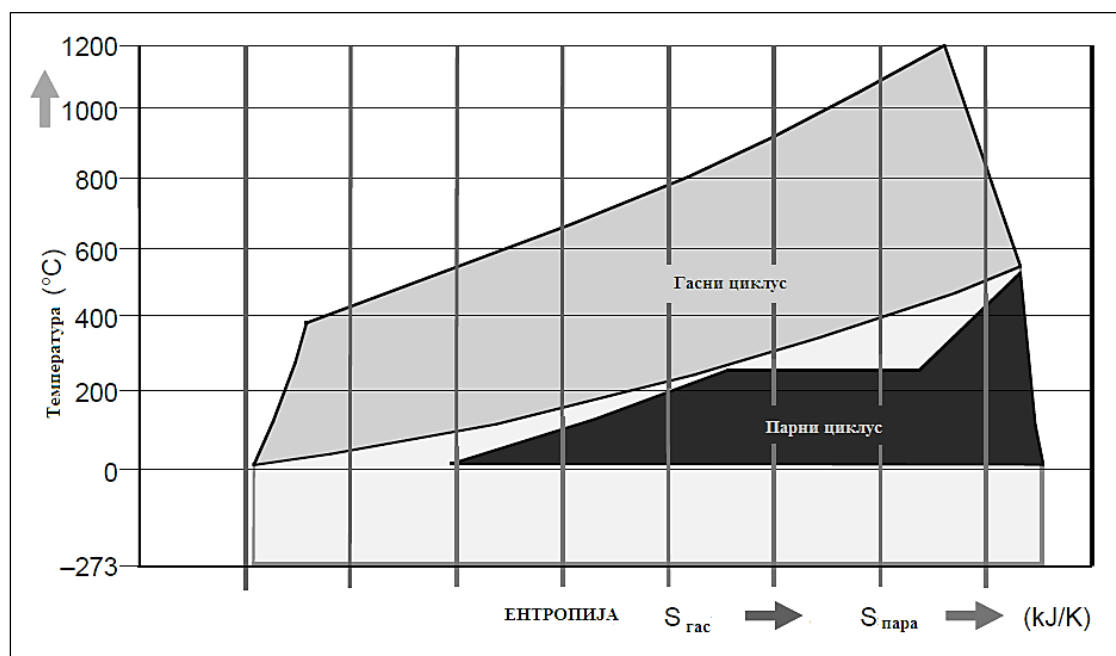
4.3 Комбинована турбинска постројења

Комбинована турбинска постројења базирају се на комбинацији гасне и парне турбине односно комбинацији гасног и парног турбинског постројења. Основна идеја о спајању гасног и парног турбинског постројења је да се искористи топлота издувних димних гасова (гасова насталих сагоревањем) из гасне турбине који би у класичном гасном постројењу остали неискоришћени. Температура издувних димних гасова је релативно висока $450 - 650^{\circ}\text{C}$ и представља почетну температуру у процесу рада парне турбине. На тај начин могуће је коришћење готово целокупне топлотне енергије у систему на различитим температурним нивоима. Најједноставнији шематски приказ оваквог постројења дат је на *слици 26*. Постојење се састоји од гасног турбинског постројења са компресором и гасном турбином, као и од парног турбинског постројења са парном турбином. Ова два постројења имају један заједнички елемент а то је размењивач топлоте (утилизатор) који уједно има и функцију стварања прегрејане паре [10].



Слика 26 Шема комбинованог постројења: (K) – компресор, (T) – гасна турбина, (PT) – парна турбина, (M) – погонски мотор, (UT) – размењивач топлоте, (G) – генератор, (KS) – комора за сагоревање

Постројење функционише тако што се издувни димни гасови из гасне турбине спроводе кроз размењивач топлоте где предају своју топлоту напојној води која се претвара у прегрејану пару, и одлазе у околину. Прегрејана пара одлази из котла у парну турбину где експандира и тако одаје користан механички рад генератору електричне енергије. Након тога пара, сада већ ниских параметара, одлази у кондензатор где се кондензује. Након кондензације паре у воду, вода помоћу напојне пумпе одлази поновно у котао чиме се затвара кружни Ранкинов циклус. Топлотни циклус комбинованог турбинског постројења [2] приказан је на *слици 27*.



Слика 27 T–s дијаграм комбинованог циклуса

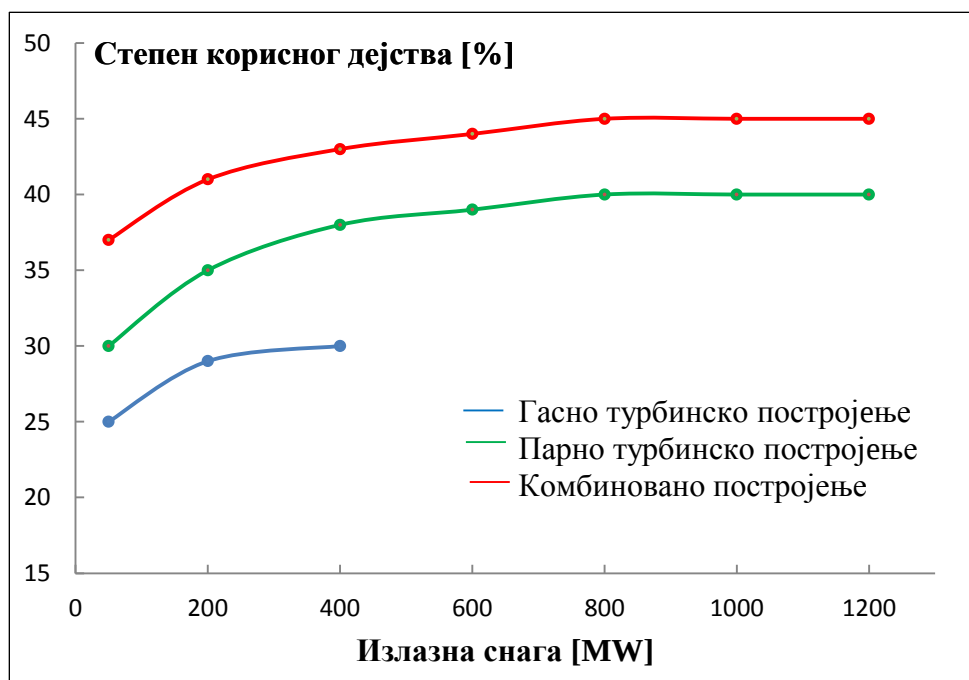
Спајањем гасног и парног турбинског постројења постиже се већи степен корисног дејства него што је у класичном гасном – турбинском или парно – турбинском постројењу.

Основни разлози повећања степена корисног дејства у комбинованом постројењу су:

- Довођење топлоте је при знатно вишој температури у односу на одвојени парни циклус, пошто се у комбинованим постројењима гасни циклус одвија при температурама вишим од температура у најмодернијим независним парно – турбинским постројењима.
- Одвођење топлоте је при знатној нижој температури у односу на одвојени гасни циклус, што значи да је температура охлађених димних гасова (око 140°C) знатно нижа од температуре у било којој врсти гасно – турбинских постројења.

У односу на остала класична термоенергетска постројења за производњу електричне енергије, комбинована гасно – парна постројења имају највећи степен корисног дејства. На *слици 28* приказано је поређење нето степена корисног дејства у зависности од излазне снаге постројења за термоелектране са различитим процесима.

Осим високог степена корисног дејства, једна од карактеристика гасне турбине је и та што је код ње присутан врло висок однос ваздуха и горива. Тај вишак ваздуха се може искористити за сагоревање додатног горива непосредно у котлу. Таква могућност је приказана на *слици 26*.



Слика 28 Поређење степена корисности гасног, парног и комбинованог постројења

Досад наведене чињенице указују да код комбинованих постројења услед мање потребне улазне (доводне) енергије, на излазу из система се остварују веће вредности излазне снаге у односу на засебно гасно – турбинско или парно – турбинско постројење.

Предности комбинованих постројења

- повећање степена корисног дејства,
- флексибилност (кратко време потребно за пуштање у погон постројења, добре карактеристике и при мањим оптерећењима),
- мање загађење околине односно мања емисија штетних продуката сагоревања.

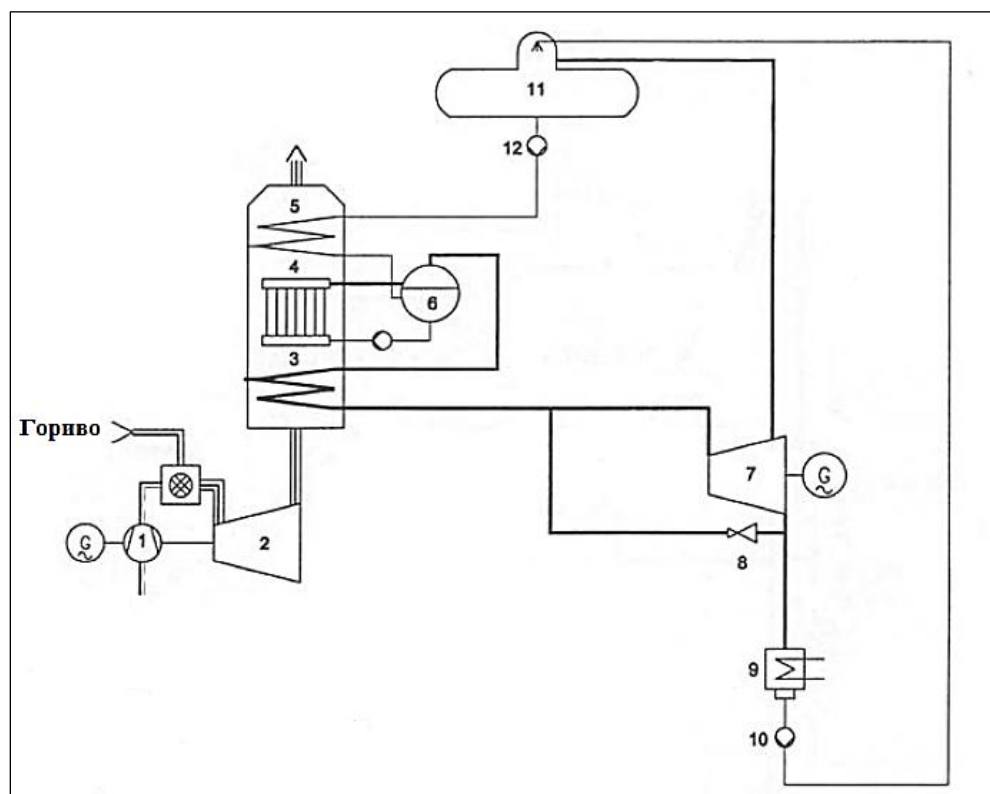
Поред наведених предности комбинованих постројења постоје и мане: виши инвестициони трошкови, дужи рок пројектовања и изградње, виши трошкови одржавања у односу на засебна парно – турбинска или гасно – турбинска постројења.

4.3.1 Основна извођења комбинованих постројења

Најједноставнија конструкција комбинованих постројења у коме пара у котлу има једнопараметарска својства приказана је на слици 29. Парни процес у котлу се одвија на константном притиску. Постојење функционише на исти начин као што је објашњено на поједностављеној шеми комбинованог постројења (слика 26) осим што се у овом случају

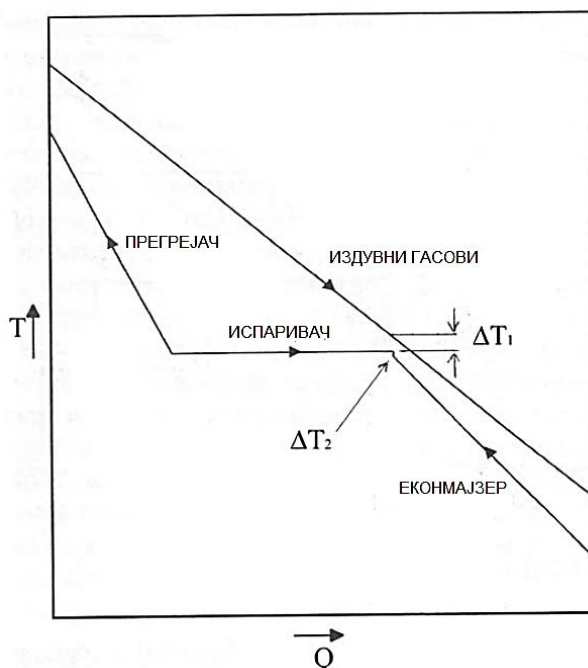
котао састоји од три додата дела: економајзера (размењивача топлоте), испаривача и прегрејача паре. У економајзеру напојна вода се греје до температуре која је близу тачке испаравања, након чега одлази у испаривач, где испарава при константној температури и притиску. Вода и засићена пара се одвајају у бубњу, те пара одлази у прегрејач паре где се прегрејава до жељене температуре [10].

Економајзер је механички уређај предвиђен да смањи потрошњу енергије или да обавља друге корисне функције као што је загревање флуида.



Слика 29 Пример комбинованог постројења у коме пара у котлу има једнопараметарска својства: (1) – компресор, (2) – гасна турбина, (3) – прегрејач, (4) – испаривач, (5) – економајзер, (6) – бубањ, (7) – парна турбина, (8) – by-pass, (9) – кондензатор, (10) – пумпа, (11) – резервоар напојне воде, (12) – пумпа напојне воде

На слици 30 приказан је Т–Q дијаграм за комбиновано постројење у коме пара у котлу има једнопараметарска својства. Карактерише га распоред температуре димних (издувних) гасова, воде и водене паре уздуж котла. На дијаграму су означена два врло важна параметра који дефинишу котао. Први параметар ΔT_2 је параметар који дефинише разлику температуре засићења паре у бубњу и температуре воде на излазу из економајзера. Разлика температуре износи око 5 – 12°C и спречава појаву испаравања воде у економајзеру.

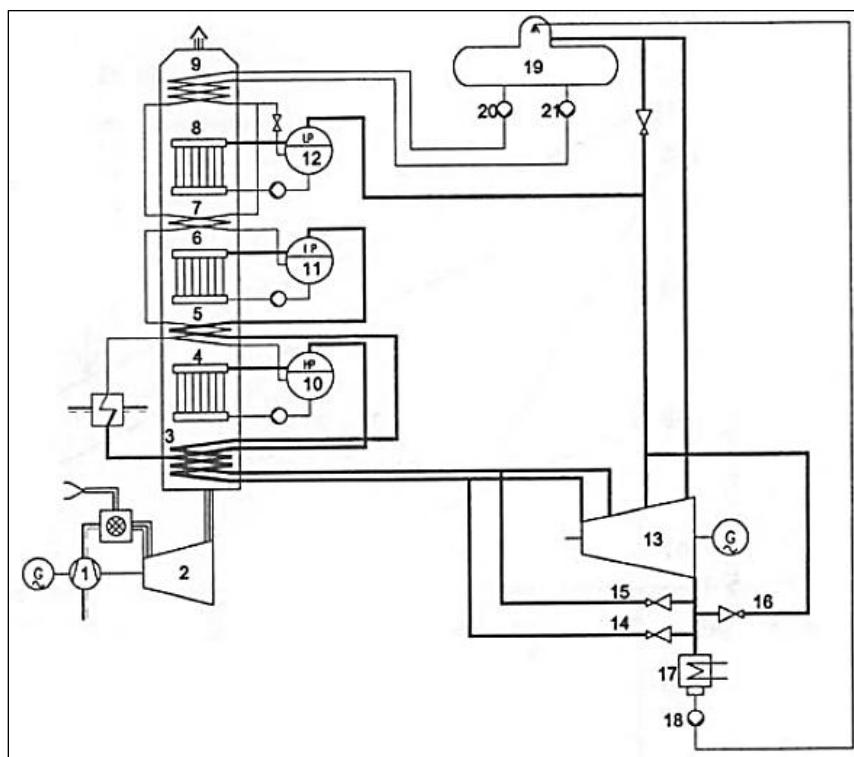


Слика 30 Т–Q дијаграм за комбиновано постројење у коме пара у котлу има једнопараметарска својства

Други параметар је ΔT_1 и представља разлику између температуре воде на излазу из испаривача и температуре издувних гасова на излазу из испаривача. Он је важан при дефинисању размењивачке површине економајзера. Смањењем ΔT_1 повећава се притисак водене паре за парну турбину, што поспешује степен корисног дејства целокупног постројења. У комбинованим постројењима ΔT_1 износи око 8 – 15°C.

Данас, ради повећања степена корисности, сва комбинована постројења се конструишу са котлом у коме пара може имати вишепараметарска својства (пара може имати различите притиске и температуре). Таква постројења су скупља и сложенија, али су и ефикаснија у односу на постројења у којима пара у котлу има једнопараметарска својства.

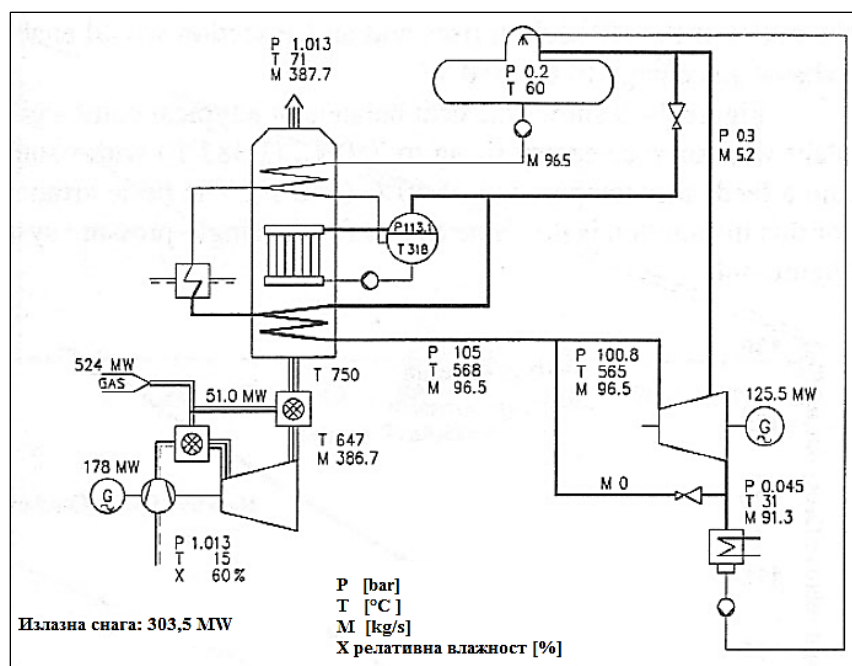
Комбиновано постројење у коме пара у котлу може имати вишепараметарска својства (различите вредности притиска и температуре) приказано је на слици 31. У њему се напојна вода доводи из резервоара помоћу две напојне пумпе у први економајзер (део напојне воде доводи се под високим притиском, а остали део под средњим притиском). На излазу из њега, напојна вода се дели на два дела: први део улази у други економајзер, а други део напојне воде одлази у бубањ. Пара из бубња се директно одводи у парну турбину. Остатак напојне воде пролази кроз остале делове котла који раде на средњим и високим притисцима (остале економајзере, испариваче и прегрејаче паре). Након тога добијена прегрејана пара се одводи у парну турбину. Употреба комбинованог постројења овог типа налази примену у различитим гранама индустрије.



Слика 31 Комбиновано постројење са котлом у коме пара има вишепараметарска својства (1) – компресор; (2) – гасна турбина; (3) – прегрејач; (4), (6), (8) – испаривач; (4), (7), (9) – економајзер; (10), (11), (12) – бубањ; (13) – парна турбина; (14), (15), (16) – by-pass; (17) – кондензатор; (18), (20), (21) – пумпа; (19) – резервоар напојне воде

Комбиновано постројење са додатним сагоревањем у котлу приказано је на слици 32. Додатно сагоревање у котлу се користи како би се повећала снага постројења односно степен корисног дејства. Издувни гасови се из гасне турбине доводе заједно са горивом у котао, где се због великог садржаја кисеоника користе за сагоревање горива. Данас су ова постројења много мање у употреби, јер је развој гасних турбина битно допринео повећању температуре димних гасова који улазе у гасну турбину и повећању температуре издувних гасова који излазе из ње. Такође, смањена је температурна разлика између издувних димних гасова гасне турбине и димних гасова добијених додатним сагоревањем у котлу.

Са друге стране, овакав начин конструкције комбинованог постројења у појединим случајевима има предности, а посебно за реконструкцију постојећих парно – турбинских постројења већих снага, код којих издувни гасови гасне турбине не би били довољни за производњу паре.



Слика 32 Комбиновано постројење са додатним сагоревањем горива у котлу

До сада описана комбинована постројења се углавном користе за добијање електричне енергије. Често се користе и за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије. Такав начин производње називамо когенерација. Топлотна енергија се може користити у технолошким процесима и процесима грејања.

4.3.2 Степен корисног дејства комбинованих постројења

Степен корисног дејства комбинованог постројења се дефинише као однос укупне доведене електричне снаге и топлотне снаге постројења:

$$\eta = \frac{P}{Q} = \frac{P_{gt} + P_{pt}}{Q_{gt} + Q_{pt}} \quad (4.24)$$

η – степен корисног дејства комбинованог постројења,

Q – топлотна снага постројења,

P – укупна доведена електрична снага,

P_{gt} – електрична снага гасне турбине,

P_{pt} – електрична снага парне турбине,

Q_{gt} – доведена топлотна снага гасне турбине,

Q_{pt} – доведена топлотна снага парне турбине.

Једначина (4.24) се назива бруто степен корисног дејства комбинованог постројења, зато што је занемарена потрошња снаге помоћних компонената постројења, као и електрични губици. Ако се узме у обзир потрошња снаге помоћних компонената тада се добија једначина (4.25) која се назива нето степен корисног дејства комбинованог постројења.

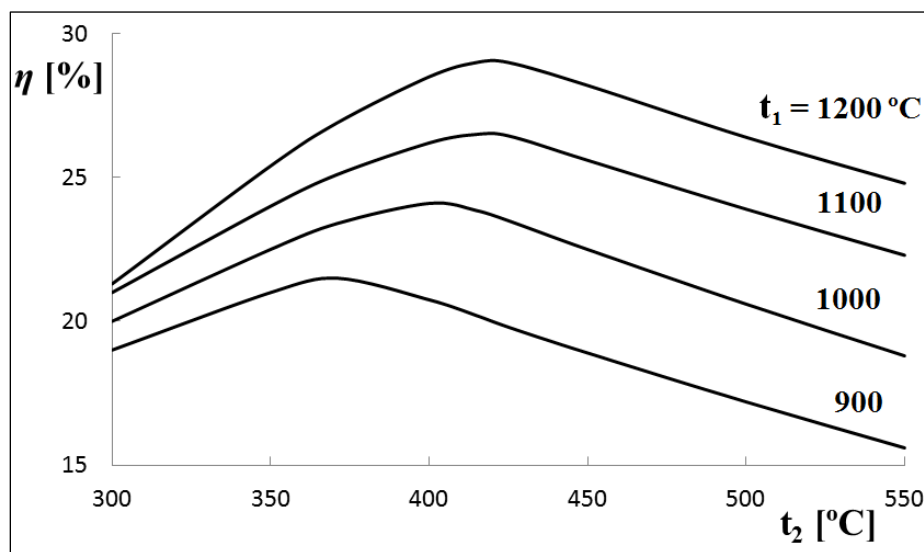
$$\eta = \frac{P}{Q} = \frac{P_{gt} + P_{pt} + P_{pk}}{Q_{gt} + Q_{pt}} \quad (4.25)$$

P_{pk} – потрошња снаге помоћних компонената постројења.

Степен корисног дејства комбинованог постројења највећим делом зависи од степена корисног дејства гасне турбине, односно од температуре гасова који настају сагоревањем на улазу. Што је температура тих гасова већа на улазу у гасној турбини то ће и степен корисног дејства бити већи [10].

Последњих година на тржишту доминирају гасне турбине класе „F” код којих је температура гасова насталих сагоревањем око 1300 – 1400°C, а степен корисног дејства 55 – 57%. Постоје и гасне турбине класе „G”, код којих је температура гасова који настају сагоревањем око 1500°C, а степен корисног дејства 58%.

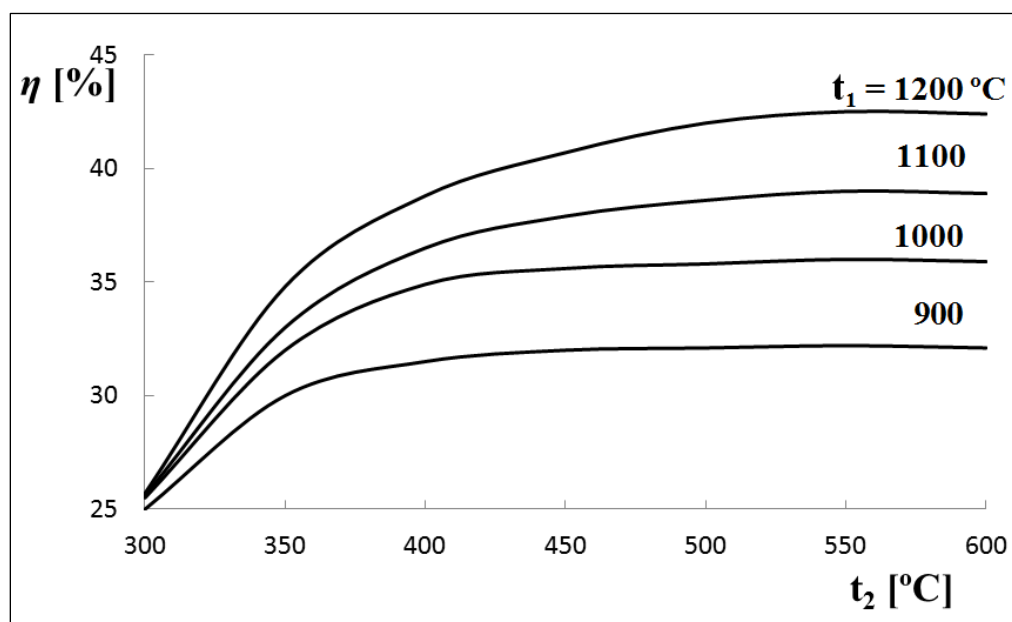
Гасна турбина са највећим степеном корисног дејства не осигурава оптимални рад комбинованог гасно – парног турбинског постројења. Другим речима, повећање степена корисног дејства гасне турбине је некористан уколико се тиме узрокује превелик пад степена корисног дејства парног процеса. На слици 33 приказана је ефикасност гасне турбине гасног турбинског постројења у функцији температуре на улазу и излазу турбине.



Слика 33 Степен корисног дејства гасне турбине гасног турбинског постројења у функцији температуре издувних гасова на улазу и излазу из турбине (t_1 је температура на улазу, а t_2 температура на излазу из гасне турбине)

Највећи степен корисног дејства се постиже када су температуре издувних гасова на излазу турбине прилично ниске (350 – 450 °C). Са t_1 је обележена температура на улазу у гасну турбину, а са t_2 је обележена температура на излазу из гасне турбине.

На слици 34 приказана је укупна ефикасност комбинованог турбинског постројења у функцији температуре на улазу и излазу гасне турбине. У поређењу са сликом 33, оптимална тачка ефикасности је померена ка вишим температурама издувних гасова на излазу из гасне турбине, што значи да гасна турбина у таквом постројењу нема максималну вредност корисности, али се зато постиже већи укупан степен корисности комбинованог постројења [11].



Слика 34 Степен корисног дејства комбинованог постројења у функцији од температуре издувних гасова на улазу и излазу из гасне турбине (t_1 је температура на улазу, а t_2 температура на излазу из гасне турбине)

5 Поређење цена фосилних горива и електричне енергије

За разлику од земаља Европске уније (ЕУ) које су напустиле концепт доминантног ослањања на угаљ као примарни енергент и супституисале га нафтом, а у скорије доба све више и природним гасом, у Србији је угаљ још увек основни примарни енергент.

Електрична енергија

Ниска енергетска ефикасност јесте један од основних проблема у енергетском сектору Србије. Домаћинства у Србији троше знатно више енергије од европског просека, док индустрија расипа енергију, стога Србија бележи висок индекс енергетске интензивности. Иако је цена електричне енергије као и природног гаса намењеног домаћинству знатно нижа него на тржишту Европске уније, трошкови грејања просечног домаћинства у Србији превазилазе 1/3 укупних животних трошкова. Овај удео је три пута мањи у односу на просечна домаћинства у Европској унији.

При анализи српске енергетике не смемо изгубити из вида и чињеницу да су многи енергетски објекти у Србији били уништени током НАТО бомбардовања 1999. године, што је за последицу имало не само материјална разарања, већ и погубно дејство по животну средину. Висока зависност од увоза енергената одређује услове развоја и тржишну позицију српске енергетике. Србија још увек има мали нето увоза електричне енергије. У *табели 4* дат је приказ цена ниже и више тарифе електричне енергије за потребе домаћинства по зонама (зелена, плава и црвена) потрошње.

Табела 4 Цена електричне енергије у Србији за домаћинство

Зона	Цена ниже тарифе	Цена више тарифе
Зелена зона (< 350 kWh)	1,50 [RSD/kWh]→0,013 [€/kWh]	6,01 [RSD/kWh]→0,053 [€/kWh]
Плава зона (351 – 1600 kWh)	2,26 [RSD/kWh]→0,02 [€/kWh]	9,02 [RSD/kWh]→0,079 [€/kWh]
Црвена зона (> 1601 kWh)	4,51 [RSD/kWh]→0,039 [€/kWh]	18,04 [RSD/kWh]→0,158 [€/kWh]

У зависности од категорије купаца електричне енергије у индустрији (потрошња на високом напону, потрошња на средњем напону, потрошња на ниском напону, широка потрошња и јавно осветљење) цена електричне енергије варира у малим границама. У *табели 5* дат је приказ цена ниже и више тарифе електричне енергије за индустрију.

Табела 5 Цена електричне енергије у Србији за индустријску (широка потрошња)

Зона	Цена ниже тарифе	Цена више тарифе
Зелена зона (< 350 kWh)	1,35 [RSD/kWh]→0,012 [€/kWh]	5,41 [RSD/kWh]→0,0474 [€/kWh]
Плава зона (351 – 1600 kWh)	2,03 [RSD/kWh]→0,018 [€/kWh]	8,12 [RSD/kWh]→0,071 [€/kWh]
Црвена зона (> 1601 kWh)	4,06 [RSD/kWh]→0,036 [€/kWh]	16,24 [RSD/kWh]→0,142 [€/kWh]

У табелама 6 и 7 представљене су цене електричне енергије (у динарима и еврима) за домаћинство и индустрију у Немачкој и Француској, респективно.

Табела 6 Цена електричне енергије у Немачкој за домаћинство и индустрију [12]

	Цена [€/kWh]	Цена [RSD/kWh]
Домћинство	0,265	30,24
Индустрија	0,130	14,82

Табела 7 Цена електричне енергије у Француској за домаћинство и индустрију

	Цена [€/kWh]	Цена [RSD/kWh]
Домћинство	0,144	16,47
Индустрија	0,079	9,02

(1 € = 114,3850 RSD)

Ако се упореде табеларне вредности цена струје у Србији, Немачкој и Француској може се закључити: цена струје у Србији је изузетно ниска у односу на поменуте земље ЕУ, а сам процес добијања електричне енергије је веома скуп из чега следи да цена струје у Србији треба да се повећа, али је битно узети у обзир економско стање државе. У завноси од економских услова земаља цена струје се и формира.

Нафта

Производња нафте и нафтних деривата у Србији, била је све до 2008. године у државним рукама. Продајом 51% удела руском партнеру Газпрому извршена је приватизација Нафтне индустрије Србије. Циљ је да се повећа производња и прерада нафте, односно нафтних деривата и да Србија постане извозник на европско тржиште. У табелама 8 и 9 дат је приказ цена сирове нафте (у динарима и америчким доларима) у Србији, Немачкој и Француској.

Табела 8 Цена сирове нафте у Србији

Врста сирове нафте	Цена
Сирова нафта (WTI)	108,12 [USD/bbl] → 0,68 [USD/l] → 58,95 [RSD/l]
Сирова нафта (Brent Crude Oil)	115,05 [USD/bbl] → 0,72 [USD/l] → 62,73 [RSD/l]

WTI – West Texas Intermediate

Табела 9 Цена сирове нафте у Немачкој и Француској [13]

Врста сирове нафте	Цена
Сирова нафта (WTI)	107,33 [USD/bbl] → 0,67 [USD/l] → 58,52 [RSD/l]
Сирова нафта (Brent Crude Oil)	115,05 [USD/bbl] → 0,72 [USD/l] → 62,73 [RSD/l]

(1 USD = 86,8857 RSD)

Ако се упореде *табеле 8 и 9* можемо доћи до закључка да се цена сирове нафте у нашој земљи не разликује много од цене у земљама ЕУ (мање од једног динара).

Природни гас

Производња и дистрибуција гаса у Србији под контролом је јавног предузећа „Србијагас”. Ово предузеће врши функције производње, истраживања, транспорта и дистрибуције природног гаса на територији Србије. Пошто је Русија искључиво снабдевач Србије гасом, сваки поремећај у допреми гаса из Русије у великој мери погађа потрошаче овог енергента и утиче на енергетску безбедност Србије.

Немогуће је говорити о јединственој цени природног гаса, узимајући у обзир подељеност тржишта на којима се овај енергент продаје. За разлику од сирове нафте којом се тргује на берзама и чије су цене прилично уједначене на светском нивоу, цене природног гаса се разликују по регионима. Разлика у цени природног гаса настаје услед различитих трошкова производње и транспорта, као и различитог степена либерализације националних тржишта природног гаса. Високо либерализована тржишта, као што је тржиште САД-а карактеришу ниске цене природног гаса формиране на бази понуде и тражње. Са друге стране у Русији где је тржиште природног гаса апсолутно монополизовано, цене на унутрашњем тржишту су нереално ниске, што држава компензира високим извозним ценама овог енергента. Велика енергетска зависност Европске уније од увоза примарних енергената, а пре свега природног гаса и сирове нафте, могу имати утицаја на интересе наше земље, која би у будућности могла да постане транзитна земља за транспорт ова два најзначајнија енергента. У *табелама 10 –12* дат је приказ цена природног гаса (без и са таксом) у Србији, Немачкој и Француској [14].

Табела 10 Цена природног гаса у Србији за домаћинство и индустрију

Цена без такси	Цена таксе	Укупна цена
<i>Домаћинство</i>		
0,36 [€/m ³] → 36,86 [RSD/m ³]	0,03 [€/m ³] → 2,95[RSD/m ³]	0,39 [€/m ³] → 39,80 [RSD/m ³]
<i>Индустрија</i>		
0,35 [€/m ³] → 35,32 [RSD/m ³]	0,03 [€/m ³] → 2,82[RSD/m ³]	0,38 [€/m ³] → 38,14 [RSD/m ³]

Табела 11 Цена природног гаса у Немачкој за домаћинство и индустрију

Цена без такси	Цена таксе	Укупна цена
<i>Домаћинство</i>		
0,49 [€/m ³] → 50,29 [RSD/m ³]	0,16 [€/m ³] → 50,29 [RSD/m ³]	0,66 [€/m ³] → 67,29 [RSD/m ³]
<i>Индустрија</i>		
0,47 [€/m ³] → 48,09 [RSD/m ³]	0,14 [€/m ³] → 14,20 [RSD/m ³]	0,61 [€/m ³] → 62,29 [RSD/m ³]

Табела 12 Цена природног гаса у Француској за домаћинство и индустрију

Цена без такси	Цена таксе	Укупна цена
<i>Домаћинство</i>		
0,49 [€/m ³] → 50,85 [RSD/m ³]	0,09 [€/m ³] → 10,14 [RSD/m ³]	0,59 [€/m ³] → 61,00 [RSD/m ³]
<i>Индустрија</i>		
0,36 [€/m ³] → 37,34 [RSD/m ³]	0,08 [€/m ³] → 8,14 [RSD/m ³]	0,44 [€/m ³] → 45,48 [RSD/m ³]

(1 € = 102,33 RSD)

Подаци у табели 10, 11 и 12 су из прве половине 2012. године.

Угаљ

Србија се ослања на угаљ у производњи електричне енергије, па је то разлог веће потрошње угља у односу на остале енергенте.

Табела 13 Цена угља у Србији и ЕУ [15]

Врста угља	Цена
Колубарски угаљ	5800 [RSD/t] → 50,87 [€/t]
Костолачки угаљ	7000 [RSD/t] → 61,40 [€/t]
Ресавички угаљ	18000 [RSD/t] → 157,89 [€/t]
Угаљ у ЕУ	65 – 85 [€/t]

(1 € = 114,3850 RSD)

6 Економска анализа цена природног гаса и електричне енергије

У зависности од састава природног гаса мења се и његова топлотна моћ. Уколико природни гас садржи угљоводонике са већим бројем угљеникових атома већа је и његова топлотна моћ. За економску анализу поредиће се природни гас са параметрима доње топлотне моћи. Доња топлотна моћ природног гаса за 1 m^3 износи $34000 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$.

У савременим комбинованим постројењима степен искоришћења износи 45%. То значи да са одређеном количином топлоте природног гаса се добија 45% електричне енергије.

Јединица за снагу помножена јединицом за време (kWh) је чест начин изражавања енергије и користи се у контексту електрана и рачуна за електричну енергију.

Цене електричне енергије и природног гаса (за Немачку, Француску и Србију) приказане су у одељку 5.

Цена природног гаса у Немачкој за домаћинства по 1 m^3 износи $67,29 \frac{\text{RSD}}{\text{m}^3}$, а цена струје за домаћинства износи $30,24 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$. Коришћењем релације $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$ добијамо цену природног гаса од $7,12 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$, а цена струје износи $15,82 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$. Упоредивањем стварног износа за цену струје добијене из 1 m^3 природног гаса ($15,82 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$) са наплатном ценом електричне енергије ($30,24 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$) закључујемо да Немачка остварује профит приликом наплате потрошачима у домаћинствима. Однос набавне цене природног гаса и наплатне цене електричне енергије је позитиван, тако да је енергетика Немачке у сталном новчаном плусу.

Цена природног гаса у Француској за домаћинства по 1 m^3 износи $61,00 \frac{\text{RSD}}{\text{m}^3}$, а цена струје за домаћинства износи $16,47 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$. Цена природног гаса по kWh је $6,45 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$, а цена струје износи $14,33 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$. Упоредивањем стварног износа за цену струје добијене из 1 m^3 природног гаса ($14,33 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$) са наплатном ценом електричне енергије ($16,47 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$) закључујемо да Француска такође остварује профит, али знатно мањи него Немачка, приликом наплате потрошачима у домаћинствима.

Цена природног гаса у Србији за домаћинства по 1 m^3 износи $39,80 \frac{\text{RSD}}{\text{m}^3}$, а просечна цена струје за домаћинства (плава зона) износи око $6,00 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$. Цена природног гаса по kWh

је $4,21 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$, а цена струје износи $9,35 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$. Упоредивањем стварног износа за цену струје добијене из 1 m^3 природног гаса ($9,35 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$) са наплатном ценом електричне енергије ($6,00 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$) закључујемо да Србија не остварује профит, приликом наплате потрошачима у домаћинствима. Ова цена струје је без такси (што важи и за Немачку и Француску), и поређењем са горе наведеним земљама из ЕУ можемо закључити да је у нашој земљи однос набавне цене природног гаса и наплатне цене електричне енергије негативан (нема зараде). Међутим, разне таксе и порези утичу да нема губитака у пословању електродистрибуције, односно да се постиже „позитивна нула”, али генерално ово веома лоше утиче на развој енергетике Србије.

Када је у питању индустрија, цена природног гаса и електричне енергије је мања у односу на домаћинства зато што су индустријски објекти много већи потрошачи. У складу са тим разлика у профиту у односу на домаћинства је мања. Када је у питању Немачка цена струје за индустрију износи $14,82 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$, а цена природног гаса $62,29 \frac{\text{RSD}}{\text{m}^3}$. Цена природног гаса по kWh је $6,59 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$, а цена струје износи $14,65 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$. Упоредивањем стварног износа за цену струје добијене из 1 m^3 природног гаса ($14,65 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$) са наплатном ценом електричне енергије ($14,82 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$) закључујемо да Немачка остварује врло мали профит (1,1%), приликом наплате индустријским потрошачима. Цена струје у Француској за индустрију је $9,02 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$, а цена природног гаса је $45,48 \frac{\text{RSD}}{\text{m}^3}$. Цена природног гаса по kWh је $4,81 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$, а цена струје износи $10,70 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$. Упоредивањем стварног износа за цену струје добијене из 1 m^3 природног гаса ($10,70 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$) са наплатном ценом електричне енергије ($9,02 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$) закључујемо да Француска не остварује профит приликом наплате индустријским потрошачима. У Србији за индустрију цена природног гаса износи $38,14 \frac{\text{RSD}}{\text{m}^3}$, а електричне енергије око $8,14 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$. Цена природног гаса по kWh је $4,04 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$, а цена струје износи $8,97 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$. Упоредивањем стварног износа за цену струје добијене из 1 m^3 природног гаса ($8,97 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$) са наплатном ценом електричне енергије ($8,12 \frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}$) закључујемо да Србија не остварује профит приликом наплате индустријским потрошачима.

И ако су разлике у односу набавне цене природног гаса и наплатне цене електричне енергије у индустрији негативне (Немачка остварује минимални профит), земље ЕУ надокнађују тај минус много већим таксама, па самим тим и великим зарадама када је у питању потрошња електричне енергије у домаћинствима, док код нас то није случај. У нашој земљи кад је у питању профит који се остварује и у домаћинствима и у индустрији је приближно исти. У индустријским објектима се електрична енергија много више троши (а цена струје је нижа) него у домаћинствима, па је разлика у новчаној добити велика. Генерално се остварује мали профит у оба случаја услед лошег економског стања наше

земље. Због свега наведеног наша енергетика и електродистрибуција се налази у веома тешком стању, јер се већина новца усмерава на исплату радних лица и на одржавање, а не улаже се у даљи развој наше електропривреде.

У табели 14 дат је приказ прорачуна за цену природног гаса и електричне енергије по m^3 и kWh за домаћинства и индустрију у Немачкој, Француској и Србији

Табела 14 Приказ односа цена природног гаса и електричне енергије у домаћинствима и индустрији

Цена природног гаса $[\frac{\text{RSD}}{\text{m}^3}]$	Природни гас $[\frac{\text{RSD}}{\text{m}^3}] \rightarrow [\frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}]$	Цена природног гаса $[\frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}]$	$[\frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}]/\eta$	Цена струје $[\frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}]$	Наплатна цена струје $[\frac{\text{RSD}}{\text{kWh}}]$
<i>Домаћинство</i>					
Немачка					
67,29	$67,29 / \frac{34000}{3600}$	7,12	$\frac{7,12}{0,45}$	15,82	30,24
Француска					
61,00	$61,00 / \frac{34000}{3600}$	6,45	$\frac{6,45}{0,45}$	14,33	16,47
Србија					
39,80	$39,80 / \frac{34000}{3600}$	4,21	$\frac{4,21}{0,45}$	9,35	6,00
<i>Индустрија</i>					
Немачка					
62,29	$62,29 / \frac{34000}{3600}$	6,59	$\frac{6,59}{0,45}$	14,65	14,82
Француска					
45,48	$45,48 / \frac{34000}{3600}$	4,81	$\frac{4,81}{0,45}$	10,70	9,02
Србија					
38,14	$38,14 / \frac{34000}{3600}$	4,04	$\frac{4,04}{0,45}$	8,97	8,12

$\eta = 45\% = 0,45$ (за комбиновано постројење)

7 Закључак

Термоелектране које користе фосилна горива су електране у којима се хемијском реакцијом сагоревања фосилних горива ослобађа топлотна енергија. Топлотна енергија се претвара у механички рад, а механички рад у електричну енергију. У зависности од начина конструисања термоенергетска постројења могу бити: парно – турбинска, гасно – турбинска и комбинована постројења.

Свако комбиновано постројење које користи фосилна горива се састоји од парне турбине, гасне турбине, котла, компресора, кондензатора, као и делова који се уграђују у котао (прегрејач, економајзер, међупрегрејач). У односу на парно – турбинска и гасно – турбинска постројења поред већег степена корисног дејства, комбинована постројења карактерише и мања емисија штетних гасова у атмосферу (пре свега угљен-диоксида као једног од најважнијих гасова који појачава ефекат стаклене баште). Значи данас су комбинована постројења веома заступљена у свету због своје ефикасности, као и због смањене емисије штетних гасова чиме се доприноси бољем очувању животне средине. Гасна и парна – турбинска постројења се и даље користе због мањих инвестиционих улагања која су потребна за њихову изградњу. Она имају мањи степен корисног дејства у односу на комбинована постројења, што значи да се велики део количине топлоте одаје у околину што доприноси даљем нарушавању животне средине. Сам процес производње и коришћења енергије томе доприноси, а еколошке последице не могу се локализовати на државну територију. Међународне конвенције и прописи заштите околине постали су обавезујући за националне енергетике. Ово доводи до закључка да новчана улагања играју главну улогу у избору постројења која ће се конструисати за добијање електричне енергије. Многоструке повезаности енергетике, привредног развоја и услова живота становништва упућују на појачани интерес државе у области енергетике. Практично свака земља у одређеној мери спроводи државну политику развоја енергетског сектора да би обезбедила потребне количине енергије уз што мање трошкове.

Тежња појединих земаља ЕУ је да електричну енергију производе и прерадом природног гаса. Код нас то није случај, јер се наша енергетика снабдева електричном енергијом коју добијамо из угља (око 60%). Наша земља је природно богата угљем средње класе (првенствено лигнитом) па је то главни разлог његовог коришћења. То има својих предности, а и мана. Једна од предности је та што је потребно много мање новца за експлоатацију угља, а и има га више него природног гаса. Наравно електрична енергија у нашој земљи се производи и путем природног гаса само у знатно мањој мери. Главни недостатак производње је већа емисија штетних гасова у атмосферу у односу на природни гас. Ипак ми и данас добијамо електричну енергију из угља, јер главну улогу диктира лоше економско стање земље. Интересантно је да због великих количина природних

резерви угља ми један део електричне енергије извозимо у околне земље. Сама потрошња електричне енергије би требало да се смањи, јер фосилних горива у будућности неће бити пуно.

Немачка и Француска (као и већина земаља ЕУ) наплатом електричне енергије надокнађују новац који утроше за куповину природног гаса, а и зарађују на овај начин. Код нас то није случај, јер однос набавне цене природног гаса и наплатне цене електричне енергије је негативан. Битно је узети у обзир и економско и политичко стање државе, јер то диктира цене на тржишту. Уколико би се цена струје у нашој земљи повећала, повећали би се и приходи у енергетици Србије, а то би директно утицало и на развој економског стања, а уколико би куповна цена природног гаса опала, повећање цене електричне енергије не би било потребно, што би обезбеђивало већу зараду наше енергетике. Такође, то би омогућило долазак страних инвеститора и капитала, што би за последицу имало изградњу савремених комбинованих постројења.

8 Литература

- [1] J.A. Fay, D.S. Golomb, *Energy and the Environment*, Oxford University Press, New York (2002).
- [2] D.Y. Goswami, F. Kreith, *Energy Conversion*, CRC Press, New York (2007).
- [3] <http://www.viser.edu.rs/download/uploads/5766.pdf>, (20.08.2013.).
- [4] http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/publications/energy_reviews_2005/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2005.pdf, (20.08.2013.).
- [5] <http://www.rgf.bg.ac.rs/predmet/RO/V%20semestar/Hemija%20i%20prerada%20nafte%20i%20gasa/Predavanja/08VIII%20Prerada%20nafte%20i%20gasa.pdf>, (20.08.2013.).
- [6] <http://www.rgf.bg.ac.rs/predmet/RO/V%20semestar/Hemija%20i%20prerada%20nafte%20i%20gasa/Predavanja/10predavanje%20X.pdf>, (20.08.2013.).
- [7] http://www.fer.unizg.hr/download/repository/03_Energetske_pretvorbe_u_termoelektranama%5B2%5D.pdf, (25.08.2013.).
- [8] <http://marjan.fesb.hr/~fbarbir/PDFs%20Termoenergetska%20postrojenja/07%20Plinske%20turbine%20i%20postrojenja.pdf>, (25.08.2013.).
- [9] http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/toplinske_turbine/01_u_vod.pdf, (26.08.2013.).
- [10] M. Vujanović, *Diplomski rad*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb (2003).
- [11] R. Kehlhofer, *Combined-Cycle Gas and Steam Turbine Power Plants*, PennWell Publishing, Oklahoma (1997).
- [12] <http://www.energy.eu/>, (29.08.2013.)
- [13] <http://www.bloomberg.com/energy/>, (29.08.2013.)
- [14] <http://www.aers.rs>, (29.08.2013.).
- [15] <http://www.ugalj.rs/>, (29.08.2013.).