

Факултет инжењерских наука

Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Грејање, климатизација и соларна енергија

Број индекса: 55/2009

Филип В. Била

Грејање домаћинства природним гасом

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др, Небојша Лукић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- представи основе грејања домаћинства природним гасом
- прикаже основне физичко-хемијске и термодинамичке карактеристике природног гаса
- представи системе грејања природним гасом
- прикаже ценовну анализу грејања природним гасом у Србији и ЕУ

Препоручена литература:

[1] Бојић М: Термодинамика, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2011.

[2] Зрнић С, Ђулум Ж: Грејање и климатизација са применом соларне енергије, Научна књига, Београд, 1988.

[3] Стефановић В: Грејање, топлификација и снабдевање гасом, Универзитет у Нишу, Ниш, 2011.

[4] Вулетић В: Карактеристике и примена природног гаса, Београд, 2011.

Крагујевац, 20.05.2012.

ментор:

Небојша Лукић, др

РЕЗИМЕ

Предмет завршног рада је представљање општих физичко-хемијских карактеристика природног гаса, као и термодинамичких карактеристика природног гаса. Представљено је и сагоревање гаса, врсте горионика и начини управљања процесима сагоревања. Поменуте су врсте гасних уређаја који се користе за сагоревање гаса, и њихова класификација у Србији и Европској Унији, као и могућност когенерације. Приказан је увид у цене природног гаса у Србији и ЕУ, али и цене електричне енергије, као и пример потрошње грејањем на природни гас и електричну енергију.

Кључне речи: грејање, природни гас, топлотна моћ, котло, когенерација, цена природног гаса

ABSTRACT

Subject of thesis is representation general physicochemical characteristics of natural gas, and thermodynamic characteristics of natural gas. It is also represent combustion of natural gas, types of burners and control methods of combustion. It is mentioned types of gas devices and their clasification in Serbia and EU, and possibility of CHP. It is shown access in natural gas prices, and prices of households electricity, and consumption example for natural gas heating and electricity heating.

Key words: heating, natural gas, calorific value, boiler, CHP, prices of natural gas

САДРЖАЈ:

1. УВОД	7
2. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРИРОДНОГ ГАСА	9
2.1 ХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРИРОДНОГ ГАСА	9
2.1.1 Састав природног гаса	9
2.1.2 Садржај влаге у природном гасу	11
2.1.3 Штетна својства природног гаса	11
2.2 ФИЗИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРИРОДНОГ ГАСА	13
2.2.1 Густина природног гаса	13
2.2.2 Вискозност природног гаса	14
2.2.3 Критична температура, критичан притисак и запремина	15
2.3 ТЕРМОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРИРОДНОГ ГАСА	15
2.3.1 Топлотна моћ природног гаса	15
2.3.2 Специфични топлотни капацитет природног гаса	17
2.3.3 Џул-Томсонов ефекат	18
2.3.4 Вобеов број	18
2.4 ПРИПРЕМА ПРИРОДНОГ ГАСА ЗА КОРИШЋЕЊЕ	19
2.5 СВЕТСКА ПРОИЗВОДЊА И РЕЗЕРВЕ ПРИРОДНОГ ГАСА	20
3. САГОРЕВАЊЕ ПРИРОДНОГ ГАСА	22
3.1 СТАТИКА САГОРЕВАЊА	22
3.1.1 Сагоревање метана	24
3.2 ВРСТЕ ГОРИОНИКА ЗА САГОРЕВАЊЕ ПРИРОДНОГ ГАСА	26
4. КОТЛОВСКА ПОСТРОЈЕЊА	31
4.1 ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КОТЛОВСКИХ ПОСТРОЈЕЊА	33
4.2 РАЗМЕНА ТОПЛОТЕ У КОТЛОВСКИМ ПОСТРОЈЕЊИМА	34
4.2.1 Размена топлоте кондукцијом	34
4.2.2 Размена топлоте конвекцијом	35
4.2.3 Размена топлоте зрачењем	35
4.3 УПРАВЉАЊЕ ПРОЦЕСОМ САГОРЕВАЊА	36
4.3.1 Управљање процесом сагоревања „гориво - ваздух“	36
4.3.2 Управљање процесом сагоревања „пара - ваздух“	37
4.3.3 Управљање процесом сагоревања „топлота - ваздух“	38
4.3.4 Управљање процесом сагоревања „гориво - ваздух“ преко импулса	38
4.4 ПРЕДНОСТИ КОРИШЋЕЊА ПРИРОДНОГ ГАСА У КОТЛОВСКИМ ПОСТРОЈЕЊИМА	39
5. ПРИМЕНА ПРИРОДНОГ ГАСА ЗА ГРЕЈАЊЕ	41
5.1 МЕРНО-РЕГУЛАЦИОНЕ СТАНИЦЕ	41
5.2 ГАСНИ УРЕЂАЈИ (ТРОШИЛА)	42

5.2.1 Подела и класификација гасних уређаја.....	42
5.2.1.1 Подела гасних апарата према СРПС.....	42
5.2.1.2 Европска класификација гасних апарата на врсте.....	43
5.3 ГРЕЈАЊЕ ИНДИВИДУАЛНИМ ГАСНИМ УРЕЂАЈИМА.....	45
5.3.1 Индивидуални гасни уређаји са прикључком на димњак.....	45
5.3.2 Индивидуални гасни уређаји са прикључком на фасаду.....	46
5.4 ЕТАЖНО ГРЕЈАЊЕ.....	47
5.4.1 Комбиновани етажни котлови.....	48
5.4.2 Кондензациони котлови.....	49
5.4.3 Кондензациони котлови са ламинарним акумулационим резервоаром.....	53
5.4.4 Етажно грејање топлим ваздухом.....	53
5.5 ЦЕНТРАЛНО ГРЕЈАЊЕ.....	55
5.6 КОГЕНЕРАЦИЈА.....	58
5.6.1 Ефикасност когенерације.....	59
5.6.2 Потенцијал когенерације у широкој потрошњи гаса.....	60
6. ЦЕНОВНА АНАЛИЗА ГРЕЈАЊА ПРИРОДНИМ ГАСОМ.....	61
6.1 ЦЕНЕ ПРИРОДНОГ ГАСА И ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ.....	61
6.2 ПРИМЕР ПОТРОШЊЕ ГРЕЈАЊА ПРИРОДНИМ ГАСОМ И ЕЛЕКТРИЧНОМ ЕНЕРГИЈОМ.....	64
6.2.1 Топлотно оптерећење $q=300 \text{ W/m}^2$	64
6.2.2 Топлотно оптерећење $q=50 \text{ W/m}^2$	65
7. ЗАКЉУЧАК.....	67
8. ЛИТЕРАТУРА.....	69

1. УВОД

Све веће потребе у енергији, као и значајне промене које су се десиле и дешавају на светском тржишту енергије и све већи утицај производње и потрошње енергије на животну средину, допринели су да се данас енергетика разматра глобално због своје међузависности. Приступачност енергије и сигурност снабдевања је за све државе од животне важности, јер је немогуће направити и минимални привредни и друштвени прогрес без енергије. Значење енергије за развој друштва и схватање њеног места и улоге у привреди и друштву у целини, допринело је да се развојна енергетска политика усмери у правцу обезбеђења сигурних и довољних количина енергије, уз што ниже трошкове, како би се омогућио предвиђени друштвени развој.

Будући развој свих извора енергије данас зависе од два критична фактора: еколошких аспеката, посебно у погледу емисије гасова „стаклене баште“, и од будуће цене енергије. Чист ваздух и заштита околине су данас захтев већине човечанства, тако да се морају увек имати у виду. Кјото Протокол из децембра 1997. године, иако није прихваћен од стране свих земаља, мора се имати у виду при предвиђању даљег развоја енергетике света и појединих земаља. Исто тако реално је очекивати пораст цене нафте и природног гаса, без обзира на стални раст резерви и снижавање производних трошкова, које ће допринети даљој рационалности коришћења енергије и већем коришћењу нових обновљивих извора.

Према Светском Савету за енергију постављена су три основна стратешка циља за 21. век која су међусобно повезана:

- **Приступачност** изворима енергије значи да енергија мора бити доступна по ценама које су прихватљиве и одрживе;
- **Расположивост** енергетским изворима у смислу континуалне дугорочне понуде;
- **Прихватљивост** у смислу усклађености развоја и заштите животне средине.

Природни гас задовољава сва три наведена стратешка циља јер су специфичне цене природног гаса увек ниже у односу на нафту, резерве природног гаса омогућавају дужи век коришћења и најмање загађују животну средину у односу на сва остала фосилна горива.

Познато је да природни гас представља веома квалитетно гориво, које у многим секторима потрошње има изразите, техничке, економске и еколошке предности у односу на друга конвенционална горива. То је и допринело да је његова потрошња, и поред специфичности његовог коришћења (изграђеност магистралне, разводне и дистрибутивне мреже до крајњег потрошача) стално расла: у 1950. години природни гас је учествовао у потрошњи примарне енергије са око 10%, 1960. са 14,8%, 1990. године око 20%, да би данас учествовао са око 24%. [1]

Природни гас данас се вишеструко користи: у индустрији, за комерцијалну употребу, у широкој потрошњи, за производњу електричне енергије, као сировина у производњи, а користи се и за погон моторних возила.

У домаћинствима се за грејање просторија, загревање воде и кување, углавном користе: дрва, угаљ, лож уље, електрична енергија, соларна енергија и гас. Електрична енергија свакако има низ познатих предности у односу на друге енергенте. Политиком цена све више ће се дестимулисати коришћење електричне енергије за загревање, па ће се на тај начин елиминисати као енергент. Мане и предности дрва, угља и лож уља, најраспрострањенијих видова коришћења енергије код нас, добро су познате нашим грађанима. Соларна енергија нема масовну примену и углавном се користи за загревање воде.

Актуелни токови на светском тржишту енергената указују на растућу улогу и значај природног гаса. Процене резерви природног гаса указују на количине довољне за наредних 100 година. Усклађени развој три “Е” (енергија, економија, екологија) природном гасу даје предност у односу на друга конвенционална горива. Због тога се гас сматра енергентом у експанзији, односно енергентом 21. века.

У 2015. години се очекује 450.000 потрошача гаса, а дужина гасовода ће износити преко 3000 km. Стратегија дугорочног развоја енергетике Србије у периоду до 2020. године, са визијом до 2050. године, истиче гас као енергетски извор 21. века и еколошки најприхватљивије конвенционално гориво. [2]

Нашим стандардима су утврђени високи захтеви које треба да испуне гасовита горива за коришћење у домаћинству. Постоје четири групе гасовитих горива. По класификацији гасовитих горива, у другу групу спадају земни гасови из природних налазишта, богати метаном. У Србији се користи природни гас друге групе из Русије (Сибира) и из Баната, тренутно највећег домаћег лежишта гаса које покрива око 25% укупне потрошње. Природни гас се увози преко Мађарске, (улаз код Хоргоша), а у току је изградња прикључка из Бугарске. [2]

Природни гас уз угаљ и остала чврста горива, једини је примарни облик енергије који се може непосредно употребљавати. Сви остали облици енергије (сирова нафта, водена снага, нуклеарно гориво и сл.) морају се трансформисати у погодније облике (деривате нафте, електрична енергија, водена пара или врела вода). То захтева градњу постројења за енергетске трансформације, уз одређене губитке и велике инвестиције. Због тога је оправдано настојање да се што више природног гаса непосредно употребљава.

2. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРИРОДНОГ ГАСА

2.1 ХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРИРОДНОГ ГАСА

2.1.1 Састав природног гаса

Природни гас представља смешу, углавном угљоводоника. Главну компоненту чини метан, чији се садржај креће изнад 90% запреминских. Хомолози метана могу бити заступљени код богатијег природног гаса све до октана. Садржај течних угљоводоника опада са порастом њихових молекулских тежина.

Осим угљоводоника у природном гасу се налазе угљен-диоксид, сумпор-водоник, азот и ређе хелијум. Присуство хелијума је углавном мало за разлику од угљен-диоксида и сумпор-водоника чије учешће може прећи и 40%. У односу на тип лежишта из ког се експлоатише гас разликује се природни гас из гасних, из гасокондензатних и из нафтних лежишта. Гас из гасокондензатних и нафтних лежишта има већи садржај течних угљоводоника.

Постоји значајан број гасних лежишта из којих се производи гас који садржи сумпор-водоник са врло високим процентуалним уделом. Такав гас се на самим пољима посебно припрема, односно чисти од H_2S . Код испорука из оваквих поља уобичајено се контролише садржај H_2S у гасу како би се избегле његове штетне последице и правовремено реаговало у припреми гаса на гасним пољима.

Сумпор-водоник представља непожељну компоненту у природном гасу. Сумпор-водоник везан са водом ствара сумпорасту киселину, H_2SO_3 , која је јако корозивна. Сумпор-водоник је токсичан па тиме опасан по људе и околину. Код високих концентрација он се не може детектовати мирисом и може да буде опасан за људе (код концентрација већих од 1000 ppm). Максимална концентрација сумпорних једињења дозвољена у природном гасу, који се испоручује потрошачима, дефинисана је стандардима. На пример, максимална концентрација у гасу, уобичајеног састава, за коришћење у дистрибуцији је као што следи:

- H_2S не више од 5 mg S по m^3
- R-SH не више од 15 mg S по m^3
- укупан сумпор, S, не више од 150 mg S по m^3

У табели 2.1 приказан је хемијски састав гаса из различитих типова лежишта као пример илустрације разлика у саставу.

Табела 2.1 – Хемијски састав гаса из различитих типова лежишта [3]

Компоненте	Суви гас (мол %)	Влажни гас (мол %)	Гас из гасокондезатних лежишта (мол %)
метан	94,41	78,87	70,96
етан	1,44	6,61	8,21
пропан	0,34	3,32	3,37
i-бутан	0,07	0,71	0,76
n-бутан	0,10	1,32	1,61
i-пентан	0,04	0,57	0,77
n-пентан	0,64	0,60	0,54
хексан	0,04	0,92	1,47
хептан и виши угљоводоници	0,44	3,34	10,88
азот	0,30	1,79	0,88
угљен-диоксид	2,78	1,94	0,53
сумпорводоник	-	0,11	0,02
гасни фактор*	27600	2720	1140
*однос произведених m ³ гаса према произведеним m ³ течности			

Угљен-диоксид такође може да буде компонента природног гаса. Удео угљен-диоксида у природном гасу може да буде веома различит, зависно од количина које су садржане у лежишту гаса, од неколико делова једног процента па и до неколико процената.

Присуство угљен-диоксида у природном гасу у транспорту и дистрибуцији представља баласт, односно смањење транспортних и дистрибутивних капацитета и смањење топлотне моћи гаса.

Угљен-диоксид са водом гради киселину која изазива корозију:



Економија транспорта и дистрибуције као и захтеви хемијске индустрије, која користи гас као хемијску сировину, дефинишу дозвољени садржај угљен-диоксида у природном гасу. На гасним пољима се обавља одвајање угљен-диоксида из гаса у постројењима која могу бити намењена и за издвајање сумпор-водоника. Уколико се природни гас преводи у течно стање ради складиштења или даљег транспорта у течном стању онда природни гас не сме да има већи садржај од 1% угљен-диоксида.

Као илустрација хемијског састава природног гаса који иде у транспортну и дистрибутивну мрежу приказује следећи пример састава гаса у табели 2.2:

Табела 2.2 – Хемијски састав природног гаса који иде у транспортну и дистрибутивну мрежу [3]

Компонента	мол (%)
метан	94,59
етан	3,02
пропан	0,44
бутан	0,14
азот	1,00
угљен-диоксид	0,81

У уговору између испоручиоца и потрошача гаса дефинишу се сви елементи квалитета гаса и његове испоруке. Ови елементи обухватају: притисак испоруке, температуру гаса, тачку росе, присуство чврстих материја, присуство сумпора и угљен-диоксида, топлотну моћ и Вобеов број.

2.1.2 Садржај воде у природном гасу

Природни гас у контакту са слободном водом апсорбује водену пару. Количина воде која ће бити апсорбована зависи од притиска и температуре. До контакта са слободном водом природни гас долази у лежишту.

Уобичајено је коришћење тачке росе као параметра за исказивање садржаја воде у гасу. Тачку росишта дефинише температура на којој ће се водена пара, на датом притиску, почети да се издваја из гаса у виду росе, течне фазе. Она практично дефинише максималну засићеност гаса воденом паром на датим условима притиска и температуре.

Тачка росе је веома важна при конструкцији термичких постројења, нарочито котловских, јер је могуће да се температура излазних продуката сагоревања снизи до нешто изнад тачке росе и тиме постигне веома висок степен корисности постројења. То је могуће, јер у природном гасу нема сумпора и није могуће стварање сумпорних оксида а касније и киселине која би кородивно деловала на металне загревне површине.

Тачка росе се одређује лабораторијски, уз помоћ уређаја за одређивање тачке росе. Ових уређаја има више врста. Иначе садржај воде у гасу може да се одреди методом титрације са Карл-Фишеовим реагенсом.

2.1.3 Штетна својства природног гаса

Штетна својства природног гаса обухватају токсичност (која је присутна и зависна од састава гаса), својство образовања експлозивне смеше са ваздухом, запаљивост било варницом или другим извором ватре.

Чист метан и етан нису отровни, али при недостатку кисеоника у ваздуху изазивају гушење.

Значајан део природног гаса се производи из лежишта са високим садржајем сумпор-водоника. Сумпор-водоник је веома токсичан гас који узрокује брзу смрт при удисању високих концентрација. Чак и код малих концентрација настају иритирања очију, носа и грла.

Сумпор-водоник је запаљив гас, а у запреминским концентрацијама у ваздуху од 4,3% до 46% је експлозиван по запаљењу. Паре су теже од ваздуха и могу да оду доста далеко до извора паљења и доведу пламен назад у зону одакле су дошле.

Оваква опасност од сумпор-водоника је разлог да се на пољима где се врши производња гаса са садржајем сумпор-водоника обављају веома строге мере заштите. У транспорту и дистрибуцији када се користи гас из оваквих гасних поља (без обзира на чишћење гаса од H_2S на гасним пољима) врше се контроле, праћење удела H_2S у гасу како би се избегле штетне последице од неконтролисаног продора H_2S у гас.

Природни гас при мешању са кисеоником образује гориву смешу, која при појави извора топлоте (пламена, варнице, усијаних растопљених предмета) може да експлодира великом снагом. Температура запаљивости природних гасова је мања што је молекуларна маса већа. Снага експлозије је пропорционална притиску гаса и ваздуха.

Природни гас може да експлодира само у одређеним границама концентрације у смеси гаса и ваздуха од неке минималне (доња граница експлозивности) до неке максималне (горња граница експлозивности).

Доња граница експлозивности одговара таквом садржају гаса у смеси гаса и ваздуха, код кога даље смањење садржаја гаса чини смешу неексплозивном. Доња граница се карактерише количином гаса довољном за нормални процес сагоревања.

Горња граница експлозивности одговара таквом садржају гаса у смеси гаса и ваздуха, код кога даље повећање гаса не чини смешу експлозивном. Горња граница се карактерише садржајем ваздуха (кисеоника) недовољним за нормалан процес сагоревања.

Са повећањем притиска смеше значајно се повећавају границе експлозивности. Код присуства инертних гасова (азот и др.) границе запаљивости смеше такође расту. Сагоревање и експлозија су исти тип хемијских процеса, али се јако разликују по интензитету одвијања процеса реакција. При експлозији реакција у затвореном простору се (без додатка ваздуха на месту паљења смеше) одвија јако брзо. Брзина распрострањања детонацијског таласа сагоревања при експлозији је неколико пута већа од брзине звука у ваздуху при собној температури. Снага разарања је максимална када се садржај ваздуха у смеси приближава теоретској количини, теоретски потребној за потпуно сагоревање.

Доња граница запаљивости метана, на температури од 310,9 K и атмосферском притиску, у смеси са ваздухом је концентрација од 5%, а горња граница 15%. Етан је запаљив у концентрацијама од 2,9 до 13%, а пропан од 2,1 до 9,5% итд. [3]

Међутим, правилном применом и коришћењем свих прописаних стандарда у транспорту и употреби природног гаса, природни гас постаје један од најбезбеднијих и еколошки најприхватљивијих енергената.

2.2 ФИЗИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРИРОДНОГ ГАСА

2.2.1 Густина природног гаса

Дефинисање физичких карактеристика природног гаса се заснива на разматрању природног гаса као смеше гасова и као реалног гаса.

Густином природног гаса назива се маса јединице запремине. Она се за природни гас најчешће изражава у kg/m^3 . Запремина може да буде дефинисана на условима нормалним када је температура 0°C , односно стандардним када је температура 15°C при чему је у оба случаја притисак исти 101,325 kPa. Густина природног гаса може да буде апсолутна и релативна. [3]

Апсолутну густину природног гаса на стандардним условима може да се одреди на основу познавања запреминског односно моларног удела, компоненти у природном гасу и густине компоненти, коришћењем једначине:

$$\rho_{gs} = y_1 \cdot \rho_1 + y_2 \cdot \rho_2 + \dots + y_n \cdot \rho_n \quad (2.2)$$

где су:

y_i – запремински удео компоненте „i“ у гасу

ρ_i – густина компоненте „i“.

Густина природног гаса може да се одреди на основу познавања молекулске масе гаса према једначини:

$$\rho_{gs} = M_g / V_m \quad (2.3)$$

где су:

M_g - молекулска маса гаса

V_m - молекулска запремина гаса.

Пошто је запремина једног киломола на нормалним условима $22,415 \text{ m}^3$ а на стандардним условима $23,646 \text{ m}^3$ то се на бази познавања молекулске масе може одредити густина гаса на нормалним, односно стандардним условима. [3]

Густина гаса у другим условима притиска и температуре, а који нису стандардни, односно нормални, можс се одредити преко једначине стања.

$$p \cdot V = N \cdot Z \cdot R_u \cdot T \quad (2.4)$$

Увођењем у једначину за број молова израз:

$$N = m_g / M_g \quad (2.5)$$

где су:

m_g - маса гаса (kg)

M_g - молекулска маса гаса (kg/kmol)

једначина густине добија облик:

$$\rho_g = m_g / V = P \cdot M_g / Z \cdot R_u \cdot T = P \cdot M_g / 8314 \cdot Z \cdot T \quad (2.6)$$

где су:

ρ_g - густина гаса у условима P и T

P - притисак (Pa)

V - запремина гаса (m³)

N - број молова у запремини V

R_u - универзална гасна константа (8314 J/kmolK)

T - температура (K)

Z - фактор компресибилности (стишљивости).

Релативна густина представља однос густине гаса према густини ваздуха. Ова густина налази примену у многим технолошким прорачунима, а израчунава се преко једначине:

$$\rho_r = \rho_{gs} / \rho_{vs} \quad ; \quad \rho_r = M_g / M_v = M_g / 28,96 \quad (2.7; 2.8)$$

где су:

ρ_r - релативна густина гаса

ρ_{gs} - густина гаса на стандардним, односно нормалним условима

ρ_{vs} - густина ваздуха на стандардним условима, односно нормалним условима

M_v - молекулска маса ваздуха ($M_v = 28,96$ kg/kmol) на нормалним условима. [3]

2.2.2 Вискозност природног гаса

Разликују се динамичка и кинематска вискозност. Динамичка вискозност μ или апсолутна вискозност је мера отпора флуида према течењу. Дефинише се као однос примењеног напрезања на смицање и градијента брзине смицања. Јединица за динамичку вискозност је Паскал секунда (Pa·s).

Кинематска вискозност ν је дефинисана односом динамичке вискозности и густине. Јединица за кинематску вискозност је квадратни метар у секунди (m²/s).

Квадратни метар у секунди је изведена јединица и једнака је кинематској вискозности хомогеног флуида који има динамичку вискозност $1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, а густину 1 kg/m^3 .

Вискозност гасова се понаша у односу на температуру супротно вискозности течности. Вискозност гасова са порастом температуре расте, а са порастом молекулске масе опада.

2.2.3 Критична температура, критични притисак и запремина

Критичном температуром назива се она температура, изнад које гас под дејством притиска било које величине не може да буде преведен у течно стање.

Критичан притисак представља притисак неопходан за превођење гаса у течно стање на критичној температури.

Критичном запремином назива се запремина једног мола гаса на критичном притиску и критичној температури. Како природни гас представља смешу то се вредности критичних параметара утврђују експериментално, јер је ретко наћи у природи две исте смеше, односно природне гасове истог састава. За технолошке прорачуне се користе вредности добијене осредњавањем критичних параметара компоненти. Тако израчунате вредности називају се привиднокритичним. Оне се израчунавају применом једначина адитивности, тј. преко једначина:

$$P_{pk} = \sum Y_i \cdot P_{ki} \quad (2.9)$$

$$T_{pk} = \sum Y_i \cdot T_{ki} \quad (2.10)$$

$$V_{pk} = \sum Y_i \cdot V_{ki} \quad (2.11)$$

где су:

P_{pk} - привидно критични притисак смеше (kPa)

P_{ki} - критични притисак компоненте (kPa)

Y_i - запремински удео компоненте у гасу (у деловима јединице)

T_{pki} - привидно критична температура смеше (K)

T_{ki} - критична температура компоненте (K)

V_{pk} - привидно критична специфична запремина смеше (m^3/kg)

V_{ki} - критична специфична запремина компоненте (m^3/kg).

2.3 ТЕРМОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРИРОДНОГ ГАСА

2.3.1 Топлотна моћ природног гаса

Топлота која се добија при потпуном сагоревању јединице горива (1 kg , 1 m^3) назива се топлотна моћ горива. То је она количина топлоте која се ослобађа при потпуном сагоревању јединице масе горива, када су сви услови пре и после сагоревања исти (нпр. $p=1.01325 \text{ bar}$ и $t=0^\circ\text{C}$).

Основни податак који је важан је количина топлоте која се добија сагоревањем, што се исказује топлотном моћи горива. При томе се разликују горња и доња топлотна моћ.

Горња топлотна моћ (H_g) је она количина топлоте која настаје потпуним сагоревањем јединице количине горива, при чему се димни гасови охладе на температуру од 25°C , а водена пара се из ње издвоји као кондензат. Горња топлотна моћ најтачније се одређује мерењем.

Доња топлотна моћ (H_d) је она количина топлоте која настаје потпуним сагоревањем јединице количине горива, при чему се димни гасови охладе на температуру од 25°C , а водена пара у њима остаје у парном стању па топлота кондензације остаје неискоришћена. Доња топлотна моћ одређује се рачунски из горње.

Топлотна моћ природног гаса одређује се мерењем, помоћу уређаја за мерење топлотне моћи, као и израчунавањем. Код ових уређаја се узорак континуално узима из гасовода и уводи у уређај на сагоревање. Сагоревање се одвија у затвореном простору а унутар измењивача топлоте. Овај простор за сагоревање је затворен са горње и са бочних страна тако да продукти сагоревања морају да излазе кроз доњу страну. Водена пара, производ сагоревања, се хлади на путу, кретањем на ниже, при чему долази до њене кондензације. Топлота ослобођена приликом кондензације паре предаје се измењивачу топлоте као нето топлота сагоревања. Тако измењивач топлоте прихвата и преноси на своју спољну страну укупну топлоту сагоревања. Са спољне стране измењивача топлоте струји ваздух у контролисаним количинама и он преузима топлоту са измењивача топлоте. Овај ваздух пролази кроз мерач, пре улаза, као и поред термометра, потом преко измењивача топлоте и излазног термометра на излазу. Ово даје пораст температуре специфичне јединице ваздуха што значи да број топлотних јединица које су произвеле повећање температуре може да се израчуна. Гас који је сагорео је испоручен преко мерача протока, пошто се установи број топлотних јединица добијених од пламена, израчунава се број топлотних јединица по m^3 . Уређај иначе располаже посебним системом за контролу ваздуха потребног за сагоревање.

Други уређај по распрострањености примене представља уређај који одређује топлотну моћ на бази хроматографске анализе. Уређај се састоји од хроматографа, који даје хемијски састав гаса и од рачунара који израчунава топлотну моћ. Рачунар се обично користи за израчунавање квантитативног састава гаса и за израчунавање топлотне моћи.

Уколико се познаје хемијски састав природног гаса онда се топлотна моћ (kJ/m^3) израчунава преко једначине:

$$H_d = 25,7H_2 + 30,2CO + 85,5CH_4 + 152,3 C_2H_6 + 218C_3H_8 + 283,4C_4H_{10} + 348,9C_5H_{12} \quad (2.12)$$

Доња топлотна моћ природног гаса у Србији је 33,338 MJ/m³, на притиску од 1,01325 bar и температури од 15 °C. [4]

2.3.2 Специфични топлотни капацитет природног гаса

Специфични топлотни капацитет представља ону количину топлоте која је потребна да се јединица количине неког тела загреје за 1°C (или 1K) . Ако је јединица количине неког тела 1 kg тада је масена специфична топлота c (J/kgK): за 1 m³ добија се запреминска специфична топлота c' (J/m³K); за мол добија се молска специфична топлота C (J/molK).

На основу следећих израза познавајући вредност ρ могућ је прелаз од масеног на запремински специфични капацитет и обратно:

$$c' = c \cdot \rho'; \quad c = C/M_g; \quad c' = C/M_v \quad (2.13; 2.14; 2.15)$$

где су:

M_g - молекулска маса (kg)

M_v - запремина једног мола (m³)

за нормалне услове $M_v = 22,4$ (m³) па је:

$$c' = C/22,4 \quad (2.16)$$

Специфични топлотни капацитет за гасовита тела може да се дефинише при сталној запремини или при сталном притиску, те се отуда разликује специфични топлотни капацитет при сталној запремини C_v и специфични топлотни капацитети при сталном притиску C_p . Однос између ова два специфична топлотна капацитета даје Мајерова једначина, где су C_p и C_v дати у J/molK.

$$C_p = C_v + R_u \quad (2.17)$$

Специфични топлотни капацитети c_p и c_v имају димензију J/m³K. Оне се за природни гас израчунавају на бази специфичних топлотних капацитета за компоненте и једначина:

$$C_{vg} = \sum g_i \cdot C_{vi} \quad (2.18)$$

$$C_{pg} = \sum g_i \cdot C_{pi} \quad (2.19)$$

где је:

g_i – масени удео компоненте у смеси.

Однос специфичних топлотних капацитета $c_p/c_v = \chi$ представља експонент изентропе.

2.3.3 Џул-Томсонов ефекат

Приликом експанзије реалних гасова долази до снижења температуре гаса. Ово снижење температуре зависи од температуре гаса, притиска и састава гаса. Ову појаву су посматрали Џул и Томсон и према њима се снижење температуре гаса при снижењу притиска назива Џул-Томсон ефекат. Он се иначе изражава једначином:

$$\mu = \left(\frac{\delta T}{\delta P} \right)_i = \text{const} \quad (2.20)$$

Ова једначина означава промену температуре са променом притисака при константној енталпији.

Има више начина за израчунавање промене температуре гаса са променом притиска. Помоћу опште једначине стања Ван дер Валса и термодинамичке формуле за диференцијални пад притисака ($\delta T / \delta P$) код константне енталпије. Интегрални пад температуре Δt се за одређену разлику притиска израчунава помоћу једначине, која се мање-више задовољавајуће слаже са измереним (стварним) вредностима.

$$t_1 - t_2 = \left((P_1^2 / 1,03911 \cdot 10^6) \cdot (28 - 2,85 \sqrt{t_1}) + 0,486 - (2270 / 10^6 t_1) \cdot (P_1 \cdot P_2) \right) \quad (2.21)$$

где су:

t_1 и t_2 - температуре на почетку и крају експанзије ($^{\circ}\text{C}$)

p_1 и p_2 - притисци пре и после експанзије (bar)

Одступање измерених вредности од израчунатих на овај начин је испод $\pm 7\%$.

Други начин изналажења пада температуре приликом експанзије гаса је коришћење Молиеровог дијаграма за гас. При томе се полази од претпоставке да се код експанзије енталпија гаса не мења.

2.3.4 Вобеов број

Вобеов број (индекс) је показатељ топлотног оптерећења горионика и изменљивости гасовитих горива. Представља веома важан параметар у одређивању његове ефикасности рада. Вобеов број представља однос горње топлотне моћи и квадратног корена релативне густине гаса. При константном притиску Вобеов број је пропорционалан топлоти ослобођеној на ушћу горионика. Вобеов број исказује једначина:

$$W_o = H_g / \sqrt{\rho_r} \quad ; \quad \rho_r = \rho_{\text{gor}} / \rho_{\text{vaz}} \quad (2.22; 2.23)$$

Вобеов број има димензију (kJ/m^3). Овај параметар пружа могућност упоређења различитих гасова на истом трошилу. Наиме, гасови различитог састава, а истог Вобеовог броја стварају једнако топлотно оптерећење, па могу сагоревати, нпр. на истом горионику без промене млазница. Ако се жели прећи са једног гасног горива

на друго (нпр. са градског гаса на природни гас) користи се Вобеов број да би се утврдио нови пречник млазнице и притисак гаса испред горионика, и то:

$$D_2 = D_1 \cdot (W_{O1}/W_{O2}) \quad ; \quad P_2 = P_1 \cdot (W_{O2}/W_{O1})^2 \quad (2.24; 2.25)$$

Остала својства гаса, на пример брзина ширења пламена нису обухваћени у Вобеовом броју. Вобеов број може да се одреди на основу познавања хемијског састава гаса. Познавањем компоненталног састава гаса и запреминског удела сваке компоненте у гасу може да се израчуна горња топлотна моћ гаса и релативна густина гаса. Са ова два податка може да се израчуна и Вобеов број на основу горе изнете једначине.

Вобеов број може да се директно одреди мерачем. Принцип рада овог мерача се састоји у сагоревању одређене количине гаса, хлађењу ваздухом производа сагоревања мешањем у измењивачу топлоте и одређивању разлике температуре између охлађених производа сагоревања и ваздуха за хлађење.

2.4 ПРИПРЕМА ПРИРОДНОГ ГАСА ЗА КОРИШЋЕЊЕ

Природни гас који долази из бушотина садржи одређене количине воде (у виду водене паре и слободне воде), одређене количине тежих угљоводоника (у виду кондензата и у гасном стању) и у појединим случајевима и штетне компоненте, као што су H_2S , CO_2 , N_2 , Hg и чврсте честице.

Припрема природног гаса подразумева подвргавање гаса одређеним технолошким процесима у циљу испуњавања захтева које гас мора да задовољи код коришћења. Гас који се доставља потрошачима мора да задовољи спецификацију за комерцијалну дистрибуцију где су укључени: тачка росе, топлотна моћ, чистоћа и притисак са којим се испоручује. Уколико се ради о гасу који се шаље на даљу прераду (издвајање етана, пропана, бутана и др.) онда се захтев у погледу припреме гаса састоји у обезбеђењу услова за транспорт до тог постројења.

Испуњавање тражених захтева у погледу припреме гаса спроводи се подвргавањем гаса процесима сепарације:

- дехидрације,
- издвајања течних угљоводоника,
- издвајања штетних компоненти и
- компримовању.

Основу у конципирању технологије припреме гаса представља хемијски састав гаса, његово понашање зависно од промене притиска и температуре, захтев у погледу квалитета припреме и карактеристике расположивих процеса припреме, односно

постројења помоћу којих могу да се испуне одређени захтеви у погледу квалитета припреме.

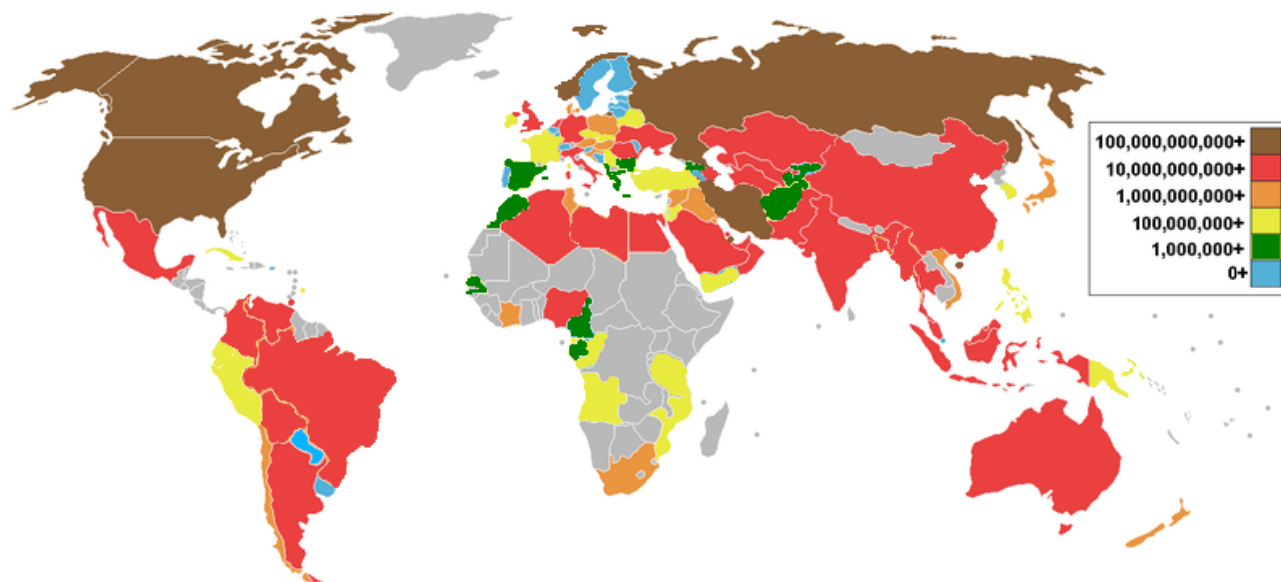
2.5 СВЕТСКА ПРОИЗВОДЊА И РЕЗЕРВЕ ПРИРОДНОГ ГАСА

Највеће резерве природног гаса налазе се у Русији, Блиском истоку и Северној Америци (слика 2.1). Русија је уједно и највећи светски произвођач природног гаса. У Европи се углавном користи руски гас, тако да је цела Европа зависна од количина природног гаса који испоручује Русија. У табели 2.3 дат је приказ десет највећих произвођача и десет земаља са највећим резервама природног гаса у свету.

Табела 2.3 - Светске резерве и највећи произвођачи природног гаса [5]

РЕЗЕРВЕ			ПРОИЗВОДЊА		
#	ЗЕМЉА	РЕЗЕРВЕ ГАСА ($10^{12} \cdot \text{m}^3$)	#	ЗЕМЉА	ГОДИШЊА ПРОИЗВОДЊА ГАСА ($10^9 \cdot \text{m}^3$)
1	Русија	55	1	Русија	647
2	Иран	33,5	2	САД	619
3	Туркменистан	26,2	3	ЕУ	182,3
4	Катар	25,47	4	Канада	152,3
5	САД	7,716	5	Иран	138,5
6	Саудијска Арабија	7,461	6	Катар	116,7
7	Азербејџан	6,071	7	Норвешка	106,3
8	Венецуела	5,524	8	Кина	102,5
9	Нигерија	5,246	9	Холандија	85,17
10	Алжир	4,502	10	Алжир	85,14
66	Србија	0,04814	70	Србија	0,356
*	УКУПНО СВЕТ	300	*	УКУПНО СВЕТ	3177

Процењене резерве природног гаса за Србију износе 48,140,000,000 m³, што је 0,03 % светских резерви природног гаса. Годишња производња природног гаса Србије је 356 милиона, што није довољно за сопствене потребе, па увози гас из Русије.



Слика 2.1 – Производња природног гаса по државама [5]

3. САГОРЕВАЊЕ ПРИРОДНОГ ГАСА

Сагоревање представља сложен физичко-хемијски процес сједињавања горива са кисеоником (оксидансом) уз интензивно ослобађање топлоте.

Сагоревање је сложен процес у коме се преображај горива одвија кроз низ међупроцеса, који се одвијају кроз различите типове физичких процеса и хемијских реакција које могу бити повратне, узастопне, паралелне, ланчане и сл. Кроз процес сагоревања се потенцијална енергија горива и оксиданса трансформише у топлотну енергију продуката сагоревања. Као резултат процеса сагоревања, у општем случају, настају оксиди и несагорели остатак са одговарајућим садржајима топлоте.

Крајњи производ процеса сагоревања представљају продукти сагоревања, који могу да се одреде веома једноставним једначинама хемизма сагоревања. Оне приказују коначно стање продуката сагоревања.

Приликом процеса сагоревања се, међутим, одвијају веома сложене хемијске реакције које одступају од поменутих једначина хемизма сагоревања, различитих брзина сагоревања зависних од читавог низа фактора као на пример: концентрације горивне материје, енергије активације, притиска при којем се одвија реакција, температуре процеса сагорсвања, итд.

3.1 СТАТИКА САГОРЕВАЊА

Статика сагоревања се бави проучавањем крајњих продуката насталих при процесу сагоревања. Сагоревање може бити потпуно и нептпуно.

Продукти потпуног сагоревања горива представљају следећи гасови:

- CO_2 - настао сагоревањем угљеника из горива,
- H_2O - настала сагоревањем водоника из горива,
- SO_2 - настао сагоревањем сумпора из горива (уколико га има),
- N_2 - део азота из ваздуха који се користи у процесу сагоревања и део азота из горива,
- O_2 - део кисеоника из ваздуха који се користи у процесу сагоревања и део кисеоника из горива.

Док угљен-диоксид, водена пара (односно вода) и сумпордиоксид представљају праве продукте сагоревања настале од горивих компоненти горива, азот и кисеоник чине условне продукте сагоревања.

Непотпуно сагоревање настаје у случају недовољно потребне количине ваздуха. За потпуно сагоревање недовољно припремљеног горива за сагоревање или кратког задржавања горива у ложишту, тако да се при непотпуном сагоревању, поред

продуката потпуног сагоревања, налазе и делови горивих компоненти. Продукти непотпуног сагоревања су:

- CO - настао непотпуним сагоревањем угљеника из горива,
- C_mH_n - несагорели угљоводоници,
- H_2 - водоник, и
- C - угљеник у чађи.

Теоријски посматрано, сагоревање ће бити увек потпуно ако је количина кисеоника доведена у процес већа или најмање једнака минимално потребној количини кисеоника за потпуно сагоревање, и обрнуто: сагоревање ће бити увек непотпуно, ако је количина кисеоника који учествује у процесу сагоревања мања од минимално потребне. Потпуним сагоревањем добија се укупна, максимална количина топлоте, садржана у гориву, док при непотпуну постоје увек одређени губици.

Процес сагоревања може да буде савршен или несавршен. И поред обезбеђења довољне количине кисеоника за потпуно сагоревање, па чак и веће од минимално потребне, у продуктима сагоревања могу да се нађу непотпуно сагореле компоненте услед несавршеног процеса сагоревања.

Сагоревање природног гаса је хомогено, јер се одвија у једној, гасној, фази.

Да би могле да се одреде потребне количине кисеоника, односно ваздуха потребног за сагоревања, као и количине насталих продуката сагоревања, неопходно је познавати Авогадров закон, према коме се у простору одређене запремине при истом притиску и температури налази увек исти број молекула идеалног гаса. Из овог закона произилази да маса идеалних гасова одговара њиховим молекуларним масама. Овај закон представља основ за разумевање стехиометријских једначина, помоћу којих се одређују количина ваздуха потребна за потпуно сагоревање горивих елемената и настале количине продуката сагоревања.

При пројектовању било ког топлотног уређаја, избора опреме за њега, његовог испитивања, контроле и оцене, потребно је извршити одговарајући прорачун. Величине које се том приликом користе су: потребна количина ваздуха, односно кисеоника, за потпуно сагоревање, количина и састав продуката сагоревања и температура сагоревања.

При пројектовању и избору опреме, прорачун процеса сагоревања врши се на основу познатих основних података о гориву - елементарна и техничка анализа горива и података стехиометријских једначина сагоревања, уз коришћење постојећих сазнања и искустава.

При испитивању, оцени и контроли уређаја, прорачун процеса сагоревања врши се на основу измереног састава продуката сагоревања.

На бази познатог састава горива израчунавају се минимално потребе количине кисеоника, односно ваздуха, стварно потребна количина ваздуха, количина и састав продуката сагоревања и температуре сагоревања.

3.1.1 Сагоревање метана

Природни гас преко 90% чини метан, стога ће се посматрати сагоревање метана.

Метан сагорева по једначини:



Тако да се као продукт сагоревања добија угљен-диоксид и водена пара. И један и други гас код високих температура зраче у ултраљубичастом делу спектра, тако да је пламен сагоревања метана невидљив. Како су носиоци видљивог дела зрачења чврста тела, односно у овом случају угљенични скелети, потребно је омогућити њихово стварање. Ово се омогућава термичком дисоцијацијом угљоводоника т.ј. распадањем угљоводоника на водоник и угљеник по следећој шеми:



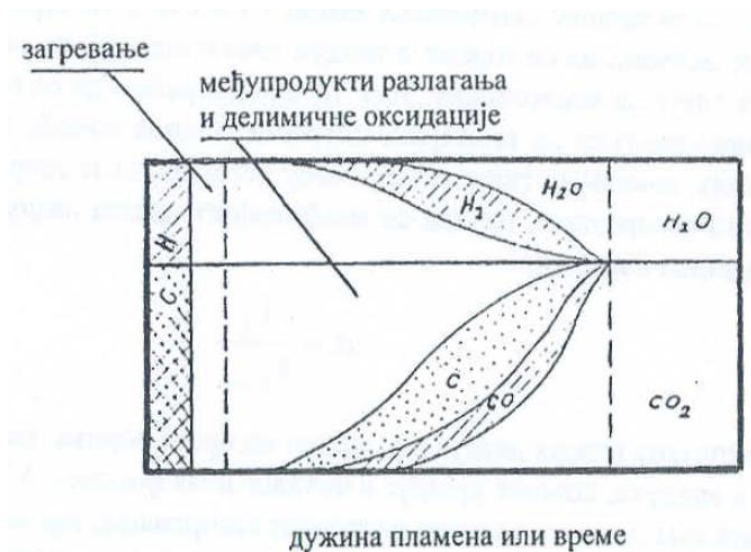
Издвојен угљеник у зависности од температуре сагоревања и од времена сагоревања претвара се или у чађ и даје само црвени пламен или ствара угљенични скелет, који у даљем сагоревању даје светлећи пламен. На овај начин гас који садржи угљенични скелет даје пламену карактеристику континуалног спектра, па је и зрачење, односно прелаз топлоте зрачењем већи.

При загревању метана, уз недостатак кисеоника из ваздуха, у пламену се променљиво врше разградње и повезивања. Тако се CH_4 најпре разграђује у CH_3 - радикал, уз издвајање водоника. Овај се радикал полимеризује у етан, који се распада уз даље издвајање водоника, преко етилена у ацетилен. Ванредно кратко постојани ацетилен полимеризује се у бензол из кога се изграђује цео низ течних и чврстих угљоводоника, који су на високим температурама образовања у парном стању. Изградња ових виших угљоводоника одиграва се у минималним делићима секунде и претежно иде у правцу ароматских, т.ј. прстенастих угљоводоника.





При даљем порасту температуре долази до издвајања чврстог угљеника. Молекули угљоводоника издвајају водоничне атоме, који се у одсуству кисеоника кондензују у H_2 , или при променљивом доводу ваздуха, преко ланчаних реакција са високим топлотним ефектима, сагоревају у водену пару. Остали молекули се повезују и образују теже угљоводонике. Ови нови молекули издвајају поново водоникове атоме, и то уз истовремено нагомилавање остатака молекула. Тако се постепено водоник одваја и делимично сагорева, за време образовања виших молекула, док коначно као крајњи резултат не преостану угљенични скелети. Из ових угљеничких скелета, најпре гасовитих, сублимишу чврсти делићи угљеника, који се састоје из угљеничких молекула C_2 . Уколико су ниже температуре пламена, утолико честице угљеника добијају пахуљаст облик и величину, која се означава као чађ. Процес разлагања и сагоревања метана у току његовог кретања кроз ложиште упрошћено је приказано на слици 3.1.



Слика 3.1 – Шематски приказ сагоревања метана [3]

За сагоревање чврстих честица угљеника насталих у пламену, неопходна је извесна количина водоника, да би се добила највећа могућа температура како би се добила што већа светлина пламена а тиме веће зрачење пламена.

Брзина мешања гаса и ваздуха је од велике важности за правилно сагоревање. Она ни у ком случају не сме да буде мала, јер се тада гас пре сагоревања загрева због топлотног зрачења из околине или због топлотног провођења кроз гасне слојеве.

Брзина ваздуха који улази, одређује се при конструкцији горионика и зависи од очекиваног протока.

3.2 ВРСТЕ ГОРИОНИКА ЗА САГОРЕВАЊЕ ПРИРОДНОГ ГАСА

Класификација горионика може да буде на основу разних принципа:

- по тоplotној моћи,
- по притиску гаса
- по начину довођења ваздуха.

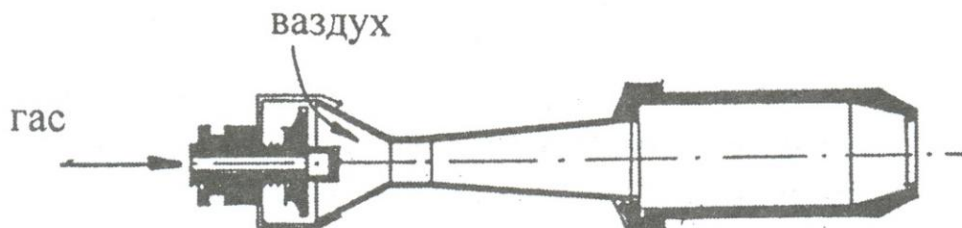
Најчешћа класификација горионика је по начину образовања гориве смеше која служи за сагоревање, и то на три основне групе:

- горионике без претходног мешања гаса и ваздуха,
- горионике са делимичним претходним мешањем гаса и ваздуха,
- горионике са претходним мешањем гаса и ваздуха.

Сагоревање природног гаса омогућава се у низу ових врста горионика који уводе гас и ваздух за сагоревање у ложишни простор. Од начина увођења природног гаса и ваздуха у ложишни простор горионици по врсти пламена могу да буду дифузиони са светлећим жутим пламеном или кинетички (инјекторски) са плавим пламеном.

Код дифузионих горионика природни гас и ваздух се одвојено уводе у ложишни простор у коме настаје постепено мешање, разлагање и сагоревање. Истицање гаса и ваздуха може да буде ламинарно и турбулентно те настаје спорије или брже мешање. На додирној површини гаса и ваздуха врши се сагоревање, створена топлота омогућава даље разлагање честица у гасној струји пре њиховог потпуног мешања са ваздухом. Дифузиони пламен има висок степен црноће, ефикасно зрачи топлоту и знатно је дужи од кинетичког за исту потрошњу гаса. Преимућство дифузионих горионика је одсуство опасности од откидања пламена, могућност рада без вентилаторског удувавања ваздуха и при ниским притисцима гаса и једноставна конструкција. Недостатак је неопходност извесног повећања коефицијента вишка ваздуха у односу на кинетичке горионике и мање тоplotно оптерећење ложишног простора.

Код инјекторских горионика (слика 3.1) природни гас се претходно помеша са ваздухом за сагоревање. Ово кинетичко сагоревање при којем је пламен скоро безбојан, плавичаст, несветлећи, кратак и оштар. Код оваквог сагоревања температура пламена се приближава теоријској температури сагоревања. Овакви кинетички горионици се уграђују у постројења где није неопходно ефикасно преношење топлоте зрачењем. Поред тога, због претходног мешања, не могу да раде са предгрејаним ваздухом температуре изнад 600°C, јер се јавља опасност паљења гаса у телу горионика.



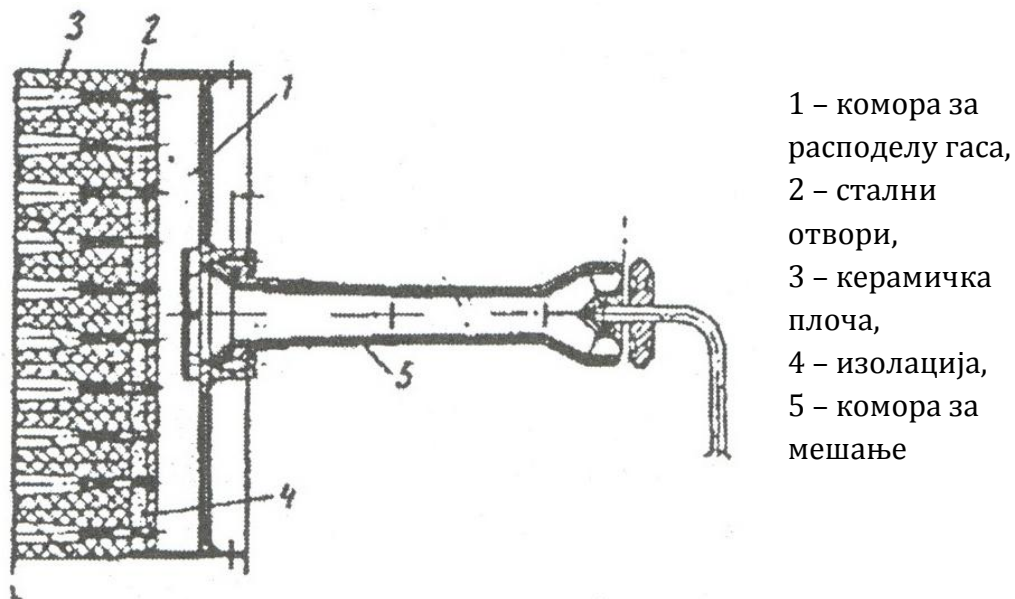
Слика 3.1 – Инјекторски горионик [3]

Ове две основне врсте горионика имају своја разна извођења у зависности од начина довода ваздуха, према радном притиску и где се примењују. У даљем тексту навешћемо неке од тих извођења.

Атмосферски горионици су први дифузиони горионици једноставне конструкције, која је прилагодљива облику ложишта, бешумни су у раду, без покретних делова, релативно јефтини и не захтевају посебно одржавање. Снага им је од 4 до 100kW. Код њих се ваздух усисава унутар горионика на рачун енергије струје гаса, који долази из једне или више млазница. Гас и ваздух се мешају у горионику и из његовог отвора у ложиште улази мешавина гаса и ваздуха.

Радни притисци на којима раде атмосферски горионици зависе од снаге коју треба да обезбеде. За мање снаге потребни су нижи притисци а за веће виши. Ниски притисци су од 20 до 40 mbar, средњи од 200 до 500 mbar а високи 1 bar. [3]

Инјекторске горионике могуће је градити и са већим бројем млазница, односно према потребној снази. На слици 3.2 приказан је један инјекторски горионик са више млазница:

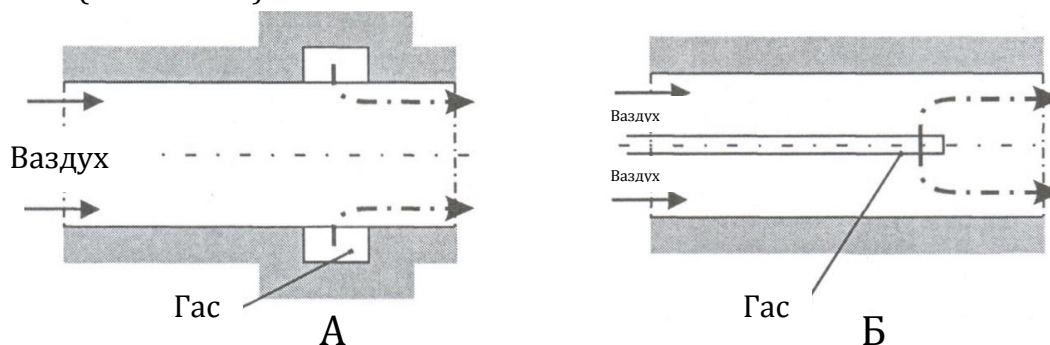


Слика 3.2 – Инјекторски горионик са више млазница [3]

Горионици средњег притиска способни су да обезбеде сав ваздух неопходан за потпуно сагоревање гаса, а горионици ниског притиска, као по правилу, обезбеђују само одређени део ваздуха који се назива примарни. Остали део потребног ваздуха улази у зону сагоревања из ложишта на рачун смањења притиска у њему и он се назива секундарни.

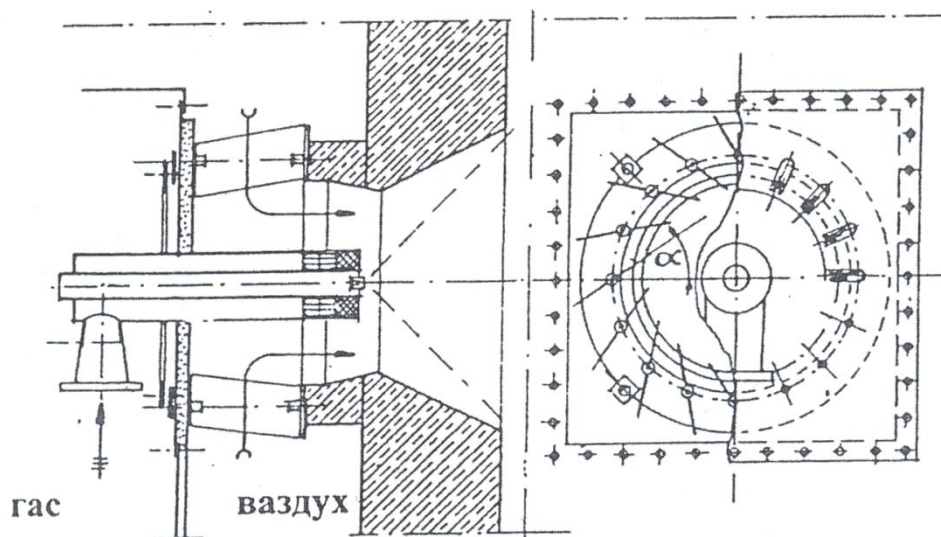
Инјекторски горионици имају предност у томе што немају потребе за електричном енергијом за сопствени погон вентилатора за довод ваздуха, аутоматско одржавање и одређивање опсега топлотне снаге горионика рачунајући узајамни однос количине гаса и инјектираног ваздуха, добро мешање гаса и ваздуха. Недостаци су му у брзом порасту димензија са повећањем топлотне снаге, ограничене могућности регулације при малим вишковима ваздуха и висок ниво буке при коришћењу гаса средњег и високог притиска.

Горионици без претходног мешања гаса са ваздухом употребљавају се, у средњим и великим постројењима у којима се сагоревају веће количине гаса. Предност ове групе горионика је у томе што може да се постигне, у случају потребе, и светлећи пламен уколико гас садржи веће количине угљоводоника. Дијапазон регулације је велики и не постоји опасност да се пламен увуче у горионик. Недостаци ове врсте горионика су углавном следећи: прилично висок губитак услед хемијски непотпуног сагоревања при вишку ваздуха $\alpha = 1,1 - 1,15$ [3] и неопходност регулисања односа гаса и ваздуха скупим пропорционалним регулаторима. Код ове групе горионика гас се у струји ваздуха може да доводи периферно (слика 3.3-А) или централно (слика 3.3-Б).



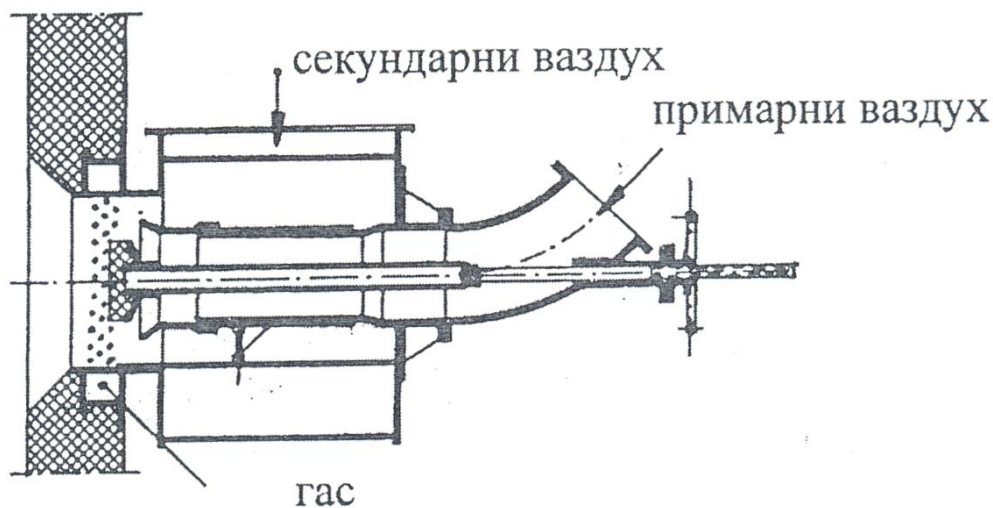
Слика 3.3 – Шематски приказ довода гаса у горионик
А – периферни довод гаса, Б – централни довод гаса [3]

Горионик са централним доводом гаса (слика 3.4) конструисан је тако да гас улази у централну цев и кроз процепе, који су заштићени шамотним диском, улази у ваздушни вртлог, који се уграђеним лопатицама може регулисати њиховим већим или мањим скретањем. Код ових горионика у централној се цеви лако може да угради и горионик за течено гориво и да заједно чине комбинован гас-лож-уље горионик.



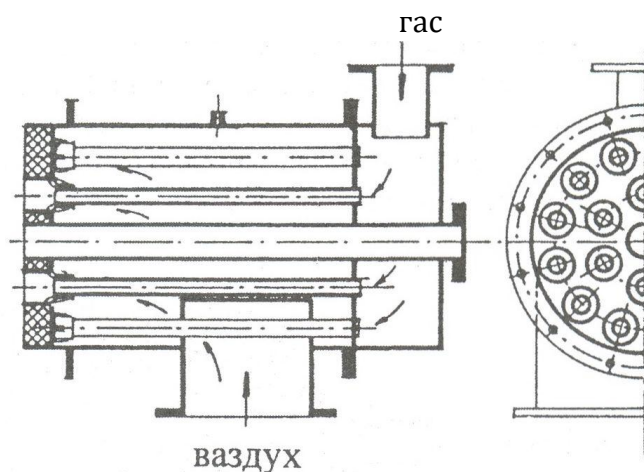
Слика 3.4 – Горионик са централним доводом гаса [3]

Горионици са периферним доводом гаса (слика 3.5) најчешће се конструишу као комбиновани, односно предвиђени су за више врста различитих горива. Гас се налази под притиском $p \geq 0,1$ bar и излази кроз отворе торуса који се налази у ушћу горионика. Отвори су пречника око 7 mm а гас излази брзином од око 100 m/s. Овај тип горионика омогућава сагоревање уз већи вишак ваздуха ($\alpha = 1,1 - 1,15$), при чему се губитак услед хемијски непотпуног сагоревања креће у границама 0,3 – 0,5%. [3]



Слика 3.5 – Горионик са периферним доводом гаса [3]

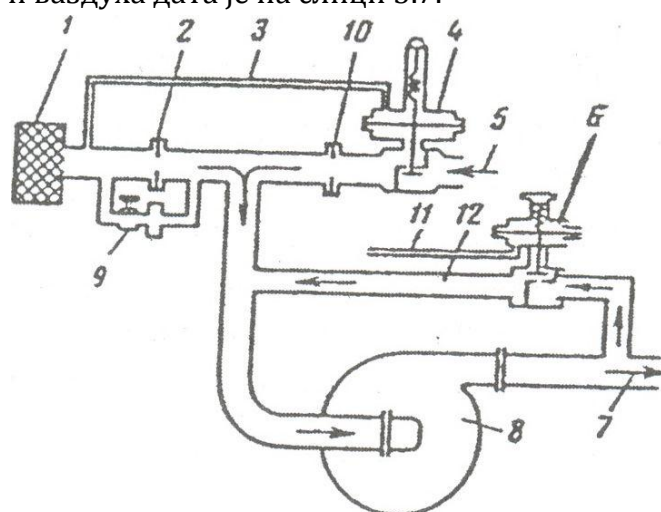
Горионици са делимичним претходним мешањем гаса и ваздуха (слика 3.6) инјекторским дејством усисавају свега од 40 - 50% ваздуха потребног за сагоревање, док се преостали ваздух доводи пламену дифузијом. На следећој слици приказан је горионик који примарни ваздух ејекторски усисава из атмосфере, док се секундарни ваздух, потребан за потпуно сагоревање, усисава по обиму ушћа горионика.



Слика 3.6 – Горионик са делимичним претходним мешањем гаса

Ова врста горионика се најчешће употребљава код котлова за централно грејање, док се ретко употребљава у индустријским постројењима.

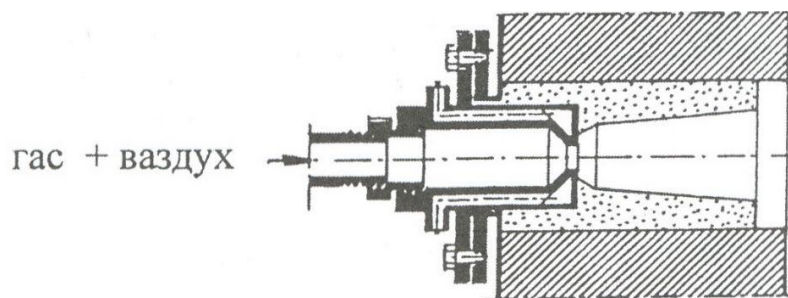
У горионцима са претходним мешањем гаса и ваздуха сагорева смеша која се припрема у специјалним уређајима. Принципијелна шема постројења за мешање гаса и ваздуха дата је на слици 3.7.



1. филтер за ваздух
2. бленда за ваздух
3. импулсни вод
4. регулатор притиска гаса
5. довод гаса
6. регулатор притиска смеше гас-ваздух
7. цевовод смеше гас-ваздух
8. вентилатор смеше гас-ваздух
9. обилазни вод ваздуха
10. бленда за гас
11. импулсни вод потрошача
12. обилазни вод смеше гас-ваздух

Слика 3.7 – Шема механичког мешања гаса и ваздуха [3]

Горионици са претходним мешањем гаса и ваздуха (слика 3.8) могу се примењивати само код јединица мањих капацитета. Предност ове групе горионика је у томе што се сагоревање врши без пламена, услед чега може да се усвоји мање ложиште. Сагоревање се врши са малим коефицијентом вишка ваздуха ($\alpha=1,02 - 1,08$) [3]. Основни недостатак овог горионика је немогућност предгревања ваздуха до температуре паљења.

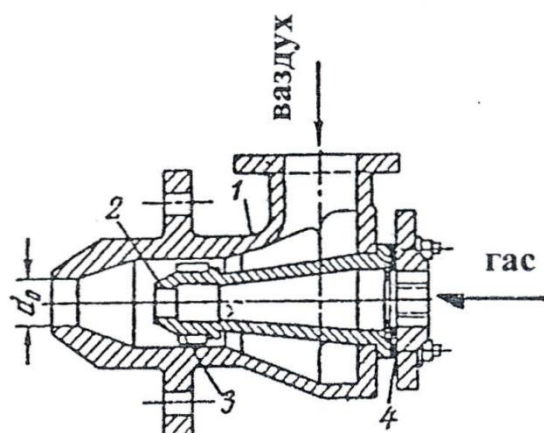


Слика 3.8 – Горионик са претходним мешањем гаса и ваздуха

Горионцима са принудним снабдевањем ваздуха се доводи се онолика количина ваздуха која је потребна за потпуно сагоревање гаса. Ако су то горионици без претходног мешања, гас и ваздух улазе у зону сагоревања посебно, и мешање настаје на отвору горионика или ложишта истовремено са сагоревањем. Код горионика са принудним снабдевањем ваздуха и претходним мешањем могуће је да се обезбеди унапред жељени квалитет припремљене смеше пре изласка на отвор горионика или ложишта.

Код многих горионика ваздух долази на место мешања са гасом усмереном струјом. Најчешће се срећу усмерна кола, усмеравајући уређај са лопатицама које могу имати константан или регулишући угао, спирални облик тела горионика или тангенцијално убацавање ваздуха у цилиндрично тело горионика. На ове се начине врши интензивирање поступка мешања гаса и ваздуха, одређује дужина пламена и врши регулација. Ове врсте горионика могу се прилагодити разним погонским захтевима.

За сагоревање генераторског, мешаног, коксног и природног гаса, често се користи и турбулентни горионик (слика 3.9) који својом конструкцијом обезбеђује изванредно мешање гаса и ваздуха. На следећој слици приказан је један такав горионик:



- 1 – тело горионика;
- 2 – млазнице за гас;
- 3 – вихорне лопатике;
- 4 – пригушивач гаса

Слика 3.9 – Турбулентни горионик [3]

Код горионика са принудним снабдевањем ваздухом или како се још називају надпритисни горионици, притисак који обезбеђује вентилатор мора да буде довољан да обезбеди сагоревање гаса уз истовремено савлађивање отпора гасног тракта дуж ложишта и димног дела постројења до димњака.

Треба напоменути да се у пракси веома често налазе комбиновани горионици који имају за циљ да омогуће сагоревање и радном и резервном гориву.

Да би се испунили сви захтеви који се пред горионике постављају они морају да буду опремљени одговарајућом опремом. Према уградњи и опремљености уређајима за управљање и сигурност рада горионици могу да се сврстају у три главне групе:

- аутоматске гасне горионике;
- полуаутоматске горионике;
- горионике са ручним управљањем.

Аутоматски су горионици они који су опремљени аутоматским направама за паљење, контролу и регулацију пламена. Паљење, контрола пламена, укључивање и искључивање уређаја врши се аутоматски, према задатим вредностима, без учешћа погонског особља. Топлотном снагом горионика може да се управља аутоматски или ручно.

Полуаутоматски горионици су опремљени аутоматским уређајима за паљење, контролу пламена и управљање. Пуштање у погон ових горионика врши се ручно. После искључења горионика из погона не може да се изврши његово поновно аутоматско паљење. Топлотном снагом може да се управља аутоматски или ручно. Горионици са ручним управљањем су горионици код којих се сваки поступак паљења спроводи ручно. Контрола горионика врши се аутоматски од контроле пламена и у границама потреба сигурности од граничника (блокада), који га у случају потребе искључују. Поновно укључивање врши се ручно. Топлотном снагом може да се управља аутоматски или ручно.

Развој науке и технологије и све већи захтеви за смањење емисије штетних материја у атмосферу учинили су да су се развили горионици са малом емисијом азотних оксида од 70 – 90 mg/kWh [3], односно, мањом од дозвољене. То се постиже уградњом специјалних уређаја за мешање и интензивну рецикулацију димних гасова са продуктивним процесорима који воде и надзиру процес сагоревања у свим фазама и тако обезбеђују оптималну искоришћеност уз потпуно аутоматизован рад.

4. КОТЛОВСКА ПОСТРОЈЕЊА

4.1 ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КОТЛОВСКИХ ПОСТРОЈЕЊА

Котловска постројења су машине које примарно служе за производњу водене паре под притиском која се користи за погон парних мотора и турбина у индустрији и електропривреди, и за разне технолошке процесе, као на пример: кување, сушење, испаравање, упаравање, грејање, стерилизацију итд. Котловска постројења користе се и за производњу топле и вреле воде, углавном за потребе даљинског или локалног грејања.

Радни флуид у парном котловском постројењу обично је вода. Остали радни флуиди, као на пример уље, жива, натријум, калијум и други употребљавају се веома ретко, иако пружају у неким случајевима предности у односу на водену пару.

Дакле, ови уређаји намењени су за производњу топле воде или водене паре потребних параметара, у зависности од потреба или намене, разликују се следећи типови котловских постројења:

- енергетска котловска постројења која производе прегрејану водену пару за парна турбопостројења у кондензационим термоелектранама,
- индустријска котловска постројења у којима се производи водена пара или се загрева вода за подмиривање технолошке потрошње, грејања и производње топле воде у индустрији,
- котловска постројења за грејање која покривају потрошњу топлоте за грејање и производњу топле воде у насељима, и
- комбинована котловска постројења, чија се водена пара користи за производњу електричне енергије и производњу топлотне енергије у облику технолошке паре и паре за грејање и производњу санитарне топле воде.

Према облику носиоца топлоте котловска постројења су:

- котловска постројења за производњу водене паре (парни котлови),
- котловска постројења за производњу топле воде, (вреловодни котлови)
- комбинована котловска постројења у којима се производе оба носиоца топлоте.

Вреловодни котлови су уређаји у којима се хемијска енергија горива претвара у топлотну енергију загрејане воде. Вреловодни котлови према конструкцији могу да буду са димним или водогрејним цевима. За котловска постројења мањих снага, која су бројнија у експлоатацији, користе се котловска постројења са димним цевима. Вреловодна котловска постројења већих снага, каква се граде и користе у градским топланама за грејање насеља, су са водогрејним цевима.

4.2 РАЗМЕНА ТОПЛОТЕ У КОТЛОВСКИМ ПОСТРОЈЕЊИМА

Процес сагоревања природног гаса у ложиштима котловских постројења, у којима владају високе температуре и концентрације сагоривих материја, успоравају релативно спорији физички стадијум процеса. Према томе, сагоревање је знатно сложеније од одвијања хемијског процеса и представља веома сложене физичко-хемијске процесе. Брзина сагоревања природног гаса је веома велика због тога што гориво омогућава најсавршеније, молекуларно мешање са кисеоником и може да се сматра да је брзина сагоревања неограничена.

Размена топлоте у котловским постројењима је веома важна, јер топлотна енергија продуката сагоревања треба да се кроз зидове загревних површина пренесе на воду која струји кроз њих. Процеси пролаза топлоте могу да буду стационарни, код којих се температурно поље не мења током времена и нестационарни, код којих се температурно поље мења с временом. Иако су процеси пролаза топлоте у котловским постројењима, строго теоретски узевши, нестационарни, ипак ће се, ради јаснијег излагања, посматрати само стационарни пролаз топлоте.

4.2.1 Размена топлоте кондукцијом

Код произвољног температурног поља у телу постоје тачке са једнаким температурама. Оне стварају изотермне површине. Те изотермне површине се никада нити секу нити додирују, јер би тада у тим тачкама истовремено владале две различите температуре, што је физички немогуће.

Количина топлоте (једначина 4.1) која прелази од температурног поља вишег потенцијала на температурно поље нижег потенцијала је пропорционална температурном градијенту чија позитивна вредност означава повишење температуре.

$$q = -\lambda \cdot \delta_t / \delta_l = -\lambda \cdot \text{grad} t \text{ [kJ/m}^2\text{h]} \quad (4.1)$$

Негативна вредност означава да се топлота одводи на нижи температурни потенцијал. Ово је Фуријеов закон распрострањања топлоте провођењем. Фактор пропорционалности (λ) назива се коефицијентом топлотне проводљивости:

$$\lambda = -q / \text{grad} t \text{ [kJ/mhK]} \quad (4.2)$$

који показује колико се топлоте губи кроз 1m^2 површине дебљине 1m , кад температурни пад износи 1°C .

При прорачунима котловских постројења, при преласку топлоте провођењем, претпоставља се да су поједини материјали потпуно хомогени.

4.2.2 Размена топлоте конвекцијом

У течним и гасовитим флуидима прелаз топлоте се, у основи, врши путем премештања честица, па се прелаз топлоте између течног, односно гасовитог флуида и чврстог зида назива конвективан прелаз топлоте.

У природи постоје два начина струјања, и то: природно и принудно струјање флуида уз зид. Прво настаје услед разлике специфичних тежина хладног и загрејаног флуида, док друго настаје под дејством спољашњих сила, на пример вентилатора, пумпе и слично. Струјање може да буде ламинарно и турбулентно, а између којих се налази прелазни режим струјања. Прелаз од ламинарног на турбулентни режим струјања зависи од Рејнолдсовог критеријума, тј. од брзине струјања флуида, еквивалентног пречника канала и кинематске вискозности флуида:

$$Re=w \cdot d / \nu=w \cdot d \cdot \rho / \eta \quad (4.3)$$

Динамичка вискозност природног гаса износи $1,0758 \cdot 10^{-5}$ Pa·s, док је релативна густина природног гаса у систему у Србији 0,64. [6]

На оној страни котловског постројења на којој се налазе продукти сагоревања струјање је принудно и турбулентно, док је на страни где је вода, или двофазна смеша воде и паре природно струјање.

Интензивни прелаз топлоте конвекцијом одређује се присуством и дебљином ламинарног граничног слоја. Преко овог слоја се, сагласно закону Фуријеа, предаје топлота:

$$q=\alpha_t \cdot F(t_f - t_z) \quad (kJ/h) \quad (4.4)$$

где је:

α_t - коефицијент прелаза топлоте (W/m^2s)

t_f - температура флуида ($^{\circ}C$)

t_z - температура зида ($^{\circ}C$)

4.2.3 Размена топлоте зрачењем

Размена топлоте је од велике важности за конструкцију котловског постројења. У ложиштима готово сва топлотна енергија произведена горивом прелази на загревне површине зрачењем. Такође, и у цевним сноповима, при вишим температурама продуката сагоревања, зрачењем се често предаје више од половине укупно предате топлоте.

Топлотним зрачењем се назива електромагнетно зрачење загрејаних тела. Топлотно зрачење поседује, слично сунчевом, таласна и корпускуларна својства. Прелаз топлоте зрачењем може да протиче у видљивој и инфрацрвеној области

спектра. Док се видљива област спектра простире у границама од 0,40 до 0,76 μm , дотле се инфрацрвена област простире у границама од 0,76 до 1000 μm . [3]

Сходно закону о одржању енергије може да се напише:

$$Q_R/Q_0 + Q_A/Q_0 + Q_D/Q_0 = R + A + D = 1 \quad (4.5)$$

где је:

Q_0, Q_R, Q_A, Q_D - количина топлотне енергије која пада на тело, одбија се, апсорбује и пролази кроз тело

R, A, D - коефицијент рефлексије, апсорпције и дијатермије.

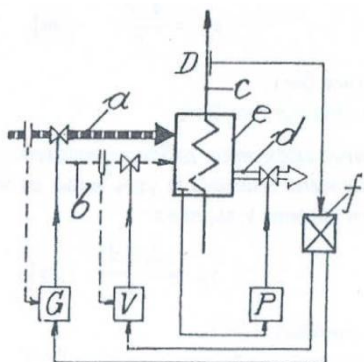
У ложишту котловског постројења тело које зрачи је у гасовитом стању, а његов степен црноће зависи од горива, хемизма, начина сагоревања и многих других фактора које није могуће теоретски обухватити. Топлотне зраке зраче само двоатомни и вишеатомни гасови ($\text{CO}, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{CH}_4, \text{NH}_3, \text{SO}_2, \text{SO}_3$).

4.3 УПРАВЉАЊЕ ПРОЦЕСОМ САГОРЕВАЊА

Управљање процесом сагоревања у котловским постројењима природне и принудне циркулације може да се изведе на много начина, али у суштини све оне могу да се сведу на четри основне шеме.

4.3.1 Управљање процесом сагоревања „гориво - ваздух“

Најједноставнија шема управљања сагоревања је тзв. шема „гориво – ваздух“ (слика 4.1). На њој су као и на осталим шемама, регулациони извршни органи приказани у облику регулационих вентила, док је мерење протока приказано у облику мерних пригушница. Довод горива (а), ваздуха (b) као и одвод паре (c) и продуката сагоревања (d) из котла (e) приказани су шематски. Главни регулатор означен је на свим шемама са f, док су регулатори горива (G), ваздуха (V) и продуката сагоревања (P) означени одговарајућим словима.



- a – довод горива
- b – довод ваздуха
- c – одвод паре
- d – одвод продуката сагоревања
- e – котла
- f – главни редуктор
- G – регулатор горива
- V – регулатор ваздуха
- P – регулатор продуката сагоревања

Слика 4.1 – Шема управљања сагоревања „гориво-ваздух“ [3]

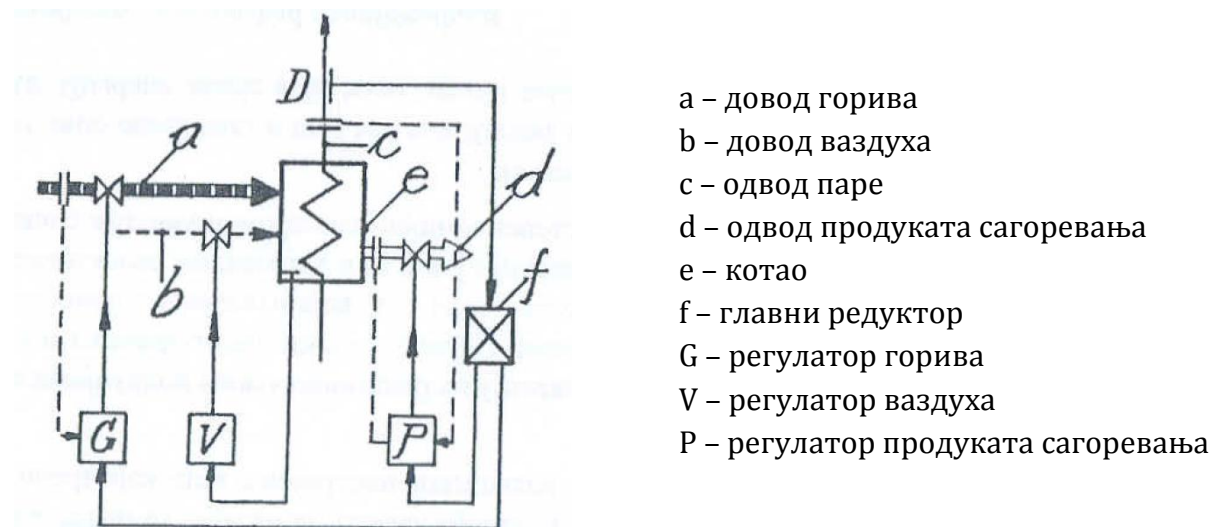
Овакаво управљање сагоревањем функционише тако што при промени топлотне равнотеже промени се притисак паре на излазу из котловског постројења, што дејствује на главни регулатор, који шаље истовремено импулсе регулаторима ваздуха и горива, који принудно премештају регулационе органе. Премештање се заврши онда када се дејство одговарајуће величине протока уравни са импулсом добијеним од главног регулатора, и то преко импулса повратне везе. Повратна веза се усваја зато да би се у положају равнотеже обезбедио константан однос између протока горива и ваздуха. Промена протока ваздуха доводи до промене притиска, боље речено до потпритиска у ложишту, што дејствује на регулатор продуката сагоревања (P), који мења количину одвођених продуката сагоревања све дотле док се поново не успостави онај притисак у ложишту који је владао пре поремећаја топлотне равнотеже.

Ова регулациона шема, која је релативно јефтина, употребљава се код котловских постројења која раде са природним гасом чији је састав непроменљив.

4.3.2 Управљање процесом сагоревања „пара - ваздух“

Главни регулатор код ове варијанте добија импулс као и у претходном случају, од промене притиска паре на излазу из котла и дејствује на регулатор горива (G) и продуката сагоревања (P) истовремено. Регулатор продуката сагоревања добија још допунски импулс од протока паре, који омогућује да се и при непромењеном притиску паре одржава одређени однос између протока продуката сагоревања и протока паре. Истовремено се преко промене потпритиска који влада у ложишту врши корекција додавања ваздуха. На слици 4.2 налази се шема управљања „пара - ваздух“.

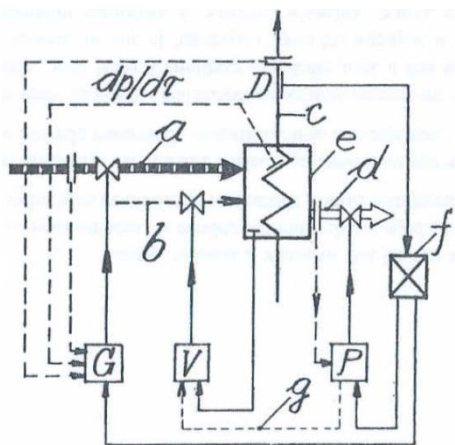
Ова варијанта, према томе, код стационарног режима омогућава одржавање оптималне вредности вишка ваздуха независно од квалитета горива.



Слика 4.2 – Шема управљања сагоревања „пара - ваздух“ [3]

4.3.3 Управљање процесом сагоревања „топлота - ваздух“

У овом случају се регулатору горива (G) доводи импулс од протока паре. Повратни импулс, који регулатор горива добија од протока горива, код стационарног режима рада не дејствује. Код стационарног режима рада ће, према томе, да се одржава константан однос пара - продукти сагоревања, ако се узме у обзир да импулси које добијају регулатори горива (G) и ваздуха (V), имају константан однос. Са ознаком (g) означена је динамичка веза регулатора продуката сагоревања (P) са регулатором ваздуха (V), који дејствује после регулатора (P). Код стационарних режима импулс у динамичкој вези је раван нули. На слици 4.3 дата је шема управљања „топлота - ваздух“.

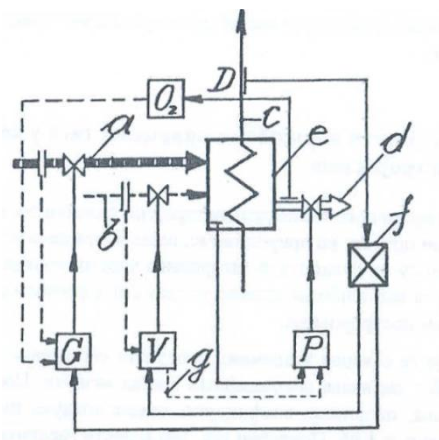


- a – довод горива
- b – довод ваздуха
- c – одвод паре
- d – одвод продуката сагоревања
- e – котло
- f – главни редуктор
- g – динамичка веза регулатора продуката сагоревања
- G – регулатор горива
- V – регулатор ваздуха
- P – регулатор продуката сагоревања

Слика 4.3 – Шема управљања сагоревања „топлота - ваздух“ [3]

4.3.4 Управљање процесом сагоревања „гориво - ваздух“ преко импулса

Управљачка шема сагоревања „гориво - ваздух“ (слика 4.4) карактеристична је по томе, што поседује импулс (O_2) зависан од састава продуката сагоревања. Ова регулациона шема практично је једнака са шемом „гориво - ваздух“.



- a – довод горива
- b – довод ваздуха
- c – одвод паре
- d – одвод продуката сагоревања
- e – котло
- f – главни редуктор
- g – динамичка веза регулатора продуката сагоревања
- G – регулатор горива
- V – регулатор ваздуха
- P – регулатор продуката сагоревања

Слика 4.4 – Шема управљања сагоревања „гориво - ваздух“ преко импулса O_2 [3]

Разлика између ове две шеме је у томе што шема „гориво - ваздух“ има додатни импулс који регулатор горива (G) прима од састава продуката сагоревања и што постоји динамичка веза између регулатора ваздуха (V) и регулатора продуката сагоревања (P). Уколико настане било какав поремећај у протоку горива и протока ваздуха, или промена квалитета горива, корекција се врши преко импулса (O_2).

Управљачке шеме које се срећу код изграђених котловских постројења су далеко компликованије, јер у њима учествује већи број разне опреме која је функционално везана за регулисање процеса сагоревања.

Нестручно руковање котловским постројењем, нарочито при непотпуном сагоревању може да проузрокује повећано прљање загревних површина, услед чега расте температура излазних гасова па и губитак топлоте са њима. Температура излазних гасова расте по правилу с порастом оптерећења котла, а нарочито при његовом преоптерећењу.

Губитак топлоте са излазним гасовима расте са повећањем вишка ваздуха упркос опадању температуре гасова због њиховог расхлађивања „фалш“ ваздухом. Пораст вишка ваздуха на изласку из котла може да буде последица великог вишка ваздуха у ложишту, дакле неподешеношћу горионика или неконтролисаног присисавања ваздуха дуж гасног тракта што је у пракси чест случај.

4.4 ПРЕДНОСТИ КОРИШЋЕЊА ПРИРОДНОГ ГАСА У КОТЛОВСКИМ ПОСТРОЈЕЊИМА

Топлотни прорачуни котловских постројења различитих конструкција показали су при прелазу на природни гас, највеће промене у топлотном режиму рада у односу на ложишта за сагоревање чврстог горива у слоју, зато ће се оне навести као најбољи пример предности коришћења природног гаса у котловским постројењима:

- Смањује се стварна запремина продуката сагоревања који излазе из ложишта због смањења коефицијента вишка ваздуха. При сагоревању природног гаса, на пример, коефицијент вишка ваздуха на улазу у ложиште не прелази $\alpha=1,05$ [3]. Природан гас, као и друга гасовита горива, у погледу обезбеђења потребне и довољне количине ваздуха за сагоревање, може да се сматра као идеално гориво, јер може да постигне идеалну смешу са ваздухом за сагоревање. Ово има за последицу веома малу запремину продуката сагоревања, а сам процес сагоревања је скоро потпун, јер је удео несагорелог у излазним гасовима занемарљиво мали.

- Теоретска температура сагоревања на излазу из ложишта котловског постројења, опремљеног гасним горионцима је $1700 - 1900\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3], што је знатно више него код сагоревања чврстог горива у слоју. Због тога се топлотне шеме котловских постројења која раде са природним гасом разликују од топлотних шема котлова који користе мазут или чврста горива, при чијем се коришћењу највећа

количина топлоте предаје зрачењем у ложишту и накнадне грејне површине су им знатно мање.

- Предаја топлоте у ложишту при сагоревању природног гаса је мања јер он сагорева несветлећим пламеном који слабије зрачи. Код коришћења природног гаса велики део топлоте се предаје конвективним грејним површинама, које су по правилу веће у поређењу са оним код постројења које раде са мазутом или угљем.

- Отпор гасног, а често и ваздушног тракта котловског постројења је смањен због смањеног коефицијента вишка ваздуха, што има за последицу мање вентилаторе свежег ваздуха и димних гасова и мању потрошњу енергије за њихов погон.

- Смањује се потрошња енергије за погон помоћних уређаја, у поређењу са другим фосилним горивима, јер нема потребе за додавачима угља, погон решетке, отпрему шљаке или погона пумпи за транспорт течног горива или пратећих грејача. Природни гас се користи у оном облику у коме се налази у цевоводу са довољном потенцијалном енергијом да савлада потребне отпоре у горионику и котлу.

Повећање степена корисности код котловских постројења која се ложе гасовитим горивима, у односу на чврста и течна горива, а нарочито природним гасом, резултира следећим чиниоцима:

- не постоји губитак горива услед пропадања горива кроз решетку и услед несагорелог горива у шљаци и пепелу;
- не постоји губитак услед летећег пепела;
- губитак услед хемијски непотпуног сагоревања је веома мали, скоро занемарљив;
- не постоји губитак услед физичке топлоте шљаке и пепела;
- губитак услед садржаја топлоте у излазним димним гасовима, који је уједно и највећи од свих губитака, је знатно мањи, због мањег вишка ваздуха као и због одсуства сумпора у гасу, због чега је могуће водити процес до знатно нижих температура излазних димних гасова.

Мањи су специфични инвестициони трошкови градње котловских постројења на гасовита горива због мање тежине по јединици капацитета.

Мањи су експлоатациони трошкови постројења која користе гасовита горива, јер нема потребе за припремом горива и транспортом остатака сагоревања, као што је случај код чврстих и течних горива.

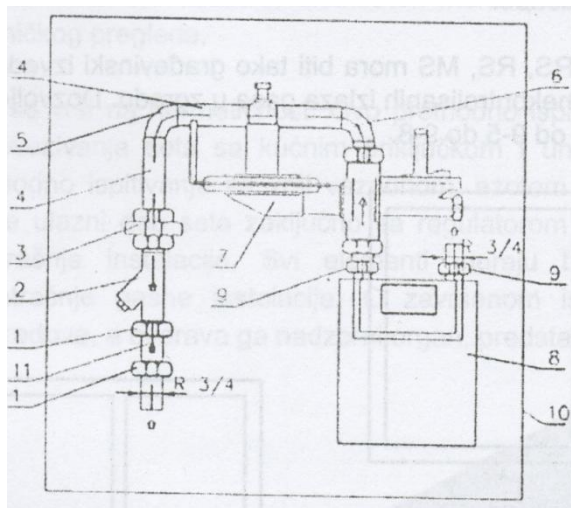
5. ПРИМЕНА ПРИРОДНОГ ГАСА ЗА ГРЕЈАЊЕ

5.1 МЕРНО-РЕГУЛАЦИОНЕ СТАНИЦЕ (МРС)

Уређаји који се користе за регулацију и мерење потрошње гаса називају се мерно регулационе станице (МРС). Преко њих се врши прикључивање гаса из мреже. Уколико се ради о прикључку на индивидуалне објекте, ови уређаји се називају кућне мерно регулационе станице (КМРС). Стандардом се дефинишу техничке карактеристике КМРС, регулационих (РС) и мерних (МС) сетова за широку потрошњу који се користе у дистрибуцији природног гаса. Ови сетови морају да буду смештени у заштитни ормар (слика 5.2). Ормар мора да буде урађен од материјала који је отпоран на атмосферске утицаје или заштићен премазом против дејства атмосферских утицаја. Димензије морају да буду такве да може несметано да се демонтира и монтира. Такође, ови ормари морају да имају при дну и на врху отворе за проветравање, као и стакло на вратима за затварање против-пожарне славине у случају пожара. На слици 5.1 дат је пример повезивања елемената КМРС.

У састав сета улазе следећи главни делови:

- главна славина на улазу са растављеним везама и прикључком на излазу из славине;
- изолациони комад
- филтер са могућношћу чишћења без демонтаже елемената сета
- регулатор притиска
- сигурносни прекидни и сигурносни вентил
- мерач запремине гаса
- спојни елементи од челика или темпер-лива
- заптивке мора да буду од материјала отпорног на угљоводонике



- 1 – хексагонална спојка
- 2 – филтер за унутрашње гасне водове
- 3 – спојка са коничним делом за спајање
- 4 – цев
- 5 – колено
- 6 – колено са навојем
- 7 – регулатор притиска за гас
- 8 – мерач протока гаса са мембраном
- 9 – навојни фитинзи за спајање мерила
- 10 – заштитни ормар
- 11 – изолациони комад

Слика 5.1 – Пример повезивања елемената КМРС [1]



Слика 5.2 – Пример КМРС [7]

5.2 ГАСНИ УРЕЂАЈИ (ТРОШИЛА)

5.2.1 Подела и класификација гасних уређаја

Сви загревни уређаји који се данас користе за грејање просторија деле се у три групе:

- на локалне уређаје у којима се топлота производи и одаје у просторији у којој се налази;
- на етажне уређаје у којима се топлота производи и одаје у целом стану за који су изграђени ;
- и на централне уређаје на којима се топлота производи на једном централном месту, а троши на више различитих места.

Постоји подела гасних уређаја према стандардима. Стандардна подела гасних уређаја у Србији према СРПС се разликује од оне у Европи (ЕН). Пошто се на нашем тржишту појављују углавном увозни гасни апарати, разматраће се подела уређаја по ЕН стандардима. Такође је битно напоменути да одређене подврсте апарата нису дозвољене за употребу у свим чланицама ЦЕН-а, па ни у Србији, тако да је уско посматрање основне врсте апарата недовољно за дефинисање могућности примене гасног апарата.

5.2.1.1 Подела гасних апарата према SRPS

Подела гасних апарата према SRPS M.E6.300 на:

А - апарати врсте А имају отворену комору за сагоревање у односу на просторију где су постављени и нису предвиђени за прикључак на димњак или на уређај за одвођење продуката сагоревања.

В - апарати врсте В имају отворену комору за сагоревање у односу на просторију где су постављени и прикључују се на уређај за одвођење продуката сагоревања (напа, димњак).

С - гасна трошила са затвореном комором за сагоревање у односу на просторију где су постављени и преко система за довод ваздуха и одвод продуката сагоревања непосредно су у вези са спољном атмосфером.

Гасни уређаји типа С се деле на подврсте:

С₁ – апарати без вентилатора, који узимају ваздух за сагоревање споља и одводе продукте сагоревања кроз зид (фасадна варијанта ложишта);

С₂ – апарати без вентилатора, који се прикључују на заједнички канал за довод ваздуха и да се поставе непосредно на тај димњак или што ближе димњаку (одвод продуката сагоревања кроз димњак);

С_{3.1} – апарати са вентилатором који узимају ваздух за сагоревање и одводе продукте сагоревања преко комбинованог димњака за довод ваздуха и одвод продуката сагоревања;

С_{3.2} – апарати са вентилатором, који узимају ваздух за сагоревање споља и одводе продукте сагоревања изнад крова, а могу да се поставе у поткровље или у просторију у којој је плафон истовремено и кров или се изнад плафона налази само кровна конструкција;

С_{3.3} – трошила са вентилатором која узимају ваздух за сагоревање споља и одводе продукте сагоревања кроз спољни зид.

5.2.1.2 Европска класификација гасних апарата на врсте

Уобичајена је подела на врсте А, В, и С, само што је уведен двокарактерни индекс уз ознаку основне врсте. Двокарактерни индекс означава начин одвођења сагорелих гасова у атмосферу и начин довода ваздуха за сагоревање и како је систем ваздух/сагорели гасови изведен. Први карактер означава изведбу система ваздух/сагорели гасови, а други карактер означава смештај вентилатора.

Основна подела гасних апарата је извршена на:

- A_y(AS)
- B_{zy}(BS)
- C_{wy}(X)

У табели 5.1 дата су објашњења ознака:

Табела 5.1 – Објашњење ознака по европској класификацији [8]

A	Гасни апарати зависни од ваздуха у просторији где су постављени и без система за одвод продуката сагоревања
B	Гасни апарати зависни од ваздуха у просторији где су постављени и са системом за одвод продуката сагоревања
C	Гасни апарати независни од ваздуха у просторији где су постављени и са системом за одвод продуката сагоревања
y=1	без вентилатора
y=2	са вентилатором иза горионика/измењивача топлоте
y=3	са вентилатором испред горионика
y=4	са вентилатором иза осигурача промаје (иза горионика)
z=1	са осигурачем промаје
z=2	без осигурача промаје
z=3	без осигурача промаје и када су све компоненте под притиском из система одвода сагорелих гасова окружене доводом ваздуха за сагоревање
w=1	са хоризонталним доводом ваздуха и одвођењем сагорелих гасова кроз спољњи зид. Крајеви одводног вода (сагорели гасови) и доводног вода (ваздух за сагоревање) се налазе у подручју једнаког притиска
w=2	са доводом ваздуха за сагоревање и одводом сагорелих гасова са прикључком на заједнички канал за ваздух и сагореле гасове
w=3	са доводом ваздуха за сагоревање и системом за одвод сагорелих гасова продуженим вертикално изнад крова. Крајеви одводног вода (сагорели гасови) и доводног вода (ваздух за сагоревање) се налазе у подручју једнаког притиска
w=4	са доводом ваздуха за сагоревање и одводом сагорелих гасова предвиђени за повезивање на систем „ваздух/сагорели гасови“ (AFS)
w=5	са одвођеним доводом ваздуха за сагоревање и системом за довод сагорелих гасова. Крајеви одводног вода (сагорели гасови) и доводног вода (ваздух за сагоревање) се налазе у подручју различитог притиска
w=6	са прикључком на ваздух за сагоревање и систем за одвод сагорелих гасова који није сертификован заједно са гасним апаратом
w=7	са вертикалним доводом ваздуха за сагоревање и системом за одвод сагорелих гасова. Ваздух за сагоревање се узима из поткровља, а сагорели гасови се одводе изнад крова. Осигурање промаје је лоцирано у поткрољу
w=8	са прикључком одвода сагорелих гасова на димоводни систем (рад у подручју притиска) и одвојеним доводом ваздуха за сагоревање из атмосфере
ДОПУНСКЕ ОЗНАКЕ	
AS	Апарат врсте А који садржи контролни уређај за ваздух у просторији
BS	Апарат врсте В који садржи контролни уређај за сагореле гасове (у случају пропуштања сагорелих гасова у просторију зауставља се рад апарата)
X	Апарат врсте С код кога су делови под притиском и прикључна вентилација која

	садржи продукте сагоревања: -одвојени од других апарата и од вентилационог система за довод ваздуха за сагоревање или - су задовољени виши захтеви за заптивеност, тј. да се не може појавити ослобађање продуката сагоревања у просторију у опасним количинама, не морају бити обезбеђени услови за проветравање просторије
--	--

5.3 ГРЕЈАЊЕ ИНДИВИДУАЛНИМ ГАСНИМ УРЕЂАЈИМА

Грење индивидуалним гасним уређајима (грејалице на гас за просторије) користе се када се загрева само просторија у којој се она налази. Просторија може да буде грејана са једним или више уређаја у зависности од њене величине и топлотних потреба. Снага гасних трошила је од 3 до 12 kW.

У односу на одвод продуката сагоревања гасни уређаји могу да буду са прикључком на димњак или димоводну цев (слика 5.3), или са прикључком на фасаду зграде (слика 5.4).

5.3.1 Индивидуални гасни уређаји са прикључком на димњак

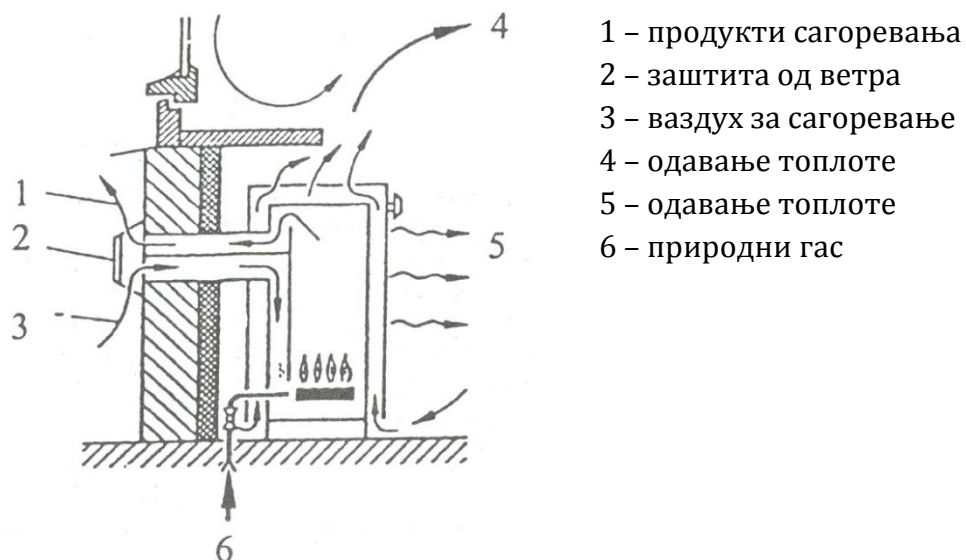


Слика 5.3 – Гасни уређај са прикључком на димњак [3]

Код оваквих уређаја ваздух за сагоревање се доводи из просторије, и заједно са природним гасом сагорева у горионику, где се ослобађа топлота. Добијена топлота се преко загревних површина одаје просторији. Димни гасови се преко димњака или димне цеви одводе из просторије. Ови уређаји служе за загревање појединачних просторија, тако да су малих снага.

5.3.2 Индивидуални гасни уређаји са прикључком на фасаду

Индивидуални гасни уређаји са прикључком на фасаду раде по истом принципу као и они са прикључком на димњак. Једина разлика је у прикључку за одвод димних гасова, тако да се уређаји са прикључком на фасаду користе у кућама или становима где не постоји систем за одвод димних гасова.



Слика 5.4 – Гасни уређај са прикључком на фасаду [3]

Још једна разлика је та што се кроз прикључак на фасади доводи ваздух за сагоревање (слика 5.5), тако да се у контакту са површином димног одвода врши предгревање овог ваздуха, чиме се смањује енергија за сагоревање, и побољшавају перформансе уређаја.



Слика 5.5 – Пример гасног уређаја ALFA-PLAM са прикључком на фасаду [10]

Код повезивања пећи са димњаком или фасадом треба да се води рачуна и изврши монтажа у складу са техничким прописима. Трошила треба да се поставе што ближе димњаку, односно да буду постављена на спољни зид фасаде.

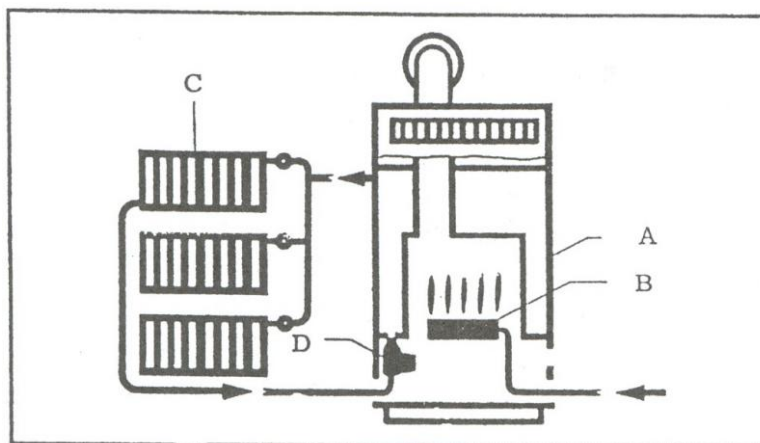
Због брзог одавања топлоте и добре прилагодљивости условима у појединим просторијама, гасна трошила се најчешће користе за повремено грејање просторија.

За уградњу гасних пећи важе прописи домаћих дистрибутера или прописи немачког Удружења за гас и воду (DVGW). Код постављања гасне пећи у просторију треба обратити пажњу на неколико сигурносних захтева. Ако пећ ваздух за сагоревање користи из просторије у којој се налази, морају да се осигурају довољне количине ваздуха како би се спречила могућност од смањења кисеоника у просторији. Постављање пећи треба уградити према техничким прописима.

5.4 ЕТАЖНО ГРЕЈАЊЕ

Под појмом етажно грејање подразумева се систем грејања целог стана или индивидуалне породичне куће. Као извори топлоте се користе котлови снаге до 50 kW. Ови се котлови често праве као „комбиновани“ котлови који производе воду за грејање просторија и за припрему потрошне топле воде, чиме се повећава степен искоришћења котлова, а уједно смањује потрошња електричне енергије за грејање топле воде.

Етажно грејање може да се изведе као систем само са грејањем, и као етажно грејање са припремом потрошне топле воде.



- A – котао за грејање
- B – горелоник
- C – грејна тела
- D – циркулациона пумпа

Слика 5.6 – Етажно грејање [3]

За разлику од индивидуалних, који служе за загревање једне просторије, етажни служе за грејање целе куће или стана. Принцип рада (слика 5.6) је да се у котлу (A) врши загревање воде, која се помоћу циркулационе пумпе (D) шаље до грејних тела (C).

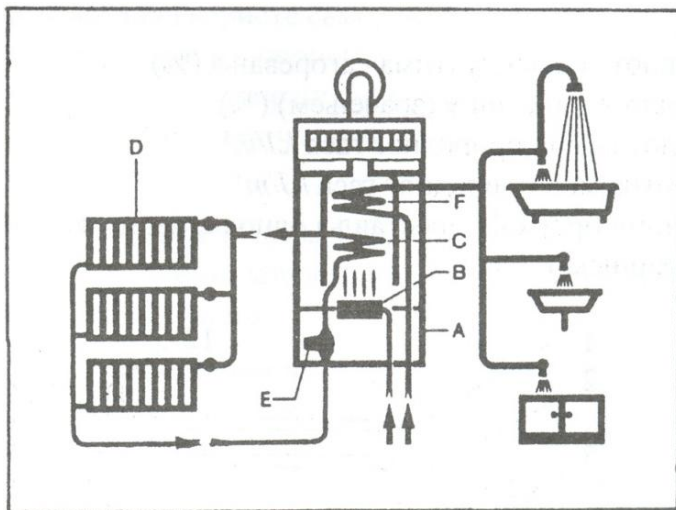
Етажни котлови за грејање могу да буду зидни и подни (слика 5.7).



Слика 5.7 – Примери котлова за етажно грејање Vaillant [11]

5.4.1 Комбиновани етажни котлови

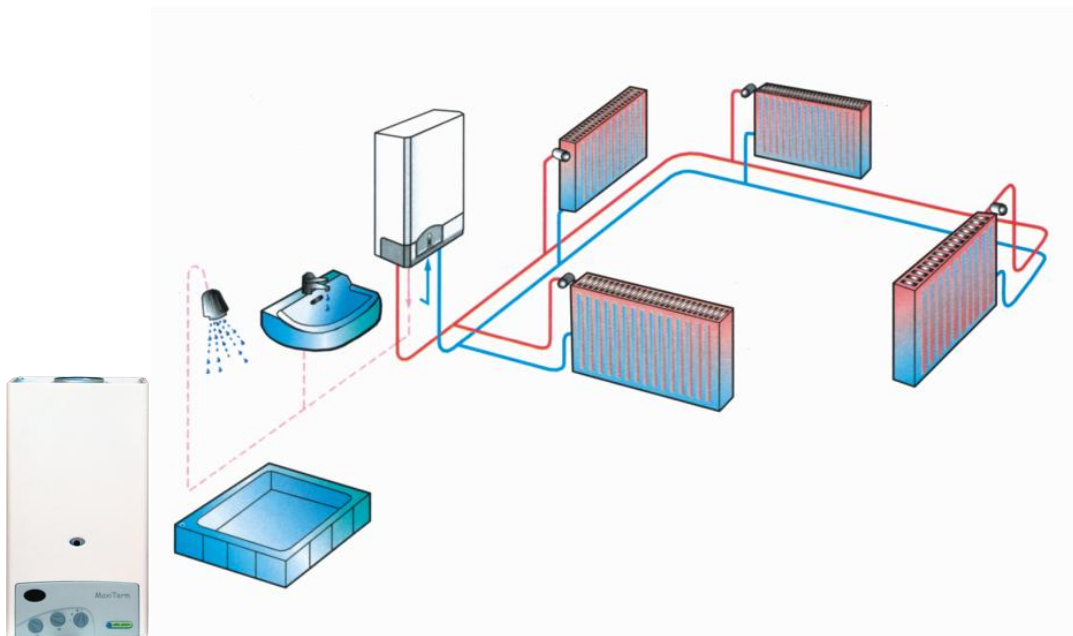
Комбиновани етажни котлови (слика 5.9) поред производње воде за грејање, служе и за приризводњу потрошне топле воде. На овај начин врши се уштеда електричне енергије.



- A – котао за етажно грејање
- B – горионик
- C – загрејач воде за грејање
- D – грејна тела
- E – циркулациона пумпа
- F – загрејач потрошне топле воде

Слика 5.8 – Етажно грејање и припрема потрошне топле воде [3]

Сагоревањем природног гаса у горионику (B) далази до стварања топлоте којом се врши загревање воде у намотају (C), која се шаље до грејних тела (D), и у систем враћа помоћу циркулационе пумпе (E). У другом намотају (F), који се налази изнад првог, загрева се потрошна топла вода, која се користи у домаћинству (слика 5.8).



Слика 5.9 – Пример комбинованог етажног грејања Maxi Term ALFA-PLAM [10]

5.4.2 Кондензациони котлови

У новије време производе се кондензациони „комбиновани“ котлови који користе топлоту излазних продуката сагоревања њиховом кондензацијом. Њихови степени корисности прелазе 100%. То свакако није могуће, јер не постоји перпетуум мобиле, већ се користе друге референтне вредности, односно рачуна се са горњом топлотном моћи.

Кондензациони котлови користе латентну топлоту продуката сагоревања њиховом кондензацијом у посебном измењивачу топлоте за предгревање повратне воде из система на улазу у котла. Искоришћење латентне топлоте продуката сагоревања има за директну последицу повећање степена корисности горива, односно трошила.

Латентна топлота продуката сагоревања је управо она топлота која је утрошена за стварање водене паре у току процеса сагоревања и једнака је топлоти испаравања. Проласком кроз измењивач топлоте температура продуката сагоревања се смањује до испод тачке росе чиме се ствара кондензат. Повећање степена корисности није само због искоришћења латентне топлоте продуката сагоревања већ и због знатног смањења губитка са излазним димним гасовима.

Степен корисности кондензационог котла може да се израчуна на следећи начин:

$$\eta = 1 - (q_2 + q_5) / 100 + \alpha_k (H_g - H_d) / H_d \quad (5.1)$$

где су:

q_2 – губитак топлоте са продуктима сагоревања (%)

q_5 – губитак топлоте у околину (зрачењем) (%)

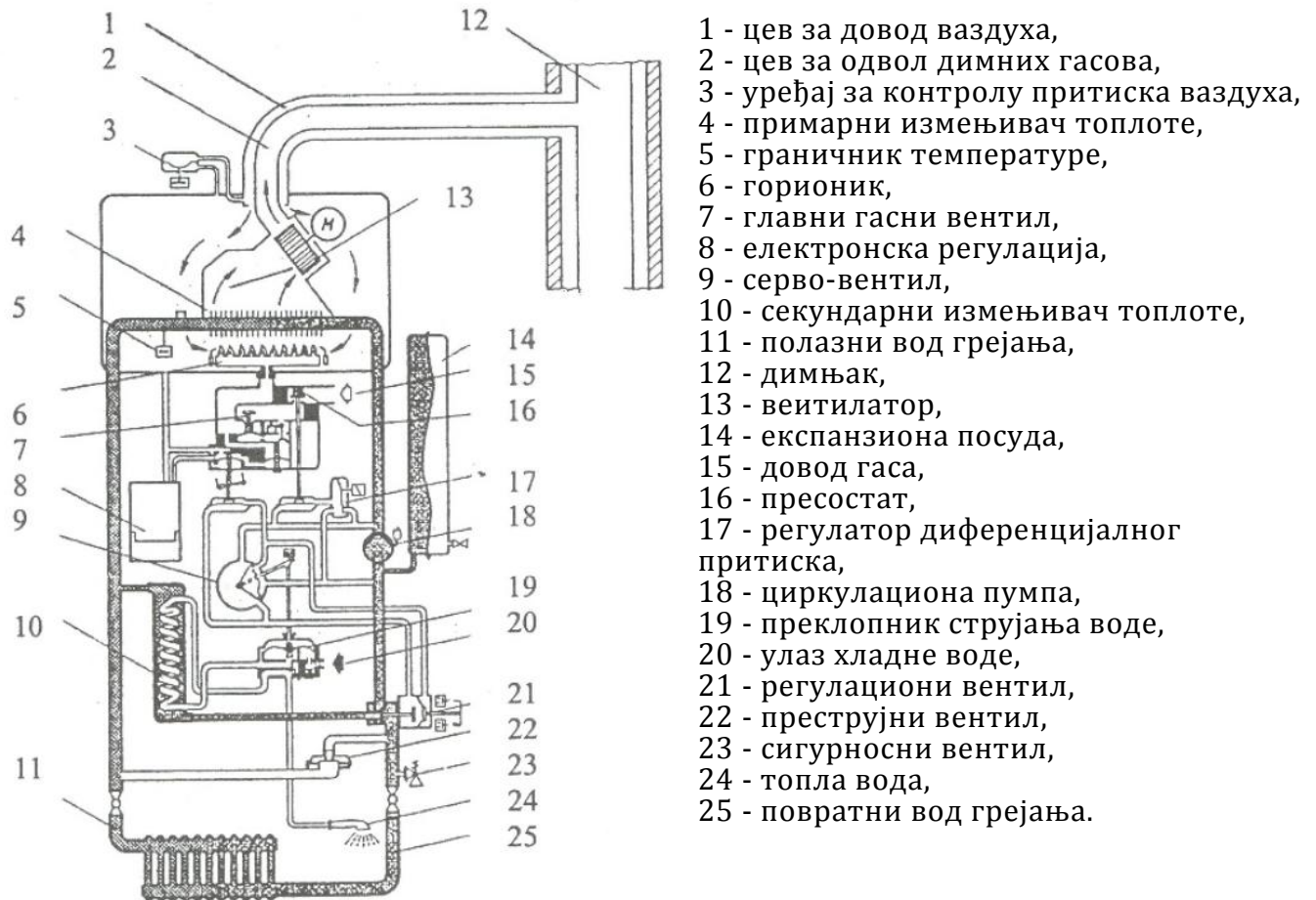
H_g – горња топлотна моћ природног гаса

H_d – доња топлотна моћ природног гаса

α_k – кондензациони број који представља однос стварне количине кондензата према теоријској.

Кондензациони котлови се користе само при сагоревању природног гаса, јер друга горива садрже сумпор и у процесу сагоревања стварју се сумпорни оксиди који при кондензацији стварају сумпорасту и сумпорну киселину која је веома кородивна. Измењивач топлоте се израђује од веома квалитетних материјала.

На слици 5.10 је дата шема комбинованог котла са затвореним ложиштем.



Слика 5.10 – Шема комбинованог котла са затвореним ложиштем [3]

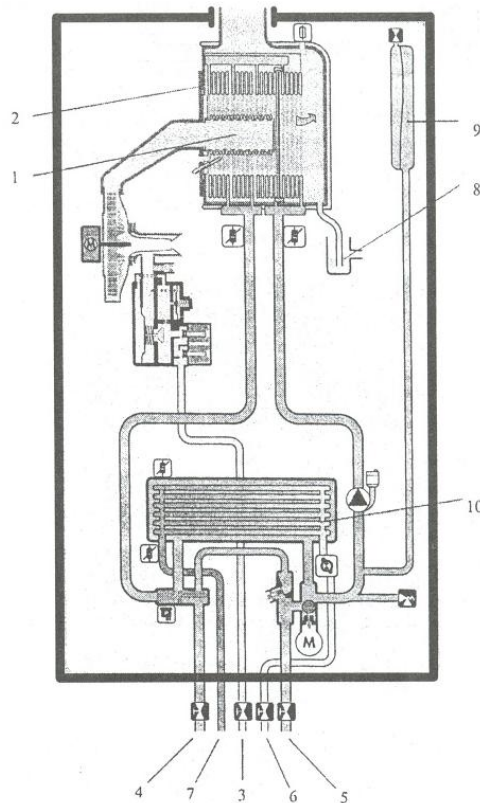
Кондензациона технологија троши мање енергије него што је то случај код уобичајене производње топлоте. Захваљујући измењивачу топлоте велике површине израђеном од нерђајућег челика искоришћава се и топлота која се налази у воденој пари, а која код уобичајених технологија нестаје са димним гасовима. Применом ове

савремене технологије остварује се више од 17% уштеде на трошковима грејања у односу на уобичајене уређаје за грејање, а у истој мери се чува околина. [12]



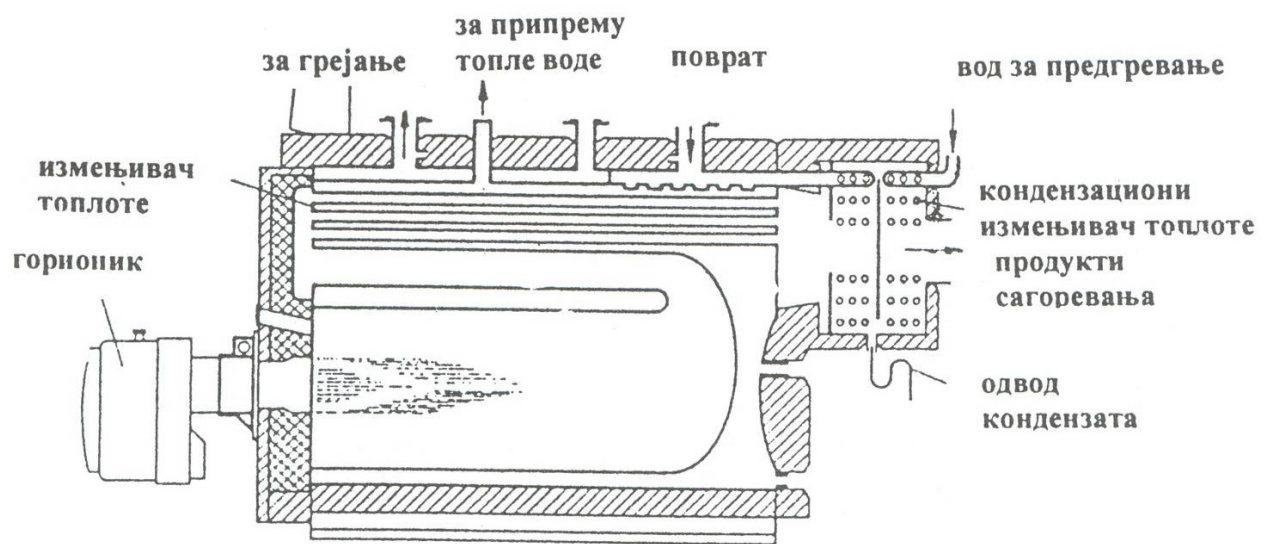
Слика 5.11 – Пример подног и зидног кондензационог котла Vaillant [11]

Кондензациони котлови могу да буду зидни и подни (слика 5.11). Подни котлови су обично веће снаге од зидних, и користе се за загревање већих домаћинстава и угоститељских објеката. На слици 5.12 дата је шема зидног кондензационог котла, а на слици 5.13 дата је шема подног кондензационог котла.



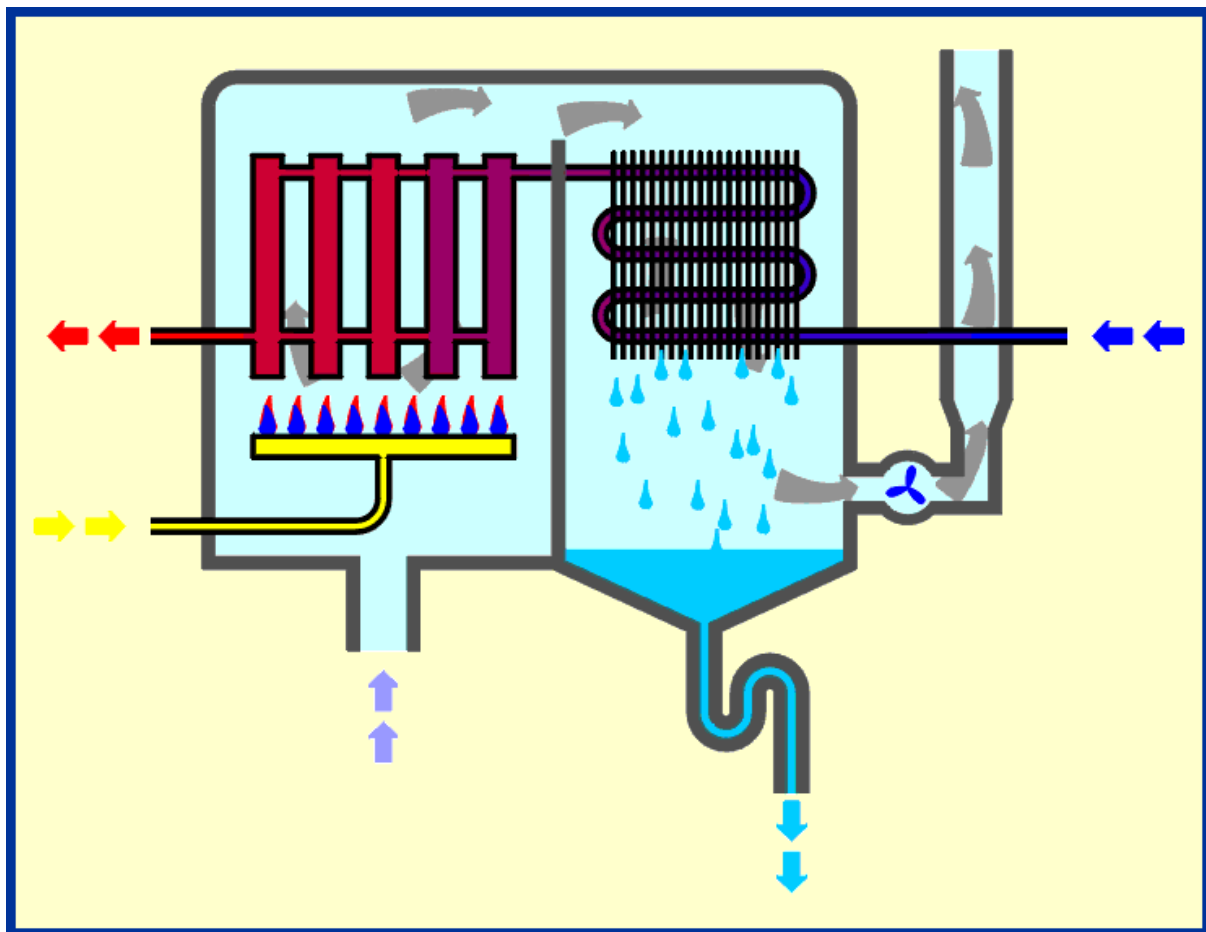
- 1 – горионик
- 2 – топлотни блок са хлађеном комором сагоревања
- 3 – гас
- 4 – полазни вод грејања
- 5 – повратни вод грејања
- 6 – хладна вода
- 7 – топла вода
- 8 – сифон кодензата
- 9 – експанзиона посуда
- 10 – измењивач топлоте

Слика 5.12 – Зидни кондензациони котлао [3]



Слика 5.13 – Подни кондензациони котао веће снаге [3]

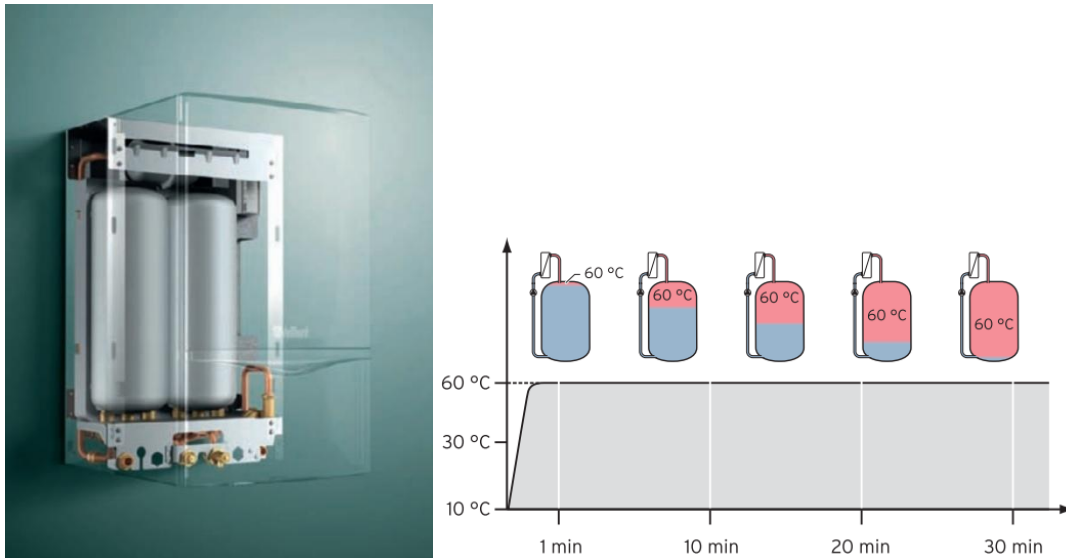
На слици 5.14 налази се шема принципа рада кондензационих котлова:



Слика 5.14 – Принцип рада кондензационих котлова [12]

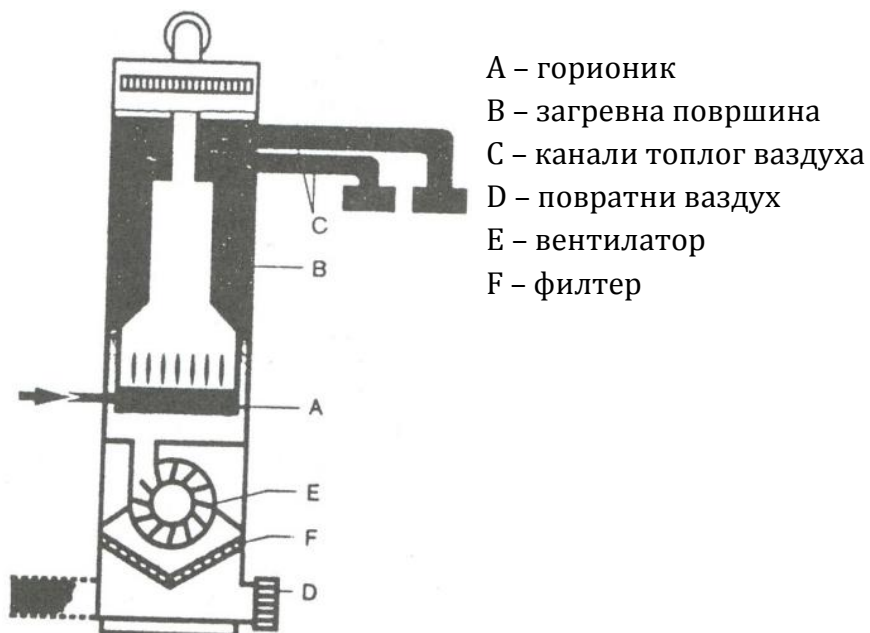
5.4.3 Кондензациони котлови са ламинарним акумулационим резервоаром

У поређењу са конвенционалним резервоаром (слика 5.15-лево), који поседује уроњени измењивач топлоте, код слојевитог резервоара топла вода загрева се помоћу спољашњег измењивача топлоте и затим доводи у горњи део резервоара (слика 5.15-десно).



Слика 5.15 – Пример зидног котла са ламинарним резервоаром мале запремине (лево) и начин загревања воде у ламинарним резервоарима (десно) [11]

5.4.4 Етажно грејање топлим ваздухом



Слика 5.16 – Етажно грејање топлим ваздухом [3]

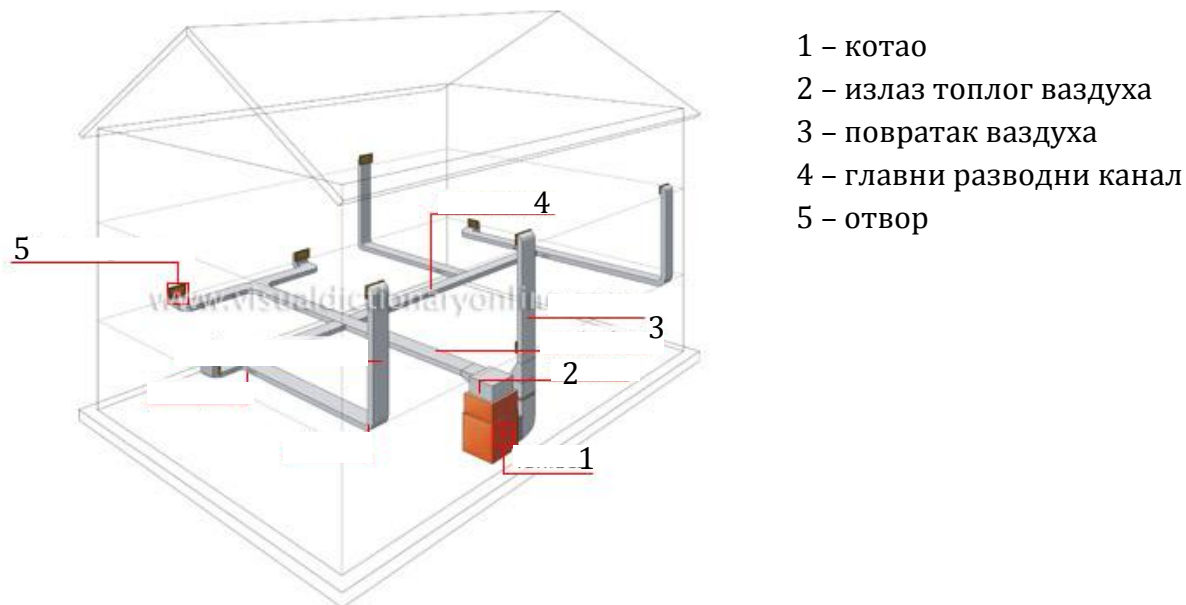
Начин рада грејача за ваздух (слика 5.16) састоји се од горионика који производи потребну топлотну енергију (А) и загревне површине (В) преко које се греје ваздух за загревање просторија. Загрејани ваздух струји каналима за топли ваздух (С) у просторије које треба да се греју. Ваздух из просторија делимично се враћа (D) и меша са свежим ваздухом који заједно проласком кроз филтер (F) се очисти и вентилатором (Е) бива поново загрејан и послат у просторије које се греју. Уређај може да буде снабдевен и посебним клима уређајем којим се лети профилтриран ваздух расхлади и климатизује просторије које су се зими грејале.

На овај начин се могу грејати домаћинства, али могу да се греју угоститељки и слични објекти, као и индустријске хале. У свету је нешто више развијенији овај систем, док код нас готово да није присутан. На слици 5.17 приказан је један котао за грејање куће топлим ваздухом.



Слика 5.17 – Пример кућног котла за грејање топлим ваздухом [13]

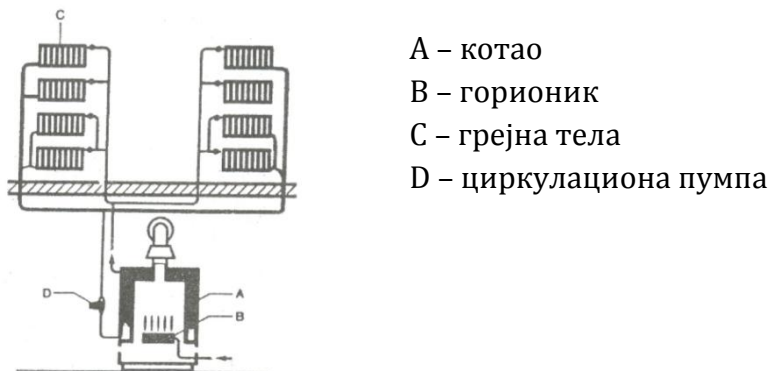
На слици 5.18 приказана је кућа са системом развођења топлог ваздуха.



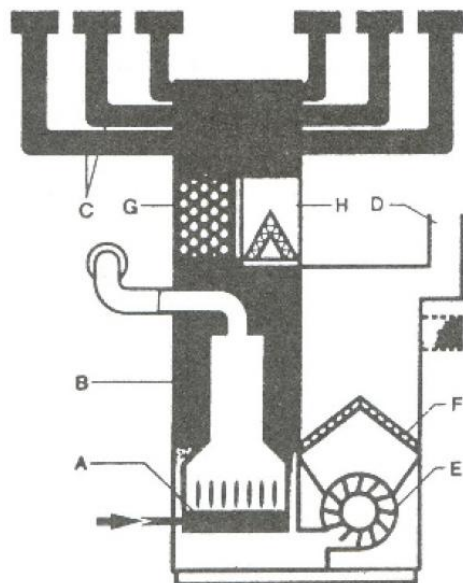
Слика 5.18 – Пример куће са уграђеним системом за грејање топлим ваздухом [14]

5.5 ЦЕНТРАЛНО ГРЕЈАЊЕ

Централно грејање у ширем смислу је сваки систем грејања код ког се извор топлоте налази на једном месту и из кога се загревни медијум разводи до грејних тела. У централно грејање може да се уброји и етажно. Како је код етажног грејања уређај за грејање загревног медијума (котао) у простору где бораве људи он је мале снаге. Код централног се грејања у принципу извор топлоте не налази у простору у коме бораве људи већ у посебном објекту, котларници. Носилац топлоте код централног грејања може да буде водена пара (парно грејање), топла вода (топловодно грејање) и топао ваздух (аеротермичко). За грејање станбених простора користе се само топловодно (слика 5.19) и аеротермичко грејање (слика 5.20).



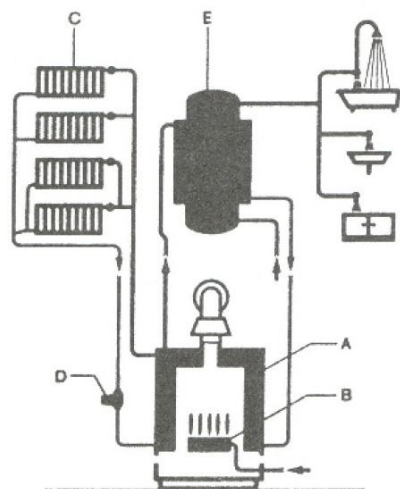
Слика 5.19 – Централно грејање гасним котлом [3]



- A – горионик
- B – грејан површина
- C – канал топлог ваздуха
- D – повратни ваздух
- E – вентилатор
- F – филтер

Слика 5.20 – Грејање зграде са топлим ваздухом и клима уређајем [3]

Поред централног грејања зграде могуће је изградити и постројење које ће поред грејања да има и централну припрему потрошне топле воде. На слици 5.21 приказано је једно такво постројење. Вода се у котлу (A) загрева гориоником (B) и шаље до грејних тела (C) и резервоара топле воде (бојлер E) за потрошну топлу воду. Циркулациона пумпа (D) обезбеђује потребну циркулацију и за грејање и за припрему топле воде.



- A – котао
- B – горионик
- C – грејна тела
- D – циркулациона пумпа
- E – резервоар топле воде

Слика 5.21 – Централно грејање и централна припрема потрошне топле воде [3]

У предности централног грејања могу да се уброје:

- мањи број ложишта и димњака, а тиме и мање загађење околине,
- већи степен корисности топоводног котла у односу на већи број индивидуалних ложишта,

- једноставно одржавање и руковање, због централизације грејања и једног котла за целу зграду или блок зграда.

Котловска постројења у котларницама за централно грејање изводе се на више начина. Могу да буду котловска постројења са атмосферским горионцима, за мање снаге, котловска постројења са притисним горионцима, за веће снаге или су то реконструисана постројења која су раније користила угаљ или мазут. На слици 5.22 је пример котларнице Аеродром (Крагујевац).

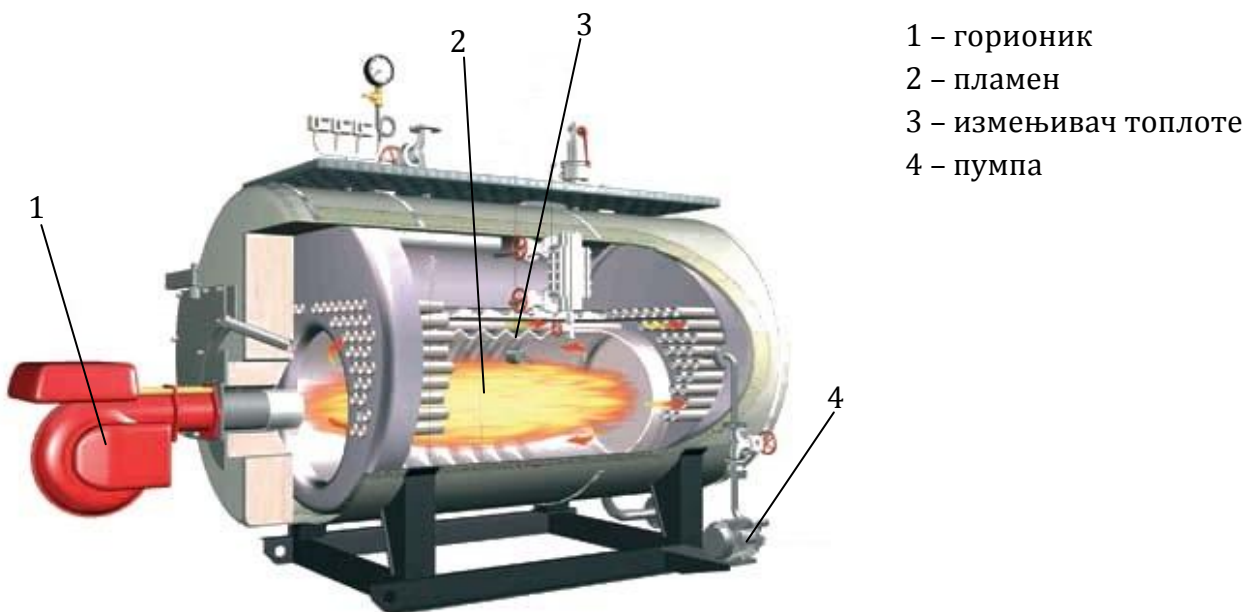


Слика 5.22 – Котларница Аеродром [15]

Котларнице за централно грејање већих снага изводе се са већим бројем котлова ради регулисања снаге у променљивим временским условима и постизања што већег степена искоришћења примарне енергије. То је важно јер су испитивања показала да енергане за централно грејање око 80% времена рада у току сезоне грејања котлови (слика 5.23) раде са око 45% пројектоване снаге. Дакле, средње годишње оптерећење котлова је око 25%, тако да повезивање већег броја котловских јединица у систем омогућава рад са највећим степеном искоришћења, јер у променљивим временским условима свака јединица која је укључена ради са оптималним оптерећењем. [3]

У котларницама за централно грејање врши се и припрема потрошне топле воде тако да је степен корисности постројења још већи.

Укључивањем гасног мотора за производњу електричне енергије и коришћење његове отпадне топлоте за грејање оптицајне воде система грејања још више овим когенерацијским поступком повећава степен корисности примарне енергије природног гаса. То је веома важно у летњем периоду када нема потребе за централним грејањем а мора да се испоручује потрошна топла вода. Производња електричне енергије у гасном мотору за сопствене потребе или за слање у мрежу и грејање потрошне топле воде повећава степен корисности постројења.



Слика 5.23 – Пример котла за централно грејање [16]

5.6 КОГЕНЕРАЦИЈА

Основу процеса когенерације чини јединствен термодинамички процес комбиноване производње топлотне и електричне енергије уз коришћење само једног погонског горива. Изградња когенеративног постројења представља техничко технолошко решење којим се поред обезбеђења квалитетног и континуираног снабдевања енергентима, због веће ефикасности коришћења примарног горива остварују и значајне уштеде у оперативним и укупним трошковима индустријског постројења.

У конвенционалним системима за производњу електричне енергије остварује се ефикасност горива, односно фактор искоришћења од 30% до 40%, што значи да се само трећина његовог потенцијала конвертује у корисну енергију. Неискоришћени енергетски потенцијал од око 70% се у виду топлотне енергије ослобађа без искоришћења и има третман сувишне - отпадне топлоте. [17]

Когенеративно постројење омогућава да се отпадна топлотна енергија (пара и топла вода) која се ослобађа у примарном процесу генерисања електричне енергије, хлађењем мотора, уља за подмазивање као и издувних гасова, искористи за потребе технолошких процеса или за грејање простора, чиме се постиже фактор искоришћења примарног горива преко 85%. [17]

Когенеративни систем обично чини комбинација следећих постројења: гасни мотор, парна или гасна турбина, генератор електричне енергије, измењивач топлоте и генератор паре. Избор и комбинација наведених делова система, њихов број и

димензионисање зависи од конкретног пројектног задатка, технолошког процеса и односа произведене топлотне и електричне енергије који треба остварити.

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

5.6.1 Ефикасност когенерације [18]

Европски парламент је усвојио директиву (Директива 2004/8/EC) за промовисање когенерације на бази тражње корисне топлоте на интерном тржишту енергије. Директива препознаје високоефикасну (уштеда горива $\geq 10\%$), малу (електрична снага $\leq 1\text{MW}_e$) и микро ($\leq 50\text{kW}_e$) когенерацију. Ефикасност когенерације представља однос укупне годишње бруто производње топлотне и електричне енергије и енергије унете горивом, а одређује се из једначине (5.2):

$$\eta = (Q_e + Q_t) / Q_g \quad (5.2)$$

где су:

Q_e – бруто електрична енергија (kW_e)

Q_t – корисна топлотна снага (kW_t)

Q_g – унета снага горива (kW_t).

За утврђивање ефикасности когенерације важан показатељ је однос електричне и топлотне снаге $\alpha = Q_e / Q_t$ па се ефикасност може изразити преко једначине (5.3):

$$\eta = ((\alpha + 1) \cdot Q_t) / Q_g \quad (5.3)$$

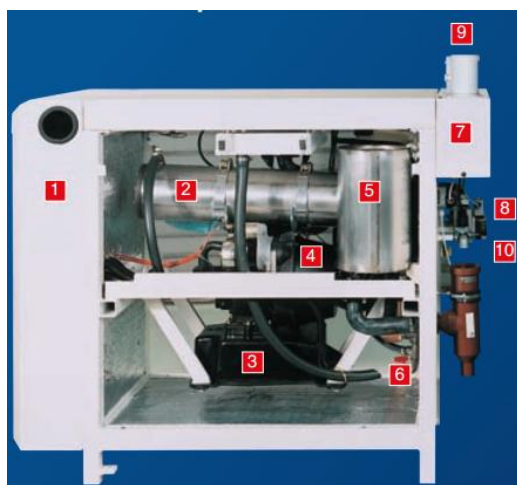
Најмања годишња вредност α је 0,45 за когенерациона постројења са парним турбинама; 0,55 за постројења са гасним турбинама и рекуператорима; 0,75 са моторима СУС; а 0,95 комбинованим гасно-парним циклусом. Овако дефинисана ефикасност искорошћења горива се разликује од класичног термодинамичког циклуса. Сабирање електричне и топлотне енергије, извршено под претпоставком да су њихове релативне ефикасности исте, доводи до вредности укупног степена искоришћења преко 80%, дакле више него што може да оствари идеалан Карноов циклус (ако би, на пример, максимална и минимална температура кружног процеса биле 1000°C и 0°C , теоријски степен корисности циклуса би износио $1 - 273/1273 = 78,56\%$). За разлику од топлотне, електрична енергија може лако бити пренета на велика растојања и преведена у друге облике енергије, те би стварна мера ефикасности когенерације електричне и топлотне енергије морала да узме у обзир квалитативну разлику између њих у погледу могућности да обављају рад. Пошто у пракси процес претварања топлотне енергије у рад није идеалан, степен

корисностије испод две трећине теоријског (око 50% у горњем примеру, мада модерна постројења са комбинованим циклусом на вишим температурама, могу постићи ефикасност до 60%).

5.6.2 Потенцијал когенерације у широкој потрошњи гаса [18]

Опција повећаног удела природног гаса у задовољењу енергетских потреба је стратешко опредељење развоја енергетике Србије. Програм прикључивања нових домаћинстава на гасоводни систем омогућује постојећа и планирана транспортна мрежа којом се гас доводи у око 70% општина у Војводини и у 44% општина на подручју централне Србије. То ће имати велики значај и за даљи развој електропривреде, јер ће омогућити смањење вршног оптерећења њеног система за 600 – 750 MW_e. На светском тржишту постоји понуда за низ различитих технолошких решења за мала ефикасна постројења микро-когенерације. Највећи део ових постројења као гориво користи природни гас, али је могуће и коришћење других типова гасовитих горива, као што су депонијски гас, биогаз и друга горива. У индивидуалним котларницама, као постројења когенерације могу да се користе гасни мотори, микротурбине или гориве ћелије.

Ако се узму у обзир когенерационе јединице гасних мотора мале снаге, на пример „Ecorower“, који има могућност промене електричне снаге од 1,3 до 4,7 kW_e и топлотне снаге од 4 до 12,5 kW_t (уз укупан степен искоришћења горива од око 90%) или нешто мањи, као што су „Sigma“ (3 kW_e/9 kW_t) или још мањи „Whispertech“ (1 kW_e/6 kW_t). Ако се уведе претпоставка да ће само 5-10% домаћинстава увести уређаје за микрокогенерацију уместо класичних котловских уређаја, може се сматрати да потенцијал микрокогенерације у широкој потрошњи у Србији износи до 280 MW_e и 750 MW_t. Томе се, осим природног гаса, може додати и дистрибуирана производња коришћењем других локалних извора енергије, укључујући локалне обновљиве изворе енергије и комунални отпад. На слици 5.24 приказан је уређај МКГ.



- 1 – командна табла
- 2 – измењивач димних гасова са катализатором
- 3 – блок гасног мотора
- 4 – генератор
- 5 – пригушивач звука
- 6 – измењивач топлоте
- 7 – електрични прикључци
- 8 – довод гаса
- 9 – вазухо-димовод
- 10 – полазни/повратни вод грејања

Слика 5.24 – Пример МКГ Vaillant [11]

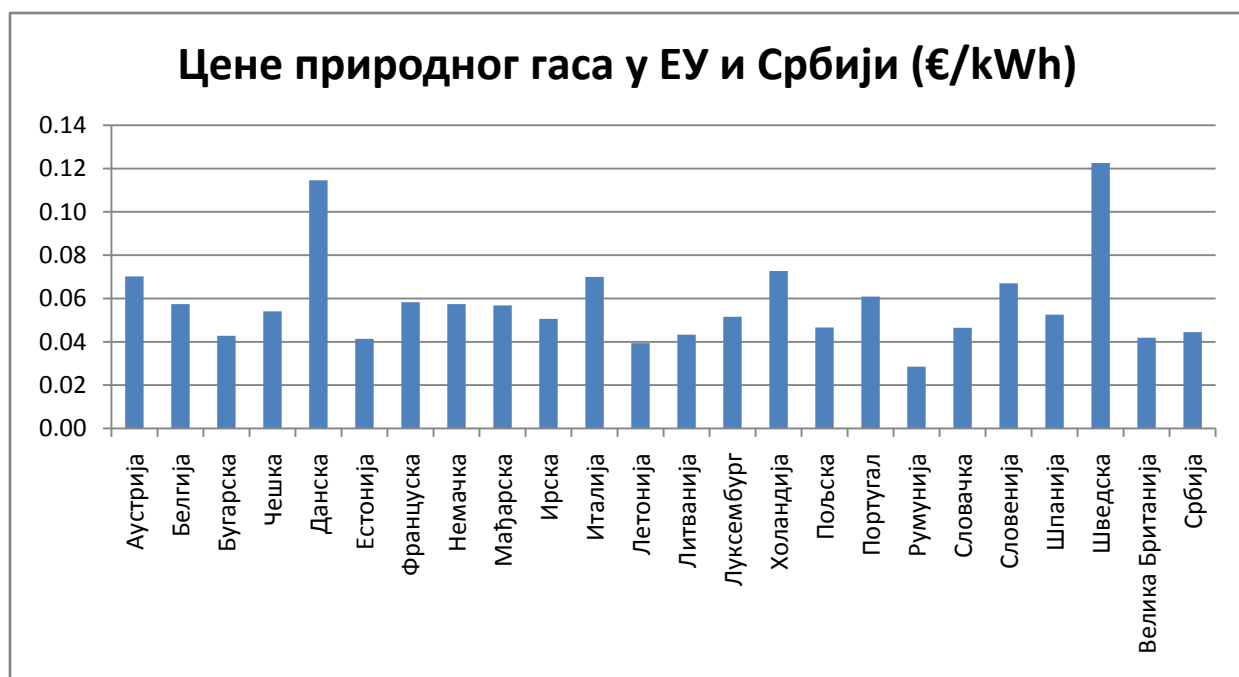
6. ЦЕНОВНА АНАЛИЗА ГРЕЈАЊА ПРИРОДНИМ ГАСОМ

6.1 ЦЕНЕ ПРИРОДНОГ ГАСА И ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ

Просечна цена гаса у Србији износи 47,43 дин/м³ (са свим трошковима). Цене зависе од дистрибутера, тако да је цена гаса у Крагујевцу 45 дин/м³ (са свим трошковима). Цене могу да се прерачунају у €/kWh, рачунајући са доњом топлотном моћи од 33,3 MJ/m³ (што је 9,25 kWh) постављањем пропорције:

$$\begin{aligned} 47,43 \text{ дин/м}^3 : 9,25 \text{ kWh} &= x : 1 \text{ kWh} \\ 9,25x &= 47,43 \\ x &= 5,13 \text{ дин/kWh} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Средњи курс на дан 21.9.2012. је износио 1€ = 115,28 дин [20] па је коначно

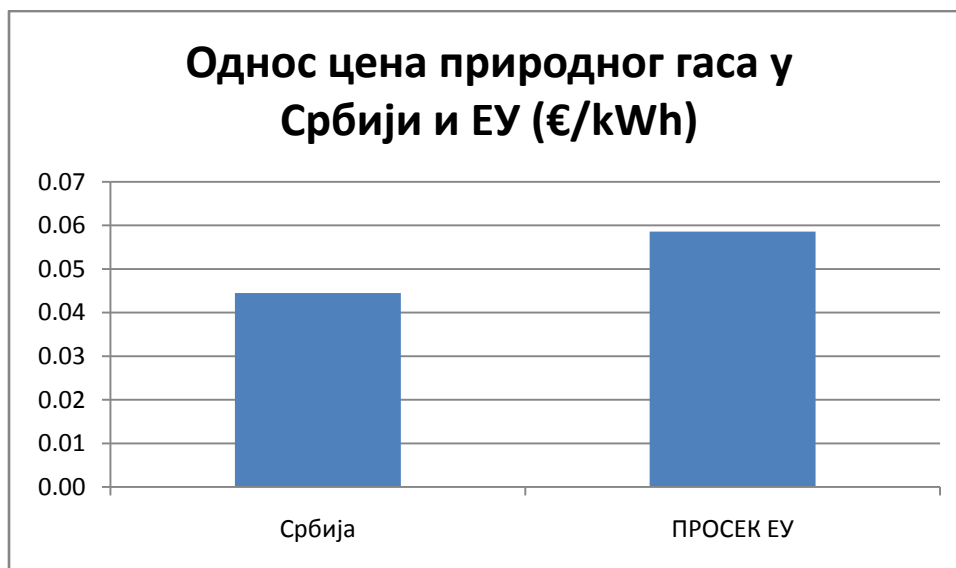


цена природног гаса у Србији:

$$5,13 / 115,28 = 0,0445 \text{ €/kWh} \quad (6.2)$$

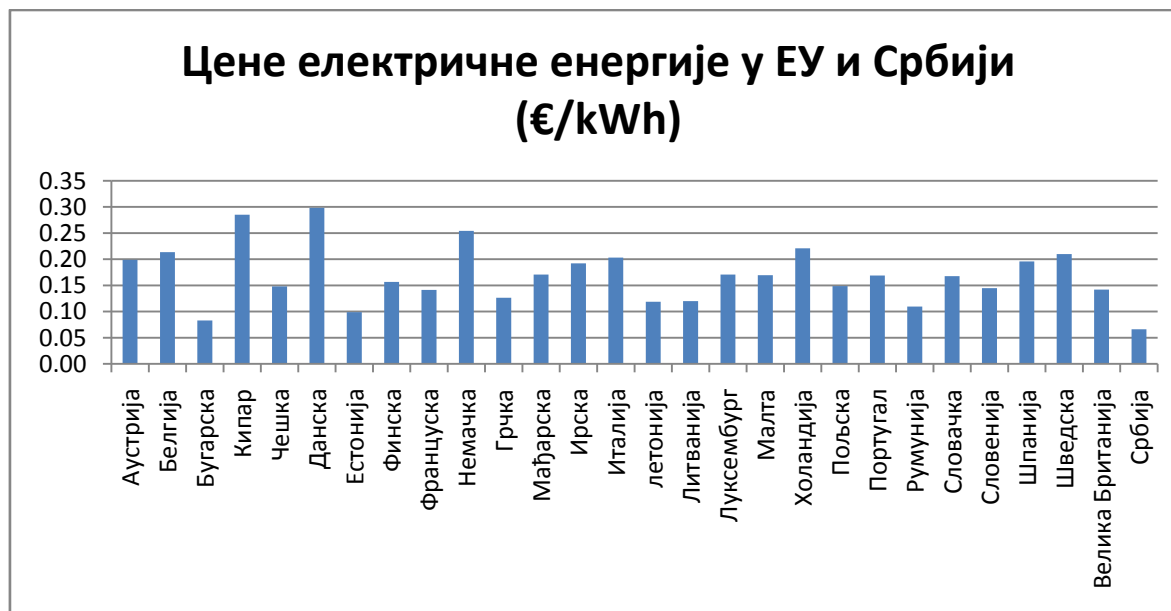
Слика 6.1 – Цене природног гаса у ЕУ и Србији [21]

Најскупљи гас у Европи је у Шведској (0,1226 €/kWh) и Данској (0,1146 €/kWh), а најјефтинији у Румунији (0,0285 €/kWh) (слика 6.1). Србија је по цени гаса близу европског просека (0,0568 €/kWh) ценом од 0,0445 €/kWh (слика 6.2).



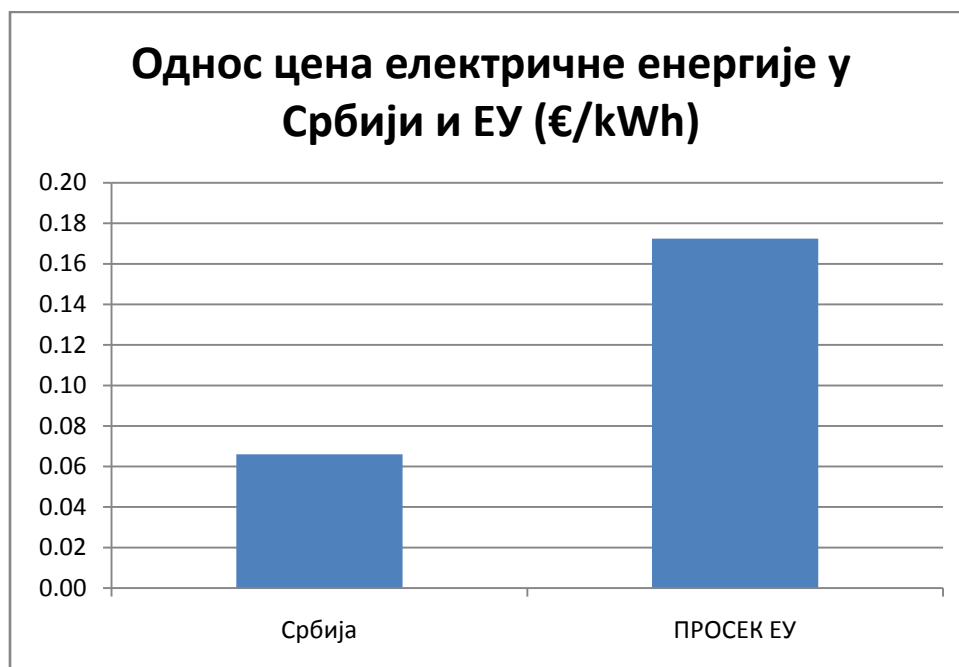
Слика 6.2 – Однос цена природног гаса Србије и ЕУ [21]

Просечна цена електричне енергије у Србији је 7,61 дин/kWh (0,0660 €/kWh), што је ниже од свих земаља у ЕУ (слика 6.3). Најнижу цену електричне енергије у ЕУ има Бугарска (0,0829 €/kWh) због јефтине струје добијене у нуклеарним електранама. Највише цене електричне енергије су у Данској (0,2982 €/kWh) и Немачкој (0,2541 €/kWh), због пореза које потрошачи плаћају за финансирање производње из обновљивих извора. [22]



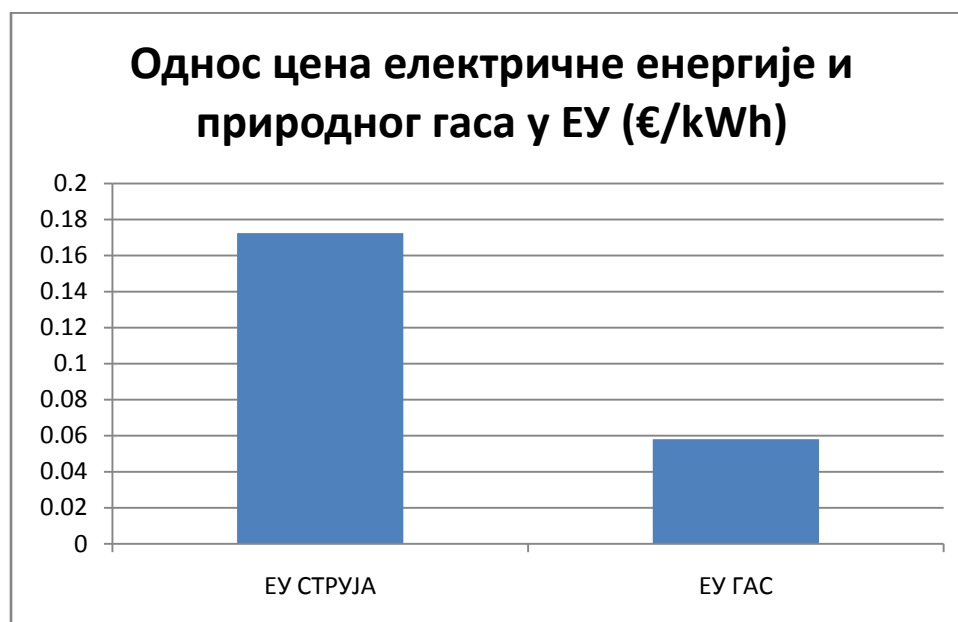
Слика 6.3 – Цене електричне енергије у ЕУ и Србији [21]

Цене електричне енергије у Србији (0,0660 €/kWh) су за 2,61 пута ниже од европског просека (0,1725 €/kWh) (слика 6.4).



Слика 6.4 – Однос цена електричне енергије у Србији и ЕУ [21]

Цена електричне енергије је 2,94 пута виша од цене природног гаса у ЕУ (слика 6.5), док је у Србији цена електричне енергије у просеку скупља 1,48 пута од цене природног гаса, али у зависности од потрошње (тарифа и зона) може да буде и нижа од цене гаса.



Слика 6.5 – Однос цена електричне енергије и природног гаса у ЕУ [21]

6.2 ПРИМЕР ПОТРОШЊЕ ГРЕЈАЊА ПРИРОДНИМ ГАСОМ И ЕЛЕКТРИЧНОМ ЕНЕРГИЈОМ

Велики број домаћинстава у Србији се греје ТА пећима и разним уређајима који користе електричну енергију. Трошкови грејања природним гасом и електричном енергијом најбоље ће да се виде на примеру објекта (куће) површине 60 m², ценама енергената у Србији и Немачкој. Посматраће се два случаја, неизолован и изолован објекат. Котао за грејање је кондензацијски, а грејање на струју је на ТА пећи.

Кондензацијском котлу Vaillant у декларацији стоји ефикасност од 110%, што је немогуће, па је потребно прерачунати помоћу једначине:

$$\eta = 1,1 \cdot H_d / H_g \quad (6.1)$$

где је:

H_d – доња топлотна моћ природног гаса, 33,3 MJ/m³;

H_g – горња топлотна моћ природног гаса, 38,24 MJ/m³;

па је η :

$$\eta = 1,1 \cdot 33,3 / 38,24 = 1,1 \cdot 0,87 = 0,96 \quad (6.2)$$

6.2.1 Топлотно оптерећење $q=300 \text{ W/m}^2$

Случај потпуно неизоловане куће од 60 m². Укупни топлотни губици куће су:

$$Q_{st} = P_{st} \cdot q = 60 \cdot 300 = 18000 \text{ W} \quad (6.3)$$

Часовна потрошња природног гаса рачуна се према једначини (6.2) [3]:

$$Q_{gh} = (3600 \cdot Q_{st}) / (\eta \cdot H_d) \quad (6.4)$$

где су:

Q_{st} – специфичне потребе у топлоти за загревање објекта;

η – степен корисности гасног трошила;

тако да је потрошња гаса користећи кондензацијски котао у овом случају:

$$Q_{gh} = (3600 \cdot 18000) / (0,96 \cdot 33,3 \cdot 10^6) = 2,027 \text{ m}^3/\text{h} \quad (6.5)$$

Ако у просеку котао ради 14 часова, дневна потрошња је:

$$Q_{gdn} = Q_{gh} \cdot 14 = 2,027 \cdot 14 = 28,378 \text{ m}^3/\text{дан} \quad (6.6)$$

а месечно:

$$Q_{gmes} = Q_{gdn} \cdot 30 = 28,378 \cdot 30 = 851,34 \text{ m}^3/\text{мес} \quad (6.7)$$

Месечни трошкови за гас узевши цену од 47,43 дин/м³ су:

$$Tr_g = 47,43 \cdot 851,34 = \underline{40379,06 \text{ дин}} \quad (6.8)$$

Грејањем на ТА пећ, која се у просеку пуни 6h, дневно троши:

$$Q_{eldn} = 18 \cdot 6 = 108 \text{ kWh} \quad (6.9)$$

а месечно:

$$Q_{elmes} = 108 \cdot 30 = 3240 \text{ kWh} \quad (6.10)$$

Месечни трошкови за електричну енергију, просечне цене 7,61 дин/ kWh су:

$$Tr_{el} = 7,61 \cdot 3240 + PDV = 24656,4 + 18\% = 24656,4 + 4438,15 = \underline{29094,55 \text{ дин}} \quad (6.11)$$

Цене природног гаса и електричне енергије у Немачкој [21] су:

природни гас —0,0574 €/kWh (6,62 дин/ kWh [20])

ел. енергија —0,2541 €/kWh (29,29 дин/ kWh [20]).

Месечна потрошња природног гаса прерачуната у kWh (33,3 MJ/m³=9,25kWh/m³):

$$Q_{gmesN} = 851,34 \cdot 9,25 = 7874,89 \text{ kWh} \quad (6.12)$$

Месечни трошкови за потрошњу природног гаса за грејање би у Немачкој износили:

$$Tr_{gN} = 7874,89 \cdot 6,62 = \underline{52131,8 \text{ дин}} \quad (6.13)$$

Месечни трошкови за потрошену електричну енергију за грејање у Немачкој су:

$$Tr_{elN} = 3240 \cdot 29,29 = \underline{94899,6 \text{ дин}} \quad (6.14)$$

6.2.2 Топлотно оптерећење $q=50 \text{ W/m}^2$

Случај добро изоловане куће од 60 m². Укупни топлотни губици куће су:

$$Q_{st} = P_{st} \cdot q = 60 \cdot 50 = 3000 \text{ W} \quad (6.15)$$

Часовна потрошња природног гаса рачуна се према једначини (6.2):

$$Q_{gh} = (3600 \cdot 3000) / (0,96 \cdot 33,3 \cdot 10^6) = 0,341 \text{ m}^3/\text{h} \quad (6.16)$$

Ако у просеку котао ради 14 часова, дневна потрошња је:

$$Q_{gdn}=Q_{gh}\cdot 14=0,341\cdot 14=4,774 \text{ m}^3/\text{дан} \quad (6.17)$$

а месечно:

$$Q_{gmes}=Q_{dn}\cdot 30=4,774\cdot 30=143,22 \text{ m}^3/\text{мес} \quad (6.18)$$

Месечни трошкови за гас узевши цену од 47,43 дин/ m^3 су:

$$Tr_g=47,43\cdot 143,22=\underline{6792,93 \text{ дин}} \quad (6.19)$$

Грејањем на ТА пећ, која се у просеку пуни 6h, дневно троши:

$$Q_{eldn}=3\cdot 6=18 \text{ kWh} \quad (6.20)$$

а месечно:

$$Q_{elmes}=18\cdot 30=540 \text{ kWh} \quad (6.21)$$

Месечни трошкови за електричну енергију, просечне цене 7,61 дин/ kWh су:

$$Tr_{el}=7,61\cdot 540+PDV=4109,4+18\%=4109,4+739,69=\underline{4849,09 \text{ дин}} \quad (6.22)$$

Цене природног гаса и електричне енергије у Немачкој [21] су:

природни гас —0,0574 €/kWh (6,62 дин/ kWh [20])

ел. енергија —0,2541 €/kWh (29,29 дин/ kWh [20]).

Месечна потрошња природног гаса прерачуната у kWh (33,3 MJ/ $\text{m}^3=9,25\text{kWh}/\text{m}^3$):

$$Q_{gmesN}=143,22\cdot 9,25=1324,785 \text{ kWh} \quad (6.23)$$

Месечни трошкови за потрошњу природног гаса за грејање би у Немачкој износили:

$$Tr_{gN}=1324,785\cdot 6,62=\underline{8770,08 \text{ дин}} \quad (6.24)$$

Месечни трошкови за потрошену електричну енергију за грејање у Немачкој су:

$$Tr_{elN}=540\cdot 29,29=\underline{15816,6 \text{ дин}} \quad (6.25)$$

7. ЗАКЉУЧАК

Непосредном употребом природног гаса може се у домаћинствима задовољити велик број енергетских потреба (грејање просторија, кување, припрема топле воде). Употребом гаса у појединачним ложиштима за грејање, постиже се већа ефикасност него употребом вреле воде из топлана и котларница. У поређењу са централним топловодним системима, развођење природног гаса дистрибутивном мрежом има и других предности: мање инвестиције, јер није потребна изградња топлана и котларница; гасна мрежа је јефтинија од вреловодне, која мора бити топлотно изолована и мора имати топлотни вод. Употреба природног гаса, уз остало, има и предност што се њиме минимално загађује околина. Природни гас не садржи загађиваче, па се његовим сагоревањем добија само угљен-диоксид и водена пара.

Практичне предности природног гаса су:

- прикључењем на цевну мрежу за развод гаса иза кућне мерно-регулационе станице престају бригае о транспорту и складиштењу као код угља и дрва,
- плаћање утрошеног гаса се врши месечно, након потрошње,
- степен искоришћења је висок (нема губитака на почетно грејање плоче за кување и слично),
- нема проблема око паљења и одржавања ватре, нема пепела и шљаке, и нечистоће око ложишта,
- котларница на гас се може поставити на тавану, чиме се штеди простор у подруму,
- комбиновани котлови се могу поставити у купатило за етажно грејање и загревање воде у стану,
- природни гас је универзални носилац енергије који омогућује модернизацију и повећање економичности многих индустријских, технолошких процеса и постројења уз мање загађење животне средине,
- одсуство отровног угљен-моноксида спречава могућност тровања при евентуалном “цурењу” гаса из инсталације,
- могућа је потпуна аутоматизација процеса сагоревања природног гаса за постројење са широким опсегом оптерећења и високим степеном корисности,
- могућност задржавања истог ложишта променом горионика, тако да старе пећи на чврсто или течено гориво могу користити природни гас без промене ложишта, чиме се смањује трошак куповине потпуно нове пећи.

Велик број котлова који се користе за грејање имају могућност коришћења два (или више) различитих енергената, тако да котлови (посебно у системима централног грејања) могу користити и мазут (или друга течна горива) поред природног гаса. Ово је такође практично уколико дође до прекида снабдевања природним гасом, може се лако и брзо подесити или променити горионик на рад са течним енергентом, а да не дође до озбиљних прекида у снабдевању потрошача топлотном енергијом.

Цене природног гаса (у €/kWh) у ЕУ су 2,94 пута ниже од цена електричне енергије, док у Србији, у зависности од потрошње електричне енергије (тарифа и зона), цене природног гаса могу да буду и више од цена електричне енергије. Цене природног гаса у Србији су нешто испод европског просека (за 0,0123 €/kWh), док су цене електричне енергије 2,61 пут ниже од цена у ЕУ.

На примеру потрошње природног гаса и електричне енергије за грејање, види се да је најбитнија добра изолација објекта (6 пута мања потрошња природног гаса код изоловане куће). Такође, у Србији је јефтиније грејање електричном енергијом (ТА пећима) од грејања природним гасом и у случају изоловане и у случају неизоловане куће. У Немачкој, упркос већим ценама природног гаса, грејање овим енергентом је скоро 2 пута јефтиније од грејања електричном енергијом у оба случаја.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Прстојевић Б, Ђајић Н, Вулетић В: Дистрибуција природног гаса, Рударско-геолошки факултет, Београд, 2005.
- [2] <http://www.srbijagas.com/> ; 20.5.2012.
- [3] Вулетић В: Карактеристике и примена природног гаса, Београд, 2011.
- [4] <http://www.gastel.rs> ; 12.6.2012.
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas ; 23.9.2012.
- [6] Бркић Д: Прилог пројектовања гасних дистрибутивних мрежа, Истраживања и пројектовања за привреду, стр. 7-17, 2008.
- [7] <http://www.gasneinstalacije.com> ; 27.6.2012.
- [8] Буљак В, Топличанец Б: Грејање гасом: Пројектовање, извођење и одржавање, Институт Михајло Пупин, Београд, 2007.
- [9] <http://www.odigledolokomotive.rs> ; 27.6.2012.
- [10] <http://www.alfaplam.rs> ; 10.6.2012.
- [11] <http://www.vaillant.rs> ; 27.6.2012.
- [12] <http://grejanje.com> ; 29.6.2012.
- [13] <http://www.garrityhvac.com> ; 30.6.2012.
- [14] <http://visual.merriam-webster.com> ; 30.6.2012.
- [15] <http://www.ciraheat.com> ; 1.7.2012.
- [16] <http://boilersa.mayapchel.com> ; 1.7.2012.
- [17] <http://www.esco.rs/kogeneracija.html> ; 23.9.2012.
- [18] Месаровић М, Ђаловић М: Потенцијал когенерације топлотне и електричне енергије у Србији, стр. 197-209, 2011.
- [19] <http://www.kogeneracija.rs> ; 1.7.2012.
- [20] <http://www.nbs.rs> ; 21.9.2012.
- [21] <http://www.energy.eu> ; 23.9.2012.
- [22] <http://www.euractiv.rs/energetika> ; 23.9.2012.