

# УВОД У ЕНЕРГЕТИКУ

Кабинет за парне котлове: Лекција 8

## 8.1. ДЕФИНИЦИЈЕ

*Котларница* представља објект у коме су, поред котловског постројења, смештени и остали уређаји, опрема, арматура и цевни водови неопходни за процес производње и дистрибуције топлотне енергије до потрошача.

*Котловско постројење* представља систем уређаја намењених за претварање хемијске енергије органског (фосилног) горива у топлотну енергију топле воде или водене паре потребних параметара.

У новије време се за котловско постројење, због прелаза на велике капацитете и високе параметре паре, појавио назив *генератор паре*, који се најчешће односи на јединице велике снаге, термоелектране или велике енергане.

*Котао* представља постројење у коме се топлотна енергија, добијена сагоревањем фосилног горива, посредством грејних површина, предаје радном флуиду (води) који се у њему загрева до одрађене температуре. У зависности од вредности температуре воде на излазу из котла постоје топоводни и вреловодни котлови. Ови котлови представљају специјалан случај парног котла и користе се за производњу топлотне енергије за грејање.

*Парни котао* представља уређај у коме се топлотна енергија, добијена сагоревањем фосилног горива, посредством грејних површина предаје води која се у њему, на притиску вишем од атмосферског, загрева и испарава и чија се пара прегрева до одрађене температуре. Са термодинамичке тачке гледишта парни котао, односно његове грејне површине, представља размењивач топлоте.

Временом је парни котао постајао све сложенији, како би могао да удовољи сталним настојањима за што ефикаснијом трансформацијом хемијске енергије све шире гаме горива у топлотну енергију и што ефикаснију размену те топлоте са радним флуидом. У том циљу је парни котао опреман све већим бројем *уређаја* (механизоване решетке, млинови за угаљ, вентилатори за ваздух и димне гасове и тако даље) и *помоћних уређаја* (бункери, додавачи, дозатори и тако даље), па се тако сложен склоп разних машина и уређаја прикључених уз ложиште и грејне површине парног котла често назива котловским постројењем.

Као радни флуид (пријемник топлоте) искључиво се примењује вода, тако да се као финални продукт добија топла вода, сувозасићена или прегрејана пара. Као радни флуид се, осим воде, могу користити и друге материје, као што су течни метали, хемијска једињења и разна термичка уља отпорна на високе температуре.

## 8.2. ПОДЕЛА КОТЛОВА

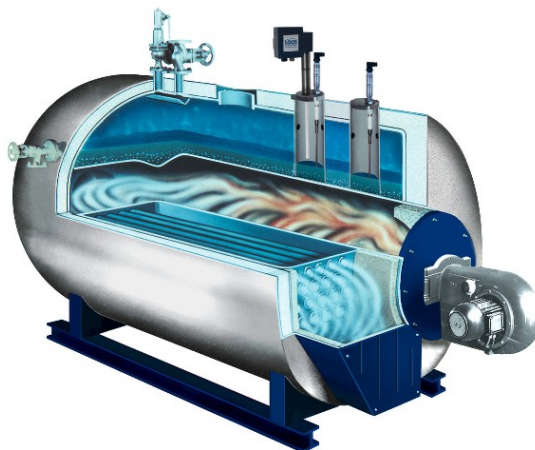
Котлови су по својој концепцији, намени, величини, параметрима и низу других карактеристика тако различити да се могу класификовати на много начина. Међутим, при данашњем развоју котлоградње и с обзиром на веома велики број типова конструкција, све класификације котлова треба прихватити са одређеном резервом. Са друге стране, класификовање котлова може донекле да олакша праћење развоја котлоградње.

Котлови могу да се поделе према намени, запремини воде коју садрже, систему циркулације у испаривачу, хронолошком развоју, конструктивним особинама и тако даље.

Једна од могућих подела заснива се на хронолошком развоју, конструктивним и другим особинама. Оваква подела је илустративна, јер указује на смерове развоја котлоградње и ток људске мисли у овим подручјима делатности. Постоје следеће групе котлова:

## 1. Цилиндрични котлови (сл. 8.1)

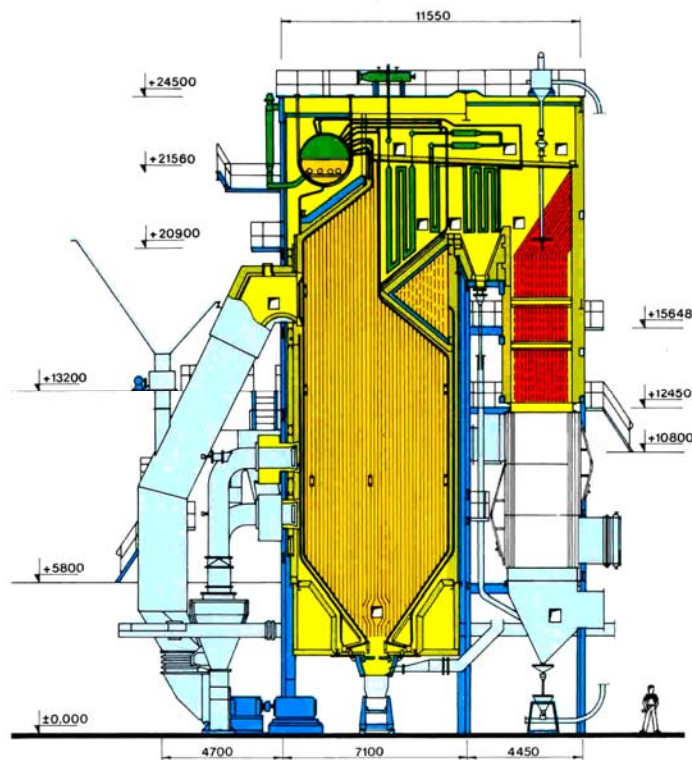
- 1.1. Котлови без пламене цеви
- 1.2. Котлови са једном пламеном цеви
- 1.3. Котлови са две пламене цеви
- 1.4. Котлови са димним цевима
- 1.5. Комбиновани котлови: *котлови са пламенем и димним цевима (локомотилски котлови), локомотивски котлови, шкотски и стимблок (steambloc) котлови*



Слика 8.1. Цилиндрични парни котао

## 2. Котлови са водогрејним цевима (сл. 8.2)

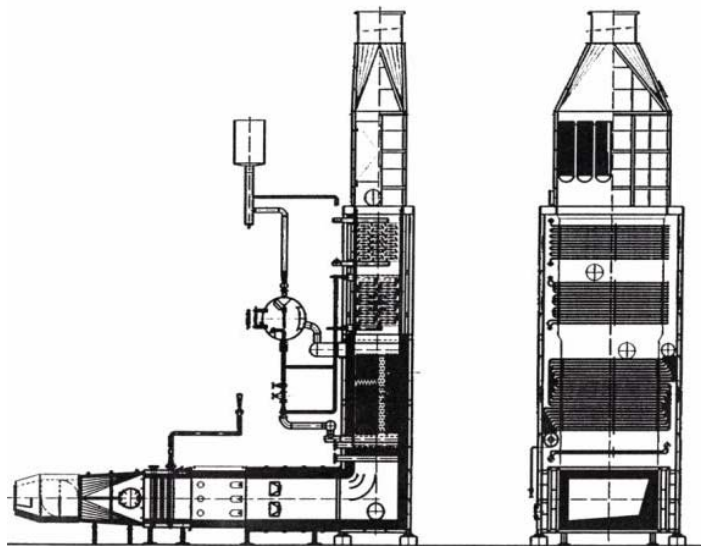
- 2.1. Коморни котлови
- 2.2. Секционални котлови
- 2.3. Стрмоцевни котлови: *котлови са више добоша, котлови са три, два и са једним добошем*



Слика 8.2. Парни котао са водогрејним цевима ( $D = 22,2 \text{ kg/s}$ ,  $p = 46 \text{ bar}$ ,  $t = 450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

### 3. Специјални котлови

- 3.1. Котлови са посредним испаравањем
- 3.2. Котлови са гасним трактом под притиском
- 3.3. Котлови утилизатори (сл. 8.3)



Слика 8.3. Котао утилизатор

#### 8.2.1. Подела котлова према намени

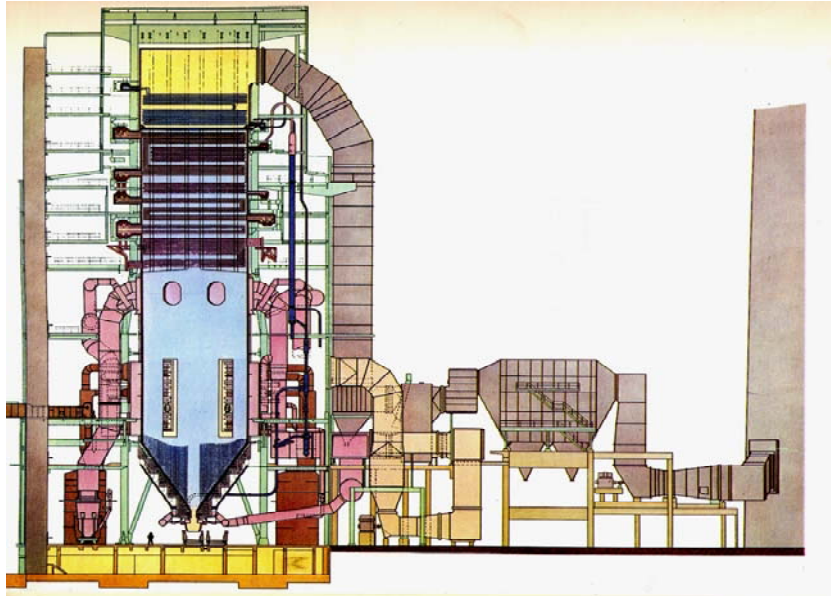
Према намени, котлови се могу поделити на четири основне групе и то су енергетски, индустријски, топлификациони котлови и котлови утилизатори.

*Енергетски котлови* су један од посредника у претварању хемијске енергије фосилног горива у електричну енергију (сл. 8.4). Они су највећи по јединичној снази, односно капацитету (продукцији паре), а по укупној инсталисаној снази надмашују укупну снагу свих осталих котлова. У енергетске котлове спадају и они који производе пару у постројењима за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије, такозваним термоелектранама-топланама.

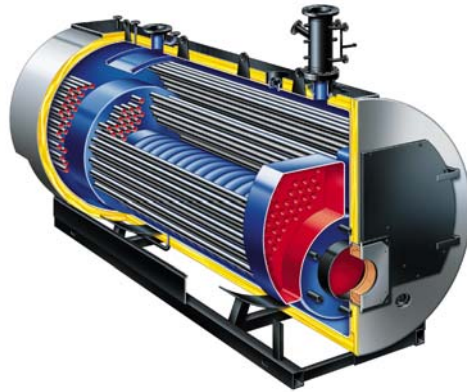
*Индустријски котлови* служе за снабдевање разних технолошких процеса паром, а често и за производњу електричне енергије посредством турбина са противпритиском или кондензационих турбина са регулисаним одузимањем паре (сл. 8.2). Постојења за производњу електричне енергије и технолошке паре за потребе индустрије називају се индустријске енергане.

*Топлификациони котлови* служе за производњу паре или загрејане воде у циљу грејања и производње санитарне топле воде за стамбене зграде, блокове или читава насеља, у постројењима која се називају топлане (сл. 8.5а; 8.5б). С обзиром на малу енергетску искористљеност примарне енергије, оваква постројења треба сматрати привременим решењима која треба што пре заменити термоелектранама-топланама.

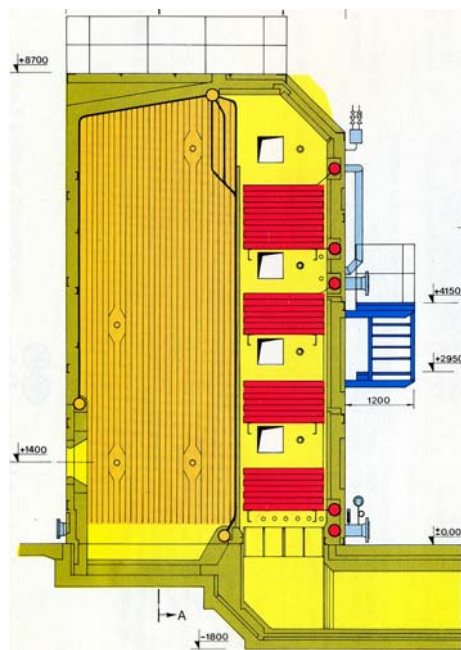
*Котлови утилизатори* намењени су за коришћење отпадне топлотне енергије, то јест, потпуно или делимично сагорелих продуката сагоревања из процеса у индустрији, петрохемији, црној и обојеној металургији (сл. 8.3) и тако даље. Познати су котлови који се постављају иза Сименс Мартинових пећи и конвертора у железарама, иза пећи за пржење пирита и цинкове руде и други. С обзиром да је расположива количина отпадне топлоте временски неуједначена, котлови утилизатори се понекад снабдевају и сопственим ложиштим, како би могли да задовоље константне потребе за паром (сл. 8.6). Осим индустријских, постоје и бродски котлови утилизатори који повећавају степен корисности машинског комплекса брода, коришћењем отпадне топлоте издувних гасова главног бродског мотора.



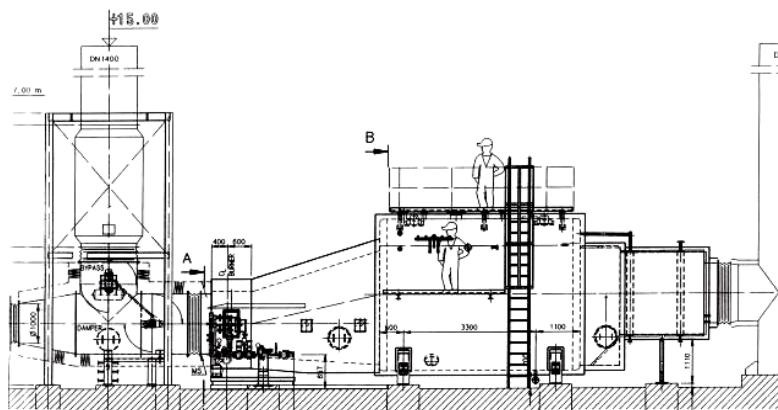
Слика 8.4. Енергетски парни котао ( $P = 300 \text{ MW}$ ,  $D = 254 \text{ kg/s}$ ,  $p = 172 \text{ bar}$ ,  $t = 540 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )



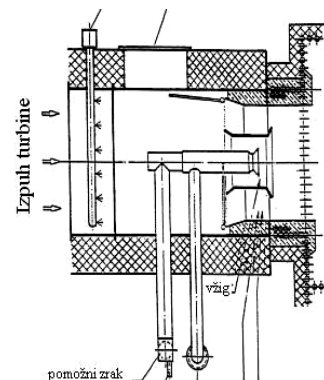
Слика 8.5а. Топлификациони котао - топоводни



Слика 8.5б. Топлификациони котао - вреловодни



Слика 8.6. Котао утилизатор са додатним ложиштем



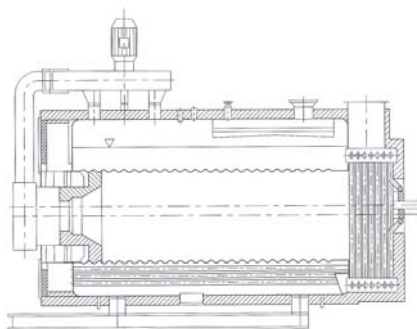
Специјалан горионик

### 8.2.2. Подела котлова по воденој запремини

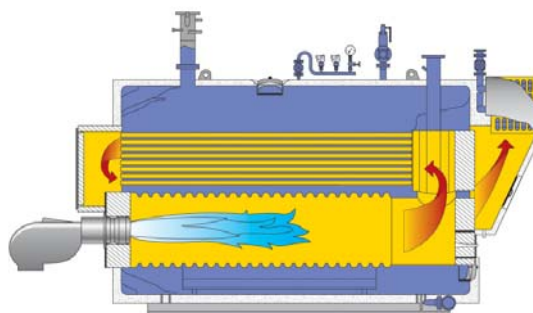
Према запремини воде коју садрже по јединици капацитета или грејне површине котлови се могу поделити на две велике групе: котлове са великом и котлове са малом воденом запремином.

Групи *котлова са великом воденом запремином* припадају, пре свега, топоводни и парни цилиндрични котлови са пламеном и димним цевима, такозвани стимблок (steambloc) котао. Њихова основна одлика је велика топлотна акумулациона способност, која омогућује брзо прилагођавање капацитета котла потрошњи (сл. 8.7а; 8,7б).

*Котловима са малом воденом запремином* припадају оне конструкције парних котлова код којих мешавина паре и воде струји кроз цевне системе различитих конструкција. Овакви котлови имају малу акумулациону способност, па се теже прилагођавају наглим и већим променама капацитета (сл. 8.2; 8.4).



Слика 8.7а. Цртеж котла са великом воденом запремином



Слика 8.7б. Слика котла са великом воденом запремином

### 8.3. УРЕЂАЈИ И ЛОЖИШТА ЗА САГОРЕВАЊЕ ГОРИВА

Задатак уређаја за сагоревање је да омогуће претварање хемијске енергије горива у топлотну енергију продуката сагоревања. Они представљају саставни део ложишта и утичу на његову концепцију, тако да се у извесним случајевима не може одредити јасна граница између њих.

Без обзира на многобројне конструкције уређаја за сагоревање и ложишта које су развијене у складу са применом разноврсних горива у котловима различитих капацитета, они морају да обезбеде: што потпуније сагоревање горива, што мање прљање ложишта и грејних површина котла, велику сигурност при раду, могућност лаког и једноставног опслуживања и брзог регулисања оптерећења.

Најважнији, а уједно и најтеже остварљив, је први захтев за што потпунијим сагоревањем горива. Он се најлакше може спровести код уређаја за сагоревање гасовитог, а донекле и течног горива. При сагоревању чврстог горива, без обзира што први захтев остаје најважнији, сваки од осталих захтева може да има пресудну улогу.

#### 8.3.1. Горива

Гориво је материја која на повишеној температури при спајању са кисеоником ослобађа одређеном брзином енергију молекуларне везе у виду топлотне енергије која се размењује са околином. Ова хемијска реакција назива се сагоревањем и обично је праћена пламеном.

Да би се нека материја користила као гориво постављају се и следећи услови: да се у природи налази у великим количинама, да је јефтина, да је погодна за транспорт и складиштење, да се пали на релативно ниској температури и да сагорева у присуству кисеоника из ваздуха а да су гасовити продукти и чврсти остаци сагоревања нешкодљиви.

Основни извор за производњу топлоте представљају органска горива природног порекла или такозвана фосилна горива, а после Другог светског рата појавило се и нуклеарно гориво.

Према агрегатном стању, горива се деле на чврста, течна и гасовита, а по постанку могу да буду природна и вештачка.

Природна чврста горива су дрво, тресет, угаљ и уљни шкриљци, као и разни остаци из индустрије и сеоских домаћинстава (семенке сунцокрета, пиљевина и ивер, слама и слично) за које је у новије време одомаћен израз биомаса. Поред тога, као гориво може да се користи и градско смеће.

У вештачка чврста горива убрајају се продукти процеса оплемењивања угљева, као што су кокс, полукокс, брикети и тако даље.

Једино природно течно гориво је нафта, док се разни деривати дестилације нафте (мазут, дизел гориво, бензин) сматрају вештачким течним горивима. Исто тако, у вештачка течна горива се могу убројити и продукти дестилације угља или дрвета (катран), као и разне материје које настају у неким индустријским процесима, као што су, на пример, сулфатни и сулфитни луг у процесу прераде целулозе.

Природно гасовито гориво је земни или природни гас док се вештачким гасовитим горивима могу сматрати светлећи гас, коксни гас, гас високих пећи и тако даље.

#### 8.3.2. Уређаји и ложишта за сагоревање чврстог, течног и гасовитог горива

Према врсти коришћеног горива постоје уређаји за сагоревање чврстог, течног и гасовитог горива. Коришћење течног и гасовитог горива за сагоревање у парним котловима није препоручљиво, како са гледишта националне економије, тако и због могућности њихове економичније примене изван енергетике. Поред тога, течно гориво и природни гас су непромењеног квалитета, па пројектовање парних котлова за њих више не представља технички проблем.

##### 8.3.2.1. Чврста горива

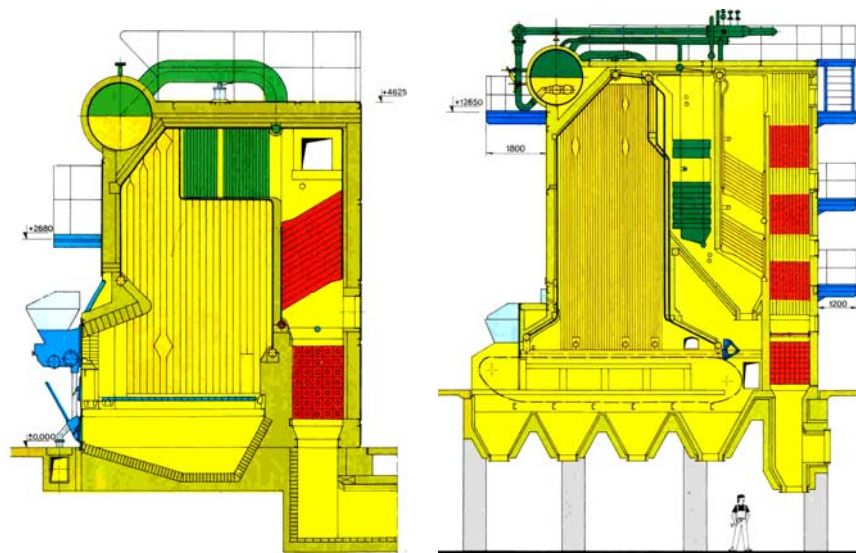
Чврста горива се драстично разликују по саставу и квалитету, тако да је за њихово сагоревање развијено више система код којих су примењени различити уређаји. Системи сагоревања чврстих горива су: систем сагоревања у слоју, систем сагоревања у лету, систем сагоревања у вртлогу и систем сагоревања у лебдећем (флуидизованом) слоју.

#### Уређаји за сагоревање чврстог горива у слоју

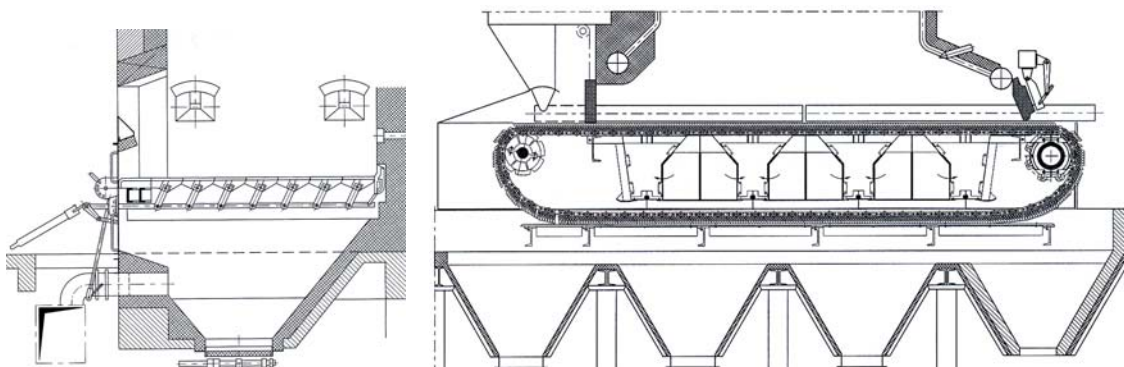
Систем сагоревања у слоју састоји се у томе што се на уређају одређене конструкције, који се назива решетка, формира слој горива у коме се стварају такви услови да оно може несметано и економично да сагорева (сл. 8.8). Сагоревање чврстог горива у слоју је најстарији начин сагоревања, тако да постоји велики број конструкција решетки и начина њихових подела.

Решетке за сагоревање чврстог горива у слоју, поред осталог, могу се поделити према конструкцији на две основне групе: равне и косе.

*Равне решетке* могу бити непокретне и покретне, такозване ланчане решетке у облику бескрајне траке (сл. 8.9). Непокретне решетке се могу ложити ручно или механизовано. Механизовано ложење се примењује и код покретних решетки. Уређаји за механизовано ложење се називају убацивачи, који могу да буду: механички, пнеуматски или комбиновани – пнеумомеханички.

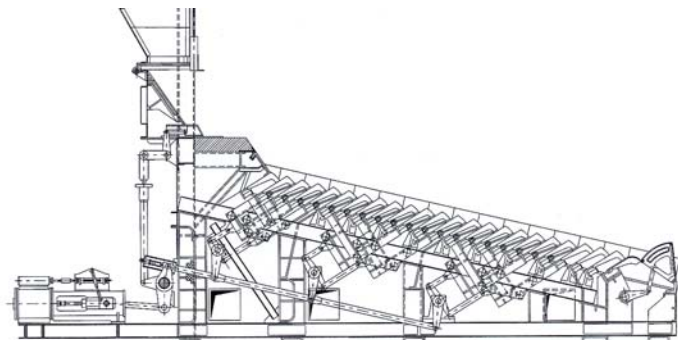


Слика 8.8. Котлови са уређајима за сагоревање чврстог горива у слоју – равне решетке  
 $(D = 0,556 \text{ kg/s}, p = 14 \text{ bar}, t = 195,04 \text{ }^{\circ}\text{C})$        $(D = 6,95 \text{ kg/s}, p = 16 \text{ bar}, t = 350 \text{ }^{\circ}\text{C})$

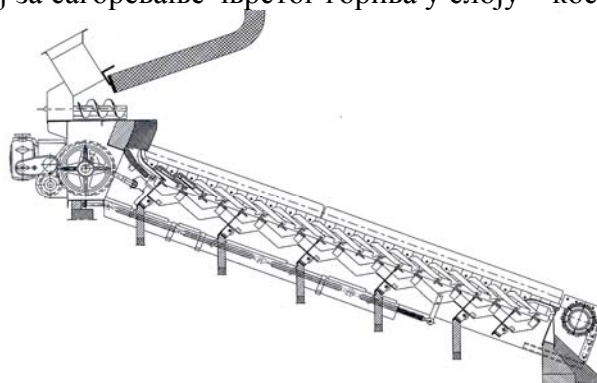


Слика 8.9. Уређаји за сагоревање чврстог горива у слоју – равна непокретна и покретна решетка

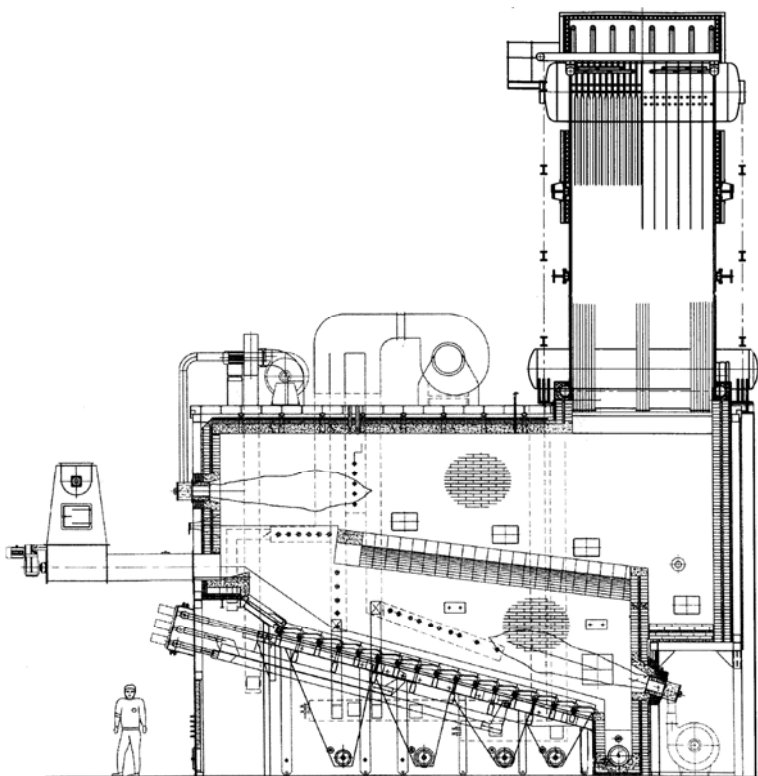
*Косе решетке* се такође деле на непокретне и покретне, које се још називају и механичке решетке. Механичке косе решетке се деле на: степенасте (сл. 8.10), каскадне и Мартинове (сл. 8.11; 8.12).



Слика 8.10. Уређај за сагоревање чврстог горива у слоју – коса покретна решетка



Слика 8.11. Уређај за сагоревање чврстог горива у слоју – коса покретна Мартинова решетка



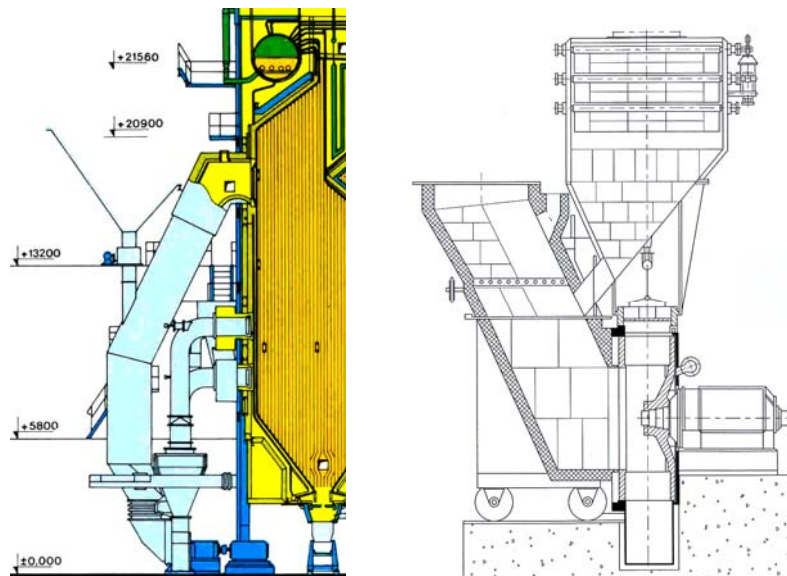
Слика 8.12. Котао са уређајем за сагоревање чврстог горива у слоју – коса решетка и додатним сагоревањем гасовитог горива помоћу два горионика

### *Уређаји за сагоревање чврстог горива у лету*

Сагоревање чврстих горива у слоју може да се оствари само до извесног топлотног капацитета, који се не може прецизно дефинисати, јер зависи од низа чинилаца. Међутим, максималне димензије решетки су ограничене процесом сагоревања и топлотним капацитетом котла, као и погонским и маневарским карактеристикама котла и конструктивним тешкоћама које се јављају при конципирању великих решетки.

Потребе за већим топлотним капацитетима парних котлова, нарочито оних који се користе у термоелектранама, довела је до развоја процеса сагоревања угља, односно угљеног праха, у лету који у односу на сагоревање у слоју имају низ предности, али и недостатака. Међутим, с обзиром да се са другим системима сагоревања не могу постизати велики капацитети котлова, онда недостаци овог система сагоревања то практично и нису.

Постројење за припрему угљеног праха за сагоревање у лету састоји се од уређаја за складиштење и транспорт угља, рецикулационих водова, млинова у којима се врши спрашивање и сушење угља, сепаратора угљеног праха, канала за аеросмешу и горионика који треба да омогуће брзо паљење угљеног праха у ложишту и да обезбеде стабилност пламена (сл. 8.13).



Слика 8.13. Уређај за сагоревање чврстог горива у лету

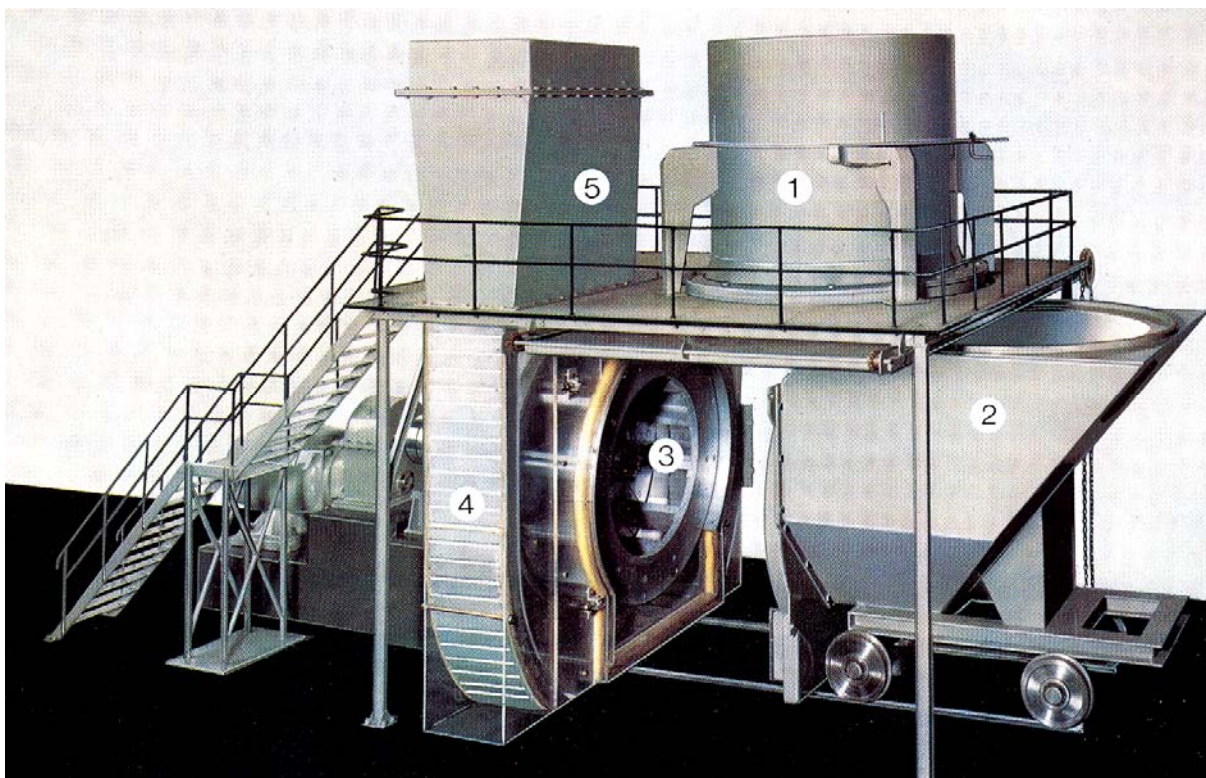
Вентилаторски млин са сепаратором

Подела постројења за припрему угљеног праха везана је за његове основне елементе – млинове и горионике.

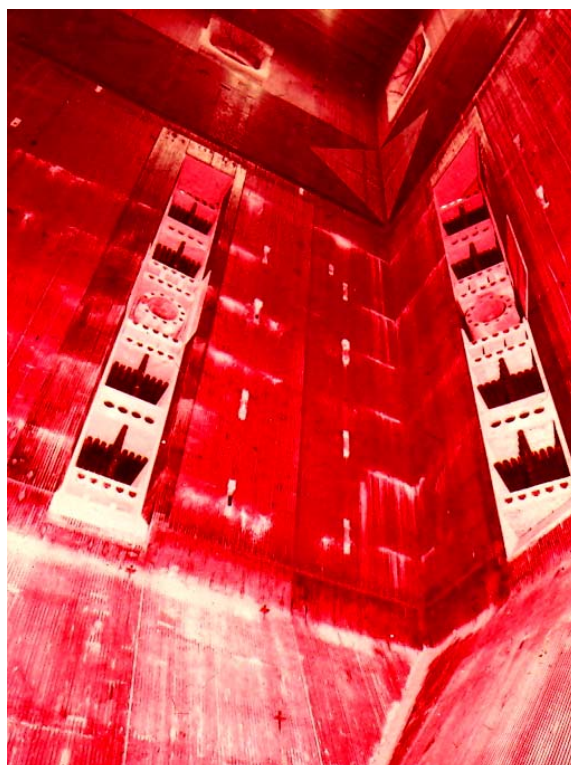
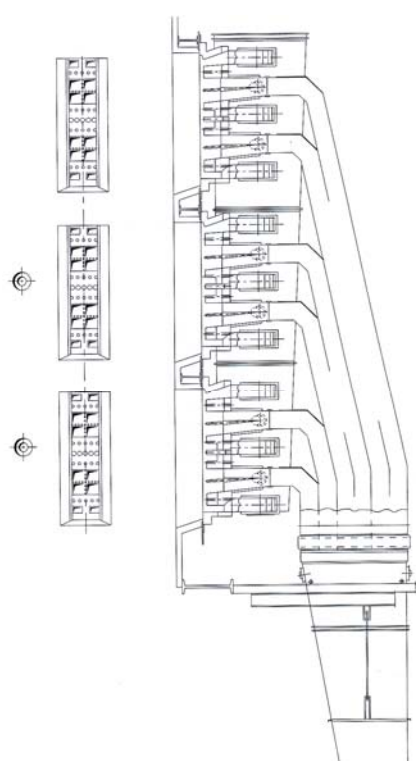
*Млинови* се као ротационе машине деле, према броју обртаја, на спороходе, средњеходе и брзоходе (сл. 8.14). *Горионици* у конструктивном смислу представљају једноставне елементе млинског постројења, али је њихов значај пресудан за остваривање стабилног и што потпунијег сагоревања (сл. 8.15; 8.16).

*Уређаји за сагоревање чврстог горива у вртлогу и у лебдећем (флуидизованом) слоју.*

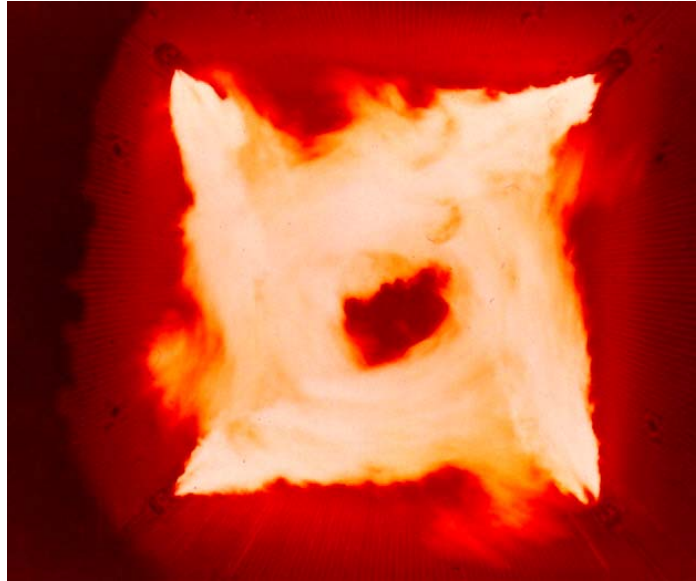
Систем сагоревања у вртлогу са такозваним циклонским ложиштима примењује се за сагоревање квалитетних угљева у котловима великог капацитета. Пошто у нашој земљи нема тако значајних резерви угља оваквог квалитета, систем сагоревања у вртлогу са такозваним циклонским ложиштима користе се код котлова већег капацитета за сагоревање сунцокретове љуске (биомасе).



Слика 8.14. Макета вентилаторског млина



Слика 8.15. Млазни горионик и фотографија ложишта са млазним горионцима



Слика 8.16. Тангенцијално ложење млазним горионцима

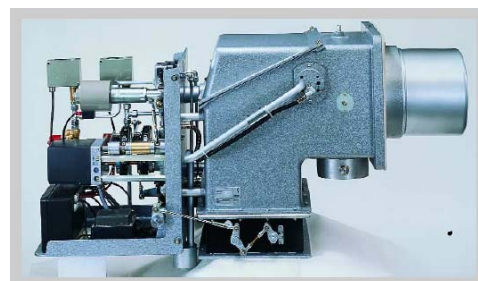
Систем за сагоревање у *флуидизованом слоју* представља на извешан начин прелазни процес између сагоревања у слоју и сагоревања у лету. Овај систем сагоревања се у последње време интензивно развија због тога што омогућава смањење емисије штетних материја у атмосферу, у првом реду сумпордиоксида и азотних оксида.

У досадашњем развоју ложишта за сагоревање у флуидизованом слоју настао је већи број конструкција које се могу свести на: ложишта за сагоревање у мехурастом флуидизованом слоју и ложишта за сагоревање у циркулационом флуидизованом слоју.

### 8.3.2.2. Течна и гасовита горива

Као што је већ речено, течна гориво и природни гас су непромењеног квалитета, па пројектовање ложишта и котлова за њихово сагоревање не представља технички проблем. Сагоревање ових горива се обавља у лету.

*Течно гориво* се распршчује у уређају, који се назива горионик, у велики број малих капи које сагоревају кроз више фаза, које се међусобно преклапају, због чега је процес сагоревања овог горива хетероген. Подела горионика по механизму распршавања може се извршити на горионике са гасним и горионике са механичким распршивањем. Гасно распршивање горива се обавља ваздухом под притиском, па се ови горионици често називају и притисним (сл. 8.17).



Слика 8.17. Горионици за течна гориво

Процес сагоревања *гасовитих горива* је хомоген и одвија се у запаљивој смеши гаса и ваздуха (кисеоника из ваздуха). Организује се на два начина: мешањем гаса и ваздуха у горионику

пре уласка у ложиште или мешањем у самом ложишту. Због тога разликујемо сагоревање једнородне смеше и дифузионо сагоревање (сл. 8.18).



Слика 8.18. Горионици за гасовито гориво са динамичком спиралом за ваздух

Ложишта за сагоревање течног и гасовитог горива код цилиндричних котлова (котлова са великом воденом запремином) су у облику цеви, на чијем једном крају је постављен горионик и која се назива пламеном цеви (сл. 8.1; 8.5а; 8.7), а око које се налази вода. Други крај пламене цеви је скретном комором везан за већи број димних цеви, кроз које струје гасовити продукти сагоревања, а које су такође уроњене у воду. Свака пламена цев цилиндричног котла има свој горионик.

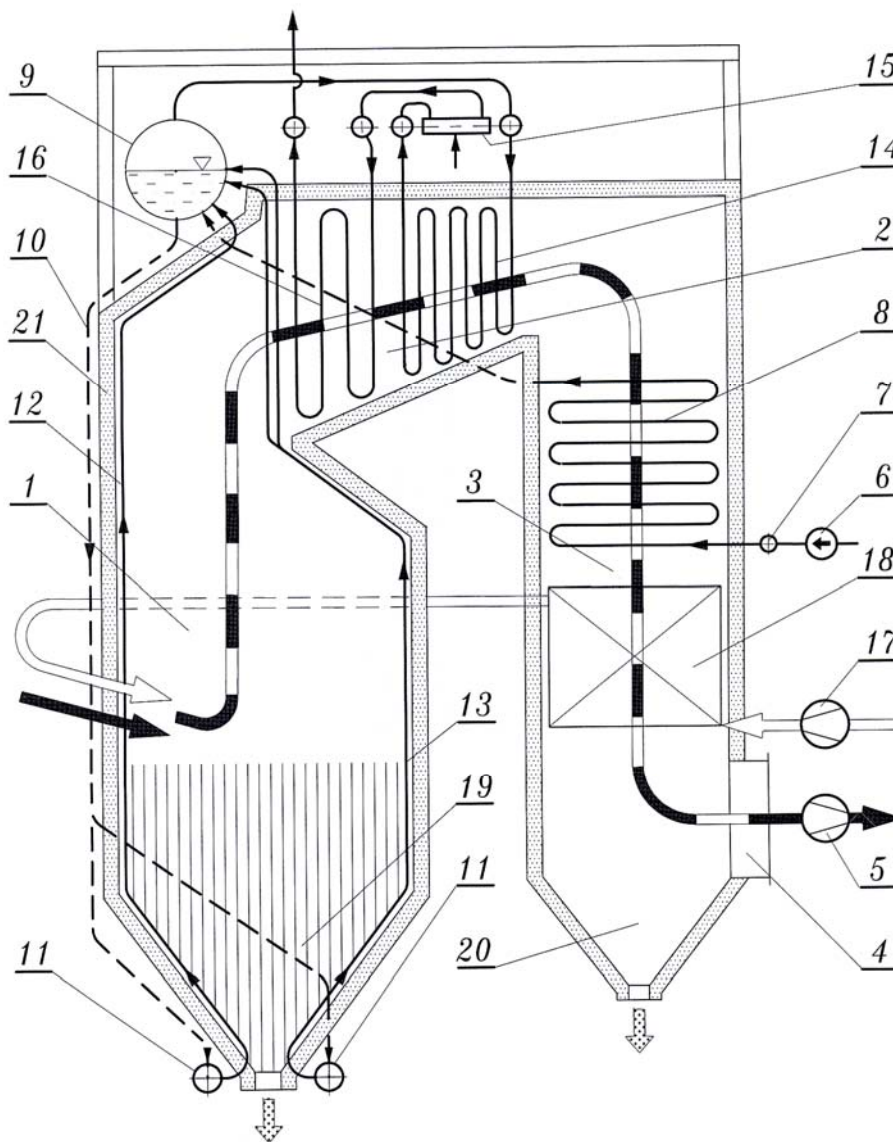
Ложишта код котлова са малом воденом запремином (котлови са водогрејним цевима на течном или гасовитом гориву) снабдевена су већим бројем горионика постављеним најчешће на предњем ложишном зиду или на једном од бочних зидова (сл. 8.5б; 8.19). Сагоревање се обавља у ложишном простору на чијим зидовима су густо постављене, у правилном распореду, водом хлађене цеви. Уколико је реч о котловима мањег капацитета опремљених једним гориником, он се најчешће поставља на плафону ложишта, чиме се постиже добра испуњеност ложишта пламеном.



Слика 8.19. Место постављања комбинованог горионик на бочном зиду ложишта

#### 8.4. ШЕМА ТОКОВА ПРЕДАЈНИКА И ПРИЈЕМНИКА ТОПЛОТЕ У КОТЛУ

Токови свих материја које учествују у производњи паре у котловима називају се трактовима. Делови појединих трактова зависе од врсте горива, система сагоревања и организације струјања воде при њеном испаравању. На сл. 8.20 представљена је шема токова предајника и пријемника топлоте котла са природном циркулацијом за сагоревање угља у лету.



Слика 8.20. Шема токова предајника и пријемника топлоте у парном котлу

1. Ложиште; 2. Хоризонтални гасни међуканал; 3. Конвективни гасни канал; 4. Димни канал; 5. Вентилатор за димне гасове; 6. Напојна пумпа; 7. Улазни колектор загрејача воде; 8. Загрејач воде; 9. Котловски добош; 10. Спусне цеви; 11. Доњи колектор екранских цеви; 12. Подизне (екранске) цеви предњег зида ложишта; 13. Подизне (екранске) цеви задњег зида ложишта; 14. Примарни прегрејач паре; 15. Регулатор температуре прегрејане паре; 16. Секундарни прегрејач паре; 17. Вентилатор за свеж ваздух; 18. Загрејач ваздуха; 19. Ложишни левак; 20. Левак конвективног гасног канала; 21. Озид, изолација и оплата

Начин довођења горива у котао зависи од врсте горива и примењеног система сагоревања. Код овог котла, гориво у спрашеном стању се са загрејаним ваздухом доводи у ложиште (1) у коме се формира смеша која сагорева. Димни гасови струје кроз гасни тракт котла кога чине

ложиште (1), хоризонтални међуканал (2) и конвективни канал (3), па се кроз димни канал (4) помоћу вентилатора (5) посредством димњака избацују у атмосферу. Испред вентилатора за димне гасове поставља се отпрашивач, уређај за издвајање летећег пепела из струје гасова.

У гасним каналима постављени су размењивачи топлоте у којима се одвијају процеси загревања и испаравања воде, као и прегревања паре и који се код парног котла називају грејним површинама.

Прва грејна површина у водено-парном тракту је загрејач воде (8) у кога се вода доводи на појном пумпом (6) преко улазног колектора (7). Размена топлоте између димних гасова врши се принудном конвекцијом, тако што димни гасови струје између, а вода кроз цеви загрејача. Све грејне површине код којих се размена топлоте врши претежно принудном конвекцијом су конвективне, а канал у коме су оне смештене конвективни гасни канал. Вода се у загрејачу загрева приближно до стања кључања, а затим одводи у испаривач парног котла.

Испаривач овог котла има природну циркулацију. Вода из загрејача (8) доводи се у водени простор добоша (9), а затим кроз спусне цеви (10) долази у доње колекторе (11), па се кроз подизне цеви (12) и (13) као мешавина воде и паре враћа у добош. Цеви (12) воде се тако да потпуно покривају предњи зид ложишта, док цеви (13) покривају задњи зид ложишта. Заједно са цевима које се налазе на бочним зидовима и које су такође укључене у циркулационо коло оне формирају ложишни простор. У ложишту, као што је већ речено, сагорева гориво, па пламен и димни гасови високе температуре зраче топлоту на цеви кроз које струји мешавина воде и паре и обезбеђују непрекидно испаравање. Према томе, цеви на зидовима ложишта представљају испаривач парног котла коме се топлота предаје зрачењем пламена и димних гасова. Овакав испаривач је озрачени, док су цеви на зидовима ложишта екранске. Вода која кружи кроз испаривач котла са природном циркулацијом назива се котловска вода и она не испарава у једном кругу.

Котловски добош постоји само код котлова са циркулацијом и у њему се врши раздвајање парне од водене фазе. Пара из мешавине која у добош доспева у цеви испаривача скупља се у парном простору, док вода остаје у воденом простору и, заједно са водом која се доводи из загрејача, иде поново у испаривач.

У парном простору добоша се из струје паре издвајају капљице воде (врши се њена сепарација), па се као сувозасићена пара одводи на прегревање у прегрејач. Због потребе потрошача, температуру прегрејане паре на излазу из котла треба одржавати непромењеном, што се врши регулисањем.

Пара из водено-парног добоша се одводи у примарни прегрејач паре (14) у коме се прегрева до одређене температуре, одузимајући топлоту димним гасовима. После тога се одводи у регулатор температуре прегрејане паре (15) где јој се снижава температура, а затим у секундарни прегрејач паре (16) у коме се прегрева до коначне температуре и одводи у потрошњу.

Ваздух за сагоревање може да се доводи непосредно из околине (незагрејан), али се много чешће загрева. Вентилатором за свеж ваздух (17) он се потискује кроз загрејач ваздуха (18) у коме се загрева до одређене температуре, а затим одводи у ложиште.

Чврсти остаци сагоревања који потичу од минералних материја из горива деле се на два дела. Један у облику шљаке остаје у ложишту и одводи се из ложишног левка (19). Остатак као летећи пепео напушта ложиште са гасовима и мањим делом се издваја у конвективном гасном каналу и одводи из левка (20), а већим у отпрашивачу постављеном иза котла.

Котловски озид са изолацијом и оплатом (21) има две функције: да спречи избијање димних гасова у околину и прекомерно одавање топлоте околини.

Конструкција која носи грејне површине, добош, озид и изолацију, фину и грубу арматуру, то јест, парни котао у целини, зове се котловски скелет и представља просторну решетку изграђену од различитих челичних профила.