Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Tehniskā fakultāte
Lauksaimniecības enerģētikas institūts

Raimunds Šeļegovskis

Siltuma ieguves tehnoloģijas
1.daļa

Metodiskais materiāls studiju priekšmeta
„Siltumapgādes avoti"
teorētiskās daļas apguvei

Jelgava 2007

Priekšvārds

Mācību līdzeklis pamatā paredzēts LLU Tehniskās fakultātes Lauksaimniecības enerģētikas specialitātes studentiem studiju priekšmeta „Siltumapgādes avoti" teorētiskās daļas apguvei.
Materiāls sakārtots atbilstoši lekciju saturam un to izklāsta secībai. Tas satur siltumapgādes sistēmās izmantojamo siltumu ražojošo iekārtu klasifikāciju, konstrukcijas, galveno sastāvdaļu aprakstu, darbības teorētiskos pamatprincipus, tiek aprakstīti galvenie parametri.
Materiāls satur nodaļas, kas veltītas ūdens sildkatlu un tvaika katlu uzbūvei un darbības principiem, kurās aprakstītas katlu iekārtu galvenās sastāvdaļas, t.i. ūdens ekonomaizeri, kurtuves gaisa sildītāji, tvaika pārkarsētāji. Atsevišķas nodaļas veltītas katla barošanas ūdens sagatavošanas sistēmām, dūmgāžu attīrīšanas sistēmām, tvaika tīrības nodrošināšanas metodēm.
Atsevišķā nodaļa aprakstīti siltumsūkņu darbības principi un uzbūve.
Materiālu var izmantot arī citu augstskolu un citu specialitāšu studenti studiju priekšmetu apguvei, kas saistīti ar siltumu ražojošām iekārtām un to darbību.
Apgūstot attiecīgo studiju priekšmetu nav jāaprobežojas tikai ar šī materiāla apguvi, jo tas sniedz tikai galveno pamatprincipu izklāstu. Pilnīgai priekšmeta apguvei jāizmanto citi literatūras avoti ar sīkāku un detalizētāku attiecīgās tēmas izklāstu, kas var papildināt šeit sniegto informāciju, kā arī nemitīgi jāseko jaunāko tehnoloģiju un iekārtu attīstībai.

Saturs

1. Katlu darbības principi
   1.1. Katlu iekārtas, to sastāvdaļas, sistēmas 5
   1.2. Tvaika katlu galvenie elementi un darbības pamatprincipi 7
   1.3. Ūdens tvaika veidi un tā galvenie parametri 10
   1.4. Katlu klasifikācija 11
   1.5. Katlu galvenie parametri 14
2. Katlu uzbūve 16
   2.1. Ūdens sildkatlu veidi un uzbūve 16
      2.1.1. Čuguna ūdens sildkatli 16
      2.1.2. Tērauda ūdens sildkatli 18
   2.2. Tvaika katlu veidi un uzbūve 22
      2.2.1. Čuguna tvaika katli 22
      2.2.2. Tērauda tvaika katli 23
3. Katlu elementi 28
   3.1. Tvaika pārkarsētāji 28
      3.1.1. Klasifikācija 28
      3.1.2. Pārkarsētāju uzbūve un siltuma plūsma tajos 29
   3.2. Tvaika temperatūras regulēšanas veidi un ierīces 31
   3.3. Ūdens ekonomaizeri 34
      3.3.1. Klasifikācija 34
      3.3.2. Čuguna ūdens ekonomaizeri 34
      3.3.3. Tērauda ūdens ekonomaizeri 36
   3.4. Kurtuvei pievadāmā gaisa sildītāji 38
      3.4.1. Rekuperatīvie gaisa sildītāji 38
      3.4.2. Reģeneratīvie gaisa sildītāji 42
4. Tvaika tīrības nodrošināšanas veidi 44
   4.1. Pakāpjveida iztvaicēšana 44
   4.2. Tvaika mehāniska separācija 45
      4.2.1. Perforēto plākšņu separatori 46
      4.2.2. Žalūziju tipa separatori 46
      4.2.3. Centrbēdzes saparatori 47
      4.2.4. Tvaika skalošana 49
   4.3. Nopūšana 49
5. Velkmes un dūmgāžu aizvadīšanas iekārtas 52
   5.1. Kurtuves gaisa ventilatori 52
   5.2. Dūmgāžu aizvadīšanas iekārtas 52
6. Izmešu sastāvs un to samazināšanas metodes 54
   6.1. Kaitīgās sastāvdaļas dūmgāzēs, to ietekme uz vidi un cilvēku 54
   6.2. kaitīgo izmešu samazināšana dūmgāzēs 62
      6.2.1. Sēra oksīdu daudzuma samazināšana 62
      6.2.2. Slāpekļa oksīdu samazināšana 64
      6.2.3. Vienlaicīga SO_2 un NO_x atdalīšana 67
      6.2.4. Cieto izmešu samazināšana 70

7. Rūpniecisko gāzu attīrīšana no degošajām sastāvdaļām 75
8. Ūdens sagatavošana katlu iekārtām 77
8.1. Ūdens tehnoloģiskie parametri 77
8.2. Ūdens piemaisījumu ietekme uz katla darbību 79
8.3. Ūdens sagatavošanas metodes 80
8.3.1. Dzidrināšana 81
8.3.2. Mīkstināšana 82
8.3.3. Demineralizācija 83
8.3.4. Degazācija 85
8.3.5. Citi attīrīšanas speciālie pasākumi 89
9. Siltumsūkņi 90
9.1. Siltumsūkņu darbības principi 90
9.2. Siltumsūkņa enerģijas bilance 92
10. Katlu iekārtas siltuma bilance 94

1. Katlu darbības principi
1.1.Katlu iekārtas, to sastāvdaļas, sistēmas

Katlu iekārtu veido iekārtu komplekss, kas atrodas speciālā telpā un kalpo, lai pārvērstu kurināmā ķīmisko enerģiju siltuma enerģijā un pievadītu to siltumnesējam.

Katlu iekārta sastāv no sekojošām galvenajām sastāvdaļām un sistēmām:

- kurtuve;
- siltumnesēja cirkulācijas un siltumapmaiņas elementi;
- barošanas sistēma;
- velkmes sistēma;
- kurināmā padeves sistēma;
- katla vadības sistēma.

Kurtuvē notiek kurināmā degšanas process, t.i. kurināmā ķīmiskās enerģijas pārvēršana siltuma enerģijā. Kurtuves tiek izveidotas atbilstoši nosacījumiem izmantotajam kurināmam. Kurtuvē atrodas ārdi, degļi un citas iekārtas, kas nodrošina degšanas procesu.

Siltumnesēja cirkulācijas un siltumapmaiņas elementi ietver:

- siltumapmaiņas virsmas, kas var būt izveidotas kā ekrāncaurules vai plakani ūdens apvalki, kuros notiek silšanas vai iztvaicēšanas procesi;
- kolektorus, kas savieno ekrāncaurules vai citus cirkulācijas elementus;
- tvaika tvertni.

Barošanas sistēmu veido katla barošanas ūdens sagatavošanas un pievadīšanas elementi, piemēram, barošanas ūdens sūknis, cauruļvadi ar armatūru, ekonomaizers u.c.

Velkmes sistēma ietver elementus, kas kalpo kurtuvei pievadāmā gaisa padevei, piemēram, velkmes ventilatoru, gaisa vadus u.c., kā arī dūmgāzu aizvadīšanas elementus, piemēram, dūmsūkni, dūmejas, dūmgāzu attīrīšanas iekārtas, dūmeni.

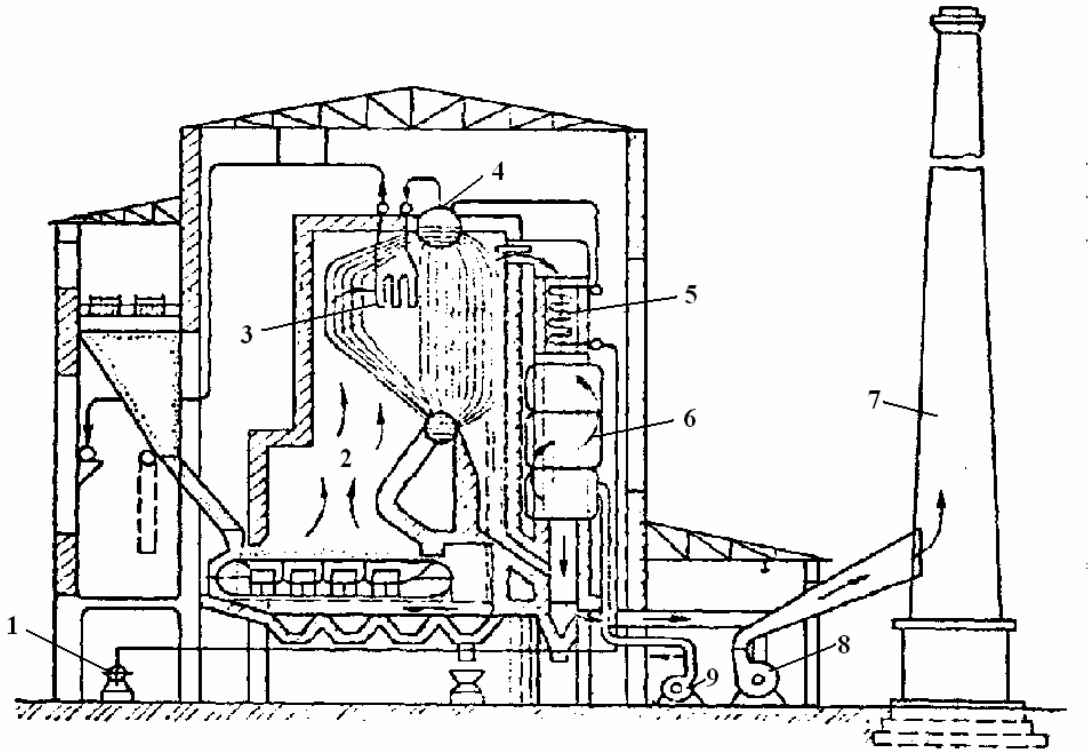
Kurināmā padeves sistēma ietver kurināmā (cieta, šķidra vai gāzveida) padeves elementus, piemēram, degvielas sūkni, padeves cauruļvadus, vārstus, kurināmā iesviedējus u.c.

Katla vadības sistēma ietver mehāniskus, elektriskus u.c. vadības elementus, kas kalpo, lai nodrošinātu katlu iekārtas darbības nepieciešamos parametrus gan automātiskā, gan rokas vadības režīmā. To veido vadības bloks, mērierīces un izpildmehānismi.

Pēc nozīmes katlu iekārtas var iedalīt:

1. enerģētiskās – iegūtais siltums tiek izmantots elektroenerģijas ražošanā, pārpalikumu var izmantot apsildei u.c. vajadzībām;
2. ražošanas – iegūtais siltums paredzēts ražošanas procesa nodrošināšanai, pārpalikumu var izmantot apsildei u.c. vajadzībām;
3. apsildes – siltums tiek izmantots apsildes vajadzībām, pēc lieluma tās var iedalīt:
   3.1. rajonu katlu iekārtas – paredzētas, piemēram, pilsētas mikrorajona apsildes nodrošināšanai;
   3.2. grupu katlu iekārtas – paredzētas vairāku ēku vai kvartāla apsildes nodrošināšanai;
   3.3. vietējās katlu iekārtas – paredzētas vienas vai izņēmuma gadījumā vairāku tuvu stāvošu ēku apsildei.

Tvaika katla iekārtas vispārīga shēma attēlota 1. attēlā



1.attēls. Tvaika katla iekārtas shēma

1 – barošanas sūknis;
2 – kurtuve;
3 – tvaika pārkarsētājs;
4 – tvaika tvertne;
5 – ekonomaizers;
6 – kurtuves gaisa sildītājs;
7 – dūmenis;
8 – dūmsūknis;
9 – gaisa padeves ventilators.

1.2. Tvaika katlu galvenie elementi un darbības pamatprincipi

Katla pamatelements ir **silšanas virsmas (siltumapmaiņas virsmas, sildvirsmas)**.
Silšanas virsmas novada siltumu no liesmas un dūmgāzēm uz siltumnesēju.
Silšanas virsmas tiek izveidotas no caurulēm, kuras apakšējā daļā tiek savienotas ar kolektoriem, augšējā daļā pievienotas pie tvaika tvertnes.
Nelielas jaudas katliem (pārsvarā ūdens sildkatliem) sildvirsmas var būt izveidotas plakanu ūdens apvalku veidā.

Pēc siltuma uzņemšanas principa silšanas virsmas var iedalīt:

- **radiācijas**, siltumu uzņem galvenokārt radiācijas ceļā no liesmas un dūmgāzēm, izvietotas uz kurtuves sienām un griestiem, šīs caurules sauc par **ekrāncaurulēm**, blokus, kas sastāv no ekrāncaurulēm, sauc par **ekrāniem**;
- **konvektīvās**, siltumu uzņem galvenokārt konvekcijas ceļā no dūmgāzēm; izvietotas dūmgāžu ejās.

Tvaika katla tilpumu var iedalīt:

- tvaika tilpums;
- ūdens tilpums.

Tvaika tilpums nepieciešams tvaika „žāvēšanai", respektīvi, mitruma samazināšanai. Jo tvaika tilpums aizņem lielāku daļu, jo labāki apstākļi tvaika žūšanai.
Ūdens tilpums kalpo kā siltuma akumulators, kas uzkrāj siltumu un izlīdzina katla parametru īslaicīgas svārstības, kas var rasties dažādu faktoru ietekmē, piemēram, mainoties tvaika patēriņam vai mainīgas kurināmā kvalitātes dēļ.

Ūdens līmenim tvaika tvertnē jāatrodas starp minimālo un maksimālo.
Minimālais līmenis izvēlēts izejot no drošības apsvērumiem. Samazinoties tam pieaugs tvaika spiediens.
Maksimālo ūdens līmeni nosaka pieļaujamais tvaika mitrums tvertnes izejā.
Parasti līmeņa starpība starp minimālo un maksimālo ir aptuveni 100 mm.
Ūdens tilpumu starp minimālo un maksimālo līmeni sauc par **katla barošanas tilpumu**.

Katlos norisinās divi galvenie pamatprocesi:
1. kurināmā degšanas process;
2. siltumapmaiņas process ar siltumnesēju.

Siltumapmaiņas process, pārejot siltuma no liesmas un gāzu vides kurtuvē uz siltumnesēju norisinās sekojošos veidos;

– konvektīvā siltumatdeve no gāzu vides uz siltumapmaiņas virsmu, ko raksturo sakarība:

$$Q = \alpha_d * (t_d - t_{sv}) * S_v \quad , \tag{1}$$

kur: Q – siltuma plūsma, kJ;
t_d – vidējā gāzu vides temperatūra virsmas tuvumā, K;
t_{sv} – virsmas temperatūra, K;
α_d - virsmas vidējais siltumatdeves koeficients, W/(m^2*K);

– siltumvadīšana caur silšanas virsmu, ko raksturo sekojoša sakarība:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} * (t_{sv} - t_{iv}), \tag{2}$$

kur: λ - silšanas virsmas materiāla siltumvadītspējas koeficients, W/(m*K);
δ - sieniņas biezums, m;
t_{iv} – sieniņas iekšējās virsmas temperatūra, K.

– konvektīvā siltumatdeve no silšanas virsmas elementu iekšējās virsmas uz siltumnesēju, ko raksturo sakarība, kas analoga (1), tikai α_d jāaizstāj ar siltumatdeves koeficientu no iekšējās virsmas uz siltumnesēju. Tas ir atkarīgs no virsmas materiāla, tīrības un siltumnesēja plūsmas režīma un citiem parametriem.

Tā, kā no dūmgāzu puses silšanas virsmas katlam, kurš atrodas darbībā sedz kvēpu un pelnu kārta, bet siltumnesēja pusē katlakmens un citu nosēdumu kārta, tie būtiski ietekmē siltumpāreju. Šajā gadījumā norisinās siltuma plūsma caur daudzslāņu materiālu.

Siltumnesēja cirkulācija katlā

Tā, kā parasti siltumnesējs ir ūdens, kas tvaika katlā tiek pārvērsts tvaikā, tad turpmāk termina „siltumnesējs" vietā bieži tiks lietots attiecīgi ūdens vai tvaiks, izņemot speciālus gadījumus.
Siltumnesēja cirkulācija katlā var būt:

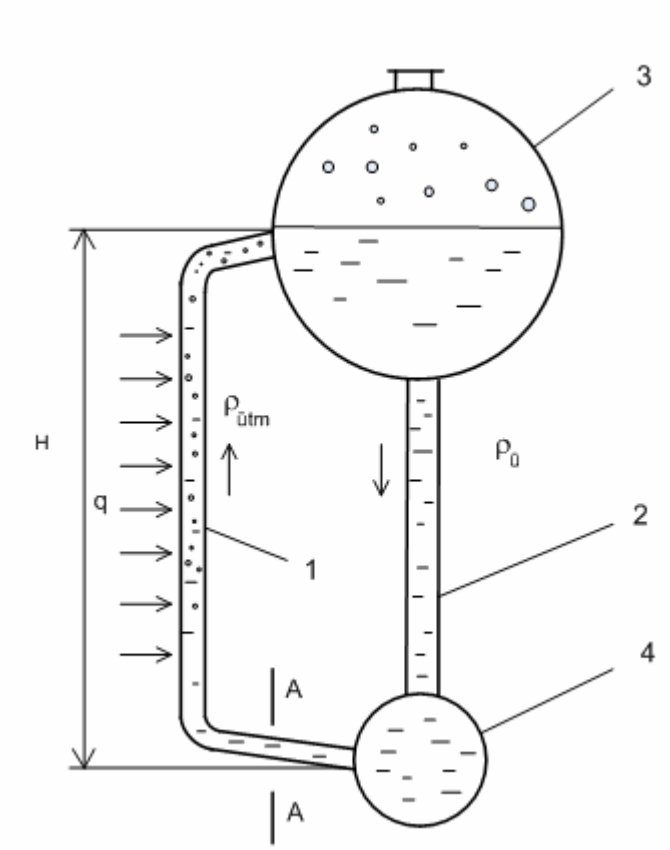
– dabīgā, pieaugot temperatūrai, siltumnesējam samazinās blīvums, un tas ceļas augšup radot dabisko cirkulācijas spiedienu;
– mākslīgā, siltumnesēja cirkulācija papildus tiek sekmēta ar sūkni.

Siltumnesēja cirkulāciju katlā shematiski raksturo 2. attēls.

Cirkulācijas spiedienu griezumā A-A var izteikt ar sekojošu sakarību:

$$p_c = H * g * (\rho_{\bar{u}} - \rho_{\bar{u}tm}) \quad , \tag{3}$$

kur: p_c – cirkulācijas spiediens, Pa;
H – līmeņu starpība tvaika tvertnē un apakšējā kolektorā, m;
$\rho_{\bar{u}}$ – ūdens blīvums, kg/m^3;
$\rho_{\bar{u}tm}$ – ūdens – tvaika maisījuma blīvums, kg/m^3.



2. attēls. Vienkāršota siltumnesēja cirkulācijas shēma katla kontūrā
1 – siltumu uzņemošā ekrāncaurule;
2 – atplūdes caurule;
3 - tvaika tvertne;
4 – apakšējais kolektors.

Vienā gājienā cauri iztvaikošanas caurulēm ūdenī vidēji pārvēršas tikai 4-25 % no caurplūdušā ūdens.
Tvaika rašanās intensitāti raksturo cirkulācijas pakāpe k.

$$k = \frac{m_{ū}}{m_{tv}} \quad , \tag{4}$$

kur: $m_{ū}$ – ūdens masa cirkulācijas kontūrā, kg;
m_{tv} – tvaika masa, kas radusies cirkulācijas periodā, kg.

Tvaika katlam parasti (izņemot pilnplūsmas katlus) cirkulācijas pakāpe k ir 5 līdz 50.

1.3. Ūdens tvaika veidi un tā galvenie parametri

Ūdens tvaiks ir **mitrs**, **sauss piesātināts** un **pārkarsēts**.

Tvaiku raksturo sausuma pakāpe x.
Sausuma pakāpe izsaka sausa tvaika masu attiecinātu pret kopējo tvaika masu.

$$x = \frac{m_s}{m_k}, \tag{5}$$

kur: m_s – sausa tvaika masa, kg;
m_k – kopējā tvaika masa, kg.

1. tabula

Tvaika veidi un parametri

Tvaiks	Sausuma pakāpe x	Temperatūra, T
Mitrs tvaiks	0<x<1	$T=T_s$
Sauss piesātināts tvaiks	x=1	$T=T_s$
Pārkarsēts tvaiks	x=1	$T>T_s$

T_s – piesātināšanās (vārīšanās) temperatūra pie dotā spiediena.

$$y = 1 - x, \tag{6}$$

kur: y- mitruma pakāpe.

Lai atšķirtu parametrus, kas raksturo dažādus tvaika veidus un to parametrus, izmanto atbilstošus indeksus. Piemēram, īpatnējo tvaika tilpumu var apzīmēt ar sekojošiem indeksiem:

v’ – mitrā tvaikā ietilpstošā mitruma (šķidrās fāzes) īpatnējais tilpums,
v’’ – mitrā tvaikā ietilpstošā sausā tvaika īpatnējais tilpums,
v_x – mitra tvaika kopējais īpatnējais tilpums,
v – pārkarsēta tvaika īpatnējais tilpums.

Šādus indeksus lieto arī pie visiem citiem atbilstošajiem parametriem.

Ūdens iztvaicēšanas un pārkarsēšanas procesā tas uzņem ievērojamu siltuma daudzumu.
Pilnu siltumietilpību 1 kg tvaika var izteikt ar entalpiju h, kJ/kg.
Pārkarsēta tvaika entalpiju sastāda ūdenim pievadītais siltums uzsildīšanas procesā, ko var izteikt ar h’, iztvaicēšanas siltums r un pārkarsēšanas siltums.

$$h = h' + r + q_p \ , \tag{7}$$

kur: $q_p = c_p * (T - T_s)$ - tvaika pārkarsēšanas siltums, kJ;
c_p – tvaika siltumietilpība, kJ/(kg*K);
T – pārkarsēta tvaika temperatūra (jeb pārkarsēšanas pakāpe), K.

Entalpija h, jeb siltuma saturs raksturo siltuma daudzumu, ko teorētiski patērētājā varēs novadīt no tvaika un izmantot patērētājā, to kondensējot (jāņem vērā zudumi tvaika pārvadīšanas procesā un iekārtu lietderības koeficienti.)

1.4.Katlu klasifikācija

Vispārēja katlu klasifikācija

1. Atkarībā no ūdens agregātstāvokļa izejot no katla:

1 – tvaika katli;
2 - ūdens sildkatli.

2. Atkarībā no materiāla:

1 – tērauda katli;
2 – čuguna katli (tērauda katliem virsmās difūzijas ceļā var būt iestrādāts arī cits metāls, lai uzlabotu noteiktas fizikālās īpašības).

3. Pēc siltuma uzņemšanas virsmu konstrukcijas un plūsmu veida:

1 – sekciju katli;
2 - liesmas (svelmes) cauruļu katli;
3 – ūdens cauruļu katli;
4 - katli ar ūdens apvalkiem un šķērssienām.

Sekciju katli tiek salikti no atsevišķām sekcijām (parasti čuguna).
Liesmas cauruļu katlos pa caurulēm plūst karstas dūmgāzes, no ārpuses tās apskalo ūdens.
Ūdens cauruļu katlos pa caurulēm plūst ūdens, bet no ārpuses tās apskalo dūmgāzes.
Katlos ar ūdens apvalkiem un šķērssienām kurtuvi un dūmejas aptver ūdens apvalki (parasti ūdens sildkatli).

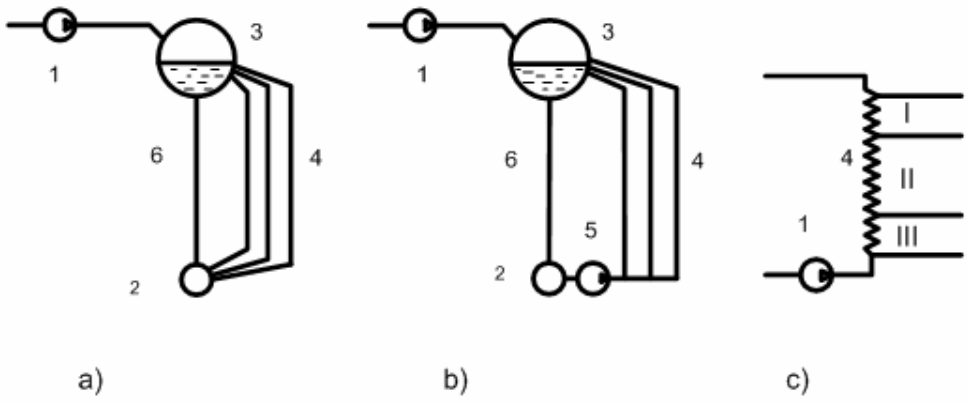
Tvaika katlu klasifikācija

1. Pēc cirkulācijas veida (3. attēls):

1 – ar dabisko cirkulāciju (spiediens līdz 18 MPa, parasti k = 5 līdz 30);
2 – ar daudzkārtējo piespiedu cirkulāciju (k = 4 līdz 10);
3 – pilnplūsmas katli (k = 1).

Katlos ar dabisko cirkulāciju (3.a. att.)cirkulācijas spiediens rodas uzsilstot un daļēji iztvaikojot ekrāncaurulēs esošajam ūdenim, kā rezultātā tā blīvums ievērojami samazinās.

Katlos ar daudzkārtējo piespiedu cirkulāciju cirkulācijas spiedienu rada ar cirkulācijas sūkni (4.att.). Dabiskā cirkulācija pie augstiem spiedieniem (tuvu kritiskajam) ir apgrūtināta, jo tvaika un ūdens blīvumi pēc lieluma kļūst līdzīgi.



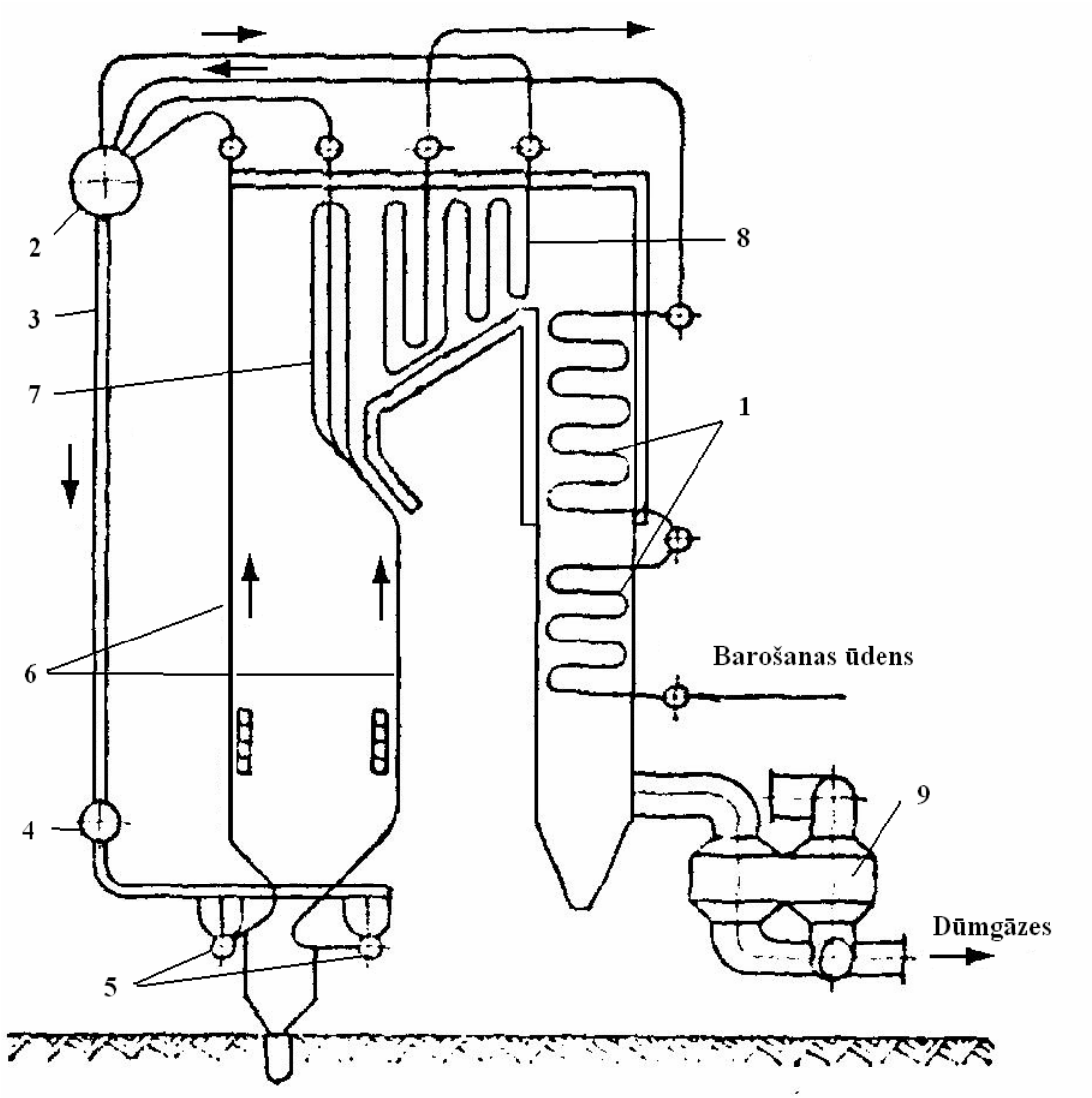
3. attēls. Tvaika katlu cirkulācijas shēmas
a) – katli ar dabisko cirkulāciju;
b) – katli ar daudzkārtējo piespiedu cirkulāciju;
c) - pilnplūsmas katli.

1 – barošanas ūdens sūknis;
2 – apakšējais kolektors;
3 – tvaika tvertne;
4 – iztvaikošanas caurules (ekrāncaurules);
5 – cirkulācijas sūknis;
6 – atplūdes caurules.
I – tvaika pārkarsēšanas zona;
II – iztvaikošanas zona;
III – ūdens ekonomaizera zona.

Pilnplūsmas katlos (5.att.) tiek iztvaicēts viss caurplūstošais ūdens, tādēļ tiem nav tvaika tvertnes. Virskritiskā spiediena katli kā likums ir pilnplūsmas katli.

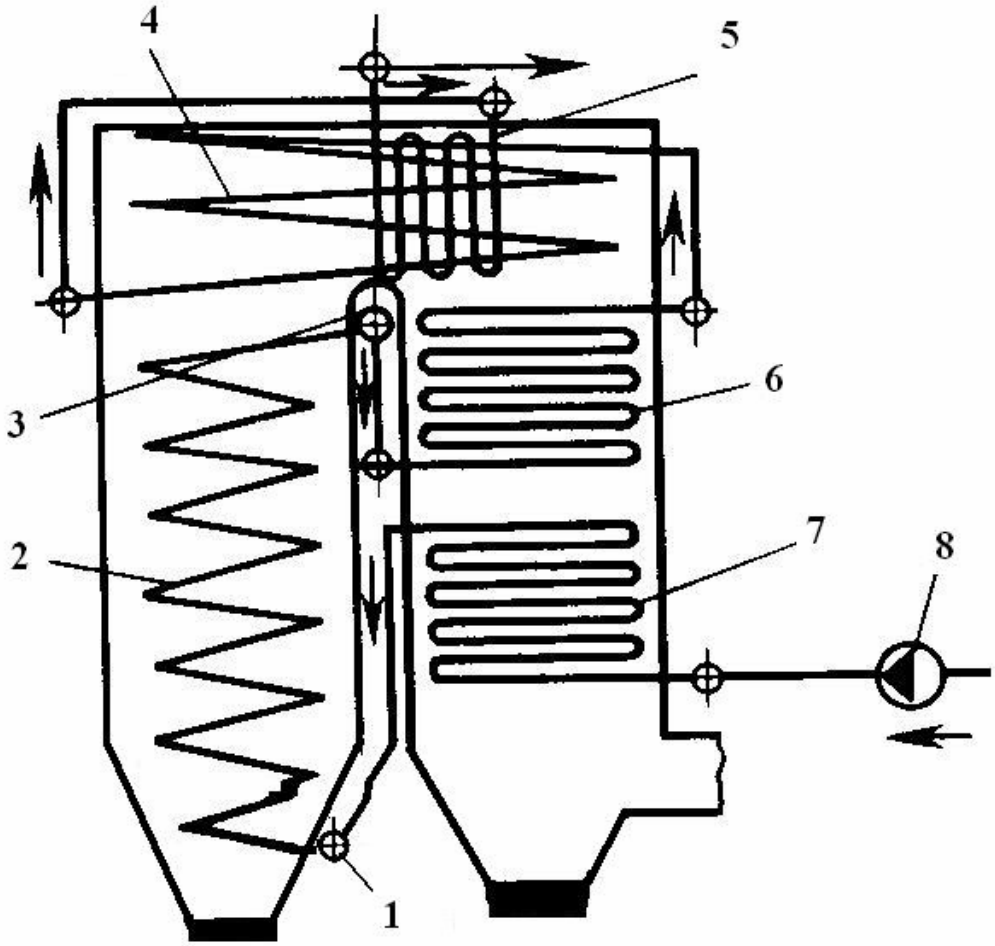
2. Pēc tvaika spiediena

1 – zemspiediena (līdz1 MPa);
2 – vidēja spiediena (1 – 10 MPa);
3 – augstspiediena (10 – 22,5 MPa);
4 – virskritiskā spiediena (virs 22,5 MPa).



4.attēls. Konstruktīvā shēma katlam ar daudzkārtēju piespiedu cirkulāciju

1 – ekonomaizers;
2 – tvaika tvertne;
3 – atplūdes caurules;
4 – cirkulācijas sūknis;
5 – apakšējie kolektori;
6 – iztvaikotāju radiācijas virsmas (ekrāncaurules);
7 – festons;
8 – tvaika pārkarsētājs;
9 – reģeneratīvais gaisa sildītājs.



5. attēls. Pilnplūsmas katla konstruktīvā shēma

1 – ieplūdes kolektors;
2 – apakšējās radiācijas sildaurules;
3 – apakšējo radiācijas sildauruļu izejas kolektors;
4 – augšējās radiācijas sildcaurules;
5 – konvektīvais pārkarsētājs;
6 – beidzamais iztvaicētājs ar nelielu pārkarsēšanu;
7 – ekonomaizers;
8 – barošanas sūknis.

1.5.Katlu galvenie parametri

Tvaika katla izvēles galvenie parametri

1. **Tvaika ražīgums D, kg/s (t/h).**

Izsaka laika vienībā saražoto tvaika daudzumu. Bieži tiek uzrādīts katla markā.

2. **Iegūtā tvaika nominālais spiediens p, MPa, un temperatūra t_{tv} , ^{o}C.**

Raksturo tvaika parametrus izejā. Ar tiem saprot parametrus, kuri jānodrošina pie nominālā katla ražīguma tieši tvaika izejā pirms tvaika maģistrāles uz patērētāju. Tvaika temperatūrai papildus nosacījums, ka tā jānodrošina pie nominālā tvaika spiediena un barošanas ūdens temperatūras (ūdenim pirms ekonomaizera).

3. **Katla nominālais lietderības koeficients η_k, %.**

Koeficients, kas raksturo katla darbības efektivitāti nominālajā režīmā.

4. **Tvaika spriegums D/H, kg/(m^2*h).**

Izsaka iegūtā tvaika daudzumu laika vienībā no silšanas virsmas laukuma vienības. Raksturo katla kompaktumu.

Ūdens sildkatla izvēles galvenie parametri.

1. **Nominālā siltuma jauda jeb ražīgums Q, W (kW, MW).**

2. **Nominālā ūdens temperatūra $t_ū$, ^oC.**

3. **Katla nominālais lietderības koeficients η_k, %.**

Koeficients, kas raksturo katla darbības efektivitāti nominālajā režīmā.

4. **Katla īpatnējā siltuma jauda Q/H, W/m^2 (kW/m^2).**

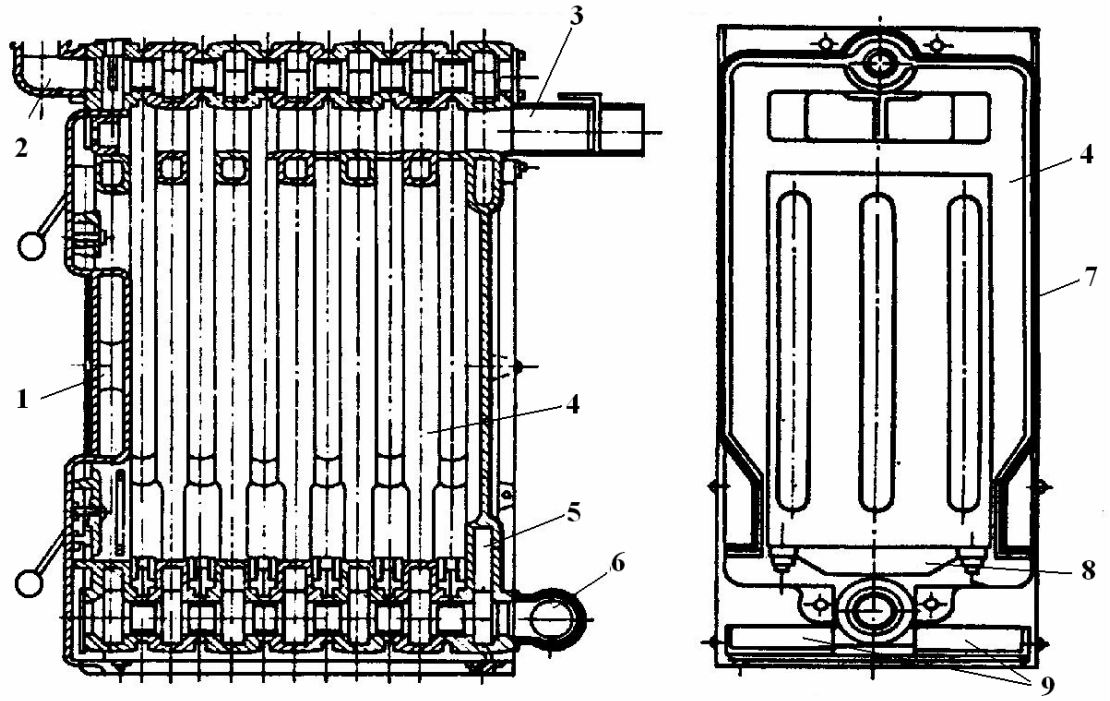
Izsaka iegūto siltuma jaudu no silšanas virsmas laukuma vienības. Raksturo katla kompaktumu. Reizēm šo lielumu aizstāj ar silšanas virsmu laukumu H, m^2.

2. Katlu uzbūve

2.1. Ūdens sildkatlu veidi un uzbūve

2.1.1. Čuguna ūdens sildkatli

Čuguna ūdens sildkatli ir salikti no atsevišķām sekcijām. Sekcijas savā starpā ir savienotas ar nipeļiem, kuriem ir divas konusveida virsmas, kuras savelkot nodrošina blīvējumu starp sekciju ūdens plūšanas urbumiem un tiem. Sekciju sildkatla uzbūve parādīta 5. attēlā. Sekcijas savā starpā tiek sastiprinātas ar garām savilkšanas bultskrūvēm. Pie katla montāžas īpaša vērība jāpiegriež vienmērīgai pakāpeniskai skrūvju pievilkšanai.
Čuguna katlus izmanto ūdens sildīšanai līdz temperatūrai 115 ^{0}C un spiedienam 0,7 MPa.
Atkarībā no sekciju izveidojuma un kurtuves novietojuma, izšķir katlus ar iekšējo un apakšējo kurtuvi. Katliem ar iekšējo kurtuvi, tā atrodas sekciju vidusdaļā (6. att.), katliem ar apakšējo kurtuvi, tā atrodas zem sekcijām (7. att.).



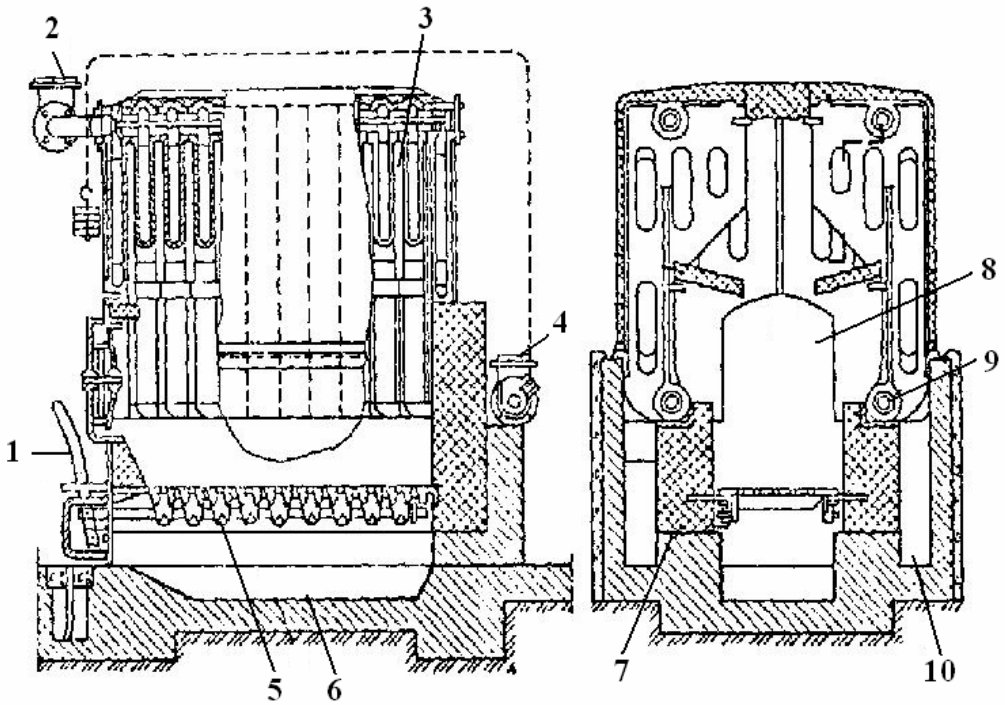
6. attēls. Čuguna sekciju ūdens sildkatla ar iekšējo kurtuvi uzbūve
1 – katla priekšpuse;
2 – karstā ūdens izeja;
3 – dūmgāžu izeja;
4 – katla vidējās sekcijas;
5 – aizmugurējā sekcija;
6 – aukstā ūdens ieejā;
7 – siltumizolācijas kārta;
8 – ārdi;
9 – pelnu kaste.

Šādai katlu konstrukcijai ir sekojošas būtiskas priekšrocības:

- Iespējas mainīt silšanas virsmu laukumu, mainot sekciju skaitu, un līdz ar to arī katla jaudu;
- Iespējas nomainīt bojāto sekciju, neveicot visa katla remontu;
- Čuguns ir izturīgs pret koroziju, salīdzinot ar tēraudu, līdz ar to čuguna katlu mazāk ietekmē dūmgāzu mitruma kondensēšanās uz virsmām pie nepareiza vai pārejas (uzsilšanas periodā) darba režīma;
- Čuguna katliem ir ilgāks darbmūžs nekā tērauda katliem.

Čuguna ūdens sildkatliem ir sekojoši trūkumi:

- Liela masa;
- Lielāki izmēri, salīdzinot ar tērauda katliem;
- Tiem ir mazāka mehāniskā izturība un izturība pret ūdens triecieniem.



7. attēls. Čuguna sekciju ūdens sildkatla ar apakšējo kurtuvi uzbūve

1 – ārdu kustināšanas rokturis;
2 – karstā ūdens izvads;
3 – katla sekcijas;
4 – aukstā ūdens ieplūde;
5 – ārdi;
6 – pelnu krātuve;
7 – ķieģeļu siena;
8 – kurtuve;
9 – sekciju savilcējskrūves;
10 – dūmgāžu ejas.

2.1.2. Tērauda ūdens sildkatli

Nelielas un vidējas jaudas tērauda ūdens sildkatli tiek izveidoti kā katli ar ūdens apvalkiem un šķērssienām. Vidējas un lielas jaudas katli ir ūdens cauruļu vai liesmas cauruļu katli.
Parasti tērauda ūdens sildkatlus izmanto līdz temperatūrai 150 ^{o}C, un spiedienam 1,6 MPa.
Tērauda ūdens sildkatlu uzbūve parādīta 8 – 10.attēlā.

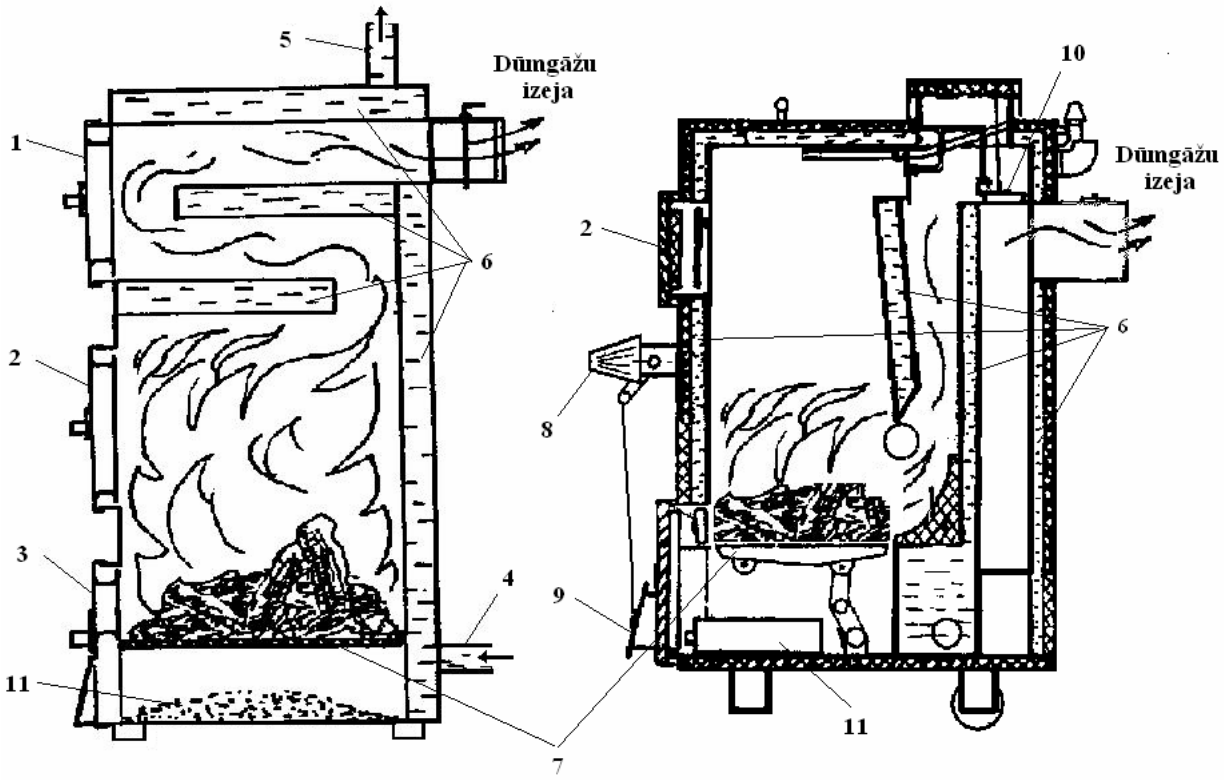
Katliem ar ūdens apvalku (8.att.) kurtuves un dūmgāžu eju sienas ir izveidotas no ūdens apvalkiem. Ūdens apvalkus veido paralēlas sametinātas tērauda plāksnes ar biezumu 4 līdz 6 mm. Starp šīm plāksnēm cirkulē ūdens, kas caur sieniņām uzņem siltumu no degšanas zonas un dūmgāžu plūsmas. Šiem katliem ir vienkārša uzbūve un neliela hidrauliskā pretestība.

Ūdens cauruļu katlos (9.att.) ūdens cirkulē pa caurulēm, kas novietotas vertikāli gar kurtuves sieniņam, uz kurtuves griestiem, kā arī dūmgāžu ejās. Apakšējie un augšējie cauruļu gali ir savienoti ar kolektoriem. Pie šiem kolektoriem pievienoti ūdens izvadi katla pieslēgšanai pie patērētāja sistēmas.

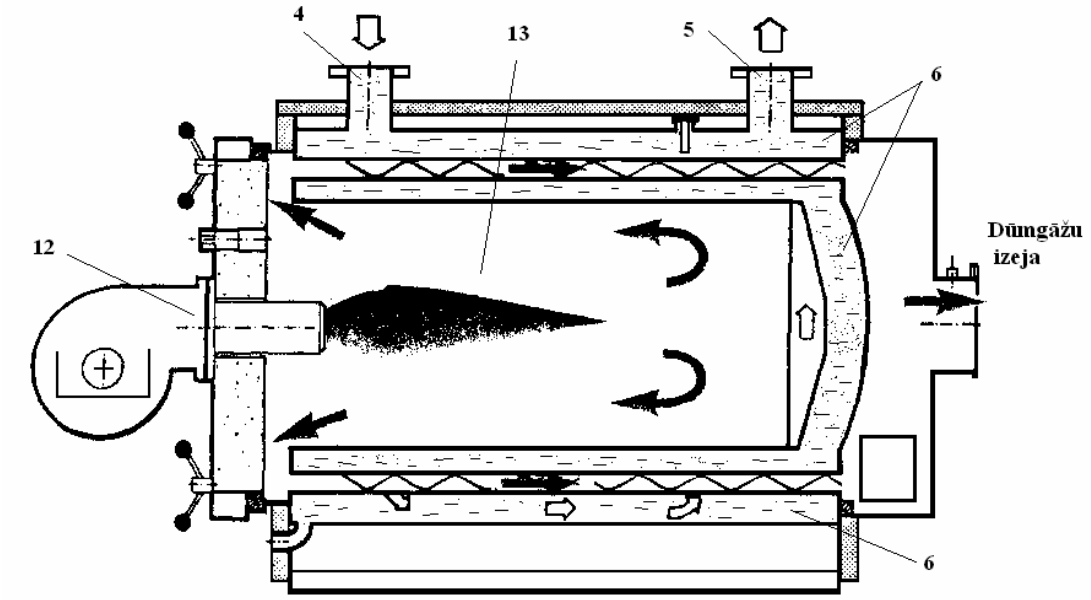
Liesmas (svelmes) cauruļu katlos (10.att.) pa caurulēm plūst karstas dūmgāzes. Caurules atrodas ūdens tilpumā, kurš apskalo tās no ārpuses. Visbiežāk caurules atrodas horizontālā stāvoklī. Dūmgāzu plūsmai var būt vairāki gājieni. Par gājienu sauc posmu, kuru noiet plūsma, nemainot savu virzienu. Liesmu cauruļu gali ir pievienoti plāksnei, kas atdala ūdens tilpumu no dūmgāzu telpas. Lai atvieglotu cauruļu tīrīšanu, pretīm cauruļu galiem atrodas tīrīšanas lūkas. Caurulēs novieto arī izņemamus plūsmas savirpuļotājus, kas savirpuļo dūmgāžu plūsmu caurulē, tādējādi palielinot plūsmas atdoto siltuma daudzumu gājiena laikā. Cauruļu gali ir pievienoti virziena maiņas kamerai, kurā dūmgāzes maina plūsmas virzienu uz pretējo, nonākot nākošā gājiena caurulēs.

Tērauda ūdens sildkatliem ir sekojošas kopīgās priekšrocības:
- Mazāka masa nekā līdzīgu parametru čuguna katliem;
- Mazāki izmēri nekā čuguna katliem;
- Var izmantot pie lielākam ūdens temperatūrām un spiedieniem;
- Tiem ir lielāka mehāniskā izturība un izturība pret ūdens triecieniem.

Tērauda ūdens sildkatliem ir sekojoši kopīgi trūkumi:
- Virsmas (īpaši šuves) ievērojami ietekmē korozija nepareizas katla ekspluatācijas un pārejas (uzsilšanas) režīmos;
- Mazāks darbmūžs nekā čuguna katliem.



a)20 kW katls SC 20 (Grobiņa); **b) 20 kW katls Vienybe 20 (Lietuva);**

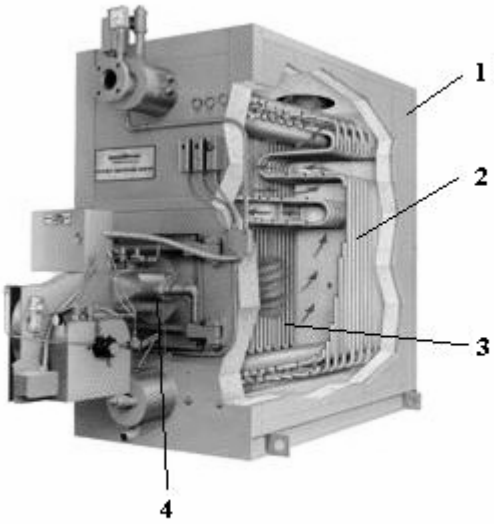


c) 100 kW katls UNIC-C (Zviedrija).

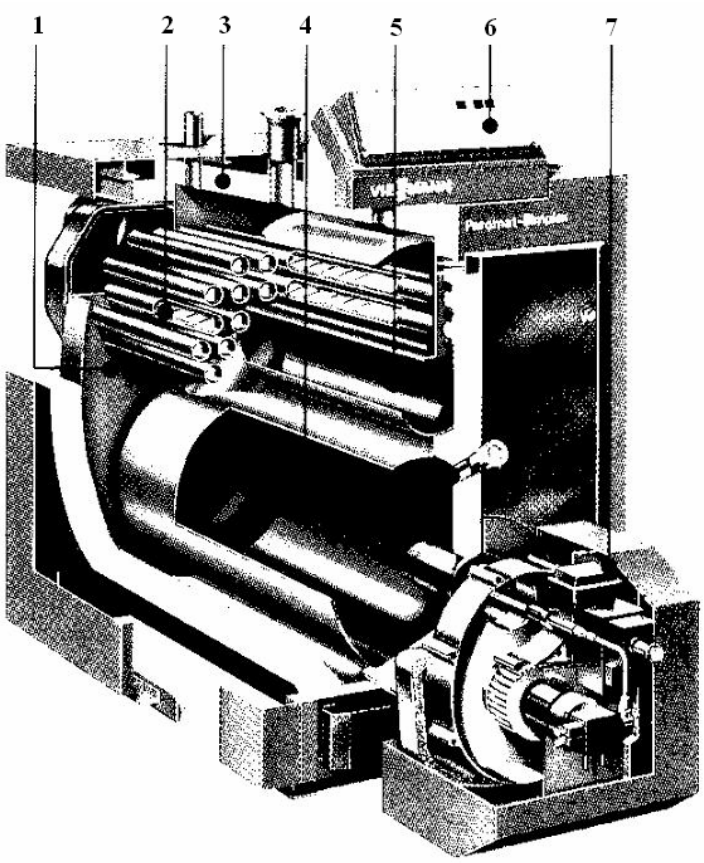
8. attēls. Nelielas un vidējas jaudas tērauda ūdens sildkatla ar ūdens apvalku uzbūve

1 – tīrīšanas durtiņas;
2 – kurināmā iekraušanas durtiņas;
3 – apakšējās durtiņas ar gaisa padeves aizvaru;
4 – ūdens ieplūdes caurule;

5 – ūdens izplūdes caurule;
6 – ūdens apvalki;
7 – ārdi;
8 – termoregulators;
9 – primārā gaisa padeves aizvars;
10 – dūmejas aizbīdnis;
11 – pelnu krātuve;
12 – deglis;
13 – degšanas kamera.



9. attēls. Tērauda ūdens sildkatls ar ūdens sildcaurulēm (*Cleaver&Brooks*)
1 – ārējais apvalks;
2 – ūdens caurules;
3 – degšanas kamera;
4 – deglis.



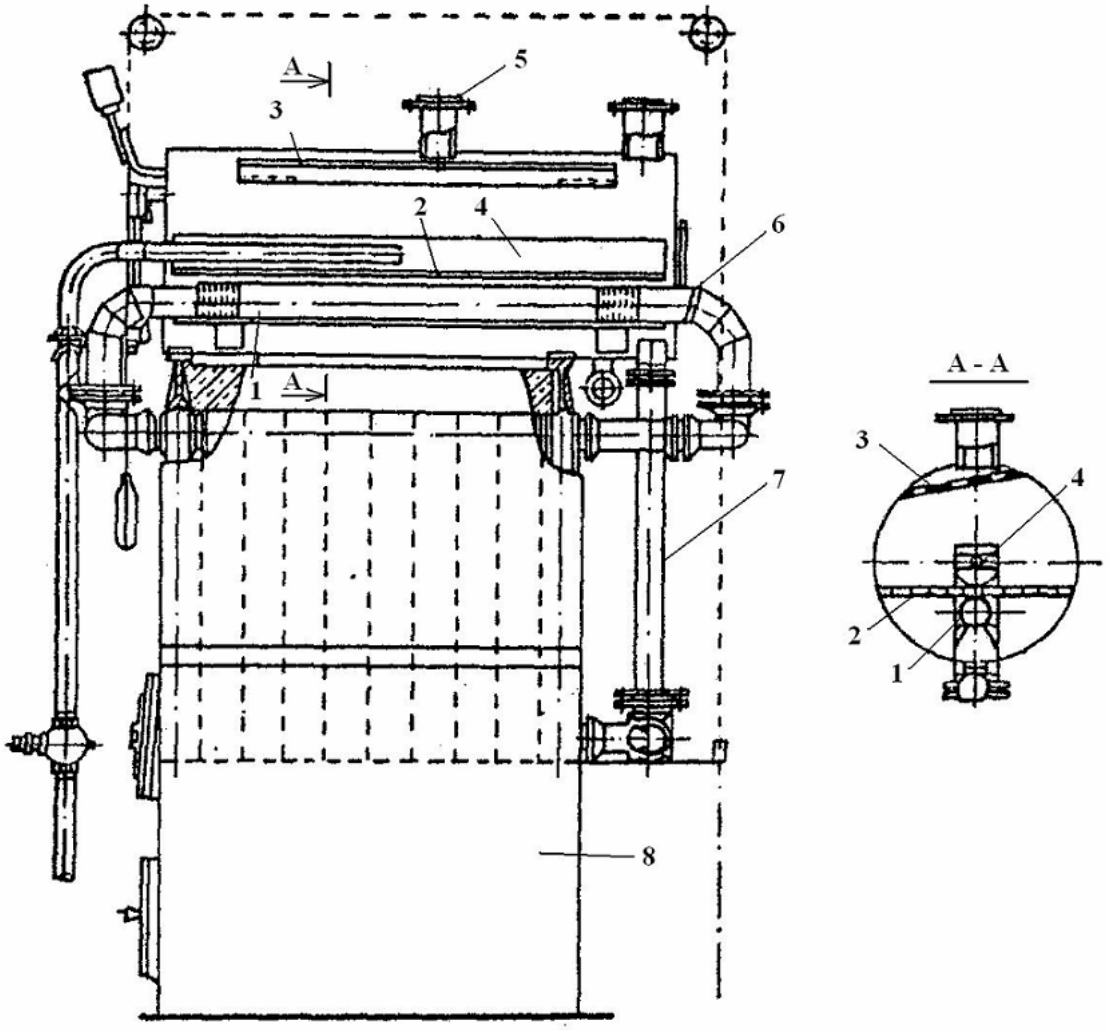
10. attēls. Tērauda liesmas cauruļu ūdens sildkatla uzbūve

1 – ūdens apvalks;
2 – trešā dūmgāzu gājiena caurules;
3 – siltumizolācijas apvalks;
4 – degšanas kamera;
5 – otrā dūmgāzu gājiena caurules;
6 – vadības un kontroles panelis;
7 – deglis.

2.2. Tvaika katlu veidi un uzbūve

2.2.1. Čuguna tvaika katli

Čuguna tvaika katli ir sekciju katli, kuri līdzīgi ūdens sildkatliem ir salikti no atsevišķām sekcijām. Galvenā atšķirība no ūdens sildkatliem ir tvaika tvertne, kas ir novietota virs sekcijām (11.att.). Čuguna tvaika katli ir paredzēti nelielam tvaika ražīgumam un spiedienam.



11.attēls. Čuguna tvaika katla konstrukcija

1 – perforēta caurule ūdens-tvaika maisījuma ievadei;
2 – apakšēja perforētā plāksne tvaika sadalei;
3 – augšējā perforētā plāksne (separators);
4 – plauktiņš vienmērīgai barošanas ūdens sadalei;
5 – tvaika izeja;
6 – ūdens – tvaika maisījuma pievades caurule;
7 – ūdens atplūdes caurule;
8 – katla apakšējā daļa.

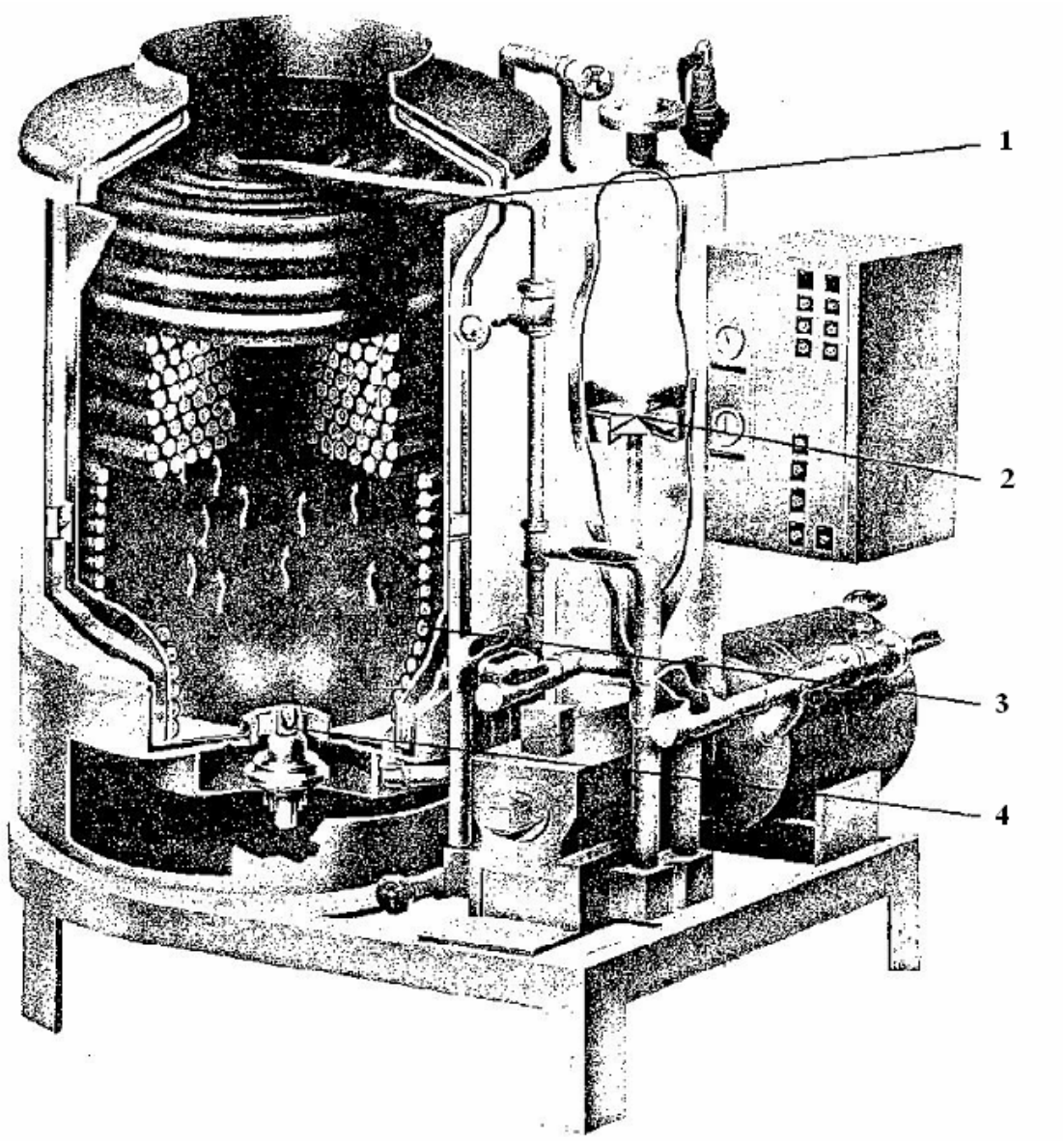
Tvaiks, kas rodas iztvaikojot ūdenim sekcijās, ceļas uz augšu un tiek ievadīts un uzkrāts tvaika tvertnē. No tvertnes tas tiek aizvadīts patērētājam. Tvertnē ir izvietots barošanas ūdens pievads ar vienmērīgu lēnu ūdens plūsmu. Tvaika ieplūde tiek organizēta sadalot plūsmu nelielās strūkliņas, piemēram, ar perforētas plāksnes palīdzību, lai tvaiks mazāk nestu līdzi ūdens pilienus. Pie tvaika izejas tvertnes augšējā daļā atrodas perforēta plāksne, kas atdala no tvaika ūdens pilienus, tādējādi palielinot tā sausuma pakāpi.
Priekšrocības un trūkumi ir līdzīgi kā čuguns ūdens sildkatlam.

2.2.2. Tērauda tvaika katli

Tērauda tvaika katlus pēc to konstrukcijas var iedalīt sekojoši:
1. vertikālie cilindriskie tvaika katli;
2. ūdens cauruļu katli;
3. liesmas cauruļu katli.

Vertikālie cilindriskie tvaika katli.

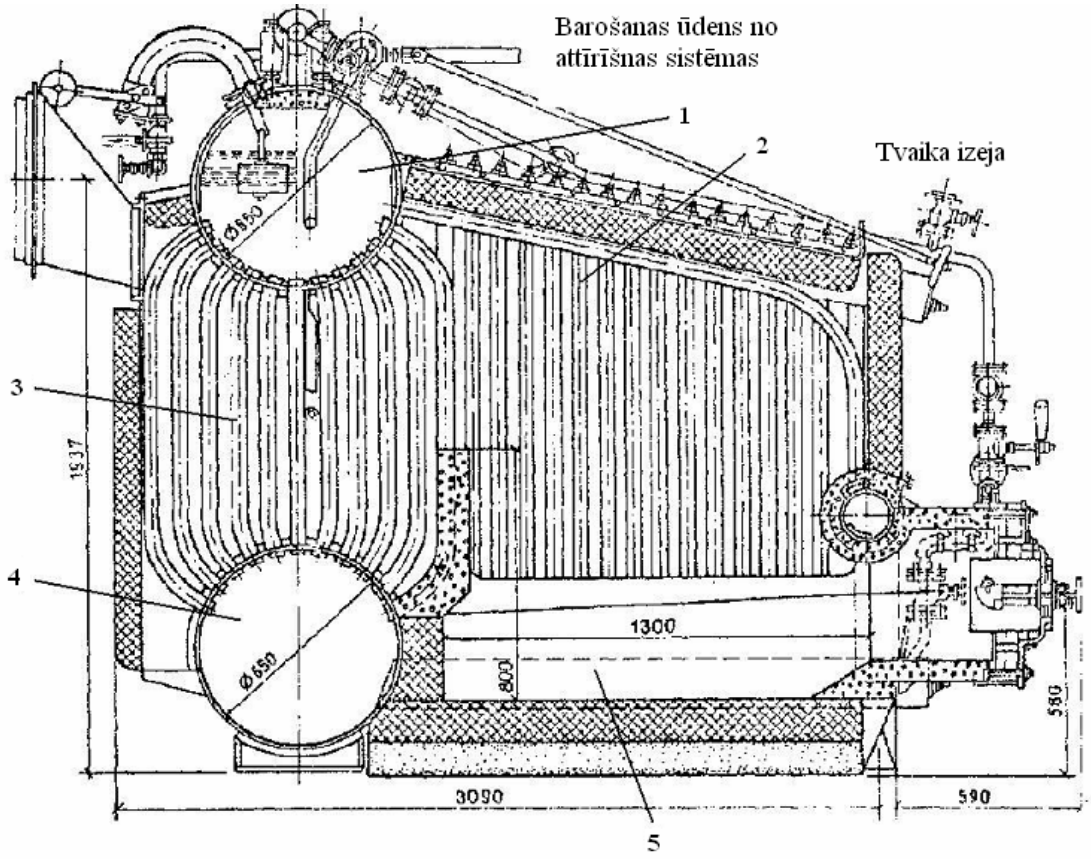
Vertikālie cilindriskie tvaika katli paredzēti nelielam tvaika ražīgumam un nelieliem spiedieniem (parasti līdz 0,8 – 1,5 MPa). Tos var arī uzskatīt par ūdens cauruļu katla paveidu. 12. attēlā parādīta vertikālā cilindriskā tvaika katla konstrukcija (ražotājs *Clayton*).
Katla galvenā daļa ir cilindriskas formas degšanas kamera, kuras apakšējā daļā novietots deglis, kameras sienas noklātas ar spirālveidā savītu nepārtrauktu ekrāncauruli. Šāda vienas caurules sistēma ir raksturīga tieši apskatītajam modelim.
Tvaika separators šim modelim nodrošina sausuma pakāpi ne zemāku par 99,5 %.
Citiem katliem var būt arī vairāku cauruļu sistēma un sienas veidotas no ūdens apvalka. Apakšējā caurules posmā notiek ūdens uzsilšana, augstāk iztvaicēšana.
Šādas konstrukcijas tvaika katlu galvenās īpašības ir sekojošas:
- tie ir kompakti, vienkārši pēc uzbūves;
- ātri uzsilst un sāk ražot tvaiku;
- augsta darbības efektivitāte;
- var būt pārvietojami;
- paredzēti nelielam tvaika ražīgumam;
- vienkārša apkope un tīrīšana.



12. attēls. Vertikālais cilindriskais tvaika katls (*Clayton*)
1 – augšējā savītā iztvaikošanas caurule;
2 – tvaika separators;
3 – apakšējās ekrāncaurules un degšanas kamera;
4 – deglis.

Ūdens cauruļu tvaika katli

Šis ir visizplatītākais vidēja un augsta ražīguma tvaika katlu veids. Katla konstrukcija ir redzama 13. attēlā.



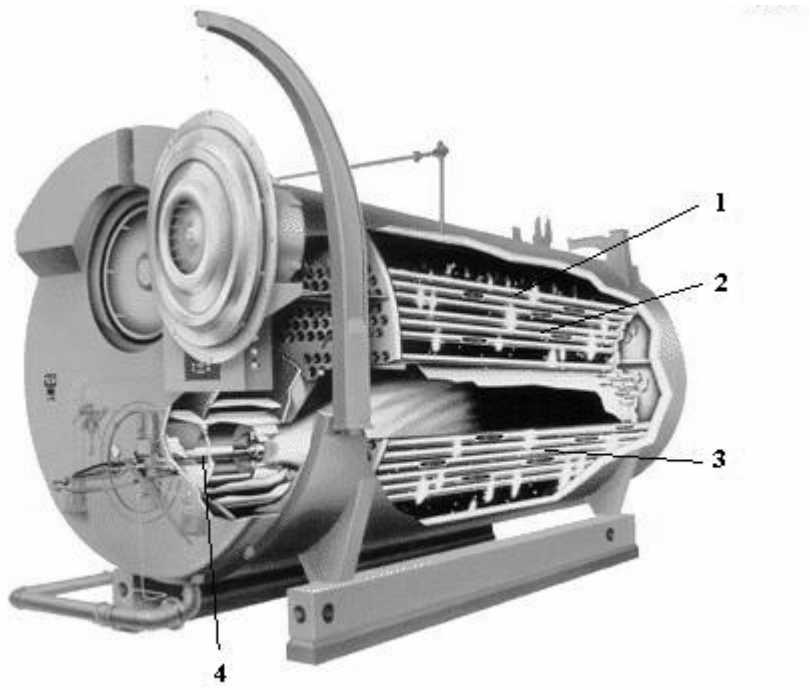
13. attēls. Vertikālo ūdens cauruļu tvaika katla uzbūve

1 – tvaika tvertne;
2 – ekrāncaurules;
3 – ūdens atplūdes caurules;
4 – apakšējais kolektors;
5 – kurtuve.

Katla silšanas virsmas ir izveidotas no ekrāncauruļu kontūriem, kas noklāj kurtuves sienas un griestus. Apakšējā daļā notiek ūdens silšana un daļēja iztvaikošana. Augstāk notiek iztvaicēšana. Mitrais tvaiks tiek aizvadīts uz tvaika tvertni. No tvaika tvertnes izejas tas plūst uz tvaika pārkarsētāja caurulēm, kas novietotas kurtuves augšējā daļā un dūmgāzu ejās. Šeit tvaiks tiek pārkarsēts un tiek aizvadīts patērētājam.
Ekrāncauruļu apakšējie gali tiek pievienoti apakšējam kolektoram. Pie apakšējā kolektora pienāk arī atplūdes caurules no tvaika tvertnes, pa kurām plūst ūdens, kas tālāk nonāk ekrāncaurulēs un tiek iztvaicēts.

Liesmas (svelmes) cauruļu tvaika katli

Šī veida katliem karstās dūmgāzes plūst cauri horizontāli vai, retāk, vertikāli novietotu cauruļvadu sistēmai, kuras no ārpuses apņem ūdens apvalks. 14. attēlā parādīta liesmas cauruļu tvaika katla konstrukcija (ražotājs *Cleaver&Brooks*).



14.attēls. Liesmas cauruļu katla konstrukcija (*Cleaver&Brooks*)
1 – 3. cauruļu sekcija;
2 – 2. cauruļu sekcija;
3 – 1. cauruļu sekcija;
4 – deglis.

Caurulēs dūmgāzes veic trīs gājienus. Katram gājienam plūsmai ir paredzēts dažāds kopējais šķērsgriezuma laukums. Tādējādi tiek efektīvāk izmantota silšanas virsma, jo dūmgāzēm atdziestot samazinās to aizņemtais tilpums, jo blīvums samazinoties temperatūrai pieaug. Katla galos ir dūmgāžu virziena maiņas kameras, kam pievienoti liesmas cauruļu gali.

Cauruļu katlu salīdzinājums

Liesmas cauruļu katlu galvenās priekšrocības:

1. Salīdzinoši lētāki;
2. Vienkāršāk tīrāmi;
3. Mazāki pēc izmēriem;
4. Vienkāršāka cauruļu nomaiņa;
5. Vienkāršāka ekspluatācija.

Trūkumi:

1. Nav piemēroti augstiem spiedieniem;
2. Palielināts nopietnu plīsumu risks avāriju gadījumā, jo tvaiks atrodas un tiek ražots lielā kopējā tvertnē.

Ūdens cauruļu katlu galvenās priekšrocības:

1. Paredzēti lielam tvaika ražīgumam;
2. Paredzēti lieliem spiedieniem;
3. Paredzēti augstām temperatūrām;
4. Ātrāk sāk ražot tvaiku.
5. Mazāks eksplozijas risks avārijas gadījumā.

Trūkumi:

1. Dārgāki nekā liesmas cauruļu katli;
2. Grūtāka tīrīšana;
3. Sarežģītāka ekspluatācija un apkope;
4. Augstākas prasības ūdens tīrībai;
5. Nepieciešama precīza barošanas sistēma.

3. Katlu elementi
3.1. Tvaika pārkarsētāji

Tvaika pārkarsētājs paredzēts, lai mitru tvaiku, kas iziet no tvaika tvertnes, pārvērstu sausā tvaikā un pārkarsētu, respektīvi, paaugstinātu tā temperatūru virs vārīšanās temperatūras.

3.1.1. Klasifikācija

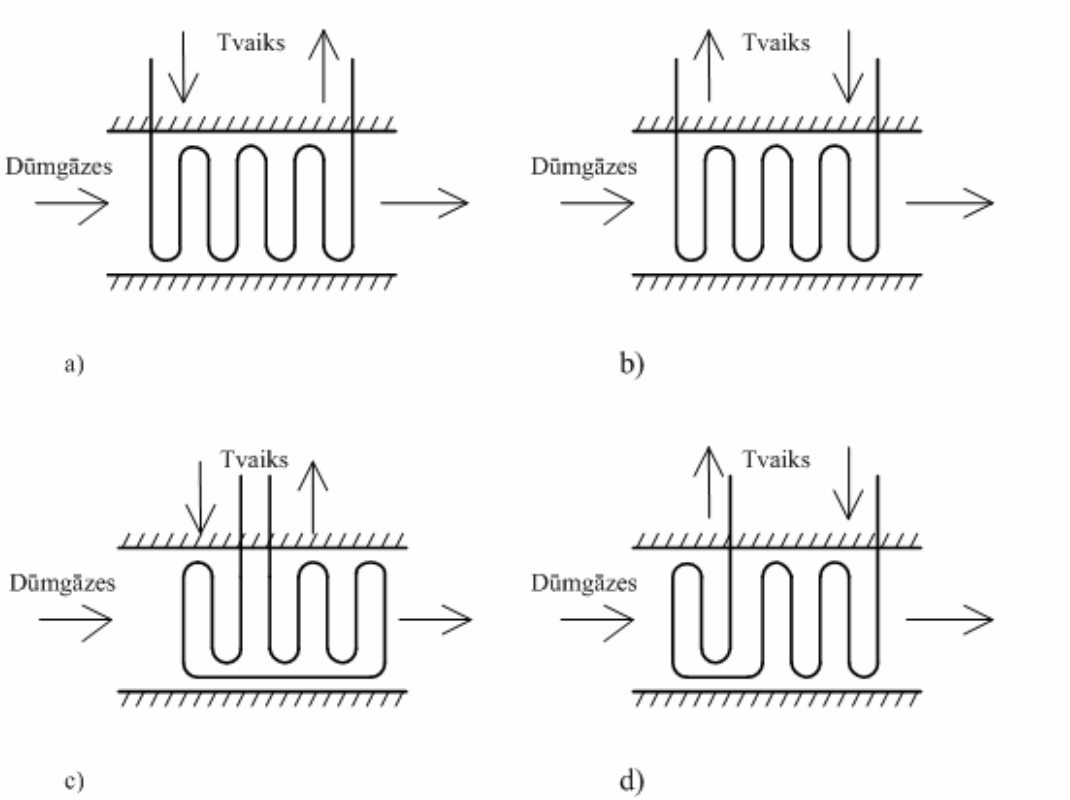
Tvaika pārkarsētāju veido cauruļvadu sistēma, kas var būt kombinēta paneļu veidā. Cauruļu paneļos cauruļu gali ir savienoti ar kolektoriem. Var būt arī spirālveida cauruļu pārkarsētāji.

1. Atkarībā no siltuma uzņemšanas veida, tvaika pārkarsētājus iedala:
- konvektīvie;
  Konvektīvie pārkarsētāji novietoti dūmgāžu ejas sākumā. Tie siltumu uzņem no dūmgāzēm konvekcijas ceļā. Dūmgāžu eju no kurtuves atdala festons – cauruļu režģis ar palielinātu soli s, jeb atstatumu starp caurulēm (s = 3,5…4,3 d_c, kur d_c – cauruļu ārējais diametrs) starp caurulēm, lai samazinātu pretestību dūmgāžu plūsmai.
- Radiācijas pārkarsētāji;
  Radiācijas pārkarsētāji novietoti gar kurtuves sieniņām tās augšējā daļā un uz tās griestiem kā ekrāncaurules. Tie lielu daļu siltuma uzņem starošanas ceļā no degšanas zonas un karstām dūmgāzēm.
- Kombinētie.
  Kombinētie pārkarsētāji sastāv no vairākām daļām, kas siltumu uzņem gan radiācijas, gan konvekcijas ceļā.

2. Pēc cauruļvadu novietojuma pārkarsētājus var iedalīt
- horizontālie;
- vertikālie.

3. Pēc tvaika un dūmgāžu plūsmu savstarpējiem virzieniem, pārkarsētājus var iedalīt:
- līdzplūsmas;
- pretplūsmas;
- jauktas plūsmas.

Pārkarsētājos ar līdzplūsmu tvaika un dūmgāžu plūsmas virziens sakrīt, ar pretplūsmu ir pretējs. 15. attēlā shematiski attēlotas tvaika un dūmgāžu plūsmu virzienu shēmas pārkarsētājos.



15. attēls. Plūsmas savstarpējie virzieni tvaika pārkarsētājos.
a) līdzplūsma;
b) pretplūsma;
c) dubultā pretplūsma;
d) jaukta plūsma.

Kā jebkuram siltumapmaiņas aparātam, arī tvaika pārkarsētājam silšanas virsma visefektīvāk tiek izmantota pretplūsmā. Tomēr šajā gadījumā ir vislielākā termiskā slodze caurulēm, jo gan tvaikam, gan dūmgāzēm ir visaugstākā temperatūra un tās darbojas smagos apstākļos. Tādēļ praksē bieži lieto arī jauktās plūsmas pārkarsētājus.

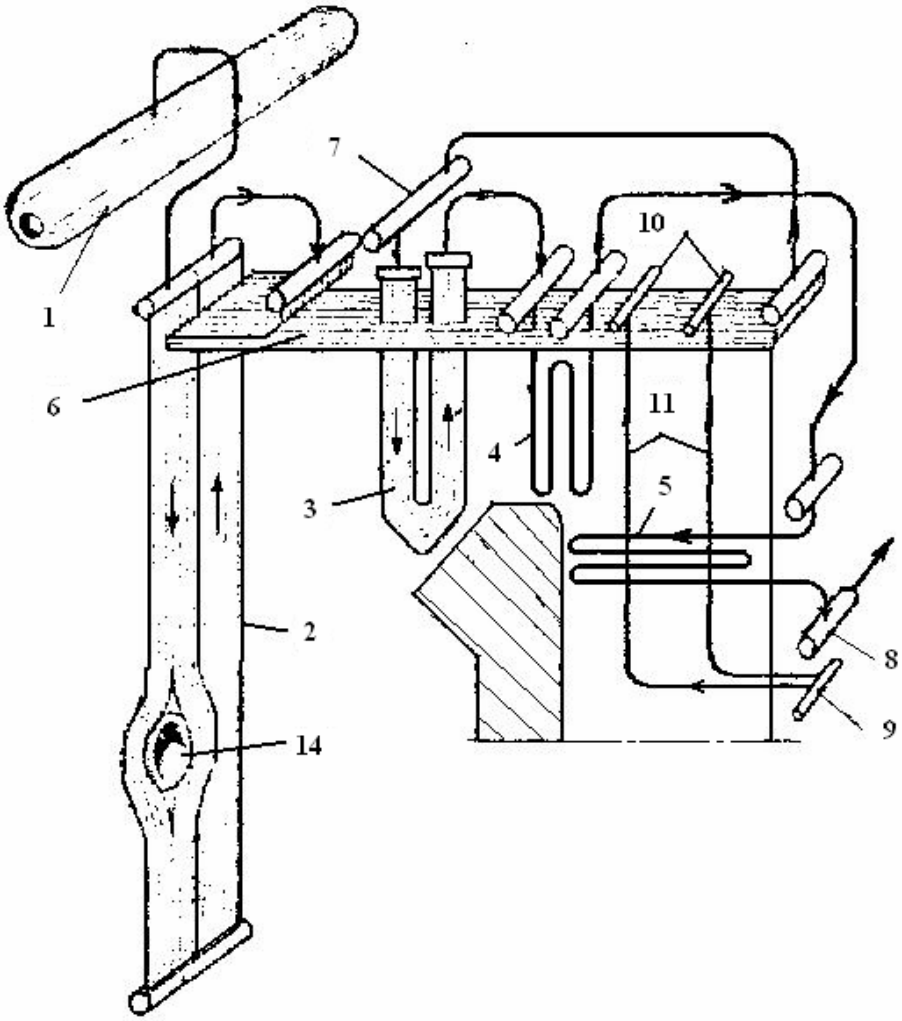
3.1.2. Pārkarsētāju uzbūve un siltuma plūsma tajos

Pārkarsētājā pārvadīto siltuma daudzumu var izteikt no sekojoša siltuma bilances vienādojuma:

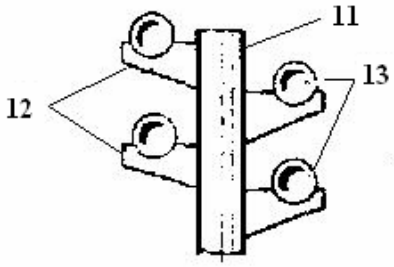
$$Q_{tv} = D*(h_2 - h_{x1}) = B_g*(h_{g1} - h_{g2}), \quad (8)$$

kur: Q_{tv} – tvaika uzņemtais siltuma daudzums, kJ;
D – tvaika caurplūde, kg/h;
B_g – dūmgāžu caurplūde, kg/h;
h_2 – tvaika entalpija pārkarsētāja izejā, kJ/kg;
h_{x1} - tvaika entalpija pārkarsētāja ieejā, kJ/kg;
h_{g1} – dūmgāžu entalpija pārkarsētāja ieejā, kJ/kg;
h_{g2} – dūmgāžu entalpija pārkarsētāja izejā, kJ/kg.

Tvaika pārkarsētāja shematisks konstruktīvā izveidojuma piemērs parādīts 16. attēlā.



a) pārkarsētāja paneļu izvietojums;



b) cauruļu stiprinājums dūmejā.

16. attēls. Tvaika pārkarsētāja konstruktīvais izveidojums

1 – tvaika tvertne;
2 – vertikālais divplūsmu pārkarsētāja radiācijas panelis;
3 – iekārtais pusradiācijas vertikālais panelis;
4 – konvektīvā vertikālā pārkarsētāja caurules;
5 – konvektīvā horizontālā pārkarsētāja caurules;

6 – kurtuves griestu pārkarsētāja pusradiācijas panelis;
7 – smidzināšanas dzesētāja caurule;
8 – tvaika izejas kolektors;
9 – iekārto cauruļu ieejas kolektors;
10 - iekārto cauruļu izejas kolektors;
11 – iekārtās pārkarsētāja caurules;
12 – cauruļu atbalstplāksnes;
13 – horizontālās pārkarsētāja caurules:
14 – deglis.

Tvaika pārkarsētājs kopumā ir sarežģīta cauruļvadu sistēma, kas sastāv no vairākiem atsevišķiem paneļiem ar īpašām stiprināšanas konstrukcijām atbilstoši tā novietojumam.

Pārkarsētāja darbību ievērojami ietekmē tvaika mitrums, jo mitrumā atrodas izšķīdušie piemaisījumi. Ūdens pilieniem iztvaikojot šie piemaisījumi nosēžas uz pārkarsētāja virsmas, veidojot nosēdumus, kas pasliktina siltuma pāreju un rezultātā var novest arī pie cauruļu bojājumiem paaugstinātas virsmas temperatūras dēļ.

3.2. Tvaika temperatūras regulēšanas veidi un ierīces

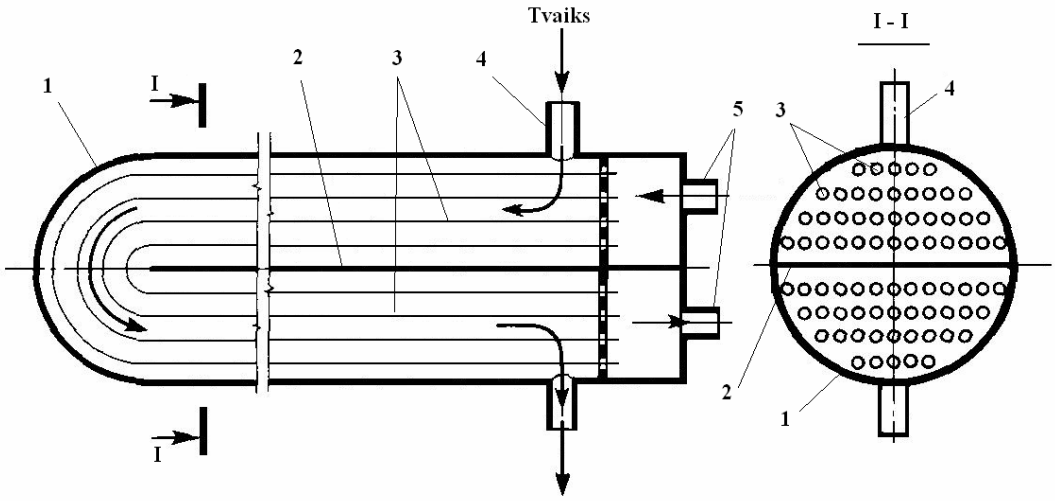
Mainoties katlu iekārtas darba režīmiem (kurināmā padeves nevienmērīgums, tā kvalitātes izmaiņas, tvaika patēriņa izmaiņas, kurtuves gaisa režīma izmaiņas) mainās no katla izejošā tvaika temperatūra. Izmainās arī temperatūras sadalījums tvaika pārkarsētāja sastāvdaļās.
Piemēram, mainoties, katla slodzei, palielinās tvaika temperatūra radiācijas pārkarsētājā, bet samazinās konvektīvajā pārkarsētājā.
Nav pieļaujama tvaika temperatūras paaugstināšanās vairāk kā par 5 ^{0}C un pazemināšanās vairāk nekā par 10 ^{0}C.
Mainot kurināmā padevi nav iespējams operatīvi ietekmēt tvaika temperatūru. Tādēļ, lai nodrošinātu no katla izejošā tvaika nepieciešamo temperatūru pieļaujamās robežās, izmanto sekojošus tvaika temperatūras regulēšanas veidus:

1 – ar dzesētājiem;
2 – ar dūmgāžu plūsmas daudzuma vai to temperatūras maiņu.

1. Temperatūras regulēšana ar dzesētājiem.

Dzesētājus iedala:
- virsmas dzesētāji;
- smidzināšanas dzesētāji.

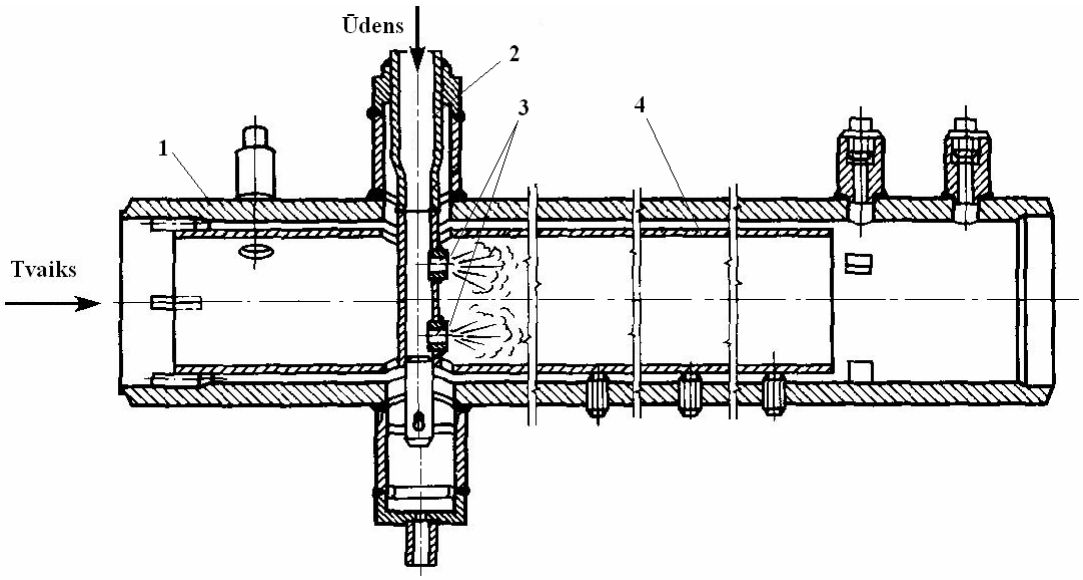
Virsmas dzesētāju darbības princips un konstrukcija shematiski attēlota 17. attēlā.



17. attēls. Virsmas dzesētāja konstrukcija

1 – korpuss;
2 – atdalošā šķērssiena;
3 – dzesēšanas caurules;
4 – tvaika caurules;
5 – ūdens ieeja un izeja.

Smidzināšanas dzesētāju konstrukcija shematiski attēlota 18. attēlā.



18. attēls. Smidzināšanas dzesētāji

1 – korpuss;
2 – ūdens caurule;
3 – smidzināšanas sprauslas;
4 – apvalks.

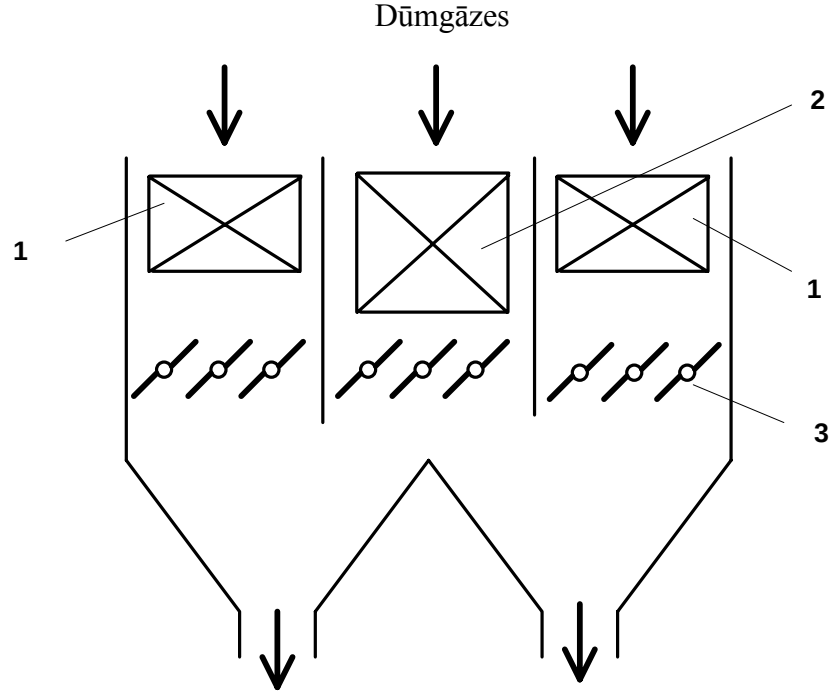
Izmantojot virsmas dzesētāju, tvaika vadā ievieto dzesēšanas virsmas, kas veidotas no cauruļvadiem. Pa cauruļvadiem plūst ūdens. Saskaroties ar

zemākas temperatūras virsmu, tvaiks atdziest. Mainot plūsmas daudzumu, var regulēt tvaika temperatūru.

Smidzināšanas dzesētāji ir visbiežāk izmantotais dzesēšanas paņēmiens. Tvaika vadā tiek iebūvēti smidzināšanas uzgaļi, pa kuriem tvaika plūsmā tiek iesmidzināts ūdens. Ūdens iztvaiko un paņem siltumu no tvaika, tādējādi pazeminot tvaika temperatūru.

2. Temperatūras regulēšana ar dūmgāžu plūsmas vai temperatūras maiņu.

Tvaika temperatūru var regulēt, mainot caur pārkarsētāju izplūstošo dūmgāzu plūsmas daudzumu laika vienībā vai mainot to temperatūru, sajaucot ar gaisu vai novadot no tām siltumu. Šādā gadījumā atlikušajai plūsmas daļai jāizveido apejas posms („bypass" metode). Tas prasa papildus gāzu eju izveidošanu un aizvaru ierīkošanu. Šī metode ir neērta un tādēļ tiek izmantota reti. Iekārtas princips ir redzams 19. attēlā.



19. attēls. Tvaika temperatūras regulēšana ar dūmgāžu plūsmas palīdzību
1 – tvaika pārkarsētāji dūmgāžu ejās;
2 – papildus apvads plūsmas sadalīšanai („bypass" sistēma);
3 – aizvari plūsmas regulēšanai.

3.3. Ūdens ekonomaizeri

Ūdens ekonomaizeri paredzēti katla barošanas ūdens uzsildīšanai pirms padeves katlam, izmantojot dūmgāžu siltumu.

3.3.1. Klasifikācija

Atkarībā no izmantotā materiāla ekonomaizerus var iedalīt:

1 – čuguna ekonomaizeri;
2 – tērauda ekonomaizeri;
3 – dažādu materiālu ekonomaizeri (piemēram, tērauda ekonomaizers ar alumīnija pārklājumu).

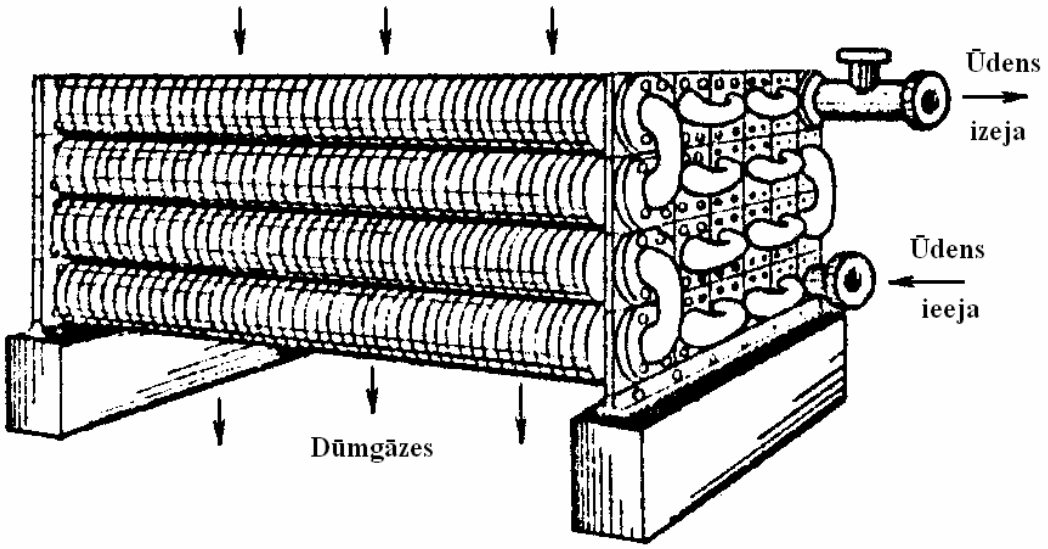
Atkarībā no ūdens uzsildīšanas pakāpes ekonomaizerus var iedalīt:

1 – ar ūdens uzvārīšanu;
2 – bez ūdens uzvārīšanas.

Ekonomaizeros ar ūdens uzvārīšanu ūdens tiek daļēji iztvaicēts (10 līdz 15 %). Tos izgatavo no tērauda.
Ekonomaizeros bez ūdens uzvārīšanas ūdeni uzsilda līdz temperatūrai, kas ir par 20 līdz 10 ^{o}C zemāka nekā vārīšanās temperatūra.

3.3.2. Čuguna ūdens ekonomaizeri

Čuguna ūdens ekonomaizers sastāv no ribotām čuguna caurulēm. Konstruktīvais izveidojums parādīts 20. attēlā.

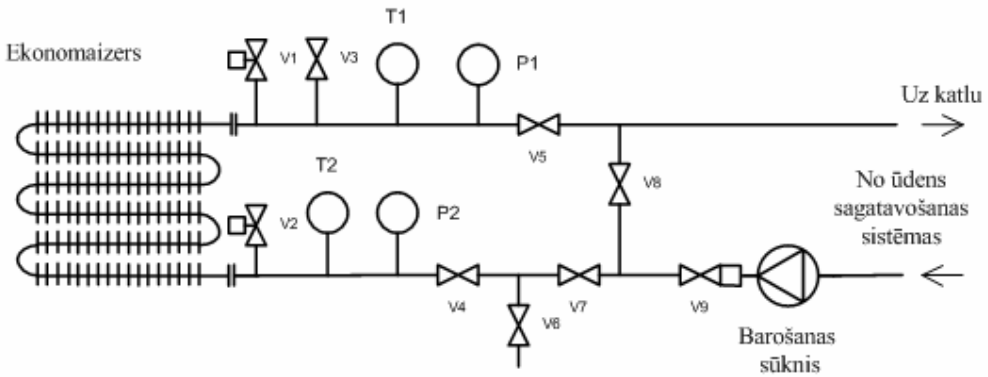


20. attēls. Čuguna ūdens ekonomaizers

Ekonomaizeros ūdens plūsma caurulēs ir virzienā uz augšu, dūmgāžu plūsma apkārt caurulēm virzienā uz leju. Šādi organizētas plūsmas samazina gaisa burbulīšu uzkrāšanos ūdenī pie ekonomaizera sieniņām, kas pasliktinātu siltuma atdevi, jo tie kopā ar plūsmu ceļas uz augšu. Arī ūdens plūsmas virziens sakrīt ar dabisko cirkulācijas virzienu ūdenim uzsilstot. Mazāk veidojas arī pelnu un kvēpu nosēdumi uz ekonomaizera ārējās virsmas.
Čuguna ūdens ekonomaizeriem salīdzinot ar tērauda ekonomaizeriem, ir sekojošas īpašības:

- izturīgāki pret koroziju;
- ilgāks darbmūžs;
- lielāki izmēri;
- lielāka masa;
- sliktāka siltumpārvade.

Pieslēdzot ekonomaizeru, tiem uzstāda drošības vārstus, atgaisošanas ventiļus, ieejā un izejā uzstāda termometrus un manometrus, lai pēc spiediena krituma un temperatūras krituma uz ekonomaizera varētu kontrolēt tā darba režīmu un spriest par tā darbības efektivitāti un tīrīšanas nepieciešamību.
21. attēlā dota čuguna ūdens ekonomaizera pievienošanas shēma.



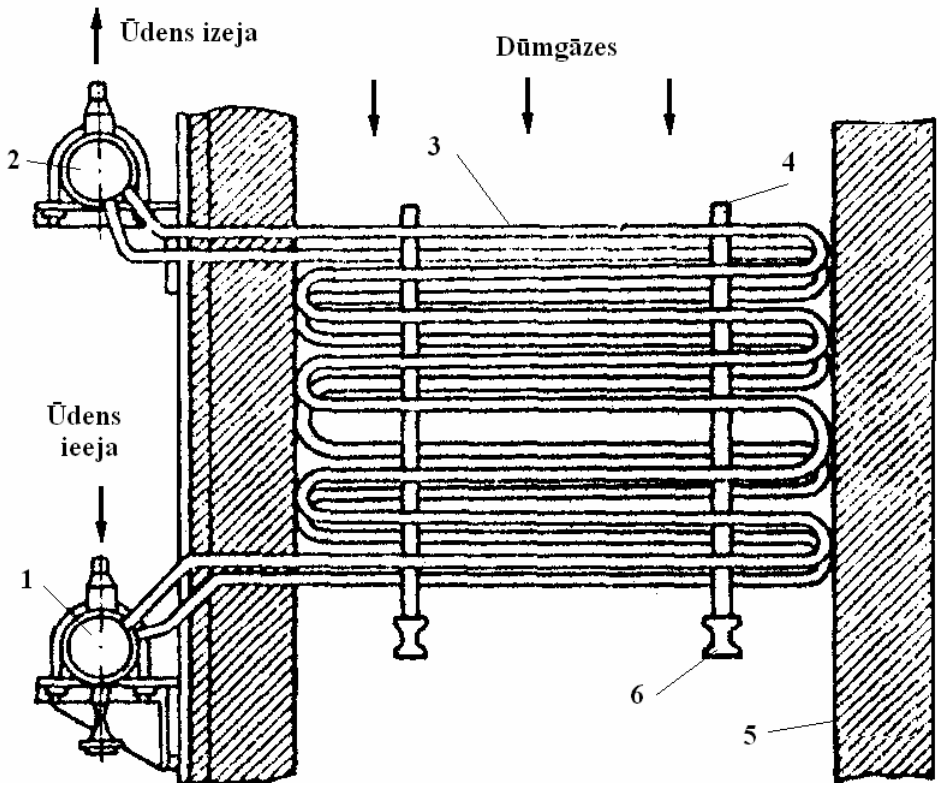
21. att. Čuguna ūdens ekonomaizera pieslēgšanas shēma
V1, V2 – drošības vārsti;
V3 – atgaisošanas vārsts;
V4, V5 – atslēgšanas vārsti;
V6 – iztukšošanas vārsts;
V7 – barošanas ūdens padeves vārsts;
V8 – apejas posma noslēgvārsts;
V9 – pretvārsts;
T1, T2, termometri;
P1, P2 – manometri.

3.3.3. Tērauda ūdens ekonomaizeri

Tērauda ūdens ekonomaizeri ir izveidoti no tērauda caurulēm (22. att.), kas parasti tiek apvienoti paketēs. Cauruļu gali tiek pievalcēti (zemspiediena katliem) vai piemetināti kolektoriem. Lai samazinātu paātrinātu cauruļu materiāla izdegšanu un eroziju karstu dūmgāžu un tajā esošo cieto daļiņu iedarbībā, paketē tiek papildus iemontēti aizsargstieņi un uzlikas.
Caurules var tikt novietotas:

- perpendikulāri katla priekšējai virsmai;
- paralēli katla priekšējai virsmai.

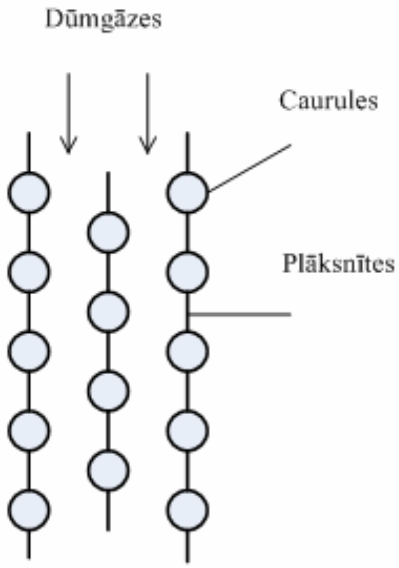
Perpendikulāro novietojumu izmanto kurināmiem ar zemu kvēpu daudzumu dūmgāzēs (piem., šķidrais kurināmais, gāzveida kurināmais). Izmantojot kurināmos ar lielāku cieto daļiņu daudzumu dūmgāzēs, notiek pastiprināta cauruļu virsmu erozija, jo inerces dēļ cieto daļiņu plūsma visintensīvākā ir pie aizmugures sieniņas, līdz ar to cauruļu gali pakļauti to iedarbībai.



22. attēls. Tērauda ūdens ekonomaizers
1 – ūdens ieejas kolektors;
2 – ūdens izejas kolektors;
3 – siltumapmaiņas caurules;
4 – cauruļu atbalsti;
5 – dūmejas sieniņa;
6 – atbalstsijas.

Ūdens ātrumam ekonomaizeros jābūt pietiekoši lielam, lai neveidotos ūdens plūsmas hidrauliskais un arī siltuma robežslānis virsmas tuvumā, kā arī gaisa slānis pie sieniņas. Ūdens plūsmas ātrumam jābūt vismaz 0,4 m/s. Taču jāņem vērā, ka palielinot ātrumu, pieaug hidrauliskā pretestība.

Atsevišķās caurules tērauda ekonomaizeram mēdz savienot kopā ar 2 līdz 3 mm biezām tērauda plāksnītēm, tādējādi palielinot siltumapmaiņas virsmas laukumu. Šāda ekonomaizera konstrukcijas princips shematiski parādīts 23. attēlā.



23. att. Tērauda ekonomaizera ar plāksnītēm uzbūves princips

Lai novērstu ekonomaizera virsmu koroziju, to temperatūra jāuztur par 5 līdz 10 ^{0}C augstāka nekā dūmgāžu kondensācijas sākuma temperatūra (rasas punkts). Kondensācijas temperatūra ir atkarīga no izmantotā kurināmā īpašībām. 2. tabulā dotas vidējās dūmgāžu kondensācijas sākuma temperatūras dažādiem kurināmiem.

2. tabula

Dažādu kurināmo dūmgāžu mitruma kondensācijas sākuma orientējošās temperatūras (kurināmiem ar sēra saturu zem 0,2 %)

Kurināmais	T_r, ^{0}C
Dabasgāze	60
Akmeņogles	40 - 50
Mazuts	43

Sēra savienojumu klātbūtne dūmgāzēs ievērojami papaaugstina to rasas punkta temperatūru.

Siltuma bilanci ekonomaizeram var uzrakstīt sekojoši:

$$Q_{ek} = c_{H2O} * G_{H2O} * (t_{e2} - t_{e1}) = B_g * (h_{g1} - h_{g2}), \quad (9)$$

kur: Q_{ek} – ūdens saņemtais siltuma daudzums, kJ;
c_{H2O} – ūdens īpatnējā siltumietilpība, kJ/(kg* ^{o}C);
G_{H2O} – ūdens caurplūde, kg/h;
B_g – dūmgāžu caurplūde, kg/h;
t_{e2} – ūdens temperatūra ekonomaizera izejā, ^{o}C;
t_{e1} – ūdens temperatūra ekonomaizera ieejā, ^{o}C;
h_{g1} – dūmgāžu entalpija ekonomaizera ieejā, kJ/kg;
h_{g2} – dūmgāžu entalpija ekonomaizera izejā, kJ/kg.

3.4. Kurtuvei pievadāmā gaisa sildītāji

Kurtuvei pievadāmais degšanas procesam nepieciešamais gaiss ir iepriekš jāuzsilda, lai

1 – nesamazinātu temperatūru kurtuvē, kas varētu novest pie nekvalitatīva sadegšanas procesa un samazināta degšanas ātruma;

2 – izmantotu siltumu, ko satur dūmgāzes, kas pretējā gadījumā aizplūstu caur skursteni apkārtējā vidē.

Temperatūru, līdz kādai notiek gaisa uzsildīšana, nosaka izmantotais kurināmais un tā parametri, piemēram, mitrums.Vēlamās gaisa temperatūras dažādiem kurināmiem
Var būt robežās no 250 – 420 ^{0}C.

Pēc būtības, gaisa sildītājs ir siltumapmaiņas aparāts jeb siltummainis.
Tāpat, kā jebkuru siltummaini, pēc siltumapmaiņas principa tos var iedalīt:

1 – rekuperatīvie gaisa sildītāji;

2 – reģeneratīvie gaisa sildītāji.

Rekuperatīvajā sildītājā siltuma pāreja notiek caur divas vides atdalošo sieniņu, respektīvi, siltums no dūmgāzēm pāriet uz gaisu caur metāla atdalošo sieniņu.

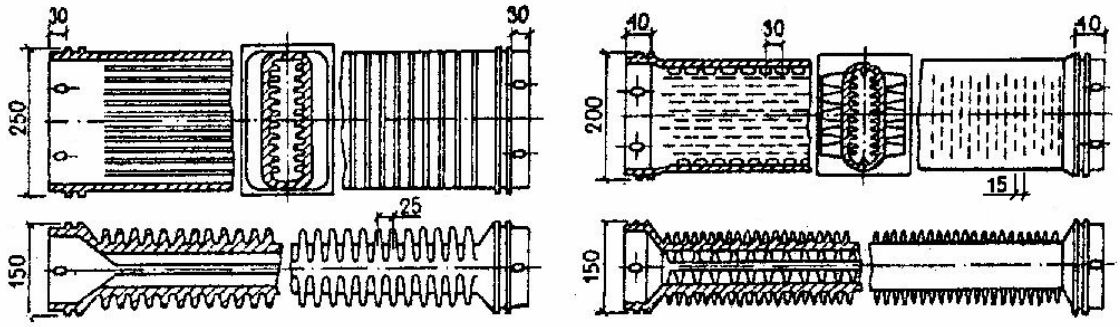
Reģeneratīvajā sildītājā vispirms viens siltuma nesējs (dūmgāzes) uzsilda kādu ķermeni, tad tas atdod siltumu otram siltuma nesējam (gaisam).

3.4.1. Rekuperatīvie gaisa sildītāji

Atkarībā no materiāla, tos var iedalīt:

- čuguna gaisa sildītāji;
- tērauda gaisa sildītāji.

Čuguna gaisa sildītāja uzbūve parādīta 24. attēlā. Sildītājs sastāv no ribotām čuguna caurulēm. Ribu forma un izmēri var būt dažādi.

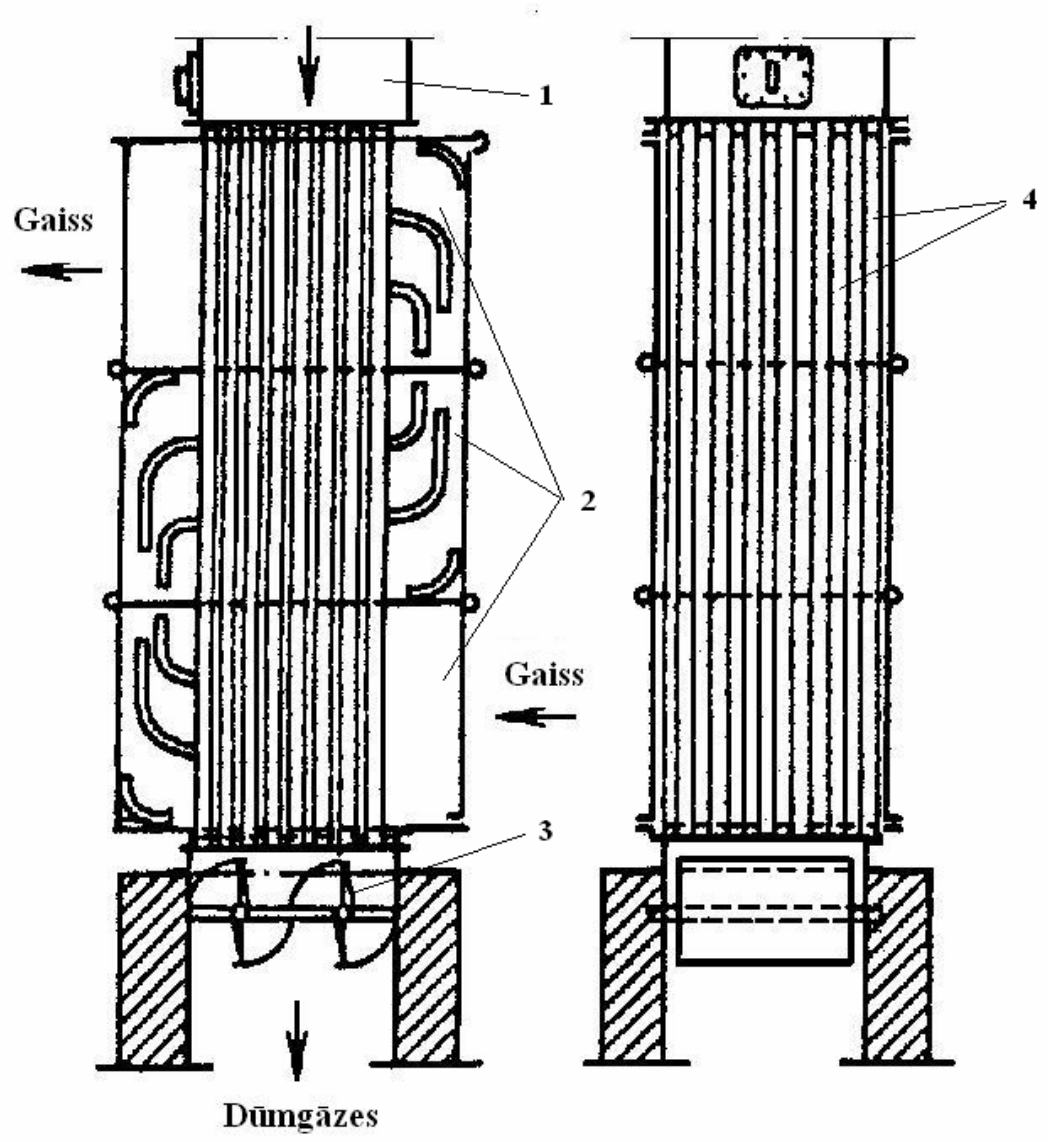


a) ar ovālām ribotām caurulēm; **b) ar ovālām zobvirsmas caurulēm.**

24. attēls. Čuguna gaisa sildītāja caurules

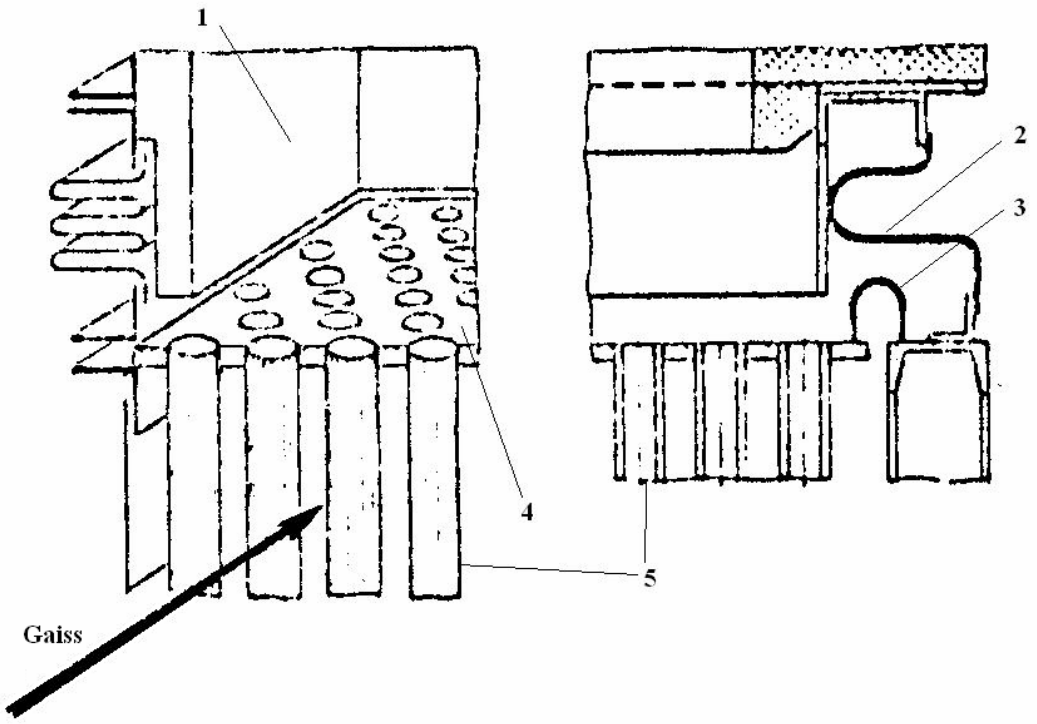
Čuguna sildītāju priekšrocība ir to vienkāršā uzbūve, bet tiem ir sliktākas siltumpārvades īpašības un lielāka masa un izmēri nekā tērauda sildītājiem, kā arī grūtāka virsmas tīrīšana no nosēdumiem, kas veidojas no dūmgāžu plūsmas.

Tērauda gaisa sildītāji sastāv no tērauda cauruļu bloka, kas galos piestiprinātas plāksnēm, kas, savukārt atdala dūmgāžu telpu no gaisa ejas (25. attēls). Tā, kā uzsilstot temperatūras izmaiņas ir lielas, ir nepieciešama cauruļu un plākšņu materiāla termiskās izplešanās kompensācija. Šim nolūkam ir paredzēti elastīgie termiskās kompensācijas elementi (26. attēls), kuros plāksnes var pārvietoties gareniskā un šķērsvirzienā. Tas sarežģī un sadārdzina konstrukciju. Dūmgāžu plūsmas ātrums ir aptuveni 10 – 14 m/s, gaisa plūsmas ātrums 5 – 7 m/s. Izmantojot cietos kurināmos, dūmgāzes satur cietās pelnu un kvēpu daļiņas. Ieplūstot caurulēs, kas rada sašaurinājumu to ceļā, dūmgāzes apliec loku un rada pastiprināta izdiluma vietas nelielā attālumā no cauruļu gala. Lai izdilumu samazinātu, izmanto dažādus paņemienus, piemēram, īpašus ieliktņus vai cauruļu gala iekšējās virsmas nofāzēšanu (27. attēls).



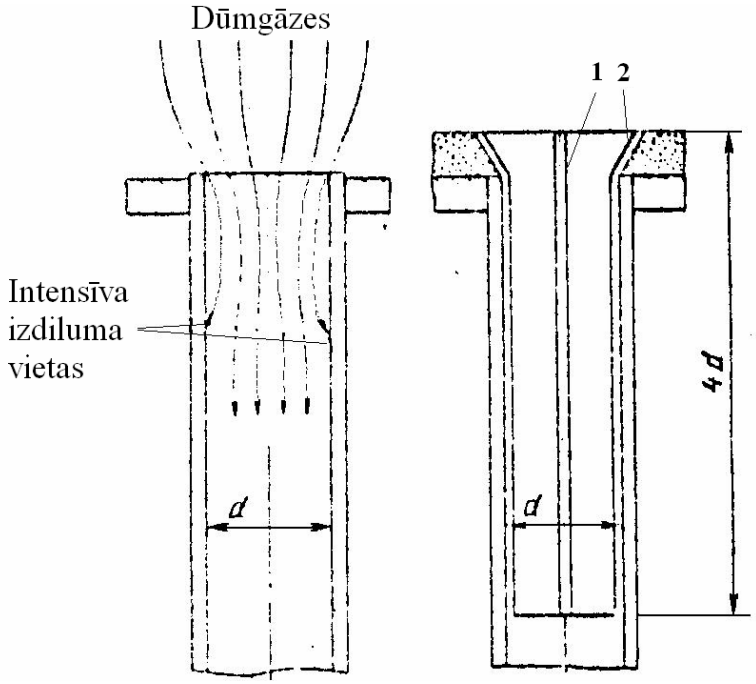
25. attēls. Tērauda rekuperatīvais gaisa sildītājs

1 – augšējā dūmgāžu telpa;
2 – gaisa ejas;
3 – aizvari;
4 – dūmgāžu caurules.



26. attēls. Gaisa sildītāju termokompensācijas elementi

1 – telpa virs dūmgāžu caurulēm;
2 – cauruļu termiskās pagarināšanās kompensācijas elastīgais elements;
3 – cauruļu galu stiprinājuma paneļa termiskās izplešanās kompensācijas elastīgais elements;
4 – cauruļu galu stiprinājuma panelis;
5 –dūmgāžu caurules.

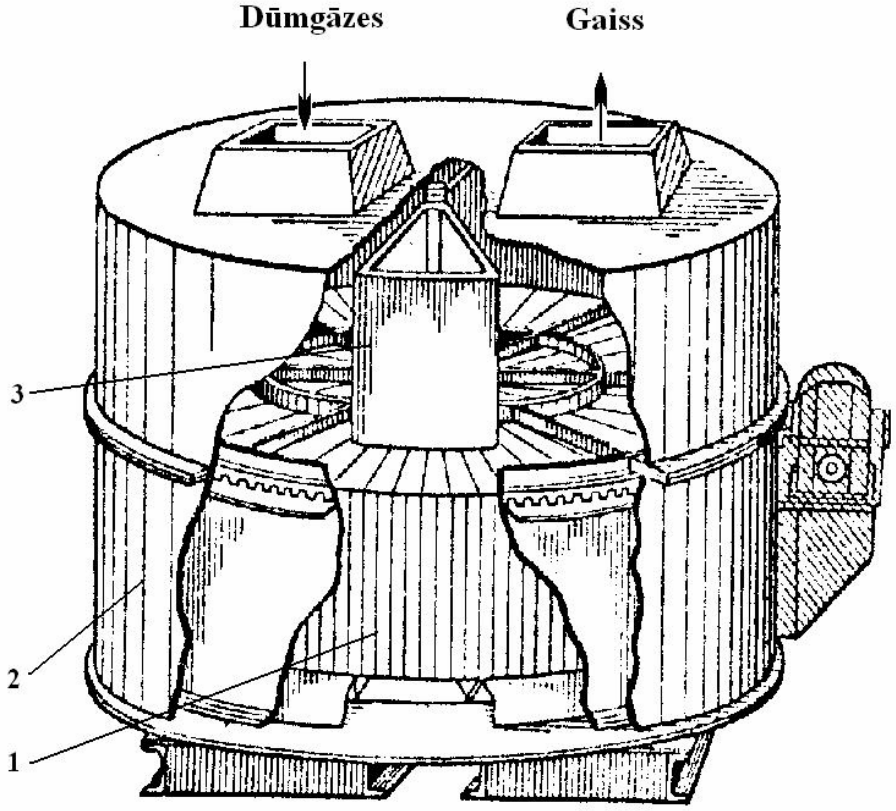


27.attēls. Cauruļu pretizdiluma aizsardzības elementi.

1 – ieliktnis;
2 – nofāzējums.

3.4.2. Reģeneratīvie gaisa sildītāji

Reģeneratīvie kurtuves gaisa sildītāji sastāv no rotora ar lāpstiņām, kas ievietots apvalkā. (28.attēls). Sildītājs ir sadalīts divās daļās. Gaisa un dūmgāžu plūsma notiek katra savā daļā. Dūmgāžu plūsmai paredzētā daļa aizņem lielāku sildītājā šķērsgriezuma daļu (aptuveni 2/3 no kopējā) nekā gaisam paredzētā (29.attēls), jo dūmgāzēm ir augstāka temperatūra un tādēļ mazāks blīvums nekā gaisam. Tādējādi tiek saskaņotas plūsmu masas. Rotora lāpstiņas veidotas no tērauda plāksnēm, starp tām ir spraugas aptuveni 3 – 13 mm platumā. Rotora diametrs, atkarībā no jaudas var būt līdz 17 m. Rotors lēnām rotē ar ātrumu 3 – 8 min^{-1}. Nonākot dūmgāžu pusē, lāpstiņas uzsilst, uzņemot siltumu no dūmgāzēm. Nonākot gaisa pusē, lāpstiņas atdod uzņemto siltumu kurtuvei pievadāmajam gaisam.

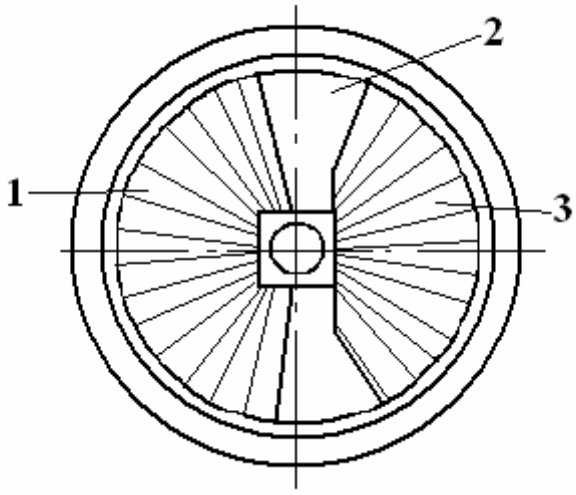


28. attēls. Reģeneratīvā kurtuves gaisa sildītāja uzbūve
1 – plāksnīšu rotors;;
2 – korpuss;
3 – atdalošā plāksne.

Lai samazinātu dūmgāžu sajaukšanos ar gaisu, ir izveidota virkne speciālu blīvējuma konstrukciju, kas sarežģī konstrukciju un ir arī pakļautas nodilumam kustīgo daļu ietekmē. Tā, kā lāpstiņām pārvietojoties, starp tām esošās dūmgāzes tiek pārnestas uz gaisa daļu, neliela dūmgāžu sajaukšanās ar gaisu

tomēr notiek, bet tā ir ļoti neliela un kurtuves darba gāzu vidi praktiski neiespaido.

Reģeneratīvajiem gaisa sildītājiem ir maza aerodinamiskā pretestība, tie ir kompakti, attiecinot pret pārvadīto siltuma daudzumu, salīdzinot ar čuguna sildītājiem, mazāka masa, laba korozijizturība. Trūkums ir tas, ka ir nepieciešama piedziņa rotoram, un ekspluatāciju apgrūtina blīvējuma konstrukcijas, kā arī piedziņas elementi.



29. attēls. Reģeneratīvā gaisa sildītāja gāzu plūsmu sadalījums
1 – dūmgāžu puse;
2 – sektorplāksne;
3 – gaisa puse.

4. Tvaika tīrības nodrošināšanas veidi

Tvaika tīrību var uzturēt ar sekojošiem paņēmieniem:

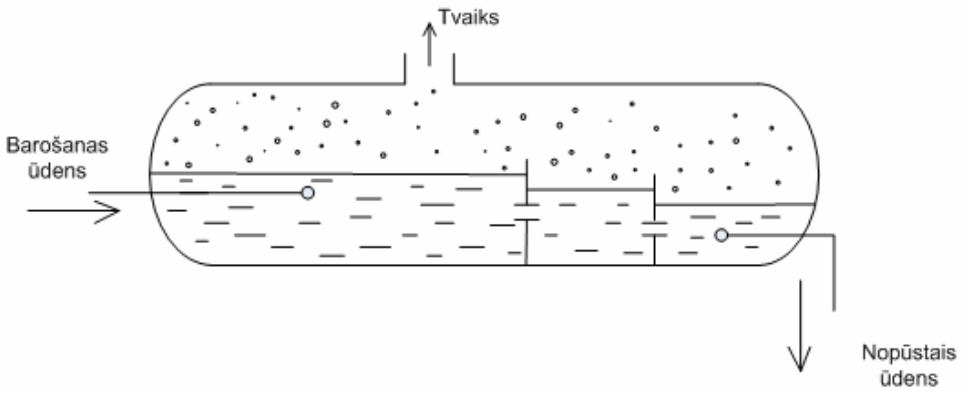
1. pakāpjveida iztvaicēšana, ko kombinē ar nopūšanu;
2. tvaika mehāniska separācija;
3. tvaika skalošana;
4. nopūšana.

4.1. Pakāpjveida iztvaicēšana

Tvaika tīrība ir atkarīga no ūdens tīrības, jo ūdens satur dažādus piemaisījumus, kas katla ūdenī nonāk virsmu korozijas produktu veidā, paliek tajā pēc attīrīšanas iekārtām (piemēram, sāļi pēc mīkstināšanas iekārtās), dažādu speciālu piedevu (piemēram, kompleksori) veidā.
Pakāpjveida iztvaicēšanu organizē, kombinējot to ar nopūšanu. Ir vairāki pakāpjveida iztvaicēšanas paņēmieni:
1 – sadalot tvaika tvertni atsevišķos nodalījumos;
2 – izmantojot atsevišķu papildus tvertni.

Pakāpjveida iztvaicēšana sadalot tvaika tvertni atsevišķos nodalījumos

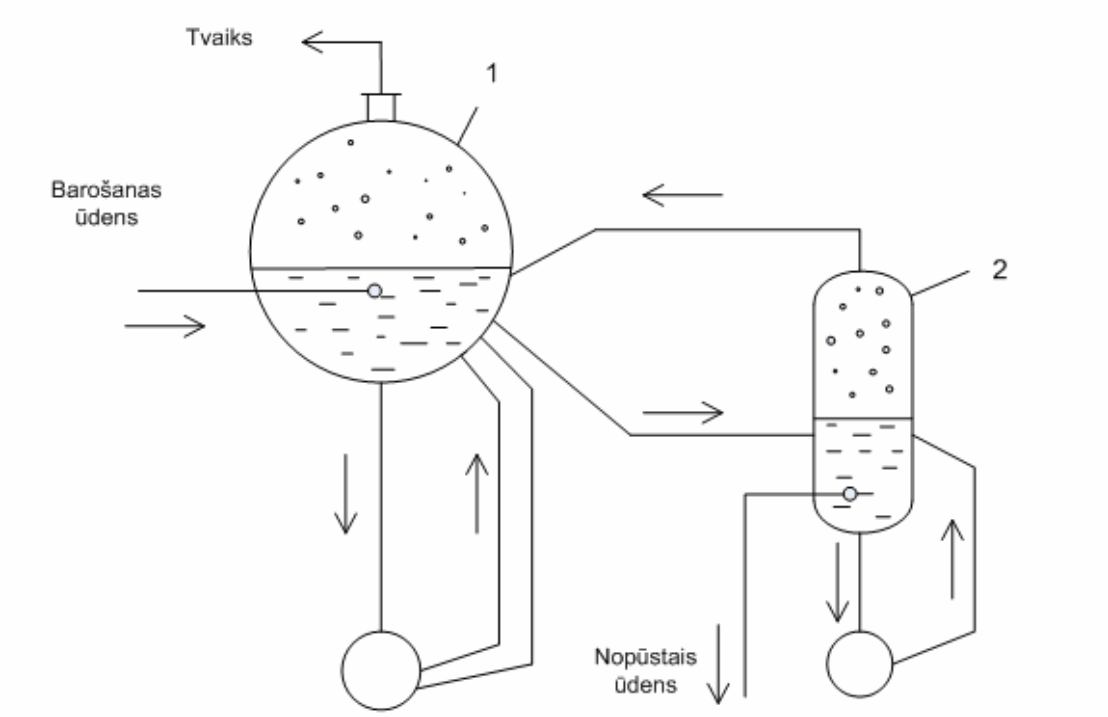
Šajā gadījumā tvaika tvertne tiek sadalīta divos vai trīs nodalījumos, kas savā starpā ir savienoti ar pārplūdes atverēm (30.attēls). barošanas ūdens no ūdens attīrīšanas iekārtām tiek pievadīts pirmajam nodalījumam. No pēdējā nodalījuma notiek periodiska vai nepārtraukta nopūšana, kuras rezultātā daļa ūdens kopā ar tajā esošajiem piemaisījumiem tiek aizvadīta projām. Rezultātā samazinās kopējā piemaisījumu koncentrācija katla ūdeni un līdz ar to arī tvaika tīrība uzlabojas. Piemēram, divpakāpju iztvaicēšanas ceļā piemaisījumu koncentrāciju tādā veidā var samazināt līdz 15 reizes.



30. attēls. Pakāpjveida iztvaicēšana sadalot tvaika tvertni

Pakāpjveida iztvaicēšana izmantojot atsevišķu papildus tvertni

Papildus galvenajai tvaika tvertnei, tiek izmantota mazāka papildus tvertne (31. attēls). Katrai no tām ir savs iztvaicēšanas cauruļu kontūrs. Papildus tvertne ir savienota ar galveno tvertni. Barošanas ūdens tiek pievadīts galvenajai tvertnei, nopūšana notiek no papildus tvertnes.



31. attēls. Pakāpjveida iztvaicēšana izmantojot papildus tvertni
1 – galvenā tvaika tvertne;
2 – papildus tvaika tvertne.

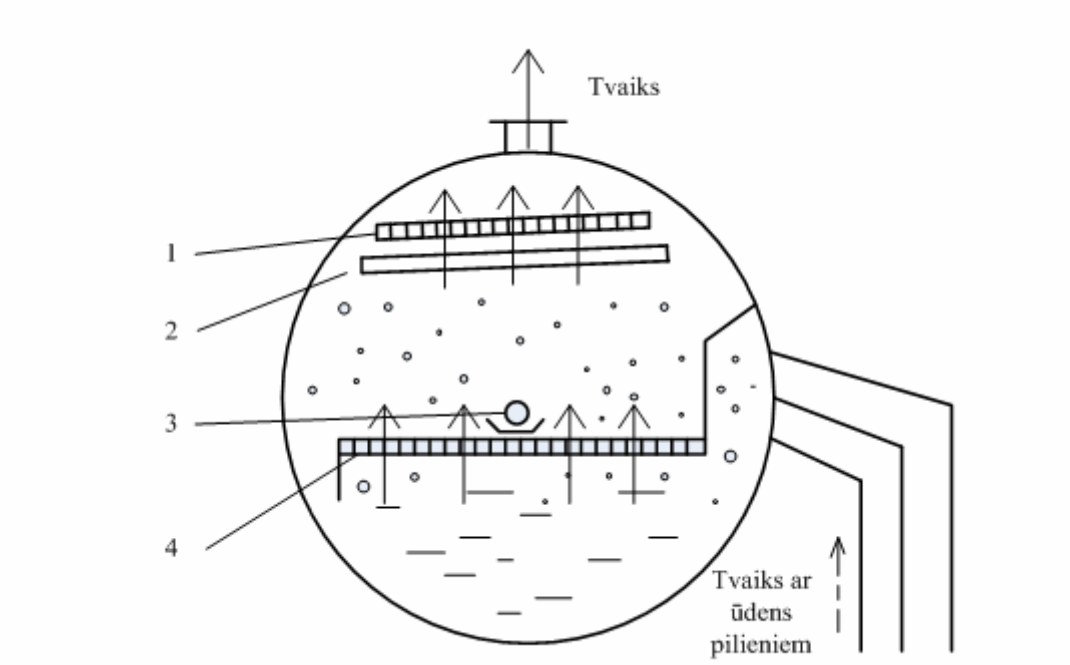
4.2. Tvaika mehāniska separācija

No tvertnes izejošā tvaika mehāniskas separācijas būtība ir tvaikā esošo ūdens pilienu atdalīšana un novadīšana atpakaļ tvaika tvertnē. Ūdens pilienos atrodas katla ūdenī esošiem piemaisījumi, un ir ļoti svarīgi tos atdalīt no tvaika pirms tas nonāk pārkarsētājā. Pilieniem iztvaikojot pārkarsētājā, tajā esošie piemaisījumi nosēžas uz pārkarsētāja sieniņām, pasliktinot siltuma pāreju.

Mehānisko separāciju var veikt sekojošos veidos:
1 - ar perforētām plāksnēm;
2 – ar žalūziju tipa separatoriem;
3 – ar centrbēdzes separatoriem.

4.2.1. Perforēto plākšņu separatori

Perforētās plāksnes (t.i. plāksnes, kurās ir nelieli caurumiņi pa visu plāksnes laukumu) tvaika separācijai novieto tvaika tvertnes augšējā daļā pirms tvaika izejas (32. attēls). Caurumiņu diametrs parasti aptuveni 5 mm. Tās novieto nedaudz slīpi attiecībā pret horizontāli. Tvaikam ejot cauri plāksnei, tajā esošie ūdens pilieni nosēžas uz plāksnes un notek atpakaļ tvertnē.

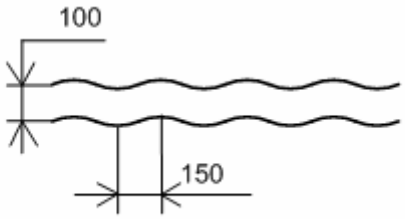


32. attēls Perforēto plākšņu separators
1 – perforētā plāksne;
2 – žalūziju tipa separators;
3- barošanas ūdens sadalītājs;
4 – iegremdētā plāksne.

Tvaika tvertnē atrodas arī iegremdētā perforētā plāksne. Tā kalpo, lai sadalītu un izlīdzinātu tvaika plūsmu tvertnē. Tā sadala tvaika plūsmu daudzās atsevišķās nelielās strūkliņās tādējādi izlīdzinot plūsmu pa tvertnes šķērsgriezumu un samazinot tvaika līdzi nesto ūdens pilienu daudzumu no ūdens virsmas. Barošanas ūdens tvertnē tiek pievadīts pa īpašu sadalošo plauktiņu, lai plūsma tiktu sadalīta vienmērīgi un lai ieplūstošā strūkla nesašūpotu virsmu, tādējādi mazinot ūdens pilienu daudzumu virs ūdens esošajā tvaikā.

4.2.2. Žalūziju tipa separatori

Žalūziju tipa separatorus arī uzstāda pirms tvertnes tvaika izejas, tāpat kā perforēto plākšņu separatorus (32. attēls). Tie sastāv no viļņveida plāksnēm starp kurām ir spraugas (33.attēls).



33. attēls. Žalūziju tipa separatora elementa uzbūves princips

Tvaikam plūstot pilieni nonāk uz plāksnēm un notek tvertnē.

Plāksnes var būt novietotas:
1 – ar nelielu slīpumu pret horizontāli (10 – 30^{o} leņķī pret to);
2 – vertikāli.

Horizontālais novietojums nav piemērots lieliem plūsmas ātrumiem, jo tvaika plūsma var nest sev līdzi ūdens slānīti, kas veidojas uz plākšņu virsmas.

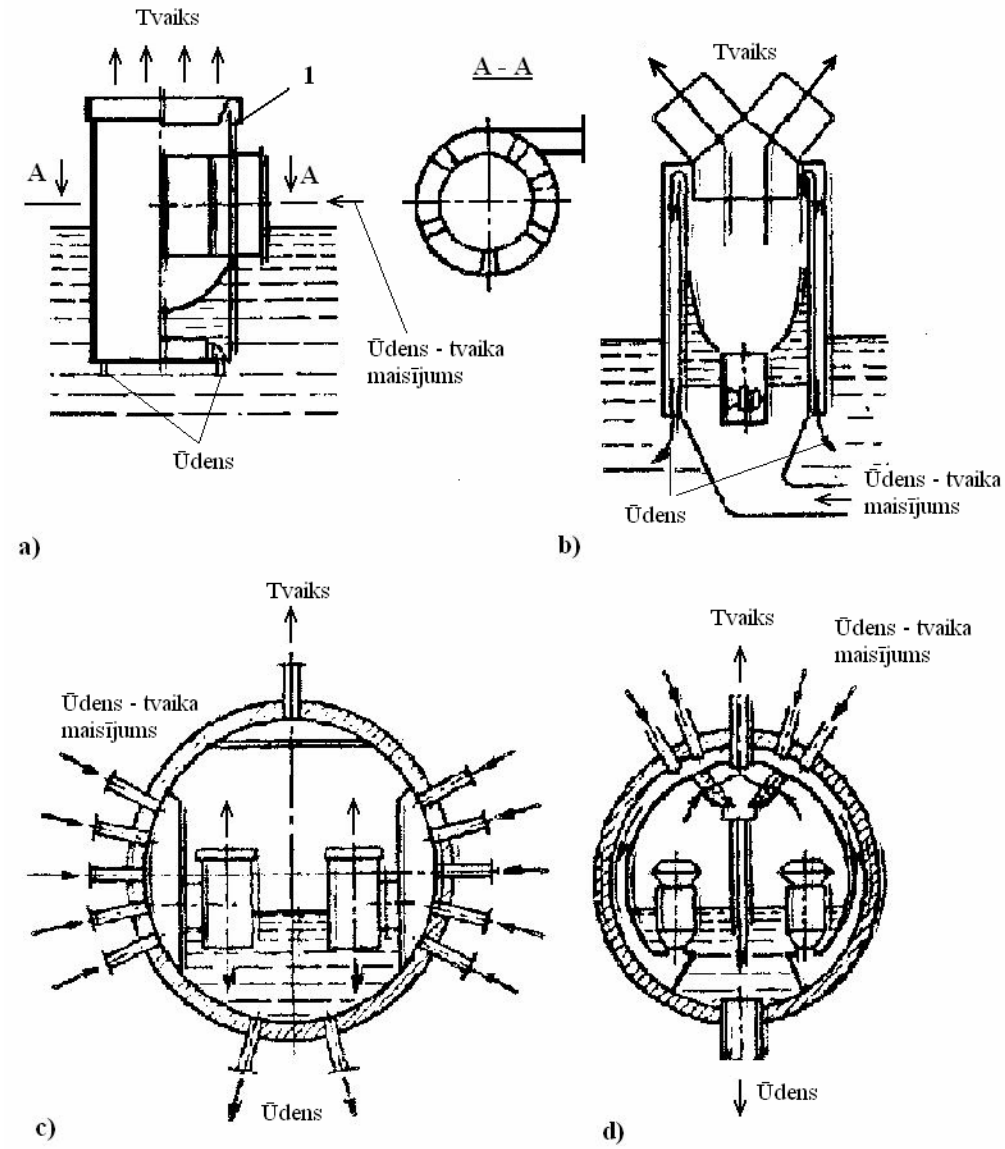
4.2.3. Centrbēdzes separatori

Tvaika centrbēdzes separācijas pamatprincips ir centrbēdzes spēku izmantošana, lai atdalītu ūdens pilienus. Centrbēdzes separators ir ciklons, kurā tvaika plūsma tiek iegriezta un iegūst virpuļveida kustības trajektoriju. Rezultātā centrbēdzes spēka dēļ ūdens pilieni, kam masa ir daudz lielāka nekā tvaika molekulām, tiek atsviesti uz ciklona sieniņu iekšējām virsmām un novadīti atpakaļ tvaika tvertnē. Cikloni parasti tiek iebūvēti tvaika tvertnes iekšpusē (34. attēls).

Cikloni tiek izmantoti kā pirmā separācijas pakāpe. Tie ir vertikāli novietoti cilindriskas formas cikloni ar diametru 250 – 400 mm. Vairāki mazāka izmēra cikloni darbojas ar lielāku efektivitāti, nekā viens lielāka izmēra. Tāpēc parasti izmanto variantu ar vairākiem cikloniem. Tvaika un ūdens pilienu plūsmu ciklonam var pievadīt aksiāli vai tangenciāli.
Aksiālas pievades gadījumā plūsmai griezes kustību rada ar savirpuļošanas lāpstiņām, kas atrodas ieejā. Plūsmas virziens ciklonā ir no apakšas uz augšu. Pilieni nosēžas uz ciklona iekšējās virsmas, taču plūsmas ietekmē notiek to kustība uz augšu. Tādēļ tiek izveidota speciāla apmale, kas novirza pilienu plūsmu atpakaļ uz tvertni.

Tangenciālas pievades gadījumā tvaika un pilienu maisījums tiek pados ciklona sānos tangenciāli, šādā veidā iegūstot griezes kustību. Arī šajā gadījumā tvaika izeja no ciklona ir augšējā daļā.
Ciklona ūdens izvadā sākumā vai ciklona sānos vidējā daļā tiek izvietotas speciālas lāpstiņas, kas slāpē ūdens slānīša virpuļveida kustību.

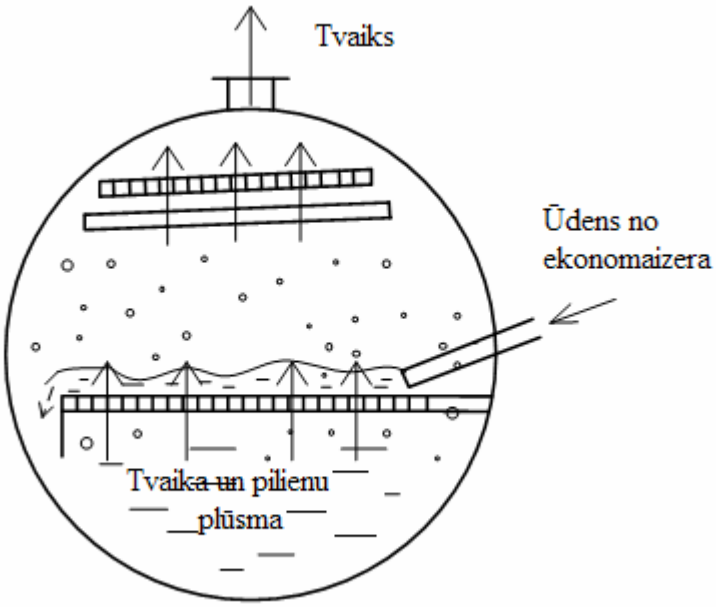
Griešanās ātrums ciklonā nedrīkst pārsniegt maksimālo vērtību, jo tas var novest pie pilienu šķelšanās, kā rezultātā samazinās to masa un tos var aiznest līdzi tvaika plūsma.



34. attēls. Centrbēdzes tvaika separatori.
a) ar tangensiālu tvaika-ūdens maisījuma ievadi;
b) ar aksiālu tvaika-ūdens maisījuma ievadi;
c) tangensiālo ciklonu novietojums tvaika tvertnē;
d) aksiālo ciklonu novietojums tvaika tvertnē.
1 – ūdens uztvērējs.

4.2.4. Tvaika skalošana

Augsta spiediena (virs 10 MPa) katlos tvaika mehāniska separācija tvaika attīrīšanas no piemaisījumiem nolūkā kļūst neefektīva, jo piemaisījumi labi šķīst tvaikā. Tāpēc tvaiku skalo ar ūdeni, lai samazinātu piemaisījumu koncentrāciju tajā. Daļa no tvaikā esošiem piemaisījumiem pāriet ūdenī. Rezultātā piemaisījumu koncentrācija tvaikā samazinās, kaut arī pieaug tvaika mitrums.
Skalošanas efektivitāti lielā mērā nosaka tvaika un ūdens kontaktvirsmas lielums. Tādēļ ūdeni skalošanai no ekonomaizera pievada virs perforētas plāksnes, caur kuru no apakšas plūst tvaiks. Rezultātā tvaiks plūst cauri ūdens slānim. Skalošanas princips attēlots 35. attēlā.
Nepieciešamais ūdens slāņa biezums ir 30 – 40 mm. Kā skalošanas ūdeni parasti izmanto saražotā tvaika kondensātu.

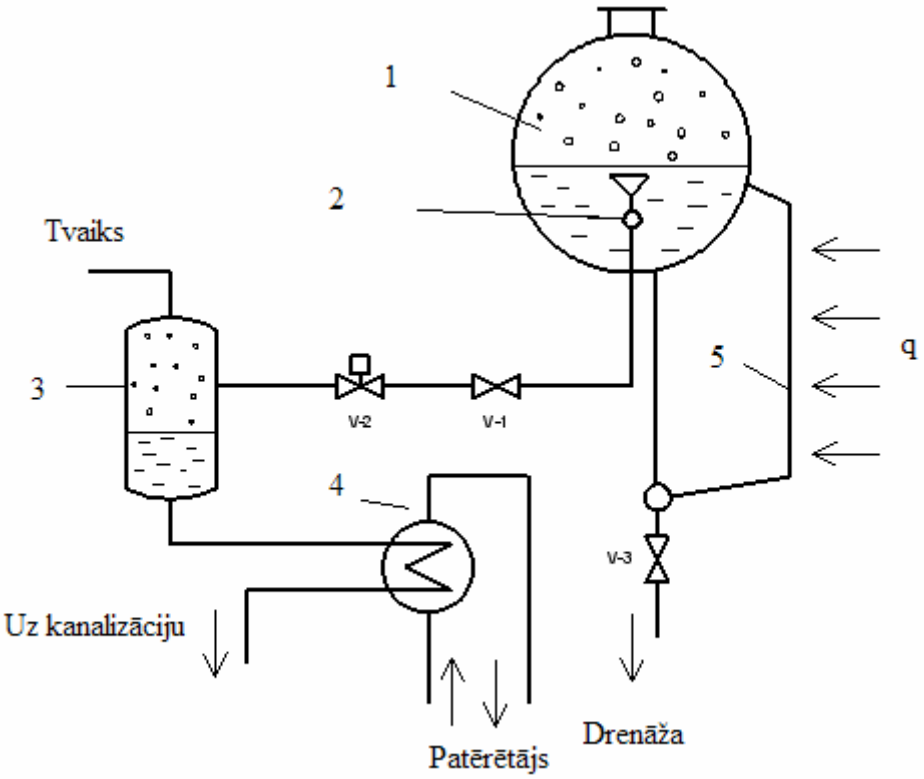


35. attēls. Tvaika skalošana caur ūdens slāni

4.3. Nopūšana

Tvaika tīrību var paaugstināt uzlabojot katla ūdens tīrību ar nopūšanas palīdzību. **Nopūšana ir periodiska vai nepārtraukta noteikta katla ūdens daudzuma aizvadīšana.** Aizvadītā ūdens vietā katlam tiek pievadīts svaigs barošanas ūdens no attīrīšanas sistēmas.
Periodiskā nopūšana paredzēta galvenokārt cieto piemaisījumu aizvadīšanai. To veic 1-3 reizes maiņā 2-5 minūšu ilgumā. Nopūšanas ūdens tiek aizvadīts no vietas, kur ir vislielākā piemaisījumu koncentrācija. Katlu iekārtās mēdz arī

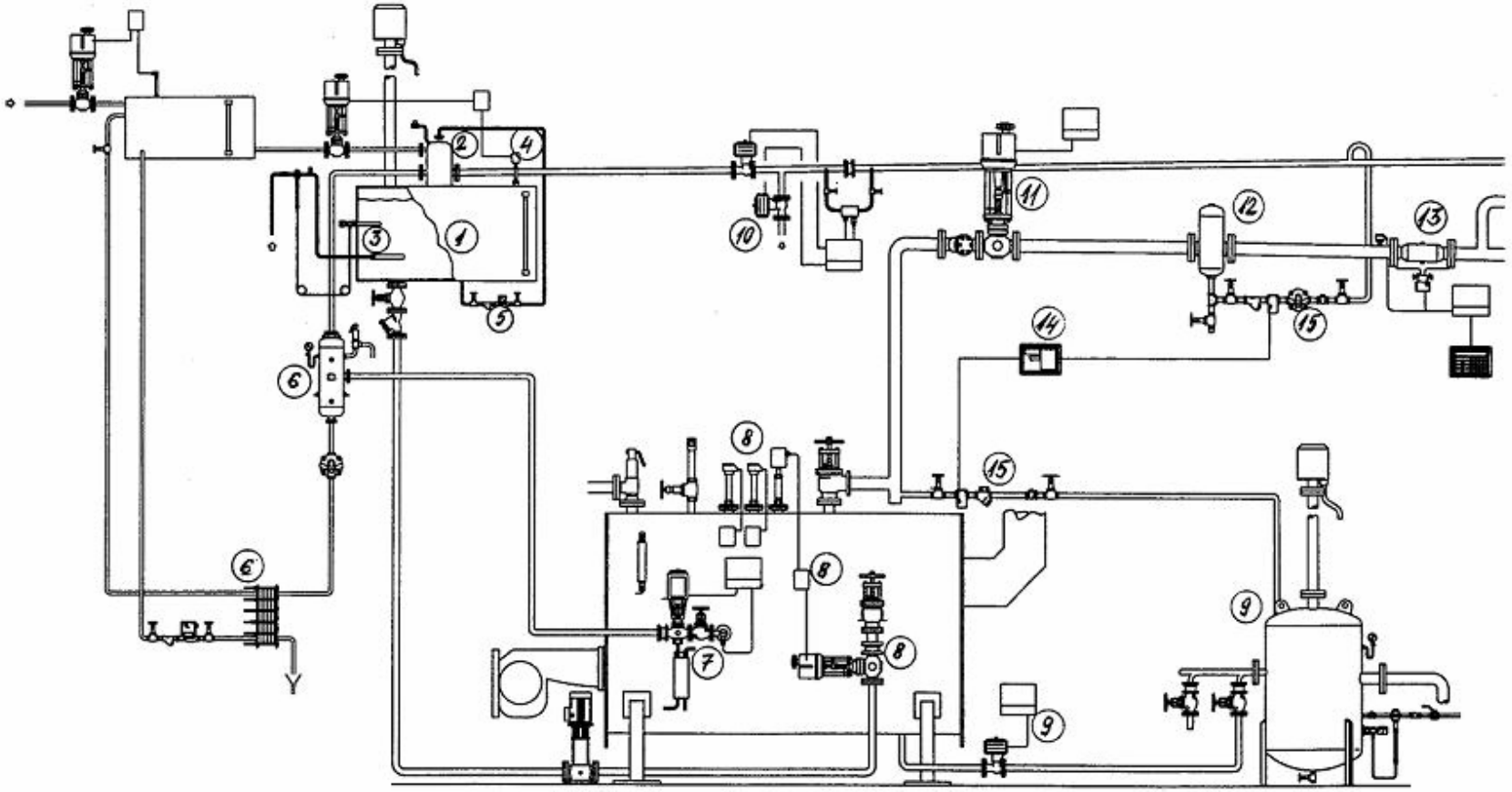
kombinēt nepārtraukto un periodisko nopūšanu, izmantojot abas un izveidojot katrai savu sistēmu. Nopūšanas sistēmas shēma parādīta 36. attēlā. Ar nopūšanas vārstu V-1 aizver vai atver nopūšanas cauruļvadu, tādējādi palaižot vai apturot nopūšanas procesu. Ar regulēšanas vārstu V-2 iestata nopūšamā ūdens plūsmas daudzumu. Nopūstais ūdens nonāk speciālā izplešanās tvertnē 3. Tajā samazinās spiediens, bet tā, kā ūdens temperatūra ir augsta, tā šajā gadījumā var pārsniegt iztvaikošanas temperatūru pie esošā spiediena tvertnē un daļa ūdens iztvaiko. Šo tvaiku var izmantot tur, kur nepieciešams pievadīt siltumu kādam procesam. Atlikušais ūdens kopā ar piemaisījumiem tiek aizvadīts uz siltummaini, atdodot siltumu, piemēram, katla barošanas ūdenim, un tālāk novadīts kanalizācijā.



36. attēls. Nopūšanas sistēmas shēma.

V-1 – nopūšanas vārsts;
V–2 – nopūšanas regulēšanas vārsts;
V–3 – katla drenāšas (iztukšošanas) vārsts;
1 – tvaika tvertne;
2 – skalošanas kolektors;
3 – izplešanās tvertne;
4 – siltummainis;
5 – ekrāncaurules.

Tvaika sistēmas principiālās shēmas variants (firma *Filter*), kurā ietverta gan nepārtrauktās gan periodiskās nopūšanas sistēmas, parādīts 37. attēlā.



37. attēls. Tvaika sistēmas ar nopūšanu principiālā shēma (*Filter*)

1 – barošanas ūdens tvertne; 2 – deaerators; 3 – tvaika ievads; 4 – līmeņa kontrole; 5 – recirkulācijas sistēma; 6 – nopūstā ūdens siltuma izmantošana; 7 – nopūšanas sistēma; 8 – katla barošanas ūdens ievads; 9 – periodiskās nopūšanas sistēma; 10 – kondensāta mērīšana; 11 – redukcijas vārsts; 12 – separators; 13 – tvaika skaitītājs; 14 – kondensāta plūsmas vārsts; 15 – kondensāta novade.

5. Velkmes un dūmgāzu aizvadīšanas iekārtas

5.1. Kurtuves gaisa ventilatori

Lai nodrošinātu normālu katlu iekārtas darbību, nepieciešams kurtuvē padot nepieciešamo gaisa daudzumu, nodrošināt noteiktu gāzu kustības ātrumu gāzu ejās un izvadīt no katlu iekārtas radušās dūmgāzes.
Gaiss kurtuvē var tikt padots dabiskās velkmes ceļā, kā arī piespiedu kārtā ar ventilatoru. Parasti izmanto zema vai vidēja spiediena ventilatorus. Sekciju katlos gaisu parasti nesilda, bet ņem no katlu telpas. Ventilatora ražīgumu aprēķina pēc sekojošas sakarības:

$$V_g = \frac{1{,}1 * \alpha_k * B * V_0 * (273 + t_g) * 760}{273 * p_b} \quad , \qquad (10)$$

kur: V_g – ventilatora ražīgums, m^3/s;
α_k – gaisa pārpilnības koeficients kurtuvē;
B – kurināmā patēriņš, kg/s;
V_0 – 1 kg kurināmā sadedzināšanai nepieciešamais gaisa daudzums pie spiediena 760 mmHg, un temperatūras 0 ^{0}C, m^3/kg;
t_g – padodamā gaisa temperatūra, ^{0}C;
p_b – gaisa barometriskais spiediens, mmHg.

Ventilatoru izvēlas pēc katalogiem atbilstoši aprēķinātajam ražīgumam un nepieciešamajam spiedienam, lai tas vismaz par 10 % pārsniegtu pretestību gaisa pievadei.

Parasti tiek izmantoti centrbēdzes ventilatori. Ventilatoru ražīgumu atbilstoši nepieciešamajam ražīgumam, kas mainās atkarībā no iekārtas darba režīma, var regulēt ar:
1 – droselēšanu – izmantojot aizvarus gaisa ejās;
2 – lāpstiņu stāvokļa maiņu – lāpstiņas var mainīt savu stāvokli, tādējādi mainot ražīgumu;
3 – mainot ventilatora rotācijas frekvenci.

Visekonomiskākais un ērtākais paņēmiens ir ventilatora rotācijas frekvences maiņa, ko visprecīzāk un ērtāk ir veikt izmantojot piedziņas elektromotoram frekvenču regulatoru, tādējādi veicot bezpakāpju frekvences regulēšanu.

5.2. Dūmgāžu aizvadīšanas iekārtas

Velkmi katlu iekārtā rada skurstenis un dūmsūknis. Mazās katlu iekārtās pietiek ar skursteni, lielākās jāizmanto dūmsūknis.
Dabīgo velkmi rada skurstenis, kurā graviatācijas spēka ietekmē dūmgāzes, kuru temperatūra ir augstāka par apkārtējās vides gaisa temperatūru, ceļas uz

augšu radot retinājumu un līdz ar to dabīgo velkmi. Atbilstošu dabīgo velkmi var nodrošināt ar pareizu skursteņa šķērsgriezuma laukuma un augstuma izvēli.

Lai radītu mākslīgo velkmi, katlu iekārtā izmanto dūmsūkņus. To izmanto tad, ja ar skursteni grūti nodrošināt dabīgo velkmi lielākām katlu iekārtām, kam papildus pretestību dūmgāzēm rada arī attīrīšanas iekārtas. Izmantojot dūmsūkni, ir iespējams ievērojami samazināt skursteņa augstumu tiktāl, cik to atļauj sanitārās normas.

Nepieciešamo dūmsūkņa ražīgumu aprēķina sekojoši:

$$V_{ds} = \frac{1{,}1 * B * V_d * (t_d + 273)}{273}\ , \qquad (11)$$

kur: V_{ds} – dūmsūkņa ražīgums, m^3/s;
V_d – dūmgāžu tilpums pirms dūmsūkņa, m^3/s;
t_d – dūmgāžu temperatūra pirms dūmsūkņa, ^0C.

Nepieciešamo dūmsūkņa spiedienu izvēlas tādu, kas vismaz par 20 % pārsniegtu pretestību dūmgāžu traktā, ievērtējot skursteņa radīto dabīgo velkmi.

Dūmsūkņus uzstāda katrai katla iekārtai vai arī vienu uz diviem katliem. No gaisa padeves ventilatora dūmsūkņi atšķiras ar to, ka tie ir paredzēti augstākām darba temperatūrām. Parasti maksimālā dūmgāžu pieļaujamā temperatūra dūmsūknim ir 250 ^0C.

6. Izmešu sastāvs un to samazināšanas metodes.

6.1. Kaitīgās sastāvdaļas dūmgāzēs, to ietekme uz vidi un cilvēku

Dažādu kurināmo degšanas procesos rodas izmeši, kas ir kaitīgi apkārtējai videi un cilvēkam.
Veicinot jaunu tehnoloģiju ieviešanu, kas samazina vides piesārņojumu, tiek ierobežota vides, t.sk. gaisa piesārņošana.

Likumā "Par dabas resursu nodokli" ir noteikts, ka uzņēmumi saņem konkrētam laika periodam noteiktus piesārņojošo vielu izmešu gaisā limitus, par kuriem maksā noteiktu nodokļa likmi. Par piesārņošanu virs limitos noteiktajiem apjomiem, piemēro pamatlikmi un papildlikmes, kuras ir trīs reizes augstākas par attiecīgajām pamatlikmēm.
Nodokļa likmes par gaisa piesārņošanu ir izdalītas pēc izmešu bīstamības četrās klasēs, sākot no 3 Ls/t par mazkaitīgiem izmešiem un beidzot ar 800 Ls/t par īpaši bīstamiem izmešiem.

Galvenās kaitīgās dūmgāžu sastāvdaļas ir sekojošas:
- CO_2 - oglekļa dioksīds jeb ogļskābā gāze;
- CO – oglekļa monoksīds jeb tvana gāze;
- NO_x – slāpekļa oksīdi;
- SO_2 – sēra dioksīds;
- GOS – (VOC - Volatile Organic Compounds) gaistošie organiskie savienojumi;
- HFC – fluorogļūdeņraži;
- cietie izmeši:
- dioksīni;
- metāli.

Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva 2001/81/EC ir noteikusi Eiropas Savienības dalībvalstīm maksimāli pieļaujamās emisijas noteiktiem atmosfēras piesārņotājiem – sēra dioksīdam, slāpekļa oksīdam, gaistošiem organiskajiem savienojumiem (GOS) un amonjakam, kurus nedrīkst pārsniegt laika posmā pēc 2010. gada.
Pamatojoties uz to, ir izstrādāti un ir spēkā esoši 2003. gada 9. septembra Ministru kabineta noteikumiem Nr. 507 “Noteikumi par kopējo valstī maksimāli pieļaujamo emisiju gaisā”.

Ogļskābā gāze - CO_2

Kurināmo degšanas produkts, no kura nav iespējams izvairīties, jo kurināmo sastāvā viena no galvenajām degošajām sastāvdaļām ir ogleklis, kuram pilnīgi sadegot, rodas CO_2.
Tā, kā dažādu kurināmo sastāvā ir dažāds daudzums C, tad arī dažādu kurināmo degšanas rezultātā rodas atšķirīgs daudzums CO_2. lai veiktu

salīdzinājumu, to ir lietderīgi izteikt uz iegūtās siltumenerģijas daudzumu. Aptuveno CO_2 daudzumu vairākiem kurināmā veidiem var redzēt 3. tabulā.

3. tabula

Aptuvenais CO_2 daudzums izmešos dažādiem kurināmā veidiem

Kurināmais	CO_2 izmešu daudzums	
	kg/GJ	kg/MWh
Ogles	92	331
Kokss	103	371
Dabas gāze	56	202
Mazuts	74	266
Kūdra	120	432
Koksnes kurināmie	0*	0*

*Koksnes kurināmie atrodas pastāvīgā apritē: augot tie fotosintēzes ceļā uzņem no atmosfēras CO_2, sadegot tie atdod to atpakaļ. Rezultātā bilance ir vienāda ar nulli, respektīvi, šajā laika periodā papildus CO_2 atmosfērā klāt nenāk. Tādējādi, jo ātrāk koksne izaug, jo īsākā laika periodā veidojas šī nulles bilance. Tādēļ, no ekoloģijas viedokļa ir veicināma ātraudzīgo enerģētisko mežu audzēšana.
Kā redzams no 3. tabulas, neskaitot koksnes kurināmos, vismazāk CO_2 izmešu izsakot uz enerģijas vienību nodrošina dabasgāze.

Latvijā galvenais atmosfēras piesārņojuma avots ar CO_2 ir enerģētikas (53%) un transporta (19%) (vidēji ES atbilstoši 61% un 21%) nozares.

CO_2 izmešu daudzumu no katlu iekārtām var samazināt:

1. izvēloties kurināmos ar mazāku C saturu;
2. paaugstinot katlu iekārtu lietderības koeficientu;
3. izvēloties biomasu kurināmos, kam CO_2 izmešu bilance ir nulle (piemēram, koksni).

Ietekme uz vidi: pieder pie SEG (siltumnīcas efekta gāzēm) gāzēm, rada siltumnīcas efektu.
Ietekme uz cilvēku: noteiktā koncentrācija rada smacējošu efektu.

Tvana gāze - CO

Bezkrāsaina, bez garšas, smaržas, degoša, ļoti indīga un toksiska gāze
Rodas kurināmo nepilnīgas sadegšanas rezultātā. Nepareiza degšanas procesa organizācija ar nepietiekošu skābekļa piekļuvi degšanas zonai noved pie CO rašanās. Papildus tam, ka nepilnīgas sadegšanas rezultātā netiek iegūts nepieciešamais siltuma daudzums, vajadzīgs vairāk kurināmā, kas palielina kopējo CO, kā arī citu kaitīgo izmešu daudzumu.
Galvenais CO izmešu avots ir transporta nozare (piemēram, Rīgā 61 – 65 % no kopējā daudzuma).

Normētais maksimālais diennakts vidējais izmešu daudzums iekārtām ir 50 mg/m^3.

CO izmešu daudzumu no katlu iekārtām var samazināt:

1. izveidojot un nodrošinot pareizu degšanas procesu pietiekošā skābekļa daudzumā ar optimālu gaisa padeves organizāciju;
2. paaugstinot katlu iekārtas lietderības koeficientu, respektīvi, samazinot kurināmā patēriņu .

Ietekme uz vidi: pieder pie netiešajām SEG , kas palielina siltumnīcas efekta rašanos.
Ietekme uz cilvēku: pie noteiktas koncentrācijas gaisā ir ļoti indīga. Tā piesaista organismā esošo skābekli, un saistās ar hemoglobīnu, kas zaudē spēju pārnest skābekli, kā rezultātā iestājas skābekļa nepietiekamība.
Nelielās koncentrācijās ietekmē sirds un asinsvadu sistēmu.

Sēra dioksīds – SO_2

SO_2 rodas no kurināmā esošā sēra, degšanas reakciju rezultātā reaģējot ar kurtuvei pievadīto gaisu. Degšanas procesos galvenokārt rodas sēra dioksīds (SO_2) un ļoti nelielā daudzumā sēra trioksīds (SO_3). Saskaroties ar gaisu, SO_2 piesaista skābekli, kļūstot par SO_3 un sakaroties ar atmosfērā un arī dūmgāzēs esošo ūdens tvaiku (mitrumu), SO_3 pārvēršas par sērskābi H_2SO_4.

Dabiskās degradācijas procesos notiek sēra oksīdu sadalīšanās, tomēr šo dabisko balansu izjauc sēru saturošo fosilo kurināmo (piemēram, ogles un mazuts) izmantošana.
Sēra dioksīda emisijas galvenie avoti ir doti 4. tabulā.

4. tabula

Sēra dioksīda emisijas daudzuma Latvijā sadalījums pa gadiem (kilotonnas/gadā)

Sektors	1990	1995	2000	2001
Enerģijas ražošana	65.29	38.30	7.18	5.45
Rūpnieciskie procesi	5.94	7.61	5.13	2.34
Siltuma enerģijas ražošana mājsaimniecībā	8.65	1.88	0.35	1.12
Transports	2.01	1.36	1.64	2.17
Bezceļu mehānismi**	0.98	0.81	0.45	0.43
Kopējā emisija	**95.34**	**54.55**	**16.66**	**13.37**

SO_2 rašanos degšanas procesos galvenokārt nosaka kurināmā sēra saturs. Galvenie kurināmie, kas rada vides piesārņojumu ar sēru saturošiem izmešiem, ir akmeņogles un mazuts.

ES direktīva 99/32/EC par sēra satura samazināšanu noteiktiem šķidrā kurināmā veidiem, nosaka ierobežojamus sēra saturam vairākos šķidrās degvielas veidos ar mērķi samazināt SO_2 emisiju un tās nodarīto kaitējumu apkārtējai videi. Direktīva nosaka maksimālo pieļaujamo sēra saturu degvieleļļā (mazutā) un noteiktiem preču nomenklatūras kodiem atbilstošā dīzeļdegvielā (gāzeļļā). Direktīva ierobežo degvieleļļu ar sēra saturu virs 1% (masas procents) izmantošanu. Lai pārņemtu ES direktīvas 1999/32/EC prasības, ir pieņemti Ministru kabineta noteikumi "Par sēra satura ierobežošanu noteiktiem šķidrās degvielas veidiem", kas nosaka:

- ierobežojumus sēra saturam noteikta veida šķidrajā degvielā,
- nosacījumus, kurus ievērojot iespējams izmantot degvieleļļas ar sēra saturu virs 1%.

Maksimāli pieļaujamais emisijas daudzums 2010.gadā Latvijā, kilotonnās (MK Noteikumi Nr.507): 101.

Ietekme uz vidi: izraisa skābos lietus, ietekmē augu veģetāciju.
Ietekme uz cilvēku: ietekmē elpošanas sistēmu un imūnsistēmu.

Slāpekļa oksīdi - NO_x

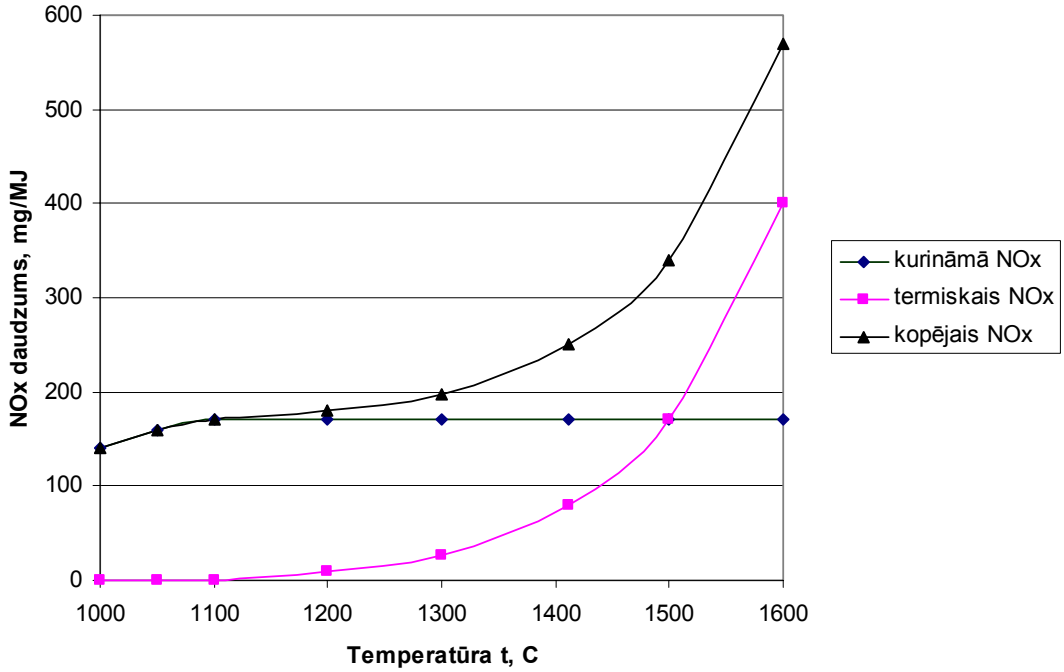
Ar NO_x apzīmē NO un NO_2.
Veidojas degšanas procesos no pievadāmajā gaisā un kurināmajā esošā slāpekļa.
Degšanas procesā rodas aptuveni 90% NO un 10 % NO_2. Sastopoties ar gaisu, NO oksidējas un pārvēršas par NO_2. Savukārt sastopoties ar atmosfērā un arī dūmgāzēs esošo ūdens tvaiku (mitrumu), NO_2 pārvēršas par slāpekļskābi HNO_3.
NO ir bezkrāsaina indīga gāze.
NO_2 ir gāze ar brūnganu nokrāsu un ir ļoti indīga.

Pēc rašanās avota NO_x izmešus var iedalīt:

- kurināmā NO_x ;
  Rodas no kurināmā esošā slāpekļa, tam reaģējot ar kurtuvei padotā gaisā esošo skābekli. Nepieciešamais enerģijas daudzums 250 – 630 kJ/mol. Tās ir salīdzinoši neliels, tāpēc kurināmā NO_x rodas jau pie nelielām temperatūrām kurtuvē.

- termiskais NO_x .
  Rodas no kurtuvei pievadītajā gaisā esošā slāpekļa. Nepieciešama daudz lielāka enerģija: līdz 940 kJ/mol. Tādēļ termiskais NO_x sāk veidoties pie salīdzinoši augstām temperatūrām kurtuvē.

  Iepriekš minēto sadalījumu ilustrē grafiks 38. attēlā. Kā kurināmais izmantotas ogles.



38. attēls. NO_x izmešu sadalījums oglēm

Kurināmā NO_x daudzums ir atkarīgs no izmantotā kurināmā slāpekļa satura. Piemēram, mazutam slāpekļa saturs ir 0,2 – 0,5 %, oglēm 0,8 – 2,0 %, koksnei 0,1 – 0,5 %.

NO_x rašanos ietekmē arī kurināmā sadedzināšanas veids. Piemēram, NO_x, kas rodas sadedzinot akmeņogles dažādos veidos, var ievērojami atšķirties. 5. tabulā dots aptuvenais NO_x izmešu daudzums sadedzinot akmeņogles izmantojot dažādu tehnoloģiju.

5. tabula

NO_x izmešu daudzums akmeņoglēm

Nr.	Sadedzināšanas veids	NO_x, mg/MJ
1.	Putekļveida kurināmais, degļu izvietojums stūros	150 - 230
2.	Putekļveida kurināmais, frontāls degļu izvietojums	250 - 400
3.	Kustīgo ārdu kurtuve	50 - 120
4.	Verdošā slāņa kurtuve	130 - 150

6. tabulā apkopoti dati par slāpekļa oksīdu galveno avotu izmešu sadalījumu Latvijā pa gadiem.

6. tabula

NO_x emisijas daudzuma Latvijā sadalījums pa gadiem (kilotonnas/gadā)

Sektors	1990	1995	2000	2001
Enerģijas ražošana	27.61	12.97	6.54	7.34
Rūpnieciskie procesi	5.19	3.63	4.25	4.11
Enerģijas ražošana mājsaimniecībā	3.63	3.30	1.63	3.61
Transports	38.71	24.38	19.98	24.49
Bezceļu mehānismi	1.22	0.55	0.31	0.32
Kopējā emisija	**80.00**	**47.12**	**34.83**	**41.97**

Ietekme uz vidi: izraisa skābos lietus, ietekmē augu veģetāciju.
Ietekme uz cilvēku: ietekmē elpošanas sistēmu, imūnsistēmu, acis.
Maksimāli pieļaujamais emisijas daudzums 2010.gadā Latvijā, kilotonnās (MK Noteikumi Nr.507): 61.

Gaistošie organiskie savienojumi GOS (VOC)

GOS ir oglekli saturoša ķīmisko vielu grupa. GOS reaģē ar slāpekļa oksīdu, kas ir viens no būtiskiem gaisa piesārņotājiem, un saules gaismas iedarbībā rada ķīmisko smogu.
Daži GOS satur formaldehīdus, benzolu un metilbenzolu.
GOS emisijas galvenie avoti uzskaitīti 7. tabulā.

7. tabula

GOS emisija un galvenie emisiju avoti (kilotonnas/gadā)

Sektors	1990	1995	2000	2001
Enerģijas ražošana	0.92	0.82	0.56	0.58
Rūpnieciskie procesi	1.80	0.38	0.66	0.67
Šķīdinātāju un krāsu izmantošana	30.88	19.02	26.52	25.80
Enerģijas un siltuma ražošana mājsaimniecībā	8.04	15.76	8.12	18.94
Transports	51.89	32.62	22.11	25.44
Bezceļu mehānismi	32.20	3.05	1.23	0.47
Kopējā emisija	**142.55**	**79.37**	**69.34**	**80.87**

Ietekme uz vidi: dažas ir klimata izmaiņas izraisošas gāzes, rada fotoķīmisko smogu.
Ietekme uz cilvēku: virkne šo vielu ir kancerogēnas un var izraisīt kairinājumu plaušās, veicina astmas un citu elpvadu slimību attīstību.
Maksimāli pieļaujamais emisijas daudzums 2010.gadā Latvijā, kilotonnās (MK Noteikumi Nr.507): 136

Cietie izmeši

Sadegot cietajiem kurināmiem, kā arī mazutam, rodas cietās daļiņas, kas tiek nestas ar dūmgāzēm, un nonāk atmosfērā. Cietās daļiņas, galvenokārt, sastāv no pelniem, kuru sastāvā ietilpst dzelzs, silīcija un citu metālu oksīdi, un nesadeguša oglekļa. Cieto daļiņu daudzumu izsaka divos veidos:

1. cieto daļiņu daudzums uz patērēto kurināmā vienību, g/kg, vai g/m^3;
2. cieto daļiņu daudzums uz dūmgāžu daudzumu, g/$m^{3.}$

Cietās daļiņas būtībā veido atmosfēras aerosolu, kas sastāv no dažāda izmēra cietajām daļiņām un/vai pilieniem. No vides piesārņojuma viedokļa būtiski ir divi to raksturlielumi: izmērs un ķīmiskais sastāvs. Tāpēc to apzīmējumam tiek lietots saīsinājums PM (no angļu valodas – "particulate matter") izmēra raksturošanai lietojot indeksu. Piemēram, PM10 nozīmē, ka tās ir daļiņas, kuru aerodinamiskais diametrs ir mazāks par 10 μm.
Īpaši būtiskas ir daļiņas ar diametru mazāku par 10 μm. Daļiņas, kuru diametrs ir lielāks par spēj nonākt tikai līdz plaušu augšējai daļai, taču mazākās – it īpaši PM2,5 un PM1,0 , spēj dziļi iespiesties plaušās.

Daļiņu izmērs un ķīmiskais sastāvs ir atkarīgs ne tikai no piesārņojošo vielu emisijām, bet arī no atmosfērā notiekošajiem dabiskajiem procesiem. Tāpēc, plānojot rīcību šī piesārņotāja samazināšanai, svarīgi ir izvērtēt gan tā rašanās avotus, gan to relatīvo īpatsvaru kopējā piesārņojuma radīšanā.

Ietekme uz cilvēku: izraisa plaušu slimības.

Dioksīni

Dioksīni ir ļoti toksisku, noturīgu un bioakumulatīvu ķīmisko vielu grupa: polihlorēti polikondensēti aromātiskie savienojumi. Tie ir pazīstami kā augsti kancerogēnas un endokrīno sistēmu bojājošas vielas. Dioksīni izdalās daudzu ķīmisko vielu, tai skaitā PVC, sadegšanas procesā.
Lielākā daļa dioksīnu (95%) nokļūst vidē sadegot hloru saturošiem ogļūdeņražiem atkritumu dedzināmajās iekārtās un iekšdedzes dzinēju motoros. Ir pazīstami aptuveni 210 dažādi dioksīnu veidi. No tiem 12 ir ļoti noturīgi un indīgi. Vistoksiskākais ir 2,3,7,8 – tetrahlordibenzo – p – dioksīns.

Ietekme uz cilvēku: tie ir kancerogēni, augstā koncentrācijā izraisa ādas iekaisumus un rada domāšanas traucējumus.

Metāli

Metāli dūmgāzēs rodas sadedzinot fosilo kurināmo, kura sastāvā tie var ietilpt, degvielas, kurām pievieno metālu saturošas piedevas (piemēram, etilētais benzīns), kā arī sadedzinot metālus saturošas atkritumvielas. Tie var būt tvaiku veidā vai cieto daļiņu veidā.

Galvenie metāli, kas var būt sastopami dūmgāzēs: svins, kadmijs, dzīvsudrabs, cinks u.c.
Izmantojot transportlīdzekļos etilēto benzīnu, būtiski bija kontrolēt vides piesārņojumu ar svinu.
Bet kopējais piesārņojums ar svinu pagaidām ir neliels, tam ir tendence samazināties, pārejot uz neetilētajām un bezsvina degvielām un tā samazināšanai īpaši pasākumi nav jāparedz.

Ietekme uz vidi: uzkrājas barības ķēdēs augi – dzīvnieki – cilvēki.
Ietekme uz cilvēku: zema līmeņa svina piesārņojums izraisa smadzeņu attīstības traucējumus.

Robežvērtības sadedzinošo iekārtu izmešiem ir noteiktas ar LR Ministru kabineta noteikumiem no 2000.g. 25 aprīļa Nr.154. Tās ir dotas 8. tabulā.

8.tabula

Emisijas robežvērtība sadedzināšanas iekārtām, kuru būvprojekti apstiprināti pēc 2000.gada 1.jūlija

Nr.p.k.	Kurināma veids	Jauda, MW	Emisijas robežvērtība, mg/m^3			
			SO_2	NO_x	CO	Cietās daļiņas (pelni)
1.	Gāzveida kurināmais	līdz 50	353	350	150	54
		50-300	353	350	100	54
		300-500	353	350	100	54
		virs 500	353	350	100	54
2.	Šķidrais kurināmais	līdz 10	2000	400	400	506
		10-50	2000	400	400	506
		50-300	1700	400	300	506
		300-500	1700... 4005,8	400	300	506
3.	Cietais kurināmais	līdz 10	2500	6507	2000	1000
		10-50	2300	6507	2000	500
		50-500	2000..4005,8	6507	1000	100
		virs 500	4008	6507	1000	50

6.2. Kaitīgo izmešu samazināšana dūmgāzēs

6.2.1. Sēra oksīdu daudzuma samazināšana

Primārās metodes

Ar primārajām metodēm novērš sēra oksīdu rašanos degšanas procesā vai neļaut tiem nokļūt dūmgāžu izejā..

To var veikt
- pirms degšanas procesa;
- degšanas procesa laikā.

Pirms degšanas procesa

Kombinējot gazifikācijas procesu ar desulferizāciju, jeb sēra atdalīšanu, var samazināt SO_2 rašanos līdz pat par 98%. Ja neizmanto gazifikāciju, akmeņogles var sasmalcināt un atdalīt sēra savienojumus no oglēm.

Degšanas procesa laikā

Ir vairāki veidi, kā samazināt SO_2 rašanos.

1. Kurtuvēs ar verdošo slāni, šajā slāni tiek iesmidzināts sasmalcināts kaļķakmens vai dolomīts. Analogi, to var realizēt arī putekļveida kurināmā kurtuvēs, iesmidzinot kaļķakmeni vai dolomītu kurināmā plūsmā no degļa. Šajā gadījumā iegūst arī iespēju samazināt izplūstošo dūmgāzu temperatūru, tādējādi paaugstinot iekārtas efektivitāti.

   Galvenie faktori, kas ietekmē šīs metodes efektivitāti ir :
- temperatūra kurtuvē;
- saskarsmes ilgums starp kaļķakmens daļiņam un sēra oksīdiem;
- daļiņu izmēri.

Sēra izmešu samazināšanās efektīvi notiek pie temperatūrām 800 – 1200 ^{0}C.
Verdošā slāņa kurtuvēs temperatūra atrodas diapazonā starp 800 – 900 ^{0}C. Šadā gadījumā tiek efektīvi samazināta sēra un slāpekļa oksīdu rašanās.
Verdošā slāņa kurtuvēs ir ilgāks kontakts starp reaģējošajam sastāvdaļām, jo tās ilgāk atrodas kurtuvē. Rezultātā šādi var iegūt sēra oksīdu samazināšanos līdz pat par 90 %.
Kurtuvēs ar stacionāro verdošo slāni gaisa plūsma ātri pamet slāni. Tādēļ kaļķa un sēra daudzuma molārai attiecībai jābūt 3:1, lai sasniegtu 90 % efektivitāti.
Kurtuvēs ar cirkulējošo slāni ir lieli gaisa ātrumi, rezultātā slāņa sastāvdaļas plūst kopā ar dūmgāzēm, tiek savāktas ciklonos un atgrieztas atpakaļ kurtuvē. Otrajā gadījumā ir ilgāka sēra oksīdu un kaļķakmens saskare,

rezultātā 90% efektivitāte ir sasniedzama pie mazākas kaļķa un sēra daudzuma molārās attiecības (1,2:1).

2. Slāņa kurtuvēs kaļķis tiek sajaukts ar kurināmo vai iepūsts tieši virs slāņa. Šajā zonā temperatūra ir 1300 – 1400 ^{0}C, bet kurtuves augšēja daļā tikai 700-800 ^{0}C. Šājā gadījumā iespējams sasniegt tikai 50 % efektivitāti. Paaugstināt efektivitāti var izmantojot dūmgāzu recirkulāciju.

Sekundārās metodes

Ar sekundārajām metodēm atdala radušos sēra oksīdus no dūmgāzēm pirms to izvadīšanas skurstenī.

Pēc attīrīšanas gala rezultāta metodes var iedalīt:
- ar neizmantojamiem gala produktiem („*throwaway system*");
- ar izmantojamiem gala produktiem („*marketable system*").

Sistēmā ar izmantojamiem gala produktiem atšķirībā no pirmās, reakciju rezultātā radušies produkti ir izmantojami, piem., tīrs sērs, sērskābe, ģipsis u.c. Šo metodi ir lietderīgi izmantot tikai lielas jaudas iekārtām, kur rodas pietiekošs šo produktu daudzums.

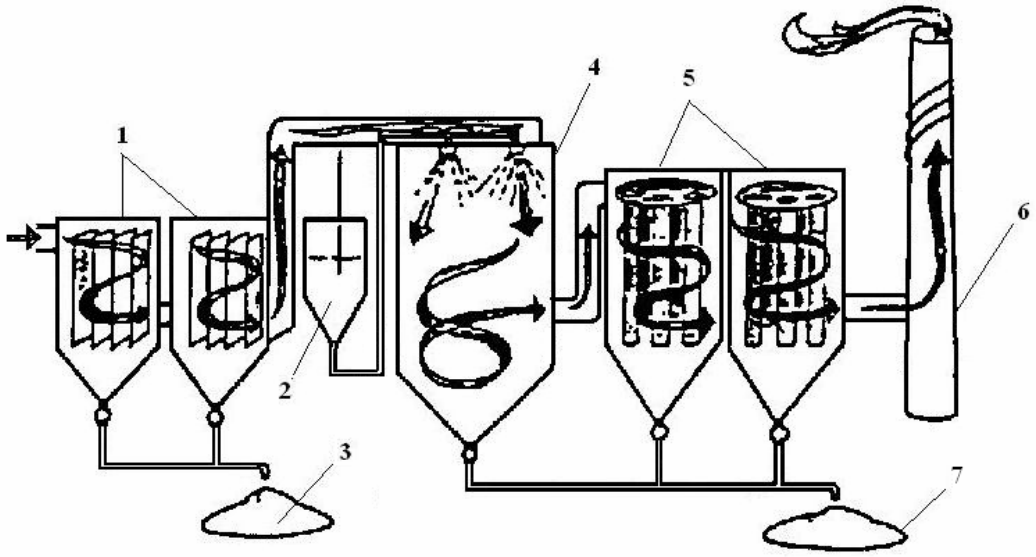
Abos variantos dūmgāzēs tiek iesmidzināts sasmalcināts materiāls, kas satur kalciju, piem., kaļķakmens ($CaCO_3$) vai dolomīts. Intensīvi reaģē arī dzēsti kaļķi. Šajā gadījumā reakciju rezultātā rodas ģipsis, kas ir celtniecībā izmantojams materiāls:

$SO_x + Ca = H_2O \rightarrow CaSO_4 \times 2H_2O$

Atkarībā no tehnoloģijas izšķir divus paņēmienus:
- mitrā metode;
- mitrā-sausā metode.

Mitrajā metodē tiek izmantoti dzēsti kaļķi, kurus putriņas veidā iesmidzina skruberī – ierīcē, pa kuru plūst dūmgāžu plūsma. Mitrie reakcijas produkti nokrīt skrubera apakšējā daļā, tālāk tie saskaras ar gaisu un plūst uz ūdens separācijas sistēmu. Neizreaģējušais materiāls tiek atgriezts un izmantots. Skruberu konstrukcijas ir dažādas.

Izmantojot mitro-sauso metodi, iesmidzināšanas tehnoloģija ir tieši tāda pati, bet tā notiek skrubera augšējā daļā. Reakcijas produktu krišanas attālums un daudzums ir saskaņoti tā, lai tajos esošais ūdens krītot paspēj iztvaikot un reakcijas produkti nokrīt lejā sausā veidā. Pēc skruberiem novieto dūmgāžu filtrus cieto daļiņu atdalīšanai (39. attēls)



39. attēls. Skrubera novietojums dūmgāžu attīrīšanas sistēmā
1 – elektrostatiskie filtri;
2 – kaļķu tvertne;
3 – atdalītie lidojošie pelni;
4 – skruberis;
5 – auduma filtri;
6 – skurstenis;
7 – reakcijas produkti.

6.2.2. Slāpekļa oksīdu samazināšana

Primārās metodes

Ar primārajām metodēm novērš slāpekļa oksīdu NO_x rašanos degšanas procesā.

Primārās metodes ir sekojošas

1. degšanas temperatūras pazemināšana;
2. kurtuves slodzes samazināšana;
3. pakāpjveida sadedzināšana;
4. gāzu recirkulācija;
5. degšanai nepieciešamā gaisa padeves minimizācija.

1. **Degšanas temperatūras pazemināšana**

Kā aprakstīts 5.1. nodaļā, slāpekļa oksīdu rašanos ļoti ietekmē temperatūra, jo tā zemāka, jo mazāk rodas NO_x. Pazeminot temperatūru iespējams pilnībā novērst termiskā NO_x rašanos.
Kombinējot īsu degšanas periodu ar zemu liesmas temperatūru var samazināt NO_x rašanos. Palielināts sildvirsmu laukums un kurtuves tilpums, kas paātrina dūmgāžu atdzišanu līdz ar to samazinot temperatūru, arī samazina NO_x veidošanos.
Pazemināt temperatūru var arī mazāk uzsildot kurtuves gaisu gaisa sildītājā, taču tas samazina iekārtas lietderības koeficientu, ko daļēji var kompensēt, palielinot ekonomaizera jaudu.

2. **Kurtuves slodzes samazināšana**

Samazināta kurtuves slodze noved pie zemākas temperatūras, kas samazina NO_x veidošanos. Slodzes samazināšana ietekmē lietderības koeficientu, tāpēc šādā gadījumā tas palielinās īpatnējo kurināmā patēriņu uz saražoto enerģijas daudzumu, kas savukārt palielina īpatnējo gaisa patēriņu, kurš ir termiskā NO_x avots. Taču pie samazinātas temperatūras zem robežvērtības termiskais NO_x nerodas un gaisa daudzums to nepalielinās.

3. **Pakāpjveida sadedzināšana**

Pie pakāpjveida sadedzināšanas slāpekļa oksīdi reaģē ar hidrokarbonātiem, tādējādi to daudzums ievērojami samazinās. Šo procesu realizē t.s. zema NO_x degļos gāzei un šķidrajam kurināmam.
Galvenā kurināma daļa sadeg pirmajā pakāpē oksidēšanās un nelielas reducēšanās zonā. Tad dūmgāzes plūst caur sekundāro zonu, kur tiek padots atlikušais kurināmā daudzums (aptuveni 15%) nepietiekošā gaisa daudzumā. Šajā zonā ir nepietiekoši daudz gaisa, lai kurināmais pilnībā sadegtu. Šeit savstarpēji iedarbojas slāpekļa savienojumi un hidrokarbonāti. Rezultātā slāpekļa oksīdi sadalās par brīvu slāpekli un ūdeni. Trešajā pakāpē tiek padots nepieciešamais atlikušais gaiss un kurināmais sadeg pilnīgi ar salīdzinoši zemu temperatūru, kas neizraisa NO_x rašanos.

Līdzīgu principu izmanto arī insineratoros, samazinot NO_x daudzumu līdz pat par 50 %. Šajā gadījumā minētie procesi notiek dūmgāžu ejas sākumā kurtuves augšējā daļā.

4. **Gāzu recirkulācija**

Vēl viena metode, lai sasniegtu zemu temperatūru degšanas zonā un samazinātu NO_x rašanos ir dūmgāzu recirkulācija. Daļa no dūmgāzēm tiek nodalīta no galvenās plūsmas un atgriezta kurtuvē caur primārā un sekundārā gaisa sprauslām. Jo lielāka daļa tiek atgriezta, jo zemāka temperatūra degšanas

zonā. Degšanas intensitāte tādā veidā gan tiek samazināta. Šajā variantā tiek izveidota lielāka tilpuma kurtuve. Ir savādāks arī siltuma sadalījums tvaika katla elementiem. Reizēm jāmaina pārkarsētāja virsmas izmēri.

5. **Degšanai nepieciešamā gaisa padeves minimizācija**

Vienkārša metode lai samazinātu NO_x rašanos ir samazināt O_2 koncentrāciju kurtuvē. Piemēram, padot gaisu nelielās devās degšanas procesa laikā attiecīgajās zonās.
Gaisa pārpilnības koeficienta uzturēšana nepieciešamajā līmenī un tā kontrole ļauj izvairīties no NO_x palielināšanās pārmērīga gaisa daudzuma rezultātā.
Tomēr gaisa padeves samazināšana var novest pie nevēlamām sekām, tādām, kā:
- palielināta izdedžu nosēdumu veidošanās;
- nesadegušā kurināmā daudzuma palielināšanās pelnos un dūmgāzēs.

Kombinējot gaisa pārpilnības koeficienta samazināšanu no 50 līdz 20 % ar 50% dūmgāžu recirkulāciju, var samazināt NO_x rašanos par 80%.

Sekundārās metodes

Ar sekundārajām metodēm samazina NO_x daudzumu dūmgāzēs, kuri radužies degšanas procesa laikā.

Sekundārās metodes var iedalīt:
- sausās metodes;
- mitrās metodes.

Sekundārās sausās metodes ir sekojošas:

- selektīvā nekatalītiskā metode (*selective non-catalytic reduction – SNCR)*;
- selektīvā katalītiskā metode (*selective catalytic reduction – SCR);*
- vienlaicīga SO_2 un NO_x atdalīšanas metode.

Selektīvā nekatalītiskā metode (SNCR)

Dūmgāzēs tiek iesmidzināts amonjaks vai karbamīds. Sastāvdaļas reaģē ar slāpekļa oksīdiem, veidojot brīvu slāpekli un ūdeni.
Reakcija notiek temperatūru diapazonā 900-1100 ^{0}C. Efektivitāte ir 50-70 %.

Selektīvā katalītiskā metode (SCR)

Izmantojot šo metodi amonjaks tiek iesmidzināts dūmgāzēs pie temperatūras 300-400 ^{0}C. Dūmgāzes plūst caur katalizatoru, kur notiek slāpekļa oksīdu reakcija ar amonjaku, veidojot slāpekli un ūdeni.

Efektivitāte ir 80-90%.

Kā katalizators tiek izmantots vairāku sastāvdaļu maisījums. Parasti tam pamatā ir vanādija pentoksīda aktīvā forma un volframa trioksīds, izmantojot arī titānu.

Katalizatora efektivitāte ar laiku samazinās vairāku iemeslu dēļ:
- nosēdumu veidošanās uz tā virsmas;
- reakcijas ar sārmu metāliem;
- poru nobloķēšanās.

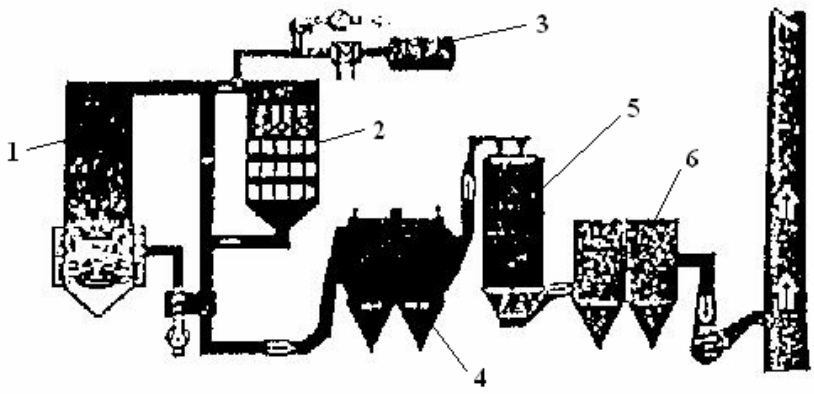
SRC sistēmu var ievietot dūmgāžu trakta kopējā ciklā trīs veidos:
- pirms gaisa sildītāja un cieto daļiņu filtra(*high dust instalation*);
- pēc cieto daļiņu filtra pirms gaisa sildītāja *(low dust instalation*);
- kā pēdējo iekārtu dūmgāžu aizvades sistēmā (*tail end instalation)*.

Visi trīs sistēmas instalācijas veidi attēloti 40. attēlā.

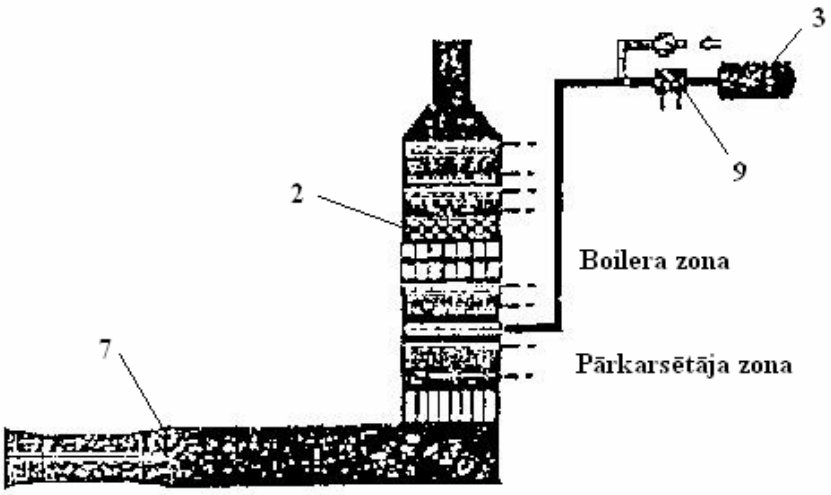
Instalācija pirms gaisa sildītāja ir izplatītākais veids izmantojot fosilos kurināmos.
SRC iekārtas instalācija starp cieto daļiņu filtru un gaisa sildītāju tiek izmantota, piemēram, insineratoros vai gāzes turbīnās.
SRC izvietojums dūmgāžu sistēmas beigu daļā ir izmantojams tad, ja dūmgāzēm ir pietiekoša temperatūra (ap 350 ^{0}C). Pretējā gadījumā tās jāuzsilda. Šajā gadījumā pēc NO_x atdalīšanas jābūt iekārtai, lai izmantotu dūmgāžu siltumu.

6.2.3. Vienlaicīga SO_2 un NO_x atdalīšana

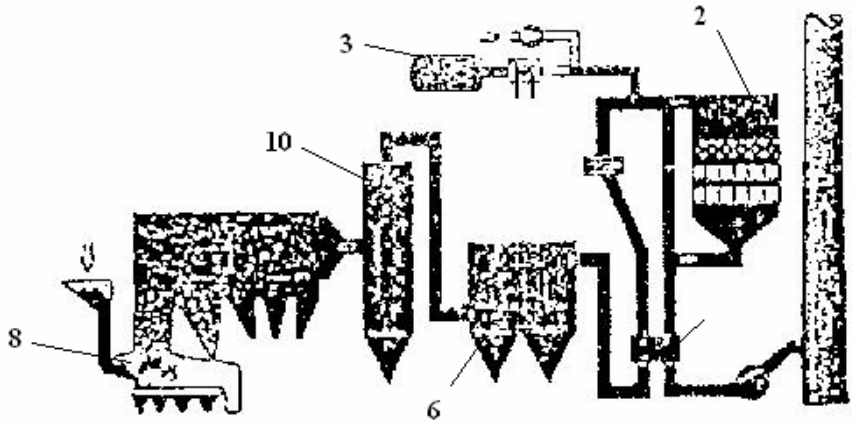
Izmantojot šo metodi, dūmgāzēs vienlaicīgi tiek samazināts gan slāpekļa, gan sēra oksīdu daudzums.
Kā absorbents tiek izmantota aktīvā karbonizētā ogle. Sākotnēji tiek absorbēts sēra dioksīds. Tālāk tiek pievadīts amonjaks, lai NO_x sadalītu par slāpekli un ūdeni. Aktīvā ogle darbojas kā katalizators.



a) pirms gaisa sildītāja un cieto daļiņu filtra(*high dust instalation*);



b) pēc cieto daļiņu filtra pirms gaisa sildītāja *(low dust instalation*);



c) kā pēdējā iekārta dūmgāžu aizvades sistēmā insineratoram (*tail end instalation*).

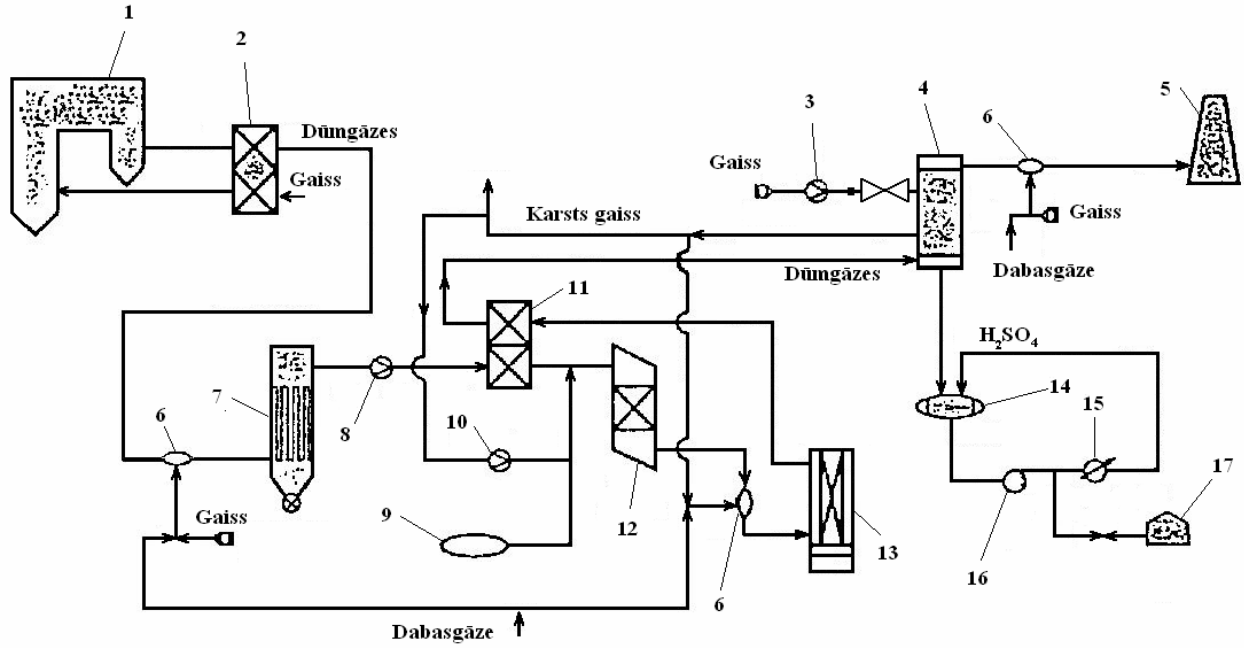
40.attēls. NO_x SCR atdalīšanas sistēmu instalācija

1 – boilers;
2 – SCR reaktors;

3 – amonjaka tvertne;
5 – SO_x reaktors;
6 – auduma filtri;
7 – gāzes turbīna;
8 – insineratora kurtuve;
9 – gāzu absorbcijas iekārta.

Mitrā metode (sekundārā)

Izmantojot šo metodi, dūmgāzēs vienlaicīgi tiek samazināts gan slāpekļa, gan sēra oksīdu daudzums (SNOX process). Šis ir katalītisks process, ko izmanto katlu iekārtās akmeņoglēm.
SNOX procesā SO_2 tiek katalītiski oksidēts par SO_3, savukārt NO_x tiek reducēts par N_2 un H_2O, izmantojot amonjaku. SO_3 tiek pārvērsts sērskābē H_2SO_4, kas tiek savākta šķidrās sērskābes kondensatorā un ir izmantojama. Izņemot amonjaku, netiek lietots nekāds cits papildus reaģents un procesa rezultātā nav nekādu pārpalikumu. Šāda sistēma attēlota 41. attēlā
Šajā attēlā esošā sistēma atdala no dūmgāzēm vairāk nekā 90 % SO_2 un NO_x. Iegūtās sērskābes koncentrācija ir 93-95 %.
Process ir pilnībā automatizēts.



41. attēls. SNOx sistēma dūmgāžu attīrīšanai
1 – katlu iekārta;
2 – kurtuves gaisa sildītājs;
3 – dzesēšanas gaisa ventilators;
4 – sērskābes kondensators;
5 – skurstenis;
6 – deglis;

7 – auduma filtri;
8 – dūmgāžu ventilators (dūmsūknis);
9 – amonjaka tvertne;
10 – ventilators;
11 – siltummainis gāze – gāze;
12 – SCR reaktors;
13 – SO_2 reaktors;
14 – sērskābes tvertne;
15 – skābes dzesētājs;
16 – skābes sūknis;
17 – skābes uzglabāšanas tvertne.

6.2.4.Cieto izmešu samazināšana

Sadedzinot cietos kurināmos un mazutu, dūmgāzēs nokļūst cieto izmešu daļiņas. To atdalīšanai no dūmgāzēm kalpo sekojošas ierīces:

- dinamiskie kolektori;
- mitrie kolektori
- auduma filtri;
- slāņa filtri;
- elektrostatiskie filtri.

Dinamiskie kolektori

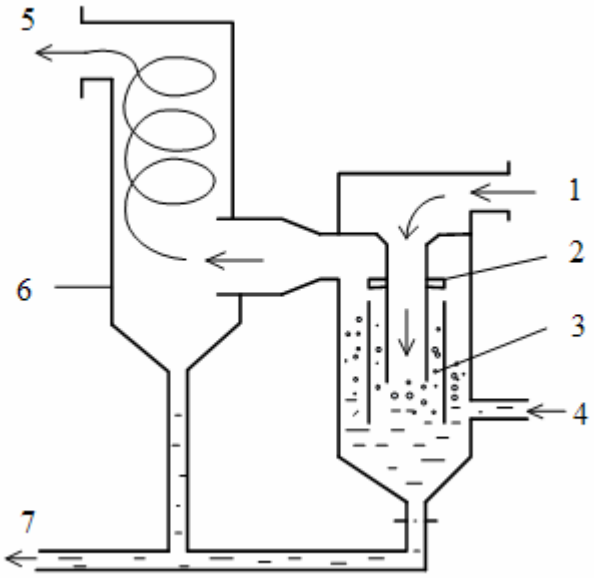
Visizplatītākais dinamisko kolektoru veids ir cikloni.

Ciklonos dūmgāžu plūsmai tiek piešķirta rotācijas kustība. Radušos centrbēdzes spēku rezultātā cietās daļiņas tiek atsviestas uz ciklona iekšējām sieniņām. Atkarībā no dūmgāžu ievadīšanas veida izšķir ciklonus ar tangenciālu un aksiālu dūmgāžu ievadi. Aksiālas ievades gadījumā rotācijas kustību plūsmai piešķir ar lāpstiņu vai atbilstoša profila spraugu palīdzību. Dūmgāzes tiek ievadītas ciklona augšējā daļā un sāk rotēt. Dūmgāzu izeja atrodas ciklona augšā. Cietās daļiņas, kas nonāk uz ciklona iekšējās virsmas, ar sekundārās gāzu plūsmas palīdzību tiek transportētas uz ciklona pakšu, kur tiek izvadītas ārā no tā.

Ciklona efektivitāte pie vienāda gāzu radiālā ātruma ir lielāka mazāka diametra ciklonam. Tādēļ ir lietderīgi sadalīt gāzu plūsmu un pievadīt vairākiem maza diametra cikloniem. Efektivitāte pieaug arī palielinot plūsmas rotācijas ātrumu, taču tas palielina virsmu eroziju.

Mitrie kolektori

Mitrajos kolektoros cietās daļiņas saduras ar ļoti sīkiem ūdens pilieniem, saķeras ar tiem un tiek atdalītas no dūmgāzēm.
Visizplatītākais mitro kolektoru veids ir skruberi. Mitrā kolektora uzbūve parādīta 42. attēlā.



42.attēls. Mitrais kolektors

1 – dūmgāžu ieeja;
2 – reflektors;
3 – skrubera zona;
4 – ūdens ieplūde;
5 – attīrīto dūmgāžu izeja;
6 – pilienu separators;
7 – ūdens izeja.

Ieplūstošās dūmgāzes atsitas pret ūdens virsmu un rada pilienus. Reflektors spēji izmaina gāzu plūsmas virzienu, kurā atrodas ūdens pilieni. Tas vēl vairāk sašķeļ esošos pilienus, padarot tos ļoti smalkus. Cietās daļiņas pieķeras ūdens pilieniem un kopā ar tiem tiek atdalītas no dūmgāžu plūsmas pilienu atdalīšanas ciklonā – separatorā.
Kā mitrais kolektors tiek izmantotas arī Venturi caurules. Tajās dūmgāzes plūst caur droseli, kas ievērojami palielina to ātrumu. Vienlaicīgi plūsmā tiek padots ūdens, ks noved pie tā sadalīšanās ļoti smalkos pilienos. Ūdens un dūmgāžu maisījums nonāk difuzorā. Pēc tam ūdens pilieni kopā ar tajos esošajām cietajām daļiņām tiek atdalīti ūdens separatorā.

Auduma filtri

Auduma filtri ir veidoti no šķiedru auduma materiāla, caur kuru tiek padota dūmgāžu plūsma. Auduma materiāls var būt polifloretilēns, poliamīds, poliesters, akrils, teflons, stikla šķiedra u.c.
Visvienkāršākais filtra veids ir auduma maiss. Tas var būt izveidots kā izliekta vai plakana kasete. Tas var atrasties horizontāli vai vertikāli.

Plūstot dūmgāzēm caur filtru, tajās esošās cietās daļiņas aiztur filtra audums.
Ir vairākas metodes filtru tīrīšanai:
- mehāniska kratīšana;
- reversa gaisa plūsma;
- zem spiediena esoša pulsējoša gaisa strūkla.

Visbiežāk tiek izmantota pulsējoša strūkla.
Filtra efektivitāte sasniedz 99 %, ja tas tiek regulāri tīrīts. Filtra izmantošanu ierobežo temperatūru diapazons un ugunsbīstamība.
Piemēram, stikla šķiedra iztur 260 ^{0}C, polifloretilēns 290 ^{0}C, poliesteris, poliamīds, akrils – aptuveni 120 – 150 ^{0}C.

Aizdegšanās risku var novērst pirms auduma filtra izmantojot mehāniskos kolektorus.

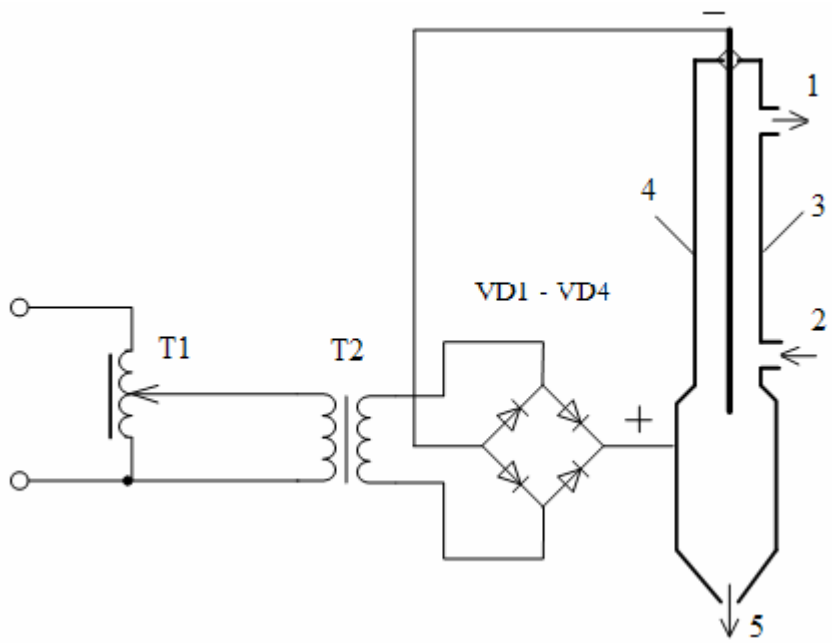
Auduma filtrus nav ieteicams lietot šķidrajam kurināmam, jo degšanas produktos ir vielas, kas pielīp audumam un filtrs ātri aizsērē.

Slāņa filtri

Slāņa filtros izmanto granulētu materiālu, kas sabērts slānī. Plūstot dūmgāzēm cauri šim slānim, tajā esošās citās daļiņas paliek slānī. Šeit darbojas arī inerces spēki un difūzija, kas sekmē daļiņu aizturēšanu.
Šie filtri nav ļoti izplatīti.

Elektrostatiskie filtri

Cauruļveida elektrostatiskā filtra darbības principus ilustrē 43. attēls, bet 44. attēlā parādīts filtrs, kas sastāv no plāksnēm.
Filtrs sastāv no vertikāli novietotas metāla caurules, caur kuru no apakšas uz augšu plūst dūmgāzes. Caurules centrā atrodas tieva stieple. Stieplei tiek pievadīts augsta sprieguma līdzstrāvas avota negatīvais pols.

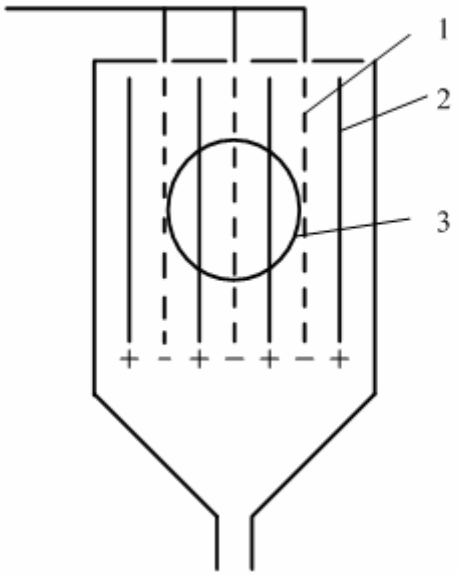


43. attēls. Elektrostatiskais filtrs ar cauruli

1 – dūmgāžu izeja;
2 – dūmgāžu ieplūde;
3 – caurule – savācošais elektrods;
4 – emisijas centrālais elektrods;
5 – cieto daļiņu aizvade;
T1 – autotransformators;
T2 – paaugstinošais transformators;
VD1 – VD4 – diožu tiltiņš.

Starp stiepli un korpusu rodas augstas intensitātes lauks un vide jonizējas. Tajā rodas pozitīvi gāzes joni un negatīvi elektroni. Elektroni piesaista neitrālās gāzes molekulas un cietās daļiņas, pārvietojot tās uz caurules sieniņām, kas pieslēgtas līdzsprieguma avota pozitīvajam polam. Caurules virsmu var notīrīt ar triecienveida sitieniem pret caurules sieniņu vai reizēm izmanto skalošanu ar ūdeni. Caurules iekšējā virsma izveidota tā, lai gāzu plūsma nevarētu raut līdzi cietās daļiņas, kas nonākušas uz tās.

Elektrostatiskie filtri ar plāksnēm (46.att.) darbojas analogi, tikai tie sastāv no vertikāli novietotām plāksnēm, kas pamīšus pieslēgtas pozitīvajam un negatīvajam augsta sprieguma līdzstrāvas avotam polam.
Dūmgāžu ieeja un izeja atrodas filtra korpusa sānos un plūsma notiek starp vertikālām plāksnēm.
Dūmgāžu plūsmas ātrums šajos filtros ir neliels – 1-2 m/s, kā arī tiem ir maza pretestība plūsmai.



44.attēls. Elektrostatiskais filtrs ar plāksnēm.

1 – negatīvās plāksnes;
2 – pozitīvās savācējplāksnes;
3 – dūmgāžu izeja.

7. Rūpniecisko gāzu attīrīšana no degošajām sastāvdaļām

Rūpnieciskajos procesos radušās gāzes reizēm satur kaitīgus degošus savienojumus. Šādā gadījumā gāzes var attīrīt sadedzinot šīs sastāvdaļas. Organiskās sastāvdaļas oksidējas pilnībā, veidojot ūdeni un CO_2.

Lai notiktu pilnīga degošās sastāvdaļas sadegšana, ir svarīgi sekojoši faktori:
- degšanas laiks;
- temperatūra;
- gāzu sajaukšanās.

Pie nepilnīgas sadegšanas var rasties organiski savienojumi, kas ir vēl toksiskāki un kaitīgāki par sākotnējiem savienojumiem, kā arī tiem var būt vēl izteiktākas nepatīkamās īpašības, kā, piemēram, smaka. Tāpat pie nepilnīgas sadegšanas var rasties kvēpi un CO, kas piesārņo vidi.

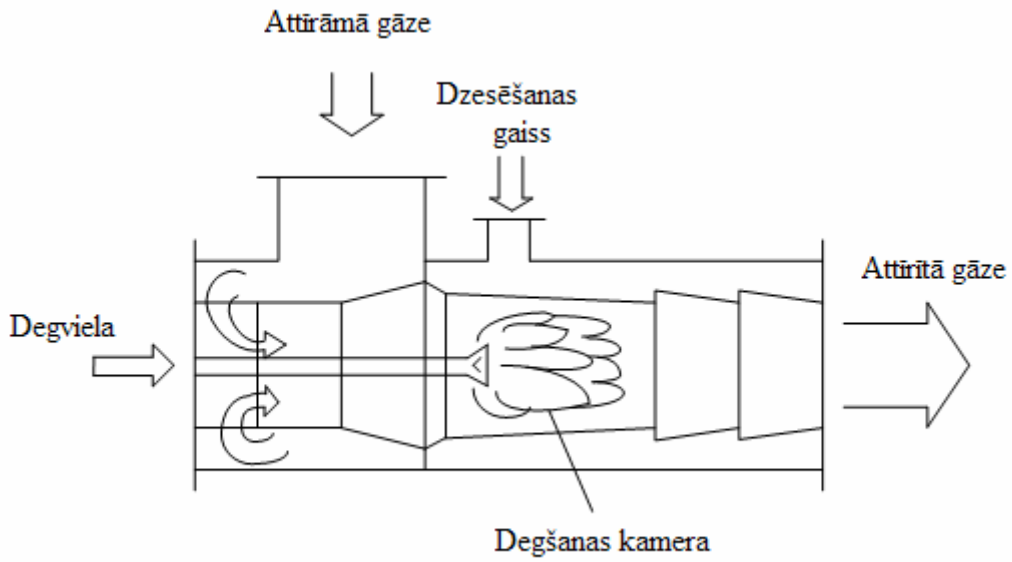
Attīrīšanas metodes, izmantojot kaitīgo sastāvdaļu sadedzināšanu, var iedalīt sekojoši:
- sadedzināšana ar liesmu;
- termiskā sadedzināšana;
- katalītiskā sadedzināšana;
- reģeneratīvā sadedzināšana (katalītiskās vai katalītiskās sadedzināšanas paveids).

Sadedzināšana ar liesmu

Sadedzināšana ar liesmu bieži tiek lietota ķīmiskajā un degvielu rūpniecībā. Pie sadedzināšanas ar liesmu ir salīdzinoši grūti uzturēt optimālos degšanas parametrus, jo gāzu sastāvs var būt mainīgs. Bieži gāzu sastāvs ir ar lielu sildspēju, tādējādi ir iespējams iegūt pozitīvu enerģijas bilanci, respektīvi, iegūt siltumu, kas ir izmantojams.
Degšanas process tiek organizēts degšanas kamerā, padodot gāzes caur degli. Degšanas temperatūra ir atkarīga no gāzu sastāva un daudzuma.

Termiskā sadedzināšana

Pie termiskās sadedzināšanas degošās sastāvdaļas tiek oksidētas degšanas kamerā temperatūru diapazonā 700-900 ^{0}C 0,3 līdz 1 sekundes laikā. Temperatūru kamerā nodrošina ar papildus degvielu – gāzi vai šķidro kurināmo. Lai enerģijas bilance būtu pozitīva, degšanas siltums tiek izmantots iepriekšējai attīrāmas gāzes uzsildīšanai.
Termiskās sadedzināšanas degšanas kameras princips ir ilustrēts 45. attēlā.



45. attēls. Termiskās sadedzināšanas iekārtas shēma.

Katalītiskā sadedzināšana

Katalītiskā sadedzināšana notiek līdzīgi termiskajai, tikai temperatūra ir ievērojami zemāka. Temperatūru diapazons ir 300 – 400 ^{0}C. To panāk izmantojot katalizatora klātbūtni. Degšanas procesa siltums tiek izmantots gāzes iepriekšējai uzsildīšanai.

Reģeneratīvā sadedzināšana

Reģeneratīvo sadedzināšanu var uzskatīt kā katalītiskās vai katalītiskās sadedzināšanas paveidu. Degšanas parametri ir līdzīgi kā tām. Galvenā atšķirība ir tā, ka degšanas siltums tiek absorbēts keramiskā materiālā, kad degšanas produkti izplūst no degšanas kameras. Periodiski mainās gāzu plūsma kamerā. Plūsmai mainoties no keramiskā materiāla siltumu uzņem ieplūstošās gāzes un tās uzsilst. Ja attīrāmās gāzes satur pietiekoši daudz degošo savienojumu, papildus degviela nav nepieciešama.

8. Ūdens sagatavošana katlu iekārtām

Ūdens sagatavošanai ir ļoti svarīga nozīme enerģētisko katlu iekārtu sistēmā, jo tas kalpo kā siltuma nesējs ūdens un tvaika veidā, līdz ar to ūdenī esošie piemaisījumi negatīvi ietekmē iekārtu darbību.

Ūdens attīrīšana no piemaisījumiem ir nepieciešama, lai:
- novērstu katlakmens un citu cieto nosēdumu veidošanos uz virsmām, kas pasliktina siltumatdevi un cirkulāciju, novedot pie virsmu pārkaršanas un to mehāniskās izturības samazināšanos;
- novērstu koroziju, tādējādi palielinot iekārtu darbmūžu;
- samazinātu nepieciešamību pēc citiem paņēmieniem, kas nodrošinātu tvaika tīrību.

Piemaisījumi katla ūdenī nonāk:
1. ar papildus barošanas ūdeni;
2. ar atpakaļgaitas kondensātu no patērētāja;
3. virsmu korozijas produktu veidā;
4. dažādu piedevu veidā, kas tiek pievienotas ūdenim dažādos nolūkos.

8.1. Ūdens tehnoloģiskie parametri

1. Cietība

Ūdens cietība ir kalcija (Ca) un magnija (Mg) jonu daudzums 1 kg vai 1 l ūdens.

Cietību var iedalīt:
1. karbonātu cietība (Ca un Mg karbonāti un bikarbonāti);
2. nekarbonātu cietība. (Ca un Mg sulfāti un hlorīdi)

Cietībai ir dažādas mērvienības. Latvijā tiek lietota mērvienība miligramekvivalenti uz litru (mgekv/l).Pārrēķina koeficienti uz citās valstīs lietotajām cietības mērvienībām ir doti 9. tabulā.

Tā, kā dažādiem Ca un Mg savienojumiem ir dažāda molekulmasa, tad dažādu savienojumu viens un tas pats daudzums gramos rada dažādu ūdens cietību, un izteikts vienkārši gramos, nedod pareizu cietības novērtējumu. Tādēļ cietības raksturošanai izmanto miligramekvivalentus.

Izmantojot ūdens parauga analīzes datus, pārrēķinu veic sekojoši:
Piemērs: ūdens paraugā ir 324 mg/l $Ca(HCO_3)_2$ un 34 mg/l $CaSO_4$.

Cietības c aprēķinam izmanto 12. formulu:

$$c = \frac{m_{Ca(HCO_3)_2}}{\mu_{Ca(HCO_2)_2}} + \frac{m_{CaSO_4}}{\mu_{CaSO_4}} = \frac{324}{181} + \frac{34}{68} = 4{,}5 mgekv/l \qquad (12).$$

9. tabula

Ūdens cietības mērvienību pārrēķina tabula

	^{0}dH	^{0}F	^{0}Clark	mgekv/l	ppm as $CaCO_3$	grain/US gallon
^{0}dH	1	1,79	1,24	0,357	17,9	1,04
^{0}F	0,56	1	0,7	0,2	10,6	0,583
^{0}Clark	0,8	1,43	1	0,286	14,3	0,833
mgekv/l	2,8	5,0	3,5	1	50,0	2,92
ppm as $CaCO_3$	0,056	0,1	0,07	0,02	1	0,058
grain/US gallon	0,958	1,71	1,2	0,232	17,1	1

Atkarībā no cietības pakāpes ūdeni var iedalīt:
1 – mīksts ūdens (cietība līdz 2 mgekv/l);
2 – vidējs ūdens (cietība 2 – 5 mgekv/l);
3 – ciets ūdens (cietība virs 5 mgekv/l).

2. Sārmainība

Sārmainība tiek raksturota ar ūdeņraža rādītāju pH.

Ūdeņraža rādītājs izsaka ūdeņraža jonu koncentrāciju mol/l un skaitliski ir vienāds ar decimāllogaritmu no šīs koncentrācijas.

Piemērs: ūdeņraža jonu koncentrācija ūdenī ir $10^{-8,6}$ mol/l (ūdeņradim arī g/l).
Sārmainību var aprēķināt sekojoši:

$$H^+ = 10^{-8,6}$$

$$pH = -\lg(H^+) = 8{,}6$$

Ūdeni pēc sārmainības var iedalīt:
1 – sārmains ūdens (pH>7);
2 – neitrāls ūdens (pH = 7);
3 – skābs ūdens (pH<7).

3. Izšķīdušo gāzu (skābekļa O_2 un CO_2) daudzums

Tas raksturo ūdenī esošās izšķīdušās gāzes daudzumu 1 l vai 1 kg ūdens.
To izsaka mg/l vai mg/kg.

4. Silikātu daudzums ūdenī

Tas raksturo ūdenī esošo silikātu (piem., SiO_2) daudzumu vienā litrā vai kg ūdens (mg/l vai mg/kg).

5. Sāļu saturs ūdenī

Raksturo ūdenī izšķīdušo sāļu daudzumu mg/l vai mg/kg ūdens.
Sāļu saturu var noteikt veicot ūdens paraugu ķīmisko analīzi. Tas ir darbietilpīgs process. Vienkāršāka metode ir noteikt sāļu saturu mērot ūdens elektrovadītspēju, jo tā ir proporcionāla sāļu saturam ūdenī.
Šādā gadījumā sāļu saturu var izteikt ar ūdens elektrovadītspēju mS/cm (μS/cm).

6. Metālu saturs ūdenī

Katlu iekārtā ir būtisks divu metālu daudzums katla ūdenī;
- dzelzs (Fe) daudzums vienā litrā vai kg ūdens, izsaka mg_{Fe}/l (mg_{Fe}/kg);
- vara (Cu) daudzums vienā litrā vai kg ūdens, izsaka mg_{Cu}/l (mg_{Cu}/kg).

7. Fosfora (P) savienojumu saturs ūdenī

Katla darbībai ir būtisks fosfora savienojumu daudzums ūdenī. Jo augstāks spiediens, jo šis rādītājs ir būtiskāks un augstākas prasības tehnoloģiskajam ūdenim.
Fosfora savienojumu daudzumu izsaka mg/l (mg/kg).

Īpašos gadījumos bez augstāk minētajiem parametriem ir papildus prasības tādiem parametriem, kā sulfītu saturs, $KMnO_4$ saturs u.c.

8.2. Ūdens piemaisījumu ietekme uz katla darbību

Piemaisījumi ūdenī var atrasties visos trijos agregātstāvokļos:
- gāzveida;
- šķidrā;
- cietā.

Gāzveida piemaisījumi (O_2 un CO_2) izraisa metālisko virsmu koroziju, izraisot oksidēšanās procesus.
Grūti šķīstošie piemaisījumi (Ca , Mg savienojumi, Fe un Cu korozijas produkti) nosēžas uz virsmām radot nosēdumus.

Pie noteiktiem nosacījumiem (cirkulācijas traucējumi, pārsniedzot kritisko koncentrāciju pie attiecīgas temperatūras un spiediena) sāk kristalizēties un veidot nogulsnes arī **šķīstošie savienojumi** (piem., Na_3PO_4, Na_2SO_4 u.c.).

Savienojumu šķīdība tvaikā ir atkarīga no spiediena, temperatūras, bet vājiem elektrolītiem arī no pH līmeņa.

Metālu oksīdi slikti šķīst ūdenī. Korozijas produkts Fe_2O_3 veidojas uz ekrāncauruļu virsmas un veido divus slāņus: iekšējais pie sieniņas ļoti blīvs un ciets, ārējais virs tā porains, sastāv no koloidālām un dispersām cietām daļiņām. Tam ir ļoti slikta siltumvadāmība salīdzinot ar sieniņas materiālu.
Piemēram, Fe siltumvadītspējas koeficients ir 30 – 50 W/(m^*K), minētajam korozijas produktu slānim 0,1 – 4,0 W/(m^*K). Tātad ievērojami pasliktinās siltumapmaiņa caur cauruļu sieniņām, rezultāta katla jauda samazinās lietderības koeficients samazinās un pastāv cauruļu pārkaršanas risks.

Dzelzs un vara korozijas produkti Fe_2O_2 un CuO daļēji paliek uz korodējušās virsmas, daļa pāriet ūdenī un nosēžas uz citiem elementiem arī veidojot nosēdumu slāņus ar lielām termiskajām pretestībām.

Ca un Mg bikarbonāti pie paaugstinoties temperatūrai pārvēršas par karbonātiem un izkrīt nogulsnēs barošanas ūdens tvertnēs un ekonomaizerā, bieži nemaz nesasniedzot iztvaicēšanas virsmas. Tās var notīrīt ar vājiem skābju šķīdumiem, kā arī mehāniski.

Ca un Mg silikāti sasniedzot kritisko koncentrāciju kristalizējas, veidojot nosēdumus.

Kalcija sulfāts $CaSO_4$ veido ļoti cietus grūti mehāniski atdalāmus nosēdumus. Visvairāk tas kristalizējas un nosēžas uz siltumu atdodošajām virsmām.

Kopumā ūdens piemaisījumu negatīvo ietekmi var raksturot sekojoši:
- tie izraisa virsmu koroziju, samazinot virsmu darbmūžu;
- nosēdumi pasliktina siltumatdevi, kas noved pie iekārtas jaudas un lietderības koeficienta samazināšanās, kā arī virsmu pārkaršanas;
- nosēdumu dēļ tiek traucēta normāla siltumnesēja cirkulācija;
- piemaisījumi samazina tvaika tīrību, kas noved pie nosēdumu rašanās patērētājos (piem., turbīnu lāpstiņām palielinās virsmas raupjums un līdz ar to pretestība, kas noved pie lietderības koeficienta samazināšanās).

Ūdens parametru kontrole un atbilstība normām un tehniskajām prasībām jāveic attiecīgajās vietās katlu iekārtas tehnoloģiskajā procesā, piemēram:
- barošanas ūdenim (t.i. katlu iekārtai pievadāmajam attīrītajam ūdenim);
- katla ūdenim (t.i.ūdenim, kas cirkulē katlā);
- kondensātam, kas atgriežas no patērētāja.

8.3. Ūdens sagatavošanas metodes

Pilns katla barošanas ūdens sagatavošanas cikls sastāv no sekojošiem galvenajiem etapiem:

1. dzidrināšana;
2. mīkstināšana;
3. sāļu atdalīšana;
4. degazācija.

8.3.1. Dzidrināšana (mehāniskā piemaisījumu atdalīšana)

Atkarībā no prasībām ūdenim, šis cikls var būt arī nepilns, vai papildināts ar īpašiem pasākumiem kāda piemaisījuma atdalīšanai (piem., atdzelžošana).

Dzidrināšana ir rupjo disperso piemaisījumu atdalīšana no ūdens, kas jau atrodas pienākošajā ūdensvada vai citā ūdenī, vai arī ir izveidojušies koagulācijas procesā.

Dzidrināšanas process sastāv no nostādināšanas un mehāniskās ūdens filtrācijas. Nostādināšanu veic speciālā tvertnē, kur var notikt arī koagulācijas procesi. Pēc tam ūdeni laiž caur mehānisku filtru. Filtri var būt:

- slāņa filtri;
- maisu filtri.

Slāņa filtros izmanto granulētu materiālu, kas sastāv no dispersām daļiņām ar izmēru 0,4 – 2 mm.
Ūdens plūsma notiek caur šī materiāla slāni, kurš aiztur mehāniskos piemaisījumus. Kā filtra materiāls tiek izmantotas kvarca smiltis, antracīta daļiņas, marmora daļiņas, aktīvā ogle u.c.
Piemēram, viens no iespējamiem izmantotajiem filtra materiāliem ir frakcionētās kvarca smiltis, kurās 85% daļiņas ir ar izmēru robežās 0,8 – 1,00 mm.
Filtru attīra ar skalošanu.

Tiek izmantoti arī maisu filtri, jo tiem ir vienkārši maināma filtrācijas pakāpe. Turklāt piesārņota filtra darbība ir vienkārši atjaunojama nomainot maisu. Maisus var iztīrīt un lietot atkārtoti. Iespējamā filtrēšanas pakāpe 1 – 200 mikroni.

Mehānisko filtrāciju reizēm kombinē ar atdzelžošanu, ja ir tāda nepieciešamība. Atdzelžošana notiek aerācijas ceļā. Ūdenī esošā dzelzs saistās ar gaisā esošo skābekli.
Radušies dzelzs savienojumi tiek atdalīti filtra materiālā.
Filtros var būt arī magnētiski ieliktņi, kas aiztur dispersās dzelzs daļiņas.

8.3.2. Mīkstināšana

Mīkstināšana ir ūdens cietības samazināšana, atdalot Ca un Mg jonus.
Daļēji mīkstināšanu var veikt izmantojot **dzēstos kaļķus** vai
izmantojot **kaļķu-sodas metodi**.
Ūdens tiek apstrādāts ar kalcija hidroksīdu $Ca(OH)_2$ un nātrija karbonātu Na_2CO_3. Kalcijs izgulsnējas kā $CaCO_3$, bet magnijs kā $Mg(OH)_2$. Ja ūdenim pārsvarā ir kalcija bikarbonāta cietība, ūdens mīkstināšanai var pievienot tikai $Ca(OH)_2$:

$$Ca^{+2} + 2HCO_3^- + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + 2H_2O.$$

Kalcijs izgulsnējas $CaCO_3$ veidā, bet magnijs $Mg(OH)_2$ veidā.
Pēc šādas ūdens mīkstināšanas, tas ir bāzisks (pH ~ 11), tāpēc to nepieciešams papildus apstrādāt.

Metode nav īpaši efektīva, tāpēc tiek reti izmantota.

Efektīva mīkstināšanas metode ir **katjonēšana**. Ūdens mīkstināšanai var izmantot gan dabiskus, gan sintētiskus materiālus.
Katjonēšanu var iedalīt:
- Na katjonēšana;
- H_2 katjonēšana.

Par reaģentiem tiek izmantoti dažādi reaģenti, kas veidoti no vairākiem savienojumiem, piemēram, nātrija permatīts ($Na_2OxAl_2O_3x2SiO_2x6H_2O$). Kā dabisku materiālu var minēt dažādus ceolītus - dabiski vai mākslīgi iegūtus alumosilikātus.
Mūsdienās ļoti plaši tiek izmantoti sintētiskie polimēri, piemēram, stirola-divinilbenzola koppolimēri ar šķērsvirziena struktūru, dažādām stirola/divinilbenzola attiecībām un ar porainu struktūru.
Notiekot mīkstināšanai, reakcijā Na apmainās ar cietību veidojošo elementu un paliek filtra materiālā. Rakstot reakcijas vienkāršības labad pārējos filtra materiālā ietilpstošos savienojumus aizstāj ar apzīmējumu „A”, jo tie tieši reakcijā nepiedalās, tikai veicina reakcijas norisi.

H_2 katjonēšanas rezultātā mīkstinātajam ūdenim var rasties skāba reakcija, Na - sārmaina.
Piemēram, ja cietību veido kalcija sulfāts un notiek H_2 katjonēšana:

$$CaSO_4 + AH_2 \rightarrow H_2SO_4 + ACa;$$

ja cietību veido kalcija sulfāts un notiek Na katjonēšana:

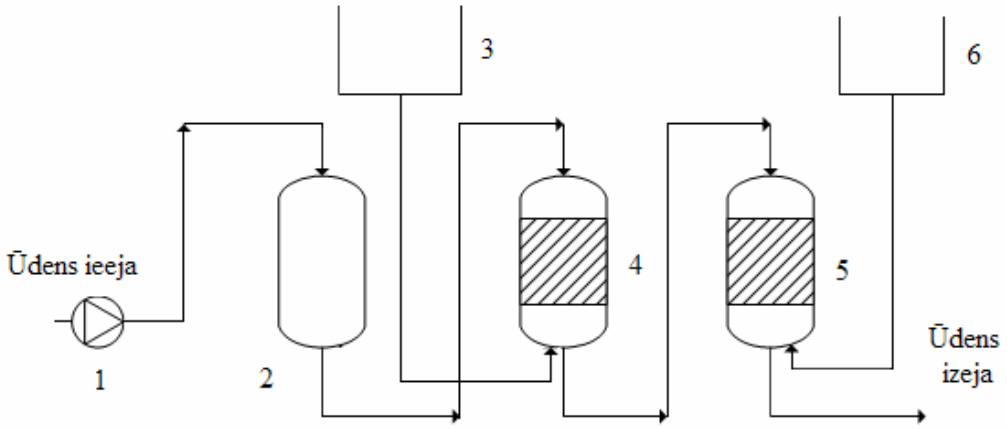
$$CaSO_4 + ANa_2 \rightarrow Na_2SO_4 + ACa.$$

Abos gadījumos filtra materiālu ir iespējams atjaunot jeb reģenerēt.

Piemēram, Na katjonēšanas materiālu var atjaunot ar 10 % vārāmās sāls (NaCl) šķīdumu ūdenī. Notiek reakcija:

$$ACa + 2NaCl \rightarrow ANa_2 + Ca\ Cl_2.$$

Ūdens mīkstināšanas iekārtu sagatavošanas sistēmā novieto aiz mehāniskajiem filtriem, kā parādīts 46. attēlā.



46.attēls. Ūdens mīkstināšanas iekārta ūdens sagatavošanas sistēmā
1 – ūdens sūknis;
2 – nostādināšanas tvertne;
3 – minerālu filtra skalošanas šķīduma tvertne;
4 – minerālu filtrs;
5 – katjonu filtrs;
6 – NaCl šķīduma tvertne reģenerācijai.

Ja nepieciešama nepārtraukta ūdens padeve, tad var izmantot divas katjonēšanas tvertnes, kur vienā tiek veikts katjonēšanas cikls, otra tajā laikā tiek reģenerēta. Pēc tam cikls mainās otrādi.

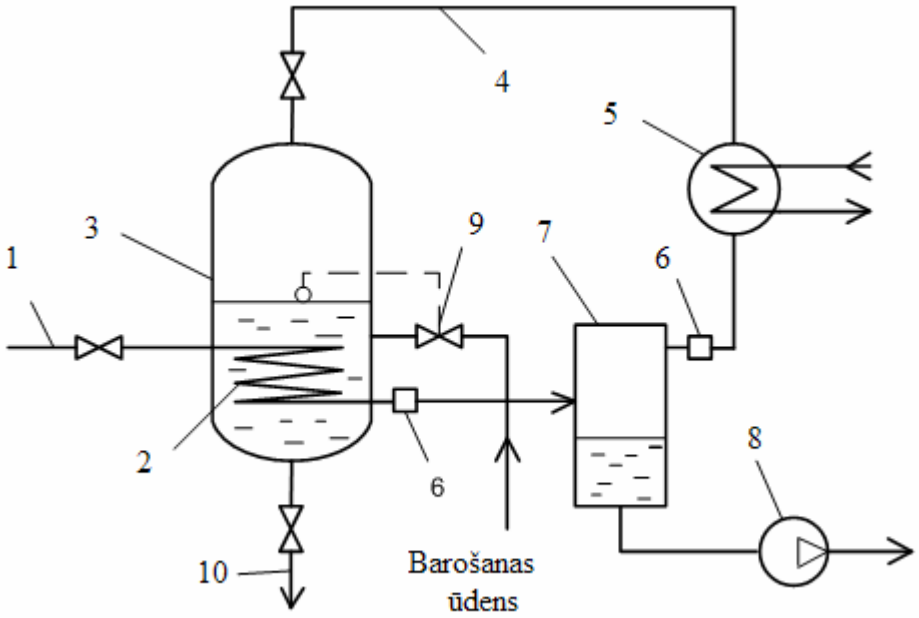
Lai neitralizētu radušos ūdens reakciju, var kombinēt secīgi ūdeņraža un nātrija katjonēšanu.

8.3.3. Demineralizācija

Mīkstinātajā ūdenī paliek dažādi sāļi. Tie veido nosēdumus uz katlu iekārtas virsmām, kas ir īpaši kaitīgi liela spiediena katliem un pilnplūsmas katliem, kā arī ja tvaiku izmanto turbīnās, tāpēc tos nepieciešams atdalīt. Šo procesu sauc par demineralizāciju jeb atsāļošanu, jeb sāļu atdalīšanu.

Demineralizāciju var veikt sekojošos veidos:
1 – destilācija;
2 – ķīmiskā demineralizācija;
3 – osmotiskā demineralizācija.

1. Destilācijas procesu veic siltumapmainītājos, kur kā siltuma avotu izmanto, piemēram, attvaiku no turbīnas. Procesa rezultātā sāļi veido nosēdumus, kas jātīra.
To izmanto vidēja ražīguma tvaika katlu iekārtās. Iekārtas shēma attēlota 47. attēlā.
Uz iztvaicētāju nepārtraukti tiek padots ķīmiski apstrādāts barošanas ūdens. Lai uzturētu iztvaicētājā sāļu saturu pieļaujamā līmenī, notiek nepārtraukta ūdens nopūšana no tā apakšējās daļas. Primārais tvaiks, ko pievada iztvaicētāja sildelementam kalpo kā siltuma avots. Sekundārais tvaiks rodas iztvaicētājā iztvaikojot pievadītajam ūdenim. Sekundārais tvaiks tiek kondensēts kondensatorā un nonāk destilāta savākšanas tvertnē, no kurienes to piejauc klāt katla barošanas ūdenim, tādējādi samazinot kopējo sāļu koncentrāciju tajā. Nopūstā ūdens daudzums iztvaikotājam sastāda 10 – 20 % no kopējā atkarībā no pieļaujamās sāļu koncentrācijas iztvaicētājā un esošā sāļu satura barošanas ūdenī.



47. attēls. Termiskās demineralizācijas iekārtas shēma
1 – primārā tvaika pievads;
2 – iztvaicētāja sildelements;
3 – iztvaicētājs;

4 – sekundārā tvaika izeja;
5 – kondensators;
6 – kondensāta novadītājs;
7 – destilāta savākšanas tvertne;
8 – sūknis;
9 – līmeņa regulēšanas vārsts;
10 – nopūšanas līnija.

2. Sāļi ūdenī atrodas disociētā veidā, t. i. veidojot katjonus un anjonus. Ķīmiskā demineralizācija tiek veikta jonu apmaiņas filtros. Vispirms ūdens plūst caur katjonu filtru, kur notiek izšķīdušo sāļu jonu apmaiņa ar H^+ joniem, veidojot skābu vidi. Tālāk ūdens nonāk anjonu filtrā, kur notiek jonu apmaiņa ar OH^- , kas kopā ar esošo H^+ veido ūdeni.
Filtra materiāls izreaģē un to var reģenerēt attiecīgi ar 30 % sālsskābes šķīdumu un 30 % nātrija hidroksīda šķīdumu.

3. Osmotiskais filtrs sastāv no tvertnes, kura ir sadalīta divās daļās ar īpaša materiāla membrānu. Viena daļā ir atsāļotā ūdens daļa, otra ieplūstošā ūdens daļa. Membrāna brīvi laiž cauri ūdeni difūzijas ceļā, bet neļauj plūst cauri ūdenī izšķīdušajiem sāļiem. Pie dabiskās osmozes tīrais ūdens caur membrānu plūst uz pusi, kurā atrodas ūdens ar lielāku sāļu saturu. Šis process notiek dažādu osmotisko spiedienu dažādās membrānas pusēs dēļ.
Ūdens demineralizācijai izmanto reverso osmozi. Pie reversās osmozes ūdens no puses ar lielu sāļu koncentrāciju tiek spiests cauri membrānai uz tīrā ūdens pusi, t.i. pretēji dabiskās osmozes virzienam. Membrāna aiztur ūdenī izšķīdušos sāļus, laižot cauri tikai ūdeni.
Nepieciešamais spiediens filtrā tiek radīts ar augstspiediena sūkni.
Pirms osmotiskā filtra sistēmā atrodas mīkstināšanas iekārta. Ja ūdens satur brīvu hloru, tad jāveic pasākumi, lai novērstu tā nonākšanu filtrā (piemēram, laižot ūdeni caur aktīvās ogles slāni).
Ar reversās osmozes filtru var samazināt sāļu saturu ūdeni par 95 – 99 %.
Membrāna aiztur arī baktērijas, jo to izmērs ir lielāks nekā membrānas poras, rezultātā ūdens tiek arī dezinficēts.

8.3.4. Degazācija

Degazācija ir ūdenī esošo agresīvo gāzu atdalīšana.
Par agresīvām gāzēm katlu iekārtā var uzskatīt O_2 un CO_2, kuras izraisa virsmu koroziju.

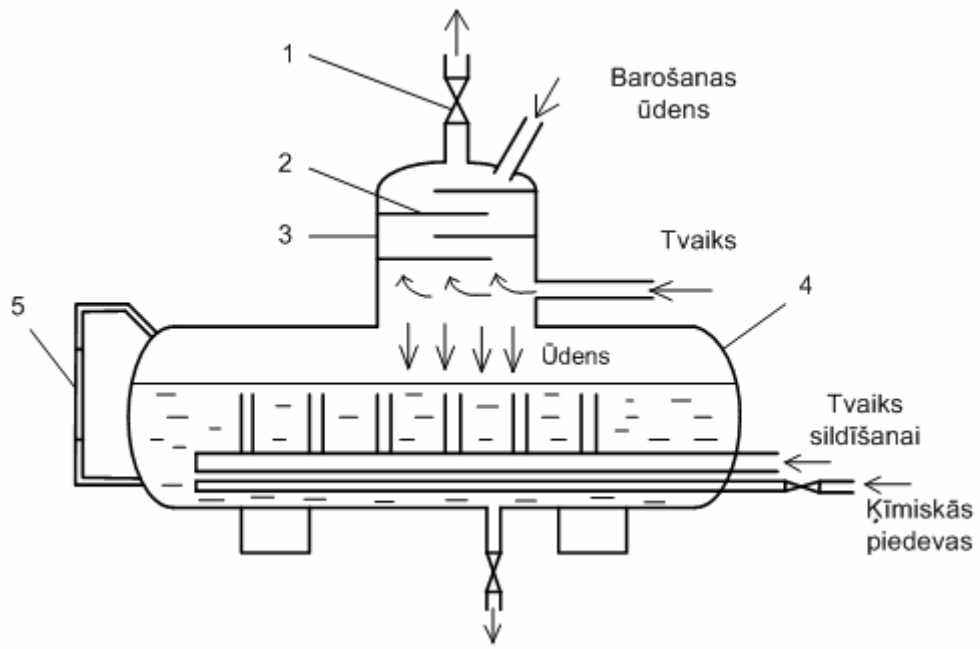
Degazācijas veidi ir sekojoši:
1 – fizikālā jeb termiskā degazācija;
2 – ķīmiskā degazācija.

1. Fizikālā jeb termiskā degazācija.

Fizikālā, jeb termiskā degazācija pamatojas uz gāzu šķīdības ūdenī izmaiņu atkarībā no temperatūras pie attiecīgā spiediena.
Paaugstinoties temperatūrai gāzu šķīdība samazinās. Degazācijas procesā ūdens tiek uzsildīts līdz temperatūrai, pie kuras gāzu šķīdība praktiski ir vienāda ar nulli, līdz ar to ūdenī izšķīdušās gāzes no tā izdalās un tiek izvadītas.

Tā, kā abas gāzes, gan skābeklis, gan ogļskābā gāze ir arī gaisa sastāvdaļas, tad to atdalīšanas procesu sauc par deaerāciju un ierīces, kurās to veic par deaeratoriem.
Deaerators sastāv no deaerācijas ierīces augšējā daļa un tvertnes apakšā. Deaeratora ārējais izskats parādīts 48. attēlā, bet tā uzbūve attēlota 49. attēlā.

48.attēls. Ūdens deaerators



49. attēls. Ūdens deaeratora uzbūve.

1 – gaisa ventilis;
2 – perforētas plāksnes;
3 – deaerators;
4 – barošanas ūdens tvertne;
5 – ūdens līmeņa rādītājs.

Deaeratoros ūdens parasti tiek uzsildīts ar tvaiku. Deaerācijas ierīcē notiek ūdens barbotēšana, t.i. ūdens plūsma tiek sadalīta daudzās sīkās strūkliņās, kas sastopas ar tvaika strūklām tādējādi palielinot saskares virsmu un līdz ar to deaerācijas efektivitāti.

Atkarībā no spiediena, pie kura notiek deaerācija, deaeratorus iedala:
1 – atmosfēras spiediena deaeratori;
2 – paaugstināta spiediena deaeratori;
3 – vakuuma deaeratori.

Atmosfēras spiediena deaeratoros deaerācija notiek pie temperatūras 102 – 104 ^{0}C ar ļoti mazu virsspiedienu 105 – 120 kPa.

Termoelektrocentrālēs tvaika katlu barošanas ūdens deaerācijai izmanto **paaugstināta spiediena deaeratorus** ar virspiedienu tajos 0,6 – 0,7 MPa.
Ūdens sildkatlos izmanto **vakuuma deaeratorus.** Tajos izmanto ežektorus. Gāzu šķīdība ūdeni samazinās, samazinoties spiedienam. Līdz ar to pilnīgu ūdens deaerāciju pie pazemināta spiediena var veikt uzsildot ūdeni līdz zemām temperatūrām (parasti pie 60 – 70 ^{0}C).

2. Ķīmiskā degazācija

Ķīmisko degazāciju veic pievienojot ūdenim dažādas ķīmiskas piedevas, kas piesaista agresīvās gāzes.

Hidrazīna piedevas

Skābekli no ūdens var atdalīt pievienojot tam hidrazīnu. Hidrazīns (N_2H_4) reaģē ne tikai ar skābekli, bet arī ar ūdeni, veidojot amonjaku.

1. reakcija: $N_2H_4 + O_2 \leftrightarrow N_2 + 2\ H_2O$

2. reakcija: $N_2H_4 + H_2O \leftrightarrow NH_3 + NH_2OH$

Izveidojies amonjaks paaugstina katlu barošanas ūdens pH līmeni, turklāt ne tikai ūdenim, bet līdz ar to arī tvaikam. Tādējādi katlu iekārtas sastāvdaļas tiek papildus aizsargātas pret koroziju. Hidrazīna izmantošana ir salīdzinoši dārgs process un tādēļ to izmanto galvenokārt tikai, lai aizvāktu pēc termiskās degazācijas atlikušo skābekli. Jāpiezīmē, ka hidrazīns ir indīga, kancerogēna viela, kas kairina elpošanas ceļus un ādu un kura ļoti kodīgi iedarbojas uz acīm un uz gļotādām.

Nātrija sulfīta piedevas

Skābekļa atdalīšanai nelielās tvaika ražotnēs katlu barošanas ūdenim bieži pievieno nātrija sulfītu:

$$2Na_2SO_3 + O_2 \leftrightarrow 2\ Na_2SO_4$$

Nātrija sulfīta apstrādes priekšrocība ir nelielās iekārtu izmaksas. Var iztikt ar vienkāršu, no priekštvertnes un sūkņa sastāvošu dozētājierīci. Tvertnēs ķīmiskā reakcija norit īsā laikā ja temperatūras ir virs 60 ^{0}C. Procesa trūkums – ievērojama sāļu satura paaugstināšanās ūdenī.
Lai atdalītu no ūdens 1 molu skābekļa, ir nepieciešami 2 moli nātrija sulfīta un rodas 2 moli nātrija sulfāta. Līdz ar to augsts skābekļa saturs rada lielu sulfātu saturu un tie veicina korozijas procesus.

Kaļķa hidrāta piedevas

Kaļķa hidrāta $Ca(OH)_2$ piedevas samazina arī ūdens cietību.
Vienlaicīgi tiek piesaistīta arī CO_2:

$$CO_2 + 2\ Ca\ (OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O.$$

Ja dekarbonizējamais ūdens satur daudz CO_2, tad vispirms ir jālieto fizikālā deaerācija.

Kompleksās piedevas.

Katla ūdenim tiek pievienotas kompleksās piedevas jeb kompleksori, kas darbojas dažādos veidos. Piemēram, kompleksors *Jurby Soft 12* satur fosfātus, polifosfātus, katalizētos sulfītus, disperģentus, pretputošanās piedevas u.c. Tas iedarbojas kompleksi, rezultātā:

- tiek piesaistīts skābeklis;
- neitralizēta CO_2;
- samazinās silikātu nosēdumi;
- uz virsmām veidojas aizsargājoša magnetīta kārtiņa.

Pieļaujamais fosfora savienojumu daudzums ūdenī ir normēts, tādēļ lietojot P saturošas piedevas jāveic ūdens kontrole un jāievēro pieļaujamais piedevu daudzums.

8.3.5. Citi attīrīšanas speciālie pasākumi

Atdzelžošana un mangāna atdalīšana

Kā jau minēts 8.3.1. apakšnodaļā, dzelzs atdalīšanu var kombinēt kopā ar mehānisko filtrāciju.
Viens no izplatītākajiem atdzelžošanas veidiem ir aerācijas izmantošana. Filtra elementā ieplūstošais ūdens tiek apstrādāts ar gaisu, kur gaisā esošais skābeklis saista ūdenī esošo dzelzi. Radušies dzelzs savienojumi izgulsnējas mehāniskā filtra filtrējošajā slānī, no kura skalošanas cikla laikā tiek aizskaloti projām. Ar šādu paņēmienu var sasniegt Fe saturu ūdenī zem 0,05 mg/l. Filtra slānis sastāv no dažādiem savienojumiem, kas ir atkarīgs no Fe un Mg daudzuma ūdenī.

Piemēram, *EUROWATER* atdzelžošanas iekārtas filtrējošā slāņa pildījums, ja sākotnējā Fe koncentrācija ūdenī ir līdz 2 mg/l un Mg līdz 0,03 mg/l , sastāv no trim slāņiem:

- 80 % veido rupja maluma iežu materiāls ar daļiņu izmēriem 1,0 – 2,5 mm, un tā sastāvs ir sekojošs:

$CaCO_3$ – 98 %; MgO – 0,6 %; SiO_2 – 0,5 %; Al_2O_3 – 0,1 %; Fe_2O_3 0,15 %; MnO – 0,02 %; H_2O – 0,4 %.

- 10 % frakcionētas kvarca smiltis ar daļiņu izmēriem 1,2 – 2,5 mm;
- 10 % frakcionētas kvarca smiltis ar daļiņu izmēriem 2,5 – 5,5 mm.

Filtrējošais slānis tiek periodiski skalots, lai aizvadītu sakrājušos reakciju produktus.
Ūdens atdzelžošanu veic spiediena filtros, kur aerācijai izmanto kompresoru ar vai bez gaisa resīvera.

9. Siltumsūkņi

9.1. Siltumsūkņu darbības principi

Skandināvijas valstīs un Amerikas ziemeļos, Kanādā siltuma sūkņi ēku apsildei tiek izmantoti jau kopš septiņdesmitajiem gadiem un iemantojuši plašu popularitāti. Arī bijušajā Padomju Savienībā ap šo laiku parādījās siltumsūkņi, kuri gan plašu izplatību neguva. Tam par iemeslu bija salīdzinoši zemās kurināmo cenas, kā arī tajā laikā izmantoto sastāvdaļu tehniska rakstura nepilnības, kas ietekmēja ekspluatācijas īpašības (piemēram, virzuļtipa kompresors, kura darbmūžs ir ievērojami īsāks nekā mūsdienās pielietotajiem, tāpat arī tā trokšņu līmenis ir augstāks, u.c.). Latvijā pirmie siltumsūkņi parādījās ap 1984. gadu.

Siltumsūkņa darbības princips ir analogs saldēšanas iekārtas darbības principam. Saldēšanas iekārtā siltums no dzesējamā materiāla, kas atrodas tajā un kura temperatūra ir zema, pieņemsim, $+5^0$C, tiek pārnests uz telpas gaisu, kura temperatūra ir, pieņemsim, $+20^0$C. No termodinamikas ir zināms, ka siltums var pāriet tikai no ķermeņa ar augstāku temperatūru uz ķermeni ar zemāku temperatūru. Tātad tieši aizvadīt siltumu dzesējamā materiāla, lai to atdzesētu, uz telpas gaisu nevar. Tātad produktu atdzesējot siltums no tā vispirms caur saldēšanas kameras sieniņu nonāk aukstuma aģentā – vielā, kas cirkulē saldēšanas iekārtas kontūrā un kura temperatūra dzesēšanas kamerā ir ļoti zema. Tad šis pats aukstuma aģents aiznes siltumu uz siltummaini, bet jau būdams ar augstu temperatūru, respektīvi, augstāku nekā apkārtējai videi, atdod no dzesējamā materiāla saņemto siltumu videi. Lai šādu procesu varētu realizēt, diemžēl nepieciešams patērēt papildus enerģiju. Saldēšanas iekārtā elektroenerģiju patērē kompresors saspiežot aukstuma aģentu, lai paaugstinātu tā temperatūru pirms siltummaiņa, kas atdod siltumu apkārtējai videi. Arī kompresora patērētā elektroenerģija pārvēršas siltumā un nonāk telpas gaisā kopā ar siltumu, kas aizvadīts no dzesējamā produkta.

Tātad siltumsūkņa iegūtais siltums veidojas no diviem siltuma daudzumiem:

- siltuma no dzesējamā materiāla;
- siltuma, kurā pārvērties kompresora veiktais darbs.

Siltumsūknī saldēšanas kamera tiek aizstāta, piemēram, ar cauruļu kontūru, kas atrodas siltuma avotā, bet ar iegūto siltumu tiek sildīts patērētāja siltuma nesējs.

Siltuma avots var būt: zemes virsējie slāņi, gruntsūdeņi, dabiska ūdenskrātuve, apkārtējās vides gaiss, izlietotais gaiss no ventilācijas sistēmas, notekūdeņi ar zemu temperatūru, rūpniecisko procesu dzesētājšķidrums (ja tā temperatūra ir par zemu, lai izmantotu vienkārši siltummaini), u.c.

Patērētājs var būt: ēku apsildes sistēmas, karstā ūdens sagatavošanas sistēma u.c.

Tātad patērētājs saņem siltuma daudzumu, kas veidojas no:

- siltuma, ko siltumsūknis saņem no siltuma avota;
- siltuma, ko siltumsūknis elektriskās vai mehāniskās enerģijas veidā saņem no enerģijas avota kompresora piedziņai.

Siltumsūkņu darbības pamatā ir apgrieztais termodinamiskais cikls, ideālā variantā apgrieztais Karno cikls.
Siltumsūkņa darbības efektivitāti var raksturot ar efektivitātes koeficientu ξ.

$$\xi = \frac{q}{l} = \frac{q}{q - q_1}, \qquad (13)$$

kur: q – siltumsūknī iegūtais siltuma daudzums, kJ,
l – patērētā enerģija, kJ;
q_1 – no siltuma avota saņemtais siltuma daudzums, kJ.

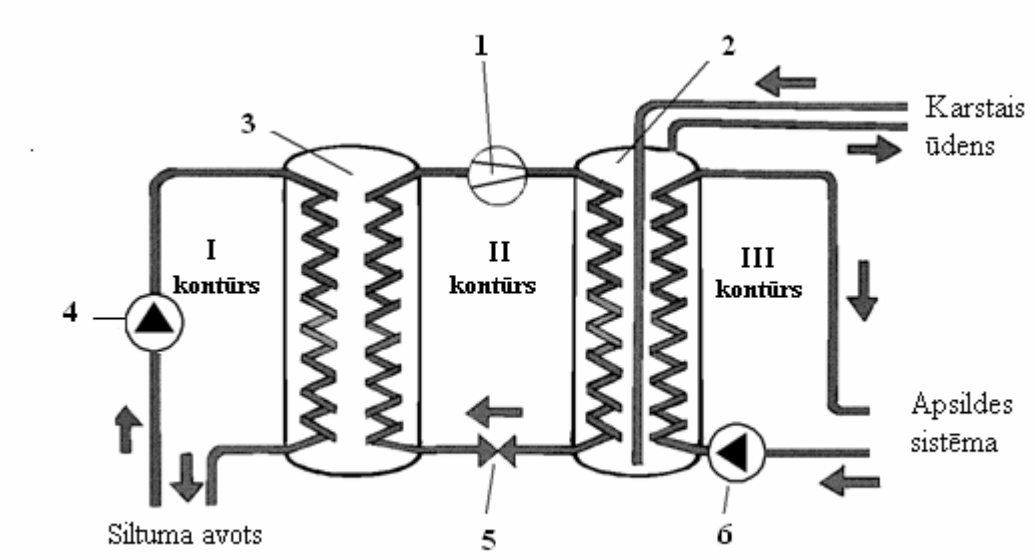
Efektivitātes koeficients izsaka siltumsūknī iegūtās siltumenerģijas attiecību pret tā patērēto (elektrisko) enerģiju. Mūsdienu siltumsūkņiem tas ir no 3 līdz 5. Tas nozīmē, ka, piemēram, patērējot 1 kWh elektriskās enerģijas, ar siltumsūkni iegūs 3 līdz 5 kWh siltumenerģijas.
Jo zemāka patērētāja siltumnesēja temperatūra un augstāka siltuma avota temperatūra, jo efektivitātes koeficients augstāks.

Siltumsūkņa galvenās sastāvdaļas un kontūri ir shematiski attēloti 50. attēlā.

Siltumsūknis sastāv no četrām galvenajām sastāvdaļām: iztvaicētāja, kompresora, droseļvārsta un kondensatora. Siltumsūknī ir trīs cirkulācijas kontūri:

- I kontūrā cirkulē šķidrums ar zemu sasalšanas temperatūru, kurš uzņem siltumu no avota.
- II kontūrā cirkulē aukstuma aģents (piemēram, freons R404, R407C vai propāns R 290) ar zemu iztvaikošanas temperatūru.
- III kontūrā cirkulē patērētāja siltumnesējs (piem., apsildes sistēmas ūdens).

Aukstuma aģents iztvaiko iztvaicētājā un šim procesam patērē siltumu, ko uzņem no siltumnesēja, kas cirkulē piemēram, cauruļu kontūrā, kas ierakts zemē. Tālāk aukstuma aģents tiek saspiests kompresorā, kā rezultātā tam pieaug spiediens un temperatūra. Tas nonāk siltummainī – kondensatorā, kondensējas un atdod siltumu apsildes sistēmas ūdenim.



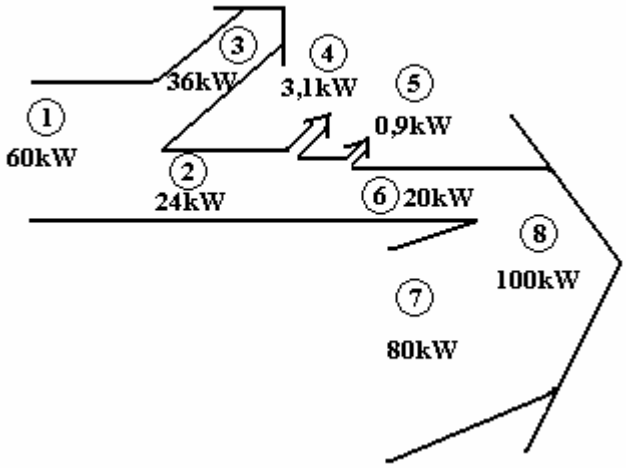
50. attēls. Siltumsūkņa uzbūves shēma

1 – kompresors;
2 – kondensators – siltummainis:
3 – iztvaicētājs;
4 – cirkulācijas sūknis siltumnesējam no siltuma avota;
5 – droseļvārsts;
6 - cirkulācijas sūknis patērētāja siltumnesējam.

Dažiem siltumsūkņiem (piemēram, *Thermia* u.c. ražotajiem) ir papildus siltummainis jeb apakšdzesētājs, kurā aukstuma aģents izejot no kondensatora vēl papildus atdod siltumu apsildes sistēmas atpakaļgaitas ūdenim. Pēc tam aukstuma aģents plūst caur droseļvārstu, kā rezultātā tam samazinās spiediens un temperatūra. Tad tas atkal nonāk iztvaicētājā.

9.2. Siltumsūkņa enerģijas bilance

Apskatot lokālā mērogā, siltumsūknis ir videi draudzīgs siltuma avots un vietējā mērogā nepiesārņo vidi kā, piemēram, kurināmā katli. Taču, tā kā siltumsūknim ir nepieciešama enerģija kompresora piedziņai, piemēram, elektroenerģija, tad no ekoloģiskā viedokļa ir svarīgi, kā šī enerģija tiek iegūta. Ja elektroenerģiju iegūst termoelektrostacijā sadedzinot kurināmo, tad vides piesārņojums notiek tur.
Enerģijas plūsmas veidošanās, lai ar siltumsūkni iegūtu 100 kW siltuma jaudu pie efektivitātes koeficienta ξ=4 parādīta 51. attēlā.



51. attēls. Siltumsūkņa enerģētiskās plūsmas sadalījums
1 – elektrostacijā sadedzinātā kurināmā siltuma jauda;
2 – kompresora elektromotora saņemtā elektriskā jauda;
3 – enerģijas zudumi elektroenerģijas ražošanā;
4 – jaudas zudumi elektromotorā;
5 – jaudas zudumi dzesēšanai;
6 – siltumā pārvērstā elektroenerģija, ko saņem patērētājs;
7 – siltuma plūsma no siltuma avota;
8 – ar siltumsūkni iegūtā siltuma plūsma.

Kā redzams no 51. attēla, lai ar siltumsūkni iegūtu siltuma jaudu 100 kW, elektrostacijā jāsadedzina kurināmā daudzums lai iegūtu siltuma jaudu 60 kW. Sadedzinot šo kurināmo rodas kaitīgie izmeši, kas piesārņo vidi.

10. Katlu iekārtas siltuma bilance

Katlu iekārtas galvenais uzdevums ir pārvērst kurināmā ķīmisko enerģiju izmantojamā siltuma enerģijā ar maksimāli augstu lietderības koeficientu.

Par katlu iekārtas **lietderības koeficientu** sauc kurināmā sadedzināšanas procesa rezultātā siltumnesēja iegūtās siltuma enerģijas daļu attiecībā pret kurināma zemāko sildspēju. To parasti izsaka procentos.

Dažās valstīs lietderības koeficienta aprēķinos ņem vērā kurināmā augstāko sildspēju.

Jebkurā reālā katlu iekārtā rodas zudumi. Siltuma zudumi notiek sekojošā veidā:

- kurināmā nepilnīgas sadegšanas rezultātā;
- daļa siltuma aiziet atmosfērā ar dūmgāzēm;
- siltuma zudumi notiek no virsmām apkārtējā vidē.

Katlu iekārtas siltuma bilanci 1 kilogramam kurināmā var izteikt sekojoši:

$$Q_z + Q_u + Q_g + Q_k = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \qquad (14)$$

kur: Q_z – kurināmā zemākā siltumspēja, kJ/kg;
Q_k – ar kurināmo ievadītais siltums, kJ/kg;
Q_u – ar barošanas ūdeni pievadītais siltums, kJ/kg;
Q_g – ar gaisu kurtuvē ievadītais siltums, kJ/kg;
Q_1 – lietderīgi izmantotais (siltumnesējā ieliktais siltums), kJ/kg;
Q_2 – siltuma zudumi ar dūmgāzēm, kJ/kg;
Q_3 – kurināmā ķīmiski nepilnīgas sadegšanas zudumi, kJ/kg;
Q_4 - kurināmā mehāniski nepilnīgas sadegšanas zudumi, kJ/kg;
Q_5 – siltuma zudumi apkārtējā vidē, kJ/kg;
Q_6 – siltuma zudumi ar izdedžiem, kJ/kg.

Q_k, Q_u un Q_g, ja degviela, gaiss un barošanas ūdens netiek sildīti, ir nelieli un jāņem vērā tikai ļoti precīzos aprēķinos. Sildot gaisu un ūdeni, kā arī degvielu izmanto siltumu, kas iegūts no kurināmā un ietverts tā sadegšanas siltumā jeb rēķinot uz 1 kg kurināmā, to izsaka sildspēja.

Ar tvaiku kurtuvē ievadītais siltums Q_{tv} jāņem vērā tad, ja kurināmā (piemēram, mazuta) izsmidzināšanai lieto tvaika sprauslas. Taču arī šeit tvaiks tiek iegūts izmantojot kurināmā sadegšanas siltumu.

Siltuma zudumi ar dūmgāzēm Q_2 rodas dūmgāzēm aizplūstot atmosfērā. Jo augstāka to temperatūra un mitruma saturs, jo lielāki šie zudumi.

Kurināmā ķīmiski nepilnīgas sadegšanas zudumi Q_3 rodas kurināmam nepilnīgi sadegot un visbiežāk izpaužas kā melni dūmi, kuros ir nesadedzis ogleklis.

Kurināmā mehāniski nepilnīgas sadegšanas zudumi Q_4 rodas cietajam kurināmam izbirstot caur ārdiem pelnos un tur nodziestot. Tās ir nesadegušā oglekļa daļiņas, kas sastopamas pelnos un izdedžos.
Siltuma zudumi apkārtējā vidē Q_5 notiek aizplūstot siltumam caur katlu iekārtas virsmām apkārtējā. Lai tos samazinātu, katla sieniņas noklāj ar siltumizolācijas kārtu.
Siltuma zudumi ar izdedžiem Q_6 notiek izkrītot izdedžiem, kuriem ir salīdzinoši augsta temperatūra un tie satur siltumu.

Lai noteiktu siltuma bilances vienādojuma locekļu vērtības, nepieciešams veikt sekojošu parametru mērījumus pie katla normālas darbības:
- kurināmā patēriņu B, kg/h (vai gāzveida kurināmiem m^3/h)
- saražotā tvaika spiedienu p, MPa;
- sekojošas temperatūras, tvaikam – t_{tv} (atbilstošo entalpiju h_{tv}, kJ/kg);
  dūmgāzēm – t_d;
  ūdens – t_u (atbilstošo entalpiju h_u, kJ/kg) ;
  gaisam – t_g;
- CO_2 saturu dūmgāzēs, tilpuma %;
- O_2 daudzumu dūmgāzēs, %;
- kurināmā darba sastāvu, masas daļās;
- pelnos esošo kurināmā daudzumu b_A, kg/kg;
- dūmgāžu daudzumu V_d, m^3/kg;
- saražotā tvaika daudzumu D, kg/h.

Kurināmā zemāko sildspēju nosaka:

$$Q_z = 339*C + 1260*H - 109*(O-S) - 25(9*H+W) \qquad (15)$$

kur: C, H, O, S – attiecīgo ķīmisko elementu saturs, %
W – kurināmā mitruma saturs, %.

Pārējos siltuma bilances kreisās puses locekļus aprēķina sekojoši:

$$Q_1 = \frac{D}{B}*(h_{tv} - h_u) \qquad (16)$$

$$Q_2 = V_d * c_d * (t_d - t_g) \qquad (17)$$

$$Q_3 = 23700*C*\frac{CO}{CO_2 + CO} \qquad (18)$$

$$Q_4 = 34000*b_A \qquad (19)$$

$$Q_k = c_k * t_k \qquad (20)$$

$$Q_{tv} = d_{tv} * h_{tv} \quad , \qquad (21)$$

kur: c_d – dūmgāžu īpatnējā siltumietilpība, $kJ/(m^3*K)$;
c_k – kurināmā īpatnējā siltumietilpība, kJ/(kg*K);
t_k – kurināmā temperatūra, K;
d_{tv} – kurtuvē ievadītā tvaika daudzums, $kg_{tvaika}/kg_{kurināmā}$);
h_{tv} – tvaika entalpija, kJ/kg.

Katla lietderības koeficientu var aprēķināt sekojoši:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_z} * 100\% \quad . \tag{22}$$

Visbūtiskāk katlu iekārtas lietderīgumu ietekmē aizejošo dūmgāžu temperatūra un CO daudzums dūmgāzēs.

Var uzskatīt, ka katrs procents CO dūmgāzēs atbilst aptuveni 5 % zudumu, bet katri 10 ^{0}C dūmgāžu temperatūras, kas pārsniedz 100 ^{0}C atbilst aptuveni 1 % zudumu.

Siltuma zudumus ar dūmgāzēm ievērojami samazina pareiza ekonomaizera un kurtuves gaisa sildītāja darbība. Mazām katlu iekārtām, kas paredzētas ēkas apsildei, ir lietderīgi izmantot akumulācijas tvertnes, kas akumulē dūmgāžu siltumu, ko atdod apsildes sistēmai, kad katlu iekārta nestrādā.