

**Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Tehniskā fakultāte
Enerģētikas institūts**

Raimunds Šeļegovskis
Dr.sc.ing., asoc.prof.

Kurināmo degšanas teorijas pamati

Lekciju konspekts
studiju kursa
„Siltumzinību pamati II”
ietvaros

Jelgava 2018

Saturs

1. Plūsmas veidošanās un procesi tajā	3
2. Gāzveida kurināmā degšana	3
2.1. Viendabīga gāzu degšana	3
2.1.1. Viendabīga lamināra degšana	3
2.1.2. Viendabīga turbulenta degšana	5
2.2. Difūza gāzu degšana	7
2.2.1. Difūza lamināra degšana	7
2.2.2. Difūza turbulenta degšana	8
2.3. Gāzu degšana ar divpakāpju gaisa padevi (kombinēta degšana)	9
2.4. Gāzu degšanas intensifikācijas pasākumi	9
3. Dabasgāzes sadedzināšana tvaika katlos	10
4. Šķidrā kurināmā degšana	11
4.1. Degšana pa brīvu virsmu	11
4.2. Šķidrās degvielas pilienu degšana	12
4.3. Šķidrās degvielas degšana lāpā	13
5. Šķidrā kurināmā degļi	15
5.1. Rotācijas degļi	15
5.2. Mehāniskie degļi	16
5.3. Tvaika-mehāniskie (pneimatiskie) degļi šķidrajam kurināmajam	17
6. Cietā kurināmā degšana	19
6.1. Pulverveida kurināmā sadedzināšana taisnvirziena strūklā	19
6.2. Pulverveida kurināmā sadedzināšana virpuļveida strūklā	19
6.3. Cietā kurināmā sadedzināšana slānī	20
6.4. Cietā kurināmā degšanas procesi	21
6.4.1. Fizikālie procesi	21
6.4.2. Heterogēnās degšanas teorija	23
6.4.3. Oglekļa daļiņas iekšējā degšana	23
6.5. Putekļveida kurināmo degšanas procesi	24
6.5.1. Sīko daļiņu degšana	24
6.5.2. Rupjo daļiņu degšana	24
6.5.3. Putekļveida kurināmo degšanas intensifikācijas nosacījumi	25
7. Ogļu dzirnavas	26
7.1. Malšanas principi un tehnoloģijas	26
7.2. Ložu dzirnavas	26
7.3. Veltņu dzirnavas	27
7.4. Vesperu dzirnavas	28
8. Izdedžu nosēdumu veidošanās process, to samazināšana	30
8.1. Izdedžu veidošanās process un nosacījumi	30
8.2. Izdedžu nosēdumu samazināšana	30
8.3. Kurtuves ar šķidro pelnu izvākšanu	31

1. Plūsmas veidošanās un procesi tajā

Šķidrā un gāzveida kurināmā, kā arī pulverveida cietā kurināmā degšanu organizē gāzu maisījuma strūkļa. Strūkļa var būt lamināra vai turbulenta. Tā var norisēt nekustīgā vai kustīgā vidē. Strūklas var būt taisnvirziena vai virpuļveida (ar rotācijas kustību). Ja strūklas temperatūra vienāda ar aptverošās vides temperatūru, to sauc par izotermisku, ja temperatūras atšķiras, tad par neizotermisku.

2. Gāzveida kurināmā degšana

Gāzveida kurināmo degšanu organizē degšanas kamerā ar degļiem. Tajā veidojas degošu gāzu strūkļa jeb lāpa.

Atkarībā no gāzes padeves veida ir trīs gāzveida kurināmo degšanas pamatveidi:

- 1 – **viendabīga gāzu maisījuma degšana (kinētiskā degšana)** – degšanas kamerā padod un sadedzina iepriekš sagatavotu gāzes (ar gāzi šeit un turpmāk tiks apzīmēta degošā gāze jeb degviela) un gaisa maisījumu;
- 2 – **difūzā degšana** – gāze un gaiss degšanas kamerā tiek padoti atsevišķi;
- 3 – **gāzes degšana ar pakāpenisku gaisa padevi**.

Plūsma degšanas kamerā var būt:

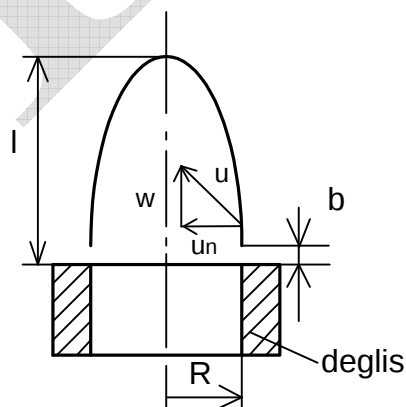
- 1 – lamināra – visi slāņi tajā pārvietojas taisnvirziena kustībā neveidojot virpuļus (notiek pie zemiem plūsmas ātrumiem);
- 2 – turbulenta – plūsmā atsevišķie slāņi veido virpuļus, sajaucoties savā starpā (notiek pie lieliem plūsmas ātrumiem).

2.1. Viendabīga gāzu degšana

2.1.1. Viendabīga lamināra degšana

Degšanas kamerā tiek padots iepriekš sagatavots gāzes un gaisa maisījums jeb degmaisījums ar salīdzinoši nelielu padeves ātrumu.

Visi slāņi tajā pārvietojas taisnvirziena (laminārā) kustībā, neveidojot virpuļus. Degšanas procesus nosaka kinētiskie parametri, tādēļ to mēdz saukt arī par **kinētisko degšanu**.



1. att. Viendabīgas lamināras gāzes degšanas shēma

Pie degļa sieniņas notiek laba siltuma aizvadīšana no degšanas zonas, tāpēc temperatūra ievērojami pazeminās, un liesmas fronte jeb degšana sākas nelielā attālumā b no degļa sprauslas malas. Šeit visapkārt veidojas t.s. **aizdeģšanās gredzens**, kurā notiek no sprauslas izplūstošā degmaisījuma aizdegšanās. Degmaisījuma plūsmas ātrums w vērsts projām no degļa, liesmas normālās izplatīšanās ātrums u_n vērsts virzienā uz centrālo asi pa normāli pret liesmas frontes virsmu, tādēļ rezultējošais liesmas izplatīšanās ātrums u veidojas no abu summas, liesma izstiepjās un ieņem parabolisku formu, sasniedzot plūsmas asi noteiktā attālumā l no degļa. Tā, kā pie sieniņas temperatūra zema, tad liesma nevar iekļūt deglī, jo degmaisījuma plūsmas ātrums ir lielāks par liesmas izplatīšanās ātrumu. Degšanas zona ir ļoti plāna, aptuveni 1 mm biezumā ar zilganu nokrāsu.

Liesmas izplatīšanās laiku no perifērijas līdz centram var izteikt sekojoši:

$$\tau = \frac{R}{u_n},$$

kur: τ – liesmas izplatīšanās laiks, s;
 R – degļa sprauslas rādiuss, cm.

Šajā laika periodā strūkļa centrā veic attālumu:

$$l = w * \tau = \frac{w * R}{u_n},$$

kur: l – lāpas garums, cm.

Secinājumi:

1 – pie dotā sprauslas diametra, lāpas garums un forma ir atkarīga no liesmas normālā izplatīšanās ātruma u_n (tātad, no degmaisījuma īpašībām; sastāva, koncentrācijas, temperatūras.) un plūsmas padeves ātruma w ; jo lielāks u_n un mazāks w , jo īsāka lāpa un otrādi;

2 – pie dotā padeves ātruma lāpas garums ir atkarīgs no u_n un sprauslas diametra.

Ja degmaisījumā gaisa pārpalikuma koeficients $\alpha \geq 1$, visa gāze sadeg gaišzilajā konusā. Ja $\alpha < 1$ (gaisa nepietiek), konusā sadeg daļa gāzes, atlikums sadeg apkārtējā gaisā, veidojot sekundāro liesmu.

Lāpas forma ir atkarīga no degļa formas.

Attālums no sprauslas, kur sākas degšana, ir atkarīgs no sieniņas siltumvadītspējas, jo tā labāka, jo tālāk sākas liesma. Degmaisījuma plūsmas ātrums w nedrīkst būt mazāks par u_n , citādi liesma var iekļūt deglī. Šis nosacījums definē kritisko jeb minimāli pieļaujamo degmaisījuma padeves daudzumu. Lai novērstu liesmas iekļūšanu deglī, reizēm palielina siltumaizvadīšanu, izmantojot dzesējamu degļa izeju. Lāpas stabilizāciju var veikt arī sašaurinot sprauslas izeju, līdz ar to pieaug plūsmas ātrums, it īpaši sieniņu tuvumā.

Labāku un stabilāku aizdegšanos var nodrošināt izmantojot mākslīgu aizdedzināšanas gredzenu, piemēram, no metāla. Tas sasniedz augstu temperatūru, aizdedzinot degmaisījumu, un ļauj palielināt plūsmas ātrumu, līdz ar to radot iespēju palielināt degļa ražīgumu. Bez šī mākslīgā gredzena liesma šādā gadījumā nodzistu. Ar tā palīdzību var arī pārvietot lāpu plūsmas virzienā.

Secinājumi:

1 – pārejot uz lielāka diametra degli, jāpalielina plūsmas ātrums;

2 – degmaisījuma kritiskais padeves daudzums pieaug proporcionāli degļa sprauslas rādiusa kvadrātam;

$$\frac{v_k}{v_1} = \frac{R_2^2}{R_1^2},$$

kur: v_k - kritiskais (minimālais) degmaisījuma padeves ātrums, cm^3/s ;

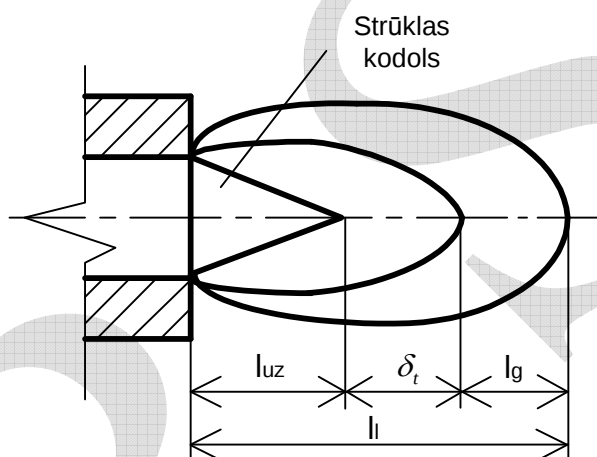
3 – degmaisījumam ar lielu u_n apakšējā robeža stabilai degšanai ir augstāka.

2.1.2. Viendabīga turbulenta degšana

Lai degšanu padarītu intensīvāku, to veic pie lieliem degmaisījuma plūsmas ātrumiem, kas rada plūsmas savirpušanos jeb turbulenci.

Atmosfērā esošie degļi šādos apstākļos strādā nestabili, jo palielināts plūsmas ātrums dzesē aizdegšanās gredzenu, temperatūra tajā krīt un lāpa nodziest.

Turbulentas lāpas stabilizācijai nepieciešama noturīga aizdedzināšana. No var nodrošināt sadedzinot gāzi telpā, ko aizpilda karsti degšanas produkti – degšanas kamerā.



2.att. Viendabīgas turbulenta gāzes degšanas shēma

l_{uz} – uzliesmošanas zonas garums;

δ_t – turbulentās degšanas zonas garums;

l_g – galīgās sadegšanas zonas garums;

l_l – kopējais lāpas garums.

Kad degšanas režīms ir nostabilizējies, strūkla ir neizotermiska un izplatās augstas temperatūras degšanas produktu vidē. Turbulences rezultātā tiek piesaistītas dūmgāzes, degmaisījums sajaucas ar tām un uzsilst. Strūklas kodolā temperatūra mainās minimāli. Temperatūras ietekme uz degšanas reakcijas ātrumu ir ievērojami lielāka nekā koncentrācijas ietekme. Tāpēc liesmā ķīmiskā reakcija notiek nelielā temperatūru intervālā, kas ir tuva degšanas temperatūrai, t.i. zonā, kurā ir iesaistīts liels daudzums karstu degšanas produktu. Šeit ir arī maksimālais u . Strūklas aizdegšanās notiek pa ārējo virsmu.

Turbulences rezultātā liesmas fronte tiek izkropļota, tā tiek saraustīta mazos mikrotīpumos, saglabājoties kopējai konusveida formai. Tas palielina kopējo degšanas virsmu.

Uzliesmošanas zonas garums ir izsakāms sekojoši:

$$l_{uz} = \frac{w^* R}{u_t},$$

kur: u_t – turbulentais liesmas izplatīšanās ātrums.

Uzliesmošanas zonas garums beidzas ar punktu, kur tā sasniedz asi.

Secinājumi:

1. pie turbulenta degšanas režīma plūsmas ātruma w palielināšana maz ietekmē uzliesmošanas zonas garumu l_{uz} , jo līdz ar to pieaug ātrums u_t , kas to līdzsvaro;
2. pie turbulenta degšanas režīma u_t ir mazāk atkarīgs no degmaisījuma sastāva;
3. tā kā turbulences pakāpe ir proporcionāla strūkļas šķērssgriezumam, bet mikrotilpumu pulsāciju ātrums pieaug, pieaugot vidējam ātrumam, tad, palielinot diametru un plūsmas ātrumu, turbulentās zonas lielums palielināsies;
4. palielinoties u_n (mainoties degmaisījuma ķīmiskajam sastāvam), samazinās u_t .

Redzamo degšanas zonu veido uzliesmošanas un turbulentā zona. Tajā sadeg līdz 90% degvielas. Pārējā daļa sadeg galīgās sadegšanas zonā. Jo mazāks ķīmisko reakciju ātrums un lielāks gāzu plūsmas ātrums, jo šī zona garāka.

2.2. Difūza gāzu degšana

2.2.1. Difūza lamināra degšana

Ja caur degli tiek padota gāze, kas nesatur gaisu (skābekli), degšanai nepieciešamais skābeklis tiek paņemts no degšanas zonai apkārt esošā gaisa, kas pienāk difūzijas ceļā. To sauc par difūzo degšanu. Degšanas ātrumu nosaka difūzijas ātrums. Laminārā difūzā degšana notiek, ja gāze kustas lamināri, t.i. pie nelieliem plūsmas ātrumiem. Gāze sajaucas ar apkārt esošo gaisu, aizdegoties veidojas lāpa, kas pie apaļas sprauslas ieņem konusveida formu, jo kustības laikā gāzes kļūst arvien mazāk un degšanas zona pārvietojas strūkļas ass virzienā. Līdzīgi kā pie viendabīgās degšanas aizdegšanās notiek pie aizdegšanās gredzena. Ja apkārtēja vide nekustīga, gāze pie degļa malas difundē uz āru, veidojot maisījumu, kas pie maziem strūkļas ātrumiem stabili deg.

Liesmas iekļūšana deglī ir neiespējama, jo tajā nav gaisa.

Šādas degšanas piemērs ir gāzes plīts, vai nelielas jaudas gāzes apsildes katls.

Noturīgas stabilas degšanas zona veidojas vietā, kur O_2 (gaisa) un gāzes daudzums ir stahiometriskā attiecībā.

Stahiometriskā attiecība – pienākoša gaisa daudzums ir tik, cik nepieciešams attiecīgā gāzes daudzuma pilnīgai sadedzināšanai.

Degšanas zonas biezums ir aptuveni 1 mm. Lāpas iekšpusē atrodas arī starpprodukti: OH , C_nH_m , C_2 .

Laminārās difūzās degšanas ātrumu galvenokārt nosaka molekulārās difūzijas ātrums. Tātad degšanas veids nevar būt īpaši intensīvs, jo difūzija ir lēns process, un tas iespējams pie maziem degmaisījuma plūsmas ātrumiem. Līdz ar to šo degšanas veidu neizmanto rūpnieciskajos procesos, kur nepieciešama intensīvāka degšana.

Lāpas garumu var noteikt sekojoši:

$$l_l = w^* \tau = \frac{w^* R^2}{2D},$$

kur: τ – difūzijas laiks;

R – degļa sprauslas rādiuss;

D – difūzijas koeficients.

Tātad lāpas garums ir proporcionāls degļa sprauslas rādiusam.

Sadedzinot termostabīlas vai termonestabīlas gāzes, notiek atšķirīgi procesi.

Termostabīlas gāzes, kas temperatūrās līdz 2500...3000 K saglabā savu molekulāro struktūru (piem., H, CO...)deg ar blāvu gaišzilu liesmu un sadegšana norisinās pilnvērtīgi.

Termonestabīlas gāzes, kas satur CH savienojumus, ja nepietiek skābekļa, pietiekoši augstā temperatūrā sadalās par H_2 un brīvu C (kvēpiem). Piemēram, metāns (CH_4) sāk sadalīties pie 680 °C. Mikroskopiskās sakarsušās kvēpu daļiņas, kas atrodas lāpā, izstaro spožu gaismu un liesma spīd. Tālākajā procesā tās heterogēni (skat. cietā kurināmā degšanu) reaģē ar O_2 , kas pienāk difūzijas ceļā. Šis process norisinās lēni, tāpēc daļa no tām nepaspēj sadegt un kvēpu veidā pamet lāpu. Oglekļa klātbūtne arī izraisa CO rašanos no jau degšanas procesā radušās CO_2 ($C+CO_2\rightarrow 2CO$). Tātad norisinās nepilnīga sadegšana, ja trūkst skābekļa degšanas zonā.

2.2.2. Difūza turbulenta degšana

Difūzās degšanas intensitāte ir atkarīga no gāzu sajaukšanās intensitātes. Difūzija ir lēns process, bet sajaukšanos var daudzkārt uzlabot, radot turbulentu plūsmu, kurā rodas virpuļi, kā rezultātā strūklā intensīvi tiek iesaistīts gaiss un arī karstās dūmgāzes. Tādējādi iegūst turbulentu difūzo degšanu. Šis degšanas veids ir piemērots rūpnieciskajām iekārtām.

Turbulento difūzo degšanu realizē atsevišķi padodot degšanas kamerā gāzi un gaisu tā, lai notiek sajaukšanās. To veic caur vienu un to pašu degli, vai atsevišķām sprauslām. Degšanas zona automātiski veidojas tur, kur gāze un gaiss ir stahiometriskā līdzsvarā. Turbulentā difūzija notiek daudz straujāk. Difūzijas koeficients šeit ir proporcionāls plūsmas ātrumam un degļa sprauslas diametram. Uzliesmošanas un degšanas zonas veidojas no atsevišķiem punktiem, jeb mikrotilpumiem, kuros veidojas stahiometriskis līdzsvars un to garums pie dotā izmēra sprauslas praktiski nav atkarīgs no strūklas izplūdes ātruma. Uzliesmošanas un degšanas zonas garums ir proporcionāls stahiometriskajam koeficientam m un skābekļa koncentrācijai vidē c_{O_2} .

Stahiometrijas koeficients m raksturo skābekļa patēriņu 1 gāzes vienības sadedzināšanai. Praktiski tas ir atkarīgs no gāzes sildspējas. Jo lielāka gāzes sildspēja Q_z , jo vairāk nepieciešams O_2 un garāka degšanas zona.

Jo zemāka skābekļa koncentrācija vidē c_{O_2} , jo garāka uzliesmošanas un degšanas zona. Aizdeģšanās uzliesmošanas zonā notiek līdzīgi kā pie viendabīgās turbulentās degšanas: plūsmā tiek iesaistīti degšanas produkti ar augstu temperatūru, kas uzsilda degmaisiņu un tas aizdegas.

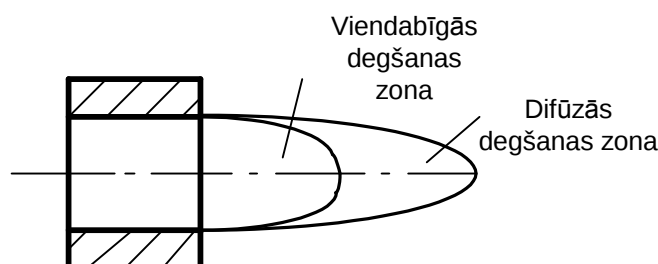
Lāpas kopējo garumu ietekmē degļa konstrukcija un degšanas procesa organizācija.

2.3. Gāzu degšana ar divpakāpju gaisa padevi (kombinēta degšana)

Viendabīgai degšanai piemīt risks liesmas iekļūšanai deglī, toties ir intensīva. Difūzā degšana ir ar zemu intensitāti, bet droša pret liesmas iekļūšanu deglī. Risinājums, lai novērstu minētos trūkumus un apvienotu labās īpašības ir degšana ar vairākpakāpju gaisa padevi.

Caur degli tiek padots maisījums, kurā gaiss ir nepietiekošā daudzumā, lai nodrošinātu pilnīgu gāzes sadegšanu ($\alpha < 1$). Līdz ar to atlikušais gaiss jāpievada no apkārtējās

vides, respektīvi, padodot degšanas kamerā sekundāro gaisu pa atsevišķām sprauslām tajā pašā deglī, vai speciālām atsevišķām sprauslām.



3.att. Gāzes degšanas shēma ar divpakāpju gaisa padevi

Degšanas procesā veidojas divas zonas, kurās tiek realizēti atšķirīgi degšanas veidi:

- 1 – viendabīgas degšanas zona, kur izmanto pa deglī padoto gāzes – gaisa maisījumu ar $\alpha < 1$,
- 2 – difūzās degšanas zona, kur sadeg atlikusī gāzes daļa izmantojot skābekli no apkārtējās vides degšanas kamerā.

Viendabīgās degšanas zonas garumu nosaka gaisa daudzums maisījumā, jo tā vairāk, jo zona garāk un otrādi. Pirms gāze nonāk degšanas zonā, tā uzsilst no siltuma starojuma. Ja tā satur CH savienojumus, tad norisinās divi procesi:

- oksidēšanās, kas sākas jau pie salīdzinoši zemām temperatūrām, radot formaldehīdus, kas tālāk pietiekošā gaisa daudzumā sadeg, radot CO_2 un H_2O . Pietrūkstot gaisam, tie sadalās par CO un H_2 , kuri tālāk labi sadeg, kad tiek pievadīts pietiekoši daudz gaisa;
- termiskā sadalīšanās, kuras rezultātā veidojas smagie ogļūdeņraži, kas deg grūti un noved pie nepilnīgas gāzes sadegšanas.

Papildus iepriekš teiktajam, šajā degšanas procesā atsevišķās degšanas zonās ir zemāka degšanas temperatūra, kas ļauj samazināt NO_x izmešus, kas ir būtiski no ekoloģijas viedokļa.

2.4. Gāzu degšanas intensifikācijas pasākumi

Intensīvu gāzes sadegšanu veicina sekojoši pasākumi:

1. iepriekšēja pievadāmā gaisa uzsildīšana (īpaši zemas sildspējas gāzēm);
2. nepieciešamā gaisa padeve strūklas kodolā, kas sekmē sajaukšanos un oksidēšanos;
3. stabilas aizdegšanās nodrošināšana, lai varētu izmantot lielus gāzes padeves ātrumus;
4. aizdegšanās organizācija pa attīstītu perimetru:
 - sadalot lāpu nelielās atsevišķās strūklās (piem., ar caurumotu plāksni aiz degļa);
 - uzlabojot lāpas aerodinamiku (piem., piešķirot griezes kustību);
 - izmantojot plakānu strūklu;
5. siltuma un masas apmaiņas palielināšana lāpā (ar turbulences attīstīšanu gan strūklas iekšpusē, gan ārpusē);
6. degšanas produktu recirkulācijas samazināšana, līdz ar to paaugstinot degošo elementu koncentrāciju (līdz zināmai robežai, nepasliktinot aizdegšanos);
7. izmantojot bezliesmas degšanu (piem., pie augstas temperatūras keramikajām virsmām).

3. Dabaszgāzes sadedzināšana tvaika katlos

Dabaszgāzes sadedzināšanu organizē dažādi.

Nelielas jaudas katlu iekārtās organizē viendabīgu degšanu, izmantojot degļus ar iepriekšēju gaisa un gāzes sajaukšanu.

Liēlas jaudas katlu iekārtās, lai pilnībā novērstu iespēju liesmai iekļūt deglī un padeves sistēmā, šo veidu neizmanto. Tajos neizmanto arī tīri difūzo degšanu, jo tā nenodrošina pietiekošu degšanas intensitāti.

Šeit izmanto degļus ar daļēju sajaukšanu, kur gāzi degļa izejā sajauc ar nepietiekošu gaisa daudzumu. Atlikušo gaisu pievada kurtuvē atsevišķi.

Pie labas sajaukšanās un mazas gaisa piesūces caur degšanas kameras neblīvumiem, gāzi var sadedzināt ar maziem gaisa pārpalikuma koeficientiem $\alpha=1,03-1,05$. Šāda neliēla α izmantošana sekmē lietderības koeficienta paaugstināšanos.

Sadedzinot gāzi kurtuvēs, liēla uzmanība jāpievērš sprādzienbīstamībai un gāzes toksiskumam. Galvenie principi:

- pirms degļu palaišanas kamera un gāzu ejas noteiktu laika periodu jāvēdina ar ventilatora palīdzību pievadot gaisu;
- pie liesmas nodzišanas nekavējoties automātiski jānoslēdzas gāzes padevei un jāizvēdina kamera un gāzu ejas;
- pie gāzes padeves pārtraukšanas vai pēkšņa spiediena samazinājuma zem minimāli pieļaujamā gāzes padevei jānoslēdzas;
- palaišanai jānotiek sekojošā secībā: ieslēdz aizdedzināšanas elementu, padod gāzi, pakāpeniski padod gaisu.

Šāds algoritms parasti ir jau iestrādāts katla palaišanas automātikā.

Ja paredzēts kombinēt gāzi ar cieto kurināmo, kurtuve jāizveido atbilstoši nosacījumiem cietajam kurināmajam.

Vidējas un liēlas jaudas katlu degšanas kameras šķērsriezumu izveido paralelograma vai apaļas formas veidā. Iekšējās virsmas tiek ekranētas ar ekrāncaurulēm, kas veido atsevišķus paneļus, vai vienlaidus režģi. Uz sienām ir iztvaicēšanas caurules, uz griestiem pārkarsētāja caurules. Degļi var tikt izvietoti gan frontāli (uz priekšējās sienas), gan uz pretējām sānu virsmām vai retāk arī uz aizmugurējās sienas.

Nominālais kurtuves lietderības koeficients sasniedz 90-95 %.

4. Šķidrā kurināmā degšana

4.1. Degšana pa brīvu virsmu

Jebkurš šķidrā kurināmais **deg tikai tvaika** veidā, bet **nedeg šķidrās fāzes** veidā.

Degot pa brīvu virsmu, deg tvaiks, kas atrodas virs tās. Tas nozīmē, ka šķidrajai degvielai ir jāiztvaiko, lai notiktu degšana. Degšanas procesā rodas siltums, kas no lāpas starošanas ceļā nonāk uz virsmas un palielina iztvaikošanu. Rezultātā palielinās iztvaikošanas intensitāte, kas noved pie degošo tvaiku daudzuma palielināšanās. Līdz ar to izdalās vairāk siltuma, kas palielina iztvaikošanu, u.t.t. Pie noteiktas degšanas intensitātes šis process stabilizējas, iztvaikošana sasniedz maksimālo vērtību un vairs nepalielinās.

Lāpa izveidojas noteiktā attālumā no virsmas, kas ir arī saskatāms. Degšanas zonas siltuma starojuma intensitāte uz virsmu ir atkarīga tikai no degvielas īpašībām un ir konstanta katrai dotajai degvielai ar konkrēto sastāvu.

Siltuma balance lāpas starojumam uz 1 m² lielu virsmu ir sekojoša:

$$q_l = w_d [c_{vid} (t_v - t_0 + \lambda_{tv})],$$

kur:

q_l – siltuma daudzums, ko izstaro lāpa uz šķidrums virsmu, kW/ m²;

w_d – degšanas ātrums, kg/(m² s);

c_{vid} – degvielas vidējā siltumietilpība, kJ/(kg K);

t_v – iztvaikošanas temperatūra, K;

t_0 – degvielas sākotnējā temperatūra, K;

λ_{tv} – iztvaikošanai patērētais siltums, kJ/kg.

Degšanas process, kad režīms ir nostabilizējies, norisinās sekojoši: lāpas siltuma starojuma ietekmē degviela iztvaiko, tvaika plūsmā difūzijas ceļā nonāk gaiss no apkārtējās vides, kas satur skābekli. Iegūtais maisījums deg, veidojot lāpu apm. 0,5 – 1 mm attālumā no virsmas.

Stabila degšana notiek uz virsmas, kur maisījuma komponentes ir stahiometriskā attiecībā, t.i. dotā degvielas daudzuma sadegšanai ir atbilstošs skābekļa daudzums.

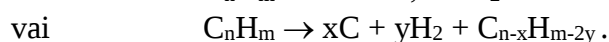
Degšana lāpā sastāv no divām stadijām: difūza skābekļa piekļūšana degšanas virsmai un degšanas ķīmiskās reakcijas uz tās.

Reakciju ātrums ir salīdzinoši liels pie augstām temperatūrām, bet skābekļa difūzā piekļūšana lēns process un tādējādi tieši skābekļa piekļuve nosaka kopējo sadegšanas ātrumu.

Lāpas garumu nosaka iztvaikošanas ātrums.

Degšanai pa brīvu virsmu ir raksturīgs liels ķīmiski nesadegušās degvielas daudzums, jeb ķīmiskās nesadegšanas zudumi. Piemēram: etilspirtam aptuveni 5%, benzīnam aptuveni 13%, benzolam apt. 18,5%.

Tvaikveida oglekļa dioksīds, kas atrodas lāpas iekšpusē pie augstām temperatūrām, ja trūkst skābekļa sadalās:



Tātad rodas brīvs C, kas pie augstas temperatūras kvēlo, padara liesmu spožu, daļa no tā nesadeg un kvēpu veidā aizplūst ar degšanas produktiem.

Jo vairāk degviela satur oglekli, jo vairāk rodas brīvais C, spožāka liesma un lielāki ķīmiskās nesadegšanas zudumi.

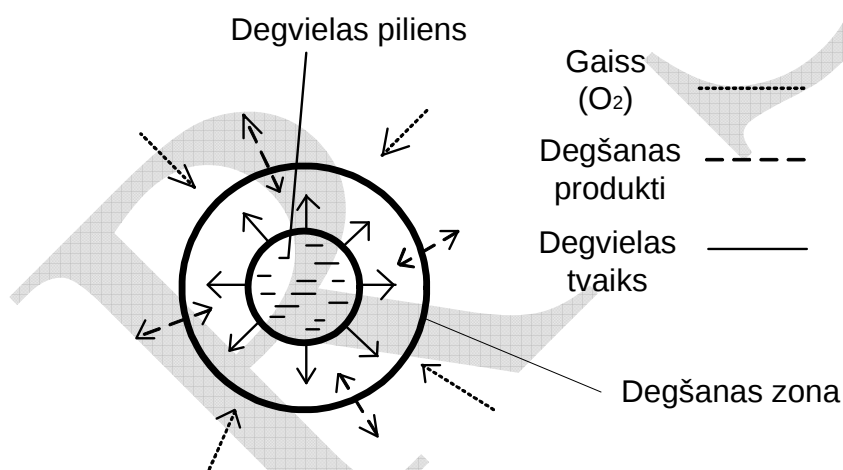
Kopējie secinājumi:

1. šķidrie kurināmie deg tikai tvaika fāzē pēc to iztvaikošanas, tātad degšanas ātrumu nosaka iztvaikošanas intensitāte;
2. degšanas ātrums, degot pa brīvu virsmu, aug, palielinot degvielas temperatūru, bet nav atkarīgs no virsmas laukuma un formas;
3. degšanas zonas siltuma starojuma intensitāte pret iztvaikošanas virsmu ir atkarīga tikai no degvielas fizikāli-ķīmiskajām īpašībām un konstants lielums dotajai degvielai;
4. degšanai pa brīvu virsmu raksturīgs liels ķīmiskās nesadegšanas koeficients.

Degšana pa brīvu virsmu nav intensīvs degšanas veids un tam ir lieli zudumi, tāpēc rūpnieciski tas nav izmantojams.

4.2. Šķidrās degvielas pilienu degšana

Šķidrās degvielas pilienam aptver gaiss, kurā atrodas degvielas tvaiks, kas iztvaiko no piliena virsmas. Degot pilienam ap to noteiktā attālumā veidojas degšanas zona, kas ir plāna, jo ķīmiskās reakcijas notiek ar lielu ātrumu. Starp pilienam un degšanas zonu atrodas degvielas tvaiki un degšanas produkti, virs tās gaiss un degšanas produkti.



4.att. šķidrās degvielas piliena degšanas shēma

Degšanas zonā degvielas tvaika koncentrācijas un skābekļa koncentrācijas momentānās vērtības veidojas vienādas ar nulli, kas notiek reakcijas rezultātā.

Pilienam degot samazinās virsmas laukums un degšanas zona sašaurinās līdz pilnīgi izzūd, pilienam izdegot. Radušies degšanas produkti difundē apkārtējā gaisā, kā arī zonā starp degšanas zonu un piliena virsmu. Izdalītais siltums tiek aizvadīts apkārt esošajā vidē, kā arī nonāk uz piliena virsmas, stimulējot iztvaikošanu.

Piliena uzņemto siltuma daudzumu var izteikt:

$$Q = g \cdot [(q_{\text{izt}} + c_{\text{tv}} \cdot (T - T_k))],$$

kur: Q – piliena saņemtais siltuma daudzums;

g – īpatnējais iztvaikošanas daudzums laika vienībā no piliena virsmas;

q_{tv} – šķidrums iztvaikošanas siltums;

c_{tv} – degvielas tvaika īpatnējā siltumietilpība;
 T – tvaiku temperatūra;
 T_k – iztvaikošanas temperatūra.

Izmantojot siltumpārejas sakarības, piliena saņemto siltuma daudzumu var izteikt:

$$Q = \alpha_v (T_v - T_k),$$

kur: α_v – siltumatdeves koeficients no vides uz virsmu;
 T_v – vides temperatūra.

α_v lielā mērā atkarīgs no pilienu ietverošās vides kustības veida un ātruma.

Piliena degšanas koeficients, mm^2/s :

$$k = \frac{d_0^2 - d^2}{\tau},$$

kur: d_0 – sākotnējais piliena diametrs, mm;
 d – piliena beigu diametrs, mm;
 τ – degšanas laiks, s.

Piliena degšanas laiks ir proporcionāls degvielas blīvumam, siltumietilpībai, iztvaikošanas siltumam, siltumpārejas īpašībām, kā arī sākuma un iztvaikošanas temperatūrām.

Piemēram, benzīnam pie 800-900 °C un piliena gāzu vides aptecēšanas ātruma 1 m/s $k=1,3-1,5 \text{ mm}^2/\text{s}$, mazutam $k=1-1,3 \text{ mm}^2/\text{s}$. Šis koeficients pieaug, palielinoties vides temperatūrai, O_2 koncentrācijai, piliena apskalošanas ātrumam.

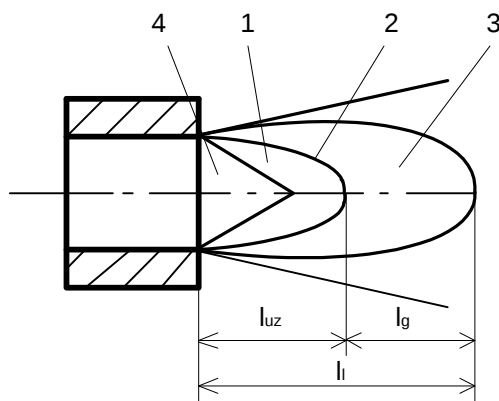
4.3. Šķidrās degvielas degšana lāpā

Tā kā šķidrās degvielas deg tikai tvaika veidā, degšanu var intensificēt, panākot intensīvu iztvaikošanu un maisījuma veidošanos. Iztvaikošanas virsmu palielina, izsmidzinot šķidro kurināmo pilienus veidā un sajaucot šo strūklu ar gaisu. To realizē izmantojot degļus ar sprauslām, caur kurām kurināmo izsmidzina gaisa plūsmā, kuru padod degšanas kamerā caur gaisa sprauslām.

Gaisā nonāk smalki sadalīts šķidrās kurināmais un veidojas neizotermiska strūkļa, kura uzsilst no degšanas produktiem. Mazie pilieni iztvaiko konvekcijas siltumapmaiņas rezultātā, kā arī tie saņem siltumu no degšanas produktiem un sakarsušajām virsmām. Liesmas izplatīšanās ātrums ir atkarīgs no degmaisījuma sastāva, koncentrācijas, temperatūras un tas maksimāls ir strūkļas ārējos slāņos, kur dūmgāzu temperatūra ir tuva dūmgāzu temperatūrai, kaut arī koncentrācija ir mazāka, jo degmaisījumu atšķaida dūmgāzes.

Degšanas procesu var iedalīt sekojošos etapos:

- 1 – izsmidzināšana;
- 2 – iztvaikošana un maisījuma veidošanās;
- 3 – maisījuma uzliesmošana un degšana.



5.att. Šķidro kurināmo degšana lāpā

- 1 - iekšējā lāpas zona;
- 2 – uzliesmošanas robeža;
- 3 – ārējā lāpas zona;
- 4 – strūkļas kodols.

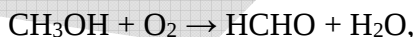
Tāpēc uzliesmošana, piemēram, mazutam sākas strūkļas sākumā pie kodola un turpinās no perifērijas dziļumā pa strūkļas šķērsgriezumu, rezultātā sasniedzot asi. Degšana pamatā notiek nelielā biezumā pie uzliesmošanas zonas robežas. Tā ieņem izstiepta konusa formu, kura pamatne ir nelielā attālumā no degļa izejas. Visos zonas punktos iestājas līdzsvars starp uzliesmošanas ātrumu un kustības ātrumu.

Uzliesmošanas zonā radušies ogļūdeņraži, kvēpi un neiztvaikojušie pilieni turpina degt galīgās sadegšanas zonā (ārējā zonā) un nosaka kopējo lāpas garumu l_l .

Uzliesmošanas robeža sadala lāpu divās zonās: iekšējā un ārējā. Iekšējā notiek iztvaikošana un degmaisījuma veidošanās. Uzsilst ogļūdeņraži, kā rezultātā pie temperatūrām 200-400 °C notiek oksidēšanās un lielmolekulāro savienojumu veidošanās.

Oksidēšanās ir vēlams process, jo izdalās noteikts siltuma daudzums, kā arī radušies savienojumi turpmākajā procesā labi sadeg.

Piemēram:



vai



(HCHO – formaldehīds)

Tālāk ar oksidēšanās produktiem notiek sekojoši procesi:

- 1 - ja nav O_2 , notiek sadalīšanās labi degošās sastāvdaļās: $\text{HCHO} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$;
- 2 – ja ir neliels daudzums O_2 , notiek daļēja sadegšana: $\text{HCHO} + 0,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$;
- 3 – ja ir pietiekoši O_2 , notiek pilnīga sadegšana: $\text{HCHO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Tātad, ja notiek iepriekšēja oksidēšanās, rodas formaldehīdi, degšanas procesā nebūs smago ogļūdeņražu un kvēpu, radušies produkti sadeg strūkļas ārējos slāņos.

Smago ogļūdeņražu veidošanās ir nevēlams process, jo tie slikti deg un rezultātā notiek nepilnīga kurināmā sadegšana.

Mazuta degšanas process norisinās savādāk nekā cietiem šķidrajiem kurināmiem. Strūkļas sākumā pie temperatūrām līdz 400 °C iztvaiko tikai daļa no pilieniem, daļa paliek šķidrā stāvoklī. Tādēļ šeit ir ļoti svarīgi stimulēt oksidēšanās reakcijas, bet jābūt termiskā sadalīšanās. To var veikt padodot gaisu tieši strūkļas kodolā. Tas veicinās oksidēšanos un pazeminās temperatūru, kas samazinās smago ogļūdeņražu veidošanos.

Mazuta degšanas procesā piedalās visas trīs kurināmā fāzes: gāzveida, šķidra cieta. Tvaiks un gāze veido degmaisījumu ar gaisu, kas deg analogi gāzu degšanai. Lielmolekulārie ogļūdeņraži veido cieta atlikumu – koksu. Cietās sastāvdaļas - kvēpi un kokss deg heterogēni kā cietais kurināmais. Sakarsušās daļiņas izraisa lāpas spīdēšanu. Šī iemeslā dēļ mazuta liesma ir spoža. Ja pietiek O_2 – cietās daļiņas normāli sadeg. Ja O_2 nepietiek – degšana notiek nepilnīgi, liesma ir ar kvēpiem.

Secinājumi:

1. labai intensīvai degšanai vajag labu izsmidzināšanu;
2. iepriekšēja gaisa un kurināmā uzsildīšana veicina gazifikāciju, kas palielina degšanas intensitāti;
3. gaiss jāpadod strūklas kodolā;
4. degļa konstrukcijai jānodrošina laba sajaukšanās it īpaši lāpas galā;
5. lāpas galā jānodrošina pietiekoša temperatūra;
6. lāpas gals nedrīkst saskarties ar zemākas temperatūras virsmām, jo tad lāpas temperatūra pazemināsies un nesadeg brīvais C un lielmolekulārie CH savienojumi.

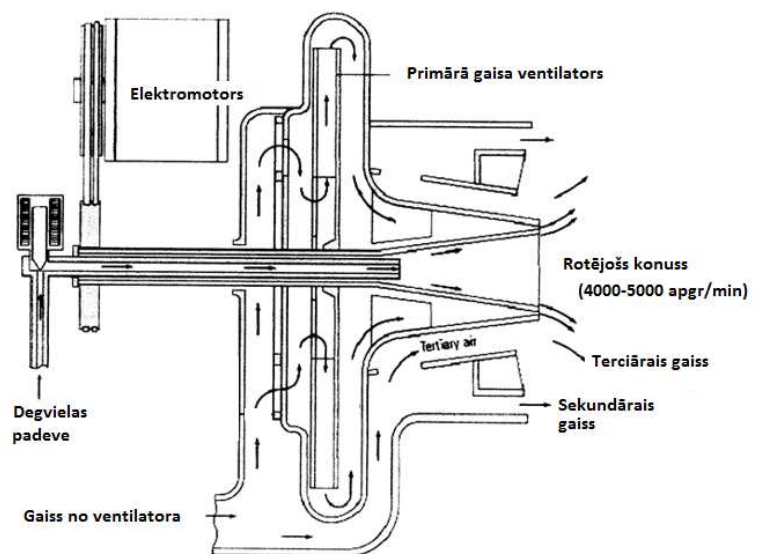
5. Šķidrā kurināmā degļi

Iedalījums:

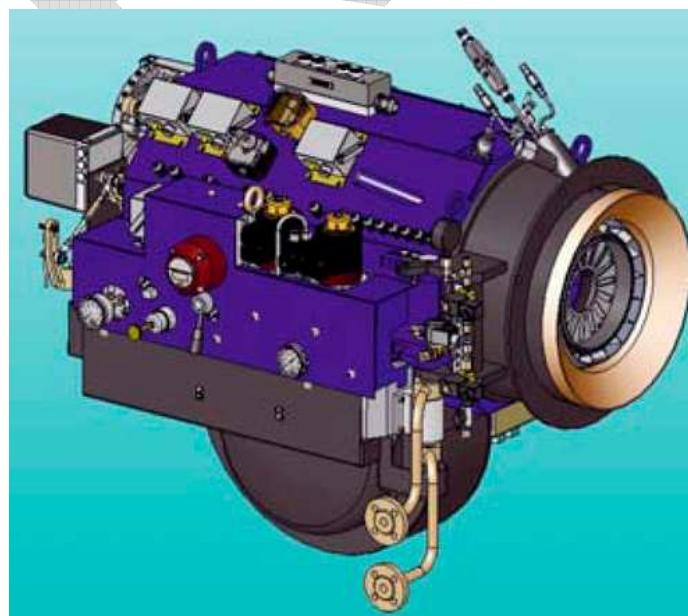
1. Rotācijas degļi,
2. Mehāniskie degļi,
3. Pneimatiskie (tvaika-mehāniskie) degļi

5.1. Rotācijas degļi šķidrajam kurināmajam.

Šķidrā kurināmā tiek padots pa urbumu vārpstā ar nelielu spiedienu 0,12-0,13 MPa. Nokļūstot uz rotējoša konusa centrālās berzes spēku dēļ, tas sadalās smalkos pilienos un tiek iesmidzināts kurtuvē, iegūstot spirālveida trajektoriju. Gaisa, ko padod primārā gaisa ventilators-kompresors, ar lielu ātrumu izplūst no degļa pa gredzenveida spraugu starp izsmidzināšanas konusu un korpusu.



6.att.rotācijas degļa uzbūve



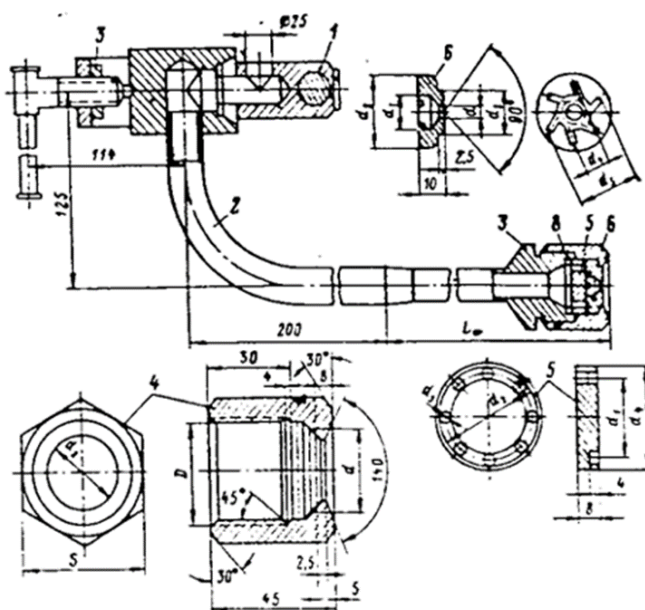
7.att. Rotācijas degļa kopskats

- Plašs ražīguma maiņas diapazons 20-100%;
- Neprasa rūpīgu degvielas attīrīšanu

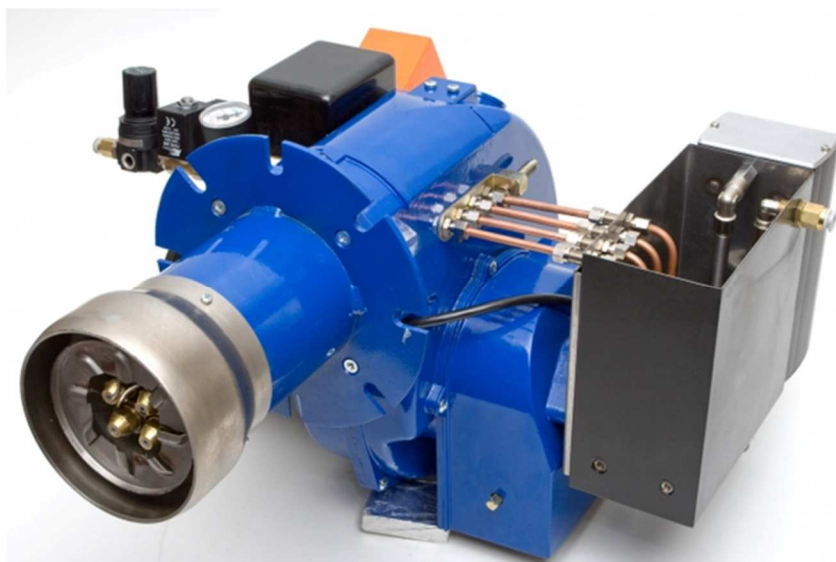
- Prasa biežāku un dārgāku apkalpošanu – kustīgas dalas un blīvējumi.

Degviela ar augstspiediena sūkni (spiediens 1-1,5MPa) tiek padota tiek padota centrālajā stobriņā un nonāk izsmidzināšanas galviņā (8.att.). Tajā atrodas sadalošais smidzināšanas diska ar urbumiem 4 savirpuļotājdiskā 6. Aksiālo un centrālās spēku dēļ šķidrās kurināmās sadalās sīkos pilienos un strūkļu veidā tiek izsmidzināts kurtuvē. Pa speciālām spraugām tiek padots gaiss parasti arī ar virpuļveida plūsmu. Degļa ražīgums ir atkarīgs no spiediena:

kur: B – ražīgums pie dotā spiediena;
 B_n – nominālais ražīgums pie nominālā spiediena;
 p – esošais padeves spiediens;
 p_n – nominālais spiediens.



8.att. Mehāniskā degļa smidzinātāja uzbūve



9.att.Mehāniskā degļa kopskats

Priekšrocības:

- Efektīva ekonomiska sadegšana,
- Mazs enerģijas patēriņš smidzināšanai (līdz 1kWh uz 1 t degvielas),
- Klusa darbība,
- Nav kustīgu detaļu.

Trūkumi:

- nepieciešams augsta spiediena degvielas sūknis,
- prasa rūpīgu degvielas attīrīšanu,
- šaurs ražīguma regulēšanas (modulēšanas) diapazons (70-100%).

Regulēšanas diapazonu ierobežo tas, ka, pazeminot spiedienu, samazinās izsmidzināšanas kvalitāte. Lai to paplašinātu, degļiem iebūvē:

- recirkulāciju – degvielu padod ar nepieciešamo spiedienu, bet daļu degvielas atgriež atpakaļ pa apvadlīniju;
- vairāklūsma sistēmu – degļi vairākas līnijas un vairākas izsmidzināšanas galviņas (9.att.).

5.2. Tvaika-mehāniskie (pneimatiskie) degļi šķidrajam kurināmajam

Pamatprincips: degvielu izsmidzina ar tvaika palīdzību. Pa centrālo cauruli ar spiedienu 0,5-2,5 MPa tiek padots tvaiks. Caurule ir doba un tās iekšpusē tiek padota degviela (uzsildīts mazuts). Tvaika strūkļa ar ļoti lielu ātrumu (līdz 1000 m/s) izplūst no sprauslas 2, raujot līdzīgu degvielu. Tālāk plūsma ieplūst difuzorā 3, kur ātrums ievērojami samazinās. Tvaika kinētiskās enerģijas dēļ degviela sadalās ļoti smalkos pilienos, bet, saduroties ar gaisu, sasmalcinās vēl sīkāk.

Priekšrocības:

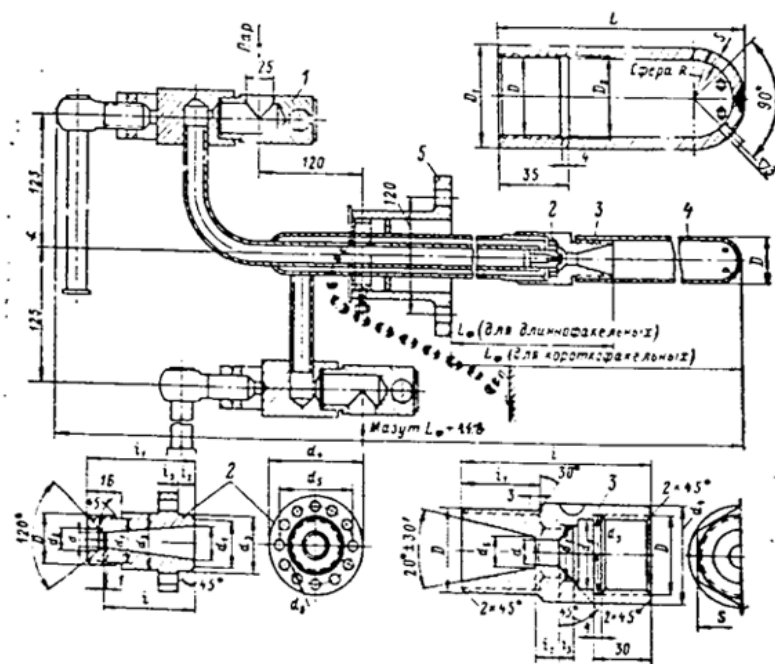
- ļoti smalki sadala degvielu,
- vienkārša konstrukcija,
- nevajag lielu spiedienu degvielai (0,2-0,5 MPa),
- neprasa ļoti smalku degvielas attīrīšanu,

- ražīguma regulēšanas diapazons plašāks nekā mehāniskajiem, bet šaurāks nekā rotācijas degļiem.

Trūkumi:

- patērē daudz tvaika (līdz 2% no iegūtā),
- trokšņainas,
- nevar darboties, kamēr nav tvaika.

Izmanto mazutam vidējas jaudas tvaika katlu iekārtās.



10.att.Tvaika-mehāniskā degļa uzbūve

6. Cietā kurināmā degšana

Cietā kurināmā sadedzināšanas metodes

Ir sekojošas cietā kurināmā sadedzināšanas metodes:

1 – kurināmo sadedzina pulverveidā (putekļveidā) :

- iepūšot kurtuvē taisnvirziena plūsmā;
- veidojot virpuļveida strūklu;

2 – kurināmā sadedzināšana slānī.

6.1. Pulverveida kurināmā sadedzināšana taisnvirziena strūklā

Izmanto tvaika katliem ar ražīgumu virs 4 kg/s (15 t/h), sadedzinot brūnogles, akmeņogles, antracītu, degakmeni un frēzkūdrus.

Kurināmo sadedzina pēc iepriekšējas žāvēšanas un samalšanas. Samaltā kurināmā pulveris kopā ar primāro gaisu tiek ievadīti caur degli kamerveida kurtuvē. Sekundāro gaisu parasti padod atsevišķi. Degšana notiek gāzu plūsmā, plūstot cauru degšanas kamerai. Līdz ar to sadegšanu ierobežo īsais kurināmā daļiņas uzturēšanās laiks degšanas zonā (1 – 2 s). Daļiņu ātrums praktiski ir vienāds ar gāzu plūsmas ātrumu. Tādējādi veidojas situācija, ka kurināmā daļiņu un gaisa plūsmas savstarpējais ātrums ir tuvu 0, līdz ar to ir samazināta gāzu apmaiņas intensitāte. To lielā mērā kompensē aktīvais virsmas laukums, kas ir atkarīgs no maluma pakāpes (jo smalkāk samalts kurināmais, jo tas ir lielāks) un molekulārā difūzija. Lai žāvētu kurināmo, uzturētu pietiekoši augstu t kurtuvē un intensificētu degšanu, pievadīto gaisu uzsilda. Mitrām brūnoglēm līdz 350-400 °C, sausām akmeņoglēm 250-300 °C.

Kurtuvēm, kam kurināmo sagatavo dzirnavās-ventilatoros, žāvēšanai izmanto degšanas produktus no kurtuves maisījumā ar karstu gaisu.

Kamerveida kurtuvēs var dedzināt pulverveida kurināmo ar augstu pelnu un mitruma saturu. Kopā ar tiem var sadedzināt arī šķidros un gāzveida kurināmos.

Šī sadedzināšanas veida priekšrocības:

- kurtuvēm maza inerce, viegli vadīt;
- labas automatizācijas iespējas;
- var strādāt ar zemām α vērtībām;
- iespēja operatīvi mainīt kurināmā padevi un reaģēt uz slodzes izmaiņām, kā arī mainīt temperatūru.

Trūkumi:

- enerģijas patēriņš kurināmā sagatavošanai;
- pelnu aizplūšana uz dūmgāzu ejām;
- vajadzīgi pelnu ķērāji degšanas produktu attīrīšanai;
- vajadzīga smalka kurināmā maluma pakāpe;
- kurtuves jutīgas pret procesa izmaiņām (kurināmā kvalitāte, tvaika patēriņš u.c.).

6.2. Pulverveida kurināmā sadedzināšana virpuļveida strūklā

Virpuļveida strūklā kurināmā daļiņas sadeg gaisa-degšanas produktu-daļiņu virpulī parasti kurtuves apakšējā daļā. Līdz ar to ir ievērojami ilgāks daļiņas atrašanās laiks kurtuvē. Salīdzinājumā ar taisnvirziena strūklu ir stabilāks degšanas process. Savirpuļošanas dēļ ir intensīva gāzu apmaiņa. Līdz ar to kurināmā daļiņas ātrāk uzsilst,

labāka gaisa pieplūde degšanas virsmi. parasti šo degšanas veidu realizē ciklonu priekškurtuvēs, kam seko t.s. dzesēšanas kamera, kurā dūmgāzes atdod siltumu siltumu uzņemošajām virsmām (ekrāncaurules, pārkarsētāji u.c.). Virpuļveida plūsmu var nodrošināt ar virpuļdegļiem vai izmantojot leņķiski novietotus taisnplūsmas degļus. Kurtuvēs ir liels gaisa padeves ātrums 150-200 m/s.

Ar šo metodi var nodrošināt labu masas un siltuma apmaiņu, kas padara to par labāko un intensīvāko cietā kurināmā sadedzināšanas metodi vidēja un liela ražīguma katlu iekārtām.

Šī sadedzināšanas veida priekšrocības:

- intensīva stabila degšana;
- var izmantot rupjāka maluma kurināmo;
- labas automatizācijas iespējas;
- var strādāt ar zemām α vērtībām;
- iespēja operatīvi mainīt kurināmā padevi un reaģēt uz slodzes izmaiņām, kā arī mainīt temperatūru.

Trūkumi:

- enerģijas patēriņš kurināmā sagatavošanai;
- centrālās spēku rezultātā dūmgāzes lielā mērā tiek attīrītas no pelniem;
- pateicoties augstajai temperatūrai paaugstināts NO_x saturs dūmgāzēs.

6.3. Cietā kurināmā sadedzināšana slānī

Maza ražīguma iekārtās ir grūti realizēt pulverveida kurināmā sadedzināšanu lāpā, jo grūti nodrošināt stabilu degšanu. Turklāt pulverveida kurināmā sagatavošanas sistēma padara komplicētāku un sarežģītāku iekārtu kopumu. Tāpēc maza ražīguma tvaika katlu iekārtās un ūdens sildkatlos izmanto kurināmā sadedzināšanu slānī. Slāņa veidi var būt dažādi, gan blīvais filtrējošais, gan pseido verdošais slānis.

Degšanu organizē kurināmā gabaliem atrodoties slānī uz ārdiem kurtuvē. Gaisa degšanai tiek padots parasti zem ārdiem un, plūstot cauri slānim, nonāk degšanas zonā. Degšana norisinās salīdzinoši biežā slāņa kārtā. Gaisu var padot arī savādākā veidā. Degšana norisinās difūzi. Tādēļ degšanas ātrumu lielā mērā nosaka gaisa padeves ātrums. Tādējādi degšanu var intensificēt forsējot gaisa padevi. To ierobežo slāņa aerodinamiskās īpašības. Šādam slānim piemērots kurināmā daļiņu izmērs ir 20-30 mm, kas nodrošina pietiekoši intensīvu degšanu. Šādam izmēram atbilst t.s. riekstu ogles. Kopumā šī veida degšanas intensitāte ir nepietiekoša lielas jaudas kurtuvēm, tāpēc to izmanto nelielas un vidējas jaudas iekārtās.

Lai uzlabotu daļiņu apskalošanu ar gaisu izveido pseidoverdošā (*fluidized bed*) slāņa kurtuves, kur gaisu padod zem kurināmā slāņa ar pietiekoši lielu ātrumu, paceļot kurināmā daļiņas vienu no otras atstatus. Tādējādi tām piekļūst gaiss un notiek degšana pa visu to virsmu un degošā slāņa biezums ievērojami palielinās, pieaug degšanas intensitāte.

Slāņveida kurtuvēs ir liela kurināmā rezerve, kas piedalās degšanā, tādēļ nav iespējams operatīvi apturēt to darbību.

Šī sadedzināšanas veida priekšrocības:

- stabila degšana;
- kurtuvēm liela inerce, tādēļ tās mazāk jutīgas pret procesa izmaiņām;
- mazāk pelnu plūst ar dūmgāzēm.

Trūkumi:

- kurtuvēm liela inerce, tādēļ nevar operatīvi mainīt darbības režīmus;
- degšanas intensitāte daudz zemāka nekā dedzinot pulverveida kurināmo gāzu plūsmā;
- kurtuvēm lielāki izmēri, nepieciešami ārdi un pelnu aizvākšanas sistēma;
- sarežģītākas pilnīgas automatizācijas iespējas.

6.4. Cietā kurināmā degšanas procesi

6.4.1. Fizikālie procesi

Cietā kurināmā sadegšanas procesam kopumā ir 4 stadijas:

1. uzsilšana;
2. žūšana;
3. gaistošo savienojumu un koksa veidošanās;
4. gaistošo savienojumu un koksa degšanas reakcijas.

Procesa kopumā noteicošā stadija ir koksa, t.i. cietā oglekļa, degšana, kuras intensitāte nosaka kopējo kurināma degšanas intensitāti un gaistošo savienojumu veidošanos. Jo:

1. cietais ogleklis ir lielākā degošā sastāvdaļa cietajā kurināmā un tā sadegšanas siltums sastāda 40 - 95 % no kopējā;
 2. koksa degšana aizņem līdz 90% no kopējā degšanas laika;
- Koksa degšana nosaka apstākļus pārējo sastāvdaļu degšanai.

Pulverveida kurināmo degšana notiek degšanas kamerā ar salīdzinoši lielu gaisa pārpilnības koeficientu α .

Degšanas pamatā ir elementa ķīmiskā reakcija ar pievadītajā gaisā esošo skābekli. Reakcijas norisinās ļoti īsā laika periodā: 1-2 s.

Fizikālie procesi, kas to nosaka:

1. gāzu un cieto disperso daļiņu plūsma degšanas kamerā, kas pāriet plūsmā ar virpuļu attīstību ierobežotās telpas daļās;
2. sākuma sastāvdaļu un reakcijas produktu turbulentā un molekulārā difūzija, kā arī konvektīvā pārnese gāzu plūsmā un gāzveida reaģentu pārnese uz dispersajām daļiņām;
3. siltumapmaiņa starp gāzu plūsmām, kā arī siltumpārnese, kas rodas reakcijas rezultātā;
4. radiācijas siltumapmaiņa ar ekrānvirsmām;
5. daļiņu sasilšana, gaistošo savienojumu rašanās, to degšana.

6.4.2. Heterogēnās degšanas teorija

Cietie kurināmie deg heterogēni. Degšanai ir divas stadijas:

1. skābekļa piekļuve degšanas zonai;
2. ķīmiskā reakcija degšanas zonā.

Degšanas ātrums ir proporcionāls skābekļa koncentrācijai.

Tātad degšanas ātrumu nosaka divi procesi:

1. skābekļa pievadīšanas ātrums;
2. ķīmiskās reakcijas ātrums.

Divu stadiju mijiedarbības rezultātā iestājas līdzsvars starp pienākošo un izmantoto skābekli pie noteiktas koncentrācijas uz virsmas.

Degšanas procesu var iedalīt trīs zonās pēc galvenā ātrumu noteicošā faktora:

1. kinētiskā degšana;
2. pārejas zona;
3. difūzā degšana.

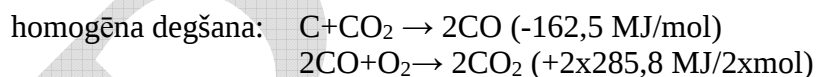
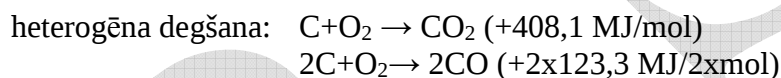
1. Kinētiskās degšanas zonā degšanas ātrumu pamatā nosaka temperatūra. Reakcijas ātrums pie nelielām temperatūrām salīdzinoši nav liels, un skābekļa piekļuves ātrums ir pietiekams un tas paspēj pilnībā izsekot reakcijas ātruma pieaugumam. Tādēļ ātrums strauji pieaug paaugstinoties temperatūrai.

2. Pie noteiktas temperatūras ķīmiskās reakcijas ātrums kļūst salīdzināms ar skābekļa piekļuves ātrumu. Tad degšanas ātrums kļūst atkarīgs gan no temperatūras, gan skābekļa piekļuves ātruma. Šī ir pārejas zona.

3. Vēl vairāk pieaugot temperatūrai, reakcijas ātrums kļūst ļoti liels un process pāriet difūzās degšanas zonā. Tas kļūst praktiski neatkarīgs no temperatūras. Difūzijas ceļā pienākošais skābeklis viss ļoti ātri izreaģē un tā momentānā koncentrācija uz degšanas zonas virsmas kļūst vienāda ar nulli. Tātad šeit galveno lomu spēlē skābekļa piekļuves ātrums.

Šajā zonā galvenie degšanas ātrumu noteicošie faktori kļūst gāzu plūsmu ātrumi un kurināmā daļiņu izmēri.

Degšanas reakcijas:



6.4.3. Oglekļa daļiņas iekšējā degšana

Cietajām daļiņām apvalkā ir poras un kanāli, kas veido iekšējo virsmu. Tā sastāda ievērojamu lielumu: 57 - 500 cm²/cm³ (mazākais kokoglēm, lielākais akmeņoglēm)..

Caur porām skābeklis iekļūst daļiņas iekšpusē un tur norisinās degšanas reakcija, jeb iekšēja degšana. Iekļūšanas dziļums:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{2D_i}{kS_i}},$$

kur: D_i – iekšējās difūzijas koeficients;
 k – reakcijas ātruma koeficients;
 S_i – iekšējās virsmas laukums.

Tātad, jo lielāka difūzija, un mazāka reakcijas ātruma konstante, Jo dziļāk jo dziļāk skābeklis iekļūst daļiņas iekšienē un vairāk masas piedalās reakcijā. Skābekļa patēriņš:

$$q = \alpha * C_s,$$

kur: C_s – skābekļa koncentrācija uz virsmas;
 α – gāzu apmaiņas koeficients.

Notiek heterogēna reakcija.

Summārais skābekļa patēriņš uz iekšējās un ārējās virsmas:

$$Q = (S_a + S_i * V) * k * C_s = (4 * \pi * r^2 + S_i * \frac{4}{3} \pi * r^3) * k * C_s,$$

kur: Q - skābekļa daudzums, ko patērē uz iekšējās un ārējās virsmas laika vienībā, (kg/s)*10⁻⁴;

V - daļiņas tilpums, cm³;

k - oksidēšanās reakcijas ātrums, m/s;

S_i - iekšējās virsmas īpatnējais laukums, cm²/cm³;

S_a - ārējās virsmas laukums, cm²;

C_s - skābekļa koncentrācija uz ārējās virsmas, kg/m³;

r - kurināmā daļiņas rādiuss, cm.

6.5. Putekļveida kurināmo degšanas procesi

Sadedzinot cieta putekļveida kurināmo, to padod degšanas kamerā kopā ar gaisu. Lai būtu intensīvāka uzliesmošana gaisu padod tā, ka skābeklis reakcijā nonāk pakāpeniski, sadalot gaisu primārajā un sekundārajā. Primāro padod caur degli kopā ar kurināmā plūsmu, sekundāro atsevišķi pa atsevišķu degļa sprauslu vai arī speciālu sprauslu.

Analizējot degšanas procesu, jāievērtē sekojoši faktori:

1. tieša ķīmiska reakcija notiek pēc strūklas sajaukšanās ar degšanas produktiem;
2. reaģējošais maisījums veidojas turbulentās putekļu - gāzu – gaisa plūsmā, kas izplatās degšanas produktu vidē (putekļu koncentrācija plūsmā ir atkarīga no sajaukšanās intensitātes, gaisa daudzuma un sadalījuma un sekundārā gaisa padeves veida);
3. putekļi ir polidisversi (dažāda izmēra daļiņas), un dažādu lielumu daļiņas reaģē ar dažādu intensitāti, notiek savstarpēja mijiedarbība.

6.5.1. Sīko daļiņu degšana

Intensīvas siltumatdeves dēļ tās uzsilst lēni. Uzlabot uzsilšanu un reaģēšanu var palielinot recirkulācijas pakāpi un sajaukšanos ar karstiem degšanas produktiem.

Gāzu vidēs ar maziem un vidējiem α sīkās daļiņas ar lielu īpatnējo reakcijas virsmas laukumu reaģē intensīvāk. Izdalītais siltums tiek intensīvi atdots gāzu videi. Vides temperatūra strauji pieaug, līdz ar to ir neliela temperatūru starpība starp daļiņu virsmu un gāzu vidi. Augsta vides temperatūra sekmē ātru uzliesmošanu un sīkās daļiņas, ja ir pietiekoši intensīva masas apmaiņa, strauji sadeg kinētiskajā vai pārejas zonā pie augstām temperatūrām.

Tātad: samazinot α , gāzu vides temperatūra pieaug, sīko daļiņu degšana intensificējas, un otrādi.

6.5.2. Rupjo daļiņu degšana

Rupjajām daļiņām pie nelielām temperatūrām notiek kinētiskās degšana, kur reakcijas ātrums ir mazāks, nekā pie difūzās degšanas. Līdz ar to samazinās arī īpatnējā degšanas

virsmā, kā rezultātā gāzu vidē uzsilst mazāk nekā pie sīkām daļiņām. Savukārt, pie sliktākas siltumapmaiņas izdalītā siltuma pārnese notiek pie lielākām temperatūru starpībām, tādēļ rupju daļiņu degšanai ir salīdzinoši augsta temperatūra, bet uzliesmošanas un sadegšanas laiks daudz ilgāks nekā sīkajām.

Pie lieliem gaisa pārpilnības koeficientiem α gāzu vidē uzsilst mazāk, bet palielinās O_2 koncentrācija un degšana nedaudz intensificējas. Rupjās daļiņas deg daudz intensīvāk kā smalkās.

Reaģējot rupjām daļiņām ar mazu īpatnējo virsmas laukumu, gāzu vides temperatūra pieaug lēni, kas paildzina uzliesmošanas periodu.

Bet, tā kā ir mazāk intensīva siltumapmaiņa, tā notiek pie lielākām temperatūru starpībām, un uz kurināmā daļiņu virsmām temperatūra ir augsta. Vidē ar vidējiem α , ja daļiņas ir ar salīdzinoši augstu temperatūru, kas ir ievērojami lielāka par gāzu vides temperatūru, rupjo degšana notiek difūzi, ātrums ir nedaudz zemāks nekā sīkajām, kuras šādos apstākļos deg kinētiski.

Pie lieliem α lielo daļiņu degšana nedaudz intensificējas, sīko jūtami palēninās.

6.5.3. Puteklveida kurināmo degšanas intensifikācijas nosacījumi

1. Jānodrošina kurināmā mehāniskā un termiskā sagatavošana līdz nepieciešamajiem parametriem (t , mitrums, smalkums u.c.).
2. degšanas tehnoloģiskajai shēmai jānodrošina optimālie skābekļa un temperatūras režīmi degšanas zonā, atbrīvojot to no zemas t žāvēšanas aģenta.
3. Jāorganizē stabila aizdegšanās, primārā uzliesmošana putekļu - gaisa strūklā, intensificējot degšanas reakcijas, samazinot reaģējošās masas.
 - Ķīmiskās reakcijas var intensificēt ar iepriekšēju gaisa, putekļu – gaisa maisījuma uzsildi, paaugstinot kurināmā koncentrāciju primārā strūklā.
 - Siltumaizvadīšanu var samazināt izveidojot strūklas struktūru ar maziem ātrumiem strūklas sākumā un maziem šķērsriezuma gradientiem.
 - Reaģējošo masu var samazināt samazinot α un recirkulāciju līdz optimumam.
4. Veicinot liesmas izplatīšanos visā šķērsgriezumā.
5. Nodrošinot paaugstinātu temperatūru strūklas kodolā, t.i. savlaicīgi pievadot gaisu.
6. Intensificējot koksa sadegšanu ar sekundāru strūklas savirpuļošanu, paildzinot daļiņu uzturēšanos kurtuvē.
7. Nodrošinot kurtuves darbību ar min izdedžu daudzumu pie pareizas aerodinamikas un temperatūras režīma. Izdedžu nosēdumus var novērst uzturot augstu temperatūru lāpas oksidēšanās daļā un vidējas t (800-900 °C) pie konvektīvajām virsmām.

7. Ogļu dzirnavas

7.1. Malšanas principi un tehnoloģijas

Samalšanas pakāpe, gaisa plūsma un žāvēšanas kapacitāte ir būtiski faktori izvēloties ogļu dzirnavas.

Vienmēr nepieciešams ievērtēt iespējas kurināmā nomaiņai.

Ogles tiek samaltas sekojošos trīs veidos:

- sadauzītas ar krītošām lodēm rotējošos cilindros (ložu dzirnavas, *ball mill*);
- saspīestas starp veltņiem un rotējošu pamatni (veltņu dzirnavas, *vertical spindle mill*);
- sadauzītas ar ātri rotējošiem elementiem (veseru dzirnavas, *high speed mills*).

Dzirnavu salīdzinājums dots 1. tabulā:

1.tabula

Ogļu dzirnavu galvenie parametri

	Ložu dzirnavas	Veltņu dzirnavas	Veseru dzirnavas
Žāvēšana	Kamerā pirms malšanas	Gaisa plūsmā pēc malšanas	Malšanas kamerā
Žāvēšanas efektivitāte	10-14 % max	20-25 % max	8-12 % max
Max temperatūra ieejā, °C	250-300	300-400	Līdz 510
Derīgas tiešai padevei uz degli	Ierobežoti	Der	Der
Derīgas sistēmai ar starptvertni	Der	Der	Der, bet reti lieto
Nodilšana	Zema	Vidēja	Augsta
Jaudas patēriņš, kWh/t			
Ar starptvertni	35-55		
Tieši	20-30	18-25	16-20

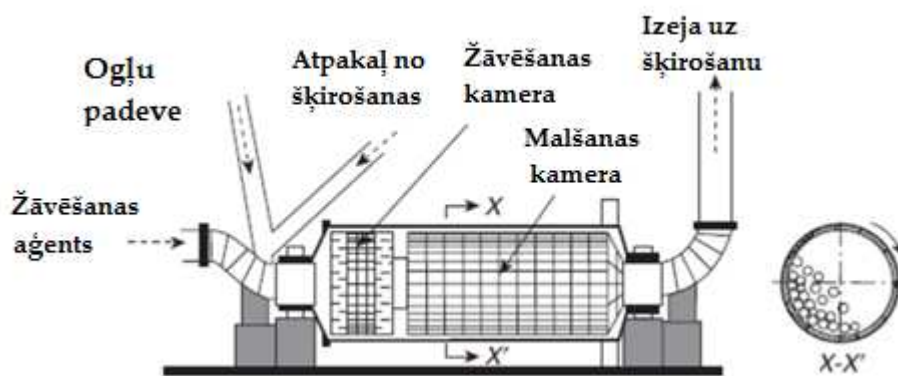
7.2.Ložu dzirnavas (*ball mills*)

Ložu dzirnavām ir vienkārša uzbūve un tās ir īpaši piemērotas cietām un abrazīvām oglēm, bet tām ir mazāk efektīva žāvēšana un lielāks enerģijas patēriņš.

Dzirnavu uzbūve parādīta 11. attēlā. Izejmateriāls tiek padots caur barošanas atveri rotējošā cilindrā. Ir būtiski, lai ogles šeit neizveido nosprostojumu, jo karstais gaiss tās žāvē un veidojas aizdegšanās risks. Lai gan svaigām oglēm tas praktiski ir neliels, bīstami tas ir līdz galam nesamaltajām oglēm, kas tiek sausā veidā atgrieztas pārmalšanai. To aizdegšanās var novest pie eksplozijas. Ja notiek nosprostošanās, nekavējoties tiek pārtraukta gaisa padeve un dzirnavas piepilda ar CO₂ vai N₂. Šī iemesla dēļ kā žāvēšanas agentu bieži izmanto gaisa un dūmgāzu maisījumu, kam ir maza O₂ koncentrācija. Oglēm ar lielu mitrumu, t.i. virs 10%, ierīko atsevišķu žāvēšanas kameru pirms malšanas.

Ogles tiek paceltas kopā ar tērauda lodēm un, krītot lejup, ogles tiek samaltas. Lielākās lodes (75–100 mm) sasmalcina ogles, mazākās (25-75 mm) tās samal. Samaltās ogles tiek transportētas uz šķirošanas sistēmu, kas lielākās nesamaltās ogles atgriež uz vēlreizēju samalšanu.

Žāvēšanas kapacitāti ietekmē limitētā temperatūra (250-300 °C). Tādējādi ogļu mitrums, padodot dzirnavās, ir limitēts, ne lielāks par apt.12%.



11.att. Ogļu dzirnavas ar lodēm (ložu dzirnavas)

Gaisa plūsmas intensitāte ir 1,5-2,5 kg uz 1 kg ogļu.

Dzirnavu korpuss ir ar diametru 1,5-4m, garums var būt 2,5-20 m. Aizpildījums ar lodēm 15-30%. Rotācijas ātrums 15-100 min⁻¹. Žāvēšanas aģenta ātrums 1-3,5 m/s. Darba gaitā nodilst 0,2-0,8 kg ložu svara uz 1 t ogļu. Līdz ar to pēc 2500-3000 darba stundām tās jāmaina.

Darbība skaļa, korpusu klāj siltuma un skaņas izolācija.

Piemērotas:

- ļoti cietām abrazīvām oglēm;
- oglēm ar mazu gaistošo savienojumu daudzumu (vajag smalku malumu);
- oglēm ar lielu S un A (pelnu) saturu, kas citur izraisa palielinātu nodilumu.

7.3.Veltņu dzirnavas (*vertical spindle mills*)

Veltņu dzirnavas nodrošina efektīvāku žāvēšanu, jo tajās iespējams uzturēt līdz 400 °C temperatūru ar gaisa plūsmu līdz 3,5 kg uz 1 kg ogļu.

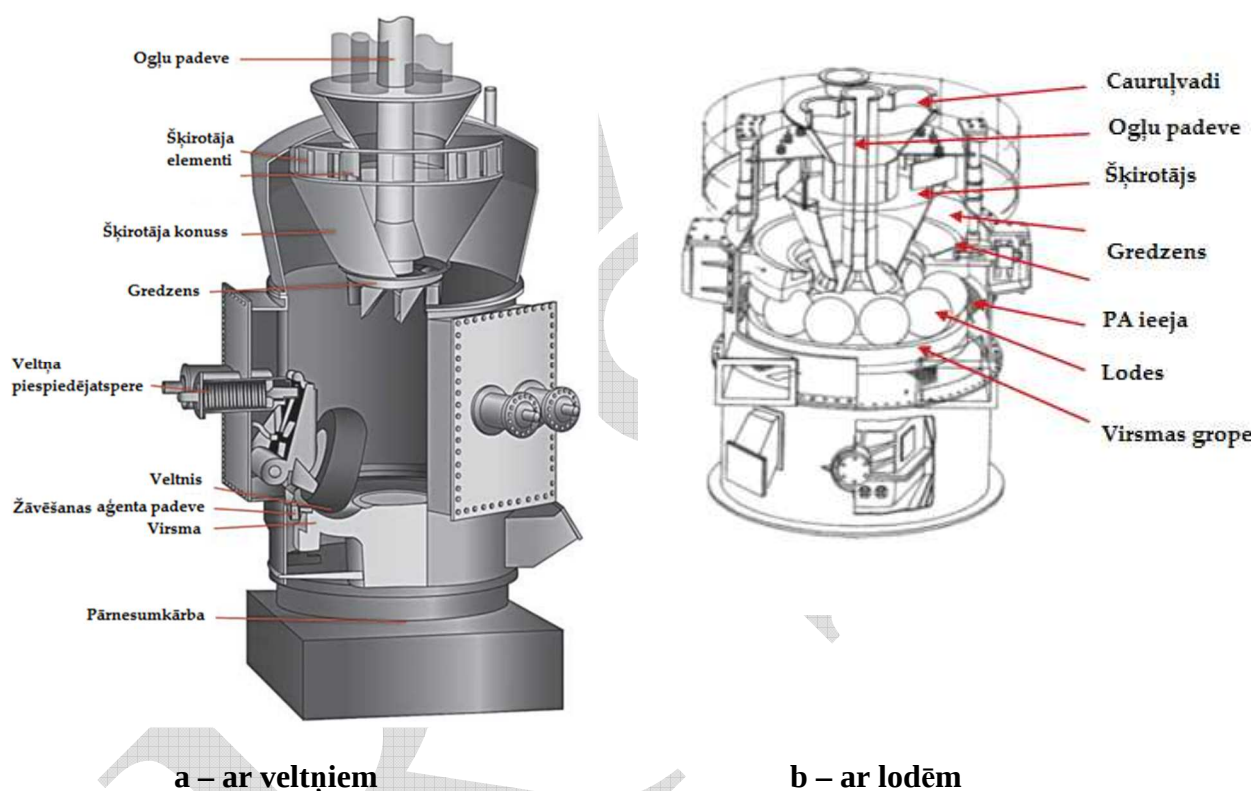
Dažām veltņu dzirnavām ir mazāka gaisa plūsma (līdz 1,8 kg uz 1 kg ogļu), tās ir piemērotas tiešai pievadīšanai rotācijas kurtuvēs.

Vertikālās veltņu dzirnavas ir ar ievērojami sarežģītāku uzbūvi kā ložu dzirnavas. Tām ir dažādas konstrukcijas, kas ietekmē nodilšanu un apkalpošanas izmaksas.

Ir divu pamatveidu veltņu dzirnavas (12.att.): ar veltņiem un ar lodēm.

Veltņu dzirnavās ir 3 vai 4 veltņi, kas ar atsperi, pneimocilindru vai hidrocilindru tiek spiesti pie rotējošas plāksnes jeb galda.

Dzirnavās ar lodēm ir daudzas liela diametra tērauda lodes, kas atrodas starp diviem malšanas gredzeniem. Malšanas virsma jeb galds (apakšējais gredzens) ir stiprināts ar aptveri, ko piedzen vertikāla vārpsta. Ogles nonāk uz rotējošās aptveres un centrālās spēku ietekmē nonāk malšanas zonā starp lodēm un gredzeniem. Samaltās ogles aizvada karsta gaisa plūsma. Lielākās daļiņas nokrīt atpakaļ malšanas zonā, pārējās tiek šķīrotas un lielākās tiek atgrieztas otrreizējai samalšanai. Cietie piemaisījumi sakrājas ap gredzenu un nonāk atlieku krātuvē, kas regulāri jāiztīra.



12.att. Veltņu dzirnavas

Veltņi noliektas 6000-10 000 darba stundās.

Piemērotas: mīkstām sausām akmeņoglēm.

Neder ogle ar lielu S un pelnu saturu.

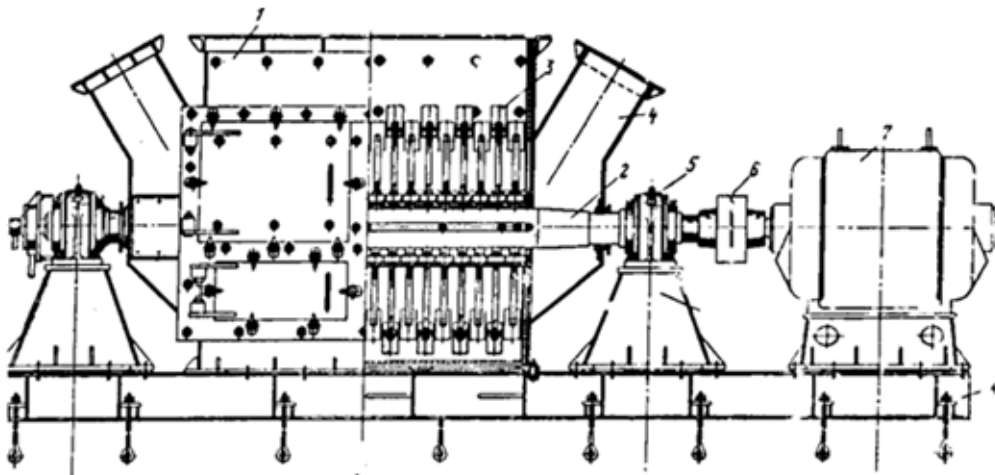
Dzirnavas kompaktas, darbojas klusāk par ložu dzirnavām, bet sarežģīts remonts.

7.4.Veseru dzirnavas (*high speed hammer mills*)

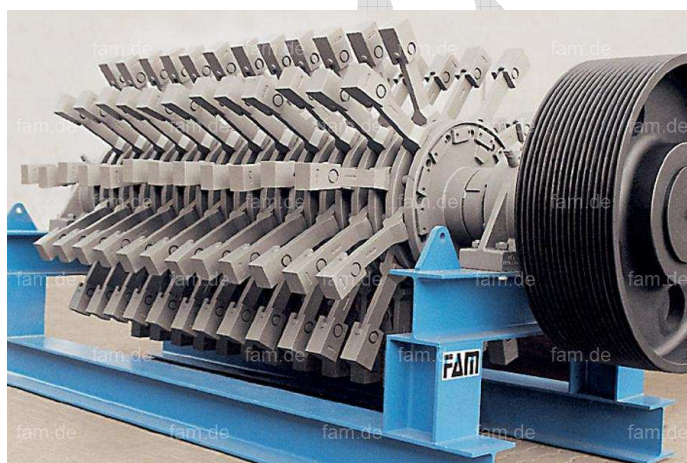
Veseru dzirnavās ogles tiek samaltas starp virsmu un rotējošiem veserīšiem (13.att.).

Ātrgaitas veseru dzirnavās vārpsta ar veserīšiem rotē ar ātrumu 600-1700 min⁻¹. Uz vārpstas atrodas turētāji, kam galos atrodas vai nu nekustīgi, vai šarnīros iekārti veserīši (14.att.).

Iekārtos veserīšu gadījumā, centrālās spēku ietekmē tie nostājas taisni un smalcina ogles starp sienīņu un veserīti. Ja gadās cietāks gabals, veserītis šarnīrā var pagriezties. Tas pasargā to no salaušanas.



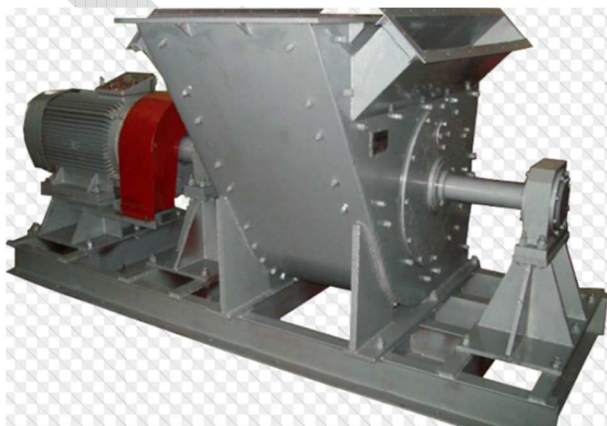
13. att. Vesperu dzirnavu uzbūve



14.att. Vesperu dzirnavu rotors

Žāvēšanas aģenta temperatūra var būt augsta, taču žāvēšanas spēju ierobežo palielinātā siltumapmaiņa un gaisa plūsmas ierobežojums.

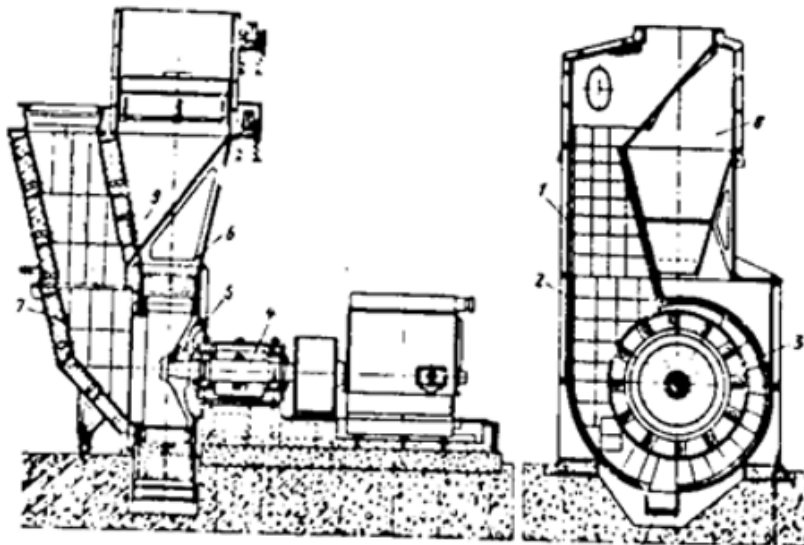
Dzirnavu elementi ātri nolietojas (apm. 3000 darba stundās), it īpaši, ja ogles satur abrazīvas vai cietas sastāvdaļas. Dzirnavām ar nekustīgi stiprinātiem veserīšiem, tie jāmaina pat jau pēc trīs mēnešiem, ja dzirnavas tiek intensīvi lietotas.



15.att. Vesperu dzirnavas

Vesperu dzirnavas ir piemērotas mīkstām akmeņoglēm. Tām ir mazs individuālais ražīgums, maksimāli līdz 5-10 t/h. Taču tās ir ievērojami lētākas par pārējām.

Veseru dzirnavu paveids ir dzirnavas-ventilatori (16.att.). Šajā gadījumā ogles tiek padotas rotora centrā. Uz veserīšu turētājiem atrodas ventilatora lāpstiņas. Gaisa plūsmas un centrālās rotācijas spēku dēļ ogles nonāk starp sienām un veserīšiem, kur tiek samaltas.



16.att. Dzirnavas – ventilatori

8. Izdedžu nosēdumu veidošanās process, to samazināšana

8.1. Veidošanās process un nosacījumi.

Cietie kurināmie satur pelnus, kas nosēžas uz virsmām smalku daļiņu veidā, uzkrājot nosēdumu slāni. Pie pulverveida jeb putekļveida kurināmo degšanas temperatūra liesmas lāpas kodolā sasniedz 1550-1700⁰C. Tas pārsniedz temperatūru, pie kuras pelni paliek mīksti un sāk kust. Līdz ar to pelnu daļiņas daļēji vai pilnīgi izkūst un pieņem sfērisku formu, daļēji arī gazificējas.

Kušanas temperatūra ir atkarīga no pelnu sastāva: SiO₂ un Al₂O₃ to paaugstina, Fe oksīdi, Ca un Mg oksīdi, kā arī citi sārmu metālu oksīdi pazemina.

Kurtuvē notiek daļiņu separācija: piem., izdedžos paliek SiO₂ un Al₂O₃, pārējos lielu daļu nes dūmgāzes.

Pie kurtuves izejas gāzu videi jāatdziest līdz pelnu sacietēšanas temperatūrai t.i. 1000-1100⁰C. Kurtuvēs ar cieto izdedžu izvadīšanu šajā slānī daļiņas sacietē virsmu tuvumā. Daļa nokrīt uz savācējvertni, daļu nes dūmgāzes. Ja pelnu daļiņas nepaspēj sacietēt, tās pilienu veidā nosēžas uz virsmām šķidrā vai mīkstā stāvoklī un pielīp pie tām, veidojot nosēdumus.

Cits nosēdumu veidošanās ceļš: uz caurulēm nosēžas lidojošie pelni, pasliktinās siltuma atdeve uz cauruli, pieaug temperatūra virsējā nosēdumu slānī, un tas sāk kust, pielīpot virsmai. Sākotnēji nosēdumi ir neblīvi un viegli mehāniski notīrāmi, tad paliek arvien blīvāki.

Pie nepietiekošas kurtuves sienu ekranēšanas nosēdumi pielīp arī pie ārējās kārtas (piem., apmūrējuma), pie slīpajām virsmām veidojas uzkrājumi.

Galvenie uzkrāšanās punkti:

- slikti ekranētas virsmas,
- ekrāncauruļu sazarojumi,
- pāreja uz horizontālo gāzu eju,
- nepietiekoši slīpas ārējās virsmas,...

Ja liesma sasniedz virsmas, tajā esošās izkusušās daļiņas sasniedz virsmu un veido biezu nosēdumu kārtu. Izveidojoties biezai kārtai, iespējams, ka smaguma spēka iedarbībā kāds gabals var arī atlūzt un nokrist.

8.2. Izdedžu nosēdumu samazināšana

Jāpanāk, lai pelni sacietētu (granulētos) jau gāzu plūsmā. Tātad jāsamazina temperatūra intensīvas nosēdumu veidošanās potenciālajā zonā.

Metodes daļa 2 grupās:

1. pazemināt temperatūru, ievadot kurtuvē siltumuzņemošu vidi;
2. organizēt degšanu zemas temperatūras lāpā.

1. grupas metodes:

- **Ievadīt kurtuvē daļu no izmantotā kurināmā žāvēšanas aģenta**

Tajā esošie ūdens tvaiki pazeminās temperatūru kurtuves apakšējā daļā. Tur nosēdumi samazināsies, bet vairāk kurināmā sadegs augšējā daļā un var palielināt nosēdumus tajā.

- **Palielināt dūmgāzu recirkulāciju.**

Pazemina t visā kurtuvē, bet degšanas process palēninās.

- **Paaugstināt gaisa pārpalikuma koeficientu.**

No vienas puses, lielāks vēsākā gaisa daudzums pazemina temperatūru kurtuvē un degšanas zonā, no otras puses līdz noteiktai robežai uzlabojas degšanas

intensitātē vairāk esošā skābekļa dēļ. Bet palielinās siltuma zudumu, kas aiziet atmosfērā ar dūmgāzēs esošo neizmantoto gaisu.

- **Organizēt lokālu gaisa padevi atsevišķās zonās.**

Labs paņēmieni, degšana notiek pa atsevišķām zonām, kurās temperatūra ir zemāka. Uzlabo arī sadegšanu. Var pagarināt lāpu, kas ne vienmēr ir pieļaujams.

2. grupas metodes:

- **organizēt degšanu vairākās lāpās ar vāju mijiedarbību.**
Mazāk intensīva degšana, vienmērīgāks siltuma sadalījums, zemākas temperatūras degšanas zonās.
- **organizēt degšanu virpuļveida plūsmā ar paaugstinātu recirkulāciju.**
Samazinās izdedžu slānis apakšējā daļā, bet var palielināties augšējā.
- **uzlabot siltumatdevi kurtuves apakšējā daļā.**

Tas samazina dūmgāzu temperatūru ceļoties uz augšu.

Papildus tam var palielināt kurināmā daļu, kas sadeg tieši lāpas kodolā, tādējādi samazinot lāpas garumu, neļaujot tai sasniegt virsmas.

8.3. Kurtuves ar šķidro pelnu izvākšanu

Pie nepietiekošas sieniņu atdzišanas cietās daļiņas, nosēžoties uz tām, kļūst mīkstas. Ja šķidrie pelni nepaspēj granulēties, tad arī uzkrājas uz šīm virsmām un var daļēji notecēt, ja slīpums pietiekošs. Saskaroties šķidriem pelniem ar vēsām virsmām, tie sacietē un veido nosēdumu. Temperatūru pazemināšana gāzu vidē samazina nosēdumu veidošanos, bet arī izraisa degšanas intensitātes samazināšanos. Lai saglabātu degšanas intensitāti un, vienlaicīgi, samazinātu izdedžu un pelnu nosēdumu veidošanos un uzkrāšanos, ir izveidotas kurtuves ar šķidro pelnu izvākšanu.

Šim nolūkam kurtuvē uztur augstu temperatūru, bet apakšējā daļā izveido slīpas virsmas, kas pārklātas ar karstumizturīgu materiālu. Pa to izkusušie pelni notek uz atveri, pa kuru nonāk izvākšanas sistēmā. Tai jānodrošina, lai kurtuvē neieplūst liesks gaiss, kas pazeminātu temperatūru.

Ieguvumi:

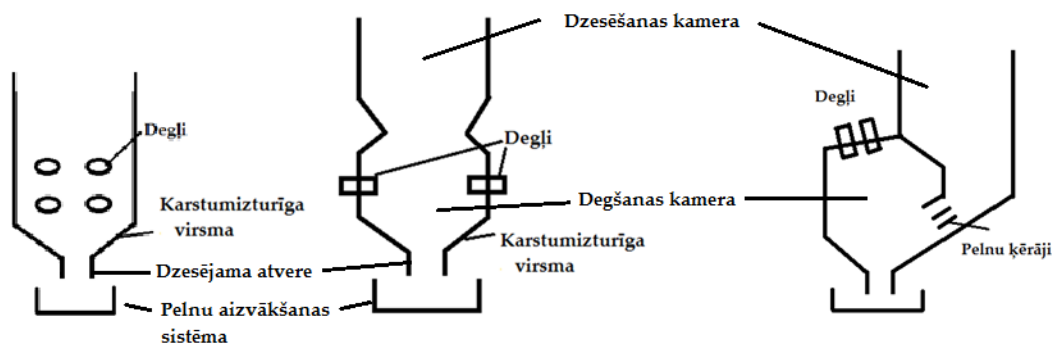
- augsta degšanas intensitāte;
- augsts lietderības koeficients;
- var strādāt ar zemākiem gaisa pārpalikuma koeficientiem α ;
- mazi mehāniskās nesadegšanas zudumi;
- stabila degšana;
- pelni ir blīvāki, aizņem mazāku tilpumu.

Trūkumi:

- stabila darbība ierobežotā jaudas diapazonā;
- palielināts N izmešu daudzums;
- lielāki siltuma zudumi ar pelniem.

Kurtuvju veidi:

1. vienkameras kurtuves,
2. kurtuves ar sašaurinājumu,
3. divkameru kurtuves.



1 - vienkameras kurtuves

2 - kurtuves ar sašaurinājumu

3 – divkameru kurtuves

17.att. Kurtuves ar šķidru pelnu izvākšanu

Vienkameras kurtuves

Degļus novieto zemū, bieži, pretējās sienās vai stūros. Slīpo virsmu noklāj ar karstumizturīgu keramikas pārklājumu. Atvere pelnu izvadišanai ir dzesējama. Pelni iztek ar ūdeni dzesējamā vannā.

Trūkums – normāli strādā šaurā diapazonā tuvu nominālajai jaudai, jo pie mazām jaudām nevar nodrošināt pietiekošu temperatūru, lai pelni kust.

Kurtuves ar sašaurinājumu

Degšanas kameru ir salīdzinoši neliela, tajā ir augsta temperatūra (1600-1800 °C). Tas nodrošina stablu uzliesmošanu un pilnīgu sadegšanu līdz 95%.

Dzesēšanas kamera ir pilnībā ekranēta ar ekrāncaurulēm, tajā tiek uzņemts siltums no gāzveida vides, kā arī notiek kurināmā galīgā sadegšana (atlikušie 5%). Ja tajā nonāk pelni, tie atdziest līdz sacietēšanas temperatūrai.

Kurtuves labi strādā arī pie zemākas jaudas.

Divkameru kurtuves

Pelnu uztveršanas iekārta jeb “pelnu ķērāji” sastāv no rēdžotām caurulēm ar īpašu virsmu. Cauri tiem dūmgāzes iet uz dzesēšanas kameru.

Kurtuves labi strādā arī pie zemākas jaudas.

Ir iespējamās arī citas konfigurācijas un izveidojuma kurtuves, kurās realizēti šeit pieminēto trīs veidu kurtuvju ar šķidro pelnu izvākšanu galvenie principi.