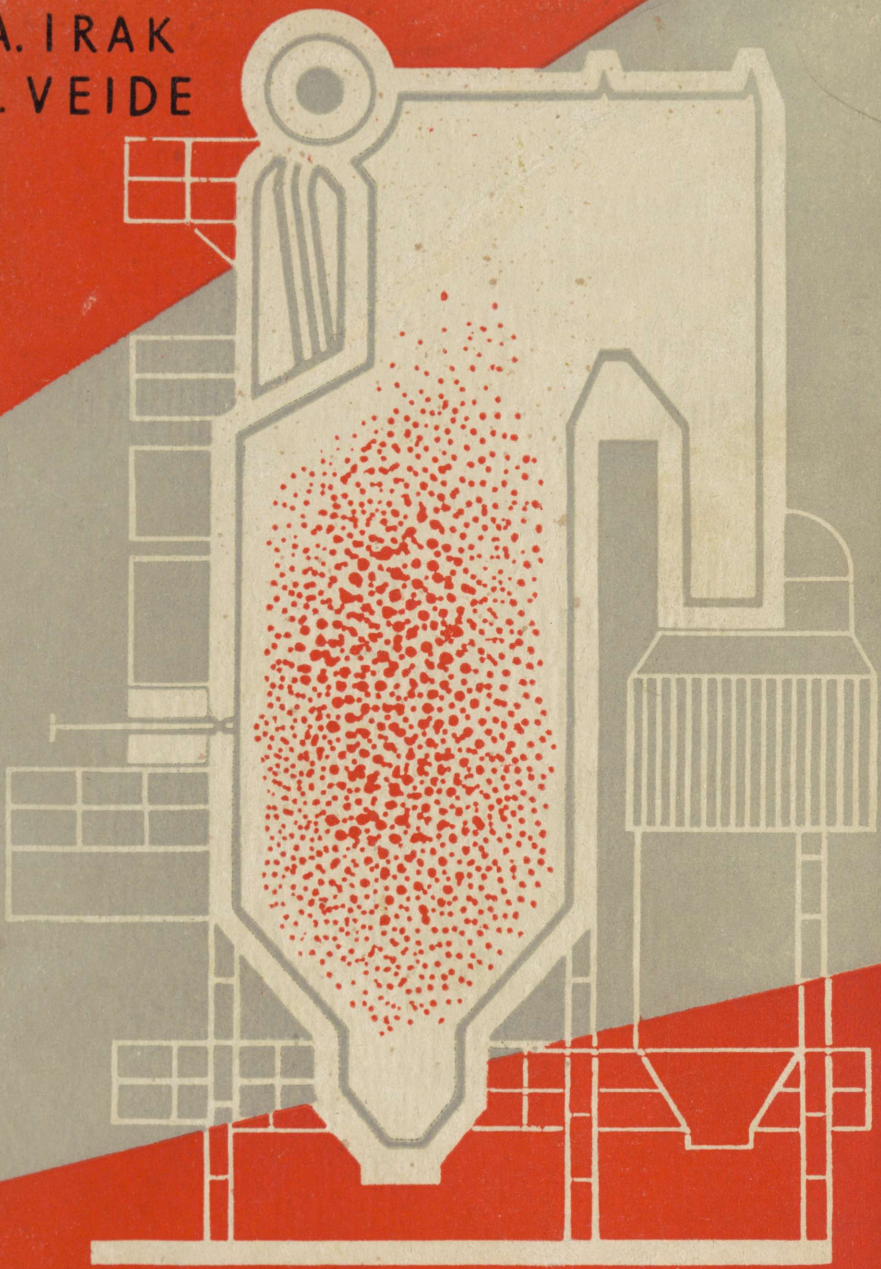
A. IRAK
H. VEIDE



# Aurukatlad

A. IRAK, H. VEIDE

# AURUKATLAD

*Kolmas, täiendatud trükk*

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1961

6T2
I—66

Raamatus vaadeldakse aurukatelde ja nende abiseadmete ehitust, töötamist ja teenindamist. On toodud füüsika, keemia ja soojustehnika põhimõisteid, andmeid kütuste, toitevee ning katlaehituse materjalide kohta; käsitletakse toitevee ettevalmistust, kvaliteetse auru saamist, soojustehnilisi mõõtmisi, katelseadmete vigastusi, ohutustehnilisi nõudeid ja töö organiseerimist katlamajas.

Raamat on mõeldud kasutamiseks katlakütjate ettevalmistamisel ja nende kvalifikatsiooni tõstmisel.

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
52449

## SISSEJUHATUS

Tehnika arenemine nõuab järjest rohkem soojuse kasutamist, eriti selle muutmist elektrienergiaks. Soojuse tootmisel auruna on tähtis koht aurukateldel, mis sõltuvalt otstarbest võivad olla väga mitmesuguse konstruktsiooniga ja aurutootlikkusega. Aurukatlad on teinud läbi ligikaudu 150-aastase arengu, mis on olnud eriti kiire viimase 40 aasta jooksul. Tänapäeval valmistatakse katelagregaate, mille võimsus on üle 900 tonni auru tunnis ja kasutegur üle 90%.

Nõukogude Liit on sammunud katlaehituse moderniseerimisel ja uute katlatüüpide väljakujundamisel esirinnas. Selle tulemusena on saanud üldtuntuks Ramsini süsteemi otsevoolukatlad, loomuliku tsirkulatsiooniga kõrgrõhukatlad, šahtveskiga kolded, Seršnevi süsteemi kolded freesturba põletamiseks, Pomerantsevi süsteemi kolded puidujäätmete ja turba põletamiseks jne. Juurutamisel rahvamajandusse on ülekriitiliste parameetritega aurukatlad, milles auru rõhk ületab 300 atmosfääri ja temperatuur 600 kraadi. Ülikõrgete parameetritega auru kasutamine võimaldab säästa kütust ning alandada elektrienergia omahinda. Balti soojuselektrijaama on üles seatud unikaalsed põlevkiviküttel töötavad katlad tootlikkusega üle 200 tonni auru tunnis.

Eesti NSV energeetikamajandus baseerub peamiselt põlevkivi kasutamisel, mille osatähtsus kütusebilansis järjest kasvab. Selle kõrval leiavad üha laialdasemat tarbimist ka vedelkütused ja gaas. Lähtudes sellest on käesolevas teoses ulatuslikult käsitletud nimetatud kütustel töötavaid väikese ja keskmise võimsusega katelseadmeid ning nende teenindamist.

Tänapäeval tuleb igal töötajal tööviljakuse tõstmisega, materjalide kokkuhoiuga ja töökvaliteedi parandamisega anda maksimaalne panus kommunismi ehitamiseks. Selle ülesande täitmiseks peab aga hästi tundma nii oma tööd kui ka teenindatavaid seadmeid.

Aurukatla õigeks teenindamiseks peab kütja põhjalikult tundma katla konstruktsiooni, koldes ja katlas toimuvaid protsesse, soojuse ülekannet mõjutavaid tegureid ning ökonoomse ja avariita töötamise meetodeid.

Käesoleva raamatu eesmärgiks on abistada katlamaja personali teadmiste omandamisel, mis on vajalikud neile langeva osa täitmisel rahvamajanduse edasises arengus.

# I. PÕHIMÕISTEID FÜÜSIKAST JA KEEMIAST

## 1. ÜLDMÕISTEID

Katelde, masinate ning aparaatide ehitamisel ja nende ökonoomse töötamise organiseerimisel on aluseks füüsika seaduste tundmine.

Füüsika käsitleb füüsikalisi nähtusi, kehade omadusi ja muutumisi, millede juures keha koostis jääb endiseks. Füüsikalised nähtused on näiteks kehade paisumine soojenemisel, vee aurustumine, auru töötamine masinas jne.

Kehad jaotatakse oma oleku järgi *tahketeks*, *vedelateks* ja *gaasilisteks*.

Tahked kehad, nagu tellis, terasetükk jt., säilitavad oma kuju ja selle muutmiseks tuleb kasutada jõudu. Vedelikud, nagu vesi, õli, elavhõbe jt., ei säilita oma kuju, küll aga mahtu. Gaasid, nagu õhk, suitsugaas jt., ei säilita oma kuju ega mahtu ja nad püüavad täita kogu anumat või ruumi, milles nad asuvad.

Sõltuvalt välistest tingimustest võivad kehad olla kas tahkes, vedelas või gaasilises olekus, näiteks jää, vesi, veeaur.

Keha tõstmiseks ja ümberasetamiseks tuleb kulutada jõudu, s. t. tuleb jõuga ületada keha *raskust*. Viimane on põhjustatud maakera külgetõmbejõust, mille toimel kõik kehad püsivad maakera pinnal. Keha raskust mõõdetakse tonnides (t), kilogrammides (kg), grammides (g) või milligrammides (mg).

Kehade *tihedus* pole ühesugune. Nii võtavad erinevad kehad ühe ning sama raskuse, näiteks 1 kg puhul enda alla erinevad mahud ja, vastupidi, võrdse mahuga kehadel on erinev kaal.

Tiheduste võrdlemiseks kasutatakse füüsikas erikaalu mõistet. *Erikaaluks* nimetatakse aine mahuühiku kaalu. Mahuühikuks võetakse 1 kuupmeeter ($m^3$), 1 kuupdetsimeeter ($dm^3$) või 1 kuupsentimeeter ($cm^3$), millele vastavalt erikaalu ühikuks on kas $t/m^3$, $kg/dm^3$ või $g/cm^3$. Näiteks vee erikaal on 1 $t/m^3$, 1 $kg/dm^3$ ehk 1 $g/cm^3$, terase erikaal 7,8 $t/m^3$, 7,8 $kg/dm^3$ ehk 7,8 $g/cm^3$. Mahtu 1 $dm^3$ nimetatakse ka liitriks (l).

Järgnevalt on toodud mõnede ainete erikaalud:

| | | | |
|---|---|---|---|
| elavhõbe | 13,6 | vesi | 1,0 |
| vask | 8,9 | masinaõli | 0,9 |
| valgevask | 8,7 | piiritus | 0,8 |
| teras | 7,8 | mänd | 0,5 |
| malm | 7,2 | kork | 0,24 |

Gaaside erikaalud (kg/m³) temperatuuril 0° ja rõhul 760 mm Hg:

| | | | |
|---|---|---|---|
| õhk | 1,293 | vingugaas | 1,250 |
| hapnik | 1,429 | vesinik | 0,089 |
| lämmastik | 1,257 | veeaur | 0,804 |
| süsihappegaas | 1,977 | metaan | 0,717 |

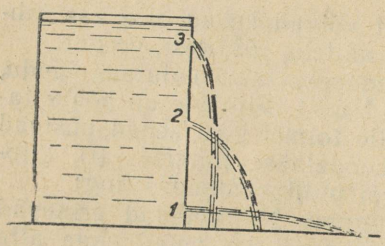
Teades erikaalu ja mahtu, võib määrata keha kaalu:

keha kaal = erikaal × maht.

Puistainete (liiv, põlevkivi, tuhk jne.) kaalu väljendatakse mahukaaluga (vt. tab. 7), mille all mõistetakse 1 m³-sse mahtuva aine kaalu kilogrammides või tonnides (kg/m³, t/m³).

## 2. RÕHU MÕISTE. VEDELIKKUDE OMADUSED

Vedeliku ülemised kihid rõhuvad oma raskusega alumistele. Seejuures on vedeliku rõhk teataval kõrgusel ühesugune niihästi anuma seintele kui ka vedeliku alumistele kihtidele. Rõhk vedelikus kasvab sügavusega, s. t. mida sügavamal, seda suurema raskusega rõhuvad vedeliku ülemised kihid alumistele, samuti ka anuma seintele.



Joon. 1. Rõhu sõltuvus veesamba kõrgusest.

Veega täidetud anumast (joon. 1), mille seinasse on erinevale kõrgusele puuritud augud, purskub veejuga kõige kaugemale avast *1*, mis asub anuma põhja lähedal, avast *2* vahepealsele kaugusele ja avast *3*, mis asub veepinna lähedal, anumale kõige ligemale. Sulgedes sõrmega kordamisi avad *1*, *2* ja *3*, tunneme, et veerõhk avas *1* on suurim ja avas *3* väikseim.

Kui näiteks anuma põhja pindala on 2 m² ja veesamba kõrgus 3 m, siis vee maht anumas

$$V = 2\ \text{m}^2 \times 3\ \text{m} = 6\ \text{m}^3.$$

Vee kaal

$$G = 1\ t/m^3 \times 6\ m^3 = 6\ t,$$

milline raskus rõhub ühtlaselt anuma põhjale. Anuma põhja ühele ruutmeetrile ($m^2$) mõjub jõud

$$p = 6 : 2 = 3\ t.$$

Jõud anuma põhja ühele ruutsentimeetrile

$$p = 6000 : 20\,000 = 0{,}3\ kg.$$

Jõudu, mis mõjub pinnaühikule, nimetatakse rõhuks. Mõõtes jõudu kilogrammides (kg) ja pinda ruutsentimeetrites ($cm^2$), saame rõhu kilogrammides ruutsentimeetrile. Rõhku 1 $kg/cm^2$ nimetatakse tehniliseks atmosfääriks (at). Teades rõhku, võib määrata jõu, millega näiteks vesi, aur või õhk rõhub anuma seintele:

$$\text{jõud (kg)} = \text{rõhk (kg/cm}^2) \times \text{pind (cm}^2).$$

Rõhku võime mõõta ka veesamba kõrgusega. Ühele tehnilisele atmosfäärile vastab veesamba kõrgus 10 m, sest sellise kõrgusega 1 $cm^2$ ristlõikega veesamba maht on

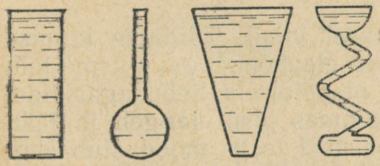
$$1\ cm^2 \times 1000\ cm = 1000\ cm^3\ (1\ liiter)$$

ja veesamba kaal

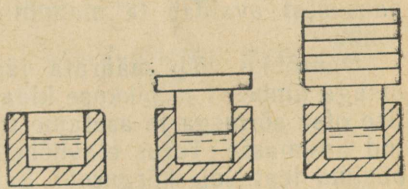
$$1\ kg/l \times 1\ l = 1\ kg.$$

Järelikult 10 m kõrguse veesamba rõhk pinnale 1 $cm^2$ on 1 $kg/cm^2$. Sama suurt rõhku avaldab 735 mm kõrgune elavhõbeda (Hg) sammas.

Vedeliku rõhk ei sõltu anuma kujust, vaid ainult vedelikusamba kõrgusest. Et vedelikud on voolavad ja rõhk neis kandub igas suunas edasi ühteviisi, siis joonisel 2 toodud anumate põhjadele mõjub veesamba sama kõrguse juures ühesugune rõhk.



Joon. 2. Vedeliku rõhk anuma põhjale ei sõltu anuma kujust.

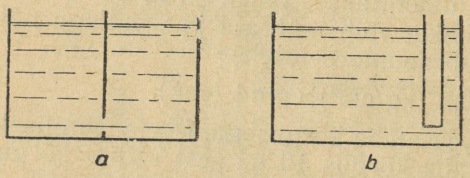


Joon. 3. Vedelikud pole kokkusurutavad.

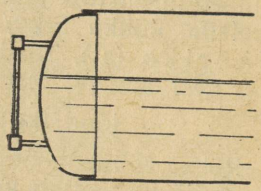
Vedelikud pole praktiliselt kokkusurutavad, s. t. vedeliku maht rõhu tõustes ei vähene. Joonisel 3 on toodud kolm ühesugust anumat, mis on täidetud veega ühe ning sama tasemeni.

Neist esimeses on vesi lahtiselt, surveta, teises ja kolmandas aga surutakse kolvi ja raskustega. Seejuures vee maht kõigis anumais jääb praktiliselt muutmatuks.

Kahes omavahel ühendatud anumas asub veepind samal kõrgusel. Täites paagi (joon. 4, *a*) üht poolt veega, voolab see läbi vaheseinas oleva ava paagi teise poolde. Vee juurdeandmise lõpetamisel veetase mõlemas paagipooles ühtlustub. Ühele ning samale kõrgusele tõuseb vesi ka paagis ja temaga ühendatud torus (joon. 4, *b*). Joonisel 4 toodud ja neile sarnaseis ühendatud anumais asub veepind ühel ning samal tasemel, sõltumata anuma kujust.




Joon. 4. Ühendatud anumad.



Joon 5. Veeseisunäitaja skeem.

Ühendatud anumate seadusel põhineb katla veeseisunäitaja (joon. 5) ehitus. Üheks anumaks on siin katlatrummel, teiseks veeklaas, mis on omavahel ühendatud kahe toruga.

## 3. ÕHK JA SELLE OMADUSED

Maakera ümbritsevat õhukihti nimetatakse atmosfääriks. Õhk sisaldab mahuliselt 21% hapnikku, 78% lämmastikku ja 1% teisi gaase (süsihappegaas, argoon, neoon jt.). Õhu erikaal normaaltingimustes[1] on 1,29 kg/m³. Tingituna õhukihi suurest paksusest avaldab ta maapinnal olevatele kehadele tunduvat rõhku.

Õhurõhku võib määrata järgmisel viisil. Täidame kinnise otsaga umbes 1 m pikkuse klaastoru elavhõbedaga, suleme lahtise otsa sõrmega ja asetame toru otsapidi elavhõbedaga täidetud anumasse. Torus elavhõbedasammas pisut langeb ja jääb püsima teatavale kõrgusele. Samba peal torus moodustub õhutühi ruum, mistõttu samba ülemisele otsale rõhk puudub. Anumas oleva elavhõbeda pinnale ja selle kaudu torus oleva elavhõbedasamba alumisele otsale mõjub õhurõhk, mis tasakaalustab elavhõbedasamba raskuse. Elavhõbedasamba kõrgus, mis on normaaltingimustes 76 cm, näitab õhurõhumise suurust.

[1] Temperatuuril 0° ja rõhul 760 mm Hg.

Võttes toru ristlõikega 1 $cm^2$, on elavhõbedasamba maht 76 $cm^3$ ja elavhõbeda kaal erikaalu puhul 13,6 $g/cm^3$

$$13{,}6\ g/cm^3 \times 76\ cm^3 = 1033\ g = 1{,}033\ kg.$$

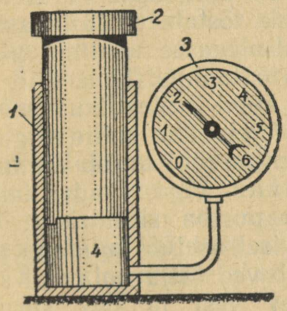
Järelikult atmosfäärilise õhu rõhumine elavhõbeda pinnale on 1,033 $kg/cm^2$. Seda suurust nimetatakse füüsikaliseks atmosfääriks (atm); viimane on pisut suurem tehnilisest atmosfäärist (1 $kg/cm^2$).

Kui täidame toru elavhõbeda asemel veega, siis tasakaalustab atmosfäärilise õhu rõhumise 10,33 m kõrgune veesammas.

Õhurõhu muutumisel muutub ka elavhõbedasamba kõrgus torus. Rõhu tõusmisel samba kõrgus kasvab, rõhu langemisel aga väheneb. Õhurõhku mõõdetakse baromeetriga.

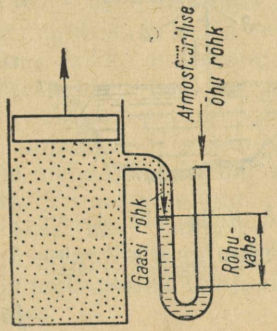
Kokkusurutud õhu rõhk on kõrgem atmosfäärilisest rõhust ja ta avaldab anuma siseseintele, milles ta asub, suuremat survet kui atmosfääriline õhk väljastpoolt.

Tehakse vahet absoluutse ja ülerõhu vahel. Absoluutseks rõhuks nimetatakse rõhku, mida mõõdetakse absoluutse tühjuse suhtes, ülerõhuks absoluutse ja atmosfäärilise rõhu vahet. Absoluutset rõhku atmosfäärides tähistatakse lühendatult ata, ülerõhku aga atü.




Joon. 6. Kokkusurutud õhk omab ülerõhku:

*1* — silinder; *2* — kolb; *3* — manomeeter; *4* — suruõhk.




Joon. 7. Alarõhu mõõtmine.

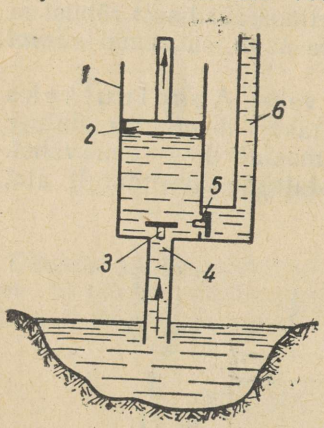
Olgu joonisel 6 näidatud anumas õhk surutud kokku $^1/_3$-ni oma algmahust. Seejuures absoluutne rõhk anumas on 3 korda suurem atmosfäärilisest rõhust, s. o. 3 ata. Ülerõhk anumas on (absoluutne rõhk) — (atmosfääriline rõhk), s. o. 3—1=2 atü. Ülerõhku näitab manomeeter.

Suurendades atmosfäärilise rõhu all oleva gaasi mahtu kolvi ülespoole liigutamisega (joon. 7), gaas hõreneb ja gaasi rõhk

muutub atmosfäärilisest rõhust väiksemaks. Vahet atmosfäärilise rõhu ja gaasirõhu vahel nimetatakse sel puhul *alarõhuks*, *hõrenduseks* ehk *vaakuumiks*. Alarõhk esineb näiteks katla koldes ja suitsukäikudes, turbiini jahutajas (kondensaator-is) jm.

Alarõhud katelseadmetes on harilikult väikesed ja neid mõõdetakse veesamba kõrgusega. Suuremat alarõhku mõõdetakse elavhõbedasamba kõrgusega. Alarõhu mõõtmiseks kasutatav *vaakuummeeter* sarnaneb ehituselt manomeetriga, mille skaala jaotused väljendavad alarõhku sentimeetrites elavhõbedasammast.

Joonisel 7 toodud U-toru parempoolse, lahtise otsa kaudu mõjub torus olevale veesambale atmosfääriline rõhk, vasakpoolse otsa kaudu, mis on ühendatud gaasianumaga, gaasi rõhk. Selle tulemusena veetase U-toru vasakus pooles tõuseb kõrgemale kui paremas. Veesammaste kõrguste vahe näitab alarõhu suurust.




Joon. 8. Kolbpumba skeem: *1* — silinder; *2* — kolb; *3* — imiklapp; *4* — imitoru; *5* — suruklapp; *6* — surutoru.

Mõneriista alarõhu määramiseks katla gaasikäikudes nimetatakse *tõmbemõõtjaks* (vt. p. 81).

Nähtusel, mille kohaselt atmosfääriline rõhk tõstab veesammast alarõhu all olevasse ruumi, põhineb pumpade töötamine (joon. 8).

Pumba kolvi *2* ülesliikumisel tekib silindris *1* alarõhk, mille tagajärjel atmosfääriline rõhk surub vee imitoru *4* mööda üles. Vesi, avades imiklapi *3*, voolab pumba silindrisse. Kolvi allaliikumisel asetub imiklapp pesale ja takistab vee väljavoolamist silindrist basseini tagasi. Silindris olev vesi ja õhk surutakse algul kokku atmosfäärilise rõhuni ja seejärel üle atmosfäärilise rõhu. Seejuures avaneb pumba suruklapp *5* ja vesi ning õhk voolavad pumba surutorusse *6*. Kolvi uuel ülesliikumisel sulgub suruklapp, silindris tekib alarõhk ja silinder täitub uuesti veega.

## 4. JÕUD, TÖÖ, VÕIMSUS, ENERGIA

Põhjust, mis viib keha välja paigalolekust või muudab keha liikumise kiirust või suunda, nimetatakse *jõuks*. Looduslikest jõududest tuntuim on raskusjõud. Jõu ühikuks on kilogramm (kg).

Ületades jõu abil takistusi, näiteks raskuse tõstmisel maakera külgetõmbejõudu, teeme tööd. Tööd mõõdetakse kilogramm-meetrites (kgm). Ühe kgm all mõistetakse töö hulka, mida tuleb teha 1 kg raskuse keha tõstmiseks 1 m kõrgusele. Elektrilist tööd mõõdetakse kilovatt-tundides (kWh).

Võimsuseks nimetatakse töö hulka 1 sekundis. Võimsuse ühikuks on kilogramm-meeter sekundis (kgm/sec). Suurem võimsuse ühik on hobujõud (hj), mis võrdub 75 kgm/sec. Elektrilist võimsust mõõdetakse kilovattides (kW).

1 kW = 102 kgm/sec = 1,36 hj,

1 hj = 0,736 kW = 736 vatti (W).

Energia all mõistetakse keha võimet teha tööd, s. o. kehas peituvat töötagavara. Eristatakse kahte liiki energiat: kineetilist ja potentsiaalset. Kineetiliseks energiaks nimetatakse liikuva keha (kuuli, mürsu, rongi, turbiinis voolava auru jm.) võimet teha tööd, potentsiaalseks energiaks töö tagavara, mida omab keha oma asendi või oleku tõttu. Näiteks kõrgele tõstetud raskus (auruvasar) on suuteline tegema tööd oma asendi tõttu, kokkusurutud vedru ja veeaur oma oleku tõttu jne.

Energiat ei saa hävitada ega luua. Nimetatud energia jäävuse seaduse avastas suur vene teadlane M. Lomonossov. Energia võib ühest kujust muutuda teise ja tagasi. Tehnikas ja igapäevases elus puutume kokku mitmesuguste energiavormidega: mehaanilise, elektri-, keemilise jm. energiaga.

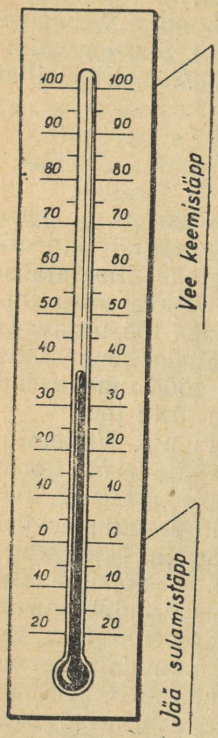
Soojuselektrijaamas muundub kütuses peituv potentsiaalne keemiline energia katla koldes soojuseks, mis kandub aurule. Auruturbiinis muundatakse soojus mehaaniliseks energiaks, mis paneb liikuma elektrigeneraatori. Viimases muundatakse mehaaniline energia elektrienergiaks, mis juhitakse juhtmeid mööda elektrimootoreisse; need panevad liikuma mitmesuguseid masinaid ja tööpinke, mis teevad mehaanilist tööd.

Energiat mõõdetakse tööühikutes.

## 5. SOOJUS

Kui mingile kehale juhtida juurde soojust, siis ta temperatuur tõuseb, ja ümberpöördult, kui kehalt juhtida soojust eemale, siis ta temperatuur langeb. Temperatuur väljendab järelikult keha kuumuse astet. Temperatuuri mõõdetakse termomeetriga. Elavhõbetermomeeter (joon. 9) koosneb kinnisest õhutühjast peenikesest klaastorust, mille allotsas on elavhõbedaga täidetud kerake. Soojenemisel elavhõbe paisub ja tõuseb torus üles, jahtumisel tõmbub kokku ja vajub alla. Klaastorule või sellele kinnitatud alusele on märgitud jaotused kraadides. NSV

Liidus kasutatavail termomeetreil on jää sulamistemperatuuriks atmosfäärilisel rõhul võetud 0° (null kraadi), vee keemistemperatuuriks samal rõhul 100°. Skaala ulatus jää sulamistäpi ja vee keemistäpi vahel on jagatud ühesuurusteks osadeks. Külma puhul langeb elavhõbedasammas alla 0°. Temperatuuri alla 0° loetakse negatiivseks ja tähistatakse miinusmärgiga. Näiteks 15° külma märgitakse —15° ja loetakse: miinus 15 kraadi. Temperatuuri üle 0° loetakse positiivseks, seejuures plussmärki (+) harilikult ei kirjutata.



Joon. 9. Elavhõbetermomeeter.

Soojushulk, mis on tarvilik keha soojendamiseks, sõltub keha ainest, kaalust ja temperatuurist, milleni keha soojendatakse. Soojushulga ühikuks on tehnikas kilokalor (kcal), mille all mõistetakse soojushulka, mis on tarvilik 1 kg vee soojendamiseks 1° võrra. Sama soojushulk vabaneb 1 kg vee jahutamisel 1° võrra.

10 kg vee soojendamiseks näiteks 20°-st kuni 40°-ni kulub soojust

$$10 \times (40-20) = 200 \text{ kcal.}$$

Soojushulka, mis kulub 1 kg (gaaside puhul ka 1 m³) aine soojendamiseks 1° võrra, nimetatakse selle aine erisoojuseks.

Järgnevalt on toodud mõnede ainete erisoojused:

| | | |
|---|---|---|
| vesi | 1,0 | kcal/kg |
| suitsugaas | 0,25 | „ |
| õhk | 0,24 | „ |
| tellis | 0,22 | „ |
| teras | 0,12 | „ |
| vask | 0,09 | „ |

Kehad soojenemisel paisuvad, jahtumisel kahanevad. Paisumisel suurenevad keha mõõtmed, pind ja maht. Tahketest kehadest paisuvad kõige rohkem metallid. Näiteks soojendamisel 100° võrra pikeneb (1 m pikkuse kohta):

| | | | |
|---|---|---|---|
| malm | 1,0 mm | vask | 1,7 mm |
| teras | 1,1 mm | klaas | 0,6—0,9 mm |

1 m³ vee maht soojendamisel 0°-st kuni 100°-ni suureneb 42 l võrra. Õhu, suitsugaasi jt. gaaside maht suureneb 1°-sel soojendamisel $^1/_{273}$ võrra, võrreldes gaasi mahuga 0° juures.

Kehade paisumist tuleb arvestada ka katlaehituses. Katla monteerimisel nähakse ette tema üksikute elementide paisumise võimalust: katla metallkere ja müüritise vahele jäetakse paisumisvahe, katlatrumlid asetatakse liikuvatele tugedele, kollete müüritis ehitatakse paisumisvuukidega jne. Kui katlatrumlil, restilülidel jt. osadel puudub vaba paisumise võimalus, siis surutakse nad kuumenemisel kokku, osad kõverduvad ja võivad praguneda ning murduda.

Katlaosade ebaühtlasel soojenemisel paisuvad nad erinevalt: kuumemad osad paisuvad rohkem, jahedamad aga vähem. Seejuures tekivad materjalis termilised pinged, mis võivad samuti põhjustada osade pragunemist ja purunemist.

Soojendamisel võivad tahked kehad muutuda vedelateks ja vedelad gaasideks (aurudeks). Üleminekut tahkest olekust vedelasse nimetatakse s u l a m i s e k s, vastupidist nähtust t a r d u m i s e k s.

Kehad sulavad nende ainele vastaval kindlal temperatuuril, mida nimetatakse s u l a m i s t e m p e r a t u u r i k s. Näiteks sulab vask 1080°, malm 1100—1200°, teras 1400—1500°, jää 0° juures jne. Sulamisel püsib keha temperatuur ühel kõrgusel seni, kuni kogu keha on sulanud. Seega kulutatakse keha sulamisel soojust, ilma et keha temperatuur tõuseks. Seda soojushulka nimetatakse s u l a m i s s o o j u s e k s; selle suurus sõltub samuti keha ainest. Näiteks kulub 1 kg jää sulamiseks 80 kcal, 1 kg vasele 50 kcal, 1 kg malmile 23 kcal jne.

Vedelikkude üleminek gaasilisse olekusse toimub k e e m i s e (aurustamise) teel. Vastupidist nähtust nimetatakse k o n d e n s e e r u m i s e k s.

Keemine toimub samuti kindlal nn. k e e m i s t e m p e r a t u u r i l. Näiteks keeb atmosfäärilisel rõhul piiritus 80°, vesi 100° ja elavhõbe 375° juures. Keemise perioodil jääb temperatuur samuti nagu sulamiselgi muutumatuks; soojus kulutatakse keha muutmiseks vedelast olekust gaasiliseks. Seda soojushulka nimetatakse a u r a m i s s o o j u s e k s, viimane sõltub keha ainest ja rõhust, mille juures toimub aurustamine.

Kehade tardumisel vabaneb soojus, mis kulutati keha sulatamiseks; samuti vabaneb kondenseerumisel see soojus, mis kulutati keha aurustamiseks.

Soojusel on omadus üle minna kõrgema temperatuuriga (soojendavalt) kehalt madalama temperatuuriga (soojendatavale) kehale. Sel juhul soojust juurdesaava keha temperatuur tõuseb, soojust äraandva keha temperatuur langeb. Kehade temperatuuride ühtlustumisel soojuse üleminek ühelt kehalt teisele lõpeb.

Eristatakse kolme soojuse levimise viisi: s o o j u s j u h t i v u s, k o n v e k t s i o o n ja k i i r g u s. Soojuse levimine võib toimuda korraga kas ühel, kahel või kõigil nimetatud viisidel.

Soojusjuhtivuseks nimetatakse soojuse levimist keha sees. Näiteks metallvarda soojendamisel ühest otsast suureneb teatava aja pärast tema temperatuur ka teises otsas; soojusjuhtivuse teel läbib soojus müüritise jne.

Soojusjuhtivuse teel edasikanduv soojushulk sõltub keha ainest ja pinna suurusest, mille kaudu soojuse edasikandumine toimub, kaugusest (varda pikkus, müüri paksus), milleni soojust juhitakse, ja keha välispindade temperatuuride vahest. Peale selle sõltub edasikanduv soojushulk ajast. Mida kauem toimub soojuse edasikandumine, seda enam soojust levib.

Ainete soojusjuhtivus on mitmesugune: ühed ained juhivad soojust hästi, teised halvasti. Head soojusjuhid on metallid, halvad soojusjuhid näiteks puit, tellis, šamott, asbest, katlakivi, õli, tahm, tuhk jt.

Aine soojusjuhtivust hinnatakse soojusjuhtivustegurig a, mis näitab, missugune soojushulk (kcal) kandub edasi 1 tunni jooksul 1 m² pinna kohta 1 m kaugusele pindade temperatuuri vahe juures 1°. Mõnede ainete soojusjuhtivustegurid:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| vask | 300—340 | kcal/mh° | asbest | 0,10—0,14 | kcal/mh° |
| teras | 30— 50 | „ | õli | 0,1 | „ |
| vesi | 0,5 | „ | saepuru | 0,06 | „ |
| tellismüüritis | 0,35 | „ | tahm | 0,03—0,06 | „ |
| katlakivi | 0,5—5,0 | „ | õhk | 0,02—0,03 | „ |

Juhitagu näiteks soojust läbi 1 m paksuse seina pinnaga 1 m². Seina temperatuur ühel pool olgu 100°, teisel pool 20°. Läbiv soojushulk 1 tunni jooksul on siis:

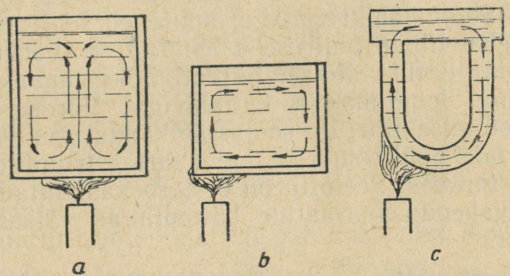
| | | |
|---|---|---|
| vase puhul | 300×(100—20)=24 000 | kcal |
| terase „ | 50×(100—20)= 4000 | „ |
| tellise „ | 0,35×(100—20)= 28 | „ |

Häid soojusjuhte kasutatakse seal, kus on tarvilik üle anda soojust, nagu aurukatelde ökonomaiserite, õhueelsoojendite ja teiste soojusvahendajate ehitamisel. Halbu soojusjuhte kasutatakse soojuse ülemineku takistamiseks, s. o. soojusisolatsiooni-materjalidena. Siia kuuluvad asbest, diatomiit, magnesiit, klaasvill, turbapuru jt. Soojusisolatsiooni-materjalide kasutamisega on võimalik vähendada katla, aurutorustiku jt. seadmete soojuskadusid välisõhku.

Halvad soojusjuhid on kõik poorsed ained. Kuna poore täitev seisev õhk on halb soojusjuht, siis seetõttu juhivad kõik poorsed materjalid soojust halvemini kui tihedad materjalid. Keha niiskena juhib soojust paremini kui kuivana.

Soojuse üleandmiseks konvektsiooni teel nimetatakse nähtust, kus soojendav keha puutub kokku soojendatava kehaga, kusjuures soojendatavale kehale antakse pidevalt soojust juurde. Soojuse üleandmist soodustab ühe keha liikumine teise suhtes.

Soojuse levimine konvektsiooni teel toimub ka vedelike või gaaside segunemisel, mispuhul soojus kantakse soojematelt osadelt üle külmematele. Joonisel 10 on näidatud vee soojendamine anumas gaasipõleti abil, kus kuumad gaasid kannavad pidevalt soojust anuma põhjale juurde. Soojus läbi anuma põhja antakse edasi juhtivuse teel, põhjalt veele aga konvektsiooni teel. Joonisel 10, *a* juhitakse suurem osa soojust läbi anuma põhja keskmise osa. Põhjale lähemal olevad veekihid soojenevad, paisuvad ja muutuvad kergemaks. Anuma keskel, kus soojenemine on kõige intensiivsem, tõuseb soe vesi üles, seguneb seejuures külmemate veeosakestega ja annab edasi viimastele osa oma soo-




Joon. 10. Vee liikumine anumas soojendamisel.

jusest. Anuma seinte ääres olev külmem ja raskem vesi langeb alla, voolab sealt anuma keskele, kus ta soojeneb ja tõuseb seejärel uuesti üles. Soojendamise tõttu tekib anumas pidev vee liikumine. Soe vesi seguneb külmemaga ja selle tulemusena soojeneb kogu veemass ning vee temperatuur tõuseb.

Soojendades anuma üht serva või külge (joon. 10, *b* ja 10, *c*), tekib anumas samuti pidev vee liikumine, kusjuures soe vesi seguneb külmemaga.

Soojendatava vee vaba liikumist mis tahes kujulist kinnist ringi mööda nimetatakse tsirkulatsiooniks. Tsirkulatsioonil on katelde juures suur tähtsus. Hea tsirkulatsiooniga katelides soojeneb ja aurustub vesi kiiresti, mistõttu katla aurutusjõudlus on suurem.

Soojuse üleandmist konvektsiooni teel kasutatakse aurukatelides ja mitmesugustes soojendusaparaatides. Katla gaasikäikudes liikuvad kuumad suitsugaasid annavad pidevalt soojust edasi küttepindadele. Mida suurem on seejuures gaaside liikumiskiirus, seda parem on soojuse edasiandmine.

Konvektsiooni teel üleantav soojushulk sõltub samuti soojust vastuvõtva keha liikumiskiirusest. Soojendades joonisel 10 too-

dud anumate seinu ülalt, jääb vesi liikumatuks ja soojeneb seetõttu halvasti. Anumate soojendamisel alt hakkab vesi intensiivselt liikuma (tsirkuleerima) ja soojuse üleandmine veele muutub heaks.

Soojuse üleandmist läbi eraldava seina soojendavalt vedelikult või gaasiliselt kehalt soojendatavale vedelikule või gaasile hinnatakse soojusläbikandeteguriga (kcal/m²h°), mis näitab, missugune hulk soojust kcal-tes läbib 1 m² pinnaga seina 1 tunni jooksul soojendava ja soojendatava keha temperatuuri vahe juures 1°.

Soojusläbikandetegur veelt veele on tunduvalt suurem kui gaasidelt veele või veelt gaasidele. Soojusläbikandetegur on väikseim soojuse edasiandmisel gaasidelt õhule või aurule ja aurult õhule. Soojusläbikandetegur suureneb soojendava ja soojendatava keha liikumiskiiruse tõusmisel ja väheneb kiiruse langemisel ning eraldavate seinte (katla, ökonomaiseri jt.) mustumisel tahma, lendtuha ja katlakiviga. Võrdsetel kiirustel ja seinte mustumisastmel on soojusläbikandetegur väikese läbimõõduga torude puhul suurem kui suurtes trumlites ja suure läbimõõduga torudes. Seetõttu on otstarbekas ehitada katla või teiste soojusvahendusaparaatide küttepinnad väikese läbimõõduga torudest.

Näide. Leegitorukatla leegitoru küttepind $H_k = 20$ m², gaaside keskmine temperatuur $t_g = 600°$, vee temperatuur katlas $t_v = 180°$, keskmine soojusläbikandetegur $k = 25$ kcal/m²h°.

Gaasidelt katlaveele üleantav soojushulk 1 tunni jooksul

$$Q = 20 \cdot 25 \cdot (600 - 180) = 210\,000 \text{ kcal.}$$

Konvektsiooninähtuste hulka kuulub ka soojuse edasiandmine segunemise teel. Kuuma ja külma keha segunemisel tekivad samuti tsirkulatsioonivoolud, tekib soojuse üleandmine ning kehade temperatuuride ühtlustumine.

Näide. Paaki, mis sisaldas 1200 kg vett 0° juures, lisati 1800 kg vett temperatuuril 80°. Selle tagajärjel kuum vesi jahenes ja külm vesi soojenes. Määrata segu temperatuur.

Kuuma veega toodi paaki juurde soojust:

$$Q = 1 \cdot 80 \cdot 1800 = 144\,000 \text{ kcal.}$$

Kogu vee hulk paagis:

$$G = 1200 + 1800 = 3000 \text{ kg.}$$

Selle veehulga soojendamiseks 1° võrra kulub soojust:

$$Q' = 1 \cdot 1 \cdot 3000 = 3000 \text{ kcal.}$$

Järelikult kuuma vee soojuse arvel saadakse segu lõpptemperatuuriks:

$$t° = 144\,000 : 3000 = 48°.$$

Kuumad kehad saadavad välja soojuslaineid, mis külmemale kehale sattudes tõstavad selle temperatuuri. Seda nähtust nimetatakse soojuse kiirgamiseks. Kiirgamise teel levib soojus ühelt kehalt teisele, ilma et kehad kokku puutuksid. Näiteks

kiirgamise teel soojendab päike maakera, katla koldes antakse üle hulk soojust kiirgamise teel küttepindadele jne.

Soojuskiired võivad olla nähtavad ja nähtamatud. Nähtavaid soojuskiiri kiirgavad heledalt hõõguvad kehad (päike, leek jm.), nähtamatuid kiiri saadavad välja kõik kehad igasugusel temperatuuril. Kiiratav soojushulk sõltub kiirgava keha temperatuurist, keha suurusest ja pinna olekust. Iga keha samal ajal kiirgab ja ühtlasi neelab teistelt kehadelt kiiratud soojust. Kõrge temperatuurini kuumendatud keha kiirgab välja palju soojust, kuid neelab samal ajal vähemkuumadelt kehadelt vähe soojust. Seetõttu kõrgesti kuumendatud keha, kiirates soojust, jahtub; vähem kuum keha, neelates soojust rohkem kui ta seda kiirgab, kuumeneb. Kiiratav soojushulk on seda suurem, mida suurem on keha pind. Kareda pinnaga keha kiirgab ja neelab soojust rohkem kui sileda, näiteks poleeritud, nikeldatud või hõbetatud pinnaga keha. Musta või tumeda värvusega kehad kiirgavad ja neelavad soojust rohkem kui heledad kehad.

Katla koldes toimub soojusvahetus peamiselt kiirgamise teel. Hõõguv kiht ja leek kiirgavad soojust igasse külge. Katlaosad neelavad kiiratud soojust ja omakorda kiirgavad soojust, sõltuvalt nende temperatuurist.

Ühe $m^2$ suurune põlev kiht kiirgab ühe tunni jooksul soojust:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1400°-se | kihi temp. | puhul | 370 000 kcal |
| 1250°-se | „ | „ | 265 000 „ |
| 1000°-se | „ | „ | 120 000 „ |

Katla müüritis neelab leegi poolt kiiratud soojust ja kiirgab seda omakorda kütusekihile ja katlaosadele. Temperatuuri juures 1000° kiirgab 1 $m^2$ müüritist 1 tunnis 115 000 kcal.

Katlaosad temperatuuriga 300° kiirgavad 1 $m^2$ pinna kohta 1 tunni jooksul 5000 kcal.

Aurukatlas toimub soojuse üleandmine kuumadelt gaasidelt veele kõigil kolmel viisil: juhtivuse, konvektsiooni ja kiirgamise teel. Konvektsiooni teel antakse üle soojus kõigile küttepinna osadele, kiirgamise ja ühtlasi konvektsiooni teel neile katla osadele, mida soojendatakse hõõguva kihi, leegi või kuumade gaaside poolt. Juhtivuse teel antakse soojus edasi läbi katla küttepindade seinte.

## 6. VEEAUR

Vesi võib muutuda auruks kas a u r a m i s e või k e e m i s e teel. Auramine toimub lahtiselt veepinnalt, mis tahes temperatuuri juures. Vee auramise tõttu niisked kehad, nagu toores puit, märg turvas jm., kuivavad. Auramine kulgeb suhteliselt pikka-

mööda ja aur hajub ümbritsevasse atmosfääri. Auru tootmine katelseadmetes põhineb vee keemise nähtusel.

Vee soojendamisel lahtises anumas tõuseb vee temperatuur järk-järgult kuni 100°-ni, mis on vee keemistäpiks lahtises anumas atmosfäärilisel rõhumisel. Keemisel tekivad vees aurumullid, mis veepinnale tõustes lõhkevad: aur lahkub atmosfääri. Vee temperatuur, hoolimata edasisoojendamisest, jääb püsima 100°-le, kuna kulutatud soojus läheb vee aurustamiseks.

Tekkinud auru temperatuur on võrdne keeva vee temperatuuriga, auru rõhk võrdne atmosfäärilise rõhuga. Auru, mis tekib vee keemisel ja mille temperatuur on võrdne keemistemperatuuriga ning rõhk võrdne keeva vee pinnale mõjuva rõhuga, nimetatakse küllastunud auruks. Ühe kg küllastunud auru maht on atmosfäärilisel rõhumisel 1700 korda suurem 1 kg vee mahust.

Soojust, mis kulub 1 kg vee soojendamiseks 0°-st kuni keemistemperatuurini, nimetatakse vedelikusoojuseks. Atmosfäärilisel rõhumisel on viimane 100 kcal. Soojust, mis kulub 1 kg keeva vee muutmiseks küllastunud auruks, nimetatakse aurustussoojuseks. Atmosfäärilisel rõhumisel on aurustussoojus 539 kcal/kg. Ühe kilogrammi 0°-se vee aurustamiseks atmosfäärilisel rõhumisel kulub järelikult soojust

$$100+539=639 \text{ kcal.}$$

Seda soojushulka nimetatakse küllastunud auru soojussisalduseks.

Vee keemistemperatuur sõltub vee pinnale mõjuvast rõhust: mida suurem on rõhk, seda kõrgem on keemistemperatuur ja ümberpöördult. Nii keeb vesi 0,5 ata rõhul 81°, 1,5 ata rõhul 111°, 10 ata rõhul 179° juures jne. Seejuures küllastunud auru temperatuur on alati võrdne vee keemistemperatuuriga.

Rõhu kasvades vedelikusoojus suureneb, kuid aurustussoojus väheneb. Küllastunud auru soojussisaldus 30 ata rõhuni kasvab, pärast seda langeb.

Küllastunud veeauru omadused on toodud tabelis 1.

Näide. Kui palju kulub soojust 100 kg küllastunud auru, rõhuga 10 ata, tootmiseks, kui katlasse antava vee temperatuur on 50°?

Tabelist 1 leiame, et küllastunud auru soojussisalduseks rõhul 10 ata on 663 kcal/kg. Kuna 1 kg toitevett sisaldab 50° juures soojust 50 kcal, siis kulub 100 kg sellise vee aurustamiseks soojust:

$$Q = 100\,(663-50) = 61\,300 \text{ kcal.}$$

Tabelis 1 on toodud kuiva küllastunud auru soojussisaldused. Tavaliselt sisaldab küllastunud aur mõningal määral veeosakesi, mis kistakse veepinnast auruosakeste poolt kaasa. Niisugust auru nimetatakse niiskeks küllastunud auruks. Auru niiskust määratakse aurus oleva vee ja auru kaalulise suhtega protsentides. Niiske küllastunud auru

soojussisaldus ja maht on väiksemad kuiva küllastunud auru omast.

Näide. Määrata niiske auru soojussisaldus, kui auru rõhk on 15 ata ja niiskus 3%.

Kuiva küllastunud auru soojussisaldus rõhul 15 ata on 666,6 kcal/kg, vee vedelikusoojus 200,6 kcal/kg. Niiske auru soojus koosneb antud juhul 0,97 kg kuiva küllastunud auru soojussisaldusest ja 0,03 kg vee vedelikusoojusest, s. o.

$$i = 666{,}6 \cdot 0{,}97 + 200{,}6 \cdot 0{,}03 = 646{,}6 + 6 = 652{,}6 \text{ kcal/kg}.$$

Küllastunud auru jahutamisel hakkab ta kondenseeruma. Seejuures suureneb auru niiskus ja väheneb erimaht (1 kg auru maht), millega kaasub auru töövõime vähenemine. Aurus

Tabel 1

**Küllastunud veeauru omadusi**

| Absoluutne rõhk kg/cm² | Keemistemperatuur ° | Vedelikusoojus kcal/kg | Aurustussoojus kcal/kg | Auru soojussisaldus kcal/kg | 1 kg auru maht (erimaht) m³/kg | 1 m³ auru kaal (mahukaal) kg/m³ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,0 | 99,1 | 99,1 | 539,4 | 638,5 | 1,725 | 0,5797 |
| 1,5 | 110,8 | 110,9 | 531,9 | 642,8 | 1,180 | 0,8472 |
| 2,0 | 119,6 | 119,9 | 525,9 | 645,8 | 0,902 | 1,109 |
| 2,5 | 126,8 | 127,2 | 521,1 | 648,3 | 0,732 | 1,366 |
| 3,0 | 132,9 | 133,4 | 516,9 | 650,3 | 0,617 | 1,622 |
| 4,0 | 142,9 | 143,6 | 509,8 | 653,4 | 0,471 | 2,125 |
| 5,0 | 151,1 | 152,1 | 503,7 | 655,8 | 0,382 | 2,621 |
| 6,0 | 158,1 | 159,3 | 498,5 | 657,8 | 0,321 | 3,112 |
| 7,0 | 164,2 | 165,6 | 493,8 | 659,4 | 0,278 | 3,600 |
| 8,0 | 169,6 | 171,3 | 489,5 | 660,8 | 0,245 | 4,085 |
| 9,0 | 174,5 | 176,4 | 485,6 | 662,0 | 0,219 | 4,568 |
| 10,0 | 179,0 | 181,2 | 481,8 | 663,0 | 0,198 | 5,049 |
| 12,5 | 188,9 | 191,6 | 473,5 | 665,1 | 0,160 | 6,250 |
| 15,0 | 197,4 | 200,6 | 466,0 | 666,6 | 0,134 | 7,446 |
| 17,5 | 204,8 | 208,6 | 459,1 | 667,7 | 0,116 | 8,621 |
| 20,0 | 211,4 | 215,8 | 452,7 | 668,5 | 0,102 | 9,846 |
| 30,0 | 232,8 | 239,5 | 430,2 | 669,7 | 0 068 | 14,70 |
| 40,0 | 249.2 | 258,2 | 410,8 | 669,0 | 0,0508 | 19,69 |
| 100,0 | 309,5 | 334,0 | 317,1 | 651,1 | 0.0185 | 54,21 |

sisalduv vesi kujutab ühtlasi suurt ohtu torustikule ja aurumasinatele veelöökide näol, mis võivad põhjustada torustiku ja masinate purunemisi.

Andes küllastunud aurule samal rõhul juurde soojust, aur kuiveneb ja ta temperatuur tõuseb üle küllastunud auru temperatuuri. Sel teel saadakse ülekuumendatud aur (vt. tab. 2). Ülekuumendatud auru soojussisaldus ning erimaht, võrreldes küllastunud auru omadega, on suuremad. Ülekuu-

mendatud aur jahutamisel ei kondenseeru seni, kuni tema temperatuur pole langenud küllastunud auru temperatuurini. Kõige selle tõttu on ülekuumendatud auru töövõime suurem ja tema kasutamine jõuseadmetes palju ökonoomsem.

Tabel 2

**Ülekuumendatud auru omadusi**

| Absoluutne rõhk kg/cm² | 320° | 340° | 360° | 380° | 400° | 420° |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 0,3429[1]<br>739,2 | 0,3552<br>749,2 | 0,3674<br>759,2 | 0,3796<br>769,2 | 0,3918<br>779,2 | 0,4039<br>789,3 |
| 10 | 0,2731<br>738,2 | 0,2830<br>748,2 | 0,2929<br>758,3 | 0,3028<br>768,4 | 0,3126<br>778,4 | 0,3223<br>788,6 |
| 12 | 0,2265<br>737,0 | 0,2349<br>747,2 | 0,2433<br>757,4 | 0,2515<br>767,5 | 0,2598<br>777,7 | 0,2679<br>787,9 |
| 14 | 0,1933<br>735,9 | 0,2006<br>746,2 | 0,2078<br>756,4 | 0,2150<br>766,7 | 0,2220<br>776,9 | 0,2291<br>787,2 |
| 16 | 0,1684<br>734,8 | 0,1748<br>745,2 | 0,1812<br>755,5 | 0,1875<br>765,9 | 0,1937<br>776,2 | 0,2000<br>786,5 |
| 18 | 0,1490<br>733,7 | 0,1548<br>744,2 | 0,1605<br>754,6 | 0,1661<br>765,0 | 0,1717<br>775,4 | 0,1773<br>785,8 |
| 20 | 0,1334<br>732,6 | 0,1387<br>743,2 | 0,1439<br>753,7 | 0,1491<br>764,2 | 0,1542<br>774,7 | 0,1592<br>785,1 |
| 30 | 0,0868<br>726,8 | 0,0906<br>738,0 | 0,0942<br>749,1 | 0,0978<br>760,0 | 0,1013<br>770,8 | 0,1048<br>781,6 |
| 40 | 0,0634<br>720,5 | 0,0664<br>732,5 | 0,0693<br>744,1 | 0,0722<br>755,5 | 0,0749<br>766,8 | 0,0776<br>778,0 |
| 100 | 0,0199<br>666,0 | 0,0221<br>689,2 | 0,0240<br>708,4 | 0,0256<br>725,2 | 0,0271<br>740,4 | 0,0285<br>754,6 |

Atmosfääriline õhk sisaldab alati suuremal või väiksemal määral veeauru. Kuna viimane ei oma värvust, siis on ta silmale nähtamatu. Õhu temperatuuri langemisel kondenseerub õhus olev veeaur: tekib udu, kaste jm. Kaste võib tekkida ka soojas ruumis asuvate külmade esemete pinnale, kusjuures viimastega kokkupuutuvate õhukihtide jahutamise tagajärjel õhus olev veeaur kondenseerub ja sadestub esemetele. Nii näiteks tekib kaste soojas ruumis asuva külmaveetoru välispinnale. Veeauru leidub ka suitsugaasides. Viimaste tugeval jahutamisel toitevee-eelsoojendisse (ökonomaiserisse) antava külma vee või õhueelsoojendisse juhitava külma õhu poolt tekib küttepindade higistamine, mis on tingitud kaste tekkimisest küttepindadele. See põhjustab ökonomaiserite ja õhueelsoojendite sööbi-

[1] Esimene arv väljendab auru erimahtu m³/kg, teine arv soojussisaldust kcal/kg.

mist ja roostetamist. Temperatuuri, mille juures õhus või suitsugaasides olev veeaur hakkab kondenseeruma, nimetatakse kastepunktiks (vt. p. 48).

## 7. GAASI OLEKU SEADUSED

Gaasi füüsikalist olekut iseloomustab temperatuur, rõhk ja maht. Need kolm gaasi parameetrit on omavahel kindlas seoses. Ühe suuruse muutumisel muutuvad kas üks või mõlemad ülejäänud parameetrid.

Gaasi parameetrite vastastikune muutumine määratakse nn. gaasi oleku seadustega. Gaasi temperatuuri suurendamine või vähendamine muutumatul rõhul põhjustab gaasi mahu suurenemist või vähenemist. Kõikide gaaside juures toimub see praktiliselt ühesuguselt ja nagu märgitud eespool (p. 5), moodustab gaasi mahu muutus temperatuuri muutuse iga kraadi kohta suuruse, mis võrdub $^1/_{273}$-ga sellest mahust, mis antud gaasil on samal rõhul 0° juures. Suurust $^1/_{273}$ ehk 0,00367 nimetatakse gaasi paisumisteguriks.

Matemaatiliselt väljendatakse gaasi mahu muutumist järgmise võrrandiga:

$$V_1 = V_0 + V_0 \frac{1}{273} T_1 = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} T_1\right),$$

kus $V_1$ on gaasi maht temperatuuril $T_1$;

$V_0$ — gaasi maht 0° juures;

$T_1$ — gaasi absoluutne temperatuur.

Mingil teisel temperatuuril $T_2$ sama gaasihulga maht on:

$$V_2 = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} T_2\right).$$

Jagades saadud võrrandid teineteisega, saame võrrandi:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}, \qquad (1)$$

s. o. muutumatul rõhul on teatud gaasihulga maht võrdeline gaasi absoluutse temperatuuriga.

Sõltuvus gaasi mahu ja rõhu vahel muutumatul temperatuuril määratakse Boyle-Mariotte'i seadusega, mida väljendab järgmine võrrand:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1}, \qquad (2)$$

s. t. muutumatul temperatuuril on gaasi maht pöördvõrdeline rõhuga ehk gaasi rõhk muutub pöördvõrdeliselt mahuga.

Eelmise võrrandi võib kirjutada ka kujul:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{konstant},$$

s. t. muutumatul temperatuuril gaasi rõhu ja mahu korrutis on konstantne (jääv) suurus.

Mida rohkem teatud hulk gaasi muutumatul temperatuuril paisub, seda enam väheneb selle erikaal $\gamma$. Seda sõltuvust väljendatakse järgmise võrrandiga:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}.$$

Asendades selles võrrandis mahtude suhte rõhkude suhtega, saame võrrandi, mis väljendab gaasi erikaalu muutust sõltuvalt rõhust:

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{p_2}{p_1},$$

s. t. muutumatul temperatuuril on gaasi erikaalud võrdelised rõhkudega. Teiste sõnadega, mida suurema rõhu all on gaas, seda suurem on gaasi erikaal.

Võrranditest (1) ja (2) võib moodustada uue võrrandi:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$

Järelikult gaasi oleku muutusel gaasi parameetrid muutuvad nii, et igal olekul rõhu ja mahu korrutis jagatud absoluutse temperatuuriga on konstantne suurus. Seda sõltuvust võib väljendada võrrandiga:

$$\frac{pV}{T} = \text{konstant},$$

kus $p$, $V$ ja $T$ on gaasi mis tahes oleku parameetrid.

Eelmise võrrandi konstantset suurust nimetatakse gaasikonstandiks ja tähistatakse tähega $R$.

$$\text{Seega } \frac{pV}{T} = R$$

$$\text{ehk } pV = RT.$$

Gaasihulga $G$ kohta see seos võtab kuju:

$$pV = GRT.$$

Seda võrrandit nimetatakse gaasi karaktervõrrandiks või gaasi olekuvõrrandiks. Võrrand võimaldab määrata, kuidas muutub antud gaasihulga maht, rõhk ja absoluutne temperatuur ühe või teise parameetri muutumisel.

Gaasikonstandi $R$ väärtuse (arvestatud ühele kg-moolile gaasile) võib määrata avaldisest:

$$R = \frac{848}{M},$$

kus $M$ on antud gaasi molekulkaal.

Näiteks metaani gaasikonstant, mille molekulkaal $M_C = 16$, on:

$$R = \frac{848}{M_{CH_4}} = \frac{848}{16} = 53.$$

Gaasisegu konstant määratakse avaldisega:

$$R_{segu} = \frac{848}{M_{segu}} = \frac{848}{\frac{V_1}{V} M_1 + \frac{V_2}{V} M_2 + \ldots + \frac{V_n}{V} M_n},$$

kus $M_1, M_2 \ldots M_n$ on gaasisegu komponentide (segus olevate gaaside) molekulkaalud;

$M_{segu}$ — gaasisegu keskmine molekulkaal;

$\frac{V_1}{V}, \frac{V_2}{V} \ldots \frac{V_n}{V}$ — gaasisegu komponentide suhtelised osamahud.

Erinevate gaaside võrdsed mahud sisaldavad samal rõhul ja temperatuuril võrdse arvu molekule. Selle seaduse põhjal mis tahes gaasi kg-mooli maht normaaltingimustel (0° ja 760 mm Hg) on alati võrdne 22,4 $m^3$-ga.

Nimetatud seos võimaldab määrata mis tahes gaasi erikaalu:

$$\gamma = \frac{M}{22{,}4} \text{ kg/nm}^3,$$

kus $M$ on kg-mooli gaasi kaal kg-des (on arvuliselt võrdne molekulkaaluga).

## 8. AINE EHITUS, KEEMILISED NÄHTUSED

Kõik looduses esinevad ained koosnevad väikestest osakestest. Võtame näiteks tüki sütt ja tükeldame selle võimalikult peeneks; saadud väikestel söetükikestel on ikkagi kõik söe omadused. Kõige väiksemaid aineosakesi, mis säilitavad veel kõiki aine omadusi, nimetatakse *molekulideks*. Eri ainete (vesi, teras, süsi jm.) molekulid on oma suuruselt ja ehituselt erinevad. Molekulide mõõtmed on väga väikesed ja ainult kõige suuremad nende hulgast on nähtavad tugevate mikroskoopidega. Aines ei asu molekulid tihedasti üksteise kõrval, nagu näiteks tellised

müüritises, vaid kaugused üksikute molekulide vahel ületavad paljukordselt nende mõõtmeid. Molekulid kehas on alatises liikumises ja hoiduvad koos vastastikku mõjuvate tõmbe- ja tõukejõududega. Tahkes kehas on see side kõige tugevam, vedelikkudes nõrgem ja gaasilistes kehades tähtsusetu.

Looduses esinevad ained võib jaotada lihtaineteks ja liitaineteks. *Lihtained* ehk *elemendid* on näiteks kõik puhtad metallid, nagu kuld, vask, elavhõbe jt., ja gaasid, nagu hapnik, vesinik, lämmastik jne. Lihtaineid ei saa lagundada koostisosadeks. *Liitained* koosnevad kahest, kolmest või enamast lihtainest. Näiteks koosneb vesi hapnikust ja vesinikust, keedusool naatriumist ja kloorist, kriit kaltsiumist, süsinikust ja hapnikust jne.

Liitaine molekul koosneb lihtainete molekulidest. Liitaine molekuli lagundamisel saame lihtainete molekulid.

Liitaineid on looduses lõpmata palju. Seevastu elemente, millest on ehitatud kõik liitained, on kokku 102.

Tabel 3

**Keemiliste elementide tähiseid ja aatomkaale**

| Elemendi nimetus | Keemiline tähis | Aatomkaal | Elemendi nimetus | Keemiline tähis | Aatomkaal |
|---|---|---|---|---|---|
| Alumiinium | Al | 27 | Nikkel | Ni | 59 |
| Antimon | Sb | 122 | Plaatina | Pt | 195 |
| Elavhõbe | Hg | 201 | Plii | Pb | 207 |
| Fosfor | P | 31 | Raadium | Ra | 226 |
| Hapnik | O | 16 | Raud | Fe | 56 |
| Hõbe | Ag | 108 | Roodium | Rh | 103 |
| Kaalium | K | 39 | Räni | Si | 28 |
| Kaltsium | Ca | 40 | Süsinik | C | 12 |
| Kloor | Cl | 35 | Tina | Sn | 119 |
| Kroom | Cr | 52 | Tsink | Zn | 65 |
| Kuld | Au | 197 | Uraan | U | 238 |
| Lämmastik | N | 14 | Vask | Cu | 64 |
| Magneesium | Mg | 24 | Vesinik | H | 1 |
| Mangaan | Mn | 55 | Vismut | Bi | 209 |
| Molübdeen | Mo | 96 | Volfram | W | 184 |
| Naatrium | Na | 23 | Väävel | S | 32 |

Lihtaine molekul koosneb omakorda veel väiksematest osakestest — ühest, kahest või enamast *aatomist*, mis samuti nagu molekulidki ei asu tihedasti koos. Aatomi tuuma lõhkumisega on võimalik saada ühest elemendist teisi, kusjuures vabanevad suured energiahulgad. Nimetatud nähtusel põhineb *aatomienergia* tootmine.

Nähtusi, kus toimub uute ainete tekkimine, nimetatakse *keemilisteks nähtusteks* ehk *keemilisteks reaktsioonideks*. Sellisteks nähtusteks on näiteks kütuste põlemine, metalli roostetamine, paekivi lagunemine lubjapõletamisel jne. Eraldatakse kolme liiki keemilisi reaktsioone: *ühinemis-*, *lagunemis-* ja *asendusreaktsioonid*.

Ühinemisreaktsioonil moodustub mitmest ainest uus keerulisem aine. Näiteks süsiniku põlemisel ühineb süsinik õhuhapnikuga ja tekib uus aine, süsihappegaas. Lagunemisreaktsioonil moodustuvad keerulistest ainetest uued, lihtsamad ained. Näiteks kriidi kuumutamisel tekib kustutamata lubi ja süsihappegaas. Asendusreaktsioonil moodustuvad keerulistest ainetest uued keerulised ained. Näiteks seebikivi mõjutamisel soolhappega tekib keedusool ja vesi.

Keemilistel reaktsioonidel ühinevad ained üksteisega kindlas kaalulises vahekorras. Näiteks moodustub vesi 1 kaaluosa vesiniku ühinemisel 8 kaaluosa hapnikuga, süsihappegaas 1 kaaluosa süsiniku ühinemisel $2^2/_3$ kaaluosa hapnikuga jne.

*Keemilistel reaktsioonidel aine ei hävi.* Aine jäävuse seaduse avastas ja formuleeris esimesena M. Lomonossov.

Elemendid tähistatakse nende ladinakeelse nimetuse ühe või kahe algustähega. Elementide raskust väljendatakse *aatomkaaluga*, mis on leppeline suurus. Seejuures võetakse aluseks hapniku aatomkaal, mis loetakse võrdseks 16-ga. Aine molekuli moodustavate aatomite aatomkaalude summat nimetatakse *molekulkaaluks*.

Asetades elemendid ritta aatomkaalu suuruse järjekorras, avastas suur vene keemik D. Mendelejev *elementide perioodilisuse süsteemi*. Selgus, et igale elemendile leidub selles reas teatava arvu teiste järel oma omadustelt analoogiline element. Perioodilisuse seadus lõi keemia arengus uue ajastu.

Elementide ühinemisel võib ühe elemendi aatom ühineda teise elemendi ühe või mitme aatomiga. Näiteks süsinikuaatom võib ühineda ühe või kahe hapnikuaatomiga, mida märgitakse järgmiselt:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $2C$ | $+$ | $O_2$ | $=$ | $2CO$ | |
| | süsinik | | hapnik | | vingugaas | |
| aatom- ja molekulkaalud: | $2 \cdot 12$ | $+$ | $2 \cdot 16$ | $=$ | $56$ | |
| | $C$ | $+$ | $O_2$ | $=$ | $CO_2$ | |
| | süsinik | | hapnik | | süsihappegaas | |
| aatom- ja molekulkaalud: | $12$ | $+$ | $2 \cdot 16$ | $=$ | $44$ | |

Lagunemisreaktsiooni, näiteks kriidi lagunemist kustutamata lubjaks ja süsihappegaasiks, märgitakse:

| | $CaCO_3$ | = | CAO | + | $CO_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | kriit | | kustutamata lubi | | süsihappegaas |
| molekul-kaalud: | 100 | = | 56 | + | 44 |

Asendusreaktsiooni märgitakse:

| | NaOH | + | HCl | = | NaCl | + | $H_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | seebikivi | | soolhape | | keedusool | | vesi |
| molekul-kaalud: | 40 | + | 36 | = | 58 | + | 18 |

Keemias jagatakse kõik elemendid kahte rühma: metallideks (siia kuulub ka vesinik) ja mittemetallideks ehk metalloidideks.

Elementide ühendeid hapnikuga nimetatakse hapenditeks ehk oksüüdideks. Näiteks kustutamata lubi CaO on kaltsiumoksüüd, vingugaas CO on süsinikoksüüd jne.

Metalloidide hapendite ühinemine veega annab happe:

| $NO_2$ | + | $H_2O$ | = | $H_2NO_3$ |
|---|---|---|---|---|
| lämmastikdioksüüd | | vesi | | lämmastikhape |
| $SO_2$ | + | $H_2O$ | = | $H_2SO_3$ |
| vääveldioksüüd | | vesi | | väävlishape |
| $CO_2$ | + | $H_2O$ | = | $H_2CO_3$ |
| süsihappegaas | | vesi | | süsihape |

Happed mõjuvad sööbivalt ja kutsuvad esile ohtlikke põletusi. Happed ühinevad kergesti metallidega. Seejuures tekib asendusreaktsioon: happes olev vesinik asendub metalliga. Saadud ained nimetatakse soolaks.

| $H_2CO_3$ | + | Ca | = | $CaCO_3$ | + | $H_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| süsihape | | kaltsium | | kaltsiumkarbonaat, kriit | | vesinik |
| $H_2SO_4$ | + | Ca | = | $CaSO_4$ | + | $H_2$ |
| väävelhape | | kaltsium | | kaltsiumsulfaat, kips | | vesinik |

Kriiti ja kipsi nimetatakse sooladeks.

Metallihapendite ühendeid veega nimetatakse alusteks.

| CaO | + | $H_2O$ | = | $Ca(OH)_2$ |
|---|---|---|---|---|
| kaltsiumoksüüd | | vesi | | kaltsiumalus, kustutatud lubi |
| $Na_2O$ | + | $H_2O$ | = | 2NaOH |
| naatriumoksüüd | | vesi | | naatriumalus, seebikivi |

Mõnede metallide (naatriumi, kaaliumi, kaltsiumi, baariumi) aluseid nimetatakse leelisteks; neid kasutatakse katla toitevee pehmendamisel.

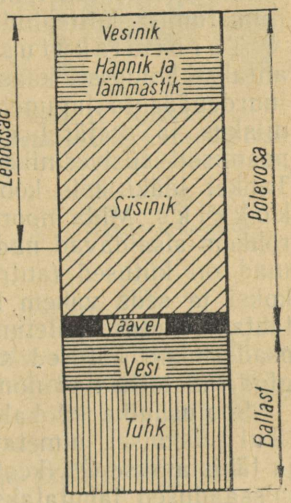
# II. KÜTUSED

## 9. KOOSTIS JA OMADUSED, KÜTTEVÄÄRTUS

Kütusteks nimetatakse põlevaineid, mida kasutatakse soojuse tootmiseks tööstuses ja elutarbelisteks vajadusteks.

Kütused oma olekult jagunevad tahketeks, nagu põlevkivi, turvas, kivisüsi jt., vedelateks, nagu nafta, masuut, põlevkivi-kütteõli jt., ja gaasilisteks, nagu looduslik gaas, generaatorigaas jt. Kütustest osa on looduslikud, osa kunstlikud. Viimaste hulka kuuluvad briketid, tolmkütus, kõik vedelkütused (välja arvatud nafta) ja kõik gaasid (välja arvatud looduslik gaas).

Igasugune kütus koosneb põlevosast ja ballastist, mille moodustab tuhk (A) ja niiskus (W). Põlevosa koosneb süsinikust (C), vesinikust (H), väävlist (S), hapnikust (O), lämmastikust (N) jt. elementidest, mis moodustavad omavahel keemilisi ühendeid. Joonisel 11 on toodud kütuse koostise skeem.



Joon. 11. Kütuse koostise skeem.

Süsinik on puhtal kujul tahke aine, esineb igas orgaanilises ühendis. Kütustes moodustab ta peamise põlevelemendi. Kütustest sisaldavad kõige enam süsinikku kivisõed, koks, antratsiit, kõige vähem aga pruunsõed, turvas ja põlevkivi.

Vesinik on puhtal kujul kerge, värvitu ja lõhnatu gaas. Põlemisel annab ta palju soojust. Kõige enam vesinikku sisaldavad vedel- ja gaasilised kütused.

Väävel esineb mitmesugustes ühendites teiste elementidega. Kogu kütuses esinev väävel ei põle ära, vaid osa jääb

tuhasse ja räbusse. Väävel moodustab kahjuliku lisandi, kuna põlemisel tekkivad väävliühendid moodustavad madalatel temperatuuridel koos niiskusega väävlishappe, mis mõjub sööbivalt katla metallosadele.

Hapnik on värvitu ja lõhnatu gaas, ei põle ise, kuid toetab põlemist. Hapniku sisaldus kütustes on 0,5—30%.

Lämmastik on värvitu ja lõhnatu gaas, ei põle ega toeta põlemist. Lämmastiku sisaldus kütustes ei ületa 1,5%.

Niiskust sisaldavad kütused erineval määral. Kõige enam niiskust sisaldab märg turvas, toores puit ja pruunsüsi, kõige vähem — antratsiit ja vedelkütused. Mida enam on kütuses niiskust, seda vähem ta sisaldab põlevainet ja seda vähem annab ta põledes soojust, kuna osa sellest kulub niiskuse aurustamiseks. Peale selle suurendab niiskus suitsugaaside mahtu ning soojuskadu heitgaasidega.

Tuhk kujutab mittepõlevaid mineraalseid ühendeid. Kõrge temperatuuri puhul koldes tuhk osaliselt sulab ja moodustab räbu. Tuha sisaldus kütuses mitte ainult vähendab selle kütteväärtust, vaid põhjustab ka suuri ekspluatatsioonilisi raskusi: suurt energiakulu tuha koristamisele, restipinna ja koldeseinte räbustumist, küttepindade mustumist lendtuhast jne.

Tarbimiskütuseks nimetatakse seda kütust, mis antakse koldesse, kaasa arvatud ka ballast. Soojendamisel õhu juurdepääsuta laguneb kütus (toimub utmine), temast eraldub niiskus ja seejärel gaasilised lendosad, mis koosnevad peamiselt süsivesinikest, s. o. süsiniku ja vesiniku ühendeist. Tahket jääki, mis koosneb süsinikust ja tuhast, nimetatakse koksiks. Mida nooremad oma tekkimiselt on kütused, seda rohkem sisaldavad nad lendosi (puit, turvas jt.) ja mida vanemad on kütused (antratsiit jt.), seda rohkem sisaldavad nad koksi ja seda vähem lendosi. Lendosade sisaldus omab suurt tähtsust kütuse põletamise viisi valikul ja koldeehitusel. Lendosaderikkad kütused süttivad kergemini ja põlevad pika leegiga, mistõttu nad nõuavad suurt põlemisruumi.

Soojushulka kilokalorites, mis vabaneb ühe kg kütuse täielikul põlemisel, nimetatakse kütuse põlemisväärtuseks ja tähistatakse $Q^p$ (kcal/kg). Siinjuures on tingimuseks, et põlemissaadused jahutatakse määrani, mille juures suitsugaasides olev veeaur kondenseerub. Lahutades põlemisväärtusest soojushulga, mis vabaneb suitsugaasides oleva veeauru kondenseerumisel, saame kütuse küttevääртuse, mida tähistatakse $Q^k$. (Tarbimiskütuse küttevääртus on $Q_t^k$.) Küttevääртus on seda suurem, mida väiksem on tuha ja niiskuse hulk kütuses.

Erineva küttevääртusega kütuste võrdlemiseks kasutatakse ting- ehk leppekütuse mõistet, mille all mõistetakse kütust küttevääртusega 7000 kcal/kg (vt. tab. 7).

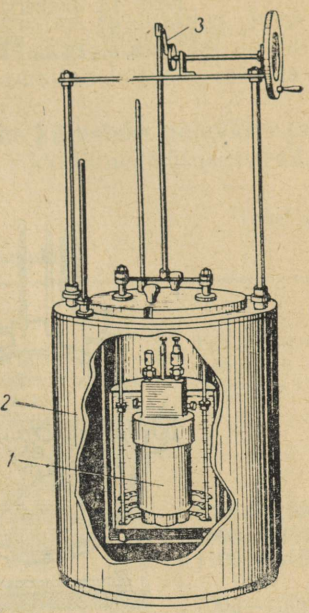
Kütuse kütteväärtus määratakse kas laboratoorselt kalorimeetriga (joon. 12) või kütuse keemilist koostist teades arvutamise teel.

Kütteväärtuse määramisel kalorimeetriga põletatakse teatav osa kütust (1—2 g) kalorimeetri pommis *1* hapniku atmosfääris kõrge rõhu all (25 atü). Kütus süüdatakse põlema elektrivoolu abil. Põlemisel vabanev soojus antakse üle kalorimeetri pommi ümbritsevale veele. Teades vee hulka ning vee temperatuuri enne ja pärast kütuse põlemist, saab määrata põlemisel vabanenud soojushulga, mis jagatuna ärapõlenud kütuse hulgaga annabki kütuse kütteväärtuse.

Arvutamise teel kütteväärtuse määramisel annab täpseima tulemuse Mendelejevi valem:

$$Q_t^k = 81C_t + 246H_t - 26(O_t - S_t) - 6W_t \frac{\text{kcal}}{\text{kg}},$$

kus $Q_t^k$ on tarbimiskütuse kütteväärtus kcal/kg, $C_t$, $H_t$, $O_t$, $S_t$ — tarbimiskütuse kaaluline elementaarkoostis %-des, $W_t$ — niiskus %-des.




Joon. 12. Kalorimeeter tahkekütuse kütteväärtuse määramiseks:

*1* — kalorimeetri pomm;
*2* — kalorimeetri kere;
*3* — segamismehhanism.

Näide. Määrata põlevkivi kütteväärtus tarbimiskütuse koostise puhul: $C_t = 30\%$, $H_t = 3{,}2\%$, $O_t = 3{,}8\%$, $N_t = 0{,}2\%$, $S_t = 0{,}8\%$, $W_t = 12\%$, $A_t = 50\%$.

$$Q_t^k = 81 \cdot 30 + 246 \cdot 3{,}2 - 26(3{,}8 - 0{,}8) - 6 \cdot 12 = 3068 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}.$$

Gaasilise kütuse põlemis- ja kütteväärtus on samuti määratavad valemiga, kui on teada gaasi mahuline koostis protsentides.

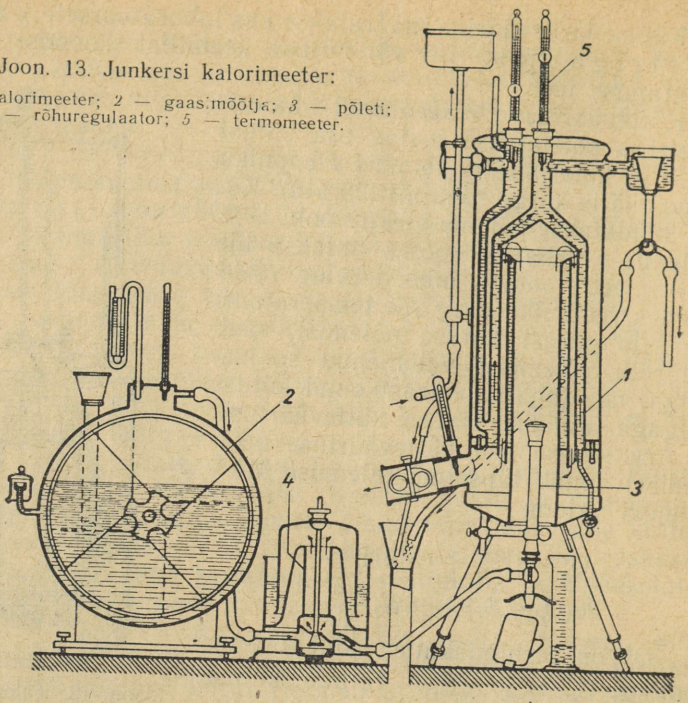
Põlevkivigaasi puhul:

$$Q_t^p = 30{,}2\,CO + 30{,}5\,H_2 + 107{,}5\,CH_4 + 176{,}4\,C_nH_m,$$
$$Q_t^k = 30{,}2\,CO + 25{,}7\,H_2 + 97{,}5\,CH_4 + 166{,}1\,C_nH_m.$$

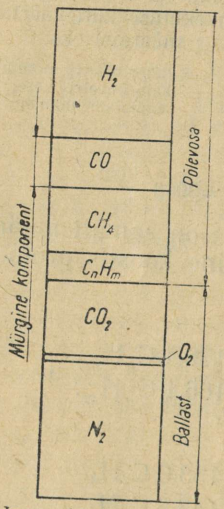
Muude gaasiliste kütuste puhul:

$$Q_t^p = 30{,}2\,CO + 30{,}5\,H_2 + 95{,}2\,CH_4 + 153{,}0\,C_2H_4,$$
$$Q_t^k = 30{,}2\,CO + 25{,}7\,H_2 + 85{,}5\,CH_4 + 143{,}5\,C_2H_4,$$

kusjuures rasked süsivesinikud $C_nH_m$ loetakse samaväärseks etüleeniga $C_2H_4$.




Joon. 13. Junkersi kalorimeeter:
*1* — kalorimeeter; *2* — gaasimõõtja; *3* — põleti; *4* — rõhuregulaator; *5* — termomeeter.




Joon. 14. Gaaskütuse koostise skeem.

Gaasilise kütuse kütteväärtuse määramisel laboratoorsel teel kasutatakse erilist nn. junkersi kalorimeetrit (joon. 13). Teades põletisse antava gaasi hulka, läbivoolava vee hulka ja vee temperatuuri kalorimeetri ees ning taga, saab nende andmete põhjal kütteväärtuse määrata arvutuse teel.

Gaasiline kütus koosneb samuti põlevosast ja ballastist nagu tahkekütuski (joon. 14).

Näide. Määrata põlevkivigaasi kütteväärtus järgmise mahulise koostise puhul: $CO_2$=15,4%; $O_2$=0,5%; $CO$=10,4%; $H_2$=27,0%; $CH_4$=13,1%; $C_nH_m$=5,3%; $N_2$=28,3%.

$$Q_t^k = 30{,}2 \cdot 10{,}4 + 25{,}7 \cdot 27{,}0 + 97{,}5 \cdot 13{,}1 + 166{,}1 \cdot 5{,}3 = 3170 \text{ kcal/nm}^3.$$

## 10. KÜTUSTE PÕHILISED LIIGID

NSV Liit omab maailmas suurimaid kütuse varusid, mis asuvad erinevate kütuseliikidena mitmesugustes rajoonides. Nõukogude majanduspoliitikas on Nõukogude riigi esimestest aastatest peale pööratud suurt tähelepanu kohalike kütuste laialdasele tootmisele ja kasutamisele.

Eesti NSV-s on peamisteks kohalikeks kütusteks põlevkivi ja turvas (vt. tab. 4), mis moodustavad rikkalikud kütusevarud.

Tabel 4

**Tahke- ja vedelkütuste omadusi**

| Nimetus | Tarbimisaine | | | | Lendosade sisaldus põlevaines $L_p$ % | Tuha plastinemise algtemp.° |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Niiskus $W_t$ % | Tuhk $A_t$ % | $CO_2$ % | Kütteväärtus $Q_t^k$ $\frac{kcal}{kg}$ | | |
| Donetsi kivisöed: | | | | | | |
| pikaleegiline | 12,0 | 19,8 | — | 4900 | 43,0 | 1000—1100 |
| rasvane aurusüsi | 5,0 | 19,0 | — | 6050 | 32,0 | 1000—1050 |
| lahja süsi | 4,0 | 13,4 | — | 6800 | 12,0 | 1100—1150 |
| antratsiidid | 5,3 | 11,7 | — | 6570 | 3,5 | 1080 |
| moskvalähine süsi | 33,0 | 18,4 | — | 2860 | 45,0 | 1000—1500 |
| ENSV põlevkivi: | | | | | | |
| I sort — suurkivi | 9,0 | 39,0 | 10,9 | 3600 | 82,0 | 1150—1165 |
| II sort — väikekivi | 11,0 | 41,0 | 13,3 | 3000 | 82,0 | » |
| III sort — peenkivi | 13,0 | 42,0 | 14,8 | 2600 | 82,0 | » |
| Tükkturvas (tüüpkoostisega) | 35,0 | 7,2 | — | 2820 | 70,0 | 800—1400 |
| Freesturvas (tüüpkoostisega) | 45,0 | 6,1 | — | 2290 | 70,0 | 800—1400 |
| Puit: | | | | | | |
| õhukuiv | 30,0 | 0,7 | — | 2910 | 85 | 1070 |
| toores, alles raiutud | 50,0 | 0,5 | — | 1900 | 85 | 1070 |
| Põlevkivi-kütteõli | 1,5 | 0,5 | — | 9000 | — | — |
| Masuut | 3,0 | 0,2 | — | 10 000 | — | — |

Põlevkivi on tekkinud merepõhja settinud vetikate ja mereloomade jäänustest. Peale taimede ja loomade jäänuste on põlevkivi koostises veel saviosakesi jm. Põlevkivi asetseb lademes kihtidena, vaheldumisi lubjakivi (aheraine) kihtidega. Põlevkivikihid moodustavad ligikaudu $^2/_3$ ja aherainekihid $^1/_3$ lademe üldkõrgusest. Kihtide paksus ulatub 10 cm-st kuni 1 m-ni.

Kaevanduses toodetud põlevkivi sorteeritakse sorteerimisjaamades. Vabariiklike tehniliste tingimuste A 26-51 järgi jagatakse põlevkivi tüki suuruselt kolme sorti (vt. tab. 5).

Põlevkivi on lendosaderikas (põlevosast 82%) ja suure tuhasisaldusega (kuivaines kuni 66%) kütus. Põlevkivi küttevääртus on kuni 3700 kcal/kg. Kaevanduskivi koguniiskus on keskmiselt 10—12% piirides. Niiskus esineb põlevkivis suurel määral

Tabel 5

**Põlevkivi sortide omadusi**

| Sort | Tükisuurus mm | Küttevääртus kcal/kg | Niiskus % | Tuhasisaldus kuivaines % |
|---|---|---|---|---|
| I | Üle 125 | 3600—3400[1] | 9—12[1] | 55 |
| II | 125—25 | 3000—2800 | 11—13 | 62 |
| III | Alla 25 | 2600—2400 | 13—18 | 66 |

[1] Esimene arv tähendab keskmist, teine lubatud piirväärtust.

välisniiskusena, mistõttu põlevkivi õhu käes kergesti kuivab. Tagasiniiskumisel sademeist ei tõuse tükispõlevkivi niiskus üle kaevandusniiskuse määra. Peenpõlevkivi on hügroskoopsem, mistõttu tema niiskusesisaldus on suurem kui tükiskivil. Kaevandusest väljatoodud põlevkivi allub ilmastiku, eriti sademete mõjule. Sademete ning vahelduva külma ja sula käes olnud tükispõlevkivi killuneb õhukesteks lehtedeks. Säilitamisel on soovitav hoida põlevkivi katusealustes ladudes.

Põlevkivi süttib kergesti (270°) ja enamik lendosi eraldub juba madalatel temperatuuridel. Põlevkivi põleb koldes pika leegiga ja nõuab täielikuks põlemiseks avarat kollet.

Põlevkivituhk avaldab vedelas olekus kolde happelise reaktsiooniga šamottvoodrile suurt sööbivat mõju.

Põlevkivi põletatakse kihis (restil) ja ruumis (tolmuna).

Turvas on tekkinud taimsete organismide lagunemisel vee all. Tekkimisviisilt tehakse vahet kõrgsoo ja madalsoo turba vahel. Kõrgsoo tekib mineraalmaal, kus tingituna pinnareljeefist on takistatud sademete äravool ja tekkinud liigniiskes keskkonnas hakkab kasvama veenõudlik taimestik ning arenema soostumisprotsess; madalsoo tekib veekogude kinnikasvamisel taimsete ja loomsete organismide ladestumisega veekogu põhjas, kuhu uhutakse lisaks liiva ja savi. Turbarabade vanus on üle 8000 aasta; turvas ise on maapõue süterea kõige noorem liige.

Tootmisviisilt jaguneb turvas labida-, masina-, hüdro-, frees- ja brikett-turbaks.

Labidaturvast toodetakse käsitsi. Labidaturvas mureneb, imab niiskust ega kuiva hästi.

Masinaturba tootmisel karjäärist tulev turbamass purustatakse, segatakse veega, pressitakse ja lõigatakse pätsideks, mis kuivatatakse õhu käes. Masinaturvas on tihedam ega märgu nii kergesti.

Hüdroturba tootmisel uhutakse turbamass veejoaga lahti ja pumbatakse vee ning turba segu kuivatusväljakule kuivama 20—30 cm paksuse kihina, kus see, kuivanud 85—90% niiskuseni, lõigatakse masinatega pätsideks ja kuivatatakse edasi nagu masinaturvast.

Freesturba tootmine on odavam ja seni kõige paremini mehhaniseeritud tootmisviis. Rabapinnalt lahtifreesitud õhuke turbakiht kuivatatakse õhu käes 40—50% niiskuseni ja kogutakse vastavate masinatega. Aunas seistes freesturvas soojeneb. Mõned turbaliigid kalduvad seejuures isesüttimisele.

Brikett-turvas valmistatakse freesturbast, mis kuivatatakse kunstlikult 10%-lise niiskuseni ja pressitakse 1500-atmosfäärilisel rõhul brikettideks.

Turvas kuulub madalaväärtuslike kütuste hulka. Tuhka on turbas 5—15% (madalrabas kuni 30%), niiskust õhukuivas masinaturbas ligikaudu 35%, freesturbas keskmiselt 45%. Lendosade sisaldus põlevaines ulatub 70%-ni.

Turvast põletatakse kihis, tolmuna ja hõljuvas olekus (freesturvas).

P u i d u osatähtsus kütusena Eesti NSV-s on väike. Puitu kasutatakse kütusena peamiselt majapidamises ja väiksemates tööstustes.

Puit on suure lendosade sisaldusega (85% põlevosast) tuhavaene (1—4%) kütus. Puidu niiskus ulatub 25—30%-lt (õhukuiv — 1 aasta) 50%-ni (värskelt raiutud). Et kõigi puiduliikide põlevosa koostis on peaaegu ühesugune, siis võrdse niiskuse puhul üksikute puiduliikide küttevääruused erinevad väga vähe.

K i v i s ü s i kuulub kõrgeväärtuslike kütuste hulka ja on tehnilisest seisukohast tähtsaim kütuseliik. Kivisöed on tekkinud puude ja taimede pikaldasel lagunemisel ning söestumisel kõrge rõhu ja temperatuuri mõjutusel. Sõltuvalt lendosade sisaldusest (8—46%), utmisel saadava koksi omadustest ja paakumisest jaotatakse kivisöed liikidesse. Kivisüte tuhasisaldus on 5—20%, niiskus 3—15%, küttevääruus 4400—7400 kcal/kg.

P r u u n s ü s i on kivisöega võrreldes tekkimisvanuselt noorem, lendosaderikkam (30—47%), suurema niiskuse- (20—55%) ja tuhasisaldusega (kuni 50%). Pruunsüte küttevääruus on 1400—4200 kcal/kg.

A n t r a t s i i d i d on süte hulgas vanimad, enam lagunenud ja seetõttu lendosadevaesemad (3—8%). Antratsiidi küttevääruus on 5500—7100 kcal/kg. Tuha- ja niiskusesisaldus on analoogiline kivisöele.

Süte vääristamisega tõstetakse nende kütteväärtust. Seejuures eemaldatakse sütest kaevanduse aheraine, rähad ja teised mehaanilised lisandid.

Mõned süte liigid, eriti lendosaderikkad ja suure väävli-, niiskus- ning peene osa sisaldusega, kalduvad isesüttimisele, kui puudub võimalus õhuhapniku mõjul hapendumise tulemusena tekkinud soojuse ärajuhtimiseks. Isesüttimisele kalduvaid süsi tuleb säilitada kuival alusel aunades kõrgusega mitte üle 1,5 m ja kontrollida perioodiliselt aunade temperatuuri neisse asetatud terastorude (üksteisest 5—6 m kaugusel) ja termomeetri abil. Temperatuuri tõusmisel üle 60—70° tuleb aun laiali ajada. Aunade ventileerimiseks kasutatavad puittorud ei täida oma ülesannet, vaid võivad isesüttimist veelgi kiirendada.

Kivisütt, pruunsütt ja antratsiiti põletatakse kihis ja tolmuna.

Vedelkütustest on tähtsamad masuut, nafta utmisjääk, ja Eesti NSV oludes põlevkivi-kütteõli, põlevkivi utmise saadus.

Masuudi erikaal on 0,99, veesisaldus alla 3% ja tuhasisaldus alla 0,2%. Masuudi kütteväärtus on kuni 10 000 kcal/kg. Masuut hangub harilikult —10 kuni —15, parafiinirikas masuut +30 ja enama kraadi juures.

Tabel 6

**Gaasiliste kütuste koostis (protsentides) ja omadusi**

| Koostisosade nimetus ja omadused | Keemiline tähis | Põlevkivigaas | Koksigaas | Looduslik gaas (Saraatovi) | Vedelgaas |
|---|---|---|---|---|---|
| Põlevosa: | | | | | |
| Vesinik | $H_2$ | 30 | 55 | 0,6 | — |
| Metaan | $CH_4$ | 14 | 26 | 93,2 | Kuni 8 |
| Vingugaas | CO | 10 | 7 | 0,7 | — |
| Rasked süsivesinikud | $C_nH_m$ | 5,5 | 2 | 0,7 | Kuni 100 |
| Põlevgaaside % kokku | | 60 | 90 | 95 | 100 |
| Ballast: | | | | | |
| Süsihappegaas | $CO_2$ | 15 | 2,5 | — | — |
| Lämmastik | $N_2$ | 25 | 7,0 | 4,2 | — |
| Hapnik | $O_2$ | 0,5 | 0,5 | 0,6 | — |
| Ballasti % kokku | | 40 | 10 | 5 | — |
| Erikaal kg/nm³ | | 0,98 | 0,5 | 0,8 | 2,2 |
| Kütteväärtus kcal/nm³ | | 3350 | 4500 | 8400 | 26 000 |
| Plahvatuspiirid %-des | | 4—45 | 5—30 | 6—15 | — |

Põlevkivi-kütteõli erikaal on 0,99—1,01, veesisaldus alla 1,5%, tuhasisaldus alla 0,5%. Põlevkivi-kütteõli küttevääртus on 9000 kcal/kg. Hangumispunkt on ligikaudu 10° alla nulli.

Gaasilised kütused on kõige väärtuslikumad kütused. Suurem tööstuslik tähtsus on järgmistel gaasidel: looduslik gaas, mida saadakse nafta puuraukudest või eri gaasipuuraukudest; kõrgahjugaas, mida saadakse malmi sulatamisel kõrgahjudes; generaatorigaas, mida saadakse kütuste gaasistamisel generaatoreis; maa-alune gaas, mida saadakse kütuste maa-alusel gaasistamisel. Eesti NSV-s omab suurt tähtsust põlevkivigaas, mida saadakse põlevkivi gaasistamisel kamberahjudes (vt. tab. 6).

Tabel 7

**Kütuste mahukaale, küttevääртusi ja ümberarvutus tingkütusele**

| Kütus | Mahukaal kg/m³ | Küttevääртus kcal/kg | 1 tonni kütusele vastav tingkütuse hulk tonnides | 1 m³ kütusele vastav tingkütuse hulk tonnides |
|---|---|---|---|---|
| Põlevkivi, I sort | 1000 | 3600 | 0,514 | 0,514 |
| Põlevkivi, II sort | 1000 | 3000 | 0,428 | 0,428 |
| Põlevkivi, III sort | 900 | 2600 | 0,372 | 0,335 |
| Brikett-turvas, laotud (10% niiskust) | 100 | 4300 | 0,614 | 0,614 |
| Brikett-turvas, loobitud (10% niiskust) | 600 | 4300 | 0,614 | 0,368 |
| Tükkturvas, loobitud (33% niiskust) | 350 | 3000 | 0,428 | 0,149 |
| Freesturvas (40% niiskust) | 220 | 2750 | 0,393 | 0,086 |
| Kivisüsi | 850 | 7000 | 1,000 | 0,850 |
| Kivisöekoks | 800 | 7400 | 1,059 | 0,846 |
| Puitkütused, laotud [1] (25% niiskust) | | | | |
| Kuusk | 340 | 3235 | 0,462 | 0,157 |
| Mänd | 380 | 3320 | 0,474 | 0,182 |
| Kask | 470 | 3230 | 0,461 | 0,218 |
| Lepp | 370 | 3165 | 0,452 | 0,167 |
| Haab | 360 | 3125 | 0,446 | 0,164 |
| Tamm | 540 | 3295 | 0,471 | 0,254 |
| Saepuru (45% niiskust) | 400 | 2245 | 0,321 | 0,127 |
| Kännud (25% niiskust) | 250 | 3525 | 0,504 | 0,126 |
| Masuut | 990 | 10 000 | 1,428 | 1,412 |
| Põlevkivi-kütteõli | 1000 | 9000 | 1,286 | 1,286 |

[1] Ruumimeetri kohta.

Gaasilistes kütustes puudub tahke ballast, välja arvatud tolm. Suurim kütteväärtus on looduslikel gaasidel, keskmiselt 8000—9000 kcal/nm³, üksikutes leiukohtades kuni 15 000 kcal/nm³. Generaatorigaasi kütteväärtus on 1000—1500 kcal/nm³, kõrgahjugaasil — 950 kcal/nm³.

## 11. KÜTUSE KESKMISE PROOVI VÕTMINE

Kütuse keskmise proovi võtmine jaotatakse esmase proovi ja laboratoorse proovi võtmiseks. Esmane proov võetakse sõltuvalt kütuse etteandmise viisist katlamajja kas vagonettidest, linttransportöörilt, toitjatest või mujalt.

Esmase proovi kaaluline kogus ja üksikproovide arv sõltub peamiselt kütuse tükisuurusest ja tuhasisaldusest. Esmane proov kogutakse erikasti, edasi toimub prooviks võetud kütuse peenestamine ning segamine ja sellest laboratoorse proovi võtmine. Tahkekütuse esmase proovi normid on toodud tabelites 8, 9 ja 10.

**Kivisöe proovi võtmise normid** Tabel 8

| Tuhasisaldus kuivaines % | Esmaseks prooviks võetav minimaalne üksikproovide hulk tükisuurusel 0—150 mm ja vastaval proovi raskusel 1—5 kg | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0—25 mm | 0—50 mm | 0—75 mm | 0—100 mm | 0—150 mm |
| | 1 kg | 2 kg | 3 kg | 4 kg | 5 kg |
| Kuni 10 | | | 60 | | |
| 10—15 | | | 90 | | |
| 15—20 | | | 120 | | |
| Üle 20 | | | 180 | | |

**Põlevkivi proovi võtmise normid** Tabel 9
(esmaseks prooviks võetakse 100 üksikproovi)

| Tükisuurus mm | 0—40 | 0—100 | 0—200 |
|---|---|---|---|
| Proovi raskus kg | 3 | 5 | 8 |

**Turba proovi võtmise normid** Tabel 10
(kütuse hulga puhul kuni 100 t)

| Turba liik | Proovide hulk üksikproovi kaalu puhul | | | |
|---|---|---|---|---|
| | kuni 1 kg | üle 1 kg | kuni 5 kg | üle 5 kg |
| Freesturvas | 45 | 30 | — | — |
| Tükkturvas | — | — | 50 | 16 |

Puidu esmane proov võetakse riitadest. Valitud kolmel riidal märgitakse ära osa pikkusega 5 m. Riida ülaservast 30—40 cm kaugusele tõmmatakse haluotstele joon ja märgitakse sellel üksteisest 1 m kaugusel olevad halud, mis võetakse prooviks. Veelgi parem on valida halgusid märgitud riidaosale tõmmatud diagonaale mööda. Esmaseks prooviks on soovitav võtta 50—100 halgu.

Vedel- või gaaskütuse esmane proov on ühtlasi ka laboratoorseks prooviks.

Kogu prooviks võetud kütus segatakse hoolikalt ja peenestatakse tükisuuruseni 25 mm. Seejärel eraldatakse prooviks võetud kütusest teatud osa, mida peenestatakse veelgi. Seda operatsiooni korratakse kütuse lõpliku peenestamiseni. Kütuse hulga vähendamine toimub vastavalt tabelis 11 toodud andmetele.

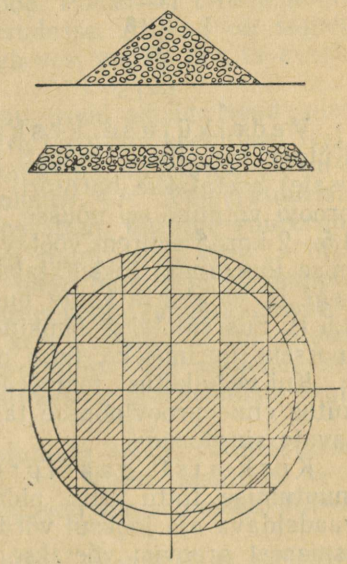
Tabel 11

**Proovi kaal pärast vähendamist**

| Maksimaalne tükisuurus mm | Proovi minimaalne kaal pärast vähendamist kg |
|---|---|
| 25 | 60 |
| 13 | 15 |
| 3 | 3,75 |
| 1 | 0,75 (laboratoorne proov) |

Laboratoorseks prooviks võetakse 0,5 kg kütust, mis on peenestatud kuni 3 mm-ni, niisketel kütustel aga 13 mm-ni, sest edasisel peenestamisel kütus võib kaotada osa oma niiskusest.

Joonisel 15 on näidatud viis kütuse proovi vähendamiseks. Peenestatud kütus segatakse ja puistatakse koonusekujulisse hunnikusse. Seejärel surutakse koonus lamedaks ühtlase paksusega ringiks (või ruuduks) ja tõmmatakse sellele kaks 90° all olevat diagonaali. Kaks vastamisi asuvat sektorit visatakse kõrvale, ülejäänud kütus peenestatakse täiendavalt, segatakse ja puistatakse uuesti koonusekujulisse hunnikusse. Pärast viimast kütuse peenestamist ja segamist tõmmatakse ringile malelaua kujuliselt ristjooned.



Joon. 15. Kütuse proovi vähendamise skeem.

Pooltest (joonisel viirutatud) ruutudest võetakse laboratoorne proov, mis pannakse kahte õhukindlalt suletavasse purki. Ühe purgi sisu läheb uurimiseks (kütuse omaduste määramiseks), teine purk jääb varu- või kontrollpurgiks.

Turba proovi ettevalmistamisel turbatükid esimesel peenestamisel raiutakse pooleks, seejärel toimub peenestamine ja kütuse hulga vähendamine vastavalt tabelis 12 toodud andmetele.

Puidust võetakse kaks laboratoorset proovi: üks niiskuse ja teine elementaarkoostise ning küttevääruse määramiseks.

Et saada proovi niiskuse määramiseks, saetakse iga halu otsast maha 1/4 halu pikkusest ja seejärel värskest otsast 20 mm paksune tükk prooviks. Need tükid poolitatakse ja pooled asetatakse teine teise õhukindlalt suletavasse purki. Saagimisel tekkivast saepurust võetakse teine proov — elementaarkoostise ja küttevääruse määramiseks, mis asetatakse samuti kahte õhukindlalt suletavasse purki.

Tabel 12

**Turba proovi kaal pärast vähendamist**

| Maksimaalne tükisuurus cm | Proovi minimaalne kaal pärast vähendamist kg |
|---|---|
| 13—15 | 130—150 |
| 7—8 | 65—75 |
| 5—6 | 32—33 |
| 2—3 | 16—20 |
| 1—1,5 | 1—2 (laboratoorne proov) |

Vedelkütuse keskmine proov võetakse järgmiselt. Kütuse torustikule pihusti ette (võimaluse korral vertikaalsele osale) asetatakse harutoru kraaniga, millest toimubki pidevalt proovi võtmine eri nõusse. Viimase maht peab olema ligikaudu 1,5—2 korda suurem võetava proovi hulgast. Pärast proovi võtmise lõpetamist loksutatakse prooviks võetud vedelkütus hästi segi ja valatakse kahte pudelisse (kumbki mahuga mitte alla 1,5 l), mis suletakse õhukindlalt. Ühe pudeli sisu läheb laboratoorseks uurimiseks, teise oma jääb kontrolliks.

Kui vedelkütuse temperatuur on üle 50°, siis prooviks võetav kütus enne proovinõusse laskmist juhitakse läbi veega jahutatavate siugtorude.

Keskmist gaasiproovi on soovitav gaasi koostise muutumise tõttu võtta pidevalt nii, et võetav gaasi hulk on vaadeldava aja jooksul võrdeline gaasi kuluga. Selliselt saadud esmasest proovist võetakse laboratoorne proov.

# III. TOITEVESI JA SELLE ETTEVALMISTUS

## 12. LOODUSLIK VESI JA VEE LISANDID

Vesi esineb looduses atmosfäärilise veena (vihm, lumi), pinnaveena (ojad, jõed, järved), põhjaveena (kaevud, allikad) ja mereveena. Vesi sisaldab mitmesuguseid lisandeid, mis muudavad tema omadusi ja millel on suur tähtsus aurukatla töötamise suhtes. Vesi on looduses pidevalt ringkäigus. Igas lahtises veekogus toimub vee auramine. Ookeanide ja merede kohal koondub veeaur pilvedesse, mis kantakse õhuvooludega mandrite kohale. Kondenseerunud aur langeb maapinnale vihmana või lumena. Seal valgub osa vett järvedesse, jõgedesse jne., kuna teine osa tungib maapinda kuni veekindla savi- või kivikihini ja liigub edasi seda kihti mööda. Põhjavesi tõuseb maapinnale allikatena või koguneb kaevudesse. Allikad on sageli jõgede alguseks; jõgede kaudu valgub vesi merre, kus ta aurab ja algab sama ringkäiku uuesti.

Veel on omadus lahustada mitmesuguseid aineid. Nende olemasolu vees võib kindlaks teha maitse järgi või keemilisel teel.

Aine hulka, mis lahustub vee mahuühikus, nimetatakse *aine lahustuvuseks vees*. See oleneb vee temperatuurist. Mõnede ainete puhul lahustuvus temperatuuri tõusuga suureneb, teiste ainete juures väheneb. Ained nagu lubi, kips ja õlid lahustuvad vees väga vähe. Gaasid nagu hapnik ja süsihappegaas, lahustuvad samuti vähe, kusjuures nende lahustuvus väheneb temperatuuri tõusuga. Selles on kerge veenduda, kui valada vett klaasnõusse ja tõsta tema temperatuuri. Vee soojenemisel hakkavad temast eralduma gaasimullikesed; vee keemisel eralduvad gaasid veest täielikult.

Aineid, mis esinevad vees lahustamata olekus, nimetatakse *mehaanilisteks lisanditeks*. Nende sisaldus vees on silmaga nähtav. Savi ja liiv muudavad vee sogaseks. Teised lisandid muudavad vee värvust.

Läbides maapinna kihte, lahustab vesi seal leiduvaid mitmesuguseid aineid. Seepärast sisaldavad põhjaveed rohkem soola-

sid kui pinnaveed. Seevastu sisaldavad pinnaveed rohkem mehaanilisi lisandeid, mis satuvad vette maapinnalt. Põhjavete soolade sisaldus ei olene aastaajast, vastupidi mehaaniliste lisandite sisaldusele pinnavetes.

Loodusliku vee lisandid võib jagada seega kahte ossa: *mittelahustuvad* ehk *mehaanilised* lisandid, nagu savi, liiv jne., ja *lahustuvad* lisandid, nagu gaasid, vedelad ja tahked ained. Seejuures tuleb silmas pidada, et väga väikesed mehaanilised osakesed (läbimõõduga millimikronist kuni 0,1 mikronini) moodustavad vees nn. *kolloidlisandid*, kuna mehaanilisteks lisanditeks on osakesed läbimõõduga 0,1 mikronit või enam.

Lahustunud ained esinevad vees üksikute molekulidena või molekulide elektriliselt laetud osakestena — ioonidena.

Kolloidlisandid, mis oma mõõtmete poolest on lahustunud ainete osakeste ja mehaaniliste lisandite vahepealsed, kannavad samuti kui ioonid elektrilaengut, mis takistab neid suuremateks rühmitusteks ühinemast. Kolloidosakeste elektriline laeng põhineb nende osakeste omadusel absorbeerida lahusest ioone või neid lahusesse eraldada. Ränihappe osakesed eraldavad lahusesse näiteks vesiniku ioone, mille tagajärjel nad ise laetakse negatiivselt. Ka mitmesuguste orgaaniliste ainete kolloidosakeste laeng on negatiivne. Seevastu rauа- ja alumiiniumhüdroksüüdide kolloidosakeste laeng on positiivne, kuna need annavad lahusesse negatiivselt laetud ioone.

Kolloidlahuste vastavas vahekorras segunemisel vastupidise märgiga laengud neutraliseeruvad ja tekib vastastikune koaguleerimine. Laengu kaotanud osakesed ühinevad, moodustades suuremaid rühmitusi ja helbeid, mis lasevad endid vedelikust settimise või filtreerimise teel eraldada.

Vett saastavate lisandite koostist näitab analüüs. Täielikul vee analüüsil määratakse aurutusjääk, kuumutusjääk ja mineraaljääk, muda-, magneesiumi-, naatriumi-, kloriidide, sulfaatide, bikarbonaatide, nitraatide ja nitriidide sisaldus, kalkus, leelisus ja happelisus.

Suur tähtsus on ka toitevees lahustunud gaasidel — hapnikul ja süsihappegaasil, mis põhjustavad metalli korrosiooni.

*Mudasisaldus* näitab vee saastumist jämedateralise lisandiga milligrammides liitri vee kohta, mida saab eraldada filtreerimisega. Jääk filtril koosneb põlev- ja mittepõlevast (orgaanilisest ja mineraalsest) osast. Jäägi kuumutamisest ja tuhastamisest ülejääv osa moodustab mineraalosa, jäägi ja mineraalosa vahe aga põlevosa.

*Aurutusjäägiks* nimetatakse vees lahustunud ainete hulka, mis jääb järele pärast filtreeritud vee täielikku aurustumist. Jääk kuivatatakse kuivatuskapis ja antakse milligrammi-

des liitri vee kohta. Et filtreeritud vesi sisaldab kolloidosakesi, siis ei näita aurutusjääk täpselt vees lahustunud soolade hulka. Peale selle eraldub naatriumi-, naatriumsulfaadi, kipsi-, magneesiumkloriidi, magneesiumsulfaadi ja teiste soolade kristallvesi 105—110° temperatuuril kuumutamisel.

Aurutusjäägi kuumutamisel (tuhastamisel) põleb ära orgaaniline osa, kuid seejuures toimuvad ka mitmesugused protsessid, mis tugevasti muudavad järelejäänud mineraalosa koostist (kloornaatrium aurustub, raua ja sulfaatide hüdroksüüdid taanduvad jne.). Seetõttu iseloomustab kuumutusjääk ainult umbkaudselt vee mineraalosade koostist.

Mineraaljääki saab arvutada vee mineraalsete komponentide summeerimise teel. Saadud tulemus aga ei ole kasutatav analüüsi õigsuse kontrollimisel. Selleks on otstarbekas kasutada nn. sulfaatjääki, mis saadakse pärast aurutusjäägi töötlemist väävelhappega, liigse väävelhappe äraaurutamist ja saaduse kuumutamist. Sellisel töötlemisel jäävad kõik katioonid sulfaatidena alles, kuid happed, nagu süsihape, soolhape, lämmastikhape jne. lenduvad. Et naatrium-, kaltsium- ja magneesiumsulfaat on tulekindlad (ei lendu isegi 1000° juures), ei muutu need ühendid kuumutamisel. Raud- ja alumiiniumsulfaadid aga muutuvad kuumutamisel oksüüdideks:

$$Fe_2(SO_4)_3 = Fe_2O_3 + 3SO_3;$$
$$Al_2(SO_4)_3 = Al_2O_3 + 3SO_3.$$

Vee omadused määrab peamiselt kaltsiumi-, magneesiumi- ja naatriumisoolade sisaldus. Need soolad on vesilahuses täielikult dissotsieerunud, s. t. ei esine seal mitte molekulide, vaid ioonidena. Keedusool laguneb vees $Na^+$ ja $Cl^-$ ioonideks, naatriumsulfaat $Na^+$ ja $SO_4^{-2}$ ioonideks, kaltsiumsulfaat $Ca^{+2}$ ja $SO_4^{-2}$ ioonideks jne. Seetõttu pole alust kujutleda, et vees on näiteks palju kipsi või keedusoola. Vee koostise järgi saab küll kindlaks teha, millised ained põhjustavad katlakivi, kuid samal ajal tuleb meeles pidada, et sool ise puudub vesilahuses — seal on ainult soola ioonid.

Kaltsiumi $Ca^{+2}$ sisaldus vees väljendatakse tavaliselt milligrammides liitri kohta. Koos magneesiumiga annab kaltsium veele kalkuse. Kaltsiumi sisaldus vees määratakse analüüsiga. Kaltsiumi ioonid satuvad vette sel teel, et vesi lahustab mitmesuguseid kaltsiumisoolasid, nagu kipsi $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, lubjakivi $CaCO_3$, dolomiiti $CaMg(CO_3)_2$ jne.

Magneesiumi $Mg^{+2}$ sisaldus vees määratakse samuti analüüsiga. Magneesium satub vette serpentiini, dolomiidi, brutsiidi jne. lahustumisel.

Kaltsium ja magneesium on peamisteks katlakivi tekitajateks. Vee kuumendamisel tekivad ja sadestuvad nende

metallide raskesti lahustuvad karbonaadid. Külmas vees valitseb tasakaal, mida skemaatiliselt võib väljendada järgmiselt:

$$HCO_3^- \rightleftarrows H^+ + CO_3^{-2},$$
$$HCO_3^- + H^+ \rightleftarrows H_2CO_3 \rightleftarrows H_2O + CO_2.$$

Vee kuumenemisel eraldub aga $CO_2$, sest viimase lahustuvus vees temperatuuri tõusul väheneb. $CO_2$ eraldumine rikub tasakaalu, mille tulemusena tekib reaktsioon:

$$2HCO_3^- = CO_3^{-2} + H_2O + CO_2.$$

Tekkinud $CO_3^{-2}$ ioon sadestab kaltsiumi karbonaadi kujul:

$$Ca^{+2} + CO_3^{-2} \rightarrow CaCO_3.$$

Vee aurustamisel langevad välja sulfaadid, kloriidid ja silikaadid, nagu kaltsiumsulfaat, magneesiumsulfaat, kaltsiumkloriid, magneesiumkloriid, kaltsiumsilikaat ja magneesiumsilikaat. Nende ühendite koostis näitab, et katlakivi moodustavate katioonide kõrval leidub vees ka katlakivi moodustavaid anioone.

Naatriumi $N_2^+$ sisaldus vees on tingitud naatriumi sisaldavate mineraalide lahustamisest.

Ammoniaagi $NH_3$ ja selle ühendite sisaldust vees põhjustavad peaaegu alati bioloogilised protsessid. Looduslikus vees ammoniaak hapendub ja muutub kas vabaks lämmastikuks või lämmastiku ühenditeks.

Ammoniaak eraldub vee keemisel ja läheb üle auru. Selle kondenseerumisel ammoniaak lahustub, mis annab kondensaadile aluselise reaktsiooni. See omakorda vähendab metalli sööbimist, mis happelises keskkonnas kulgeks väga kiiresti.

Kloriidide $Cl^-$ sisaldus vees kiirendab (kuid ei põhjusta) metalli sööbimist. Sööbimise peamisteks põhjustajateks on vees lahustunud hapnik ja vaba süsihappegaas.

Katlakivi tekkimist soodustab sulfaatide, s. o. $SO_4^{-2}$ ioonide sisaldus. Eriti kiiret $CaSO_4$ sadestumist ja katlakivi tekkimist võib põhjustada sulfaadi ja kaltsiumi ioonide üheaegne sisaldus katlasse juhitavas toitevees. Samasuguselt mõjub ka kaltsiumsilikaat. Seepärast on vee kvaliteedi hindamiseks vaja teada ka ränihappe sisaldust.

Bikarbonaatide, s. o. $HCO_3^-$ ioonide sisaldus vees näitab, et vee kuumendamisel tekib karbonaatse koostisega katlakivi. See on aga võimalik ainult kaltsiumi ioonide sisalduse korral katlavees. Nende puudumisel bikarbonaatide ioonide lagunemine ja nende muutumine $CO_3^{-2}$ ioonideks katlakivi ei tekita. Nii näiteks tekib naatriumbikarbonaadi lahuse keemisel sooda:

$$2NaHCO_3 = Na_2CO_3 + H_2O + CO_2.$$

Bikarbonaatide ioonide sisaldust vees nimetatakse bikarbonaatseks leelisuseks.

Vee kalkuseks nimetatakse kaltsiumi ja magneesiumi ioonide kogu sisaldust vees. Varem mõõdeti vee kalkust kraadides. Vee kalkuseks loeti üks kraad, kui liiter vett sisaldas 10 mg CaO või sellele ekvivalentse hulga muid kaltsiumi või magneesiumi ühendeid (näiteks 19,79 mg/l $CaCl_2$, 17,85 mg/l $CaCO_3$, 24,28 mg/l $CaSO_4$, 16,98 mg/l $MgCl_2$ või 21,47 mg/l $MgSO_4$ jne.).

Suurus 10 mg/l CaO oli võetud ilma seoseta kontsentratsiooni mõõtmise keemiliste ühikutega.

Kraadi ühik vee kalkuse mõõtmiseks asendati 1951. a. (ГОСТ 6055-51) milligramm-ekvivalendiga liitri kohta (mg-ekv/l).

Uus kalkuse mõõtühik on ratsionaalses seoses kontsentratsiooni mõõtmise keemilise ühikuga (gramm-ekvivalendiga), olles sellest 1000 korda väiksem.

Teiselt poolt moodustab uus ühik lihtsa suhte ühendi molekulkaalu ja valentsiga.

Nii näiteks $Ca^{+2}$ 1 mg-ekv/l võrdub 20,03 mg/l, $Mg^{+2}$ 1 mg-ekv/l võrdub 12,16 mg/l, $Cl^{-}$ 1 mg-ekv/l võrdub 35,457 mg/l, $SO_4^{-2}$ 1 mg-ekv/l võrdub 48,03 mg/l, sooda ($Na_2CO_3$) 1 mg-ekv/l võrdub 53,002 mg/l jne.

Seega on uus kalkuse ühik ligikaudu 2,8 korda vanast suurem või täpsemalt:

1 mg-ekv/l = 2,804° või 1° = 0,35663 mg-ekv/l.

Vett loetakse pehmeks, kui selle kalkus on kuni 3 mg-ekv/l ja kalgiks, kui ta kalkus on üle 6 mg-ekv/l.

Vee kalkuse määramiseks võib kasutada mitmesuguseid meetodeid. Kui vesi ei sisalda vaske, tsinki ega mangaani ja arvatav kalkus on üle 0,5 mg-ekv/l, võib kalkust määrata järgmiselt:

a) 250—300 ml mahuga koonilisse kolbi mõõdetakse pipetiga selline kogus analüüsitavat läbipaistvat vett, et selle kaltsiumi ja magneesiumi ioonide summaarne sisaldus võetud proovis ei ületaks 0,5 mg-ekv. Proovi võtmisel juhindutakse tabeli 13 andmetest:

Tabel 13

**Analüüsitava vee proovikogused vastavalt kalkusele.**

| Vee kalkus mg-ekv/l | Analüüsiks vajalik kogus ml |
|---|---|
| 0,5 — 5 | 100 |
| 5 — 10 | 50 |
| 10 — 20 | 25 |
| 20 — 50 | 10 |

b) Analüüsitava proovi maht viiakse kationeeritud destilleeritud veega kuni 100 ml, lisatakse 5 ml ammoniaagi puhverlahust ja seitse-kaheksa tilka indikaatorit (musta eriokroomi T), mille järgi tiitritakse aeglaselt triloon Б 0,1 normaallahusega (kogu aeg intensiivselt segades), kuni vedeliku veinpunane värvus muutub rohekassiniseks.

c) Iga milliliiter täpselt 0,1 normaallahust sisaldab 0,1 mg-ekv.

Seega on vee kalkus väljendatav valemiga:

$$H = \frac{1000 \cdot a}{10\,V} = \frac{100\,a}{V},$$

kus $V$ on tiitrimiseks võetud analüüsitava vee maht;
$a$ — triloon Б 0,1 normaallahuse kulu ml.

Näide. Tiitrimiseks võeti 10 ml vett; trilooni Б 0,1 normaallahuse kulu oli 11,35 ml. Analüüsitava vee kalkus

$$H = 100\,\frac{11{,}35}{10} = 113{,}5 \text{ mg-ekv/l}.$$

Vee üldiseks leelisuseks nimetatakse kõikide komponentide sisaldust vees, mis põhjustavad leelisust (nagu bikarbonaadid, karbonaadid, humaadid, silikaadid, fosfaadid ja hüdraadid). Bikarbonaadid on süsihappe soolad, milles happe vesinik on ainult osaliselt asendunud metalliga. Looduslik vesi sisaldab tavaliselt magneesiumbikarbonaati $Mg(HCO_3)_2$, kaltsiumbikarbonaati $Ca(HCO_3)_2$ ja naatriumbikarbonaati $NaHCO_3$. Karbonaadid on süsihappe soolad, milles happe vesinik on täielikult asendunud metalliga. Nende hulka kuulub sooda $Na_2CO_3$, vees hästi lahustuv magneesiumkarbonaat $MgCO_3$ ja vees väga vähe lahustuv kaltsiumkarbonaat $CaCO_3$. Humaatideks nimetatakse nõrkade orgaaniliste humiinhapete soolasid, silikaatideks — ränihappe soolasid, fosfaatideks — fosforhappe soolasid ja hüdraatideks — vabu aluseid nagu $Ca(OH)_2$ ja NaOH.

Vee leelisust mõõdetakse samuti milligramm-ekvivalentides liitri kohta.

Leelisuse määramiseks võetakse kolbi 100 ml analüüsitavat vett, mida tiitritakse väävel- või soolhappe 0,1 normaallahusega metüüloranži juuresolekul. Happe 0,1 normaallahuse kulu $a$ vastab arvuliselt otse vee leelisusele $M$ mg-ekv/l.

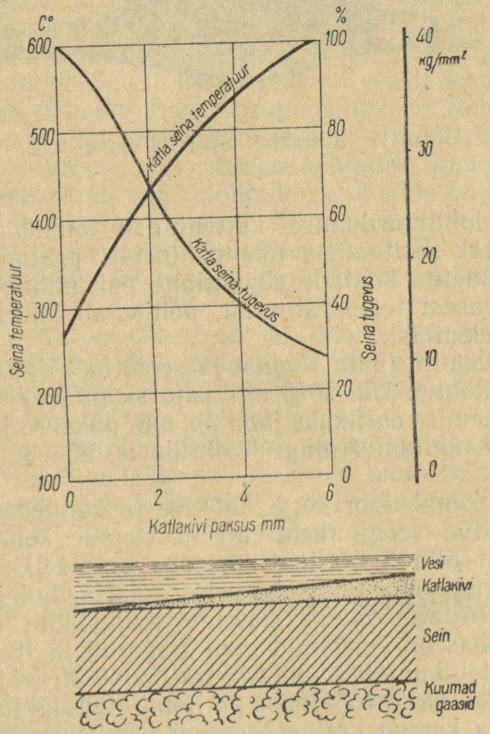
$$M = a.$$

Katlavee teatav leelisus on kasulik, kuna see vähendab vees lahustunud gaaside ($O_2$ ja $CO_2$) sööbivat mõju metallile. Üleliigne leelisus aga põhjustab katlavee vahutamist ja vahu kaasaviimist auruga.

## 13. KATLAKIVI TEKKIMINE

Mõned looduslikus vees sisalduvad ained moodustavad raskestilahustuvaid ühendeid juba vee soojenemisel. Näiteks $HCO_3^-$ ioonide lagunemisel tekkivad $CO_3^{-2}$ ioonid põhjustavad raskesti lahustuva $CaCO_3$ sadestumist. See protsess kulgeb vee soojenemisel katla veeruumis, ökonomaiseris või muudes vee-eelsoojendamise seadmetes ja põhjustab seal karbonaatse katlakivi tekkimist. Tuleb märkida, et $CaCO_3$ eraldub katlaveest mitte alati katlakivina. Kui katlavesi sisaldab küllaldaselt soodat, eraldub $CaCO_3$ katlaveest mudana, mis langeb mudatrumlitesse või nende puudumisel tsirkuleerib koos katlaveega. Sadestunud muda eemaldatakse katlast selle läbipuhumisel.

Kuigi põhjused, miks vee soojenemisel $CaCO_3$ eraldub kord katlakivina, kord mudana, pole täielikult selgitatud, tuleb siiski arvestada katlakivi tekkimise võimalust. Sama toime on ka

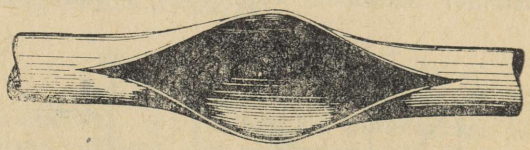



Joon. 16. Katlakivikihi paksuse mõju katla seina temperatuurile ja tugevusele.

kaltsiumsulfaadil, kaltsiumsilikaadil, raudhüdroksüüdil ja real teistel ühenditel.

Vee aurustumisel suureneb lahustunud ainete kontsentratsioon katlavees. Paljudele ainetele saabub seejuures lahustuvuse piir ja need sadestuvad veest tahkel kujul. Kui sadestunud aine kuulub katlakivi tekitajate hulka, tekib kuumadele pindadele tihe tugev kiht — katlakivi. Vastasel korral tekib katlavees kerge muda. Viimase kõrgel kontsentratsioonil katlas võib see küttepindade külge põleda ja seega omakorda põhjustada katlakivi tekkimist.

Katlakivi takistab soojuse levimist suitsugaasidelt veele. See põhjustab metalli ülekuumenemist ja selle tugevuse kahe- kuni kolmekordset vähenemist (joon. 16). Seejuures võivad tekkida väljapaisumised, muhud või lõhkemised (joon. 17).



Joon. 17. Katlakivi tõttu lõhkenud toru.

Katlakivi lahtimurdumisel küttepinnalt toimub ülekuumenenud koha järsk jahtumine, mis põhjustab pragude tekkimist. Katlakiviga kaetud kohtade ebaühtlane paisumine, mis on tingitud ebaühtlasest temperatuurist, põhjustab katlaosade ühenduskohtade lekkimist.

Kõige halvemini juhib soojust ja seetõttu kõige ohtlikum on silikaatne katlakivi. Üle 20% silikaate sisaldav katlakivi muudab katla töötamise ohtlikuks juba 0,2 mm paksuse juures. Tavaline kipsirikas katlakivi muutub ohtlikuks 1,5—3 mm paksuse kihi juures.

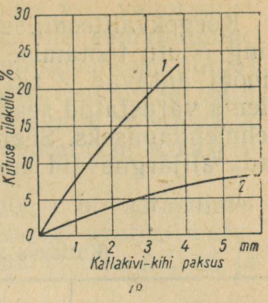
Kui katel töötab toorveega, toorvee ja kondensaadi seguga või kationeeritud veega (kehtivate eeskirjade kohaselt on see lubatud ainult alla 2 t/h tootlikkusega kateldel), soovitatakse katel katlakivist puhastamiseks seisma jätta, kui katlakivikihi paksus alla 16 atü rõhuga katelde soojuslikult kõige enam koormatud kohas on kasvanud kuni 1 mm-ni ja 16 kuni 22 atü rõhuga kateldel kuni 0,5 mm-ni. Katlakivikihi väiksema paksuse korral võib katla töötamist üldjuhul ohutuks lugeda.

Katlakiviga kaetud katlast lahkuvad suitsugaasid normaalsest kõrgema temperatuuriga, mistõttu suurenevad soojuskaod (mõnel juhul isegi 10—20%). Joonisel 18 on kujutatud kütuse

ülekulu graafikud mitmesuguste katelde kohta sõltuvalt katlakivikihi paksusest.

Katla halval hooldamisel võib tekkida nii paks katlakivikiht, et torud ummistuvad tunduvalt või isegi täielikult, mille tagajärjeks on vee tsirkulatsiooni katkemine ja torude lõhkemine. Metalli ülekuumenemine katlakivikihi all soodustab sööbimist.

Hõljuva muda suure sisalduse puhul katlavees hakkab vesi katlas vahutama ja vaht võib täita kogu aururuumi. Vee vahutamise puhul suureneb oht katlavee ja temas sisalduvate soolade vahuga kaasaminekuks auruülekuumendisse ja edasi aurutorustikku ning masinatesse.




Joon. 18. Kütuse ülekulu sõltuvalt katlakivikihi paksusest:
*1* — leegi- ja suitsutorukatlad; *2* — veetorukatlad.

Süsihappegaas ja hapnik, mis leiduvad vees ja tekivad katlas keemiliste reaktsioonide tagajärjel, avaldavad katla seintele tugevat söövitavat mõju. Metallile tekivad sügavad sööbimislaigud ja augud. Sööbimist soodustab vee nõrk tsirkulatsioon, mis võimaldab gaasimullikeste kogunemist seintele. Sööbimist esineb nii vee kui ka aururuumi seintel. On tähele pandud, et sööbimine on suurem katla nendes kohtades, mida on valmistamisel deformeeritud, nagu põhjade ja luukide painutatud äärtel jne. Toitetorustikul ja eriti ökonomaiseri torudel esineb sööbimist tingituna vees leiduvast hapnikust. Katla tugevat sööbimist põhjustavad veel happed ja leelised, mis veega võivad katlasse sattuda.

Ülalnimetatust on näha, millist kahju teeb katlale toores, ettevalmistamata vesi. Seepärast tuleb vett ette valmistada vastavates seadmetes enne selle juhtimist katlasse või vesi keemiliste ainetega läbi töötada katlas.

Hästi ettevalmistatud toitevesi peab vastama järgmistele nõuetele: vesi ei tohi tekitada katlakivi, ummistada katelt mudaga, põhjustada katla sööbimist ja vee vahutamist.

## 14. TOITEVEE ETTEVALMISTAMINE

Toitevee ettevalmistamise ülesandeks on:

a) vee pehmendamine, s. o. tema kalkuse vähendamine;
b) mehaaniliste lisandite kõrvaldamine;
c) lahustunud gaaside eemaldamine;
d) soolade sisalduse vähendamine.

Kõrgekvaliteedilise auru saamiseks ja katla õige veerežiimi ning ohutu töötamise kindlustamiseks peavad kõik ekspluatatsiooni antavad 2 t/h või suurema tootlikkusega uued katlad olema varustatud seadmetega katlaeelseks või katlasiseseks vee pehmendamiseks. Seejuures ei tohi katla toitevee üldkalkus ületada alljärgnevaid kuu keskmisi norme (vt. tabel 14).

Tabel 14

**Katlasse antava toitevee kvaliteedi normid**

| Nimetus | Veetorukatlad | | | | Suitsutoru katlad |
|---|---|---|---|---|---|
| | Üle 100 at | 31,5—100 at | 16—31,5 at | Alla 16 at | |
| Üldkalkus mg-ekv/l | 0,005 | 0,01 | 0,02 | 0,3 | 0,5 |

Samuti ei tohi toitevee hapnikusisaldus üle 31,5 at rõhuga kateldel olla üle 0,02 mg/l, kuni 31,5 at rõhuga ja terasökonomaiseriga kateldel üle 0,03 mg/l ning kuni 31,5 at rõhuga ökonomaiserita või malmökonomaiseriga kateldel, mille toitevee kalkus on alla 0,5 mg-ekv/l, üle 0,10 mg/l.

Nagu eeltoodust nähtub, ei olene toitevee lubatav hapnikusisaldus katla konstruktsioonist.

Kui katla sees on seade toitevee deaereerimiseks, siis toitevee hapnikusisaldust ei normita.

Katla toitevee ettevalmistamist alustatakse sageli vees leiduvate mehaaniliste lisandite kõrvaldamisega filtrites. Vee puhastamine filtrites oleneb vee läbilaske kiirusest, filtermaterjali pealmise kihi terasuurusest ja paksusest.

Filtrid võivad olla kas lahtised või kinnised. Kinnistes filtrites on soovitav, et vee kiirus ei tõuseks üle 5 m/h.

Töötamisel filter saastub, takistus suureneb ja läbilaskevõime väheneb. Filtri puhastamiseks tuleb sellest 6—8 min. vastassuunaliselt vett läbi juhtida kiirusega 20—30 m/h. Seejärel vähendatakse läbipesemise kiirust 6—8 m/h ja jätkatakse vee vastassuunalist läbilaskmist 15—20 min. Järelikult kulub filtri läbipesemiseks koos selleks vajalike ümberlülitamistega 30—35 min. Lahtiste filtrite töötamise aeg on 12—16 tundi, kinnistel filtritel 18—24 tundi. Filtermaterjali maksimaalne takistus võib kinnistes filtrites tõusta kuni 5 m vs, lahtistes filtrites kuni 2,5 m vs.

Kui toitevesi sisaldab üliväikesi hõljuvaid osakesi, pole nende eemaldamine lihtsa filtrimisega võimalik. Samal ajal aga

põhjustab selliste osakeste katlasse sattumine vee vahutamist ja küttepindade mustumist. Üliväikeste osakeste eemaldamine veest on raskendatud veel seetõttu, et need kannavad oma pinnal samanimelist elektrilaengut, mis vastastikuse tõukumise tõttu hoiab osakesi hõljuvas olekus. Osakeste sadestamine on võimalik ainult nende laengu hävitamisega, mis saavutatakse koaguleerimisega.

Koaguleerimisel lisatakse veele koagulante, s. o. vastasnimeliselt laetud osakesi. Selle tulemusena laengud neutraliseeruvad, osakesed kaotavad laengu, moodustavad suured helbed ja sadestuvad.

Koagulantidena võib kasutada $Al_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$ või muid analoogilise mõjuga aineid. Näiteks $Al_2(SO_4)_3$ lisamisel veele tekib keemiline reaktsioon, mille tulemusena tekib väävelhape ja $Al(OH)_3$. Viimase osakesed kannavad positiivset laengut. Vabanenud väävelhape neutraliseeritakse vees leiduvate bikarbonaatidega:

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O = 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4;$$

$$H_2SO_4 + Ca(HCO_3)_2 = CaSO_4 + 2H_2O + 2CO_2.$$

Nende protsesside tulemusena väheneb vee leelisus suuruse võrra, mis vastab juurdelisatud koagulandi hulgale (tavaliselt 0,3—0,7 mg-ekv/l võrra). Samavõrra suureneb sulfaatide hulk vees, kusjuures vee kalkus ei muutu.

Kui puhastatava vee leelisus pole küllaldane, tuleb veele eelnevalt leelist (soodat või NaOH) juurde lisada. Sel juhul neutraliseeritakse vabanenud väävelhape järgmiselt:

$$H_2SO_4 + 2NaOH = Na_2SO_4 + 2H_2O;$$

$$H_2SO_4 + Na_2CO_3 = Na_2SO_4 + H_2O + CO_2.$$

Koagulandilahused söövitavad tugevasti terast. Sellest tingituna peavad nende valmistamiseks kasutatavad anumad ja torustikud olema happekindlad.

Koaguleerimist kiirendab vee hea segamine reagendiga, mis madalal temperatuuril lühendab helveste tekkimise aega 15—25 korda. Seetõttu on otstarbekas lisada veele koagulanti enne toorveepumpa.

Vee pehmendamine põhineb veest kaltsiumi ja magneesiumi eraldamisel kas sadestamise või kationiitse asendamise teel. Esimesel juhul lisatakse veele keemilisi reagente, mis kaltsiumi ja magneesiumiga annavad raskestilahustuva sademe. Selliste reagentidena kasutatakse tavaliselt lupja, soodat või naatriumhüdroksüüdi.

Teisel juhul lastakse vesi läbi spetsiaalse materjaliga (kationiidiga) täidetud filtri, mille tagajärjel kalkusesoolad muudetakse sooladeks, mis ei tekita katlakivi.

Mõnedel juhtudel kasutatakse toitevee ettevalmistamisel toorvee destilleerimist.

Katelde toitevee ettevalmistamise kõrgemaks astmeks on soolade täielik eraldamine. Selle saavutamiseks on viimasel ajal välja töötatud mitmesuguseid meetodeid.

Ühesuguse aurutootlikkusega katelde toitevee ettevalmistus võib olla erinev. Kui aur antakse tööstusele ja kondensaat tagasi ei tule, peab ette valmistama katla aurutootlikkusele vastava koguse toorvett. Kui aga kogu kondensaat juhitakse tagasi katlasse, on vajadus ainult 3—8% lisatoorvee ettevalmistamiseks, millisel hulgal auru läheb kaduma tahmapuhumiseks, katla läbipuhumiseks jne.

Otstarbeka veepehmenduse viisi valikul tuleb arvestada toorvee omadusi, katla tüüpi, töörõhku, töörežiimi ning tagasituleva kondensaadi ja puhastatava veehulga suhet.

Lubi-soodaseadmes toimub vee pehmendamine termokeemilisel teel. Veele küllaldase hulga lubja lisamisel tekivad järgmised reaktsioonid:

a) lubi kustub, seejärel lahustub ja dissotsieerub:

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2,$$
$$Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{+2} + 2OH^-;$$

b) hüdroksüül-ioonid $OH^-$ suurendavad vee leelisust, mille tagajärjel tekib raskestilahustuv magneesiumhüdroksüüd ning bikarbonaadi ioonid ja vaba süsihappegaas «neutraliseeruvad»:

$$Mg^{+2} + 2OH^- = \downarrow Mg(OH)_2,$$
$$HCO_3^- + OH^- = H_2O + CO_3^{-2},$$
$$CO_2 + 2OH^- = H_2O + CO_3^{-2};$$

c) tekkinud karbonaadi ioonid $CO_3^{-2}$ sadestavad kaltsiumi raskesti lahustuva kaltsiumkarbonaadina:

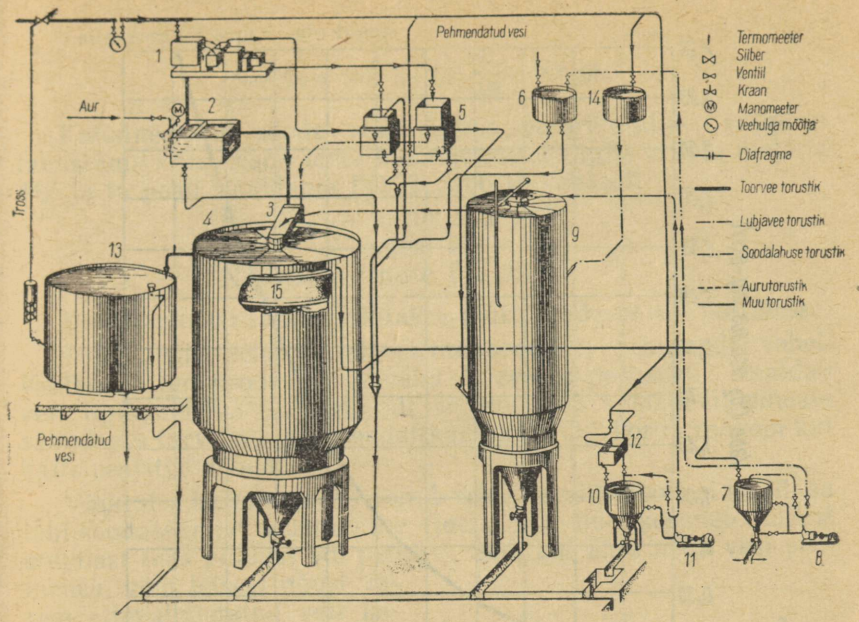
$$Ca^{+2} + CO_3^{-2} = \downarrow CaCO_3.$$

Seega kulutatakse lubi magneesiumi väljasadestamiseks ning vaba süsihappegaasi ja bikarbonaadi ioonide neutraliseerimiseks. Seejuures sadestub nii vees olnud kui ka lubjana sisseviidud kaltsium koguses, mis vastab bikarbonaatide ja vaba süsihappegaasi kontsentratsioonile. Et neid aineid pole igas vees kaltsiumi sadestamiseks küllaldaselt, lisatakse juurde soodat, mis sadestab kaltsiumi samuti kaltsiumkarbonaadi kujul:

$$Ca^{+2} + Na_2CO_3 = \downarrow CaCO_3 + 2Na^+.$$

Lubi-soodaseadme skeem on kujutatud joonisel 19.

Seadmes kasutatavate reagentide kulu arvutamiseks on vaja teada vee leelisust *M*, kalkust *H*, kaltsiumi ($Ca^{+2}$), magnee-




Joon. 19. Lubi-soodaseadme skeem:

*1* — veejagaja; *2* — segunemis-eelsoojendid; *3* — segamisrenn; *4* — settimispaak filtriga; *5* — soodadosaator; *6* — soodalahuse paak; *7* — soodasegaja; *8* — soodalahuse pump; *9* — saturaator; *10* — lubjasegaja; *11* — lubjapiima pump; *12* — kustutatud lubja kast; *13* — pehmendatud vee paak; *14* — lubjapaak; *15* — filter.

siumi ($Mg^{+2}$) ja vaba süsihappegaasi ($CO_2$) sisaldust. Kui seadme tootlikkus kuupmeetrites tunnis tähistada tähega $Q$, võib lubja kulu tunnis arvutada valemiga:

$$CaO = Q[M + (Mg^{+2}) + (CO_2) + 0{,}2]\ \frac{28}{q}\ \text{g/h}.$$

Valemis on kõik nurksulgudes olevad suurused antud mg-ekv/l. Siin 0,2 on vajalik lubja ülehulk;

$q$ — tehnilise lubja puhtuse aste;

28 — CaO ekvivalentkaal.

Sooda hulk on arvutatav valemiga:

$$Na_2CO_3 = Q(H - M + 1{,}0)\ \frac{53}{q}\ \text{g/h}.$$

Siin 1,0 on sooda ülehulk mg-ekv/l;

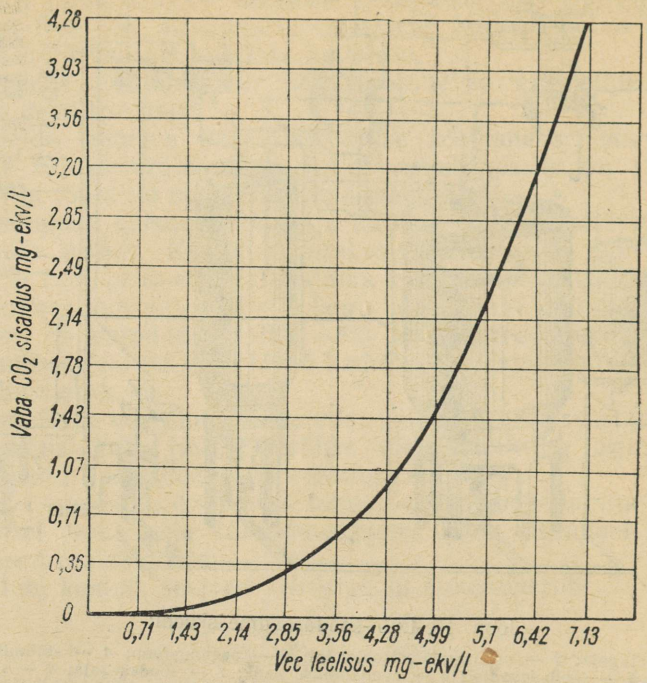
$q$ — tehnilise sooda puhtuse aste;

53 — $Na_2CO_3$ ekvivalentkaal.

Kui vee analüüsis pole antud vaba süsihappegaasi sisaldust, saab seda määrata joonisel 20 toodud kõvera järgi.



TRÜ Raamatukogu




Joon. 20. Vaba süsihappegaasi sisaldus toor- ja toitevees sõltuvalt vee leelisusest.

Olenevalt reagentide ülehulgast ja vee koostisest võib lubi-soodaseadmes saavutada vee lõppkalkuseks 0,2—2,0 mg-ekv/l.

Temperatuuri tõstmine soodustab reaktsioonide kulgemist ja parandab seega vee pehmendamist. Temperatuuril 15—20° vajab vee pehmendamise protsess 6—8 tundi, temperatuuril 50° — 4 tundi, temperatuuril 70° — 3 kuni 3,5 tundi ja temperatuuril 90° — 2 kuni 2,5 tundi.

Kõrgem temperatuur soodustab ka sademe tekkimist suurte helvestena, mis hõlbustab vee järgnevat filtreerimist.

Orgaaniliste ainete sisaldus mõjutab tugevasti vee lõppkalkust. Sellise vee puhul tuleb lubi-soodaseadmes peale vee eelsoojenduse kasutada ka eelnevat koaguleerimist.

Näide. Määrata lubja ja sooda kulu 5 m³/h tootlikkusega veepehmendusseadmes toitevee järgmistel andmetel: leelisus $M = 5$ mg-ekv/l, kalkus $H = 8$ mg-ekv/l, süsihappegaasisisaldus $CO_2 = 2$ mg/l, kaltsiumisisaldus $Ca^{+2} = 115$ mg/l, magneesiumisisaldus $Mg^{+2} = 30$ mg/l.

Lubja kulu tunnis:

$$CaO = 5(5+30+2+0,2)\frac{28}{0,8} = 5510 \text{ g/h.}$$

Kaltsineeritud sooda kulu tunnis:

$$Na_2CO_3 = 5(8-5+1{,}0)\frac{53}{0{,}9} = 589 \text{ g/h}.$$

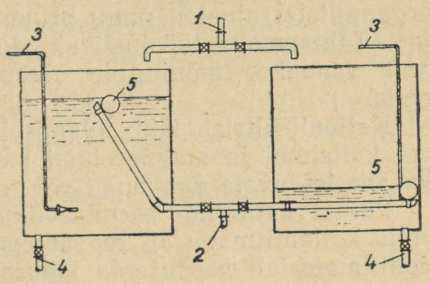
Kaltsineeritud sooda peab olema pulbrikujuline, valge ja lahustuma vees. Kaod tema kuumutamisel tiiglis ei tohi ületada 4% ja ta peab sisaldama ГОСТ 5100-49 kohaselt:

$Na_2CO_3$ — mitte alla 98%,
NaCl — mitte üle 1%,
$Na_2SO_4$ — mitte üle 0,1%.

Kaltsineeritud sooda pakitakse puittünnidesse või kottidesse.

Tuleb vahet teha kaltsineeritud sooda ja pesusooda vahel. Kaltsineeritud sooda on veevaba. Seevastu pesusooda sisaldab vett ligikaudu 63%. Vastavalt sellele tuleb samade tulemuste saamiseks tarvitada pesusoodat kaaluliselt 2,7 korda rohkem kui kaltsineeritud soodat.

Väikestes katlamajades annab rahuldavaid tulemusi ka lihtsa lubi-soodaseadme kasutamine (joon. 21), mis koosneb kahest anumast (kas puidust või plekist). Seni kui ühes nõus vesi pehmeneb, võib teisest nõust varem ettevalmistatud vett kasutada katla toitmiseks. Nõu täidetakse toorveega, millele lisatakse vajalikul hulgal lubjapiima ja soodalahust. Seejärel juhitakse vette auru vee soojendamiseks ja segamiseks. Kui vee temperatuur on tõusnud 60—90°-ni, katkestatakse auru andmine ja lastakse vett seista. Nõu ülemises osas selgib vesi kiiremini. Seepärast on joonisel 21 pehmendatud vee äravoolutoru varustatud ujukiga ja tehtud alumises osas pööratavaks, et oleks võimalik vett võtta alati nivoo ligidalt.



Joon. 21. Lihtne lubi-soodaseade:
*1* — toorveetoru; *2* — pehmendatud vee toru; *3* — aurutoru; *4* — mudatoru; *5* — ujuk.

Et kontrollida, kas veele lisatud lubja ja sooda hulgad olid õiged, tuleb teha pehmendatud vee analüüs.

Kui vee bikarbonaatne leelisus on 0,7—1,4 mg-ekv/l võrra suurem kalkusest, võib lubja ja sooda asemel kasutada seebikivi (NaOH). Vee pehmendamine seebikiviga toimub kiiremini ja töötamine on lihtsam, kuna doseerida tuleb ainult üht ainet. Seebikivi sööbiva toime tõttu tuleb sellega töötamisel olla ettevaatlik (kasutada kaitseprille jne.). Iga kantmeetri vee ja iga bikarbonaatse leelisuse ühe mg-ekv/l kohta tuleb puhast seebi-

kivi lisada veele 39,2 g. Seebikivi ülehulk võetakse 0,14—0,21 mg-ekv/l piirides, kusjuures seebikivi kulu 1 tonni 1 mg-ekv/l kalkusega vee pehmendamiseks on 55—70 g.

Kationiitfiltris toimub vee pehmendamine asendusreaktsiooniga. Paljudel looduslikel mineraalidel on nn. katioonse vahetuse omadused. Kokkupuutel mingi soola lahusega asenduvad nimetatud mineraalide katioonid lahuses oleva soola katioonidega. Asendusreaktsiooni võib kirjutada järgmiselt:

$$K_1R + K^+_2 \rightarrow K_2R + K^+_1,$$

kus $K_1R$ on mineraali molekul enne katioonset asendust;
$K_1$ — mineraali asendav katioon;
$K_2$ — lahustunud soola katioon;
$K_2R$ — mineraali molekul pärast iooni $K_1^+$ katioonset asendumist iooniga $K^+_2$;
$R$ — kationiitmaterjali muutumatu rühm.

Ülalkirjeldatud protsess on pöörduv, s. t. ioonide $K^+_1$ kontsentratsiooni tõusul lahuses võib reaktsioon kulgeda vastassuunas.

Katioonse vahetuse omadused on glaukoniidil, paljudel orgaanilistel ainetel, nagu pruunsöel, huumusel, plastmassidel jne. Tähtsamaks tööstuslikuks kationiidiks loetakse sulfosütt, mis saadakse mõningate söesortide töötlemisel väävelhappega.

Kationiitfiltrist läbivoolamisel pehmeneb vesi seetõttu, et vee kaltsiumi ja magneesiumi ioonid asendatakse kationiitmaterjalis leiduvate naatriumi või vesiniku ioonidega.

Pärast kationiidi asendusvõime lõppemist lülitatakse filter välja kationiitmaterjali regenereerimiseks. Selleks pestakse kationiitmaterjali keedusoola lahusega, kui asendusioonina tahetakse sisse viia naatriumi, või happe lahusega, et asendusioonina sisse viia vesinikku.

Pärast sellist töötlemist on regenereeritud kationiit (Na-kationiit või H-kationiit) võimeline uuesti vett pehmendama. Filtrisse asetatud kationiitmaterjali jätkub mitmeks aastaks. Sulfosöe aastane kulu ei ületa näiteks 7%.

Na-kationiitmeetodil vee pehmendamise protsessi võib kujutada järgmiselt:

$$Na_2R + Ca^{+2} = CaR + 2Na^+,$$
$$Na_2R + Mg^{+2} = MgR + 2Na^+.$$

Kationiidi regenereerimisel keedusoola lahusega kulgevad reaktsioonid:

$$CaR + 2Na^+ = Na_2R + Ca^{+2},$$
$$MgR + 2Na^+ = Na_2R + Mg^{+2}.$$

H-kationiitmeetodil vee pehmendamisel toimub vesilahuse katiooni asendamine vesiniku iooniga:

$$H_2R + Ca^{+2} = CaR + 2H^+,$$
$$H_2R + Mg^{+2} = MgR + 2H^+.$$

Kationiidi regenereerimisel väävelhappega toimuvad reaktsioonid:

$$CaR + 2H^+ = H_2R + Ca^{+2},$$
$$MgR + 2H^+ = H_2R + Mg^{+2}.$$

Nendes skemaatiliselt kujutatud reaktsioonides tähendavad $Na_2R$, $H_2R$, CaR ja MgR vastavalt naatriumi, vesiniku (nn. H-kationiit), kaltsiumi ja magneesiumi kationiiti.

Tuleb märkida, et Na-kationeerimisel tekib pehmendatud vees naatriumbikarbonaati $NaHCO_3$ hulgal, mis on ekvivalentne vee leelisusega. H-kationeerimisel muutub pehmendatav vesi seevastu happeliseks, kusjuures happelisus on ekvivalentne kloriidide ja sulfaatide sisaldusega vees.

Asendusreaktsioonid võivad kulgeda mitmesugustel temperatuuridel. Kationiitfiltrite kiire saastumise vältimiseks tuleb toorvesi enne filtreerida.

Kationiitse vee pehmendamise eeliseks on võimalus saada väga väikese lõppkalkusega vett, kusjuures toorvee kalkuse muutus ei avalda praktiliselt mingit mõju. Kationiitseadmed on väikesed ja vajalikud reaktiivid (keedusool ja väävelhape) on odavad ning kättesaadavad.

Kationiitfiltrist saadud vee lõppkalkus ei ületa tavaliselt 0,02—0,05 mg-ekv/l, kuid on võimalik saada isegi vett kalkusega 0,002 mg-ekv/l.

Na-kationiitfiltri regenereerimiseks kasutatakse 8—10%-list keedusoolalahu.

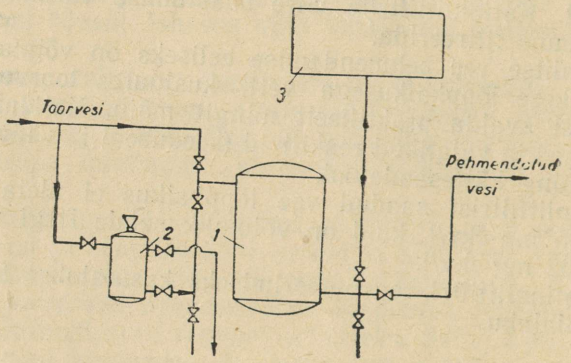
Tabel 15

**Kationiitmaterjalide tehnilised andmed**

| Nimetus | Mõõtühik | Glaukoniit | Sulfosüsi | Vofatiit P (tõrva baasil) |
|---|---|---|---|---|
| Tera läbimõõt | mm | 0,2—0,7 | 0,3—1,2 | 0,3—1,0 |
| Puistekaal: | | | | |
| a) õhukuivas olekus | t/m³ | 1,4 | 0,55 | 0,62 |
| b) niiskes olekus | » | 1,4 | 0,42 | 0,50 |
| Absorbeerimisvõime Na-kationiitmeetodil | g-ekv/m³ | 107—143 | 285—355 | 285—355 |
| Temperatuuri ülempiir | °C | 35 | 70 | 70 |
| Aastane kulu | % | 5—10 | 10—15 | 2—5 |

Kationiitmaterjali töövõimet iseloomustatakse ühe kuupmeetri materjali kaltsiumi ja magneesiumi katioonide absorbeerimisega gramm-ekvivalentides. Na-kationeerimisel on näiteks sulfosöe mahuline absorbeerimisvõime ligikaudu 300 g-ekv/m³. Järelikult võib 1 m³ sulfosütt pehmendada 30 m³ 10 mg-ekv/l kalkusega vett või 100 m³ 3 mg-ekv/l kalkusega vett jne. Keedusoola kulu sulfosöe regenereerimiseks on ligikaudu 60 g/m³. Kaheastmelisel või võrdsete mahtude meetodil kationeerimisel saab soolakulu vähendada isegi kuni 30 g/m³.

Na-kationiitfiltri skeem on väga lihtne (joon. 22). Pumbaga filtrisse antav toorvesi läbib kationiidikihi ja voolab pehmendatud vee paaki. Filtri läbilaskevõimet reguleeritakse rõhuga. Vajaliku koguse keedusoola lahustamiseks ja lahuse juhtimiseks filtrisse selle regenereerimisel kasutatakse vastavat paaki. Peale selle on tarvilik veel regeneratsioonivee kogumispaak, mida saab kasutada filtri kobestamiseks.

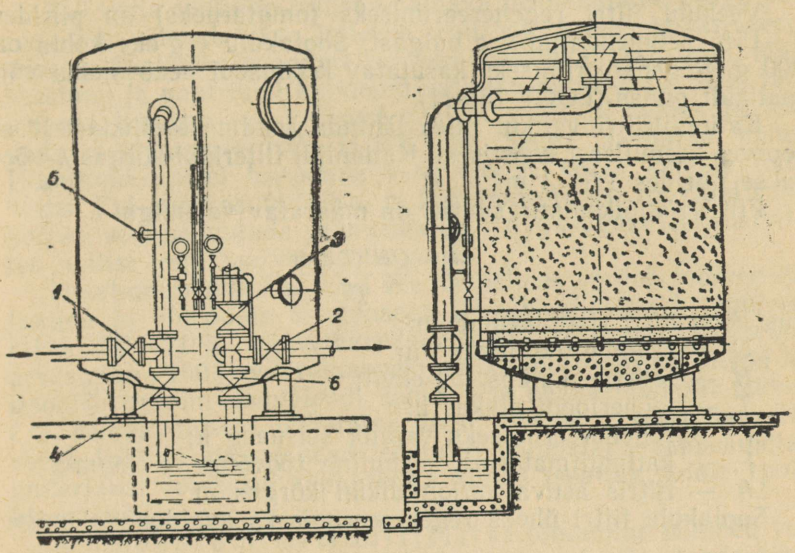



Joon. 22. Kationiitfiltri töötamise skeem:
*1* — kationiitfilter; *2* — soodalahuse paak; *3* — veepaak filtri kobestamiseks.

Kationiitfiltri konstruktsioon on näidatud joonisel 23. Kuni 3 m läbimõõduga silinderpaak on arvestatud rõhule kuni 6 atü. Filtri keres on ava materjali sisseasetamiseks, seadme ülevaatusteks ja remontimiseks. Filtriga ühendatakse toorvee, pehmendatud vee, soolalahuse, töötanud soolalahuse väljalaske- (regenereerimiseks) ja drenaažitorustik. Põhjast vähe kõrgemale asetatakse võre, millele raputatakse 300—400 mm paksuselt kvartsliiva kationiidi väljauhtumise takistamiseks. Liivakihi peal asub kationiidikiht paksusega 1,5—3 m ja terasuurusega 0,2—1 mm. Kationiidikihi peale jäetakse vaba ruum kõrgusega 0,8—1 m. Toorvesi, mis juhitakse filtri ülemisse ossa, läbib

kationiidi- ja liivakihi ülevalt alla ja väljub drenaažitoru kaudu toiteveepaakidesse. Vee maksimaalne liikumiskiirus filtris on 15 meetrit tunnis (m/h). Regenereerimiste arv ööpäevas ei tohi olla üle 3.

Nendel juhtudel, kui katla toitmisel pehmendatud veega katlavee soolade kontsentratsiooni ja leelisuse hoidmine ekspluatatsiooninormide piirides tingib pidevat tugevat läbipuhumist, mis on seotud kütuse märgatava ülekuluga, kasutatakse soolade sisalduse kunstlikku vähendamist keemilisel või termilisel




Joon. 23. Kationiitfilter:

*1* — ventiil toorveele; *2* — ventiil pehmendatud veele; *3* — ventiil filtri kobestamiseks ja pesemiseks; *4* — ventiil vee laskmiseks kanalisatsiooni filtri kobestamisel ja pesemisel; *5* — ventiil soolalahuse juhtimiseks filtrisse kationiidi regenereerimiseks; *6* — ventiil vee väljalaskmiseks filtri tühjendamisel.

teel. Sõltuvalt katelde poolt toitevee kvaliteedile esitatavaist nõudeist kasutatakse kas vee osalist või täielikku vabastamist sooladest.

Kationiitfiltrite ekspluateerimine koosneb viiest üksteisele järgnevast operatsioonist: pehmendamisest, kobestamisest, regenereerimisest, läbipesemisest (drenaaži) ja vee juhtimisest kobestuspaaki.

Vee pehmendamisel filtrisse kogunev õhk tuleb vastavast kraanist perioodiliselt välja lasta.

Filter tuleb regenereerimiseks seisma jätta, kui vee kalkus on saavutanud väärtuse 0,05 mg-ekv/l.

Kobestamise kestus on tavaliselt 15 min. Kui aga selle aja jooksul vesi ei muutu selgeks, tuleb kobestamist jätkata.

Ekspluatatsioonis tuleb vältida õhu sattumist kationiidikihti.

Pärast regenereerimise lõppemist tuleb filtri töökorda viimiseks sellest vett läbi lasta, et eemaldada materjalilt regenereerimisproduktid ($CaCl_2$, $MgCl_2$) ja keedusoola (NaCl) jääk. Pesuvesi juhitakse algul drenaaži, hiljem aga vastavasse paaki vee teistkordseks kasutamiseks. Läbipesemise kiirus on 4—5 m/h ja kestus tavaliselt 25 min. Kiirust tuleb kontrollida diferentsiaalmanomeetri või toorvee üldveemõõtja järgi.

Veekulu filtri regenereerimiseks (omatarbeks) on piirides 7—15% pehmendatud vee hulgast. Soolakulu 1 g-ekv kohta on 200 g. Regenereerimiseks kasutatav keedusool peab olema võimalikult puhas (ГОСТ 753-41).

Kationiitfiltri valikul tuleb lähtuda seadme tootlikkusest ja toorvee keemilisest koostisest. Kationiidi filterkihi kõrgus $h$ võetakse piirides 1,5—3 m.

Filtri ristlõikepinna suurus on määratav valemiga

$$F = \frac{QH\,(T+t)}{fh},$$

kus $F$ on filtri ristlõikepind m²;
$Q$ — seadme tootlikkus t/h;
$H$ — toorvee kalkus mg-ekv/l;
$T$ — tööperioodi pikkus h;
$t$ — regenereerimiseks vajalik seisuaeg h;
$f$ — kationiitmaterjali mahuline töövõime g-ekv/m³;
$h$ — filtris asuva kationiidikihi kõrgus m.

Soolakulu filtri üheks regenereerimiseks avaldub valemiga:

$$B = \frac{E\,l}{1000},$$

kus $E$ on kogu filtri kationiitmaterjali mahuline töövõime g-ekv;
$l$ — keedusoola erikulu regenereerimiseks. Üheastmelisel kationeerimisel valitakse $l$=200 g 1 g-ekv väljatõrjutud Ca- ja Mg-soolade kohta.

Näide. Määrata kationiitfiltri peamõõtmed, kui seadme tootlikkus $Q$=2 t/h ja toorvee kalkus $H$=5,4 mg-ekv/l.

Materjaliks on valitud sulfosüsi, mille absorbeerimisvõime $f$ = 300 g-ekv/m³ ja puistekaal $I$ = 0,6 t/m³. Kihi kõrguseks on valitud $h$ = 1,5 m ja tööperioodi pikkuseks $T + t$ = 8 tundi.

$$F = \frac{2 \cdot 5{,}4 \cdot 8}{300 \cdot 1{,}5} = 0{,}19 \text{ m}^2.$$

Filtreerimise kiirus töötamisel $v = \frac{2}{0{,}19} = 10{,}5$ m/h.

Kationiitmaterjali maht filtris $V = 0{,}19 \cdot 1{,}5 = 0{,}285$ m³.
Kationiitmaterjali kaal filtris $G = 0{,}285 \cdot 0{,}6 = 0{,}17$ t.
Filtri absorbeerimisvõime $E = 0{,}285 \cdot 300 = 85$ g-ekv/m³.
Soolakulu filtri üheks regenereerimiseks $B = \frac{85 \quad 200}{1000} = 17{,}0$ kg.

Pehmendatud vee ja järelikult ka toorvee leelisus piirab Na-kationeerimise kasutamist. See meetod pole kasutatav ka siis, kui toorvesi sisaldab palju hõljuvaid osakesi. Sel juhul tuleb vett eelnevalt koaguleerida.

Kui katla toitmine leelist sisaldava pehmendatud veega pole soovitav, vähendatakse toitevee leelisust lisavee H-kationeerimisega. Seejuures asendatakse vees sisalduvad kaltsiumi, magneesiumi ja naatriumi katioonid vesiniku katiooniga. Selle tulemusena laguneb vee leelisust põhjustav $HCO_3$ anioon ja tekivad vabad happed HCl, $H_2SO_4$ jne. Seega saadakse puhtal H-kationeerimisel happeline vesi, mis ei kõlba katelde toiteveeks. Kui aga kasutada Na- ja H-kationeerimist soovitud vahekorras, võib saavutada pehmendatud vee igasugust leelisust alates nullist kuni toorvee leelisuseni.

H-kationeerimisel saadud vee happelisus võrdub toorvee sulfaatide ja kloriidide sisaldusega. H-kationiitfiltreid reguleeritakse 1,0—2,0% väävelhappelahusega, kusjuures happekulu arvestatuna 100% väävelhappele on 55—60 g absorbeeritud katioonide gramm-ekvivalendi kohta. Vee pehmendamisel tekkiva $CO_2$ eemaldamiseks puhutakse veest läbi õhku. Kõik happelise veega kokkupuutuvad seadmed tuleb valmistada happekindlast materjalist või katta happekindla kihiga (seatina, kumm, polükloorvinüül).

Ammoonium-kationiitfiltri töötamine põhineb vees leiduvate kõikide aluste ja soolade katioonide asendamisel ammooniumi $NH_4^+$ katiooniga. Katioonide asendamist teralises ammoonium-kationiitmaterjali kihis iseloomustavad järgmised reaktsioonid:

$$Ca^{+2} + 2NH_4R = CaR_2 + 2NH_4^+,$$

$$Mg^{+2} + 2NH_4R = MgR_2 + 2NH_4^+,$$

$$Fe^{+2} + 2NH_4R = FeR_2 + 2NH_4^+,$$

$$Na^+ + NH_4R = NaR + NH_4^+.$$

Katlas valitseva kõrge temperatuuri mõjul ammooniumisoolad lagunevad, kusjuures bikarbonaatsed soolad annavad auruga kaasaviidava ammoniaagi ja süsihappegaasi, mittekarbonaatsed soolad aga ekvivalentse koguse happeid.

Et vältida katlavee happeliseks muutumist, kasutatakse ammooniumkationeerimist koos naatriumkationeerimisega. Viimase

protsessi tagajärjel saadakse naatriumbikarbonaadist sooda ja naatriumhüdroksüüd, mis neutraliseerivad ülalnimetatud happed nende tekkimise momendil:

$$H^+ + OH = H_2O,$$
$$2H^+ + CO_3^{-2} = H_2O + CO_2.$$

Ammoonium-naatriumkationeerimist võib läbi viia kas eraldi filtrites või ühes ühises aparaadis.

Filtri töövõime taastamiseks regenereeritakse kationiitmaterjali 2—3% ammooniumsulfaadi lahusega.

Ammoonium-naatriumkationeerimist kasutatakse katlavee leelisuse ja soolade sisalduse vähendamiseks, millega väheneb ka katla läbipuhumise vajadus. Ühtlasi langeb selle meetodi kasutamisel ära happekindla armatuuri, happekindlate materjalide ja happekindlate pinnakatete vajadus. Seadme ekspluatatsioon muutub tunduvalt lihtsamaks. Ei esine toiteliini ega kondensatsiooniliini sööbimist $CO_2$ mõjul ja sellest tingitud katla saastumist raudhüdroksüüdidega.

Ammoonium- ja naatriumkationeerimist on soovitav kasutada koos, kui toorvesi sisaldab naatriumi ioone alla 25% katioonide kogusest ja kui ammooniumi katioonidega tahetakse asendada 40—90% katioone, milline vajadus esineb enamikul praktilistest juhtudest.

Ammoonium-kationiitfiltri regenereerimiseks kasutatakse ammooniumsulfaati (põllumajandusele määratud sort).

Naatrium-ammooniumkationeerimiseks kasutatakse standardseid naatrium-kationiitfiltreid ilma mingisuguste konstruktsiooni muudatusteta.

Termiline vee pehmendamine. Kõige täiuslikumaks termilise pehmendamise mooduseks on vee destilleerimine, mis seisneb vee aurustamises ja saadud auru kondenseerimises. Destilleerimisel saadakse vesi kalkusega kuni 0,017 mg-ekv/l ja vähem, sõltuvalt aurusti separatsiooniseadme täiuslikkusest.

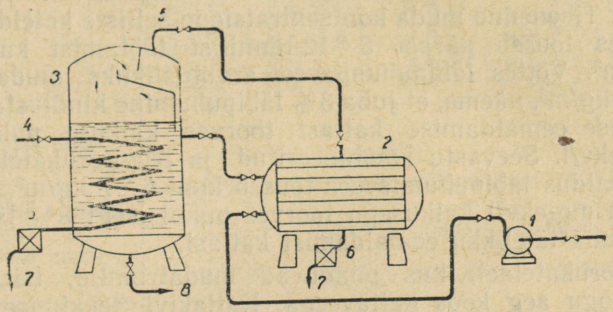
Destilleerimisseadme skeem on toodud joonisel 24. Aurustisse *3* juhitav toorvesi aurustatakse soojendava auru *4* toimel, mis ise kondenseerub, ja juhitakse kondenspotist *6* destillaadi toru *7* kaudu kogumispaaki. Silindris tekkiv sekundaaraur juhitakse toru *5* kaudu pehmendatava vee eelsoojendisse *2*.

Destilleerimisseadmed ei ole leidnud laiemat kasutamist ebaökonoomsuse tõttu (nõuavad suurt soojuse kulu).

Et vältida hapniku ja süsihappegaasi sööbivat mõju katlaseintele, tuleb need gaasid toiteveest eemaldada.

Ekspluatatsioonikogemustest on teada, et sööbimist ei teki, kui hapnikusisaldus keskrõhukatelde toitevees ei ületa 0,05 mg/l. Hapnik eraldatakse toiteveest termiliselt või keemiliselt.

Termiline viis põhineb gaaside omadusel eralduda lahusest, kui nende partsiaalrõhk väljaspool lahust on väiksem kui lahuses. Vees lahustunud gaaside hulka võib soovikohaselt vähendada vee temperatuuri tõstmisega ja vee keemisel teoree-




Joon. 24. Destilleerimisseadme skeem:

*1* — toorveepump; *2* — eelsoojendi; *3* — aurusti; *4* — primaaraur; *5* — sekundaaraur; *6* — kondenspott; *7* — destillaadikogujasse; *8* — kanalisatsiooni.

tiliselt muuta isegi nulliks. Selline gaasidest vabastatud vesi tuleb juhtida katlasse nii, et tal poleks võimalust õhuga uuesti kokku puutuda. Selleks peavad toiteliini ühenduskohad olema täiesti õhutihedad. Seadmeid, kus toimub vee vabanemine gaasidest, nimetatakse deaeraatoreiks.

## 15. VEE PEHMENDAMINE KATLAS

Väikeste tööstuslike aurukatelde puhul, kus pole otstarbekohane üles seada võrdlemisi keerukaid veepuhastusseadmeid, kasutatakse edukalt katlavee pehmendamist katlas. Seejuures on peamiseks ülesandeks muuta katlavees sisalduvad kalkussoolad kergesti väljapuhutavaks mudaks, mis saavutatakse paraja hulga leelise lisamisega katlasse. Selline moodus on laialt levinud ekraneerimata katelde puhul rõhuga kuni 15 atü ja küttepinna erikoormusega kuni 30 kg/m²h. Kemikaalidena kasutatakse $Na_2CO_3$, NaOH, $Na_3PO_4$, tamme-ekstrakti jne. Kalkussoolad langevad katlas leelise mõjul mudana põhja katlakivi tekitamata. Bikarbonaatide lagunemisel eraldub katlas palju süsihappegaasi. Katlavee kõrge leelisesisaldus on tarvilik metalli kaitsmiseks $CO_2$ sööbiva toime eest.

Katlasiseseks vee pehmendamiseks vajalikud doseerimispaagid ja torustikud on katlaruumi kergesti paigutatavad. Nende valmistamine on enamikel juhtudel võimalik oma jõududega.

Et leelise sisseandmine ja muda perioodiline väljapuhumine kuulub kütja ülesannete hulka, siis ei teki katlas vee pehmendamisel vajadust lisapersonali järele.

Kõige lihtsam on katlasisest vee pehmendust kasutada kateldel, millel on tsirkulatsioonikontuurist väljalülitatavad mudatrumlid. Tihenenud muda kontsentratsioon selliste katelde mudatrumlites tõuseb pärast 8—12-tunnilist töötamist kuni 20—30 kg/m³. Võttes läbipuhumisvee arvutuslikuks mudasisalduseks 20 kg/m³, näeme, et juba 3% läbipuhumine kindlustab muda küllaldase eemaldamise katlast toorvee kalkuse puhul 10—15 mg-ekv/l. Seevastu kombineeritud ja leegitorukateldel, kus mudasisaldus läbipuhumisvees tõuseb kuni 6—7 kg/m³, ei kindlusta 10 mg-ekv/l kalkusega toorvee puhul isegi 8% läbipuhumine muda täielikku eemaldamist katlast.

Veetorukateldel, kus puuduvad mudatrumlid, tsirkuleerib muda kogu aeg koos katlaveega. Katlakivi tekkimise võimaluste vähendamiseks peab selliste katelde katlavee mudasisaldus olema väike (2,3—3 kg/m³). Kuna puudub võimalus läbipuhumisega muda katlast välja juhtida, siis seda tüüpi kateldele ei saa katlasisest veepehmendust soovitada.

Katlakivi tekitavate katioonide väljasadestamiseks peab katlavees olema kindel sooda ja naatriumhüdroksüüdi kontsentratsioon. Sooda on vajalik kaltsiumi ja naatriumhüdroksüüdmagneesiumi ioonide sadestamiseks. Et looduslik vesi sisaldab alati teatud hulgal $HCO_3$ ioone, mis vee kuumenemisel muutuvad $CO_3^{-2}$ ioonideks, süsihappegaasiks ja veeks, tuleb vajaliku soodahulga määramisel arvestada $HCO_3$ ioonide kontsentratsiooni toorvees.

Soodast tingitud katlavee karbonaatleelisus väheneb tugevasti rõhu tõusuga. Seetõttu võib katlasisest veepehmendust lugeda ratsionaalseks ainult piirides 2—15 at, kusjuures tuleb silmas pidada, et mida madalam on rõhk, seda efektiivsem on katlasisene veepehmendus soodaga.

Lähtudes ekspluatatsioonikindlusest ja leelisreagentide kokkuhoiust soovitatakse katlavee üldise leelisuse normina 3—10 mg-ekv/l. Seejuures peab katlavee kalkus olema piirides 0,2—0,1 mg-ekv/l.

Vähese hulga trinaatriumfosfaadi sisseviimisel (5—10 g/m³) väheneb katlavee kalkus 0,1—0,03 mg-ekv/l.

Katlavee leelisuse tõstmine üle 10 mg-ekv/l on küll lubatav, kuid pole millegagi õigustatud, sest katlavee kalkus väheneb seejuures vähe, kuid auru kvaliteet võib märgatavalt halveneda.

Soovitatavad arvutuslikud toitevee, katlavee ja läbipuhumisvee normid on toodud tabelis 16.

**Toitevee, katlavee ja läbipuhumisvee normid**

| Katla tüüp | Toitevee lubatav kalkus mg-ekv/l | Mudasisaldus katlavees (tsirkulatsiooni-voolus) mg/l | Mudasisaldus läbipuhumisvees mg/l | Soolade sisaldus katla- ja läbipuhumisvees mg/l | Katla- ja läbipuhumisvee leelisuse piirid mg-ekv/l |
|---|---|---|---|---|---|
| Veetorukatlad ilma muda- ja alumiste trumliteta | Kuni 0,70 | Kuni 2500 | Kuni 2500 | Kuni 3000 | 8,9—12,5 |
| Veetorukatlad alumiste trumlitega | „ 5,35 | „ 3000 | „ 15000 | „ 6000 | 8,9—21,4 |
| Veetorukatlad muda-trumlitega | „ 7,13 | „ 3000 | „ 25000 | „ 6000 | 8,9—21,4 |
| Suitsutorukatlad (veduri- ja lokomobiilikatlad) | „ 5,35 | „ 3000 | „ 6000 | „ 5000 | 8,9—12,5 |
| Leegitorukatlad | „ 21,4 | „ 3000 | „ 8000 | „ 20000 | 8,9—35,66 |

Nendest normidest ja õigeaegsest läbipuhumisest kinnipidamisel on madalrõhukatelde peaaegu katlakivivaba töötamine kindlustatud toitevee kalkusel 9—12 mg-ekv/l.

Töötamist katlasisese veepehmendamisega tuleb alustada pärast katla mehaanilist puhastamist katlakivist.

Enne sissekütmist veega täidetud katlasse sisseantav vajalik leelise hulk $G_0$ on arvestatav järgmise valemiga:

$$G_0 = \frac{k(A+H_m)V}{1000} \text{ kg},$$

kus $k$ on reaktiivi ekvivalent;
kaltsineeritud soodal $Na_2CO_3$ (ГОСТ 5100-49) $k=53$,
seebikivil NaOH (ГОСТ 2263-43) $k=40$,
trinaatriumfosfaadil $Na_3PO_4 \cdot 12\ H_2O$ (ГОСТ 201-41) $k=126{,}73$;

$A$ — katlavee üldine leelisus mg-ekv/l;

$H_m$ — toitevee kalkuse ja leelisuse vahe mg-ekv/l;

$V$ — katla üldine veemaht m³.

Arvutatud hulk leelist antakse katlasse osade kaupa 4—6 tunni jooksul, arvates katla sissekütmisest pärast puhastamist.

Näide. Määrata kaltsineeritud sooda hulk, mis on vaja lisada katlaveele 80 m² küttepinnaga üheleegitorulise katla sissekütmisel, kui $H_m = 1{,}5$ mg-ekv/l, $A = 10$ mg-ekv/l ja katla veemaht $v = 207$ l/m².

$$V = \frac{80 \cdot 207}{1000} = 16{,}5 \text{ m}^3; \quad G_0 = \frac{53\,(10+1{,}5) \cdot 16{,}5}{1000} = 10 \text{ kg}.$$

Katlavee normaalse leelisuse hoidmiseks tuleb töötamise ajal anda katlasse vähemalt kaks korda ööpäevas (igakord pärast läbipuhumist) lisakogus leelist, mis on määratav valemiga:

$$G = \frac{D\,[H_m + p\,(A + H_m) + a]\,k}{1000}\ \text{kg/h},$$

kus $D$ on katla keskmine aurutootlikkus t/h;

$p$ — katla läbipuhumise aste (keskmine läbipuhutava vee hulk jagatuna katla aurutootlikkusega);

$a$ — auru leelisesisaldus mg-ekv/l.

Kui auruga ja läbipuhumisega kaasaviidava leelise hulk jätta arvestamata, võib vajaliku leelise hulga ligikaudselt määrata lihtsustatud valemiga:

$$G = \frac{DH_m k}{1000}\ \text{kg/h}.$$

Näide. Katla aurutootlikkus $D = 2{,}5$ t/h; toitevee kalkus $H = 8$ mg-ekv/l; leelisus $M = 6$ mg-ekv/l; läbipuhumise aste $p = 0{,}05$; katlavee leelisus $A = 11$ mg-ekv/l; auru leelisus $a = 0{,}05$ mg-ekv/l. Määrata ööpäevane seebikivi kulu, kui kondensaat ei tule katlasse tagasi.

$$G = \frac{2{,}5\,[2 + 0{,}05\,(11 + 2) + 0{,}05] \cdot 40}{1000} = 0{,}27\ \text{kg/h}.$$

Ööpäevane seebikivi kulu on seega $0{,}27 \cdot 24 = 6{,}5$ kg.

Muda kiiremaks sadestumiseks ja muda parema voolavuse saavutamiseks soovitatakse koos sooda või seebikiviga anda katlasse iga kuupmeetri toorvee kohta 5—10 g trinaatriumfosfaati. Sellist vee pehmendamist nimetatakse fosfateerimiseks.

Paremaks sadestamiseks soovitatakse anda katlasse ka orgaanilisi kolloidaineid, nagu tamme-ekstrakti, sulfiittselluloosi leelisvett jne. arvestusega 5—7 g toorvee ühe kuupmeetri kohta.

Veduritel, kus kogukate seadmete ärapaigutamine on võimatu, kasutatakse vee pehmendamiseks vedelaid või briketeeritud kemikaale, mis antakse tendrisse. Need kemikaalid koosnevad trinaatriumfosfaadist, seebikivist, soodast ja orgaanilistest ainetest.

Katlasisest veepehmendust võib kasutada kas iseseisvalt või koos osalise välise veepehmendamisega naatrium-kationiitfiltrites.

Nagu eespool märgitud, muutub vesi naatrium-kationiitfiltrist läbilaskmisel leeliseliseks (vastavalt toorvee leelisusele). Seepärast koguneb naatrium-kationiitfiltrist toidetavasse katlasse hulgaliselt leelist, mille kontsentratsiooni vähendamiseks tuleb katelt tugevasti läbi puhuda.

Kui aga kasutada toitevee osalist naatrium-kationeerimist, võib leelise ülejäägi kasutada pehmendamata vee mittekarbonaatsete katlakivitekitajate sadestamiseks. Toorvee ja pehmendatud vee suhe määratakse selliselt, et katlakivi tekitav kalk osa sadestuks pehmendatud vee leelisuse mõjul.

Järelikult võib kalgi ja pehme vee õige vahekorra puhul vältida mitte ainult leelise kogunemist katlasse, vaid vähendada ka katlakivi tekkimist. Sellisel juhul tuleb läbi kationiitfiltri juhtida osa vett $y$, mis on ligikaudu määratav valemiga:

$$y = \frac{H - M}{H},$$

kus $H$ on kalkus,
$M$ — leelisus.

Täpsemalt saab naatrium-kationiitfiltrist läbilastava osa vett (arvestatuna kogu toitevee hulgast) määrata järgmise valemiga:

$$y = \frac{H_m + a(1-p) + pA}{H},$$

kus $H_m$ on vee kalkuse ja leelisuse vahe mg-ekv/l;
$a$ — auru üldine leelisus mg-ekv/l;
$p$ — katla läbipuhumise aste;
$A$ — katlavee üldine leelisus mg-ekv/l;
$H$ — toitevee kalkus mg-ekv/l.

Neil juhtudel kui suurus $a(1-p)+pA$ on võrreldes suurusega $H$ väga väike, võib suuruse $y$ arvutamiseks kasutada eespool toodud lihtsustatud valemit.

Näide. 5 t/h aurutootlikkusega katelt toidetakse veega, mille kalkus $H=5{,}5$ mg-ekv/l ja leelisus $M=4$ mg-ekv/l, läbipuhumise aste $p=0{,}06$. Auru leelisus $a=0{,}25$ mg-ekv/l. Katlavee leelisus $A=11$ mg-ekv/l. Sel juhul kationiitfiltrist läbilastav osa üldisest veehulgast

$$y = \frac{1{,}5 + 0.25(1 - 0{,}06) + 0{,}06 \cdot 11}{5{,}5} = 0{,}435.$$

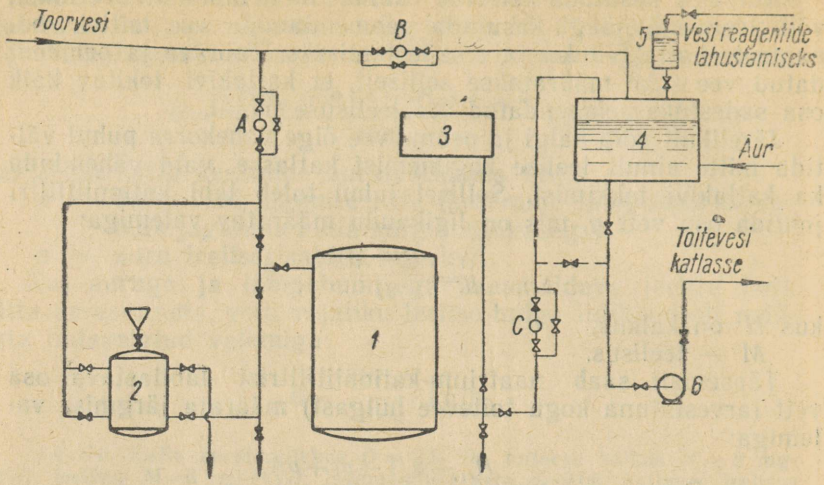
Naatrium-kationiitfiltri vajalik tootlikkus oleks seega

$$5 \cdot 0{,}435 = 2{,}15 \text{ t/h}.$$

Osalist naatrium-kationeerimist kasutatakse neil juhtudel, kui toorvee kalkus on suur ja leelisreagentide saamine on raskendatud.

Seega töötab kationiitfilter just nagu aparaadina, mis muudab odava keedusoola leeliseks.

Osalise veepehmenduse puuduseks on seadme teenindamise teatav komplitseeritus, võrreldes lihtsa reagentide andmisega katlasse, ja personali vastava väljaõppe vajadus. Kui aga seda moodust kasutada, tuleks katelde toitmine korraldada joonisel 25 näidatud skeemi järgi.




Joon. 25. Naatrium-kationeerimise kasutamise skeem toitevee osaliseks pehmendamiseks:

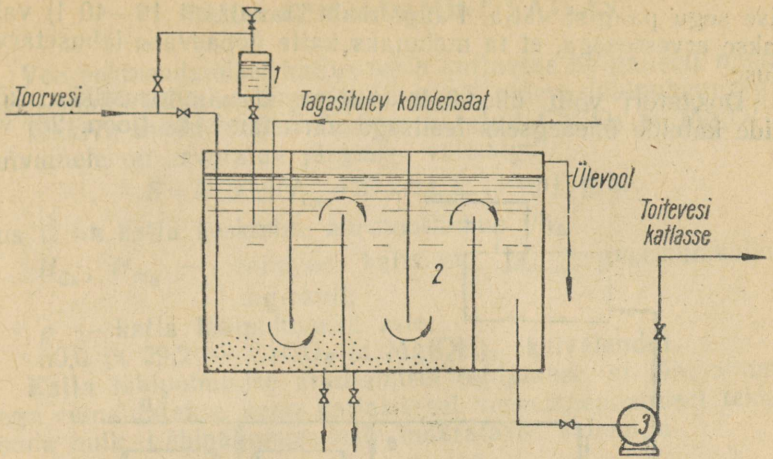
*1* — naatrium-kationiitfilter; *2* — soolalahuse paak; *3* — paak kationiidi kobestamiseks; *4* — toitepaak; *5* — paak leelisreagendi lahustamiseks; *6* — toitepump, *A, B, C,* — veemõõtjad.

## 16. REAGENTIDE SISSEVIIMINE KATLASSE

Leelisreagentide sisseviimisel katlasse doseeritakse nende hulka kas tsentraalselt või individuaalselt.

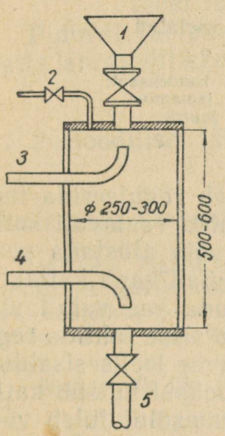
Tsentraalsel doseerimisel antakse reagendid toitepaaki. Kogu seade koosneb reagendipaagist, kus lahustatakse leelisi 1—2 ööpäevaseks tarviduseks. Reguleerimiskraani kaudu juhitakse leeline toitepaaki (joon. 26). Skeem on lihtne, ei nõua peaaegu mingisuguseid lisaseadmeid ja on kasutatav igas katlamajas. Puuduseks on katlaeelse torustiku saastumine mudaga ja raskused üksikute katelde katlavee normaalse leelisuse hoidmisel, kui töötab üle kahe katla.

Individuaalsel doseerimisel kasutatakse kas vastavat kolbpumpa või rõhu all töötavat doseerimispaaki. Rohkem kasutusel on teine moodus. Sel juhul antakse leeline katlasse doseerimispaagi kaudu (joon. 27), mis valmistatakse tavaliselt torust, läbimõõduga 250—300 mm ja pikkusega 500—600 mm. Paagi kaane külge kinnitatakse lehter *1* ja õhu väljalasketoru ventiiliga *2*. Paagi põhjale on keevitatud toru *5*, mida kasutatakse paagi pesemiseks. Küljelt on paagiga ühendatud torud *3* ja *4*. Toru *3* kaudu juhitakse paaki vett, toru *4* kaudu aga vee ja lee-



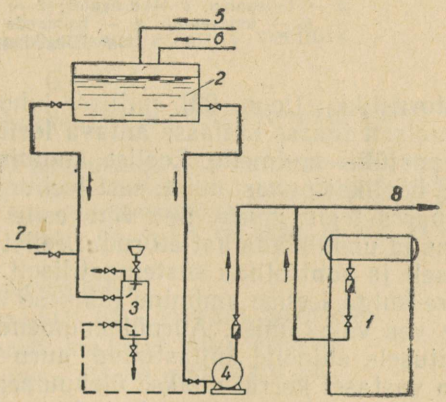

Joon. 26. Leelisreagentide juhtimine toitepumba imitorusse läbi toitepaagi:

*1* — reagendi paak; *2* — toitepaak; *3* — toitepump.




Joon. 27. Doseerimispaak leelise juhtimiseks katlasse:

*1* — lehter leelise juhtimiseks paaki; *2* — õhukraan; *3* — toitevee sissevool; *4* — leeliselahuse väljavool; *5* — kanalisatsiooni.

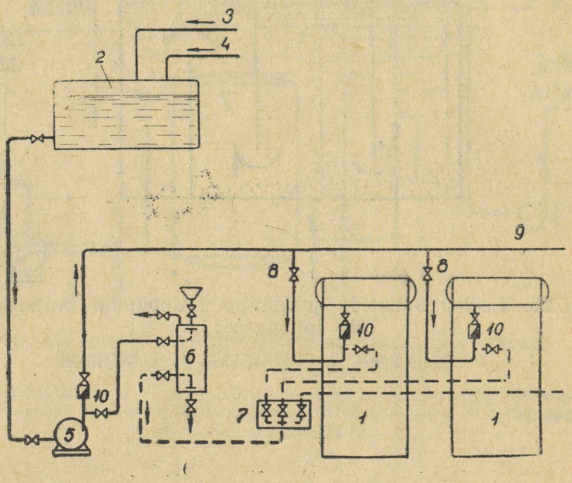



Joon. 28. Toitepumba imitorustikku asetatud dosaatori skeem:

*1* — katel; *2* — toitepaak; *3* — dosaator; *4* — toitepump; *5* — toorvesi; *6* — kondensaat; *7* — vesi veetorustikust; *8* — vesi teise katlasse.

lise segu paagist välja. Paagi maht (tavaliselt 10—40 l) valitakse arvestusega, et ta mahutaks katla ööpäevase lahusetarviduse.

Dosaatori võib ühendada toitepumba imitorustikku kõikide katelde üheaegseks leelisega varustamiseks (joon. 28) või




Joon. 29. Toitepumba surutorustikku asetatud dosaatori skeem:

*1* — katel; *2* — toitepaak; *3* — toorvesi; *4* — kandensaat; *5* — toitepump; *6* — dosaator; *7* — leelise jaotamine; *8* — toiteventiil; *9* — kolmanda katla juurde; *10* — tagasilöögiklapp.

surutorustikku (joon. 29), millisel juhul tuleb reguleerida individuaalselt igasse katlasse antava leelise hulka vastavalt katlavee analüüsi andmeile. Leelise andmisega võib alustada peale katla hoolikat puhastamist, sest leeline kobestab vana katlakivi, kusjuures tekib muda. See võib esile kutsuda vee vahutamist katlas ja ummistada katlatorud. Leelist tuleb sisse juhtida regulaarselt ja kontrollida süstemaatiliselt katlavee leelisesisaldust. Suure hulga leelise andmine lühikese aja jooksul kutsub katlas esile vee vahutamise. Auruülekuumendi olemasolul tuleb võtta tarvitusele abinõud küllastunud auru niiskuse vähendamiseks, kuna vastasel korral viiakse ülekuumendisse auruga kaasa soolasid, mis siugtorudele sadestudes põhjustavad viimaste läbipõlemist.

## 17. MUDA EEMALDAMINE KATLAST

Vee pehmendamisel katlas tekib katlavees hulgaliselt muda, mis eemaldatakse katla perioodilise või pideva läbipuhumisega.

Tekkiva muda hulk $S$ ümberarvutatult $CaCO_3$ ja $Mg(OH)_2$ kuivainele on arvutatav järgmise valemiga:

$$S = D(50{,}0H_{Ca} = 29{,}2H_{Mg})\ (1-p)\ \text{g/h},$$

kus $D$ on katla keskmine aurutootlikkus t/h;

$H_{Ca}$, $H_{Mg}$ — toitevee kaltsium- ja magneesiumkalkus mg-ekv/l;

$p$ — katla läbipuhumise aste;

50,0 ja 29,2 — $CaCO_3$ ja $Mg(OH)_2$ ekvivalendid.

Katla läbipuhumise arvutamisel eeldatakse, et läbipuhumisega eemaldatakse kogu katlasisesel veepehmendamisel tekkiv muda hulk. Läbipuhumise aste määratakse valemiga

$$p = \frac{S_{tv}}{S_{kv} - S_{tv}},$$

kus $S_{tv} = 50{,}0H_{Ca} + 29{,}2H_{Mg}$ mg/l — toitevee arvutuslik mudasisaldus;

$S_{kv}$ — maksimaalne lubatav mudasisaldus katlavees (vt. tabel 16).

Pideval läbipuhumisel katlast välja viidav veehulk oleneb katla aurutootlikkusest ja on arvutatav valemiga:

$$q = Dp \text{ t/h}.$$

Perioodilisel läbipuhumisel väljaviidav veehulk

$$G = Dpt \text{ t},$$

kus $t$ on ajavahemik tundides katla läbipuhumiste vahel.

Näide. Määrata 100 m² küttepinnaga ja 2 t/h aurutootlikkusega leegitorukatlas tekkiv mudahulk, vajalik läbipuhumise aste pideval läbipuhumisel, veehulk pideval ja 24-tunnise vaheajaga läbipuhumisel ning katlavee mudasisaldus, kui toitevee kalkus $H_{Ca} = 4{,}0$ mg-ekv/l ja $H_{Mg} = 1{,}3$ mg-ekv/l.

Muda hulk ühe liitri toitevee kohta

$$S_{tv} = 50{,}0 \cdot 4{,}0 + 29{,}2 \cdot 1{,}3 = 200 + 38 = 238 \text{ mg/h}.$$

Katlasse kogunev mudahulk, kui katelt läbi ei puhutaks

$$S = 2000 \cdot 238 = 476\,000 \text{ mg/h} = 476 \text{ g/h}.$$

Katla läbipuhumise aste

$$p = \frac{238}{8000 - 238} = 0{,}0307 \approx 3{,}1\%.$$

Katlast väljaviidav veehulk pideval läbipuhumisel

$$q = 2 \cdot 0{,}0307 = 0{,}0614 \text{ t/h} = 61{,}4 \text{ l/h}.$$

Toiteveega katlasse viidav mudahulk pideval läbipuhumisel

$$S = DS_{tv}(1+p) = 2000 \cdot 238 \cdot 1{,}031 = 480\,756 \text{ mg/h} \approx 480 \text{ g/h}.$$

Katlast väljaviidav veehulk 24-tunnise vaheajaga läbipuhumisel

$$G = 2 \cdot 0{,}0307 \cdot 24 \approx 1{,}47 \text{ tonni}.$$

Katlavee mudasisaldus katla töötamisel läbipuhumisega

$$x = \frac{(D+q)S_{tv}}{q} = \frac{2\,01{,}4 \cdot 238}{61{,}4} = 8000 \text{ mg/l}.$$

Katla läbipuhumise režiim ja katlavee muda- ning soolade sisalduse ekspluatatsioonilised normid määratakse tavaliselt katla perioodiliste järelevaatuste ja katlavee analüüsi põhjal. Leelisrežiimi õigsust kontrollitakse peamiselt kloriidide sisaldusega katlavees.

Kui toitevees on kloriide 15 g/m³, siis katla normaalsel 2—3%-lisel läbipuhumisel ei tohi katlavees olla kloriide üle 450—550 g/m³. Katlavee kloriidide sisalduse langus ja leelisuse tõus näitab, et leelist on üle doseeritud ja läbipuhumine on liiga tugev. Kloriidide normaalne sisaldus ja leelisuse tõus näitab, et läbipuhumine on õige, kuid leelist on üle doseeritud. Kloriidide sisalduse tõus normaalse leelisuse juures näitab, et leelist on alla doseeritud ja läbipuhumine pole küllaldane.

Nagu eespool märgitud, eemaldatakse muda katlast kas perioodilise või pideva läbipuhumisega. Mudatrumlitega kateldel kasutatakse perioodilist läbipuhumist suurusega 3—5%.

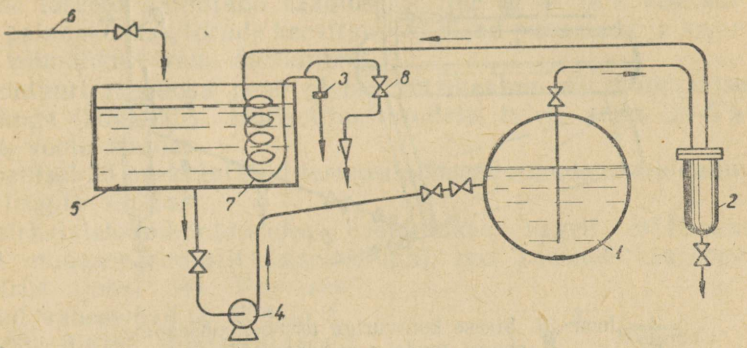
Leegitoru- ja kombineeritud kateldes sadestub muda kogu trumli alaosale. Perioodilisel läbipuhumisel kasutatakse nendes kateldes piki trumlit asetatud toru, millesse on puuritud augud. Pideva läbipuhumise kasutamisel kõrvaldatakse muda termosifoonide abil.

Muda- või alumise trumlita veetorukatlad pole kohased perioodiliseks läbipuhumiseks, kuna sel puhul läheks kaduma palju katlavett, sellega koos aga ka palju soojust ja keemilisi reagente. Neil kateldel on kõige otstarbekam kasutada lisamudatrumlit.

Pidevat läbipuhumist on mõnikord otstarbekas kasutada ka mitte katla konstruktsioonist, vaid toitevee suurest soolade sisaldusest (üle 1000 mg/l) tingituna. Joonisel 30 on näidatud katla pideva läbipuhumise skeem, kusjuures läbipuhumisvee soojust kasutatakse toitevee eelsoojendamiseks. Sellist muda eemaldamise moodust võib kasutada igasuguse rõhuga kateldes.

Termosifoonseadmeid seevastu kasutatakse rõhkudel kuni 12 at. Nende töötamine põhineb vee tsirkuleerimisel vastavas kontuuris temperatuuride vahe tagajärjel. Vee tsirkuleerimisega imetakse kaasa muda selle maksimaalse sadestumise tsoonist. Edasi voolab muda koos tsirkulatsiooniveega mudaeraldajasse, kus toimub muda separeerimine ja eemaldamine. Puhastatud vesi voolab mudaeraldajast katlasse tagasi.

Tsirkulatsioonivoolu kiirus on võrdeline tsirkulatsioonikontuuri tõusuosa kõrgusega ja vee mahukaalude vahega tõusu- ja langeosades. Tõusuosas, mida kuumutatakse auru või suitsugaasidega, vesi osaliselt aurustub, mistõttu ta mahukaal väheneb.




Joon. 30. Termosifoonseadme skeem katla läbipuhumisvee soojuse kasutamisega:

*1* — katel; *2* — mudaseparaator; *3* — drosselseib; *4* — toitepump; *5* — toitepaak; *6* — toorvesi; *7* — soojusvahendaja; *8* — ventiil soojusvahendaja läbipuhumiseks.

Langeosas on vesi raskem, kuna ta on vahepealses torustikus jahtunud.

Vee tsirkuleerimise kiirus on pöördvõrdeline kontuuri hüdraulilise takistusega.

Tsirkulatsioonikontuuri tõusuosa asetuse järgi tehakse vahet sisese (joon. 31) ja välise (joon. 32) kontuuri vahel, mida kuumutatakse vastavalt kas aurusärgiga või suitsugaasidega.

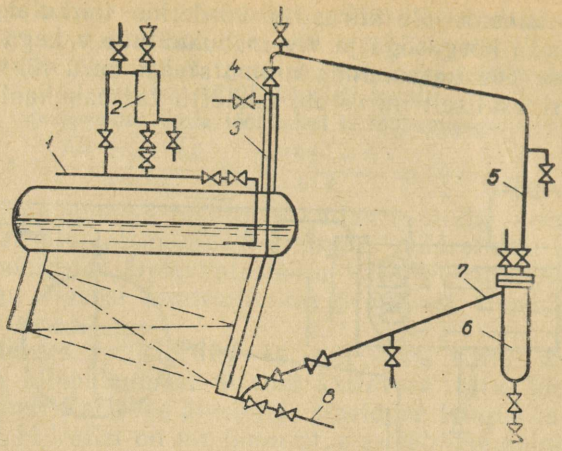
Aurusärk valmistatakse torust, mille läbimõõt on 2—3 korda tsirkulatsioonikontuuri toru läbimõõdust suurem. Aurusärgis kondenseeruv vesi kogutakse kondenspotti.

Välises kontuuris vee ülekuumenemise vältimiseks kontuuri tõusuosa isoleeritakse.

Tsirkulatsioonikontuuri imitoru ots peab olema suunatud allapoole ja asuma katla põhjast 40—70 mm kaugusel. Seejuures ei tohi toru otsa ristlõikepind ega kuju muutuda ning toru otsa ei tohi asetada düüsi ega sellesse auke puurida.

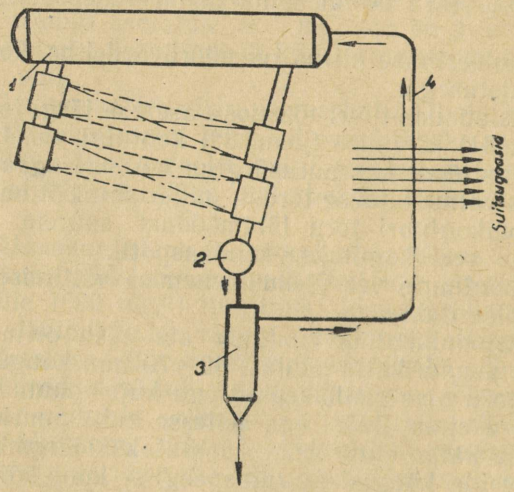
Olenevalt katla aururõhust kasutatakse järgmisi tsirkulatsioonikontuuride kõrgusi (aurutuspeeglist kuni kõrgema punktini):

| Aururõhk at | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kontuuri kõrgus m | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 3,8 | 4,0 |




Joon. 31. Sisese kontuuriga termosifoonseadme skeem muda eemaldamiseks:

*1* — katla toitmine; *2* — leelise dosaator; *3* — aurusärk; *4* — tsirkulatsioonikontuuri tõusuosa; *5* — tsirkulatsioonikontuuri langeosa; *6* — mudaseparaator; *7* — tagasivoolutoru; *8* — läbipuhumistoru.




Joon. 32. Välise kontuuriga termosifoonseadme skeem muda eemaldamiseks:

*1* — katel; *2* — mudatrummel; *3* — mudaseparaator; *4* — tsirkulatsioonikontuuri tõusuosa.

Tsirkulatsioonikontuuri laiuseks valitakse tavaliselt 1,4—2 kõrgust, mis kindlustab vee küllaldase jahtumise tõusu- ja langeosade vahel.

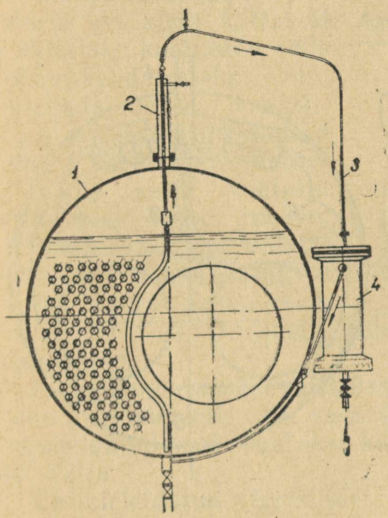
Vee maksimaalse kiiruse saavutamiseks kontuuris tuleb montaažil torude takistust püüda igati vähendada. Selleks soovitatakse torusid painutada raadiusega $10d$ ($d$ — toru siseläbimõõt paindekohas), torude keevitamisel otsad puhastada ja kasutada võimalikult vähe äärikliiteid.

Kontuuri tõusuosa peab olema vertikaalne või minimaalse kallakuga (kuni 30°). Horisontaaltorudele tuleb anda 2—5% kallak voolu suunas.

Joonisel 33 on kujutatud termosifoonseade muda eemaldamiseks leegitorukatlast.

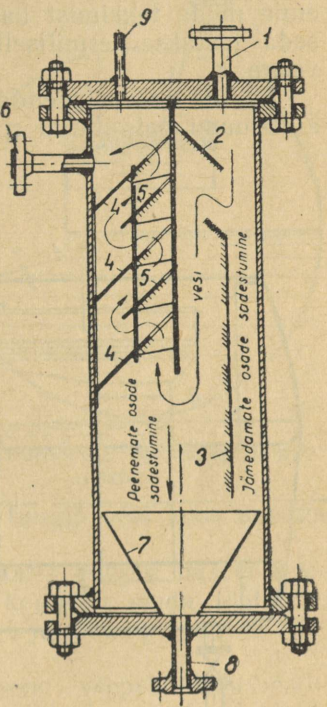
Tsirkulatsioonikontuurides kasutatakse sageli ВТИ-süsteemi mudaseparaatorit (otsevooluga), mis koosneb kaantega silindrist (joon. 34). Viimases asuvad vaheseinad *2, 3, 4* ja *5*.

Vesi liigub mudaeraldajas vaheseinte vahel nooltega näidatud teed mööda. Seejuures eraldub muda, mis koguneb leht-




Joon. 33. Termosifoonseadme skeem muda eemaldamiseks leegitorukatlast:

*1* — katel; *2* — tsikulatsioonikontuuri tõusuosa; *3* — tsirkulatsioonikontuuri langeosa; *4* — mudaseparaator.




Joon. 34. ВТИ-süsteemi mudaseparaator:

*1* — vee sissevoolututs; *2, 3, 4* ja *5* — vaheseinad; *6* — puhastatud vee väljavoolututs; *7* — mudalehter; *8* — läbipuhumistuts; *9* — õhutoru.

risse *7*. Puhastatud vesi juhitakse tutsi *6* kaudu katlasse. Lehtrist *7* eemaldatakse muda perioodiliselt tutsi *8* kaudu.

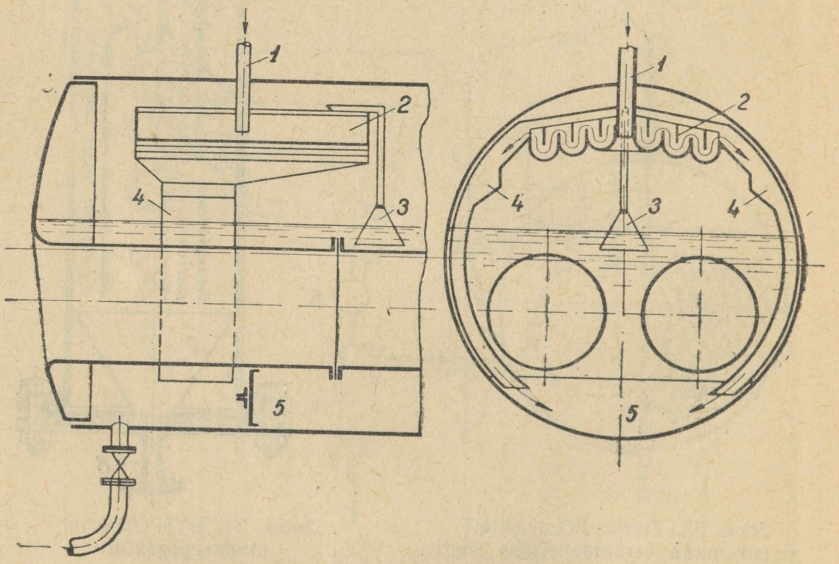
Mudaeraldajas saavutatakse kuni 100%-line veepuhastus. Raskus seisab ainult selles, et anda mudaeraldajasse suure mudasisaldusega vett. Kui katlas muda hästi ei seti (kui puuduvad mudatrumlid), siis töötab selline seade halvasti.

Termosifooni abil muda eraldamine võimaldab kuni 12 atü rõhuga ja 300 m² küttepinnaga katelde läbipuhumist vähendada 0,5—1%-ni.

Vaadeldes keemilisi protsesse, mis tekivad katlasse toitevee sisseandmisel, tuleb märkida, et suurem osa neist toimub vee sisseandmiskoha vahetus läheduses. Segunedes katlaveega kuumeneb toitevesi kiiresti, mis põhjustab bikarbonaatide ioonide lagunemist ja muda tekkimist.

Seetõttu on osutunud otstarbekaks kuumutada toitevett kuni katlavee temperatuurini vastavates reaktorites, ilma et toitevesi enne muda tekkimist katlaveega kokku puutuks. Alles pärast seda lastakse termiliselt pehmendatud veel seguneda katlaveega.

Selline vee pehmendamise seade (joonis 35) koosneb katla aururuumi paigutatud reaktorist *2*, pumpamisseadmest *3*, mil-




Joon. 35. Vee termiline pehmendamine leegitorukatlas:

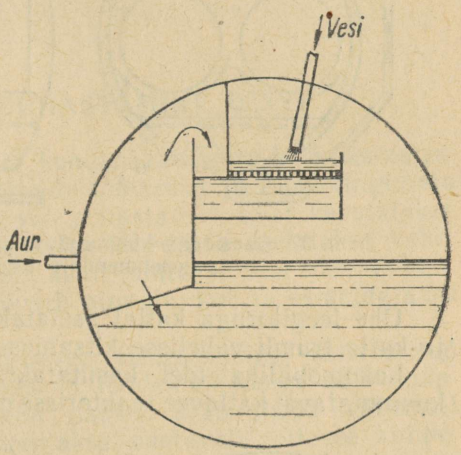
*1* — toitevee sissejuhtimine; *2* — reaktor; *3* — seade katlavee pumpamiseks reaktorisse; *4* — mudakanal; *5* — vahesein.

lega reaktorisse antakse 20—30% katlavett, ja juhtkanalist *4*, mille kaudu muda juhitakse tsirkulatsioonivoolust vaheseinaga *5* eraldatud ruumi katla põhjas.

Kasutatakse kahte tüüpi reaktoreid: kaskaadseid ja barbotaaži põhimõttel töötavaid.

Kaskaadreaktor (joon. 35, pos. *2*) koosneb mitmest künast, mis on üksteisest vaheseintega eraldatud. Ülemisse künasse juhitud vesi voolab alumistesse künadesse õhukese laia joana. Reaktori mõõtmed valitakse selliselt, et vesi viibiks neis ligikaudu 5—8 minutit. Selle ajaga kuumeneb vesi, lõpevad termokeemilised reaktsioonid ja gaaside eraldumine ning tekib suurehelbeline muda.

Barbotaaži põhimõttel töötaval reaktoril (joon. 36) on horisontaalne aukudega vahesein. Toitevesi antakse peale ülevalt-poolt, aur altpoolt vaheseina. Mullikestena läbi veekihi tungiv aur kondenseerub osaliselt ning segab ja kuumendab seejuures hästi vett. Edasi liigub vesi samuti nagu eelmise variandi puhul.



Joon. 36. Barbotaaži põhimõttel töötav reaktor.

Pumpamisseadme ülesandeks on anda katlavett reaktorisse, kusjuures selle töölerakendamiseks võib kasutada gaase, termosifooni või lehtrit. Viimasel juhul asetatakse lehter allapoole katla veetaset küttepinna kõige rohkem koormatud kohale. Väljaspool toru asuva katlavee samba ja torus asuva auru-vee segu samba raskuste vahe tõttu tungib vesi koos auruga reaktorisse.

Muda kogumiseks valitakse koht katla põhjas, mis ei kuumene intensiivselt. Siin sadestub ja koguneb muda lõplikult. Pehmendatud vesi segatakse katlaveega ja muda puhutakse katlast välja.

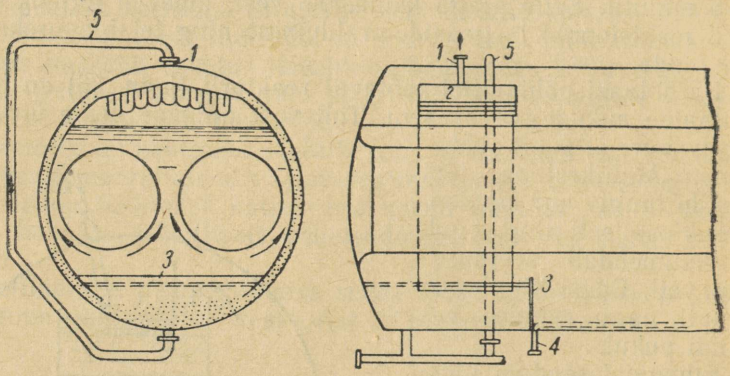
Ülalkirjeldatud termiline katlasisene veepehmendusseade töötab automaatselt ja ei vaja seetõttu igapäevast järelevalvet. Katla pideval toitmisel on tulemused head. Perioodilisel toitmisel koormatakse reaktor üle, kusjuures vesi ei pehmene küllaldaselt. Toitmise vaheajal lakkab toitevee vool, millega kaasub katlakivi tekkimine reaktoris.

Kõige paremaid tulemusi saavutatakse suure leelisusega toitevee puhul.

Katlakivi täielikuks vältimiseks võib termilisel vee pehmendamisel lisada katlaveele keemilisi reagente.

Termilise veepehmendaja kasutamine oleneb katla konstruktsioonist, s. t. reaktori katla sisse paigutamise võimalustest.

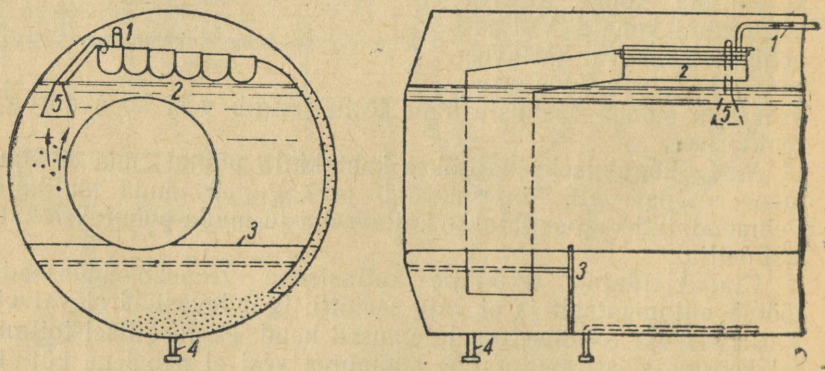
Joonisel 37 on näidatud suitsugaasidega kuumutatava pumpamiskontuuriga termiline veepehmendaja kahe leegitoruga katlale. Katla muu osa läbipuhumiseks kasutatakse lisatoru.




Joon. 37. Gaasidega kuumutatava pumpamisseadmega termiline veepehmendaja leegitorukatlale.

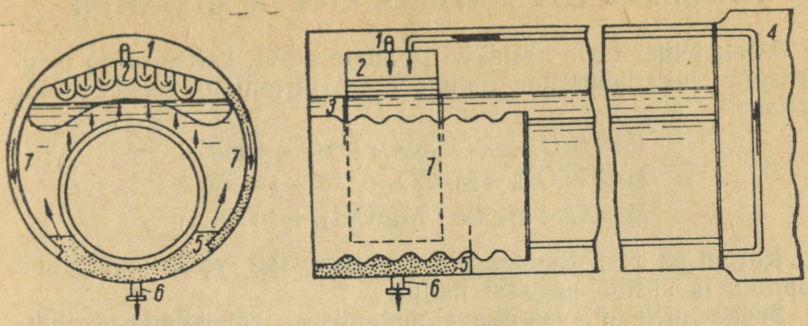
Ühe leegitoruga katlal asetatakse pumpamislehter leegitoru ja katla trumli vahelisse kitsamasse ossa (joon. 38).

Lokomobiilikateldel kasutatakse peamiselt suitsugaasidega kuumutatavat katlavee reaktorisse pumpamise kontuuri (joon. 39).




Joon. 38. Ühe leegitoruga katla termilise veepehmenduse skeem:

*1* — toitetoru; *2* — reaktor; *3* — vahesein; *4* — läbipuhumistoru; *5* — pumpamislehter.




Joon. 39. Vee termiline pehmendamine lokomobiilikatlas:

*1* — toitetoru; *2* — reaktor; *3* — reaktori kinnitus; *4* — suitsugaasidega kuumutatav pumpamiskontuur; *5* — vahesein; *6* — väljalasketoru; *7* — muda juhttaskud.

## 18. TOITEVEE PUHASTAMINE ÕLIST

Õli võib sattuda auru või kondensaati auru-kolbmasinates. Õline kondensaat ohustab katelde töötamist ja tuleb tingimata puhastada. Kõige lihtsamat vee puhastamist õlist kasutatakse liikuvatel lokomobiilidel, kus katla lähedusse asetatakse vahepaak mahuga ligikaudu 0,5 $m^3$, kuhu juhitakse vesi toitepaagist. Õli, mis on veest kergem, tõuseb pinnale, kus ta eemaldatakse vahepaagi ületäitmisega.

Häid tulemusi annab toitevee läbijuhtimine aktiveeritud söega (peeneteraline süsi, mis on töödeldud kange väävelhappega) täidetud filtrist. Söekihi paksus peab olema vähemalt 1000 mm. Filtri läbimõõt valitakse vastavalt toitevee kulule. Suurema puhtuse saamiseks tuleb vett ette soojendada peaaegu 100°-ni. Filtrit läbinud toitevee õlisisaldus väheneb kuni 1 mg/l.

Filtri teenindamisel tuleb jälgida vee rõhku filtri ees ja taga, hoida vee temperatuur võimalikult kõrge ja perioodiliselt vahetada aktiveeritud sütt.

Kui toitevesi sisaldab õli, tuleb katelt aurutuspeegli ligidalt läbi puhuda (ülemine läbipuhumine). Selleks asetatakse katla veeruumi normaalse veeseisu kõrgusele toru, mille ots on umbne, kuid mille külgedesse on puuritud augud, või toru, mis on varustatud horisontaalsete harutorudega.

## 19. VEEKATELDE TOITEVEE ETTEVALMISTAMINE

Veekateldes tekib katlakivi ja muda ainult kaltsiumi ja magneesiumi bikarbonaatide lagunemisest järgmiste reaktsioonide kohaselt:

$$Ca(HCO_3)_2 = \downarrow CaCO_3 + \uparrow CO_2 + H_2O$$
$$Mg(HCO_3)_2 = MgCO_3 + \uparrow CO_2 + H_2O$$
$$MgCO_3 + H_2O = \downarrow Mg(OH)_2 + \uparrow CO_2.$$

Katlad ja torustikud sööbivad tugevasti vees lahustunud hapniku ja süsihappegaasi mõjul.

Seega tuleb toitevee ettevalmistamisega vähendada vee karbonaatkalkust ja eemaldada veest gaase.

Erinevalt aurukateldest ei tule veekatelde juures püüda liigselt vähendada vee kalkust, eriti sel juhul, kui vett kasutatakse pesemiseks. Soovitav on, et karbonaatkalkus oleks piirides 1,5—2,5 mg-ekv/l.

Katla metalli sööbimise vältimiseks ei tohi vees lahustunud hapniku hulk ületada 0,1 mg/l.

Katlakivi tekkimise vältimiseks veekateldes ja torustikes soovitatakse kasutada toorvee nn. mikrofosfateerimist, s. o. veele naatriumfosfaadi lahuse lisamist.

# IV. KÜTUSTE PÕLEMINE

## 20. PÕLEMISPROTSESSI FÜÜSIKALIS-KEEMILISI NÄHTUSI

Põlemiseks nimetatakse kütuse põlevelementide intensiivset ühinemist õhuhapnikuga, kusjuures vabaneb teatav hulk soojust ja ilmub harilikult leek.

Süsiniku põlemisel ühineb üks aatom süsinikku kahe aatomi hapnikuga, mille tulemusena saadakse üks molekul *süsihappegaasi*. Iga kg süsiniku põlemisel vabaneb 7850 kcal soojust:

$$\underset{12\,kg}{C} + \underset{32\,kg}{O_2} = \underset{44\,kg}{CO_2} + 94\,250\ kcal.$$

Õhu puudusel ühineb 1 aatom süsinikku 1 aatomi hapnikuga ja tekib üks molekul *vingugaasi*, kusjuures 1 kg põleva süsiniku kohta vabaneb ainult 2180 kcal soojust:

$$\underset{24\,kg}{2C} + \underset{32\,kg}{O_2} = \underset{56\,kg}{2CO} + 52\,300\ kcal.$$

Vingugaas võib põleda edasi süsihappegaasiks, kui juhtida talle juurde õhku küllalt kõrgel temperatuuril (ligikaudu 650°); seejuures vabaneb täiendavalt 5670 kcal soojust 1 kg põleva süsiniku kohta:

$$2CO + O_2 = 2CO_2.$$

Vesinik, ühinedes hapnikuga, moodustab *veeauru*, kusjuures 1 kg põleva vesiniku kohta vabaneb 28 900 kcal soojust:

$$\underset{4\,kg}{2H_2} + \underset{32\,kg}{O_2} = \underset{36\,kg}{2H_2O} + 115\,600\ kcal.$$

Väävel, ühinedes hapnikuga, põleb *vääveldioksüüdiks*, kusjuures 1 kg väävli kohta vabaneb 2180 kcal soojust:

$$\underset{32\,kg}{S} + \underset{32\,kg}{O_2} = \underset{64\,kg}{SO_2} + 69\,760\ kcal.$$

Põlemine on *täielik*, kui kogu kütuse põlevaine lõplikult ära põleb, s. o. kui kogu süsinik põleb süsihappegaasiks, kogu vesinik veeauruks ja kogu väävel vääveldioksüüdiks.

Mittetäielikul põlemisel sisaldavad põlemissaadused veel põlemisvõimelisi gaase, nagu vingugaasi, vesinikku, metaani jm. Sel juhul ei saa kütuses peituvat soojust kasutada täielikult ja põlemisel tekib *keemiline kadu*.

Põlemine algab igale ainele vastava temperatuuri, nn. *süttimistemperatuuri* juures, milleni tuleb ainet ette soojendada. Mõnede ainete süttimistemperatuurid:

| | | | |
|---|---|---|---|
| vesinik | 600° | puit, turvas | 250° |
| vingugaas | 650° | põlevkivi | 270° |
| metaan | 650—750° | kivisüsi | 300—350° |
| süsinik | 700° | antratsiit | 650—700° |

Suurt tähtsust täielikuks põletamiseks omab *põlemistemperatuur* koldes. Temperatuuril alla 1000° ei kulge põlemisreaktsioonid intensiivselt. Põlemistemperatuur koldes sõltub kütuse liigist ja kolde soojuslikust erikoormusest. Temperatuur kihis on ligikaudu 1000—1100°, kolderuumis 1200—1400°.

*Lendosaderikaste* kütuste puhul on suur tähtsus lendosade täielikul põlemisel. Küllaldase õhuhulga juures põleb lendosades, näiteks metaanis ($CH_4$) olev süsinik süsihappegaasiks ja vesinik veeauruks:

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O.$$

Et niihästi süsihappegaas kui ka veeaur on värvuseta, siis täielikul põlemisel suitsu ei esine.

Õhu puudusel põleb esmajärjekorras lendosades olev vesinik, omades hapnikuga suuremat sugulust; süsinik aga eraldub tahmana ja värvib põlemissaadused mustaks, tekib tume suits:

$$CH_4 + O_2 = 2H_2O + C.$$

Sama nähtus esineb juhul, kui üldine õhuhulk on küllaldane, kuid halva segunemise tõttu lendosadega tekib üksikutes koldeosades õhu puudus. Puudulik põlemine esineb samuti juhul, kui õhuhulk on küllaldane, kuid kolde temperatuur pole piisav lendosade lagunemisel eralduva süsiniku põlemiseks:

$$CH_4 + 2O_2 = 2H_2O + O_2 + C.$$

Väga madalatel temperatuuridel koldes süsivesinikud ei põle üldse ja väljuvad korstnasse pruuni suitsuna.

Ülaltoodust selgub, et tume suits tekib lendosade mittetäielikust põlemisest. Seetõttu kütused, mis sisaldavad vähe lendosi, näiteks koks ja antratsiit, põlevad suitsuta ka sel juhul, kui põlemine on mittetäielik.

Täielikuks põlemiseks on tarvilik:

a) küllalt kõrge temperatuur koldes (mitte alla 1000°);

b) küllaldane põlemisõhu hulk;

c) lendosade ja põlemisõhu hea segunemine;
d) küllaldane koldemaht, eriti kolde kõrgus, lendosade läbipõlemiseks.

Täieliku põlemise tunnuseks on tumeda suitsu puudumine ja puhas leek.

Gaasilise kütuse koostisosade täielik põlemine väljendub tabelis 17 toodud keemiliste valemitega.

Tabel 17

**Gaaside põlemisreaktsioonid ja soojusväärtused**

| Gaasi nimetus | Põlemisreaktsioon | Soojusväärtus kcal/nm³ | |
|---|---|---|---|
| | | Põlemis-väärtus | Kütte-väärtus |
| Vesinik | $H_2+0{,}5O_2=H_2O$ | 3048 | 2566 |
| Vingugaas | $CO+0{,}5O_2=CO_2$ | 3018 | 3018 |
| Metaan | $CH_4+2O_2=CO_2+2H_2O$ | 9520 | 8550 |
| Atsetüleen | $C_2H_2+2{,}5O_2=2CO_2+H_2O$ | 13964 | 13483 |
| Etüleen | $C_2H_4+3O_2=2CO_2+2H_2O$ | 15169 | 14203 |
| Etaan | $C_2H_6+3{,}5O_2=2CO_2+3H_2O$ | 16633 | 15185 |
| Propüleen | $C_3H_6+4{,}5O_2=3CO_2+3H_2O$ | 22084 | 20638 |
| Propaan | $C_3H_8+5O_2=3CO_2+4H_2O$ | 23671 | 21742 |
| Butüleen | $C_4H_8+6O_2=4CO_2+4H_2O$ | 29089 | 27160 |
| Butaan | $C_4H_{10}+6{,}5O_2=4CO_2+5H_2O$ | 30692 | 28281 |
| Tsüklopentaan | $C_5H_{10}+7{,}5O_2=5CO_2+5H_2O$ | 35465 | 33050 |
| Pentaan | $C_5H_{12}+8O_2=5CO_2+6H_2O$ | 37712 | 34818 |
| Bensool | $C_6H_6+7{,}5O_2=6CO_2+3H_2O$ | 36330 | 34870 |
| Väävelvesinik | $H_2S+1{,}5O_2=SO_2+H_2O$ | 6068 | 5585 |

Mis tahes $C_nH_m$ tüüpi süsivesiniku põlemisreaktsiooni võib kujutada üldvalemiga:

$$C_nH_m+(n+{}^1/_4m)\,O_2=nCO_2+{}^1/_2mH_2O.$$

Valemitest on näha, et vesiniku, süsiniku ja hapniku aatomite arv on mõlemal pool võrdusmärki ühesugune.

Kui põlemisvõrrandisse asetada vastavate ainete aatom- ja molekulkaalud, saadakse:

$$CH_4+2O_2=CO_2+2H_2O$$
$$(12+4)+2\cdot 32=(12+32)+2(2+16)$$
$$16+64=44+36.$$

Viimane avaldis näitab, et 1 mool, s. o. gaasi hulk, mille kaal võrdub sama gaasi molekulkaaluga kilogrammides, reageerib 2 mooli (64 kg) $O_2$-ga, mille tulemusel tekib 1 mool (44 kg) $CO_2$ ja 2 mooli (36 kg) $H_2O$.

Seega saab põlemisvõrrandite abil kergesti määrata reageerivate ja põlemisel tekkivate ainete kaalulisi ja mahulisi vahekordi.

Füüsikast on teada, et mis tahes gaasi ühe mooli maht normaaltingimustel on 22,4 $m^3$. Selle alusel saab põlemisvõrrandite abil määrata põlemiseks vajaliku hapniku ja põlemisproduktide mahtu. Kui eelmine põlemisvõrrand väljendada moolides, saadakse:

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$$
$$22{,}4\ m^3 + 2 \cdot 22{,}4\ m^3 = 22{,}4\ m^3 + 2 \cdot 22{,}4\ m^3.$$

Kui viimase võrrandi iga liige jagada 22,4-ga, saadakse:

$$1\ m^3 + 2\ m^3 = 1\ m^3 + 2\ m^3,$$

mis tähendab, et 1 $m^3$ metaani põlemiseks on vajalik 2 $m^3$ hapnikku. Põlemise tulemusena saadakse 3 $m^3$ põlemisprodukte. Kuna õhk sisaldab mahuliselt ligikaudu $^1/_5$ (täpsemalt 20,9%) hapnikku, siis 1 $m^3$ metaani põlemiseks on vaja ligikaudu 5 korda rohkem õhku kui hapnikku, s. o. 10 $m^3$.

Vingugaasi põlemisvõrrandist $2CO + O_2 = 2CO_2$ nähtub, et kahe mahuühiku vingugaasi põlemiseks on vaja üks mahuühik hapnikku või ühele mahuühikule vingugaasile 0,5 mahuühikut hapnikku, s. o. ligikaudu 2,5 mahuühikut õhku.

Põlemisvõrrandite abil on samuti võimalik määrata põlemisproduktides sisalduva niiskuse hulka. See on tähtis seetõttu, et mõnede gaasiseadmete põlemisprodukte ei juhita otse korstnasse, vaid ruumi. Halva ventilatsiooni korral muutub ruum sel juhul kiiresti niiskeks, sest põlemisel tekkiva veeauru hulk on küllaltki suur.

Metaani põlemisvõrrandist on näha, et ühe mooli (22,4 $m^3$) metaani põlemisel tekib 2 mooli ($2 \cdot 18 = 36$ kg) veeauru. Järelikult annab 1 $m^3$ metaani põlemisel $\frac{2 \cdot 18}{22{,}4} = 1{,}6$ kg vett auru näol.

## 21. PÕLEMISEKS VAJALIKU ÕHU JA PÕLEMISPRODUKTIDE HULK

Kõige väiksemat õhuhulka, mis on tarvilik 1 kg kütuse täielikuks põlemiseks, nimetatakse teoreetiliseks õhuhulgaks. Viimase suurus sõltub kütuse keemilisest koostisest.

Teades kütuse küttevääretust ja niiskust, võib määrata ligikaudse teoreetilise õhuhulga järgmise avaldisega:

$$V_0 = k \frac{Q_t^k + 6W_t}{1000}\ nm^3/kg,$$

kus $Q^k$ on tarbimiskütuse kütteväärtus kcal/kg;

$W_t$ — kütuse niiskuse %;

$k$ — tegur, mille väärtused on järgmised:

| | |
|---|---|
| puit | 1,05 |
| turvas | 1,08 |
| põlevkivi | 1,08 |
| pruun- ja kivisöed | 1,09 |
| lahjad söed, antratsiidid, masuut ja põlevkivi-kütteõli | 1,10 |

Gaasilise kütuse puhul määratakse teoreetiline õhuhulk avaldisega:

$$L_0 = \frac{O_{min}}{0{,}21},$$

kus $O_{min}$ on põlemiseks vajalik minimaalne hapniku huik nm³/nm³. $O_{min} = 0{,}01\ (0{,}5CO + 0{,}5\ H_2 + 2\ CH_4 + 3{,}45\ C_n H_m - O_2)$, kus CO, $H_2$, $CH_4$, $C_n H_m$ ja $O_2$ on vastavate komponentide mahud gaasisegus protsentides.

Gaasidele, mis koosnevad süsinikust ja vesinikust (nn. süsivesinikud), määratakse teguri $k$ suurus avaldisega:

$$k = n + {}^1/_4 m.$$

Metaani ($CH_4$) puhul

$$k = n + {}^1/_4 m = 1 + {}^1/_4 \cdot 4 = 2.$$

Põlevkivigaasis esinevate raskete süsivesinikkude ($C_n H_m$) puhul on teguri $k$ suurus 3,45, sest võib arvestada, et põlevkivigaas $C_n H_m$ sisaldab keskmiselt 68% $C_2H_4$ ja 32% $C_3H_6$. Taolise segu põlemisel vabaneb 17 600 kcal/nm³ soojust, mis vastab põlevkivigaasis sisalduva $C_n H_m$ põlemisel vabanevale soojushulgale.

Näide. Määrata teoreetiliselt vajalik õhuhulk põlevkivile kütteväärtusega $Q_t^k = 3068$ kcal/kg, niiskusega $W_t = 12\%$.

$$V_0 = 1{,}08\ \frac{3068 + 6 \cdot 12}{1000} = 3{,}4\ \text{nm}^3/\text{kg}.$$

Näide. Määrata teoreetiline õhuhulk põlevkivigaasile, mille mahuline koostis on järgmine: 15,4% $CO_2$; 0,5% $O_2$; 10,4% CO; 27,0% $H_2$; 13,1% $CH_4$; 5,3% $C_n H_m$; 28,3% $N_2$.

$$O_{min} = 0{,}01\ (0{,}5CO + 0{,}5H_2 + 2CH_4 + 3{,}45CC_nH_m - O_2) =$$
$$= 0{,}01\ (0{,}5 \cdot 10{,}4 + 0{,}5 \cdot 27{,}0 + 2 \cdot 13{,}1 + 3{,}45 \cdot 5{,}3 - 0{,}5) = 0{,}627\ \text{nm}^3/\text{nm}^3.$$

$$L_0 = \frac{O_{min}}{0{,}21} = \frac{0{,}627}{0{,}21} = 2{,}99\ \text{nm}^3/\text{nm}^3.$$

Et kogu koldesse juhitav õhk ei segune lendosadega ega võta seetõttu põlemisest osa, tuleb anda koldesse õhku rohkem, kui on teoreetiliselt vajalik. Tegeliku ja teoreetilise õhuhulga suhet nimetatakse liigõhuteguriks ja tähistatakse tähega $\alpha$ (alfa). Liigõhutegur, olenevalt kütuse liigist ja põletamise viisist, on 1,05—1,7. Tegelik liigõhutegur katlal määratakse suitsugaasi koostise põhjal.

Teoreetiline võimalik süsihappegaasi hulk puhta süsiniku põletamisel liigõhuta on 21%. Suurim teoreetiliselt võimalik süsihappegaasi hulk — $(CO_2)_{max}$ üksikute keskmiste kütuste puhul on järgmine:

| | | | |
|---|---|---|---|
| koks, puidusüsi | 21 % | kivisüsi | 18,7% |
| antratsiit | 20,5% | põlevkivi | 18,6% |
| puit | 20,3% | masuut | 15,9% |
| turvas | 19,5% | põlevkivi-kütteõli | 15,3% |

Teades antud kütuse $(CO_2)_{max}$ ja määrates gaasianalüsaatoriga tegeliku $CO_2$ hulga põlemisproduktides, võib leida liigõhuteguri avaldisega:

$$\alpha = \frac{(CO_2)_{max}}{CO_2}.$$

Liiga väikese liigõhuteguri puhul võib põlemine olla mittetäielik ja tekkida vingugaas (CO), mille iga protsent suitsugaasis põhjustab kadu 3—7% kütuse soojusest.

Liiga kõrge liigõhutegur põhjustab suurt soojuskadu, sest koldesse juhitud õhk kuumeneb kõrge temperatuurini ja koos suitsugaasidega korstnasse väljudes viib endaga kaasa palju soojust. Samuti jahutab liigne õhk asjatult kollet ja halvendab seega põlemistingimusi.

Gaaskütuse põletamisel saab määrata põlemisproduktide hulka ja $(CO_2)_{max}$ arvutuse teel, kui on teada gaasi koostis.

Põlevkivigaasi põletamisel on põlemisproduktide hulk määratav järgmise valemiga:

$$\underbrace{V = 0{,}01\ (CO_2 + CO + CH_4 + 2{,}3\ C_nH_m)}_{CO_2\ hulk} + \underbrace{3{,}76\alpha O_{min}}_{N_2\ hulk} + 0{,}01N_2 +$$

$$+ \underbrace{(\alpha - 1)O_{min}}_{liigne\ O_2\ hulk} + \underbrace{0{,}01\ (H_2 + 2CH_4 + 2{,}3C_nH_m)}_{H_2O\ hulk},$$

kus $V$ on ühe nm³ gaasi põlemisel tekkiv põlemisproduktide hulk nm³; $CO_2$, CO, $CH_4$, $C_nH_m$, $N_2$, $H_2$ — vastava gaasi sisaldus põletatavas gaasisegus %;

$\alpha$ — liigõhutegur;

$O_{min}$ — ühe nm³ gaasi täielikuks põlemiseks vajalik minimaalne hapniku hulk nm³.

Koksigaasi puhul, kus rasked süsivesinikud loetakse võrdseks etüleeniga, tuleb valemis $C_n H_m$ ees kasutada tegurit 2 (2,3 asemel).

Näide. Määrata põlemisproduktide hulk, $(CO_2)_{max}$, korstnagaasides esineva $CO_2$% ja ruumi tungiva niiskuse hulk tunnis, kui põletatakse järgmise koostisega põlevkivigaasi: 15,4% $CO_2$; 0,5% $O_2$; 10,4% CO; 27,0% $H_2$; 13,1% $CH_4$; 5,3% $C_n H_m$; 28,3% $N_2$. Gaasiseadme võimsus $Q=2{,}5$ nm³ tunnis ja liigõhutegur $\alpha=1{,}1$, veeauru erikaal $\gamma=0{,}804$ kg/nm³. $O_{min}=0{,}627$ nm³/nm³ (vt. eelmine näide lk. 83).

$$V=0{,}01\ (CO_2+CO+CH_4+2{,}3C_nH_m)+3{,}76\alpha\ O_{min}+0{,}01N_2+(\alpha-1)O_{min}+$$
$$+0{,}01(H_2+2CH_4+2{,}3C_nH_m)=0{,}01\ (15{,}4+10{,}4+13{,}1+12{,}2)+3{,}76\cdot 1{,}1\cdot$$
$$\cdot 0{,}627+0{,}283+0{,}1\cdot 0{,}627+0{,}01\ (27{,}0+26{,}2+12{,}2)=\underbrace{0{,}511}_{CO_2}+\underbrace{2{,}877}_{N_2}+\underbrace{0{,}063}_{O_2}+$$
$$+\underbrace{0{,}654}_{H_2O}=4{,}11\ \text{nm}^3/\text{nm}^3.$$

Põlemisproduktide hulk põletamisel teoreetilise õhuhulgaga ($\alpha=1{,}0$):

$$V_0=0{,}511+2{,}358+0{,}283+0{,}000+0{,}654=3{,}81\ \text{nm}^3/\text{nm}^3.$$

$$(CO_2)_{max}=\frac{V_{CO_2}}{V_0}\,100=\frac{0{,}511}{3{,}81}\,100=13{,}4\ \%.$$

$$CO_2=\frac{(CO_2)_{max}}{\alpha}=\frac{13{,}4}{1{,}1}=12{,}2\ \%.$$

Ruumi tungiv niiskuse hulk tunnis:

$$V_n=V_{H_2O}\,Q\gamma=0{,}654\cdot 2{,}5\cdot 0{,}804=1{,}32\ \text{kg}.$$

## 22. PÕLEMISPROTSESS TAHKE- JA VEDELKÜTUSTE PÕLEMISEL

Tahkekütuse põlemist restil võib rühmitada nelja üksteisele järgnevasse järku: kütuse ettevalmistus, lendosade eraldumine ning põlemine, koksi põlemine ja räbu põlemine.

Ettevalmistusjärgus toimub kütuse soojenemine ja niiskuse aurumine. Protsessi selles järgus neelab kütus soojust, mida tuuakse juurde kas kuuma põlemisõhuga või osaliselt koldesse tagasijuhitavate retsirkuleeritavate suitsugaasidega. Ühtlasi neelab värske kütus soojust kolderuumist. Ettevalmistusjärk lõpeb kütuse süttimispiiri saavutamisega. Eriti oluline on see järk suure niiskusega kütuste, nagu märja turba jm. kasutamisel, kuna need eelneva soojenemiseta pole võimelised põlemisest osa võtma.

Põlemise teises järgus toimub kütuse lagunemine lendosadeks ja koksiks, kaasa arvatud lendosade põlemine. Intensiivne lendosade eraldumine algab temperatuuril 300—400°.

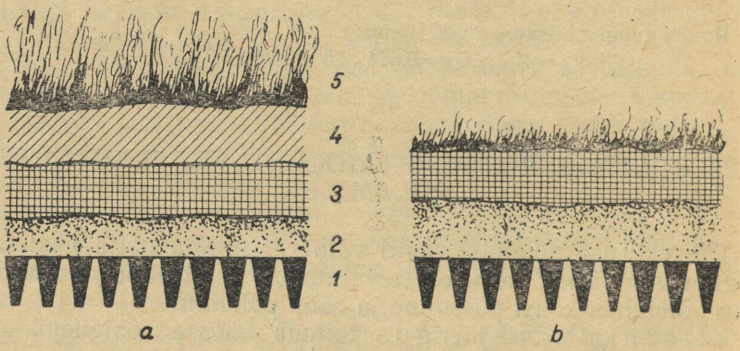
Eraldunud gaaside koostis on järgmine: $SO_2$, $CO_2$, $H_2O$, CO, $CH_4$, $C_2H_2$ ja rasked süsivesinikud. Lendosade põlemine ja raskete süsivesinike lagunemine algosadeks (krakkimine) toimub kihispõlemisega kolletes peamiselt kolderuumis.

Põlemise kolmandas järgus toimub tahke süsiniku, s. o. koksi põlemine restil. Selles järgus on kütusekihil kõrgeim temperatuur (900—1100°). Mida kõrgem on selles järgus temperatuur, seda kiiremini ja täielikumalt põleb kütus läbi. Kihi temperatuuri tõstmist üle eelnimetatud määra piirab tuha plastinemise ja sulamise algus, misjuures kütusekiht paakub ega lase õhku restist läbi.

Põlemise neljandas järgus, räbu põlemisel, toimub põlevosade lõplik põlemine tuhas, mis põlemise kolmandas järgus pole jõudnud põleda.

Kõigi nimetatud põlemisjärkude vahele pole võimalik tõmmata kindlaid piire, sest need järgud katavad osaliselt üksteist. Nii algab ettevalmistusjärgus juba osaliselt lendosade eraldumine, põlemise teises järgus osaliselt koksi põlemine, koksi põlemise järgus jätkub veel ka lendosade eraldumine ja põlemine jne.

Liikumatus kütusekihis (käsitsi teenindataval restil) paiknevad põlemisjärgud ruumiliselt üksteise peal (joon. 40).



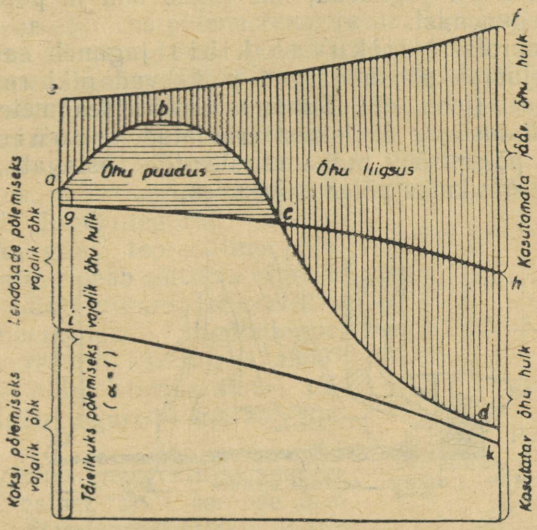

Joon. 40. Kütuse põlemine liikumatus kihis:
*a* — põlev kiht; *b* — põlenud kiht.

Vahetult resti pinnal *1* asetseb räbuvööde *2*. Selles toimub põlemisõhu eelsoojenemine ning väheste räbukihis leiduvate põlevosade järelpõlemine. Jahutamine hoiab räbukihti poorsena. Vastasel korral on õhu läbivoolamine takistatud, põlemine lakkab ning resti metallosad kuumenevad kinnipõlenud räbukihiga kohtades üle.

Räbuvöötme peal asetseb koksi põlemise vööde *3*. Koksi põlemissoojuse arvel toimub värske kütuse eelsoojenemine ja lendosade eraldumine.

Koksikihi peal asetseb värske kütuse vööde *4*. Selles toimub kütuse ettevalmistamine põlemiseks, lendosade eraldumine ja süttimine.

Värske kütuse pealeviskamisel tulisele kihile algab pärast kütuse soojenemist ja kuivenemist intensiivne, pikkamööda vähenev lendosade eraldumine; viimased süttivad ja põlevad kihi peal olevas kolderuumis *5*. Protsess lõpeb koksi põlemisega restil. Seega kõik põlemisjärgud toimuvad üksteise järel, ajaliselt nihutatult.



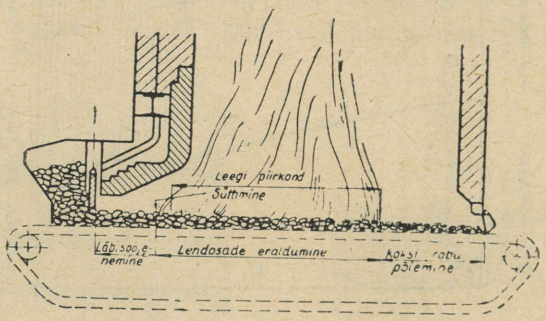

Joon. 41. Vajalik ja tegelik õhuhulk kütuse perioodilisel pealeandmisel.

Joonisel 41 toodud kõver *abcd* näitab, kuidas peaks muutuma põlemisõhu juurdevool sõltuvalt lendosade eraldumisest: algul, pärast värske kütuse pealeviskamist, tuleb anda õhku palju, edaspidi selle hulka aga järk-järgult vähendada. Praktiliselt antakse õhku koldesse rohkem kui seda vajatakse (kõver *ef*). Et aga kogu õhk ei segune põlemisgaasidega ja ainult osa kasutatakse põlemiseks (kõver *gh*), siis hoolimata üldisest õhuliiast, esineb põlemise algul õhu puudus (kõvera osa *abc*), lendosad ei põle täielikult ning korstnast väljub tume suits. Punktis *c* vas-

tab õhu juurdevool tegelikule vajadusele, tume suits kaob ja edasi toimub põlemine suitsuta liigõhuteguri pideval suurenemisel.

Selleks et vähendada liigõhust tingitud soojuskadusid, tuleb vähendada õhu juurdevoolu resti alla määrani, mis on tarvilik koksi põlemiseks kihis kõvera *ik* järgi, lendosade põlemiseks (peamiselt põlemise algul) vajalik õhk aga anda koldesse läbi ukse roseti või läbi vastavate avade kolde esiseinas või laes. Seda õhku nimetatakse p e a l t õ h u k s ehk s e k u n d a a r õ h u k s vahetegemiseks a l t õ h u ehk p r i m a a r õ h u vahel, mida juhitakse resti alla. Suuremates katelseadmetes juhitakse pealtõhku koldesse teravate jugadena, mis tagab õhu ja põlemisgaaside paremat segunemist.

Põlemisprotsess l i i k u v a s k i h i s jaguneb samuti järkudesse, kusjuures põlemisjärgud paiknevad piki resti, arvates resti esiosast (joon. 42). Suuremates katelseadmetes juhitakse altõhk restialustesse üksteisest eraldatud t s o o n i d e s s e, mis võimaldab põlemisõhu hulka reguleerida vastavalt põlemisõhu tarvidusele üksikutes põlemisjärkudes.




Joon. 42. Põlemistsoonid tahkekütuse põlemisel kettrestil.

T o l m u p õ l e m i s e l on põlemisjärgud needsamad mis kihispõlemiselgi. Kõik neli põlemisjärku toimuvad kolderuumis.

V e d e l k ü t u s e p õ l e m i s e l pihustatakse kütus põlemise eel tolmpeenteks tilgakesteks. Kolderuumis õlitilgad soojenevad ja aurustuvad, lagunevad lendosadeks ja tahmaks, mis segunedes põlemisõhuga põlevad leegiga ära.

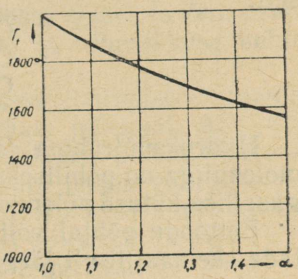
## 23. PÕLEMISPROTSESS GAASKÜTUSTE PÕLEMISEL

Gaasilises kütuses sisalduv vesinik, vingugaas, mitmesugused süsivesinikud ja väävelvesinik ühinevad teatavatel tingimustel hapnikuga, kusjuures vabaneb märgataval hulgal soojust.

Ühinemisreaktsiooni tekkimiseks peavad gaasi põlevosad olema segatud hapnikuga kindlas vahekorras.

Momenti, mil gaasi põlevosade ja hapniku aeglane ühinemine läheb üle tormilisse faasi, nimetatakse *süttimiseks*, ja temperatuuri, mille juures see toimub — *süttimistemperatuuriks*.

Gaasi teoreetiliseks põlemistemperatuuriks nimetatakse temperatuuri, mille omandaksid põlemisproduktid, kui gaasi põlemisel vabanev soojus läheks üle põlemisproduktide füüsikaliseks soojuseks, s. t. põlemisproduktidelt ei toimuks soojuse ärajuhtimist. Kuna antud gaasi küttevääртus on püsiv suurus, põlemisproduktide hulk aga sõltub liigõhutegurist, siis on selge, et ka gaasi teoreetiline põlemistemperatuur peab sõltuma liigõhutegurist. Põlevkivigaasi teoreetiline põlemistemperatuur liigõhuteguri $\alpha = 1{,}10$ juures on keskmiselt 1900°. Teoreetilise põlemistemperatuuri sõltuvust liigõhutegurist näitab joonis 43.




Joon. 43. Põlevkivigaasi teoreetilise põlemistemperatuuri sõltuvus liigõhutegurist.

Et mis tahes energeetilise seadme töötamisel esineb alati soojuse ärajuhtimine põlemisproduktidelt küttepindadele, siis on gaasi tegelik põlemistemperatuur alati madalam teoreetilisest põlemistemperatuurist.

Gaasidel, mille põlemisproduktid sisaldavad veeauru, ei lähe kogu põlemisel vabanev soojus üle põlemisproduktide füüsikaliseks soojuseks, vaid osa sellest kulub vee aurustamiseks.

Tööstuslikes tingimustes saab kasutada tavaliselt ainult põlemisproduktide füüsikalist soojust, kuna vee aurustamiseks kulunud soojust kasutada ei saa. Seda osa on võimalik kasutada ainult juhul, kui põlemisproduktid jahutatakse alla *kastepunkti*, s. t. temperatuurini, mille juures hakkab kondenseeruma põlemisproduktides sisalduv veeaur. Atmosfäärilise rõhu puhul on põlevkivigaasi põlemisproduktide kastepunkt piirides 55—60°.

Tabelis 17 toodud põlemisvõrrandites kujutab võrdusmärgist paremal seisev osa põlemise lõpptulemust, kuid ei näita

põlemise käiku. Põlemisprotsessi kulgemine nende võrrandite kohaselt on küll võimalik, kuid siiski väga vähe tõenäoline. Põlemisteooria kohaselt kulgeb põlemisprotsess tõenäoliselt rea lihtsamate vahereaktsioonide kaudu.

Põlemisprotsessi kulgemise selgitamisel on suured teened nõukogude teadlastel N. Semjonovil, J. Zeldovitšil, D. Frank-Kamenetskil, K. Štšelkinil ja paljudel teistel, kes on tõestanud, et põlemisel esinevad aktiivsete vahepealsete ainetena vesiniku ja hapniku aatomid ning hüdroksüülrühm OH. Põlemise kõrge temperatuuri juures laguneb vesiniku molekul aatomiteks:

$$H_2 \rightarrow H + H.$$

Vesiniku aatom reageerib hapniku molekuliga, mille tulemusena tekib hüdroksüülrühm ja hapniku aatom:

$$H + O_2 \rightarrow OH + O.$$

Viimased reageerivad gaasi molekulidega, annavad põlemise lõpp-produkti ja taastavad vesiniku aatomi reaktsioonide kohaselt:

$$OH + H_2 \rightarrow H_2O + H$$
$$OH + CO \rightarrow CO_2 + H$$
$$O + H_2 \rightarrow H_2O$$
$$O + CO \rightarrow CO_2.$$

Hüdroksüülrühma ja hapniku aatomi reageerimine kütuse molekuliga on põhiliseks vaheprotsessiks, mis määrab igasuguse gaasilise kütuse põlemise kiiruse.

Eeltoodu põhjal võib vesiniku ja vingugaasi põlemist kujutada skemaatiliselt järgmiselt:

$$H + O_2 \begin{cases} \xrightarrow{OH + H_2} H \xrightarrow{} H_2O \\ \xrightarrow{O + H_2} H_2O \end{cases}$$

$$H + O_2 \begin{cases} \xrightarrow{OH + CO} H \xrightarrow{} CO_2 \\ \xrightarrow{O + CO} CO_2 \end{cases}$$

Süsivesinikud põlevad analoogiliselt, kuid tunduvalt keerulisema skeemi järgi. Hüdroksüülrühma ja hapniku aatomi reageerimisel kütuse molekuliga tekivad põlemisproduktid ja vaheproduktid (radikaalid):

$$OH + CH_4 \rightarrow H_2O + CH_3$$
$$OH + C_nH_m \rightarrow H_2O + C_nH_{m-1}$$
$$O + CH_4 \rightarrow OH + CH_3$$
$$O + C_nH_m \rightarrow OH + C_nH_{m-1}$$

Tekkivad radikaalid reageerivad hapniku molekuliga ja taastavad hapniku aatomi:

$$O_2 + CH_3 \rightarrow O + CH_3O$$
$$O_2 + C_nH_{m-1} \rightarrow O + C_nH_{m-1}O.$$

Kõrgetel temperatuuridel esineb reaktsioon, mis kergesti kulgeb mõlemas suunas ja seega hoiab leegis alal kindla tasakaaluseisundi vee ja vesiniku molekulide vahel:

$$H + H_2O \rightleftarrows OH + H_2.$$

See reaktsioon koos reaktsiooniga

$$O + H_2 \rightarrow OH + H$$

kindlustab põlemisprotsessis veeauru lagunemise:

$$H_2O \rightleftarrows OH + H.$$

Toodud võrranditest selgub, milline suur tähtsus on veeaurul põlemisprotsessile. Süsivesinikkude põlemisel tekib veeaur põlemisprotsessi enda tulemusena. Vingugaasi põletamisel tuleb põlemiseks vajalikku veeauru väljastpoolt juurde juhtida.

Nagu eespool märgitud, peab põlemiseks gaas olema segunenud õhuga. Gaasi ja õhu segunemine toimub aeglasemalt kui põlemisprotsess ise. Seepärast on koldesse gaasi ja õhu eraldi juhtimise puhul gaasi põlemise kiiruse ja täiuslikkuse suhtes oluline gaasi ja õhu segamise kiirus.

Gaasi ja õhu segamine enne koldesse juhtimist võimaldab tunduvalt kiirendada ja parandada gaasi põlemist. Sel juhul määrab gaasi põlemise kiiruse ja täiuslikkuse põlemisprotsessi kiirus. Olgu märgitud, et näiteks metaani leegis viibimise aeg on 0,004 sek., mis iseloomustab põlemisprotsessi suurt kiirust.

Põletite valikul tuleb arvestada gaasi põlemisel leegi levimise kiirust, mis sõltub paljudest teguritest.

Kui gaasi põletatakse torus, siis oleneb leegi levimise (tagasilevimise) kiirus toru läbimõõdust, gaasisegu joa seisukorrast, segu temperatuurist, seinte seisukorrast ja materjalist, gaasi ning segu koostisest.

Seinte kaudu leegi frondist ärajuhitava soojuse tõttu väheneb leegi levimise kiirus.

Mida väiksem on toru läbimõõt, seda suurem on seinte mõju leegi levimise kiirusele. Teatava küllalt väikese, nn. kriitilise läbimõõdu puhul muutub soojuse ärajuhtimine seinte kaudu sedavõrd suureks, et segu põlemine torus osutub võimatuks.

Gaasisegu voolus keeriste tekkimisel suureneb leegi levimise kiirus tunduvalt. Selle tagajärjel võib liiga lühikese segamiskambri puhul, samuti aga ka siis, kui segu põletisse juhtiva toru põlv asub põletile liiga ligidal, esineda leegi sisselöök põletisse.

Toruseinte karedus soodustab kiiremat leegi levimist. Sama mõju avaldab toruseinte kuumenemine.

Leegi sisselöögi ohtu põletisse vähendab põleti suudme jahutamine (veega).

Leegi levimise kiirusega on määratud *põlemise intensiivsus*, mille all mõistetakse ajaühikus (tunnis) põletatud gaasihulka kolderuumi kuupmeetri või põletisuudme elavristlõike kohta.

Teades leegi levimise kiirust, saab kergesti määrata kolderuumi soojuslikku koormust, s. o. soojushulka tunnis kolde kuupmeetri kohta.

Eeltoodu põhjal võib teha kokkuvõtte, et gaaskütuse ökonoomse ja intensiivse põletamise eelduseks on:

1) gaasi ja õhu segunemine enne põletist väljumist;

2) põlemisprotsessis maksimaalse temperatuuri hoidmine, mis saavutatakse minimaalse liigõhuteguri ja gaasi ning õhu maksimaalse eelsoojendusega;

3) tingimuste loomine leegi levimise maksimaalse kiiruse saavutamiseks;

4) maksimaalse põlemisfrondi kindlustamine, milleks tuleb leek jagada reaks väikesteks leekideks ja kasutada keeriseid;

5) leegi algusesse kõrge temperatuuriga põlemisproduktide juurdeimemine.

# V. KOLDED

## 24. KOLLETE JAOTUS JA TÜÜBID

Koldes toimub kütuse põlemise teel tema keemilise energia muutumine soojuseks.

Koldeprotsessi all mõistetakse põlemist koldes ja põlemisel tekkinud soojuse üleandmist soojust vastuvõtvatele küttepindadele. Kolle moodustab katelseadme ühe tähtsama osa ja tema ehitusest sõltub suurel määral katelseadme ökonoomne töötamine. Kolde ehitust määravateks teguriteks on põletatava kütuse liik (tahke-, tolm-, vedel- või gaaskütus) ning omadused (lendosade sisaldus, niiskus, tuhasisaldus, tuha sulamistemperatuur jm.) ja katla aurutootlikkus.

Erinevad kütused nõuavad nende ökonoomseks põletamiseks erineva kujuga koldeid ja seadmeid. Näiteks tükkantratsiit, mis kujutab tihedat ja kõva, lendosadevaest raskesti süttivat kütust, nõuab teistsuguse ehitusega kollet kui põlevkivi, mis on lendosaderikas, suure tuhasisaldusega ja kergesti süttiv kütus. Katla aurutootlikkus määrab kolde mõõtmed, kütuse pealeandmise ja tuha koristamise ning kolde teenindamise viisid.

Suured ja võimsad katelagregaadid varustatakse *mehaaniliste kolletega* (s. t. kolletega, milles kütuse juurdeandmine, resti liigutamine, tuha eemaldamine jne. toimub mehaaniliselt), väiksemad kolded ehitatakse *poolmehaanilistena* ja väikesed kolded, kateldele küttepinnaga kuni 100 m², *käsitsi teenindatavatena*.

Vastavalt kolde asendile katla suhtes jaotatakse kolded sise-, ees- ja allkolleteks.

*Sisekolle* asub katla sees, näiteks leegitorukatla puhul leegitorus (joon. 45) või veduritüüpi lokomobiilikatla puhul tulepesas. Sisekollet kasutatakse kõrgeväärtuslike kütuste (nagu kivisüsi, antratsiit ja kütteõli) põletamiseks. Madalaväärtuslike, suure niiskusega ja tuharikaste kütuste kasutamine sisekoldes on raskendatud. Samuti on raskendatud lendosaderikaste kütuste, näiteks põlevkivi kasutamine, kuna väikese ja küttepin-

dade poolt intensiivselt jahutatud põlemisruumi tõttu on lendosade põlemine puudulik, millega kaasub suur tahma eraldumine ja küttepindade mustumine. Tahkekütuste puhul varustatakse kolle tavaliselt plaanrestiga või käsitsi liigutatava restiga.

Eeskolle ehitatakse katla ette (joon. 51), näiteks leegitoru- ja lokomobiilikatlale. Eeskoldes on võimalik põletada otstarbekamalt madalaväärtuslikke, samuti ka suure lendosade sisaldusega kütuseid, kuna kolderuumi võib ehitada avaramana ja kollet on võimalik varustada kütuse liigile sobiva restiga; ühtlasi on paremini lahendatav koldest tuha eemaldamine. Küttepindade jahutava mõju puudumise tõttu on kolde temperatuur kõrgem ja lendosade läbipõlemine täielikum.

Allkolle ehitatakse katla alla (joon. 53), näiteks suitsutoru-, püst-, veduri- ja veetorukateldele. Siin on samuti võimalik kujundada kolderuumi vastavalt kütuse liigile ja valida kohane restitüüp, mis võimaldab madalaväärtuslike kütuste otstarbekamat kasutamist.

Sõltuvalt sellest, kas kütus põletatakse restil või täielikult kolderuumis, tehakse vahet kihispõlemisega ja kamberpõlemisega kollete vahel. Restil põletatakse tahkekütuseid, kamberpõlemisega kolletes vedel- ja gaaskütuseid ning tahkekütuseid tolmuna ja hõljuvas olekus. Rest sel puhul puudub ja kütuse põlemine toimub kolderuumis lennus.

## 25. KOLDE PÕHIOSAD

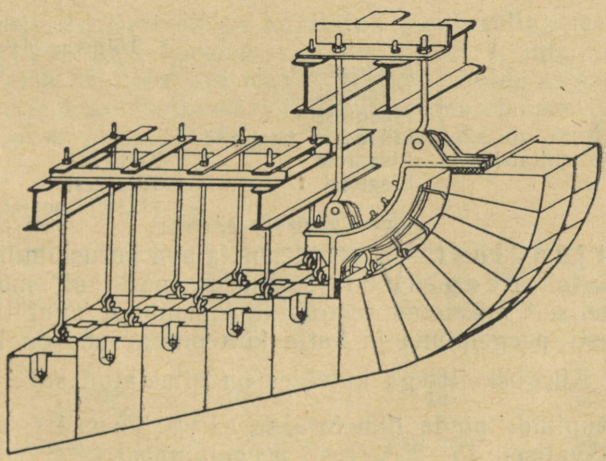
Põlemisruum. Iga kolle kujutab põlemisruumi, mida piiravad soojust vastuvõtvad küttepinnad ja müüritis ning kihispõlemisega kolde puhul veel rest. Olulist tähtsust omab põlemisruumi suurus ning kuju. Kihispõlemisega kolletel kujundatakse põlemisruum vastavalt kütuse lendosade sisaldusele ja nende põlemise iseloomule, tolmpõlemisel, vedel- ja gaaskütuste puhul sobitatakse põlemisruum leegi kujule ja muudele põlemistehnilistele nõuetele. Kolde kõrgus (pikkus) tuleb valida selline, et lendosadel oleks küllaldaselt aega (1—2 sek.) kolderuumis viibimiseks. Madalast (lühikesest) põlemisruumist ei piisa leegi põlemisteekonnaks. Lendosade põlemine peab olema lõppenud enne nende kokkupuutumist katla küttepindadega, sest suhteliselt jahedate küttepindade vahel põlemine praktiliselt lõpeb ja põlemata jäänud gaasid põhjustavad suurt keemilist kadu; madal (lühike) kolderuum põhjustab tuharikaste kütuste puhul küttepindade räbustumist. Lendosaderikkad kütused nõuavad kõrgemat (pikemat) põlemisruumi kui lendosadevaesed kütused.

Põlemisruumi kõrgus peab käsitsi teenindatavates kolletes põlevkivi- ja turbakütte korral olema vähemalt 2 m, mehaani-

listes kolletes turbakütte korral vähemalt 4,5 m ja põlevkiviküttel 6—7 m (horisontaal-veetorukatel).

Kollet iseloomustab veel soojuslik erikoormus, s. o. kütuse põlemisel vabanenud kilokalorite hulk tunnis kolderuumi ühe kuupmeetri kohta (kcal/m³h). Kolde lubatud soojuslik erikoormus sõltub kütuse liigist ja põlemisseadme tüübist (vt. tab. 20, lk. 148). Liiga suurel kolderuumi koormamisel tekib puudulik põlemine ja suur tahmumine, sest põlevgaasid ei jõua täielikult põleda. Sellele lisandub kolde müüritise kiirem läbipõlemine. Liiga väikesel koormusel on põlemine nõrk ja hõre ning temperatuur koldes langeb, mis põhjustab samuti puudulikku põlemist.

Kolde müüritis. Kolde müüritis ehitatakse tellistest (1—2 kivi paksuses) ja vooderdatakse tulekindlate kividega (1—1½ kivi paksuses). Kivid tuleb laduda võimalikult väikeste vahedega, vuugiga mitte üle 2—2,5 mm. Harilikke telliseid on lubatud kasutada seal, kus temperatuur ei ületa 600°. Kolde müüritise ehitamisel tuleb ette näha paisumisvuugid laiusega kuni 20—25 mm, mis täidetakse asbestnööriga või elastse asbesttihendiga. Müüritis ja tema metall-sideosad ei tohi olla ühendatud katla sõrestiku osadega selliselt, et see takistaks viimaste vaba paisumist. Ühe m³ müüritise ehitamiseks vajatakse kive 400—500 tk., savi 10—20% kivide kaalust. Kolde esi- ja tagaosa kujundatakse lagedena. Seejuures esilage, mis kiirgab soojust resti esiosale ja soodustab värske kütuse ettevalmistust ning süttimist, nimetatakse süütelaeks (süütevõlviks), tagalage, mis kiirgab soojust resti lõpposale ja soodustab räbu läbi-



Joon. 44 Ripplae konstruktsioon.

põlemist, järelpõlemislaeks. Väikestes kolletes esi- ja tagalagi võlvitakse, laiemate kollete puhul ehitatakse ripplagedena (joon. 44) erilistest vormkividest, mis riputatakse kandekonstruktsiooni külge. Ripplaed on ehituselt kallimad, kuid nende eeliseks on osalise asendamise võimalus. Paraboolsed (piki resti kumerad) laed võivad olla lühemad kui sirged laed, sest esimeste soojuse tagasikiirgamise toime on suurem. Raskesti süttivate ja lendosadevaeste kütuste puhul, nagu antratsiit jt., ehitatakse koldelaed pikemad kui kergesti süttivate ja lendosaderikaste kütuste puhul.

Rest. Resti tüüp valitakse vastavalt kasutatavale kütuse liigile ja kolde teenindamise viisile (vt. tab. 18).

Tabel 18

**Resti tüüpe sõltuvalt kütuse liigist**

| Kütuse liik | Resti tüüp | |
|---|---|---|
| | Käsitsi teenindatav | Mehaaniline |
| Põlevkivi I sort (suurkivi) | Käpprest | — |
| | Liigutatav treppprest | — |
| Põlevkivi II sort (väikekivi) | Liigutatav treppprest | TS-rest |
| Põlevkivi III sort (peenkivi) | — | Lomšakovi rest<br>Ilmarise rest<br>Põletatakse tolmuna |
| Tükkturvas | Kaldrest<br>Liikumatu treppprest<br>Plaanrest | Kettrest (rändrest) |
| Freesturvas | — | Lomšakovi rest<br>Kettrest (lisandina tükkturbale)<br>Põletatakse tolmuna ja hõljuvas olekus |
| Puit | Kaldrest<br>Plaanrest | — |
| Saepuru | Plaanrest<br>Liikumatu treppprest | — |
| Kivisüsi ja antratsiit | Plaanrest<br>Plaatrest | Kettrest<br>Treppprest<br>Põletatakse tolmuna |

Resti jõudlust, s. o. restil põletatava kütuse hulka tunnis iseloomustab peegelpinna suurus, mille all mõistetakse sirgjooneliselt mõõdetud restipinda kihisiibrist kuni tuhapunkrini. Resti peegelpinna ja katla küttepinna suhe on ligikaudu $\frac{1}{20}-\frac{1}{40}$. Kiirguskolletega kateldes on nimetatud suhe $\frac{1}{10}-\frac{1}{15}$. Resti õhupilude pinda nimetatakse elavpinnaks, mis moodustab tavaliselt 15—20% resti peegelpinnast.

Resti pikkust mõõdetakse sirgjoont mööda, arvestamata lülide pealispinna kuju. Käsitsi teenindatava resti pikkus ulatub 2,5 m-ni, mehaanilistel restidel 8 m-ni. Iga restitüübi kohta on kujunenud praktiliselt kindlad suurused, mis näitavad, kui palju võib restil põletada kütust (kg) ühe ruutmeetri kohta tunnis ja kui palju teda soojuslikult koormata (vt. tab. 20, lk. 148). Restipinna *näiv soojuslik erikoormus* väljendab kilokalorite hulka tunnis restipinna 1 $m^2$ kohta.

*Kihisiiber.* Kihisiibri abil reguleeritakse kütusekihi paksust restil. Kihisiiber valmistatakse tulekindlast malmist ja on veega jahutatav. Mõnikord kaetakse kihisiiber ka šamottvoodriga. Väiksema koldelaiuse puhul kasutatakse üht kihisiibrit, suurema laiusega kolletes 2—3 siibrit.

Kihipaksuse reguleerimiseks kasutatakse ka reguleerpalki (turbaküttel), mis kujutab üles-alla nihutatavat õõnsat metalltala.

*Tuhapunker.* Väikestel kolletel puuduvad tuhapunkrid. Tuhk ja räbu eemaldatakse restilt kas käsitsi (plaanrest), tuhk variseb läbi resti tuharuumi või lastakse üle restiotsa kärusse või vagonetti. Suuremad kolded ehitatakse tuhapunkritega (üks või enam), mis vooderdatakse seestpoolt šamottkividega.

Punkrid suletakse alt sulguritega. Viimaste avamine peab toimuma eemalt ja pikkamööda. Vastasel korral võib tuhas olevate põlemata jäänud kütuseosakeste põlemaplahvatamine tekitada töötajale põletushaavu.

## 26. KÄSITSI TEENINDATAVAD KOLDED

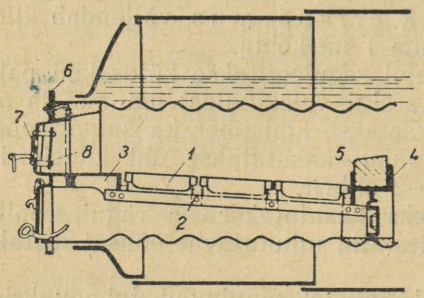
**Plaanrest.** Joonisel 45 on kujutatud plaanrestiga leegitorukatla sisekolle. Rest koosneb malmvarbadest *1*, mis toetuvad põikkandjatele *2*. Otsmised varvad toetuvad kolde esiosas roopimisplaadile *3*, kolde tagaosas tulemüüri *5* malmalusele *4*. Tulemüür laotakse šamottkividest ja ta ülesandeks on kindlustada

Tabel 19

**Andmeid plaanresti kohta**

| Kütuse liik | Restivarva paksus ülaosas mm | Õhupilu laius mm | Elavpind % |
|---|---|---|---|
| Puit | 25 | 10 | 30 |
| Tükkturvas | 10—20 | 10 | 40—50 |
| Saepuru | 12 | 4 | 25 |
| Kivisüsi, mittepaakuv | 10—15 | 10—15 | 40—50 |
| Kivisüsi, paakuv | 10—20 | 15—20 | 50—60 |

põlevgaaside ning õhu paremat segunemist. Roopimisplaadiga *3* külgneb kolde esiplaat *6* koldeuksega *7*. Viimase sisekülgele kinnitub ukse kaitseplaat *8*, mis kaitseb ust koldest kiirguva soojuse eest. Õhuvool resti alla, samuti tuha eemaldamine resti alt toimub tuharuumi ukse kaudu. Restivarvad tuleb asetada koldesse vahedega, mis võimaldab varbade paisumist soojenemisel.

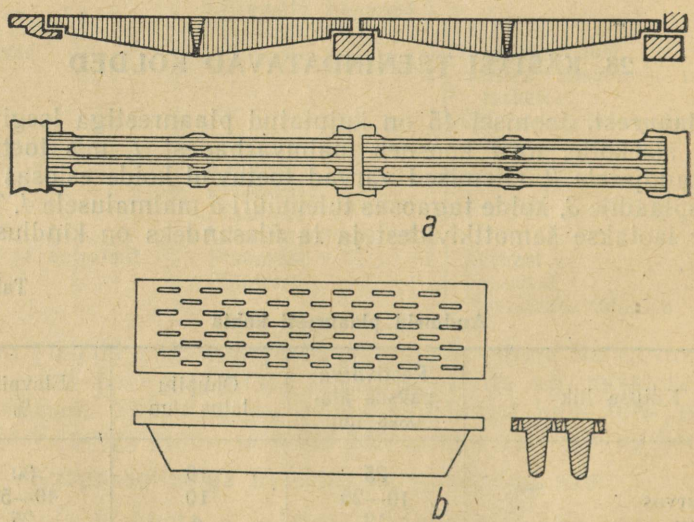



Joon. 45. Leegitorukatla plaanrestiga kolle:

*1* — restivarb; *2* — põikkandja; *3* — roopimisplaat; *4* — tulemüüri alus; *5* — tulemüür; *6* — kolde esiplaat; *7* — koldeuks; *8* — ukse kaitseplaat.

Restivarbade vaheliste õhupilude laius ja varbade paksus sõltub kütuse liigist ning tükisuurusest ja valitakse vastavalt tabelis 19 toodud suurustele.

Tabeli 19 kohaselt valmistatud plaanrest (joon. 46, *a* ja 47, *a*) on suure elavpinnaga ja ühtlase õhujaotusega. Nimetatud rest on kohane lendosaderikaste kütuste põletamiseks. Maksimaalse temperatuuri vööde kihis asub resti lähedal, ligikaudu kõrgusel, kus lõikuvad õhupilusid läbivad õhujoad.

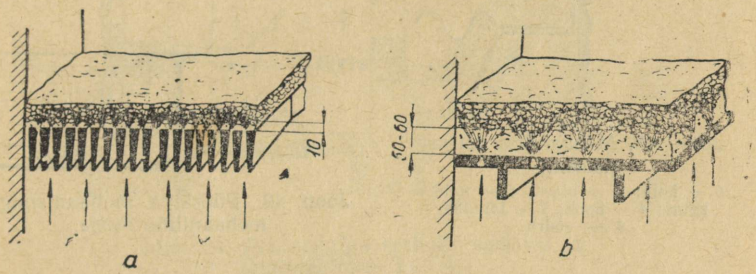



Joon. 46. Käsitsi teenindatavate kollete reste:

*a* — plaanrest; *b* — plaatrest.

Põlemisõhk kasutatakse osaliselt kihi sees, osaliselt kolderuumis lendosade põlemisel. Sellisel restil võib põletada kütust tuha sulamistemperatuuriga 1000—1100°, ilma et oleks karta õhupilude ummistumist räbustumisest.

Lendosadevaeste süte ja antratsiidi puhul toimub põlemine peamiselt kihis, mistõttu kihi temperatuur on tunduvalt kõrgem kui lendosaderikaste kütuste puhul. Antratsiidi põlemisel ühtlase õhujaotusega plaanrestil ummistab pehmenenud ja osaliselt vedeldunud räbu, mis tekib resti pinna vahetus läheduses maksimaalse temperatuuri vöötmes, kiiresti õhupilud ja takistab õhu juurdevoolu. Selle vältimiseks kasutatakse antratsiidi ja kergesti sulava tuhaga kivisöe põletamiseks väiksema



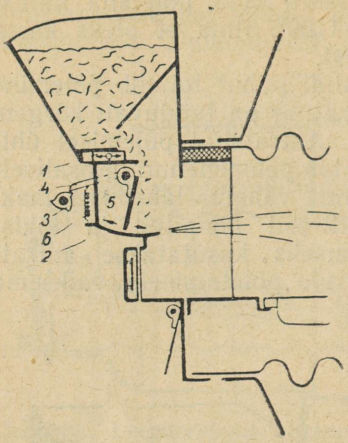

Joon. 47. Õhujaotuse skeem suure ja väikese elavpinnaga restil: *a* — plaanrestil; *b* — plaatrestil.

elavpinnaga ja keskendatud õhujaotusega **plaatresti.** Harilikult kujutab selline rest (joon. 46, *b* ja 47, *b*) kooniliselt allapoole laienevate aukudega malmplaati paksusega ligikaudu 20 mm. Sellisel restil lõikuvad õhujoad 50—60 mm kõrgusel resti pinnast, mistõttu maksimaalse temperatuuri vöötmes tekkinud räbu, vajudes allapoole, jahtub ning moodustab poorse, õhku läbilaskva padja, resti ummistamata.

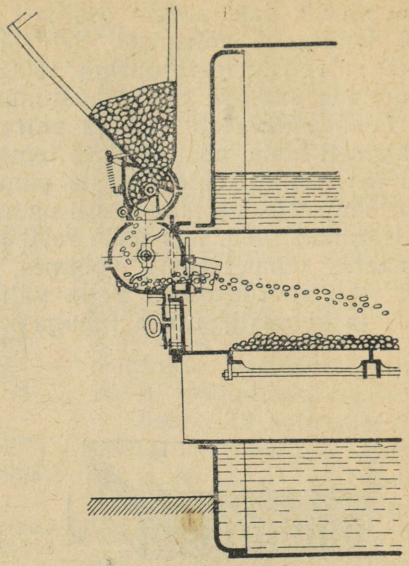
Plaanrestiga kolde mehhaniseerimiseks kasutatakse mehaanilist toitjat ja roopimisplaati.

Mehaaniline toitja viskab kütuse koldesse tõukava või pöörleva mehhanismi löökidega. Joonisel 48 näidatud skeemi kohaselt antakse punkrist varisev kütus lameda kolvi *1* poolt plaadile *2*, millelt ta visatakse labida *5* löökide abil koldesse. Labidas pannakse liikuma elektrimootori, nukk-ketta *3*, hoova *4* ja vedru *6* abil. Mehaaniline toitja nõuab sorteeritud kütust, sest peened osakesed, olles kergemad, langevad ligemale kui jämedamad.

Pöörleva mehhanismiga mehaaniline toitja on näidatud joonisel 49.

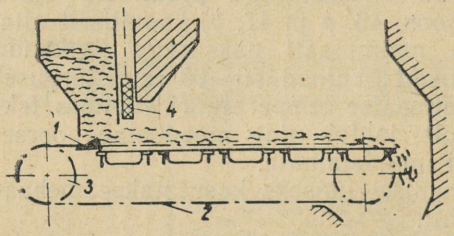



Joon. 48. Mehaanilise toitja skeem:
*1* — kolb; *2* — plaat; *3* — nukkketas; *4* — hoob; *5* — labidas; *6* — vedru.



Joon. 49. Pöörleva mehhanismiga mehaaniline toitja.

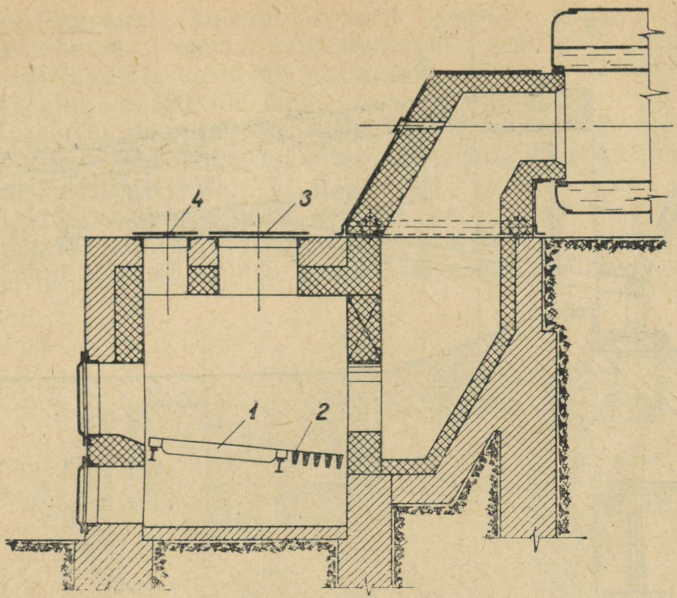
Roopimisplaadiga koldes (joon. 50) pannakse keti *2* abil restil edasi-tagasi liikuma malmplaat *1*. Kett jookseb üle ketirataste *3*, mis pannakse pöörlema elektrimootoriga. Plaadi edasiliikumisel roobitseb ta kütusekihti ning viib kaasa osa kütust. Seejuures resti lõpus olev tuhk ja räbu lükatakse tuhapunkrisse. Plaadi tagasiliikumisel toimub ainult kütusekihi roobitsemine. Kihi paksust restil reguleeritakse kihisiibriga *4*.




Joon. 50. Roopimisplaadiga kolde skeem:
*1* — roopimisplaat; *2* — kett; *3* — ketiratas; *4* — kihisiiber.

Roopimisplaadiga resti soojuslik koormus on tunduvalt suurem tavalise plaanresti koormusest.

Joonisel 51 on näidatud plaanrestiga varustatud eeskolle väljatõmmatava torustikuga lokomobiilikatlale saepuru ja puidujäätmete kütteks. Koldelaes on kaks ava, üks ümmargune saepurule ja teine kandiline, põiki üle kolde ulatuv, puidujäät-




Joon. 51. Plaanrestiga eeskolle saepuru ja puidujäätmete kütteks:

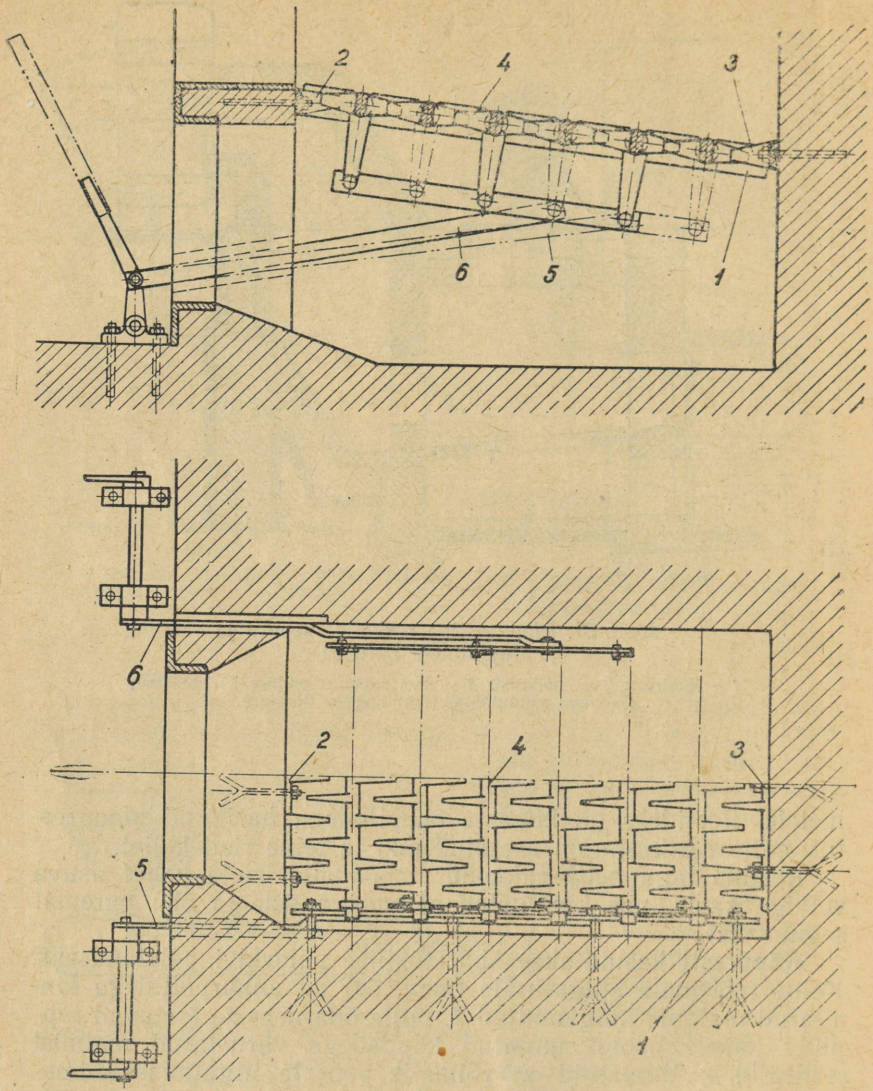
*1* — pikirest; *2* — põikrest; *3* — ava saepuru andmiseks koldesse; *4* — ava puidujäätmete andmiseks koldesse.

metele. Restideks on kitsaste õhupiludega harilikud plaanrestid, millest esimene on asetatud piki ja teine risti kollet.

Restide taga asuv tulemüür moodustab selle kohal asuva võlviga kaela, mis kindlustab põlemisgaaside ja õhu paremat segunemist.

**Käppresti** kasutatakse suuretükilise põlevkivi põletamiseks. Kolde mõlemale külgseinale (joon. 52) on ankurpoltidega kinnitatud malmist külgkandjad *1*, mille õnarustesse toetuvad tappidel kahele poole suunatud käppadega varustatud malmist restilülid *4*. Viimaseid on võimalik pöörata liigutamisseadmetega *5* ja *6*, milleks lülid on vaheldumisi ühendatud sidelattidega; liigutamisel liiguvad ühe restilüli käpad teise lüli käppade vahelt läbi. Otsmised restilülid *2* ja *3* on kinnitatud ankurpoltidega liikumatult koldeseintele.

Restilülide liigutamine toimub käsitsi. Liigutamishoobade pikendamiseks on need varustatud torujätkudega. Restilülide liigutamisel raputatakse tuhk põlevalt põlevkivitükilt lahti ja see



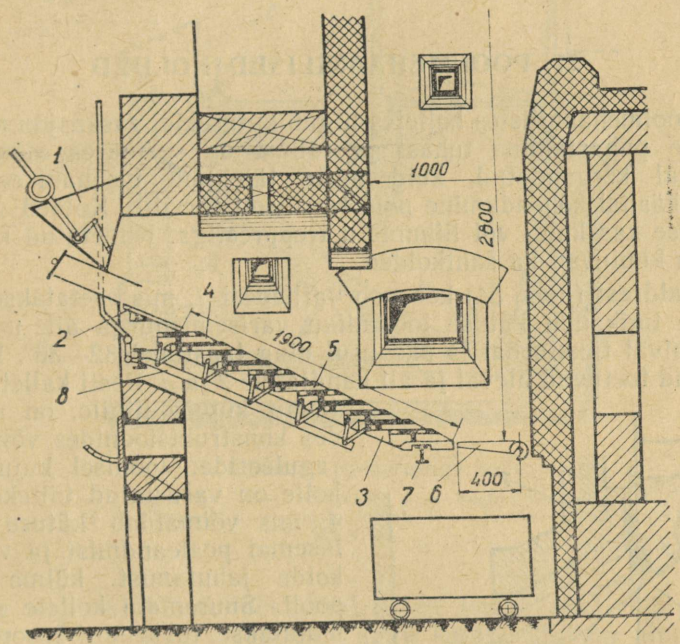

Joon. 52. Käpprest:

*1* — külgkandja; *2* — eesmine kinnislüli; *3* — tagumine kinnislüli; *4* — liikuv lüli; *5* — parempoolne liigutamisseade; *6* — vasakpoolne liigutamisseade.

variseb tuharuumi. Tulemusena võib põlevkivi põlemine pealmistes kihtides areneda katkestamatult. Restilülide käppade vahed tuleb valida vastavalt kasutatava põlevkivi tükisuurusele ja need ulatuvad 20—30 mm.

Käpprestid paigutatakse koldesse horisontaalselt või enamasti väikese kallakuga, et kütjal oleks kergem põlevkivi ühepaksuselt restile visata.

**Liigutatava trepprestiga** allkolle on toodud joonisel 53. Rest kujutab üle rea asetatud liikuvate astmetega treppi, mille peegelpind paikneb koldes 20—25°-se nurga all. Seisvad ast-




Joon. 53. Käsitsi teenindatav ülerealine trepprest:

*1* — täitekolu; *2* — roopimisplaat; *3* — külgkandja; *4* — seisev aste; *5* — liikuv aste; *6* — räburest; *7* — põiktala; *8* — liigutamismehhanism.

med *4* toetuvad malmist külgkandjatele *3*, liikuvad astmed *5* libisevad aga seisvatel. Külgkandjad kinnituvad ankurpoltidega kolde siseseintele ja toetuvad resti lõpposas põikkandjale *7*. Resti esiosas asub roopimisplaat *2*, millele kütus variseb täitekolust. Resti lõppu on asetatud pööratav räburest *6*, millel põlevad lõplikult tuhasse jäänud kütuseosakesed. Räburesti pööramine tuha mahalaskmiseks toimub kolde külg- või esiseinale väljaulatuva

hoova abil. Kütusekihi pidev varisemine resti lõpu suunas saadakse liikuvate restiastmete tõuke toimel. Resti elavpinna moodustavad seisvate ja liikuvate astmete pealis- ja otspindades olevad pilud. Elavpind moodustab ligikaudu 15—25% resti peegelpinnast.

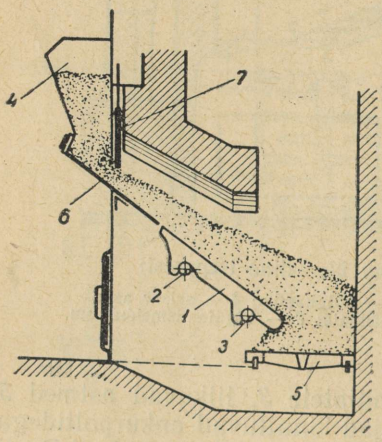
Resti liigutatakse kangistiku kaudu kolde esi-, mõnikord ka külgseinale väljaulatuvate liigutamishoobade abil. Liikuvate restiastmete käik on ligikaudu 60 mm.

Liigutatavaid treppreste kasutatakse väiksetükilise põlevkivi ja tükkturba põletamiseks.

## 27. POOLMEHAANILISED KOLDED

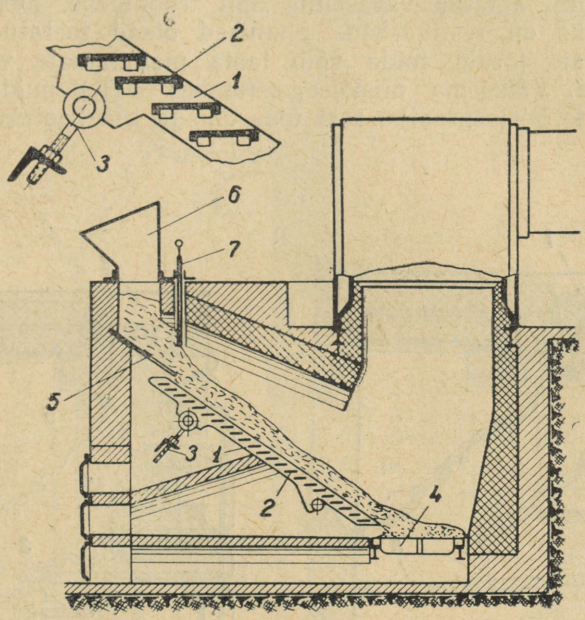
Poolmehaanilistes kolletes liigub kütusekiht raskusjõu mõjul. Kolde puhastamine tuhast ja räbust on seejuures mõningal määral kergendatud, kuid mitte täielikult mehhaniseeritud. Kihi käsitsi kohendamine pole tavaliselt tarvilik. Kolded varustatakse kas kald- või liikumatu treppresti ga. Nimetatud kollete hulka kuuluvad ka šahtkolded.

**Kaldrest** (joon. 54) koosneb varbadest *1*, mis asetatakse koidesse ligikaudu kütuse loomuliku varisemisnurga all, mis on õhukuival tükkturbal ja saepurul ning laastudel 32—36°. Restivarvad toetuvad üleval ja all kandjatele *2* ja *3*. Resti kallet, vastavalt kütuse liigile, on mõnedes konstruktsioonides võimalik reguleerida. Joonisel kujutatud kolle on varustatud täitekoluga *4*, mis võimaldab kütuse ühtlasemat pealeandmist ja väldib kolde jahutamist külma õhu poolt. Suuremate kollete puhul jaotatakse tuharuum tsoonidesse, mis võimaldab põlemisõhu otstarbekamat reguleerimist. Kaldresti alumise osa jätkuna kasutatakse tavaliselt horisontaalset räburesti *5*. Viimase ja kaldresti otsa vahele jäetakse umbes 100 mm-ne vahe tuha ja räbu maharoobitsemiseks. Kaldresti teenindamine on kergem kütmisest plaanrestil, sest kütus langeb restile loomuliku pealevarisemise teel.




Joon. 54. Kaldrestiga kolde skeem:
*1* — restivarb; *2* — ülemine kandja; *3* — alumine kandja; *4* — täitekolu; *5* — räburest; *6* — roopimisplaat; *7* — kihisiiber.

**Liikumatu treppprest** (joon. 55) koosneb kahest külgkandjast *1*, mille väljaulatuvatele astmetele toetuvad restiplaadid *2*. Resti kalle valitakse kütuse loomulikust varisemisnurgast väiksem ja




Joon. 55. Liikumatu treppprestiga kolle:

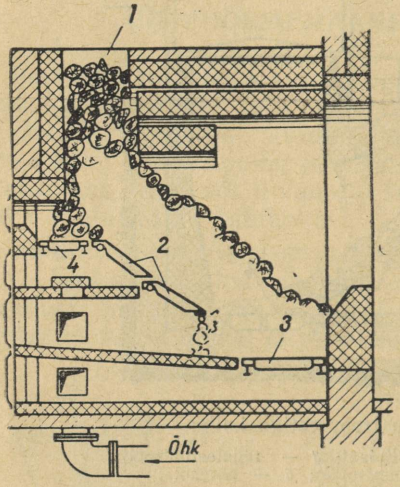
*1* — külgkandja; *2* — restiplaat; *3* — reguleerimispolt; *4* — räburest; *5* — roopimisplaat; *6* — täitekolu; *7* — kihisiiber.

ulatub saepurul 40°-ni, tükkturbal 30°-ni. Resti kallet võib reguleerida poldi *3* abil. Treppprestil nagu kaldrestilgi on alumises osas plaatidest või varbadest koosnev räburest *4*.

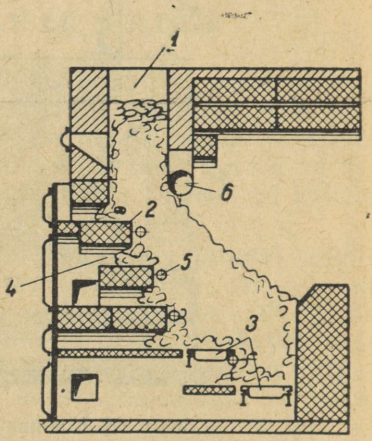
Et kütus treppresti astmetel peatub, siis tekib igal astmel põlemispesa, mis soodustab kütuse kuivamist ja süttimist. Seetõttu osutub treppprest kõlblikuks ka niiskete kütuste põletamisel.

**Šahtkolded** on eriti kohased suure niiskusesisaldusega (kuni 50%) puidu ja (kuni 60%) turba põletamiseks. Joonisel 56 kujutatud koldel puidule ja joonisel 57 kujutatud koldel turbale on mõlemal šaht *1*, mis täidetakse kütusega ja milles toimub kütuse eelkuivenemine enne põlemist. Šahti kõrgus on kuni 2 m, kütuse hulgast šahtis piisab 1—1,5 tunniks. Šahtist vajub kütus joonisel 56 kujutatud koldes kaldrestile *2*. Kütus kuivab peami-

selt lühikesel plaanrestil *4* moodustuvate põlemispesade soojuse arvel. Kütusest eraldunud lendosad põlevad kolderuumis, koksistunud kütus põleb lõplikult räburestil *3*. Õhku juhitakse resti alla õhuventilaatoriga. Õhuhulga reguleerimiseks on restialune ruum jaotatud vaheseinte abil tsoonideks. Resti kalde muutmiseks on restivarbade alumised otsad toetatud veega jahutatavale torule, mida võib lasta madalamale või tõsta kõrgemale. Väiksema niiskusega (umbes 30%) puidu puhul on ülemine horisontaalne rest ülearune ja see kaetakse tellistega.




Joon. 56. Šahtkolle puidule:
*1* — šaht; *2* — kaldrest; *3* — räburest; *4* — kuivatusrest.



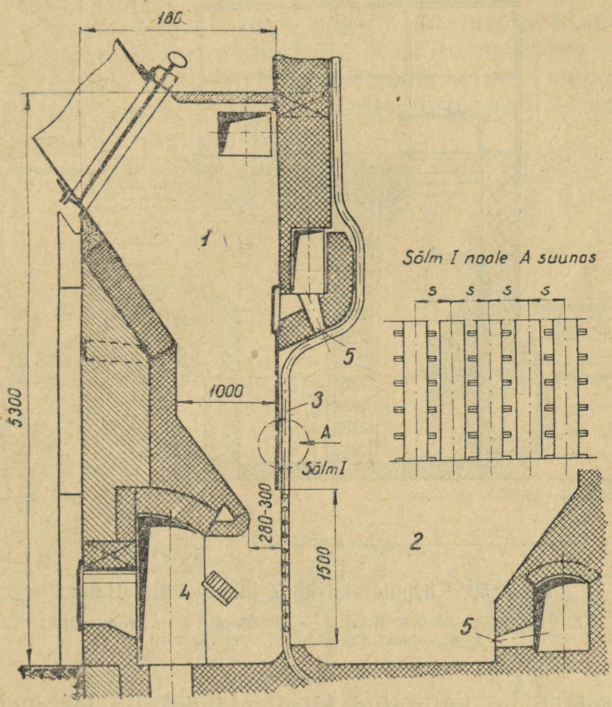

Joon. 57. Šahtkolle turbale:
*1* — šaht; *2* — müüritud aste; *3* — räburest; *4* — põlemispesad; *5* — veega jahutatav toru; *6* — kihi reguleerimistoru.

Joonisel 57 kujutatud koldes puudub kaldrest ja seda asendavad müüritud astmed *2*, millel kütus põleb. Kütust valmistavad põlemiseks ette (kuivatavad) ülemistel astmetel tekkivad põlemispesad. Müüritud astmete lõpus on kaheastmeline räburest *3*.

Astmete otstesse on asetatud viimaste läbipõlemise vältimiseks veega jahutatavad torud *5*. Kütusekihti reguleeritakse üles-alla liigutatava toru *6* abil, mida samuti veega jahutatakse.

Šahtkoldes on võimalik lisandina põletada ka freesturvast kuni 10% tükkturba hulgast.

Poolmehaaniliste kollete hulka võib lugeda ka Pomerantsevi **kiirpõletamiskolde**, milles kütus liigub samuti raskusjõu mõjul. Nimetatud kolded sarnanevad oma tööprotsessi poolest šahtkolletega. Joonisel 58 näidatud kolle laastude põletamiseks koosneb šahtist, kuhu punkrist valgub pidevalt kütust. Šahti

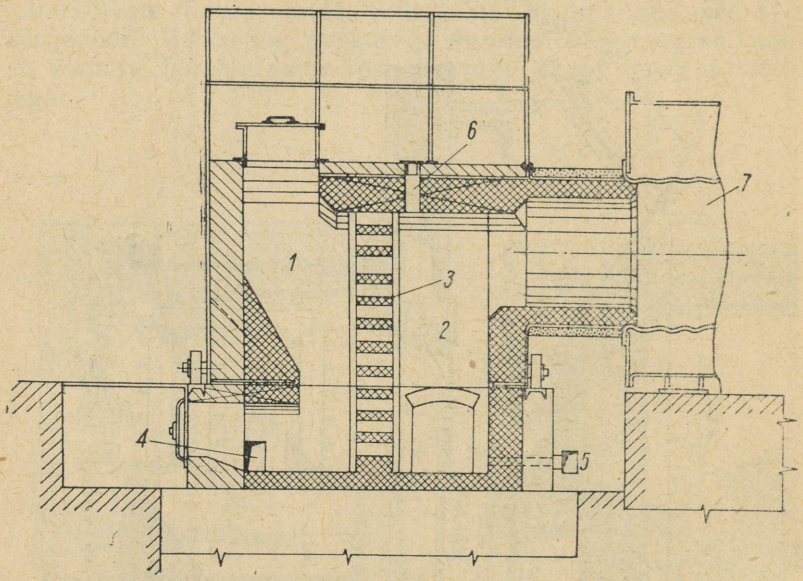



Joon. 58. Pomerantsevi kiirpõletamiskolle laastudele:
*1* — šaht; *2* — kolderuum; *3* — piirderest; *4* — primaarõhk; *5* — sekundaarõhk.

keskel on kitsenev osa, laiusega ca 300 mm, kus kiht kokku surutakse. Sealt langevad laastud müüritud põrandale vabalt loomuliku varisemisnurga all. Põlemisõhk juhitakse šahti allosse rõhu all 30—150 mm vs kas šahti esiseinast, või nagu käesolevas konstruktsioonis, šahti külgseinast. Šahti eraldab kolderuumist piirderest; viimane on valmistatud torudest, mis moodustavad katla küttepinnaosa. Nimetatud rest takistab peente kütuseosakeste kaasalendamist suitsugaasidega ja võimaldab intensiivset õhupuhumist, mis lubab tunduvalt tõsta peegelpinna erikoormust (kuni 10 milj. kcal/m²h), võrreldes tava-

liste restidega. Šahtis põleb kütusekiht täielikult läbi. Põlevgaasid voolavad läbi piirderesti kolderuumi, kus nad juurdeantava sekundaarõhu toimel lõplikult põlevad.

Kolded töötavad liigõhuteguriga $\alpha = 1{,}2—1{,}4$, täieliku keemilise kaota ja mehaanilise kaoga, mis ei ületa 2%.




Joon. 59. Kiirpõletamiskolle lokomobiilikatlale:
*1* — šaht; *2* — kolderuum; *3* — piirderest; *4* — primaarõhk; *5, 6* — sekundaarõhk; *7* — leegitoru.

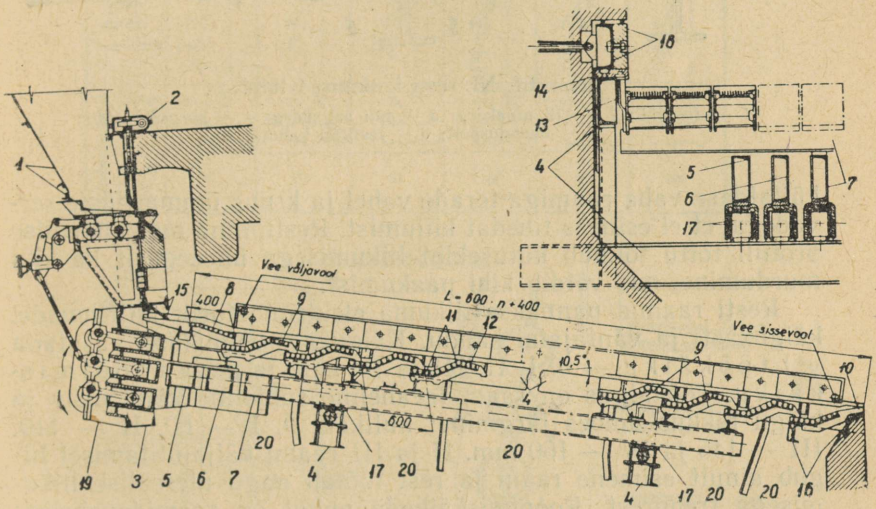
Joonisel 59 on kujutatud kiirpõletamiskolle lokomobiilikatlale. Kolde piirderest on laotud tulekindlatest kividest. Kolde kitseneva osa laius on 400 mm. Põlemisõhk juhitakse šahti allossa, sekundaarõhk kolderuumi läbi tagaseinas ja laes olevate avade.

Kütuse termilise lagunemise produktidest võib osa imeda šahti ülaosast välja ja juhtida edasi järgnevaks keemiliseks töötlemiseks. Seega Pomerantsevi kolle kujutab ühtlasi agregaadi osa kütuse kompleksseks energo-keemiliseks kasutamiseks.

## 28. MEHAANILISED KOLDED

Mehaanilised kolded varustatakse tahkekütuse kihispõletamiseks trepp- ja kettrestidega, milledest Eesti NSV-s on peenpõlevkivi põletamiseks levinud Lomšakovi ja Ilmarise tüüpi restid. Tükkturba põletamiseks kasutatakse kettreste.

**Lomšakovi restid.** Normaalseks Lomšakovi restiks on restitüüp NL (Normaal-Lomšakov), mis on kujunenud standardseks põletamisseadmeks peenpõlevkivile. Rest (joon. 60) koosneb põhiraamist *4*, millele toetuvad rullide kaudu kolm üksteisest sõltumatult liikuvat raami *5*, *6* ja *7*. Resti normaalsel töökäigul liiguvad raamid vastassuunaliselt.




Joon. 60. Lomšakovi rest:

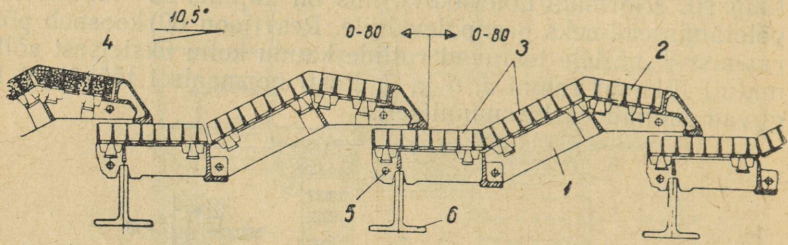
*1* — kütuse etteandja täitekoluga; *2* — kihisiiber; *3* — esiraam; *4* — põhiraam; *5* — liikuv raam I (keskmine keps); *6* — liikuv raam II (ülemine keps); *7* — liikuv raam III (alumine keps); *8* — resti esilüli; *9* — resti kesklüli; *10* — resti lõpplüli; *11* — restilüli seljakärg; *12* — restilüli ninakärg; *13* — külgtihenduse liikuv osa; *14* — külgtihenduse liikumatu osa; *15* — resti esilüli tihendus; *16* — resti lõpplüli põikkandja; *17* — liikuva raami kandelaager; *18* — külgjahutusseade; *19* — resti ajam; *20* — restialune õhutsoon.

Kolme liikuva raami kasutamine võimaldab töötamist resti ülemisel ja alumisel poolel erineva raamidevahelise suhtelise käigu pikkusega, s. o. kütuse edasiliikumise erineva kiirusega.

Restipinna (kalle 10,5°) moodustavad ligikaudu 200 mm laiused ja resti põiksuunas kruvipoltide abil ridadeks ühendatud restilülid (joon. 61) neid katvate kärgedega. Restilülide ridadest on paarituarvulised asetatud välimisele liikuvale raamile

(raam I), eesmised paarisarvulised keskmisele raamile (raam II) ja tagumised paarisarvulised sisemisele raamile (raam III). Viimane liikumatu rida moodustab räburesti.

Restikärjed täidetakse sõelutud sõmera raudkivi-kruusaga (terasuurus 8—12 mm), mis takistab peene kütuse läbivarisemist ja tagab altõhu ühtlast jaotust. Kärgede täidis peab olema




Joon. 61. NL-resti keskmised lülid:

*1* — restilüli; *2* — lüli ninakärg; *3* — lüli seljakärg; *4* — kärgede täidis; *5* — ühenduspolt; *6* — restilüli kandja.

küllaldase vaba ruumiga terade vahel ja kruus ümmarguste servadega, et ei esineks tihedat kiilumist. Restipinna murdjoonelise profiili tõttu toimub kütusekihi liikumisega üheaegselt ka kihi murdumine, mis väldib kihi paakumist.

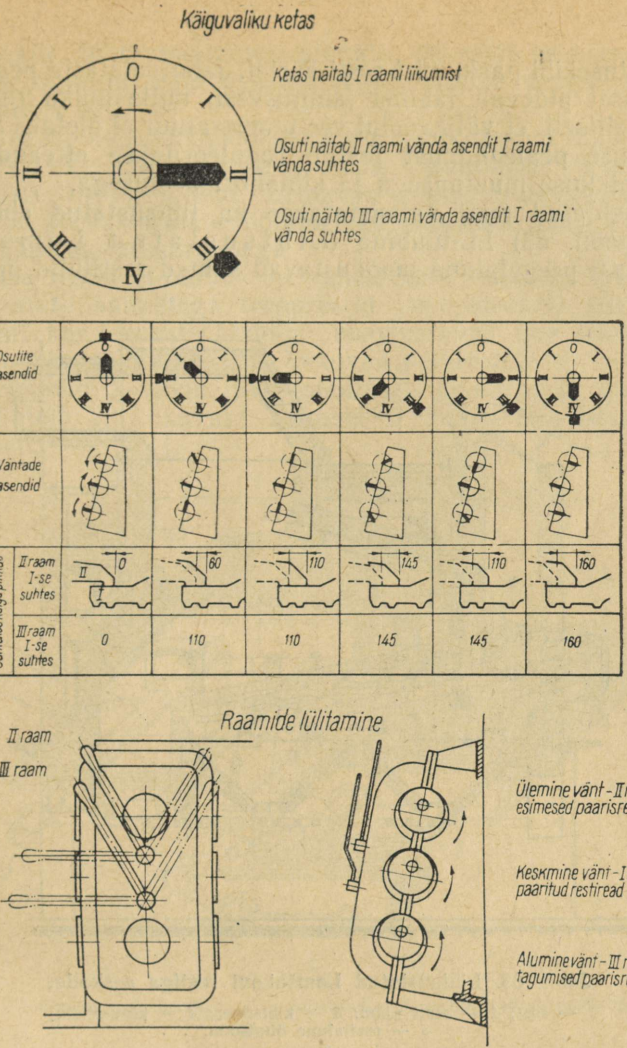
Resti raamid pannakse liikuma elektrimootorilt kiilrihmade, käigukasti ja väntajami kaudu. Käigukast võimaldab kasutada viit t ö ö k ä i k u — 0, I, II, III ja IV käik ja nelja r o o p i m i s k ä i k u. Töökäigus on raamidevaheline suhteline käik püsiv ja käigu pikkus umbes järgmine: nullkäik 0, I — 60, II — 110, III — 145 ja IV — 160 mm. II ja III raami väljalülitamisel liigub ainult esimene raam ja rest töötab nagu ülerealise liikumisega trepprest. Roopimiskäikude puhul on raamidevaheline suhteline käik perioodiliselt muutuv.

Käikude sageduse muutmiseks on ajami elektrimootor tavaliselt kolme kiirusastmega, s. o. kolme pöörlemiskiirusega: 750/1000/1500 p/min.

NL-resti lülitusskeem on toodud joonisel 62.

Põlemisõhk juhitakse resti alla üksikult reguleeritavate isoonide kaudu vastavalt kütuse põlemisjärkudele. Osa õhku juhitakse koldesse pealtõhuna.

Altõhu läbipuhumist resti külgedelt väldivad labürinttihendid (vt. joon. 60), mis koosnevad liikumatutest ja restile kinnitatud liikuvatest plaatidest. Põhiraamil asuvate liikumatute tihendusplaatidega on seotud tulekindlate kividega kuumuse mõju vastu kaitstud külgjahutustalad, mille ülesandeks on väl-



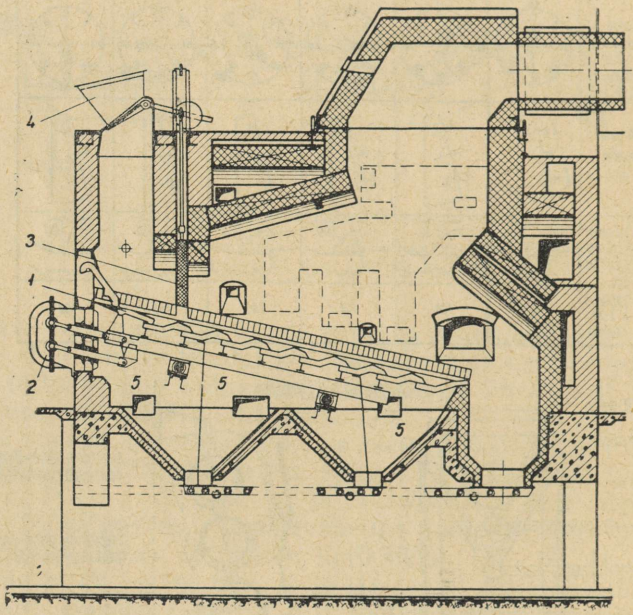

| Raamid | Lülitushoobade võimalikud asendid | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| I | Püsivalt liikuv | | | | | | | | |
| II | Käik väljas | Püsiv käik | Käik väljas | Püsiv käik | Püsiv käik | Muutlik käik | Muutlik käik | Käik väljas | Muutlik käik |
| III | Käik väljas | Käik väljas | Püsiv käik | Püsiv käik | Muutlik käik | Püsiv käik | Käik väljas | Muutlik käik | Muutlik käik |

Joon. 62. NL-resti lülitusskeem.

tida kütusekihi paakumist resti äärtel. Jahutustalasid peab kolde töötamisel pidevalt läbima jahutusvesi, mille hulka reguleeritakse selliselt, et väljavoolul vee temperatuur ei ületaks 80°.

Kütuse pealeandmist restile reguleeritakse etteandeplaadi käigu pikkuse muutmisega ja kihisiibri asetusega.

Kirjeldatud resti valmistatakse ka lihtsustatud ehitusviisi järgi (joon. 63) LL-tüübina (Lihtsustatud Lomšakov). Selle resti peegelpinna moodustavad samad restilülid ühes kär-




Joon. 63. Lihtsustatud Lomšakovi restiga eeskolle:
*1* — rest; *2* — resti ajam; *3* — kihisiiber; *4* — kütusekolu; *5* — restialune õhutsoon.

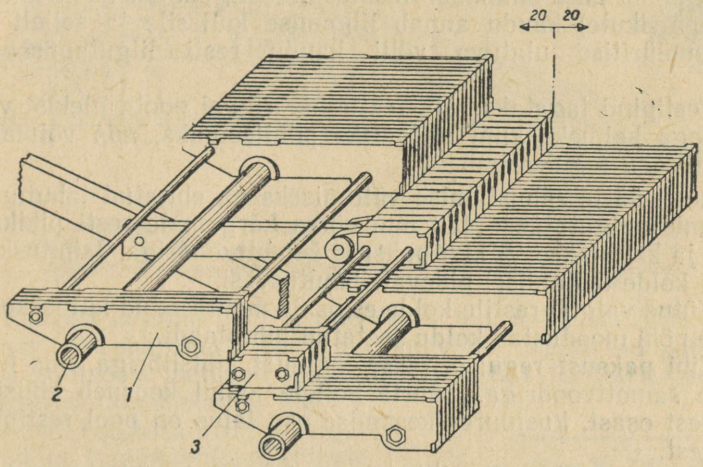
gedega mis normaalrestilgi; erinevus on liikuvate raamide arvus, mida LL-restil on kaks. Lihtsustatud on ka resti ajam. Külgjahutustalad ja kütuse mehaaniline etteandja puuduvad. Täitekolu asetseb resti esiosa kohal oleval šahtil.

Restilülide read asetatakse LL-restil kahele liikuvale raamile ülerealiselt. Raamide liikumine on vastassuunaline; ühe raami väljalülitamisel liigub sisselülitatud raam edasi-tagasi ja rest töötab üherealise trepprestina. Raamidevahelist suhtelist käiku võib muuta 1—120 mm piirides.

Kütusekihi juhtimiseks restipinnale on resti esiosas kaldplaatidest juhtpind. Kihi paksust reguleeritakse veega jahutatava kihisiibri abil.

Samalaadse konstruktsiooniga kui eespool toodud tüüp on ka VL-rest (Väike Lomšakov), mida kasutatakse väiksemate mehaaniliste kollete puhul. Erinevus seisab restilülides, mis sellel tüübil on väiksemate mõõtmetega (laius 150 mm) ja raamlülidega ühtevalatud kärgedega.

**Ilmarise** restid (I-restid) on vaheldumisi asetatud liikuvate ja liikumatute astmetega trepprestid peenpõlevkivi põletamiseks. Resti kandekonstruktsiooni moodustavad ühe ehitusviisi juures malmist pikitalad, mis toetuvad põikkandjaile. Liikumatud restiastmed *1* (joon. 64) toetatakse pikitaladele asetatud torukandjatele *2*. Liikuvaid astmeid *3* kannavad liikumatud restiastmed.




Joon. 64. I-resti astmed:
*1* — liikumatud restiastmed; *2* — torukandja; *3* — liikuvad restiastmed.

Teise ehitusviisi puhul laotakse restiastmed profiiltaladest moodustatud raamkonstruktsioonile, kusjuures üks raamidest on liikumatu, teine aga toetub kanderullidele ning on resti liigutamisseadme abil liigutatav.

Äärmised külgtalad on mõlema ehitusviisi puhul malmist ja moodustavad ühtlasi külgtihenduse.

Restiastmed koostatakse üksikutest ühesuguse kujuga malmpiidest, mis liidetakse poltide abil 500—1000 mm laiusteks gruppideks. Esimese ehitusviisi juures on liikuva ja liikumatu restiastme piid erinevad.

Ohupilud asetsevad astmete pealispindades kui ka esikülgedes; pilu laius on pealispinnas ligikaudu 1,5 mm, liikuva astme esiküljes 10 mm ja liikumatu astme esiküljes 4 mm. Kitsaste pilude tõttu pealispinnas on kütuse läbivarisemine restist väike.

Rest asetub koldes kaldega 20° või 25°. Liikuvate restiastmete roopimise toimel antakse kütusekihile pidev liikumine varisemise näol resti lõppsuunas. Roopimiskäik on reguleeritav kulissi abil 10—45 mm piirides.

Väiksemate restide liikuvad astmed liiguvad kogu restipinnas ühtlaselt ja käitamine toimub ühe ekstsentriku abil. Suuremail restidel on restipind jagatud kaheks kuni kolmeks sektsiooniks, kusjuures iga sektsiooni liigutatakse eri ekstsentriku abil.

Resti liigutamisseade koosneb elektrimootoriga käitatavast tiguajamist ühes hammasratasülekandega, mis ekstsentriku (või ekstsentrikute) kaudu annab liikumise kulissile ja sellelt läbi koldemüüritise ulatuva võlli kaudu resti liigutamishoobadele.

Restipind jagatakse alt, restialuse ruumi poolt, plekist vaheseintega kolmeks kuni seitsmeks põhitsooniks, mis võimaldab põlemisõhu reguleerimist.

Resti äärte räbustumise vältimiseks on ehitatud jahutuskastid, mis paigutatakse 150 mm võrra kõrgemale resti pikikandjaist ja kaitstakse $^1/_2$ kivi paksuse šamottvoodriga. Jahutuskaste läbib kolde töötamisel pidevalt jahutusvesi.

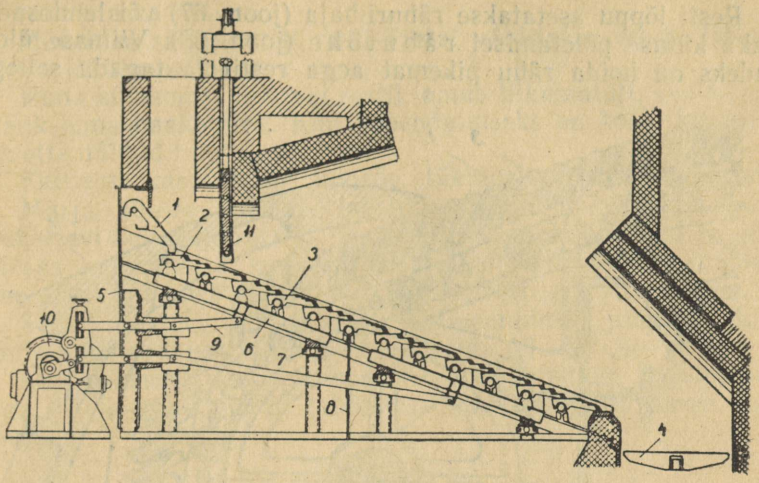
Kütus valgub restile kolde esiosale monteeritud kütusekolust, mille põhi moodustab kaldu asetatud juhtplaadi.

Kihi paksust reguleeritakse malmist kihisiibriga, mis kaitstakse šamottvoodriga. Suurte kollete puhul koosneb kihisiiber kolmest osast, kusjuures keskmise osa laius on pool restipinna laiusest.

**TS-rest** on ülerealise liikumisega trepprest, mida kasutatakse peenpõlevkivi põletamiseks. Restipind (joon. 65) moodustatakse üksikutest lülidest laiusega 45 mm, mille pealispind on kujundatud astmelisena. Liikuvad restiread on jaotatud pikisuunas kahte gruppi — ülemisse ja alumisse. Rullidele asetatud grupid liiguvad horisontaalselt: ülemise grupi edasi liikudes liigub alumine tagasi ja ümberpöördult. Resti liigutamisseade koosneb elektrimootorist pöörlemiskiirusega ligikaudu 950 p/min, tiguja hammasratasajamist, vändast kepsuga, õõtsuvast hoovast käigupikkuste muutmise spindlitega ning kangistikust liikumise ülekandmiseks restile. Käigu pikkus on reguleeritav 25—100 mm piirides.

TS-resti lõppu paigutatakse tavaliselt kallutatav plaanrest-räburest.

Kihi paksust reguleeritakse veega jahutatava malmsiibri abil, altõhku õhutsoonide reguleerklappide abil, altõhu-ventilaatori puudumisel õhuavadel olevate klapp-ustega.

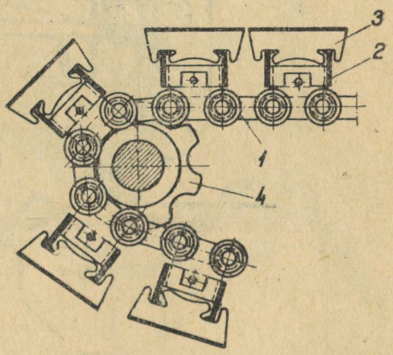



Joon. 65. TS-resti üldvaade:

*1* — juhtplaadid; *2* — liikuv lüli; *3* — liikumatu lüli; *4* — räburest; *5* — põhiraam; *6* — liikuv raam; *7* — liikuva raami kandelaager; *8* — altõhutsoonide vahesein; *9* — resti liigutamisseade; *10* — resti ajam; *11* — kihisiiber.

**Kettrest** kujutab lõputut linti (joon. 69), mille oluliseks osaks on kaks või enam ketti. Ketid on omavahel ühendatud põiktaladega, milledele toetuvad restilülid (joon. 66). Restikette veavad ketirattad. Jõuülekanne elektrimootorilt ketirattale toimub tiguajami ja hammasratasülekande kaudu, mis võimaldab muuta resti kiirust. Vedajarattana kasutatakse tavaliselt esimest ketiratast, tagumine ratas on ainult juhtijaks.

Joonisel 67 on kujutatud läbivarisemiseta peegelpinnaga kettrest. Restilüli ülemisel pinnal on painutatud, lusikasarnane kuju, mille süvendisse koguneb peenkütus ja tuhk. Resti liikumisel lõpuni lastakse räbu räburiibaja poolt tuhapunkrisse; resti edasiliiku-

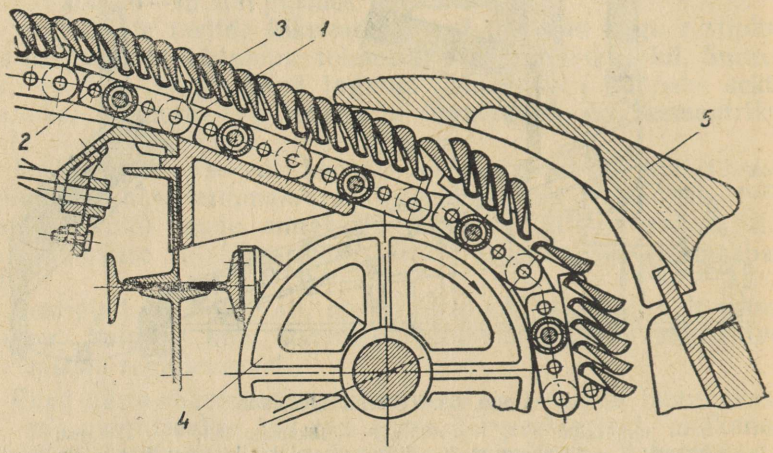



Joon. 66. Kettresti pinnakatte skeem:

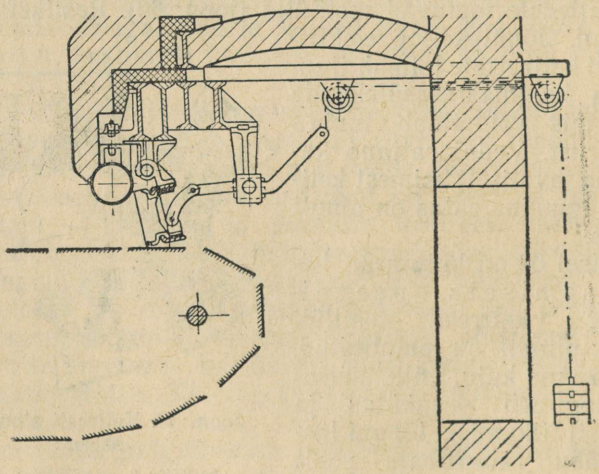
*1* — ketilüli; *2* — põiktala; *3* — restilüli; *4* — ketiratas.

misel üle tagumise juhtratta pöördub restilüli oma telje ümber ja põlemata kütus langeb erilisse punkrisse, sattumata restialustesse tsoonidesse, kus ta võiks edasi põleda ja restiosi asjatult kuumutada.

Resti lõppu asetatakse räburiibaja (joon. 67) või lendosaderikka kütuse põletamisel r ä b u t õ k e (joon. 68). Viimase ülesandeks on hoida räbu pikemat aega restil ja tagada sellega




Joon. 67. Läbivarisemiseta peegelpinna ja räburiibajaga kettrest:
*1* — ketilüli; *2* — restilülihoidja; *3* — restilüli; *4* — tagumine juhtratas; *5* — räburiibaja.



Joon. 68. Räbutõke.

räbu täielikumat läbipõlemist. Räbu kogunemisel räbutõkke taha suureneb rõhumine viimasele, tõke tõstetakse üles ja räbu variseb tuhapunkrisse, mille järel tõke sulgub. Tõket võib tarbe korral tõsta ka käsitsi.

Müüritise räbustumist resti äärtel välditakse veega jahutatavate jahutuspalkidega.

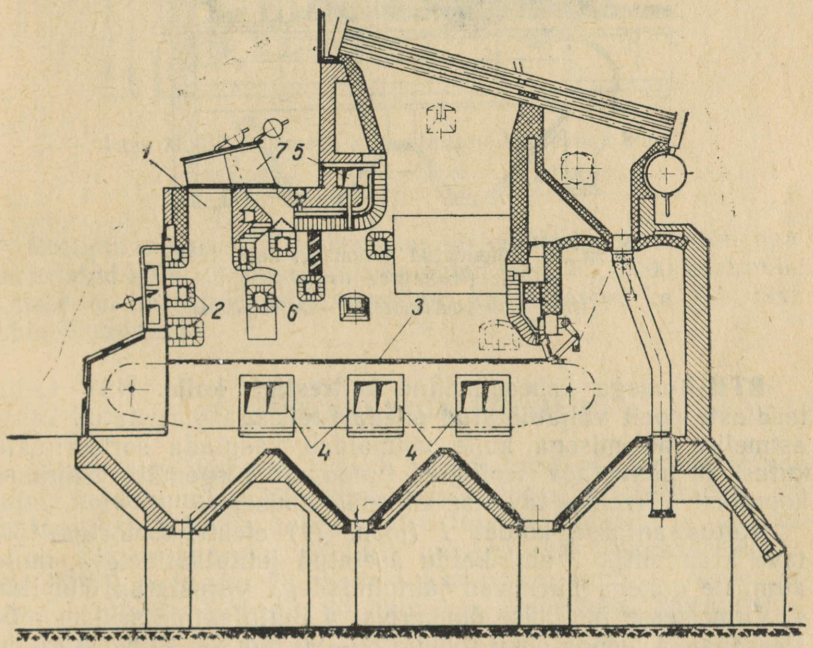
Kuna kütusekiht liikuval restil lamab liikumatult, siis on võimalik tema paakumine. Kihi kohendamiseks on kolde külgseintes ette nähtud luugid.

Kettresti kasutatakse kivisõe, tükkturba jm. põletamiseks.

Märja kütuse (turvas, laastud) põletamiseks kasutatakse **Makarjevi** kollet (joon. 69), mis on varustatud šahtiga *1* ja selle allosas astmetega *2*, kus moodustuvad põlemispesad, mille soojuse arvel kuiveneb ja soojeneb šahtist restile varisev kütus.

Trepiastmetele ja restialustesse tsoonidesse juhitakse kuni 250°-ni soojendatud põlemisõhku, rõhuga 65—80 mm vs.

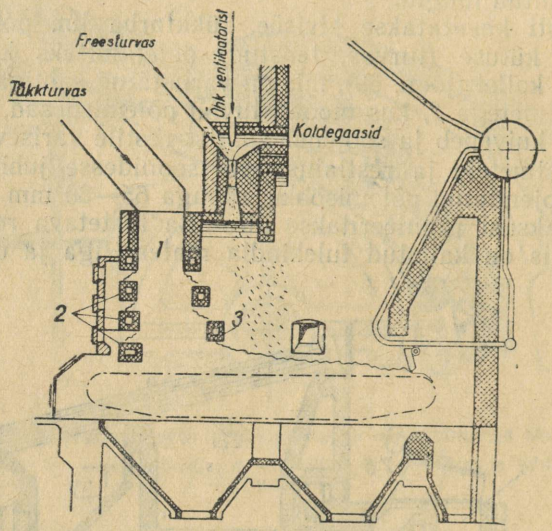
Kihi paksust reguleeritakse üles-alla tõstetava reguleerpalgiga *6*, mis on kaitstud tulekindla materjaliga ja omab vesijahutust.




Joon. 69. Makarjevi kolle tükkturbale (freesturba lisandiga):

*1* — šaht; *2* — šahtiastmed; *3* — kettrest; *4* — altõhutsoonid; *5* — pealtõhukanal; *6* — kihi reguleerpalk; *7* — freesturba pealeandetoru.

Kirjeldatud koldes on võimalik põletada lisandina tükkturbale ka freesturvast, mille väiksemad osad põlevad ära lennul, raskemad osad aga langevad kihile. Prof. Tatištševi ja Petrovi täiendus koldele freesturba kuivatamiseks põlemisgaasidega (joon. 70), mis imetakse koldest kaasa freesturba pealeandmise torusse juhitava õhujoa poolt, võimaldab põletada lisandina tükkturbale kuni 40% freesturvast.



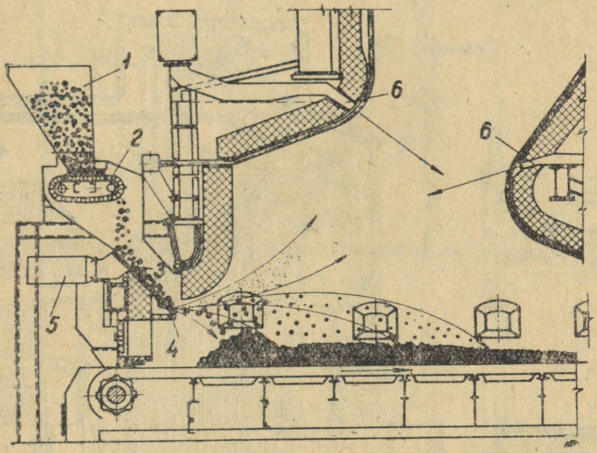

Joon. 70. Täiendatud Makarjevi kolle tükkturbale (freesturba lisandiga):
*1* — šaht; *2* — šahtiastmed; *3* — kihiregulaator.

**ВТИ-Komega kaheastmeline kettrestiga kolle.** NSV Liidu teadlaste poolt väljatöötatud pneumo-toitjaga varustatud kaheastmelise põlemisega kolle võimaldab kasutada sorteerimata kütust ja saavutada seejuures tunduvalt kõrgemat restipinna koormust, võrreldes tavalise kihispõletamisega.

Kütus antakse kolust *1* (joon. 71) elektrimootoriga töötava kraaptoitja *2* abil kaldu asetatud juhtplaatidele *3*, mille alumiste otstega piirnevad juhtpindadega varustatud õhupilud *4*. Viimastesse juhitakse õhukarbist *5* juhtplaatide sektsioonide sisekanaleid mööda õhku rõhuga 60—90 mm vs. Piludest väljudes paiskab õhk juhtplaadi alumistele otstele libisenud kütuseosakesed koldesse, mis langevad seda kaugemale, mida kergemad nad on. Seejuures põlevad peened kütuseosakesed kolde-

ruumis hõljuvas olekus, jämedamad osakesed langevad aga põlevale kihile ning süttivad sellel.

Pealtõhk rõhuga kuni 70 mm vs juhitakse koldesse tangentsiaalselt (vt. joon. 188), mis põhjustab seal keeriste tekkimist ja selle tulemusena põlemisgaaside head segunemist õhuga. Õhu kiirus düüsist väljumisel on ligikaudu 30 m/sec.




Joon. 71. ВТИ-Komega kaheastmeline kettrestiga kolle:
*1* — kütusekolu; *2* — kraaptoitja; *3* — juhtplaat; *4* — õhupilu; *5* — õhukarp; *6* — sekundaarõhk.

Restipinna soojuslik erikoormus kirjeldatud pneumo-toitjaga varustatud kolletes tõuseb kivisõe puhul kuni 2 200 000 kcal/m²h. Katsed on näidanud selle menetluse kasutatavust ka põlevkivi kihispõletamisel.

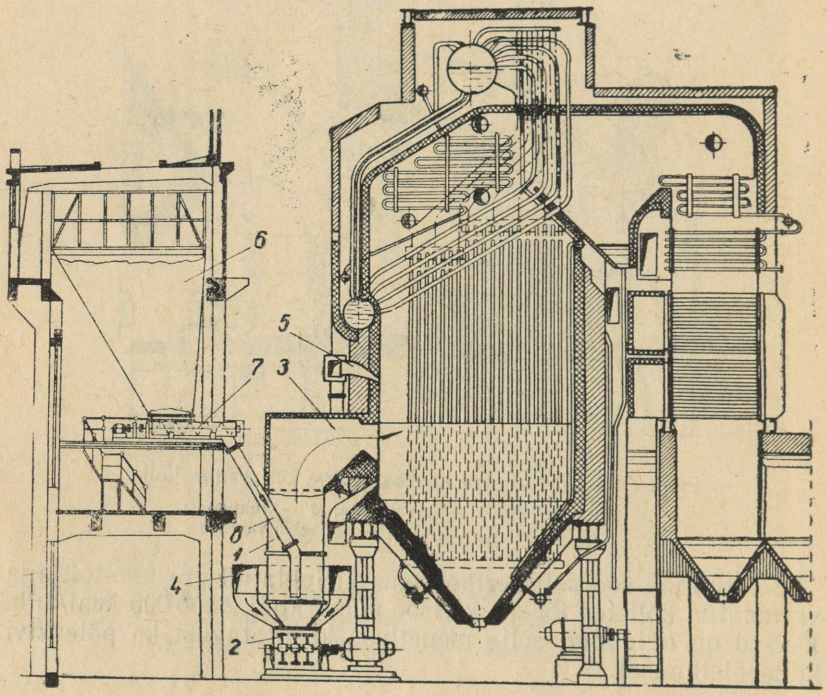
## 29. ŠAHTVESKIGA KOLDED

Šahtveskiga kolletes toimub tahkekütuse põletamine tolmu kujul kolderuumis. Võrreldes teiste tolmuküttekolletega on šahtveskiga kolletes tolmu valmistamine lihtsam ja selleks kulub vähem energiat. Kolded on kohased lendosaderikaste (üle 30%), seejuures ka madalaväärtuslike, suure niiskuse- ja tuhasisaldusega kütuste põletamiseks (põlevkivi, freesturvas, pruunsüsi jt.).

Šahtveskiga kolde (joon. 72) šaht *1* on ülaosas ühendatud kolderuumiga. Šahti alumisse ossa on paigutatud veski *2*, kuna ülemine osa täidab separaatori ja kuivati ülesannet. Šahti kõr-

gus veski teljest kuni väljumisava tsentrini peab olema vähemalt 4 m.

Kütus antakse punkrist *6* toitjaga *7* veskisse, kus ta peenestatakse ja samaaegselt kuivatatakse veskisse juhitud kuuma õhuga või õhu ja põlemisgaaside seguga. Veskist paisatakse peeneksjahvatatud kütus õhuvooluga läbi neljakandilise akna



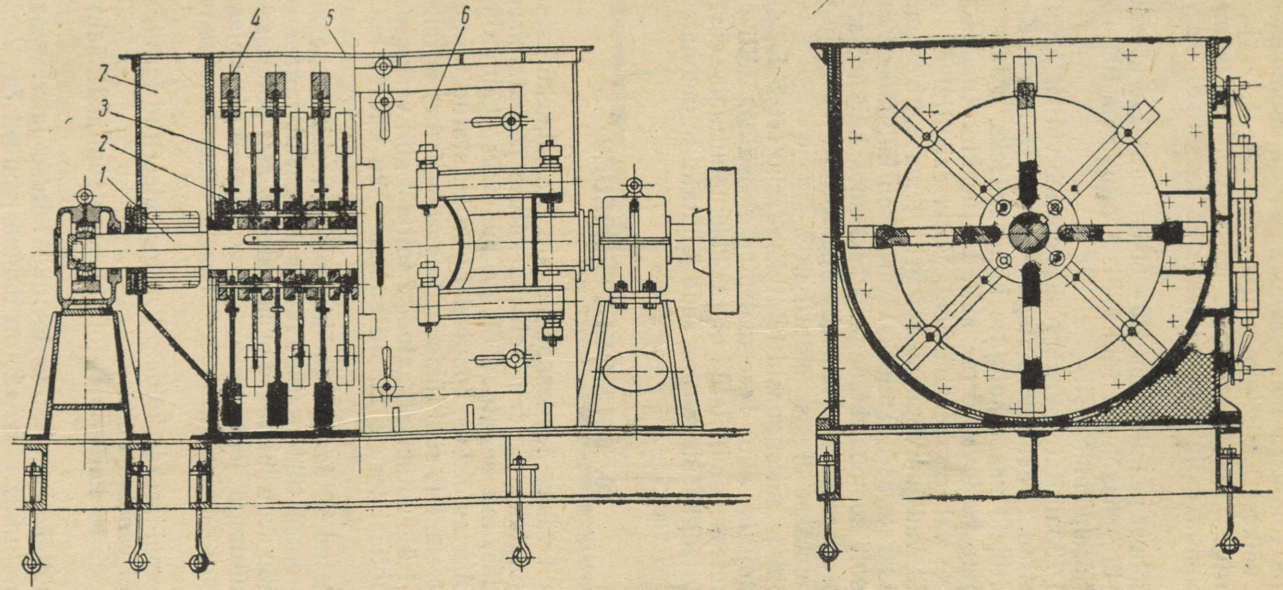

Joon. 72. Šahtveskiga kolle püstveetorukatlale:

*1* — šaht; *2* — vasarveski; *3* — ambrasuur; *4* — primaarõhukanal; *5* — sekundaarõhukanal; *6* — kütusepunker; *7* — tigutoitja; *8* — kütuse pealeandetoru.

(ambrasuuri) *3* kolderuumi, kus ta põleb lennul. Veski rootori pöörlemise suund on valitud selline, et veskisse tulev kütus paisatakse allapoole ja peenestatud kütus ülespoole. Suuremad kütuseosakesed, mida õhuvool ei suuda kaasa viia, langevad šahtist tagasi veskisse, kus nad täiendavalt peenestatakse.

Kolde allosa varustatakse sageli järelpõlemisrestiga, millel põlevad lõplikult allalangeva kütuse suuremad osakesed (0,5—1 mm ja enam).

Sissekütmiseks varustatakse kolle kas muhvelpõletiga või õlipihustitega.




Joon. 73. Vasarveski üldvaade:

*1* — võll; *2* — ketas; *3* — vasarahoidja; *4* — vasar; *5* — kere; *6* — uks; *7* — taskud.

Tingituna tolmu ja põlemisõhu heast segunemisest toimub põlemine väikese liigõhuteguriga ($\alpha = 1{,}2—1{,}3$) ja kõrge temperatuuriga. Kolde müüritise kaitseks kõrge temperatuuri ja räbu sööbiva mõju eest kaetakse kolde seinad ekraantorudega.

Põlemisõhust peamine osa (70—80%) juhitakse koldesse läbi veski, 10—15% lisaõhuna läbi eriliste pilude ja 10—15% läbi tuhalehtri (järelpõlemisresti).

Joonisel 73 kujutatud vasarveski koosneb võllist *1*, millele on asetatud kettad *2* vasarahoidjatega *3* ja vasaratega *4*. Kettad on aluseks poltidele vasarahoidjate kinnitamiseks. Vasar kinnitatakse hoidjale vastava sõrme abil. Lihtne kinnitusviis võimaldab vasarate vahetamist kohapeal. Veski esiküljel on uksed *6*, mis võimaldavad juurdepääsu rootorile tema kontrollimiseks ja kulunud vasarate asendamiseks. Kere *5* on kulumise vastu kaetud seestpoolt soomuslehtedega. Veski koos käitamisseadmega (elektrimootor) asetatakse ühisele alusraamile. Veski ja mootori võllid ühendatakse elastse siduriga.

Kuum õhk ja suitsugaasid juhitakse taskutest *7* veskisse läbi kahe ringikujulise akna kere mõlemas otsseinas. Võlli osa, mis ulatub taskutesse, on kaitstud otsese kokkupuutumise eest kuuma õhuga ja suitsugaasidega ning seda jahutatakse uuemates konstruktsioonides veega.

## 30. TOLMUKÜTTEKOLDED

Peamiselt vähese lendosade sisaldusega tahkekütuste põletamiseks kasutatakse koldeid eelneva kütuse jahvatamisega peeneks pulbriks, mis segatuna õhuga puhutakse kolderuumi, kus ta põleb hõljuvas olekus. Joonisel 74 on kujutatud tolmuvalmistamise süsteem, kus süsi tükisuurusega 5—30 mm antakse kütusepunkrist *1* üle automaatkaalude *2* toitja *3* abil veskisse *4*, kuhu juhitakse ühtlasi toru *8* kaudu kuuma õhku kütuse kuivatamiseks.

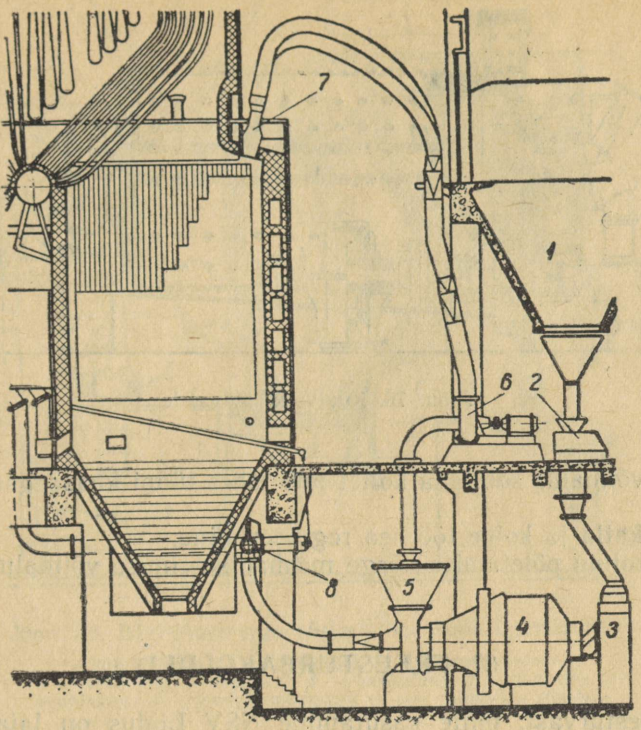
Peenestatud kütus viiakse õhuvooluga veskist separaatorisse *5*, kus suuremad tükid eralduvad ja langevad tagasi veskisse. Tolmu ja õhu segu juhitakse ekshaustori *6* abil põletisse *7*.

Koos kütusega juhitakse koldesse kuni 40% põlemisõhku. Ülejäänud osa õhku antakse koldesse sekundaarõhuna põleti kaudu.

Räbu eemaldatakse koldest kas granuleeritud kujul, s. o. jahutatult, või vedelas olekus.

Kolde seinte kaitsmine toimub analoogiliselt šahtveskiga koldele.

Tolmuküttekollete juures levinud kütuse jahvatusseadmeks on kuulveski, mille üldvaade on toodud joonisel 75. Veski koos-




Joon. 74. Tolmuvalmistamise süsteem:

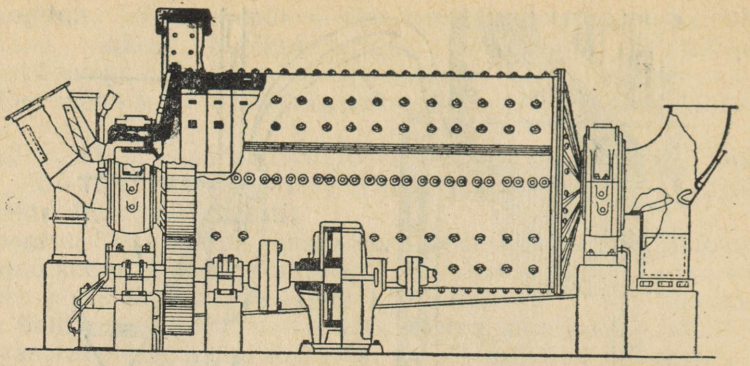
*1* — kütusepunker; *2* — automaatkaalud; *3* — toitja; *4* — kuulveski; *5* — separaator; *6* — ekshaustor; *7* — põleti; *8* — kuumaõhutoru.

neb aeglaselt (18—25 pööret minutis) pöörlevast silindrist, mis on kulumise vastu kaetud seestpoolt lamedate, astmeliste või laineliste soomuslehtedega. Silinder täidetakse ligikaudu $^1/_3$ mahuni malmist või eriterasest kuulidega. Silindri pöörlemisel hakkavad kuulid veerema, langevad kütusele ja jahvatavad sel teel viimase peeneks tolmuks. Veski trummel käitatakse elektrimootori abil hammasratasülekande kaudu.

Tolmukütte eelisteks on:

1) võimalus põletada iga liiki kütust, isegi kõige madalama väärtusega; mõningaid kütuseid, näiteks antratsiiti, võib ökonoomselt põletada ainult tolmu kujul;

2) kamberpõletamise kõrge ökonoomsus: liigõhutegur koldes ulatub 1,2—1,25-ni, kusjuures keemiline kadu ei ole üle 0,5—1%;



Joon. 75. Kuulveski üldvaade.

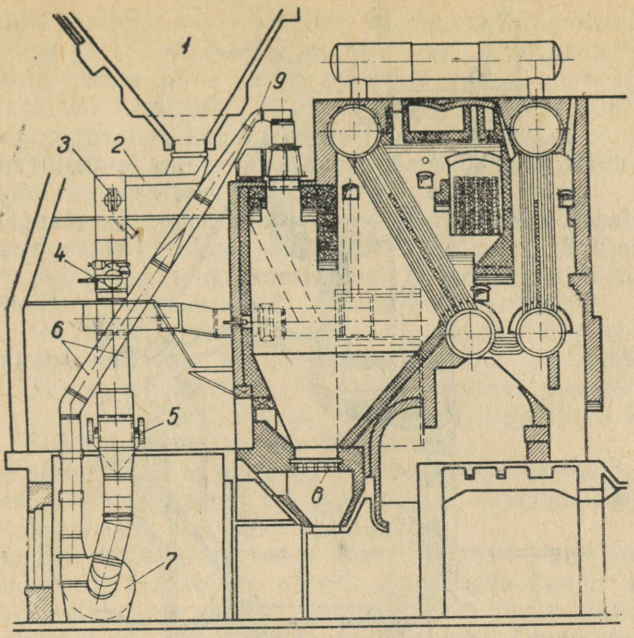
3) võimalus sobitada kollet mis tahes tüüpi kaasaegsele katlale;
4) katla ja kolde töö hea reguleerimine;
5) tolmu põletamise kõrge mehhaniseerimise võimalus.

## 31. FREESTURBAKOLDED

Freesturvast, mille kasutamine NSV Liidus on laialdaselt levinud, võib põletada kettrestiga šahtkoldes 25—40%-se lisandina tükkturbale ja väiksemates seadmetes Lomšakovi restil. Ratsionaalsemaks freesturba põletamise viisiks on tema põletamine hõljuvas olekus. Sobivamateks freesturba põletamise seadmeteks on ВТИ-Mosenergo süsteemiline kolle, Šeršnevi keeriskolle ja šahtveskiga kolded.

**ВТИ-Mosenergo** süsteemiline jahvatusventilaatoriga kolle on toodud joonisel 76. Turvas antakse punkrist *1* tigutoitja *2* abil läbi magnetseparaatori *3*, mis eraldab turbasse sattunud terasesemed, tähttoitjasse *4* ja viimase poolt torukuivatisse *6*.

Turvas kuivatatakse viimases kuni 10%-lise niiskuseni suitsugaasidega, mis võetakse kolderuumi tagumisest osast ja segatakse kuuma ning külma õhuga segamiskambris. Seejärel satub turvas purustisse *5*, kus peenestatakse turbas olevad puujuured, ja sealt jahvatusventilaatorisse *7*, millel on tugevad labidad (paksus kuni 20 mm) ja seestpoolt soomustatud kere. Tolmu ja õhu segu juhitakse ventilaatorist toru *9* kaudu põletisse. Kolde sissekütmiseks ja jämedate kütuseosakeste läbipõletamiseks on kolle allosas varustatud järelpõlemisrestiga *8*. Kolle töötab liigõhuteguriga $\alpha = 1{,}2$.



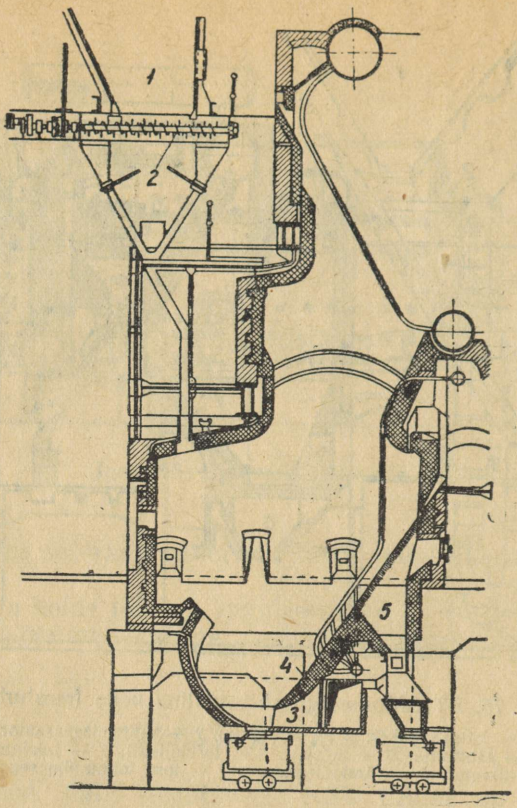

Joon. 76. ВТИ-Mosenergo süsteemiline kolle freesturbale:

*1* — kütusepunker; *2* — tigutoitja; *3* — magnetseparaator; *4* — tähttoitja; *5* — purusti; *6* — torukuivati; *7* — jahvatus-ventilaator; *8* — järelpõlemisrest; *9* — toru tolmu-õhu segule.

**Seršnevi** koldes (joon. 77) põletatakse freesturvast eelneva kuivatamiseta. Turvas antakse punkrist *1* tigutoitja *2* abil koldesse kogu selle laiuses. Peened osakesed põlevad hõljuvas olekus, jämedamad langevad aga juhtseinale *4*, kust nad tõstetakse lendu tugeva õhujoa poolt, mis juhitakse koldesse düüsi *3* abil. Düüsi vastas oleva seina ümmarguse kuju tõttu antakse kütuseosakestele keerisliikumine, kusjuures nad lõplikult ära põlevad. Kõige suuremad põlemata kütuseosakesed visatakse tsentrifugaaljõu toimel punkrisse *5*.

## 32. KAHEASTMELISE PÕLEMISEGA KOLDED

Tavalisel kihispõletamisel põleb kütus osaliselt restil, osaliselt (lendosad) restipealses kolderuumis, kusjuures ligikaudu 80—85% kogu põlemisõhust antakse läbi resti altõhuna ja 20—15% õhust pealtõhuna kolderuumi, et tagada lendosade täielikku põlemist.




Joon. 77. Šeršnevi keeriskolle freesturbale:

*1* — kütusepunker; *2* — tigutoitja; *3* — düüs; *4* — juhtsein; *5* — punker jämedatele turbaosakestele.

Põlemise intensiivsuse tõstmiseks kolletes on lendosaderikaste kütuste puhul leidnud rakendamist kaheastmeline põletamisviis. Selleks kasutatakse keeva kihiga koldeid ja pööriskoldeid, kus kogu kütusekiht hõljub või pöörleb tugevas õhu- ning gaasivoolus, samuti ka nn. poolgaaskoldeid.

Põlevkivi suur lendosadesisaldus võimaldab väikestes kolletes edukalt rakendada viimast menetlust. Poolgaaskoldes põletatakse põlevkivi tavalise kihtkoldega võrreldes paksemas kihis ja väiksema õhuvooluga läbi kütusekihi. Selle tulemusena eraldub nn. poolgaas, sest koldes ei piisa õhku põlevkivigaaside täielikuks põlemiseks.

Tekkiv poolgaas sisaldab veel suurel määral põlemisvõimelisi lendosi ja süsinikoksüüdi (vingugaasi). Poolgaas juhitakse koldekaela kaudu kolde esimesest osast vaheseinaga eraldatud teise ossa või kambrisse, kus see põleb lõplikult. Koldekaelas toimub poolgaasi ja kaela juhitud lisaõhu segunemine.

Häid tulemusi annab lisaõhu ettesoojendamine. Mida kõrgem on lisaõhu temperatuur, seda täielikum on põlemine.

Poolgaasi hea segunemine põlemisõhuga kitsas kanalis tagab põlevkivigaaside täielikku ja tahmavaba põlemist. Selliste kolletega varustatud katelde korstnatest ei välju paljudele põlevkivikihtkolletele iseloomulikku tahmarikast suitsu.

Joonisel 78 on kujutatud ratastel liigutatav poolgaas-eeskolle leegi-suitsutorukatlale. Kolde esikambri seinad on müüritud 1/4 kivi paksuses tellistest ja 1/2 kivi paksuses šamottkividest 40 mm-se õhuvahega. Kolle on varustatud liigutatava käpprestiga *1*, mille õhupilude laius on 20—25 mm.

Restialune ruum on ehitatud õhutihedana ja varustatud kolde esiküljes luugiga *2*. Resti all asub madal, ratastel liikuv tuhakäru, kuhu variseb tuhk resti liigutamisel.

Põlemisõhk juhitakse madalrõhuventilaatori *3* abil (joon. 79) kolde külg- ja tagaseinas olevate õhuvahede kaudu altõhuna (primaarõhuna) resti alla ja lisaõhuna (sekundaarõhuna) koldekaelas asuvatesse õhuavadesse (düüsidesse). Õhuvahes voolav õhk soojeneb ligikaudu 60—70°-ni, jahutades ühtlasi kolde müüritist, millega pikeneb müüritise iga.

Resti alla ja koldekaela antava õhu rõhk ulatub 40 mm-ni vs; resti alla antava õhu hulk moodustab kuni 50% üldisest põlemisõhu hulgast; ülejäänud õhk antakse koldesse lisaõhuna. Alt- ja lisaõhu hulka reguleeritakse õhutorustikul asuvate klappidega.

Kütus antakse koldesse läbi kolde esiseinas oleva koldeukse. Kütusena kasutatakse tükispõlevkivi.

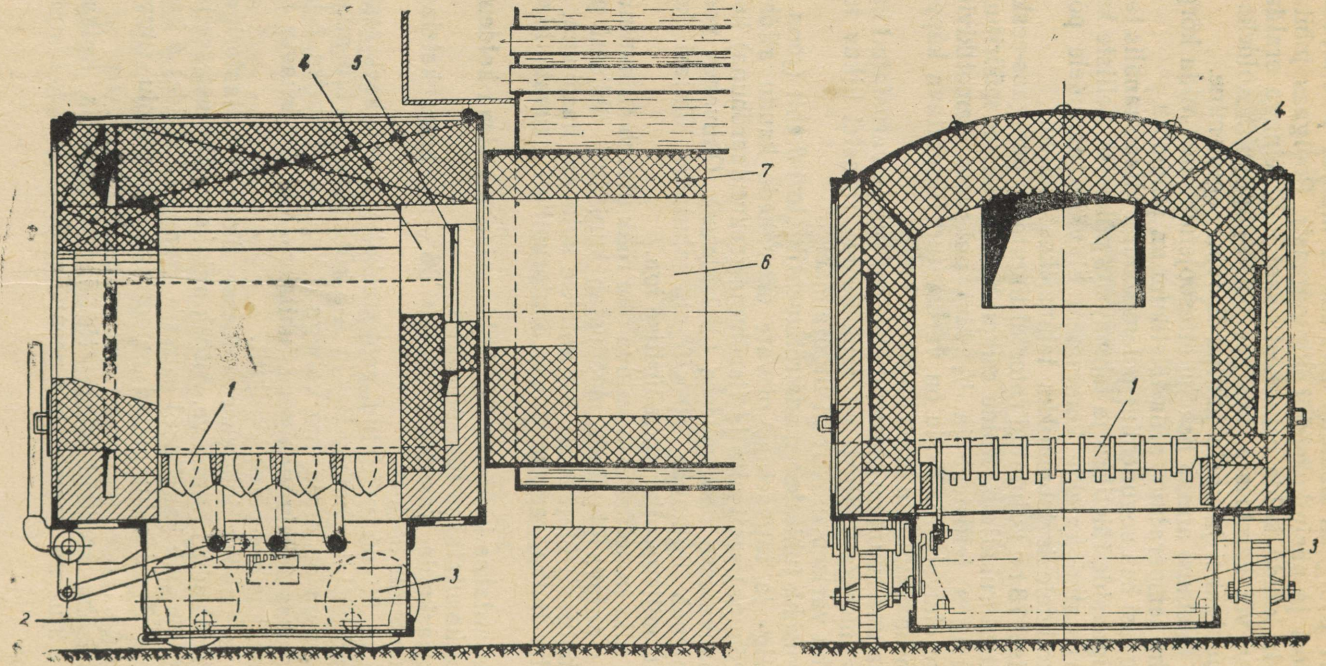
Poolgaaskolde kasutegur ulatub 96%-ni, kogu katelagregaadi kasutegur 85%-ni.

Joonisel 80 on näidatud poolgaaskolle Lomšakovi restiga varustatud katlale Šuhhov-Berlin A-5 küttepinnaga 175 m$^2$.

Kolderuum on eraldatud võlviga *3* kaheks kambriks *1* ja *2*. Kolde esiosas tekkiv poolgaas juhitakse läbi koldekaela teise kambrisse, kus see põleb lõplikult.

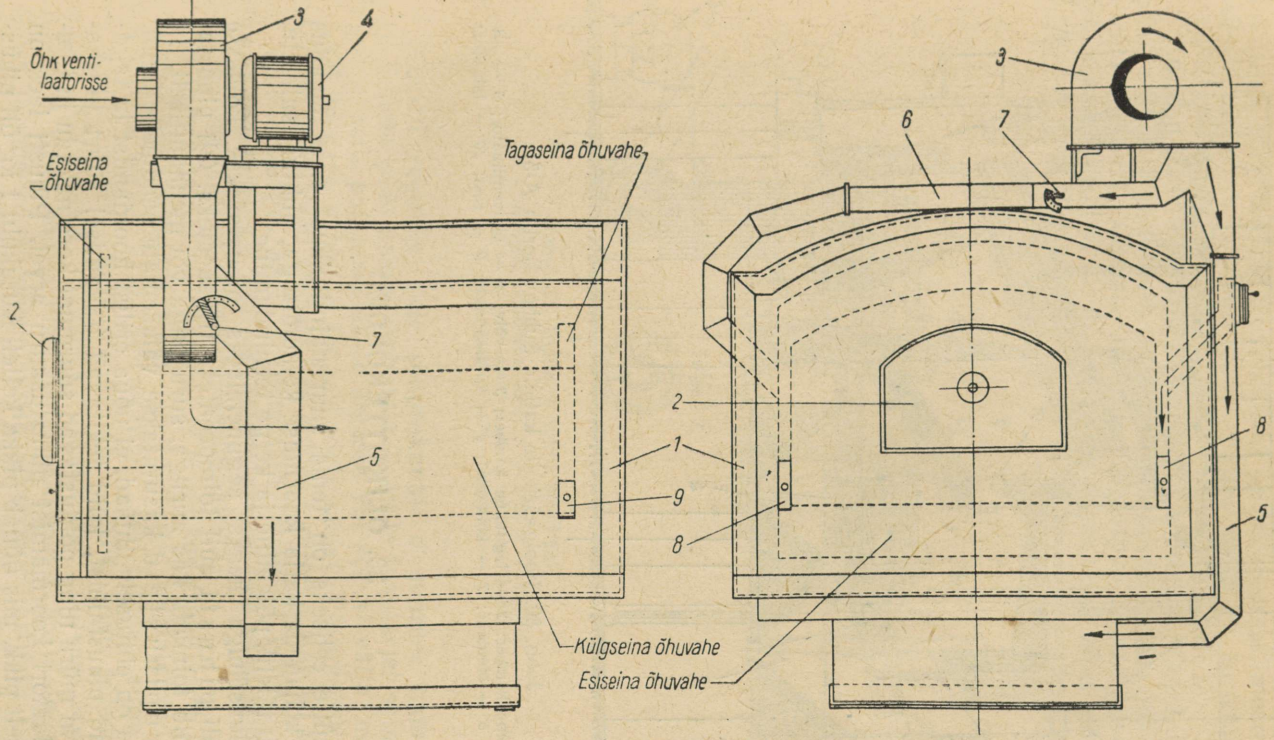
Alt- ja lisaõhk juhitakse koldesse ühise ventilaatoriga *4*, rõhuga ligikaudu 100 mm vs. Altõhk antakse restialustesse tsoonidesse *5*, lisaõhk kahel pool asuvate akende (düüside) *6* kaudu koldekaela *7*. Lisaõhu suund moodustab gaasivoolu suunaga 45°-se nurga.

Põlemisõhk soojendatakse ette õhueelsoojendis ligikaudu 100°-ni. Kütusena kasutatakse peenpõlevkivi.



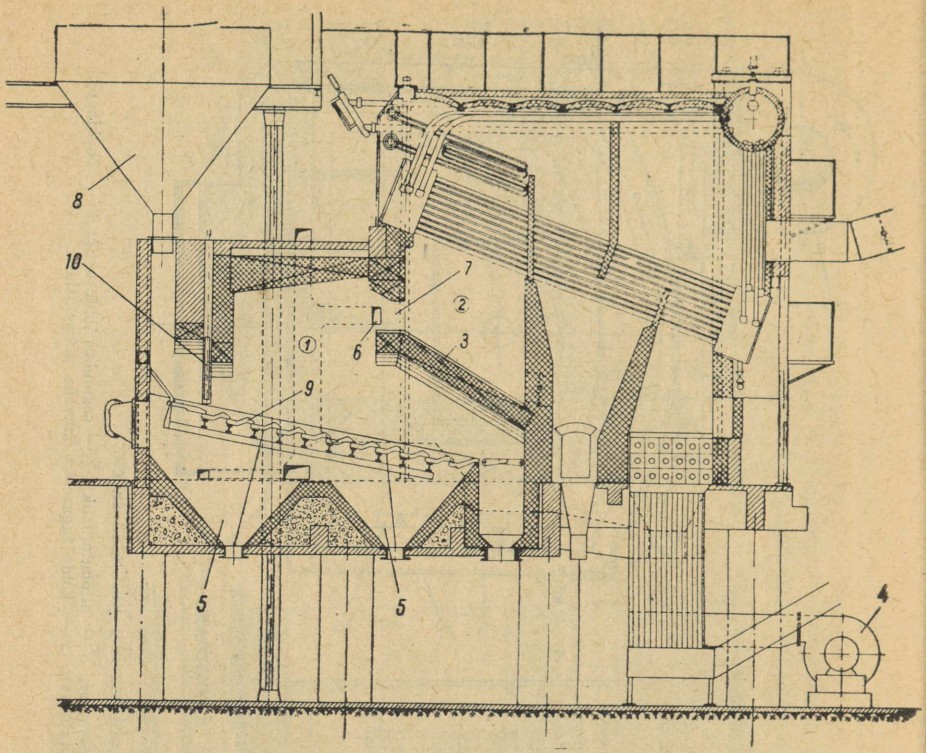

Joon. 78. Poolgaas-eeskolle leegi-suitsutorukatlale:

*1* — käpprest; *2* — luuk; *3* — tuhakäru; *4* — koldekael; *5* — õhudüüs; *6* — põlemisruum; *7* — šamottvooder.




Joon. 79. Poolgaaskoldesse õhu juhtimise skeem:

*1* — kolle; *2* — koldeuks; *3* — ventilaator; *4* — elektrimootor; *5* — altõhutorustik; *6* — sekundaarõhutorustik; *7* — õhuklapp; *8* — sekundaarõhuava (avatakse, kui kolle töötab ventilaatorita); *9* — kolde tagaseina õhuvahe puhastusluuk.




Joon. 80. Poolgaaskolle katlale Suhhov-Berlin A-5:

*1* — eesmine kamber; *2* — tagumine kamber; *3* — võlv; *4* — õhuventilaator; *5* — alt-õhutsoon; *6* — õhudüüs; *7* — koldekael; *8* — kütusepunker; *9* — rest; *10* — kihisiiber.

## 33. ÕLIKÜTTEKOLDED

Õlikütte eeliseks on tema suur paindlikkus, s. o. omadus kiiresti kohaneda katla koormuse kõikumisega, puhtus, suitsuta, peaaegu täielik põlemine ja kerge teenindamine.

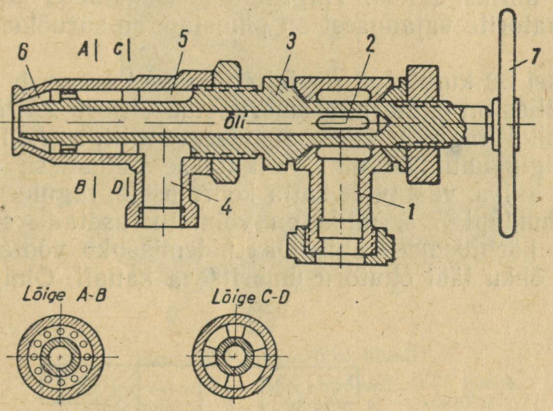
Põlemisõhuga heaks segunemiseks pihustatakse koldesse antav õli *pihusti* abil tolmpeenteks tilgakesteks. Õli pihustamine võib toimuda kas auruga, suruõhuga või mehaaniliselt.

*Aurupihusteid* kasutatakse väiksemate seadmete puhul. Pihustid on ehituselt lihtsad, ei nõua erilist hooldamist ja tagavad head pihustamist, kuid tekitavad töötamisel suurt ja ebameeldivat müra ning põhjustavad suuremat korstnakadu ja tõmbeventilaatori koormamist pihustusauru arvel. Pihusti leek on suhteliselt pikk, mis nõuab pikka kollet. Aurukulu 1 kg õli pihus-

tamiseks, sõltuvalt pihusti ehitusest ja koormusest, moodustab 0,3—0,7 kg, s. o. keskmiselt 5% katlas toodetud auruhulgast.

Joonisel 81 on toodud Suhhovi tüüpi õlipihusti.

Kütteõli voolab pihustisse torust *1* ja, läbinud avad *2*, liigub edasi spindli *3* kanalisse, millest väljub koldesse. Aur juhitakse torust *4* pihusti välimisse kanalisse *5*. Väljudes suure kiirusega läbi rõngaskanali *6*, kisub aur kaasa õlijoakesed ning pihustab need peenteks tilgakesteks.




Joon. 81. Suhhovi tüüpi õlipihusti:

*1* — kütteõli juurdevoolutoru; *2* — ava; *3* — spindel; *4* — auru juurdevoolutoru; *5* — välimine kanal; *6* — rõngaskanal; *7* — käsiratas.

Pihustit reguleeritakse rõngaskanali *6* suuruse muutmise teel. Selleks pööratakse käsiratast *7*, mille tagajärjel spindel *3* liigub pihusti paigalseisvasse keresse või sellest välja, muutes spindli ja kere vahelise rõngaskanali laiust. Põlemisõhk juhitakse koldesse leegi alguses kas koldes valitseva alarõhu toimel või ventilaatoriga. Kolle varustatakse tavaliselt pihustit ümbritseva tiibseadisega, millest läbivoolamisel õhk saab pöörisliikumise ning seguneb paremini õliosakestega.

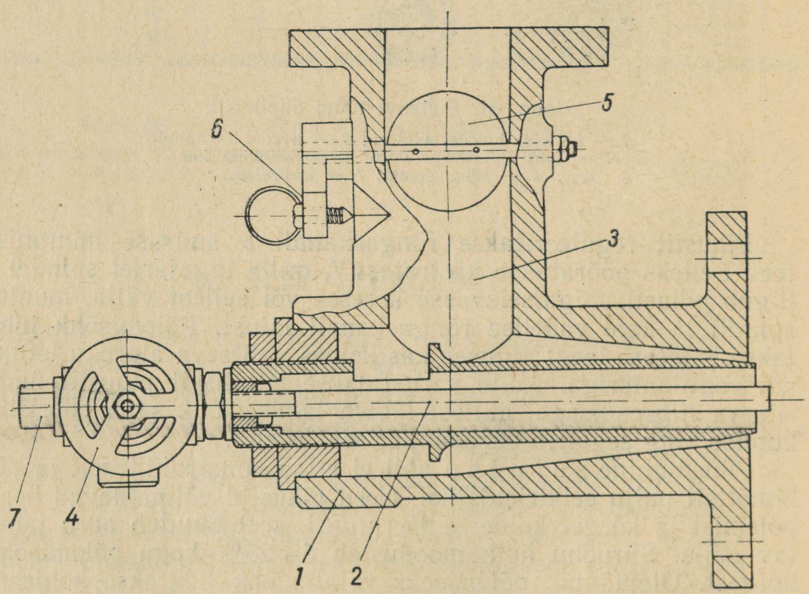
Pihustamine suruõhu abil ei erine konstruktiivselt ja põhimõttelt palju eelkirjeldatust. Need pihustid võimaldavad head põlemist ja kõrget kolde temperatuuri, sest puudub auru jahutav mõju. Suruõhu hulk moodustab 5—25% kogu põlemisõhu hulgast. Ülejäänud, põlemiseks vajalik õhk juhitakse koldesse niisamuti nagu aurupihusti puhul. Olenevalt kasutatava õhu rõhust jagunevad suruõhupihustid kõrgrõhupihustiteks ja madalrõhupihustiteks. Kõrgrõhupihustid annavad pika ja

terava leegi, mistõttu nõuavad pikka kollet. Suruõhku toodetakse kompressoritega; õhu rõhk ei tohi olla alla 4 atü. Pihustite ehitus sarnaneb üldjoontes aurupihustite ehitusega.

Madalrõhupihustites kasutatakse õli pihustamiseks õhku rõhuga 300—400 mm vs. Neis pihusteis juhitakse 60—75% üldisest põlemisõhu hulgast koldesse läbi pihusti, puudu jääv osa aga läbi õhuavade. Õhujoale antakse pihustis pöörlev liikumine. Vajalik suruõhk toodetakse ventilaatoritega.

Võrreldes kõrgrõhupihustitega on madalrõhupihustite leek lühem ja ühtlasi laiem. Tingituna lisaseadmete, kompressorite ja ventilaatorite vajadusest on pihustamine suruõhu abil vähem levinud.

Joonisel 82 kujutatud madalrõhupihusti koosneb valatud kerest *1*, milles on õhutoruga ümbritsetud õlitoru *2*. Pihustit läbivat õlihulka reguleeritakse reguleerventiiliga *4*. Pihustusõhk rõhuga ligikaudu 250 mm vs antakse pihustisse ventilaatori abil. Õhu hulka, vastavalt katla koormusele, reguleeritakse pööratava õhuklapiga *5*, mida on võimalik asetada soovitavasse asendisse käepideme *6* abil. Osa põlemisõhku voolab läbi õhutoru, osa õhku läbi õhutoru ümbritseva kanali. Õhujoad, lõiga-

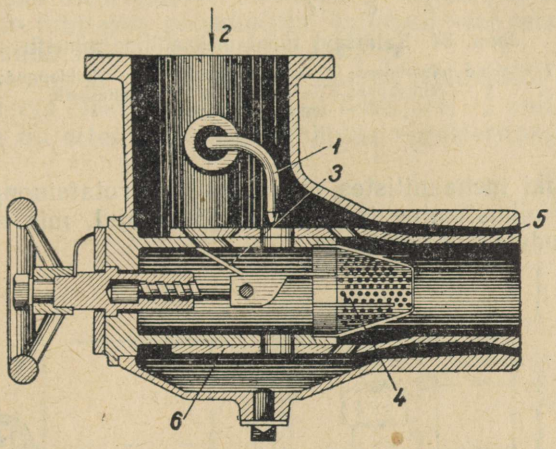



Joon. 82. Madalrõhupihusti:

*1* — kere; *2* — õlitoru; *3* — õhukanal; *4* — reguleerimisventiil; *5* — õhuklapp; *6* — käepide; *7* — kork.

tes õlitorust väljuvat õlijuga, pihustavad viimase peenteks tilgakesteks, mis õhuga hästi segunedes põlevad kolderuumis täielikult. Õlitoru puhastamiseks on pihusti varustatud keermetatud korgiga *7*.

Joonisel 83 on kujutatud teistsuguse konstruktsiooniga madalrõhupihusti, mille töötamise põhimõte on samasugune kui eespool kirjeldatud pihustil.

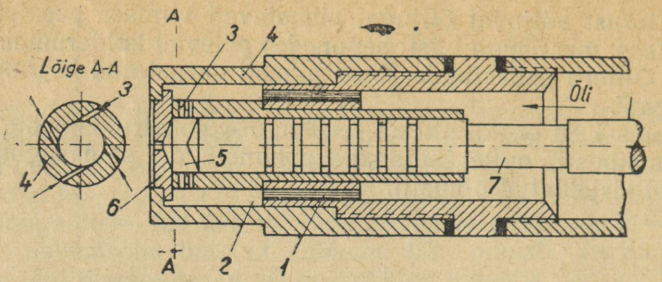



Joon. 83. Madalrõhupihusti:

*1* — õli juurdevool; *2* — õhu juurdevool; *3* — taldrik; *4* — segamissõel; *5* — ringpilu; *6* — kolbsiiber.

Mehaanilist pihustamist kasutatakse eriti sel juhul, kui on vajalik vähendada aurukulu ja koguda kondensaati, näiteks merelaevadel, elektrijaamades jm. Mehaanilised pihustid jagunevad kahte liiki. Esimestes toimub õli pihustamine sel teel, et õlipumba poolt rõhul 5—15 atü pihusti suudmesse antav õli omandab viimases pöörisliikumise. Suudmest väljumisel langeb järsult õli rõhk ning õli pihustub peeneks uduks, mille haarab kaasa koldesse suunduv õhuvool. Selline Kalatševi tüüpi pihusti on näidatud joonisel 84. Õli satub pihusti peas olevate avade *1* kaudu rõngaskambrisse *2* ja sealt läbi kaldaukude *3* kambrisse *5*. Õliosakesed väljuvad pihustusseibi *6* tsentraalse ava kaudu, säilitades seejuures oma pöörlevat liikumist. Õlihulka reguleeritakse varda *7* keeramisega, millega suletakse või avatakse kaldaugud *3*.

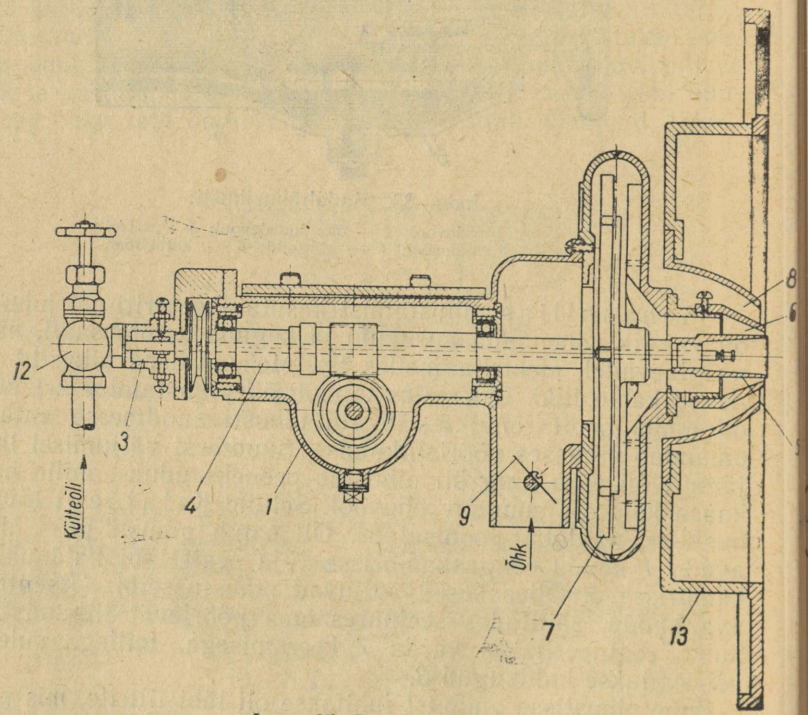
Enne pihustisse andmist juhitakse õli läbi filtrite, mis puhastavad ta mehaanilistest lisanditest. Mehaanilised pihustid nõuavad hästi ettesoojendatud (vedelat) õli.




Joon. 84. Kalatševi tüüpi mehaaniline pihusti:

*1* — avad pihustipeas; *2* — rõngaskamber; *3* — kaldaugud; *4* — pihustipea; *5* — kamber; *6* — pihustusseib; *7* — reguleerimisvarras.

Teist liiki mehaanilistes pihustites, nn. rotatsioonpihustites, toimub õli pihustamine tsentrifugaaljõu mõjul, mis tekitatakse pihusti suudme pöörlemisega.




Joon. 85. Rotatsioonpihusti:

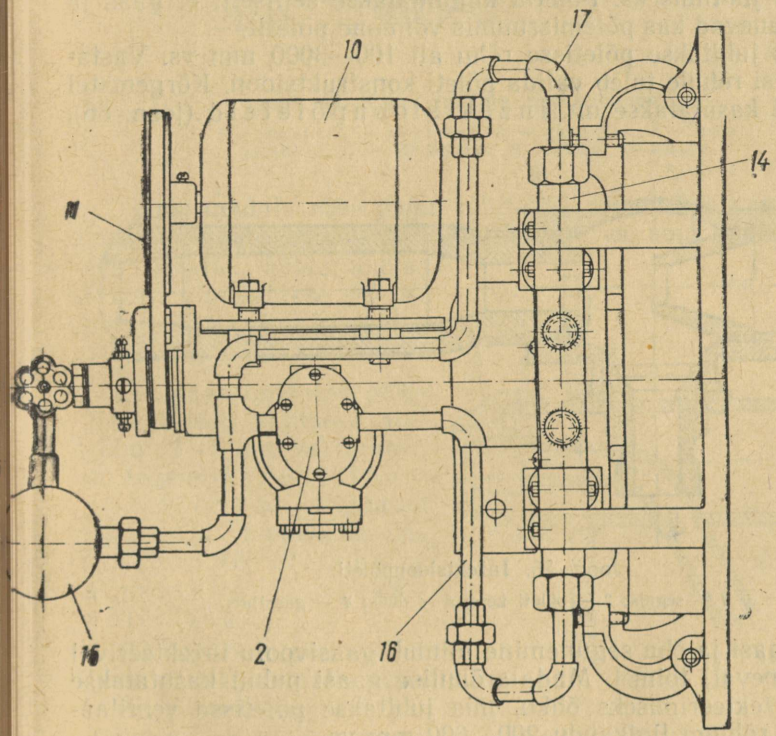
*1* — kere; *2* — hammasrataspump; *3* — õlitoru; *4* — õõnesvõll; *5* — õlikoonus; *6* — õhukoonus; *7* — õhuventilaator; *8* — õhukanal; *9* — õhuklapp; *10* — elektrimootor;



Rotatsioonpihustis (joon. 85) surutakse õli väikese hammasrataspumba *2* abil 1,5—2,5 atü rõhu all läbi õlitoru *3* pihusti pöörlevasse õlikoonusesse *5*.

Õlitorust *3* väljudes langevad õliosakesed pöörleva õlikoonuse sisepinnale, kus neile antakse keerisliikumine. Sattudes õlikoonuse otsast väljumisel madalrõhuventilaatorist *7* tulevasse õhuvoolu, pihustatakse õliosakesed peeneks uduks ja kistakse õhuvooluga kaasa. Osa õhku imetakse koldesse seal valitseva alarõhu tõttu pihustit ümbritseva välimise kanali *8* kaudu. Peale selle juhitakse põlemisõhku koldesse veel esiseinas oleva õhuava kaudu, mis on varustatud luugiga.

Ventilaator ja pihusti koonus asuvad õõnesvõllil *4*, mille paneb pöörlema elektrimootor *10* kiilrihmajami *11* abil. Sama võll käitab ka õli etteandepumpa. Õlihulka reguleeritakse ventiiliga




*11* — kiilrihmajam; *12* — õliventiil; *13* — koldeuks; *14* — kandetelg; *15* — õlieelsoojendi; *16* — õli juurdevoolutoru; *17* — ülevoolutoru.

*12*, õhuhulka — klapiga *9*. Kogu pihusti on kolde esiseinast hõlpsasti eemale keeratav. Pihusti leek on lühike ja lai.

Kütteõli juhitakse enne pihustisse andmist läbi õlifiltri.

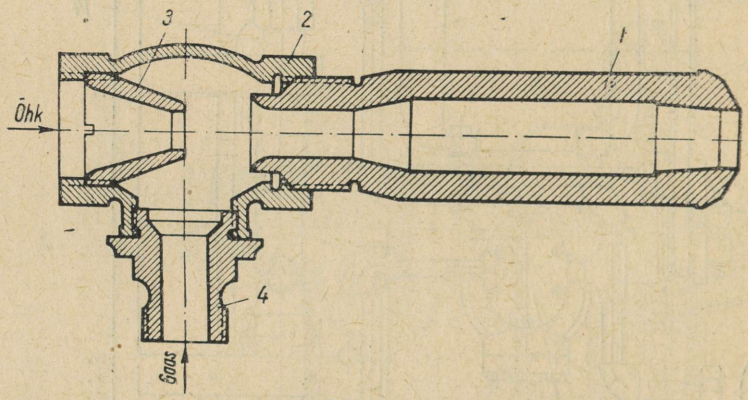
Töötamise kindlustamiseks ja plahvatuste vältimiseks ehitatakse õliküttekolded tavaliselt süütemüüritisega, mis soojusmahutitena võimaldavad õli kiiret ja häireteta süütamist leegi võimalikel kustumistel. Leegitorukateldel vooderdatakse leegitoru esiosa tulekindlate kividega, sest vastasel korral jääb kolde temperatuur intensiivse soojusülekande (kiirguse) tõttu liiga madalaks.

Üliküttekolle annab täieliku põlemise liigõhuteguriga $\alpha = 1{,}20—1{,}25$.

## 34. GAASIKÜTTEKOLDED

Gaasiküttekolded varustatakse põletitega gaasi ja õhu koldesse juhtimiseks. Põletid kujundatakse selliselt, et gaas ja õhk segunevad kas põlemisruumis või enne põletit.

Gaas juhitakse põletisse rõhu all 100—3000 mm vs. Vastavalt gaasi rõhule tuleb valida põleti konstruktsioon. Kõrgematel rõhkudel kasutatakse nn. inžektsioonpõleteid (joon. 86),




Joon. 86. Inžektsioonpõleti:

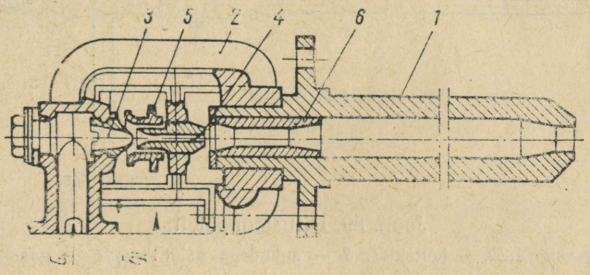
*1* — segaja; *2* — põleti kere; *3* — düüs; *4* — gaasituts.

milles gaasi ja õhu segunemine toimub gaasivoolu inžekteerival (juurdeimeval) toimel. Madalarõhulise gaasi puhul kasutatakse gaasi inžekteerimiseks õhku, mis juhitakse põletisse ventilaatori abil rõhuga ligikaudu 200—600 mm vs.

Inžektsiooni teel juurde antav õhuhulk võib olla täielikuks põlemiseks küllaldane või mitteküllaldane. Vastavalt sellele eris-

tatakse täieliku ja osalise inžektsiooniga põleteid. Mõlemal juhul on aga kindlustatud suur leegi levimise kiirus ja gaasi intensiivne põlemine. Osalise inžektsiooni puhul antakse täielikuks põlemiseks puudu jääv õhuhulk otse koldesse, kus gaas seguneb õhuga difusiooni teel.

Gaasi ja õhu segunemist lühemal teekonnal kindlustavad kaheastmelised inžektsioonpõletid (joon. 87). Muutlikul koormusel pole aga segu koostis ühesugune, mistõttu neid põleteid laialdaselt ei kasutata.



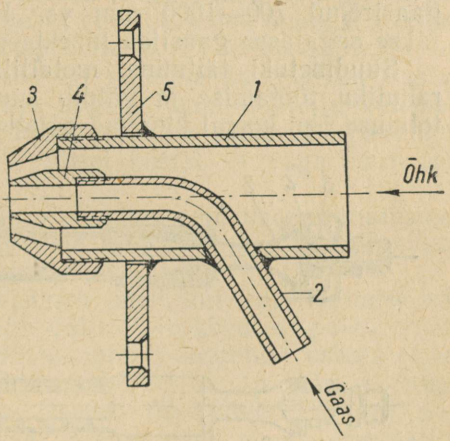

Joon. 87. Kaheastmeline inžektsioonpõleti:

*1* — segaja; *2* — põleti kere; *3* — gaasidüüs; *4* — teine gaasidüüs; *5* — õhukoonus; *6* — teine õhukoonus.

Gaasi madala rõhu puhul juhitakse põlemisõhk samuti põletisse ventilaatorist rõhuga kuni 100 mm vs, kuid gaasiga seguneb ta alles kolderuumis. Põletit nimetatakse sel juhul segamispõletiks (joon. 88).

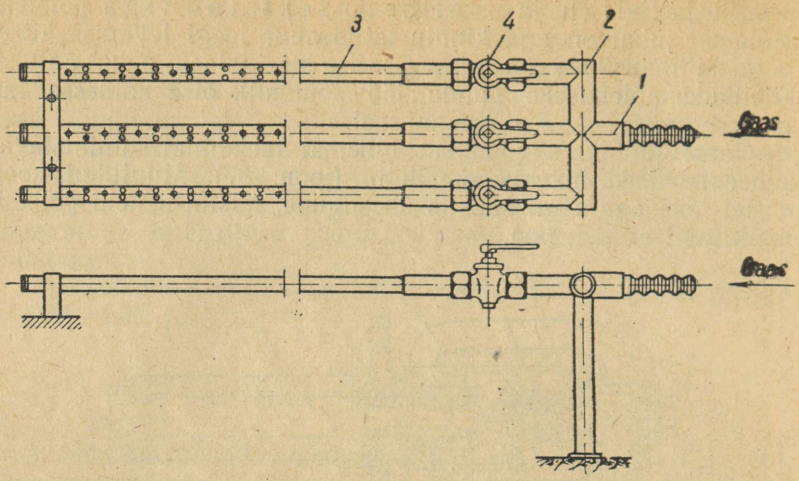
Kui gaas imetakse põletisse koldes valitseva alarõhu (4—5 mm vs) toimel, on tegemist ežektsioonpõletitega. Viimased jagunevad omakorda difusioonpõletiteks ja atmosfäärilisteks põletiteks.

Difusioonpõleteid (joon. 89) kasutatakse väikese võimsusega katelde kolletes. Vajalik gaasi rõhk on sel puhul 10—20 mm vs.




Joon. 88. Segamispõleti:

*1* — õhutoru; *2* — gaasitoru; *3* — õhukoonus; *4* — gaasidüüs; *5* — kinnitusäärik.



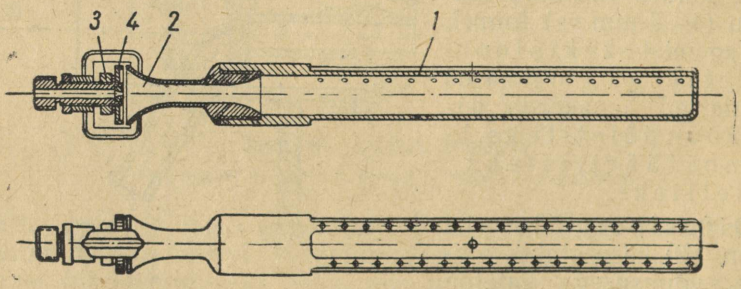

Joon. 89. Difusioonpõleti:

*1* — gaasitoru; *2* — kollektor; *3* — aukudega põletitoru; *4* — gaasikraan.

Atmosfäärilisi põleteid (joon. 90) kasutatakse sageli sisekoldega malmkatelde juures gaasi rõhu puhul 50—60 mm vs. Nendes põletites imetakse osa põlemiseks vajalikku õhku põletitorusse läbi õhukoonuse. Õhu hulk on reguleeritav seibiga.

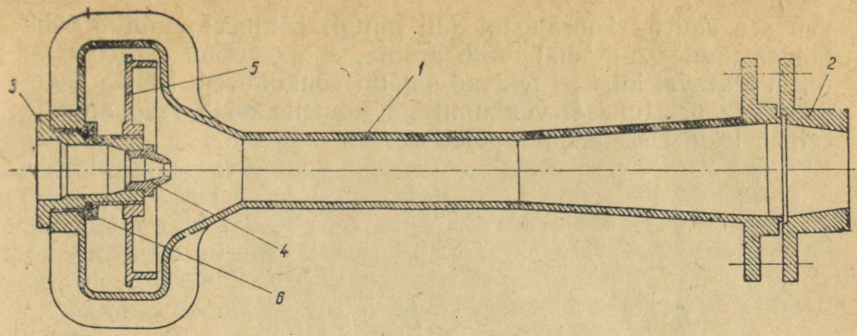
Joonisel 91 on toodud «Estonprojekti» poolt projekteeritud inžektsioonpõleti võimsusega 150 $m^3$ gaasi tunnis, mis töötab gaasirõhul 700—1000 mm vs. Põlemiseks vajalik õhk imetakse segajasse gaasijoa inžekteerival toimel.

Suudmetüki täitmine metallilaastudega kindlustab põleti rahuliku töötamise ja väldib suudmetüki kuumenemist. Kuid tolmuse õhu korral kipuvad põletid sel juhul ummistuma.




Joon. 90. Atmosfääriline põleti:

*1* — aukudega põletitoru; *2* — õhukoonus; *3* — gaasidüüs; *4* — reguleerimisseib.




Joon. 91. Inžektsioonpõleti (150 m³/h):
*1* — kere; *2* — suudmetükk; *3* — ühenduspuks; *4* — düüs; *5* — reguleerimisseib; *6* — kontramutter.

Üldisema jaotuse kohaselt võib põleteid jagada ka ainult inžektsioon- ja difusioonpõletiteks, s. o. põletiteks, kus õhuga segunemine toimub põleti sees, ja põletiteks, kus gaas seguneb õhuga põletisuudme taga.

Inžektsioonpõletitega on võimalik saavutada peaaegu leegita põlemist.

Samaks otstarbeks kasutatakse ka mitmesuguseid muid mooduseid (joon. 92).

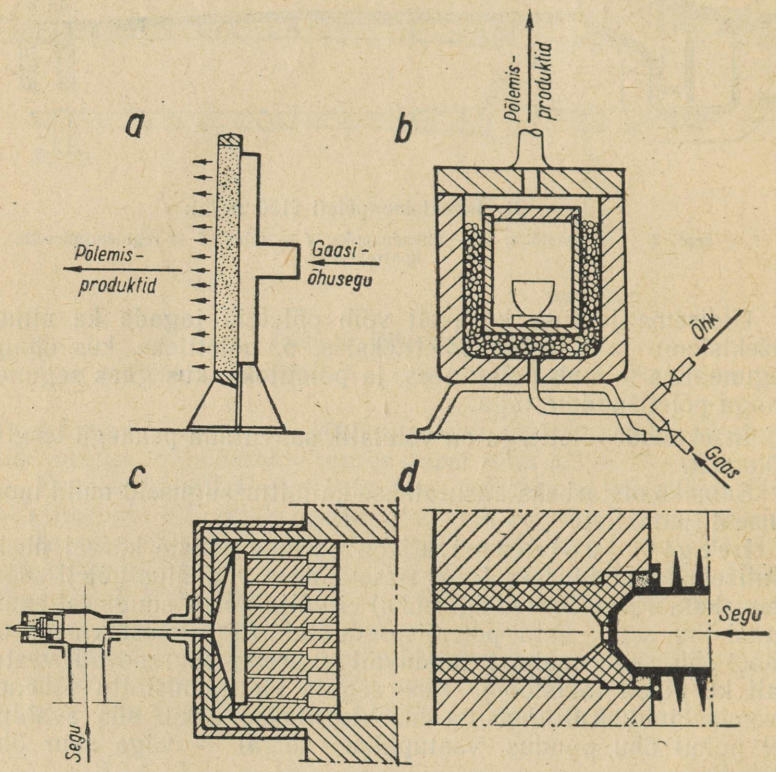
Leegita põletamisel on paljude eeliste kõrval üheks olulisemaks puuduseks leegi sisselöömise võimalus põleti segunemiskambrisse. Sisselöögi puhul ei välju põleti suudmest enam gaasi-õhu segu, vaid põlemisproduktid. Et viimaste maht on gaasi-õhu segu mahust tunduvalt suurem, suurenevad vastavalt ka põleti takistus ja rõhk segaja lõpus, mistõttu väheneb imemisvõime. Kui gaasiga inžekteeritakse õhku, siis avaldub sel puhul õhu puudus, vastupidisel korral — väga suur õhu ülehulk.

Põlemine segunemiskambris põhjustab põletiseinte kuumenemist ja seega suuri soojuskadusid ümbritsevasse ruumi, malmpõleti kasutamisel selle pragunemist.

Leegi sisselöök põletisse esineb juhul, kui leegi levimise kiirus on suurem gaasi-õhu segu väljavoolu kiirusest põleti suudmest. Seepärast ei saa inžektsioonpõleti koormust vabalt reguleerida nimikoormusest nullini. Tuleb meeles pidada, et leegi levimise maksimaalne kiirus esineb liigõhuteguri puhul $\alpha = 0{,}5—1{,}0$, s. o. õhu puudusel. Seega peab olema ettevaatlik põleti koormuse reguleerimisel.

Gaasi-õhu segu põlemisel (tunnelis) on pulseeriv iseloom, kusjuures võnkesagedus on võrdlemisi madal. Eriti selgesti ilm-

neb see suurtel koormustel, kui mingil põhjusel muutub rõhk koldes (kolle «hingab»). Võib arvata, et gaasi-õhu segu voolamisel teataval kiirusel tekivad samuti võnkumised. Nende sageduse kokkusattumisel võnkumisega tunnelis tekib resonants ja esineb leegi sisselöömine põletisse.




Joon. 92. Leegita põletamise mitmesugused moodused:
*a* — poorses plaadis; *b* — tellispurukihis; *c* — keraamilise ploki kanaleis; *d* — ühes suuremas tunnelis.

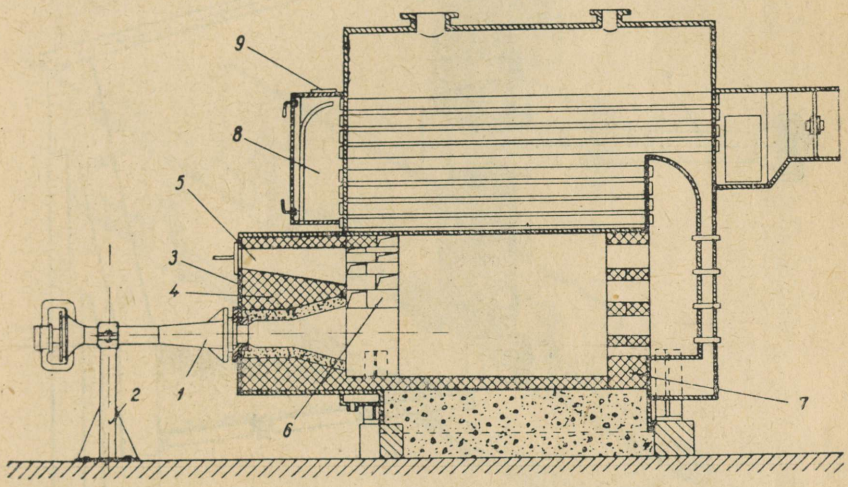
Mõnedel juhtudel esineb koldes võnkumine helisageduse piirides, mille tulemusel põletid hakkavad tugevasti «vilistama». Selle kõrvaldamiseks piisab sageli liigõhuteguri suurendamisest või vähendamisest.

Gaasiküttel töötava energeetilise seadme ökonoomseks ekspluateerimiseks peab põleti kindlustama gaasi täielikku põlemist liigõhuteguril $\alpha = 1{,}10—1{,}15$.

Olemasolevate katelde üleviimisel gaasiküttele võib edukalt kasutada ükskõik millist tüüpi põleteid, sest kolderuumid on

küllalt suured katla nimivõimsuseks vajaliku gaasihulga läbipõletamiseks. Uute gaasiküttel töötavate katelde projekteerimisel lähtutakse enamikul juhtudel inžektsioonpõletitest, mis võimaldavad kolderuumi erikoormust tõsta kuni 1 500 000 kcal/m³h. Seejuures olgu tähendatud, et ka segamispõletitega on võimalik saavutada selliseid ja isegi suuremaid kolderuumi soojuslikke koormusi, kui kolle on õigesti konstrueeritud.

Joonisel 93 on kujutatud põlevkivigaasiga töötav sisekoldega soojaveekatel küttepinnaga 50 m².




Joon. 93. Sisekoldega soojaveekatel gaasiküttel:

*1* — põleti; *2* — tugi; *3* — kolde esiplaat; *4* — müüritis; *5* — vaateava; *6* — leegitoru vooder; *7* — järelpõlemisvõre; *8* — suitsukamber; *9* — plahvatusklapp.

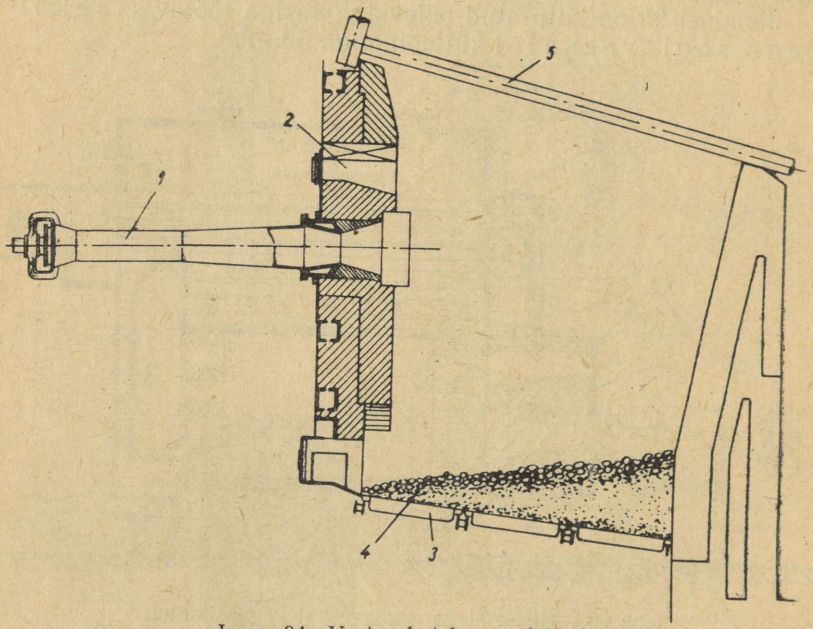
Leegitoru esiossa on laotud 60 mm paksune šamottvooder, mille materjalina kasutatakse A klassi kive. Ülaosas on jäetud voodri ja leegitoru vahele 65 mm laiune vahe, et võimaldada voodri vaba paisumist kuumenemisel. Leegitoru lõpus on ühe kivi paksune šamottkivist järelpõlemisvõre.

Joonisel 94 on toodud kahe inžektsioonpõletiga varustatud 220 m² küttepinnaga aurukatla kolle.

Segamispõletiga varustatud kõrge intensiivsusega veesoojendusseadme väikeseläbimõõduline ($\varnothing = 150$ mm) kolle on toodud joonisel 95. Koldes puudub šamottvooder. Järelpõlemisvõre on asetatud põleti suudmest 20 cm kaugusele. Kolle on arvutatud põlevkivigaasi hulgale 10 m³/h. Ekspluatatsiooni andmetel on põlemine täielik liigõhuteguri juures $\alpha = 1{,}10$. Kolderuumi erikoormus ulatub kuni 1 000 000 kcal/m³h.

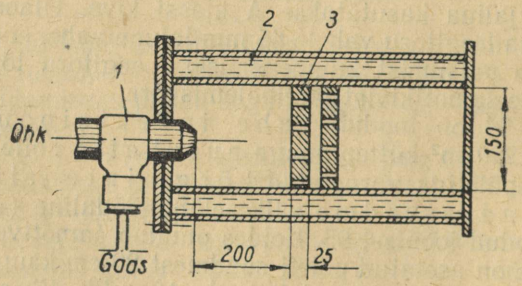
Ühe suure põleti asendamisel rea väikeste nn. multipõletitega on võimalik kolderuumi erikoormust tõsta kuni 10 000 000 kcal/m³h.

Gaasi ja õhu hea segamise saavutamiseks kasutatakse madalrõhulise gaasi puhul kapilupõleteid, milles gaas ja õhk juhitakse põlemiskambrisse eraldi piludest. Nendes põletites




Joon. 94. Veetorukatel gaasiküttel:

*1* — inžektsioonpõleti; *2* — vaateava; *3* — kolderest; *4* — purustatud šamottkivi kiht; *5* — veetorud.



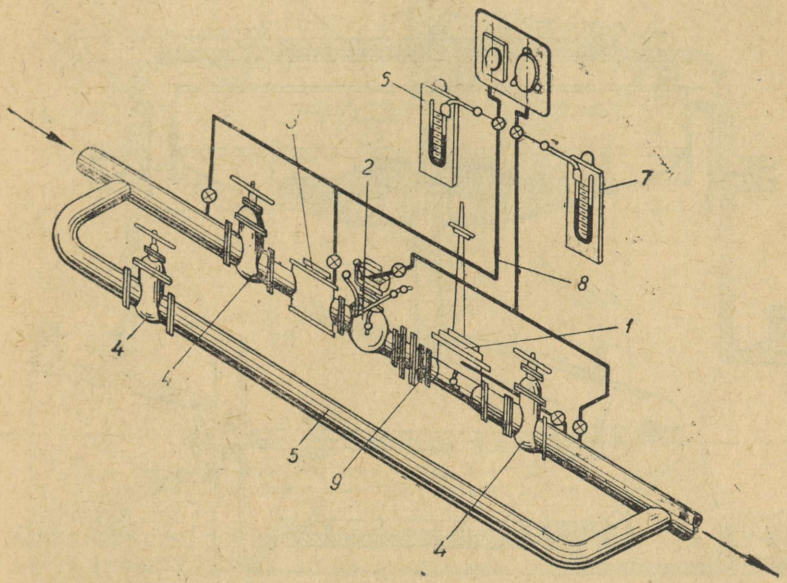

Joon. 95. Segamispõletiga väikekolle:

*1* — põleti; *2* — veesärk; *3* — keraamiline järelpõlemisvõre.

antakse õhule pilust väljumisel suurem kiirus kui gaasile, milleks õhu rõhk peab olema küllalt kõrge (150—200 mm vs).

Plahvatuste vältimiseks kasutatakse segamis- ja ežektsioonpõletite juures alatiselt põlevat süüteleeki.

Madalrõhuline gaas juhitakse põletisse otse linna gaasivõrgust, keskrõhuline gaas — r e g u l a a t o r j a a m a (joon. 96) kaudu, mille tähtsamateks osadeks on rõhuregulaator, kaitseklapp ja filter.




Joon. 96. Regulaatorjaama skeem:

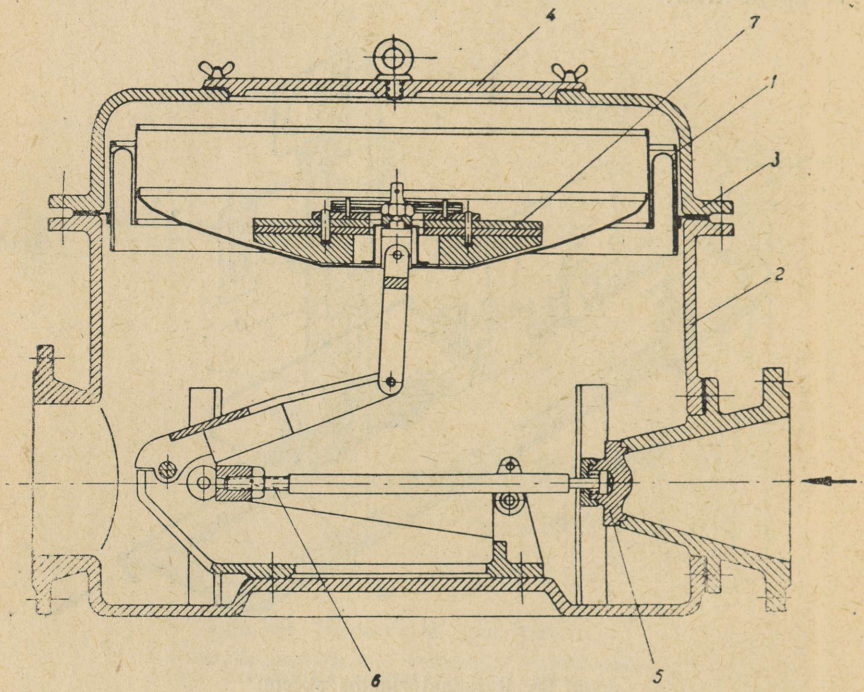
*1* — regulaator; *2* — kaitseklapp; *3* — filter; *4* — siiber; *5* — baipass; *6* — elavhõbemanomeeter; *7* — vesimanomeeter; *8* — impulsstorustik; *9* — kompensaator.

Regulaatorjaam kuulub plahvatusohtlike ruumide hulka ja kujundatakse seetõttu ühekorruselisena, kerge tulekindla katusega ja väljapoole avaneva uksega. Seadmete korralikuks töötamiseks ei tohi temperatuur regulaatorjaamas langeda alla +2°. Aknad ja tõmbekanalid peavad kindlustama regulaatorjaamale vähemalt kolmekordse õhuvahetuse tunnis. Valgustusseadmed (samuti lülitid) peavad olema plahvatuskindlat tüüpi või asuma hoonest väljas.

Joonisel 97 on kujutatud r õ h u r e g u l a a t o r, mille membraanile mõjub raskus. Gaasi soovitav rõhk regulaatorist väljumisel saavutatakse raskuse asendi muutmisega. Rõhu tõusmi-

sel regulaatori taga suureneb rõhk membraanile, mis kantakse varda kaudu üle klapile. Klapp surutakse koomale, millega väheneb gaasi läbivool regulaatorist kuni uue tasakaaluseisundi saabumiseni.

Sellist tüüpi regulaatoreid kasutatakse lõpprõhule kuni 200 mm vs.




Joon. 97. Rõhuregulaator kõrgele alg- ja madalale lõpprõhule (РДОК):

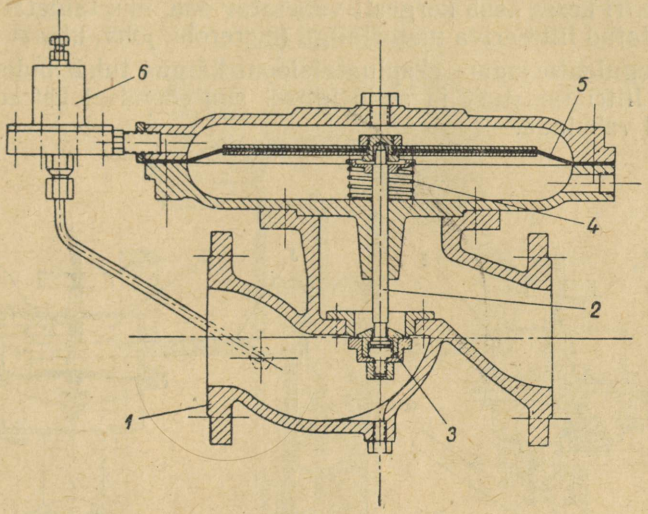
*1* — membraan; *2* — regulaatori kere; *3* — kere kaas; *4* — luuk; *5* — klapp; *6* — regulaatori hoovastik; *7* — raskus.

Piilootregulaatoreid kasutatakse gaasi algrõhu puhul kuni 2 atü, kui lõpprõhku soovitakse hoida piirides 500—3000 mm vs. Regulaatori (joon. 98) peamembraani alumisele pinnale mõjub gaasi algrõhk. Membraanipealne ruum ühendatakse toru kaudu piloodiga *6*.

Gaasi läbivoolu suurenemisel väheneb rõhk regulaatori taga. Piloodi membraan, mis on koormatud vedru abil gaasi lõpprõhule vastava kindla jõuga, saab impulsi ja nihkub allapoole. Sellega koos liigub allapoole ka vastav klapp, vähendades ristlõiget, mille kaudu gaasi rõhk mõjub peamembraanile ülevalt.

Selle tulemusena langeb rõhk peamembraani peal, mis sunnib membraani liikuma üles ja vastava kangsüsteemi kaudu avama klappi kuni piirini, mis on küllaldane tasakaalu saavutamiseks.

Gaasivoolu vähenemisel toimub protsess vastupidiselt.




Joon. 98. Pilootregulaator:

*1* — regulaatori kere; *2* — klapi varras; *3* — klapp; *4* — vedru; *5* — membraan; *6* — juhtregulaator (piloot).

Gaasiseadme ohutuks töötamiseks kasutatakse kaitseklappi (joon. 99), mis suleb gaasivoolu põletisse gaasi rõhu liigsel tõusmisel või langemisel.

Gaasi rõhk mõjub impulsstoru kaudu kaitseklapi membraani alla. Membraani vardaga on ühenduses katkestusvarb *5*, millele on kinnitatud pidurseade vasara *6* hoidmiseks ülestõstetud asendis. Klapitaldrik *1* hoitakse ülestõstetud asendis nurkhoovaga, mis toetub hambasse ja on selle kaudu ühenduses vahehoovaga.

Gaasi rõhu tõusmisel üle lubatava piiri ületab membraani alla mõjuv jõud hoovale *3* riputatud raskuse *4* mõju, liigub üles ja vabastab hoova *5* abil vasara *6*. Viimase löökraskus mõjub vahehoovale, pöörab seda ja vabastab nurkhoova hambast, mille tulemuseks on klapitaldriku allalangemine oma raskuse mõjul ja gaasivoolu sulgemine.

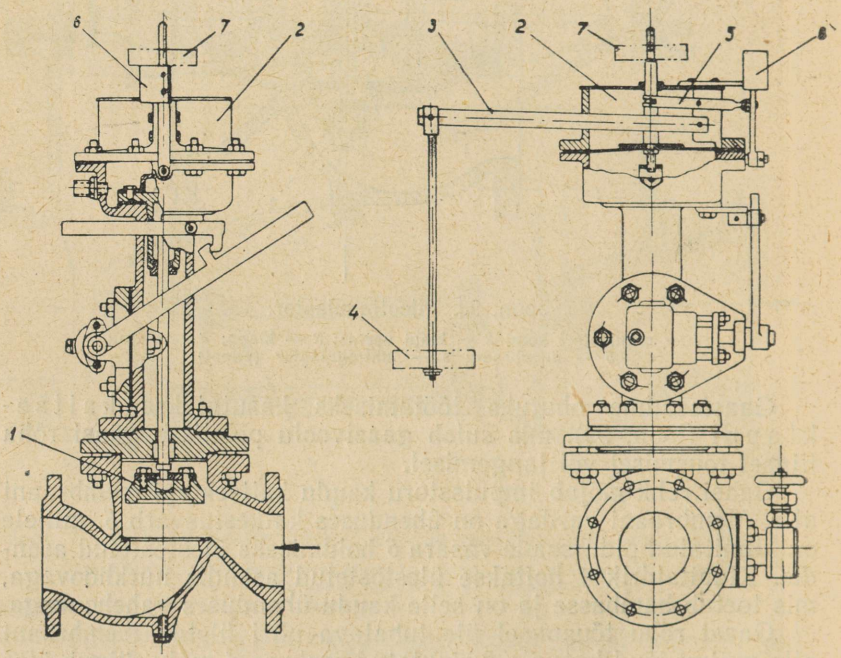
Rõhu langemisel alla lubatava piiri liigub membraan raskuse *7* mõjul alla, mille tagajärjel vabaneb samuti vasar *6* ja klapp sulgub.

Kaitseklapp reguleeritakse soovitavale maksimaalsele ja minimaalsele rõhule raskustega *4* ja *7*.

Niihästi regulaator kui ka kaitseklapp on väga tundlikud gaasis leiduvatele õliaurudele, tolmule jne., mis sadestuvad tihenduspindadele ja muudavad need ebatihedaks. Seepärast kasutatakse gaasi puhastamiseks f i l t r i t (joon. 100), mis asetatakse regulaatorseadme ette.

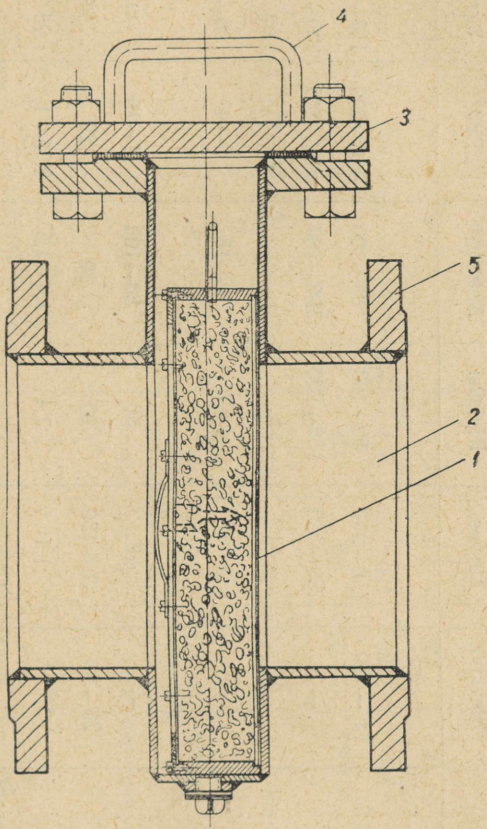
Filtri keres asub kergesti vahetatav osa, mis täidetakse õliga niisutatud filtreeriva materjaliga (mererohi, jõhv, klaasvatt).

Regulaatorjaama ekspluatatsiooni käigus tuleb pidevalt jälgida filtri takistust ja selle liigsel suurenemisel filtreeriv materjal vahetada.




Joon. 99. Kaitseklapp miinimum- ja maksimumrõhule:

*1* — klapi taldrik; *2* — membraanikarp; *3* — hoob; *4* — maksimumrõhu raskus; *5* — katkestusvarb; *6* — vasar; *7* — miinimumrõhu raskus.




Joon. 100. Filter:

*1* — kassett; *2* — kere; *3* — kaas;
*4* — käepide; *5* — äärik.

Tabel 20

**Kollete iseloomustavaid näitarve**

| Kolde töö näitajad | Käsitsi teenindatavad kolded | | | | | Šahtkolded | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Põlevkivi | Turvas | Kivisüsi | Antratsiit | Puit | Turvas | Puit |
| Restipinna koormus: loomulikul tõmbel kg/m²h | 140—160 | 150—200 | 50—100 | 80—100 | 150—200 | 150—250 | 150—250 |
| õhupuhumisel kg/m²h | — | 300—500 | 150—200 | 100—180 | 600—800 | 200—500 | 350—800 |
| Alarõhk koldes loomulikul tõmbel mm vs | 1—4 | 3—10 | 4—7 | 10—15 | 2—4 | 6—12 | 4—7 |
| Õhu rõhk puhumisel resti all mm vs | — | 40 | 50 | 80—100 | 4—15 | 40 | 40 |
| Õhu temperatuur ° | 20—50 | 20—150 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Liigõhutegur koldes | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,4—1,5 | 1,25—1,3 | 1,25—1,3 | 1,25 |
| Kolderuumi soojuslik erikoormus kcal/m³h | 220 000 | 250 000 | 250 000 | 300 000 | 300 000 | 300 000 | 300 000 |
| Keemiline kadu % | 4—6 | 2—3 | 4—6 | 5—6 | 1—3 | 1 | 1 |
| Mehaaniline kadu % | 4—6 | 2,5 | 2—4 | 2—4 | 1,5—2 | 4 | 4 |
| Kütja koormus kg/h | 500—600 | 500—600 | 500—600 | 500—600 | 600 | 900—1100 | 1000—1200 |

| Kolde töö näitajad | Lomšakovi rest | Ilmarise rest | Kettrest | | Šahtveskiga kolle | | Šeršnevi kolle | Tolmuküttekolle | Õliküttekolle | Gaasiküttekolle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Peenpõlevkivi | Peenpõlevkivi | Turvas | Kivisüsi | Põlevkivi | Freesturvas | Freesturvas | Kivisüsi | | |
| Restipinna koormus kg/m²h | 240—280 | 200—240 | 550—700 | 170—200 | | | | | | |
| Peegelpinna lubatud soojuslik erikoormus kcal/m²h | 700 000 | 550 000 | 2 100 000 | 1 100 000—1 300 000 | | | | | | |
| Alarõhk kolde ülaosas mm vs | 0—1,5 | 0—1,5 | 0—1,5 | 0—1,5 | 0—1,5 | 0—1,5 | 0—1,5 | 0—1,5 | 0—1,5 | 0—1,5 |
| Õhu rõhk puhumisel resti all mm vs | 40—80 | 10—20 | 60 | 60 | | | | | | |
| Õhu temperatuur ° | 200 | 150 | 150—250 | 200 | 250—350 | 250—350 | 300 | 300—400 | 150 | 150 |
| Liigõhutegur koldes | 1,5 | 1,5 | 1,3 | 1,25—1,3 | 1,25 | 1,3 | 1,25 | 1,2 | 1,15 | 1,15 |
| Kolderuumi lubatud soojuslik erikoormus kcal/m³h | 180 000 | 180 000 | 300 000 | 300 000 | 250 000 | 250 000 | 130 000 | 150 000 | 350 000 | 200 000<br>350 000 |
| Keemiline kadu % | 2—3 | 2—3 | 0,5—2,5 | 2 | 2—3 | 2—3 | 0,5—2 | 0,5—1 | 0,5—2 | 0,5—2 |
| Mehaaniline kadu % | 0,51 | 1,5—2,5 | 1—1,5 | 4,5—5,5 | | | 1—2 | 0,5—1 | — | — |

# VI. AURUKATLAD

## 35. AURUKATELDE ISELOOMUSTUS

Seadmete kompleksi, mis on vajalik auru tootmiseks, nimetatakse katelseadmeks. Seadet, kus toimub kütuses sisalduva keemilise energia muundumine soojuseks ning selle edasiandmine veele, aurule ja põlemisõhule, nimetatakse katelagregaadiks. Aurukatla mõiste kitsamas mõttes kuulub ainult sellele osale katelagregaadist, kus toimub vee aurustamine ja tekib küllastunud aur. Laiemas mõttes tarvitatakse sageli aurukatla nimetust kogu katelagregaadi kohta. Kasutame edaspidi aurukatla nimetust tema laiemas mõttes.

Katelseadme ja aurukatla üksikuid elemente tuleb vaadelda nende konstruktsiooni ajaloolise arenemise seisukohast. Vanemate aurukatelde võimsus oli väike. Mitmesugustel majanduslikel ja tehnilistel põhjustel ei kasutatud siis veel kõrgeid rõhke ja kõrgeid temperatuure. Kütmise tehnikat iseloomustasid siis lihtsad restid. Katla koormuse reguleerimine oli primitiivne ja katla teenindamine mehhaniseerimata. Katla toitevee ettevalmistus peaaegu puudus ja suuremalt osalt toideti katlaid toore veega.

Tööstuse ja tehnika üldine areng, seejuures energiaga varustamise tsentraliseerimine ning üksikute seadmete suurenemine, metallide tehnoloogia ja keemia, eriti vee keemia arenemine, püüd automatiseerida tehnoloogilisi protsesse ja katla teenindamist on viinud varasemate piirvõimsuste ületamisele. Kaasaegset katlaehituse tehnikat iseloomustavad kõrge soojusliku koormusega ja väikese akumulatsiooniga võimsad katlad, mis töötavad hästi ettevalmistatud veega ning mille teenindamine on automatiseeritud. Neid nõudeid rahuldavad kõige paremini veetorukatlad.

Kõikidest ehitatavatest katlatüüpidest on suuremat levikut leidnud need, kus toimub vee ja auru-vee segu loomulik tsirkulatsioon.

On hakatud kasutama ka katlatüüpe, milles veel ja auru-vee

segul on sundtsirkulatsioon. Vastavalt otstarbele on ehitatud väga mitmesuguse konstruktsiooniga katlaid.

Kehtivate normide kohaselt ehitatakse käesoleval ajal aurukatlaid tabelis 21 toodud näitajatega.

Tabel 21

Aurukatelde parameetrid ja aurutootlikkus (ГОСТ 3619-59)

| Auru rõhk ata | Auru temperatuur° | Toitevee temperatuur° | Nominaalne aurutootlikkus t/h |
|---|---|---|---|
| 9 | Küllastunud | 50 | 0,2; 0,4; 0,7; 1,0; (2,5) |
| 14 | Küllastunud | 50 | 2,5; 4; 6,5; 10 |
| | Ülekuumendatud 250 | 50 | 4; 6,5; 10 |
| | | 100 | 15; 20 |
| 24 | Küllastunud või ülekuumendatud | 100—145 | 4; 6,5; 10; 15; 20 |
| 40 | Ülekuumendatud 440 | 145 | 6,5; 10; 15; 20; 25; 35; 50; 75 |
| 100 | Ülekuumendatud 540 | 215 | 60; 90; 120; 160; 220; (430) |
| 140 | Ülekuumendatud 570 | 230 | 160; 210; 320; 420; 480 |
| 140 | Ülekuumendatud 570/570 (vaheülekuumendus) | 230 | (250); 320; 500; 640 |

Märkus. Sulgudes olevaid suurusi võib uute katelde juures kasutada ainult juhul, kui selleks on äärmine vajadus.

Võimsuse ja veemahu järgi liigitatakse katlad järgmiselt:

1. Võimsuse järgi:
   a) väikese võimsusega katlad — tootlikkusega alla 10 t/h;
   b) keskmise võimsusega katlad — tootlikkusega 10—75 t/h;
   c) suure võimsusega katlad — tootlikkusega üle 75 t/h.
2. Veemahu järgi:
   a) väikese veemahuga katlad — veemahuga alla 80 l/m²;
   b) keskmise veemahuga katlad — veemahuga 80—150 l/m²;
   c) suure veemahuga katlad — veemahuga üle 150 l/m².

Veemahtu arvestatakse liitrites katla küttepinna ühe ruutmeetri kohta.

## 36. ÜLDMÕISTEID AURUKATLAST JA SELLE TÖÖTAMISEST

Lihtne aurukatel kujutab tugevat kinnist metallanumat, mida soojendatakse kuumade gaasidega ja mis on määratud ülerõhuga auru tootmiseks.

Aurukatel koosneb tavaliselt kumerate põhjadega trumlist ja aurukogujast, kust auru välja võetakse. Katla juurde kuuluvad veel pääsuluugid ja aurutorustik. Trumlis on rida avasid armatuuri ühendamiseks. Esipõhja külge seatakse üles manomeeter ja veeklaas, aurukogujale kaitseklapp ja pea-auruventiil. Toiteliinis asuvad toiteventiil ja tagasilöögiklapp. Trumli alumine osa varustatakse väljalaskeventiiliga.

Katla koldes toimub kütuse põlemine, mille tulemusena vabaneb soojus ja tekivad kuumad suitsugaasid, mis soojendavad katelt. Kütus asub kolde allosas oleval restil. Põlemiseks vajalik õhk juhitakse kütuse juurde restipilude vahelt. Resti all asuv tuharuum on vajalik põlemisõhu jaotamiseks resti ulatuses ja tuha väljavõtmiseks. Kolderuumis toimub kütusest eraldunud lendosade põlemine leegina.

Et kindlustada küttepindade head kokkupuutumist suitsugaasidega ja vältida soojuse hajumise võimalust ümbritsevasse ruumi, varustatakse katel müüritisega. Viimane moodustab kolderuumi ja suitsukäigud. Kolde müüritise sisemine osa ehk vooder ehitatakse tulekindlatest kividest. Müüritise väline osa ehitatakse tavalistest punastest tellistest. Müüritis ei tohi takistada katla töötamisel tema soojenemisest tingitud paisumist. Selleks jäetakse müüritisse vahed, mis tihendatakse asbestnööriga. Müüritises on avad, mille kaudu on võimalik juurdepääs gaasikäikudele nende puhastamiseks tuhast, ja suletavad vaateavad kolde töö jälgimiseks. Katel koos tema kandesõrestikuga toetub vundamendile.

Suitsugaasid juhitakse atmosfääri suitsukäikude ja korstna kaudu. Korstna tõmbe reguleerimiseks asetatakse viimasesse suitsukäiku siiber.

Katla töötamine koosneb järgmistest omavahel seotud protsessidest:

a) kütuse põlemine, milleks on vajalikud kütus ja õhk. Seejuures tekivad kuumad gaasid, räbu ja tuhk;

b) soojuse üleandmine kuumadelt gaasidelt katlaseintele ja sealt veele;

c) katlasse juhitava vee soojendamine kuni keemistemperatuurini ja vee muutmine auruks, mis juhitakse katlast välja;

d) suitsugaaside väljajuhtimine suitsukäikudest atmosfääri;

e) tuha ja põlemata jäänud kütuseosade koristamine.

Põlemise alalhoidmiseks on vaja koldesse anda kütust, juhtida juurde õhku ja koristada tuhka ning räbu.

Soojuse levimine katlas toimub kolmel viisil: kiirgumise, konvektsiooni ja soojusjuhtivuse teel (vt. p. 5).

Lihtsas katlas ei soojenda gaasid kogu katlapinda. Kuumade gaaside kokkupuutumist katla ülemiste osadega takistavad võlvid. Need moodustavad katlapindadel joone, millest kõrgemale kuumad gaasid ei saa tungida. Seda joont nimetatakse tulejooneks. Kõige madalam veeseis katlas peab olema vähemalt 100 mm kõrgemal kui tulejoon. Normaalne ehk tööveeseis hoitakse katlas 50—100 mm kõrgemal kõige madalamast veeseisust, seega 150—200 mm kõrgemal tulejoonest. Iga kütja peab teadma, kus on tema poolt köetava katla tulejoon, ja

hoolitsema, et tulejoont moodustavad võlvid oleksid korras. Mõne kivi väljalangemisel võivad gaasid katlaga kokku puutuda kõrgemal kui veeseis katlas ja selle tagajärjel katla metalli selles kohas üle kuumutada, sest aur jahutab katlaseina tunduvalt halvemini kui vesi. Metalli ülekuumenemine on katla raskete avariide põhjuseks. Sama juhtub, kui veeseis katlas on lubatavast madalam.

Samuti ei ole lubatav ka liiga kõrge veeseis katlas. Seepärast tähistatakse katlal kõige madalam ja kõige kõrgem lubatav veeseis. Veeseisu jälgimist katlas võimaldavad veeklaas ja proovikraanid. Proovikraanid asetatakse kõige madalama ja kõige kõrgema veeseisu joonele. Vastavad märgid tehakse ka veeklaasile. Katla osa, mis on täidetud veega, nimetatakse veeruumiks ja osa, mis on täidetud auruga, aururuumiks. Veepinda katlas, mille kaudu katla töötamisel aur veest eraldub, nimetatakse aurutuspeegliks. Katla töötamisel on tema vee- ja aururuumil suur tähtsus.

Gaaside soojus antakse katlas olevale veele üle pinna kaudu, mis puutub kokku ühelt poolt kuumade gaasidega ja teiselt poolt veega. Seda pinda nimetatakse katla küttepinnaks ja seda mõõdetakse ruutmeetrites gaasidepoolsest küljest. Teisiti väljendades on see katla koldepoolne pind, mida piirab tulejoon.

Vee soojenemine ja auru tekkimine katlas toimub niisamuti kui lahtises anumas. Küttepindadega kokkupuutuvad veeosakesed soojenevad ja paisuvad, mille tagajärjel nad muutuvad külmema vee osakestest kergemaks ja tõusevad üles. Soojema vee ülestõusmine ja külmema vee allalangemine tekitab katlas pideva vee liikumise — tsirkulatsiooni. Kui vee temperatuur on tõusnud kuni keemistemperatuurini, tekivad küttepindadel aurumullid, mis, olles veest tunduvalt kergemad, tungivad üles suurema kiirusega kui soe vesi ja suurendavad seega omakorda tsirkulatsiooni. Mida rohkem soojust antakse üle katla küttepindadele, seda rohkem tekib auru. Aurumullid veest väljatulekul lõhkevad ja panevad aurutuspeegli voogama, mille tõttu veepind veeklaasis hakkab kõikuma. Küllastunud aur võtab veest aurutuspeegli kaudu aururuumi tungimisel endaga kaasa veetilgakesi. Kui aurutuspeegel on väike ja aururuumi suurus mitteküllaldane, saadakse katlas väga niisket auru. Auru liikumine aururuumis aeglustub ja auru poolt kaasa viidud niiskus langeb veetilgakestena veeruumi tagasi. Seega aurutuspeegli ligidal on auru niiskus kõige suurem. Aurukoguja moodustab ruumi aurutuspeeglist võimalikult kaugel ja tema ülesandeks on kindlustada katlast võimalikult kuiva küllastunud auru saamist. Kuiva auru saamiseks kasutatakse suuremais katlais eriseadeldisi, auru separaatoreid.

Aur juhitakse katlast kas auruülekuumendisse või otse aurutorustikku ja sealt tarbijale. Auruülekuumendi koosneb peenikestest torudest, mida kuumutatakse gaasidega. Aur torusid läbides esialgu kuiveneb ja edasi kuumeneb üle kuni nõutava temperatuurini. Auruülekuumendi seatakse üles tavaliselt katla esimese ja teise gaasikäigu vahele. Et vee aurustumisel vee hulk katlas väheneb, siis tuleb veeseisu hoidmiseks nõutaval kõrgusel katelt veega *toita*. Katla õigeks töötamiseks tuleb teda toita pidevalt või (väikekatelde puhul) võimalikult sagedasti väikestes hulkades. Liiga suure veehulgaga toitmisel katel jahtub, auru rõhk langeb ja katla poolt toodetava auru hulk väheneb. Katelt toidetakse veega *toiteseadmete* abil toitetorustiku kaudu läbi tagasilöögiklapi.

Auruhulka kilogrammides või tonnides, mida katel annab tunnis, nimetatakse katla *aurutootlikkuseks* ehk *aurutusjõudluseks*. Katla aurutootlikkus (samuti ka katla küttepinna suurus) iseloomustab katla suurust. Katelde töötamise efektiivsuse hindamisel võetakse aluseks see auruhulk, mida katel annab tunnis oma küttepinna ühe ruutmeetri kohta ($kg/m^2h$); seda nimetatakse *küttepinna erikoormuseks*.

Mida rohkem gaasid jahtuvad katlas, s. o. mida madalam on nende temperatuur korstnasse minekul, seda rohkem soojust kasutatakse katlas kasulikult ja seda väiksem on kütuse kulu. Gaaside temperatuuri alandamiseks ja toitevee soojendamiseks enne katlasse jõudmist seatakse tavaliselt katla taha üles *toitevee-eelsoojendi* ehk *ökonomaiser*, mis moodustab katla *järelküttepinna*.

Gaasid, mis läbivad katla, annavad oma teekonnal soojust küttepindadele, mille tagajärjel nende temperatuur langeb. Seega katla esiosa, kus gaaside temperatuur on kõrgem, võtab nii kiirgamise kui ka konvektsiooni teel vastu tunduvalt rohkem soojust kui tagumine osa ja vastavalt sellele toodab ka rohkem auru. Katla töötamisel ei ole tema küttepinnad praktiliselt kunagi puhtad, vaid kattuvad gaaside poolelt tuha ja tahmaga ning vee poolelt vees sisalduvate lisanditega, mis moodustavad *katlakivi*, või ka õliga, mis vahel satub vette. Tuhk, tahm, katlakivi ja õli on väga halvad soojusjuhid, mis halvendavad tunduvalt soojuse ülekannet gaasidelt veele. Kui küttepinnad on gaaside poolelt puhtad, kuid vee poolelt kaetud katlakivikihiga, siis soojuse ülekanne leegilt ja gaasidelt metallile on hea, kuid metallilt veele takistatud. Selle tulemusena katlaseina temperatuur tõuseb sõltuvalt katlakivi paksusest ja tema soojusjuhtivusest. Mida paksem on katlakivi kiht ja mida väiksem tema soojusjuhtivus, seda rohkem kuumenevad katla seinad, mille tagajärjel väheneb nende tugevus. Temperatuuri juures 300° on metalli vastupidavus juba tunduvalt väiksem, kuid

500—600° juures juba sedavõrd väike, et katlaseinad auru rõhu tõttu kergesti välja paisuvad. Järelikult võib katlakivi olemasolu põhjustada katla töötamise ökonoomsuse vähenemise kõrval ka katla lõhkemist. Kui katlakivi küttepindadel puudub ja tsirkulatsioon katlas on korras, siis võib katel töötada ohutult igasuguse soojusülekandega või, nagu öeldakse, igasuguse soojusliku koormusega. Tahma ja tuha tõttu langeb veidi katla seina temperatuur, kuid tunduvalt halveneb soojuse ülekanne gaasidelt veele. Seega tule poolelt mustunud küttepinnad vähendavad katla töötamise ökonoomsust. Kütja üheks tähtsamaks ülesandeks on hoida katla küttepinnad puhtad. Soojushulka, mida võtavad vastu küttepinnad ja annavad edasi veele auru tekitamiseks, nimetatakse kasulikuks soojuseks. See on väiksem kui kütuse põlemisel vabanev soojushulk, kuna osa soojust läheb kaduma kuumade korstnagaasidega, osa kulub müüritise soojendamiseks ja osa muudeks kadudeks.

Katla töötamise ökonoomsust hinnatakse tema kasuteguri järgi, mis näitab kasuliku soojuse osa kütuse põlemisel vabanenud üldisest soojushulgast. Kasutegur on alati väiksem kui üks ehk väiksem kui 100%.

Põlemiseks vajalik õhk juhitakse koldesse lihtsamate katelde juures tõmbe abil. Tõmmet tekitab korsten. On teada, et soojenemisel gaasid paisuvad ja muutuvad kergemaks. Kuumad gaasid suitsukäikudes ja korstnas on tunduvalt kergemad õhust. Seega õhk, mis tungib koldesse, tõrjub kergemad gaasid korstna kaudu välja. Kuumade gaaside väljatõrjumise jõudu, mis tekib gaaside ja välisõhu erikaalude vahe tõttu, nimetatakse tõmbeks. Mida kõrgem on korsten ja suitsugaaside temperatuur, seda tugevam on tõmme. Korstna poolt tekitatud tõmmet nimetatakse loomulikuks tõmbeks, erinevalt kunstlikust tõmbest, mis saavutatakse peamiselt tõmbeventilaatorite abil.

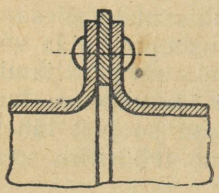
## 37. LEEGITORUKATLAD

Leegitorukatlad koosnevad suure läbimõõduga (kuni 2,5 m) silindrist, mis on otstest suletud kumerate põhjadega. Üks või kaks väiksema läbimõõduga (0,6—1,25 m) toru läbib katla veeruumi ühest põhjast kuni teiseni ja on kinnitatud põhjade külge. Neid torusid nimetatakse leegitorudeks. Vastavalt leegitorude arvule jagatakse leegitorukatlad ühe ja kahe leegitoruga kateldeks.

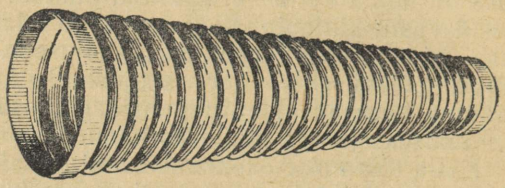
Leegitorud valmistatakse kas siledatena või lainelistena. Pikisuunas koostatakse leegitorud üksikutest osadest ehk lülidest. Siledate torude lülid valmistatakse terasplekist, mis painutatakse torudeks valtspingil. Lülide pikiõmblused keevitatakse.

Üksikud lülid ühendatakse omavahel kas eriliste tihendusrõngastega (joon. 101) või keevituse teel.

Laineliste leegitorude üksikud lülid valmistatakse erilistel pinkidel ühest metallitükist, s. o. ilma pikiõmbluseta, ja ühendatakse omavahel elektrikeevitusega. Võrreldes siledate leegitorudega on lainelistel torudel (joon. 102) sama läbimõõdu juures suurem küttepind, tugevus ja elastsus. Nendel põhjustel eelistatakse lainelisi leegitorusid siledatele.



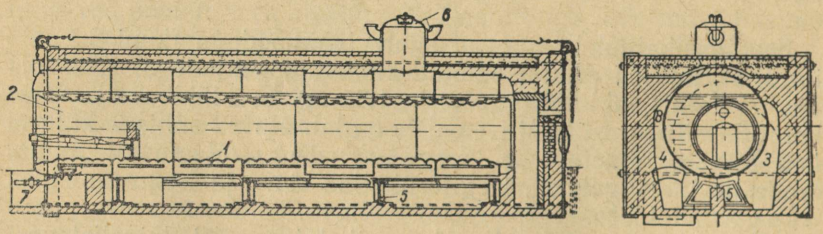
Joon. 101. Katla leegitoru lülide elastne ühendus tihendusrõnga abil.



Joon. 102. Laineline leegitoru.

Tavaliselt ehitatakse leegitorukatlad kolme suitsukäiguga. Kuumad gaasid juhitakse pärast leegitoru (s. o. esimese käigu) läbimist trumli välisküljel asuvasse teise käiku, mida mööda gaasid voolavad ette, ning edasi trumli välisküljel taha viivasse kolmandasse suitsukäiku ja sealt korstnasse.

Ühe leegitoruga katel on kujutatud joonisel 103. Lainelises leegitorus asub käsitsi teenindatav plaanrestiga varustatud kolle. Veeklaas, proovikraanid ja manomeeter on kinnitatud katla esipõhja külge. Toitevesi juhitakse katlasse esipõhja kaudu või ülevalt katla esiossa. Toitetoru ots asetseb katlas kõige madalama veeseisu joonest madalamal. Katel on varustatud aurukogujaga *6*, mille külge ühendatakse aurutorustik ja kaks




Joon. 103. Ühe leegitoruga katel:

*1* — laineline leegitoru; *2* — kolle; *3* — teine suitsukäik; *4* — kolmas suitsukäik; *5* — alustugi; *6* — aurukoguja; *7* — väljalaskekraan; *8* — tulejoon.

kaitseklappi. Kuna leegitorukateldel on suur aururuum, võivad nad töötada ka aurukogujata. Katla esipõhja alumises osas on väljalaskekraan 7. Katel toetub malmtugedele 5. Seejuures on tagumine tugi kinnitatud liikumatult, kuna ülejäänud on asetatud rullidele katla vabaks termiliseks paisumiseks.

Kõige intensiivsemalt soojeneb vesi ja tekib aur leegitoru ja trumli vahelises kõige kitsamas kohas (leegitoru on nihutatud tsentrist kõrvale). Siin tõuseb auru ja vee segu üles. Leegitoru ja katla trumli vahelises vasakpoolses suuremas vahes langeb vesi alla. Võrdlemisi hea tsirkulatsioon ühe leegitoruga kateldes lubab kiirendada nende sissekütmist.

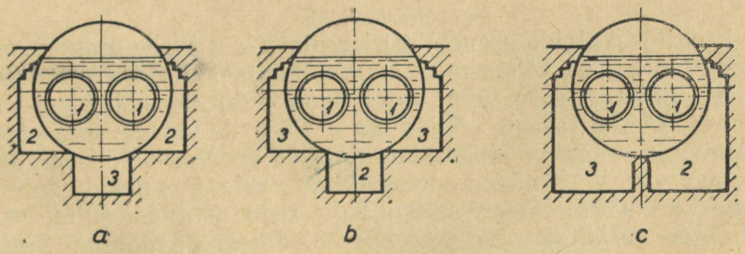
Katla küttepinna moodustavad leegitoru ja trumli ning tagumise põhja osad kuni tulejooneni 8.

Ühe leegitoruga katlaid ehitatakse tavaliselt küttepinnaga 13—70 m², töörõhule 4—13 atü. Varem valmistati katlaid needitud õmblustega, kuid viimasel ajal on üle mindud ainult keevitatud õmblustele.

Ühe leegitoruga katla küttepinna erikoormus on kuni 22 kg/m²h, veemaht 190—240 l/m² ja auruülekuumendita katla kasutegur kuni 0,65. Neid kasutatakse väikestes katlamajades statsionaarsete kateldena.

Kahe leegitoruga katel on sarnane ühe leegitoruga katlaga. Restid asuvad mõlemas leegitorus, mille tõttu kahe leegitoruga katla aurutootlikkus on suurem.

Kahe leegitoruga katla müüritist on võimalik ehitada kolmel viisil (joon. 104). Skeemil *a* juhitakse leegitorudest tulevad kuumad gaasid katla mõlemat külge mööda ette (teine suitsukäik) ja sealt katla alt (kolmas suitsukäik) korstnasse. Seejuures trumli kuumenemine ei ole ühtlane. Küljed kuumenevad rohkem kui alumine osa, mis kutsub esile materjalis kahjulikke pingeid. Skeemil *b* suunduvad leegitorudest tulevad kuumad gaasid katla all olevat kanalit mööda ette ning edasi külgmisi kanaleid mööda taha. Seejuures saadakse trumli ühtlasem kuumenemine, kuid trumli alumisse ossa koguneva muda tõttu võib




Joon. 104. Kahe leegitoruga katla müüritise skeemid.
*1* — esimene suitsukäik; *2* — teine suitsukäik; *3* — kolmas suitsukäik.

esineda trumli seina ülekuumenemine. Skeemil *c* kujutavad esimest suitsukäiku leegitorud, teist parempoolne kanal, kust gaasid tulevad ette, ja kolmandat — vasakpoolne kanal, kust gaasid juhitakse uuesti taha. Sel juhul saavutatakse kõige ühtlasem seinte kuumenemine, hea soojuse ülekanne, lihtne müüritis ja hõlpus suitsukäikude puhastamise võimalus. Kahe võrdlemisi kõrgele paigutatud ja suhteliselt väikese läbimõõduga leegitoru tõttu soojeneb vesi katla trumli alumises osas halvemini, mistõttu tsirkulatsioon on nõrgem. Seepärast kuumeneb sissekütmisel katla trummel väga ebaühtlaselt ja metalli temperatuuri erinevus katla ülemises ja alumises osas tõuseb kuni 150°-ni. Sellest tingituna tuleb katelt sisse kütta aeglaselt. Katla töötamisel soojeneb vesi leegitorude vahel hästi ja peale auru tekkimise algust paraneb tsirkulatsioon.

Katla leegitorude pind moodustab umbes poole katla kogu küttepinnast ja võtab vastu kuni 85% soojushulgast. Teises suitsukäigus asuv küttepind võtab vastu 11—14% soojusest ja kolmandas suitsukäigus asuv ainult 1—4%.

Kahe leegitoruga katlaid ehitatakse töörõhule 4—13 atü, kusjuures katla küttepind ulatub 50—120 $m^2$-ni. Katla küttepinna erikoormus on 20—30 kg/$m^2$h, veemaht 180—230 l/$m^2$ ja kasutegur kuni 0,65. Kahe leegitoruga katlad on väikestes katlamajades statsionaarkateldena laialt levinud.

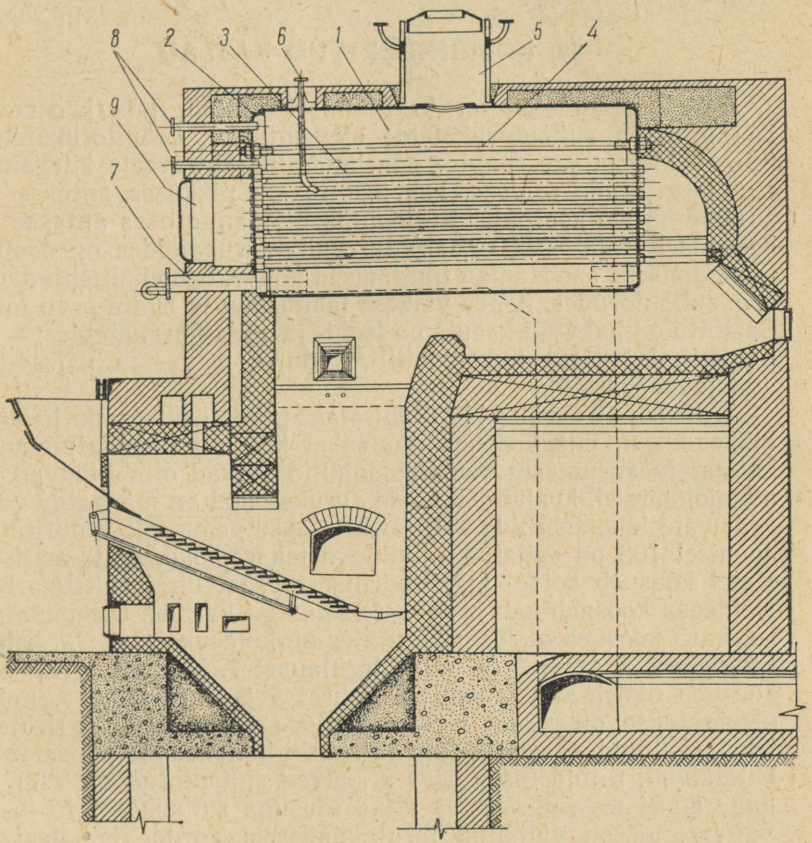
Nii ühe kui ka kahe leegitoruga katelde headeks omadusteks on hooldamise ja remondi lihtsus, kindel töötamine käsitsi kütmisel, ebaühtlasel katla toitmisel ja muutlikul auru tarbimisel ning hea ligipääs ülevaatuseks ja puhastamiseks.

Puudusteks on aeglane sissekütmine, raske kaal, suur põrandapinna tarvidus, suur oht katla lõhkemiseks suure veemahu tõttu, mittekõlblikkus madala kütteväärtusega kütuste kasutamiseks ilma ees- või allkoldeta, konstruktsiooni mittevastavus kõrgemate rõhkude kasutamiseks ja halb tsirkulatsioon.

## 38. SUITSUTORUKATLAD

Leegitorukatelde arenemisel leegitorude arvu suurenemise ja nende läbimõõdu vähenemise suunas kujunesid välja suitsutorukatlad. Lihtsam seda tüüpi katel (joon. 105) koosneb trumlist *1*, mis on suletud tasaste põhjadega *2*. Põhjade vahele on asetatud palju väikese läbimõõduga suitsutorusid *3*, mida mööda liiguvad kuumad gaasid. Kolle on asetatud katla alla, kus moodustub esimene suitsukäik. Teise suitsukäigu moodustavad suitsutorud. Viimased valtsitakse torulaudades olevatesse avadesse. Suitsutorude otsad ei ole ühesugused: esipõhjas nende läbimõõtu suurendatakse mõne millimeetri võrra, tagapõhjas vähendatakse.

Seega muutub kergemaks torude kohaleasetamine ja väljavõtmine. Et tasaste põhjade vastupidavus katla sisemisele rõhule on väike, siis suurendatakse põhjade vastupidavust ankurpolti-




Joon. 105. Suitsutorukatel:

*1* — katla trummel; *2* — põhjad; *3* — suitsutorud; *4* — ankurpoldid; *5* — aurukoguja; *6* — toitetoru; *7* — läbipuhumistoru; *8* — veeklaasitutsid; *9* — suitsukarp.

dega *4* ja sel teel, et osa suitsutorusid võetakse paksema seinaga ja kinnitatakse põhjadesse keerme abil (ankurtorud).

Suitsutorukatelde nõrgaks küljeks on lekkimise oht torude valtsimiskohtades, trumli väljapaisumise oht tema alumises osas kolde kohal, halb kohandatavus muutlikule koormusele ja torude raske puhastamine katlakivist.

Suitsutorukatelde küttepinna erikoormus on 20—25 kg/m²h, töörõhk 6—10 atü, kasutegur kuni 0,70, veemaht 45—60 l/m² ja metalli kulu 45—55 kg/m².

Suitsutorukatlaid ehitatakse kahe, enamikul juhtudel aga kolme suitsukäiguga.

## 39. KOMBINEERITUD KATLAD

Tööstusseadmetes on kasutamisel katlad, mis koosnevad leegitoru- ja suitsutorukatelde elementidest. Leegitorukateldes toimub intensiivne soojuse edasiandmine katlaveele kiirgamise teel leegitorude esiosas, kus 2,5—3,5 m pikkuses antakse üle 55 000—65 000 kcal/m²h. Küttepinna ülejäänud osas antakse üle keskmiselt 6000—7000 kcal/m²h. Suitsutorukateldes on soojuse üleandmiseks soodsamad tingimused konvektsioonküttepindadel, s. o. suitsutorudes, nende väikese läbimõõdu ja suure arvu tõttu. Seetõttu on hakatud kasutama leegi- ja suitsutorukateldest kombineeritud katlaid (lokomobiili-, veduri-, laeva- ja väiksemad statsionaarkatlad).

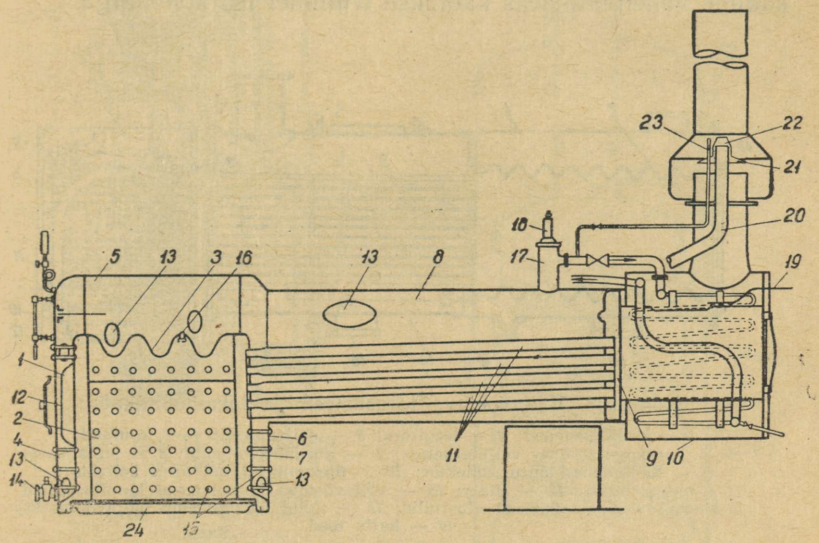
Lokomobiilikatlad ehitatakse tavaliselt osana lokomobiilseadmest, mis koosneb omavahel kindlalt ühendatud aurukatlast ja aurumasinast. Lokomobiilid võivad olla liikuvad või statsionaarsed, kusjuures nende aurukateldel on märgatav vahe. Liikuvate lokomobiilide katlad ehitatakse peamiselt veduritüüpi. Joonisel 106 on esitatud Ljudinovo tehase lokomobiil mark П. Katel koosneb kolde- ja silindrilisest osast ning suitsukarbist. Koldeosa koosneb kahest tasaste seintega karbist. Sisemine ehk tulekarp koosneb otslehest *1*, milles on koldeukse-ava *12*, kahest külglehest *2*, laest *3* ja kolde torulauast *7*. Väliskarp ehk kere koosneb otslehest *4*, ülemisest lehest *5* ja sarvlehest *6*. Lehed ühendatakse omavahel elektrikeevituse teel. Ülemisse lehte *5* tehakse augud, et võimaldada tulekarbi lainelise lae puhastamist katlakivist. Silindrilises osas *8* asuvad suitsutorud *11* läbimõõduga 60/54 mm, mis on asetatud tõusuga suitsukarbi *10* poole. Suitsutorud on valtsitud torulaudadesse. Torude kohaleasetamise ja väljavõtmise hõlbustamiseks on nende koldepoolsed otsad 2 mm võrra kokku löödud ja suitsukarbipoolsete otste läbimõõt 4—5 mm võrra suurendatud. Katla ülevaatamiseks ja suitsutorude puhastamiseks on luuk *13*. Silindrilisele osale asetatakse aurukoguja *17*.

Katla küttepinna moodustavad tulekarp, suitsutorud ja suitsukarbi torulaud kuni veeseisu jooneni. Lokomobiili П-25 küttepinna suurus on 10,8 m², lokomobiilil П-75 — 21,7 m². Tulejoone moodustab lainelise lae ülemine osa.

Kere otslehele paigutatakse veeklaas, proovikraanid, manomeeter ja väljalaskekraan (alumises osas). Tagasilöögiklapp ja

vee sulgkraan paigutatakse kere parempoolsele küljele. Kaitseklapp asetatakse aurukogujale. Tulekarbi lainelise lae ühe laine ülemisse ossa asetatakse kergesti sulav kaitsekork *16*.

П-lokomobiilid varustatakse suitsukarpi asetatud ülekuumendiga, mis võimaldab auruülekuumendust 300—350°. Ülekuumendi küttepind on lokomoliilil П-25 5,1 m² ja lokomobiilil П-75



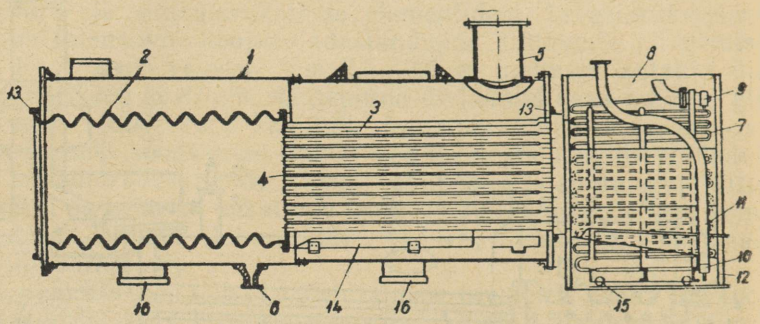

Joon. 106. Veduritüüpi lokomobiilikatel:

*1* — tulekarbi otsleht; *2* — tulekarbi külglehed; *3* — tulekarbi lagi; *4* — väliskarbi otsleht; *5* — väliskarbi ülemine leht; *6* — sarvleht; *7* — kolde torulaud; *8* — katla silindriline osa; *9* — suitsukarbi torulaud; *10* — suitsukarp; *11* — suitsutorud; *12* — koldeuks; *13* — luuk; *14* — läbipuhumiskraan; *15* — sidepoldid; *16* — kaitsekork; *17* — aurukoguja; *18* — vedru-kaitseklapp; *19* — siiber gaaside ümbersuunamiseks möödakäiku; *20* — aurumasina väljavisketoru; *21* — sädemepüüdja; *22* — koonus; *23* — sifoon; *24* — plaanrest.

10 m². Suitsukarpi asetatakse ka sädemepüüdja. Suitsugaasid liiguvad tulekarbist suitsutorude kaudu suitsukarpi, kus nad puutuvad kokku auruülekuumendiga ja väljuvad korstna kaudu atmosfääri. Kõige suurem hulk soojust neeldub tulekarbi pinna kaudu. Katla töörõhk on 13 atü, küttepinna erikoormus 20—30 kg/m²h, kasutegur ülekuumendi kasutamisel 0,60—0,70 ja veemaht kuni 90 l/m².

Liikuvad lokomobiilikatlad on kerged, nõuavad vähe ruumi, vajavad sissekütmiseks 1,5—2 tundi, omavad küllalt kõrget küttepinna erikoormust ja võimaldavad kütuse soojuse rahuldavat kasutamist.

Statsionaarsed lokomobiilikatlad (joon. 107) ehitatakse küttepindade katlakivist puhastamise hõlbustamiseks väljavõetava torusüsteemiga. Väljavõetav süsteem koosneb leegitorust *2*, torulaudadest *4* ja suitsutorudest *3*, s. t. moodustab kogu küttepinna. Väljavõetav süsteem on kinnitatud poltidega katla kere külge. Leegitoru tehakse tavaliselt laineline. Katla ehitus ja armatuuri paigutus on sarnane liikuvate katelde omaga. Soojuskadude vähendamiseks kaetakse trummel isolatsiooniga.




Joon. 107. Väljavõetava torusüsteemiga lokomobiilikatel:

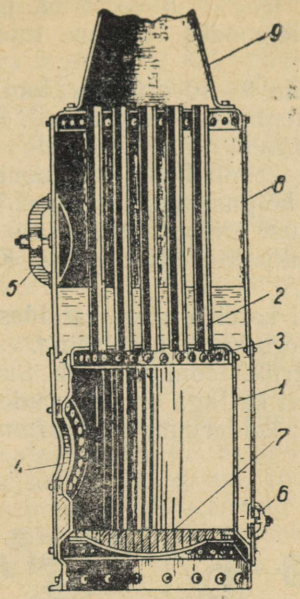
*1* — katla trummel; *2* — leegitoru; *3* — suitsutorud; *4* — torulaud; *5* — aurukoguja; *6* — väljalasketuts; *7* — auruülekuumendi; *8* — suitsukarp; *9* — küllastunud auru kollektor; *10* — ülekuumendatud auru kollektor; *11* — peaaurutoru; *12* — siiber; *13* — väljavõetava torusüsteemi kinnituspoldid; *14* — väljavõetava süsteemi alusrullid; *15* — rullid ülekuumendi väljavõtmiseks; *16* — katla toed.

Mainitud katelde (mark CK) küttepinna suurus on 23—97,6 m², auruülekuumendi küttepind 27—86 m², töörõhk 15 atü, auru temperatuur 330—370°. Katla kasutegur ülekuumendi kasutamisel on 0,70—0,75 ja veemaht kuni 90 l/m².

P ü s t k a t l a i d kasutatakse väikese aurutarviduse puhul. Statsionaarsed püstkatlad seatakse üles vundamendile, millesse jäetakse tuharuum. Armatuur paigutatakse väliskerele. Korstnakäiku asetatakse pööratav klapp tõmbe reguleerimiseks.

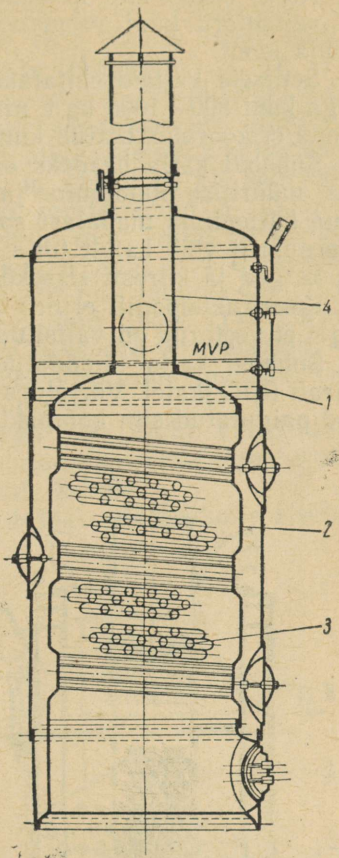
Suitsutorudega püstkatel (joon. 108) koosneb silindrilisest kerest *8*, kuhu on paigutatud leegitoru *1*, kaks torulauda *3* ja suitsutorud *2*.

Keres on koldeukse-ava *4*, mille kaudu visatakse sisse kütust plaanrestile *7*. Katla ülevaatuse ja katlakivist puhastamise võimaldamiseks on luugid *5* ja *6*. Suitsutorud asuvad osaliselt vee-, osaliselt aururuumis. Tulejooneks loetakse leppeliselt leegitoru torulauda. Katla küttepinna moodustavad leegitoru ja suitsutorude osad, mis asuvad veeruumis.

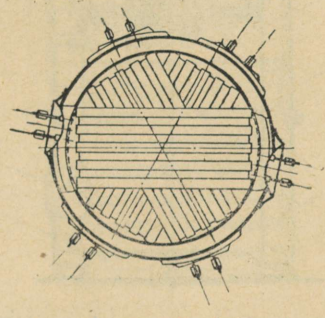



Joon. 108. Suitsutorudega püstkatel:

*1* — leegitoru; *2* — suitsutorud; *3* — torulaud; *4* — koldeukse-ava; *5*, *6* — luugid; *7* — plaanrest; *8* — katla kere; *9* — korsten.




Kombineeritud katelde hulka kuuluvad ka Suhhovi katlad (joon. 109). Katel koosneb püstisest kumera põhjaga leegitorust *2* ja tema seintesse väikese kallaku all valtsitud veetorudest läbimõõduga 51/56 või 76/82 mm. Torude vahetamiseks ja puhastamiseks vee poolelt on katla keres veetorude kohal ette nähtud puhastusluugid. Leegitoru kumerale põhjale toetub suitsutoru *4* ja viimasele korsten.



Joon. 109. Suhhovi püstkatel:

*1* — väliskere; *2* — leegitoru; *3* — veetorud; *4* — suitsutoru

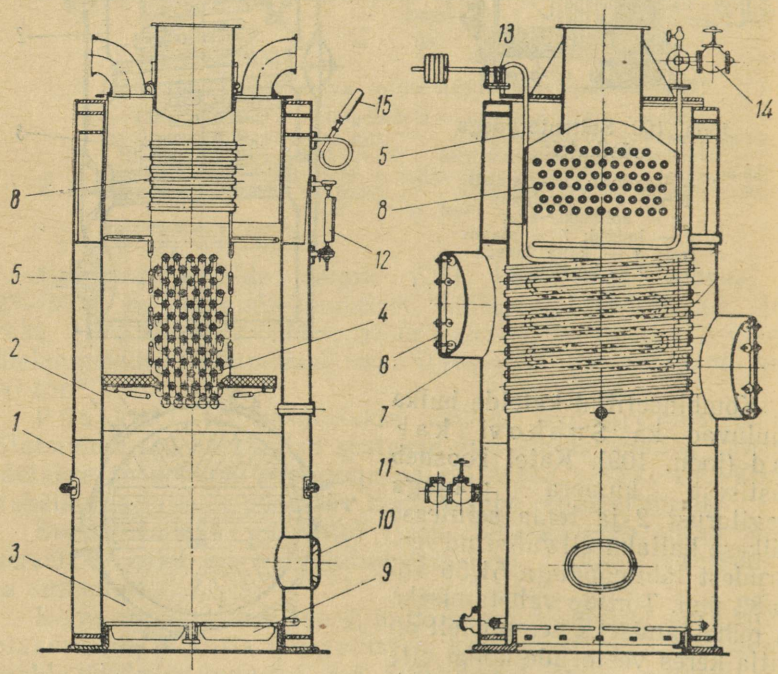
Katla küttepinna moodustavad: leegitoru, veetorud, põhjad ja suitsutoru kuni veenivooni. Tulejooneks loetakse tulekarbi põhja joont.

Selliseid katlaid ehitatakse rõhule 8—10 atü, aurutootlikkusega kuni 800—1000 kg/h ning küttepinnaga kuni 35 $m^2$. Küttepinna erikoormus ulatub kuni 30 kg/$m^2$h.

Šuhhovi katla headeks omadusteks on konstruktsiooni lihtsus, müüritise puudumine ja katla hõlpus monteerimine. Tingituna küttepinna madalast soojuslikust erikoormusest ja suurest veeruumist võib katelt toita madalakvaliteedilise veega. Katlad on kerged ja kiiresti sisseköetavad.

Konstruktsioonilt erineb Šuhhovi katel teistest kateldest sellega, et veetorud on valtsitud leegitoru kumerasse seina.

Šuhhovi katla täiendatud konstruktsiooni kujutab Šuhhov-Sarafi (ШС-)katel. Võrreldes Šuhhovi katlaga on veetorude kimbud paigutatud siin kompaktsemalt; kolderuum on avaram, mis




Joon. 110. ВТКБ-katel:

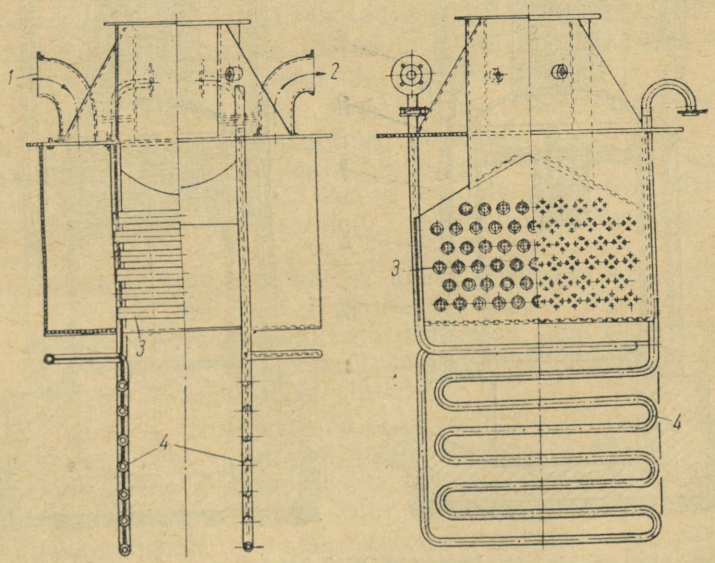
*1* — väliskere; *2* — sisemine silinder; *3* — kolle; *4* — veetorud; *5* — auruülekuumendi; *6* — luuk; *7* — tugirõngas; *8* — õhueelsoojendi; *9* — rest; *10* — koldeuks; *11* — toiteventiil tagasilöögiklapiga; *12* — veeklaas; *13* — kaitseklapp; *14* — auruventiil; *15* — manomeeter.

kindlustab gaaside täielikumat põlemist. Veetorude läbimõõt on väiksem — 46/51 mm. Suhhov-Sarafi katlaid ehitatakse töörõhuga 8 atü ning küttepinnaga 7,9; 16,2; 26,6 ja 33 m², millele vastab aurutootlikkus 200, 400, 700 ja 1000 kg/h.

ВТКБ-katlaid (joon. 110) ehitatakse aurutootlikkusega 500 ja 700 kg/h ning töörõhuga 8 atü. Katel koosneb väliskerest *1* ja sisemisest silindrilisest osast *2*, mis moodustab kolderuumi. Välimisele ja sisemisele silindrile on üleval ja all keevitatud lamedad rõngad. Sisemise silindri seintesse on 5° kalde all valtsitud veetorud *4* läbimõõduga 46/51 mm. Torud on asetatud malekorras. Veetorude kimp on mõlemalt poolt piiratud auruülekuumendiga *5*. Viimane kujutab 33/38 mm läbimõõduga torudest painutatud horisontaalseid silmuseid (joon. 111). Ülekuumendi torudele on keevitatud 5 mm paksused terasplaadid, mis moodustavad suitsugaasidele piirde. Veetorude puhastamiseks ja järelevaatuseks on väliskeres luugid *6*.

Katel ВТКБ-0,7/8 (tootlikkusega 700 kg/h) varustatakse õhueelsoojendiga *8*, mis koosneb horisontaalsetest terastorudest ja on paigaldatud vahetult veetorude kohale.

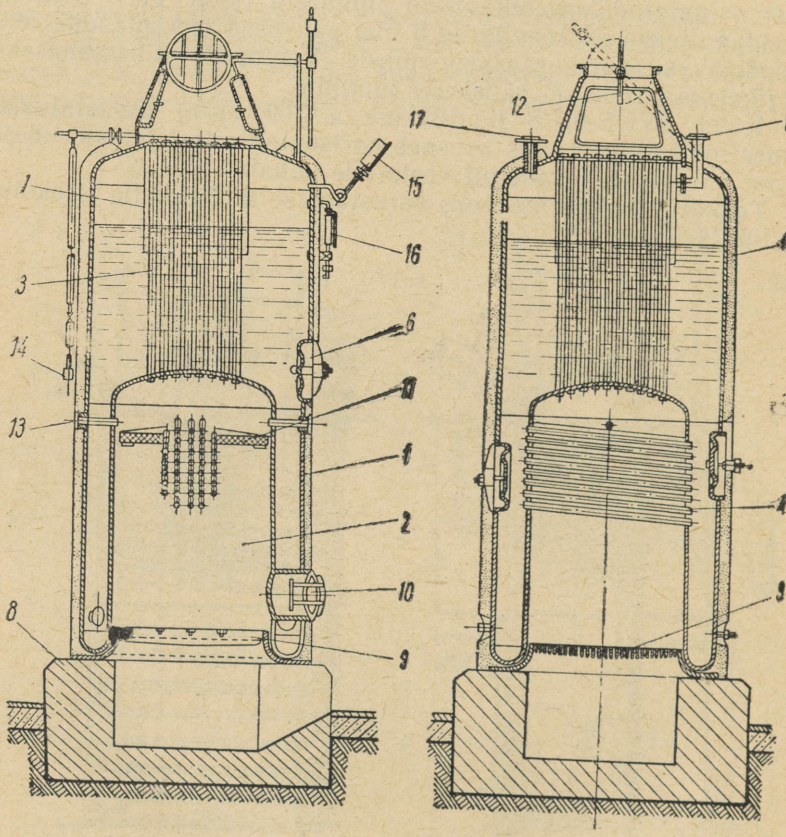
Tahkekütuse põletamiseks varustatakse ВТКБ-katla sisekolle restiga *9*.




Joon. 111. ВТКБ-katla auruülekuumendi ja õhueelsoojendi:
*1* — õhu sissevool; *2* — õhu väljavool; *3* — õhueelsoojendi toru; *4* — auruülekuumendi toru.

ВГД-katel (joon. 112) koosneb painutatud põhjaga silindrilisest kerest *1*, milles on kumera põhjaga kolle *2*. Väliskere ja kolde põhjadesse on valtsitud suitsutorud *3*, mis asuvad osaliselt vee-, osaliselt aururuumis. Kolde seintesse on valtsitud kalduasetsevad veetorud *4*. Katla seesmiseks ülevaatuseks, puhastamiseks ja veetorude valtsimiseks on väliskeres luugid *5* ja *6*. Muda väljalaskmiseks on kere allosas vastavad avad.

Katla aururuumi on paigaldatud aurukuivendaja *7*. Kolde ülaossa mõlemale poole veetorusid on asetatud šamotist vaheseinad, mille ülesandeks on takistada kuumade suitsugaaside




Joon. 112. ВГД-katel:

*1* — väliskere; *2* — kolle; *3* — suitsutorud; *4* — veetorud; *5* — luuk torude puhastamiseks ja järelevaatuseks; *6* — puhastusluuk; *7* — aurukuivendaja; *8* — vundament; *9* — rest; *10* — koldeuks; *11* — šamotist vahesein; *12* — suitsusiiber; *13* — aurutoru tahma puhumiseks; *14* — käsi-tahmapuhur; *15* — manomeeter; *16* — veeklaas; *17* — kaitseklapi äärik; *18* — auruventiili äärik; *19* — isolatsioon.

otsesuunalist läbivoolamist ja juhtida need veetorude vahele. Katel toetub vundamendile *8*.

Tahkekütuse põletamiseks varustatakse ВГД-katel restiga. Kütus visatakse restile läbi koldeukse *10*. Katel on väljastpoolt kaetud soojusisolatsiooniga. Lendtuha ja tahma mahapuhumiseks torudelt on katel varustatud aurutorudega *13* ja käsitahmapuhuriga *14*.

ВГД-katlaid ehitatakse töörõhule 8 atü ning küttepinnaga 20, 28 ja 40 m², millele vastab katelde aurutootlikkus 400—500 kg/h, 700—800 kg/h ja 1100—1200 kg/h.

ММЗ-katel (joon. 113) koosneb silindrilisest kerest *1*, milles on kumera põhjaga kolle *2*. Suitsugaaside soojuse täielikumaks ärakasutamiseks on kolde seintesse valtsitud väikese kalde all veetorud *3* läbimõõduga 51 mm. Veetorude puhastamine neile sadestunud lendtuhast ja tahmast toimub otsikuga varustatud käsipuhuri abil.

Suitsugaaside suunamiseks koldest veetorude vahele on mõlemale poole veetorusid asetatud šamotist vaheseinad *9* ja malmplaadid *10*. Katel on väljastpoolt kaetud soojusisolatsiooniga.

Kõrgeväärtuslikke kütuseid, nagu kivisütt, vedel- ja gaaskütuseid põletatakse sisekoldes, madalaväärtuslike kütuste põletamiseks varustatakse ММЗ-katlad ees- või allkoldega.

ММЗ-katlaid ehitatakse töörõhule 8 atü, tootlikkusega 0,4; 0,7 ja 1 t/h. Katelde kasutegur ulatub 0,60—0,65-ni.

Nikanderkatel (joon. 114) koosneb silindrilisest väliskerest *1*, milles on seenekujuline püstkolle *2*. Viimase ülemisest äärest suunduvad katla alumisse põhja suitsutorud *3*. Alumine põhi on needitud väliskere ja kolde alumistele äärtele. Kolde põhi on ankurpoltide *4* abil ühendatud katla ülemise põhjaga.

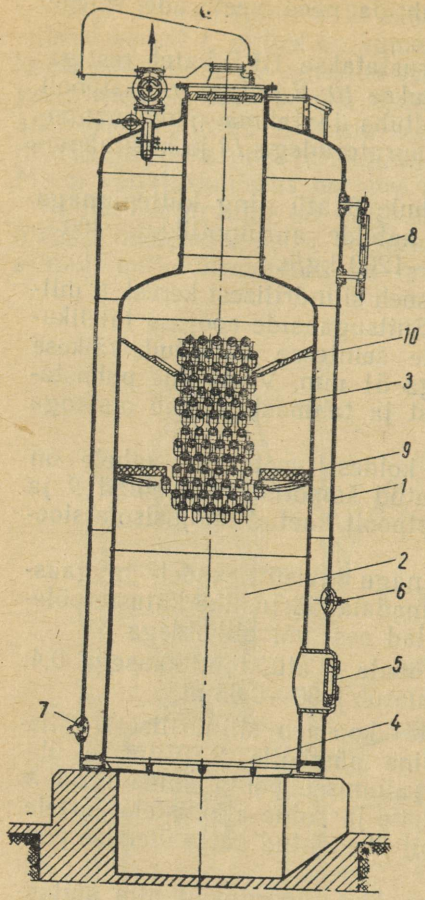
Suitsugaasid tõusevad koldes üles, pöörduvad alla suitsutorudesse ja voolavad sealt ringkanalisse *5*, kust väljuvad korstnasse. Kollet ja suitsutorusid ümbritseb vesi, kuna aur koguneb katla ülemisse ossa. Järelevaatuseks ja puhastamiseks on katla väliskeres ette nähtud puhastusluugid.

Nikanderkatel on varustatud plaanrestiga *6*. Madalaväärtuslike kütuste (põlevkivi, turvas) puhul kasutatakse allkollet.

Võrreldes eelkirjeldatud püstkateldega on nikanderkatlal kütuse kulu pikema gaasikäigu tõttu väiksem.

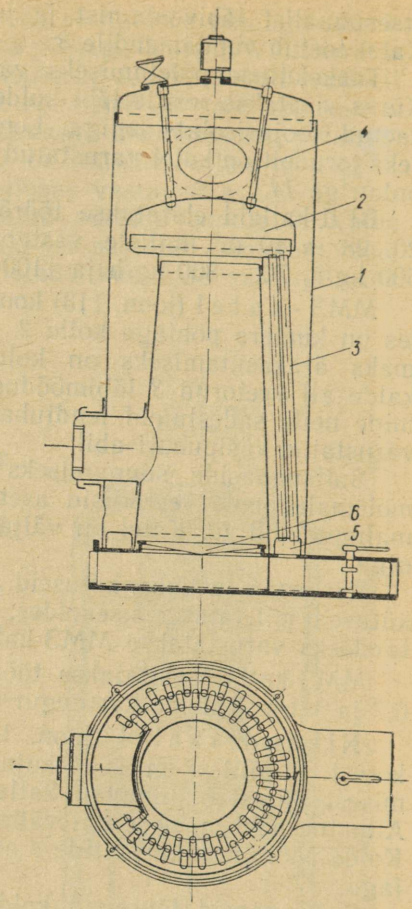
Katla puudusteks on: raskendatud puhastamine vee pooelt; raskendatud remont, eriti suitsutorude valtsimine, mis nõuab katla kohalt tõstmist.

Nikanderkatlaid valmistatakse küttepinnaga 8, 10, 12, 15 ja 20 m² töörõhule 8—10 atü.




Joon. 113. ММЗ-katel:

*1* — kere; *2* — kolle; *3* — veetorud; *4* — rest; *5* — koldeuks; *6, 7* — puhastusluugid; *8* — veeklaas; *9* — šamottvahesein; *10* — malmplaat.




Joon. 114. Nikanderkatel:

*1* — katla kere; *2* — kolle; *3* — suitsutoru; *4* — ankurpolt; *5* — ringkanal; *6* — plaanrest.

## 40. VEETORUKATLAD

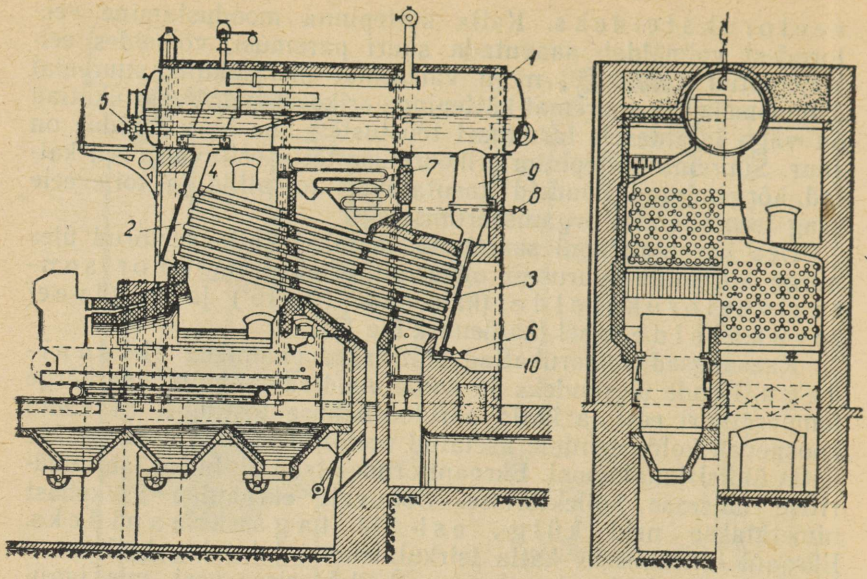
Püüd vähendada katla metalli kaalu ja tõsta tema aurutootlikkust ning ökonoomsust on viinud niisuguste katelde ehitamiseni, mis koosnevad peamiselt väikese läbimõõduga torudest (60—100 mm). Torud on täidetud veega ja välispinnalt puutuvad kokku kuumade gaasidega. Niisuguseid katlaid nimetatakse

veetorukateldeks. Katla küttepinna moodustamine veetorudest võimaldab saavutada suuri paremusi, võrreldes eelkirjeldatud kateldega, nagu väiksemat metallikulu, suuremat ökonoomsust ja suuremat küttepinna erikoormust. Veetorukatlad on väga laialdaselt tarvitusel tööstustes, kus aurutarvidus on suur. Suurema küttepinna erikoormuse tõttu esitavad need katlad kõrgendatud nõudeid kasutatavale metallile ja toiteveele ning teenindamise organiseerimisele.

Hea tsirkulatsiooni saamiseks seatakse katla veetorud üles nurga all, mille suurusest olenevalt tehakse vahet horisontaalveetorukatelde (kaldenurk 10—15°) ja püstveetorukatelde vahel (kaldenurk üle 15°).

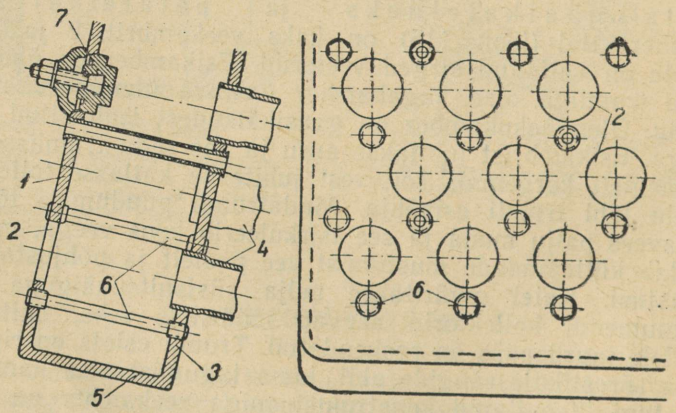
Kaasaegsed veetorukatlad ehitatakse enamikus ekraanidega. Nende ülesandeks on kolde vooderduse kaitsmine kõrge temperatuuri eest ja katla aurutootlikkuse tõstmine. Ekraanid koosnevad kolde seintele asetatud veetorudest, mis ühendatakse katla üldtsirkulatsiooni. Ekraanitorude otsad ulatuvad läbi müüritise ühisesse kollektorisse. Sõltuvalt ekraanide asukohast nimetatakse neid külg-, esi- ja tagaekraanideks. Ekraani lülitamiseks katla tsirkulatsiooni juhitakse katlatrumlist langetorude kaudu alumisse kollektorisse vesi, mis jaguneb ekraanitorudesse. Ülemisest kollektorist voolab auru ja vee segu tõusutorude kaudu trumlisse tagasi. Ekraanitorud võtavad vastu palju soojust ja seega jahutavad hästi koldeseinu.

Horisontaalveetorukatelde torud ühendatakse mitmesuguse kujuga kambritega. Sõltuvalt kambrite ehitusest jagatakse horisontaalveetorukatlad kamberkateldeks, sektsionaalkateldeks ja patareikateldeks. Kamberkatlal (joon. 115) on kaks veekambrit *2* ja *3*, mille vahele on valtsitud sirged veetorud. Esikamber on ühendatud katla trumliga otse, tagakamber vastava üleminekukambri *9* kaudu. Üleminekukamber on gaasikäikudest isoleeritud müüritisega. Esikambrist juhitakse auru ja vee segu trumlisse aurutuspeeglist kõrgemal. Toitevesi juhitakse katlasse toiteventiili kaudu läbi trumli esipõhja. Mudatrumli puudumise tõttu on katlavees palju muda ja see tsirkuleerib koos veega, mis suurendab küttepindade mustumist vee poolelt ja põhjustab katla vigastusi. Katel müüritakse nelja püstsuitsukäiguga. Auruülekuumendi kollektorid asuvad müüritise sees, mille tõttu nendele juurdepääs on raskendatud. Trumli esiots on riputatud katla sõrestikule rangide abil, kuna tagumist otsa kannab liikuv tugi. Keevitatud konstruktsiooniga veekamber on kujutatud joonisel 116. Kambri esisein *1* ja tagasein *3* on ühendatud põhjaga *5* keevituse teel ja omavahel seotud ankurpoltidega *6*, mis on keermega kinnitatud kambri seintesse.




Joon. 115. Horisontaalveetorudega kamberkatel:

*1* — trummel; *2* — esikamber; *3* — tagakamber; *4* — veetorud; *5* — toiteventiil; *6* — väljalaskeventiil; *7* — auruülekuumendi; *8* — ülekuumendi läbipuhumisventiil; *9* — ülemineku kamber; *10* — liikuv tugi.




Joon. 116. Veekamber:

*1* — kambri esisein; *2* — luugiava; *3* — kambri tagasein; *4* — veetorud; *5* — kambri põhi; *6* — sidepolt; *7* — luuk.

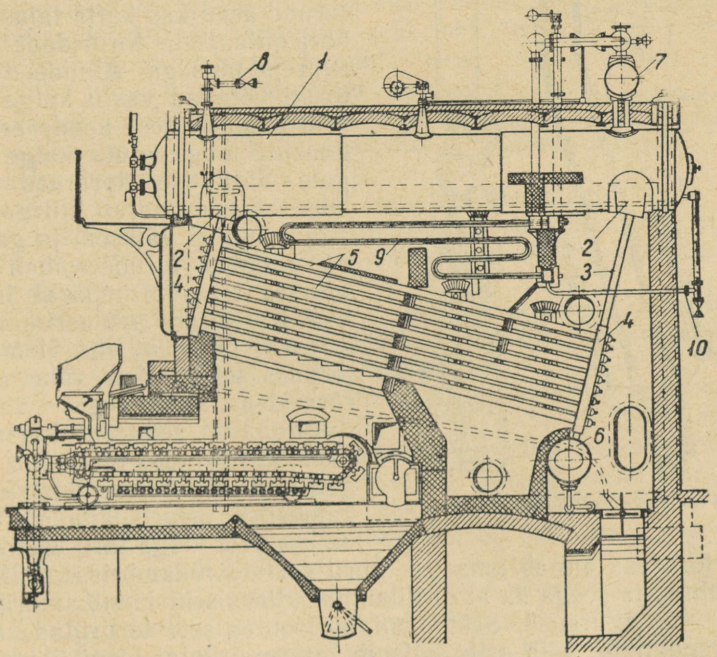
Keevitatud kambrid osutusid töötamisel ebakindlateks, sest kuumenemisel hakkasid keevisõmblused lekkima. Selle tõttu hakati hiljem valmistama ainult ühe õmblusega veekambreid, stantsides kambri tagaseina ja põhja ühest tükist. Tulemusena välditi õmblus kambri gaasidepoolsel küljel.

Esikambrit kaitstakse kuumade gaaside eest müüritise ja soojusisolatsioonikihiga.

Kamberkatlaid ehitatakse töörõhule 12—15 atü, küttepinnaga kuni 350 m². Küttepinna erikoormus tõuseb 30—35 kg/m²h, katla kasutegur on 0,70—0,72 ja veemaht 50—60 l/m².

Katla puuduseks on sirgete seintega kambrite väike tugevus, mille tõttu katlaid ei saa ehitada kõrgemale töörõhule, katla torude vaba paisumise võimaluse puudumine ja sellest tingituna sagedane valtsimiskohtade lekkimine ja pragude tekkimine.

Sektsionaalkateldes on üks ühine veekamber asendatud üksikute sektsioonidega, millest igaühe külge on valtsitud üks ver-

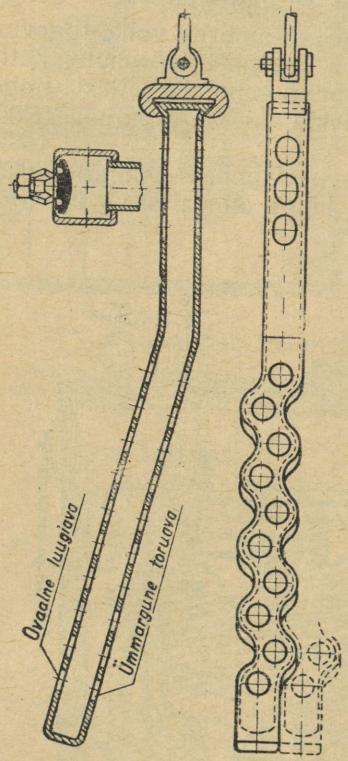



Joon. 117. Pikitrumliga sektsionaalkatel:

*1* — trummel; *2* — taskud; *3* — ühendustorud; *4* — sektsioonikambrid; *5* — veetorud; *6* — mudatrummel; *7* — aurukoguja; *8* — toiteventiil; *9* — auru-ülekuumendi; *10* — toru ülekuumendi läbipuhumiseks.

tikaalne torurida. Sektsioonikambrid on väga tugevad ja neid võib valmistada praktiliselt igasugusele rõhule. Peale selle on sektsioonikambrite valmistamine suurte keevitatud veekambrite valmistamisest kergem.

Pikitrumliga sektsionaalkatel (joon. 117) koosneb trumlist *1*, taskutest *2*, ühendustorudest *3*, sektsioonikambritest *4*, veetorudest *5* ja mudatrumlist *6*. Sektsioonikamber (joon. 118) on ühendatud katla trumliga ühendustorude abil, mille alumised otsad on valtsitud sektsioonikambri, ülemised aga tasku külge. Tagumised sektsioonikambrid ühendatakse all ühise mudatrumliga. Katla trummel riputatakse sõrestikule rangide abil, et katel saaks vabalt paisuda.

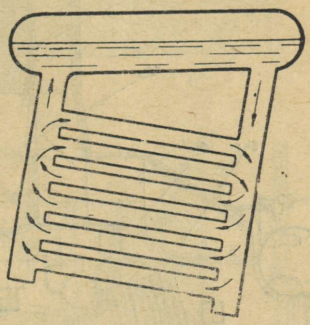


Joon. 118. Sektsioonikamber.

Suuremate katelde ehitamiseks tuleb suurendada katla veetorude arvu kas katla laiuse või horisontaalsete toruridade arvu suurendamisega. Alumised veetorud võtavad vastu kõige rohkem soojust, sest nende ees on gaaside temperatuur kõige kõrgem. Järgmises torureas tekib auru vähem, sest kiirgamise mõju on seal väiksem ja gaasid on alumiste torude vahelt läbi minnes teataval määral jahtunud. Kui torude arv vertikaalses torureas on suur, siis ülemistes torudes tekib väga vähe auru, võrreldes alumistega. Sellest tingituna on vee tsirkuleerimine ülemistes torudes tunduvalt nõrgem kui alumistes. Sektsioonikambrites esineb aga vastupidine olukord. Iga toru vertikaalses torureas annab oma osa auru sektsioonikambrisse, millega auruhulk ja seega ka auru liikumise kiirus sektsioonikambris alt ülespoole suureneb. Sektsiooni horisontaalsete toruridade arvu suurendamine võib esile kutsuda vastutsirkulatsiooni ülemistes ridades, sest nimetatud juhul on raskendatud vee juurdejuhtimise ja auru ärajuhtimise torude küllaldase ristlõike kindlustamine. Alumised toruread toodavad palju auru ja vajavad ka palju

vett. Tulemusena hakkavad nad seda imema ülemistest torudest, kui sektsioonile vee juurdejuhtimise toru takistus muutub suure kiiruse juures suuremaks kui takistus vee imemisel ülemistest torudest. Sellega mitmekordistub vee tsirkuleerimine katla torudes ja vesi hakkab ülemistes torudes liikuma vastupidises suunas (joon. 119). Normaalse tsirkulatsiooni katkemisega satub katel avariiseisukorda. Sel põhjusel ei saa torude arvu vertikaalses torureas suurendada üle kindla piiri (tavaliselt 8—11). Olgu tähendatud, et eelkirjeldatud avariiseisukord võib tekkida katla tugeval forsseerimisel ka normaalse arvu horisontaalsete toruridade puhul.

Üheks tsirkulatsiooni kindlustamise mooduseks horisontaalveetorukateldes on seibide asetamine alumiste torude sissevoolupoolsetesse otstesse. Need seibid takistavad tsirkulatsiooni mitmekordistumist alumistes torudes ja vähendavad üldist tsirkulatsioonivee hulka, millega saavutatakse kindel vee andmine sektsiooni juurdejuhtimistorude kaudu.

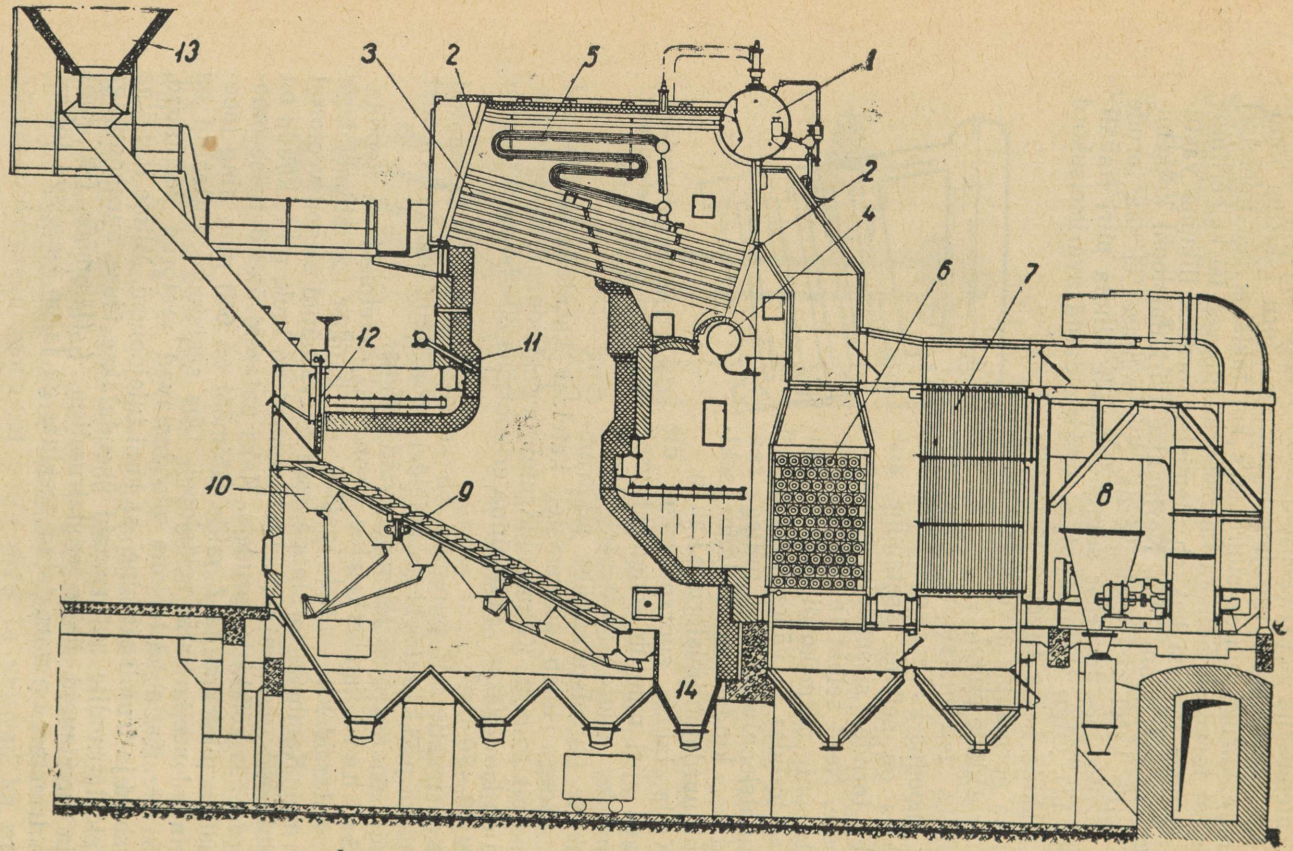


Joon. 119. Vastutsirkulatsioon horisontaalveetorukatla ülemistes torudes.

Katla laiuse suurendamisel üle teatava piiri muutub konstruktiivselt võimatuks suure arvu sektsioonikambrite ühendamine ühe pikitrumliga. Seega tuleb suurematel kateldel kasutada kahte või kolme pikitrumlit. Kolme pikitrumliga sektsionaalkatelde küttepind on kuni 500 $m^2$, küttepinna erikoormus 30—50 $kg/m^2h$, veemaht 40—70 $l/m^2$.

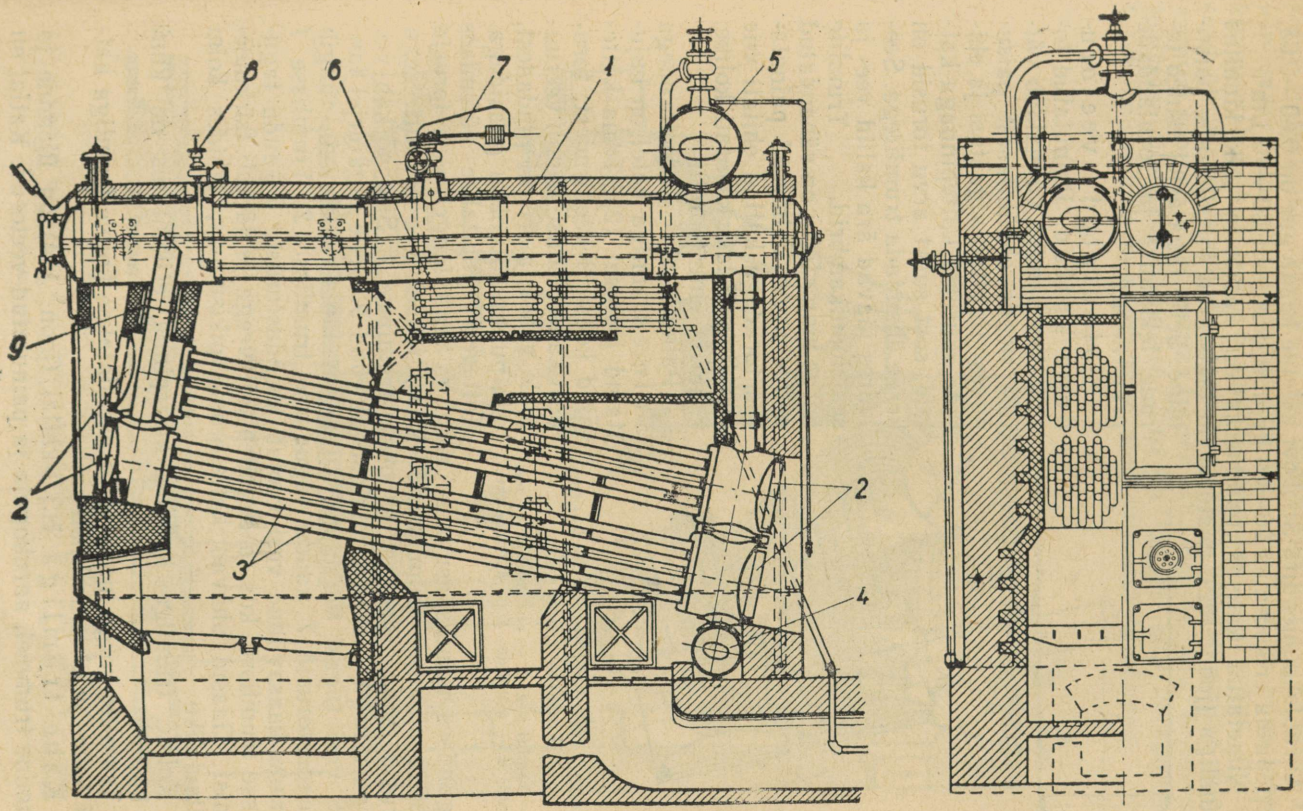
Konstruktiivselt paremini on sektsioonikambrid ühendatud trumliga p õ i k t r u m l i g a kateldel (joon. 120), kus katla laiust ei piira enam trumli läbimõõt, vaid pikkus.

S u h h o v i kamberkatelde (joon. 121) veetorud on koondatud patareideks, millel igaühel on kamber *2* läbimõõduga 670 mm. Kambrite torulaudadesse on valtsitud sirged veetorud *3* läbimõõduga 76/70 mm. Igal kambril on luuk, mille kaudu on juurdepääs kõikidele torudele. Kaks patareid ühendatakse omavahel ja pikitrumliga *1*, mille läbimõõt on 640 mm, ning moodustavad seega katla sektsiooni. Ühe sektsiooni küttepind on 62,5 $m^2$. Katla küttepinna moodustavad veetorud, torulauad, kambrid ja trumli alumine osa kuni tulejooneni. Mitme trumliga kateldel trumlite aururuumid ühendatakse ühise aurukogujaga *5* ja veeruumid ühise mudatrumliga *4* (läbimõõt 640 mm). Iga trummel on varustatud veeklaasiga ja on iseseisva toitmisega.




Joon. 120. Ilmarise resti ning põiktrumliga sektsionaalkatel:

*1* — katla trummel; *2* — sektsioonikambrid; *3* — veetorud; *4* — mudatrummel; *5* — auruülekuumendi; *6* — ökonomaiser; *7* — õhueelsoojendi; *8* — tsüklon; *9* — rest; *10* — õhutsoonid; *11* — sekundaarõhu düüs; *12* — kihisiiber; *13* — kütusepunker; *14* — tuhapunkrid.

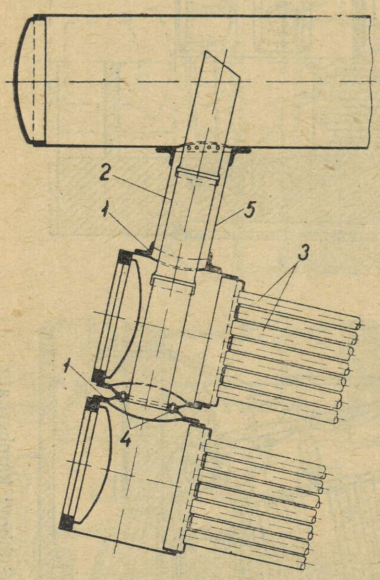



**Joon. 121. Suhhovi kamberkatel:**

*1* — trummel; *2* — kambrid; *3* — veetorud; *4* — mudatrummel; *5* — aurukoguja; *6* — ülekuumendi; *7* — kaitseklapp; *8* — toiteventiil; *9* — ühendustoru.

Auruülekuumendita Suhhovi katelde kasutegur on 0,60—0,63, küttepinna erikoormus 20—30 kg/m²h, veemaht 50—70 l/m².

Nimetatud katelde puuduseks on kambrite jäik kinnitus trumliga (joon. 122), mistõttu on takistatud torude vaba paisumine. Selle tagajärjel esineb torude lekkimist ja torulaudade pragunemist.




Joon. 122. Suhhovi katla kambri kinnitus trumliga:

*1* — kambri pea; *2* — aurutoru; *3* — veetorud; *4* — neetliide; *5* — ühendustoru.

Painutatud veetorudega katlad. Painutatud torude kasutamine võimaldab vältida nende ebaühtlasest paisumisest tingitud vigastusi ja ehitada suurema küttepinnaga katlaid, sest suurt arvu torusid on kerge ühendada trumlitega. Seejuures jäävad ära kallid vee- ja sektsioonikambrid. Trumlite kõrge hinna tõttu on vähendatud nende arvu. Esimesed painutatud torudega katlad ehitati viie trumliga. Edasi kasutati kolme, kahte ja ühte trumlit.

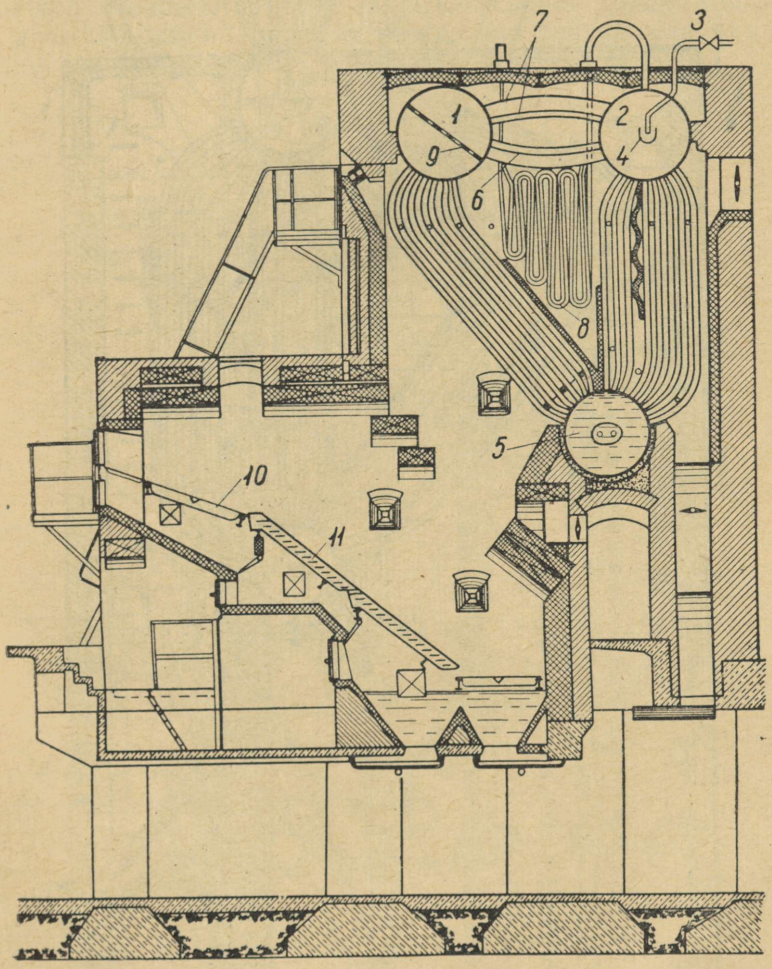
Painutatud veetorudega kolme trumliga katel on kujutatud joonisel 123. Tema küttepind koosneb veetorudest, torudest kahe ülemise trumli veeruumide vahel ja trumli pindadest, mis puutuvad kokku gaasidega. Toitevesi juhitakse ülemises tagumises trumlis asuvasse renni *4*. Sealt langeb vesi torusid mööda alumisse trumlisse *5*. Edasi tõuseb vee ja auru segu torusid mööda ülemisse esimesse trumlisse *1*. Siin põrkab vee ja auru segu vastu trumlis asuvat võret *9*. Selle tagajärjel langeb vesi tagasi veeruumi, kuna aur läbistab võre ja tungib ühendustorusid *7* kaudu tagumisse trumlisse *2*. Trumlisse *1* auruga kaasaviidud vesi voolab ühendustorusid *6* kaudu tagumisse trumlisse, kus ta seguneb toiteveega ja jätkab tsirkuleerimist. Gaasid uhuvad katlatorusid pikisuunas, läbides kolm suitsukäiku.

Kolme trumliga katelde küttepinna erikoormus on kuni 60 kg/m²h.

Trumlite kõrge hinna tõttu asendatakse kolme trumliga katlad kahe- ja ühetrumlilistega.

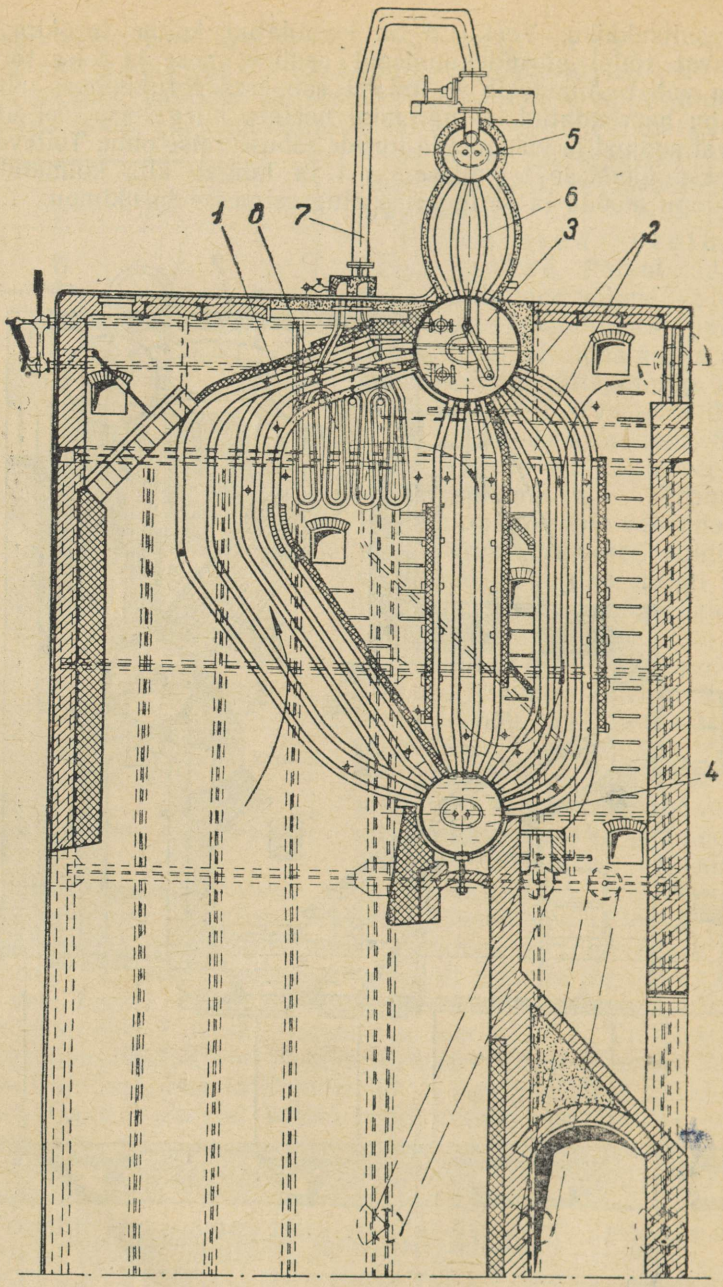
Kahe trumliga НЗЛ-katlal (joon. 124) on ülemine ja alumine trummel, aurukoguja ja painutatud veetorud. Katlal on

kolm suitsukäiku. Veetorud on koondatud kolme torukimpu. Rippuvat tüüpi auruülekuumendi asub esimese ja teise torukimbu vahel. Aur tekib peamiselt esimeses torukimbus, mille read on harvendatud, et paremini neelata kiirgamise teel üleantavat soojust ja vähendada torude räbustumise ohtu. Toitevesi juhitakse ülemisse trumlisse, kust ta langeb alla kolmandat torukimpu mööda ja satub teise ning esimesse torukimpu.




Joon. 123. Painutatud veetorudega kolme trumliga katel:

*1* — ülemine esitrummel; *2* — ülemine tagatrummel; *3* — toiteventiil; *4* — renn; *5* — alumine trummel; *6* — veeruumi ühendustorud; *7* — aururuumi ühendustorud; *8* — auruülekuumendi; *9* — võre; *10* — kaldrest; *11* — trepprest.

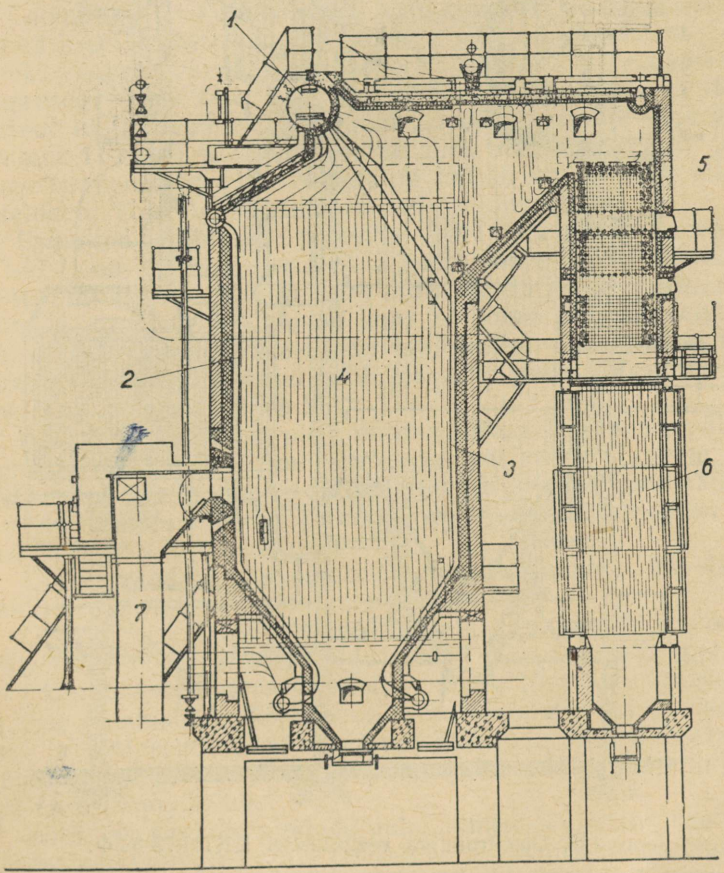



Joon. 124. НЗЛ kahe trumliga veetorukatel:

*1* — torud esimeses gaasikäigus; *2* — torud teises ja kolmandas gaasikäigus; *3* — ülemine trummel; *4* — alumine trummel; *5* — aurukoguja; *6* — torud ülemise trumli ja aurukoguja vahel; *7* — küllastunud auru torustik; *8* — auruülekuumendi.

Kahe trumliga katlal on hea tsirkulatsioon ja suhteliselt väike kaal. Katlaid valmistatakse küttepinnaga 400—500 m², töörõhule 17—22 atü. Auru temperatuur on 350—425°. Katel varustatakse vee- ja õhueelsoojendiga.

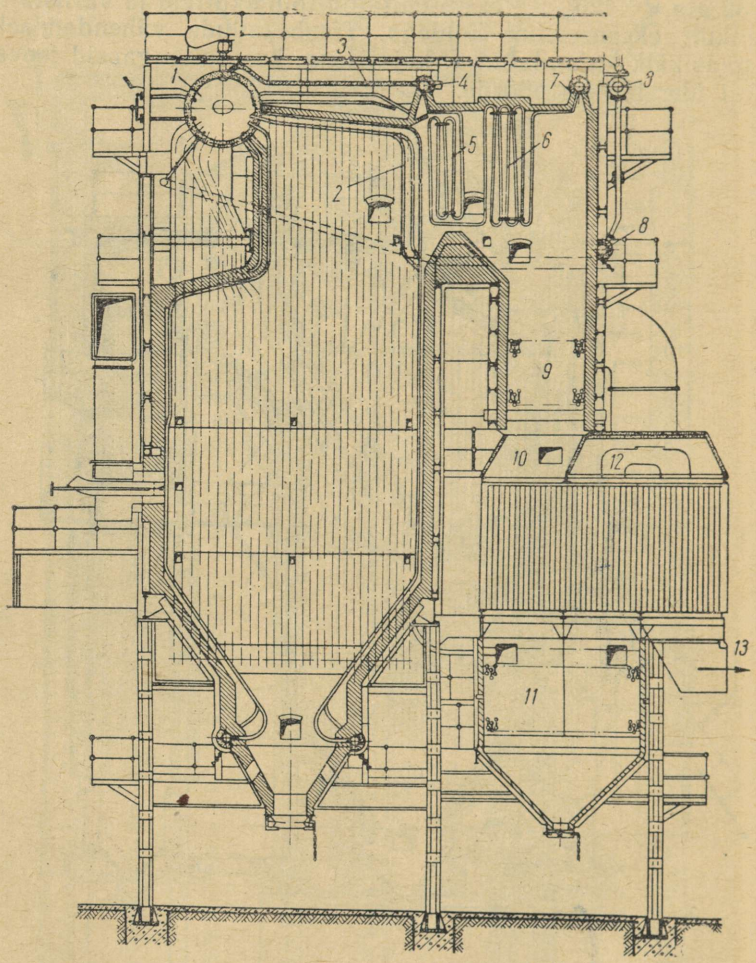
Joonisel 125 on kujutatud Podolski tehase keskmise võimsusega ühe põiktrumliga aurukatel ПК-7, millel $D=40$ t/h, $p=32$ ata, $t=420°$. Katel on ehitatud tolmuküttele ja varustatud täielikult ekraneeritud koldega. Tõmbekadude vähendamiseks on gaasikäik kujundatud П-kujulisena, kus suitsugaasid teevad ainult ühe 180°-se pöörde.




Joon. 125. Šahtveskiga ühe trumliga veetorukatel ПК-7:

*1* — trummel; *2* — esiekraan; *3* — tagaekraan; *4* — külgekraan; *5* — ökonomaiser; *6* — õhueelsoojendi; *7* — šaht.

Joonisel 126 on kujutatud ЦКТИ poolt väljatöötatud katel tüüp ЦКТИ-75-39-Ф. Katla tootlikkus on 75 t/h, rõhk auruülekuumendi taga 39 atü (katla trumlis 44 atü), ülekuumendatud auru temperatuur 450°, toitevee temperatuur 150°, eelsoojendatud õhu temperatuur 340°, lahkuvate suitsugaaside tempera-




Joon. 126. Ühe trumliga veetorukatel ЦКТИ-75-39-Ф:

*1* — trummel; *2* — festoon; *3* — torud auru juhtimiseks trumlist ülekuumendisse; *4* — ülekuumenduse regulaator; *5* ja *6* — auruülekuumendi torukimbud; *7* — ülekuumendi vahekollektor, *8* — ülekuumendatud auru kollektorid; *9* — gaasi voolamise suunas esimene ökonomaiseriaste; *10* — gaasi voolamise suunas esimene õhueelsoojendiaste; *11* — gaasi voolamise suunas teine ökonomaiseriaste; *12* — gaasi voolamise suunas teine õhueelsoojendiaste; *13* — suitsugaasi väljumine katlast.

tuur 160°. Katlal on üks suhteliselt suure läbimõõduga (1300 mm) trummel *1* ja täielikult ekraneeritud kolle. Torukimp (festoon) *2* enne ülekuumendit on moodustatud tagumise ekraani tõusutorudest. Ülekuumendi koosneb kahest osast *5* ja *6*. Pinnalist tüüpi ülekuumenduse regulaator *4* on asetatud küllastunud auru poolele katlatrumli ja ülekuumendi vahele. Toru-tüüpi õhueelsoojendi, mis koosneb kahest astmest *10* ja *12*, on asetatud toiteveeökonomaiseri esimese astme *9* ja teise astme *11* vahele. Suitsugaasid läbivad järelküttepindades kolm käiku: alla, üles ja uuesti alla. Selline järelküttepindade paigutus võimaldab asetada lendtuhapüüdja õhueelsoojendi külmema astme ette.

Loomuliku tsirkulatsiooniga katelseadmete edasine areng on viinud katelde ehitamisele töörõhuga 100 atü ja rohkem. Tüüpilisteks suure võimsusega kõrgrõhukatelde esindajateks on Taganrogi tehase katel ТП-230-2 ja Podolski tehase katel ПК-10, millede tootlikkus on 230 t/h, rõhk auruülekuumendi taga 99 atü (trumlis 110 atü), ülekuumendatud auru temperatuur 510° ja toitevee temperatuur 215°. Nimetatud katlad on ehitatud kiirguskateldena; konvektsioontorukimbud puuduvad.

Esimesed võimsad põlevkiviküttel töötavad aurukatlad ТП-17 (joon. 127) on üles seatud Balti Soojuselektrijaamas. Katelde tootlikkus on 220 t/h, auru rõhk 100 ata ja temperatuur 540°. Kütusekulu ühele katlale on kuni 70 tonni peenpõlevkivi tunnis. Kütuse tolmustamiseks on igal katlal 4 šahtveskit ШМТ 1300/2004, mis paiknevad kolde nurkade juures. Veskitesse antava õhu temperatuur on 265°.

Põlevkivi lendtuha paatumise vältimiseks on auruülekuumendi projekteeritud lindikujulisena, kusjuures kõrgema auru temperatuuriga lindid on paigutatud laskuvasse gaasikäiku pikivoolu. Lintide suur vahe (üle 0,5 m) võimaldab paremini kasutada lendtuha kiirgussoojust.

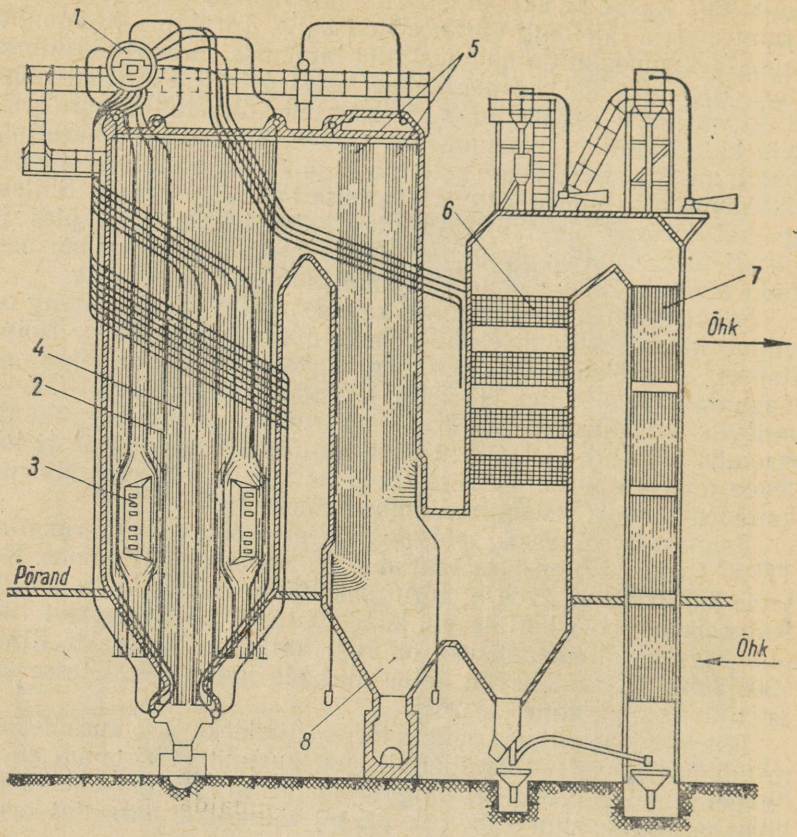
Ülekuumenduse temperatuuri reguleerimiseks kasutatakse kolde nurkadesse paigutatud pöördpõleteid.

Gaaside temperatuur konvektiivsete torukimpude ees on projekteeritud 600° kivisöekatelde senise 900—1000° asemel.

Ökonomaiser on paigutatud omaette tõusvasse gaasikäiku. Torude erosiooni ja korrosiooni vähendamiseks on gaaside kiirust ja temperatuuri vähendatud. Pöördekamber ökonomaiseri gaasikäigu ees on jämedama lendtuha püüdmiseks kujundatud sadestuspunkrina.

Kolde ekraanküttepindade puhastamiseks kasutatakse tehase «Ilmarine» tahmapuhureid ОПР-5 ja lindikujuliste küttepindade ülepuhumiseks sama tehase uusi puhureid ОПК-9.

Katelde ehitus areneb nende konstruktsiooni lihtsustamise ja töökindluse tõstmise suunas, mille juures peetakse kinni järgmistest põhimõtetest:




Joon. 127. Balti Soojuselektrijaama katel ТП-17:

*1* — trummel; *2* — kolle; *3* — tolmupõleti; *4* — ekraanitorud; *5* — auruülekuumendi; *6* — ökonomaiser; *7* — õhueelsoojendi; *8* — lendtuha sadestuskamber.

1) kasutatakse ainult painutatud torusid, mis on katla töötingimuste juures elastsemad kui sirged torud;

2) vähendatakse trumlite arvu kuni üheni, millega katla kaal ja hind vähenevad. Seejuures väheneb ka katla veemaht ja tema soojuse akumulatsioonivõime. Viimasel ei ole kaasaegsete võimsate katelde juures suurt tähtsust tänu uute kollete töö paindlikkusele koormuse muutuse suhtes;

3) suurendatakse kolde ekraneerimist ja katla kiirgusküttepinda. Ekraanid muutuvad katla põhiliseks osaks;

4) suurendatakse soojuse üleandmist konvektsiooni teel, kasutades suuremaid gaasikiirusi ja küttepindade asetumist risti gaasivoolule;

5) parandatakse vee ning auru segu tsirkulatsiooni liigsete hüdrauliliste takistuste kõrvaldamise teel;

6) vähendatakse suhteliselt katla konvektsioonküttepindade suurust sel teel, et auruülekuumendi asetatakse kõrgema temperatuuri piirkonda (900—1000°). Paljudel juhtudel asetatakse ülekuumendi taha terasökonomaiser, kus osa vett aurustatakse;

7) kasutatakse kõrget õhueelsoojendust ja õhueelsoojendi muudetakse katla tingimata vajalikuks osaks.

## 41. VÄIKESE VÕIMSUSEGA VEETORUKATLAD

Väikese võimsusega veetorukatelde hulka loetakse katlad aurutootlikkusega kuni 10 t/h. Väikekatelde töötamistingimuste erinevus teeb võimatuks kasutada ilma vastavate muudatuste tegemiseta neid konstruktiivseid lahendusi, mis suure võimsusega kateldel on osutunud otstarbekaks. Arvestades neid erinevusi, on kujundatud rida väikekatelde konstruktsioone. Väikekatlad töötavad tavaliselt rõhuga mitte üle 13 atü. Selle rõhu puhul ei ole nõuded katla toitevee suhtes eriti suured. Kateldes peab olema koht muda kogumiseks ega tohi olla võimalust muda sadestumiseks katla küttepindadele. Neid tingimusi rahuldavad kõige paremini kahe trumliga püstveetorukatlad. Alumine trummel kujuneb seejuures tegelikult mudatrumliks. Kahe trumli kasutamine suurendab ühtlasi katla veemahtu ja soojuse akumulatsiooni. Viimased omadused on väikekateldel väga soovitavad, sest katlad töötavad tihti muutliku koormusega. Katla suur soojuse akumulatsioonivõime kergendab sel juhul tunduvalt auru nõutud parameetrite hoidmist.

Väikekatlad varustatakse tahkekütuste põletamiseks kihispõlemise kolletega. Kütuse põletamine tolmuna pole väikekatelde juures otstarbekas jahvatusseadmete kalliduse ja keerukuse tõttu.

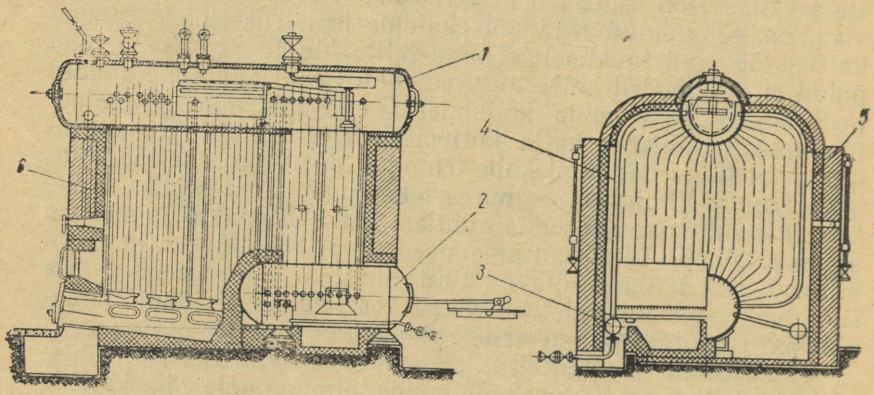
Katla gabariitide vähendamiseks ja teenindamise lihtsustamiseks loobutakse paljudel juhtudel ökonomaiseri ja õhueelsoojendi kasutamisest. Seejuures peab aga katla konvektsioonküttepind olema küllalt suur, et alla viia korstnagaaside temperatuuri ja seega ka soojuskadusid. Küttepindade suurus on aga piiratud loomuliku tõmbe kasutamisel. Kuna tõmbe tugevus oleneb korstnagaaside temperatuurist, siis ei ole väikekatelde puhul otstarbekas viia korstnagaaside temperatuuri liiga madalaks.

Kui järelküttepinnad on siiski vajalikud, tuleb esmajärjekorras kasutada õhueelsoojendit, sest kuum õhk soodustab madalaväärtuslike kütuste põlemist koldes. Sel juhul korstnagaaside temperatuur langeb 180—200°-ni. Hoolimata suurest konvektsioonküttepinnast on otstarbekas varustada katel ka ekraani-

dega isegi kuuma õhu puudumisel ja halva toitevee kasutamisel. Ekraanide puudumisel esimese konvektiivse torukimbu soojuslik koormus on tunduvalt suurem kui ekraneeritud kolde puhul. Torukimbu suur soojuslik koormus põhjustab torude läbipõlemist, kui nad on kaetud katlakiviga. Ekraanide kasutamisel väheneb koldest lahkuvate gaaside temperatuur ja seega ka torude läbipõlemise oht. Ekraantorude poolt kiirgumise teel vastuvõetav soojushulk ühele pinnaühikule jääb ekraani suure pinna juures suhteliselt väikeseks. Seetõttu ekraantorude töötamine osutub kindlaks.

Ekraane tuleb toita veega nii, et oleks kõrvaldatud võimalus nende ummistumiseks mudaga.

Ülalnimetatud nõudeid rahuldab ДКВ-tüüpi ekraneeritud püstveetorukatel (joon. 128), mis töötab loomuliku tsirkulatsiooniga.




Joon. 128. ДКВ-tüüpi aurukatel:

*1* — ülemine trummel; *2* — alumine trummel; *3* — ekraanikollektor; *4* — külgekraan; *5* — veetorud; *6* — langetoru.

Katel koosneb kahest keevitatud pikitrumlist, kahest ekraanikollektorist ja torusüsteemist. Ülemine trummel *1* on esiosas ühendatud kahe ekraanikollektoriga *3* painutatud torude abil, mis moodustavad kolde külgekraanid *4*. Tagumises osas on ülemine trummel ühendatud veetorude *5* abil lühikese alumise trumliga *2*. Veetorude esimene, koldepoolne rida on ülejäänud veetorudest eraldatud šamottkividest vaheseinaga (joonisel pole näidatud) ja moodustab tagaekraani.

Veetorud on trumlitesse valtsitud; külgekraani torude ülemised otsad valtsitakse ülemisse trumlisse, alumised otsad keevitatakse otsluugiga varustatud kollektoritele. Ekraanikollekto-

reid toidetakse niihästi ülemisest trumlist langetorude *6* abil, mis on paigutatud kolde esiseina ja moodustavad ülemisele trumlile täiendava toe, kui ka alumisest trumlist torude abil, mis ühendavad kollektorit trumliga.

Auruülekuumendi asetatakse esimese ja teise suitsukäigu vahele; selle paigutamiseks tuleb osa katlatorusid ära jätta. Ülekuumendi on vastuvoolu tüüpi ühesektsiooniline ja koosneb vertikaalsetest siugtorudest. Ülekuumenduse temperatuuri reguleerimine toimub ülekuumendi kohale suitsukäiku asetatud klapi abil, mis võimaldab ülekuumendist suitsugaaside osalist möödajuhtimist.

Katla ülemine trummel on varustatud kahe, trumli põhjades asetseva pääsuluugiga, alumine trummel ühe pääsuluugiga mõõtmetega 300×400 mm. Alumise trumli seinas kolde kohal on kaks keermetatud ava, millesse paigutatakse kergestisulavast materjalist korgid. Ülemise trumli võimalikul kuivaksjäämisel kaitsekorgid sulavad ja lasevad trumlis oleva auru kolde, mille tagajärjel tuli summutatakse.

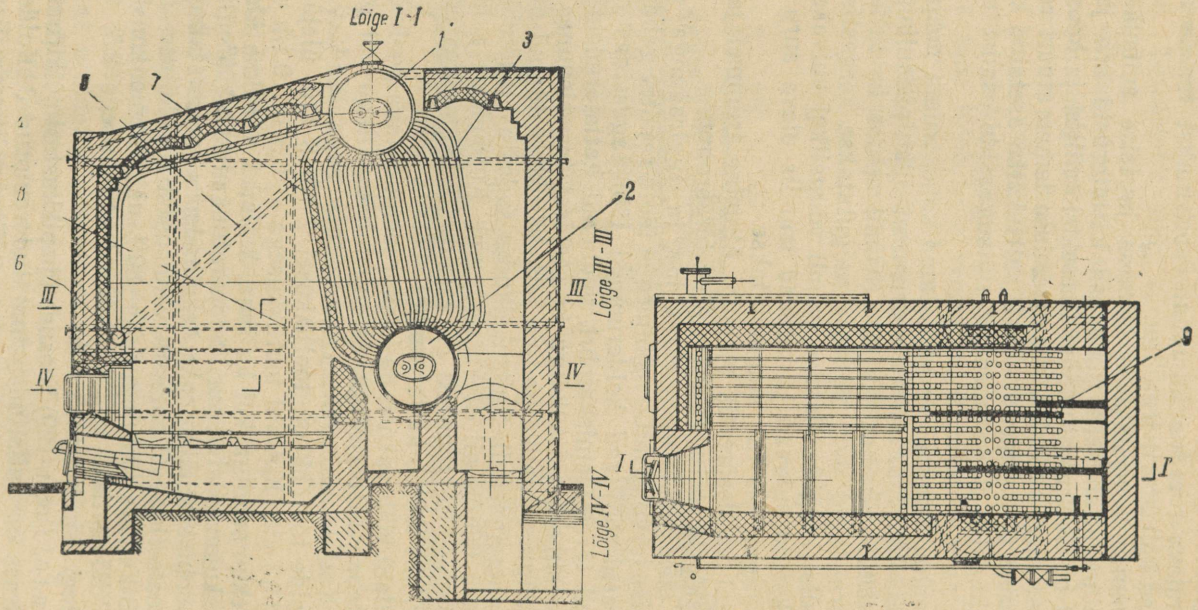
ДКВ-katlal kandesõrestik puudub. Alumine trummel ja ekraanide kollektorid toetuvad keevitatud terasraamile.

Trumlid koos veetorude, ekraanide ja tugiraamiga moodustavad ühtse terviku, mille mõõtmed ei ületa raudtee gabariite.

Suitsugaasid väljuvad kolderuumist läbi tagaseinas oleva akna, läbivad järelpõlemiskambri, voolavad katlatorudele ristsuunas läbi esimese suitsukäigu ja seejärel tagasisuunas läbi teise suitsukäigu. Suitsukäigud on teineteisest eraldatud malmplaatidest vaheseina abil. Suitsukäikudes sadestuv lendtuhk koguneb alumise trumli all olevasse ruumi. Küttepinna puhastamiseks lendtuhast ja tahmast on tagumisse seina üles seatud tahmapuhur, mis töötab katlatrumlist võetava auruga.

ДКВ-katlaid võib varustada käsitsi teenindatava poolmehaanilise või mehaanilise restiga, samuti õlipihustitega või gaasipõletitega. Katlaid ehitatakse aurutootlikkusega 2; 4; 6,5 ja 10 t/h. Katelde tööröhk on tootlikkusel 2 t/h 8 atü, ülejäänud tootlikkustel 13 atü. Katlaid tootlikkusega 4; 6,5 ja 10 t/h ehitatakse nii ülekuumendiga kui ka ilma, katlad 2 t/h ilma ülekuumendita. Ülekuumendatud auru temperatuur ulatub 350°-ni. Suitsugaaside soojuse täielikumaks kasutamiseks varustatakse katlad ökonomaiseriga. Olenevalt võimsusest ja kütuse liigist ulatub ДКВ-katelde kasutegur 70—80%-ni. Uuema konstruktsiooniga ДКВР-katlaid valmistatakse tootlikkusega 2,5; 4; 6,5 ja 10 t/h ning tööröhuga 13 atü.

КРШ-katel (joon. 129) koosneb ühepikkustest põiktrumlitest *1* ja *2*, millesse on valtsitud painutatud veetorud *3*. Kolde lagi ja esisein on varustatud ekraaniga *4*. Ekraanitorude ülemised otsad valtsitakse ülemisse trumlisse, alumised otsad keevita-




Joon. 129. КРШ-katel:

*1* — ülemine trummel; *2* — alumine trummel; *3* — veetorud; *4* — esiekraan; *5* — ekraani langetoru; *6* — ekraani kollektor; *7* — šamottvahesein; *8* — sidesõrestik; *9* — torkreetvahesein.

take kollektoritele *6*. Sõltuvalt kasutatava kütuse liigist võivad koldel olla ka külgekraanid.

Katel on kolme suitsukäiguga. Suitsugaasid väljuvad koldest vasakult poolelt. Gaaside vool on suunatud risti küttepindadega. Suitsukäigud on moodustatud katlatorude vahele asetatud ning trumlini ulatuvate vaheseinte *9* abil. Vahesein *7* esimese ja teise torurea vahel, mis eraldab kollet teisest ja kolmandast suitsukäigust, valmistatakse šamottkividest. Ülejäänud vaheseinad valmistatakse tambitud torkreetmassist.

Esimese suitsukäigu järele asetatakse vajaduse korral aurulekuumendi, mille paigutamiseks jäetakse osa katlatorusid ära.

КРШ-kateldel kandesõrestik puudub; neil on ainult sidesõrestik. Katla ülemist trumlit kannavad veetorud, alumine trummel toetub kahele malmalusele, viimased omakorda vundamendile. Katla ülemine trummel on peale selle toestatud veel karprauast kandjatega, mis on ühendatud sidesõrestikuga.

Toitevesi juhitakse katla ülemisse trumlisse. Koldeekraane toidetakse ülemisest trumlist väljaspool müüritist asuvate langetorude *5* abil. Ekraanikollektorid on kaetud isolatsioonikihiga.

КРШ-katlaid ehitatakse aurutootlikkusega 2; 4; 6,5 ja 10 t/h. Katlad tootlikkusega 2 t/h töötavad rõhuga 8 atü, ülejäänud katlad rõhuga 13 atü. Ülekuumendatud auru temperatuur on 350°.

Kokkumonteeritud katla mõõtmed ei ületa raudtee gabariite.

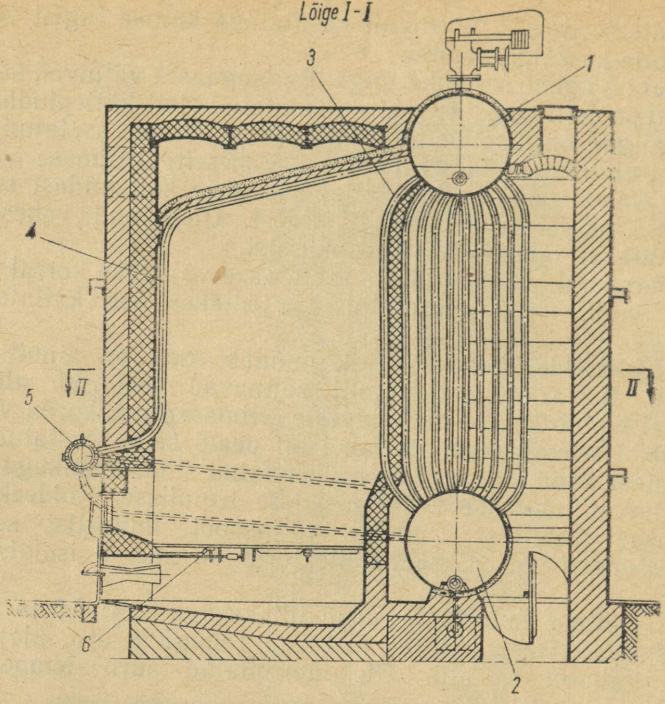
ВВД-katel (joon. 130) koosneb ülemisest trumlist *1*, alumisest trumlist *2* ja veetorudest *3* läbimõõduga 76/69 mm. Torud on asetatud paralleelsete ridadena trumli pikkusel ebaühtlase sammuga, mis hõlbustab keskmiste torude vahetamist ning torukimbult tahma ja lendtuha mahapuhumist. Katla kolle on kas osaliselt või täielikult ekraneeritud.

Katel on kolme suitsukäiguga, mis saadakse ühe rist- ja kahe piki-šamottvaheseina asetamise teel veetorude vahele. Sellega pikendatakse gaaside liikumise teekonda, mis uhuvad katlatorusid ristsuunas. Esimese ja teise suitsukäigu vahele on asetatud ülekuumendi. Katla kolle ning esimene ja teine suitsukäik on vooderdatud šamottkividega. Müüritise sõrestik on ühtlasi katla kandesõrestikuks, millele keevitatakse ülemist trumlit toetavad karprauad.

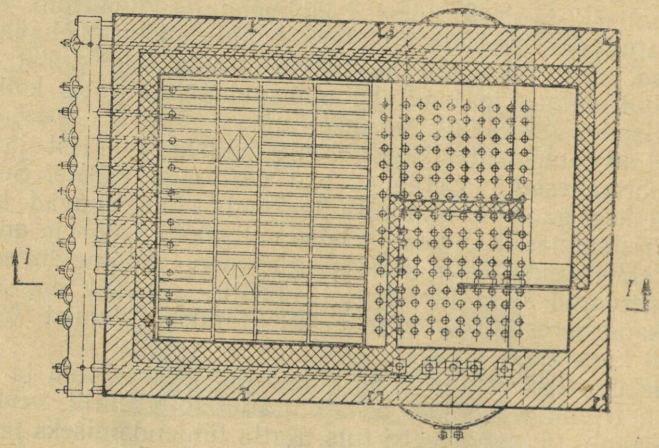
Katla ülemisele trumlile on kinnitatud kaitseklapid ja auruventiilid; trumli esipõhjale on kinnitatud toiteventiil, veeklaas, proovikraanid ja manomeetri tuts. Katla tühjendamiseks ja läbipuhumiseks on alumisel trumlil läbipuhumisventiil.

ВВД-katlaid ehitatakse töörõhuga 13 atü ja aurutootlikkusega 2,5; 4; 6,5 ja 10 t/h.

Lõige I-I




Lõige II-II



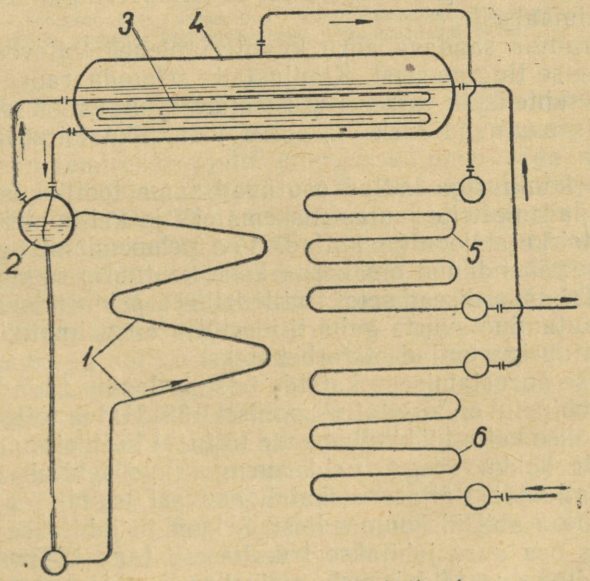

Joon. 130. ВВД-katel:

*1* — ülemine trummel; *2* — alumine trummel; *3* — veetorud; *4* — koldeekraan; *5* — ekraani kollektor; *6* — rest.

## 42. SUNDTSIRKULATSIOONIGA KATLAD

Sundtsirkulatsiooniga eritüübiliste kõrgrõhukatelde kasutuselevõtmine on tingitud vajadusest konstrueerida kergeid, väikeste gabariitidega katlaid peamiselt transpordiseadmetele. Kergete katelde ehitamiseks kasutatavad õhukese seinaga torud tuleb vajaliku küttepinna saamiseks valida väikese läbimõõduga, mis ei kindlusta head loomulikku tsirkulatsiooni. Selle tulemusena on kujundatud rida konstruktsioone, kus kasutatakse küttepindade sundjahutamist lisapumpade abil.

Kartus, et kõrgrõhukateldes võiks tekkida küttepindadel katlakivi, mis vähendaks küttepindade töötamise kindlust, kutsus esile kaudse aurustamisega katelde ehitamise, kus vee aurustamine ja küllastunud auru tekkimine on eemaldatud gaasidega kokkupuutuvatest küttepindadest. Niisuguste katelde tüüpilise esindaja töötamise põhimõte on kujutatud joonisel 131. Katla küttepind moodustab kaks iseseisvat kontuuri. Primaarkontuur sisaldab kolde ekraane, vastavate kollektoritega ühendatud katla konvektsioonküttepinna torusid *1* ja siugtorusid *3* katla peatrumlis *4*. Selles kontuuris saadakse gaaside poolt




Joon. 131. Kahe kontuuriga katla skeem:

*1* — primaaraurukontuuri kiirgus- ja konvektsioonküttepind; *2* — primaarauru-trummel; *3* — siugtorud (primaarauru-kondensaator); *4* — katla peatrummel (sekundaarauru); *5* — auruülekuumendi; *6* — ökonomaiser.

kuumutatavates torudes primaaraur, mida kasutatakse soojuse juhtimiseks peatrumlisse. Primaaraur voolab trumlist *2* siugtorudesse *3*, kus ta kondenseerub. Kondensaat valgub tagasi trumlisse *2*. Sekundaarkontuur koosneb ökonomaiserist, kus toitevesi soojeneb, peatrumlist *4*, kus vesi aurustub primaaraurult neeldunud soojuse tagajärjel, ja auruülekuumendist, kus küllastunud sekundaaraur ülekuumeneb. Toitevee eelsoojendamine ja sekundaarauru ülekuumendamine toimub vahetult suitsugaasidega.

Sekundaarauru saamine primaarauru kondenseerimise tagajärjel on võimalik selle tõttu, et rõhk primaarkontuuris hoitakse 20—30 at võrra kõrgem kui sekundaarkontuuris.

Katla koormust reguleeritakse primaarauru rõhuga, millele vastavalt muutub auru temperatuur.

Katla kõik elemendid, kus voolab primaaraur, moodustavad kinnise ringi. Viimane töötab destilleeritud veega, mistõttu selles ei teki katlakivi ega esine gaasidest põhjustatavat metalli sööbimist.

Auru tekkimine peatrumlis toimub väljaspool gaasikäike. Auruülekuumendi ja ökonomaiseri juures on gaasid juba tunduvalt jahtunud ning järelikult ka sekundaarringis tekib katlakivi minimaalselt.

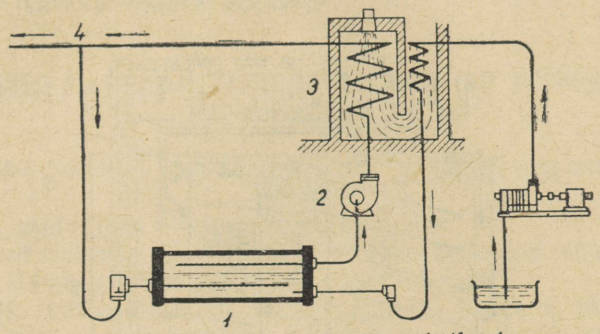
Peatrumlis saadava auru kvaliteet oleneb toiteveest ja vee aurustamise tingimustest. Kindlustada sekundaarauru vajalikku puhtust suhteliselt väikese veesisalduse juures on sekundaarkontuuris osutunud raskemaks kui loomuliku tsirkulatsiooniga kateldel.

Kahe kontuuriga katlad osutuvad sama tootlikkuse ja auru samade parameetrite juures raskemateks ja kallimateks kui loomuliku tsirkulatsiooniga katlad. Vee pehmendamise meetodite areng on vähendanud omakorda kahe kontuuriga katelde kasutusala. Transpordiseadmetel, milledel vee pehmendamise seadmete kasutamine suurte gabariitide tõttu on võimatu, osutuvad kahe kontuuriga katlad otstarbekateks.

Kaudse aurustamisega katelde teise iseloomustava tüübi töötamise põhimõte on kujutatud joonisel 132. Halva toitevee puhul saavutatakse katla töökindlus selle tõttu, et küttepinnad ei puutu seestpoolt kokku veega, vaid auruga, mis tekitab tunduvalt vähem katlakivi. Väljaspool katelt asuvast trumlist *1* juhitakse aur pumba *2* abil ülekuumendisse *3*, kust ta juhitakse tarbijale. Seejuures osa auru juhitakse trumlisse *1* tagasi. Trumlisse tagasipöörduv aur täidab vahesoojuskandja ülesannet. Trumlis juhitakse tagasitulev ülekuumendatud aur läbi vees asuvate puhurite. Seejuures jahtub aur kuni küllastustemperatuurini. Auru jahtumisel üleantud soojuse arvel aurustatakse osa trum-

lis asuvast veest. Edasi kordub sama ringkäik. Toitevesi juhitakse trumlisse ökonomaiseri kaudu.

Seega aurustatakse toitevesi tema segunemisel ülekuumendatud auruga. Kogu protsess toimub trumlis, mis ei puutu kokku kuumade gaasidega. Toitevees sisalduvad soolad sadestuvad trumlis. Ülekuumendisse võivad sattuda soolad ainult sellisel hulgal, kuipalju aur neid koos niiskusega kaasa viib. Et




Joon. 132. Kaudse aurustamisega katla skeem:

*1* — trummel; *2* — aurupump; *3* — auruülekuumendi; *4* — väljavõte trumlisse tagasipõörduvast ülekuumendatud aurust.

auru suruda läbi vaadeldud kontuuri, peab pumba rõhk olema ligikaudu 5 kg/cm². Kui seejuures auru rõhk katlas on madal, siis auru pumpamiseks vajalik energia kujuneb väga suureks. Energiakulu auru pumpamiseks on majanduslikult vastuvõetavates piirides — 2,5—3% katlas saadavast soojushulgast — ainult kõrgrõhu juures (100—120 ata), mil auru maht on väike.

Aur jahutab küttepinda tunduvalt halvemini kui vesi. Seepärast töötavad katla küttepinnad rasketes termilistes tingimustes, milledes ainult legeeritud teras vastu peab.

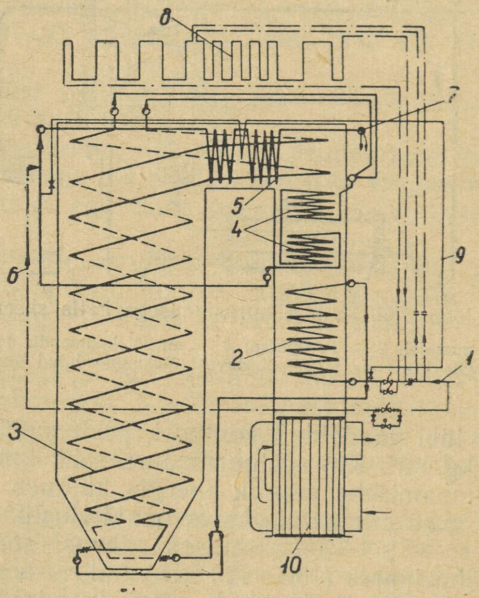
Aurupumba ja kallite terasemarkide kasutamise vajadus on katla suuremaks puuduseks.

Ühekordse sundtsirkulatsiooniga kateldest on kasutusel otsevoolukatlad. Nende katelde erinevus teiste tüüpidega võrreldes seisab selles, et aurustatav vesi ei tsirkuleeri korduvalt torudes või trumlites, vaid liigub vahetpidamatult gaasidega köetavaid torusid mööda, kus ta muutub algul küllastunud auruks ja edasi ülekuumendatud auruks.

Otsevoolukateldel puudub üks kõikide teist tüüpi katelde oluline osa, trummel. Seega muutub agregaat lihtsaks, kergeks ning tunduvalt lihtsustub katla ehitus. Seejuures aga kõik toiteveega katlasse tulevad soolad sadestuvad küttepindadele või

viiakse auruga kaasa turbiini. Sel asjaolul ei ole suurt tähtsust, kui katelt toidetakse puhta kondensaadiga. Kui aga kondensaatorid on ebatihedad, mille tõttu kondensaati pääseb osaliselt jahutusvett, muutub toitevee küsimus otsevoolukateldel väga tähtsaks. Teiseks erinevuseks otsevoolukatlal on väike soojuse akumulatsioonivõime. Seetõttu peab katla töö reguleerimine (kasutatava kütuse hulga vastavus katlasse juhitava toitevee hulgale) olema täpne ja painduv.

Ramsini otsevoolukatla töötamise skeem on toodud joonisel 133.




Joon. 133. Otsevoolukatla töötamise skeem:

*1* — toitevee sissejuhtimine; *2* — ökonomaiser; *3* — kiirgusküttepinna spiraaltorud; *4* — ülemine-kutsoon; *5* — auruülekuumendi; *6* — toitevee sisse-pritsimine auru temperatuuri reguleerimiseks; *7* — ülekuumendatud auru väljavool; *8* — kolde ja esimese gaasikäigu lae-ekraan; *9* — põlemis-regulaatori impulsstoru; *10* — õhueelsoojendi.

Toitevesi läbib ökonomaiseri ja voolab kolde seintel olevatesse spiraaltorudesse, mis moodustavad katla peamise küttepinna ja toodavad 70—80% auru.

Spiraaltorudest juhitakse auru ja vee segu ülemine-kutsooni, mis kujutab endast katla konvektsioonküttepinda ja asub võrdlemisi madala temperatuuri piirkonnas. Seal aurus-

tub vesi lõplikult ja aur kuumeneb kergelt üle. Edasi juhitakse aur esimeses suitsukäigus asuvasse konvektsioon-ülekuumendisse ja sealt tarbijale.

Auru temperatuuri reguleeritakse toitevee sissepritsimisega enne ülekuumendit.

Otsevoolukatlad on sobivad kasutada kõrgrõhkude juures. Tekkiva katlakivi kõrvaldamiseks tuleb torusid perioodiliselt sool- või kroomhappega läbi uhtuda. Peab aga märkima, et hape kahjustab teataval määral metalli.

## 43. VÄIKEKATELDE AURUTOOTLIKKUSE TÕSTMISE VÕIMALUSI

Paljudel juhtudel katelseadmed ei rahulda käitise aurutarvidust.

Auru puudujäägi põhjusteks võivad olla:

a) aurutarviduse suurenemine seoses tootmise suurenemisega või tehnoloogilise protsessi muutumisega;

b) katla mittekülllaldane aurutootlikkus. Katel ei anna küllaldaselt auru, kui tema eest halvasti hoolitsetakse, kui kolde võimsus osutub väikeseks peale üleminekut madalama väärtusega kütusele, kui tõmme on nõrk, kui õhuhulk pole küllaldane või kui puuduvad ettenähtud ökonomaiser ja õhueelsoojendi jne.

Katelseadme aurutootlikkuse tõstmist tuleb alustada katelde ja kütmisrežiimi korrastamisega. Selleks on vaja:

a) kõrvaldada väärõhu sissepääs avade korraliku sulgemisega ja müüritises ning suitsukäikudes olevate pragude saviga kinnimäärimisega;

b) kõrvaldada suitsukäikudest liigsed takistused ja hoida puhtad järelküttepinnad (ökonomaiser, õhueelsoojendi);

c) hoida korras tahmapuhumisseadmed ja regulaarselt puhuda tahma;

d) uurida kütmisrežiimi ja kõrvaldada puudused kütmisel.

Kolde võimsuse vähenemisel, seoses üleminekuga madalama väärtusega kütusele (suurem niiskus, tuhasisaldus ja peenikese osa hulk), tuleb tõsta õhu temperatuuri kuni lubatava piirini ja suurendada restipinda.

Sisekolded tuleb asendada ees- või allkolletega.

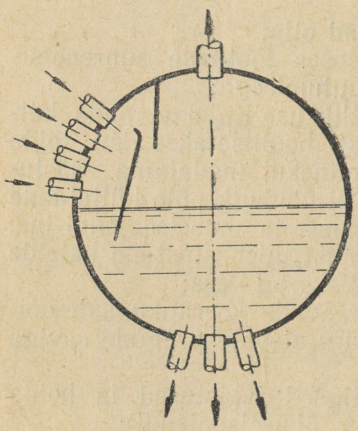
Tunduvat aurutootlikkuse tõusu võimaldab käsitsi teenindatavatelt kolletelt üleminek mehaanilistele kolletele ja ekraanide kasutuselevõtmine. Sel teel on võimalik katla aurutootlikkust tõsta kuni 50%.

Mõnedel juhtudel on võimalik kasutada sundtsirkulatsiooniga ekraane, millest vesi läbi surutakse pumba abil. Selliste ekraanide kasutamisel ees- või allkolletes on võimalik tõsta väi-

keste katelde aurutootlikkust kahe- ja enamkordseks. Seejuures tuleb ette näha kindel ekraanide toitmine veega (reservpump) ja avariijuhtudeks võimalus lasta aur läbi ekraanitorude.

## 44. AURU SEPAREERIMINE

Ülekuumendisse minev aur peab olema küllalt kuiv (lubatav niiskus mitte üle 0,1—0,2%) ega tohi sisaldada soolasid, mis võivad tekitada katlakivi ülekuumendi pindadele. Katlas olevas küllastunud aurus leiduvad veetilgakesed lähevad auruga kaasa ülekuumendisse. Veetilgakesed sisaldavad aga katlavees olevat muda ja soolasid. Mida suurem on küttepinna erikoormus, aurutuspeegli ja aururuumi suhe ning soolade hulk katlavees, seda suurem on soolade sisaldus aurus ja seda rohkem kantakse soolasid ülekuumendisse.



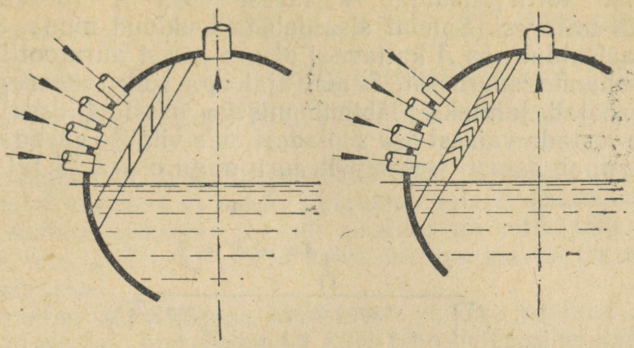
Joon. 134. Põrkeplaadiga auruseparaator.

Kõrgekvaliteedilise auru saamiseks kasutatakse mitmesuguseid seadmeid. Madalrõhuaurukateldes kasutatakse ülekuumendisse mineva auru niiskuse vähendamiseks trumli ülemisse ossa asetatud aukudega varustatud auruvõtmise toru.

Kõrgema rõhu juures on auru kvaliteedi hoidmine raskem. Katsed on näidanud, et niiskus katlast väljuvas aurus on seda suurem, mida suurem on katla aururuumi koormus ja auru väljumise kiirus. Aurust niiskuse eraldamiseks kasutatakse katlatrumlis erilisi seadmeid, *separaatoreid*. Separaatorid kujutavad põrkeplaate (joon. 134) või võresid, žalusiisid (joon. 135). Separaatorite töötamine põhineb auruvoolust veeosakeste eraldamisel auru kiiruse ja voolamise suuna muutmisel.

Tihti kasutatakse veeosakeste eraldamiseks ka suuri püsti või kaldu asetatud nurk- või karpraudadest koostatud pindu (joon. 136). Viimaseid läbides väheneb auru liikumiskiirus, veeosakesed sadestuvad pindadele ning valguvad tagasi veeruumi.

Auru separeerimiseks kasutatakse vahel ka trumlisse või väljapoole trumlit asetatud tsükloneid, mis töötavad koos teiste separatsiooniseadmetega.



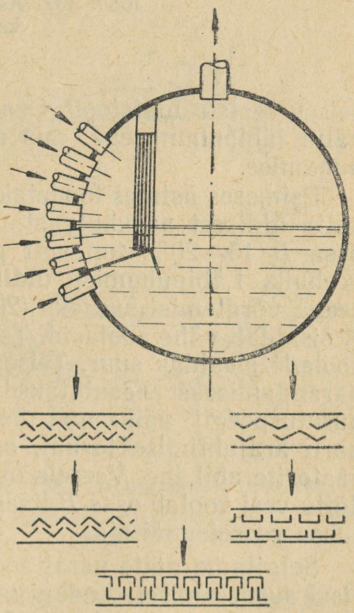
Joon. 135. Žalusiikujulised auruseparaatorid.

## 45. ASTMELINE AURUSTAMINE

Praktika on näidanud, et eelkirjeldatud separaatorid ei täida oma ülesannet, kui soolade sisaldus katlavees ületab teatava piiri ja kui katlas tekib vaht. Katlavee soolade sisaldust vähendatakse katla läbipuhumisega. Sellega on aga seotud vee ja soojuse kadu. Kadude vähendamiseks on võetud kasutusele vee astmeline aurustamine.

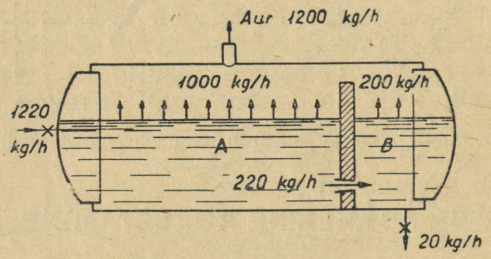
Astmelisel aurustamisel jagatakse katla veeruum vaheseintega kahte või kolme ossa, millel on iseseisev vee tsirkulatsioon ja aurutuspeegel.

Joonisel 137 on kujutatud silindrilise katla skeem, kus katel on vaheseinaga jagatud kahte aurutusastmesse *A* ja *B*. Esimesse ossa *A* juhitakse toitevesi. Küttepinna poolt vastuvõetava soojuse toimel tekib seal vee tsirkuleerimine ja aur. Osa katlavett voolab vaheseinas oleva ava kaudu osast *A* ossa *B*. See vesi on osale *B* toiteveeks, kuid osale *A* moodustab läbipuhumise. Auru



Joon. 136. Veeosakeste eraldamine mitmesuguse kujuga vertikaalpindade abil.

tekkimise tõttu sisaldab katlavesi osas *A* rohkem soolasid kui toitevesi. Samuti sisaldab ta tekkinud muda. Soolade ja mudasisaldus osa *A* katlavees oleneb osa *A* aurutootlikkusest ja läbipuhumise suurusest. Samal ajal aga kõik toiteveega sisenenud soolad juhitakse läbipuhumisega osast *A* ossa *B*, kui mitte arvestada väikest osa sooladest, mis viiakse auruga kaasa. Osa *B* annab samuti iseseisvalt auru nagu osa *A* ja tal on ise-




Joon. 137. Astmelise aurustamisega katla skeem.

seisev veetsirkulatsioon. Osast *B* viiakse soolad ja muda samuti välja läbipuhumisega, mis moodustab ühtlasi kogu katla läbipuhumise.

Esimeses astmes toodetakse 80—85%, teises astmes 15—20% katla üldisest auruhulgast. Vastavalt sellele juhitakse osast *A* ossa *B* 15—20% toitevett pluss katla läbipuhumiseks vajalik veehulk. Läbipuhumise üldine protsent osa *A* kohta kujuneb seega võrdlemisi suureks (20—25%), mille tõttu katlavesi osas *A* sisaldab vähe soolasid. Teises astmes *B* on seevastu katlavee soolade sisaldus suur. Teises astmes toodetava auru kvaliteedi parandamiseks kasutatakse mitmesuguseid abinõusid, nagu aurutuspeegli väiksemat koormust, pikka auruteekonda kuni auru ärajuhtimise toruni, osalist vee eraldamist aurust separaatorite abil jne. Veeseis osas *B* on madalam kui osas *A*, mistõttu vesi voolab ossa *B* lisaseadmete abita. Igale astmele asetatakse veeseisunäitaja.

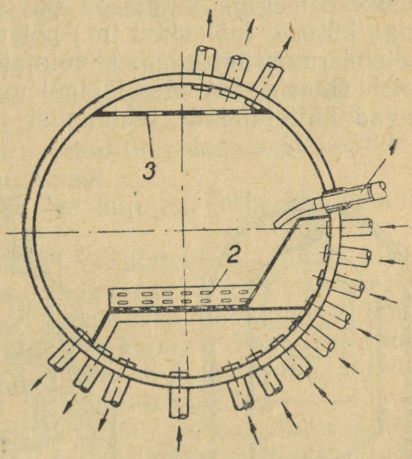
Selgitame näite varal soolade jagunemist katlas kaheastmelisel aurustamisel. Andku katel auru 1200 kg/h, kusjuures toitevesi sisaldagu soolasid 60 mg/l. Osas *A* toodetagu auru 1000 kg/h ja osas *B* 200 kg/h, kusjuures katla läbipuhumine olgu keskmiselt 20 kg/h. Seega ossa *A* antakse kogusummas 1220 kg/h vett, millest ossa *B* voolab 220 kg/h. Vastavalt teoreetilisele arvutusele kujuneb katlavee soolade sisaldus osas *A* 333 mg/l ja osas *B* 3660 mg/l. Otsesel aurustamisel oleks kogu

katlavee soolade sisaldus 3660 mg/l. Osa *B* kohta moodustab läbipuhumine $\frac{20}{200} \cdot 100 = 10\%$, osa *A* kohta $\frac{220}{1000} \cdot 100 = 22\%$, kuid kogu katla kohta $\frac{20}{1200} \cdot 100 = 1{,}67\%$ aurutootlikkusest. Praktiliselt kujuneb soolade sisaldus osas *A* natuke suuremaks ja osas *B* natuke väiksemaks.

Et saada astmelisel aurustamisel häid tulemusi, peab kindlustama, et vahesein ei laseks suurema soolade sisaldusega vett tagasi voolata väiksema soolade sisaldusega vette, tähendab, et ta oleks tihe ja et ta ei laseks vahtu üle voolata tagumisest astmest eesmisse.

Astmeline aurustamine kindlustab väikese soolade sisaldusega küllastunud auru saamist, mille tõttu võib vähendada katla üldist läbipuhumist. Keskmise ja suurema võimsusega aurukatlad ehitatakse astmelise aurustamisega, kui otsesel aurustamisel katlavee soolade sisalduse lubatud piirides hoidmiseks vajalik läbipuhumine osutub suuremaks kui 3%. Moodsates aurukateldes, kus kasutatakse ainult ühte trumlit, esineb tihti aurustamise teise astmena abikollektor. Kasutatakse ka kolmeastmelist aurustamist, mille puhul katla trummel peab olema kahe vaheseinaga.

Auru kvaliteedi parandamiseks kasutatakse ka katlatrumlis tekkiva vahu pesemist (joon. 138) toiteveega. Toitevesi antakse katlasse torurea *1* kaudu kogu aurutuspeegli ulatuses. Katlas tekkinud aur juhitakse läbi alumise võreplaadi *2*. Toitevee ja auru ühtlane jaotus aurutuspeegli ligiduses põhjustab katlavee soolade kontsentratsiooni, seega ka vahu tekkimise tunduvat vähenemist.




Joon. 138. Vahupesemine toiteveega: 1 — toitetorud; 2 — võreplaat; 3 — auru separatsioonivõre.

Astmelisel aurustamisel koos vahupesemise kasutamisega on võimalik saada katlast praktiliselt puhast auru ka katlavee kõrge soolade kontsentratsiooni puhul. See võimaldab vähendada nõudeid toitevee ettevalmistamise suhtes ja katla läbipuhumist.

## 46. MADALRÕHUAURUKATLAD JA VEEKATLAD

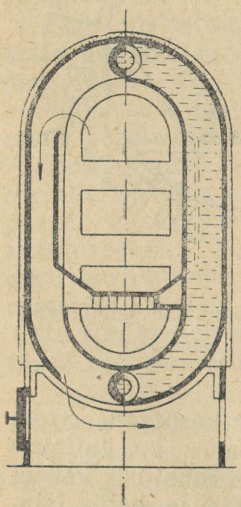
Madalrõhuaurukatlaid (töörõhuga alla 0,7 atü) ja veekatlaid kasutatakse elamute ja tööstuste keskkütte-katlamajades.

Odavuse ja kompaktsuse tõttu kasutatakse selleks laialdaselt malmkatlaid.

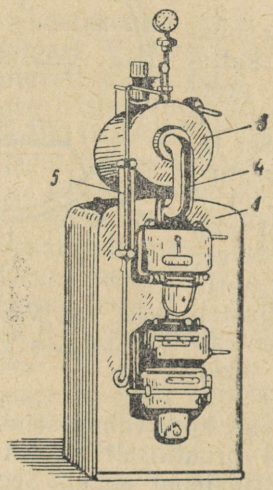
Malmkatelde eelisteks on: katelde väike gabariit; üksikute sektsioonide kerge vahetamine ja erineva küttepinnaga katelde moodustamise võimalus standardsetest sektsioonidest; katla seinte vastupidavus nii seesmisele kui ka välimisele sööbimisele; sektsioonide puhastamise võimalus lendtuhast ja tahmast katla töötamise ajal.

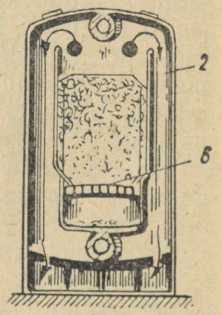
Malmkatelde puudusteks on: metalli haprus, mistõttu neid on lubatud kasutada töörõhul mitte üle 0,7 atü ja veekatlaid vee temperatuuril mitte üle 115°; sektsioonide puhastamise raskus katlakivist, mille tõttu katla täielik puhastamine on võimalik ainult keemilisel teel.

Malmkateldel tüüp HM (joon. 139) ja НБ (joon. 140) on sisekolded ja nad on ette nähtud töötamiseks kõrgeväärtuslike, lühikese leegiga kütustega (kivisüsi, antratsiit jm.). Pika leegiga kütuste (põlevkivi jm.) põletamine on raskendatud väikese põlemisruumi tõttu, mis ei võimalda gaaside korralikku läbipõlemist. Gaasid, sattudes läbipõlematult suitsukäikudesse, põhjustavad küttepindade tahmumist ja tõmbe ning soojusülekande



Joon. 139. Malmkatel HM.




Joon. 140. Malm-aurukatel НБ:

*1* — katla sektsioonid; *2* — keskmine sektsioon; *3* — aurukoguja; *4* — põlvik; *5* — veeseisunäitaja; *6* — rest.

halvenemist. Põlevkivi põletamist raskendab veel selle suur tuhasisaldus.

Mõlemat tüüpi katlad koosnevad malmist valatud esi- ja tagalülist või sektsioonist ning reast keskmistest lülidest. Lülid ühendatakse omavahel kooniliste niplitega, mis asetatakse sektsioonide ülemistesse ja alumistesse aukudesse ja tõmmatakse kokku poltidega.

Sektsioonide siseõõned moodustavad katla veeruumi. Vesi siseneb sektsiooni alumiste avade kaudu, hargneb edasi kaheks vooluks ja ülespoole tõustes soojeneb. Ülemise ava juures, kust vesi juhitakse katlast välja, mõlemad veevoolud ühinevad.

Igal sektsioonil on mõlemal pool sisemised ja välimised ribid. Kokkupandud katla juures tihedasti kokkupuutuvad ribid moodustavad sektsioonide vahel kanalid koldest tulevatele suitsugaasidele.

Esisektsioonis on uksed kütuse ja õhu sisseandmiseks, resti teenindamiseks ning tuha eemaldamiseks.

Rest valatakse kas eraldi või koos sektsioonidega.

Katla küttepinna suurus sõltub keskmiste sektsioonide arvust. Katlal HM — väike mudel — on 6—12 sektsiooni, millele vastab küttepind 5—11 m². Katlal НБ — suur mudel — on 5—12 sektsiooni, katla küttepind 8,9—24,3 m².

Kokkumonteeritud sektsioonid kaetakse külgedelt ja ülalt asbestpapiga; papp ümbritsetakse väljastpoolt lehterasest kestaga.

Katlad on ülal ja külgedel varustatud luukidega sektsioonide puhastamiseks lendtuhast ning tahmast.

Katla HM sektsioonid on ovaalse kujuga, katla НБ omad aga peaaegu ristkülikukujulised.

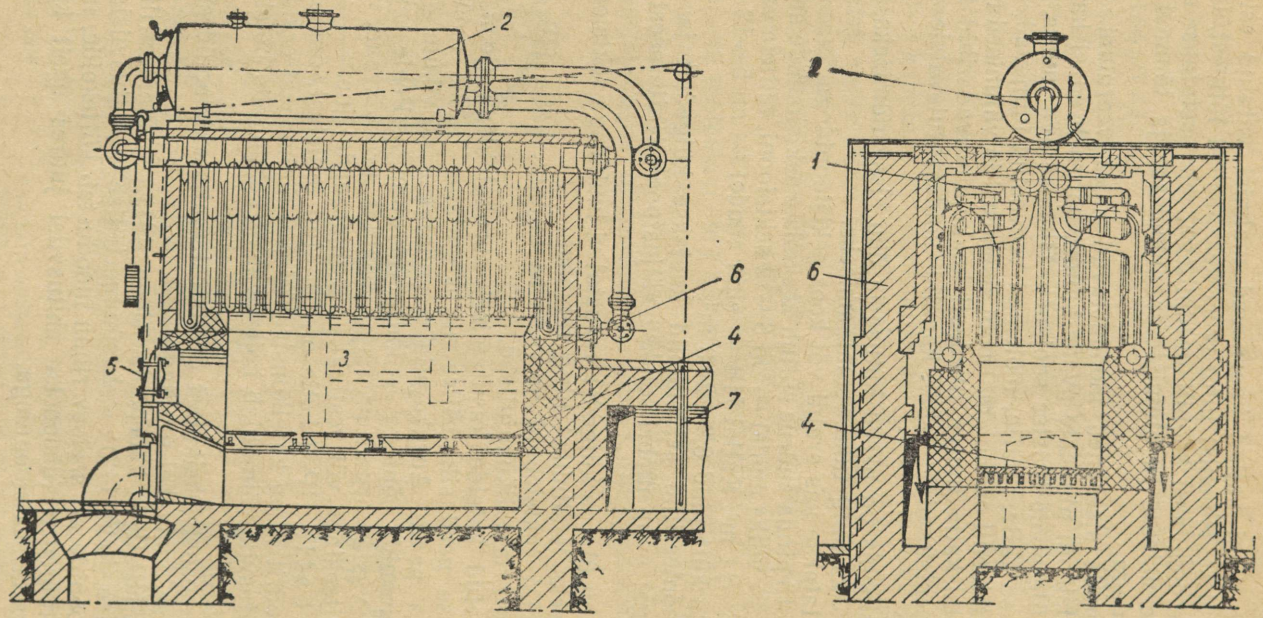
Kirjeldatud katelde kasutamisel aurukateldena (joon. 140) varustatakse need silindrilise aurukogujaga *3*, mis monteeritakse katla peale. Aurukoguja ühendatakse põlvikute *4* abil malmsektsioonide õõntega — katla veeruumiga. Peale selle on katlal veel vastav armatuur, nagu veeklaas, proovikraan, manomeeter, kaitseklapp või vesilukk (purgimisseade) jne.

Malmkatla НР-Ч kolle on ehitatud tellistest, omab tulekindlat voodrit ja on katelkonstruktsiooni malmosast eraldatud. Selline ehitusviis võimaldab kollet vabalt kohandada põletatava kütuse liigile.

Katel koosneb üksikutest õõnsatest malmsektsioonidest, mis ühendatakse omavahel niplitega.

Katlad НР-Ч on kahepoolse (joon. 141) — sümmeetrilise — ja ühepoolse (joon. 142) — ebasümmeetrilise — ehitusviisiga.

Sektsioonide all asetsev ruum moodustab küttekolde, mis on ülalt ja külgedelt (ühepoolse ehitusviisi juures ühelt küljelt) piiratud katla sektsioonidega.




Joon. 141. Kahepoolse ehitusviisiga malm-aurukatel НР-Ч:

*1* — katla sektsioon; *2* — aurukoguja; *3* — kolle; *4* — rest; *5* — koldeuks; *6* — katla müüritis; *7* — siiber.

Sellises koldes võib põletada igasugust kütust, kaasa arvatud ka madalaväärtuslikud kütused. Kütuse põlemine võib toimuda kas loomulikul tõmbel või õhu puhumisega resti alla.

Suitsugaasid tõusevad kolde ülaossa ning laskuvad sealt suitsukäiku mööda alla. Suitsukäiguks on sektsioonide malmribide ja katla müüritise vaheline ruum.

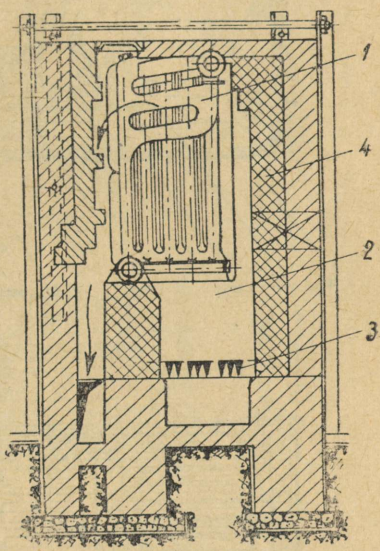
Müüritises on ülal ja esiküljel luugid küttepindade puhastamiseks lendtuhast ning tahmast.

Katlaid НР-Ч kasutatakse nii vee- kui ka aurukateldena. Viimastes ühendatakse katla veeruum ülalasetseva aurukogujaga samal viisil nagu katelde НМ ja НБ juures.

Laialdaselt on levinud terasest veekatlad НР, mis koosnevad üksikutest omavahel kokkukeevitatud torudest. Nimetatud katlad on oma väliskujult sarnased kateldega НР-Ч.

Malmkatel «Universaal» (ЩК-1, joon. 143) koosneb samuti üksikutest õõnsatest malmsektsioonidest, mis on omavahel ühendatud niplite abil ja kokku tõmmatud poltidega.

Sektsioonid on väljastpoolt isoleeritud asbestpapiga ja kaetud lehtterasest kattega. Selline ehitusviis vähendab katelagregaadi gabariitmõõtmeid.




Joon. 142. Ühepoolse ehitusviisiga malmkatel НР-Ч:

*1* — katla sektsioon; *2* — kolle; *3* — rest; *4* — katla müüritis.

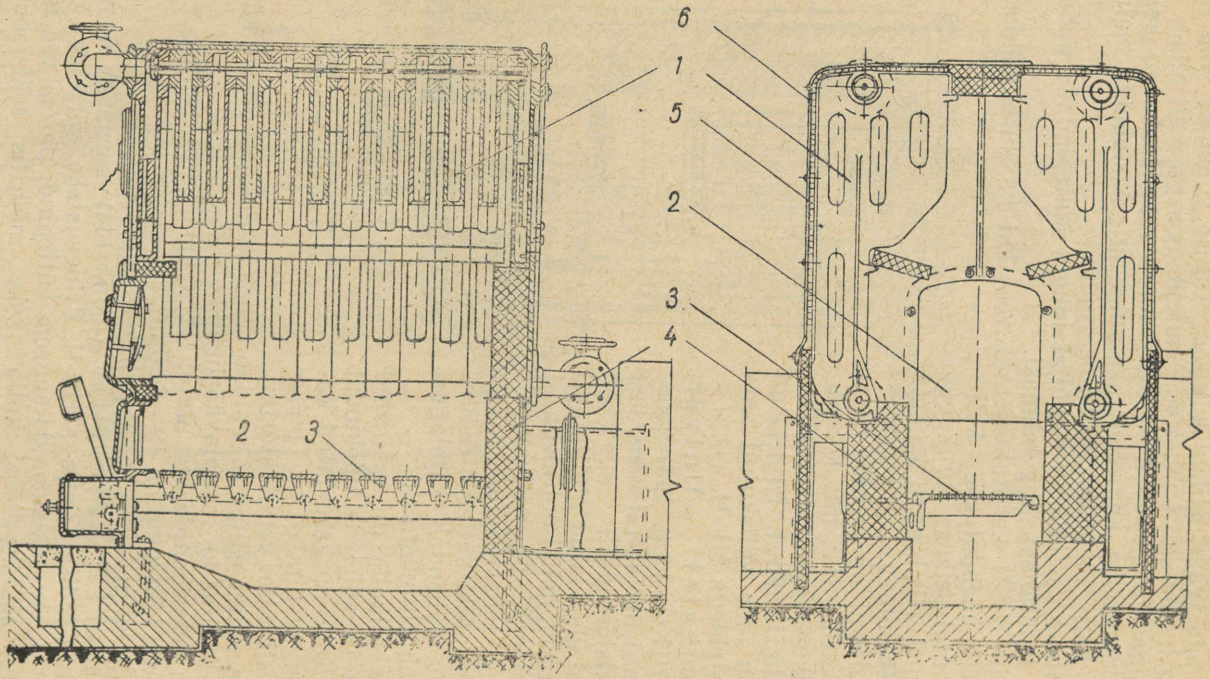
Katla allkolle on müüritud tellistest ja sellel on tulekindel vooder. Kolle on varustatud kiigutatava restiga. Õhk puhutakse resti alla ventilaatoriga.

Kolde selline ehitus võimaldab põletada mitmesuguseid kütuseid, sealhulgas ka madalaväärtuslikke.

Katla sektsioonide arv ulatub 12-st kuni 24-ni, millele vastavalt katla küttepind on 12—24,6 m².

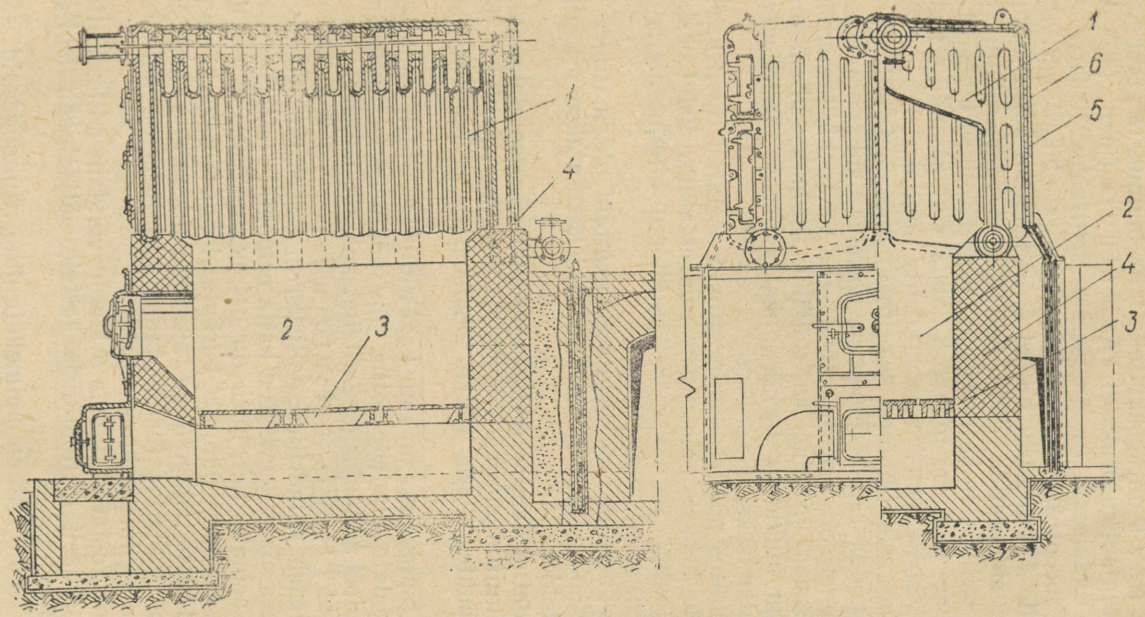
Ülal ja külgedel on katlal puhastusluugid.

Malmkatel «Plaamja» (joon. 144) sarnaneb konstruktsioonilt üldiselt katlaga НР-Ч. Erinevusteks, võrreldes katlaga НР-Ч, on: sektsioonide suurem küttepind; parem vee tsirkulatsioon sektsioonides; katla raske müüritis sektsioonide ulatusel on asendatud kerge asbestlehtedest ja terasplekist kattega; sektsioonide ühendusdetailide lihtsustatud konstruktsioon.




Joon. 143. Malmkatel «Universaal» (ЩК-1):

*1* — katla sektsioon; *2* — kolle; *3* — rest; *4* — kolde müüritis; *5* — isolatsioon (asbestpapp); *6* — lehterasest kate.




Joon. 144. Malmkatel «Plaamja»:

*1* — katla sektsioon; *2* — kolle; *3* — rest; *4* — kolde müüritis; *5* — isolatsioon (asbestpapp); *6* — lehtterasest kate.

«Plaamja»-tüüpi katlaid ehitatakse sektsioonide arvuga 24, 32 ja 40, küttepinnaga vastavalt 37, 49 ja 61 m².

Eesti NSV-s on keskküttekatlana levinud terasest kolmekäiguline leegisuitsutorukatel «Armatuur» (joon. 145). Viimane koosneb ovaalsesse (uuematel silindrilisse) väliskerre *1* asetatud leegitorust *2*, mis on otstes keevitatud katla esipõhjale ja tulekarbile *3*. Tulekarbi seinad on sidestatud katla tagapõhjaga ja kerega sidepoltide *7* abil. Suitsutorud *6* on valtsitud torulaudadesse, milleks on katla esi- ja tagapõhi ning tulekarbi esisein.

Katel on toetatud tugede *8* kaudu vundamendile. Katla kere on väljastpoolt isoleeritud; müüritis puudub.

Suitsugaasid, läbinud leegitoru, voolavad alumisi suitsutorusid mööda tagant ettepoole eesmisse suitsukambrisse *4* ja sealt ülemisi suitsutorusid mööda eest tahapoole tagumisse suitsukambrisse *5* ja edasi suitsukäiku. Eesmine suitsukamber on varustatud luukidega torude puhastamiseks, järelevaatamiseks ja parandamiseks.

Tahkekütus põletatakse leegitorru asetatud restil *9*. Madalaväärtuslike kütuste põletamiseks varustatakse katel eeskoldega. Õlikütte puhul juhitakse õli leegitorru õlipihustitega, gaasikütte puhul gaas — põletitest.

Kolmekäigulisi leegi-suitsutorukatlaid «Armatuur» ehitatakse küttepinnaga 6—70 m² ja neid kasutatakse nii auru- kui ka veekateldena.

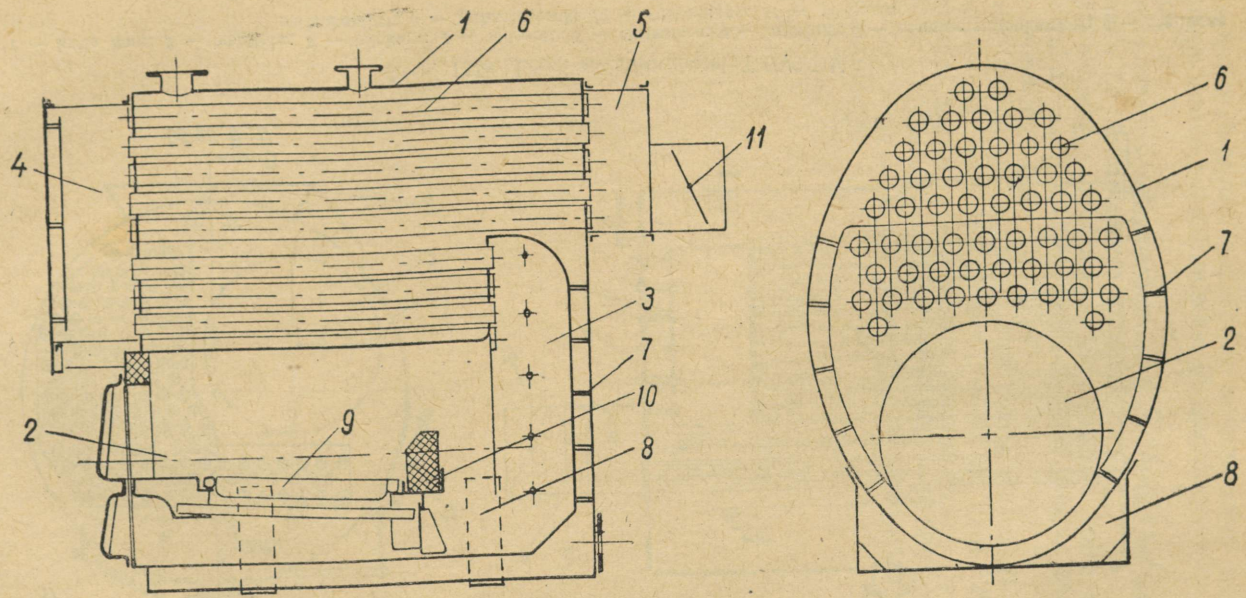
Kirjeldatud katelde eeliseks on suur soojuse akumulatsioonivõime (tingitud suurest veemahust), väike tundlikkus toitevee puhtuse suhtes, katla lihtne käsitsemine ja müüritise puudumine.

Katla puudusteks on suur kaal ning jäik konstruktsioon suure arvu lamedate pindade tõttu, mis põhjustavad katla hooletul teenindamisel suitsutorude valtsimiskohtade lekkimist.

Terasest leegi-suitsutorukatel T-80/0,7-V (joon. 145a) koosneb silindrilisse väliskerre *1* asetatud leegitorust *2*, mis on ühes otsas keevitatud katla esipõhjale ja teises otsas tulekarbi *3* seinale. Leegitoru on paigutatud katla ühele küljele, mis tagab katlavee paremat tsirkulatsiooni. Tulekarbi seinad on sidestatud katla tagapõhjaga ja kerega sidepoltide *4* abil. Suitsutorud *5* on valtsitud torulaudadesse, milleks on katla esi- ja tagapõhi ning tulekarbi esisein.

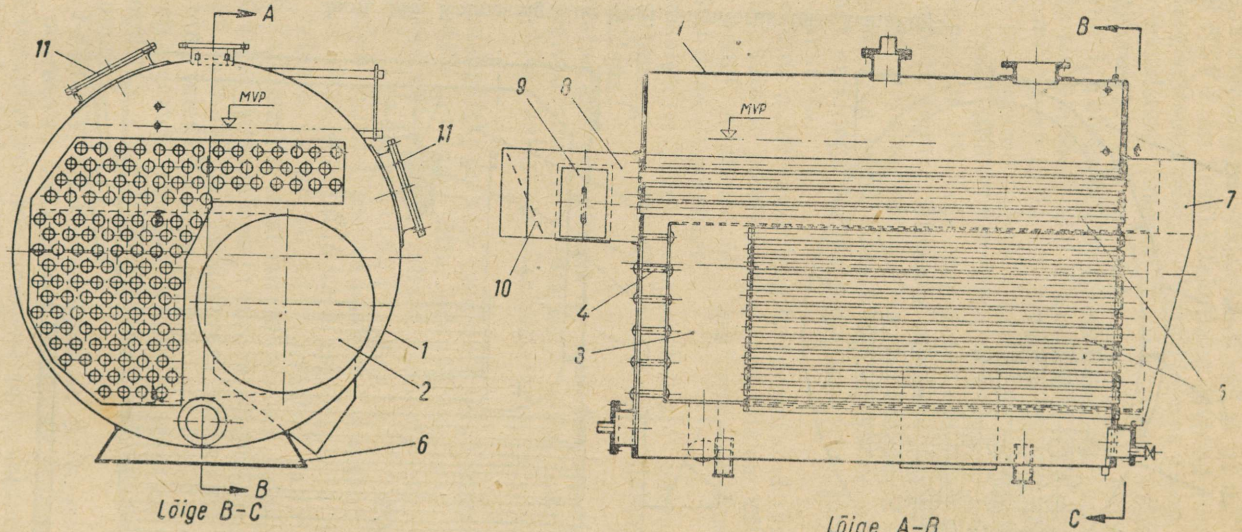
Katel on toetatud tugede *6* kaudu vundamendile. Katla kere on analoogiliselt «Armatuuri» katlale väljastpoolt isoleeritud; müüritis puudub.

Katel T-80/0,7-V on kolmekäiguline. Suitsugaasid, läbinud leegitoru, pöörduvad vasakule ja voolavad alumisi suitsutorusid mööda tagant ettepoole eesmisesse suitsukambrisse *7* ja sealt ülemisi suitsutorusid mööda eest tahapoole tagumisse suitsu-




Joon. 145. Kolmekäiguline leegi-suitsutorukatel «Armatuur»:

*1* — katla kere; *2* — leegitoru; *3* — tulekarp; *4* — eesmine suitsukamber; *5* — tagumine suitsukamber; *6* — suitsutoru; *7* — sidepolt; *8* — katlatugi; *9* — rest; *10* — tulemüür; *11* — siiber.




Joon. 145a. Leegi-suitsutorukatel T-80/0,7-V.

*1* — katla kere; *2* — leegitoru; *3* — tulekarp; *4* — sidepolt; *5* — suitsutoru; *6* — katlatugi; *7* — eesmine suitsukamber; *8* — tagumine suitsukamber; *9* — puhastusluuk; *10* — suitsuklapp; *11* — pääsuava.

kambrisse *8*. Viimane on varustatud puhastusluugiga *9* ja pööratava suitsuklapiga *10*. Eesmine suitsukamber on varustatud luukidega torude puhastamiseks, järelevaatamiseks ja korrastamiseks.

Katla sisemiseks puhastamiseks ja järelevaatuseks on kaks pääsuava *11* läbimõõduga 420 mm.

Tahkekütuse põletamiseks varustatakse kolle restiga; õlikütte puhul seadistatakse katel õlipihustitega, gaasikütte puhul — põletitega.

Katlaid T-80/0,7-V kasutatakse veekateldena ja madalrõhuaurukateldena. Katelde küttepind on 80 $m^2$, kaal 5250 kg. Katla küttepinna soojuslik erikoormus ulatub vedel- ja gaasiküttel 12 000 kcal/$m^2$h, tahkekütuste puhul 9000—10 000 kcal/$m^2$h.

Katlad T-80/0,7-V sarnanevad oma omadustelt «Armatuur» tüüpi kateldega.

# VII. AURUÜLEKUUMENDI

## 47. ÜLEKUUMENDI EHITUS JA TÖÖTAMINE

Ülekuumendatud auru kasutamine tõstab tunduvalt aurujõuseadmete ökonoomsust. Auru ülekuumendamiseks on ülekuumendid.

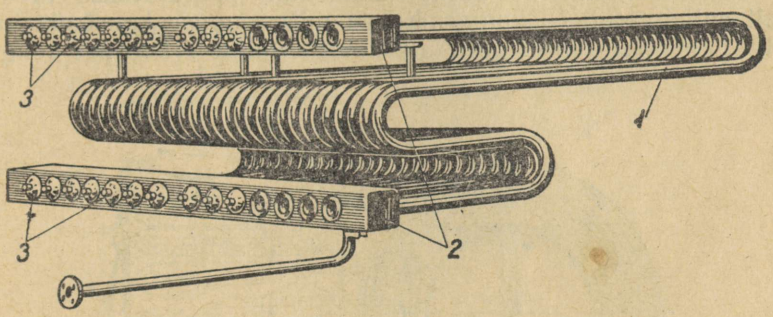
Auru rõhk ülekuumendis on väiksem kui katlas rõhukadude tõttu katla ja ülekuumendi vahelises torustikus ja ülekuumendis endas. Ülekuumenduse temperatuur võib olla mitmesugune, sõltuvalt nõudeist, mida aurutarbijad esitavad. Aurumasinad vajavad auru temperatuuriga 300—375°, auruturbiinid 400° ja rohkem. Küllastunud auru jaoks ehitatud aurumasinad võivad töötada ülekuumendatud auruga temperatuurini kuni 220°. Ülekuumendist väljuva auru temperatuur peab olema 5—10° kõrgem kui tarbija vajab, sõltuvalt soojuskadudest aurutorustikus. Isegi juhul, kui käitis kasutab küllastunud auru, on soovitav katlamajas toota kergelt ülekuumendatud auru, kuna viimane ei kondenseeru torustikkudes.

Aurukatlas saadakse niiske küllastunud aur. Erinevatel kateldel on erinev ka auru niiskus, mis suureneb tavaliselt koos katla koormuse suurenemisega. Auru niiskus vanemates kateldes on 1—3% piirides. Uued võimsad katlad peavad andma auru niiskusega mitte üle 0,5%. Säärane madal niiskuse protsent saavutatakse heade separaatorite ja katla vastava veerežiimi kasutamisega.

Ülekuumendatud auru saamiseks tuleb esiteks aurustada aurus sisalduv niiskus ja saadud kuiv küllastunud aur üle kuumendada nõutud temperatuurini.

Auruülekuumendi (joon. 146) koosneb torudest *1* läbimõõduga 30—40 mm, milledele antakse soovitav kuju vastavate rullvaltside abil. Torud painutatakse külmas olekus, liivaga täitmata. Torude otsad valtsitakse kas kandilistesse või ümmargustesse kollektoritesse *2*. Kollektorites asuvad torude vastas luugid, et võimaldada torude valtsimist, ülevaatust ja üksikult nende läbipesemist. Mõnedes konstruktsioonides kasutatakse luukide ase-

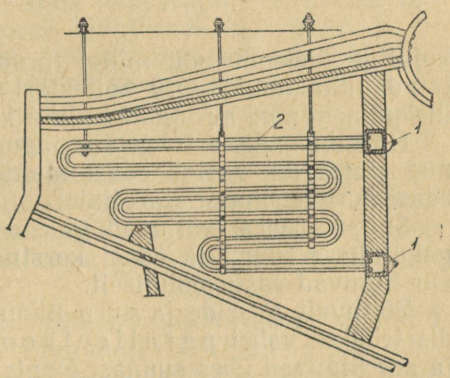
mel korke. Ühe kollektoriga ühendatakse küllastunud auru, teisega ülekuumendatud auru torustik. Ülekuumendisse tulev aur jaguneb siugtorudesse, mida väljastpoolt kuumendatakse suitsugaasidega. Ülekuumendatud aur kogutakse väljumiskollektorisse, kust ta juhitakse aurutorustikku. Kollektorid valmistatakse läbipuhutavad. Ülekuumendatud auru kollektorile aseta-




Joon. 146. Horisontaalne auruülekuumendi:
*1* — siugtorud; *2* — kollektorid; *3* — luugid.

takse kaitseklapp ja aurutorustiku algusesse auru sulgventiil ning termomeeter. Auruülekuumendi torud ja kollektorid valmistatakse keskrõhule ja ülekuumendustemperatuurile kuni 425° süsinikterasest, kõrgematele rõhkudele ja temperatuuridele — legeeritud terasest.

Siugtorude vastastikuse õige asendi säilitamiseks ja ülekuumendi paremaks kohaleasetamiseks ühendatakse torud karpraudade ja sidepoltide abil ühiseks paketiks. Ülekuumendi riputatakse tavaliselt katla sõrestikule (joon. 147). Seejuures võivad kollektorid asetseda horisontaalselt või vertikaalselt. Samuti võivad siugtorud asetseda gaasikäigus horisontaalselt või vertikaalselt. Esimesel juhul on võimalik katla seiskamisel neist vett välja lasta. Teisel juhul on siugtorude lendtuhaga kattumise oht väiksem.

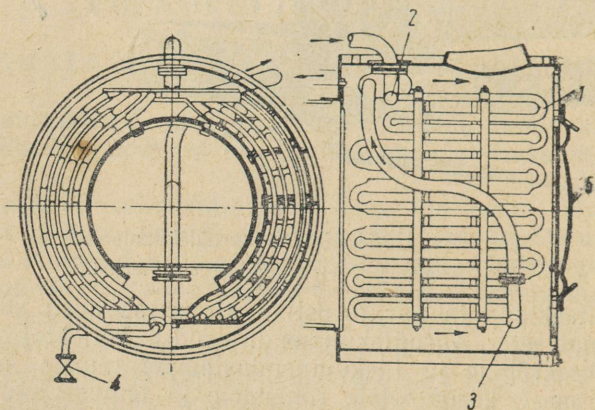



Joon. 147. Horisontaalse auruülekuumendi riputamine:
*1* — kollektorid; *2* — siugtorud.

Auruülekuumendi paigutatakse tavaliselt esimese ja teise suitsukäigu vahekohta. Gaaside tempe-

ratuur ülekuumendi ees ulatub leegitorukateldel 450—650°-ni, veetorukateldel 600—900°-ni ja rohkem, lokomobiilikateldel 350—500°-ni. Gaaside temperatuur ülekuumendi ees tõuseb katla koormuse suurendamisel, esimese gaasikäigu ja ekraanide küttepindade mustumisel ja ebaõige põlemise puhul koldes, kui leek ulatub ülekuumendini.

Lokomobiilikatelde auruülekuumendid paigutatakse tavaliselt suitsukarpi. Ülekuumendid on mitmesuguse konstruktsiooniga. Joonisel 148 on kujutatud siugtorudest *1* koosnev rõnga-




Joon. 148. Lokomobiilikatla rõngakujuline auruülekuumendi.

*1* — siugtorud; *2* — küllastunud auru kollektor; *3* — ülekuumendatud auru kollektor; *4* — tühjendusventiil; *5* — puhastusluuk.

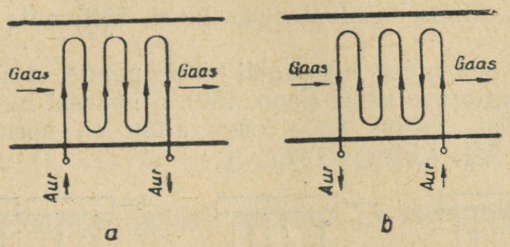
kujuline ülekuumendi, millel torude ülemised otsad on keevitatud küllastunud auru kollektori *2* külge, alumised otsad — ülekuumendatud auru kollektori *3* külge.

Ülekuumendisse tulev aur jaguneb kaheks vooluks ja, läbinud siugtorud, voolab edasi alumisse kollektorisse ning sealt edasi aurumasinasse (tarbijale).

Suitsutorudest väljuvad gaasid juhitakse ülekuumendi rõngakujulisse ruumi ja edasi korstnasse. Seega suitsugaasid ja aur liiguvad vastuvooluliselt.

Sõltuvalt gaaside ja auru liikumise suundadest ülekuumendis tehakse vahet p a r a l l e e l v o o l u-ülekuumendi (kui gaasid ja aur liiguvad ühes suunas, joonis 149, *a*), v a s t u v o o l u-ülekuumendi (kui gaasid liiguvad aurule vastu, joonis 149, *b*) ja s e g a v o o l u-ülekuumendi (võimsatel kateldel) vahel. Paralleelvoolu puhul jahutatakse ülekuumendi torusid, mis asuvad

gaaside liikumise suhtes eespool, veel niiske auruga. Viimastes torudes on aur juba ülekuumenenud, kuid gaaside temperatuur on madalam. Seega on paralleelvoolu puhul torude jahutamine auruga soodne, kuid on vajalik auruülekuumendi suur pind.




Joon. 149. Gaaside ja auru liikumise skeem auruülekuumendis:
*a* — paralleelvool; *b* — vastuvool.

Peale selle eralduvad soolad aurust kõige kuumemates torudes, mistõttu need võivad kiiresti läbi põleda. Vastuvoolu puhul võib ülekuumendi küttepind olla väiksem, kuid esimeste torude temperatuur gaaside liikumise suunas on kõrgem kui paralleelvoolul.

Ülekuumenenud auru temperatuur muutub katla töötamise ajal. Temperatuur tõuseb peale ülalnimetatud põhjuste veel juhul, kui ülekuumendist läbivoolava auru hulk väheneb, s. o. juhul, kui osa küllastunud auru antakse otse tarbijale. Ülekuumenenud auru liiga kõrge temperatuur võib muutuda ohtlikuks ülekuumendile ja masinatele. Auru temperatuur ülekuumendis langeb katla väikesel koormusel, siugtorude kattumisel lendtuhaga ja auru suure niiskuse puhul. Seepärast tuleb ülekuumendatud auru temperatuuri pidevalt kontrollida.

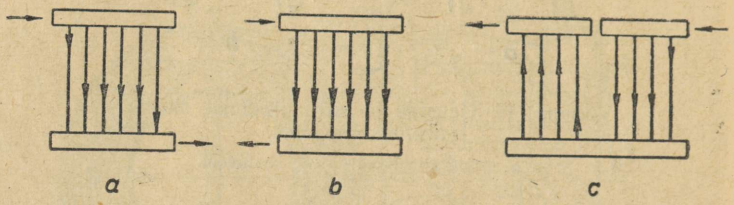
Ülekuumendatud auru temperatuuri reguleeritakse kas suitsugaaside osalise möödajuhtimisega ülekuumendist, auru jahutamise teel või konvektsioon-kiirgusülekuumendi kasutamisega.

Esimest viisi kasutatakse ainult vanemat tüüpi väikese võimsusega katelde puhul, sest gaasikäiku asetatud reguleerklapp töötab suhteliselt kõrge temperatuuriga suitsugaaside piirkonnas ebakindlalt.

Ülekuumendatud auru jahutamiseks kasutatavad aurujahutid on kas sissepritsimistüüpi või pindjahutid. Esimeste puhul juhitakse ülekuumendatud auru hulka pihustatud kondensaati, mille mõjul auru temperatuur langeb. Pindjahutites jahutatakse ülekuumendatud auru katlavee või toitevee abil. Pindjahutid paigaldatakse kas väljapoole katelt või katlatrumlisse.

Kõige otstarbekamaks ülekuumendatud auru reguleerimise viisiks on konvektsioon-kiirgusülekuumendi kasutamine. Konvektiivses ülekuumendis katla koormuse suurenemisel auru temperatuur tõuseb, kiirgusülekuumendis vastupidi aga langeb. Kombineerides ülekuumendi mõlemast kokku, võib saavutada püsiva ülekuumendustemperatuuri, sõltumata katla koormusest.

Auruülekuumendis võib sageli tähele panna, et aur ei jagune ühtlaselt siugtorude vahel (joon. 150). Seepärast isegi juhul, kui ülekuumendist väljuva auru temperatuur on normaalne, võib




Joon. 150. Auru jagunemine siugtorudes:

*a* — auru ebaühtlane jagunemine, väike kiirus; *b* — auru ühtlane jagunemine, väike kiirus; *c* — auru ebaühtlane jagunemine, suur kiirus.

ülekuumendus üksikutes torudes olla väga kõrge, mis võib põhjustada avariisid. Üksikute siugtorude ülekuumenemise põhjuseks võivad olla torude ummistumine sooladega, montaaži ajal torudesse jäänud mustus, ebaõige auru juhtimine kollektoritesse (joon. 150, *a* ja *c*), mitteküllaldane auru kiirus üksikutes torudes ja torude ebaühtlane kuumenemine gaaside poolelt. Avariiohu vältimiseks kasutatakse järgmisi abinõusid: isoleeritakse osa siugtorudest, kus kordub läbipõlemine, lühendatakse siugtorusid ja vähendatakse gaaside kiirust ülekuumendis.

Auruülekuumendi täitumist sooladega soodustab auru lubamatult suur niiskus, rõhu järsud kõikumised ja liiga kõrge veeseis katlas. Katla kasutegur paraneb auruülekuumendi ülesseadmisel 2—8%.

# VIII. TOITEVEE-ÖKONOMAISER

## 48. ÖKONOMAISERI EHITUS JA TÖÖTAMINE

Ökonomaiser (toitevee-eelsoojendi) seatakse üles katla taha ja tema ülesandeks on katla toitevee eelsoojendamine. Vesi surutakse pumba abil läbi ökonomaiseri torude, mis väljastpoolt puutuvad kokku kuumade gaasidega. Seejuures vesi soojeneb ja gaasid jahtuvad ning tulemusena vähenevad soojuskaod korstnagaasidega.

Katlas ei kasutata täielikult kogu soojushulka, mis tekib kütuse põlemisel. Selle põhjuseks on asjaolu, et katla töötamisel tema seinte temperatuur peab olema kõrgem katlas asuva vee keemistemperatuurist. Lahkuvate gaaside ja katlavee temperatuuride vahe on keskmiselt 100—150°, mis suureneb koos katla koormuse suurenemisega. Seetõttu tõuseb gaaside temperatuur katla taga 250—350°-ni, vahel isegi 400°-ni ja rohkem. Sellise kõrge korstnagaaside temperatuuri puhul on soojuskaod lahkuvate gaasidega väga suured, katla kasutegur madal ja auru tootmiseks kulutatakse palju kütust.

Vee eelsoojendamine ökonomaiseris vähendab kütuse kulu toodetava auruhulga kohta ja parandab katla töötamise tingimusi. Katla toitmisel ettesoojendatud veega ei teki katla järske kohalikke jahtumisi ja sellest tekkida võivaid vigastusi. Rõhu hoidmine katlas muutub kergemaks.

Ökonomaisereid valmistatakse malmist ja terasest. Malmökonomaisereid kasutatakse rõhkudel kuni 22 atü (malmi erisortide puhul kuni 60 atü), kusjuures nad on valmistatud kas siledatest või ribitatud torudest sisemise läbimõõduga kuni 100 mm, seina paksusega 10 mm ja pikkusega 2—4 m.

Siledate torudega ökonomaiseri puudusteks on suur kaal, suur ruumitarvidus ja kõrge hind.

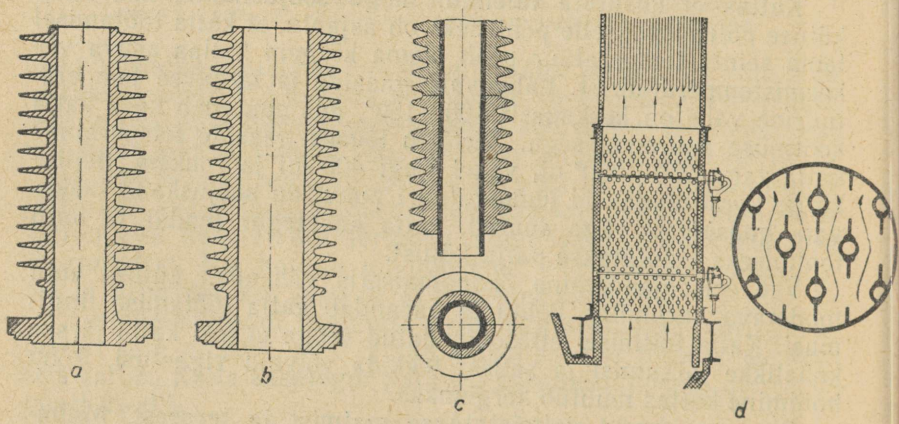
Ribitorudega ökonomaiseri kaal on tunduvalt väiksem (35 kg/m²). Seejuures asetatakse ribid ainult torude gaasipoolsele küljele, kus soojusülekandetegur on väike (5—15 kcal/m²h°). Veepoolsele küljele, kus soojusülekandetegur on tunduvalt suu-

rem, pole soojustehniliselt seisukohalt vajadust asetada mingisuguseid ribisid. Malmökonomaiserite paremuseks on nende suurem vastupidavus sööbimisele.

Et malmi vastupidavus löökidele on väike, siis malmökonomaiserites ei ole lubatav vee soojendamine kuni keemistemperatuurini. Sellega välditakse hüdraulilisi lööke, mis võivad põhjustada ökonomaiseri torude lõhkemist. Malmökonomaiserite ülesseadmisel nähakse katlas ette lisagaasikäik, mille kaudu on võimalik suitsugaase juhtida ökonomaiserist mööda. Seda käiku kasutatakse katla sissekütmise ja seiskamise ajal. Gaaside osalise juhtimisega läbi lisakäigu on võimalik reguleerida katlatrumlisse mineva vee temperatuuri.

Terasökonomaiserite kasutamisel on võimalik soojendada vett üle keemistemperatuuri. Sel juhul vesi ökonomaiseris osaliselt aurustub ja katlasse juhitakse auru ja vee segu. Seega muutub ökonomaiser katla lahutamatuks osaks. Niisugust ökonomaiserit nimetatakse aurutusökonomaiseriks.

Ökonomaiseritorud võivad olla varustatud mitmesuguse kuju ga ribidega (joon. 151).

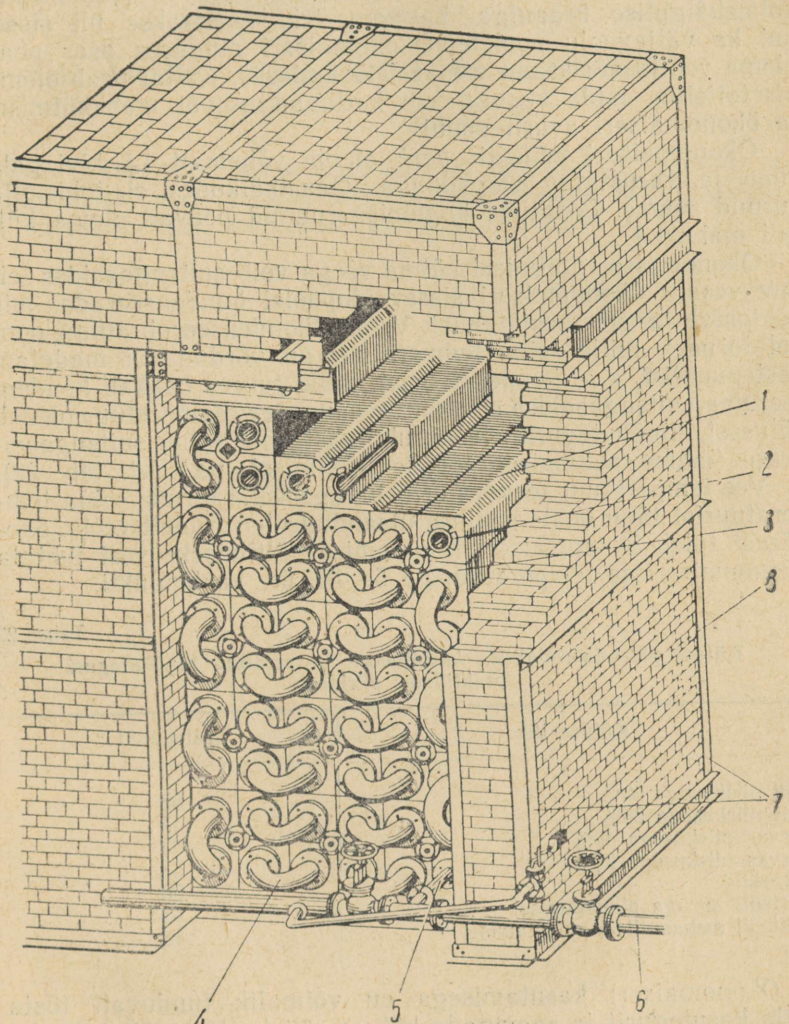



Joon. 151. Ökonomaiseritorud:

*a* — pikkade ribidega malmtoru; *b* — lühikeste ribidega malmtoru; *c* — malmribidega terastoru; *d* — keevitatud pikiribidega terastoru.

Horisontaalse ribitoruökonomaiseri (joon. 152) torud tehakse neljakandiliste ribidega. Ribide nurgad on ära lõigatud, et võimaldada tahmapuhuri toru suunamist ökonomaiseri torude vahele. Toru kummaski otsas on kaks äärikut. Välimine ümmargune äärik on torude omavaheliseks ühendamiseks poognate abil. Sisemised kandilised äärikud moodustavad gaasikäigu metallseina, mis tihendatakse asbestnööriga. Ühe toru kütte-

pind on 7,5 või 6,6 m². Torude arvu valikuga on võimalik moodustada vajaliku suurusega ökonomaiserit. Vesi, mida juhitakse ökonomaiserisse alumise parempoolse toru kaudu, läbib järjekorras kõik torud. Selline moodus kergendab gaaside ja õhu eraldamist veest.




Joon. 152. ТИ-tüüpi horisontaalne ribitoruökonomaiser:

*1* — kandiliste malmribidega torud; *2* — ümmargune äärik; *3* — kandiline äärik; *4* — ühenduspoogen; *5* — vee sissevool ökonomaiserisse; *6* — toitetorustik; *7* — ökonomaiseri sõrestik; *8* — müüritis.

Katlainspektsiooni eeskirjade kohaselt peab ökonomaiseril olema nii vee sisse- kui ka väljavoolul sulgventiil ja kaitseklapp, kusjuures kaitseklapp sissevoolul peab avanema 125%-se ja väljavoolul 110%-se katlarõhu juures.

Ökonomaiseri ülemises osas peavad olema õhukraanid. Vee sissevoolu poolele asetatakse tagasilöögiklapp ja manomeeter kolmekäigulise kraaniga. Termomeetrid asetatakse nii sisse- kui ka väljavoolu poolele. Ökonomaiseri alumises osas peab olema ventiil või kraan vee väljalaskmiseks. Katlal peab olema otsetoiteliin, mida kasutatakse katla sisse- või mahakütmisel ja ökonomaiseri avarii puhul.

Ökonomaiseri müüritis peab olema vähemalt 1,5 kivi paksune ja varustatud sõrestikuga. Gaasikäikudes ei tohi olla surnud ruume. Lendtuha kogumise ruumid peavad olema küllalt mahukad.

Ökonomaiseri toitmisel külma veega võib suitsugaasides leiduv veeaur ökonomaiseri sissevoolupoolel kondenseeruda, mis põhjustab torude roostetamist. Veeaur kondenseerub ainult nendel torudel, mille seina temperatuur on võrdne või madalam kastepunktist, s. o. temperatuurist, mille juures hakkab kondenseeruma suitsugaasides sisalduv veeaur. See temperatuur oleneb kütusest, liigõhutegurist ja auruhulgast, mis satub suitsugaasidesse (tahma puhumisel, torude lekkimisel jne.) (vt. tab. 22).

Vee temperatuur torudes erineb väga vähe torude seina temperatuurist tänu heale soojuse üleandmisele torudelt veele. Seepärast tuleb ökonomaiseri higistamise vältimiseks vesi juhtida ökonomaiserisse temperatuuriga 5—10° üle kastepunkti.

Tabel 22

**Kütuse põlemisproduktide kastepunkti temperatuur liigõhuteguri praktilistes piirides**

| Kütuse liik | Kastepunkt ° |
|---|---|
| Puit niiskusega 50% | 58 |
| Puit niiskusega 25% | 55 |
| Turvas niiskusega 40% | 63 |
| Turvas niiskusega 25% | 53 |
| Põlevkivi | 56 |
| Kütteõli auruga pihustamisel | 53 |
| Kütteõli mehaanilisel pihustamisel | 45 |

Ökonomaiseri kasutamisega on võimalik tunduvalt tõsta katla kasutegurit ja saavutada kütuse säästu. Kui näiteks katel töötab auruülekuumendita ja ökonomaiserita rõhul 14 atü, kusjuures toitevee temperatuur on 40°, siis vastavalt veeauru tabelile sisaldab 1 kg auru 15 ata juures 666,6 kcal soojust. Järe-

likult annab katel 1 kg aurule soojust 666,6 − 40 = 626,6 kcal. Kui niisugusele katlale üles seada ökonomaiser, mis tõstab toitevee temperatuuri 110°-ni, siis kulutab katel 1 kg vee muutmiseks auruks 666,6 − 110 = 556,6 kcal soojust. Seega ökonomaiseri ülesseadmisega saavutatakse kütuse säästu

$$\frac{110-40}{626,6} \cdot 100 = 11,2\%$$

või sama kütusekulu puhul katel annaks auru rohkem

$$\frac{666,6-556,6}{556,6} \cdot 100 = 12,6\%.$$

Kütuse sääst või suurem auruhulk on saavutatud sel teel, et ökonomaiseri abil on alandatud korstnagaaside temperatuuri, s. t. on vähendatud soojuskadu korstnagaasidega.

# IX. ÕHUEELSOOJENDI

## 49. ÕHUEELSOOJENDI EHITUS JA TÖÖTAMINE

Kuuma õhu juhtimine koldesse soodustab kütuse ettevalmistamist tema süttimiseks, tõstab kütusekihi ja kolderuumi temperatuuri ning seega põlemise kindlust, parandab põlemisprotsessi, mistõttu vähenevad kaod keemiliselt mittetäielikust põlemisest, vähendab vajalikku liigõhu hulka, tõstab katla küttepinna erikoormust ja vähendab soojuskadusid korstnagaasidega.

Mida suurem on kütuse niiskus, seda kõrgem peab olema õhu temperatuur. Õhu temperatuuri kõige kõrgem lubatav piir on määratud kolde töötamise tingimustega. Niisketele kütustele (puit, turvas, põlevkivi) juhitava kuuma õhu temperatuurid on järgmised: käsitsi teenindatavates kolletes 150°, mehaanilistel trepprestidel 150—200°, kettrestidel 200—250°. Šahtveskiga kolletes, mis töötavad freesturba või põlevkiviga, on kuuma õhu soovitavaks temperatuuriks 250—350°.

Tolmukujulise kütuse põletamisel on kuuma õhu kasutamine vajalik hea põlemise saamiseks ja katla küttepindade koormuse suurendamiseks. Olenevalt katla tüübist tõuseb õhu temperatuur sel puhul 300—400°-ni.

Kütteõli põletamisel saadakse häid tulemusi, kui õhu temperatuuri tõsta kuni 120°-ni.

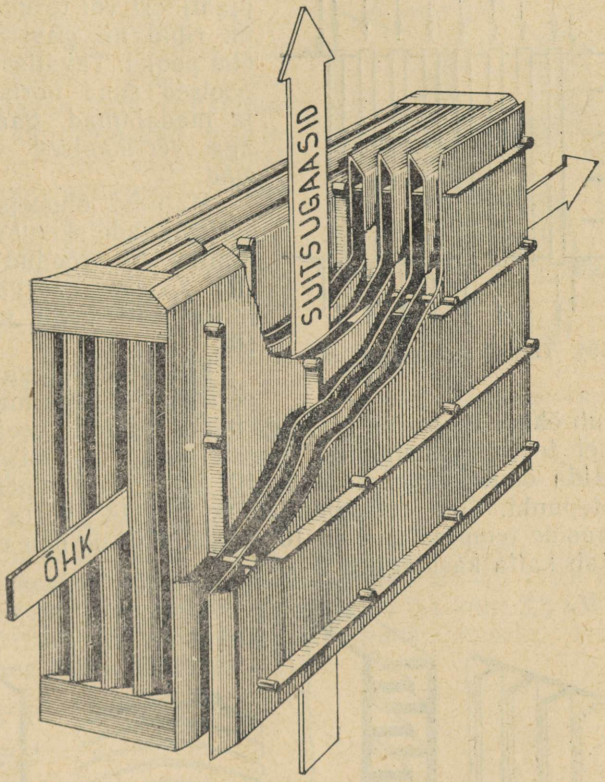
Õhku soojendatakse õhueelsoojendites (ehk õhu-ökonomaiserites) katlast lahkuvate gaasidega. Konstruktsioonilt jagunevad õhueelsoojendid *plaat-* ja *toru-õhueelsoojenditeks*. Materjaliks kasutatakse terast ja malmi. Terasest plaat-õhueelsoojendi on ehitatud umbes 2,5 mm paksusest plekist. Plekktahvlid ühendatakse peamiselt keevituse teel, kusjuures jäetakse eraldatud kanalid õhu ja gaaside läbivooluks. Tavaliselt voolab horisontaalkanalitest läbi õhk ja vertikaalkanalitest suitsugaasid (joon. 153). Õhukanalite laius on 13—24 mm, gaasikanalite laius 21—27 mm. Plaadid koondatakse kuubikujuliseks õhueelsoojendi elemendiks, mille küttepind on 140—360 m².

Plaat-õhueelsoojendi puuduseks on:

1) plaatide äärte keevisõmblused murduvad lahti, mistõttu õhk seguneb suitsugaasidega. Selle tagajärjel suurenevad liigõhutegur ja soojuskaod korstnagaasidega;

2) plaadid painduvad temperatuuri ja rõhu tagajärjel, mis põhjustab käikude takistuse suurenemist;

3) ligipääs tahmapuhumiseks on raskendatud, mistõttu soojuse üleandmine gaasidelt õhule väheneb kuni 30% ja suureneb soojuskadu korstnagaasidega.

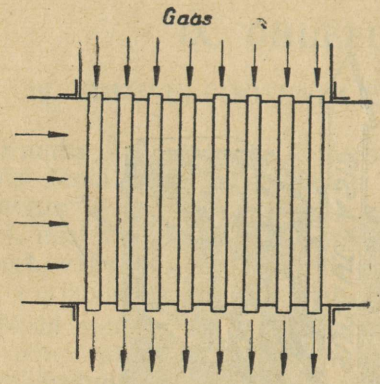



Joon. 153. Plaat-õhueelsoojendi.

Toru-õhueelsoojendi (joon. 154) koosneb torudest sisemise läbimõõduga 50—100 mm, mis on valtsitud torulaudadesse. Tavaliselt läbib torusid suitsugaas ja torude vahesid õhk. Gaaside liikumisel ülevalt alla väheneb oht õhueelsoojendi ummistumiseks lendtuhaga. Torud on külgedelt piiratud teraplekiga.

Gaaside jaoks tehakse alati üks käik, õhu jaoks 2—3. Üks torulaud jäetakse kinnitamata, et anda torudele võimalus paisumiseks katla töötamisel. Tavaliselt on ülemine torulaud kinnitatud ja õhueelsoojendi ripub tema küljes; torud paisuvad ülevalt alla. Liikuva otsa tihendamiseks kasutatakse kompensaatoreid.

Toru-õhueelsoojenditel on rida paremusi: lihtne ja kiire valmistamine, hea torude puhastamisvõimalus tuhast ja tahmast, hea tihedus ja parem soojuse üleandmine.

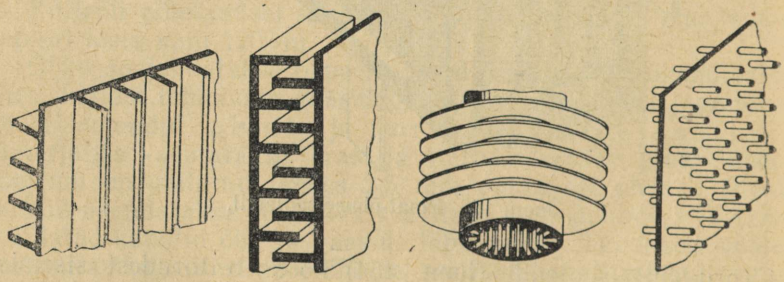


Joon. 154. Toru-õhueelsoojendi skeem.

Malmist ribi-õhueelsoojendeid valmistatakse plaatidest või torudest, millel on ribid nii gaaside kui ka õhu poolel. Tavaliselt on õhupoolsed ribid horisontaalsed ja madalamad, gaasipoolsed aga vertikaalsed ja kõrgemad.

Malmist õhueelsoojendite küttepindade skemaatiline kujundus on toodud joonisel 155. Kasutatakse ka tilgakujulise ristlõikega malmtorusid.

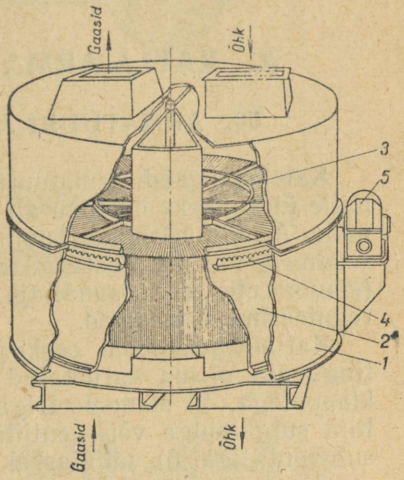
Kui sissevoolava õhu temperatuur on liiga madal, kondenseerub õhueelsoojendis suitsugaasides sisalduv veeaur. Selle tagajärjel tekib roostetamine. Roostetamise vältimiseks tuleb õhk juhtida õhueelsoojendisse 5—10° kõrgema temperatuuriga kui kastepunkt. Õhu eelsoojendamine 12—14° võrra alandab suitsugaaside temperatuuri ca 10° võrra; 100°-ne õhu eelsoojendus tõstab katla kasutegurit 3—5%.



Joon. 155. Malm-õhueelsoojendi küttepindade kujundusi:
*a* — kahepoolsete ribidega plaadid; *b* — ühepoolsete ribidega plaadid; *c* — kahepoolsete ribidega torud; *d* — nõelplaadid.

Põlevkiviküttel töötavatel katelseadmetel on osutunud otstarbekaks r e g e n e r a t i i v n e õhueelsoojendi (joon. 156), kus soojus akumuleeritakse lainelistel plaatidel, mis moodustavad küttepinna. Õhueelsoojendi küttepind pöörleb gaasi- ja õhuvoolus. Sellega saavutatakse gaasivoolus soojuse üleandmine gaasilt küttepinnale ja viimase jõudmisel õhuvoolu soojuse üleandmine küttepinnalt õhule.

Rootor koosneb tavaliselt 12 sektorist. Plekkide paksus on 0,5 mm, roolori kõrgus 500—850 mm ja liikumise kiirus 3—5 pööret minutis. Rootor asetatakse terasplekist keresse, mis koosneb kahest osast. Ühest osast voolavad läbi suitsugaasid, mis kuumendavad pöörlevaid lehti, teisest osast voolab läbi ettesoojendatav õhk. Hoolimata tihenduse olemasolust esineb siiski õhu segunemist suitsugaasidega, mis tõuseb eriti katla väikesel koormusel ja ulatub kuni 15%-ni. See on tingitud kõrgemast rõhust õhukanalis ja tihendamise raskustest. Selle tagajärjeks on $CO_2$ vähenemine suitsugaasides 1—2% võrra ja halval tihendamisel isegi rohkem. Pöörlevad õhueelsoojendid on plaat-õhueelsoojenditest tunduvalt kompaktsemad. Nende soojuslik koormus ulatub kuni 150 · $10^3$ kcal/m$^3$ (plaat-õhueelsoojenditel 40—70 · $10^3$ kcal/m$^3$). Rootori käitamiseks vajalik võimsus on 0,4 kuni 2,5 kW.




Joon. 156. Regeneratiivne õhueelsoojendi:
*1* — kere; *2* — rootor; *3* — rootori küttepinna elemendid; *4* — hammasvõõ rootori käitamiseks; *5* — rootori ajam.

Regeneratiivse õhueelsoojendi puhastamiseks lendtuhast kasutatakse tahmapuhureid.

# X. KATLA ARMATUUR JA GARNITUUR

## 50. ARMATUURI JAOTUS. KAITSEKLAPID

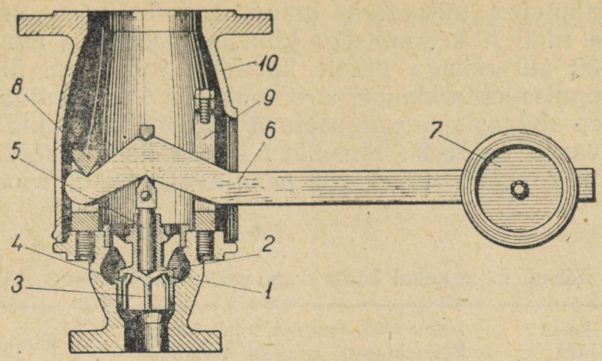
Katelagregaadi armatuuriks nimetatakse seadmeid ja riistu, mille ülesandeks on rõhu all olevate katelagregaadiosade juhtimine. Armatuuri hulka kuuluvad ka põhilised kontrollriistad ja seadmed, mis kindlustavad katla häireteta ja ohutut töötamist (manomeeter, veeseisunäitaja jne.) ning lihtsamad katla toitmise reguleerimise seadmed.

Katlainspektsiooni eeskirjade kohaselt peab iga aurukatel tingimata olema varustatud järgmise armatuuriga: 1) kaitseklappidega, 2) manomeetriga, 3) veeseisunäitajatega, 4) toiteliini sulgklapiga või -ventiiliga ja tagasilöögiklapiga, 5) auru sulgventiiliga, 6) väljalaskekraaniga või -ventiiliga.

Auru rõhu tõusmine katlas üle lubatava piiri võib põhjustada katla lõhkemist. Katla ohutu töötamise kindlustamiseks kasutatakse kaitseklappe, mis auru rõhu tõusmisel katlas üle lubatava piiri avanevad ja lasevad osa auru välja, mille tagajärjel rõhk katlas langeb. Klapi mõõtmed ja tõus valitakse nii, et klapp oleks suuteline läbi laskma katla poolt toodetavat kogu auruhulka. Raskusega kaitseklapp (joon. 157) koosneb kerest *1* ja sellesse pressitud istmest *4*, taldrikust *2* ja surveseadmest. Viimane koosneb hoovast *6* raskusega *7*, hoova liikumatust toest *8*, juhtkahvlist *9* ja vardast *5* rõhu üleandmiseks hoovalt klapitaldrikule.

Töörõhuni kuni 25 atü (olenevalt auru temperatuurist ja klapi läbimõõdust) valmistatakse kaitseklapid malmist, kõrgematele rõhkudele aga terasest. Klapi-iste ja -taldrik tehakse pronksist või terasest. Nende pinnad peavad olema lihvitud, et kindlustada tihedust. Katlas olev aur rõhub alt klapitaldrikule, millele mõjub vastu hoovale kinnitatud raskus. Kui klapp on õigesti reguleeritud, siis katla normaalrõhu juures aurusurve klapitaldrikule on väiksem raskuse mõjust ja klapp on suletud.

Manomeetri osuti liikumisel üle punase joone ületab aurusurve klapil lasuva raskuse, klapp tõuseb üles ja osa auru väljub katlast toru kaudu atmosfääri, tekitades müra, mis on sig-



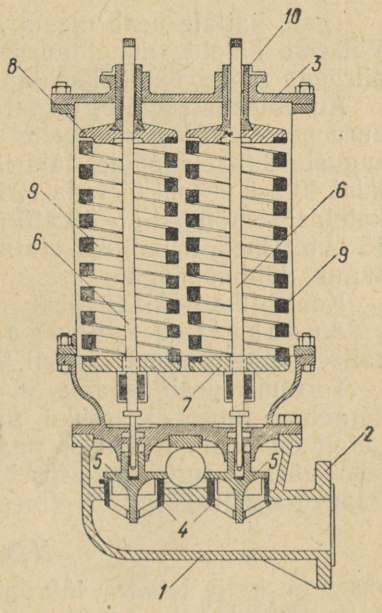

Joon. 157. Raskusega kaitseklapp:

*1* — kere; *2* — taldrik; *3* — juhtribid; *4* — klapi iste; *5* — varras; *6* — hoob; *7* — raskus; *8* — prismakujuline tugi; *9* — juhtkahvel; *10* — kate.

naaliks kütjale. Põletuste vältimiseks klapi avanemisel või selle töötamise kontrollimisel kaetakse klapp kattega *10*. Klapist peab olema võimalus kõrvaldada sinna kogunevat kondensaati.

Klapi tasakaalustusraskus ei tohi olla suurem kui 100 kg ja see peab olema hästi kinnitatud hoovale.

Vedru-kaitseklapis mõjub klapile ülalt vedru surve. Lihtne kaksik-vedrukaitseklapp (joon. 158) koosneb mõlemale klapile ühisest kerest *1*, mis kinnitatakse ääriku *2* abil katlale või aurukogujale. Klapikarpi on pressitud istmed *4*, millel istuvad klapid *5*. Viimased surutakse istmetele vedrudega *9*. Vedru surve antakse klapile edasi varda *6* abil, mille alumine ots toetub klapikere avasse. Vedrud toetuvad all varrastele kinnitatud taldrikutele *7* ja üle-




Joon. 158. Vedru-kaitseklapp:

*1* — kere; *2* — äärik; *3* — kaas; *4* — klapi iste; *5* — klapp; *6* — varras; *7* — alumine taldrik; *8* — ülemine taldrik; *9* — vedru; *10* — nippel.

val taldrikutele *8*, mis võivad liikuda vabalt. Vedru survet reguleeritakse nipli *10* keeramisega klapikarbi kaane *3* avas.

Üle 39 atü rõhuga uutele kateldele lubatakse üles seada ainult impulss-kaitseklappe, s. o. selliseid, kus põhiklapp tõstetakse üles abiklapist juurdevoolava auru mõjul. Abiklapp omakorda avaneb aururõhu tõusmisel katlas üle lubatava määra. Rõhud, mille puhul kaitseklapp peab avanema, on toodud tabelis 23.

Tabel 23

**Rõhud, mille puhul kaitseklapp peab astuma tegevusse**

| Töörõhk katla trumlis atü | Auru rõhk trumlis, mille juures kaitseklapid peavad avanema | Klapi nimetus |
|---|---|---|
| Kuni 13 | Töörõhk + 0,2 at | Kontrollklapp |
| | „ + 0,3 „ | Tööklapp |
| Üle 13 kuni 60 | 1,03 töörõhku | Kontrollklapp |
| | 1,05 „ | Tööklapp |
| Üle 60 | 1,05 „ | Kontrollklapp |
| | 1,08 „ | Tööklapp |

Igale katlale peab olema asetatud vähemalt 2 kaitseklappi. Väikeste katelde puhul aurutootlikkusega kuni 100 kg/h võib piirduda ainult ühe kaitseklapiga.

Auruülekuumenditel asetatakse kaitseklapp ülekuumendatud auru poolele, ökonomaiseritel sisse- ja väljavoolu poolele. Igasuguste kaitseklappide, taldrikute läbimõõt kateldel töörõhuga kuni 40 atü ei tohi ületada 125 mm ega olla väiksem kui 25 mm, kateldel töörõhuga üle 40 atü aga mitte üle 125 mm ja mitte alla 15 mm. Ühele trumlile asetatud kaitseklapid peavad olema ühesuguse läbimõõduga.

Kontrollkaitseklapp peab olema lukustatud või plommitud.

Aurukatlad rõhuga alla 0,7 atü varustatakse kaitseklappide asemel sageli torulukuga (purgimisseadmega).

Torulukk peab tagama, et aururõhk katlas ei ületaks kõige kõrgemat lubatavat rõhku rohkem kui 0,1 atmosfääri võrra. Laialt on levinud ülemise paagiga torulukud (joon. 159), mida pole pärast auru igakordset väljalöömist vaja veega täita. Paagi paigutuskõrgus $H$ (meetrites) arvutatakse valemiga:

$$H = 10p + 1,$$

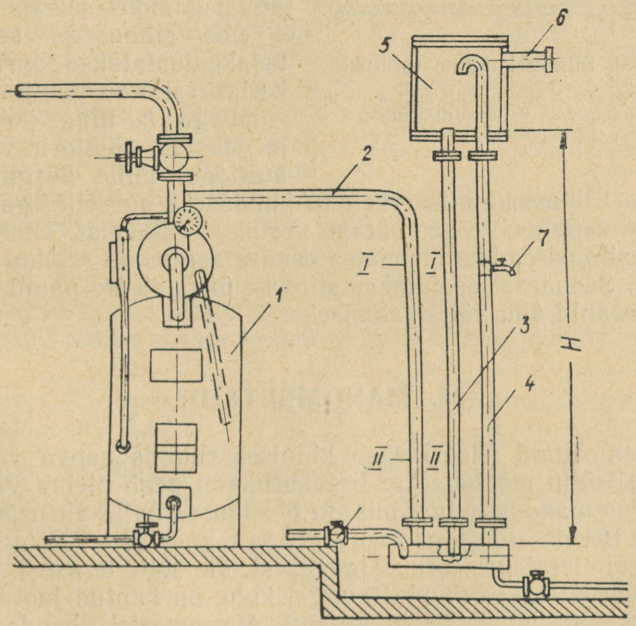
kus $p$ on katla lubatav töörõhk atü.

Katla ja toruluku vahele ega väljalöögitorudele ei tohi asetada mingisugust sulgemisseadet. Juhul kui torulukk asub väljaspool katlamaja, peab ta olema kaitstud temas oleva vee võimaliku külmumise eest.

Toruluku torude läbimõõt ei tohi olla väiksem järgnevas tabelis toodud väärtustest.

| Katla soojusjõudlus kcal/h | | Toru läbimõõt mm |
|---|---|---|
| alates | kuni | |
| — | 15 000 | 25 |
| 15 000 | 40 000 | 38 |
| 40 000 | 80 000 | 50 |
| 80 000 | 150 000 | 65 |
| 150 000 | 240 000 | 76 |
| 240 000 | 450 000 | 100 |
| 450 000 | 800 000 | 125 |
| 800 000 | 1300 000 | 150 |

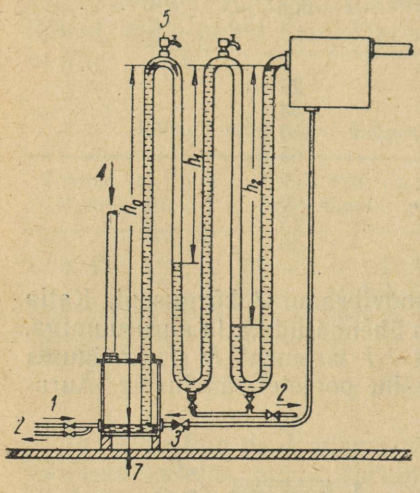
Torulukk täidetakse veega proovikraani *7* kõrguseni. Katla töötamisel veetase torus *2*, mis on ühendatud katla aururuumiga, langeb aururõhu toimel tasemelt *I-I* tasemeni *II-II*, kusjuures kõrguste vahe vastab auru töörõhu poolele väärtusele. Auru-




Joon. 159. Torulukk:

*1* — aurukatel; *2, 3, 4* — torud; *5* — paak; *6* — toru atmosfääri; *7* — proovikraan.

rõhu edasisel tõusmisel surutakse veesammas torus *2* veelgi madalamale, mistõttu veepind torudes *3* ja *4* tõuseb kõrgemale. Kui aururõhk katlas ületab 0,1 atmosfääri võrra lubatavat töörõhku, siis surutakse vesi torust *2* täielikult välja, toru *2* ots vabaneb ja aur paiskab torudes *3* ja *4* oleva vee paaki *5* ning väljub toru *4* ülemise otsa ja toru *6* kaudu atmosfääri. Seejärel rõhk katlas langeb ja vesi voolab paagist toru *3* kaudu torudesse *2* ja *4* tagasi.




Joon. 160. Silmusekujuline torulukk:

*1* — veevõrgust; *2* — vee väljavool; *3* — tagasilöögiklapp; *4* — katla aururuumist; *5* — õhukraan.

Katlaruumi väikese kõrguse ning kõrge põhjavee puhul, mis takistab toruluku paigaldamist süvendisse, kasutatakse silmusekujulist lukku (joon. 160). Silmuste arv valitakse vastavalt katla töörõhule.

Silmusekujulise luku töötamispõhimõte seisab selles, et ühe silmusega seadmel tasakaalustatakse auru rõhk katlas esimese püsttoru veesambaga $h_0$ ning kolmanda ja viienda püsttoru veesammastega, mille kõrgused on $h_1$ ja $h_2$. Silmusekujulise veeluku puuduseks on selle igakordne täitmise vajadus veega pärast veeluku töötamist. Õhu kogunemine silmusseadme ülemistes osades aeglustab seadme veega täitmist. Seepärast asetatakse silmuse ülemistesse paindekohtadesse kraanid õhu väljalaskmiseks.

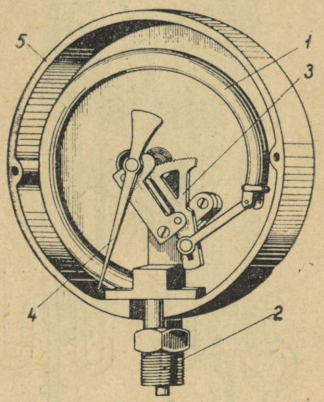
## 51. MANOMEETRID

Manomeetreid kasutatakse kinnises ruumis asuva vedeliku või gaasi rõhu mõõtmiseks. Iga aurukatel peab olema varustatud korras manomeetriga, mis on ühenduses katla aururuumiga. Joonisel 161 on kujutatud toruvedruga manomeeter. Rõhule kuni 40 atü valmistatakse toru valgevasest, üle selle terasest. Manomeeter varustatakse numbrilauaga, kuhu on kantud jaotused ja arvud, mis näitavad rõhku kg/cm$^2$. Manomeetri ühendamiseks kasutatakse kolmekäigulist kraani (joon. 162), millel on kontrollmanomeetri jaoks kontrollläärik. Üle 39 atü rõhuga kateldel peab

kolmekäigulise kraani asemel olema ventiil, mis võimaldab manomeetrit katlast eraldada, ühendada atmosfääriga ja ühendustoru läbi puhuda.

Manomeetril peab olema sifoontoru või mõni muu veelukuga seadeldis. Sifoontoru ühendatakse katla aururuumiga ja ta moodustab veeluku, mis ei lase auru tungida toruvedrusse.

Peale toruvedruga manomeetrite kasutatakse veel membraaniga manomeetreid (joon. 163). Aururõhk mõjub siin lainelisele membraanile *1*, mis on tehtud õhukesest lehtterasest, ja painutab selle ülespoole, pöörates hammassektorit *3* ja selle kaudu manomeetri osutit.



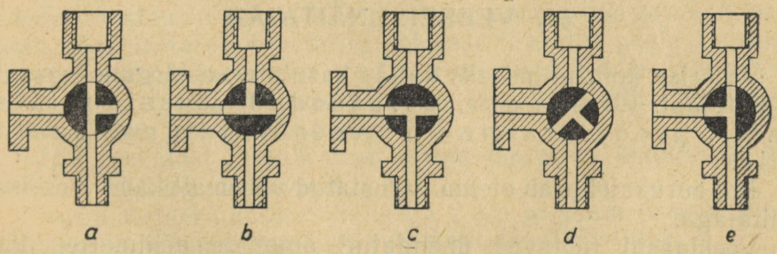

Joon. 161. Toruvedruga manomeeter:

*1* — toruvedru; *2* — tuts; *3* — osuti liigutamismehhanism; *4* — osuti; *5* — manomeetri kest.

Manomeeter peab olema kontrollitud ja plommitud Mõõtude ja Mõõteriistade Komitee poolt, hästi valgustatud ja kütjale hästi nähtav tema töökohast. Kõrgetel kateldel võib manomeetri asetada alla. Seejuures tuleb arvestada, et vesi, mis asub ühendustorudes, annab manomeetrile lisarõhku 1 kg/cm² ühendustoru iga 10 m kõrguse kohta. Katla pikemaajalisel seismisel külmas ruumis tuleb vesi sifoontorust välja lasta ja manomeeter maha võtta, et vältida vee külmumist sifoontorus.

Kateldele kõrgusega kuni 5 m tuleb üles seada manomeeter läbimõõduga 200 mm, kateldele kõrgusega üle 5 m manomeeter läbimõõduga 300 mm.

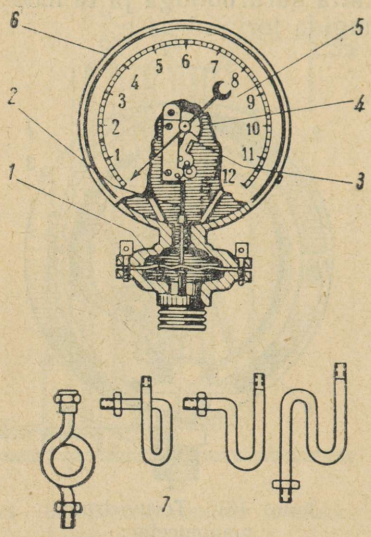
Manomeetri skaala ulatus peab olema selline, et töörõhu juures tema osuti asuks skaala keskmise kolmandiku piirides.




Joon. 162. Kolmekäigulise kraani asendid:

*a* — tööasend; *b* — manomeetri nullseisu kontrollimine; *c* — sifoontoru läbipuhumine; *d* — vee kogumine sifoontorusse; *e* — manomeetri kontrollimine kontrollmanomeetriga.

Kuni 22 atü rõhul töötavatel aurukateldel, auruülekuumenditel ja ökonomaiseritel tuleb kasutada manomeetreid täpsusklassiga mitte alla 2,5; üle 22 atü rõhuga katelde manomeetrite täpsusklass ei tohi olla alla 1,5.




Joon. 163. Membraaniga manomeeter:

*1* — membraan; *2* — varras; *3* — hammassektor; *4* — hammasratas osutiga; *5* — numbrilaud; *6* — manomeetri kest; *7* — sifoontorud.

Manomeetri numbrilaud peab olema varustatud punase joonega, mis näitab kõrgeimat lubatavat rõhku katlas.

Numbrilaua punase joone asemel lubatakse manomeetri kere külge kinnitada (joota) punaseks värvitud metallplaadike, mis on skaala vastava jaotuse kohal surutud tihedalt vastu manomeetri klaasi.

Manomeetrit tuleb kontrollida teenindava personali poolt vähemalt üks kord kolme kuu tagant, võrreldes tema näitamist kontrollmanomeetriga. Kontrollimise tulemused tuleb märkida päevikusse.

Manomeetrit pole lubatud kasutada, kui puudub plomm, kui on möödunud manomeetri kontrollimise tähtaeg, kui väljalülitatud manomeetri osuti ei lähe skaala nullpunkti tagasi, vaid jääb sellest eemale suuruse võrra, mis ületab poole antud manomeetrile lubatavast veast, kui klaas on purunenud või esinevad muud vigastused, mis võivad mõjutada manomeetri õiget näitamist.

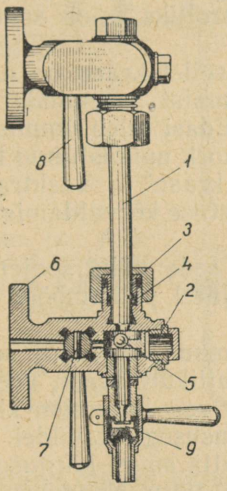
## 52. VEESEISUNÄITAJAD

Veeseisu kontrollimiseks katlas kasutatakse järgmisi veeseisunäitajaid: veeklaase, allatoodud veeseisunäitajaid, proovikraane ja veeseisusignalisaatoreid.

Iga aurukatel peab olema varustatud vähemalt kahe veeseisunäitajaga.

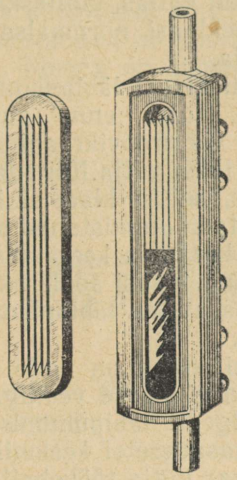
Veeklaasid töötavad ühendatud anumate põhimõttel, kus üheks anumaks on katlatrummel ja teiseks veeklaas, mis on ühendatud torude abil katla vee- ja aururuumiga. Klaas varustatakse vee- ja aurukraaniga, mille abil on võimalik klaasi

eraldada katlast tema purunemisel ja vahetamisel. Veekraani juures asub ka väljalaskekraan klaasi läbipuhumiseks ja soojendamiseks. Kraanide keres on keermega kork toru puhastamiseks selle ummistumisel. Kered valmistatakse rõhkudele kuni 22 atü pronksist, üle selle aga terasest. Klaasid ise on kas




Joon. 164. Ümmargune veeklaas:

*1* — klaas; *2* — kork; *3* — tihenduspuksi mutter; *4* — tihend; *5* — kuulklapp; *6* — äärik; *7* — veekraan; *8* — aurukraan; *9* — läbipuhumiskraan.



Joon. 165. Lame veeklaas.

ümmargused või lamedad. Ümmargused klaasid (joon. 164) purunevad kergemini ja võivad vigastada juuresolijat. Selle vältimiseks peavad klaasid olema kaitstud metallvõrguga või kattega. Veeseisu nähtavus on ümmargustes klaasides halb. Eriti raske on vahet teha täiesti tühja ja täiesti täis klaasi vahel. Lamedad klaasid (joon. 165) on selles suhtes märgatavalt paremad. Nad asetatakse metallraamidesse tihendite peale. Lamedad klaasid on ohutud, kuna nad purunemisel ainult pragunevad ega anna kilde. Tänu ribidele klaasi sisemisel küljel on veeseis hästi nähtav (vesi näib tumedana).

Iga veeklaasi raamil peab olema märgitud madalaim, normaalne ja kõrgeim veeseis.

Aurukateldel nimitootlikkusega 2 t/h ja enam peavad olema alumise ja ülemise veeseisu automaatsignalisaatorid.

Veeklaasi normaalsel töötamisel kõigub vesi kergelt klaasis tingituna vee voogamisest katlas. Sellele tuleb osutada erilist tähelepanu. Veekraani või tema kere ja katla veeruumi vahelise

toru ummistumisel või kraani kinniolekul vesi klaasis ei liigu, vaid hakkab ainult pikkamööda tõusma, tingituna auru kondenseerumisest, mis aurukraani kaudu tungib klaasi. Aurukraani ummistumisel või tema kinniolekul täidab vesi kogu klaasi. Veeklaasi läbilaskmisel (auramisel) auru osas veeseis temas on kõrgem kui katlas, läbilaskmisel vee osas aga madalam kui katlas.

Veeklaasi normaalse töötamise kontrolliks tuleb seda läbi puhuda.

Kui klaasi läbipuhumisel selgub, et sellel kraan on ummistunud, tuleb enne puhastamisele asumist veenduda teise klaasi või proovikraanide korrasolekus. Edasi tuleb ummistunud klaas tööst välja lülitada, lahti keerata kork ummistunud kraani vastas, seista klaasist kõrvale, avada kraan ja vasktraadiga puhastada ummistunud ava. Peale ummistuse kõrvaldamist suletakse kraan ja keeratakse kork tagasi.

Enne klaasi töölerakendamist tuleb seda vähe soojendada, milleks avada läbipuhumiskraan ja seejärel pikkamööda aurukraan.

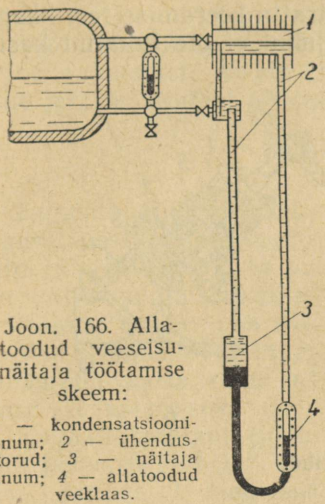
Kui klaas on selle määrani soojenenud, et tema seintelt kaovad viimased veetilgad, tuleb ettevaatlikult avada veekraan ja sulgeda läbipuhumiskraan, jälgides vee liikumist klaasis.

Kaasaegsetel keskmise ja suure võimsusega kateldel ei ole veeklaas kütja töökohalt hästi nähtav katla suure kõrguse, mitmesuguste vaadet takistavate rõdude jne. tõttu. Nendel juhtudel veeseisu jälgimise hõlbustamiseks seatakse üles allatoodud veeseisunäitajad, mille töötamise skeem on toodud joonisel 166. Aururuumi toruga on ühendatud anum *1*, mis kindlustab süsteemis püsiva veeseisu. Vesi asub anumas *1* auru-veetoru otsa kõrgusel. Liigne vesi voolab toru mööda veeklaasi. Mõlemad ühendustorud *2* ühendatakse all erilise armatuuri ja tavalise lameda klaasiga. Skeemil on see ühendus näidatud aasana, mis on täidetud veest raskema ja temaga mitte seguneva vedelikuga. Veeseisu langemisel katlas raske vedeliku nivoo klaasis langeb, tõusmisel tõuseb. Parema nähtavuse saamiseks värvitakse raske vedelik tavaliselt punaseks. Selline veeseisunäitaja on varustatud kahelt poolt lamedate, ribideta klaasidega, mida valgustatakse läbi elektrilambiga.

Peale veeklaaside seatakse üles väikese võimsusega kateldele veeseisu jälgimiseks proovikraanid, neist üks kõige madalama, teine kõige kõrgema veeseisu kohale. Kraane proovitakse vähemalt 2 korda vahetuses. Et eraldada, kas kraanist väljub aur või vesi, asetatakse kraanist tuleva joa ette mingi metallplaat, kinnas või muud sarnast. Auru väljumise puhul ese jääb kuivaks, vee puhul märgub.

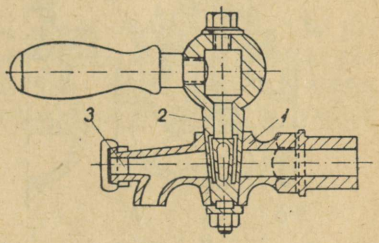
Olenevalt ülesandest ja ülesseadmise kohast valmistatakse kraanid malmist või vasest. Manomeetrite juures kasutatakse

kolmekäigulisi kraane, proovikraanidena otsakraane ja veeseisunäitajate juures torustiku vahele asetatavaid läbivoolukraane.




Joon. 166. Allatoodud veeseisunäitaja töötamise skeem:
*1* — kondensatsioonianum; *2* — ühendustorud; *3* — näitaja anum; *4* — allatoodud veeklaas.

Joonisel 167 on kujutatud otsakraan, mida kasutatakse proovikraanina. Kraan koosneb kerest ja koonilisest korgist, mille tihenduspinnad on hoolikalt lihvitud. Korgis on läbivooluava.




Joon. 167. Proovikraan:
*1* — kere; *2* — kork; *3* — puhastusava.

Alumine ots on varustatud keerme ja mutriga, mis takistavad korgi väljatulekut ning võimaldavad ta kindlat sissetõmbamist pessa. Kere esimeses otsas on suletud ava *3* kraani puhastamiseks tema ummistumisel. Kraan kinnitatakse katla külge keerme või äärikuga.

Kraanide puudusteks on mitteküllaldane tihedus, kiire kulumine ja lihvimise raskus.

## 53. VENTIILID JA SIIBRID

Ventiile kasutatakse sulgemise või reguleerimise organitena vee, auru, õhu ja gaasi jaoks.

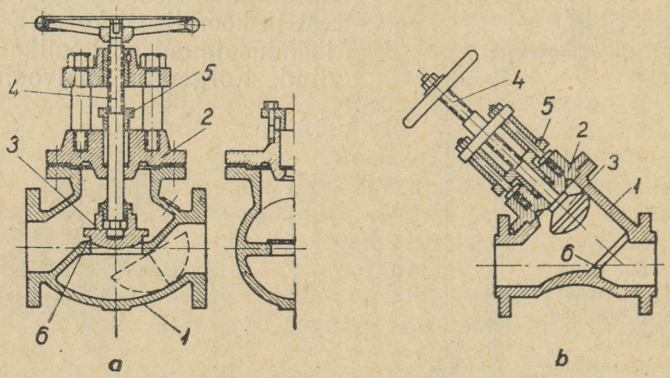
Ventiil (joon. 168) koosneb kerest *1* koos äärikutega, kaanest *2*, vaheseinast koos klapipesaga *6*, klapist *3*, mis on ühendatud spindliga *4*, ja käsirattast. Klapile *3* ja klapipessa *6* pressitakse pronksist või eriterasest tihendusrõngad. Käsiratta keeramisel ühele või teisele poole spindel koos klapiga tõuseb või langeb ja ventiil avaneb või sulgub.

Vesi või aur juhitakse ventiili tavaliselt klapi alt, mis kergendab tema avamist.

Ventiilil, mis on näidatud joonisel 168, *a*, on suur hüdrauliline takistus. Spindli asetamisel kaldu väheneb takistus tunduvalt (joon. 168, *b*).

Ventiilid avanevad ja sulguvad sujuvalt, on tihedad ja kindlad igasuguse rõhu ja temperatuuri juures, nende hooldamine ja remont on lihtne.

Ventiile avatakse ja suletakse käsiratta keeramise teel käega või väikese käepideme abil. Mingil juhul ei ole lubatud kasu-



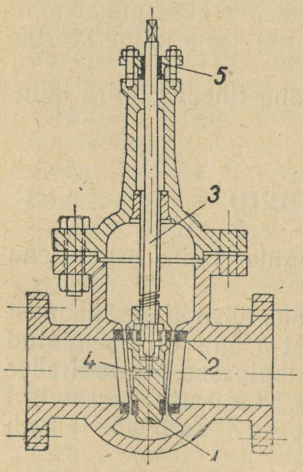

Joon. 168. Ventiilid:

*a* — normaalventiil; *b* — kaldventiil;
*1* — kere; *2* — kaas; *3* — klapp; *4* — spindel; *5* — tihenduspuks;
*6* — klapipesa.

tada pikki käepidemeid, hoobasid jne. Täiesti avatud ventiili käsiratas tuleb keerata veidi tagasi, et hoiduda vigastumistest ventiili termilise paisumise tagajärjel.

S i i b r i (joon. 169) sirge läbimisava on suletav plaadiga, mis liigub risti läbimisavaga ja täielikul lahtiolekul ei vähenda ava ristlõiget. Sellest tingitult on siibri hüdrauliline takistus väike.

Siibreid kasutatakse suure läbimõõduga torustikkudes. Et siibri kinniolekul tema plaat asub ühepoolse rõhu all, nõuab siibri avamine suurt jõudu. Avamise kergendamiseks tuleb rõhk tasakaalustada mõlemal pool plaati. Selleks tehakse plaati ülevooluavad, mis avanevad käsiratta esimeste pöörete juures ja võimaldavad aurul voolata plaadi taha, või varustatakse siiber peenema paralleeltoruga (baipassiga), millel asub ventiil.




Joon. 169. Siiber:

*1* — plaat; *2* — tihendusrõngas; *3* — spindel; *4* — ülevooluava; *5* — tihenduspuks.

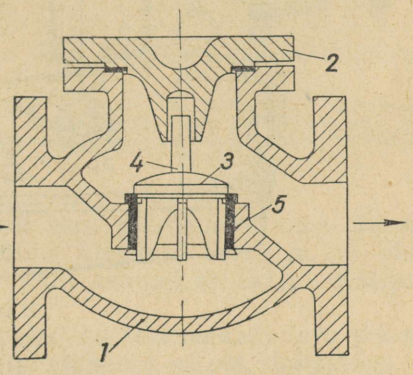
Siibreid ei saa kasutada auru või vee läbivoolu reguleerimiseks, kuna poolavatud siibri plaadi tihenduspinnad kuluvad sel juhul kiiresti. Viimaste lihvimine on tunduvalt raskem kui ventiilidel.

Siibri sööbimise vältimiseks tuleb perioodiliselt kontrollida nende avanemist. Avada tuleb neid aeglaselt ja kuni lõpuni, mille järel käsiratast pöörata veerand ringi võrra tagasi.

## 54. TAGASILÖÖGIKLAPP

Tagasilöögiklapp laseb vett läbi ainult ühes suunas. Vee liikumisel vastupidises suunas, näiteks pumba seismajäämisel või toiteliini lõhkemisel, ta sulgub automaatselt ja takistab seega vee väljavoolamist katlast. Tagasilöögiklapi ja katla vahele asetatakse ventiil, mis võimaldab tagasilöögiklappi vabastada katla rõhu alt tema korrastamiseks.

Tagasilöögiklapp (joon. 170) koosneb kerest *1* kinnise kaanega *2*, klapist *3* juhtvarda ja -ribidega *4*. Vesi voolab sisse klapi alt. Klapp on üles tõstetud ainult veeandmise ajal. Katla toitmisel kolbpumbaga on klapp üles tõstetud ainult survetakti ajal. Pumba kolvi tagasiliikumisel langeb klapp oma pesale ja suleb vee tagasivoolu.




Joon. 170. Tagasilöögiklapp:
*1* — kere; *2* — juhtavaga kaas; *3* — klapp; *4* — klapi juhtvarras; *5* — klapipesa.

Tagasilöögiklapp laseb läbi, kui ta on osaliselt ummistunud, kui ta asub viltu tingitult juhtvarda või ribide kulumisest või kui tema tihenduspinnad on sööbinud. Sel juhul toitetorustik katla toitmise vaheaegadel kuumeneb.

## 55. TOITEREGULAATORID

Katla toitmise käsitsi reguleerimisel on olulisi puudusi:

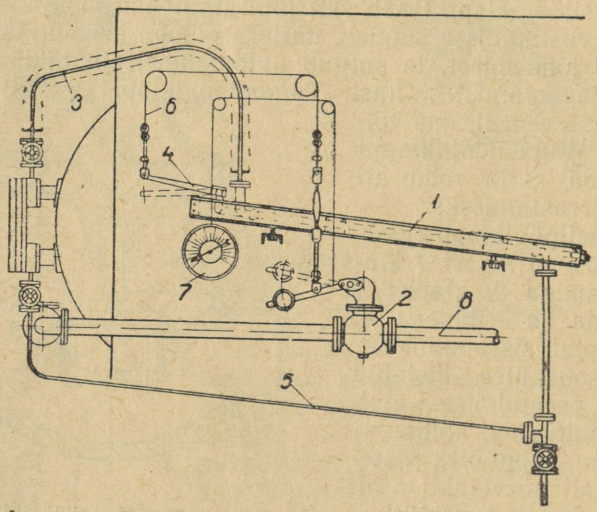
a) toitmine ei toimu ühtlaselt, mille tõttu veeseis katlas kõigub ja auru rõhk katlas ei püsi vajalikul kõrgusel;

b) toitmise korraldamine nõuab kütjalt palju aega ja viib kütja tähelepanu kõrvale kolde ja teiste seadmete jälgimisest, mille tagajärjel katla töötamise ökonoomsus väheneb;

c) mitteküllaldaste kogemuste omamisel või hooletu järelevalve tõttu võib katel kuivaks jääda või saada üle toidetud, mis võib tekitada katla, aurutorustiku või masina raske avarii.

Katla toitmise automaatne reguleerimine kindlustab pideva, ühtlase toitmise. Selle juures veeseis katlas peaaegu ei muutu, tõuseb katla töötamise kindlus ja ökonoomsus.

Toiteregulaator «Kopes» (joon. 171) koosneb termostaadist *1*, liikumise ülekandemehhanismist *4* ja *6* ning koormusevabast toiteklapist *2*.



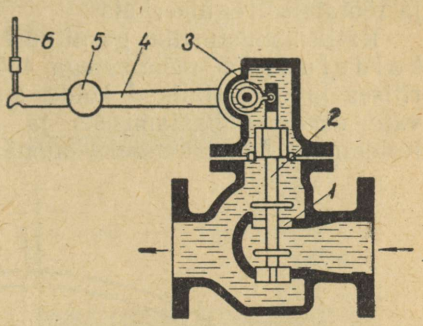

Joon. 171. Toiteregulaatori «Kopes» töötamise skeem:
*1* — termostaat-toru; *2* — toiteklapp; *3* — aurutoru; *4* — hoob; *5* — veetoru; *6* — tross; *7* — klapi seisu näitaja; *8* — toitetorustik.

Termostaat koosneb väliskestast, milles on valgevasest (või ka terasest) toru. Regulaator seatakse üles väljapoole katelt veeklaasi asukoha kõrgusele. Termostaadi toru ülemine ots ühendatakse isoleeritud toru kaudu katla aururuumiga ja alumine ots isoleerimata toru kaudu, pikkusega mitte alla 2,5 m, katla veeruumiga. Termostaadi toru ja katla trummel kujutavad seega ühendatud anumaid ja veeseis nendes on ühel kõrgusel.

Termostaadi toru on osaliselt täidetud veega, mille temperatuur ühendustoru isoleerimatuse ja suure pikkuse tõttu on madalam vee temperatuurist trumlis. Toru ülemist osa kuumutatakse katlast tuleva auruga. Termostaadi toru pikenemine oleneb sellest, missuguses pikkuses seda auruga kuumutatakse. Mida madalam on veeseis katlas, seda suurem on toru termiline pikenemine; mida kõrgem on veeseis katlas, seda väiksem on toru

termiline pikenemine. Toru alumine ots on kinnitatud kindlalt. Ülemine ots on liikuv ja on ühendatud nurkhoova *4* lühema õlaga.

Katla toitmiseks kasutatakse koormusevaba toiteklappi (joon. 172) kahe taldrikuga *1*, mis tasakaalustavad vee surve ja võimaldavad seega klappi kergesti avada või sulgeda. Taldriku *1* ja varda *2* raskuse tasakaalustamiseks kasutatakse vastukaalu *5*, mis on kinnitatud kaheõlgsele kangile *3—4*. Kui raskus on alla vajunud, siis klapp on avatud. Raskuse ülemises seisus on klapp suletud.




Joon. 172. Regulaatori koormusvaba toiteklapp:

*1* — taldrik; *2* — varras; *3* — klapihoova lühem õlg; *4* — klapihoova pikem õlg; *5* — tasakaalustav raskus; *6* — tross termostaadi hoova külge.

Vaatleme regulaatori töötamist katla erinevate veeseisude puhul.

Katla kõige madalama veeseisu puhul on termostaadi toru pikenemine suur. Termostaadi hoob *4* on liikunud oma ülemisse seisu ja on plokkidel asetseva trossi abil täielikult avanud toiteklapi. Katlasse juhitakse maksimaalne hulk vett.

Kõige kõrgema veeseisu puhul on termostaadi toru pikenemine väike, hoob *4* asub oma alumises seisus, toiteklapp on suletud ja vett katlasse ei anta.

Normaalse veeseisu korral on termostaadi torul keskmine pikenemine, hoob *4* asub keskmises seisus, klapp on parajalt avatud ja katlasse antakse normaalne veehulk.

Kui katla normaalkoormusel regulaator hoiab katlas liiga madala või liiga kõrge veeseisu, tuleb termostaadi toru nihutada üles- või allapoole tema kinnituskohas asuvate reguleerimiskruvide abil. Kaks kuni kolm korda nädalas tuleb termostaadi toru läbi puhuda eraldi vee- ja aurutoru kaudu. Tuleb jälgida, et hoovad oleksid hästi kinnitatud, et ei esineks lekkimist ega auramist.

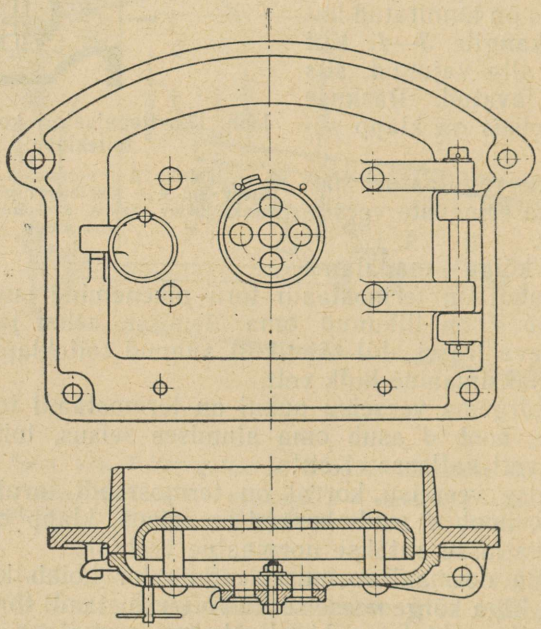
Kui toiteregulaator ei ole korras, tuleb viivitamatult üle minna toitmise käsitsi reguleerimisele.

Kirjeldatud tüüpi regulaatori töötamine põhineb ühel impulsil, katla veeseisu kõrgusel. Katla veeseisu paremaks reguleerimiseks kasutatakse kahe- ja kolmeimpulsilisi regulaatoreid, kus impulsina kasutatakse veeseisu, katla koormust ja katlasse juhitava toitevee hulka või rõhku.

## 56. KATLA GARNITUUR

Garnituuri moodustavad seadmed, mis võimaldavad katla gaasikäikude ja nendes asuvate osade seisukorra kontrollimist ja töötamise reguleerimist.

Katla kohustusliku garnituuri hulka kuuluvad malmraamiga koldeluugid mõõtmetega 400—450 mm, mis asuvad müüritises ja on vajalikud kolde, suitsukäikude ning nendes asuvate osade puhastamiseks ja nende töötamise jälgimiseks. Koldeluugi konstruktsioon on näidatud joonisel 173.

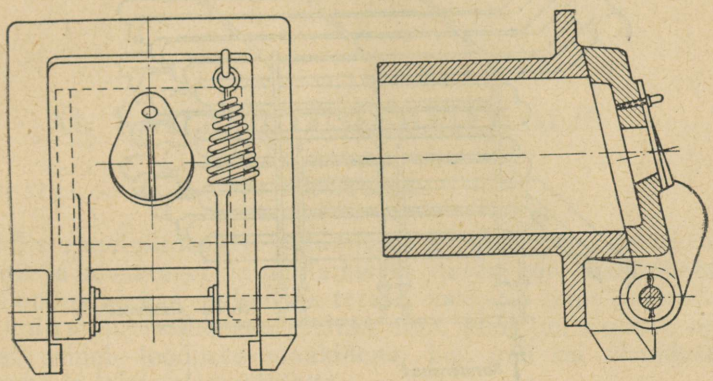


Joon. 173. Koldeluugi konstruktsioon.

Peale luukide peab müüritises olema veel väiksemamõõdulisi vaateavasid (joon. 174), millede kaudu on võimalik jälgida katla- ja koldeosade seisukorda katla töötamisel, sisse asetada kontrollmõõteriistu ja puhuda perioodiliselt tahma käsipuhuri abil.

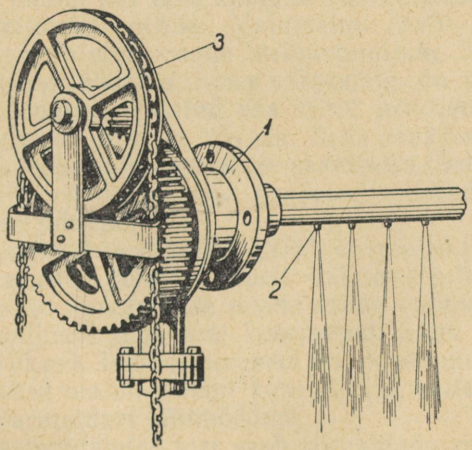
Katla eraldamiseks tõmbeseadmetest, tõmbe reguleerimiseks ja gaaside juhtimiseks suitsukäikudesse kasutatakse pööratavaid klappe.

Garnituuri hulka kuuluvad veel suitsukäikude siibrid, plahvatusklapid suitsukäikude seintes ja koldeuksed. Viimased tuleb varustada lingiga, et vältida ukse võimalikku lahtipaiskumist. Töötava katla küttepindu, nagu katlatorusid, ülekuumendit, ökonomaiserit ja õhueelsoojendit puhastatakse tahmast ning lendtuhast tahmapuhuritega.



Joon. 174. Vaateluugi konstruktsioon.

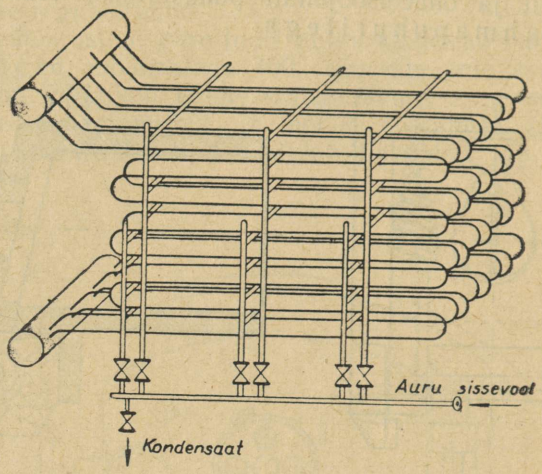
Tahmapuhur (joon. 175) koosneb pöörlevast torust pea ja düüsidega, mille kaudu voolab aur. Peas asub mehhanism toru pööramiseks. Kõrge temperatuuriga suitsukäikudes, kus isegi




Joon. 175. Tahmapuhur:
*1* — puhuri pea; *2* — aurudüüs; *3* — ketiratas.

tulekindel teras ei pea kaua vastu, kasutatakse väljavõetavaid või veega jahutatavaid tahmapuhureid.

Tahmapuhurid peavad olema nii asetatud, et nende tööpiirkonda oleks haaratud kogu küttepind.




Joon. 176. Ökonomaiseri tahmapuhumisseade.

Tahmapuhurite konstruktsioone on väga mitmesuguseid. Ökonomaiserite juures kasutatakse vahel torudest valmistatud tahmapuhumisseadet (joon. 176).

# XI. KATLAEHITUSE MATERJALID

## 57. METALLID

Põhiliste metallidena ja sulamitena kasutatakse katelde ehitamiseks ja armatuuri valmistamiseks rauda, mis koos süsinikuga moodustab kas malmi või terase, vaske ja tema sulameid, niklit, volframit, molübdeeni, tsinki, tina, pliid jm. Enamik metallidest esineb looduses maakidena, kus nad on ühenduses hapnikuga ja teiste elementidega.

Metallid jaotatakse mustadeks ja värvilisteks.

Mustade metallide hulka kuuluvad malm ja teras.

Malm on raua sulam süsinikuga, kusjuures viimase sisaldus on 1,7—6% piirides. Süsinikusisaldusest sõltuvad malmi omadused ja tema kasutusalad. Peale süsiniku sisaldab malm veel vähesel määral teisi lisandeid, nagu väävlit, fosforit, räni jne., mis satuvad malmi kas otse maagist või tema sulatamisel. Malm jaguneb mitmeks sordiks. Valumalmi (hall- ja valgemalm) kasutatakse valatud osade valmistamiseks. Hallmalm laseb ennast kergesti töödelda, kuna valgemalm on väga kõva ja on raskesti töödeldav. Valatud osa kiirel jahutamisel muutub selle pind valgeks ja väga kõvaks. Seda omadust kasutatakse kõvade ja tulekindlate restiosade saamiseks. Selleks valatakse osad metallvormidesse, mis nendesse valatud malmist soojuse kiiresti ära juhivad.

Malm sulab temperatuuril 1050—1275°, ei lase end tõmmata, painutada ega taguda, kuid on hästi valatav, tulekindel ja tugev survele. Malmi kasutatakse nende osade valmistamiseks, mis ei ole mehaaniliselt tugevasti koormatud, nagu restiosad, kolde esiplaadid, uksed, luukide kaaned jm. Armatuuri valmistamiseks kasutatakse malmi rõhuni kuni 40 atü, sõltuvalt auru temperatuurist ja armatuuri läbimõõdust.

Valgemalmi temperdamise teel saab kõrvaldada malmi haprust ja kõvadust ning muuta see sitkeks, taotavaks ja kergelt

töödeldavaks. Tempermalmist valmistatakse mitmesuguseid fitinguid ja fassongosi, mida kasutatakse torustike jm. juures.

Terast saadakse malmi ümbersulatamisel ja ta kujutab samuti raua ja süsiniku sulamit. Puhast rauda on raske saada ja tehnikas ta kasutamist ei leia. Teras sisaldab süsinikku 0,05—1,7%, millest sõltuvalt ta jaguneb sortidesse. Terasest valmistatakse plekki, torusid, polte, profiilmaterjali, traati, valuosi jne. Peale süsiniku võib teras sisaldada veel kasulikke komponente, nagu räni ja mangaani, mis tõstavad tema tugevust, ning kahjulikke komponente, nagu väävlit ja fosforit. Väävel muudab terase kuumalt hapraks, fosfor aga külmalt hapraks. Teras laseb end karastada ja järele lasta. Karastamisel kuumutatakse terast kõrge temperatuurini, mille järel ta kiiresti jahutatakse. Seejuures omandab teras suure kõvaduse, kuid samal ajal muutub hapramaks. Järelelaskmisel jahutatakse kuumutatud terast pikaldaselt, millega ta muutub pehmeks ja painduvaks. Terase termilist töötlemist, s. o. kuumutamist ja mitmesugustes tingimustes jahutamist kasutatakse tema sisemise struktuuri muutmiseks, millega muutuvad ka terase omadused. Katlaplekkideks kasutatakse ainult mittekarastuvat terast. Terase karastatavus sõltub peamiselt tema süsinikusisaldusest.

Peale süsinikterase toodetakse ja kasutatakse kõrgrõhukatelde juures legeeritud terast, mis sisaldab terase omadusi tõstvaid komponente. Nikkel, molübdeen, vanaadium ja kroom tõstavad terase tugevust, alumiinium, kroom ja nikkel aga sööbekindlust jne.

Katlaehituses kasutatavate teraste koostis ja omadused on toodud tabelites 24 ja 25.

Värvilistest metallidest kasutatakse katlaehituses vaske ja tema sulameid tina ning tsingiga. Punane vask puhtal kujul on väga pehme, hästi veniv, kuid halvasti valatav. Teda kasutatakse tihendusmaterjalina. Rohkem kasutatakse vase sulameid: valgevaske ja pronksi.

Valgevask ehk messing on vase ja tsingi sulam, hästi valtsitav ja valatav. Teda kasutatakse torude ja armatuuri valmistamiseks.

Pronks on vase ja tina sulam, hästi valatav, omab väikest hõõrdetakistust ja suurt tugevust. Teda kasutatakse klappide tihenduspindade, laagrite jne. valmistamiseks.

Niklit kasutatakse kõrgrõhuklappide tihenduspindade materjalina.

Tabel 24

**Põhiliste katlaehitusteraste keemiline koostis**

| Terase mark | Elementide sisaldus %-des | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | Mn | Si | Mo | Cr | Ni | Muud | S kuni | P kuni |
| МСт. 3 | 0,14–0,22 | 0,4 –0,65 | 0,12–0 3 | — | 0,3 | 0,3 | Cu 0,3 | 0,045 | 0,015 |
| 15K | 0,12–0,20 | 0,35–0,65 | 0,15–0,3 | — | 0,3 | 0,3 | Cu 0,3 | 0,04 | 0,04 |
| 20K | 0,16–0,24 | 0,35–0,65 | 0,15–0,3 | — | 0,3 | 0,3 | Cu 0,3 | 0,04 | 0,04 |
| 25K | 0,20–0,28 | 0,5 –0,8 | 0,15–0,3 | — | 0,3 | 0,3 | Cu 0,3 | 0,04 | 0,04 |
| 10 | 0,08–0,15 | 0,35–0,65 | 0,15–0,3 | — | 0,15 | 0,3 | Cu 0,25 | 0,045 | 0,045 |
| 20 | 0,17–0,25 | 0,35–0,65 | 0,17–0,37 | — | 0,3 | 0,3 | Cu 0,25 | 0,045 | 0,045 |
| 16M | 0,12–0,20 | 0,4 –0,7 | 0,15–0,3 | 0,4 –0,6 | 0,3 | 0,35 | Cu 0,25 | 0,04 | 0,04 |
| 12MX | 0,09–0,16 | 0,4 –0,7 | 0,15–0,3 | 0,4 –0,6 | 0,4 –0,6 | 0,3 | Cu 0,25 | 0,04 | 0,04 |
| 15XM | 0,09–0,16 | 0,4 –0,7 | 0,17–0,37 | 0,4 –0,6 | 0,8 –1,1 | 0,3 | Cu 0,25 | 0,04 | 0,04 |
| 30XMA | 0,25–0,33 | 0,4 –0,7 | 0,17–0,37 | 0,15–0,25 | 0,8 –1,1 | 0,4 | Cu 0,25 | 0,03 | 0,035 |
| 25X2MФA | 0,22 - 0,29 | 0,4 –0,7 | 0,17–0,37 | 0,2 –0,3 | 1,5 –1,8 | 0,4 | Cu 0,25 | 0,03 | 0,035 |
| 38XMЮA | 0,35–0,42 | 0,3 –0,6 | 0,17–0,37 | 0,15–0,25 | 1,35–1,65 | 0,4 | Cu 0,25 | 0,03 | 0,035 |
| 38XA | 0,34–0,42 | 0,5 –0,8 | 0,17–0,37 | — | 0,8 –1,1 | 0,4 | Cu 0,25 | 0,03 | 0,035 |
| 1X18H9T | 0,12 | 1,5 | 1 | — | 17–20 | 9–11 | — | 0,03 | 0,035 |

Tabel 25

**Põhiliste katlaehitusteraste mehaanilised omadused**

| Terase mark | Tõmbetugevus kg/mm² | Voolavuspiir kg/mm² | Venivus $\delta_{10}$ %, mitte alla | Löögitugevus kgm/cm² | Kasutusala |
|---|---|---|---|---|---|
| МСт. 3 | 38—47 | 24 | 23—21 | — | Lehed, valandid |
| 15K | 36—44 | 23 | 24—21 | 8—7 | " " |
| 20K | 41—50 | 25 | 22—19 | 7—6 | " " |
| 25K | 45—55 | 27 | 20—18 | 6 | " " |
| 10 | 34 | — | 20 | — | Torud |
| 20 | 41 | 20,5 | 17—23 | 5 | Torud, lehed |
| 16M | 40—55 | 20—27,5 | 18 (torud) | 7 | " " |
| 12MX | 42—57 | 0,5 | 18 (torud) | 7 | " " |
| 15XM | 44—60 | 0,5 | 18 | 6 | " " |
| 30XMA | 95 | 75 | — | 9 | Tikkpoldid, poldid, mutrid |
| 25X2MФA | 90—130 | 85—125 | — | 8—13 | Tikkpoldid, poldid, mutrid valandid |
| 1X18H9T | 50—60 | — | 35 (torud) | 15 | Torud, lehed, valandid |

## 58. MÜÜRITISE MATERJALID

Katla müüritise väline osa valmistatakse tavalistest tellistest. Müüritise sisemine osa, mis puutub kokku tulega või kuumade gaasidega, vooderdatakse tulekindlate kividega, mis peavad olema:

a) kõrgel temperatuuril mehaaniliselt tugevad, et kanda müüritise raskust;

b) kuumuskindlad, s. o. mitte pragunema kõrgel temperatuuril;

c) vastupidavad räbu keemilisele mõjule;

d) korduval kuumutamisel mitte kokkutõmbuvad;

e) kindla kujuga ja standardsete mõõtmetega.

Tulekindla tellise lähtematerjaliks on tulekindel savi, mis peab sisaldama võimalikult vähe lisandeid, taluma temperatuuri vähemalt 1600° ja mitte lahustuma vees. Tulekindel savi seguneb veega ja paisub seejuures, kuivenemisel ja põletamisel tõmbub kokku. Tulekindel savi on tavaliselt valget värvi, kuid põletamisel muutub kollakasvalgeks. Tulekindlast savist ja šamotist (põletatud ja jahvatatud tulekindel savi) valmistatakse šamottkive, mis on küllalt tugevad, kuumuskindlad ega kahane kuumutamisel, mistõttu neid kasutatakse aurukatelde müüritise vooderduseks.

Teistest tulekindla kivi sortidest kasutatakse veel savikvarts- ja savi-liivakive, mis samuti ei kahane, kuid on vähem kuumuskindlad. Neid kasutatakse šamottkivi asendajatena. Hästi asendab šamottkivi ka talkkivi, mis saetakse välja looduslikust talkkivist. Peale selle põletamist saadakse hall või punakas kivi, mis on väga tugev ja räbukindel, kuid raske ja vähe püsiv temperatuuri järskudel kõikumistel.

Müüritise kvaliteedi kindlustamiseks tuleb selle ladumisel kasutada tabelis 26 näidatud materjale:

Tabel 26

**Müüritise materjalid**

| Materjal | ГОСТ | Kasutusala |
|---|---|---|
| Tellis ja šamottkivid | 389-41<br>390-54 | Voodri vastutusrikaste kohtade ladumiseks, kus temperatuur on kuni 1400° (välja arvatud räbuga kokku puutuvad kohad) |
| Tellis ja poolhapud kivid | 4873-49 | Räbupunkrite müüritiseks, kus temperatuur on kuni 1250° |
| Tellis ja raskeltsulavad kivid | 881-41 | Suitsukäikude ja korstnate ladumiseks, kus temperatuur on kuni 1000° |

| Materjal | ГОСТ | Kasutusala |
|---|---|---|
| Tavaline punane tellis | 530-54 | Vundamentide, suitsukäikude, välisseinte ja muude elementide ladumiseks, kus temperatuur ei ületa 700°. |
| Tulekindel savi | — | Tulekindlate segude ja võõpade valmistamiseks |
| Mergel, tulekindel šamott ja šamottpuru | 6137-52 | Tulekindlate segude, võõpade ja torkreetmassi valmistamiseks |
| Ehitusmaterjalid (savi, kvartsliiv, tsement, lubi jms.) | | Tellismüüritise segu valmistamiseks |

Olenevalt kolde ekraneerimise astmest valitakse šamottkivi vastavalt tabeli 27 andmetele.

Tabel 27

**Šamottkivi valik olenevalt ekraneerimise astmest**

| Ekraneerimise aste | Šamott-tellis | |
|---|---|---|
| | Klass | Tulekindlus °C |
| $s > 2d$ või ilma ekraanita | A | 1730 |
| $s \leq 2d$ ja $s > 1{,}2d$ | Б | 1670 |
| $s < 1{,}2d$ | B | 1580 |

Märkus: $s$ — ekraani samm; $d$ — ekraanitoru välisläbimõõt.

Tulekindla müüritise ladumiseks vajalik segu peab oma tulekindluselt ja keemiliselt koostiselt vastama kasutatavale kivile.

Igal tulekindla savi saadetisel peab olema kaasas pass, kus on märgitud savi keemiline koostis, tulekindlus ja leiukoht. Segu valmistamiseks on keelatud kasutada tulekindlat savi, millel puudub pass või mis on kõrvalainetega segatud (tavaliselt liiv, savi, praht, tuhk, räbu jne.).

Šamottpuru kasutamisel segu valmistamiseks peab terasuurus vastama müüritise vuugi paksusele:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Terasuurus mm | 0,5 | 1 | 1,5 |
| Vuugi paksus mm | 1 | 2 | 3 ja enam. |

Tulekindla segu valmistamiseks võetakse mahuliselt 35% kuiva tulekindlat savi ja 65% sõelutud šamottpuru, kusjuures 1 mm paksuse vuugi puhul peab kogu puru läbi minema 1 mm avaga sõelast ja 2 mm paksuse vuugi puhul — 2 mm avaga sõelast. Šamottpuru valmistatakse kuulveskis.

Vee lisamisega muudetakse segu kas vedelaks või poolpaksuks. Seejuures peab kaaluline vahekord vastama tabeli 28 andmetele:

Tabel 28

**Komponentide kogus šamottmüüritise segu valmistamiseks**

| Segu koostisosa nimetus | Vedel segu | Poolpaks segu |
|---|---|---|
| Tulekindel savi, kg | 450 | 510 |
| Šamottpuru, kg | 770 | 860 |
| Vesi, l | 600 | 500 |

Punasest tellisest müüritise ladumiseks kasutatakse segu vahekorras 1 osa punast savi ja 1 kuni 2 osa liiva (mahuliselt). Kui aga punasest tellisest laotakse välismüüritist, siis kasutatakse tavaliselt tsemendi-lubja-liivasegu vahekorras 1 : 1 : 6, millele lisatakse vett vastavalt tabelis 29 näidatud suhtele:

Tabel 29

**Komponentide kogus punasest tellisest müüritise segus**

| Segu koostisosa nimetus | Kogus | |
|---|---|---|
| | mahuliselt $m^3$ | kaaluliselt kg |
| Portlandtsement | 0,174 | 226 |
| Kustutatud lubi | 0,169 | 248 |
| Liiv | 1,06 | 1696 |
| Vesi | 0,202 | 202 |

Müüritise ja metalli kaitsmiseks temperatuuri mõju eest kasutatakse ka torkreetmasse, mille koostis on toodud tabelis 30.

Tabel 30

**Torkreetmassi koostis 1 m pinna katmiseks 50 mm paksuselt**

| Koostisosa nimetus | Šamott-kromiitmass kg | Šamott-savimass kg |
|---|---|---|
| Šamott | 12 | 51 |
| Kromiit | 105 | — |
| Tulekindel savi | 20 | 30 |
| Vesiklaas | 2,5—3,0 | 2,5—3,0 |

Sõelutud šamott, kromiit ja tulekindel savi tuleb hästi läbi segada (kuni segu ühtlase värvuseni). Seejärel tuleb torkreetaparaadi paaki valada hästi läbisegatud vesiklaasi lahu. Plastilise savi puhul võetakse lahu kontsentratsioon 15%, vähem plastilise savi puhul 18%. Saadud torkreetmassi niiskus peab olema 13—15% ja rõhk torkreetaparaadis 4—5 at.

Enne torkreetmassiga katmist peab vooderdus olema kuiv. Torkreetmassi kuivatamist võib alustada 12—24 tundi pärast torkreteerimise lõpetamist.

Pragude vältimiseks tuleb kuivatamisel temperatuuri tõsta järgmiselt: kuni 200° — 10 kuni 12° tunnis, 200 kuni 600° — 30 kuni 40° tunnis.

Müüritise mehaanilise kulumise kaitseks kasutatakse tulekindlaid võõpasid. Seejuures võib poole kivi paksust müüritist valmistada ka otse võõbast (betoonina), sest võõp tardub hästi ja on šamottsegust tulekindlam.

Võõba valmistamiseks mõõdetakse selle sõelutud koostisosad (peavad läbima 1 mm avaga sõela) mingi kindla nõuga hoolikalt välja. Soovitav on selleks kasutada silindrilist ämbrit, millel on seespool jaotused 1 $dm^3$ tagant.

Materjalid tuleb kuivalt hästi läbi segada. Vahetult enne võõpamise algust lisatakse neile juurde vesiklaasi, kuni segu muutub hapukoore paksuseks.

Pind tuleb enne katmist terasharjaga tolmust ja seguprits-metest puhastada.

Võõp kantakse pinnale mitme kihina kas pintsli või vastava pihustiga. Esimese kihi paksus ei tohi olla üle 1,5 mm ja üldine paksus üle 4,5 mm.

Järgmine kiht tuleb peale kanda pärast eelmise mõningat tardumist, s. o. mitte varem kui tunni aja pärast.

Soovitatavad võõbasegude koostised on järgmised:

| Temperatuurile kuni 1400° | |
|---|---|
| Kroomrauamaaki | 7 osa |
| Põletatud vormimulda | 1,5 osa |
| Tulekindlat savi | 1,5 osa |
| Lisada vesiklaasi 20° Bo | |

| Temperatuurile 1500—1600° | |
|---|---|
| Kroomrauamaaki | 7 osa |
| Põletatud vormimulda | 0,4 osa |
| Magnesiitpulbrit | 2 osa |
| Tulekindlat savi | 0,6 osa |
| Lisada vesiklaasi 15° Bo | |

Pragude vältimiseks ei tohi võõba kuivatamisel tõsta temperatuuri kiiremini kui 30° tunnis.

Nõuded, mis esitatakse tulekindlale kivile räbu- ja kuumuskindluse suhtes, on vastukäivad. Kivi peab vastama nendele tingimustele, mis on igal konkreetsel juhul olulisemad. Õli põletamisel on näiteks tähtsam kivi kuumuskindlus, tuharikaste kütuste põletamisel aga räbukindlus.

Sõltuvalt $SiO_2$ või $Al_2O_3$ sisaldusest on kivid oma keemilistelt omadustelt kas happelised või aluselised. Happeline kivi sisaldab vähemalt 65% $SiO_2$, aluseline alla 60 % $SiO_2$ ja üle 30% $Al_2O_3$. Kivi tulekindlust tõstavad $Al_2O_3$ ja CaO, vähendavad aga $Fe_2O_3$ ja MgO.

Šamott-tellised ja šamott-vormikivid (ГОСТ 389-41 ja 390-54) valmistatakse põletatud tulekindlast savist (pulbriks jahvatatud), šamotist ja toorsavist.

Šamottkivi keemiline koostis:

$Al_2O_3$ — mitte alla 30%
$SiO_2$ — mitte üle 60%
$Fe_2O_3$ — mitte üle 2%
ja vähesel määral leelisi.

Kivide omadused on toodud tabelis 31.

Tabel 31

**Šamottkivide omadused**

| Nimetus | Klass A | | | Klass Б | | | Klass B | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1. sort | 2. sort | 3. sort | 1. sort | 2. sort | 3. sort | 1. sort | 2. sort |
| Tulekindlus °C, mitte alla . . . | 1730 | 1730 | 1730 | 1670 | 1670 | 1670 | 1580 | 1580 |
| Lühiajaline survetugevus kg/cm², mitte alla . . | 150 | 100 | 80 | 125 | 100 | 80 | 100 | 80 |
| Kokkutõmbumine % . . . . | 0,7 | 1 | 1 | 0,7 | 1 | 1 | 0,7 | 1 |
| temperatuuril . . | 1400 | 1400 | 1400 | 1350 | 1350 | 1350 | 1250 | 1250 |

Peale selle jagunevad šamottkivid mõõtmete järgi järgmiselt (tabel 32):

Tabel 32

**Šamottkivide mõõtmed ja kaal**

| Nimetus ja mõõtmed mm | Kivi kaal kg |
|---|---|
| Suur normaalkivi, 250×123×65 . . . . . | 3,8 |
| Väike normaalkivi, 230×113×65 . . . . . | 3,2 |
| Suur kiilkivi, 250×130×65×55 . . . . . | 3,5 |
| Väike kiilkivi, 230×113×65×55 . . . . . | 3,0 |
| Lihtne fassongkivi . . . . . | Olenevalt kivi suurusest |
| Keeruline fassongkivi . . . . . | ja kujust |
| Eriti keeruline fassongkivi . . . . . | |

Poolhapud kivid sisaldavad $Al_2O_3$ alla 30%, $SiO_2$ üle 65% ja $Fe_2O_3$ alla 2%. Suure poolhapu kivi mõõtmed on samuti 250×123×65 mm, väikesel poolhapul kivil aga 230×112×65 mm.

Tavaline punane tellis (ГОСТ 530-41) jaguneb markideks 150, 125, 100, 75 ja 50, mis vastab tellise keskmisele lühiajalisele survetugevusele. Punase tellise mõõtmed on 250×120×65 mm.

Kivide kulu 1 $m^3$ sirge seina ladumiseks on toodud tabelis 33, kusjuures on arvestatud vuuke, kuid tühimikud ja kadu on jäetud arvestamata.

Tabel 33

**Kivide kulunormid 1 $m^3$ müüritise ladumiseks**

| Seina paksus (kivides) | Tellise liik ja mõõtmed | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Punane tellis 250×120×65 | | Suur šamott-kivi 250×123×65 | | | Väike šamott-kivi 230×113×65 | | |
| | Müüritise vuugi paksus mm | | | | | | | |
| | 7 | 5 | 4 | 3 | 2 kuni 0 | 4 | 3 | 2 kuni 0 |
| 1/2 | 451 | 467 | 473 | 483 | 500 | 563 | 575 | 597 |
| 1 | 438 | 457 | 466 | 478 | 500 | 556 | 570 | 597 |
| 1 1/2 | 434 | 454 | 464 | 477 | 500 | 554 | 569 | 597 |
| 2 | 432 | 453 | 463 | 476 | 500 | 553 | 568 | 597 |
| Massiivne | 429 | 450 | 463 | 476 | 500 | 550 | 566 | 597 |

## 59. TIHENDUSMATERJALID

Tihendusmaterjale kasutatakse paigalseisvate ühenduskohtade, nagu torustiku äärikute, katla sektsiooniluukide, ekraanide ja ülekuumendite kollektorite, pumba silindrikaante jne. tihendamiseks. Nad peavad olema elastsed, pidama vastu keemilistele mõjutustele ja olema soojuskindlad. Vee puhul võib eranditult kõiki tihendusmaterjale kasutada kõrgema rõhu, kuid madalama temperatuuri juures kui auru puhul.

Rohkem kasutusel on järgmised tihendusmaterjalid.

Asbest, mida kasutatakse auru puhul kuni 4 mm paksuste lehtedena temperatuuril kuni 130° ja rõhul kuni 1,5 at. Tolmu ja gaasi puhul on asbest peaaegu ainukeseks tihendusmaterjaliks temperatuuril kuni 650° ja rõhul kuni 1,5 at. Lehtede paksus on seejuures tavaliselt kuni 2 mm. Erandjuhtudel kasutatakse asbesttihendeid ka kuni 70° temperatuuriga vee puhul. Kohtades, kus vesi ja aur mõjuvad vaheldumisi, kasutatakse värnitsaga immutatud asbesti.

Papp- ja purjeriidest tihendid on kasutatavad ainult vee puhul. Esimesel juhul on temperatuuri piiriks 120°, teisel 50°. Rõhud on vastavalt 16 ja 1,5 at.

Klingeriiti või tema asendajat paraniiti kasutatakse lehtedena paksusega 1—2 mm vee puhul temperatuuridel kuni 300° ja rõhkudel kuni 75 at ning auru puhul temperatuuridel kuni 425° ja rõhkudel 13—60 at, samuti ka kohtades, kus vesi ja aur mõjuvad vaheldumisi. Korduvalt tarvitamiseks tuleb tihendeid enne kohaleasetamist määrida silindriõlis segatud grafiidiga.

Klingeriit ja paraniit koosnevad peamiselt asbestist, kusjuures täiteainena esinevad kaoliin, grafiit, tahm ja kummiliim.

Kummiplaate tarvitatakse tihendusmaterjalidena vee puhul temperatuuridel kuni 40° ja rõhkudel kuni 3 at. Plaatide paksus on tavaliselt 4—6 mm. Purjeriidega tugevdatud 3 mm paksusi kummiplaate kasutatakse temperatuuridel kuni 60° ja rõhkudel kuni 3 at. Metallvõrguga kummitihendid (3—4 mm paksused) on kasutatavad temperatuuridel kuni 80° ja rõhkudel kuni 10 at.

Vineertihendeid kasutatakse vee ja õhu puhul temperatuuridel kuni 70°. Mädanemisest hoidumiseks immutatakse vineer keedetud õliga või lakiga.

Metalltihendeid kasutatakse rõhkudel kuni 175 at ja temperatuuridel kuni 550°. Materjalina on tarvitusel plii, vask, valgevask, alumiinium, pehme raud, roostevaba teras jt. Tihendid kujutavad endast õhukese seinaga lainelisi rõngaid grafiit-asbesttäitega või ümmarguse põhjaga soontega paksemaid rõngaid.

Auru ja vee puhul rõhkudel kuni 35 at ja temperatuuridel kuni 425° kasutatakse vasktraati.

Tihendamiseks kasutatakse ka pastasid, mis koosnevad grafiidist, pliisuurikust, tahmast, asbestist, tavotist ja bituumenist.

## 60. ISOLEERMATERJALID

Aurukatla kuumade osade ja torustikkude katmine halvasti soojust juhtiva materjaliga vähendab soojuskadusid ümbritsevasse keskkonda. Parimaks soojusisolaatoriks on õhk. Isoleermaterjalide ülesandeks on takistada õhu-liikumist kuumade pindade ligiduses. Seepärast peavad isoleermaterjalid olema poorsed ja moodustama kinniseid pesakesi õhu jaoks. Sagedamini kasutatakse järgmisi isoleermaterjale.

Kiiselguur, mis koosneb väikeste karploomade jäänustest.

Diatomiit, millest valmistatakse mitmesuguseid isolatsioonivahendeid. Diatomiit-tellis saadakse, kui diatomiiti

segada saepuruga ja väikese osa saviga ning kõrge temperatuuri juures kuumutada. Isolatsioonisegu valmistamiseks segatakse diatomiiti ka lubja ja asbestiga.

Asbest on mineraalne kiudaine. Teda kasutatakse pulbrina, lehtedena ja nöörina.

Asbotermiit, mis koosneb 70% šifrijäätmeist koos 15% asbesttolmu ja 15% diatomiidiga.

Asbosuriit, mis koosneb 30% asbestist ja 70% diatomiitpulbrist.

Novoasbosuriit, mis koosneb 70% diatomiitpulbrist, 15% šifrijäätmeist ja 15% asbestist.

Soveliit, mis koosneb 85% magneesiumist ja 15% asbestist.

Isoleervatt, mida saadakse vedelast räbust auru läbipuhumise teel.

Isoleermaterjal ja katmise viis tuleb valida sõltuvalt isoleeritava eseme temperatuurist ja töötamise tingimustest.

Isolatsioonikihi paksus on piirides 10—100 mm ja rohkem. Kihi paksuse valikul on tähtis, et kulud soojuskadudest ja kulud isoleerimiseks osutuksid kogusummas minimaalseks. Isolatsioonikihi pinna temperatuur ei tohi olla üle 40—45°. Isoleerimine mõjutab tunduvalt kütuse kulu. Arvestatakse, et halb ja vigastatud isolatsioon põhjustab kütuse ülekulu kuni 8%. Üksikute isoleermaterjalide kasutamise efektiivsuse võrdluseks on järgnevas tabelis toodud andmed soojuskadudest tingitud kütuse kulu kohta aastas ühele jooksvale meetrile aurutorustikule läbimõõduga 200 mm ja temperatuuriga 250° isolatsioonikihi paksuse juures 80 mm.

Tabel 34

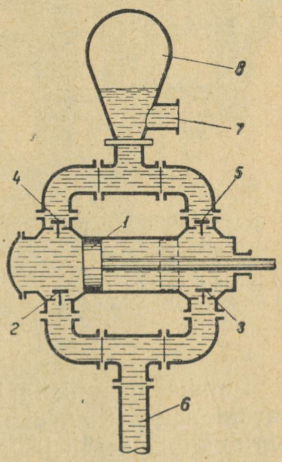
**Üksikute isoleermaterjalide võrdlus**

| Isolatsiooni liik | Tingkütuse kulu aastas tonnides 1 m torustikule |
|---|---|
| Kõrge efektiivsusega (soveliit, isoleervatt) | 0,20 |
| Keskmise efektiivsusega (asbotermiit, diatomiit-tellis) | 0,35 |
| Madala efektiivsusega (novoasbosuriit) | 0,50 |
| Isoleerimata aurutorustik | 2,00 |

# XII. TOITESEADMED

## 61. KOLBPUMBAD

Seadmeid, mis toidavad katelt veega, nimetatakse *toiteseadmeteks*. Nendeks võivad olla kolbpumbad, tsentrifugaalpumbad, pöörispumbad või inžektorid. Kolbpumba töötamise põhimõte selgub jooniselt 177. Kolb *1* liigub äärmisest vasakpoolsest seisust paremale ja tekitab seejuures silindri vasakpoolses osas hõrenduse, parempoolses osas ülerõhu. Vesi tungib pumpa imitoru *6* kaudu, läbib imiklapi *2* ja, järgnedes kolvi liikumisele paremale, täidab silindri vasakpoolse osa. Samal ajal surub kolb vee silindri parempoolsest osast välja. Seejuures surutakse imiklapp *3* kinni ja suruklapp *5* lahti. Vesi voolab õhukuplisse ja sealt surutorusse *7*. Vasakpoolne suruklapp *4* on seejuures suletud. Jõudes äärmisse parempoolsesse asendisse, jääb kolb seisma. Sel momendil sulguvad vasakpoolne imiklapp ja parempoolne suruklapp. Edasisel kolvi liikumisel vasakule kordub sama protsess ümberpöördud järjekorras: avaneb parempoolne imiklapp *3* ja vasakpoolne suruklapp *4* ning vesi surutakse katlasse silindri vasakust poolest.




Joon. 177. Kahepoolse töötamisega pumba skeem:

*1* — pumba kolb; *2*, *3* — imiklapid; *4*, *5* — suruklapid; *6* — imitoru; *7* — surutoru; *8* — õhukuppel.

Õhukuppel pehmendab vee surumisel järske lööke. Kupli ülemises osas olev õhk on vee rõhu all. Momendil, kui kolb jõuab oma äärmisse asendisse ja jääb seisma, surub kuplis olev õhk osa vett katlasse. Seega muutub vee andmine ühtlasemaks.

Kolbpumbad jagunevad:

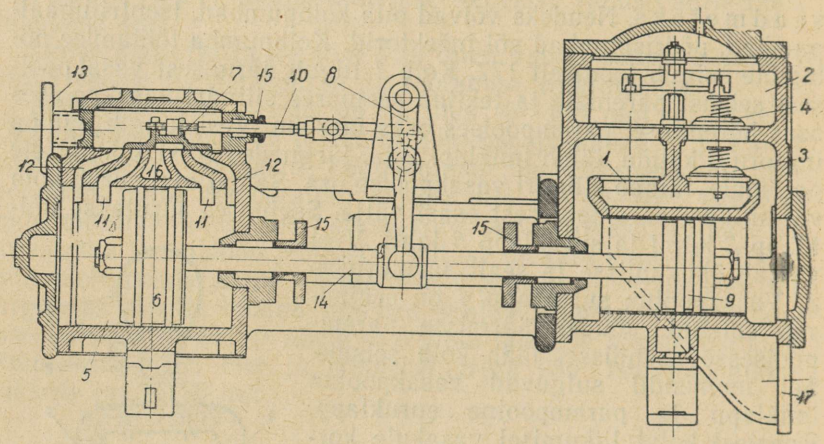
a) pumpa käitava jõumasina järgi: auru-, sisepõlemismootoriga ja elektripumbad;

b) töötamisviisi järgi: ühe- ja kahepoolse töötamisega pumbad;

c) silindrite arvu järgi: ühe-, kahe- ja kolmesilindrilised pumbad;

d) silindrite asendi järgi: vertikaalsed ja horisontaalsed pumbad.

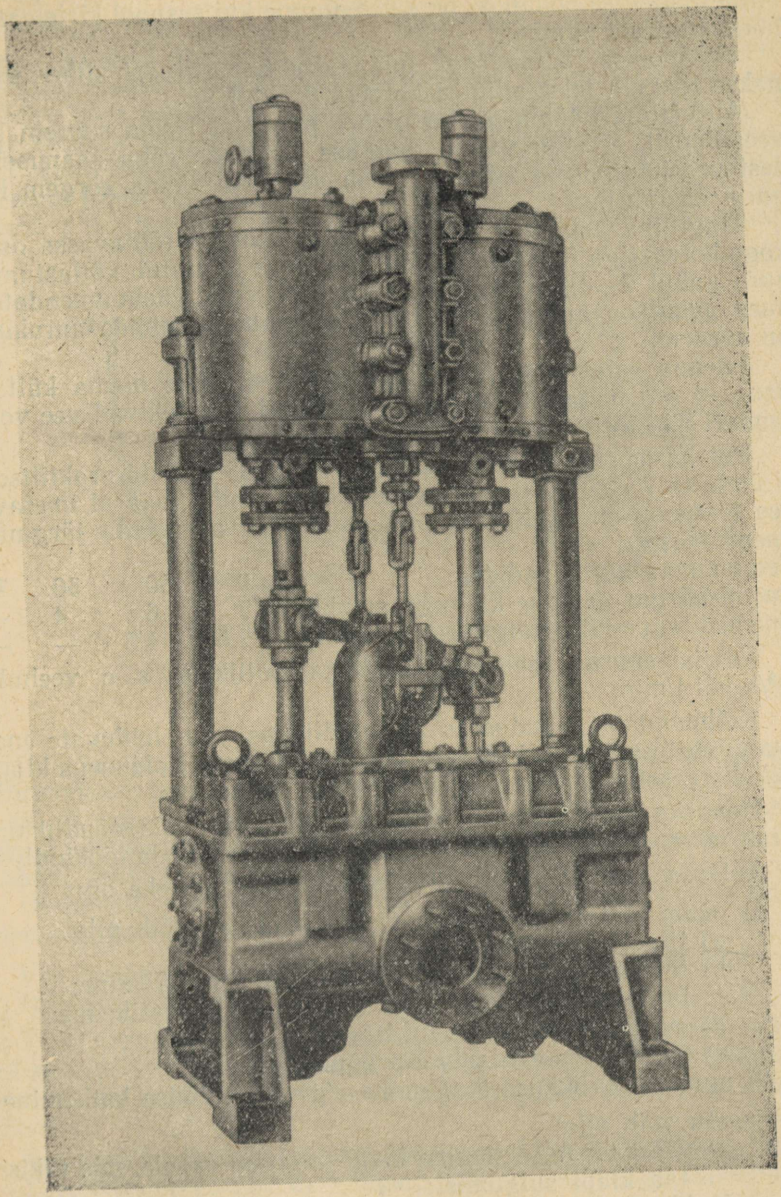
Katelseadmete juures kasutatav kahepoolse töötamisega horisontaalne aurupump on kujutatud joonisel 178. Pump koosneb silindrist kolviga *9* ning klapikarbist kahe imiklapiga *3* ja kahe suruklapiga *4* (joonisel on näidatud ainult üks pool). Ülevalt suruvad klappidele vedrud, mis sulevad klapid, kui kolb on jõudnud äärmisse seisu. Kolvil asuvad kolvirõngad.




Joon. 178. Kahepoolse töötamisega horisontaaline aurupump:

*1* — imikamber; *2* — surukamber; *3* — imiklapp; *4* — suruklapp; *5* — aurusilinder; *6* — aurumasina kolb; *7* — aurumasina siiber; *8* — siibrikäitamisseade; *9* — pumba kolb; *10* — siibri varras; *11* — auru väljalaskekanal; *12* — auru sisselaskekanal; *13* — aurutoru; *14* — aurumasina ja pumba ühine kolvivarras; *15* — tihenduspuks; *16* — väljalasketoruga ühenduses olev kanal; *17* — imitoru.

Pumba aurumasin koosneb silindrist *5*, veekolviga *9* ühisel vardal asuvast aurukolvist *6* ja siibrikarbist siibriga *7*. Siiber liigub siibripeeglil ja laseb auru silindri töötavasse poolesse kanaleid *12* kaudu ning töötanud auru kanaleid *11* kaudu kanalisse *16*, mis on ühenduses auru väljalasketoruga. Joonisel 178 on kujutatud vasakult paremale liikuv kolb. Aur tungib silindri vasakpoolsesse ossa ja väljub parempoolsest osast. Veidi enne kolvi jõudmist äärmisse seisu suleb siiber väljalaskekanali *11* akna. Silindrisse jäänud aur surutakse kokku ja moodustab aurupadja, mis pehmendab kolvi jõudmist äärmisse seisu.



Joon. 179. Kahepoolse töötamisega püstaurupumba üldvaade.

Joonisel 179 on kujutatud kahesilindriline püstaurupump, mille töötamise põhimõte on samasugune kui eespool kirjeldatud horisontaalsel pumbal.

Kahepoolse töötamisega pumpades ühe silindri siiber pannakse liikuma teise silindri kolvivarda abil.

Aurusilindri läbimõõt on umbes poolteist korda suurem kui veesilindril. See on vajalik pumbas kõrgema rõhu saamiseks, sest vee juhtimiseks katlasse peab vee rõhk olema kõrgem kui auru rõhk katlas.

Tingituna asjaolust, et aur voolab silindri töötavasse ossa kogu kolvikäigu jooksul, on aurukulu suur ja ulatub küllastunud auru puhul 2—4%-ni katla aurutootlikkusest. Ülekuumendatud auru puhul on aurukulu 1,5—2%. Kulunud pumpade aurukulu on suurem.

Imemise ajal peab hõrendus pumba silindris olema küllaldane, et vett tõsta ning ületada takistused, mis tekivad vee voolamisel läbi torustiku ja armatuuri.

Pumba teoreetiline imemiskõrgus on 10,33 m, kuid praktiliselt ei ületa ta 7—8 m. Imemiskõrgus oleneb suurel määral imetava vee temperatuurist. Korras pumpadel võib arvestada järgmisi imemiskõrgusi.

| Vee temperatuur kraadides | 0 | 30 | 50 | 70 |
|---|---|---|---|---|
| Imemiskõrgus aeglase käiguga pumbal m | 7 | 6 | 4 | — |
| Imemiskõrgus kiire käiguga pumbal m | 2,5 | 1,5 | — | — |

Pumba suurust iseloomustab tema tootlikkus, s. o. veehulk $m^3/h$ või l/min.

Kolbpumpade puuduseks on tundlikkus vees leiduvate mehaaniliste lisandite suhtes, pumba töötamise suur olenevus klappide korrasolekust ja ebaühtlane vee andmine.

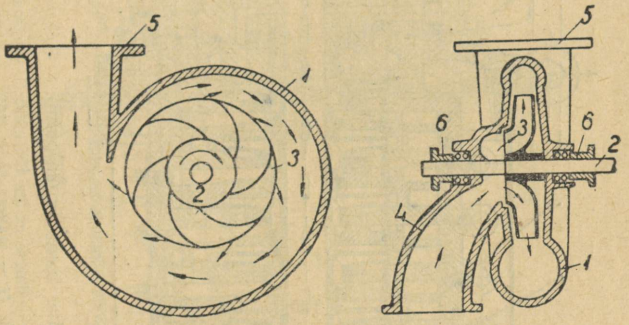
Headeks külgedeks on käivitamise lihtsus, vähenõudlikkus järelevalve suhtes, tootlikkuse lihtne reguleerimine ja töökindlus.

Kolbpumpade töötamisel peamisteks korratusteks on:

1) pump ei ime korralikult vett. Põhjuseks võib olla:
   a) liiga kuum toitevesi;
   b) imitoru ummistumine või imiklapi kinnijäämine;
   c) imitoru, kolvi või kolvivarda topendi ebatihedus;
   d) suruklappide või klapi-istmete ebatihedus;
   e) pumbakere vaheseinte pragunemine;
2) pumba tootlikkuse langemine või vee andmise katkemine. Põhjuseks võib olla:
   a) võõrkehade sattumine klapi ja istme vahele, mis takistab klapi sulgumist;
   b) klapi väljahüppamine istekohast;
   c) klapi kinnijäämine istekohas.

## 62. TSENTRIFUGAALPUMBAD

Joonisel 180 on kujutatud tsentrifugaalpumba töötamise skeem. Keres *1* asub võll *2*, millele on kinnitatud labidatega varustatud rootor *3*. Tööolukorras on pump täidetud veega, mis pöörleb koos rootoriga. Tsentrifugaaljõud sunnib labidate vahel vett liikuma võlli poolt väljapoole. Võlli pöörlemisel visatakse vesi tsentrifugaaljõu abil vahetpidamatult rootorist välja, mille asemele tuleb vesi paagist või kaevust imitoru *4* kaudu. Surutorust *5* väljub vesi veetorustikku. Tsentrifugaalpump annab




Joon. 180. Tsentrifugaalpumba töötamise skeem:
*1* — kere; *2* — võll; *3* — rootor; *4* — imitoru; *5* — surutoru; *6* — tihenduspuks.

vett ühtlaselt. Pumba tootlikkus oleneb tema mõõtmetest ja pöörlemiskiirusest. Ühe rootoriga pump arendab rõhku kuni 8 atü. Kõrgema rõhu saamiseks ehitatakse pumbad mitme rootoriga või astmega (joon. 181). Vesi läbib järjekorras kõik astmed, mille juures tema rõhk tõuseb.

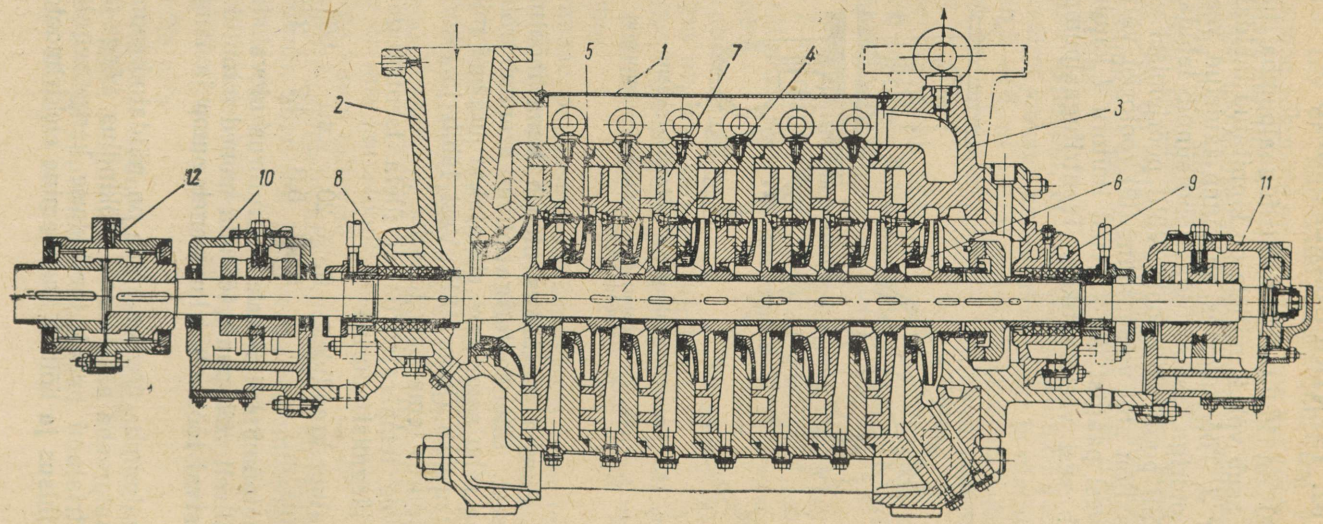
Olenevalt vee temperatuurist ei ületa tsentrifugaalpumba imemiskõrgus järgmisi suurusi:

| Vee temperatuur kraadides | 0 | 20 | 40 | 60 | 75 |
|---|---|---|---|---|---|
| Imemiskõrgus m | 6,4 | 5,8 | 4,7 | 2,3 | 0 |

Tsentrifugaalpump käivitatakse surutorus oleva klapi suletud seisus. Selliselt võib pump töötada mõned minutid. Sellises seisukorras kestval töötamisel kuumeneb pump ja langeb tööst välja.

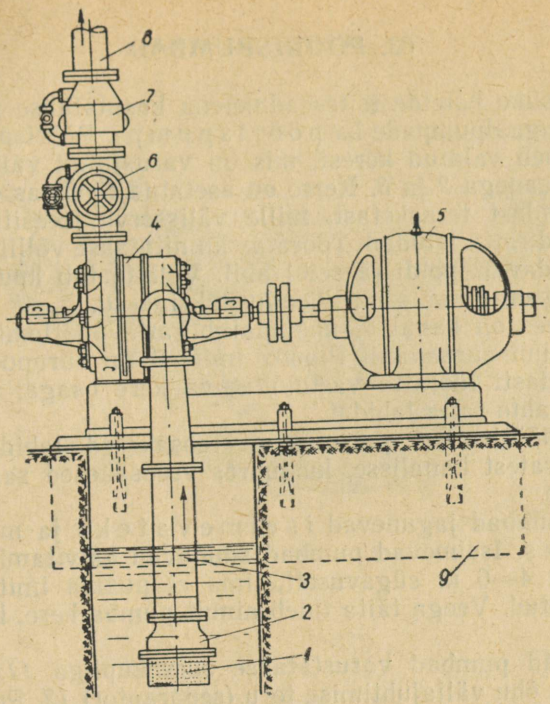
Tsentrifugaalpumba ülesseadmine on näidatud joonisel 182.

Tsentrifugaalpumba paremused: töökindlus, kõrge ökonoomsus, eriti elektriajami puhul, tootlikkuse kerge reguleerimine, teenindamise lihtsus ja hõlbus ühendamine elektrimootoriga.




Joon. 181. Kaheksaastmeline tsentrifugaalpump:

*1* — kere; *2* — kaas (imipoolel); *3* — kaas (surupoolel); *4* — võll; *5* — esimese astme tööratas; *6* — viimase astme tööratas; *7* — juhtaparaat; *8, 9* — tihenduspuksid; *10, 11* — laager; *12* — sidur.




Joon. 182. Tsentrifugaalpumba ülesseadmise skeem:
*1* — sõel; *2* — põhjaklapp; *3* — imitoru; *4* — pump; *5* — elektrimootor; *6* — siiber; *7* — tagasilöögiklapp; *8* — suru-toru; *9* — vundament.

Puudustena esinevad: vajadus hoida pump veega täidetult või täita teda enne käivitamist, järsk tootlikkuse langus pumba kulumisel ja rõhu langus tootlikkuse suurenemisel.

Tsentrifugaalpumpade töötamisel peamisteks korratusteks on:

1) pump ei anna vett. Põhjuseks võib olla:
   a) mootori väike pöörlemiskiirus;
   b) pumba ja imitoru täitmata jätmine enne käivitamist;
   c) imitoru põhjaklapi ebatihedus või ummistumine;
   d) õhu sissepääs läbi ebatiheduste imitorru ja pumpa;
2) pumba tootlikkuse langemine. Põhjuseks võib olla:
   a) imitoru ja tihenduspuksi ebatihedus;
   b) tööratta paigaltnihkumine telje suunas;
   c) mootori pöörlemiskiiruse vähenemine;
   d) vee kõrge temperatuur;
3) pump ei anna küllaldast rõhku. Põhjuseks võib olla:
   a) mootori pöörlemiskiiruse vähenemine;
   b) tööratta ja tihendusrõngaste kulumine.

## 63. PÖÖRISPUMBAD

Tööstuslike katelde toiteseadmetena kasutatakse peale kolb- ja tsentrifugaalpumpade ka pöörispumpi. Pöörispump (joon. 183) koosneb valatud kerest, mis on varustatud välimise ning sisemise kaanega *2* ja *3*. Kerre on asetatud tööratas *4*. Viimane kujutab endast terasketast, mille välisserva freesitud õnarad kujundavad ratta labidad. Tööratas kinnitatakse võllile *5* kiiluga ning täiendavalt poldi ja seibi abil. Võll toetub kuullaagritele *8* ja *9* ning on varustatud tihenduspuksiga *10*.

Kere sees on kanal *6*, mis ulatub ratta pöörlemise suunas imiavast kuni suruavani. Pumba imipool on surupoolest eraldatud tihedasti tööratta vastu ulatuva kere osaga, mis katab vähemalt kahte ratta labidat.

Ratta pöörlemisel paisatakse veeosakesed labidate vahelistest õnaratest kanalisse, kusjuures veeosakesed saavad pöörisliikumise.

Pöörispumbad jagunevad iseimevateks ja mitteiseimevateks. Iseimevad pumbad suudavad käivitamisel imeda vett juurde 4—6 m sügavuselt, ilma et pumba imitoru oleks veega täidetud. Veega täita tuleb ainult pumba kere, kui see on veest tühi.

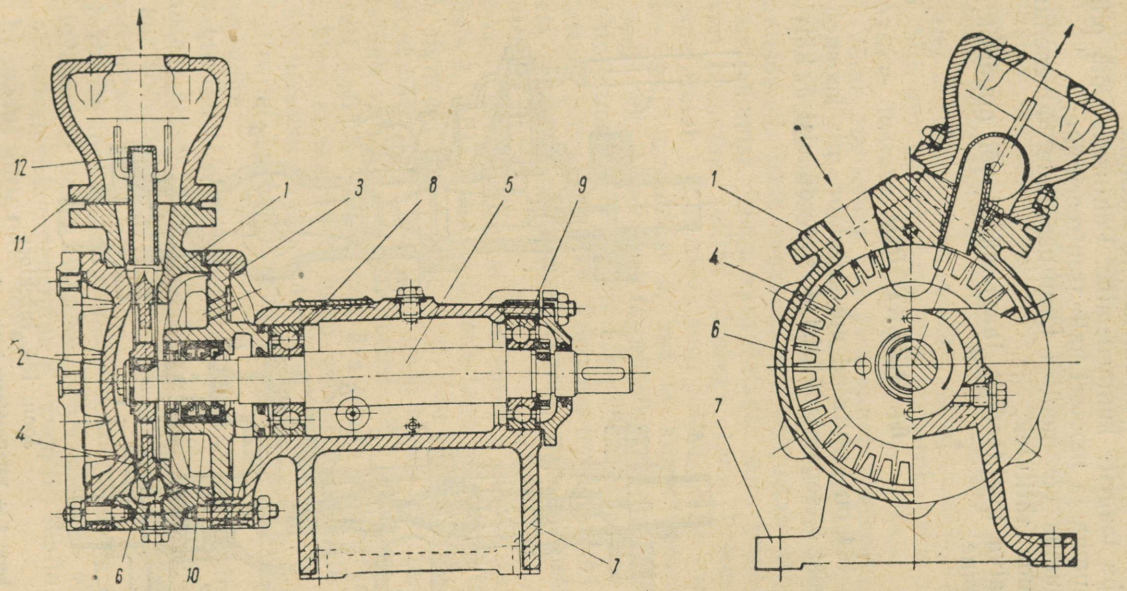
Iseimevad pumbad varustatakse survekupliga *11*, millesse on asetatud õhu väljajuhtimise toru (separaator) *12*. Pumba käivitamisel paisatakse vesi kui raskem vastu toru välisseina, kust ta valgub tagasi rattale; õhk toru keskosast juhitakse pumba surutorru. See kordub seni, kuni kogu õhk on pumba imitorust eemaldatud; peale selle hakkab pump andma vett. Mitteiseimeval pumbal tuleb enne käivitamist täita veega ka imitoru, mis peab olema varustatud põhjaklapiga.

Enne pumba käivitamist tuleb kontrollida võlli pöörlemist käsitsi. Pump käivitatakse surutoru siibri avatud seisus. Pumba seiskamiseks suletakse järjekorras siibrid imi- ja surutorul ning seejärel lülitatakse välja elektrimootor.

Kõrgematel katla töörõhkudel kasutatakse tsentrifugaalpöörispumpi, mis koosnevad kahest astmest, kusjuures esimene aste on varustatud tsentrifugaal-, teine pöörisrattaga.

Pöörispumpade töötamisel peamisteks korratusteks on:

1) pump ei ime vett. Põhjuseks võib olla:
   a) pumba (imitoru) täitmata jätmine enne käivitamist;
   b) imitoru põhjaklapi ebatihedus või ummistumine;
   c) liiga suur õhuvahe pumba tööratta ja kaane vahel;
2) pumba tootlikkuse langemine. Põhjuseks võib olla:
   a) õhu sissepääs läbi imitoru ebatiheduste;
   b) liiga suur õhuvahe pumba tööratta ja kaane vahel.



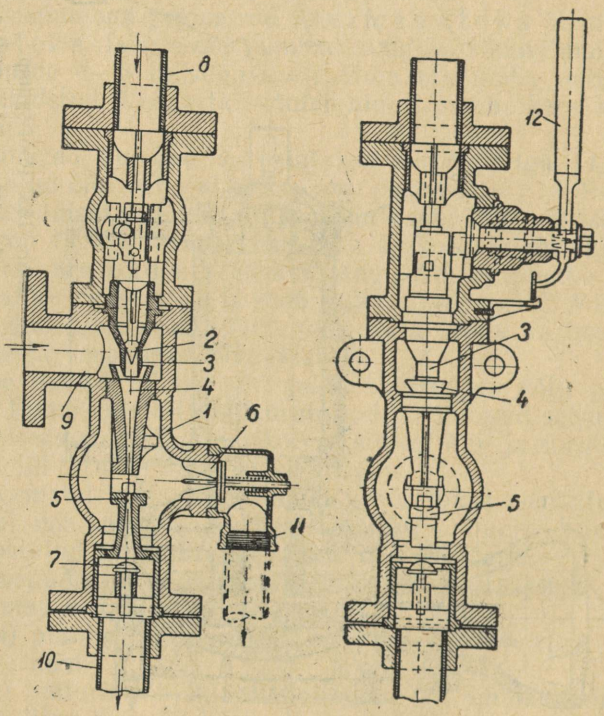

Joon. 183. Pöörispump:

*1* — kere; *2* — välimine kaas; *3* — sisemine kaas; *4* — tööratas; *5* — võll; *6* — kanal; *7* — pumba tugi; *8, 9* — kuullaagrid; *10* — tihenduspuks; *11* — survekuppel; *12* — õhu väljajuhtimise toru.

3) pump ei anna küllaldast rõhku. Põhjuseks võib olla:
   a) kaitseklapi mitte õige reguleerimine;
   b) tööratta kulumine;
   c) mootori pöörlemiskiiruse vähenemine;
4) pumba laagrite kuumenemine. Põhjuseks võib olla:
   a) pumba ja mootori halb tsentreerimine;
   b) pumba või mootori kinnituspoltide lõdvenemine, kiilude lahtitulek;
   c) halva kvaliteediga laagrimääre või puudulik määrimine.

## 64. INŽEKTORID

Joonisel 184 on kujutatud auruinžektor, mis koosneb kerest *1*, aurudüüsist *3*, segamisdüüsist *4*, survedüüsist *5*, käivitusklа-




Joon. 184. Inžektor:

*1* — kere; *2* — käivitusklapp (auru); *3* — aurudüüs; *4* — segamisdüüs; *5* — survedüüs; *6* — signaalklapp; *7* — tagasilöögiklapp; *8* — aurutoru; *9* — imitoru; *10* — surutoru; *11* — signaaltoru; *12* — käivitusklapi käepide.

pist *2* käepidemega *12*, signaalklapist *6* ja tagasilöögiklapist *7*. Toru *8* kaudu juhitakse katlast inžektorisse küllastunud aur. Toru *9* kaudu imetakse vesi sisse ja toru *10* kaudu juhitakse vesi katlasse. Signaaltoru *11* ja signaalklapp *6* on vajalikud inžektori käivitamisel.

Inžektor kujutab jugapumpa. Düüsi abil muudetakse auru potentsiaalne energia liikumisenergiaks, mis antakse aurult üle toiteveele.

Inžektori käivitamiseks pööratakse käepidet *12*, millega tõstetakse üles auruklapp *2* ja lastakse aurul voolata katlast aurudüüsi *3*. Siin aur paisub: tema rõhk väheneb, maht suureneb ja aur saavutab teatava kiiruse. Suundudes düüsist *3* segamisdüüsi *4*, võtab aur kaasa vett ja seguneb viimasega. Seejuures tekib segamiskoonuse ees hõrendus ja atmosfääri rõhul tungib vesi toru *9* kaudu inžektorisse. Auru kondenseerumise tagajärjel segamisdüüsis tekib vaakuum, mis põhjustab omalt poolt vee kiiruse suurenemist. Seega saavutatakse auru kondenseerumise arvel vee liikumine sellise kiirusega, mille juures vee liikumisenergia ületab katlas oleva auru potentsiaalse energia. Edasi juhitakse vesi survedüüsi *5*, kus ta kiirus väheneb ja rõhk tõuseb sedavõrd, et vesi avab tagasilöögiklapi ja tungib katlasse.

Inžektori imemiskõrgus on 1,5—2,5 m. Inžektor töötab vee temperatuuri juures kuni 60°. Kõrgema temperatuuri korral hakkab vesi auruga segunemisel keema, mis põhjustab imemise katkemist.

Inžektori käivitamisel ei kondenseeru aur mitte kohe segamisdüüsis *4*, mille tõttu tekib selle taga ülerõhk. Viimase mõjul avaneb signaalklapp *6* ning auru, õhu ja vee segu tungib signaaltorust välja. Kui aur juba imeb kaasa vett ja surub välja õhu, katkeb väljavool signaaltorust ning inžektor hakkab juhtima vett katlasse, mida võib ära tunda omapärasest mürast.

Inžektori seiskamiseks tuleb auruklapi käepide viia tööseisust käivitusseisu ja sulgeda ventiil aurutorul.

Inžektoritel on suur tootlikkus, mille tõttu katelt toidetakse vaheaegadega.

Inžektoritel ei ole liikuvaid osi ja nad on töökindlad. Nende töötamiseks kulub palju auru, mis aga ei moodusta soojuskadu, kuna aur soojendab vett (kuni 90°), millega soojus suunatakse katlasse tagasi.

Inžektorite töötamisel peamisteks korratusteks on:

1) inžektor ei hakka töötama. Põhjuseks võib olla:
   a) inžektori kuumenemine auruventiili läbilaskmise tõttu;
   b) madal auru rõhk katlas;
   c) õhu sissepääs imitorru;
   d) kõrge vee temperatuur;
   e) inžektori koonuste kulumine;

2) veeandmise katkemine. Põhjuseks võib olla:
   a) veetaseme langemine toitereservuaaris, mille tagajärjel õhk pääseb imitorru;
   b) imitoru ebatihedus;
   c) auru rõhu langus katlas;
   d) võõrkehade sattumine inžektori koonuste või signaalklapi vahele;
   e) inžektori kere või toitevee kuumenemine.

## 65. TOITESEADMETE ARV JA TOOTLIKKUS

Statsionaarsete elektrijaamade aurukatelde toitepumbad peavad vastama järgmistele nõuetele.

Elektripumpade arv ja tootlikkus peab olema valitud nii, et mis tahes pumba seismajäämisel kindlustaksid töösse jäänud pumbad katlamaja kõikide katelde (välja arvatud reservkatel) töötamise nimivõimsusega.

Peale elektripumpade peavad olema üles seatud reservaurupumbad järgmistel juhtudel:

a) kui elektrijaam töötab iseseisvalt, s. t. pole lülitatud teiste jaamadega ühisesse süsteemi ega tööta nendega paralleelselt;

b) kui katlamajas kasutatakse kütuse kambrispõletamist ja katelde trumleid köetakse otse kuumade gaasidega;

c) kui katlamajas kasutatakse kütuse kihispõletamist.

Seejuures peab reservpumpade võimsus kindlustama katelde töötamise poole nimikoormusega.

Pidevalt töötavate toiteseadmetena on lubatud kasutada ka aurupumpasid, mille võimsus peab vastama eelnimetatud elektripumpade võimsusele. Sel juhul pole reservpumpade ülesseadmine kohustuslik.

Kuni 2500 kW võimsusega uute statsionaarsete elektrijaamade katelde toitepumbad peavad vastama järgmistele nõuetele:

a) kui katlamajas on üks katel, tuleb üles seada üks elektripump ja üks aurupump, mille kummagi võimsus on vähemalt 120% katla nimivõimsusest;

b) kui katlamajas on mitu eraldi toidetavat katelt, tuleb igale katlale üles seada üks elektripump ja üks aurupump, mille kummagi võimsus on vähemalt 120% katla nimivõimsusest;

c) kui katlamajas on mitu katelt, mida toidetakse ühisest toiteseadmest, tuleb üles seada kaks aurupumpa või kaks elektripumpa ja üks reservpump. Seejuures peab iga pumba võimsus olema vähemalt 120% katelde summaarsest nimivõimsusest.

Tööstuslike aurukatelde toitmiseks tuleb üles seada vähemalt kaks üksteisest sõltumatult töötavat pumpa, millest üks

peab olema aurupump. Lubatav on kasutada ka mõlema toitepumbana aurupumpasid. Seejuures peab kummagi pumba võimsus olema vähemalt 120% töötavate katelde summaarsest nimivõimsusest.

Kolme või enama toitepumba puhul peab:

a) kõige võimsama pumba ajutisel seismajäämisel olema ülejäänud pumpade võimsus selline, et nende tootlikkus vastaks kõikide töötavate katelde 120% nimivõimsusele;

b) aurupumpade tootlikkus olema vähemalt 120% kõikide töötavate katelde nimivõimsusest.

Aurupumpade asemel võib kasutada sama palju ja võimsusega inžektoreid. Aurupumba või inžektori asendamist elektripumba või mingi muu pumbaga võib lubada ENSV Riiklik Tehniline Inspektsioon, kes antud juhul täidab NSV Liidu Riikliku Mäejärelevalve ja Tehnilise Komitee kohaliku organi ülesandeid.

Väikestel aurukateldel, mille töörõhk ei ületa 4 atü ja tootlikkus 500 kg/h, lubatakse reservpumbana kasutada käsipumpa, mida omakorda võib asendada veetorustik tingimusel, et rõhk torustikus oleks katla juures vähemalt 1,5 at võrra kõrgem kui lubatav töörõhk katlas.

Kuni 1,5 atü töörõhuga ja kuni 150 kg/h tootlikkusega aurukatelde toitmiseks lubatakse kasutada ühte pumpa, seejuures ka käsipumpa.

Ühisel veemagistraalil töötavatel toitepumpadel peavad olema paralleeltöötamist võimaldavad karakteristikud.

Igal toitepumbal peab olema sildike, kus on märgitud pumba valmistanud tehas, valmistusaasta, tehase number, nimitootlikkus, pöörete arv (tsentrifugaalpumpadel), rõhk nimikoormusel ning auru rõhk ja temperatuur (aurupumpadel).

Kui pumbal puudub tehase pass, tuleb pumba tootlikkus ja rõhk määrata katseliselt. Sama tuleb teha ka pärast pumba igakordset kapitaalremonti.

Kui toitepumbad asuvad väljaspool katlamaja, peab katlamaja ja pumbaruumi vahel olema kas otsene telefoni- või mingi muu side.

Kütuse kihispõletamisega kateldel tootlikkusega 4 t/h või enam ja mis tahes põletamisviisiga, kuid gaasidega kuumutatavate trumlitega kateldel peab olema kaks üksteisest sõltumata toiteliini. Kummagi toiteliini läbilaskevõime peab tagama katla normaalse tootlikkuse pluss veekulu katla läbipuhumiseks.

Toiteliinidel peab iga katla juures olema reguleerimisseade (ventiil, siiber, klapp). Uued ülesseatavad katlad aurutootlikkusega 2 t/h või enam, samuti ekspluatatsioonis olevad katlad aurutootlikkusega 20 t/h või enam tuleb varustada automaatsete toiteregulaatoritega.

# XII. TÕMBE- JA ÕHUPUHUMISSEADMED

## 66. KORSTEN

Loomulikku tõmmet, mis saadakse korstna abil, kasutatakse suhteliselt väikestes ja lihtsates katlamajades, kus kasutatavatel katelseadmetel puuduvad ökonomaiserid ja õhueelsoojendid, kus gaaside ja õhu kiirused on väikesed ning seetõttu ka gaasikäikude takistus väike.

Suurtes ja keerulisemates seadmetes, mis on varustatud ökonomaiserite ja õhueelsoojenditega, suureneb gaasikäikude takistus tunduvalt ja seetõttu ei kindlusta korsten enam vajalikku tõmmet. Sel puhul kasutatakse kunstlikku tõmmet, mis tekitatakse tõmbeventilaatoritega.

Katlamajade korstnad kõrgusega 50—60 m ja enam ehitatakse enamikus tellistest, kõrgusega mitte üle 40 m harilikult terasplekist ja suure kõrguse (üle 70 m) puhul raudbetoonist.

Loomuliku tõmbe tugevus sõltub korstna kõrgusest ja suitsugaaside temperatuurist (vt. tab. 35).

Korstna tipuava läbimõõt valitakse normaalselt mitte alla 600 mm, terasplekist korstnate puhul mitte alla 300 mm.

Tabel 35

**Tõmbe tugevus sõltuvalt korstna kõrgusest ja suitsugaaside temperatuurist**

| Korstna kõrgus m | Hõrendus korstnajalas mm vs suitsugaasi temperatuuril | | |
|---|---|---|---|
| | 150° | 200° | 250° |
| 20 | 8 | 10 | 12 |
| 30 | 13 | 15 | 17 |
| 40 | 16 | 20 | 23 |
| 50 | 20 | 25 | 29 |
| 60 | 24 | 30 | 35 |
| 80 | 32 | 40 | 46 |
| 100 | 40 | 50 | 58 |

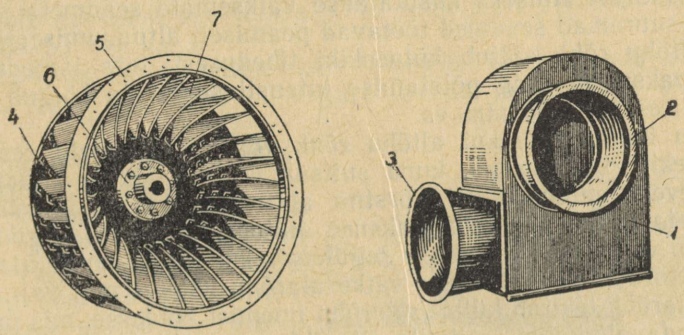
Gaasi kiirus korstnas ei tohi ületada 8—10 m/sec. Suurtel kiirustel suureneb korstna takistus tunduvalt ja halveneb tõmme. Väikestel gaasi kiirustel (2—3 m/sec) ei voola gaas kogu ristlõikes ühtlaselt ja tõmme muutub ebakindlaks. Korstna töötamist mõjutab samuti välisjahtumine, välisõhu temperatuuri muutus ja tuule tugevus ning suund. Õhu kõrge temperatuuri puhul halveneb korstna tõmme ja ümberpöördult. Seetõttu on tõmme suvel halvem kui talvel.

Korstna jalga ja suitsukanalisse («rebasekäiku») ei tohi sattuda põhjavett, kuna sellest tekkiv veeaur koormab korstnat ja suitsugaasi temperatuuri vähendades halvendab tõmmet.

## 67. TÕMBEVENTILAATORID

Tõmbeventilaator asetatakse katla ja korstna vahele. Selle peamiseks ülesandeks on suurtes seadmetes gaaside juhtimine atmosfääri. Väikestes ja keskmistes katlamajades kasutatakse normaalkoormusel loomulikku tõmmet, tõmbeventilaatorit aga ainult katelde forsseerimisel.

Tõmbeventilaator (joon. 185) koosneb terasplekist kerest, töörattast, mis kinnitatakse võllile, ja alusest. Ventilaator ühendatakse mootoriga vahetult siduri abil, harvem rihmülekandega.




Joon. 185. Tõmbeventilaator:
*1* — kere; *2* — imituts; *3* — surutoru; *4* — rootori ketas; *5* — rõngas; *6* — rumm; *7* — labidas.

Tööratas ehk rootor koosneb painutatud labidatest *7*, mis on needitud või keevitatud kettale *4* ja rõngale *5*. Ketas kinnitatakse rummule *6*, mis ühendatakse võlliga kiilu abil.

Rootori pöörlemisel pannakse pöörlema ka labidate vahel olev gaas. Seejuures tekkiva tsentrifugaaljõu poolt visatakse gaas ratta ja kere vahel olevasse kanalisse ja ratta sisemuses

tekib alarõhk, mille toimel imetakse suitsukäigust läbi ventilaatori imiava pidevalt gaasi juurde. Väljumisavast väljuvad gaasid juhitakse suitsukanalit mööda korstnasse.

Tööratas ja eriti labidad valmistatakse lendtuha kulutava mõju tõttu massiivsemad kui õhuventilaatorite omad. Tõmbeventilaatori laagrid valmistatakse vesijahutusega.

Tõmbeventilaatori jõudlust reguleeritakse pööratavate reguleerimislabidatega, pöörlemiskiiruse muutmisega või klapiga (siibriga), mis asetatakse kas ventilaatori imi- või surupoolele. Pööratavad reguleerimislabidad paigutatakse ventilaatori imiossa. Ventilaatori pöörlemiskiirust suurtes agregaatides muudetakse elektromagnetilise või hüdraulilise siduri abil. Elektrimootori pöörlemiskiirus alalisvoolu puhul on reguleeritav reostaadiga. Jõudluse reguleerimine klapiga on ebaökonoomne.

## 68. ÕHUPUHUMISSEADMED

Kütuse kihispõletamisel juhitakse põlemisõhk koldesse peamiselt altõhuna ja täiendavalt pealtõhuna. Altõhk juhitakse koldesse läbi resti ja restil oleva kütusekihi. Resti ja kütusekihi takistuse ületamiseks tuleb altõhk läbi resti ja kütusekihi imeda kas korstna loomuliku tõmbe või tõmbeventilaatori toimel või suruda altõhuventilaatoriga. Korstna loomulikku tõmmet resti takistuse ületamiseks kasutatakse väiksemate seadmete puhul, kuna suuremad seadmed töötavad peamiselt altpuhumisega.

Altõhu rõhk sõltub kütusekihi tihedusest, tera jämedusest, kihi paksusest ning põletamise intensiivsusest ja kõigub resti all piires 30—100 mm vs.

On küllaldane, kui altõhu rõhk võrdub ligikaudu resti ja kütusekihi takistusega, kuna suitsukäikude takistus ületatakse tõmbeventilaatoriga või korstna abil. Näiteks on Lomšakovi resti takistus 200 mm paksuse kütusekihi puhul ligikaudu 35 mm vs. Altõhk ja tõmme reguleeritakse nii, et kolde ülaosas (enne torukimpu) valitseks väike alarõhk (0,5—1 mm vs). Suurem alarõhk tekitab külma väärõhu imemist koldesse, mis mõjub halvendavalt kolde režiimile, ülerõhk aga põhjustab suitsugaaside sattumist koldest katlamajja.

Õhu jaotamiseks jagatakse suuremad restid ristsuunaliste õhukindlate plekkvaheseintega tsoonideks. Igasse tsooni suubub üldisest õhutorust haru, mis on varustatud klapiga tsooni antava õhuhulga reguleerimiseks. Õhutorustik varustatakse peale nimetatud tsooniklappide veel ühe üldklapiga, mis hõlbustab seadme teenindamist koormuse muutmisel.

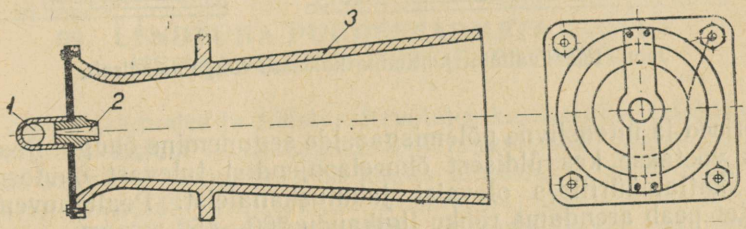
Ventilaator imeb õhu katlamajast ja annab ta resti alla vahetult või sagedamini õhueelsoojendi kaudu. Altõhuventilaatori-

tena kasutatakse madalrõhu- (rõhk kuni 100 mm vs) ja keskrõhuventilaatoreid (rõhk 100—300 mm vs).

Õhuventilaatorid sarnanevad oma ehituselt üldiselt tõmbeventilaatoritega; rootori osad on õhemad ja laagrid vesijahutuseta.

Väikestes kateldes kasutatakse altõhu andmiseks ka *auru-õhupuhumisseadet*, kuid madala kasuteguri ja suure aurukulu (5—10% katla aurutoodangust) tõttu pole nimetatud seadme rakendamine otstarbekas.

Auru-õhupuhumisseade (joon. 186), mis asetatakse resti alla, koosneb malmist juhtkoonusest *3* pronksdüüsiga *2*, millesse juhi-



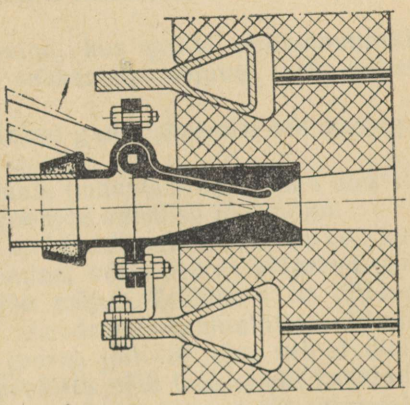

Joon 186. Auru-õhupuhumisseade:
*1* — aurutoru; *2* — düüs; *3* — juhtkoonus.

takse toru *1* kaudu auru. Düüsist suure kiirusega väljuva aurujoa poolt imetakse õhk kaasa. Õhu rõhk resti all võib tõusta kuni 40—50 mm vs.

Auru-õhupuhumisseadme käivitamiseks tuleb avada auruventiil, lasta aur düüsi ja seejärel avada juhtkoonuse õhuregister.

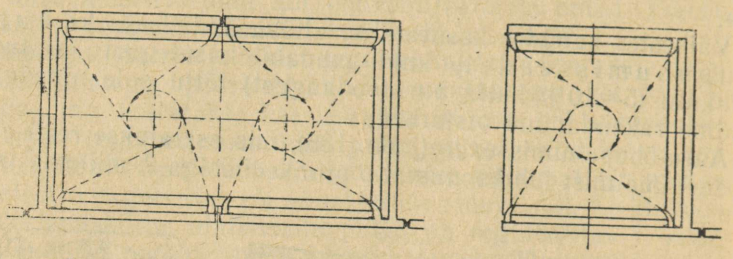
Vanematüübiliste ventilaatorite kasutegur on 45—55%. Viimaseil aastail on NSV Liidu konstruktorite poolt välja töötatud uuetüübilised ventilaatorid, millede kasutegur ulatub 68—75%-ni.

*Pealtõhku* juhitakse koldesse pealtõhu-ventilaatori abil pilude või reguleeritavate düüside (joon. 187) kaudu, mis asetsevad tavaliselt ühtlaste vahedega üle kolde laiuse. Õhk väljub piludest suure kiirusega (50—70 m/sec). Põlemise reguleerimiseks varustatakse piludesse



Joon. 187. Pealtõhu reguleerimise düüs.

suubuvad õhutorud reguleeritavate siibritega. Viimasel ajal on võetud kasutamisele pealtõhu puhumine koldenurkadest (joon. 188) tangentsiaalselt, mille tulemusena tekivad koldes



Joon. 188. Pealtõhu juhtimine koldesse tangentsiaalselt.

keerised ja intensiivne põlemisgaaside segunemine õhuga. Pealtõhk võetakse kas üldisest õhueelsoojendist tulevast õhutorust või katlamüüritises olevaist jahutuskanaleist. Pealtõhuventilaator peab arendama rõhku ligikaudu 200—450 mm vs.

# XIV. SUITSU PUHASTAMINE LENDTUHAST

## 69. LENDTUHA PÜÜDESEADMETE JAOTUS. MEHAANILISED PÜÜDESEADMED

Elektrijaamades ja tööstusettevõtetes kasutatakse laialdaselt tuharikast kütust. Kaasaegsete põletamisviiside juures paisatakse suur osa tuhka korstna kaudu atmosfääri, mille tagajärjeks on atmosfääri saastamine ja rahvamajandusele kahju tekitamine. Tuhaosakesed kahjustavad inimeste tervist, suurendavad mehhanismide kulumist, põhjustavad ülelööke kõrgepingeliinide isolaatoritel jne.

Atmosfääri õhu saastamise vähendamiseks on suitsugaaside puhastamisel oluline tähtsus. Kõrgete korstnate ehitamine vähendab lendtuha kontsentratsiooni maapinna lähedal õhus, kuid ei lahenda lendtuha küsimust tervikuna.

Lendtuha kontsentratsiooni radikaalseks vähendamiseks kasutatakse tööstuslike seadmete juures lendtuha püüdmist. Selleks on rakendatavad mitmesugused meetodid, milledest tähtsamad on järgmised:

1) mehaaniline ehk kuivmeetod, kus gaasi puhastamiseks kasutatakse gaasis hõljuvatele osakestele mõjuvat mehaanilist jõudu;

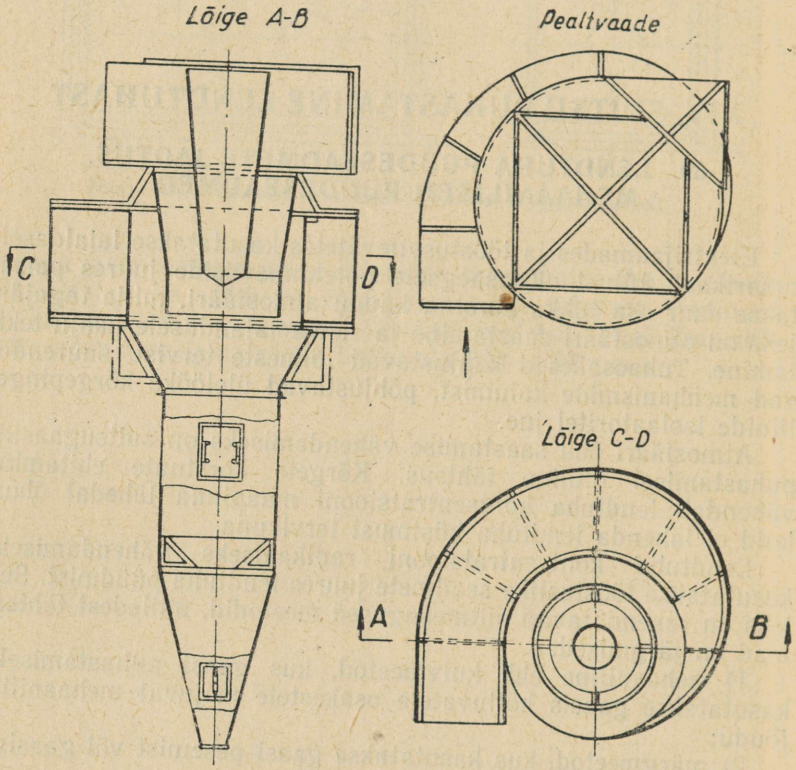
2) märgmeetod, kus kasutatakse gaasi pesemist või gaasiga kokkupuutuvate pindade märgamist;

3) elektriline meetod, kus gaasi puhastamine toimub elektriväljas laetud osakeste ja elektroodide vahelise jõu mõjul.

Mehaanilistest seadmetest on kasutusel *tsüklonid*, kus gaasile antakse spiraalne liikumine, mille juures hõljuvad osakesed eralduvad tsentrifugaaljõu mõjul. Tsüklonid on lihtsad, töökindlad, kerged ja odavad. Soodsate ekspluatatsioonitingimuste ja keskmise tõmbekao juures (50—80 mm vs) ei ületa nende püüdevõime 65—70%. Seetõttu võib tsükloneid kasutada nendes kohtades, kus gaaside hea puhastamine ei ole tingimata vajalik.

Tsükloni kasutegur sõltub gaasis leiduvate tuhaosakeste suurusest ja väikeste osakeste rohkusest. Kui väikesi osakesi on palju, langeb tsükloni kasutegur tunduvalt. Maksimaalne puhastusvõime esineb ainult katla normaalsel koormusel või väikesel ülekoormusel.

Joonisel 189 on kujutatud tavaline suure läbimõõduga tsüklon.



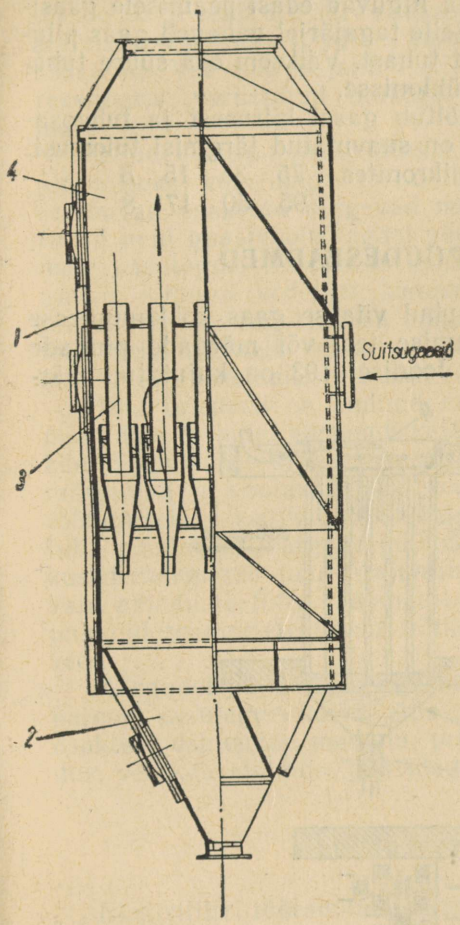

Joon. 189. Suure läbimõõduga tsüklon.

Tsükloni püüdevõime suureneb tema läbimõõdu vähenemisega. Seepärast on otstarbekas asendada suured tsüklonid vastava arvu väiksemate, 100—400 mm läbimõõduga tsüklonitega, multitsüklonitega. Joonisel 190 on näidatud patareiks koondatud multitsüklonid.

Üksiku multitsükloni konstruktsioon on toodud joonisel 191.

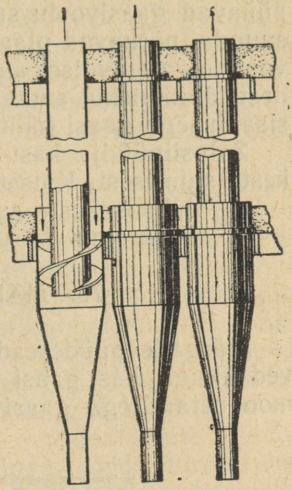
Multitsüklonite katsetamisel on saavutatud puhastusvõime kuni 95%, mis aga tegelikkudes ekspluatatsioonitingimustes väheneb kuni 70%-ni.

Žalusiipüüdjates kasutatakse gaasi puhastamiseks tuhaosakeste inertsjõudu. Püüdjate ülesandeks on lahutada gaasivool kaheks osaks, kusjuures suurem osa gaasi (90%) oleks

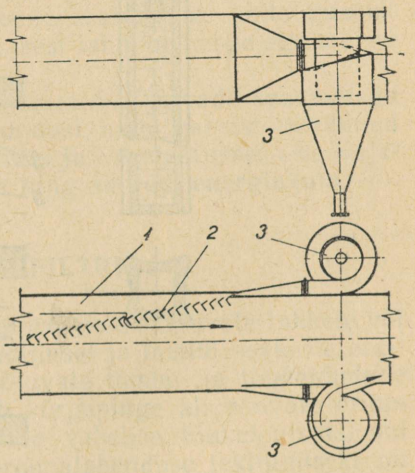



Joon. 190. Multitsükloni patarei:

*1* — kere; *2* — tuhapunker; *3* — suitsugaaasi sisenemiskamber; *4* — puhastatud gaasi kamber.



Joon. 191. Multitsükloni konstruktsioon.




Joon. 192. Žalusiipüüdja konstruktsioon:

*1* — suitsukäik; *2* — žalusii; *3* — tsüklon.

tuhast puhastatud, kuid väiksem osa (10%) sisaldaks praktiliselt kogu tuhahulga.

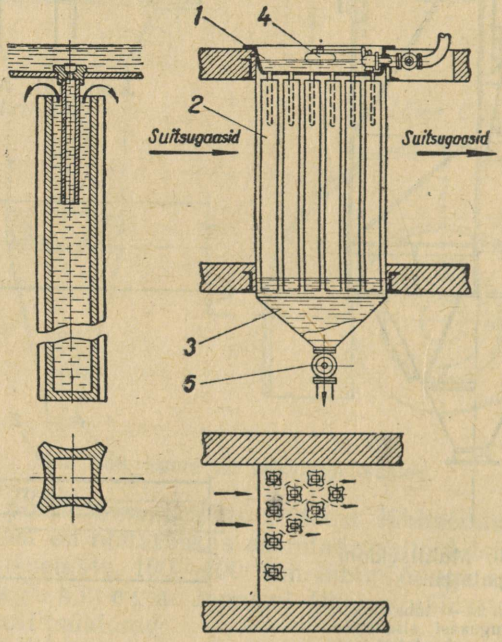
Joonisel 192 on skemaatiliselt kujutatud žalusiipüüdjate konstruktsioon ja montaaž. Gaasivoolus leiduvad tuhaosakesed püüavad gaasivoolu suuna muutumisel säilitada oma liikumissuunda, põrkavad plaatidele ja liiguvad edasi peamisele gaasivoolule vastupidises suunas. Selle tagajärjel vabaneb gaas pildest läbiminekul suurest osast tuhast. Väiksem osa suure tuhasisaldusega gaasi juhitakse tsüklonisse.

Žalusiipüüdja kasutegur sõltub gaasi kiirusest ja tuhaosakeste suurusest. Katsetamisel on saavutatud järgmisi tulemusi:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| tuhaosakeste suurus mikronites | 75 | 35 | 15 | 5 |
| kasutegur % | 95 | 50 | 17 | 8 |

## 70. MÄRJAD PÜÜDESEADMED

Märgade püüdeseadmete puhul viiakse gaas kokkupuutesse vedelikuga kas gaasi piserdamise teel või märgade pindade moodustamisega gaasivoolus. Joonisel 193 on kujutatud mär-




Joon. 193. Märgade pindadega püüdeseadme töötamise skeem:

*1* — ülemine reservuaar; *2* — malmtoru; *3* — alumine reservuaar; *4* — ujuk; *5* — väljalaskekraan.

gade pindadega püüdeseadme skeem, kus tuhaosakeste püüdmiseks kasutatakse nende kineetilist energiat. Püüdeseade koosneb nõgusa välispinnaga kandilistest malmtorudest. Parema kokkupuute saamiseks gaaside ja veekihi vahel asetsevad torud seadmes malekorras. Vesi voolab ülemisest reservuaarist malmtorudesse ja sealt üle ääre õhukese kihina toru välispinda mööda alumisse reservuaari, võttes kaasa toruseinale kleepunud tuhaosakesed. Veeseisu vajalikul kõrgusel hoidmiseks on ülemine reservuaar varustatud ujukiga ja alumine reservuaar kraaniga.

Paljudel juhtudel kasutatakse tuhaosakeste paremaks kokkujuhtimiseks vedelikuga tsentrifugaaljõudu, kusjuures gaasist eralduvad osakesed langevad märgadele pindadele, mis takistavad neid gaasivoolu tagasi pöördumast. Märgade püüdeseadmete kasuteguri tõstmiseks kasutatakse gaasi jahutamist kuni gaasis leiduva vedeliku kondenseerumistemperatuurini, mille juures vedelik sadestub ka kõige väiksematele gaasis leiduvatele mehaanilistele osakestele. Seejuures osakesed märguvad, muutuvad raskemaks ja eralduvad paremini gaasivoolust.

Häid tulemusi on andnud märgade multitsüklonite kasutamine, kus tsükloni elemendi kesta sisepinda mööda nõrgub veekiht. Tuhaosakesed, mis tsentrifugaaljõuga paisatakse veekihile, märguvad ja voolavad koos veega alla. Sääraste tsüklonitega töötamisel on saavutatud kasutegur kuni 95%. Põlevkivi lendtuha püüdmisel märgade püüdeseadmetega võivad tekkida raskused märgunud tuha ärajuhtimisel põlevkivituha tsementeerivate omaduste tõttu. Tahmaosakeste eraldamisel suitsugaasist on püüdeseadme efektiivsus väike, sest tahm on kerge ega märgu vees.

Märgadel püüdeseadmetel on võrreldes kuivade seadmetega parema kasuteguri kõrval rida puudusi, nagu gaasist eraldunud osakeste esinemine mudana, pumba ja vee jaotusseadme vajadus, vee kaasaviimine gaasidega ning suurem energiakulu.

## 71. ELEKTRIFILTRID

Elektrifiltri töötamine põhineb gaasis sisalduvate tahkete või vedelate osakeste elektrilisel laadimisel ja laetud osakeste eraldamisel gaasist elektriväljas mõjuvate tõmbe- ja tõukejõudude abil. Osakeste laadimine toimub kõrgepinge all asuvate erinevate potentsiaalidega elektroodide vahelise tõukeionisatsiooni ehk k o r o o n a tulemusena. Koroonalahenduse tekitamiseks on otstarbekas kasutada toru- või plaadikujulisi elektroode. Esimesel juhul koosnevad elektroodid 150—300 mm läbimõõduga silindritest, mille keskel asuvad 1—3 mm läbimõõduga koronee-

rivad juhtmed. Teisel juhul kasutatakse 200—400 mm vahega paralleelpindasid, mille vahele on asetatud ritta koroneerivad juhtmed vahekaugustega 140—280 mm. Mõlemal juhul ühendatakse maast isoleeritud koroneerivad juhtmed kõrgepingelise alalisvooluallika miinuspoolusega. Maandatud torud või plaadid ühendatakse plusspoolusega. Tuha- või vedelikuosakesi sisaldava gaasi voolamisel elektroodide vahel laetakse osakesed koroneerivalt elektroodilt väljuva ioonide voolu poolt. Seejuures laetakse valdav enamus osakesi negatiivselt ja need sadestuvad torudele või plaatidele.

Elektrilisest seisukohast on torukujulised elektroodid paremad, kuna nende juures elektriväli on ühtlasem ja ei esine koroneerivate elektroodide vastastikust segavat mõju. Selle tõttu on lubatav kasutada torukujuliste elektroodide puhul gaaside suuremat kiirust. Montaaži keerukuse ja elektroodidele kogunenud tuha maharaputamise seisukohast on aga torukujulised elektroodid halvemad. Nendel põhjustel kasutatakse toruelektroode juhtudel, kui ei esine raputamisvajadust (vedelikuosakeste püüdmisel) või kui tuha eraldamist teostatakse rasketes tingimustes.

Sadestuselektroode valmistatakse lainekujulisest raudplekist, mis kindlustab gaasi rahulikku liikumist piki laineid, või kuuekandilistest torudest, mis võimaldab torude tihedamat paigutust ja seega metalli säästu.

Elektrifiltri töötamine oleneb gaaside temperatuurist, niiskusest ja tuhaosakeste omadustest. Viimastel on oluline tähtsus elektrifiltri tüübi ja konstruktsiooni valikul, kuna elektrit juhtiv tolm võib põhjustada isolaatorite kaitsmise vajadust (isolaatorite eemaldamine gaasikäigust, soojendamine, tahmapuhumine jne.).

Lendtuha püüdmisel väheneb elektrifiltri efektiivsus kütuse ebatäielikul põlemisel koldes, mille tagajärjel filtrit läbivad põlemata koksiosakesed.

Joonisel 194 on toodud toruelektroodidega elektrifiltri töötamise skeem. Teiste lendtuha püüdmise seadmetega võrreldes on elektrifiltritel järgmised paremused:

1) väike takistus (3—15 mm vs) ja väike energiakulu (0,1—0.8 kWh 1000 $m^3$ gaasi kohta);

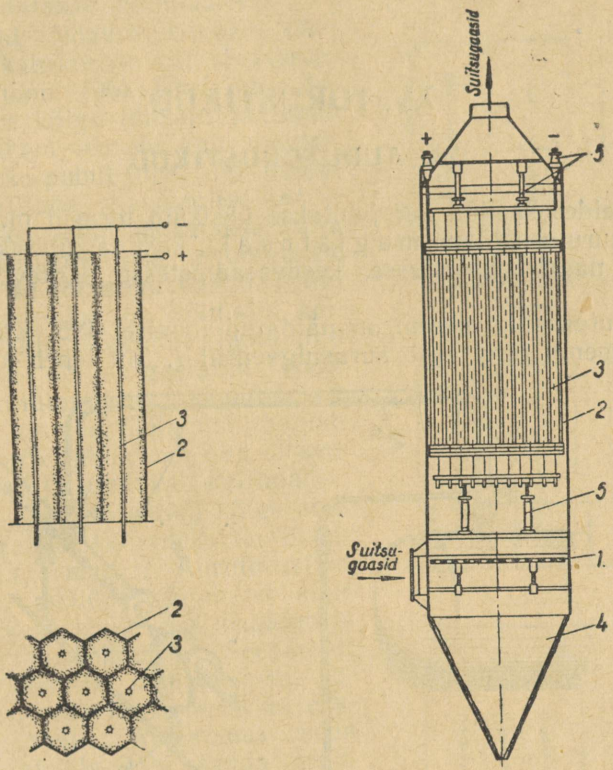
2) kõrge puhastusvõime. Teoreetiliselt on võimalik, et ka kõige väiksemad osakesed laetakse elektriliselt ja sadestuvad nende pikemaajalisel viibimisel elektriväljas. Et täieliku puhastuse saamiseks elektrifiltrid kujunevad suureks, siis lähtudes majanduslikust seisukohast piirdutakse puhastusega 90—99%;

3) kohandamisvõimalus keemiliselt agressiivsetele ja kuumadele gaasidele;

4) võimalus automatiseerida kogu protsessi.

Puudusteks on filtrite kallidus, kõrge alalispinge (kuni 100 000 V) ja spetsiaalseadmete vajadus.

Elektrifiltrite koormuse vähendamiseks ja hea püügiefekti saamiseks kasutatakse mitmeastmelisi püüdeseadmeid, nagu tsüklon-elektrifilter, märgpüüdeseade-elektrifilter jne.




Joon. 194. Toruelektroodidega elektrifiltri töötamise skeem:

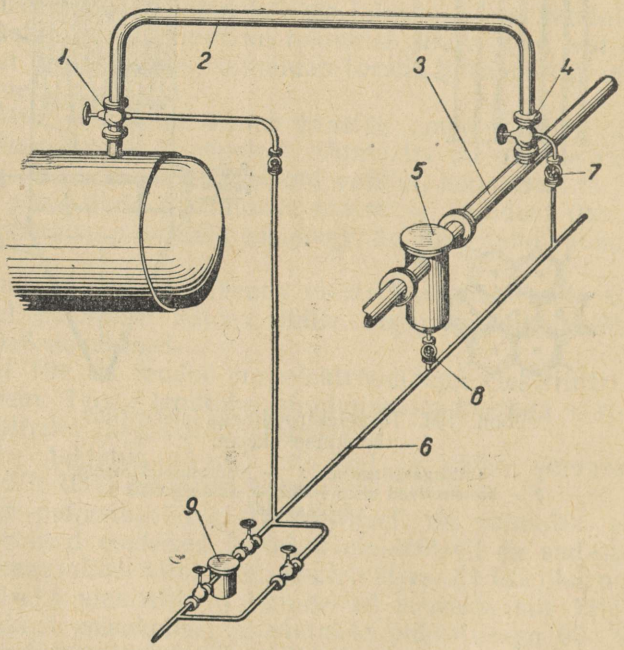
*1* — suitsugaasijagaja; *2* — sadestuselektroodid; *3* — koroneerivad elektroodid; *4* — tuhapunker; *5* — isolaatorid.

# XV. TORUSTIKUD

## 72. AURUTORUSTIKUD

Kateldes saadud aur juhitakse üksikuid torusid mööda ühisesse aurutorustikku, magistraali, kust ta juhitakse tarbijatele, nagu masinatesse, keeduseadmetesse, küttevõrkudesse jne.

Aurutorustiku skeem on näidatud joonisel 195. Kohe aruülekuumendi järel asub aurusulgventiil *1*. Siit läheb aur torus-



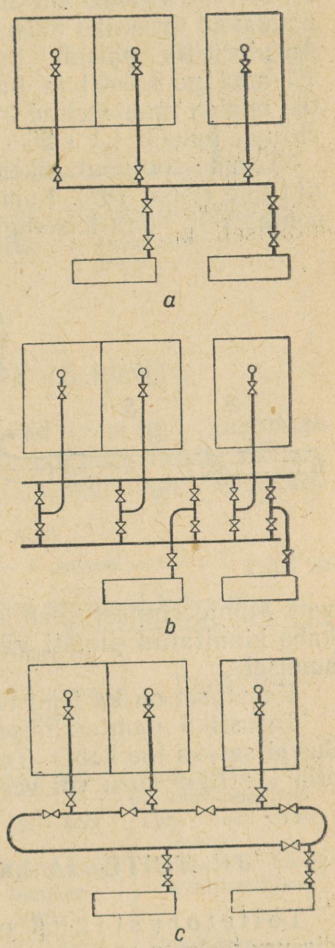

Joon. 195. Aurutorustiku skeem:

*1* — auru sulgventiil; *2* — aurutoru katlast; *3* — aurumagistraal; *4* — aurutoru ventiil; *5* — vee-eraldaja; *6* — läbipuhumistorustik; *7, 8* — läbipuhumisventiilid; *9* — kondenspott.

tikku *2*, millele antakse väike kalle magistraali *3* poole. Enne magistraali asub ventiil *4*. Magistraalile antakse samuti kalle. Kõige madalamasse kohta asetatakse vee-eraldaja (separaator) *5*, et vältida vee sattumist turbiini või aurumasinasse. Vesi, mis koguneb aurutorustikus ja vee-eraldajas, juhitakse ventiilide *7* ja *8* kaudu läbipuhumistorustikku *6* ja sealt kondenspotti *9*, kust ta eemaldatakse automaatselt.

Katlad võidakse ühendada ühekordse, kahekordse või ringtorustikuga (joon. 196). Ühekordne torustik on kõige lihtsam ja omab kõige vähem ventiile, kuid magistraali rikke puhul tuleb kõik katlad välja lülitada. Kahekordse torustiku rikke puhul lülitatakse välja vigane torustiku osa ja töötatakse edasi teise torustiku kaudu. Ringtorustiku puhul on võimalik kõikide katelde töötamine, lahutanud ventiilide abil vigastatud koha. Seega kindlustavad skeemid *b* ja *c* kõikide katelde töötamist magistraali avarii puhul, kuid nad on keerulisemad ja tunduvalt kallimad.

Igasuguse torustiku kõige ebakindlamateks kohtadeks on ühendused ja armatuur. Aurutorustike avariide analüüs näitab, et suur osa rikkeid tekib just armatuuris ja ühenduskohtades. Seepärast, mida vähem on neid elemente torustikus, seda kindlam on ta ekspluatatsioonis. Arvestades seda tuleb katsuda läbi saada minimaalse arvu ühenduskohtadega ja minimaalse armatuuriga. Torustikuosad ühendatakse tavaliselt keevitamise teel. Äärikühendusi kasutatakse peamiselt torustiku ühendamisel ventiilidega ja muu armatuuriga. Äärikute vahele asetatakse tihendid. Tuleb silmas pidada, et mida õhem on tihend, seda kindlam on ta töötamisel. Tavaliselt tihendite paksus ei ületa 3 mm, mistõttu äärikud tuleb hoolsalt töödelda.

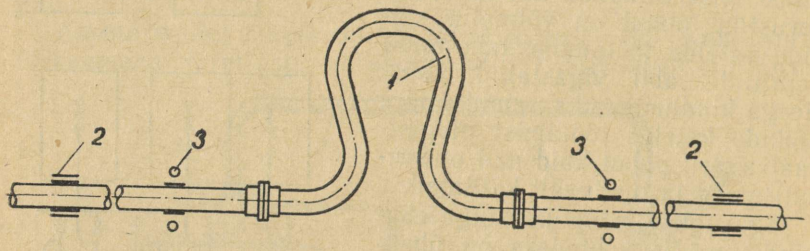



Joon. 196. Aurumagistraalide skeemid:
*a* — ühekordne magistraal; *b* — kahekordne magistraal; *c* — ring magistraal.

## 73. TOED JA KOMPENSAATORID

Aurutorustik peab olema riputatud või asetatud *tugedele*. Toed peavad kandma isolatsiooniga kaetud ja veega täidetud torustiku raskust (veesurveproovi jaoks). Osa tugesid tehakse liikumatutena. Nende külge kinnitatakse torustik kindlalt. Liikumatute tugede vahele asetatakse *liikuvad* toed, kus torustik toetub rullidele või on riputatud liigendi abil. Viimased võimaldavad torustiku paisumisest tingitud teljesuunalist liikumist. Aurutorustik paisub temperatuuri tagajärjel küllalt palju: 1,1 mm iga meetri ja 100° kohta. Näiteks 25 m pikkune torustik, mis on monteeritud 0° juures, täidetult 400° ülekuumendatud auruga paisub 1,1 · 25 · 400 : 100 = 110 mm.

Torude soojuslik pikenemine kantakse üle *kompensaatoritele* (joon. 197). Kompensaatorid asetatakse tavaliselt horisontaalselt, kuna teistsugusel asetusel võiks nendesse koguneda




Joon. 197. Kompensaator:

*1* — poogen; *2* — liikumatu tugi; *3* — liikuv tugi.

vett. Monteerimisel tuleb kompensaator välja venitada vastavalt kahe kinnitatud punkti vahelise torustiku osa soojuslikule paisumisele.

Kasutusel on ka teist tüüpi kompensaatoreid.

Torustiku monteerimisel tuleb jälgida, et keevitatud ühendus ei satuks toe kohta. Torustikud monteeritakse kaldega mitte alla 1 : 1000 auru või vee liikumise suunas.

## 74. TOITE- JA LÄBIPUHUMISTORUSTIKUD

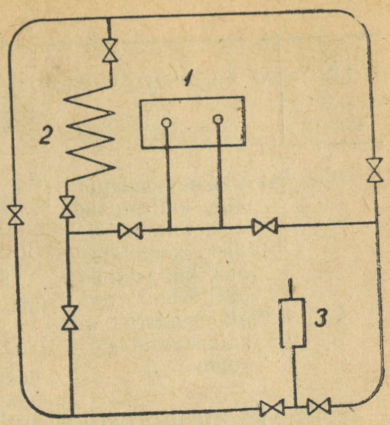
*Toitetorustikud* peavad olema ehitatud nii, et ükskõik missuguse koha vigastuse puhul oleks siiski kindlustatud katteldele vee andmine. Seepärast need ehitatakse kahekordsete või ringtorustikkudena ja vähemalt kahe sisseviiguga katlasse.

Joonisel 198 on kujutatud ringtorustiku skeem, mis rahuldab täielikult toitetorustikkudele esitatavaid nõudeid.

Kõik eespool öeldu aurutorustiku tugede ja kompensaatorite kohta on kehtiv ka toitetorustiku juures.

Läbipuhumistorustikud tuleb valmistada paksemaseinalistest torudest, tingituna muda hõõruvast toimest. Kui üksikute katelde läbipuhumistorustikud ühendatakse ühise magistraaliga, tuleb iga ühenduse ette asetada tagasilöögiklapp.

Suuremates katlamajades seatakse läbipuhumistorustikele üles soojusvahendajad läbipuhumisvee soojuse kasutamiseks.




Joon. 198. Ringtoitetorustiku skeem:
*1* — katel; *2* — ökonomaiser; *3* — toitepump.

## 75. ÜLDANDMEID TORUSTIKE KOHTA

Vastavalt nõudeile, milledele peavad vastama torustikes kasutatavate torude ja armatuuri materjal ning nende valmistusviis, jagatakse kõik torustikud katlainspektsiooni eeskirjade kohaselt nelja kategooriasse.

Tabel 36

**Torustiku kategooriad katlainspektsiooni eeskirjade kohaselt**

| Torustiku kategooria | Torustikku täitev aine | Aine parameetrid | | Torude liik |
|---|---|---|---|---|
| | | Ülerõhk kg/cm² | Temperatuur° | |
| 1 | a) ülekuumendatud aur | Üle 40 | Üle 450 | Õmbluseta, kõrgekvaliteedilised |
| | b) ülekuumendatud aur | 29—40 | 425—450 | Õmbluseta, kvaliteetsed |
| | c) küllastunud aur, toitevesi | Üle 80 | Sõltumata temperatuurist | Õmbluseta, kõrgekvaliteedilised |
| 2 | a) ülekuumendatud aur | 29—39 | Kuni 424 | Õmbluseta |
| | b) küllastunud aur, toitevesi | Kuni 80 | Sõltumata temperatuurist | Õmbluseta |

| Torustiku kategooria | Torustikku täitev aine | Aine parameetrid: Ülerõhk kg/cm² | Aine parameetrid: Temperatuur° | Torude liik |
|---|---|---|---|---|
| 3 | a) ülekuumendatud aur, küllastunud aur, toitevesi | 8—28 | Kuni 375 | Õmbluseta |
| | b) ülekuumendatud aur, küllastunud aur, kuum vesi | 8—21 | Kuni 300 | Õmbluseta ja keevitatud |
| 4 | Ülekuumendatud aur, küllastunud aur, kuum vesi | 1—7 | Kuni 250 | Õmbluseta ja keevitatud |

Toite- ja aurutorustiku õmbluseta torud peale kategooriate 1-a ja 1-b valmistatakse kvaliteetsest, martäänterasest ГОСТ 3100-46 järgi — margid 10 ja 20.

Kategooriate 3-b ja 4 torustikkudeks lubatakse kasutada torusid tõmbetugevusega kuni 65 kg/mm² ja venivusega mitte alla 12%.

Torustiku kategooriate 3-b ja 4 keevitatud torud valmistatakse vähese süsinikusisaldusega hästi keevitatavast tavalise kvaliteediga martäänterasest ГОСТ 380-50 järgi — margid МСт.2 (34—42 kg/mm²); МСт.3 (38—47 kg/mm²); МСт.4 (42—52 kg/mm²).

Üldreeglina tuleb torustikes kasutada alati terasarmatuuri. Malmarmatuuri kasutamine on lubatud ainult tabelis 37 toodud tingimustel.

Tabel 37

**Tingimused, millede puhul lubatakse kasutada malmarmatuuri**

| Töörõhk kg/cm², mitte üle | Temperatuur ° | Armatuuri tingläbimõõt mm | Malmi mark |
|---|---|---|---|
| 8 | Kuni 300 | Kuni 300 | ГОСТ 1412-54, mitte alla marki СЧ 15-32 |
| 13 | „ 300 | „ 200 | |
| 20 | „ 300 | „ 100 | ГОСТ 1215-41, mitte alla marki КЧ 30-6 |
| 40 | „ 400 | „ 80 | |

Kõik torustikud peavad olema värvitud tabeli 38 kohaselt.

Värvilise rõnga laius sõltub torustiku välisläbimõõdust: läbimõõdul kuni 150 mm on rõnga laius 50 mm; läbimõõdul 150—300 mm 70 mm; läbimõõdul üle 300 mm 100 mm. Katlamajas peab olema välja pandud torustiku skeem vastavates värvides ja juhised torustiku teenindamiseks. Ventiilidel peavad

olema märgid, mis näitavad auru või vee liikumise suunda ja käsiratta pööramise suunda. Kõik ventiilid ja siibrid peavad olema nummerdatud vastavalt skeemile.

Armatuuri ja torustiku tingmärgid on toodud lisas 1.

Tabel 38

**Torustike värvid**

| Torustiku nimetus | Värvus | |
|---|---|---|
| | Põhivärvus | Rõngad või triibud |
| Ülekuumendatud aur | Punane | — |
| Küllastunud aur | Punane | Kollane |
| Heitaur ja vastusurve | Punane | Roheline |
| Keemiliselt puhastatud vesi | Roheline | Valge |
| Kondensaat | Roheline | Sinine |
| Toitevesi | Roheline | — |
| Drenaaž ja läbipuhumine | Roheline | Punane |
| Tehniline vesi | Must | — |
| Tuletõrjevesi | Oranž | — |
| Soojusvõrgud: | | |
| otsevoolu | Roheline | Kollane |
| tagasivoolu | Roheline | Pruun |

## 76. GAASITORUSTIKUD

Maa-alused gaasitorustikud ehitatakse terastorudest (ГОСТ 3101-46, ГОСТ 301-50, ГОСТ 4015-48, ГОСТ 1753-48). Neid on lubatud asetada maapinna külmumispiirkonda, kuid mitte madalamale kui 0,8 m maapinnast torulaeni. Gaasitorude läbiviimine hoonete alt on keelatud. Maa-aluste gaasitorustike minimaalne horisontaalne kaugus mitmesugustest objektidest on toodud tabelis 39.

Tabel 39

**Gaasitorustiku minimaalne horisontaalne kaugus mitmesugustest objektidest**

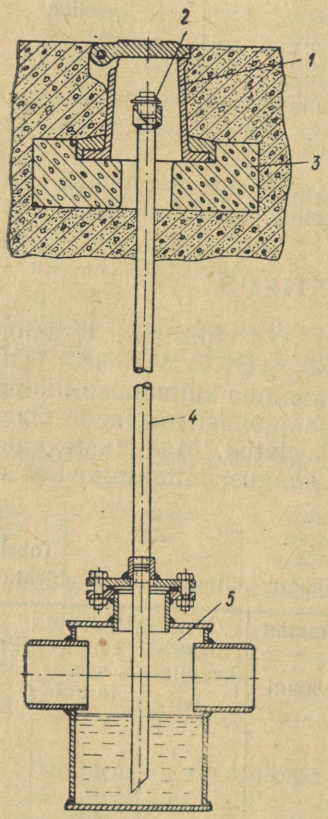
| Rõhk torustikus | Hooneni | Raudtee | Trammi | Elektrikaablini | Vee- või kanalisats. toruni | Puudeni |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | äärmise rööpani | | | | |
| Madalrõhk — kuni 0,02 kg/cm² | 2 | 3 | 2 | 1 | 1,0 | 2 |
| Keskrõhk — 0,02—1 kg/cm² | 4 | 3 | 2 | 1 | 1,5 | 2 |
| Keskrõhk — 1—3 kg/cm² | 6 | 5 | 2 | 1 | 2,0 | 2 |
| Kõrgrõhk — 3—10 kg/cm² | 15 | 10 | 5 | 2 | 5,0 | 2 |

Torustike suundade lõikumisel (ristumisel) peab gaasitoru ja muu maa-aluse toru vahe vertikaalsuunas olema vähemalt 15 cm; gaasitoru ja elektri- või telefonikaabli vahe vähemalt 0,5 m.

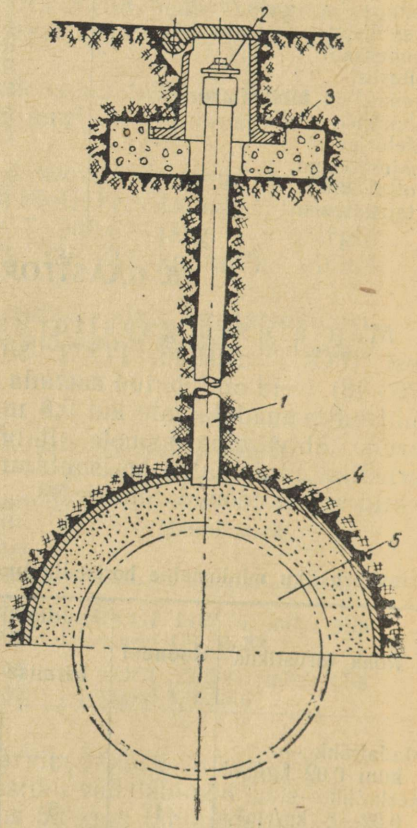
Kõrg- ja keskrõhuliste gaasitorustike siibrid asetatakse erilistesse kaevudesse. Kuni 250 mm läbimõõduga madalrõhuliste gaasitorustike siibreid võib asetada otse maasse, kusjuures siiber peab olema avatav ja suletav maapinnalt.

Kondensaadi kogumiseks asetatakse torustiku madalamatesse kohtadesse kondenspotid (joon. 199).

Torustiku kahtlasemate keevituskohtade kohale asetatakse



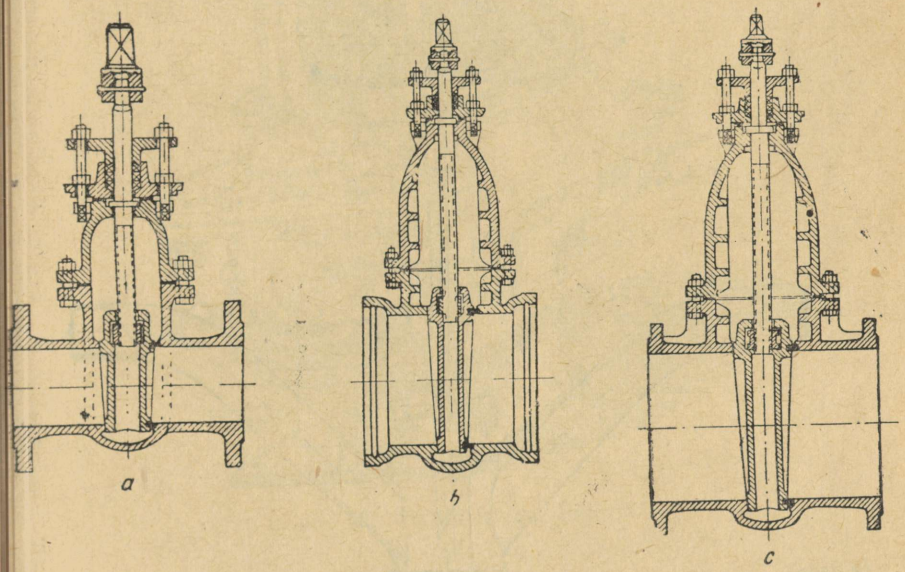

Joon. 199. Kondenspott:
*1* — malmkate; *2* — kork; *3* — betoonplaat; *4* — toru; *5* — kondensaadianum.




Joon. 200. Kontrolltoru:
*1* — toru; *2* — kork; *3* — kate; *4* — kruusakiht; *5* — gaasitoru.

nn. nuusutus- ehk kontrolltorud (joon. 200). Kontrolltoru läbimõõt on 25—50 mm. Toru alumise otsa külge keevitatakse terasleht (kest), mis painutatakse poolringikujuliseks toru raadiusest 100 mm võrra suurema raadiusega. Kesta ja gaasitoru vahe täidetakse kruusaga. Torujätku ebatiheduse korral tungib gaas kontrolltorusse, kus selle olemasolu saab kindlaks teha nuusutamise ja süütamise teel või gaasianalüsaatoriga.

Gaasitorustiku sulgemiseks kasutatakse magistraalidel ja regulaatorjaamades siibreid, millistest sobivaimaks tüübiks on nn. kiilsiiber (joon. 201).




Joon. 201. Kiilsiibrid:

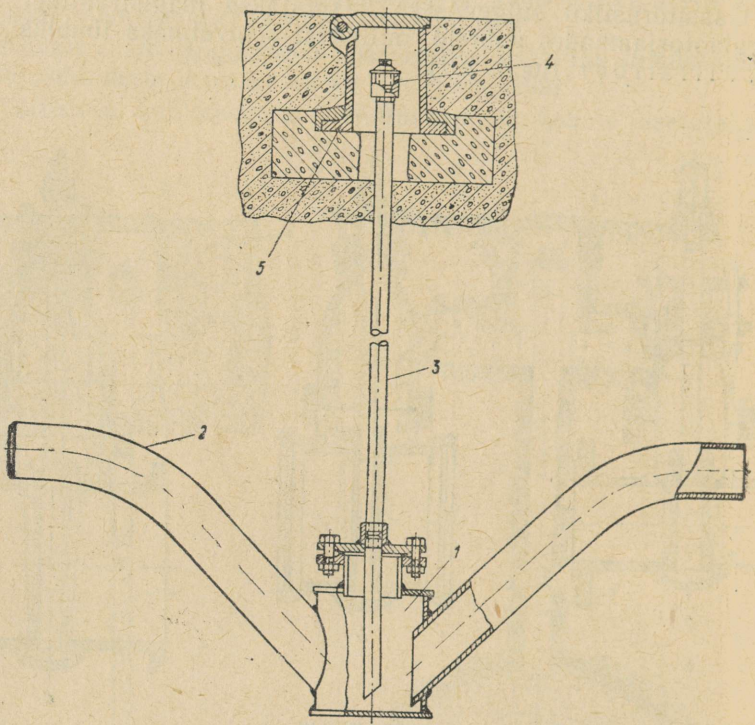
*a* — ääriksiiber ∅ 50—150 mm; *b* — muhvsiiber; *c* — ääriksiiber ∅ 200—500 mm.

Madalrõhutorustikel kasutatakse sulgemisseadmena sageli veelukku (joon. 202). Selle täitmine veega ja tühjendamine toimub 25 mm läbimõõduga toru kaudu. Veelukk tuleb asetada allapoole pinnase külmumispiiri.

Maa-aluse gaasitorustiku osad, mis ulatuvad maapinnale, tuleb kaitsta malm- või terasluukidega.

Kaitseks pinnase sööbiva toime vastu kaetakse torustikud bituumenisolatsiooniga mark IV. Isolatsioonikiht esineb kolmes paksuses, millele vastavalt seda nimetatakse normaalseks, tugevaks ja ülitugevaks.

Sisetorustikuks kasutatakse terastorusid seinapaksusega 2,5—5 mm. Torustik kinnitatakse seinale konksudega nii, et toru ja seina vahele jääb vahe 1,5—2,0 cm. Kinnituskonksude vahe ei tohi torudel läbimõõduga kuni 25 mm olla üle 2 m ja torudel läbimõõduga 25 kuni 100 mm — mitte üle 3 m.




Joon. 202. Veelukk:
*1* — veeanum; *2* — lukusarved; *3* — toru; *4* — kork; *5* — malmkate.

Gaasitorustik ja elektrijuhtmestik peavad asuma teineteisest kindlal kaugusel:

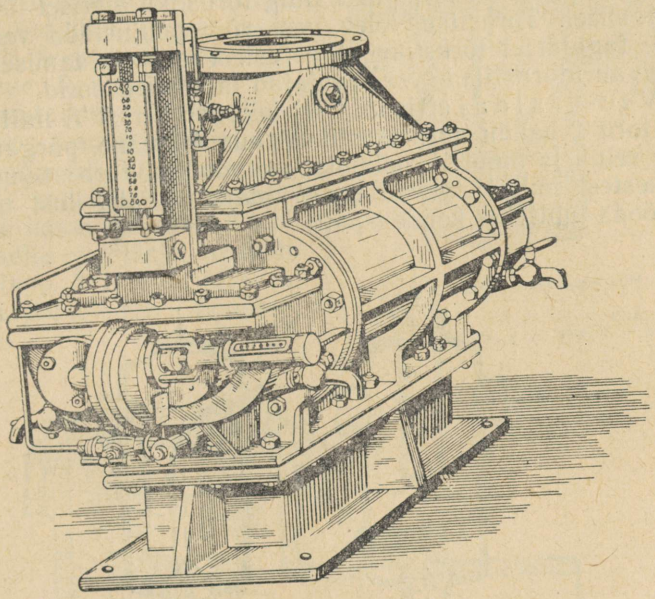
1. Vahe gaasitoru ja lahtise elektrijuhtme vahel peab olema vähemalt 10 cm. Kui elektrijuhtmed asuvad torus, võib vahet gaasitoruni vähendada 5 cm-ni.

2. Horisontaalne vahe gaasimõõtja või gaasiseadme ja elektriarvesti, pistikupesa või lüliti vahel peab olema vähemalt 1 m.

3. Vertikaalsuunas peab elektrijuhe olema gaasiseadmest vähemalt 2 m kaugusel.

Torustiku kraane ega fitinguid ei tohi asetada seinte sisse ega krohvi alla. Gaasiseadme-eelne kraan ei tohi põrandast olla kõrgemal kui 1,5 m.

Torustiku tihedust kontrollitakse surveprooviga. Kätlamaja gaasitorustik loetakse tihedaks, kui rõhul 1 atü rõhulang 1 tunni jooksul ei ületa 1,5%.



Joon. 203. Tööstuslik gaasimõõtja.

Tabel 40

**Tööstuslike gaasimõõtjate tehnilised andmed**

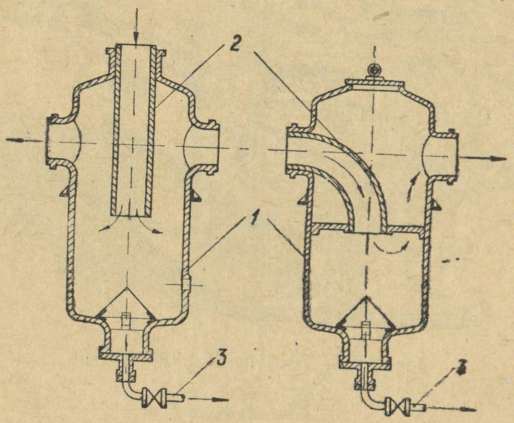
| Nimetus | Gaasi-mõõtja PC-100 | Gaasi-mõõtja PC-600 |
|---|---|---|
| Rootori pöörlemiskiirus p/min | 1000 | 400 |
| Maksimaalne tööröhk atü | 1 | 1 |
| Viga normaalkoormusel % | ±2 | ±2 |
| Rõhulang normaalkoormusel mm vs | Kuni 30 | 20—30 |
| Pikkus mm | 586 | 905 |
| Laius mm | 370 | 518 |
| Kõrgus mm | 335 | 766 |
| Kaal kg | 54 | 279 |

Gaasikulu mõõtmiseks kuni 600 m³/h kasutatakse eritüübilisi pöörleva rootoriga gaasimõõtjaid (joon. 203), mille normaalne läbilaskevõime on 100 ja 600 m³/h.

## 77. VEE-ERALDAJAD JA KONDENSPOTID

Vesi tekib aurutorustikus auru kondenseerumisel, eriti auru laskmise perioodil torustikku ning torustiku ajutisel tööst väljalülitamisel. Torustikus olev vesi võib põhjustada veelööke ja selle tagajärjel torustiku vigastusi. Vee eemaldamiseks asetatakse aurutorustikule vee-eraldajad ja kondenspotid.

Vee-eraldaja (joon. 204) koosneb kerest *1*, millesse voolab toru *2* kaudu aurutorustikust aur. Viimane, põrgates vastu kere seinu ja muutes voolamise suunda, vabaneb seejuures veeosakestest, mis langevad vee-eraldaja põhjale, kust need toru *3* mööda juhitakse kondenspotti.



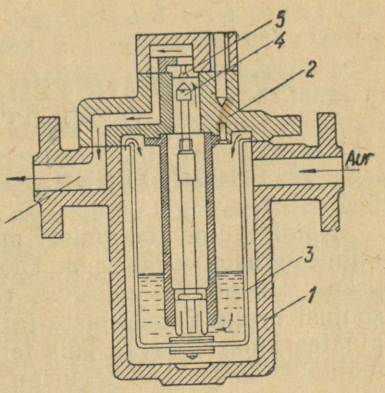

Joon. 204. Vee-eraldaja:
*1* — kere; *2* — aurutoru; *3* — kondensaaditoru.

Ujukiga kondenspott (joon. 205) koosneb valatud kerest *1*, kaanest *2*, ujukist *3* ja koonilisest klapist *4*, mis on kinnitatud ujuki külge.

Auruga segunenud kondensaat voolab kondenspotti, ujuk kerkib ja suleb ava *5* poti ülaosas. Kere täitumisel kondensaat hakkab üle voolama ujukisse; ujuk muutub raskemaks, vajub alla ja vabastab ava *5*. Potti kogunenud kondensaat surutakse auru rõhu toimel ava *5* ja kanali *6* kaudu kondensaaditorustikku, kuna aur jääb potti peatuma.

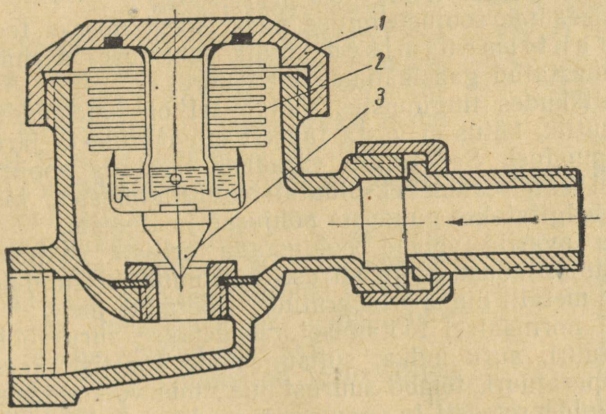
Joonisel 206 kujutatud t e r m o s t a a d i g a kondenspott koosneb malmkerest *1*, millesse on asetatud lõõtsakujuline kergesti paisuv metallplekist termostaat *2*. Viimane on täidetud 90—95° juures keeva vedelikuga.

Termostaadiga on ühendatud klapp *3*, mis avab ja suleb kondensaadi väljavooluava kondenspotist. Auru sattumisel kondenspotti tõuseb termostaadis oleva vedeliku temperatuur ning selle tagajärjel vedeliku aurustumine. Rõhu suurenemise tõttu termostaadis viimane pikeneb ja klapp *3* suleb väljavooluava. Kondensaadi jahtumisel 80—85°-ni vedeliku aurud termostaadis kondenseeruvad, termostaat selle tagajärjel tõmbub kokku, klapp *3* tõuseb üles ja avab väljavooluava kondensaadile.




Joon. 205. Kondenspott:

*1* — kere; *2* — kaas; *3* — ujuk; *4* — kooniline klapp; *5* — ava; *6* — kanal.




Joon. 206. Termostaadiga kondenspott:

*1* — kere; *2* — termostaat; *3* — klapp.

# XVI. SOOJUSTEHNILISED MÕÕTMISED JA MÕÕTERIISTAD

## 78. SOOJUSTEHNILISTE MÕÕTMISTE EESMÄRK

Katelseadme töötamisel muutuvad pidevalt temas kulgevad mitmesugused protsessid. Ülevaade toimunud muudatustest ja oskus rakendada nõutavat režiimi saavutatakse katelseadme soojustehniliste mõõtmiste ja katsetamistega. Katelseadme ekspluateerimisel peavad kõik tema osad töötama häireteta ja võimalikult kõrge kasuteguriga. Selle saavutamine on võimalik mitmesuguste mõõteriistade kasutamisel.

Uue katla käikulaskmisel esineb sageli mitmesuguseid raskusi, mille kõrvaldamiseks aitavad kaasa soojustehnilised mõõtmised. Viimased võimaldavad ekspluatatsioonipersonalil orienteeruda katlas toimuvates protsessides.

Katelseadme soojustehnilise passi koostamiseks teostatakse nn. garantiimõõtmised kindla koormuse, ettenähtud kütuse, puhastatud gaasikäikude jne. juures.

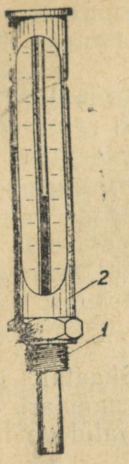
Tegelikkudes tingimustes töötamisel on katelseadme koormus muutlik, kütus ei vasta täpselt ettenähtule ja järelevalves esineb puudusi. See tingib vajaduse teostada soojustehnilisi mõõtmisi katelseadme ekspluatatsioonitingimustes, mille tulemusena selgitatakse puuduste põhjused ja iseloom.

Katla avariid võivad põhjustada eriliste soojustehniliste mõõtmiste vajadust, nagu kiiruse mõõtmine tsirkulatsioonikontuurides, metalli pinna temperatuuri mõõtmine jne.

Katla normaalsel töötamisel mõõdetakse auru rõhku, auru temperatuuri, auru hulka, suitsugaaside koostist, korstnagaaside temperatuuri, tõmbe suurust jne., mis võimaldavad kütjal juhtida koldeprotsessi ja saavutada seadme ohutut ja ökonoomset töötamist. Selleks vajalikud mõõteriistad seatakse üles katla ees asuvale kilbile või puldile.

## 79. TEMPERATUURI MÕÕTMINE

Temperatuuri mõõtmiseks kasutatakse järgmisi mõõteriistu:
a) klaastermomeetreid (täidetud elavhõbeda või piiritusega);
b) manomeetrilisi ehk gaastermomeetreid;




Joon. 207. Metallkestaga klaastermomeeter:
*1* — hülss keermega; *2* — metallkest.

c) termopaare;
d) takistustermomeetreid;
e) püromeetreid.

Katlamajades kasutatavad klaastermomeetrid (joon. 207) peavad olema ümbritsetud metallkestaga, mis kaitseb neid vigastuste eest. Kestal on mõnikord keere termomeetri kinnitamiseks torustiku külge. Temperatuuri mõõtmiseks rõhu all asuvas torustikus kasutatakse kuni toru teljeni ulatuvaid hülsse, mis kinnitatakse toru seina külge keermega või keevituse teel.

Hülssi asetatakse tavaline klaastermomeeter. Õige mõõtmistulemuse saamiseks täidetakse hülsi alumine osa õli, elavhõbeda või ka tinaga (üle 250° ülekuumendatud auru puhul).

Klaastermomeetri töötamine põhineb elavhõbeda või piirituse mahu muutusel sõltuvalt temperatuurist; klaastermomeetri mõõtepiirkond ulatub kuni 600°-ni.

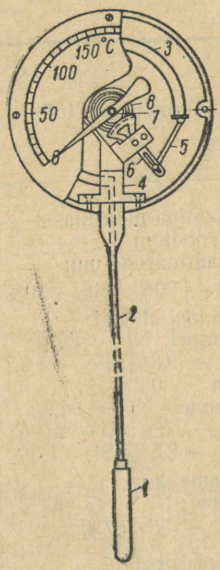
Klaastermomeetrid purunevad kergesti, on kallid ja neid ei saa kasutada kaugnäitamise mõõteriistadena.

Gaastermomeetrite töötamine põhineb termoballoonis asuva gaasi mahu muutusel ja selle tagajärjel muutuval rõhul, mida mõõdetakse vastavalt gradueeritud manomeetriga.

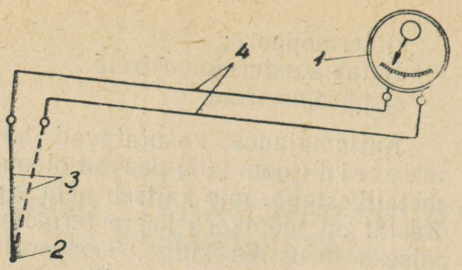
Lämmastikuga täidetud gaastermomeetri mõõtepiirkond on 0—300°, kusjuures mõõdetava keskkonna rõhk võib olla kuni 60 ata, ümbritseva õhu temperatuur 10—60° ja õhu niiskus 30—80%.

Joonisel 208 on näidatud toruvedruga gaastermomeeter.

Termopaari tähtsamaks osaks on termoelement. Viimane saadakse kahe eri metallist traadi kokkujootmisel. Traatide vabad otsad ühendatakse ühendusjuhtmete abil galvanomeetriga (joon. 209). Termopaari töötamine põhineb termopinge tekkimisel jootekoha kuumutamisel. Termopinge suureneb jootekoha temperatuuri tõusuga. Galvanomeeter gradueeritakse kas milli-




Joon. 208. Toruvedruga gaastermomeeter:
*1* — termoballoon; *2* — kapillaartoru; *3* — toruvedru; *4* — hoidja; *5* — reguleerimisõlg; *6* — sektor; *7* — osuti; *8* — spiraalvedru.




Joon. 209. Termoelemendi ühendamine galvanomeetriga:

*1* — galvanomeeter; *2* — jootekoht; 3 — termoelement; *4* — ühendusjuhtmed.

voltides või otsekohe temperatuuri kraadides. Skaalalt loetud millivoltidele vastav temperatuur leitakse termopaari kõvera abil. Termopaaride mõõtepiirkonnad ja materjalid on toodud tabelis 41.

Tabel 41

**Termopaaride kasutuspiirkonnad**

| Termopaari tüüp | Mõõdetav temperatuur | | | | Traadi läbimõõt mm |
|---|---|---|---|---|---|
| | kestvalt | | lühiajaliselt | | |
| | °C | mV | °C | mV | |
| Plaatina-plaatina-roodium<br>Plaatinaroodium:<br>Pt — 90%; Rh — 10% | 1300 | 13,53 | 1600 | 16,76 | 0,5 |
| Kromel-alumel<br>Kromel: Ni — 89%;<br>Cr — 9,8%; Fe — 1%;<br>Mn — 0,2%<br>Alumel: Ni — 94%;<br>Fe — 0,5%; Al — 2,0%;<br>Mn — 2,5%; Si — 1,0% | 1000 | 41,31 | 1300 | 52,41 | 3,2 |
| Kromel-kopel<br>Kopel: Ni — 43—44%;<br>Cu — 56—57% | 600 | 49 | 800 | 66,4 | 1,5—3,2 |
| Raud-kopel<br>Vask-kopel | Ei toodeta seeriaviisiliselt | | | | |

Takistustermomeetrite töötamine põhineb juhtme elektrilise takistuse muutumisel sõltuvalt temperatuurist. Termomeeter koosneb metalljuhtmest (vask, plaatina), mille takistus on täpselt määratud 0° juures. Juhe (läbimõõduga 0,05 mm) keritakse südamikule ja asetatakse metallkesta. Takistustermomee-

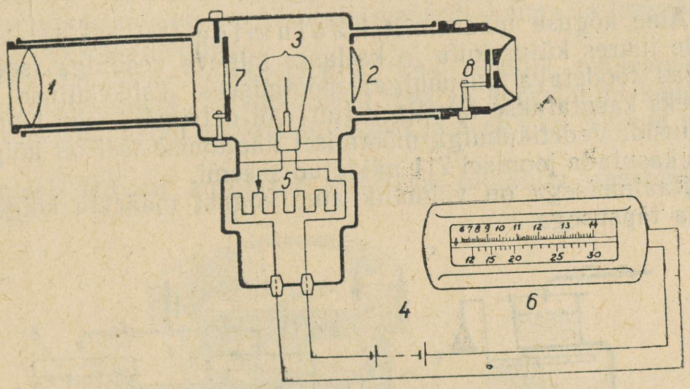
ter mõõdab temperatuuri mitte ühes punktis, vaid keskmist temperatuuri oma pikkuse ulatuses. Neid võib kasutada katla juures vee, vedelkütuse ja ka õhu temperatuuri mõõtmiseks.

Takistustermomeetrite mõõtepiirkond on —20 kuni +500° (plaatina) ja —50 kuni +100° (vask).

Töötamiseks vajaliku alalisvooluallika pinge peab olema 4 V. Termomeetreid valmistatakse pikkusega 150—1300 mm. Väliskujult sarnanevad nad termopaaridega.

Takistustermomeetri näitava mõõteriistana kasutatakse kas logomeetreid ЛПБ-46, ЛМПУ, СЛМ ja ЛПр-53 või automaatselt registreerivaid tasakaalustatud sildu АУМ, ЭМД, ЭМП-209 ja ЭМ-120.

Optilisi püromeetreid kasutatakse leegi temperatuuri mõõtmiseks koldes. Nende töötamine põhineb mõõdetava keha ja hõõglambi niidi heleduse võrdlemisel (joon. 210), kus-




Joon. 210. Optiline püromeeter:
*1* — objektiiv; *2* — okulaar; *3* — hõõglamp; *4* — vooluallikas; *5* — reostaat; *6* — milliampermeeter; *7*, *8* — valgusfiltrid.

juures hõõglambi niidi heledus on gradueeritud absoluutselt musta keha kiirgamise järgi. Hõõglambi vooluahelas on reguleeritav takistus, millega muudetakse hõõgniiti läbivat voolu ja seega ühtlasi hõõgniidi heledust. Temperatuuri mõõtmisel püromeetriga reguleeritakse hõõglambi voolu seni, kuni hõõgniidi heledus muutub mõõdetava keha heledusega võrdseks, s. o. kuni hõõgniit muutub mõõteriista vaateväljas nähtamatuks. Sel juhul on mõõdetava keha temperatuur võrdne hõõgniidi temperatuuriga, mis loetakse mõõteriista skaalalt otseselt temperatuuri kraadides.

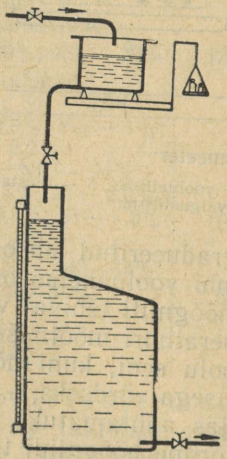
Kiirguspüromeetrite töötamine põhineb hõõguva keha soojuskiirguse muundumisel elektrienergiaks. Kiirgusenergia kontsentreeritakse optilise süsteemi abil termoelemendi jootekohale, mille tagajärjel tekib termopinge. Mõõtmine toimub põhimõtteliselt samuti nagu termopaarigagi. Soojuskiiri võib koondada peeglite (reflektorpüromeeter) või läätsede (refraktorpüromeeter) abil. Kiirgavalt kehalt mõõteriistale kiirguv soojushulk sõltub keha temperatuurist ja põhjustab termopinge tekkimist termoelemendis. Seega iseloomustab galvanomeetri näit otseselt kiirgava keha temperatuuri.

Püromeetreid kasutatakse temperatuuride mõõtmiseks alates 1000°-st. Tuleb silmas pidada, et koldetemperatuuri mõõtmisel läbi vaateava saadakse õige tulemus ainult sel juhul, kui ava pole kaetud klaasiga või mõne muu läbipaistva ainega.

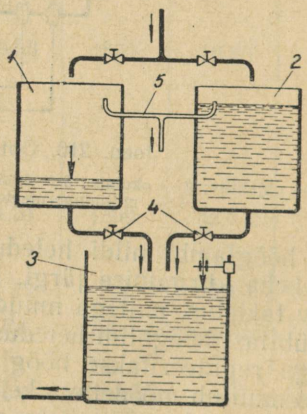
## 80. KOGUSE MÕÕTMINE

Aine koguse määramist kaalumise teel kasutatakse katelde juures kütusekulu ja katlasse mineva veehulga (seega ka katlas toodetava auruhulga) mõõtmiseks. Tahkekütuse kaalumiseks kasutatakse tavaliselt lint- või detsimaal- ehk kümnendkaalusid. Vedelikuhulga mõõtmisel kaalumise teel on kõige parem kasutada joonisel 211 näidatud skeemi.

Kaalumisega on võimalik aine kogust määrata kõige suurema täpsusega.



Joon. 211. Skeem veehulga mõõtmiseks kaalumise teel.




Joon. 212. Skeem vedeliku mahu mõõtmiseks:
*1* — paak; *2* — paak; *3* — kogumispaak; *4* — väljalaskekraan; *5* — ülejooksutoru.

Vedeliku m a h u mõõtmisel kasutatakse joonisel 212 toodud skeemi.

Kaks paaki *1* ja *2* on varustatud ülejooksutoruga *5*, mis lubab paake täita ainult kindla kõrguseni. Väljalaskekraanide *4* kaudu juhitakse vesi veeseisunäitajaga varustatud kogumispaaki *3*, kust ta juhitakse katlasse pumba abil. Ühe paagi tühjendamisel toimub teise täitmine. Töötamisel tuleb erilist tähelepanu pöörata kraanide *4* tihedusele, mille kontrollimiseks on soovitav lasta vesi voolata kogumispaaki nähtava joana.

Kummagi paagi veemahutavus kuni ülejooksutoruni määratakse kaalumise teel.

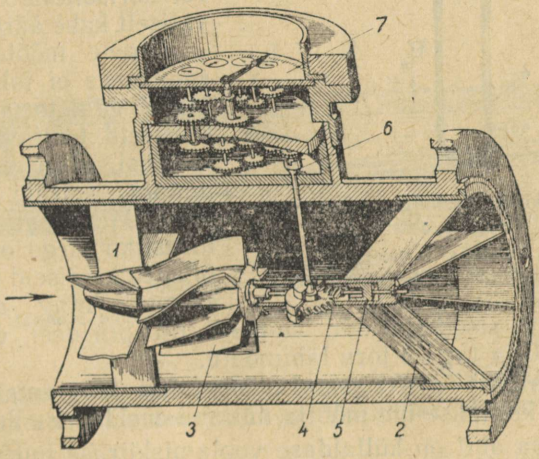
Veekulu mõõtmiseks kasutatakse tihti v e e m õ õ t j a i d, mis jaotatakse:

a) k i i r u s e - v e e m õ õ t j a, kus vee vooluga pannakse pöörlema veemõõtja tiivik, mis on ühendatud arvestusmehhanismiga. Tiiviku pöörlemine sõltub otseselt läbivoolava vee kiirusest;

b) m a h u - v e e m õ õ t j a (kolvi või kettaga), kus läbivoolavat veehulka mõõdetakse kindlate mahtude kaupa ja kantakse üle arvestusmehhanismile;

c) d i a f r a g m a - v e e m õ õ t j a, kus veehulk määratakse kaudselt diafragmast läbivoolamisel tekkiva survelangu kaudu. Viimane iseloomustab voolamise kiirust ja seega ka läbinud vee hulka.

Joonisel 213 on kujutatud pöörleva tiivikuga veemõõtja.




Joon. 213. Pöörleva tiivikuga veemõõtja:

*1* — vooluõgvendaja; *2* — kronstein; *3* — tiivik; *4* — tiguülekanne; *5* — tagumine laager; *6* — ülekandemehhanism; *7* — numbrilaud.

Kaalu vähendamiseks on tiivik valmistatud tselluloidist. Sooja vee mõõtmiseks kasutatakse nikeldatud valgevasest tiivikut. Tiiviku võllil asub tigu, mis paneb vertikaaltelje kaudu liikuma veeruumist väljaspool asuva arvestusmehhanismi. Kuna veemõõtja mehhanismil on teatav inerts, siis hakkab ta liikuma alles kindla veehulga juures ega jää vee läbivoolu lõppemisel kohe seisma. Veemõõtja headust hinnatakse tema takistuse, näitamise täpsuse ja tundlikkuse järgi.

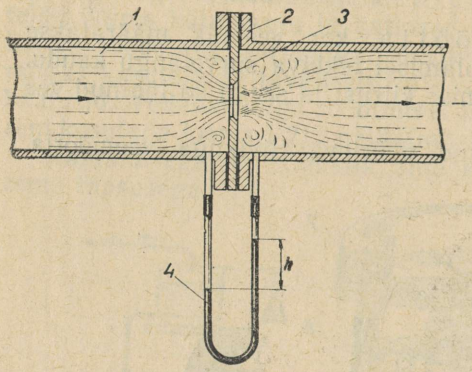
Sellist tüüpi veemõõtjaid kasutatakse rõhuni kuni 10 ata.

Veemõõtja näitab otseselt temast läbivoolavat veehulka ega nõua keerukat montaaži.

Veemõõtja puuduseks on näitamise ebatäpsus kuuma vee puhul.

Veemõõtjaid võib kasutada igasuguste vedelike mõõtmiseks, kui need ei kahjusta keemiliselt veemõõtja osi. Kanalite sööbimisel tõuseb tunduvalt veemõõtja näitamise viga.

Diafragma-veemõõtja (joon. 214) kujutab seibi (diafragmat), mille ava on väiksem kui torustikul, kuhu ta üles seatakse. Diafragma peab olema tsentreeritud toru sisepinna järgi. Diafragmad monteeritakse torustiku sirgetele püst-, kald- või horisontaalosadele, tavaliselt kahe ääriku vahele.




Joon. 214. Skeem veehulga mõõtmiseks diafragma abil:

*1* — torustik; *2* — äärik; *3* — diafragma; *4* — rõhulangu näitaja.

Õigete mõõtetulemuste saamiseks ei tohi diafragma lähedal torustikus olla keeriseid tekitavaid armatuuriosi, nagu põlvi, kolmikuid, ventiile ega siibreid. Minimaalne nõutud torustiku sirge osa pikkus (oleneb keeriseid tekitavast esemest ning diafragma ava ja toru siseläbimõõdu suhtest) on piirides: diafragma ees 5 kuni 20 ja taga 5 toru läbimõõtu.

Rõhu langust diafragmas mõõdetakse diferentsiaalmanomeetriga ja kantakse üle mõõtja näitamismehhanismile.

Diafragma abil on küllaldase voolamiskiiruse juures võimalik mõõta igasuguste vedelikkude ja gaaside hulka.

Aurumõõtja juures varustatakse diafragma tihti isekirjutava mehhanismiga, mis fikseerib katla aurutoodangu igal ajamomendil vastava diagrammina.

## 81. RÕHU MÕÕTMINE

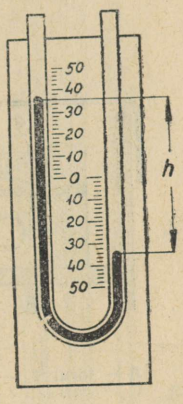
Kõige lihtsamaks rõhu ja hõrenduse mõõteriistaks on U-kujuline manomeeter (joon. 215), mis on täidetud poolest saadik vedelikuga. Kui U-toru üks ots ühendada mõõdetava keskkonnaga ja teine ots jätta lahti, s. o. ühendusse atmosfääriga, siis mõõdetava rõhu $p$ suurus on määratav valemiga

$$p = \frac{h\gamma}{1000} \text{ kg/cm}^2,$$

kus $h$ on vedelikusamba kõrguste vahe U-torus cm;

$\gamma$ — U-torus asuva vedeliku erikaal g/cm$^3$.

U-toru täitmiseks kasutatakse peamiselt elavhõbedat või vett.

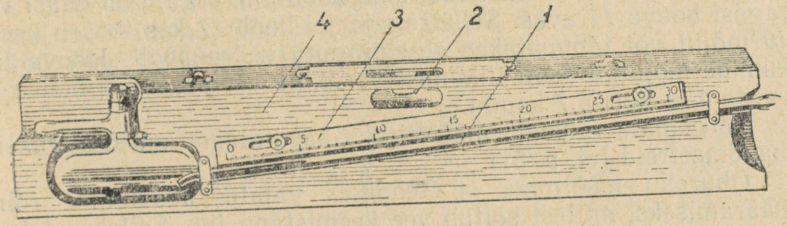



Joon. 215. U-kujuline manomeeter.

Väikeste rõhkude või rõhuvahede mõõtmiseks kasutatakse kaldtoruga mikromanomeetreid. Mida väiksem on toru kaldenurk, seda suurem on mikromanomeetri tundlikkus. Mikromanomeeter täidetakse piiritusega, kuid skaala gradueeritakse millimeetrites veesammast.

Üheks niisuguseks mikromanomeetriks on joonisel 216 kujutatud tõmbemõõtja.

Mõõtepiirkonna laiendamiseks kasutatakse




Joon. 216. Tõmbemõõtja:

*1* — klaastoru anumaga; *2* — vesilood; *3* — skaala; *4* — puitalus.

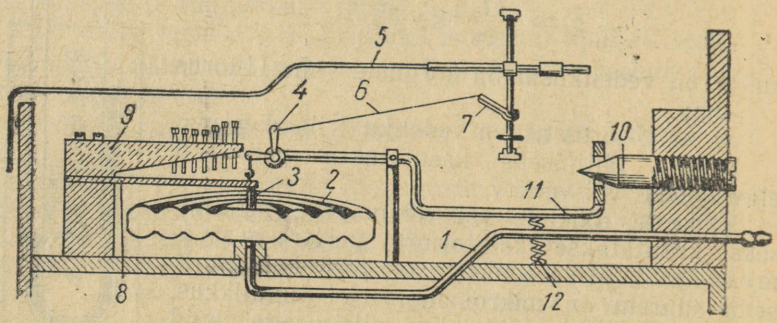
mikromanomeetreid, kus toru kaldenurk on muudetav.

Membraantõmbemõõtja töötamise skeem on toodud joonisel 217.

Mõõdetav rõhk mõjub toru *1* kaudu membraanikarbile *2*, mis koosneb kahest membraanist. Rõhu tõusmisel suureneb membraanikarbi kõrgus, rõhu langemisel aga väheneb. Selle tagajärjel ülemisele membraanile joodetud vardake *3* pöörab hooba *4*

teatava nurga võrra, mis kantakse üle osutile *5* varda *6* ja hoova *7* kaudu.

Membraani käik ei ole proportsionaalne rõhuga. Seepärast varustatakse mõõteriist ühtlase skaala saamiseks lameda vedruga *8* ja toega *9*, kuhu on kinnitatud reguleerimiskruvid. Rõhu tõusmisel surutakse vedru *8* vastu kruvisid, millega lühe-




Joon. 217. Membraantõmbemõõtja:

*1* — toru; *2* — membraanikarp; *3* — membraanivardake; *4* — hoob; *5* — osuti; *6* — varras; *7* — hoob; *8* — lame vedru; *9* — tugi; *10* — kruvi; *11* — hoob; *12* — vedru.

neb tema töötava osa pikkus ja vastavalt sellele väheneb painduvus. Osuti nulli seadmiseks kasutatakse kruvi *10*, mille keeramisel ühes või teises suunas tema kooniline ots liigub edasi või tagasi hoova *11* avas. Selle tagajärjel hoob *11* kas tõuseb kruvi *10* mõjul või tõmmatakse alla pingutusvedru poolt. Hoova liikumine mõjutab osuti liikumist vasakule või paremale hoova *4*, varda *6* ja hoova *7* kaudu.

Kõrgemate rõhkude mõõtmiseks kasutatakse mitmesuguseid manomeetreid (vt. p. 51).

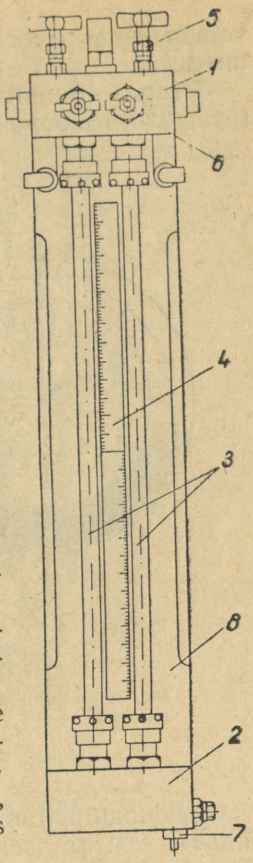
Õhurõhu mõõtmine on tehnikas vajalik absoluutse rõhu määramiseks, millest sõltub vee keemistäpp jne. Selleks otstarbeks kasutatakse b a r o m e e t r e i d.

Rõhu languse mõõtmine kõrgetel rõhkudel ei erine põhimõtteliselt eelkirjeldatud mõõteviisidest. Seejuures esineb aga rida praktilisi ja konstruktiivseid raskusi. Diafragmade abil aurukulu mõõtmisel, samuti katla või ülekuumendi torudes takistuse ja kiiruse mõõtmisel on vajalik suur täpsus. Kogu mõõtmise täpsus sõltub lugemistäpsusest ja seega mõõteriista tüübist, seisukorrast ja montaažist.

Rõhu languse mõõtmiseks eelnimetatud tingimustes kasutatakse diferentsiaalmanomeetreid (joon. 218), mis ehitatakse ta-

Joon. 218. Diferentsiaalmanomeeter:

*1* — ülemine ühendusplokk; *2* — alumine ühendusplokk; *3* — klaastorud; *4* — skaala; *5* — nõelventiilid ühendustorude läbipuhumiseks; *6* — nõelventiilid mõõteriista sisse- ja väljalülitamiseks; *7* — tühjendusava; *8* — alus.



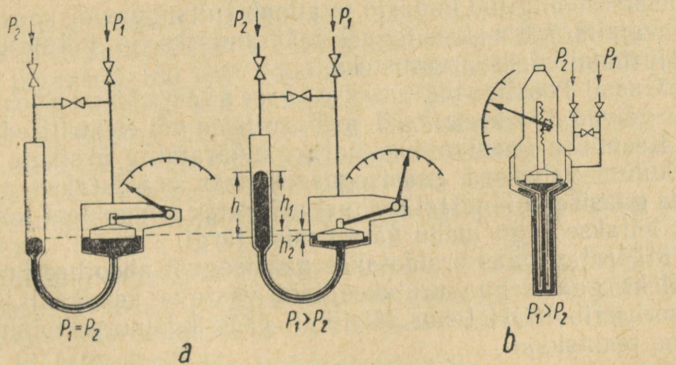

valiselt rõhule 50 kg/cm² ja klaastorude pikkusega 600—800 mm. Manomeeter täidetakse elavhõbedaga.

Diferentsiaalmanomeeter kujutab kõrgele rõhule kohandatud U-toru. Kraanide ülesandeks on võimaldada manomeetri täitmist elavhõbedaga ja ühendamist auru- või veetorustikus asuva mõõteriistaga.

Erituübiliseks diferentsiaalmanomeetriks on ujukiga diferentsiaalmanomeeter (joon. 219), milliseid valmistatakse rõhule kuni 160 at ja rõhulangude mõõtepiirkonnaga 40, 63, 100, 160, 250, 450, 630 ja 1000 mm Hg. Neis piirides võib ujukiga diferentsiaalmanomeetreid kasutada ka rõhu (hõrenduse) mõõtmiseks või siis vedeliku nivoo näitamiseks.

Konstruktiivselt võivad elavhõbedaanumad olla asetatud U-kujuliselt või kontsentriliselt.

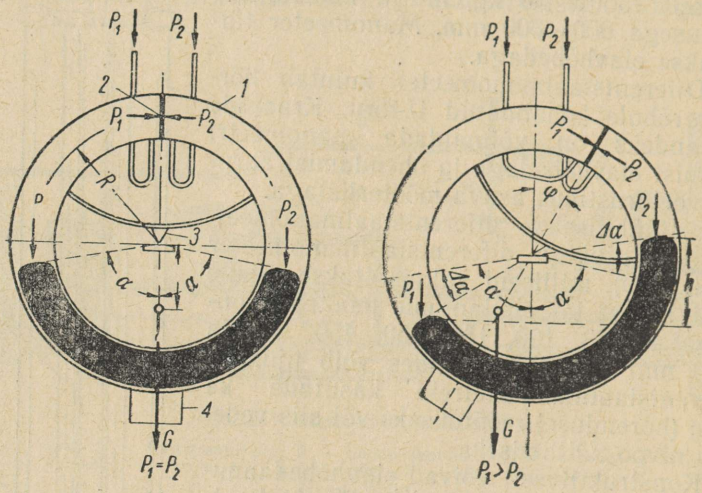
Keskrõhkudel (kuni 32 at) kasutatakse rõngas-diferentsiaalmanomeetreid, mis täidetakse samuti elavhõbedaga. Maksimaalsed mõõdetavad rõhulangud on 25, 40, 63, 100, 160 ja 250 mm Hg, millistes piirides




Joon. 219. Ujukiga diferentsiaalmanomeeter:
*a* — U-kujuline; *b* — kontsentriline.

võib manomeetreid kasutada ka rõhu või vedeliku nivoo mõõtmiseks.

Rõngas-diferentsiaalmanomeetris tekkivat rõhuvahet $h$ (joon. 220) iseloomustab raskusest $G$ sõltuv rõnga pöördenurk $\varphi$.




Joon. 220. Rõngas-diferentsiaalmanomeeter:
*1* — rõngastoru; *2* — vahesein; *3* — prisma; *4* — vahetatav raskus.

## 82. GAASIANALÜÜS

Gaasianalüüsil on katelseadme töötamise kontrollimisel suur tähtsus, sest ta iseloomustab põlemist koldes, mittetäielikust põlemisest tingitud kadusid ja annab suitsugaaside koostise, mis on vajalik katla kasuteguri määramiseks ja mitmesugusteks soojustehnilisteks arvutusteks.

Gaasi koostis määratakse gaasianalüsaatoritega, mis võivad olla keemilised, mehaanilised või elektrilised.

Keemilise gaasianalüsaatoriga määratakse üksikute gaaside mahuline vahekord gaasisegus. Selleks eraldatakse analüüsitava gaasisegu kindlast mahust määratav komponent, mille suurus leitakse segu mahu vähenemise järgi.

Määratav gaas eraldatakse gaasisegust absorbeerimise teel, milleks gaasisegu surutakse läbi vastava kemikaali. Näiteks absorbeerib KOH lahus täielikult $CO_2$, kusjuures toimub järgmine reaktsioon:

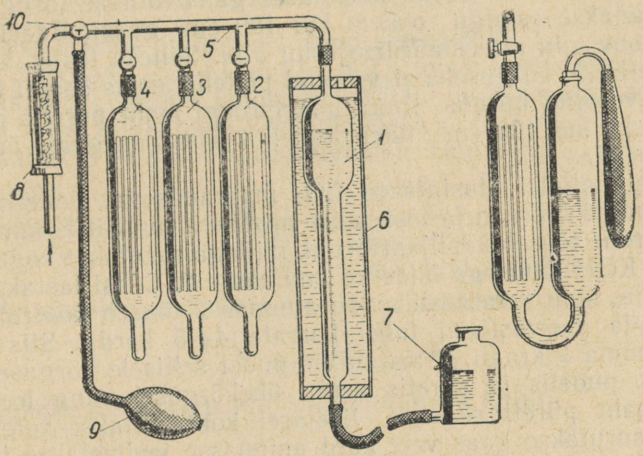
$$CO_2 + 2KOH = K_2CO_3 + H_2O.$$

Keemilised gaasianalüsaatorid on kas käsitsi teenindatavad või automaatsed.

Käsitsi teenindatavaid gaasianalüsaatoreid kasutatakse suitsugaasi koostise määramiseks kas laboratooriumis või töötava katla juures.

Automaatseid gaasianalüsaatoreid kasutatakse gaasi koostise süstemaatiliseks ja pidevaks kontrollimiseks ning registreerimiseks.

Kõige lihtsam keemilise gaasianalüsaatori skeem on kujutatud joonisel 221.




Joon. 221. Keemilise gaasianalüsaatori skeem:

*1* — mõõtepüretт; *2, 3, 4* — absorbeerimisanumad; *5* — jaotustoru; *6* — klaassilinder; *7* — pudel; *8* — filter; *9* — imipall; *10* — kolmekäiguline kraan.

Analüsaator koosneb järgmistest osadest: mõõtepüretist *1*, absorbeerimisanumaist *2, 3* ja *4* ning jaotustorust *5*. Mõõtepüreti maht on tavaliselt 100 $cm^3$. Mõõtmise täpsuse suurendamiseks tehakse püreti alumine osa peenem, et oleks võimalik tema seinale märkida jaotusi 0,2 $cm^3$ kaupa. Ümbritseva õhu temperatuuri muutuse mõju vähendamiseks mõõtetulemustele asetatakse mõõtepürett veega täidetud klaassilindrisse. Pürett ühendatakse ülevalt kummitoru abil jaotustoruga *5* ja alt kummivooliku abil pudeliga *7*.

Absorbeerimisanumaid *4, 3* ja *2* kasutatakse $CO_2$, $O_2$ ja CO määramiseks gaasisegus. Analüüsitava gaasi ja kemikaali kokkupuutepinna suurendamiseks on anumad täidetud vertikaalselt asetatud klaastorukestega.

Jaotustoru ühendab absorbeerimisanumaid mõõtepüretiga ja omab vasakpoolses osas kolmekäigulist kraani *10*, mis on ühenduses filtriga *8* ja kummist imipalliga *9*.

Gaasianalüsaatoriga töötatakse järgmiselt.

Palli abil imetakse gaas läbi proovivõtmiskoha ja aparaadi vahelise toru. Edasi puhutakse läbi jaotustoru, milleks gaas imetakse paar korda mõõtepüretti ja surutakse välja läbi kolmekäigulise kraani ja imipalli pudeli *7* abil. Enne proovi võtmist analüüsimiseks tuleb kemikaalide nivoo absorbeerimisanumates viia kuni kraanide all asuva kontrollmärgini. Gaasi võtmiseks lastakse pudel *7* alla, millega tekitatakse mõõtepüretis hõrendus. Seejuures peab kraan *10* olema pööratud sellisesse asendisse, et aparaat oleks filtri kaudu ühenduses gaasivõtmise toruga. Püretti imetakse esialgu rohkem kui 100 $cm^3$ gaasi. Edasi tuleb gaasiproov viia atmosfäärilise rõhu alla. Selleks tõstetakse pudel *7* sellisele kõrgusele, et veepind pudelis asuks samal kõrgusel kui veepind püretis. Kuna gaasiproovi maht püretis osutub suuremaks kui 100 $cm^3$, tuleb pudeli *7* abil osa gaasi püretist välja suruda.

Gaasianalüüsi alustatakse $CO_2$ määramisega. Selleks avatakse anuma *2* kraan ja tõstetakse aeglaselt pudelit *7*, kuni veepind püretis tõuseb kapillaartoruni, millega surutakse kogu gaasiproov KOH lahusega täidetud anumasse *2*. Edasi lastakse pudel *7* alla, kuni kemikaali nivoo anumas *2* tõuseb kontrollmärgini. Seda operatsiooni tuleb korrata 4—5 korda. Siis suletakse anuma *2* kraan ja tõstetakse pudel sellisele kõrgusele, et veenivoo pudelis ja püretis asuks ühekõrgusel, ning loetakse gaasi maht püreti skaalalt. Seejärel kontrollitakse tulemust: milleks surutakse gaas veel kord anumasse ja imetakse tagasi püretti. Kui maht püretis ei vähene, on kindel, et kogu $CO_2$ hulk on absorbeerunud.

Analoogiliselt määratakse $O_2$ ja CO hulk, surudes gaasi vastavalt pürogallooli lahusega täidetud anumasse *3* ja ammoniakaalse vask(I)kloriidi lahusega täidetud anumasse *4*.

Et $O_2$ ja CO absorbeeruvad aeglasemalt, tuleb gaasisegu suruda läbi kemikaalilahuse 7—10 korda.

Lihtsamal analüüsil määratakse ainult $CO_2$ ja $O_2$ sisaldus suitsugaasis, mis iseloomustavad põlemise täielikkust koldes ja liigõhutegurit. Täielikul põlemisel kehtib seos:

$$CO_2+O_2=21-\beta CO_2,$$

kus $\beta$ on kütuse elementaarkoostisest sõltuv suurus.

Kivisöe puhul

$$\beta=2{,}37\,(H_t-0{,}125\,O_t+0{,}206\,S_t+0{,}038\,N_t)\,\frac{1}{C_t}+0{,}005;$$

teiste tahke- ja vedelkütuste puhul

$$\beta=2{,}37\,(H_t-0{,}125\,O_t+0{,}158\,S_t+0{,}038\,N_t)\,\frac{1}{C_t}+0{,}005.$$

Kui mitte arvestada väävli ja lämmastiku sisaldust kütuses, siis

$$\beta = 2{,}37\,(H_t - \frac{O_t}{8})\,\frac{1}{C_t},$$

kus kütuse koostis on antud kaaluprotsentides.

Gaasiliste kütuste puhul:

$$\beta = \frac{0{,}394\,(H_2 + 2O_2 + CO + 4CH_4 + 6C_nH_m + 0{,}532N_2)}{CO_2 + CO + CH_4 + 2C_nH_m} - 0{,}79,$$

kus kütuse koostis on antud mahuprotsentides.

Kui võrrandi $CO_2 + O_2 = 21 - \beta CO_2$ pooled osutuvad mittevõrdseks, siis põlemine koldes pole täielik, s. t. esineb keemiline kadu ja tuleb asuda selle kõrvaldamisele.

Keskmisi β väärtusi mitmesugustele kütustele:

| | | | |
|---|---|---|---|
| koks, puusüsi | 0 | kivisüsi | 0,10 |
| antratsiit | 0,03 | põlevkivi | 0,10 |
| puit | 0,04 | masuut | 0,13 |
| turvas | 0,08 | põlevkivi-kütteõli | 0,14 |

Suitsugaaside maksimaalne $CO_2$ sisaldus:

$$(CO_2)_{max} = \frac{21}{1+\beta}\ \%.$$

Liigõhutegur α väljendub mitmesugusel kujul:

$$\alpha = \frac{(CO_2)_{max}}{CO_2};\quad \alpha = \frac{21}{(1+\beta)\,CO_2};\quad \alpha = \frac{21}{21 - O_2}.$$

Näide. Kontrollida põlemise täielikkust ja liigõhutegurit valgustusgaasi põletamisel, mille koostis on: $CO_2 = 5{,}66\%$; $C_nH_m = 3{,}42\%$; $O_2 = 0{,}78\%$; $CO = 8{,}04\%$; $H_2 = 37{,}90\%$; $CH_4 = 35{,}95\%$; $N_2 = 8{,}25\%$, kui põlemisgaaside analüüsi tulemus on: $CO_2 = 11{,}7\%$; $O_2 = 1{,}0\%$.

$$\beta = \frac{0{,}394\,(37{,}90 + 1{,}56 + 8{,}04 + 143{,}80 + 20{,}52 + 4{,}39)}{5{,}66 + 8{,}04 + 35{,}95 + 6{,}84} - 0{,}79 =$$

$$= \frac{0{,}394 \cdot 216{,}21}{56{,}49} - 0{,}79 = 0{,}71.$$

Täielikul põlemisel: $CO_2 + O_2 = 21 - \beta CO_2$.

Käesoleval juhul: $11{,}7 + 1{,}0 = 21 - 0{,}71 \cdot 11{,}7$

$$12{,}7 = 12{,}7.$$

$$\alpha = \frac{21}{(1+0{,}71)\cdot 11{,}7} = \frac{21}{20} = 1{,}05 \text{ ehk } \alpha = \frac{21}{21-1} = 1{,}05.$$

Seega põlemine on täielik liigõhuteguri juures $\alpha = 1{,}05$.

Siit nähtub, et juba lihtne gaasianalüüs annab võimaluse kontrollida põlemise täielikkust ja liigõhutegurit, mis on olulise tähtsusega ökonoomse kütterežiimi hoidmisel.

Mittetäielikul põlemisel suitsugaasides esinevate $C_nH_m$,

$CH_4$ ja $H_2$ sisaldus määratakse täieliku gaasianalüsaatoriga, milleks tavaliselt kasutatakse aparaati ВТИ-2. Selle aparaadi juurde kuulub kromel-alumel termopaar ja kuni 1000° skaalaga millivoltmeeter.

ВТИ-2 tüüpi gaasianalüsaatoriga töötamine on mõeldav ainult hästi sisustatud laboratooriumis ja pärast vastava viimuse omandamist.

Aparaadiga töötamisel määratakse osa gaasilisi komponente nende otsese absorbeerimisega vastavas lahuses ja teine osa nende järelpõletamisega elektriahjuga kuumutatavast torust läbijuhtimisel.

Absorbeerimisanumate ehitus on põhiliselt sama mis lihtsal keemilisel gaasianalüsaatoril. Analoogiliselt toimub ka gaasi üksikute komponentide absorbeerimine. Seejuures on aga rahuldavate tulemuste saamiseks väga oluline kinni pidada lahuste õigest valmistamisest.

Happeliste gaaside, nagu $CO_2$, $SO_2$, $H_2S$ jms. summaarseks absorbeerimiseks kasutatakse KOH (ГОСТ 4203-48) lahust, mis saadakse 60—70 g KOH lahustamisel 130—140 ml destilleeritud vees (ГОСТ 6709-53).

Küllastamata süsivesinikkude $C_nH_m$ absorbeerimiseks kasutatakse lahust, mis saadakse 20%-lise kaaliumbromiidi vesilahuse (ГОСТ 4160-48) küllastamisel broomiga (ГОСТ 4109-48). Broomi aurude mürgisuse tõttu tuleb lahus küllastada tõmbekapis. Küllastamist tuleb jätkata seni, kuni anuma põhja jääb lahustamata broomitilk.

Hapniku $O_2$ absorbeerimiseks kasutatase pürogalloolilahust, mille valmistamiseks lahustatakse 180 ml destilleeritud vees 60 g pürogallooli ja 60 g KOH, või siis 180 g destilleeritud vees 25 g «Porügallooli A» (ГОСТ 6408-52) ja 38 g KOH. Lahust tuleb loksutada 250 ml mahuga kolbis kuni reaktiivide täieliku lahustumiseni. Seejärel tuleb lahus kiiresti absorbeerimisanumasse valada ja õhust isoleerida.

Juhul kui on tarvis määrata hapnikusisaldust õhutemperatuuril alla 15° C, võetakse lahuse valmistamiseks 60 g naatriumhüdrosulfiiti (ГОСТ 246-41) ja 30 g KOH, mis lahustatakse 210 ml destilleeritud vees.

Vingugaasi absorbeerimiseks kasutatakse vask(I)oksüüdi suspensiooni, mis valmistatakse järgmiselt: 20 g vask(I)oksüüdi hõõrutakse portselanuhmris 5—10 ml destilleeritud veega ja lisatakse juurde 5—10 ml väävelhapet (ГОСТ 4204-48).

Kõvaks muutunud massi hõõrutakse uuesti hoolikalt, lisades väikestes kogustes juurde 50—60 ml väävelhapet. Saadud mass uhutakse väävelhappega keeduklaasi, kuhu massi pidevalt segades lisatakse 30—40 g β-naftooli (ГОСТ 5835-51).

Seejärel valatakse saadud suspensioon klaasnõusse ning lisatakse juurde kuni 200 ml väävelhapet, suletakse nõu kummivõi lihvitud klaaskorgiga, loksutatakse 1—1,5 tundi ja lastakse siis seista 1—2 ööpäeva. Pärast seda dekanteeritakse suspensioon sademest otse absorbeerimisanumasse, millel kohe suletakse õhu juurdepääs.

Gaasi pideval analüüsimisel loksutatakse suspensiooni ja valatakse absorbeerimisanumasse ilma dekanteerimata.

Reaktiivi absorbeerimisvõime on kõrgem, kui see on valmistatud värskeltsadestatud vask(I)oksüüdist. Vask(I)oksüüdi saamiseks lisatakse 1 l destilleeritud vees lahustatud 50 g vaskatsetaadile (ГОСТ 5852-51) juurde 64 g glükoosi (ГОСТ 975-41) ja keedetakse 30—45 min., kusjuures lahusele tuleb aeg-ajalt vett juurde lisada, et säilitada lahuse esialgset mahtu. Kui helesinine värvus kaob, tuleb keetmine lõpetada, vask(I)oksüüdi sade loksutamisega läbi pesta, filtreerida ja kuivatada eksikaatoris kaltsiumkloriidi peal.

Vingugaasi absorbeerimiseks võib suspensiooni asemel kasutada ka vask(I)kloriidi ammoniakaalset lahust, mille valmistamiseks lahustatakse 110 ml 25%-lises ammooniumkloriidi (ГОСТ 3773-47) vesilahuses 32 g vask(I)kloriidi (ГОСТ 4164-48), valades segamise ajal juurde 80—100 ml ammoniaagi vesilahust (ГОСТ 3760-47) kuni vask(I)kloriidi täieliku lahustumiseni ja intensiivse sinise värvusega läbipaistva lahuse saamiseni. Saadud lahusele tuleb kohe sulgeda õhu juurdepääs.

Lahuse kasutamisel tuleb arvestada seda, et see absorbeerib vähesel määral metaani, kui viimase kontsentratsioon analüüsitavas gaasis on suur.

Vesiniku ja küllastatud süsivesinikkude põletamiseks kasutatakse hapendajana (oksüdeerijana) granuleeritud vask(II)-oksüüdi CuO (ГОСТ 4468-48) tera suurusega 1,0—2,5 mm.

Vesiniku ja küllastunud süsivesinikkude põletamiseks võib kasutada ka aktiviseeritud hapendajat, mis valmistatakse 99 g pulbriks hõõrutud vask(II)oksüüdist, mille hulka segatakse 1 g raud(III)oksüüdi (ГОСТ 4173-48) ja 25 g puhast kaoliini, mis sisaldab ligikaudu 55% ränidioksüüdi. Saadud segule lisatakse juurde destilleeritud vett ja segatakse kuni pastataolise massi saamiseni. Seejärel surutakse pasta läbi 2—2,5 mm suuruse avaga sõela, kuivatatakse algul õhutemperatuuril, seejärel kuivatuskapis ning kuumutatakse temperatuuril 600° C.

Pärast kuumutamist peenestatakse saadud kepikesed ning sõelutakse tolm ja peenike osa välja. Järelejäänud osa hapendajat terasuurusega 1,5—2,5 mm puistatakse kvartstorusse, kuumutatakse seda kuni punase värvuseni, taandatakse vesiniku või koksigaasi torust läbilaskmisega ja seejärel hapendatakse hapniku või õhuga.

Pudel täidetakse sulgvedelikuga, milleks võib olla 22%-ne keedusoolalahus (ГОСТ 4233-48), magneesiumkloriidi $MgCl_2$ (ГОСТ 4209-48) küllastatud lahus, väävelhappe (ГОСТ 4204-48) 10%-ne vesilahus või naatriumsulfaadi hapu lahus, mille valmistamiseks lahustatakse 27 g veevaba naatriumsulfaati $Na_2SO_4$ (ГОСТ 4166-48) või 61 g kristalset naatriumsulfaati $Na_2SO_4 \times \times 10\ H_2O$ (ГОСТ 4171-48) ja 10 g väävelhapet 108 ml destilleeritud vees. Sulgvedelikule lisatakse värvainena pisut metüüloranži.

Peale eelnimetatud reaktiivide läheb aparaadiga töötamisel tarvis veel etüülalkoholi kraanide puhastamiseks, lämmastikku aparaadi esialgseks täitmiseks (saab õhust hapniku eraldamisega otse aparaadis), veevaba lanoliini kraanide määrimiseks ja askariiti.

ВТИ-2 tüüpi gaasianalüsaatori konstruktsioon on toodud joonisel 222.

Aparaadi esialgsel kokkupanekul on otstarbekas kõigepealt asetada vastavalt joonisele kohale kinnitused. Klaasosad tuleb võimalust mööda väljaspool aparaati gruppide kaupa kokku monteerida. Seejärel asetatakse kohale plaadile *19* kinnitatavad kraanid. Kõik sirbikujulised kraanid *31, 36, 35, 30, 29, 28, 32* ja *34* ning manomeetri kolmekäiguline kraan *27* ühendatakse selliselt, et need moodustaksid ühe ühise horisontaalse kapillaari — gaasianalüsaatori jaotuskammi. Seejärel asetatakse kohale pürett *7* koos selle külge ühendatud kahvliga *9*. Edasi järgneb kompensaatori manomeetri *11* ja klaastorukestest täidisega absorbeerimisanumate monteerimine. Järjekorras teisena asetatakse kohale anum ilma kummikorgita ja kuuendana ilma täidiseta anum *6*.

Kui vingugaasi absorbeerimiseks kasutatakse vask(I)kloriidi, tuleb neljanda ja viienda anumana kasutada barbotaažianumaid ja kuuendana täidisega anumat.

Elektriahi *15* asetatakse tugiraami *20* vastavatesse pesadesse *24* ja ühendatakse autotransformaatori *16* kaudu vooluallikaga. Kahvli *9* vaba ots ühendatakse 75—80 cm pikkuse kummitoru *26* abil tasakaalustusanumaga *10*.

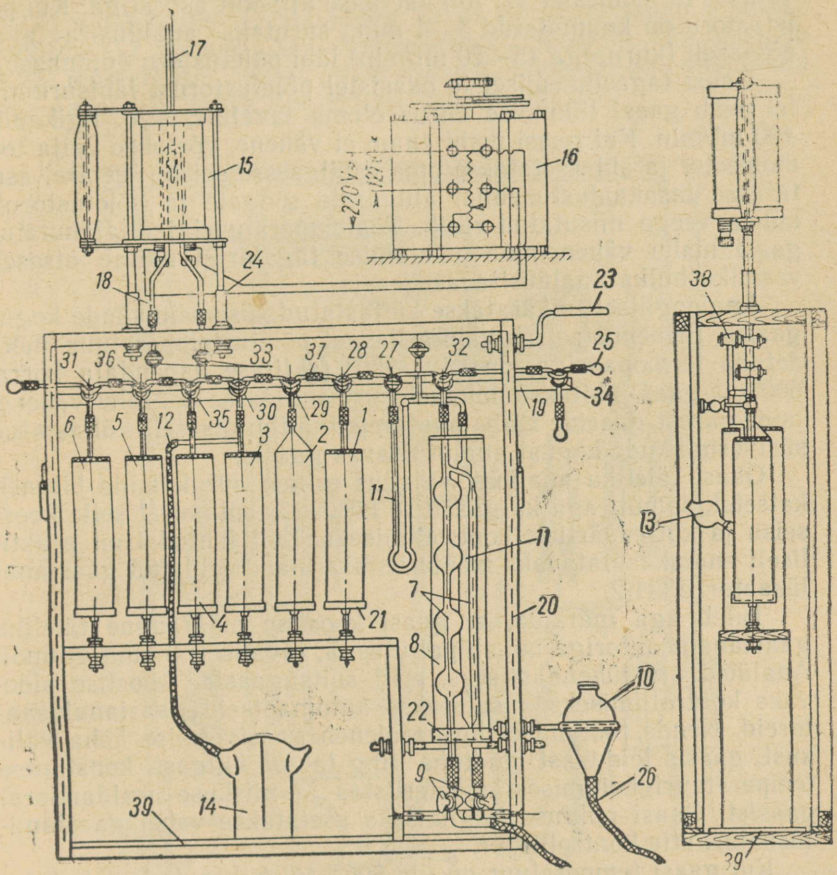
Isolatsioonidetailid asetatakse kohale pärast aparaadi analüüsiks ettevalmistamist.

Absorbeerimisanum *1* täidetakse KOH lahusega. Anum *2* tuleb täitmiseks aparaadi küljest ära võtta ja tõmbekapi all täita broomilahusega.

Anum *3* täidetakse pürogallooli lahusega, anum *4* vask(I)-oksüüdi suspensiooniga väävelhappes, anum *5* KOH lahusega ja anum *6* (ilma täidiseta) küllastunud soolalahusega või mõne muu eespool soovitatud sulgvedelikuga.

Gaasi analüüsimine toimub põhiliselt samuti kui lihtsa gaasianalüsaatoriga. Peamine erinevus on ainult vesiniku ja küllas-

tatud süsivesinikkude määramises, mis toimub nende põletamisega aparaadis. Vesiniku põletamiseks vajalik temperatuur on 280—285°. Seejuures ei tohi $CO_2$ tekkida üle 0,2%.




Joon. 222. ВТИ-2 tüüpi gaasianalüsaator:

*1—6* — absorbeerimisanumad; *7* — mõõtepürett; *8* — klaassilinder püreti ja kompensatsioonitoru temperatuuri tasakaalustamiseks ja stabiliseerimiseks; *9* — püreti kahe otsekraaniga kahvel-kolmik; *10* — tasakaalustusanum; *11* — kompensaatorseade koos manomeetriga; *12* — isoleeriv kamm, mis ühendatakse kas vesilukuga või kummikotiga; *13* — kaitsetoru; *14* — vesiluku klaasanum; *15* — elektriahi; *16* — autotransformaator; *17* — kuni 350°C skaalaga termomeeter (kasut. vesiniku põletamisel); *18* — põletustoru; *19* — plaat kraanide kinnitamiseks; *20* — aparaadi puitkast; *21* — absorbeerimisanuma metallalus; *22* — püreti metallalus; *23* — väljalõikega metallrõngas; *24* — elektriahju tugipesa; *25* — kork; *26* — õhukese seinaga elastne kummitoru; *27* — kolmekäiguline kraan; *28—32* — sirbikujulised kraanid; *33* — ühekäigulised otsekraanid; *34—36* — sirbikujulised kraanid; *37* — paksu seinaga elastne kummitoru; *38* — kompensatsioonitoru kraan; *39* — klaasplaat.

Absorbeerimise ajaks võetakse elektriahi põletustorult ära ja asetatakse ühe jalaga vasakusse pessa. Enne vesiniku põletamisele asumist tuleb ahju selles asendis hakata varakult kütma, et selle temperatuur CO absorbeerimise lõpuks oleks 260° C. Seejärel asetatakse elektriahi põletustorule ja ahju asetatakse termomeeter *17*. Ahi kaetakse altpoolt asbestiga. Kui põletustoru on kuumutatud 3—4 min., surutakse analüüsitav gaas aeglaselt (kiirusega 15—20 ml/min) läbi põletustoru anumasse *6*.

Gaasi tagasiimemisel ja edasistel põletustorust läbisurumistel peab gaasi liikumise kiirus olema tavaline, s. o. ligikaudu 400 ml/min. Kui gaasi maht enam ei vähene, võetakse välja termomeeter ja ahi asetatakse oma esialgsesse seisu. Seejärel asetatakse tasakaalustusanum alumisele rõngale ja põletustorule külma veega niisutatud rätik. Toatemperatuurini allajahutatud gaasi mahu vähenemine põletamise tagajärjel näitab otseselt vesiniku hulka analüüsitavas gaasis.

Analoogiliselt määratakse küllastatud süsivesinikkude kogus gaasis. Erinevus seisab vaid selles, et põletustemperatuur, mõõdetuna termopaariga, on 850—950° (aktiivse hapendaja korral 600°) ja gaas juhitakse põletustorust anumasse 5. Mahu vähenemine pärast gaaside mahajahutamist näitab otseselt küllastatud süsivesinikkude kogust analüüsitavas gaasis.

Gaasi täieliku analüüsi vajadus esineb aurukatelde bilansikatsetel, samuti aga ka gaasilise kütuse kasutamisel selle koosseisu ja küttevääruse kontrollimiseks. Neil juhtudel on praktiliselt enamkasutatavaks mõõteriistaks ülalkirjeldatud gaasianalüsaator ВТИ-2.

Tuleb aga märkida, et gaasi koostise määramine täieliku gaasianalüsaatoriga nõuab palju aega, tavaliselt 3 kuni 4 tundi. Analüüsi aja lühendamiseks, eriti suitsugaaside koostise pidevaks kontrollimiseks kasutatakse automaatseid gaasianalüsaatoreid. Nende töötamise täpsus oleneb gaasivõtmise koha valikust, gaasis leiduvast lendtuha ning tahma hulgast, konstantse temperatuuri hoidmisest mõõteriistas ja niiskuse eraldamisest gaasist. Gaasi puhtuse jälgimiseks asetatakse vahel gaasianalüsaatori ette kontrollfilter.

Kui gaasi temperatuur on üle 500°, tuleb kasutada jahutatavat gaasivõtmise toru.

Automaatsed gaasianalüsaatorid võivad oma töötamise põhimõttelt olla kas keemilised, mehaanilised või elektrilised.

Keemiline gaasianalüsaator ГД-3 (joon. 223) määrab $CO_2$ ja $CO+H_2$ sisalduse suitsugaasis. Mõõteriist koosneb järgmistest põhiosadest:

1) sõlmest anumaga *4*, veetoruga *3*, sifooniga *1*, ühendustoruga *5* ja anumaga *6;*

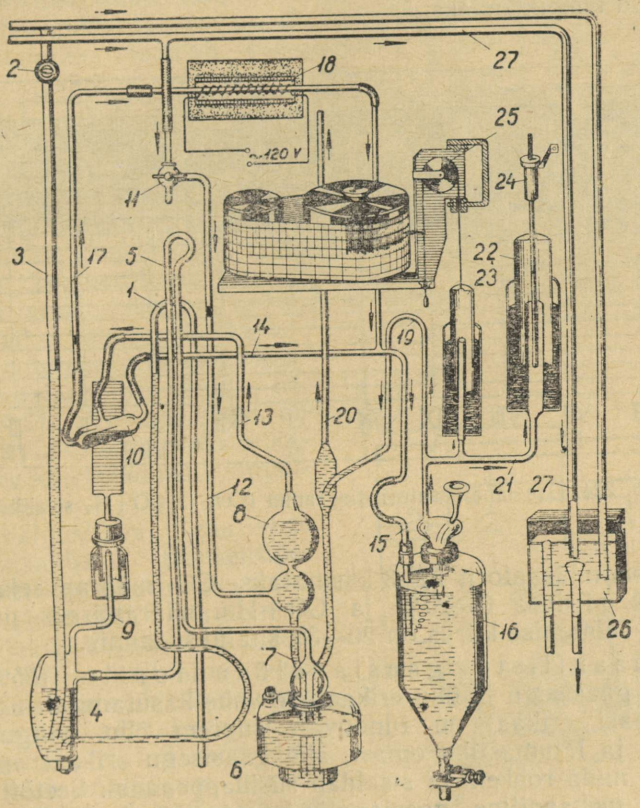
2) anumast *8* gaasi hulga mõõtmiseks;

3) KOH lahusega täidetud anumast *16* $CO_2$ absorbeerimiseks;

4) ümberlülitusseadmest ümberlülitiga *10* ja elavhõbelukuga *9;*

5) elektrilisest järelpõletamisahjust *18;*

6) mõõtesilindrist kelladega *22* ja *23* gaasi mahu muutuse mõõtmiseks pärast $CO_2$ absorbeerimist. Suurem kell mõõdab 80% mõõteriista võetud gaasi mahust, väiksem aga ülejäänud osa gaasist ja paneb liikuma kirjutusseadme sule;



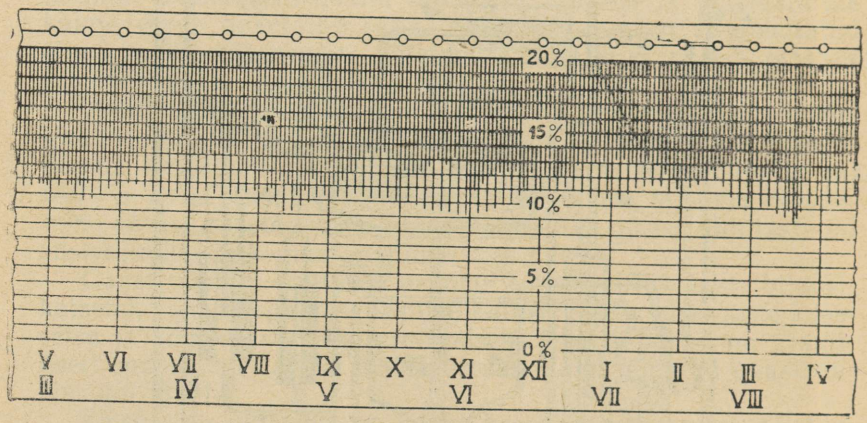

Joon. 223. Gaasianalüsaatori ГД-3 skeem:

*1* — sifoontoru; *2* — reguleerimiskraan; *3* — veetoru; *4* — anum; *5* — ühendustoru; *6* — anum; *7* — ühendustoru; *8* — mõõteanum; *9* — elavhõbelukk; *10* — elavhõbeümberlüliti; *11* — kolmekäiguline kraan gaasile; *12* — gaasi sissevoolutoru; *13, 14, 15* — ühendustorud; *16* — absorbeerimisanum KOH lahusega; *17* — ühendustoru; *18* — elektriline järelpõletamisahi; *19* — ühendustoru; *20* — gaasi väljavoolutoru; *21* — ühendustoru; *22, 23* — mõõtesilindrid kelladega; *24* — kella käigupiiraja; *25* — kirjutusseadme mehhanism; *26* — ežektor; *27* — gaasitoru ežektorisse.

7) kirjutusseadmest kellamehhanismi, trumlite ja lindiga.

Gaasianalüsaator laseb järjekorras ühe osa gaasi läbi absorbeerimisanuma *16*, kus määratakse $CO_2$ sisaldus, mille suurus märgitakse lindile kriipsuga (joon. 224), ja teise osa gaasi läbi järelpõletamisahju, kus CO põleb $CO_2$-ks ja $H_2$ veeks, ning edasi absorbeerimisanumasse *16*. Seejuures saadakse lindil lühem kriips, sest CO põlemisel $CO_2$-ks anumas *16* suurenes $CO_2$ hulk.

CO ja $H_2$ puudumisel gaasis osutuvad lindile märgitavad kriipsud ühepikkusteks.




Joon. 224. Gaasianalüsaatori diagramm ($CO_2$ ja $CO+H_2$ sisaldus).

Gaasianalüsaatorit ГД-3 kasutatakse $CO_2$ määramiseks suitsugaasis piirides 0—20% ja $CO+H_2$ määramiseks piirides 0—5%. Töötamise kiirus on 20—30 analüüsi tunnis.

Mehaaniliste gaasianalüsaatorite töötamine põhineb gaasisegu ja õhu erikaalude vahe kasutamisel. Et süsihappegaasi erikaal on tunduvalt suurem õhu, vingugaasi, hapniku ja lämmastiku omast, siis gaasisegu erikaal on seda suurem, mida rohkem ta sisaldab süsihappegaasi. Seetõttu võimaldab mehaaniline gaasianalüsaator määrata suitsugaasis ainult süsihappegaasi sisaldust. Juhul, kui suitsugaasis leidub $H_2$, $SO_2$ või $CH_4$, mille erikaalud erinevad tunduvalt õhu omast, ei näita mõõteriist $CO_2$ sisaldust õigesti.

Mehaanilise gaasianalüsaatori suuremaks puuduseks on, et ta ei võimalda suitsugaasis leiduva CO määramist.

Elektriliste gaasianalüsaatoritega on võimalik määrata $CO_2$ ja $CO+H_2$ sisaldust suitsugaasis. Süsihappe-

gaasi sisalduse määramine põhineb $CO_2$ ja õhu erineval soojusjuhtivusel. Mõõteriistas kasutatakse kaht elektrivooluga soojendatavat plaatinatraati, millest üks asetatakse gaasivoolu, teine õhuvoolu. Kuna süsihappegaas juhib soojust halvemini kui õhk, siis suitsugaasivoolu asetatud traat, võrreldes õhuvoolu asetatud traadiga, kuumeneb seda rohkem, mida suurem on süsihappegaasi sisaldus gaasisegus. Traadi kuumenemisel suureneb tema elektriline takistus. Mõõteriista näit sõltub kahe traadi takistuste vahest, mis iseloomustab $CO_2$ sisaldust gaasisegus.

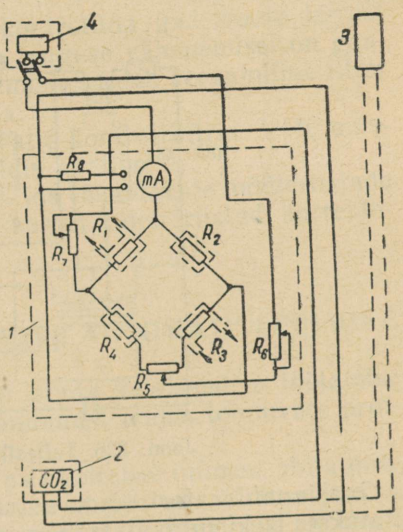
Elektrilise gaasianalüsaatori puuduseks on tema näidu tunduv vähenemine gaaside puudulikul põlemisel koldes, s. o. juhul, kui suitsugaas sisaldab süsivesinikke. Seega näitab elektriline gaasianalüsaator sel juhul tõelisest väiksemat $CO_2$ sisaldust (s. o. palju õhku), kuigi tegelikult koldesse juhitava õhu hulk on väike. Õli, turba ja pruunsöe põletamisel on elektriliste gaasianalüsaatorite näit sageli ebaõige.

Suitsugaasis leiduva vingugaasi ja vesiniku ($CO+H_2$) määramisel kasutatakse nende järelpõletamist mõõteriistas. Seejuures tõuseb temperatuur sõltuvalt $CO+H_2$ sisaldusest suitsugaasis. Temperatuuri tõusule reageerib galvanomeeter, mille skaala on gradueeritud $CO+H_2$ sisalduse protsentides.

Üheks rohkem kasutatavaks automaatseks elektrilise gaasianalüsaatori tüübiks on ГЭУК-21. See mõõteriist on määratud $CO_2$ pidevaks mõõtmiseks katelseadmete suitsugaasides.

Analüüsitava gaasisegu $CO_2$-sisaldus protsentides määratakse gaasisegu ja õhu soojusjuhtivuste võrdlemisega elektrilise silla abil. Joonisel 225 on kujutatud gaasianalüsaatori elektriline skeem. Sillas asuvad takistused $R_1$ ja $R_3$ on asetatud kambritesse, kust analüüsitav gaasisegu läbi voolab. Takistused $R_2$ ja $R_4$ asuvad õhuga täidetud kambrites. Mõõtesilla takistuste materjaliks on 0,04 mm läbimõõduga plaatinatraat mark «Ekstra».

Silla kaks vastastikku asuvat tippu ühendatakse voolu-



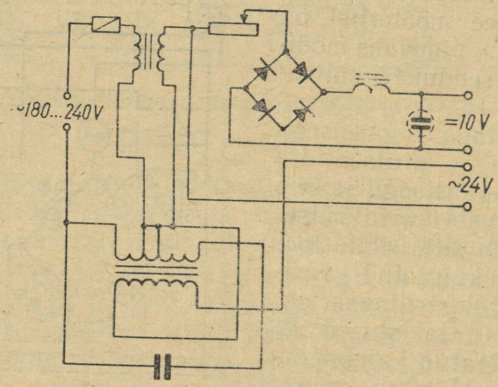

Joon. 225. Gaasianalüsaatori ГЭУК-2 põhimõtteline elektriline skeem:
*1* — mõõtesild; *2* — näitav mõõteriist; *3* — isekirjutaja; *4* — toiteallikas.

allikaga. Kõik takistused kuumutatakse elektrivoolu abil kuni kindla temperatuurini. Silla kaks ülejäänud tippu ühendatakse näitava elektrilise mõõteriistaga. Kui gaasikambrid täita õhuga, on mõõtesild tasakaalus ja näitava riista ahelas voolu ei ole. Silla tasakaalu seadmiseks kasutatakse nullreostaati $R_5$.

Kui gaasikambritest juhtida läbi analüüsitavat gaasisegu, muutub soojusülekanne silla takistustelt kambri seintele (süsihappegaasi väiksema soojusjuhtivuse tõttu) ning selle tagajärjel ka silla õlgade elektriline takistus. Tulemusena läbib näitavat riista vool, mis on proportsionaalne $CO_2$ sisaldusega analüüsitavas gaasisegus.

$H_2$ ja $SO_2$ soojusjuhtivus erineb samuti tunduvalt õhu soojusjuhtivusest. Seetõttu mõjutab nende komponentide sisaldus samuti riista näitamist. Peale selle põhjustab $SO_2$ agressiivsus mõõteriista metallosade korrosiooni. Nende puuduste kõrvaldamiseks varustatakse gaasianalüsaator väävlifiltriga ja vesiniku eelpõletamise ahjuga.

Gaasianalüsaatori näitava riistana kasutatakse elektromagnetilist millivoltmeetrit МПБ-46, täpsusklassiga 1,5 ja skaalaga 0—20% $CO_2$. Osuti täieliku väljalöögi põhjustab pinge 27,2± 0,4 mV. Millivoltmeeter peab asuma püsiva temperatuuriga ruumis.




Joon. 226. Toiteallika ИП-6 skeem.

Gaasianalüsaatori näidu automaatseks üleskirjutamiseks kasutatakse isekirjutavat galvanomeetrit СГ skaalaga 0—20% $CO_2$ ja skaala jaotusega 0,5% $CO_2$.

Gaasianalüsaatorit toidetakse erilisest toiteallikast ИП-6 või akupatareist. Toiteallika ИП-6 elektriline skeem on näidatud joonisel 226. Toiteallika alaline pinge 390 mA koormuse juures on 12±0,5 V, vahelduv pinge 500 mA koormuse juures 24+1 V.

Mõõteriist on ette nähtud gaasidele, mille tolmusisaldus ei ületa 15 g/m³, kusjuures temperatuuripiirkonnaks on 200—600°. Madalamal temperatuuril pigitub filter kiiresti, kõrgemat temperatuuri ei talu aga filtri metallarmatuur.

Sobivaks ruumitemperatuuriks gaasianalüsaatori töötamisel on +10 kuni +40°.

Gaasi juurdevoolutoru peab olema võimalikult lühike.

Õigesti monteeritud gaasianalüsaatori komplekt vajab järgmist minimaalset hooldamist.

1. Kord päevas kontrollida osuti nullseisu. Selleks tuleb gaasi juurdevooluliin sulgeda ja gaasikambritest õhku läbi puhuda. Vajaduse korral tuleb riista nulliseadmiseks kasutada nullreostaati. Kui nullasend on nihkunud üle riista lubatava vea (±0,5% $CO_2$), tuleb kontrollida mõõtesilla algseisundit. Selleks muudetakse silla kuumendusvoolu tugevust, kusjuures kambrid peavad olema täidetud õhuga. Voolu muutumine piiridest kuni poole nimivooluni (milliampermeetri järgi) ei tohi põhjustada nulli nihkumist üle 0,5% $CO_2$. Kui nihkumine on suurem, tuleb mõõtesild maha võtta ja remonti anda.

2. Vähemalt kord vahetuses kontrollida voolu milliampermeetri järgi. Vajaduse korral tuleb voolu reguleerida vastava reostaadiga.

3. Vähemalt kord vahetuses kontrollida gaasivoolu kiirust diferentsiaaltõmbemõõtjaga. Rõhu languse vähenemisel on gaasiliin ummistunud. Selle likvideerimiseks tuleb keraamiline filter ja gaasiliin suruõhuga läbi puhuda.

4. Perioodiliselt kontrollida vatti kontrollfiltris. Vati mustumisel on gaasi vastuvõtuseadeldis ebatihe.

5. Vähemalt kord kuus kontrollida täiendavate mõõteriistade mehaanilist nullseisu. Vajaduse korral tuleb riistad korrektoriga nulli seada.

## 83. KATELSEADMETE TÖÖTAMISE AUTOMATISEERIMINE

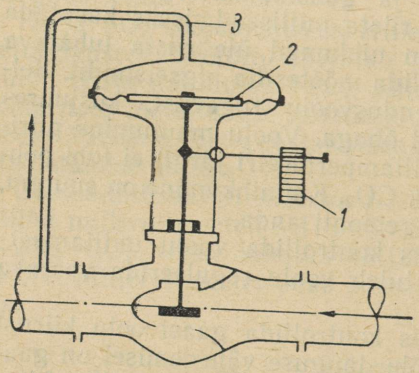
Kõige täielikumalt saab kindlustada katelseadme töötamise ökonoomsust ja lihtsustada teenindamist temas toimuvate protsesside juhtimise automatiseerimisel.

Automaatsel *reguleerimisel* hoitakse inimese abita mingisugust protsessi iseloomustav suurus nõutud väärtuse juures. Katelseadmete puhul on nendeks suurusteks tavaliselt aurutootlikkus, auru rõhk, auru temperatuur, veeseis katlas ja liigõhutegur koldes. Kütuse põlemise automaatsel reguleerimisel on võimalus täpsemalt hoida kõige kasulikumat vahekorda kütuse ja põlemisõhu hulga vahel. Mida täpsemalt töötavad regulaatorid, seda kõrgemaks kujuneb katelseadme kasutegur. See on eriti

tähtis muutliku koormuse juures, mil käsitsi reguleerimine on raskendatud ning oleneb teenindava personali kvalifikatsioonist ja tähelepanelikkusest. Põlemise automatiseerimisel on võimalik võimsate katelde kasutegurit tõsta 2—3%, keskmiste ja väikeste katelde kasutegurit kuni 10%.

Automaatregulaatorid võivad reguleerida otseselt mingit suurust (näiteks vee rõhku või temperatuuri torustikus) või kaudselt kas ühte või mitut omavahel seotud suurust.

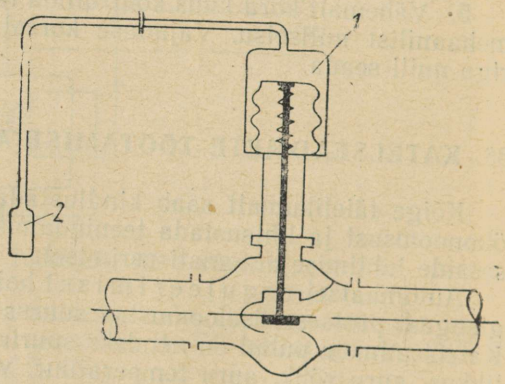
Rõhuregulaator on näidatud joonisel 227. Vee rõhk torustikus tasakaalustatakse raskusega *1*. Kui rõhk, mis toru *3* kaudu kantakse üle membraanile *2*, ei ole nõutud suurusega, hakkab membraan ja selle klapivars liikuma. See kestab seni, kuni rõhk klapi taga saavutab etteantud suuruse. Muutes raskuse *1* asendit hooval, võib muuta rõhku klapi taga vastavalt soovile.




Joon. 227. Otseselt mõjuv rõhuregulaator:
*1* — raskus; *2* — membraan; *3* — ühendustoru.

Tehase «Tizpribor» poolt toodetavad seda tüüpi regulaatorid on ette nähtud rõhule kuni 16 ata ja temperatuurile kuni 200° ning kindlustavad rõhu hoidmise torustikus täpsusega 6—12%.

Temperatuuriregulaatoril (joon. 228) on membraani asemel sülfoon *1*, millele mõjub gaasiga täidetud balloonist *2* ülekantav impulss. Sülfoon, gaasiballoon ja nendevaheline ühendustoru moodustavad ühe hermeetilise süsteemi. Temperatuuri muutusel muutub gaasi rõhk selles süsteemis, mille tagajärjel sülfooniga varda abil ühendatud reguleerimisklapp liigub kas üles või alla. Selliseid regulaatoreid toodetakse temperatuurile 30—160°



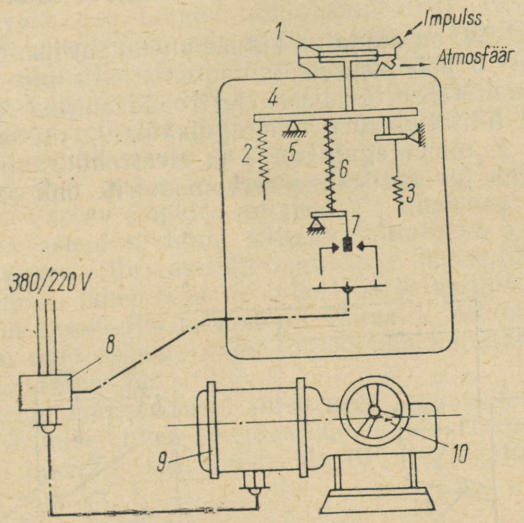

Joon. 228. Otseselt mõjuv temperatuuriregulaator:
*1* — sülfoon; *2* — gaasiga täidetud balloon.

ja rõhule kuni 10 ata. Reguleerimisklapi maksimaalne läbimõõt on 50 mm.

Otseselt mõjuvaid automaatregulaatoreid ei saa kasutada neil juhtudel, kui reguleerimisklapi liigutamiseks vajatakse suurt jõudu.

Kaudse mõjuga automaatregulaatorites kasutatakse reguleerimisklapi liigutamiseks abimehhanismi — servomootorit.

Joonisel 229 on skemaatiliselt kujutatud ЦКТИ elektromehaaniline automaatregulaator väikestele rõhkudele või




Joon. 229. Kaudselt mõjuv rõhuregulaator:

*1* — membraan; *2* ja *3* — tasakaalustusvedrud; *4* — hoob; *5* — tugiprisma; *6* — vedru; *7* — relee; *8* — magnetlüliti; *9* — elektrimootor; *10* — reduktor.

hõrendustele. Regulaatori tähtsamaks osaks on impulsse vastu võttev membraan *1*. Vedrud *2* ja *3* tasakaalustavad prismale *5* toetuva hoova *4*.

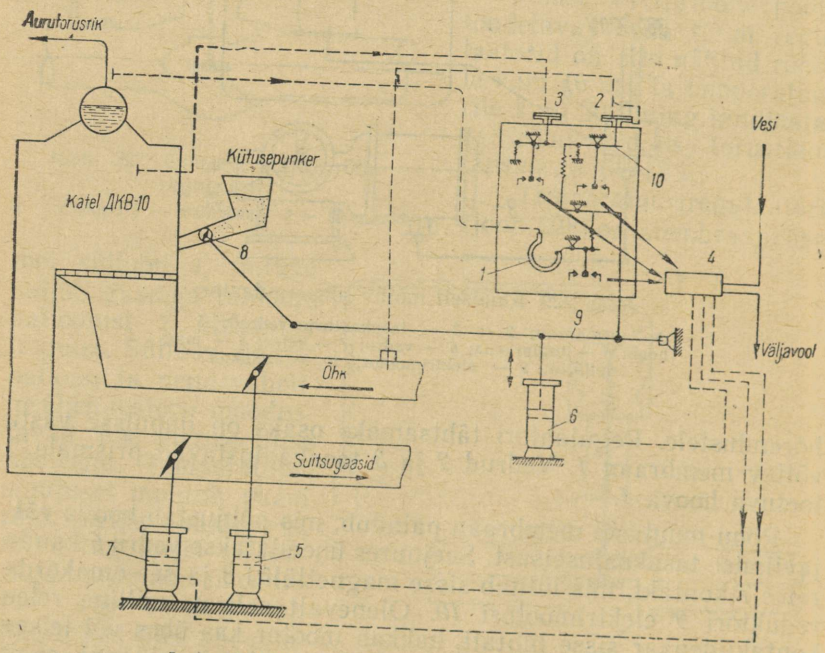
Rõhu muutusel membraan paindub, mis põhjustab hoova väljaviimise tasakaaluseisust. Seejuures ühendatakse vedru *6* kaudu relee *7* kontakt, mis lülitab sisse magnetlüliti *8* ja see omakorda reduktori *9* elektrimootori *10*. Olenevalt sellest, milline relee kontaktidepaar sisse lülitati, hakkab mootor kas ühes või teises suunas pöörlema. Reduktor liigutab reguleerimisklappi seni, kuni taastub endine tasakaaluseisund. Reduktori käsiratta abil on võimalik reguleerimisklapi asendit käsitsi muuta.

Viimasel ajal on elektromehaaniliste regulaatorite asemel hakatud kasutama elektronregulaatoreid, eriti neil juhtudel, kui tahetakse reguleerida keerulisi protsesse.

Eriliigi kaudseid automaatregulaatoreid moodustavad lihtsa konstruktsiooniga elektrohüdraulilised regulaatorid, mis on välja töötatud spetsiaalselt väikestele aurukateldele, kus muude regulaatorite kasutamine pole otstarbekas.

Põlemisprotsessi reguleerimiseks tuleb reguleerida kütuse pealeandmist, õhu hulka ja suitsuimeja tootlikkust, kusjuures kütuse ja õhu suhe peab kindlustama kütuse ratsionaalse põlemise.

Joonisel 230 on näidatud kütuse pneumaatilise pealeandjaga katla ДКВ-10 põlemisprotsessi automatiseerimise skeem. Neil kateldel kasutatakse tavaliselt elektrohüdraulilisi regulaatoreid. Skeemi on lülitatud auru rõhuregulaator *1*, «kütus-õhk» suhte regulaator *2*, tõmberegulaator *3* ja elektrohüdrauliliste releede plokk *4*, mis juhivad kolme servomootorit: õhk *5*, kütus *6* ja tõmme *7*.




Joon. 230. Katla ДКВ-10 automaatika skeem:

*1* — rõhuregulaator; *2* — «kütus-õhk» suhte regulaator; *3* — tõmberegulaator; *4* — elektrohüdrauliliste releede blokk; *5* — õhu servomootor; *6* — kütuse servomootor; *7* — tõmbe servomootor; *8* — pneumotoitja; *9* — kangide süsteem; *10* — «kütus-õhk» suhte regulaatori hoob.

Automaatse reguleerimise skeem töötab järgmiselt. Kui aurutarvidus ei vasta katla tootlikkusele, muutub rõhk aurutorustikus, mis kandub üle rõhuregulaatori manomeetrilisele torule. Saanud impulsi, lülitab rõhuregulaator hüdraulilise relee abil töösse kütuse pealeandmise mehhanismi, mis liigutab pneumotoitja *8* kulissi, s. o. reguleerib kütuse pealeandmist koldesse vastavalt koormusele. Samaaegselt kantakse kütuse pealeandmise mehhanismi käik mehaanilise kangsüsteemi *9* abil üle «kütus-õhk» suhte regulaatori hoovale *10*. See regulaator lülitab releede abil sisse õhuregulaatori, millega õhuhulk muutub kütusekulule vastavaks, s. o. taastub suhe «kütus-õhk». «Kütus-õhk» regulaatoril on membraan, mis mõõdab kütuse tegelikku kulu (rõhu languse abil õhu sissevoolul) ning kütuse- ja õhuhulga vastavuse korral tasakaalustab hoova, millega regulaator välja lülitatakse. Seega mõjutab «kütus-õhk» regulaatori töötamist kaks impulssi — kütusekulu ja õhuhulk.

Kütuse- ja õhuregulaatori töösserakendumisel muutub ka tõmme koldes. Vastav impulss antakse üle tõmberegulaatorile. Viimase hoova asend muutub, millega lülitatakse sisse katla suitsukäigus asuva siibri asendit reguleeriv hüdrauliline relee. Tõmbe taastumisel läheb relee hoob horisontaalasendisse tagasi.

Eelloetletud regulaatorite abil on võimalik automatiseerida ka perioodilisi operatsioone nagu toitepumba käivitamine rõhu langemisel toiteliinis jne.

Regulaatorite monteerimisel tuleb need hoolsasti kinnitada. Kilbile monteerimisel tuleb likvideerida kilbi värisemine. Temperatuur kilbi juures ei tohi tõusta üle 40°. Regulaatoreid tuleb kaitsta tolmu eest.

# XVII. KÜTMISE PÕHIJOONI JA KOLLETE TEENINDAMINE

## 84. KÜTMISTEHNIKA ÜLDISI PÕHIMÕTTEID

Kütuse säästlik kasutamine eeldab kütja poolt põlemisseadmete, kasutatava kütuse omaduste ja tema otstarbeka põletamise juhtimise, s. o. kütmistehnika tundmist. Olulisteks teguriteks on siinjuures kütuse õige pealeandmine, kihipaksuse valik, põlemisõhu hulga ja tõmbe reguleerimine.

Põlemise häireteta kulgemiseks on tähtis kütuse pidev pealevool, mis on otstarbekalt lahendatud kütuse mehaanilise pealeandmisega. Perioodilisel pealeandmisel (käsitsi kütmisel) tuleb kütust anda koldesse väiksemate annustena ja sagedamini. Seejuures eraldub korraga vähem lendosi ja viimaste läbipõlemine on täielikum, põlemine toimub ühtlasemalt ja väiksema liigõhuteguriga.

Kihipaksus sõltub kolde ning resti tüübist, kütuse liigist ja omadustest: küttevääртusest, niiskusest, lendosade rohkusest ja kütuse tükisuurusest. Sisekoldes, mille temperatuur on üldiselt madalam küttepindade jahutava mõju tõttu, hoitakse kütusekiht paksem kui sama resti puhul ees- või allkoldes. Jämedamatükilist kütust põletatakse paksemas kihis kui peent kütust, mis võimaldab kütusetükkide paremat läbisoojenemist ja ühtlasemat õhujaotust kihis. Kütuse paremaks läbisoojenemiseks hoitakse samuti kiht seda paksem, mida niiskem on kütus. Madalama küttevääртusega kütuste puhul hoitakse kihipaksus üldiselt suurem kui kõrge küttevääртusega kütustel. Üht ning sama liiki kütust põletatakse seda paksemas kihis, mida vähem ta sisaldab lendosi.

Kihipaksus mitmesuguste kütuste puhul valitakse:

| | |
|---|---|
| jämepõlevkivi küttel | 300—400 mm |
| peenpõlevkivi küttel | 150—250 „ |
| turba küttel | 400—900 „ |
| kivisöe küttel | 65—150 „ |
| antratsiidi küttel | 100—200 „ |
| puidu küttel | 600—1500 „ |

Normaalset kütusekihi paksust võib suurendada ainult seadme suure koormuse korral. Mehaanilistel restidel toimub kihipaksuse reguleerimine kihisiibri seisu ja kütusekihi liikumise

kiiruse muutmisega. Resti liikumise kiiruse ja kihipaksuse muutmisel tuleb silmas pidada järgmist:

a) kütusekihi paksuse tõstmine muutumatu restikiiruse ja õhuhulga juures põhjustab kütuse mittetäielikku läbipõlemist; kütusekihi paksuse vähendamine muutumatu restikiiruse ja õhuhulga juures põhjustab resti tagumise osa paljakspõlemist;

b) resti liikumise kiiruse tõstmine või vähendamine põhjustab vastavalt samu nähtusi.

Põlemisõhu hulka reguleeritakse tõmbe ja õhupuhumise muutmisega, juhindudes seejuures leegi ja suitsu värvusest või mööteriistade, gaasianalüsaatorite ja tõmbemõõtjate näitudest.

Põletatava kütuse hulga ja koldesse antava põlemisõhu koguse vahel tuleb hoida kõige ökonoomsemat suhet, mis väljendub liigõhuteguris ja süsihappegaasi sisalduses suitsugaasides. $CO_2$ hulk suitsugaasides peab jääma antud kütuseliigile ja koldetüübile ettenähtud piiridesse. Õhuhulga suurendamine ja $CO_2$ sisalduse langus ligikaudu 1% piirides on lubatav restide ülekuumenemise vältimiseks väga kuiva kütuse kasutamisel. Õhu vähesuse korral tõuseb $CO_2$ sisaldus suitsugaasides ülemääraselt kõrgeks. Sel juhul tuleb koldesse juhtida rohkem põlemisõhku.

CO sisaldus suitsugaasides peab mehaanilistes kolletes olema alla 0,5%.

Põlemisõhku tuleb kõige rohkem anda kolde neisse tsoonidesse, kus põlemine on kõige elavam. Lendosaderikaste kütuste põletamisel on tingimata vajalik pealtõhu kasutamine. Tuleb silmas pidada, et mehaaniliste restide alla antava õhuhulga suurendamine muutumatu kihipaksuse ja resti käigu juures põhjustab resti tagumise osa paljakspõlemist, õhuhulga vähendamine resti lõpus — kütuse puudulikku läbipõlemist.

Õhupuhumise puudumisel reguleeritakse õhuhulka suurtes piirides tõmbe muutmisega, s. o. korstna siibri abil, ja täpsemini — õhuluukidega. Täielikult avatud korstnasiibri puhul imetakse suure tõmbe mõjul koldesse ja gaasikäikudesse läbi ebatihedate kohtade palju väärõhku, mistõttu suureneb liigõhutegur ja sellest tingituna korstnakadu (vt. p. 110).

Alarõhk koldes tuleb hoida antud koldetüübile ettenähtud piirides ja kütmist teostada võimaliku minimaalse tõmbega.

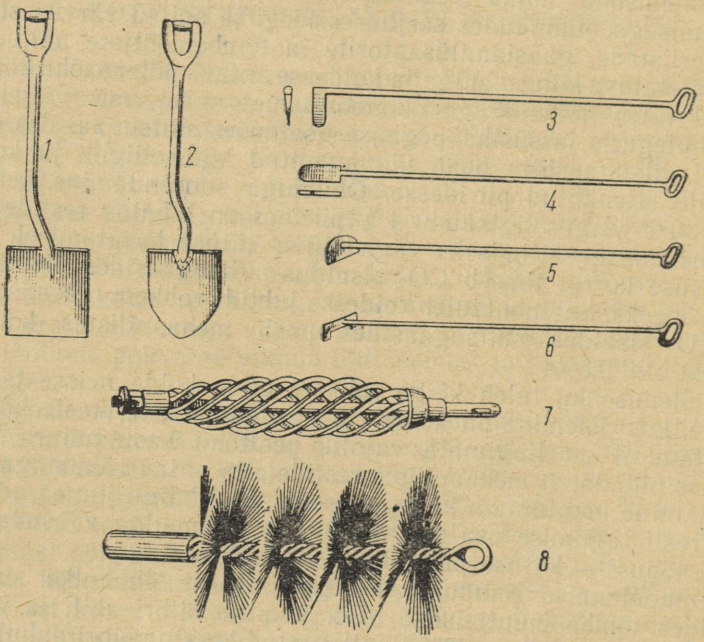
Kolde töötamist tuleb pidevalt reguleerida vastavalt seadme koormuse muutustele. Koormuse suurenemisel tuleb tugevdada tõmmet ja põlemisõhu puhumist tsoonidesse, seejärel sobitada resti liikumise kiirust. Koormuse vähenemisel tuleb vähendada eeskätt õhupuhumist, siis tõmmet ja seejärel sobitada restile vastav kiirus.

Kütmisrežiimi määramisel peab kindlaks tegema koldele ja restile kohased kütusekihi, restikäigu ja õhuhulga suurused, milledest kinnipidamine on tingimata vajalik.

## 85. KÜTJA TÖÖRIISTAD

Kõige rohkem füüsilist tööd nõuab kütjalt restiküttega kollete käsitsi teenindamine. Seejuures vajalikud põhilised tööriistad on kujutatud joonisel 231.

Laia otsaga kühvlit *1* kasutatakse kütuse viskamiseks kolldesse, ümmarguse otsaga labidat (kühvlit) *2* kütuse võtmiseks laost või virnadest.




Joon. 231. Kütja tööriistad:
*1* — laia otsaga kühvel; *2* — ümmarguse otsaga kühvel; *3* — restinuga; *4* — kang; 5 — roop; *6* — tasandusraud; *7* — teraslinthari; *8* — teraslraathari.

Restinoaga (lõikekangiga) *3* lõigatakse resti alt läbi räbukiht, mis ummistab restipiide vahed ja takistab õhu voolamist läbi kütusekihi. Restinuga kujutab endast ligikaudu 0,5 m võrra restist pikema varrega teravat roopi.

Kangi *4* kasutatakse paakunud kütusekihi lahtimurdmiseks ja kergitamiseks, samuti räbu lahtimurdmiseks restilt selle puhastamisel. Kangi ots on tehtud lamedaks, mis võimaldab tema kergemat lükkamist kokkusulanud räbukihi alla.

Roopi *5* kasutatakse põleva kütuse ning räbu väljatõmbamiseks koldest, põleva kütuse laialiajamiseks ning kihi tasandamiseks ja tuha väljatõmbamiseks tuharuumist.

Tasandusrauda *6* kasutatakse põleva kütusekihi tasandamiseks.

Pikkade restide puhul kasutatakse kahes suuruses roope, kange ja restinuge — pikki ja lühikesi: esimesed on kolde tagumise otsa teenindamiseks, teised — esiosa jaoks.

Suitsutorudega kateldel, millel puuduvad tahmapuhurid, kasutatakse suitsutorude lendtuhast ja tahmast puhastamiseks spetsiaalseid harju *7* ja *8*, mis kujutavad endast varre külge kinnitatud terastraadist või teraslindist kimpe.

Peale nimetatud abinõude peab katlamajas (kollete käsitsi teenindamisel) olema veel kirves puude lõhkumiseks ja vasar suurte söe- või põlevkivitükkide purustamiseks.

Samuti peavad katlamajas olema vajalikud lukksepatööriistad väiksemate korrastustööde ja remontide tegemiseks: lukksepavasarad, meislid, tangid, tellitavad võtmed jm.

Kütja peab hoolitsema, et katlamajas ettenähtud tööriistad oleksid kohal ja alati korras.

## 86. PLAANRESTIGA KOLDED KIVISÖE, ANTRATSIIDI, TURBA JA PUIDU KÜTTEL

Kolde sissekütmine kivisöe korral toimub kasutatava kütusega. Pärast kolde tuulutamist, milleks avatakse korstna siiber 10—15 minutiks, visatakse restile ühtlane, 60—80 mm paksune kiht tükilist kivisütt ja sellele tuliseid süsi või lõhutud puid, mis süüdatakse põlema. Põlevale kihile visatakse algul jämedamat sütt, seejärel minnakse üle harilikule kütusele. Kütust tuleb kolde töötamisel peale visata kiiresti, et vältida kolde jahutamist külma õhu poolt. Soovitatav on samaks otstarbeks vähendada tõmmet korstna siibri sulgemisega niivõrd, et suits ei tungiks katlaruumi. Kütust tuleb visata koldesse väikeste annustena ja sagedasti ning alles pärast lendosade eraldumist ja põlemist, kui restile on jäänud põlev koks.

Leegilisi süsi (lendosi 16% ja enam) võib peale visata kolmel viisil:

a) esimese viisi korral, mida kasutatakse horisontaalse gaasivoolu puhul (leegitorukatlad), lükatakse tulised söed roobiga tahapoole ja resti esiosale visatakse värsket kütust. Seejuures eralduvad lendosad õhukesel tulisel kihil asuvast värskest kütusest pikkamööda; piki resti tahapoole voolates segunevad lendosad restist läbivoolava õhuga ning põlevad ära täielikult. Paakuvate süte jaoks nimetatud viis pole kasutatav;

b) kütust visatakse vaheldumisi paremale ja vasakule resti poolele. Õhku, mis voolab läbi põlenud kihiosa, kasutatakse värskest kütusest eralduvate lendosade põletamiseks. Seda viisi kasutatakse laia resti ja vertikaalselt tõusva gaasivoolu puhul (allkolle);

c) kütus visatakse ühtlaselt kogu restile. Nimetatud viis sobib kõigile sütele, sealhulgas ka lahjadele (lendosade sisaldusega 8—15%). Parimaid tulemusi saadakse selle viisiga vertikaalse gaasivoolu puhul.

Kütusekiht tuleb hoida võimalikult ühtlane, seda ei tohi lasta põleda liiga madalaks ja siis korraga palju värsket kütust peale anda. Madalaks põlenud kihi puhul läbib kollet suur õhuhulk, mida ei kasutata põlemiseks ja mille tagajärjel tekib suur korstnakadu. Õhukesele põlevale kihile paksu värske kihi pealeviskamisel jahutatakse kiht ja summutatakse tuli: põlemine muutub mittetäielikuks ja suureneb keemiline kadu.

Kihi paksus peene, lendosaderohke kivisöe puhul hoitakse 50—80 mm, suuretükilise lendosadevaese söe puhul 100 kuni 150 mm.

Peent, mittepaakuvat sütt on soovitav segada paakuva söega, mis vähendab restist läbivarisemise kadu; samal eesmärgil niisutatakse peent paakuvat sütt veega.

Töötamisel tuleb jälgida õhu ühtlast läbivoolu põlevast kütusekihist. Tumedad kohad restil märgivad ummistust ja õhu läbivoolu takistust, mis tuleb kõrvaldada kihi läbilõikamise (murdmise) teel. Heledad kohad näitavad resti osalist paljaks-põlemist ning õhu hulgalist läbivoolu koldesse, mis tuleb kõrvaldada kihi tasandamisega.

Põlemisõhu hulka reguleeritakse tõmbe ja õhupuhumisega. Altõhu rõhku tuleb reguleerida nii, et see ületab ainult kihi takistuse. Alarõhk koldes tuleb hoida võimalikult väike — 0,5—1 mm vs, ainult nii suur, et leek ja gaasid kütuse pealeviskamisel ei lööks koldest välja. Sellega välditakse kahjuliku väärõhu koldesse imemist läbi ebatihedate kohtade.

Lendosaderikaste sütega kütmisel on soovitav juhtida koldesse läbi ukseroseti või vastavate kanalite lisaõhku, eriti pärast värske kütuse pealeviskamist.

$CO_2$ sisaldus suitsugaasis katla taga peab olema 12—12,5%.

Kui restile koguneb paks tuha- ja räbukiht, mis takistab õhu läbivoolu, tuleb see restilt kõrvaldada. Selleks täidetakse katel veega $^3/_4$ veeklaasini ja lastakse kütusekiht restil maha põleda. Seejärel lükatakse kütuse põlevad osad resti ühele poolele, kõrvaldatakse kangi ja roobi abil teiselt poolelt räbukiht ja lükatakse põlevad osad puhastatud restipoolele. Seejärel puhastatakse resti teine pool, jaotatakse kõik põlevad osad ühtlaselt kogu

restile ja visatakse üle resti õhuke kütusekiht. Kui see on süttinud, visatakse kütust täiendavalt juurde. Resti puhastamisel tuleb siiber peaaegu täielikult sulgeda ja jätta avatuks ainult niipalju, et suits ja leek ei tungiks katlamajja. Resti puhastamist tuleb teostada kiiresti.

Antratsiidi puhul köetakse kolle sisse puude, turba või kivisöega, mille järel minnakse üle antratsiidiga kütmisele. Antratsiiti põletatakse paksemas kihis kui kivisütt (kihi paksus 100—225 mm). Kütust visatakse peale ühtlaselt kogu restile ja suhteliselt suuremates kogustes.

Et antratsiit põleb peaaegu leegita ja suitsuta, siis põlemise täielikkuse üle otsustatakse kihi värvuse järgi. Leek kihil peab olema ühtlaselt roosakas. Hele värvus märgib õhu liigsust, tume ja sinise leegiga kiht aga õhu puudust. Räbukiht tuleb hoida paksem, mis väldib resti ülekuumenemist. Antratsiit nõuab põlemisel tugevamat tõmmet. Otstarbekas on kasutada altõhu puhumist, kusjuures rõhk reguleeritakse analoogiliselt kivisöe küttele.

Peene antratsiidi põletamiseks tuleb segada seda paakuva kivisöega.

Resti puhastatakse nagu kivisöe puhul, ainult selle erinevusega, et restile jäetakse osaliselt räbu ja jaotatakse sellele ülejäänud põlevosa. See väldib ka resti räbustumist värske kütuse põlemisel.

Turvast põletatakse plaanrestil kihipaksusega 400 kuni 900 mm, sõltuvalt kütuse niiskusest. Värske kütus visatakse ühtlaselt kogu restile. Põlevat kihti tuleb aeg-ajalt roobitseda ja tasandada. Kütuse pealeviskamisel ja põlemisõhu ning tõmbe reguleerimisel tuleb silmas pidada samu juhiseid mis kütmisel kivisöega

$CO_2$ sisaldus suitsugaasis katla taga peab olema ligikaudu 13%.

Puudega kütmisel hoitakse kihipaksus 600—1500 mm, kusjuures paksemas kihis köetakse jämedaid ja märgi puid. Jämedad halud tuleb lõhkuda peenemaks ja koldesse visata nii, et õhk pääseks neile juurde kõikidelt külgedelt. Põlevat kihti tuleb aeg-ajalt kohendada.

Lendosade põlemiseks lisaõhu andmine pole vajalik, kuna lendosad eralduvad puidust pikkamööda ja jõuavad ära põleda ka restist läbivoolava õhuga.

$CO_2$ sisaldus katla taga tuleb hoida ligikaudu 14%.

## 87. KALD- JA LIIKUMATU TREPPRESTIGA KOLDED TURBA NING PUIDU KÜTTEL

Sissekütmiseks asetatakse resti kald- ja horisontaalsele osale kuiva, kergesti süttivat kütust, mis süüdatakse mitmest kohast. Kui kolde müüritis, eriti võlvid, on küllalt soojenenud, minnakse üle harilikule kütusele. Resti kalle reguleeritakse nii, et põlev kütus ei variseks alla hunnikusse, mis võib põhjustada õhu läbivoolu katkemist ja räbu sulamist ning seetõttu restivarbade põlemist. Kihipaksus hoitakse samades piirides mis plaanrestilgi.

Põlemist juhitakse kas suitsugaasi analüsaatori näitude põhjal või leegi ja suitsu värvuse järgi.

Puhta resti korral peab restialusest ruumist paistma ühtlane punakas tulekuma. Tumedad kohad restil märgivad resti ummistumist, heledad kohad paljakspõlenud kohti restil, kus õhu läbivool on intensiivne.

Kui kütus ei varise resti kaldosal korralikult, tuleb kihti läbi täiteava roobitseda ja restivarbade vahed restinoaga läbi lõigata; põlenud kihti tuleb aeg-ajalt tasandada ja kohendada.

Treppresti puhul tuleb mitu korda vahetuses tuhka astmetelt ettevaatlikult maha roobitseda, mitte lõhkudes põlemispesi, kuna viimased kindlustavad kütuse head läbisoojenemist ja põlemist. Samuti tuleb tuhka aeg-ajalt eemaldada horisontaalselt räburestilt, jättes osa tuhka kald- ja horisontaalresti vahelisse pilusse, et vältida sealtkaudu hulgalist õhu sisseimemist.

$CO_2$ sisaldus suitsugaasis katla taga peab ulatuma puidu puhul ligikaudu 14%-ni, turba puhul 13%-ni.

## 88. ŠAHTKOLDED

Enne sissekütmisele asumist tuleb avada jahutuspalkide ja torude vesijahutus; kui seda tehakse hiljem, kui jahutuspalgid on juba soojenenud, siis nad võivad praguneda. Töötamisel reguleeritakse jahutusvee hulka nii, et väljuva vee temperatuur ei ületaks 80°.

Sissekütmiseks asetatakse räburestile kuivi puid, turvast jm., mis süüdatakse põlema. Täitekolu luuk ja uksed ülemiste ning keskmiste restivarbade kohal (õhupuhumisel vastavad tsoonid) hoitakse suletuina. Kui kütus horisontaalrestil juba põleb, lastakse kuiva kütust täitekolust peale. Selle järgi, kuidas kütus kaldrestil süttib, avatakse eşiteks keskmine ja hiljem ülemine uks, millest peale alustatakse kütmist hariliku kütusega. Kihi-

paksust reguleeritakse vastavalt kütuse niiskusele, kasutades niiskema kütuse puhul paksemat kihti. Kihipaksus hoitakse turba küttel 400—900 mm, puidu küttel 600—1500 mm.

Šaht hoitakse alaliselt kütusega täidetuna ega lasta kütuse pinda vajuda madalamale poolest šahti kõrgusest, et vältida ülemiste restivarbade paljakspõlemist, nende ülekuumenemist ja põlemise režiimi hävimist. Šahti suitsemisel suurendatakse tõmmet koldes ja asetatakse koomale tuharuumi uksed (vähendatakse õhupuhumist).

Peene ja kulva kütuse põletamisel juhitakse koldesse läbi lisaõhukanalite pealtõhku. Kui katla koormus pole eriti suur, vähendatakse õhu andmist läbi ülemise ukse (õhupuhumist ülemises tsoonis), millega väheneb põlemine resti ülaosal. Ülemäärase liigõhuteguri tunnuste puhul (läbipaistev ja lühike leek) tuleb kontrollida, kas kütus pole võlvi taha kinni jäänud ja kas ei esine kihi räbustumist, mis takistab kütuse allapoole liikumist ja põhjustab kihi osalist läbipõlemist. Kütuse kinnijäämise kõrvaldamine torkimisega kui ka kihi tasandamine läbi restivarbade vahede toimub esiseinas olevate uste kaudu. Tekkinud räbu lõigatakse läbi restinoaga. Kihi torkimine läbi täitekolu pole otstarbekas, kuna seetõttu surutakse kütus kokku ja ta libiseb restil veelgi halvemini.

Märja ja suuretükilise kütuse puhul, mis ülemises resti osas veel ei põle, on tarvis sulgeda ülemised uksed, et kütust mitte rohkem jahutada.

Hulgalisel räbu kogunemisel horisontaalrestile tõmmatakse see kald- ja horisontaalresti vahelt kolde põrandale (räbusse jäänud põlevosade täielikuks läbipõlemiseks) ning eemaldatakse siis tuharuumi ukse kaudu. Tuhka trepiastmetelt tuleb kõrvaldada mitu korda vahetuses, jättes puutumata põlemispesad.

Kolde koormust tõstetakse kõikidesse tsoonidesse õhupuhumise ja tõmbe suurendamisega. Koormuse vähendamisel esialgu vähendatakse õhuhulka, seejärel tõmmet. Reguleerida kolde koormust kihipaksusega pole õige.

$CO_2$ sisaldus suitsugaasis katla taga peab olema turba küttel ligikaudu 14%, puidu puhul 15%.

Šahtkolde seiskamisel lastakse kütus restil läbi põleda, vähendatakse järk-järgult tõmmet ja suletakse õhuuksed (vähendatakse õhupuhumist), alates ülevalt. Et vältida täitekolu luugi põlemist ja ülemiste restivarbade ülekuumenemist, lastakse viimaste vahelt koldesse pisut õhku.

## 89. KÄPPRESTIGA JA LIIGUTATAVA TREPPRESTIGA KOLDED PÕLEVKIVI KÜTTEL

Kolle tuleb sisse kütta puude või turbaga. Põlevkiviga sissekütmisel kattuvad külmad küttepinnad raskesti eemaldatava tahma- ja pigikorraga, mis halvendavad soojuse ülekannet katlaveele. Värsket kütust tuleb anda restile võimalikult ühtlaselt, 4—5 kühvlitäie kaupa. Seejuures eraldub korraga vähem lendosi ja nende läbipõlemine on täielikum. Käppresti puhul visatakse kütus ühtlaselt kogu resti pinnale, treppresti puhul resti esiosale. Treppresti puhul on soovitav hoida kütusekolu pidevalt täis, et takistada väärõhu sissepääsu koldesse kolu kaudu. Kütusekihi paksus tuleb hoida ligikaudu 250—350 mm, kuivema ja peenematükilise kütuse puhul vähem, niiskema ja jämedamatükilise puhul rohkem. Suured põlevkivitükid tuleb enne koldesse andmist purustada tükisuuruseni ligikaudu 100—150 mm.

Põlevkivi nõuab korralikuks läbipõlemiseks sagedat resti liigutamist, mida tuleb teha 8—10 korda tunnis, seejuures 2—4 liigutust korraga. Pikemaajalisem resti liigutamine põhjustab põlemata kütuse läbivarisemist.

Paakumisel tuleb kihti pealt roobitseda; sagedane kihi roobitsemine pole soovitav ja seda tuleb teha ainult tarviduse korral. Räburestil (treppresti puhul) hoida paksem tuhakiht, et takistada sealt liigset õhu läbivoolu.

Koldesse tuleb juhtida läbi koldelaes või koldekaelas («kõris») olevate kanalite kaudu lisaõhku ja seda eriti värske kütuse pealeandmisel, mil altõhust ei jätku kiiresti eralduvate lendosade läbipõlemiseks. Kolde temperatuur lendosade põlemiseks peab olema võimalikult kõrge. Tõmmet koldes tuleb hoida 0,5 kuni 1 mm vs.

Altõhu puhumisel tuleb hoida õhu rõhk resti all piirides, mis on tarvilik resti ja kihi takistuse ületamiseks. Liiga suure tõmbe ja altõhu rõhu puhul kistakse suitsugaasidega kaasa palju lendtuhka, mis osaliselt sadestub küttepindadele, osaliselt aga lendub korstna kaudu atmosfääri, saastates ümbruskonda.

Tumepunane leegi värvus ja mustad tahmajooned leegis näitavad õhu puudust, helevalge leek õhu liigsust. $CO_2$ sisaldus suitsugaasis katla taga tuleb hoida ligikaudu 10%.

Katla koormuse tõstmisel tuleb suurendada tõmmet, põlemisõhu hulka ja resti liigutamise sagedust.

Põlevkivi poolgaaskolletes tuleb kütusekihi paksus hoida piirides 250—350 mm, vastavalt põlevkivi tükisuurusele. Jämedatükilise kütuse puhul tuleb kasutada paksemat, peentükilise kütuse puhul õhemat kihti. Liiga suurte põlevkivitükkide (üle 20 cm) koldesse viskamine pole otstarbekas; need tuleb enne

sisseviskamist peenestada. Soovitav on visata koldesse segamini jämedamat ja peenemat kütust. Visates kütust koldesse tihedamini (4—5 korda tunnis) ühtlastes kogustes ning liigutades resti korrapäraste vaheaegade järel, võib saavutada täiesti puhta põlemise. Resti tuleb enne värske kütuse sisseviskamist mõned korrad edasi-tagasi liigutada.

Tuleb hoolitseda selle eest, et õhuventilaatori töötamise ajal tuharuumi uks oleks tihedasti suletud. Kolde- ja tuharuumi ukse avamisel tuleb ventilaator seisata või imitorul olev siiber sulgeda, et vältida suitsu tungimist ruumi.

Tuhka ei tohi eemaldada varem kui ligikaudu 10 minutit pärast viimast resti liigutamist, et tuhas olevad põlemata osakesed jõuaksid läbi põleda.

## 90. KETTRESTIGA KOLDED KIVISÖE KÜTTEL

Enne resti käivitamist kontrollitakse jahutuspalkide jahutusveetorustiku tihedust, õlitorustiku korrasolekut ja täidetakse õlitusseadmed vastava määrdeõliga. Seejärel kontrollitakse kütusepunkri sulguri, kihisiibri ja räburiibaja käigu kergust. Kihisiibri allalastud asendis peab jääma siibri ja restipinna vahele vähemalt 10 mm laiune pilu. Edasi kontrollitakse põlemisõhu jaotust ja resti ning selle ajami seisukorda. Seejärel käivitatakse rest tühjalt kõige väiksema kiirusega ja lastakse töötada mitte alla ühe täistiiru, kontrollides seejuures resti osade töötamist.

Pärast seadme kontrollimist tuulutatakse gaasikäigud, avatakse vesijahutus ja alustatakse sissekütmist. Suletud kütusepunkri sulguri juures avatakse esiseina uksed, tõstetakse kihisiiber ülemisse asendisse ja laotakse restile harv virn puid, laiusega ligikaudu 1 m ja kõrgusega 250—300 mm, ning süüdatakse see kogu laiuses nõrga tõmbe juures. Kui puud on põlema hakanud, suletakse esiseina uksed, asetatakse kihisiiber 80—85 mm kõrgusele restipinnast ja lastakse restile sütt. Seejärel antakse restile maksimaalne kiirus, viiakse süsi 0,75—1 m kauguseni kihisiibrist ja seisatakse ajutiselt rest või lülitatakse ta esimesele käigule; teise tsooni avatakse vähesel määral õhupuhumine. Kütuse süttimisel 450—500 mm kaugusel kihisiibrist suurendatakse resti kiirust ja õhupuhumist, lülitades sisse kolmanda tsooni.

Resti töötamisel reguleeritakse kihipaksust, hoides seda 75—150 mm piirides, vastavalt kütuse omadustele, samuti ka resti kiirust, tõmmet ning altõhku tsoonides. Põlemine restil peab lõppema ligikaudu 500 mm enne räburiibajat.

Katla koormuse tõstmisel tuleb algul suurendada tõmmet ja altõhku ning alles seejärel resti kiirust. Koormuse vähendamisel tuleb algul vähendada õhupuhumist ning tõmmet ja seejärel resti kiirust.

Rest peab töötamisel liikuma pidevalt, ilma peatusteta, mis võivad põhjustada resti osade ülekuumenemist, kõmmeldumist ja restivarbade põlemist. Restivarbade murdumisel purunenud osad eemaldatakse restilt, järelejäänud varvad aga nihutatakse laiali.

Restist läbivarisenud kütus, mis võib tsoonides hakata põlema ja põhjustada sellega resti ning kandekonstruktsiooni ülekuumenemisest tõsiseid vigastusi, tuleb tsoonidest eemaldada vähemalt üks kord tunnis.

$CO_2$ sisaldus katla taga tuleb hoida ligikaudu 13%.

Resti normaalsel seiskamisel tuleb lõpetada kütuse pealeandmine, lasta kihisiiber allapoole, 30—50 mm restipinnast, vähendada resti kiirust, õhupuhumist ning tõmmet. Kui kütusekiht on restil läbi põlenud, suletakse õhuandmine tsoonidesse ning lastakse restil liikuda veel ligikaudu üks tund, kuni kolderuum on jahenenud. Seejärel seisatakse rest, lastakse täielikult alla kihisiiber ja suletakse vesijahutus; tuhapunker ja tsoonialused punkrid tühjendatakse.

Avariilisel seiskamisel suletakse punkrisulgur, tõstetakse üles räburiibaja, avatakse aurujahutus viimases tsoonis ning esiseina uksed ja antakse restile maksimaalne kiirus. Ligikaudu ühe tunni pärast lõpetatakse õhupuhumine ja suletakse jahutusvesi. Avariide puhul, mis nõuavad eriti kiiret tule lõpetamist, kustutatakse tuli vooliku abil veega, vältides vee sattumist tulisele müüritisele.

## 91. KETTRESTIGA SAHTKOLDED TURBA KÜTTEL

Pärast resti ja abiseadmete kontrollimist p. 90 kirjeldatud viisil avatakse kolde esiseina uksed, tuulutatakse gaasikäigud, avatakse jahutusvesi ja süüdatakse resti esiosal tuli (kuivadest puudest). Puude põlemahakkamisel lastakse peale pisut turvast. Kui see on täielikult süttinud, avatakse kütusepunkri sulgur, käivitatakse altõhuventilaator, suletakse esiuksed ja käivitatakse rest esimesel käigul.

Turba järkjärgulisel süttimisel suurendatakse altõhku ja resti kiirust vajaliku määrani. Kihipaksus seatakse 400—900 mm, vastavalt kütuse niiskusele. Kihi osalisel läbipõlemisel tasandatakse seda käsitsi läbi kolde külgseintes olevate uste ja vaateluukide.

Alarõhk kolde ülaosas hoitakse 0,5—1 mm vs, õhu rõhk tsoonides kuni 60—80 mm vs. Resti töötamist reguleeritakse analoogiliselt p. 90 kirjeldatule.

$CO_2$ sisaldus katla taga hoitakse ligikaudu 14%. Puuduliku põlemise tunnuste ilmnemisel suurendatakse altõhu andmist, ja kui sellest ei jätku, juhitakse koldesse pealtõhku.

Suure niiskusega turba põletamisel suurendatakse õhu andmist eeskoldesse ja kui astmed on pööratavad, siis asetatakse viimased nii, et neile jääks peatuma rohkem kütust. Pealtõhku antakse vähem kui kuiva turba puhul; väga niiske turba puhul pealtõhku ei kasutata. Kütusekiht hoitakse võimalikult paksem. Altõhku või tõmmet suurendatakse, resti kiirust aga vähendatakse, sest märg kütus nõuab põlemiseks rohkem aega.

Kolde seiskamisel suletakse kütusepunkri sulgur ja lõpetatakse kütuse pealeandmine ning õhu juhtimine eeskoldesse. Kui kiht eeskoldes on vajunud võlvidest allapoole, lükatakse roobiga põlevad osad ning tuhk astmetelt restile ja katkestatakse õhu juhtimine resti esiosa alla.

Seejärel vähendatakse õhupuhumist (selle puudumisel tõmmet) ja resti kiirust, tasandatakse kihti restil, lõpetatakse õhupuhumine ja suletakse peaaegu täiesti korstnasiiber. Kütuse täielikul läbipõlemisel suletakse siiber täiesti; restil lastakse veel töötada 1—$1^1/_2$ tundi. Lõpuks suletakse jahutusvesi.

## 92. MEHAANILISE TREPPRESTIGA KOLDED PÕLEVKIVI KÜTTEL

Enne sissekütmisele asumist tuleb puhastada restipind kõigist kõrvalistest esemetest (metallosad, tellised, müürimisel varisenud savi jne.) ja kontrollida selle korrasolekut. Lomšakovi resti puhul tuleb hoolsasti järele vaadata, et kõik pinnakatte elemendid oleksid korralikult täidetud ümarateralise raudkivikruusaga (terajämedus 8—10 mm). Seejärel tuleb kontrollida kolde külgseintes olevate resti jahutuspalkide korrasolekut ja jahutusvee läbivoolu; kas restiajam on puhastatud ja ajami osade vahel ei leidu kõrvalisi esemeid. Kõik õlitoosid täidetakse õli või tavotiga. Edasi käivitatakse rest käitamismootori kõige väiksema pöörlemiskiirusega ja selgitatakse, kas restiraamide liikumine pole takistatud. Lomšakovi restil käivitatakse esiteks I raam üksikult, seejärel I ja II raam, siis I ja III raam ja lõpuks kõik raamid koos; kontrolli teostatakse kõikide käikudega, alustades kõige lühemaga. Nimetatud restil kontrollitakse ka märkketast, kas selle lugem on kooskõlas resti käikudega; vastasel korral asetatakse märkketas õigesse asendisse. Järg-

nevalt kontrollitakse kihisiibri korrasolekut ja siibriava kõrguse kooskõla siibriseisu näitajaga, kütuse etteandeseadme korrapärast liikumist, õhu läbivoolu restipinnast ja külgtihendite tihedust.

Seejärel lastakse vesi resti jahutuspalkidesse ja pärast kolde õhutamist tehakse esimestele restiastmetele kergesti süttiva kütusega (laastud, puuhalud, kuiv turvas) nõrk tuli. Õhutsoonidega restil peavad kõik tsoonid olema suletud; esimesse tsooni juhitakse õhku kolde esiseinas olevate avade kaudu. Esimestele restiastmetele tehtud tuld suurendatakse järk-järgult, seejuures jälgides, et kolde eesmine, tulele lähedal olev osa liigselt ei kuumeneks ja et tuli ei satuks kütusekolusse. Resti tuleb aeg-ajalt käivitada, kasutades kõige lühemat käiku. Pärast koldemüüritise küllaldast soojenemist antakse peale põlevkivi. Käivitatakse altõhu ventilaator ja antakse tsoonide kaupa, vastavalt kütuse edasiliikumisele, resti alla õhku. Läbipõlemata pikemate halgude esinemisel on resti käivitamine keelatud.

Kolde töötamisel hoitakse resti jahutuspalkidest väljuva vee temperatuur alla 80°. Alarõhk kolde ülaosas hoitakse võimalikult ühtlane, piirides 0,5—1 mm vs. Altõhu rõhk hoitakse Lomšakovi resti puhul kuni 60 mm vs, Ilmarise resti puhul kuni 20 mm vs; seejuures antakse resti keskossa õhku rohkem, esi- ja tagaossa vähem. Peenpõlevkivi põletamisel Lomšakovi restil kasutatakse normaalsel kihipaksusel — 200 mm — järgmisi altõhu rõhkusid:

| tsoon | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|
| rõhk mm vs | 10 | 25 | 40 | 25 | 10 |

Lendosade korralikuks läbipõlemiseks kasutatakse kütmisel tingimata ka pealtõhku.

Kütusekihi paksus restil hoitakse 150—250 mm. Töötamisel jälgitakse, et kütusekolu oleks pidevalt kütusega täidetud; tekkinud ummistused kõrvaldatakse läbitorkimisega.

Resti lastakse töötada pidevalt, peatusteta, reguleerides resti käiku vastavalt koormusele.

Põlemine peab toimuma kogu restil: kiht peab süttima normaalselt kuni 0,5 m kaugusel kolde esiseinast (kihisiibrist), kihi läbipõlemine peab lõppema 0,25—0,5 m enne tuhapunkri serva; põlemata kütust ei tohi sattuda tuhapunkrisse.

Normaalsel töötamisel kasutatakse kõikide restiraamide (sektsioonide) juures ühtlase pikkusega käike. Kütuse intensiivsel läbipõlemisel resti esi- ja keskosas kasutatakse Lomšakovi resti puhul III raamil ja Ilmarise resti puhul tagumisel liikuval sektsioonil lühemat käiku küllaldase kütusekihi säilitamiseks resti tagaosal. Läbipõlemata kütuse tuhapunkrisse varisemise vältimiseks kasutatakse vastavalt III raamil ja tagumisel resti sekt-

sioonil samuti lühemat käiku. Seejuures suurendatakse viimases tsoonis altõhu rõhku.

Leegi värvus koldes peab olema kollakas. Tume leek mustade joontega näitab õhu puudust, helevalge leek õhu liigsust. Korstnast väljuv suits peab olema helehall. $CO_2$ sisaldus suitsugaasis katla taga tuleb hoida 12%, CO hulk minimaalne.

Auru rõhu tõusul vähendatakse altõhu rõhku, tõmmet, kütuse liikumise kiirust restil (resti käitamismootorile madalam kiirusaste, restiraamidele lühem käik) ja pealtõhu puhumist. Auru rõhu langemisel suurendatakse tõmmet, alt- ning pealtõhu rõhku, kütuse etteandmist ja kütuse liikumise kiirust restil. Seejuures tuleb pidada silmas, et liiga suur ja järsk kütuse ning põlemisõhu lisamine jahutab järsult põlevat kütusekihti, mis võib põhjustada auru rõhu edasist langust.

Tuhk ja räbu kõrvaldatakse punkrist õigeaegselt, kusjuures tuleb silmas pidada, et punkrisulgurid tuha väljalaskmisel oleksid avatud võimalikult vähe aega, et piirata külma õhu pääsemist gaasikäikudesse ja koldesse. Sulgureid tuleb avada ettevaatlikult ja pikkamööda, et tuhas olevate põlemata osakeste järsust süttimisest eemalepaiskuv leek ei põletaks töötajat. Tuhapunkrite tühjendamisel vähendatakse altõhku. Restist läbivarisenud kütus kõrvaldatakse vähemalt 1 kord vahetuses.

Kolde töötamise lõpetamiseks suletakse kütuse juurdevool restile ja lõpetatakse pealtõhu andmine. Tõmme ja altõhu puhumine lõpetatakse, kui kütus on restil küllaldaselt läbi põlenud ja pole karta restipinna rikkumist tule poolt. Resti käitamismootor seisatakse, kui rest on kütusest ning räbust tühi. Juhul, kui kolle kavatsetakse pikemaks ajaks seisma jätta ja seisu ajal restil tuld hoida, peab põleva kütuse lükkama roopidega esimestelt trepiastmetelt järgmistele, et vältida kolde esiosa liigset kuumenemist.

## 93. ŠAHTVESKIGA KOLDED

Enne sissekütmist tuleb kontrollida kõigi mehhanismide — veskite, toitjate, ventilaatorite jt. korrasolekut ja käigu kergust, kõigi ühenduste tihedust ja kolde ning katla korrasolekut. Seejärel käivitatakse tõmbeventilaator ja pärast 3—5-minutilist kolde tuulutamist alustatakse kolde sissekütmist kas muhvelpõleti või õlipihustite abil. Pärast auru rõhu tõusmist 10—15%-ni töörõhust käivitatakse veski suletud šahtisiibri juures tühjalt ja kontrollitakse veski õlitussüsteemi, vesijahutust jm. Seejärel käivitatakse õhuventilaator, juhitakse veskisse õhku ja temperatuuri tõusmisel šahtis 60—70°-ni lülitatakse sisse kütuse toitja ning alustatakse kütuse andmist veskisse. Tolmu-õhu segu süttib koldes õlipihustite või muhvelpõleti leegist. Kui tolm ei sütti,

seisatakse toitja ja tugevdatakse kolde sissekütmist, vähendatakse õhu juhtimist šahti ja alles pärast seda alustatakse uuesti kütuse veskisse andmist.

Tolmu süttimisel ambrasuurile väga lähedal või leegi tõmbumisel ambrasuuri tuleb suurendada õhu juhtimist veskisse. Kui tolm süttib halvasti, tuleb kontrollida, kas tolmu-õhu segu temperatuur šahtis pole langenud allapoole normaalset, ja vajaduse korral vähendada kütuse juurdeandmist õhuhulka muutmata. Tolmuleegi kustumisel tuleb koldes võimaliku plahvatuse tekkimise vältimiseks seisata viivitamatult toitja, tuulutada veski, katkestada õhu juhtimine veskisse ja suurendada tõmmet kolde ning gaasikäikude õhutamiseks. Seejärel tuleb ettevaatlikult veega üle valada tuhalehtrisse sadestunud kütus, avada eemalt pikkamööda tuhalehtri luuk ja lasta põlemata tolm räbukraavi. Ebaõigel talitamisel võib tekkida plahvatus.

Töötamisel tuleb hoolitseda mehhanismide korraliku õlitamise eest. Tuleb jälgida, et kõik kolde mehhanismid töötaksid katkestamatult. Ei tohi lubada veskite tühjalt töötamist, sest kuum gaasi-õhu segu võib põhjustada laagrite kuumenemist ja veskisse ning šahti jäänud tolmu isesüttimist.

Auru rõhku katlas ja katla koormust reguleeritakse väikestes piirides ühe veski abil; ülejäänud veskite koormus jäetakse muutmata. Katla koormust suurtes piirides reguleeritakse kõikide veskitega, jaotades koormuse nende vahel võrdselt.

Veskisse antavat kütuse hulka reguleeritakse toitja abil. Samaaegselt tuleb reguleerida kütuse kuivatamise astet ning primaar- ja sekundaarõhu suhet.

Tuleb jälgida, et ei koormataks üle veski elektrimootorit. Ülekoormuse puhul tuleb seisata toitja niikauaks, kuni ampermeetrid hakkavad näitama lubatud koormust.

Jahvatuse peensust ja tolmu kuivatamise astet reguleeritakse veskisse antava õhu- või õhu-gaasihulgaga. Normaalsel töötamisel peab šahtis olema atmosfääriline või veidi suurem rõhk ja õhu kiirus 1,5—3 m/sec. Õhu kiiruse suurenemisel üle lubatud piiri muutub jahvatus jämedamaks, suureneb mehaaniline kadu, halveneb tolmu süttimine koldes ja võib tekkida kolde tagaseina räbustumine. Õhu kiiruse liigne vähenemine võib põhjustada leegi südamiku lähenemist kolde esiseinale ja selle räbustumist, samuti tolmu süttimist ambrasuuris ja isegi šahtis. Viimasel juhul tuleb viivitamatult katkestada kütuse juurdeandmine veskisse, seisata veski ja tuulutada hästi šaht.

Õhu või gaasi-õhu segu temperatuur eespool veskit hoitakse freesturba puhul 350—400°, põlevkivi puhul kuni 300°; tolmu-õhu segu temperatuur ei tohi ületada 85°. Temperatuuri langemine alla 55—60° pole soovitav, kuna see võib põhjustada tolmu puudulikku süttimist.

Normaalsel põlemisel peab leek täitma ühtlaselt kolderuumi ja olema kollakasvalge värvusega. Põlemine peab algama ligikaudu 0,5 m kaugusel ambrasuurist ja lõppema 1 m enne katlatorude esimest rida. Leek ei tohi ulatuda vastu kolde tagaseina ega madalamale tuhalehtri poolest kõrgusest. Leegist ei tohi tolmu välja sadestuda. Selle esinemisel tuleb vähendada primaaröhku ja suurendada sekundaaröhku läbi alumiste pilude ning kontrollida, kas tolmu-õhu segu temperatuur šahtis pole langenud.

Leegi õiget asendit koldes reguleeritakse sekundaaröhu puhumise ja tõmbega. Leegi tõstmiseks suurendatakse tõmmet ja sekundaaröhu hulka läbi alumiste pilude, vähendades samal ajal sekundaaröhku läbi ülemiste pilude. Leegi langetamiseks vähendatakse tõmmet, vähendatakse sekundaaröhku läbi alumiste ja suurendatakse läbi ülemiste pilude ning kontrollitakse tuhalehtri tihedust.

Leegi eemaldamiseks kolde tagaseinast ja tema toomiseks ambrasuurile lähemale vähendatakse primaaröhu hulka, samuti sekundaaröhku läbi alumiste pilude. Leegi viimiseks tahapoole tuleb tegutseda ümberpöördult. Leegi südamiku asumine ambrasuurile liiga lähedal on ohtlik, kuna see võib põhjustada põlemist veskis.

Ebakindel põlemine koldes (leegi kustumine) võib olla põhjustatud koormuse tunduvast vähenemisest ja kolde madalast temperatuurist. Leegi säilitamiseks tuleb sel puhul viia tegevusse muhvelpõleti või õlipihustid.

$CO_2$ sisaldus suitsugaasis katla taga peab olema põlevkivikütel 13%, freesturba puhul 14%.

Kolde seiskamisel suletakse kütusepunkri sulgur, töötatakse läbi toitja peal olev kütusehulk, seejärel seisatakse toitja, tuulutatakse jahvatusseade, seisatakse veski ja õhuventilaatorid ning suletakse kõik siibrid õhutorustikul.

Avariilisel katla seiskamisel tuleb viivitamatult välja lülitada toitja ja lõpetada kuuma separatsiooniõhu juhtimine veskisse. Tolmu süttimisel šahtis tuleb järsult suurendada kütuse andmist veskisse, katkestada primaaröhu juurdevool ja lasta tule kustutamiseks šahti auru.

Gaasiplahvatuste puhul koldes või katla gaasikäikudes tuleb katkestada tolmu ja õhu andmine koldesse ja seejärel sulgeda tõmme.

Pärast katelseadme hoolikat kontrollimist ja plahvatusklappide ning luukide korrastamist tuleb kontrollida tulepesade puudumist gaasikäikudes. Alles seejärel võib avada tõmbe ning alustada katla normaalset kütmist.

Plahvatusklappide korrasolekut tuleb kontrollida vähemalt üks kord vahetuses.

## 94. KIVISÖETOLMU-KÜTTEKOLDED

Enne katla sissekütmist tuleb hoolikalt kontrollida tolmuvalmistamise süsteemi korrasolekut, käivitada tühjalt tolmutoitjad ja kontrollida nende kaugjuhtimist. Pärast kolde ja gaasikäikude hoolikat tuulutamist alustatakse sissekütmist kas muhvelpõleti või õlipihustite abil. Kolde küllaldasel soojenemisel käivitatakse tõmbeventilaator (kui sissekütmine toimus loomulikul tõmbel) ja reguleeritakse tõmme kolde ülaosas 2—3 mm vs, s. o. veidi suuremaks normaalsest. Seejärel käivitatakse primaarõhu-ventilaator ja 10—20 minutit hiljem sekundaarõhu-ventilaator. Pärast tolmupõletite läbipuhumist õhuga 2—3 minuti vältel käivitatakse tolmutoitja väikese kiirusega, andes algul tolmu ainult keskmistesse põletitesse. Õlipihustid peale ühe või kahe lülitatakse välja, muhvelpõletil lastakse töötada edasi. Pärast kõigi tolmupõletite töösse rakendamist reguleeritakse normaalseks primaar- ja sekundaarõhu hulk. Tõmme kolde ülaosas hoitakse 1—2 mm vs. Katla koormuse tõusmisel 70—80%-ni normaalkoormusest lülitatakse välja kõik õlipihustid.

Leegi kustumisel tuleb viivitamatult katkestada tolmu andmine põletitesse, seisates tolmutoitjad, lülitada välja sissekütmise seade ja samaaegselt suurendada tõmmet kolde ning gaasikäikude tuulutamiseks. Seejärel süüdatakse tolm uuesti. Normaalsel töötamisel peab leek olema kollakasvalge värvusega ja täitma ühtlaselt kolderuumi. Põlemine peab algama põleti suudme lähedal. Leek ei tohi riivata kolde seinu ega ulatuda allapoole tuhalehtri poolest kõrgusest. Põlemine peab lõppema 0,5—1 m enne esimest torurida. Leegist ei tohi tolmu välja sadestuda ning temas ei tohi esineda musti viirge, mis näitab tolmu halba segunemist õhuga ja madalat temperatuuri koldes.

$CO_2$ sisaldus suitsugaasis katla taga peab olema 14—15%. Leegi pikkust ja leegi asetust koldes reguleeritakse primaar- ja sekundaarõhu hulga muutmisega vastavalt kasutatavale põletitüübile.

Veskisse juhitava õhu temperatuuri hoitakse 300—400° piirides, tolmuõhu segu temperatuuri 100—120° piirides.

Katla koormuse tõstmisel suurendatakse tolmuhulka, tõmmet ja põlemisõhku; koormuse vähendamisel vähendatakse algul tolmuhulka, seejärel õhuhulka ning tõmmet.

Plahvatusklapid kolde ülaosas ja esimeses gaasikäigus määritakse tihendamiseks kergelt üle saviga. Klappide seisukorda kontrollitakse vähemalt üks kord vahetuses.

Katla seiskamiseks töötatakse läbi punkris olev tolm, mille järel seisatakse tolmutoitjad. Seejärel puhutakse 10—15 minuti vältel läbi põletid ja tolmutorustik õhuga primaarõhu-ventilaa-

torist või veski ventilaatorist (vahepealse tolmupunkrita süsteemides). Pärast seda seisatakse õhuventilaatorid.

Tõmbeventilaatoril lastakse pärast põletite läbipuhumist töötada 5—10 minutit, mille järel lülitatakse katel loomulikule tõmbele. Kõik luugid, vaateavad, siibrid jm. suletakse tihedalt.

Katla kuuma reservi jätmisel tolmu punkrites läbi ei töötata; seiskamine toimub kirjeldatud järjekorras.

Katla kiire või avariiline seiskamine toimub alltoodud järjekorras.

1) Vahepealse tolmupunkriga süsteemide korral:
   a) lülitatakse välja tolmutoitjad;
   b) seisatakse primaarõhu-ventilaator;
   c) seisatakse katla ventilaatorid.
2) Vahepealse tolmupunkrita süsteemide korral:
   a) lülitatakse välja veskitoitjad;
   b) lülitatakse välja veski ventilaator;
   c) seisatakse katla ventilaatorid;
   d) seisatakse veski.

Et tolmu ja õhu segu on plahvatusohtlik, siis tuleb tolmu põletamisel võtta kasutamisele rida ettevaatusabinõusid: ei tohi lubada tolmu kogunemist ehitusosadele, katla müüritisele jm., kus ta ise võib süttida; hoida tihedasti suletuna kõik reservuaarid ja mehhanismid, sest sel puhul viimastes süttinud tuli kustub ise (tekkiva süsihappegaasi tõttu). Enne kolde käivitamist tuleb läbi kombata kõik ebakindlad kohad, eriti tolmutorustiku horisontaalsed osad. Ei tohi lubada tolmu-õhu segu temperatuuri tõusmist tagapool veskit üle juhistes ettenähtud määra. Eriti ohtlikud on järsud kütuse etteandmise katkemised, kuna edasi puhuv kuum õhk kuivatab tolmu üle.

Tolmu põlemise tunnuste ilmnemisel gaasikäikudes ja eespool põleteid tuleb viivitamatult katkestada tolmu ja õhu juurdeandmine. Kuuma tolmu ei tohi liigutada, kuna ta kohevaks muutumisel plahvatab; kuuma tolmu ei tohi valada üle ka veega. Parimaks vahendiks tolmu kustutamiseks on süsihappegaas või aur, milleks peab katlamaja olema varustatud eriliste keemiliste kustutusseadmetega või vastava aurutorustikuga.

Vigastuste vältimiseks tolmu plahvatamisel varustatakse tsüklonid, veskid, ventilaatorid ja kolded kaitseklappidega.

## 95. ÕLIKÜTTEKOLDED

Enne pihustite süütamist tuleb kolle hoolikalt tuulutada. Koldesse tehakse puudest tuli ja alles pärast kolde küllaldast soojenemist minnakse üle õliküttele.

Auruga pihustamisel puhutakse läbi aurutorustik ja pihustid. Seejärel avatakse pihustusaur ja pärast seda vähesel määral õli; seiskamisel suletakse enne õli, siis aur. Pihusti leek süüdatakse harilikult õlise kaltsuga või takkudega, kusjuures tuleb seista kõrval, et koldest väljapaiskuv leek ei põletaks. Kui õli süütamine ei õnnestunud ja koldesse voolas õli, ei tohi süütamiskatset kohe korrata, vaid kolle tuleb enne tuulutada. Vastasel korral võib tekkida plahvatus. Katla koormust reguleeritakse õli ja pihustusauru hulgaga, samaaegselt reguleerides põlemisõhu hulka.

Suruõhuga pihustamisel avatakse enne õhk, siis õli. Kütmise lõpetamisel suletakse enne õli, siis õhu juurdevool.

Mehaanilisel pihustamisel enne käivitamist tuleb puhastada pihustid, filtrid ja kontrollida nende korrasolekut. Õli peab olema küllaldaselt ette soojendatud, kusjuures mehaaniliste pihustite puhul peab eelsoojendus olema kõrgem. Põlevkivikütteõli nõuab eelsoojendust 60—80°, masuut 55—60° (mõned sordid 100—150°). Külma õli puhul on pihustamine puudulik ja põlemine seetõttu mittetäielik. Õlipiisad, mis ei jõua hõljudes ära põleda, kukuvad kolde seintele, kus lendosad auravad õlist välja ja jääb järele koks, mis kolde seintel ei põle. Viimane tuleb aeg-ajalt kõrvaldada lahtilöömisega.

Pihusti leegi kustumisel tuleb õli juurdevool sulgeda, kolle tuulutada ja alles seejärel pihusti uuesti süüdata.

Õige liigõhuteguri puhul ($\alpha = 1{,}15—1{,}25$) on pihusti leek oranžkollane. Hele, sätendav leek märgib õhu liigsust, tume, mustade joontega leek ning tihe suits — õhu puudust.

$CO_2$ sisaldus katla taga tuleb hoida 13—14%. Pihustite seiskamisel tuleb nad pöörata koldest välja, et ebatiheduste tõttu väljatilkuv õli ei aurustuks kuumas koldes ega moodustaks plahvatusohtlikke gaase.

## 96. GAASIKÜTTEKOLDED

Gaasiga kütmisel on võrreldes tahkekütusega järgmised eelised:

a) leegi temperatuur koldes on kõrge (1100—1550°);
b) soojusülekanne koldegaasidelt katlaveele on parem, sest küttepinnad ei kattu lendtuhaga ja põletite õigel töötamisel ei teki gaasi põlemisel tahma, mis sadestub küttepindadele;
c) põletite töö reguleerimine on lihtne;
d) kütuse hoidmiseks pole tarvis laoruume;
e) õhku ega ruume ei saastata kütuse ega selle põlemisjäägidega.

Loetletud eeliste kõrval esinevad gaasiga kütmisel ka gaaside omadustest tingitud olulised puudused:

a) põlevgaasid, eriti kunstlikud gaasid, mis sisaldavad suuremal hulgal vingugaasi (CO), on mürgised ja kahjustavad seetõttu inimese tervist;
b) kõik põlevgaasid moodustavad teatavas vahekorras õhuga plahvatava segu;
c) kõik põlevgaasid on värvitud (s. o. nähtamatud) ja enamasti ei oma iseloomustavat lõhna. Seega on raskendatud gaasitorustiku ebatiheduste avastamine. Gaasitorustiku ja armatuuri tihedus on aga ohutu töötamise peamiseks tingimuseks.

Selleks et kergemini oleks võimalik avastada gaasi tungimist ruumidesse, lisatakse gaasile enne selle juhtimist linna gaasivõrku eriliselt lõhnavate vedelikkude auru. Seda gaasi lõhnastamise protsessi nimetatakse odoriseerimiseks.

Peale selle peavad gaasid enne linna gaasivõrku juhtimist olema puhastatud väävelvesinikust, ammoniaagist, rasketest õlidest ja naftaliinist. Väävelvesinik ja ammoniaak põhjustavad torustiku ja armatuuri sööbimist, naftaliin ja rasked õlid — ummistumist. Väävelvesinik on peale selle veel mürgine.

Et gaas plahvataks või põleks, peab ta olema segatud teatava hulga õhuga. Plahvatusohu vältimiseks peab gaasi huik õhus olema suurem või väiksem tabelis 6 toodud piiridest. Mida laiemad on gaasi plahvatuspiirid, seda suurem võimalus on plahvatuseks. Sellest selgub, miks gaasiga töötamisel tuleb pidevalt jälgida gaasitorustiku ja armatuuri tihedust. Kütmisel tuleb kindlustada, et katla koldes, suitsukäikudes ega katlaruumis ei tekiks ohtlikku segu.

Gaas juhitakse linna gaasivõrku kas otse gaasivabrikust või gaasi kaugjuhtmest erilise jaotusjaama kaudu teatava kindla rõhuga. Rõhku piirides 0—200 mm vs nimetatakse madalrõhuks, 200—10 000 mm vs — keskrõhuks ja 1—3 atü — kõrgrõhuks.

Katelde kütteks kasutatakse kas madal- või keskrõhulist gaasi rõhuga mitte üle 0,3 atü. Mida kõrgem on gaasi rõhk torustikus, seda suuremad on võimalused ebatiheduste kaudu gaasi tungimiseks ruumi. Rõhu alandamine toimub gaasi regulaatorjaamades, mis võivad asuda kas otse katlamajas või eraldi ruumides.

Kütteväärtuse järgi eristatakse kolme liiki gaase:

| | | |
|---|---|---|
| kõrge kalorsusega | — üle | 7500 kcal/nm³ |
| keskmise „ | — 3000— | 7500 „ |
| madala „ | — alla | 3000 „ |

Enne gaasiseadme kütmise alustamist tuleb veenduda, et katlamajas ei oleks tunda gaasi lõhna. Katlaruum

tuleb hästi läbi tuulutada; selleks avatakse ventilatsioon või käivitatakse ventilaator.

Kui on tunda gaasi lõhna, ei tohi alustada kütmist, vaid sellest tuleb teatada katlamaja gaasiseadmete eest vastutavale isikule. Seejärel avatakse katlasiiber ja koldeuks suitsukäikude läbituulutamiseks. Seejuures kontrollitakse tõmmet tõmbemõõtja või koldeukse juurde asetatud pabeririba abil.

Kütmise alustamiseks tuleb kontrollida gaasitorustiku kogu aparatuuri ja kõiki kraane ning siibreid; torustiku kõik siibrid ja kraanid peavad olema kinni, läbipuhumistorustiku kraanid (küünlakraanid) — lahti.

Kui põlemiseks vajalik õhk antakse koldesse ventilaatoriga, tuleb see käivitada ja läbi puhuda põletid ning suitsukäigud. Seejärel avatakse manomeetrikraanid ja esimene siiber gaasitorustikul. Lasknud gaasi torustikku, tuleb see küünalde kaudu läbi puhuda (3—5 minutit).

Kui katel käivitatakse esmakordselt pärast suvist vaheaega, remonti või muudest põhjustest tingitud pikemat seisakut, siis tuleb kontrollida gaasi põlemist, milleks lastakse gaas nõuetekohasesse erinõusse ja süüdatakse seal. Põleti süütetuld võib süüdata ainult sel juhul, kui ollakse täiesti veendunud, et seisakuperioodil ei sattunud gaasitorustikku õhku.

Veendunud, et gaas põleb normaalselt, süüdatakse süütetuli, suletakse õhusiiber (inžektsioonpõletil pööratakse õhu reguleerimise seib paremale kuni lõpuni), viiakse süütetuli koldesse põletisuudme juurde ja veendutakse, et süütetuli põleb. Seejärel avatakse põleti gaasisiiber ja lastakse gaas põletisse. Kui gaas süttib valgustava leegiga, tuleb lisada veel pisut gaasi ja õhusiibri (seibi) ettevaatliku avamisega juhtida põletisse õhku. Leegi värvuse järgi reguleeritakse põletisse antav õhuhulk gaasi täielikuks põlemiseks parajaks. Pärast neid operatsioone võib sulgeda küünlakraani, eemaldada süütetule koldest ja asetada oma kohale (kui see konstruktsioonist tingituna ei ole ette nähtud alaliselt põlevana), vähendada kraaniga süüteleeki ning jälgida viimase järgi gaasivoolu. Gaasitorustikust läbipuhumine lõpetatakse, kui küünlast (samuti süütepõletist) väljub puhas gaas. Kui katlamajas asub regulaatorjaam, tuleb küünal hoida avatuna kuni esimese põleti süütamiseni, sest juhul kui regulaatorseadmest ei voola läbi gaasi, võib see tööst välja langeda.

Esimese 20—30 minuti jooksul hoitakse gaasi rõhk põleti ees minimaalne (vastavalt instruktsioonile antud katla ja põleti kohta). Kui kolderuumi tulekindel vooderdus hakkab helendama, võib põleti koormust suurendada kuni maksimumini, suurendades vaheldumisi gaasi- ja õhuhulka ja jälgides seejuures pidevalt leeki koldes.

Gaasikolde seiskamiseks tuleb viia põleti koormus miinimumini, milleks vähendada vaheldumisi gaasi- ja õhuhulka. Edasi tuleb kiiresti sulgeda põleti gaasisiiber (kraan) ja veenduda, et leek kustus. Sel juhul võib kindel olla, et siiber on tihe. Kui leek ei kustu, tuleb siiber uuesti avada, jätta põleti töötama minimaalrõhul ning sellest teatada katlamaja vanemale. Kütmise lõpetamine toimub sel korral tema juhiste kohaselt. Kui katlamaja vanem puudub, kuid töötamine tuleb siiski lõpetada, suletakse ka järgmine siiber gaasitorustikul ja avatakse nende vahel asuv küünlakraan. Vastavasse raamatusse tuleb sel korral järgnevale kütjale teadmiseks teha märkus, et põletisiiber on ebatihe ja siibrile kinnitada silt pealkirjaga «Siiber laseb läbi».

Pärast põlemise lõppemist koldes ja katlamaja peasiibri sulgemist tuleb õhuventilaator jätta suitsukäikude tuulutamiseks töötama 10—15 minutiks. Seejärel suletakse õhuvool, seisatakse ventilaator ja suletakse suitsukäigu siiber katla taga.

Töötamise ajal tuleb tähelepanelikult jälgida gaasi ja õhu rõhku põleti ees ja vältida nende kõikumist üle lubatava piiri. Põlemine peab olema rahulik. Leek ei tohi eemalduda põleti suudmest ega lüüa segunemiskambrisse sisse. Leegi värvuse järgi tuleb otsustada põlemise täielikkuse üle ning seile saavutamiseks vastavalt reguleerida põletisse antavat gaasi- ja õhuhulka.

Katla koormuse suurenemisel tuleb esialgu suurendada gaasi-, siis õhuhulka, koormuse vähenemisel — vastupidi. Koldes valitsevat tõmmet reguleeritakse korstnasiibriga. Tõmme kolde ülaosas tuleb hoida piirides 0,5—1 mm vs.

Pidevalt tuleb valvata gaasitorustiku ja armatuuri tiheduse järele.

Gaasiseadmed peavad olema hästi valgustatud. Katelseadme töötamise näitajad tuleb regulaarselt sisse kanda vastavasse raamatusse.

Gaasiküttel töötav kolle tuleb viivitamata seisata järgmistel juhtudel:

1) gaasivoolu ootamatul täielikul katkemisel;
2) gaasi rõhu langemisel põletite ees alla lubatud miinimumi;
3) õhuvoolu katkemisel põletisse (ventilaatori seismajäämisel);
4) gaasi rõhu tugeval ja järsul tõusul põleti ees (põhjustatud regulaatori või kaitseklapi korratustest);
5) gaasileegi kustumisel koldes;
6) tulekahju või selle ohu puhul katlamajas;
7) kõikidel juhtudel, mis on ette nähtud katlainspektsiooni «Eeskirjades katlamaja personalile».

Tugeva gaasilõhna ilmnemisel katlamajas tuleb:

1) kustutada kõik lahtised tuled, nende hulgas ka põletid;
2) avada katlaruumi uksed ja aknad;
3) kontrollida gaasitorustiku kõiki kraane, siibreid ja ühenduskohti;
4) teatada sellest katlamaja vanemale või selle puudumisel linna gaasivõrgu avariiteenistusele;
5) otsida gaasi läbilaskekohti seebilahuse abil, hääle või lõhna järgi.

Kuni gaasi väljavoolu likvideerimiseni on põletite süütamine ja kütmise jätkamine keelatud.

# XVIII. AURUKATELDE TEENINDAMINE

## 97. KATLA ETTEVALMISTAMINE SISSEKÜTMISEKS

Enne sissekütmisele asumist tuleb teha järgmised tööd.

1) Korrastada kütja tööriistad; veenduda, et oleks varuks ettenähtud määral tihendeid, veeseisunäitaja klaase ja määrdeõli ning küllaldasel hulgal kütust ja toitevett.

2) Kui katel on avatud, teha selle sisemine ülevaatus ja jõuda selgusele, kas ei leidu ohtlikke vigastusi, kas katel on korralikult puhastatud ja kas ei leidu katlas kõrvalisi esemeid. Seejärel sulgeda hoolikalt pääsuluugid ja teha katla veesurveproov töörõhu juures.

3) Vaadata väliselt üle katla müüritis ja gaasikäigud. Veenduda katla küttepindade ja gaasikäikude puhtuses, võlvide, vaheseinte, luukide ja uste korrasolekus. Kontrollida, kas on eemaldatud pimeäärikud auru-, toite- ja läbipuhumistorustikult, kas gaasikäikude klapid ning siibrid sulguvad tihedasti ja liiguvad kergesti.

4) Veenduda armatuuri ja garnituuri korrasolekus. Kontrollida kaitseklappe, ventiilide ja siibrite tihenduspukse ja ventiilivarraste korralikku õlitamist, samuti ka kolde- ja gaasikäikude plahvatusklappide korrasolekut, kui need on olemas.

5) Kontrollida abiseadmete (tõmbeventilaatorite, alt- ja pealtõhu-ventilaatorite, toiteseadmete jt.) korrasolekut — kas laagrid on korralikult õlitatud, kas õlitusrõngad asetuvad võllil õieti, kas on korras laagrite vesijahutus ja kas tihenduspuksid on korralikult pingutatud.

6) Täita katel veega *madalaima* lubatud veeseisuni (soojenemisel vesi paisub ja veepind tõuseb). Samuti täita veega toitevee-ökonomaiser. Kui katelt täidetakse toitepumbaga, siis pumbata vesi läbi ökonomaiseri. Pärast katla täitmist veega sulgeda toiteventiil ja jälgida, kas veepind klaasis ei lange. Kui see esineb, avastada lekkimiskoht ja kõrvaldada lekkimine.

7) Õhu väljalaskmiseks katlast avada õhukraan; viimase puudumisel tõsta üles üks kaitseklapp või sulgeda veeklaasi kraan veeosal ja avada veeklaasi läbipuhumiskraan (kahe veeklaasi olemasolu korral).

8) Lülitada gaasivoolust välja ökonomaiser ja õhueelsoojendi, milleks avada möödakäigu ning sulgeda ökonomaiseri ja õhueelsoojendi gaasikäigu suitsuklapid. Kui puudub võimalus ökonomaiseri väljalülimiseks, ühendada viimase alumine kollektor katla veeruumiga. Aurutusökonomaiseri puhul tuleb avada viimase retsirkulatsioonitorustik.

9) Ülekuumendi peab olema ühendatud katla aururuumiga ja, kui seda võimaldab katla konstruktsioon, olema välja lülitatud gaasivoolust. Avada ülekuumendi kollektorite läbipuhumine, mis lõpetada pärast katla lülitamist magistraali. Ülekuumendi täitmine veega katla sissekütmisel pole lubatud.

10) Vahetult enne sissekütmist tuleb kontrollida veel veeseisunäitajate korrasolekut ja veetaset katlas. Osutub veepind madalamaks, kui on lubatud, tuleb katelt täiendavalt täita.

11) Kontrollida, kas vee- ja auruventiilid (siibrid) katla juures on õieti avatud ning suletud. Avatud peavad olema: toiteventiilid, ventiil katla ja ülekuumendi vahel (selle olemasolul) ja ülekuumendi läbipuhumisventiilid; suletud peavad olema: katla ja ökonomaiseri läbipuhumisventiilid, auruventiilid.

12) Tuulutada (ventileerida) kolle ja gaasikäigud, milleks loomuliku tõmbe korral avada gaasikäikude siibrid 10—15 minutiks, kunstliku tõmbe korral aga käivitada tõmbeventilaatorid vähemalt 3—5 minutiks.

## 98. KATLA SISSEKÜTMINE

1) Katelt võib sisse kütta ainult katlamaja administratsiooni loal, kes teeb selle kohta vastava sissekande vahetuseraamatusse. Sissekütmise ajast peab teadlik olema kogu vahetuse personal.

Sissekütmine peab toimuma pikkamööda, et anda aega müüritise ja katlaosade läbisoojenemiseks. Sissekütmise kestus määratakse igale katlale eriinstruktsiooniga. Üldreeglina kestab sissekütmine:

| | |
|---|---|
| leegitorukateldel | 8—10 tundi |
| suitsutorukateldel | 6 „ |
| horisontaalveetorukateldel | 4 „ |
| püstveetorukateldel | 2—3 „ |

Kiirel sissekütmisel tuleb kasutada abinõusid vee temperatuuri ühtlustamiseks katla ülemises ja alumises osas: korraldada kunstlikult vee tsirkuleerimist katlas, milleks pumbata katla alumisest osast külma vett ülemisse ossa või aeg-ajalt katelt, samuti ka ekraanide alumisi kollektoreid läbi puhuda (kuni $^1/_2$ klaasi korraga) ning anda seejärel katlasse vett juurde.

2) Kuni rõhk katlas puudub, kontrollida luukide ja äärikute tihedust ja lekkimisel neid täiendavalt kinnitada.

Auru tekkimisel sulgeda õhukraan (kaitseklapp, veeklaasi läbipuhumine). Jälgida, kas manomeetri osuti hakkab liikuma. Vastasel korral tuleb tuld koldes vähendada ja selgitada osuti liikumatuse põhjus.

3) Rõhu juures 0,5—1 atü puhuda läbi manomeetri silmustoru (kuni väljub auru), veeseisunäitajad ja proovikraanid. Käivitada toiteseadmed ja kontrollida nende töötamist.

Äärikute ja luukide polte on lubatud täiendavalt pingutada ainult hariliku mutrivõtmega ja katlamaja eest vastutava isiku juuresolekul, seejuures:

a) kateldel töörõhuga üle 6 atü rõhuni katlas kuni 3 atü;

b) kateldel töörõhuga kuni 6 atü rõhuni katlas mitte üle 50% töörõhust. Kõrgema rõhu puhul on tihendite täiendav pingutamine k e e l a t u d.

4) Sissekütmisel kontrollida, kas vee temperatuur ökonomaiseris ei tõuse, mis võib olla põhjustatud gaasikäigu klappide ebatihedusest või ebaõigest asendist.

5) Katla ühendamisel üldise aurutorustikuga peab rõhk katlas olema võrdne üldise aurutorustiku rõhuga.

Enne katla ühendamist magistraaliga kontrollida toiteseadmete töötamist ja vähendada põlemist koldes, et rõhk katlas tõuseks aeglasemalt. Läbi puhuda veeklaasid, mille järel kontrollida veeseisu katlas.

6) Katel ühendada magistraaliga auruventiili (siibri) avamisega auruülekuumendi ja magistraali vahel; ventiil tuleb avada pikkamööda ja ettevaatlikult.

Torustik enne soojendada ja läbi puhuda (vt. p. 102).

Kui katla lülitamisel aurumagistraali tekivad aurutorustikus tõuked või hüdraulilised löögid, tuleb auru laskmine torustikku viivitamatult lõpetada, vähendada põlemist koldes ja suurendada aurutorustiku läbipuhumist.

Koos rõhu tõusuga katlas tuleb vastavalt vähendada ka auruülekuumendi läbipuhumist ning see täielikult lõpetada pärast katla ühendamist aurutorustikuga.

7) Pärast seda, kui algab auru võtmine katlast, lülitada gaasikäiku toitevee-ökonomaiser, milleks avada alguses gaasikäigu klapid ja seejärel sulgeda möödakäigu klapid; vastupidine järjekord võib põhjustada leegi väljapaiskumist koldest. Mitte väljalülitatava ökonomaiseri puhul tuleb lahutada selle alumised kollektorid katla veeruumist. Õhueelsoojendi lülitatakse gaasikäiku, kui väljuvate suitsugaaside temperatuur on tõusnud üle 180°. Lülitamine peab olema tingimata teostatud enne, kui suitsugaaside temperatuur on tõusnud üle 350°.

8) Pärast katla ühendamist aurutorustikuga tuleb veelkordselt kontrollida veeseisu katlas, katla üldist seisukorda, armatuuri ja kõiki abiseadmeid.

Katla sissekütmise algus ja katla töösse lülitamise aeg tuleb sisse kanda vahetuseraamatusse.

## 99. KATLA JÄRELEVALVE TÖÖTAMISEL

Kütja ülesandeks katla töötamisel on:

a) kindlustada igal koormusastmel vastava auruhulga saamist nõutud parameetritega (rõhk, temperatuur);

b) tagada katelseadme kindel, ohutu ja avariita töötamine;

c) ökonoomse koldeprotsessi juhtimine ja katla järelevalve;

d) puhtuse ja korra hoidmine katlamajas.

Auru rõhk tuleb hoida pidevalt manomeetri punasel joonel. Manomeetri osuti peab liikuma rõhu muutusel kergesti. Tuleb jälgida, et lubatud piirrõhu ületamisel suuruse võrra, mis on märgitud katla teenindamise juhendites, avaneksid kaitseklapid.

Rõhu langemisel katla koormuse suurenemise tõttu tuleb suurendada kütuse- ja õhuhulka ning resti käiku (käsitsi liigutatava resti puhul resti liigutamise sagedust).

Rõhu tõusmisel vähendada kütuse- ja õhuhulka ning resti käiku ja toita katelt intensiivsemalt.

Ülekuumendatud auru temperatuuri tõusmisel üle normaalse juhtida osa suitsugaase ülekuumendist mööda (möödakäigu olemasolul) või vähendada suitsugaaside temperatuuri ülekuumendi ees. Selleks puhuda tahmast puhtaks katlatorud esimeses gaasikäigus, samuti ekraanitorud, ülekuumendi aga jätta puhumata; vähendada võimalust mööda liigõhutegurit (s. t. tõsta $CO_2$ sisaldust suitsugaasides); vähendada katla koormust; piirata niiske auru võtmist tööstusse.

Ülekuumenduse temperatuuri langemisel puhuda tahmast puhtaks ülekuumendi ja võimaluse korral suurendada katla koormust ning niiske auru võtmist tööstusse.

Valvekütja on kohustatud:

1) Hoidma veetaset katlas pidevalt normaalkõrgusel (kõikumine mitte üle 20 mm üles ja alla), milleks katelt toita ühtlaselt. Veetaseme tõusmisel üle normaalse tuleb valvekütjal:

a) jõuda selgusele, kas katla koormus pole vähenenud;

b) sulgeda täielikult või osaliselt katla toitmine;

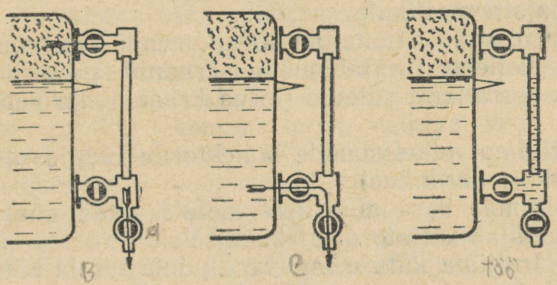
c) kui põhjus pole selge, teatada sellest vahetuse ülemale või katlamaja eest vastutavale isikule.

Veetaseme langemisel:

a) jõuda selgusele, kas katla koormus pole suurenenud;
b) läbi puhuda veeklaasid;
c) kontrollida rõhku toitetorustikus; puuduliku rõhu puhul lülitada töösse lisatoitepump;
d) kui toitmine toimub automaadiga, lülitada kätel ümber käsitsi toitmisele.

2) Hoolitsema ja nõudma, et veeseisunäitajad oleksid hästi valgustatud ja töökorras. Veeseisunäitaja klaas peab olema puhas seest- ja väljastpoolt ning veetase klaasis hästi nähtav (vesi peab klaasis pisut kõikuma).

3) Veeklaasid kateldel töörõhuga kuni 22 atü läbi puhuma vähemalt üks kord vahetuses; kateldel töörõhuga üle 22 atü vastavalt erijuhistele. Veeklaaside kraane (ventiile) avada ja sulgeda (joon. 232) p i k k a m ö ö d a:
a) avada läbipuhumiskraan;
b) sulgeda veekraan (puhutakse läbi auruosa ja klaas);
c) avada veekraan ja sulgeda aurukraan (puhutakse läbi veeosa). Vastupidises järjekorras avamisel võib tekkida tugev veelöök, mille tagajärjel klaas võib puruneda;



Joon. 232. Veeklaaside läbipuhumise skeem.

d) avada aurukraan ja sulgeda läbipuhumiskraan. Veetase klaasis peab läbipuhumiskraani sulgemisel tõusma kiiresti; aeglane tõus näitab ummistust, mis tuleb kõrvaldada kraani ja toruosa läbitorkimisega.

4) Kontrollima kateldel töörõhuga kuni 22 atü kord vahetuses (töörõhuga üle 22 atü erijuhiste kohaselt) manomeetrit, milleks viimane ühendada pikkamööda atmosfääriga. Seejuures peab osuti langema nullile. Manomeetrisse auru laskmine pole lubatud, et manomeetri mehhanism ei kuumeneks ega rikneks.

5) Kontrollima proovikraane. Seejuures alumisest kraanist peab väljuma vesi, ülemisest aur ja keskmisest auru-vee segu.

6) Kontrollima läbipuhumise teel (klappide kergitamisega)

kaitseklappide korrasolekut järgmise sagedusega: kateldel (auruülekuumenditel, ökonomaiseritel) töörõhuga kuni 22 atü puhuda iga kaitseklapp läbi vähemalt üks kord ööpäevas; kateldel töörõhuga 22—60 atü kaitseklapid järjekorras läbi puhuda, vähemalt üks klapp ööpäevas; üle 60 atü rõhuga kateldel — mitte harvem kui katla 1000 töötunni järel.

Üle 22 atü rõhuga katelde, auruülekuumendite ja ökonomaiserite kaitseklappide töötamist tuleb kontrollida vahetuse eest vastutava isiku juuresolekul ja kontrollimise tulemused kanda sisse vahetuseraamatusse.

Kaitseklappide hoovad peavad pöörlema poltidel vabalt. Kontrollkaitseklapi kate peab olema lukustatud ja plommitud. Rangelt on keelatud kaitseklappide kinnikiilumine, neile lisaraskuste asetamine või raskuste edasinihutamine hoobadel.

7) Kuni 22 atü töörõhuga katelde toiteseadmete korrasolekut kontrollima vähemalt üks kord ööpäevas sel teel, et iga toiteseade lülitatakse lühiajaliselt töösse. Üle 22 atü rõhuga katelde toiteseadmeid tuleb kontrollida erijuhiste kohaselt.

8) Hoolitsema, et katla armatuur oleks puhas. Ventiilide, kraanide ja siibrite avamine ning sulgemine peab toimuma pikkamööda ja ettevaatlikult.

9) Kontrollima, et katla, ülekuumendi, ökonomaiseri ja ekraanide kollektorite läbipuhumiskraanid (ventiilid) oleksid tihedad ja korralikult suletud (torud kraani taga peavad olema jahedad).

10) Jälgima, et ekraanide kollektorite luugid oleksid tihedad (puuduks auramine).

11) Jälgima, kas müüritises pole kuulda ebaloomulikku müra, mis vihjab katlatorude lekkimisele.

12) Kontrollima kütuse tagavara punkrites ja kütuse korralikku juurdevoolu punkritest. Ummistused kõrvaldada.

13) Jälgima pidevalt põlemist koldes ja resti töötamist: kihi süttimist, kihipinna paakumist, kihi korralikku läbipõlemist (tuhapunkrisse peab varisema läbipõlenud tuhk) ja koldeseinte ning katlatorude räbustumist.

14) Jälgima tuhapunkrite täitumist. Hoolitsema, et tuhk eemaldatakse punkritest õigeaegselt.

15) Pidevalt jälgima katla mõõteriistade näitusid ja märkima need katlamaja päevikusse kindlaksmääratud ajavahemike järel.

16) Mitte lubama kõrvaliste isikute tulekut katlamajja. Viimased võivad tulla katlamajja ainult administratsiooni eriloal ja katlamaja eest vastutava isiku saatel.

Katla töötamise ajal on keelatud teha surve all oleva seadme juures mingeid remonttöid, näiteks temmida õmblusi, keevi-

tada, paigutada kohale luuke jne. Nimetatud tööde tegemiseks tuleb seade või seadmeosa vabastada rõhu alt.

On keelatud jätta katelt järelevalveta kas või lühikesekski ajaks, kui koldes on tuli ja rõhk katlas pole langenud atmosfäärirõhuni, välja arvatud katlad, millel puudub tellismüüritis ja kus rõhu täielik alandamine kuni atmosfäärirõhuni pole kohustuslik (kui katlamaja uksed lukustatakse).

Teenindav personal on kohustatud märkima vahetuseraamatusse kõik vahetuse ajal märgatud puudused ja nõudma nende kõrvaldamist esimesel võimalusel.

## 100. ÖKONOMAISERI, ÕHUEELSOOJENDI JA ÜLEKUUMENDI HOOLDAMINE

1) Kontrollida armatuuri töötamist, jälgida mõõteriistade näitusid ja müüritise, garnituuri ning ökonomaiseri osade seisukorda.

2) Perioodiliselt, kindlaks määratud aja järel märkida suitsugaaside ja toitevee temperatuurid ökonomaiseri ees ja taga.

3) Ökonomaiserit toita ainult veega, mis on soojendatud temperatuurini, mille juures ei teki higistamisnähtust (vt. p. 48).

4) Ökonomaiserit tuleb toita pidevalt, sest katkestatud toitmisel võib ökonomaiseris olev vesi üle kuumeneda ja hakata keema (vt. p. 48). Ökonomaiserist väljuva vee temperatuur peab olema ligikaudu 30—50° madalam vee temperatuurist katlas. Temperatuuri tõusmisel üle nimetatud määra tuleb juhtida osa suitsugaase ökonomaiserist mööda.

5) Ökonomaiserist väljuva vee temperatuuri langemisel selgitada selle põhjus, milleks võib olla möödakäigu siibrite (klappide) ebatihedus, ökonomaiseri torude kattumine lendtuhaga, katlakivi tekkimine või suitsugaaside temperatuuri langemine ökonomaiseri lekkimisest.

6) Märkida regulaarselt ööpäevaraamatusse suitsugaaside ja õhu temperatuurid õhueelsoojendi ees ja taga. Mitte lubada väljuvate suitsugaaside temperatuuri langemist madalamale ekspluatatsioonijuhistes ettenähtud määrast.

7) Kontrollida ülekuumendi garnituuri korrasolekut, kõrvaldada väärõhu sissepääsud; jälgida ülekuumendatud auru temperatuuri, mitte lubada selle kõikumist üle ettenähtud määra; kontrollida ülekuumendi kollektorite läbipuhumisventiilide, samuti kaitseventiilide tihedust; kontrollida, kas ei esine kollektori luukide auramist ja müüritises müra (torude lõhkemisest või valtsimiskohtade lekkimisest) ning kas leek ei ulatu ülekuumendi torude vahele.

## 101. ÕHU- JA TÕMBEVENTILAATORITE HOOLDAMINE

Enne käivitamist:

1) Kontrollida õlitaset laagrites. Peale pikemaajalist töötamist laagrid lahti võtta, pesta petrooleumiga, uuesti kokku monteerida ja täita õliga.

2) Kontrollida õlitusrõnga õiget asetumist võllil ja tema pöörlemise kergust.

3) Kontrollida ventilaatorite tsentreerimise õigsust elektrimootorite suhtes ja veenduda rootorite käsitsi pööramise teel sissesööbimise puudumises.

4) Kontrollida laagrite vesijahutuse korrasolekut.

5) Kontrollida elektriosa ja asetada reostaat nullasendisse.

Käivitamisel:

6) Kontrollida, et ventilaatorite õhuklapid oleksid suletud.

7) Lülitada sisse elektrimootor ja ampermeetri näitusid jälgides suurendada järk-järgult pöörlemiskiirust. Kontrollida pöörlemissuuna õigsust ja laagrite õlitusrõngaste pöörlemist.

8) Juhtumitel, kui ventilaatorite pöörlemissuund pole õige, ventilaatorites esineb tugev vibreerimine, on sööbinud sisse õlitusrõngad, on kuulda ventilaatoris ebanormaalset müra või tekib laagrite kuumenemine, seisata ventilaatorid ja kõrvaldada puudused.

Töötamisel:

9) Jälgida ampermeetrite näitusid ja mitte lubada elektrimootorite ülekoormamist. Reguleerida ventilaatorite tootlikkust ja rõhku vastavalt katla koormusele.

10) Jälgida laagrite jahutusvee-süsteemi töötamist ja õlitusrõngaste vaba liikumist, mitte lubades õli kuumenemist laagrites üle 75°. Perioodiliselt lasta laagritest välja osa õli ja asendada see värske õliga. Vähemalt üks kord kahe kuu tagant (uute laagrite puhul sagedamini) vahetada õli täielikult ja avada laagrid järelevaatuseks, puhastamiseks või remondiks. Kontrollida kuullaagrite seisukorda.

11) Jälgida, et ei esineks rootorite vibreerimist, kõrvalist müra, lööke või muid ebanormaalseid nähtusi ventilaatorite töötamisel.

Seiskamisel:

12) Lülitada välja elektrimootor, sulgeda ventilaatorite klapid ja katkestada laagrite jahutusvee juurdevool. Seismajäämine peab toimuma pikkamööda; kiirel seismajäämisel selgitada selle põhjus. Seiskamisel pikemaks ajaks lasta laagritest välja õli ja määrida laagriosad solidooliga nende roostetamise vältimiseks.

## 102. AURUTORUSTIKU HOOLDAMINE

Enne katla lülitamist magistraali tuleb soojendada katla ja magistraali vaheline aurutorustik ning magistraal. Selleks avatakse torustiku läbipuhumisventiilid (-kraanid) ning kondenspottide möödaviigud. Seejärel avatakse vähesel määral katla auruventiil või siibri puhul viimase baipass. Kui aurutorustikul on mitu ventiili, soojendatakse torustik osade kaupa, alustades katla poolt. Pärast torustiku küllaldast soojenemist suletakse kondenspottide möödaviigud, soojendatakse kondenspotid, lastakse neist välja õhk ja avatakse pikkamööda ventiilid või siibrid täielikult (suletakse baipassid). Ventiilide või siibrite käsirattad pööratakse veidi tagasi spindli vigastuste vältimiseks.

Aurutorustiku hoolikas soojendamine ja temast pikkamööda vee väljalaskmine on vajalik veelöökide vältimiseks, mis põhjustavad torustiku avariisid.

Aurutorustiku väljalülitamisel tuleb veidi aega pärast ventiilide ja siibrite sulgemist neid käsiratastest veel peale keerata, sest spindlid jahtumisel lühenevad, mistõttu tihenduspinnad eemalduvad ja tekib auru läbilaskmine.

Aurutorustiku, armatuuri, kondenspottide, kompensaatorite jt. õiget töötamist, samuti äärikute ja tugede seisukorda tuleb perioodiliselt kontrollida vastutava isiku poolt ja teha ülevaatuse tulemuste kohta sissekanne vastavasse raamatusse. Äärikute, ventiilide ja siibrite ebatihedused tuleb võimalikult kohe kõrvaldada, et vältida suurt aurukadu, mis ulatub 1 $mm^2$ ebatiheda pinna kohta rõhu puhul 10 atü ligikaudu 8 kg-ni tunnis. Veel suurem on kadu kuuma vee torustiku ebatiheduste kaudu, mis ulatub 1 $mm^2$ ebatiheda pinna kohta rõhu puhul 10 atü 145 kg-ni tunnis.

## 103. TAHMA PUHUMINE KÜTTEPINDADELT

Katla töötamisel kattuvad tema küttepinnad lendtuha ja tahmaga, mis halvendab soojusülekannet. Ühtlasi ummistuvad ka torude vahed, mistõttu peab suurendama tõmmet ning kulutama järelikult rohkem energiat.

Küttepindade mustumise tunnuseks on:

1) heitgaaside temperatuuri tõus;

2) tõmbe vähenemine tingituna gaasikäikude ristlõike vähenemisest ja takistuse suurenemisest;

3) katla jõudluse vähenemine soojusülekande halvenemise tõttu;

4) ülekuumendatud auru temperatuuri tõus kolde ekraanitorude räbustumisest ja katla torude tugevast mustumisest esi-

meses gaasikäigus. Võib esineda ka ülekuumendatud auru temperatuuri langus tingituna ülekuumendi räbustumisest, millega kaasub suur tõmbekadu;

5) toitevee temperatuuri langemine ökonomaiseri taga ja õhu temperatuuri langemine õhueelsoojendi taga.

Töötava katla küttepindade puhastamine toimub neilt tahma mahaharjamisega (suitsutorukatlad) ja -puhumisega. Väikestel kateldel puhutakse tahm maha käsipuhuriga kolde luukide kaudu. Nimetatud viisi puuduseks on suur väärõhu sissepääs puhumise ajal. Suurtel kateldel kasutatakse statsionaarseid, katlale monteeritud tahmapuhureid (vt. p. 56).

Tahmapuhurid töötavad kas auru või suruõhuga. Ekraanide ja esimeses gaasikäigus asuvate katlatorude puhumiseks on soovitav kasutada küllastunud auru, kuna viimase jahutava toime ja suurema tiheduse tõttu saavutatakse küttepindadele korjunud räbu parem eemaldamine. Tagumistes gaasikäikudes ja järelküttepindadel võib kasutada ainult ülekuumendatud auru, et küttepinnad ei niiskuks ja et neile ei kleepuks lendtuhka ega -tahma.

Kasutatava suruõhu rõhk on harilikult 6—15 atmosfääri, milleks on tarvilik eri kompressorseade.

Tahmapuhumisel tuleb suurendada tõmmet koldes (5—7 mm vs). Puhumist alustatakse ekraanidest; seejärel puhutakse puhtaks esimene gaasikäik, minnakse järk-järgult edasi tahapoole ja lõpetatakse ökonomaiseri ning õhueelsoojendiga. Enne puhutakse puhtaks küttepinnad mõlemalt katla küljelt ühes gaasikäigus ja seejärel asutakse järgmise käigu puhumisele. Puhumise sagedus sõltub kütuse liigist ja kolde teenindamise korralikkusest. Eesti NSV põlevkivi kasutamisel tuleb tahma puhuda vähemalt üks kord vahetuses. Mitme aparaadiga üheaegne puhumine pole lubatav, sest auru rõhk aparaadi ees langeb ja puhumise efekt väheneb.

Tahmapuhumise ajal koldesse vaatamine on keelatud.

Hoolikas tahmapuhumine annab 2—2,5% kütuse säästu.

## 104. KATLA LÄBIPUHUMINE

Katlaid puhutakse läbi perioodiliselt või pidevalt. Perioodilise läbipuhumisega eemaldatakse katlasse sadestunud muda. Peale mudatrumlite (veetorukateldes) puhutakse läbi ka ekraanide kollektorid. Läbipuhumise sagedus määratakse katlamaja administratsiooni poolt ja see sõltub toitevee headusest ning katla koormusest.

Perioodilist läbipuhumist teostatakse väikestel koormustel või vähe aega pärast katla seiskamist ja väljalülitamist auru-

torustikust, kui muda on jõudnud sadestuda. Läbipuhumist pärast katla seiskamist ei tohi jätta liiga hiljaks (mitte üle 4 tunni), kuna sadestunud muda muutub tihedaks ega eemaldu puhumisega.

Enne läbipuhumist proovitakse läbipuhumisventiili või -kraani käigu kergust ja soojendatakse läbipuhumistoru, pööratES pikkamööda ja ettevaatlikult käega käsirattast või kraanipidemest. Raskelt liikuvate kraanide ja ventiilide avamine võtmete, torujätkude, samuti löökide abil pole lubatud. Kraanide liiga tihedal liikumisel anda pisut järele tihenduspuksi. Läbipuhumine mitte korras läbipuhumisarmatuuri puhul on keelatud.

Läbipuhumisventiilid (-kraanid) tuleb avada järjekorras: esimesena teine ventiil, arvates katla poolt, seejärel esimene. Kui läbipuhumisventiilid asetsevad vahenditult üksteise järel, lubatakse ka vastupidist avamise järjekorda.

Enne läbipuhumisele asumist tuleb kontrollida toiteseadmete ja veeseisunäitajate korrasolekut ja veenduda, et mittetöötavate katelde läbipuhumistorud on eraldatud ühisest magistraalist pimeäärikutega, et läbipuhumisel väljuv vesi ei saaks põletada katlas töötavaid inimesi. Enne läbipuhumist tõstetakse veetase katlas ligikaudu $^3/_4$ klaasini ja antakse veidi aega muda settimiseks. Läbipuhumine lõpetatakse, kui veetase on langenud normaalkõrguseni. Veelöökide ja vibratsiooni tekkimisel tuleb läbipuhumine kohe lõpetada.

Pärast läbipuhumist tuleb kontrollida, kas läbipuhumisventiilid sulguvad tihedasti (toruosa tagapool ventiile peab olema jahe).

Kui läbipuhumistorud suubuvad ühisesse magistraali ja neil puuduvad tagasilöögiklapid, tuleb katlaid läbi puhuda üksHaaval.

Kirjeldatud viisil läbipuhumisel eemaldatakse katlast peamiselt muda, mis asub läbipuhumisava ümbruses; kaugemal asuv muda jääb liikumatuks. Seepärast kasutatakse ka teist viisi: avatakse ventiilid lühikeseks ajaks, kuid mitu korda. Läbipuhumise vaheaegadel kattuvad läbipuhumisavad mudaga ja kokkuvõttes eemaldatakse sel viisil suurem hulk muda vähema sooja vee kao juures. Häid tulemusi leegi- ja suitsutorukatelde läbipuhumisel annab piki trumli seina katlasse aukudega varustatud toru asetamine, mis on ühendatud läbipuhumisavaga.

Otstarbekas on muda katlast eemaldada termosifoonseadme abil (vt. p. 17), mille juures sooja vee kadu on minimaalne.

Perioodiline katla läbipuhumine on lubatud ainult katlamaja eest vastutava isiku juuresolekul.

Toitevee keemilisel puhastamisel suureneb katla töötamisel katlavee leelisus ja soolsus. Leelisus põhjustab katlavee vahu-

tamist ja selle kandumist koos lisanditega aurutorustikku. Selle vältimiseks kasutatakse katla pidevat läbipuhumist, millega eemaldatakse katlast pidevalt osa vett ja vähendatakse sellega katlavee soolsust ning leelisust. Vesi puhutakse välja võimalikult aurutuspeegli lähedalt, kus soolsus on kõige suurem. Läbipuhutava vee soojust kasutatakse toitevee eelsoojendamiseks. Pideva läbipuhumise režiim määratakse laboratoorselt katlavee keemilise analüüsiga.

## 105. TUHAÄRASTAMINE

Väikestes ja keskmistes seadmetes eemaldatakse tuhk ja räbu katlamajast vagonettidega. Suurtes seadmetes, kus kasutatavad kütusehulgad on suured, kasutatakse mehhaniseeritud tuhaärastamist, mille mitmesugustest süsteemidest (mehaaniline, pneumaatiline, hüdrauliline, kombineeritud) on NSV Liidus enam levinud hüdrauliline tuhaärastamine.

Väikestes seadmetes tõmmatakse tuhk ja räbu koldest ja tuharuumist katlamaja põrandale, kus ta valatakse veega üle, tõstetakse vagonetti või kärusse ja eemaldatakse katlamajast. Seejuures satub katlaruumi palju tolmu, gaase ning veeauru, mis koos kuuma räbu kõrge temperatuuriga ja põletamisohuga räbu kustutamisel moodustab ebahügieenilise olukorra. Töötingimuste parandamiseks võib räbu kustutamisel avada koldeukse, et tekkivad gaasid ja aurud voolaksid koldesse, kuid see rikub ajutiselt põlemisprotsessi ja suurendab soojuskadusid heitgaasidega. Põletushaavade vältimiseks tuleb räbu kustutamisel kasutada ainult otsikuga varustatud voolikut ja seista seejuures võimalikult kaugemal.

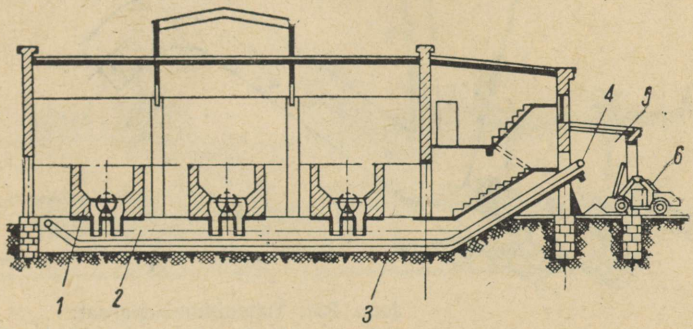
Kollete tuhapunkrid peavad olema varustatud sulguritega ja liigutamismehhanismiga viimaste avamiseks ning sulgemiseks eemalt.

Punkreid tühjendatakse kindlaksmääratud ajavahemike järel. Enne tuhapunkri luugi avamist tuleb vähendada õhupuhumist tsoonidesse ja suurendada tõmmet koldes 8—10 mm-ni vs. Tuha väljalaskmisel tuleb punkrisulgur avada pikkamööda ja järkjärgult, et vältida põletushaavu tuhas olevate kütuseosakeste põlema plahvatamisest tuha järsul väljalaskmisel. Põleva räbu ning tuha väljaviimine pole lubatud; vagonetti sattunud põlev tuhk tuleb vooliku abil veega kustutada. Enne vagoneti täitmist tuhaga tuleb veenduda, et sinna pole jäänud vett.

Vagonett tuleb hoolikalt lukustada, et vältida ümberkaldumist. Tuhk ja räbu tuleb asetada maha mitte lähemale kui 0,7 m rööpast.

Mehaanilisel tuhaärastamisel eemaldatakse tuhk ja räbu katlamajast plaat- või kraaptransportööridega või rippvagonettidega. Katlamaja juurest veetakse tuhk ja räbu eemale isekallutajatega või vagonettidega.

Joonisel 233 on kujutatud kraaptransportööriga tuhaärastamise skeem. Tuhk ja räbu langeb katlaalustest punkritest veega täidetud kanalisse, kust see kraaptransportööri poolt viiakse tuhapunkrisse, mille maht on arvestatud ligikaudu ööpäevase tuhakoguse jaoks. Tuhapunkri põrandasse on ehitatud drenaaž tuha hulka jäänud vee ärajuhtimiseks. Tuhk laaditakse mehaanilise laadija abil isekallutajale või vagonetti.



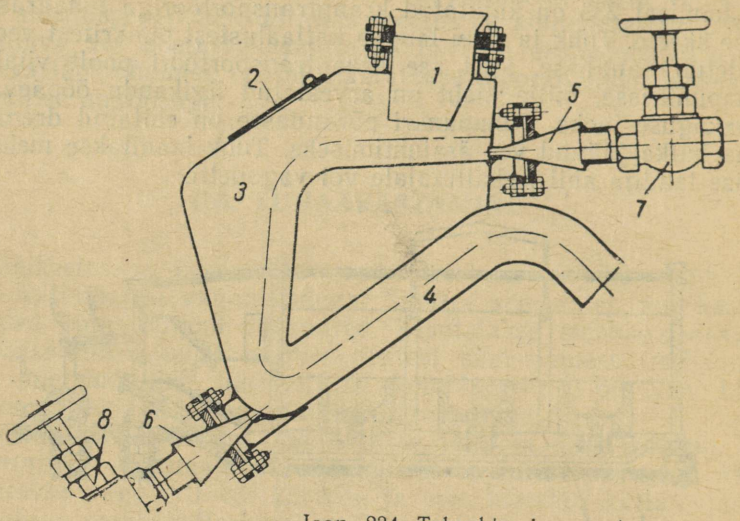

Joon. 233. Kraaptransportööriga tuhaärastamise skeem:
*1* — katel; *2* — veetase; *3* — transportööri kanal; *4* — kraaptransportöör; *5* — tuhapunker; *6* — mehaaniline laadija.

Hüdraulilised tuhaärastusseadmed jagunevad madalrõhu-, kõrgrõhu- ja kombineeritud seadmeteks.

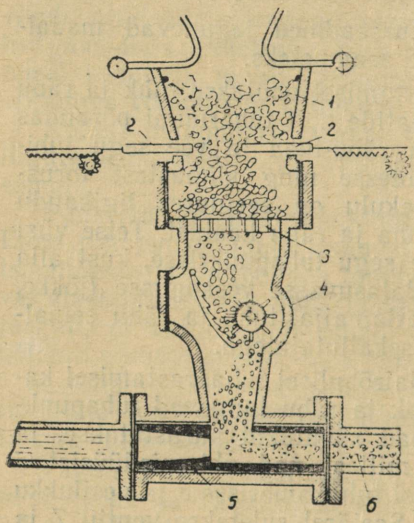
Madalrõhulisel tuhaärastamisel uhutakse tuhk ja räbu tuhapunkritest tuhauhtumisaparaatide abil tuharuumi põrandas olevasse kanalisse, mida mööda räbu-tuha ja vee segu juhitakse tugevatesse baggerpumpadesse ning viimastest torustikku mööda tuhaväljakule. Veekulu on seejuures ligikaudu 10 korda suurem eemaldatava tuha ja räbu kaalust. Teise viisi puhul juhitakse tuha-räbu ja vee segu tuhapunkrisse, kust alla nõrgunud vesi suunatakse lähedalasuvasse veekogusse (jõkke, järve) või pumbatakse tagasi katlamajja, tuhk ja räbu eemaldatakse aga vagonettidega või isekallutajatega.

Joonisel 234 on näidatud madalrõhulisel tuhaärastamisel kasutatav tuhauhtumisaparaat. Tuhk ja räbu langevad tuhapunkrist räbupurustisse, kus suuremad räbutükid purustatakse, ja sealt tuhauhtumiskambrisse *1*, millest nad uhtumisdüüsist *5* väljuva veejoa abil kantakse edasi tuhakambrisse *3* ja vesilukku *4;* ventiil *8* on sel ajal suletud. Seejärel suletakse ventiil *7* ja

avatakse ventiil *8*, mille juures virgutusdüüsist *6* väljuv tugev veejuga viib tuha ning räbu tuharuumi põrandasse ehitatud kanalisse. Vesi juhitakse düüsidesse 3—5 at rõhu all.




Joon. 234. Tuhauhtumisaparaat:
*1* — tuhauhtumiskamber; *2* — puhastusluuk; *3* — tuhakamber; *4* — vesilukk; *5* — uhtumisdüüs; *6* — virgutusdüüs; *7, 8* — ventiilid.

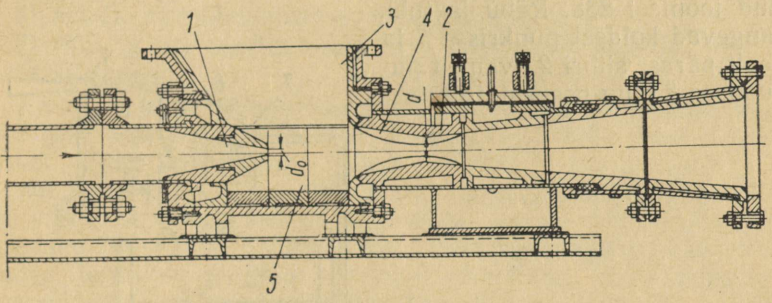



Kõrgrõhulisel tuhaärastamisel (joon. 235) uhutakse tuhk ja räbu katlamajast tuhaväljakule Moskalkovi hüdroaparaatidega. Tuhapunkris veejugade *1* poolt kustutatud tuhk ning räbu langeb räbupurustisse ja sealt Moskalkovi aparaati *5*, mida läbiv veejuga viib tuha ning räbu toru *6* mööda tuhaväljakule.

Joon. 235. Hüdraulilise kõrgrõhutuhaärastusaparaadi skeem:
*1* — räbu kustutamine; *2* — siiber tuha väljalaskmise reguleerimiseks; *3* — rest; *4* — räbupurusti; *5* — düüsaparaat; *6* — tuha ärajuhtimistoru.

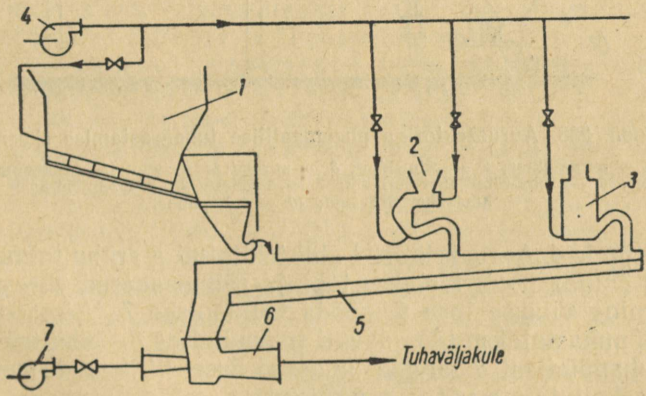
Moskalkovi hüdroaparaat (joon. 236) kujutab horisontaalset ežektorit, mille düüsi *1* juhitakse kõrgrõhupumba abil vett rõhuga 25—65 at. Düüsist *1* suure kiirusega väljuv vesi ežekteerib tuha-räbu ja vee segu vastuvõtulehtrist *3* segunemiskambrisse *5*. Sealt satub segu aparaadi laienevasse ossa — difuusori *2*, milles veejoa kiirusrõhk muundatakse staatiliseks rõhuks. Viimase toimel liigub segu tuhaväljakule.

Joonisel 237 on kujutatud kombineeritud tuhaärastamise skeem, mille juures räbu punkrist *1* ning tuhk punkritest *2* ja *3* uhutakse tuharuumi põrandas olevasse kanalisse *5* veega, mis antakse 3—5 at rõhul tuhauhtumisaparaatidesse madalrõhu-




Joon. 236. Moskalkovi hüdroaparaat:

*1* — rõhudüüs; *2* — difuusor; *3* — vastuvõtulehter; *4* — difuusori ribi; *5* — segunemiskamber.




Joon. 237. Kombineeritud hüdraulilise tuhaärastamise skeem:

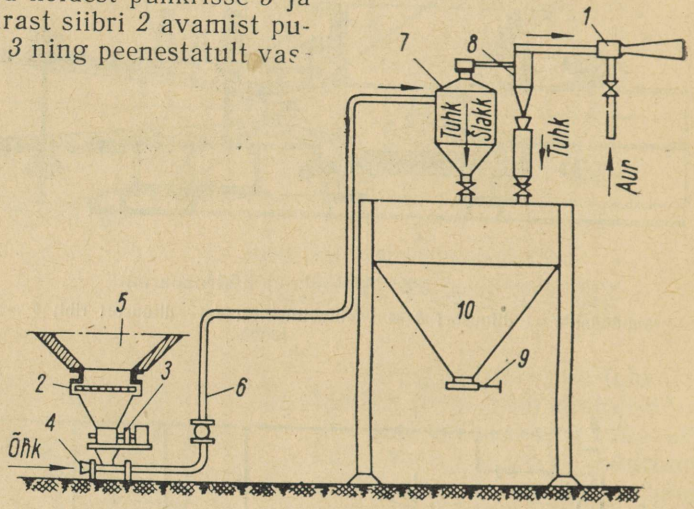
*1* — räbupunker; *2, 3* — tuhapunkrid; *4* — madalrõhupump; *5* — kanal; *6* — Moskalkovi hüdroaparaat; *7* — kõrgrõhupump.

pumbaga *4*. Kanalist *5* satub räbu-tuha ja vee segu Moskalkovi hüdroaparaati *6*, kust see kõrgrõhupumbaga *7* antava vee abil kantakse tuhaväljakule.

Hüdraulilised tuhaärastamisseadmed on suure jõudlusega ja töökindlad. Tuhka võib juhtida 1,5 km kauguse juures kuni 30 m kõrgusele. Moskalkovi hüdroaparaat võimaldab vee-tuha segu transportimist kuni 5 km kaugusele.

Pneumaatilist tuhaärastamist kasutatakse juhul, kui pole saadaval küllaldaselt vett, samuti aga ka siis, kui tuhk peab jääma kuivaks, et valmistada sellest sideaineid ja ehitusdetaile või kasutada väetusmaterjalina.

Auruežektoriga pneumaatilise tuhaärastamise skeem on toodud joonisel 238. Räbu ja tuhk langevad koldest punkrisse *5* ja sealt pärast siibri *2* avamist purustisse *3* ning peenestatult vas-




Joon. 238. Auruežektoriga pneumaatilise tuhaärastamise skeem:
*1* — auruežektor; *2* — räbusiiber; *3* — purusti; *4* — võre; *5* — räbupunker; *6* — tuha-räbu survetorustik; *7* — tsüklon; *8* — tuhapüüdja; *9* — tuhasiiber või tigu; *10* — tuhapunker.

tuvõtuvõrele *4*. Auruežektori *1* abil tekitatud alarõhu toimel sisse imetud õhujoa poolt kistakse tuhk ja räbuosakesed võre põhjalt kaasa ning viiakse toru *6* mööda tsüklonisse *7*. Viimasest väljuv õhk puhastatakse täiendavalt tuhapüüdjas *8*. Tuhk tsüklonist *7* ja tuhapüüdjast *8* langeb tuhapunkrisse *10*, kust ta eemaldatakse isekallutajate või vagonettidega.

Auru kulu 1 tonni eemaldatava tuha kohta on 120—180 kg, auru rõhk 8—10 atü. Auruežektori abil võib transportida tuhka kuni 15 m kõrgusele ja 200 m kaugusele.

## 106. KATELSEADME LÜHI- JA PIKAAJALINE SEISKAMINE

Katla *lühiajalisel* seiskamisel tuleb hoolitseda selle eest, et rõhk katlas ei tõuseks üle lubatud piiri. Selleks tuleb:

1) katkestada aegsasti kütuse pealeandmine;
2) seisata rest ja lõpetada õhupuhumine (sulgeda õhuluugid); vähendada tõmmet;
3) tõsta veetase katlas normaalsest veidi kõrgemale;
4) sulgeda peaauruventiil;
5) lülitada gaasivoolust välja ökonomaiser ja õhueelsoojendi;
6) avada auruülekuumendi läbipuhumisventiilid;
7) jätkata veetaseme, auru rõhu ja katla ning kolde seisukorra jälgimist.

*Täielikuks* seiskamiseks (puhastamiseks, järelevaatuseks jm.) lõpetada koldes tuli ja puhastada kolle tuhast ning räbust. Tule kustutamine veega, samuti *summutamine* värske kütusega pole lubatud. Katel lasta pikkamööda jahtuda. Vee väljalaskmisega katlast võib alata, kui vee temperatuur on langenud 70—80°-ni. Kuuma katla tühjendamine põhjustab katla osades termilisi pingeid. Seejärel ühendada katla trummel atmosfääriga, milleks avada õhukraanid, tõsta üles ühe kaitseklapi taldrik vms.

Katelt seisma jätta ja aurutorustikust eraldada, samuti ka seismajäetud katlast vett välja lasta tohib ainult pärast sellekohase korralduse saamist katlamaja eest vastutavalt isikult.

Pikemaks ajaks seismajätmisel katlad konserveeritakse, et vältida sööbimist niiskuse ja õhuhapniku mõjul.

*Märjal konserveerimisel*, mida kasutatakse lühemaajalisel seismajätmisel, katel puhastatakse seest- ja väljastpoolt, eraldatakse hermeetiliselt torustikest (kõigi ventiilide ja siibrite sulgemise teel) ja täidetakse lubatud madalama veeseisuni kaitselahusega, milles on: naatriumhüdroksüüdi (seebikivi NaOH) — 1000 mg/l, fosforhappe anhüdriidi ($P_2O_5$) — 100 mg/l ja naatriumsulfiiti ($NaSO_3$) — 250 mg/l. Seejärel tehakse koldesse tuli ja tõstetakse rõhk katlas 2—3 atü-ni, mida hoitakse vähemalt 2—3 tundi. Pärast rõhu allalaskmist täidetakse katel täielikult kaitselahusega, kaasa arvatud ülekuumendi ja ökonomaiser, ning tõstetakse vedeliku rõhk katlas pumba abil 1,5—4 atü-ni, mida hoitakse sellel kõrgusel kogu konserveerimise ajal. Siibrid, luugid, pääsuavad jm. peavad olema hoolikalt suletud. Tuleb jälgida, et katla välispinnad ei niiskuks, milleks neid peab perioodiliselt kuivatama. Samuti on tarvilik perioodiliselt kontrollida lahuse kontsentratsiooni. Kontsentratsiooni langemisel alla 50 mg/l tuleb lisada naatriumsulfiiti.

Varem kasutatud konserveerimise viis katla veega täitmise ja selle läbikeetmise teel on vähem kindel.

Kuival konserveerimisel, mida kasutatakse katla hoidmiseks pikemal perioodil, eraldatakse katel torustikkudest pimeäärikutega ja pärast katla puhastamist ning kuivatamist asetatakse viimasesse pannid niiskust imavate ainetega: kaltsiumkloriidiga (0,5 kg 1 $m^3$ katla mahule) või kustutamata lubjaga tükisuurusega 10—30 mm (2 kg 1 $m^3$ katla mahule). Seejärel suletakse õhukindlalt kõik katla luugid. Perioodiliselt, vähemalt üks kord kuus, tuleb kontrollida katla sisepindu ja puhastada sööbimistunnustega kohad. Kulutatud reagent asendatakse uuega (harilikult iga 3 kuu tagant). Samuti tuleb kontrollida ka katla välispindade seisukorda.

## 107. KATLA AVARIILINE SEISKAMINE

Katelt teenindav personal peab omal algatusel seiskama katla viivitamatult juhtudel, kui:

1) rõhk katlas tõuseb üle normaalse ja jätkab tõusmist, hoolimata tõmbe ja õhupuhumise vähendamisest ning toitmise suurendamisest;

2) katlast on kadunud vesi või veetase langeb kiiresti, hoolimata pidevast toitmisest.

Juhul, kui vesi on klaasist kadunud, tuleb viivitamatult läbi puhuda veeklaas, seejärel sulgeda iga $1^1/_2$—2 minuti järel korraks aurukraan ja jälgida, kas vesi ilmub klaasis nähtavale. Kui vesi klaasis nähtavale ei tule, tuleb katel viivitamatult seisata. Katla toitmine on sel juhul kategooriliselt keelatud;

3) tööst on välja langenud kõik toiteseadmed;

4) müüritis on sisse langenud ja katlaosad paljastunud; katla seinad või katla sõrestik on kuumenenud kuni punase värvuseni;

5) tööst on välja langenud kõik veeseisu näitamise seadmed või kõik kaitseklapid;

6) on märgata katla põhiosades (trumlis, kollektoris, leegitorus, tulekarbis, torulauas, kolde väliskestas) pragusid, väljapaisumisi (muhke), keevisõmbluste lekkimist või rohkem kui kahe kõrvutiasuva sidepoldi katkemist;

7) veetase klaasis on tõusnud üle veeklaasi ülemise serva ja läbipuhumisega ei õnnestu veetaset kiiresti alandada;

8) märgatakse kütuse põlemist katelagregaadi järelkütte-pindade gaasikäikudes või avastatakse mingeid muid katlale või teenindavale personalile ohtlikke korratusi, nagu katla tugev

vibreerimine, aurutorustiku või armatuuri vigastused, gaaside plahvatused gaasikäikudes jms.

Avariilisel katla seiskamisel tuleb:

1) lõpetada kütuse pealeandmine ja eemaldada koldest tuli või summutada see liiva ja tuhaga või äärmisel juhul kustutada veega, vältides seejuures vee sattumist tulisele müüritisele;

2) avada koldeuksed ja suurendada tõmmet katla kiireks jahutamiseks;

3) eraldada katel aurutorustikust;

4) jätkata katla toitmist, kuni vesi klaasist pole kadunud;

5) lasta järk-järgult aur välja läbi kaitseklappide;

6) teatada avariist katlamaja eest vastutavale isikule.

Katlaga töötamine tuleb lõpetada katlamaja eest vastutava isiku loal juhtudel, kui:

1) neetõmbluste või torude valtsimiskohad lekivad;

2) märgatakse muhkusid ja pragusid katla-, ekraanide, ülekuumendi või ökonomaiseri torudel;

3) tööst on välja langenud kõik manomeetrid, mis näitavad auru rõhku katlas;

4) katla töötamisel esinevad ebanormaalsed nähtused (müra, löögid jm.).

## 108. VAHETUSE ÜLEANDMINE JA VASTUVÕTMINE

Vahetust üleandev kütja on kohustatud katelseadme üle andma täiesti puhtana ja korrasolevana. Vahetust vastuvõtvale kütjale tuleb teatada seadmete seisukorrast ja nende töörežiimist, kõigist poolelijäänud või täitmata korraldustest, samuti ka vahetuse ajal märgatud puudustest, korratustest ja vigastustest katla ning abiseadmete juures. Vahetuse vastuvõtja peab tutvuma vahetuseraamatu sissekannete järgi kõigi korraldustega teenindatavate katelseadmete suhtes. Vahetuse vastuvõtjal tuleb kontrollida:

1) armatuuri küllaldast valgustamist;

2) veeseisu katlas veeklaaside (läbi puhuda) ja proovikraanide abil;

3) auru rõhku katlas manomeetri järgi ja manomeetri korrasolekut;

4) kõigi kontrollmõõteriistade näitusid (aurumõõtjad, termomeetrid, tõmbe- ning survemõõtjad, suitsugaasianalüsaatorid jt.);

5) kaitseklappide korrasolekut;

6) toiteseadmete korrasolekut nende lühiajalise töösse rakendamisega (turbopumpadel erijuhiste kohaselt);

7) kõigi auru- ja veeventiilide ning kraanide korrasolekut ja asetust (avatud, poolavatud, suletud);

8) kõigi gaasi- ning õhuklappide ja siibrite käigu kergust ja asetust;

9) läbipuhumisventiilide ja kraanide tihedust (toru ventiili taga peab olema jahe);

10) kas pole pragusid, väljapaisumisi (muhke) või muid nähtavaid vigastusi katlaosadel, eriti tulega kokkupuutuvail osadel, samuti ka müüritise korrasolekut (räbustumist, pragunemist, sisselangemist);

11) tahkekütuse puhul resti ja selle liigutamismehhanismi seisukorda, tolmuküttе puhul tolmuvalmistamisseadme korrasolekut, õlikütte puhul pihustite ja abiseadmete (pumbad, kompressorid, filtrid, õlieelsoojendid) korrasolekut;

12) kõigi abiseadmete (ventilaatorid jm.) korrasolekut;

13) tuha- ja läbivarisenud kütuse hulka punkrites ja restialustes tsoonides;

14) kütusehulka punkrites ja paakides (õliküttel);

15) toitevee hulka toitepaagis ja keemiliselt puhastatud vee paagis (selle olemasolul).

Peale selle tuleb jõuda selgusele:

a) kas on varuks veeseisunäitaja klaase ettenähtud arvul, puhastusmaterjale, tihendeid, määrdeõlisid jt. vajalikke materjale;

b) kas on kohal vajalikud tööriistad (kruvivõtmed, haamrid jt.);

c) millal toimus katelde viimane läbipuhumine;

d) millal toimus viimane tahmapuhumine katla, ülekuumendi, ökonomaiseri ja õhueelsoojendi küttepindadelt.

Vahetuse üleandmine ja vastuvõtmine ühes vajalike märkustega tuleb kanda vahetuseraamatusse ja kinnitada allkirjadega.

Kui katlamaja töö on jaotatud mitme isiku vahel (vanemkütja, kütja abid jt.), siis igaüks neist annab üle ja võtab vastu temale määratud kohused, kandes vastuvõtmise tulemustest ette vanemkütjale.

Kõigi korratuste ja ebanormaalsuste eest seadmete juures, mis juhtusid vahetuse üleandja vahetuses, kuid jäid märkimata vahetuse vastuvõtmisel vahetuseraamatusse, vastutab uus vahetus.

Keelatud on vahetuse üleandmine ja vastuvõtmine avarii puhul katlamajas ja vastutavate lülitamiste ajal. Mittekorrasoleva katelseadme võib vastu võtta ainult administratsiooni loal.

## 109. KÜTTEPINDADE SISEMINE JA VÄLIMINE PUHASTAMINE

Küttepindade välimiseks puhastamiseks katel seisatakse, eraldatakse gaasikäigud kindlalt teiste katelde omadest ja lastakse katel jahtuda. Pärast gaasikäikude hoolikat tuulutamist avatakse viimaste pääsuavad. Ökonomaiseri ja õhueelsoojendi puhastamine katla töötamise ajal on lubatud ainult sel juhul, kui on olemas suitsugaaside möödakäik ja see on eraldatud ökonomaiseri ja õhueelsoojendi gaasikäigust tellisvaheseinaga.

Küttepindade puhastamisele võib asuda ainult katlamaja eest vastutava isiku loal pärast seda, kui ta on isiklikult veendunud töötamise ohutuses. Tõmme töötamise ajal peab olema avatud, tuhapunkrite sulgurid suletud ja vastavate liigutamisseadiste juurde asetatud hoiatusplakatid märkusega, et koldes või gaasikäikudes töötavad inimesed.

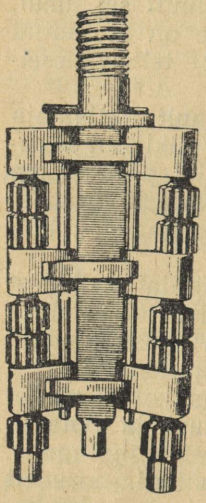
Gaasikäike peab puhastama korraga kaks töötajat, kelledest üks asub avatud pääsuava lähedal ja omab sidet katlas oleva töötajaga. Kolde puhastamisel tuleb kanda eririietust, kindaid ja kaitseprille, gaasikäikudes töötamisel veel respiraatorit.

Enne koldesse ronimist tuleb veenduda, kas kolde seintel pole rippuvaid kive ja räbutükke, mis võiksid ohustada töötajat. Nende esinemisel lüüa nad uste ja luukide kaudu kangiga maha. Järgneval räbu eemaldamisel kolde seintelt ja katla torudelt tuleb silmas pidada ohutusnõudeid; mahalöömist alustada ülevalt, kasutades kõrge kolde puhul katla aurutustorudele kinnitatud lavasid. Gaasikäike tuleb puhastada suunas, mille puhul tuhk ja tahm kantakse tõmbe toimel töötajaist eemale. Kõrgetesse gaasikäikudesse minekul tuleb kasutada redelit või kindlalt kinnitatud tellinguid. Puhastamise lõpetamisel tuleb kontrollida, kas koldest ja gaasikäikudest on kõrvaldatud kõik abivahendid ja tööriistad.

Katlakivi korjumine küttepindadele tingib katla seiskamist seesmiseks puhastamiseks. Töötamise kestus kahe seiskamise vahel määratakse sõltuvalt katla töötamise režiimist ja katlakivi paksusest ning koostisest. Alla 2 t/h tootlikkusega ning ettevalmistamata veega, toorvee ja kondensaadi seguga või kationeeritud veega toidetavaid katlaid tuleb puhastada, kui katlakivi paksus kuni 16 atü töörõhuga kateldel ületab 1 mm ja 16—22 atü töörõhuga kateldel — 0,5 mm.

Katla sisemist puhastamist võib alustada pärast müüritise ja katla jahtumist, vee väljalaskmist viimasest ja pärast katla ning gaasikäikude hoolikat tuulutamist. Katel tuleb tingimata eraldada teistest kateldest pimeäärikute asetamisega auru-, toite- ja läbipuhumistorustikule.

Katlakivi eemaldatakse küttepindadelt kraapide, terasharjade, käsi-, õhu- või elektriliste klopphaamritega jm. Puhastatavatele pindadele ei tohi tekitada sügavaid täkkeid, sest metalli pinna vigastamine põhjustab tema sööbimist. Erilist tähelepanu tuleb pöörata armatuuri avade puhastamisele. Katla ja ökonomaiseri torude sisemiseks puhastamiseks kasutatakse painduvale võllile kinnitatud freesi pöörlevate hammasratastega (joon. 239), mis võlli pöörlemisel surutakse tsentrifugaaljõu mõjul vastu toruseina. Võll pannakse pöörlema elektrimootoriga. Toru seinad tuleb puhastada niivõrd, et kõik praod ja sööbimised oleksid selgesti näha. Pärast küttepindade puhastamist tuleb katlast eemaldada muda ja katel pesta tugeva veejoaga.



Joon. 239. Frees torude puhastamiseks katlakivist.

Et küttepindade mehaaniline puhastamine nõuab eriseadmeid ja on seotud suure tööjõuning ajakuluga, siis on otstarbekam katlakivi eemaldada keemiliste vahenditega: sooda, seebikivi, trinaatriumfosfaadi, antidepooni ja teiste leeliste ainetega, samuti soolhappega. Reaktiivi valik sõltub katlakivi koostisest ja katla konstruktsioonist. Katlakivi katla keetmisel leeliste lisandamisega kobestub ning mureneb ja keeb küttepindadelt lahti; soolhappe toimel katlakivi lahustub.

Katlakivi eemaldamiseks, kui kivi koosneb kaltsium- ja magneesiumsulfaatidest, kasutatakse soodat, kaltsium- ja magneesiumbikarbonaatidest koosneva kivi puhul aga seebikivi (naatriumhüdroksüüdi). Enne katla keetmist katel seisatakse ja jahutatakse tavalisel viisil. Pärast katla jahtumist lastakse vesi katlast välja ja vahetatakse armatuur veeruumi kõrgusel ajutisega riknemise vältimiseks leelise mõjul. Katel täidetakse veega ja antakse katlasse lahusena 10—20 kg soodat või 10—15 kg seebikivi 1 tonni katlavee kohta. Seejärel tehakse koldesse tuli ja tõstetakse auru rõhk 1,5—2,0 atü-ni. Keetmine toimub katlakivi paksuse piirväärtuse juures 10—15 tundi. Keetmise ajal on soovitav tekitada katlavee kunstlikku tsirkulatsiooni. Katla keetmisel võib ka ülemine pääsuluuk olla avatud, kuid sel juhul tuleb keeta vähemalt 24 tundi. Katlakivi suurema paksuse korral tuleb katla rõhu all läbikeetmise aega pikendada kuni 36 tunnini, sõltuvalt katlakivi paksusest. Pärast keetmise lõpetamist lastakse vesi katlas jahtuda kuni 40°-ni, misjärel ta kõrvaldatakse katlast, avatakse pääsuluugid, tuulutatakse katel hoolikalt ja alustatakse küttepindade mehaanilist puhastamist, mitte

lubades katlakivil kõveneda. Sõltuvalt keetmise tulemustest kõrvaldatakse katlakivi freesi, kraapide, terasharjade või veejoaga. Mehaanilise puhastamise lõpetamise järel uhutakse katla pindu veega ja kõrvaldatakse muda alumistest trumlitest ning kollektoritest.

Karbonaatse ja kipsilise koostisega katlakivi murendamiseks kasutatakse ka trinaatriumfosfaati, mis antakse katlasse alandatud rõhu juures lahusena, arvestusega 1,5—2 kg trinaatriumfosfaati 1 $m^3$ katlavee kohta. 24-tunnise keetmise järel puhutakse katlast välja ligikaudu pool vee mahust, täidetakse katel uuesti veega ja antakse katlasse ligikaudu pool esialgsest trinaatriumfosfaadi hulgast. Seda korratakse mõned korrad, mille järel katel jahutatakse, lastakse vesi välja ja alustatakse kohe mehaanilist puhastamist. Keetmise kestuse võib määrata ka sõltuvalt katlakivi paksusest: katlakivikihi paksusel 1—3 mm — 36 tundi, 3—5 mm — 48 tundi, üle 5 mm — kuni 72 tundi.

Laevakatelde keetmiseks kasutatakse NSV Liidu veetranspordis sooda ja seebikivi kõrval edukalt erilist keemilist preparaati, antidepooni mark «Б», mida antakse katlasse lahusena, arvestusega 450—500 g preparaati 1 $m^2$ küttepinna kohta. Katla keetmine toimub analoogiliselt sooda ja seebikivi kasutamisele.

Leelised ei anna katlakivi lõhkumisel alati häid tulemusi. Puudulikult lõhuvad nad katlakivi, mis koosneb bikarbonaatidest, kuid eriti halvasti silikaatset katlakivi. Neil juhtudel kasutatakse katlakivi kõrvaldamiseks soolhappelahust. Viimast kasutatakse ka juhtudel, kui tingituna katla konstruktsioonist puudub võimalus katlast muda eemaldamiseks pärast keetmist leelistega, nagu malmlüli-keskküttekateldes, rõngaslülikateldes jm.

Tingituna soolhappe sööbivast mõjust metallile (terasele rohkem kui malmile), tuleb happega pesta võimalikult harva ning sedagi ainult vilunud keemiku juhtimisel. Enne happega pesemist tuleb katel hoolikalt järele vaadata ja seejärel kontrollida veesurvega madalrõhukateldel rõhuga, mis ei ületa katlainspektsiooni poolt lubatud töörõhku, kesk- ja kõrgrõhukateldel rõhuga kuni 10—15 atü. Veesurveproovil ilmnenud luukide ja äärikühenduste ebatihedused tuleb tingimata kõrvaldada, kuna vastasel korral nimetatud kohad sööbivad happega pesemisel. Valtsimiskohtade ja neetõmbluste ebatiheduste puhul happega pesemine pole lubatav.

Happe lahuse kangus valitakse antud katlakivi lahustamise proovi põhjal. Selle puudumisel võetakse lahuse kangus sõltuvalt katlakivi paksusest:

| Katlakivi paksus mm: | kuni 0,5; | 0,5—1,0; | 1,0—1,5; | 1,5—2,5; | üle 2,5 |
|---|---|---|---|---|---|
| HCl kontsentratsioon %: | 3 | 4 | 5 | 6 | kuni 10 |

Happe kontsentratsioon üle 10% pole lubatav; lahuse kasutamine HCl sisaldusega alla 2% pole otstarbekas.

Katlakivi, mis koosneb peamiselt kaltsium- ja magneesiumkarbonaatidest, lahustub kergesti külmas soolhappelahuses. Sisaldab katlakivi peale karbonaatide veel teisi ühendeid, mis ei lahustu külmas lahuses (silikaadid, sulfaadid jt.), siis nõuab see lahuse soojendamist, soovitavalt mitte üle 70°. Kui katlakivi ei lahustu 10%-lises happelahuses temperatuuril kuni 70° (katlakivi koosneb peamiselt kaltsium- ja magneesiumsilikaatidest), tuleb lisada lahusele 21—31,5 kg naatriumfluoriidi (NaF) 1 $m^3$ lahuse kohta või 18,5—25,0 kg ammooniumfluoriidi ($NH_4F$) sama mahu kohta.

Katla metalli kaitsmiseks soolhappe sööbiva mõju eest lisatakse lahusele nn. *inhibiitorit*, s. o. ainet, mis pidurdab metalli lahustamist happe poolt, kuid samal ajal ei takista happe toimet katlakivile. Soolhape, mis valmistatakse keemiatehastes spetsiaalselt katelde puhastamiseks, sisaldab vajalikku hulka inhibiitorit (unikooli). Tavalisele happelahusele võib inhibiitorina lisada 1% tisleriliimi.

Lihtsa ehitusviisiga katlaid (leegitoru-, patareikatlad jt.) võib happega pesta lahuse sundtsirkulatsioonita; keerulisema ehitusviisiga, eriti ekraneeritud katelde puhul, samuti ka katla ja ülekuumendi või ökonomaiseri üheaegsel pesemisel tuleb tingimata tekitada pumba abil lahuse sundtsirkulatsioon.

Lahuse soojendamine vajaliku temperatuurini võib toimuda kas tule tegemisega koldesse või auru abil. Auru võib juhtida lahusepaaki enne lahuse viimist katlasse või vahenditult agregaati (näiteks katla alumisse kollektorisse). Lahuse soojendamisel tule tegemisega koldesse on sundtsirkulatsioon tingimata vajalik, et vältida vedeliku kohalikku ülekuumendamist. Happega puhastamise vältel, mis toimub 8—10 tundi, tuleb perioodiliselt kontrollida lahuse happesust ja jälgida selle langemist. Täielik happesuse stabiilsus märgib protsessi lõppemist; happesuse langemine nullini näitab happe vähesust. Viimasel juhul sundtsirkulatsioonita puhastamisel korratakse protsessi uue lahusega, puhastamisel sundtsirkulatsiooniga lisatakse aga lahusele uus annus inhibeeritud hapet.

Happega pesemise lõpetamise ning happelahuse eemaldamise järel uhutakse agregaati hoolikalt veega ja *neutraliseeritakse* 1—2%-lise aluselise lahusega (seebikivi, sooda). Katel täidetakse aluselise lahusega sama tasemeni, milleni ta oli täidetud happelahusega. Lahust katlas soojendatakse ja aetakse keema kas tule tegemisega koldesse või auru juhtimisega katlasse. Neutraliseeritakse ligikaudu 10 tundi, kontrollides seejuures perioodiliselt lahuse kontsentratsiooni. Kui kontsentratsioon langeb, tuleb lisada aluselist ainet.

Auruülekuumendi puhastamine pindadele sadestunud sooladest toimub tema pesemisega kahel viisil.

1) Üldise pesemise teel, juhtides pumba abil vett ülekuumendatud auru kollektorisse ja lastes seda välja küllastunud auru kollektorist. Seejuures kasutatakse toitevett.

2) Individuaalse pesemise teel, pestes üksikult iga siugtoru. Kui pesemine toiteveega ei anna tulemusi, võib kasutada kas naatriumfosfaadi või soolhappe lahust inhibiitori lisandiga.

# XIX. KATLA SOOJUSBILANSS

## 110. SOOJUSKAOD JA KATLA KASUTEGUR

Kütuses sisalduv kogu soojus ei kandu katlas edasi veele ja aurule, vaid osa sellest läheb kaduma.

Kui tähistada soojushulki protsentides kütuse kütteväärtusest:

$q_1$ — soojushulk, mis kasutatakse auru tootmiseks;

$q_2$ — soojuskadu heitgaaside (suitsugaaside) füüsikalise soojusega, korstnakadu;

$q_3$ — soojuskadu mittetäielikust keemilisest põlemisest (vingugaas, põlemata vesinik jm.), keemiline kadu;

$q_4$ — soojuskadu mittetäielikust mehaanilisest põlemisest (restist läbivarisenud kütus, põlevosad tuhas, lendtahm), mehaaniline kadu;

$q_5$ — soojuskadu katla välisjahtumisest;

$q_6$ — jääkkaod (tuha füüsikalise soojusega, kolde paneelide ja palkide jahutusveega jm.),

siis $q_1+q_2+q_3+q_4+q_5+q_6=100\%$.

Seda avaldist nimetatakse katla soojusbilansi võrrandiks ja see annab ülevaate kasulikult tarbitud kütuse soojusest ning üksikutest kadudest.

Aurule üleantud soojushulga ja kütuse põlemisel vabaneva soojushulga suhet nimetatakse katla kasuteguriks ja tähistatakse tähega $\eta$ (eeta).

Väljendades kasuteguri (protsentides) auru tootmiseks kulutatud soojuse kaudu, siis $\eta=q_1$ ja järelikult:

$$\eta=100-(q_2+q_3+q_4+q_5+q_6),$$

s. t. kasutegur võrdub 100% miinus kõikide kadude summa, väljendatud protsentides.

Suurtel mehaaniliste kolletega kateldel ulatub kasutegur 80 ja isegi 90%-ni, käsitsi teenindatavate kolletega väikestel kateldel on see 60% ümber.

Kütuse põlemisel tekib ligikaudu niisama palju suitsugaase, kuipalju juhitakse koldesse põlemisõhku. Soojuskadu heit-

gaaside füüsikalise soojusega (korstnakadu) on tingitud sellest, et katlast lahkuvate suitsugaaside temperatuur on tunduvalt kõrgem koldesse juhitud õhu temperatuurist. Soojus, mis on kulunud suitsugaaside ja õhu soojendamiseks, läheb kasutult korstnasse.

Soojuskao heitgaasidega võib määrata järgmise avaldisega:

$$q_2 = y \frac{t_{hg} - t_{\tilde{o}}}{CO_2} \%,$$

kus $t_{hg}$ — heitgaaside temperatuur;
$t_{\tilde{o}}$ — koldesse juhitava õhu temperatuur;
$CO_2$ — süsihappegaasi hulk suitsugaasis protsentides;
$y$ — tegur, mis on:

| | |
|---|---|
| masuudil ja põlevkivi-kütteõlil | 0,56 |
| kivisöel | 0,65 |
| antratsiidil | 0,72 |
| põlevkivil | 0,75 |
| turbal, puidul | 0,80 |

Näide. Määrata soojuskadu heitgaasidega, kui $CO_2$ hulk heitgaasides on 12%, heitgaaside temperatuur $t_{hg} = 185°$, põlemisõhu temperatuur $t_{\tilde{o}} = 30°$. Kütuseks on põlevkivi.

Soojuskadu heitgaasidega

$$q_2 = 0{,}75 \frac{185 - 30}{12} = 9{,}7\ \%$$

Mida suurem on liigõhutegur (mida rohkem õhku tarvitatakse 1 kg kütuse põletamiseks) ja mida kõrgem on heitgaaside (korstnagaaside) temperatuur, seda suurem on korstnakadu. Kütmisel suure liigõhuteguriga jääb madalaks $CO_2$ sisaldus suitsugaasides.

Korstnakadu saab vähendada, kui kütta mõõduka liigõhuteguriga ja hoida katla küttepinnad puhtad.

Liigõhutegur suureneb tunduvalt kolde ja suitsukäikude ebatiheduse tõttu.

Korras müüritise puhul ei tohi liigõhutegur katla taga ületada selle suurust koldes ülekuumendiga katlal rohkem kui 10% võrra, ülekuumendi ja ökonomaiseriga katlal rohkem kui 20% võrra ja ülekuumendi, ökonomaiseri ja õhueelsoojendiga katlal rohkem kui 30% võrra.

Soojuskadu heitgaasidega on normaalselt 8—12%.

Keemiline kadu tekib lendosade puudulikust põlemisest (vt. p. 20). Teades vingugaasi hulka suitsugaasis ja liigõhu-

teguri suurust, võib keemilise kao (kadu vingugaasiga on peamine) ligikaudu määrata järgmiste avaldistega:
tahkekütuste põletamisel (välja arvatud põlevkivi):

$$q_3 = 3{,}3\alpha CO\%,$$

teiste kütuste puhul:

$$q_3 = 3{,}3(\alpha - k)\, CO\%,$$

kus CO — vingugaasi hulk suitsugaasis protsentides,
$\alpha$ — liigõhutegur,
$k$ — tegur, mis on:

| | |
|---|---|
| põlevkivil | 0,05 |
| masuudil ja põlevkivi-kütteõlil | 0,06 |
| looduslikul gaasil | 0,1 |

Keemiline kadu mehaanilistes kolletes ei ületa 1,5—2%; käsitsi teenindatavates kolletes ulatub see 4—8%. Keemilist kadu saab vähendada õige kütterežiimiga ja hoolika kütmisega.

Näide. Määrata keemiline kadu, kui suitsugaasis on süsihappegaasi 12% ja vingugaasi 0,5%. Kütuseks on põlevkivi, küttevääртusega $Q_t^k = 2900$ kcal/kg.

Lk. 84 leiame põlevkivile $(CO_2)_{max} = 18{,}6\%$, mille põhjal liigõhutegur

$$\alpha = \frac{(CO_2)_{max}}{CO_2} = \frac{18{,}6}{12} = 1{,}55.$$

$$q_3 = 3{,}3(1{,}55 - 0{,}05) \cdot 0{,}5 = 2{,}5\%.$$

Mehaaniline kadu sõltub resti tüübist ja kütuse liigist. Kao suurus mehaanilistes kolletes ulatub 0,5—2%, käsitsi teenindatavates kolletes 4—8%. Mehaanilist kadu saab vähendada õige terajämedusega kütuse valikuga vastavalt resti tüübile ja kütuse täieliku läbipõletamisega restil.

Soojuskadu katelseadme välisjahtumisest sõltub müüritise paksusest ja temperatuurist, samuti ka katla koormusest. Mida väiksem on katel, seda suurem on suhteliselt nimetatud kadu (protsentides koldesse antavast soojushulgast): kateldel küttepinnaga kuni 100 m² ulatub see 5—8%, suurtel kateldel 0,5—2%. Koormuse suurenemisel kadu suhteliselt väheneb, koormuse vähenemisel aga suureneb.

Soojuskadu välisjahtumisest saab vähendada katlaosade hea isoleerimisega ja kolde müüritise õige paksuse valikuga (soovitav mitte alla 2 kivi).

Katla soojusbilansi koostamiseks ja kasuteguri määramiseks viiakse läbi proovikütmine, mille juures kaalutakse tarbitud kütuse ja saadud tuha hulk; mõõdetakse sama aja vältel aurustatud vee hulk või toodetud auru hulk; loetakse kindlate

ajavahemike järel auru rõhk ja temperatuur, heitgaaside temperatuur, toitevee temperatuur õhueelsoojendi ees ja taga, tuhapunkrist väljalastava tuha temperatuur ja määratakse suitsugaasi koostis. Kütuseproovist määratakse kütuse niiskus, tuhasisaldus ja kütteväärtus; tuhaproovist põlevaine sisaldus.

Tähistades:

$B$ — tarbitud kütuse hulk kg;
$D$ — aurustatud vee hulk (auru hulk) kg;
$i_{ü}$ — ülekuumendatud auru keskmine soojussisaldus kcal/kg;
$t_v$ — toitevee keskmine temperatuur ökonomaiseri ees kraadides;
$Q_t^k$ — tarbimiskütuse kütteväärtus kcal/kg,
siis aurule üleantud soojushulk

$$Q_1 = D\,(i_{ü} - t_v)\ \text{kcal}.$$

Sama aja vältel eraldub kütuse põlemisel soojust

$$Q_2 = B\,Q_t^k\ \text{kcal}.$$

Katla kasutegur on kasulikult veele üleantud soojushulga ja kulutatud soojushulga suhe, s. o.

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2}\,100\ \% = \frac{D(i_{ü} - t_v)}{BQ_t^k}\,100\ \%.$$

Eespool väljendatud katla kasutegur ei arvesta katelseadme omatarvet ja seda nimetatakse bruto-kasuteguriks.

Täielikuks otsustamiseks katla töötamise üle määratakse selle neto-kasutegur, mis arvestab auru- ja energiakulu ka omatarbeks. Selleks määratakse aurukulu (koos elektrienergiakuluga ümberarvutatult aurule) omatarbele $D_{ot}$ ja lahutatakse see üldisest aurutoodangust. Neto-kasutegur väljendub avaldisega:

$$\eta_{neto} = \frac{(D - D_{ot})\,(i_{ü} - t_v)}{BQ_t^k}\,100\ \%.$$

Kuna omatarve katelseadmel on küllalt suur, tuleb seda tingimata arvestada. Näiteks kulutab aurupump katla toitmiseks ligikaudu 4% aurutoodangust, õhuventilaator 1—2%, tõmbeventilaator 3—4%.

Järgnevalt on toodud NL-restiga peenpõlevkivi küttel töötava 300 m²-se küttepinnaga katla soojusbilanss:

| | | |
|---|---|---|
| 1. | Kasulikult tarbitud soojus $q_1$ | 80,2% |
| 2. | Kadu heitgaasidega $q_2$ | 9,6% |
| 3. | Keemiline kadu $q_3$ | 1,5% |
| 4. | Mehaaniline kadu $q_4$ | 0,3% |
| 5. | Kadu välisjahtumisest $q_5$ | 2,0% |
| 6. | Jääkkaod (tuha füüsikalise soojusega jm.) | 6,4% |
| | Kokku | 100,0% |

Näide. 120 m²-se küttepinnaga aurukatla katsetamisel 10 tunni jooksul määrati:

| | |
|---|---|
| aurustatud vee hulk | $D = 22\,450$ kg |
| tarbitud kütuse hulk | $B = 7\,800$ kg |
| kütuse kütteväärtus (põlevkivi) | $Q_t^k = 2\,900$ kcal/kg |
| auru rõhk katlas | $p = 12$ atü |
| ülekuumendatud auru temperatuur | $t_{ü} = 340°$ |
| toitevee temperatuur ökonomaiseri ees | $t_v = 60°$ |

Määrata katla kasutegur.

Veeauru tabelist leiame auru soojussisalduse: $i_{ü} = 747$ kcal/kg.

$$\eta_i = \frac{22\,450 \cdot (747-60)}{7800 \cdot 2900} 100 = 68\%.$$

## 111. AURUTUSARV

Peale kasuteguri iseloomustab katla töötamist veel rida teisi näitajaid. Üheks selliseks näitajaks on aurutusarv, mis näitab 1 kg kütusega aurustatud vee hulka kg-des, s. o. suurust $\frac{D}{B}$.

Aurutusarv sõltub kütuse liigist, auru rõhust ja temperatuurist, katelseadme tüübist ja selle teenindamisest. Keskmiselt võib aurutusarvu suuruseks lugeda:

| | | | |
|---|---|---|---|
| põlevkivil | 2,3—3 kg/kg | kivisöel | 5—9 kg/kg |
| puidul | 2 —3,5 „ | antratsiidil | 6—9 „ |
| turbal | 2 —4 „ | kütteõlil | 9—13 „ |

Et kõrvaldada auru rõhu ning temperatuuri, samuti toitevee temperatuuri mõju aurutusarvu suurusele, väljendatakse viimane normaalauru suhtes, s. o. soojussisaldusega 640 kcal/kg toitevee temperatuuri juures 0°. Selleks korrutatakse näivat aurutusarvu teguriga, mis võrdub 1 kg aurule katlas üleantud soojushulga ja normaalauru soojussisalduse suhtega, s. o. suhtega $\frac{i_{ü} - t_v}{640}$.

Näiva aurutusarvu põhjal võib otsustada antud katla töötamise muutuste üle; aurutusarvu põhjal normaalauru suhtes võib

otsustada erinevate katelde töötamise üle, mis kasutavad sama kütust.

Katla töötamise näitajaks on ka kütuse-erikulu, s. o. kütuse kulu toodangu ühikule — ühele tonnile aurule või ühele miljonile kilokalorile.

## 112. AURU OMAHIND

Auru omahind koosneb järgmistest kuluelementidest:

1) kütuse maksumus, kaasa arvatud kütuse transport katlamajja;
2) vee maksumus;
3) elektrienergia maksumus;
4) määrdeõlide, tihendusmaterjalide jt. abimaterjalide maksumus;
5) kulutused tuhaveole;
6) teenindava personali töötasu;
7) juurdearvestus töötasule;
8) hoonete ja seadmete amortisatsioon;
9) hoonete ja seadmete kindlustus;
10) hoonete ja seadmete remont;
11) töökaitse;
12) kaudsed kulud.

Nimetatud üldkulutuste summa, jagatud toodetud auruhulgaga, annab auru omahinna. Suurima kuluelemendi moodustab selles kütuse maksumus.

Kütusekulu, seega ka auru omahind, sõltub suurel määral kütjast: halb kütmine, suur liigõhutegur, puudulik põlemine jm. põhjustab suurt kütuse ülekulu ja vastupidi — hoolikas kütmine ning katla teenindamine annavad suurt kütuse säästu.

# XX. KATELSEADME VIGASTUSED JA REMONT

## 113. REMONDI JAOTUS

Katelseade töötab rasketes tingimustes, kusjuures selle osade vastupidavus sõltub:

a) materjali omadustest;
b) ekspluatatsioonitingimustest;
c) seadme koormusest;
d) seadme hooldamisest.

Katlamaja tööd iseloomustab avariide ja praagi hulk, mis sõltub suuresti remontidest; viimased jagunevad:

a) kapitaalremont — plaanitakse, tehakse 1 kord aastas;
b) jooksev remont — plaanitakse, tehakse 3—4 korda aastas;
c) avariiremont — tehakse kohe pärast avariid.

Kapitaalremondi puhul tuleb teha järgmisi töid:

1) katelagregaadi väline ülevaatus koos trumlite, kollektorite, neetühenduste, valtsitud ühenduste, äärikühenduste, sõrestiku, tihenduste, riputuse ja vundamendi kontrolliga ja korrastusega;
2) katelagregaadi sisemine ülevaatus;
3) trumlis asuvate seadmete, nagu separaatorite, läbipuhujate, eelsoojendite kontroll ja korrastus;
4) katla torude vigastuste määramine sööbimisest ja kulumisest, torude läbimõõdu kontrollimine;
5) vigastatud torude asendamine;
6) aurutorustiku kontroll ja korrastus;
7) armatuuri kontroll ja korrastus;
8) ülekuumendi torude individuaalne läbipesemine;
9) õhueelsoojendi kontroll ja korrastus;
10) garnituuri kontroll ja korrastus;
11) põlenud müüritise uuendamine ja gaasikäikude tihendamine;
12) katla trumli, ekraanide, ülekuumendi, ökonomaiseri, õhueelsoojendi ja kollektorite sisemine ning välimine puhastus;

13) õhueelsoojendi tiheduse kontrollimine;

14) abiseadmete, kütuse etteandmisseadmete, resti, tuhakoristamisseadmete jne. kontroll ja korrastus.

Enne kapitaalremondi algust tuleb koostada tööde nimekiri ja graafik ning kohale toimetada vajalikud materjalid ja tööriistad. Remondi koht tuleb ette valmistada ja eraldada töötavatest agregaatidest, samuti vormistada töökäsud.

Tööde käigus tuleb hoolikalt kontrollida töö kvaliteeti. Remonditud katel tuleb ekspluatatsiooni anda akti järgi.

Jooksva remondi maht on väiksem. Seda tehakse vastavalt sellele, kuidas katelseadme üksikud osad ekspluatatsioonis vastu peavad.

Katelseadmete remontimiseks lubatavad seisuajad aastas on toodud tabelis 42.

Tabel 42

**Remontimiseks lubatav katla seisuaeg päevades**

| | Kapitaalremont | Jooksev remont | Kogu seisuaeg aastas | Kapitaalremont | Jooksev remont | Kogu seisuaeg aastas |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Katlad aurutootlikkusega kuni 29 t/h | | | Katlad aurutootlikkusega 30—89 t/h | | |
| Tolmuküttekolletega | 10—12 | 12—16 | 22—28 | 12—15 | 16—20 | 28—35 |
| Mehaaniliste restidega | 10—12 | 12—16 | 25—28 | 12—15 | 16—20 | 28—35 |
| Oliküttekolletega | 8—10 | 12—14 | 20—24 | 10—12 | 12—16 | 22—28 |
| Lihtsate restidega (käsitsi teeninda-tavad jne.) | 8—10 | 12—14 | 20—26 | — | — | — |

Remondi kvaliteedist sõltub suurel määral katla töötamise kindlus, ohutus ja ökonoomsus.

## 114. AURUKATLAOSADE VIGASTUSED JA REMONT

Alljärgnevalt on toodud eri süsteemi katelde juures sagedamini esinevad vigastused koos nende tõenäoliste põhjustega ja remontimise viisiga.

| Vigastuse koht ja laad | Tekkimise põhjus | Remontimise viis |
|---|---|---|
| | **A. Püstveetorukatlad** | |
| Trumlite neetõmblused. | | |
| 1) Õmbluste lekkimine, needipea murdumine. | Neetimise vead või trumli deformatsioon tingituna ebaühtlasest kuumenemisest sissekütmisel ning mahakütmisel, katla asumisel kuumas reservis, töörežiimi muutusel jne. | Temmimine. Vigastatud neetide kõrvaldamine ja neediaukude ületöötlemine, kui need ei vasta nõudeile. Korduval lekkimisel õmbluse vigane koht uuesti neetida. |
| 2) Praod lehtedes ja lappides, mis esialgu tekivad radiaalselt neediaukude juures, hiljem pikenevad ja läbivad pleki. Selle tagajärjel võivad tekkida kardetavad praod, mis ulatuvad ühest needist teiseni. | Trumli deformatsioon ning lehtede vahele tungiva vee ja auru agressiivne toime. | Kohalikul vigastusel:<br>a) vigastatud koha kõrvaldamine ja lapi asetamine;<br>b) õmbluse üleviimine lehe tervesse kohta, milleks asetada laiem lapp; praod ja augud kinni keevitada. |
| 3) Praod neediaukude ja lehe ääre vahel; esinevad rohkem põikõmbluste juures. | Neetimine mitte kohakuti asuvate aukude puhul ja temperatuurist tingitud lisapinged. | Needistuse kõrvaldamine, pragude väljaraiumine ja kinnikeevitamine. Uus neetimine. |
| 4) Praod torulaudades:<br>a) toruaukude vahel; | Ülepinged metallis, termilised lisapinged ja vaheletungiva vee agressiivne mõju. | Pragude väljaraiumine ja kinnikeevitamine. Üksikute väikeste pragude kinnikeevitamine. Vigastatud koha väljaraiumine ja tüki sissekeevitamine. |
| b) kujuplaatide painutuskohtades. | Stantsimise vead, termilised pinged. | |
| 5) Praod trumli seintes. | Kohalik ülekuumendus või jahutamine (näiteks juhul, kui toitevesi satub otse trumli pinnale). | Üksikute pragude väljaraiumine ja kinnikeevitamine. Vigastatud koha väljaraiumine ja tüki sissekeevitamine. |
| Põhjad. | | |
| 6) Praod põhja paindekohtades kere juures, mis tekivad algul veeruumi osas seespool ega ole sügavad. Hiljem võivad tungida läbi põhja. | Väike ääre painutusraadius, millest tingituna tekivad suured lisapinged. Trumli ebaühtlane kuumenemine. Vee keemiline mõju. Metalli madal kvaliteet ja halb stantsimine. | Väikeste pragude väljaraiumine ja kinnikeevitamine (ajutine abinõu). Põhja vahetamine. Vigastatud koha kõrvaldamine ja tüki sissekeevitamine (madalrõhukateldel). |

| Vigastuse koht ja laad | Tekkimise põhjus | Remontimise viis |
|---|---|---|
| 7) Seinte ja põhjade sööbimine seestpoolt: | | |
| a) üksikud roostepesakesed nende all asuvate sööbinud kohtadega; | Lahustunud gaaside leidumine vees (hapnik, süsihappegaas). | Sööbinud kohtade täiskeevitamine. Vigastunud koha väljaraiumine ja lapi asetamine, kui seina paksus on jäänud väiksemaks nõutavast. Madalrõhukateldel (seina paksus kuni 20 mm) ühtlasel mittesügaval sööbimisel metalli pealekeevitamine. |
| b) enam-vähem ühtlane pinna sööbimine. | Hapete leidumine vees. | |
| 8) Seinte sööbimine väljastpoolt. | Müüritise niiskus; armatuuri, äärikute, luukide jne. lekkimine. | Vt. p. 7. |
| 9) Praod trumleid ühendavates torudes, avade tugevdusrõngastes ja nende kinnitusõmblustes. | Konstruktsiooni jäikus, mis põhjustab suuri sisepingeid katla termilisel paisumisel. | Pragude kinnikeevitamine, tugevdusosade asendamine, õmbluste uuesti neetimine. |
| Katla- ja ekraanitorud. | | |
| 10) Rõngaspraod valtsitud ühenduskohtades, mis algavad väljastpoolt ja hiljem tungivad läbi toru seina, kuhu hakkavad kogunema soolad. | Metalli ülepingete ja vee keemilise agressiivsuse koosmõju. Ülepinged tekivad, kui katlaosadel puudub vaba paisumise võimalus. | Toruosa või kogu toru asendamine. Keevituskoht peab asuma toru sirges osas. |
| 11) Torude väljapaisumine, muhud ja lõhkemine. | Metalli ülekuumenemine:<br>a) veeseisu langemise,<br>b) katlakivi,<br>c) tsirkulatsiooni nõrgenemise,<br>d) halva konstruktsiooni tõttu. | Toruosa või kogu toru asendamine. Väikeste väljapaisumiste tasandamine (kui toru läbimõõt ei ole suurenenud üle 10%) pärast kuumutamist gaasileegiga kuni punase värvuseni ja pehmest metallist 2—3 mm paksuse kihi pealesulatamist. Torud, mille läbimõõt on suurenenud mitte üle 4—5%, võivad töötada edasi. |
| 12) Toru välispinna kulumine. | Tuharikas kütus. Lenduhha ebaühtlane jagunemine gaasivoolus, gaaside kõrgendatud kiirus. Tahmapuhurite ebaühtlane töötamine. Praod naabertorudes, milledest väljub auru ja vett. | Vigastatud osa kõrvaldamine. Kohaliku väikese kulumise puhul metalli pealekeevitamine. |

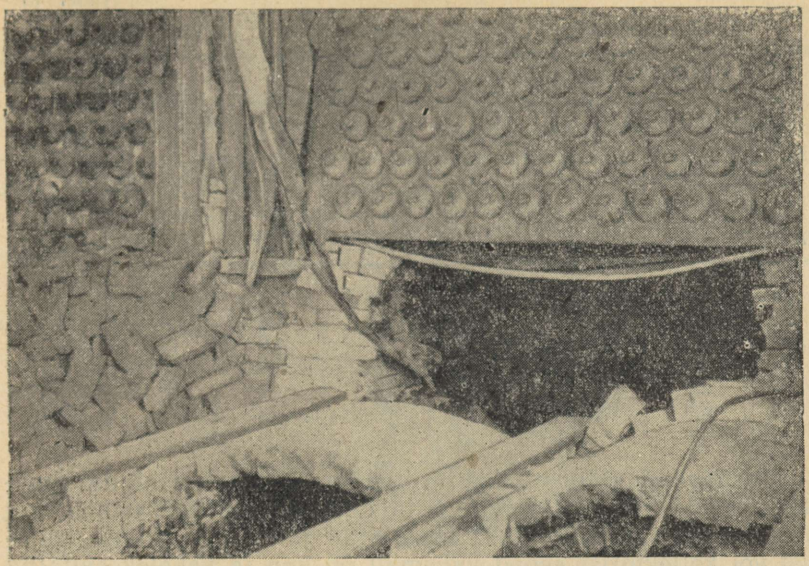
| Vigastuse koht ja laad | Tekkimise põhjus | Remontimise viis |
|---|---|---|
| 13) Toru avade kulumine (ovaalsus või läbimõõdu suurenemine). | Sagedane ja liiga tugev valtsimine. | Pesade ületreimine ja rõngaste sissepanemine kateldele rõhuga kuni 22 atü. Pesade suuremal kulumisel metalli peale-sulatamine ja ületreimine. |
| Auruüle-kuumendid. | | |
| 14) Praod kollektori toruavade vahel. | Liiga tugev valtsimine. Metalli kohalik ülekuumenemine auru ebaühtlase kuumenemise tõttu üksikutes siugtorudes. | Pragude kinnikeevitamine. |
| 15) Toru väljapaisumine, muhud ja lõhkemine. | Metalli ülekuumenemine:<br>a) torude täitumise tõttu sooladega;<br>b) auru kõrge ülekuumenduse tõttu, mida põhjustab auru väike kiirus, ülekuumendi liiga suur pind, katla ebanormaalne töötamine (nagu liiga suur õhuhulk, ekraanide ja esimese gaasikäigu räbustumine jne.) ja auru ebaühtlane temperatuur (üksikute torude osaline ummistumine, auru ebaühtlane jagunemine torudes jne.) | Vigastatud torude väljalõikamine ja asendamine. Süsinikterasest torud, mille läbimõõt on suurenenud mitte üle 3,5%, võivad edasi töötada. Legeeritud terasest torude paisumist lubatakse kuni 2,5%. |
| 16) Toru mehaaniline kulumine. | Vt. p. 12. | Vt. p. 12. |
| Ökonomaiserid. | | |
| 17) Toru sööbimine seestpoolt. | Vt. p. 7. | Vigastatud toru asendamine. |
| 18) Toru sööbimine väljastpoolt. | Väävligaaside leidumine suitsugaasides. Madal toitevee temperatuur. | Vt. p. 12. |
| 19) Toru mehaaniline kulumine. | Vt. p. 12. | Vt. p. 12. |
| | **B. Horisontaalveetorukatlad** | |
| Põhjad. | | |
| 20) Praod põhja paindekohtades kere juures veeruumis. | Vt. p. 6. | Vt p. 6. |

| Vigastuse koht ja laad | Tekkimise põhjus | Remontimise viis |
|---|---|---|
| K a m b r i d. | | |
| 21) Praod esikambri keevisõmblustes (vt. joon. 240). | Halb keevitus. Metalli ülekuumenemine kambri alumises osas, mis kattub kiiremini katlakivi ja mudaga. | Pragude kinnikeevitamine. Tugevdusribide asetamine. |
| 22) Praod kambri ühendustoru äärtes ja trumli ning toru neetühenduse lekkimine, praod tugevdusrõngastes. | Katla konstruktsiooni jäikus, mis ei võimalda katlatorude vaba paisumist. | Vigastatud osade asendamine, vigastatud kohtade kinnikeevitamine. |
| 23) Kambri sidepoltide sööbimine. | Vt. p. 7. | Sidepoltide asendamine, kui nende tugevus on vähenenud alla lubatava piiri. |
| 24) Kambri ja sektsioonikambrite välispinna sööbimine luukide läheduses. | Luukide lekkimine. | Sööbimiskohtade täiskeevitamine. Sektsioonide asendamine. |
| K a t l a t o r u d. | | |
| 25) Katlatorude väljapaisumine ja lõhkemine. | Vt. p. 11. | Vt. p. 11. |
| T r u m l i d. | | |
| 26) Trumli alumise osa väljapaisumine. | Lubamatu veeseisu langus katlas. Katlakivi ja muda sadestumine pinnale. | Väikesed väljapaisumised, mille raadius on kuni 3% trumli läbimõõdust, võivad jääda, kui metall pole vigastunud. Väljapaisumiste tasandamine või väljalõikamine ja lapi asetamine. |
| 27) Sisepinna sööbimine. | Vt. p. 7. | Vt. p. 7. |
| 28) Välispinna sööbimine. | Vt. p. 8. | Vt. p. 8. |
| M u d a t r u m l i d. | | |
| 29) Sagedane mudatrumli sisemine ja välimine tunduv sööbimine. | Vt. p. 7 ja 8. | Vt. p. 7 ja 8. |

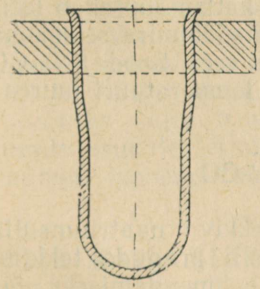
| Vigastuse koht ja laad | Tekkimise põhjus | Remontimise viis |
|---|---|---|
| | **C. Leegitorukatlad** | |
| Põhjad. | | |
| 30) Praod põhja paindekohtades kere ja leegitorude ühenduskohtade juures seespool, veeruumis. | Ülepinged äärte painutuskohtades tingituna leegitorude ja kere erinevast temperatuurist ja samaaegsest vee keemilisest mõjust. Väike painderaadius. Halb stantsimine. | Pragude kinnikeevitamine (ajutine vahend). Vigastatud koha eemaldamine ja lapi panek. Põhja asendamine. |
| 31) Põhja välimise alumise osa sööbimine. | Koldest eemaldatava tuha ja räbu kustutamisest tingitud niiskus. Ombluste lekkimine. | Lapi asetamine väiksematele sööbinud kohtadele. Vigastunud koha väljaraiumine ja lapi panemine. |
| 32) Sisemine sööbimine veeruumis. | Vt. p. 7. | Vt. p. 7. |
| Leegitorud. | | |
| 33) Esimeste lülide väljapaisumine. | Lubamatult madalast veeseisust tingitud ülekuumenemine. Katlakivi, muda või õli kogunemine seintele. | Väljapaisumise juures raadiusega kuni 3% toru läbimõõdust võib ajutiselt edasi töötada, võimaluse korral koht isoleerida ja jälgida vigastatud kohta katla töötamisel. Suuremad väljapaisumised tasandada kuumas olekus. Kui see on võimatu, siis vigastatud koha väljalõikamine ja lapi panek või lüli asendamine. |
| 34) Tagumiste lülide väljapaisumine. | Katla liiga suur kalle. | Vt. p. 33. |
| 35) Praod lülide ühendusrõngaste äärte painutuskohtades. | Peapõhjus sama mis p. 30. | Lappide asetamine. Pragude kinnikeevitamine, kui nende pikkus on alla 20% toru ümbermõõdust. |
| 36) Praod leegitoru seintes. | Järsk jahutamine külma õhu poolt koldeuste avamisel. | Pragude väljaraiumine, aukude puurimine prao otstesse ja kinnikeevitamine. Vigastatud koha kõrvaldamine ja lapi panemine. |
| Kere. | | |
| 37) Kere läbipaindumine tugede kohal. | Ebaõige tugede asetus. | Läbipaindumised raadiusega üle 100 mm õiendada. |

| Vigastuse koht ja laad | Tekkimise põhjus | Remontimise viis |
|---|---|---|
| 38) Kere alumise osa väljapaisumine (3. suitsukäik). | Vaheseina purunemine 2. ja 3. suitsukäigu vahel, gaaside põlemine 3. suitsukäigus (ebaõige ekspluatatsioon). | Väikese väljapaindumisega, mille raadius on kuni 3%, võib edasi töötada, kui seina paksus pole tunduvalt vähenenud. Suurema väljapaisumise puhul vigastatud koha väljalõikamine ja lapi panemine. |
| 39) Välisseina sööbimine. | Niiskus suitsukäikudes. Väävlirikas kütus. | Metalli pealekeevitamine, lapi panemine. |
| 40) Siseseina sööbimine veeruumis. | Vt. p. 7. | Vt. p. 7. |
| Neetõmblused. | | |
| 41) Põikõmbluste lekkimine ja praod neetidest lehe ääreni peamiselt kere alumises osas. | Lisapinged tingituna kere alumise osa temperatuuride erinevusest, samuti ka kere ning leegitorude temperatuuride vahest. Katla ebaühtlane kuumenemine, eriti tema sisekütmisel. | Temmimine ja õmbluste üleneetimine. Pragude kinnikeevitamine. Vigastatud koha väljaraiumine ja lapi panemine. |
| 42) Leegitorude ja põhja ühenduskohtade lekkimine. | Vt. p. 30. Ees- või allkolde puhul õmbluse piirkonna ülekuumenemine tingituna puudulikust isoleerimisest. | Õmbluste üleneetimine, kui temmimine ei kõrvalda lekkimist. |
| 43) Õmbluse äärte kulumine. | Lekkimine. Sagedane temmimine. | Ääre kulumisel kuni 25% esialgsest laiusest võimalik pealekeevitus Suuremal kulumisel väljaraiumine ja lapi panemine. |
| **D. Väikesed püstkatlad** | | |
| 44) Kolde seina lehtede väljapaisumine, allkolde puhul mudarõnga läheduses. | Veeseisu lubamatu langus. Katlakivi olemasolu. Muda sadestumine katla alumises osas. Seina ülekuumenemine katla alumise osa isolatsiooni puudumise tõttu. | Vt. p. 33. |
| 45) Valtsitud ühenduste ja katlatorude väljapaisumine, lekkimine. | Lubamatu veeseisu langus, katlakivi olemasolu. | Torude asendamine. |

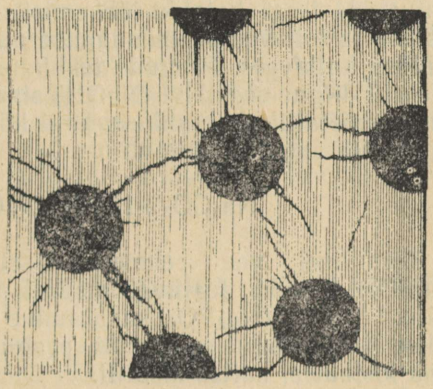
| Vigastuse koht ja laad | Tekkimise põhjus | Remontimise viis |
|---|---|---|
| 46) Praod koldelehtedes (tihti koldeukse läheduses) | Vt. p. 36. | Vt. p. 36. |
| 47) Kere sööbimine väljastpoolt (eriti alumises osas ja luukide läheduses) | Tuha ja muda kogunemine katla vahetus läheduses. Luukide lekkimine. | Lapi pealeasetamine. |
| | **E. Veduritüüpi katlad** | |
| K o l l e. | | |
| 48) Tulekarbi lae ja seinte väljapaisumine sidepoltide vahel. | Lubamatu veeseisu langus. Seinte kattumine katlakivi ja mudaga. | Õiendamine kuumas olekus. |
| 49) Kere läheduses asuvate kolde sidepoltide katkemine. | Poltide paindumine koldelehtede ebaõige asetuse tõttu kere suhtes ja kolde seinte erinev soojenemine. Poltide sööbimine, mille tõttu väheneb nende põiklõige. | Sidepoltide asendamine. Lubatakse ajutiselt ummistada 5 katkenud sidepolti ja mitte üle 2 laes asuva ankurpoldi. |
| 50) Kolde seintes praod, mis algavad sageli sidepoltide aukudest. | Kolde järsk jahutamine külma õhuga. | Pragude kinnikeevitamine. |
| 51) Sidepoltide lekkimine. | Katla ebanormaalne töötamine. Järsk jahtumine, forsseerimine, kiire sissekütmine. Sidepoltide ebaõige paigutus. | Sidepoltide asendamine. On keelatud side- ja ankurpoltide temmimine tulekarbi poolt. |
| 52) Suitsutorude valtsitud ühenduste lekkimine. | Vt. p. 51. | Täiendav valtsimine. Keevitatud torude täiendav valtsimine või temmimine on keelatud. |
| 53) Avade kulumine torulaudades. | Sagedane torude valtsimine. | Toruavade osaline täiskeevitamine. Lokomobiilikateldel kulunud osa väljalõikamine ja uue torulaua osa sissekeevitamine. |
| 54) Neetõmbluste äärte kulumine. | Õmbluse lekkimine. | Juurdekeevitamine. |
| 55) Kolde väliskülje kulumine luukide läheduses. | Luukide lekkimine. | Väikeses ulatuses sööbimise puhul lapi pealepanemine. |



Joon. 240. Praod esikambri keevisõmblustes.



Joon. 241. Toruavade ummistamine torulaudades.



Joon. 242. Praod katlakere neetõmbluses.

Tabel 43

**Torude valtsimisel ja painutamisel lubatavad piirväärtused**

| Toru välisläbimõõt mm | Maksimaalne vahe toru ja augu seina vahel mm | Valtsitud toru väljaulatuva osa pikkus mm | | | Painutuskohas lubatav toru ovaalsus mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Painutusraadiuse juures | | | |
| | | normaalne | minimaalne | maksimaalne | kuni 100 mm | 100—200 mm | 300—500 mm | üle 500 mm |
| 38 | 1,5 | 9 | 6 | 12 | 3,5 | 2,5 | — | — |
| 51 | 1,5 | 11 | 7 | 15 | 5,0 | 3,5 | — | — |
| 60 | 1,7 | 12 | 8 | 16 | — | 4,0 | 2,5 | 2,0 |
| 76 | 2,0 | 12 | 8 | 16 | — | 5,0 | 4,0 | 2,5 |
| 83 | 2,0 | 12 | 9 | 18 | — | — | 5,0 | 3,5 |
| 102 | 3,0 | 15 | 9 | 18 | — | — | 7,0 | 5,0 |

Toruavade sulgemiseks torulaudades võib kasutada umbseid torusid (joon. 241). Torude jätkamisel peab jätk asuma toru sirges osas. Valtsitud toru keevitatud jätk peab asuma trumlist või kollektorist eemal vähemalt 50 mm ja vahelekeevitatud toru pikkus peab olema vähemalt 200 mm.

Igas torus võib keskmiselt 2 m pikkuse kohta olla mitte üle ühe jätku. Seejuures torude välisläbimõõtude erinevus ei tohi olla üle 1 mm.

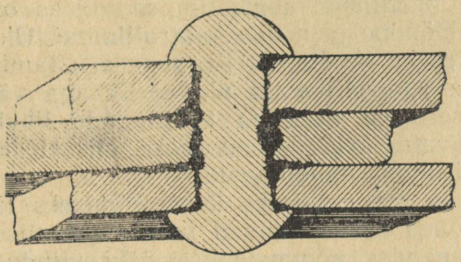
Kõikide katlatüüpide juures esinevate vigastuste eriliigi moodustavad leelisrikka katlavee toimel tekkivad praod, mis võivad põhjustada isegi katelde lõhkemisi. Toitevee keemilise ettevalmistuse ja toitevee pehmendamise puhul katlas suureneb leelise sisaldus katlavees. Pragude tekkimise ja sööbimise seisukohast on ohtlik liigne seebikivi (NaOH) sisaldus vees. Sooda ($Na_2CO_3$) ei mõju metallile kahjulikult, kuid kõrge temperatuuri juures ta laguneb ja annab seebikivi:

$$Na_2CO_3 + H_2O = 2NaOH + CO_2.$$

Keemilisel vee pehmendamisel tekkiv naatriumsulfaat ($Na_2SO_4$) kaitseb teataval määral metalli pragude tekkimise vastu. Fosfaadi ($Na_3PO_4$) kasutamine vee pehmendamiseks nõuab erilise tähelepanu osutamist pragude tekkimise võimalusele, kuna fosfaat ei kaitse metalli.

Praod tekivad peamiselt neetõmblustes (joon. 242) ja valtsitud ühenduskohtades. Neetõmbluses jääb needi ja neediaugu vahele alati väike vahe, kuhu tungib katlavesi. Vee auramisel täitub õmbluse vahe pidevalt uue veega, millega suureneb lee-

lise (NaOH) kontsentratsioon õmbluse vahel. Selle tagajärjel nõrgeneb side metalli kristallide vahel, metall muutub rabedaks (leelis-rabedus) ja praguneb. Ränihappe ($SiO_2$) sisaldus katlavees kiirendab tunduvalt pragude tekkimist. Pragude tekkimise seisukohalt on keevitatud õmblused paremad. Katlavee agressiivne mõju on eriti intensiivne kohtades, kus metallis esinevad mehaanilised või termilised ülepinged. Vigastatud ja ebatiheda koha nähtavaks tunnuseks on nn. soolaseenekeste tekkimine (joon. 243). Vigastuste vältimiseks tuleb hoiduda mehaanilistest ja termilistest ülepingetest metallis, mida põhjustab



Joon. 243. Soolade kogunemine needi juures.

katlaosade vaba termilise paisumise võimaluse puudumine, toitevee ebaõige juhtimine katlasse jne. Termiliste ülepingete vältimiseks kasutatakse ka ekspluatatsioonilisi abinõusid, nagu katla ekraanide alumiste kollektorite läbipuhumist katla sissekütmisel jne. Vee pääsemist ühenduskohtade vahele tuleb takistada, milleks on tarvilik neetõmblust mõlemalt poolt hoolikalt temmida. Vee agressiivsuse vähendamiseks kasutatakse mitmesuguseid keemilisi aineid, nagu salpeetrit ($KNO_3$, $NaNO_3$), tanniini jt. NSV Liidu Elektrijaamade Ministeeriumi eeskirjadega on nõutav katla trumlite deformeerimise pidev jälgimine ja trumlis asuvate termilisi pingeid põhjustavate toitevee jaotusseadmete ümberehitamine.

## 115. KATLAMETALLI JUUSPRAGUDE AVASTAMINE

Leelisrabedusest tingitud praod esinevad kõige rohkem kokkuneeditud lehtede ja lappide vahel. Kuna need kohad on järelevaatustel ligipääsmatud, siis on pragude õigeaegne avastamine raskendatud.

On kindlaks tehtud, et needitud trumlite vigastuste algstaadiumis tekivad juuspraod, mis mõnikord esinevad ka grup-

pidena. Mõned neist arenevad neediaukude vahel või äärmise needirea ja lehe serva vahel järk-järgult ohtlikeks pragudeks, kuid ei ulatu seejuures sageli metalli välispinnani. Vigastamata osa paksus võib olla kõigest 2—3 mm, mis ei kindlusta trumlile vajalikku tugevust.

Neetõmbluste kontrollimisel klopitakse neete vasaraga. Kui seejuures ükski needipea ei murdu, eeldatakse tavaliselt, et õmblus on terve. Selline järeldus osutub ekslikuks, sest sageli ei murdu needipea mitte ainult nõrgalt arenenud prao korral, vaid ka siis mitte, kui pragu läbib kogu neeti.

Paremaks neetliidete kontrollimise viisiks osutub üksikute neetide väljalöömine ja nende kontrollimine. Ühtlasi kontrollitakse seejuures ka neediauke. Pragude avastamiseks lihvitakse ja peitsitakse kontrollitavaid pindu. Et aga välja saab lüüa ainult väikese arvu neete ja et pindade lihvimine halvasti juurdepääsetavates kohtades on raske, siis ei saa sellist kontrollimise viisi lugeda rahuldavaks.

Neetõmbluse magnetiliseks kontrollimiseks lüüakse õmblusest välja mõned kõrvutiasuvad needid (tavaliselt 4—5 neeti) ja tühjadest aukudest «õmmeldakse» läbi painduv elektrikaabel (ühest august sisse, teisest välja jne.), mis ühendatakse keevitustransformaatoriga. 1400—1700 A tugevuse voolu läbilaskmiseks peab kaabli ristlõige olema 95—240 $mm^2$.

Pärast magneetimisvoolu läbilaskmist kaetakse uuritav metallipind magnetilise suspensiooniga, mis koosneb 5—6 osast magnetilisest pulbrist, 2 osast seebist ja 10 osast veest. Pulbri valmistamiseks kuumutatakse kuiva rauaoksüüdi (suuriku) ja petrooleumi segu taignataolist massi tiiglis, millena võib kasutada ka allakeevitatud põhjaga 50—75 mm läbimõõduga toruotsa. Tiigli tihedalt suletavas kaanes peab olema auk gaaside väljalaskmiseks. Kuumutamine toimub kas sepaääsil või suitsukäigus, kus temperatuur on 650—800°.

Kuumutamisel ilma õhu juurdepääsuta taandub mass $Fe_2O_3$ mustaks pudedaks magnetiliseks rauaoksüüdiks $Fe_3O_4$. Tiigli jahutamisel tuleb samuti jälgida, et õhk selle sisule juurde ei pääseks. Vastasel korral oksüdeerub kuum pulber uuesti ja kaotab oma magnetilised omadused.

Pragude esinemisel koguneb ülalkirjeldatud viisil valmistatud magnetiline suspensioon pragude kohal silmaga nähtavateks triipudeks, mis jäävad püsima ka pärast magneetimisvoolu katkestamist.

Samal viisil on võimalik kontrollida ka keevitatud või sepistatud trumlite toruavade seisukorda. Sel korral juhitakse magneetimisvool otse trumlisse, milleks võib kasutada toruavadesse asetatavaid korke või muid kontakte.

Magnetiline pragude avastamise viis on lihtne ja seetõttu igas katlamajas kasutatav. Seejuures tuleb aga arvestada, et sügaval metallis või trumli siseküljel asuvaid pragusid ei saa magneetimisel nähtavaks teha.

Teine moodus pragude nähtavakstegemiseks on järgmine: uuritav pinnaosa puhastatakse metalse läikeni, kõrvaldatakse metalli pinnalt rasv ja kaetakse seejärel nn. luminofooriga, s. o. tugevalt fluorestseeruva lahusega, millena kasutatakse transformaatoriõli, lennukimootoriõli ja petrooleumi või kerge mineraalõli ja petrooleumi segu. 10—15 minuti pärast pestakse fluorestseeruv lahus tugeva veejoaga maha ja pind kuivatatakse õhujoaga. Kuivatatud pinnale puistatakse peenikest kriidi-, talgi-, magneesiumoksüüdi- või magneesiumkarbonaadi puru, mis niiskub pragudesse jäänud luminofoorist. Järgneval pinna valgustamisel ultraviolettkiirtega hakkavad pragude kohad helendama. Valgusallikana võib kasutada elavhõbe-kvartslampe ПРК-2, ПРК-4 ja nikkel- või ultraviolettfiltrit УФС.

Selline meetod on kasutatav pragude avastamiseks ka mittemagnetilistes ainetes nagu värvilistes metallides ja austeniitklassi legeeritud terastes.

Metalli läbivalgustamine röntgeni- või gammakiirtega ei nõua õmbluse lahtivõtmist ega torude eemaldamist, kuid võimaldab kindlaks teha ainult suuremaid pragusid.

Viimasel ajal on pragude avastamiseks hakatud kasutama ultraheli, mis põhineb sellel, et materjalis leiduvad defektid takistavad $10^4$ kuni $10^8$ perioodi sekundis sagedusega kunstlike võngete levimist.

Kõrgsagedus-helilained levivad ühtlases metallis kindlasuunaliselt ja olulise kustumiseta, pinnalt aga peegelduvad peaaegu täielikult. See omadus võimaldab ultraheli abil kontrollida metalli ühtlust, avastada pragusid, valuvigu ja muid defekte.

Võngete tekitamiseks kasutatakse kvartskristalli või baariumnitraadi piesoelektrilist efekti. Sellise võnkeid tekitava generaatoriga ergutatakse piesoelektrilist saatjat, mis puutub uuritava metalliga kokku vedelikukihi kaudu. Vahelduva elektrivälja toimel tekkivad mehaanilised võnked läbivad metalli, satuvad uuesti vedelikukihti ja sealt piesoelektrilisse vastuvõtjasse. Vastuvõetud võnked võimendatakse ja neid jälgitakse telefoni, neoonlambi või voltmeetri abil.

Kui saatja ja vastuvõtja nihutada defekti kohale, nõrgeneb vastuvõetav signaal tunduvalt.

Katlatrumlite kontrollimise praktikas on sobivamaks osutunud tekitada ultraheli võnkeid mitte pidevalt, vaid lühikeste impulssidena, kusjuures piesoelektrikuna kasutatakse baariumtitanaadi kristalle.

Sellisel põhimõttel töötavate defektoskoopidega (УЗД-5, УЗД-7, УЗД-7-М ja УЗД-7-Н) on võimalik kontrollida 7—15 mm paksusi trumliseinu.

Usaldusväärsete tulemuste saamiseks peab pind olema sile ja hästi puhastatud, milleks roostesöövete või mõlkide korral kasutatakse freese või 100—200 mm läbimõõduga ketassaagide pakette.

Pärast puhastamist kaetakse pind rikkalikult õliga (avtool vähese transformaatoriõli lisandiga), et tagada head akustilist kontakti.

Ultraheli meetodil on võimalik kontrollida tunduvalt rohkem neete kui mingil muul viisil. Mõõtetulemuste põhjal materjali seisukorra õigeks hindamiseks (praod, poorid või räbupesad) on aga vaja kogenud töötajat, kes tunneb hästi nii katla töötamistingimusi kui ka metalli võimalikke defekte ja vigastusi.

# XXI. KATELSEADME AVARIID

## 116. AVARIISEISUKORD KATLAMAJAS

Avarii all mõistetakse katla mingi osa vigastust või normaalse töörežiimi katkemist, mille tagajärjel katel langeb tööst välja või väheneb tema tootlikkus. Avarii katlamajas põhjustab üksikute masinate, osakondade ja vahel ka kogu käitise seismajätmist. Seepärast on katelseadme töötamisel avariide vältimine esimeseks ja kohustuslikuks nõudeks. Statistika näitab, et peaaegu kõik avariid tekivad katlamajas juhtiva, remondi- või teenindava personali süü läbi. Avariid võivad esineda katelseadme kõikide osade juures. Avariide vältimiseks on vaja teada nende tekkimise põhjusi ning tunda põhjalikult katelseadme töötamise iseärasusi. Üks inimene ei suuda hoolimata oma tööstaaži pikkusest kunagi isiklikult läbi elada kõiki võimalikke avariisid. Seepärast tuleb iga avarii ja tema kõrvaldamiseks kasutatud abinõud personali poolt läbi arutada ning selgitada avarii tekkimise põhjused, et saada nende vältimiseks vajalikke kogemusi.

Mitmesugused katelseadme töötamisel esinevad ebanormaalsed, kuid kahjutud olukorrad, nagu veeseisu kõikumine, auru rõhu või temperatuuri tõus jne., võivad personali hooletuse tõttu kujuneda avariiks. Seepärast on nõutav, et katelseadme töötamisel esinevasse igasse korratusse suhtutaks tähelepanelikult ja võetaks tarvitusele abinõud selle viivitamatuks likvideerimiseks.

Avarii tõttu tekib katlamajas avariiseisukord, mil personal peab tegema kõik avarii kiireks likvideerimiseks. Vastavate eeskirjade nõudeid ja vanema personali korraldusi tuleb täita rahulikult, teadlikult ja distsiplineeritult. Vahetuse üleandmine lükatakse sel puhul edasi kuni normaalse töörežiimi saavutamiseni. Iga avarii ja selle likvideerimiseks kasutatud abinõud tuleb registreerida vastavas raamatus.

Katla, auruülekuumendi ja ökonomaiseri igast avariivigastusest ning nende teenindamisega seoses olevast tööõnnetusest tuleb käitise administratsioonil viivitamata teatada katlainspektsioonile.

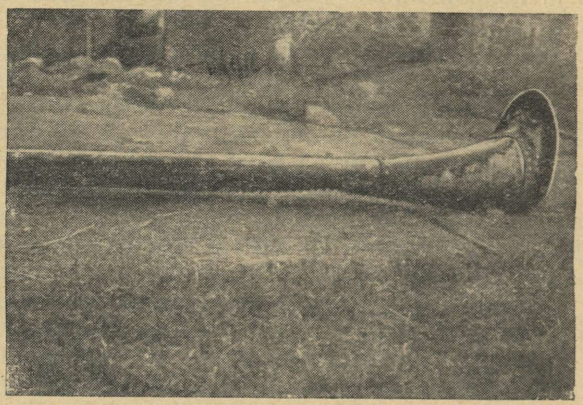
Väiksematest vigastustest teatatakse katlainspektsioonile perioodiliselt, mitte harvemini kui kord kuus.

Alljärgnevalt on kirjeldatud katlamajas esinevaid raskemaid avariisid ja on toodud nende tundemärgid ning peamised põhjused.

## 117. VEESEISU LANGUS JA TÕUS

Katla veeseisu pideval langemisel tuleb kontrollida rõhku toiteliinis, suurendada toitmist ning üle vaadata katla ja ökonomaiseri väljalaskearmatuur. Kui veeseis jätkab langemist, tuleb vähendada katla koormust ja kütuse andmist koldesse. Kütja tegevus veeseisu langemisel on toodud katla teenindamise peatükis (vt. p. 106).

Veeseisu langemisel ähvardab katelt kuivaksjäämine ja lõhkemine, mis on kõige kardetavam juhtum. Joonisel 244 on näidatud veeseisu alanemise tõttu sisselangenud leegitoru. Katla



Joon. 244. Veeseisu alanemise tõttu sisselangenud leegitoru.

kuivaksjäämise vältimiseks tuleb katla toiteseadmete ja veeseisunäitajate korrasolekule osutada kõige suuremat tähelepanu. Katla mõlema veeklaasi ummistumisel või purunemisel võib lühemat aega edasi töötada, kontrollides veetaset proovikraanide abil. Viimaste puudumisel tuleb katel seisma jätta.

Veeseisu järsul tõusmisel katlas, mis esineb katla hooletul toitmisel, eriti katla koormuse vähenemisel, tuleb vähendada või isegi katkestada toitmine. Kui katel on varustatud ökonomaiseriga, tuleb viimane välja lülitada ja juhtida gaasid

möödakäiku. Veeseisu tõusmise jätkumisel tuleb avada aurutorustiku ja katla läbipuhumisventiilid. Kui vesi täidab klaasi täielikult ja aurutorustikus kuulduvad löögid, tuleb avariiseisukorrast teatada masinamajja ja summutada tuli koldes. Selleks tuleb kihispõlemise puhul katkestada õhupuhumine, vähendada tõmmet ja lõpetada kütuse andmine koldesse, õlikütte puhul välja lülitada pihustid, tolmukütte puhul välja lülitada tolmu etteandjad ja šahtveskiga kollete puhul katkestada kütuse andmine veskisse. Samal ajal tuleb tugevdada katla ja aurutorustiku läbipuhumist ja jälgida vett klaasis.

Katlavee vahutamisel täidab vesi mõnikord kiiresti klaasi, millega kaasub ülekuumendatud auru temperatuuri langus, katla aururuumiga ühenduses oleva armatuuri auramine ja löögid aurutorustikus. Säärasel korral tuleb viivitamatult vähendada katla koormust, vähendada vee ja kütuse andmist ja avada perioodiline läbipuhumine või suurendada pidevat läbipuhumist.

Vee vahutamist põhjustab halb katlavesi.

## 118. TORUDE VIGASTUSED

Katla-ja ekraanitorude vigastuste põhjuseks on:

a) katlakivi olemasolu torudes;

b) torude ummistumine kõrvaliste esemetega, mis on sisse jäänud montaažil või remondi ajal;

c) katlasse uute torude asetamine, mis pole pärast painutamist hoolikalt puhastatud liivast;

d) müüritise osade või räbupankade langemine torudele;

e) torude kulumine korratult töötavate või valesti asetatud tahmapuhurite aurujoa toimel;

f) ebaõige katla sissekütmine ja toitmine, mis põhjustab termiliste lisapingete tekkimist valtsitud ühenduskohtades;

g) torude materjali või valmistamise defektid.

Torude vigastuste tunnusteks on:

a) katla veeseisu langus;

b) aurujoa poolt põhjustatud müra koldes või gaasikäikudes;

c) gaaside väljalöök luukidest, vaateavadest ja müüritise ebatihedatest kohtadest;

d) liiga suur veekulu katla toitmisel.

Katla- ja ekraanitorude vigastumisel tuleb talitada samuti kui katla veeseisu lubamatul langemisel.

Ökonomaiseri torude vigastuste tunnusteks on:

a) katla veeseisu langus;

b) liiga suur veekulu katla toitmisel;

c) müra ökonomaiseri piirkonnas;

d) vee või auru väljatungimine ökonomaiseri müüritise ebatihedatest kohtadest ja ökonomaiseri-alusest punkrist.

Vigastatud ökonomaiser tuleb gaasivoolust välja lülitada, juhtida toitevesi otse katlasse, vesi ökonomaiserist välja lasta ja avada ökonomaiseri kaitseklapp.

Kui puudub gaaside möödakäik, kuid hoolimata ökonomaiseri lekkimisest on võimalik hoida normaalset veeseisu katlas, võib jätkata töötamist kuni koormuse üleandmiseni reservkatlale.

Auruülekuumendi torude vigastuste põhjuseks on:

a) ülekuumendi torude täitumine sooladega katlavee liigse soolade sisalduse, auru halva separatsiooni või katla ületoitmise tõttu;

b) gaaside temperatuuri liigne tõus ülekuumendi ees tingitult mittetäielikust põlemisest koldes ja gaaside järelpõlemisest ülekuumendi piirkonnas või esimese gaasikäigu torude räbustumisest;

c) katlast küllastunud auru võtmine;

d) auru ebaühtlane jagunemine siugtorudes;

e) gaaside ebaühtlane kiirus ülekuumendis.

Vigastuste tunnused on samad kui katlatorude puhul. Vigastatud torust suure kiirusega väljuv aur võib lühikese ajaga lõigata läbi naabruses asuvad siugtorud või katlatorud.

Kolde ja esimese gaasikäigu torude räbustumisel tõuseb gaaside temperatuur, mis omakorda põhjustab veel intensiivsemat räbu tekkimist ja auru ülekuumenduse tõusu. Kui sel juhul torude korralik puhastamine osutub võimatuks, tuleb vähendada katla koormust kuni järgmise jooksva remondini.

Kui kolde ülemises osas tekivad suured räbupangad, mis võivad lahti murduda ja varisemisel katelt vigastada, tuleb katel seisma jätta, eraldada aurumagistraalist, lasta rõhk alla ja kõrvaldada räbu. Katel tuleb sel juhul seisma jätta ettevaatlikult ja aeglaselt, kuna vastasel korral võib räbu kiirel jahtumisel praguneda ja alla langeda.

Katla aurutorustiku lõhkemise põhjuseks on:

a) liigne veeseisu tõus katlas ja vee sattumine aurutorustikku;

b) puudulik auruülekuumendi läbipuhumine;

c) liiga kiire auruventiili avamine katla lülitamisel aurumagistraali;

d) torustiku nõrgenemine sööbimise tagajärjel.

Samadel põhjustel esineb sagedamini tihendite väljapaiskumine äärikute vahelt.

Vigastatud torustikuosa tuleb välja lülitada.

Ühekordse aurutorustiku puhul tuleb vigastunud torustikuosale töötav katel seisata.

## 119. MÜÜRITISE VARISEMINE JA PÕLEMINE NING PLAHVATUSED GAASIKÄIKUDES

Kolde ja gaasikäikude müüritise osalisel varisemisel tuleb vähendada põlemist koldes. Pragude tekkimisel müüritises, mis võivad põhjustada peavõlvide varisemist, või katla kandesõrestiku kuumenemisel kuni punase värvuseni tuleb katel seisata.

Tahma või gaaside põlemisel gaasikäikudes või katla järelküttepindadel tuleb katel seisata.

Gaasikäikudes plahvatuse tekkimise põhjuseks on:

a) gaasikäikude puudulik ventileerimine enne katla sissekütmist või pärast leegi kustumist;

b) õlipihusti või gaasipõleti ebaõige käivitamine;

c) kolde töötamine puuduliku õhuhulgaga;

d) kolderuumi väike maht ja kõrgus.

Plahvatuse tagajärjel tekkida võivate purustuste vältimiseks tuleb asetada müüritisse kergesti avanevad plahvatusklapid.

## 120. VEE KEEMINE MALMÖKONOMAISERIS

Vee keemise põhjuseks on:

a) katla toitmise katkemine;

b) ökonomaiserisse antava vee temperatuuri liigne tõus;

c) gaaside temperatuuri liigne tõus ökonomaiseri ees;

d) rõhu suur langus katlas.

Vee keemise tunnusteks on:

a) vee temperatuuri tõus ökonomaiseris kuni küllastunud auru temperatuurini;

b) tugevad veelöögid ökonomaiseris.

Vee keemine malmökonomaiseris on väga kardetav, kuna see võib põhjustada ökonomaiseri torude lõhkemist. Säärasel korral tuleb suitsugaasid juhtida möödakäiku ja ökonomaiser lülitada välja toiteliinist. Ökonomaiseri võib töösse tagasi lülitada, kui vee temperatuur temas on langenud 50—70° alla katlavee temperatuuri.

## 121. AURUKATLA LÕHKEMINE

Katla lõhkemine on kõige raskem avarii, mis mitte ainult täielikult ja pikemaks ajaks viib katla rivist välja, vaid millega kaasuvad ka suured purustused ja tõsised õnnetused. Valdav enamus katelde lõhkemisi tekib katla kuivaksjäämise tagajärjel. Harvemini esineb rõhu tõusust ja tugevast sööbimisest või pragudest tingitud lõhkemisi.

Katla kuivaksjäämisel kuumenevad üle suitsugaasidega kokkupuutuvad küttepinnad, mille tagajärjel katla metall kaotab oma tugevuse ja praguneb. Pragudest auru väljavoolamise tagajärjel auru rõhk katlas langeb kiiresti atmosfääri rõhuni, mis põhjustab katlas oleva ülekuumenenud vee silmapilkset aurustumist ja katla lõhkemist. Kuna auru maht atmosfäärilisel rõhul on 1700 korda suurem kui veemaht, on mõistetav, milliseid purustusi katla lõhkemine võib esile kutsuda. Katlas asuv iga kantmeeter vett vabastab katla lõhkemisel energiahulga, mis vastab 8 kg püssirohule. Sel põhjusel on suure veemahuga katlad lõhkemisel palju ohtlikumad väikese veemahuga kateldest.

Katla lõhkemisest tuleb viivitamatult teatada katlainspektsioonile. Kuni inspektori kohaletulekuni ja akti koostamiseni ei tohi korrastada hooneid ega ümber paigutada lõhkenud katla osi, välja arvatud erandjuhud, mil purunenud katla osad ohustavad inimesi või takistavad liiklemist avalikel teedel.

Katla lõhkemisi on võimalik ja tuleb vältida hoolsa teenindamise ning järelevalvega.

## 122. TULEKAHJU KATLAMAJAS

Tulekahju tekkimisel katlamajas tuleb viivitamatult välja kutsuda tuletõrje. Kuni viimase kohalejõudmiseni tuleb püüda tuld kustutada oma jõududega sõltuvalt põlemise iseloomust ja kohast kas vee, liiva, tuha, keemiliste tulekustutajate või auruga.

Tulekahju tekkimisel ei tohi personal katlamajast lahkuda. Kui on näha, et tulele ei suudeta piiri panna ja tuli ohustab inimelusid, on katlamajast lahkumine lubatud, kuid enne tuleb kindlustada, et katel ei lõhkeks tules. Enne katlamajast lahkumist tuleb:

a) avada katlale maksimaalne toitmine;

b) kustutada tuli koldes, milleks äärmisel juhul võib kasutada vett;

c) avada auruvool katlaruumi kaitseklappide kaudu ja kindlustada klappide avatud olek;

d) sulgeda uksed ja aknad, et takistada õhu juurdepääsu;

e) teatada olukorrast käitise administratsioonile.

## 123. TÖÖÕNNETUSED JA ESMAABI

Tööõnnetuse korral on personal kohustatud:

a) võtma kiiresti tarvitusele õnnetuse suurenemist takistavad abinõud, nagu peatama liikuvad seadmed, lülitama välja

elektrivoolu, sulgema auru või kuuma vee, kustutama tule jne.;
b) andma kannatanule esmaabi;
c) kohale kutsuma arsti;
d) teatama õnnetusest valveinsenerile, ohutustehnika eest vastutavale isikule ja katlamaja juhatajale;
e) saatma kannatanu haiglasse.

## Kannatanu abistamine töökohal

**Põrutused.** Kannatanu tuleb asetada lamama, rõivaid tuleb vähendada. Meelemärkusetuse korral tuleb hoida nina all ammoniaagipudelit; hiljem anda Hoffmanni tilku (20—30 tilka korraga) ja kohvi.

**Venitused.** Liigeseköitmete venituse tagajärjeks on valu, paistetus, liigese piiratud liikuvus. Paistetanud kohale tuleb asetada külm kompress koos vajutussidemega. Jäse tuleb asetada kõrgemale ja vältida liigseid liigutusi.

**Liigese nihestus.** Nihestusel tekib luuotste väljatulek liigese kapslist, liigese välise kuju muutumine, paistetus ja valu liigutamisel. Nihestunud luuotsi ei tohi paigastada jõuga. Peale tuleb panna külm kompress (külmavee-lapp). Kannatanule tuleb kindlustada rahu.

**Muljutused.** Muljutustel kaasneb kudede vigastumisele sageli verevalum kudedesse. Välise tunnusena tekib nahale siniseid laike. Kohe pärast muljumist tuleb vigastunud kohale asetada külmad kompressid, edaspidi kasutada soojendavaid kompresse.

**Haavad.** Haavade sidumisel tuleb taotleda maksimaalset puhtust. Mitteküllaldase puhtuse tagajärjeks võivad olla: veremürgitus, kangestuskramptõbi, roos, tuberkuloos jne.

Töötaja, kes asub kannatanul haava siduma, peab oma käed põhjalikult puhtaks pesema vähemalt vee ja seebiga. Soovitav on käsi hõõruda ka piiritusega.

Haava veega mitte loputada. Kui kohapeal on võimalusi haava pesemiseks, tuleb seda teha lahjendatud piirituse või 2-protsendilise sefiroolilahusega. Soovitav on haavale raputada valget streptotsiidpulbrit. Haav tuleb siduda steriilse marliga.

On haavast tugev (purskav) verejooks, tuleb viimane enne haava sidumist sulgeda. Selleks võib kasutada käterätikut, püksitrakse, -rihma jne., milliste vahenditega on võimalik pulga abil pealtpoolt haava (õlavarrel või reiel) arter vastu luud kinni suruda. Niriseva verejooksu puhul veenidest (tume veri) ei tule kasutada kirjeldatud veresulgemise viisi. Siin on tähtis kõrvaldada kõik pigistavad rõivastusesemed.

Haavale tuleb asetada steriilne lapp ja tubli kord ligniini või vatti. Jäse tuleb asetada kõrgemale teistest kehaosadest.

**Luumurded.** Murdunud luuga kehaosale tuleb kindlustada liikumatust ja rahu. Selleks tuleb jäse lahasse panna. Lahase materjaliks võib kasutada kitsaid lauatükke, keppe, pappi, plekki jne., mille külge või vahele liiges seotakse. Lahast ei tohi siduda vastu paljast ihu. Lahtise luumurde puhul (luuots murdekohal tunginud läbi naha) tuleb haav enne lahastamist siduda.

**Võõrkeha silmas.** Võõrkeha sattumisel silma tuleb viimase hõõrumisest kategooriliselt loobuda. Samuti ei tohi lubada abistama kaastöölisi, kes ei oma selleks küllaldast vilumust. On võõrkeha sattunud silma ja lau vahele, siis on võimalik laugu ripsmete abil eemale venitada ja kõrvaldada võõrkeha õrnalt steriilse sideme või rätiku nurgaga.

On võõrkeha tunginud silmamunasse, siis on igasugused eemaldamiskatsed keelatud. Silm tuleb katta sidemega ja pöörduda viivitamatult arsti poole.

**Soojuslöök.** Soojuslöögi puhul on nahk kuiv ja kuum. Hingamine on kiire. Kannatanu tuleb toimetada kiiresti vilusse, vabastada rõivastest ja uhta jaheda veega. Tuleb anda rohkesti vett juua. Ähvardab hingamine lakata, siis tuleb teha kunstlikku hingamist.

**Elektrilöök.** Voolu läbimisel organismist tekib kramp, mistõttu voolu alla sattunu ei suuda end ise vabastada. Esimeseks tegevuseks olgu voolu väljalülitamine seadme sellest osast, mille küljes on kannatanu kinni. Kui seda pole võimalik teha küllalt kiiresti, siis tuleb kannatanu lahutada voolu juhtivatest osadest. Madalpinge puhul võib selleks kasutada kuivi riideid, kuiva nööri, kuiva keppi, lauda või mingit teist kuiva isoleerivat ainet. Enda isoleerimiseks tuleb panna kätte kummikindad, jalga kalossid, mähkida käed villastesse rõivastesse jne. Kõrgepinge puhul tuleb kannatanu eraldamiseks maast või voolujuhtivatest osadest kasutada kummisaapaid, kummikindaid ja tegutseda pingele vastavate isoleeritud tangidega.

Kannatanule tuleb teha kunstlikku hingamist (15 välja- ja sissehingamist minutis). Enne seda tuleb vabastada kannatanu ülakeha rõivastest ja lõdvendada vööd. Selja alla tuleb asetada rindkere tõstmiseks kokkukeritud rõivad.

Elektrilöögi puhul tuleb kunstlikku hingamist sageli teha 4—5 tundi. Otstarbekas on teha samaaegselt kunstliku hingamisega ka südamemassaaži. Selleks tuleb põlvitada kannatanust paremale poole ja lüüa kiiresti ning tugevasti parema käe põidlaga haige südamepiirkonda.

**Põletused.** Põletuste puhul on otstarbekaim valada põlenud kohale lubjavee ja linaõli segu (lubjalinimenti). Samuti on soo-

vitav põlenud kohta määrida boorvaseliini või rasvaga. Peale tuleb asetada lapp ja siduda soojalt kinni.

On põletuskohal villid, siis ei tohi neid purustada. Lubatud on desinfitseeritud nõelaga vedelik villidest välja lasta.

Suuremate põletuste korral, kui on süttinud rõivad, tuleb need lähti lõigata ja ettevaatlikult kehalt eemaldada. Nõrkuse vastu tuleb anda Hoffmanni tilku (15—20 tilka veega).

**Söövitused.** Hapetega söövitatud kohta tuleb uhta soodaveega. Peale võib raputada kriiti, põletatud magneesiumi või hambapulbrit. Nimetatud ainete puudumisel tuleb uhta söövitatud kohta puhta veega, lahjendades seega hapet.

Kangete leelistega söövitatud haavu tuleb uhta lahja happega (näit. äädikaveega). Söövitatud kohale tuleb asetada õlilapp.

**Mürgitused.** Bensiini (petrooleumi) mürgitusel tekivad kõhus ja lihastes valud, hingamine on korratu ja raskendatud. Tekib peapööritus, silmaavad vähenevad.

Mürgitatu tuleb viia värskesse õhku. Anda kanget oakohvi, piima. Hingamise seismajäämisel tuleb teha kunstlikku hingamist.

Hapete (väävel-, sool-, salpeeter-, karbolhape jne.) mürgitusel tekivad suus, huultel jm. põletushaavad, verine okse ja valud maos.

Mürgitatule tuleb anda rohkesti piima, vett või leelisevett (näit. supilusikatäis põletatud magneesiumi klaasi vee kohta). Soodat sisse mitte anda. Maoseinte kaitseks tuleb anda tärkliskiislit või provanksõli.

Leeliste (ammoniaak, seebikivi jne.) mürgitusel tekivad suus ja neelus haavad ning valu, millega kaasub verine okse.

Mürgitatule tuleb anda happelisi jooke (lahja söögiäädikas, sidrunimahl, hapupiim). Nende puudumisel võib leelise lahjendamiseks anda ka ainult vett või rõõska piima. Maoseinte kaitseks tuleb anda tärkliskiislit või provanksõli.

Vingugaasi (CO) mürgitusel tekib peavalu, südame tugev kloppimine, pööritus, kohin kõrvus ja üldine nõrkus. Raskematel juhtudel tekib iiveldus, oksendamine, tuikuv kõnnak, meelemärkusetus ja halvatus.

Mürgitatu tuleb viia värskesse õhku, vabastada ta hingamist takistavatest rõivastest ja anda talle hingata hapnikku. Teha kunstlikku hingamist koos keha soojendamisega. Anda nuusutada nuuskpiiritust või eetrit; sisse anda kuuma oakohvi.

Pliimürgitusel (pliivalge, mennik jm.) tekib äge kõhuvalu ja kõhulahtisus.

Mürgitatule tuleb tekitada okset. Anda talle piima, glaubrisoola (1 supilusikatäis klaasi vee kohta) ja provanksõli.

# XXII. KATELDE JÄRELEVALVE JA ÜLDISED OHUTUSTEHNILISED TINGIMUSED

## 124. KATLARUUMIDELE ESITATAVAD NÕUDED

Aurukatlad, ülekuumendid ja ökonomaiserid tuleb üles seada ilma pööninguta eraldi ruumidesse. Katlamaja peab olema ehitatud ja varustatud vastavalt kehtivatele üleliidulistele tuletõrje-, ehitus- ja sanitaarnormidele.

Katlamaja seinad, vaheseinad ja põrandad peavad olema tulekindlast materjalist.

Katlaesine põrand, mis on ette nähtud katla otseseks teenindamiseks, ei tohi asuda katlamaja vahetu ümbruse maapinnast madalamal.

Tuha eemaldamiseks peab katlamajas olema isoleeritud tuharuum. Kui kõigi katelde keskmine ööpäevane tuhakogus kõige külmemas kuus ei ületa 0,1 t/h või kui tuha eemaldamine on mehhaniseeritud, võib ehitada katlamaja ilma tuharuumita.

Juhul kui tuharuumi põrand asub katlamaja vahetu ümbruse maapinnast madalamal, peab tuhakeldri otstest olema kaks väljapääsu, mis viivad kinnistesse trepikodadesse või vähemalt 2×2 m suuruse podesti kaudu väljaviivale trepile. Podest ja trepp peavad olema kaitstud sademete ja põhjavee eest. Keldriruumidel peab olema hea ventilatsioon ja vajalik valgustus teenindavale personalile normaalsete töötingimuste loomiseks.

Katlamaja juures peavad olema kõrvalruumid personali jaoks. Juhul kui need asuvad katlamajast eraldi hoones, peab nende juurde viima soe käik.

Katlainspektsiooni nõusolekul lubatakse katla sõrestikku kasutada hoone konstruktsiooniosade kandmiseks.

Katlaruumi välisuksed peavad avanema väljapoole ning ei tohi katla töötamise ajal olla lukus ega riivis. Uksed kõrvalruumidesse peavad avanema katlamaja poole.

Uste juures, mille kaudu kütust sisse toimetatakse või tuhka välja viiakse, peavad olema tulekindlast materjalist esikud.

Ruumidest, kus asuvad katlad, peab igalt korruselt olema vähemalt kaks väljapääsu. Kui katlamaja põrandapind on alla

200 m², lubatakse teha igalt korruselt üks väljapääs, kui on olemas varuväljapääs välisele tuletõrjetrepile või -redelile.

Ühekorruselistes katlamajades, kus katelde esikülgede kogupikkus ei ületa 12 m, võib olla ainult üks väljapääs.

Õlipaagid tuleb asetada väljapoole katlamaja. Äärmisel juhul, kui paakide suurus ei ületa katla ööpäevast tarvidust ega ole üle 10 t, lubatakse neid paigutada katlamajja. Sel juhul tuleb paak tulekindlalt isoleerida, eraldada vaheseinaga katlaruumist ja paagiruum varustada otsese väljapääsuga. Paak peab olema varustatud väljalaske- ja ülejooksutorudega, mis väldivad paagi ületäitmist.

Katlamajja on lubatud üles seada kinnisi õlipaake mahuga kuni 0,5 m³. Paak ei tohi asuda katla, ülekuumendi või ökonomaiseri kohal ja peab olema ühenduses välisõhuga vähemalt 50 mm läbimõõduga toru kaudu.

Katlamajas on keelatud üles seada selliseid masinaid ja aparaate ning teha niisuguseid töid, mis ei ole otseselt ühenduses katla või katlaruumi teenindamisega ega remondiga.

Katla ülesseadmisel tuleb kinni pidada järgnevas tabelis toodud mõõtmetest.

Tabel 44

**Katelde ülesseadmisel lubatavad gabariidid**

| Vahe | Minimaalne mõõde m |
|---|---|
| Katla või eeskolde esiküljest kuni seinani | 3* |
| Katla või eeskolde esiküljest esiküljeni, kui katlad asuvad esikülgedega vastakuti | 5 |
| Katla esiküljest kuni selle ette asetatud pumbani, kilbini või muude seadmeteni | 1,5 |
| Katla küljest katla küljeni või katla küljest seinani, kui puudub kolde teenindamine küljelt | 1 |
| Katelde müüritisest väljaulatuvate osade vahel ning katelde ja seinte väljaulatuvate osade vahel | 0,8 |
| Katla küljest katla küljeni või katla küljest seinani katelde juures tootlikkusega kuni 4 t/h, kui kollet teenindatakse küljelt | 1,5 |
| Samal juhul, kui katla tootlikkus on üle 4 t/h | 2 |
| Katla tagumisest müüritisest kuni seinani | 1 |
| Külgmüüritisest kuni seinani, kui puudub läbikäik | 0,7 |
| Katla teenindamise ülemisest lavast kuni katuse kandekonstruktsiooni alumiste osadeni | 2 |
| Katla trumli või aurukoguja ülemisest äärest kuni katuse kandekonstruktsiooni alumiste osadeni | 0,7 |
| Tuharuumi kõrgus | 2 |

| Vahe | Minimaalne mõõde m |
|---|---|
| Tuharuumi käigu laius | Vagoneti laius pluss 0,7 m mõlemale poole |
| Vaba läbipääs püstkatelde ees | 2 |
| Vaba läbipääs püstkatelde vahel ning katla ja katlamaja seina vahel | 1 |

* Kuni 2 m kateldel aurutootlikkusega kuni 2 t/h, kui katlaid köetakse gaas- või vedelkütusega, kui puudub tarvidus teenindada katelt esikülje poolt ning kui eest teenindatava kolde pikkus ei ole üle 1 m.

Katlamajad ei tohi olla eluruumidega kokku ehitatud.

Katlaruum, tuharuum ning kõik abi- ja kõrvalruumid peavad olema köetavad ja ventileeritavad.

Teenindamiseks peavad katlal olema tulekindlast materjalist ehitatud alatised rõdud ja lavad, mis võimaldavad kergelt juurde pääseda kõikidele süstemaatilist järelevalvet vajavatele osadele, nagu armatuurile, mõõteriistadele, reguleerimisseadmetele ja tahmapuhuritele.

Rõdusid ja lavasid piirava käsipuu kõrgus peab olema vähemalt 1 m.

Katlaruumis, käikudes ja lavadel peab olema küllaldane loomulik valgustus. Kohtades, kus see on tehniliselt võimatu, tuleb üles seada kunstlik valgustus tabelis 45 toodud normide kohaselt.

Tabel 45

**Katlaruumi valgustusnormid**

| Koha nimetus | Minimaalne valgustustihedus luksides* |
|---|---|
| Mõõteriistade skaalad, veeseisunäitajad, õlimõõtmise vaateklaasid | 50 |
| Katla esikülg, pumba-, ventilaatori-, tõmbeventilaatori-, kompressori- ja punkriruumid, automaadid, keemilise veepuhastuse, katla toitmise ja kütuse etteandmise reguleerimisruumid | 20 |
| Paakide ja deaeraatorite ruum, tuharuum, katelde teenindamisrõdud, katlatagune ruum | 10 |
| Koridorid, trepid | 5 |

* Mõõdetakse luksmeetriga.

Kohaliku ja üldvalgustuse elektrilampidele, mis riputatakse alla põrandast või rõdudest 2,5 m kõrgusele, lubatakse rakendada pinget kuni 36 volti.

Avariivalgustusega tuleb varustada katla esikülg, vahekäigud, lülituskilbid, veeklaasid, tuha-, õhu- ning tõmbeventilaatorite, pumpade ja paakide ruumid, lavad ja katlarõdud. Avariivalgustus peab olema toidetav iseseisvast energiaallikast, näiteks akumulaatoripatareist, sisepõlemismootoriga töötavast generaatorist jm. Kuni 250 $m^2$ suuruse põrandapinnaga katlamajades võib avariivalgustusena kasutada kantavaid elektrilampe või tormilaternaid.

Katlamajal peavad olema küllalt suured aknad ruumide heaks valgustamiseks ja avariide puhul katlamajja tungiva auru väljavoolu kindlustamiseks, mis vastasel korral võiks tekitada suuri purustusi.

Katlaruumis asuva tahkekütuse tagavara ei tohi ületada ööpäevast tarvidust ega segada kütja tööd.

Igas katlamajas peavad olema riietusruum, riietehoid, dušš, käimla ja joogianumad keedetud veega.

Katlamajas peab olema tulekustutusvahendeid vastavalt kehtivatele tuletõrjenormidele, samuti individuaalseid ja üldisi tulekaitsevahendeid. Vedelkütuse kasutamisel peavad katlamaja vastavates kohtades olema kinnised kastid vähemalt 1 $m^3$ kuiva liivaga.

Katlamajas peab olema telefon või vastav signalisatsiooniseade, et erakorralistel juhtudel oleks võimalik kohale kutsuda katlamaja juhatajat, mehaanikut jt., ning et saaks pidada sidet katlamaja ja peamiste aurutarbijate vahel.

## 125. AURUKATELDE JÄRELEVAATUSED

Katlainspektsiooni järelevalve alla kuuluvad kõik aurukatlad. Iga aurukatel peab olema registreeritud kohalikus katlainspektsioonis.

Registreerimisavaldusele tuleb lisada:

1) ettenähtud vormi kohane katla pass;

2) akt katla korrasoleku kohta, kui katel saabus valmistajatehasest kohale (või paigutati ühest asukohast teise) kokkumonteerituna;

3) katelt monteerinud organisatsiooni poolt välja antud tunnistus montaaži kvaliteedi kohta;

4) katlamaja ruumide joonised (plaanid, piki- ja ristlõiked);

5) toitevee laboratoorne analüüs või projekti andmed vee kohta, kui on ette nähtud katlaeelne toitevee ettevalmistus;

6) tõend toiteseadmete olemasolu kohta koos nende karakteristikutega.

Katlainspektsioon teeb katelde tehnilisi järelevaatusi, mille ülesandeks on kontrollida, kas katla tugevus on küllaldane tema ohutuks töötamiseks ja kas ta on varustatud vajalike seadmetega ning mõõteriistadega. Katelde järelevaatusi tehakse järgmistel tähtaegadel:

a) väline ülevaatus — vähemalt üks kord aastas;

b) sisemine ülevaatus — vähemalt üks kord kolmes aastas;

c) veesurveproov — vähemalt üks kord kuues aastas koos sisemise ülevaatusega.

Väline ülevaatus tehakse töötavale katlale. Seejuures kontrollitakse müüritise ja ülevaatust võimaldavate osade seisukorda, katla teenindamist, armatuuri ja toiteseadmete seisukorda, samuti ka katlamaja ja muude seadmete seisukorda, mis kindlustavad katla ohutut töötamist. Samal ajal kontrollitakse ka personali teadmisi katla teenindamise, puhastamise, remontide, katla seiskamise, ohutustehnika jne. alal.

Sisemiseks ülevaatuseks ja veesurveprooviks katel seisatakse ning puhastatakse katlakivist, tuhast ja tahmast. Ülevaatuse eesmärgiks on kontrollida ühenduste tihedust ja töötamiskindlust katla töörõhu juures. Kontrollitakse seinte, õmbluste, torude jne. seisukorda. Defektide avastamisel tuleb kindlaks teha nende põhjused ja määrata abinõud nende kõrvaldamiseks.

Veesurveproovi tehakse veega, kusjuures õhk peab olema katlast täielikult eemaldatud. Tabelis 46 on toodud katla ja selle osade proovirõhu suurused.

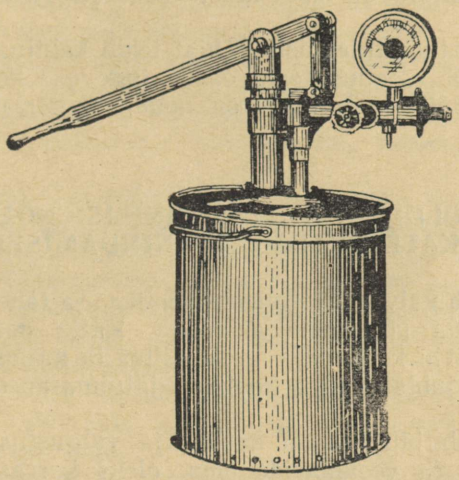
Proovirõhu all tuleb hoida katelt 5 minutit. Töörõhuga võrdne rõhk hoitakse katlas nii kaua, kui see on ülevaatuseks vajalik.

Tabel 46

**Veesurveproovil kasutatav rõhk**

| Osa nimetus | Katla töörõhk $p_t$ atü | Proovirõhk $p$ atü |
|---|---|---|
| Aurukatel | Kuni 5 | 1,5 $p_t$, kuid mitte alla 2 at |
| Aurukatel | Üle 5 | 1,25 $p_t$, kuid mitte alla $p_t$+3 at |
| Auruülekuumendi | Olenemata rõhust | Võrdne katla proovirõhuga |
| Väljalülitatav ökonomaiser | „ | 1,25 $p_t$+5 at |
| Veekatel | „ | 1,25 $p_t$, kuid mitte alla $p_t$+3 at |

Vee rõhk veega täielikult täidetud katlas tekitatakse käsipumbaga (joon. 245), mida nimetatakse ka hüdrauliliseks pressiks.



Joon. 245. Hüdrauliline press.

Katel loetakse veesurvekindlaks, kui ei esinenud lekkimist, purunemist ega jäävaid deformatsioone. Lekkimiseks ei loeta vee väljatulekut neetõmblustest väikeste pisaratena, samuti vee väljatulekut armatuuri ebatiheduse tõttu, kui see ei sega vajaliku proovirõhu hoidmist. Pisarate või higistamise ilmnemisel keevisõmblustel või katla seintel loetakse katel veesurveproovi mittetalunuks.

Ennetähtaegselt tuleb veesurveproov teha kateldele, mis on seisnud üle ühe aasta, mis on demonteeritud ja uuesti üles seatud ja milledele on tehtud järgmisi remonte:

1) on vahetatud kas või osa lehte või on keevitatud katla osi, mis töötavad rõhu all, välja arvatud küttepinna torud;

2) on tasandatud väljapaisumisi katla põhiosade juures (leegitorud, sisekollete seinad, trumlid, kollektorid jne.);

3) on uuendatud 15 või rohkem kõrvuti olevat neeti või vahetatud üle 25% õmbluse neetidest;

4) on vahetatud üle 15% sidepoltidest;

5) on korraga vahetatud üle 50% katla- või ekraanitorudest; kõik ülekuumendi-, ökonomaiseri- või suitsutorud;

6) on vahetatud ekraani, ülekuumendi või ökonomaiseri kollektor.

Otstarbetu on teha veesurveproovi sagedamini ja tõsta rõhku kõrgemale ettenähtust. See võib tekitada katlale nähtamatuid vigastusi ja vähendada katla tööiga.

Peale luukide või üksikute torude vahetust on tiheduse kontrollimiseks küllaldane lasta katelt seista töörõhu all pool kuni üks tund.

Kui ülevaatuse tulemuste põhjal tekib kahtlus katla kindlas töötamises või vajadus tema osade tugevuse kontrollarvutuse tegemiseks, võib katlainspektor nõuda materjali mehaanilist katsetamist.

## 126. ÜLDISI OHUTUSTEHNILISI NÕUDEID KATELSEADME TEENINDAMISEL

Kütja peab valves olles olema hoolikas ja tähelepanelik ning mitte tegelema kõrvaliste asjadega. Kütja peab tundma ja täitma «Eeskirju katlamaja personalile» ja katlamaja seadmete teenindamise juhiseid ning hoolikalt jälgima auru rõhku ja veetaset katlas.

Kütja peab jälgima, et katlamaja valgustus, eriti katelde manomeetrite ja veeklaaside oma, oleks korras. Katlaruumis tuleb hoida alaliselt varuks akumulaatorilamp, petrooleumilamp, latern või küünlaid kasutamiseks elektrivalgustuse katkemisel.

Katlamajas tuleb hoida korda ja puhtust. Katlaruumi sissekäikudesse ja katlaruumi pole lubatud asetada kõrvalisi esemeid, materjale, seadmeid jm., mis takistavad vaba läbipääsu. Katlaruumis on keelatud hoida kergestisüttivaid aineid (petrooleum, bensiin, õlid, puulaastud jm.). Jooksvaks tarviduseks vajalik kogus petrooleumi ja määrdeõli tuleb hoida eriruumis raudkastis või kappides tugevas metallnõus.

Kõrvalistel isikutel on katlamajja minek keelatud.

Katla sissekütmisel, mil kütmisrežiim pole veel kindlaks kujunenud, peab kolde teenindamisel olema väga ettevaatlik: mitte seista vaateavade ja pääsuluukide ees, jälgides tuld koldes kasutada kaitseprille.

Puhastusluukide ja muude kinnituspoltide täiendavat pingutamist tuleb teha kohe katla soojenemisel, rõhul mitte üle 3 atü — kateldel töörõhuga üle 6 atü ja rõhul mitte üle 50% töörõhust — kateldel töörõhuga kuni 6 atü; pingutamiseks võib kasutada ainult harilikku mutrivõtit ilma lisahoobadeta.

Veeklaaside, proovikraanide ja muu armatuuri käsitsemisel tuleb kasutada kindaid. Veeklaaside läbipuhumisel tuleb pöörata nägu kõrvale. Rõhu all oleva katla ventiile ja siibreid tuleb

avada ning sulgeda sujuvalt ja ettevaatlikult. Toimingutel armatuuriga peab olema tagatud töökoha küllaldane valgustus.

Katla küttepindade puhastamise eel tahmapuhuriga tuleb suurendada tõmmet ja kindlustada püsiv põlemisrežiim koldes. Et vältida põletushaavu ja silmade vigastust tuliste gaaside ja tuha väljaviskumisel luukidest ning vaateavadest, tuleb küttepindade puhumisel kasutada kindaid ja kaitseprille. Käsipuhuri voolikusse ei tohi auru lasta enne, kui puhuri ots on asetatud korralikult suitsukäiku. Puhumine tuleb lõpetada gaaside ja tuha pideval väljapaiskumisel luukidest ning tahmapuhuri rikke korral.

Katlaid ei tohi läbi puhuda armatuuri rikke korral ja puuduliku valgustuse juures; kinnasteta töötamine on keelatud.

Enne koldeuste avamist (käsitsi teenindatavad kolded) tuleb vähendada õhupuhumist; koldeuste ja luukide avamisel tuleb seista ustest ja luukidest kõrval nende avanemise poole. Mehhanismide liikuvad osad, nagu sidurid, rihmad jne., peavad olema varustatud kaitsekatetega.

Kaitsevõrede ning -katete eemaldamine töötavate katelde veeklaasidelt ja töötavate ajamite rihmadelt, elektrimootorite siduritelt jne. on keelatud.

Elektrimootorite sisse- ja väljalülitamisel tuleb kasutada kummikindaid.

Keelatud on räbu- ja tuhapunkrite sulgureid avada kütjaid hoiatamata. Punkrisulgurite avamise juures ei tohi viibida kõrvalised isikud. Sulgureid tuleb avada aeglaselt, eriti alghetkel, et vältida põletushaavade saamist tuhas olevate kütuseosakeste põlema plahvatamisest tuha järsul väljalaskmisel. Vagonettidesse lastud tuhk ja räbu tuleb vooliku abil kustutada veega.

Keelatud on tarvitada mittekorras vagonette, seista tuhaveo teedel, vagonettide vahel ja kaasa sõita vagonettide raamil.

Töölised, kes töötavad räbu ja tuha koristamisel, peavad olema varustatud presentülikondadega ja peakottidega (kiivritega). Jalatsid (nahksed) peavad olema terved, püksid tõmmatud üle saabaste. Töötamine kinnasteta pole lubatud.

Enne koldesse ja suitsukäikudesse ronimist tuleb neid tuulutada 10—15 minutit, milleks avada täielikult korstnasiiber. Kolletes ja suitsukäikudes on töötamine lubatud ainult temperatuuril kuni 60°, mõõdetud 0,5 m kaugusel kolde tagaseinast ja 1,5 m kõrgusel puhastamisele kuuluvast kohast. Töölise kuumas koldes viibimise aeg ei tohi ületada 20 minutit, järgnev puhkeaeg ei tohi olla alla 20 minuti. Koldes ja suitsukäikudes peab üheaegselt töötama vähemalt 2 inimest. Kolde ja suitsukäikude puhastamisel tuleb kanda eririietust, kindaid ja kaitseprille.

Enne katlatrumlisse ronimist tuleb veenduda, et oleks asetatud pimeäärikud auru-, toite- ja läbipuhumistorustikule (kui

katlamajas on peale puhastatava või remonditava katla veel ka töötavaid katlaid).

Inimeste katlasse minekuks ja katlatrumlit torustikust eraldavate siibrite avamiseks pärast inimeste väljumist katlast peab igal üksikjuhul olema katlamaja juhataja kirjalik luba.

Töötamisel katla sees tuleb valgustamiseks kasutada ainult küünlaid või elektrilampi pingega mitte üle 12 V.

Petrooleumilampide kasutamine on kategooriliselt keelatud.

Katlatrumlites töötamisel on maksimaalseks lubatavaks temperatuuriks 40—45°. Töölise katlas viibimise aeg ei tohi olla üle 20 minuti, järgnev puhkeaeg mitte alla 20 minuti. Katlas peab töötama üheaegselt vähemalt kaks inimest.

Enne katla pääsuluukide avamist tuleb õhukraani, proovikraani või veeklaasi kraani avamise teel veenduda, et katlas poleks rõhku (alarõhku).

## 127. OHUTUSTEHNILISED NÕUDED GAASIGA KÜTMISEL

Gaasiga kütmisel peab kütja täitma järgmisi ohutustehnika nõudeid.

On keelatud:

1) suitsetada, sisse või välja lülitada elektrivalgustust ning käivitada või seisata elektrimootoreid, kui ruumis on tunda gaasi lõhna, sest põlev tikk, pabeross või elektrisäde võib esile kutsuda plahvatusohtliku gaasisegu plahvatuse;

2) otsida gaasi väljavoolukohti lahtise tulega;

3) koormata gaasitorustikke raskustega või kasutada neid tugedena;

4) enne kolde tuulutamist lähendada sellele tuld.

Töötamisel gaseeritud ruumis tuleb vajaduse korral kasutada pika voolikuga (10—12 m) gaasitorbikut. Vooliku ots tuleb ruumist välja viia ja asetada vastutuult. Gaseeritud ruumis töötajat tuleb pidevalt jälgida väljastpoolt, et vajaduse korral teda abistada. Gaasitorbikus ei tohi töötada järjest üle 20 minuti. Seejärel tuleb töötajal puhata värskes õhus 5 minutit. Voolikuga gaasitorbiku asemel võib kasutada ka hapnikuaparaati.

Gaseeritud ruumis tuleb kasutada vask- või vasega kaetud tööriistu; avade läbitorkimiseks — vasktraati, mis ei põhjusta sädet. Terastööriistade kasutamisel tuleb need paksult määrida tavotiga. Katlamajas peavad olema tulekaitsevahendid: keemilised tulekustutajad, hüdrantide voolikud, liivakastid, tekk süttinud seljariiete kustutamiseks ja muud tulekaitse eeskirjades nõutud esemed. Kõik nimetatud vahendid tuleb hoida täielikus korras.

Gaasitorustiku osade pikemaajalisel väljalülitamisel tuleb need eraldada pimeäärikuga.

Katla remondi ajaks tuleb gaasitorustiku vahele asetada pimeäärik.

Gaasisiibreid tuleb avada ja sulgeda sujuvalt.

Tulekahju korral tuleb viivitamata sulgeda lähem gaasisiiber väljaspool katlamaja, välja kutsuda tuletõrje ja asuda tule kustutamisele olemasolevate vahenditega.

Gaasiseadme kõikidest korratustest ja töötamise ebanormaalsustest tuleb kohe teatada gaasiseadmete eest vastutavale isikule.

# XXIII. TÖÖ ORGANISEERIMINE KATLAMAJAS

## 128. KATLAMAJA TÖÖ PLAANIMINE JA ARUANDLUS

Katlamaja ülesandeks on anda vajalikul hulgal nõutud parameetritega ja madala omahinnaga auru. Selle tagamiseks koostatakse katlamaja toodangu kohta aasta-, kvartali- ja kuuplaanid, kus arvestatakse tööstuse aurutarvidust, kavatsetavaid ümberehitusi, remonte jne. Plaanide alusel koostatakse graafikud kogu katlamaja toodangu kohta, mis näitavad koormuse muutumist ööpäeva jooksul. Graafikute põhjal plaanitakse üksikute katelde töötamine, kusjuures võetakse arvesse katelde seismajätmise ja reservishoidmise (kuumas, külmas) majanduslikkust madala koormuse perioodidel.

Katelde töögraafiku ja nõutud tehnilis-majanduslike näitajate täitmine väljendub katlamaja dokumentatsioonis, mille hulka kuuluvad mitmesugused raamatud, nagu ööpäevaraamat, vahetuseraamat, ülevaatuseraamat ja isekirjutavate mõõteriistade lindid.

Ööpäevaraamatusse kannab kütja iga tund auru rõhu, temperatuuri, aurumõõtja ja veemõõtja näidud, toitevee temperatuuri ökonomaiseri ees ja taga, gaasianalüsaatorite näidud, suitsugaaside temperatuuri katla, ökonomaiseri ja õhueelsoojendi taga, korstnagaaside temperatuuri, tõmbemõõtjate näidud kolde juures, katla, ökonomaiseri ja õhueelsoojendi taga, õhu rõhu ja temperatuuri õhueelsoojendi ees ja taga ning õhu- ja tõmbeventilaatori elektrimootorite koormuse.

Vahetuse üleandmine ja vastuvõtmine kinnitatakse kütjate allkirjadega ööpäevaraamatus.

Vahetuseraamatusse märgib vahetuse ülem või vanemkütja vahetuse jooksul teostatud operatsioonid, ümberlülitused, seadmete seisukorra, töörežiimi, vahetuse jooksul esinenud korratused ja avariid, seadmete perioodilised proovimised, märkused remondi kohta ja kõik korraldused, mille tähtaeg on alla ühe päeva, ning kirjutab alla vahetuse üleandmisel.

Ülevaatuseraamatusse märgitakse seadmete defektid, mida vahetuse personal ei suutnud kõrvaldada.

Väikestes katlamajades on lubatav aruandlust lihtsustada.

Katlamaja töötamise kohta koostatakse ööpäeva- ja kuuaruanded, millest nähtub plaani täitmine, seadmete töörežiim, saavutatud edusammud kütuse ja elektrienergia säästmise alal, seadmete tehnilis-majanduslik töötamine ja ülesannete täitmine personali poolt.

Näitajad ülesannete täitmise ja toodangu kohta tuleb töökohale välja panna hiljemalt järgmisel päeval.

## 129. KATLAMAJA PERSONALI TÖÖ KORRALDAMINE

Katlamaja või liikuvate katelde pargi töö juhatamise võib usaldada tehnilise eriharidusega või praktiliste kogemustega töötajale pärast viimase poolt vastava eksami sooritamist kvalifikatsioonikomisjoni ees, mille koosseisu peab kuuluma katlainspektor.

Katlamaja juhataja ülesandeks on:

a) kindlaks määrata katlamaja teenindavale personalile nende kohustused ja kontrollida nende täitmist;

b) hoida katelseadmed korras, kindlustada seadmete katkestamatu ja ohutu töötamine ning remont ja hoida katlamajas vajalikku puhtust.

Katlaid võivad teenindada mõlemast soost isikud, kes on vähemalt 18 aastat vanad, arstlikult läbi vaadatud (nägemine, kuulmine ja üldine tervislik seisund) ja omavad tunnistust eksami sooritamise kohta katlainspektsiooniga kooskõlastatud kava ulatuses ning eksamikomisjoni poolt nõutavat staaži kütjaabina. Eksamikomisjoni koosseisu peab kuuluma katlainspektor.

Naistöötajate kasutamine on keelatud käsitsi kütmisel, samuti roopijatena ja katla puhastajatena.

On keelatud anda kütjale katla töötamise ajaks lisaülesandeid, nagu toimetada katlamajja kütust, teha remonte jne. Katlainspektori loal võib kütja teenindada aurumasinat või mootorit, mis asub katlamaja ruumis.

Kütja ülesandeks on jälgida kolde, katla ja armatuuri töötamist, mõõteriistade näitusid, veeseisu katlas ja toita katelt veega. Ta ei tohi jätta katelt järelevalveta, kui koldes on tuli või katla rõhk on kõrgem atmosfäärilisest rõhust.

Vahetuses olles vastutab katlamaja personal kõikide vigastuste, avariide ja tööõnnetuste eest, mis tekivad kehtivate eeskirjade täitmata jätmisest. Vahetuse vastuvõtmisel peab personal kontrollima katla, armatuuri ja abiseadmete korrasolekut.

Kehtestatud eeskirjad ja agregaatide teenindamise juhised peavad katlamajas olema välja pandud.

Käitise administratsioon peab vähemalt kord aastas kontrollima kütjate teadmisi.

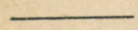
Valvepersonali tööd juhib vahetuse ülem, tuhakoristajate, tahmapuhujate jt. tööd aga vanemkütja.

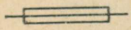
Iga töötaja katlamajas peab olema teadlik, kellele ta allub ja kellele temal on õigus teha korraldusi.

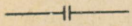
Katlamaja personali tööviljakuse tõstmist kindlustab katlamajade lülitumine sotsialistlikku võistlusse. Et saada töö-eesrindlaseks, peab kütja õppima täielikult tundma katla, kolde ning abiseadmete konstruktsiooni, nende töötamist ja katelseadme teenindamise eeskirju. Kõrgete töönäitajate saavutamiseks ja katlamaja töö parandamiseks peab kütja-eesrindlane andma eeskuju õigeks töötamiseks ja kontrollima selle järgimist, peab tõstma ise ja abistama oma kaastöölisi kvalifikatsiooni tõstmisel, töötama läbi erialast tehnilist kirjandust, katelseadme teenindamise eeskirju ja kuulama loenguid; tegema ratsionaliseerimisettepanekuid, mille eesmärgiks on kütuse, elektrienergia ja ekspluatatsioonimaterjalide säästmine, soojuskadude vähendamine miinimumini, agregaatide jõudluse ja töökindluse tõstmine, töötingimuste parandamine, ohutu töötamine ning avariide vältimine.

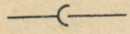
Katlamaja tööprotsesside mehhaniseerimisega, kütja töökohale kontrollmõõteriistade ülesseadmisega, mehhanismide töötamise kaugjuhtimise ja signalisatsiooniseadmete kasutamisega on võimalik vähendada abipersonali suurust, üle minna mitme katla teenindamisele ühe kütja poolt. Tööviljakuse tõstmiseks tuleb tundma õppida ja rakendada novaatorite töövõtteid, anda töökaaslastele edasi oma teadmisi ning kogemusi ja leida uusi võimalusi töö parandamiseks. Kogu personali leominguliste võimete kasutamine kindlustab seadmete maksimaalse tootlikkuse ja nende kindla, ohutu ning ökonoomse töötamise.

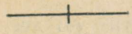
# TORUSTIKU, ARMATUURI, SOOJUSSEADMETE JA APARAATIDE TINGMÄRGID

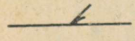

Isoleerimata toru

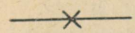

Isoleeritud toru

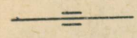

Äärikühendus

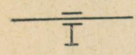

Muhvühendus

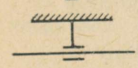

Keermeühendus

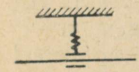

Keevisühendus

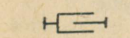

Toru kohtkindla punktiga

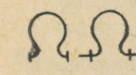

Toru liikuval toel


Toru juhttoel


Riputus

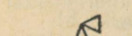

Vedruriputus


Tihenduspuks-kompensaator

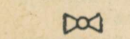

Lüürakujuline kompensaator

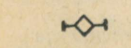


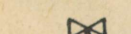
Ventiil

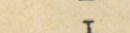

Nurkventiil


Siiber


Läbivoolukraan


Läbivoolukraan veetorustikul


Kolmikkraan


Veekraan, harilik


Tagasilöögiklapp


Toiteventiil


Nurk-toiteventiil


Nurk-toiteventiil sulguriga


Automaatne sulgklapp


Automaatne sulgklapp käsisulguriga


Reduktsiooniklapp


Rõhuregulaator


Drosselklapp


Diafragma (drosselseib)


Vedru-kaitseklapp


Vedru-kaitseklapp äravooluta


Nurk-kaitseklapp tasakaalustava raskusega


Kaitseklapp tasakaalustava raskusega, äravooluta


Kaitseklapp ujukiga


Toiteregulaator «Kopes»


Automaatne õhuklapp


Õhukraan


Vee-eraldaja (separaator)


Kondenspott


Ülekuumendatud auru niisuti


Õlieraldaja


Mudaeraldaja, filter


Aurukatel ülekuumendiga


Auruülekuumendi


Toitevee-ökonomaiser


Auruturbiin



Aurumasin


Pindkondensaator


Segunemiskondensaator


Toitepaak deaeraatoriga


Paisumispaak


Õhupaak


Tööstuslik aurutarbija


Soojusvahendaja


Aurujahuti


Auruseparaator


Boiler


Radiaator


Ribitoru

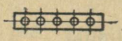

Kalorifeer


Tsentrifugaalpump


Käsipump


Inžektor


Ežektor, auru- või veejoapump


Kollektor


Maapealne hüdrant


Veevõtusammas


Termostaat


Termomeeter



Manomeeter



Vaakuummeeter



Diferentsiaal-manomeeter



Isekirjutav manomeeter



Isekirjutav vaakuummeeter



Isekirjutav diferentsiaal-manomeeter



Aurumõõtja



Isekirjutav aurumõõtja



Veemõõtja



Isekirjutav veemõõtja

## KASUTATUD KIRJANDUS


1. E. Alt, R. Janno jt. Ohutus- ja sanitaartehnika käsiraamat. 1950. Eesti Riiklik Kirjastus.

2. **B. Kask, H. Veide,** Väikekatlad. 1947. RK «Teaduslik Kirjandus».

3. **H. Truu** üldtoimetusel. ENSV kohalikud kütused ja nende energeetiline kasutamine. 1947. RK «Teaduslik Kirjandus».

4. **Ohutustehnika eeskirjad.** Aurukatlad. Survemahutid. Tõsteseadmed. 1960. Eesti Riiklik Kirjastus.

5. **Арсеев, А. В.** Сжигание газов. 1952. Металлургиздат.

6. **Бобровский, Г. С.** Спутник кочегара промышленных котельных установок. 1951. Госэнергоиздат.

7. **Бобровский, Г. С. и Зимаков, А. М.** Паровые котлы промышленных предприятий. 1949. Госэнергоиздат.

8. **Варянкин, Ю. В.** Причины основных аварий паровых котлов. 1948. Госэнергоиздат.

9. **Голотин, И. М.** Водообработка в котельных установках малой мощности. 1954. Ростгизместпром.

10. **Голубцов, В. А., Гурвич, С. М., Кострикин, Ю. М., Мамет, А. П.** Справочник химика-энергетика. Том II. Водоподготовка. 1954. Госэнергоиздат.

11. **Голубцов, В. А. и Елизаров, П. П.** Эксплоатация котельных установок. 1950. Госэнергоиздат.

12. **Гуревич, М. Р.** В помощь кочегару парового котла. 1948. Углетехиздат.

13. **Дедков, С. В.** Уход за котельными и силовыми установками. 1948. Гизместпром.

14. **Дешкин, В. Н.** Методика испытания и исследования котельных установок. 1947. Машгиз.

15. **Залогин, Н. Г. и Шухер, С. М.** Очистка дымовых газов. 1948. Госэнергоиздат.

16. **Ицкович, А. М.** Котельные установки малой мощности. 1958. Машгиз.

17. **Ковалев, А. П.** Котельные агрегаты I. 1948. Госэнергоиздат.

18. **Ковалев, А. П. и Катковская, К. Я.** Котельные агрегаты II. 1950. Госэнергоиздат.

19. **Министерство электростанций и электропромышленности СССР** Инструкция по анализу воды, пара, накипи и отложений в теплосиловом хозяйстве. 1953. Госэнергоиздат.

20. **Нечаев, М. А.** Газоснабжение городского хозяйства. 1953. Издательство МКХ РСФСР.

21. **Преображенский, В. П.** Теплотехнические измерения и приборы. 1953. Госэнергоиздат.

22. **Чепель, В. М.** и **Виткин, В. М.** В помощь кочегару. 1954. Издательство МКХ РСФСР.

23. **Шретер, В. Н.** Паровые котлы. 1951. Машгиз.

24. **Щеголев, М. М.** Топливо, топки и котельные установки. 1953. Госиздат литературы по строительству и архитектуре.

# SISUKORD

Sissejuhatus . . . . . 3

**I. Põhimõisteid füüsikast ja keemiast**

1. Üldmõisteid . . . . . 5
2. Rõhu mõiste. Vedelikkude omadused . . . . . 6
3. Õhk ja selle omadused . . . . . 8
4. Jõud, töö, võimsus, energia . . . . . 10
5. Soojus . . . . . 11
6. Veeaur . . . . . 17
7. Gaasi oleku seadused . . . . . 21
8. Aine ehitus. Keemilised nähtused . . . . . 23

**II. Kütused**

9. Koostis ja omadused. Kütteväärtus . . . . . 27
10. Kütuste põhilised liigid . . . . . 31
11. Kütuse keskmise proovi võtmine . . . . . 36

**III. Toitevesi ja selle ettevalmistus**

12. Looduslik vesi ja vee lisandid . . . . . 39
13. Katlakivi tekkimine . . . . . 45
14. Toitevee ettevalmistamine . . . . . 47
15. Vee pehmendamine katlas . . . . . 61
16. Reagentide sisseviimine katlasse . . . . . 66
17. Muda eemaldamine katlast . . . . . 69
18. Toitevee puhastamine õlist . . . . . 77
19. Veekatelde toitevee ettevalmistamine . . . . . 78

**IV. Kütuste põlemine**

20. Põlemisprotsessi füüsikalis-keemilisi nähtusi . . . . . 79
21. Põlemiseks vajaliku õhu ja põlemisproduktide hulk . . . 82
22. Põlemisprotsess tahke- ja vedelkütuste põlemisel . . . . 85
23. Põlemisprotsess gaasikütuste põlemisel . . . . . 89

**V. Kolded**

24. Kollete jaotus ja tüübid . . . . . 93
25. Kolde põhiosad . . . . . 94
26. Käsitsi teenindatavad kolded . . . . . 97
27. Poolmehaanilised kolded . . . . . 104

28. Mehaanilised kolded . . . . . 109
29. Sahtveskiga kolded . . . . . 119
30. Tolmuküttekolded . . . . . 122
31. Freesturbakolded . . . . . 124
32. Kaheastmelise põlemisega kolded . . . . . 125
33. Õliküttekolded . . . . . 130
34. Gaasiküttekolded . . . . . 136

**VI. Aurukatlad**

35. Aurukatelde iseloomustus . . . . . 150
36. Üldmõisteid aurukatlast ja tema töötamisest . . . . . 151
37. Leegitorukatlad . . . . . 155
38. Suitsutorukatlad . . . . . 158
39. Kombineeritud katlad . . . . . 160
40. Veetorukatlad . . . . . 168
41. Väikese võimsusega veetorukatlad . . . . . 183
42. Sundtsirkulatsiooniga katlad . . . . . 189
43. Väikekatelde aurutootlikkuse tõstmise võimalusi . . . . . 193
44. Auru separeerimine . . . . . 194
45. Astmeline aurustamine . . . . . 195
46. Madalrõhuaurukatlad ja veekatlad . . . . . 198

**VII. Auruülekuumendi**

47. Ülekuumendi ehitus ja töötamine . . . . . 208

**VIII. Toitevee-ökonomaiser**

48. Ökonomaiseri ehitus ja töötamine . . . . . 213

**IX. Õhueelsoojendi**

49. Õhueelsoojendi ehitus ja töötamine . . . . . 218

**X. Katla armatuur ja garnituur**

50. Armatuuri jaotus. Kaitseklapid . . . . . 222
51. Manomeetrid . . . . . 226
52. Veeseisunäitajad . . . . . 228
53. Ventiilid ja siibrid . . . . . 231
54. Tagasilöögiklapp . . . . . 233
55. Toiteregulaatorid . . . . . 233
56. Katla garnituur . . . . . 236

**XI. Katlaehituse materjalid**

57. Metallid . . . . . 239
58. Müüritise materjalid . . . . . 243
59. Tihendusmaterjalid . . . . . 248
60. Isoleermaterjalid . . . . . 249

**XII. Toiteseadmed**

61. Kolbpumbad . . . . . 251
62. Tsentrifugaalpumbad . . . . . 255
63. Pöörispumbad . . . . . 258
64. Inžektorid . . . . . 260
65. Toiteseadmete arv ja tootlikkus . . . . . 262

XIII. Tõmbe- ja õhupuhumisseadmed

66. Korsten . . . . . 264
67. Tõmbeventilaatorid . . . . . 265
68. Õhupuhumisseadmed . . . . . 266

XIV. Suitsu puhastamine lendtuhast

69. Lendtuha püüdeseadmete jaotus. Mehaanilised püüdeseadmed 269
70. Märjad püüdeseadmed . . . . . 272
71. Elektrifiltrid . . . . . 273

XV. Torustikud

72. Aurutorustikud . . . . . 276
73. Toed ja kompensaatorid . . . . . 278
74. Toite- ja läbipuhumistorustikud . . . . . 278
75. Üldandmeid torustike kohta . . . . . 279
76. Gaasitorustikud . . . . . 281
77. Vee-eraldajad ja kondenspotid . . . . . 286

XVI. Soojustehnilised mõõtmised ja mõõteriistad

78. Soojustehniliste mõõtmiste eesmärk . . . . . 288
79. Temperatuuri mõõtmine . . . . . 288
80. Koguse mõõtmine . . . . . 292
81. Rõhu mõõtmine . . . . . 295
82. Gaasianalüüs . . . . . 298
83. Katelseadmete töötamise automatiseerimine . . . . . 311

XVII. Kütmise põhijooni ja kollete teenindamine

84. Kütmistehnika üldisi põhimõtteid . . . . . 316
85. Kütja tööriistad . . . . . 318
86. Plaanrestiga kolded kivisõe, antratsiidi, turba ja puidu küttel 319
87. Kald- ja liikumatu treppristiga kolded turba ning puidu küttel . . . . . 322
88. Šahtkolded . . . . . 322
89. Käpprestiga ja liigutatava treppristiga kolded põlevkivi küttel . . . . . 324
90. Kettrestiga kolded kivisõe küttel . . . . . 325
91. Kettrestiga šahtkolded turba küttel . . . . . 326
92. Mehaanilise treppristiga kolded põlevkivi küttel . . . . 327
93. Šahtveskiga kolded . . . . . 329
94. Kivisõetolmu-küttekolded . . . . . 332
95. Õliküttekolded . . . . . 333
96. Gaasiküttekolded . . . . . 334

XVIII. Aurukatelde teenindamine

97. Katla ettevalmistamine sissekütmiseks . . . . . 339
98. Katla sissekütmine . . . . . 340
99. Katla järelevalve töötamisel . . . . . 342
100. Ökonomaiseri, õhueelsoojendi ja ülekuumendi hooldamine 345
101. Õhu- ja tõmbeventilaatorite hooldamine . . . . . 346
102. Aurutorustiku hooldamine . . . . . 347
103. Tahma puhumine küttepindadelt . . . . . 347

104. Katla läbipuhumine . . . . . 348
105. Tuhaärastamine . . . . . 350
106. Katelseadme lühi- ja pikaajaline seiskamine . . . . . 355
107. Katla avariiline seiskamine . . . . . 356
108. Vahetuse üleandmine ja vastuvõtmine . . . . . 357
109. Küttepindade sisemine ja välimine puhastamine . . . . . 359

**XIX. Katla soojusbilanss**

110. Soojuskaod ja katla kasutegur . . . . . 364
111. Aurutusarv . . . . . 368
112. Auru omahind . . . . . 369

**XX. Katelseadme vigastused ja remont**

113. Remondi jaotus . . . . . 370
114. Aurukatlaosade vigastused ja remont . . . . . 371
115. Katlametalli juuspragude avastamine . . . . . 381

**XXI. Katelseadme avariid**

116. Avariiseisukord katlamajas . . . . . 385
117. Veeseisu langus ja tõus . . . . . 386
118. Torude vigastused . . . . . 387
119. Müüritise varisemine ja põlemine ning plahvatused gaasikäikudes . . . . . 389
120. Vee keemine malmökonomaiseris . . . . . 389
121. Aurukatla lõhkemine . . . . . 389
122. Tulekahju katlamajas . . . . . 390
123. Tööõnnetused ja esmaabi . . . . . 390

**XXII. Katelde järelevalve ja üldised ohutustehnilised tingimused**

124. Katlaruumidele esitatavad nõuded . . . . . 394
125. Aurukatelde järelevaatused . . . . . 397
126. Üldisi ohutustehnilisi nõudeid katelseadme teenindamisel . 400
127. Ohutustehnilised nõuded gaasiga kütmisel . . . . . 402

**XXIII. Töö organiseerimine katlamajas**

128. Katlamaja töö plaanimine ja aruandlus . . . . . 404
129. Katlamaja personali töö korraldamine . . . . . 405

Lisa. Torustiku, armatuuri, soojusseadmete ja aparaatide tingmärgid . . 407
Kasutatud kirjandus . . . . . 409

Ирак Арнольд Юханович
и Вейде Харри Мартинович

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ

На эстонском языке

Обложка художника В. Томассова

Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja A. Korba

Kunstiline toimetaja R. Tungla

Tehniline toimetaja A. Sepp

Korrektorid M. Sepp ja E. Multer

Ladumisele antud 3. X 1960. Trükkimisele antud 29. V 1961. Paber 60×90, 1/16. Trükipoognaid 26. Arvutuspoognaid 24,87. Trükiarv 3000. MB-03877. Tellimise nr. 3440. Trükikoda «Ühiselu», Tallinn, Pikk tn. 40/42..

Hind rbl. 1.15

3—4

Rbl. 1.15

A-23886

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00358209 7

Rbl. 1.15

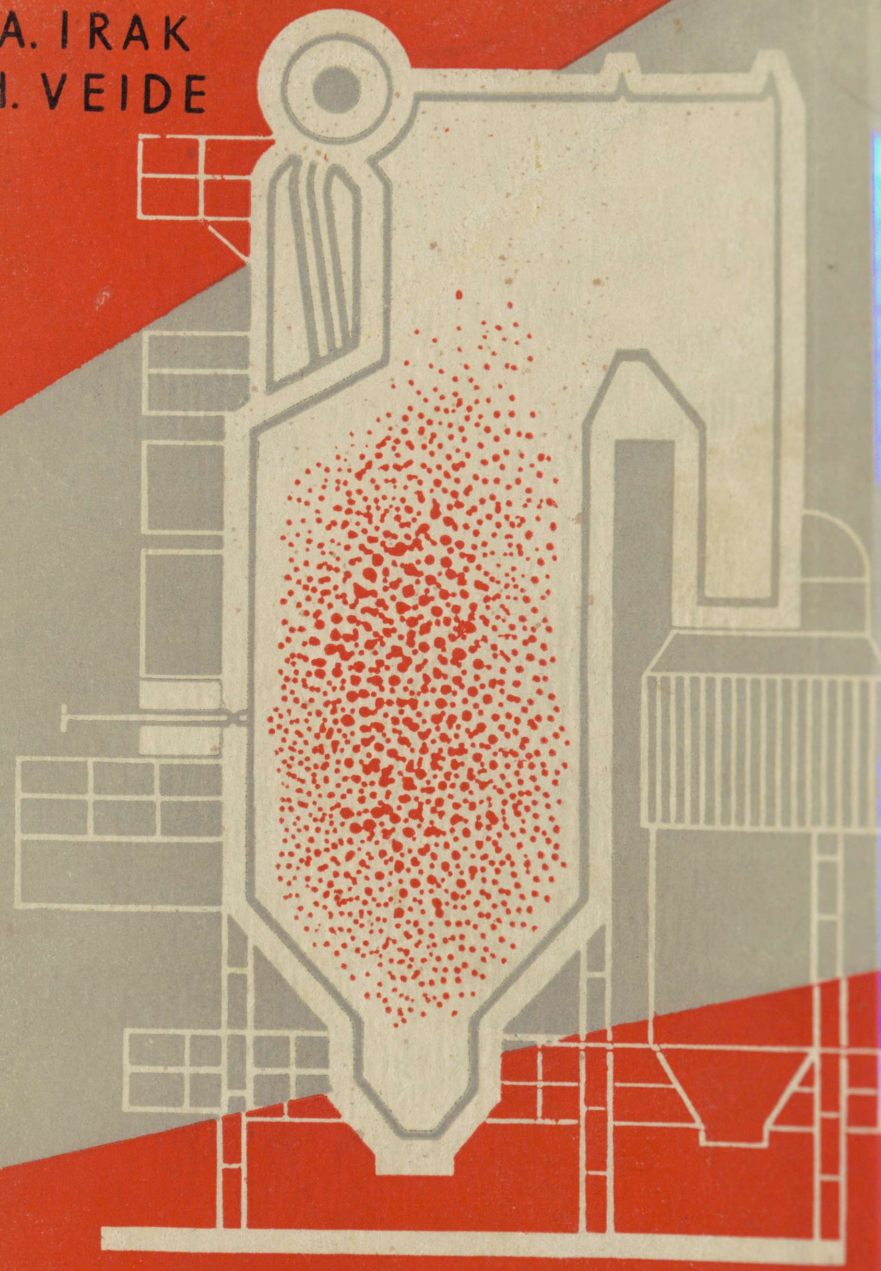
A-23886

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00358209 7

A. IRAK
H. VEIDE

AURU-
KATLAD

A. IRAK
H. VEIDE



# Aurukatlad