EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA
FÜÜSIKALIS-MATEMAATILISTE JA TEHNILISTE TEADUSTE OSAKOND
TÖÖSTUSPROBLEEMIDE INSTITUUT

Nr. 1 (10)

ENSV KOHALIKUD KÜTUSED JA NENDE ENERGEETILINE KASUTAMINE

INS. H. TRUU ÜLDTOIMETUSEL

RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“

31. V 4

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA
FÜÜSIKALIS-MATEMAATILISTE JA TEHNILISTE TEADUSTE OSAKOND
TÖÖSTUSPROBLEEMIDE INSTITUUT

Nr. 1 (10)

ENSV KOHALIKUD KÜTUSED JA NENDE ENERGEETILINE KASUTAMINE

INS. H. TRUU ÜLDTOIMETUSEL

С РЕЗЮМЕ:
МЕСТНЫЕ ТОПЛИВА ЭССР И ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

RK „TEADUSLIK KIRJANDUS"
TARTU, 1947

Bibliotheca
Universitatis
Tartuensis
1947: 0466

12201
A- 16089

Saateks.

Rahvamajanduse arendamine tänapäevases struktuuris nõuab ulatuslikke kütusekoguseid, mida tuleb muuta energiaks. Kütuste tootmine ja ratsionaalne kasutamine energeetilisteks tarveteks on kujunenud esmajärgulise tähtsusega teguriks: kütuse varal rahuldatakse nii kommunaalmajanduslikke kui ka tööstusenergeetilisi vajadusi. Vähe on maid, kus energia tootmine baseerub esijoones „valgel söel", s. o. veejõul. Eesti NSV igatahes ei kuulu nende hulka ja energiamajanduse arendamine tugineb meil suurel määral vajalike energiakoguste tootmisele põlev-maavaradest viimaste põletamise teel. Meil on selleks soodsaid võimalusi küll mitte kõrgeväärtusliku kivisöe, kuid praktiliselt vastuvõetavate põlemistehniliste omadustega kohalike kütuste — põlevkivi ja turba näol. Võttes arvesse ka puidumasside kasutamist, kaetakse ENSV kütusetarve peaaegu täielikult kohalikest ressurssidest. Praegu kasutatakse energeetilisteks tarveteks puitu veel suurel määral. Edaspidi aga suunatakse puit senisest ratsionaalsemateks otstarveteks — tarbepuiduks, kuna kütusetarve tuleb katta põlevkivi ja turba ning nende produktidega.

Senine kütusetarve küündis meil vaevalt ühe tonni leppekütuseni elaniku kohta aastas, mis on madal. Käesolev viisaastak aga viib elutaseme ENSV-s senisest tunduvalt kõrgemale. Põllumajanduse intensiivse arendamise kõrval on ühtlasi ette nähtud ulatuslik industrialiseerimine, milleks vajatakse tublisti energiat. Seega tuleb meil käesoleva neljanda viisaastaku plaani täitmise kindlustamiseks eelkõige arendada energia tootmist. Koos sellega peame tunduvalt tõstma ka kütuste tootmist ja arendama nende energeetilist kasutamist.

Eelnimetatud kaalutlustel on vajalik valgustada meie kohalike kütuste omadusi, eriti arvestades nende spetsiifilisi iseärasusi. Samuti tuleb esile tõsta kütuste põletamiseks kasutatavaid seadmeid. Meie kütuste eriomadusi on küll teataval määral varemalt käsitletud üksikuis ajakirja-

des kui ka eriväljaannetes. Kuid lähtudes sellest, et küttetehnilise taseme tõstmisele ja kütteseadmete ehitamise arendamisele tuleb kaasa tõmmata kogu meie kütte-energeetiline töötajaskond ja tungivalt vajatakse uusi energeetilisi kaadreid inseneride, konstruktorite, küttetehnikute, kütjate jt. töötajate näol, pidas ETTUK tarvilikuks antud ülesannete lahendamise edustamiseks meie kohalike kütuste ja nende energeetilise kasutamise kohta vastava erialalise teose koostamist ja trükis avaldamist. Selles teoses antakse kokkuvõetud kujul ülevaade meie kohalike kütuste — põlevkivi ja turba lademetest, kütuste tootmisest, põlemistehnilistest omadustest ja seadmetest nende energeetiliseks kasutamiseks. Ühtlasi on teose koostamisel läbi töötatud kütte-energeetiline terminoloogia eesti keeles. Teose trükis avaldamisega püütakse tõsta kütte-energeetilise arenemise taset ENSV-s.

Teose käsikiri koostati peamiselt ETTUK-i eriteadlaste poolt; väljastpoolt osutasid kaasabi kütteseadmeid ehitava tehase Riikliku Tehase nr. 9 energeetikud ja ins. B. Kask. Joonised valmistati ETTUK-i poolt, kasutades põlemisseadmete konstruktsiooni osas seadmeid ehitavate tehaste arhiive ja end. E. R. Jõukomitee poolt 1938. a. trükis avaldatud brošüüris „Põlevkivi ja turvaskütte koldeid" toodud jooniseid.

Teose sisu koordineerijaks oli ETTUK-i asedirektor teaduslikul alal ins. H. Truu.

Avaldame siinkohal tänu kõigile käsikirja koostamisest ja jooniste valmistamisest, samuti raamatu trükkimise teostamisest osavõtjaile.

Puudustest palume teatada Tööstusprobleemide Instituudile Tallinnas.

Ühtlasi juhime tähelepanu ETTUK-i poolt varem väljaantud teostele „Kriitiline ülevaade põlevkivi-küttekolletest mehhaaniliste restidega" ja „Tehnika teatmik", kus samuti käsitletakse meie kohalike kütuste kasutamist.

Üldtoimetaja.

I. Kütuste iseloomustusi.

Kütust kui ainet iseloomustab see, et tema massis peitub keemiline energia, mida võib aine põlemisel muuta soojuseks. Põlemissaaduste füüsikaline soojus aga leiab rakendamist energeetilisteks, tehnoloogilisteks jt. tarveteks. Kütuseks selle sõna kitsamas mõttes nimetatakse neid aineid, mille põlemisel eraldub soojust, mis moodustab kütuse küttevääртuse. Põlevaineid, mis ei anna põlemisel vaba soojust, ei tule arvata kütuste liiki.

Kütuse moodustavad orgaanilised ained peamiselt süsivesinikulistest ühenditest, mis sisaldavad suuremal või vähemal hulgal ballastosi. Kütuse koostisse kuuluva põlevosa elemendid ühinevad põlemisel õhuhapnikuga, kusjuures aine keemiline energia muutub soojuseks ja kandub üle põlemissaadustele. Levinumaiks looduslikeks kütusteks on puit, turvas, põlevkivid, pruunsöed, kivisöed, nafta ja naftasaadused, looduslikud gaasid ehk maagaasid ja kunstlikud kütused koksigaasi ja kõrgahjugaasi, koksi, briketi jm. näol.

1. Tekkimine ja varud.

Kütused on tekkinud taimede või loomade jäänustest aastatuhandeid kestnud kõdunemise teel õhust eraldatud olekus, katekihtide surve all või ilma selleta. Kõdunemisel ehk söestumisel väheneb järk-järgult kütust tekitavate algainete hapniku-, vesiniku- ja veesisaldus, suurenevad aga süsinikusisaldus, aine tihedus, kõvadus ja survetugevus. Turbamassiividel puudub mineraalne katekiht ja seetõttu on turba tihedus väike.

Kütustest on taimelise päritoluga, s. o. humiinkütusteks turvas ja söed; maagaasid ja maaõlid, mis on tekkinud mereloomade jäänustest, on nn. sapropeelkütused.

Tekkimisvanuselt nooremail kütustel, näiteks turbal (tekkimisvanus 6000—8000 aastat), pruunsöel ja nooremail kivisöeliikidel, on ilmne nende ainete taimeline päritolu, vanemail kivisütel võib seda märgata vaid mikroskoobilisel vaatlemisel.

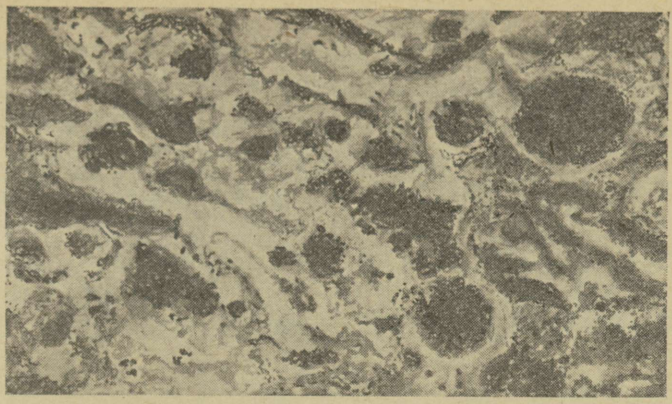
Kütuse tuhaosa on tekkinud taime- ja loomajäänustes leiduvast tuhast ning jäänuste kõdunemise ajastul vee poolt pealekantud mineraalosadest. Et kõdunemis- ehk söestumisprotsessi kestel aine orgaaniline osa ja niiskus kahanevad, tuhk aga mitte, tõuseb koos tekkimisvanusega protsentuaalne tuhasisaldus kütuses.



Joon. 1. Põlevkivi-kukersiit.



Joon. 2. Loomseid jäänuseid kukersiidis.



Joon. 3. Kukersiit läbilõikes (140 korda suurend.).



Joon. 4. Taimelise päritoluga kütus.

Kunstlikud kütused on looduslike kütuste — süte ja maaõlide saadused.

Põlev-maavaradest kütused esinevad kõikides maailmajagudes. Suurimaid kütusevarusid omab USA, teisel kohal on NSV Liit. Moskvas 1937. a. peetud XVII rahvusvahelise geoloogide kongressi andmetel jagunevad maailma kütusevarud riikides alljärgnevalt (tab. 1):

Tabel 1. **NSV Liidu, USA ja ülemaailmsed kütusevarud.**

Riik	Kivisüsi	Pruunsüsi	Põlevkivi	Turvas	Nafta	
					kogu-varud	tööstuslikud varud
	miljardites tonnides				miljonites tonnides	
NSVL	1443	211	55	145	6376	3877
USA	2041	852		13		1765
Ülemaailmsed varud	4893	1936		242	10807	7074

Uuemail andmeil hinnatakse maailma söevarusid ligikaudu 8500 miljardile tonnile.

Põlev-maavarade, s. o. looduslike kütuste kogused on NSV Liidus väga suured — NSV Liit on kütuste varude poolest teisel kohal maailmas. NSV Liit omab maailma kütusevarudest sütt ligikaudu 25%, naftat 59% ja turvast 60%, olles nafta- ja turbavarude poolest esikohal, samuti ka metsamassiivide poolest. Ühtlasi omab NSV Liit suured kogused maagaasi ja põlevkivi.

Tabel 2. **NSV Liidu kütusevarud liiduvabariikide järgi 1937. a.**

Liiduvabariik	Söed	Põlevkivi	Turvas	Nafta	Maagaas	Puitkütus miljonites ruumimeetrites	Kokku miljonites tonnides leppekütust (7000 kcal/kg)
	Geoloogilised üldvarud miljonites tonnides; maagaas miljonites kuupmeetrites						
VNFSV	1502600,0	31450,0	140000,0	2060,0	499550,0	23700,0	1284050,0
(sealhulgas Baškiiri ANSV-s)	—	—	2700,0	—	—	60,0	1200,0
Ukraina NSV	68700,0	115,0	2600,0	—	—	50,0	69450,0
Azerbaidžani NSV . .	—	—	—	2550,0	285650,0	70,0	4300,0
Gruusia NSV	300,0	—	—	175,0	25050,0	200,0	600,0
Armeenia NSV . .	50,0	—	—	—	—	20,0	25,0
Uzbeki NSV	4175,0	—	—	175,0	14300,0	15,0	3000,0
Turkmeeni NSV . .	3550,0	—	—	250,0	50700,0	20,0	2950,0
Tadžiki NSV	2175,0	—	—	—	—	10,0	1523,0
Kazahhi NSV	62800,0	1475,0	—	2000,0	110650,0	35,0	58800,0
Kirgiisi NSV	10050,0	—	—	—	—	15,0	7000,0
Jaotamata	—	22000	—	—	—	—	—
NSVL kokku	1654400,0	55000,0	145300,0	6400,0	986000,0	24200,0	1433000,0

NSVL suurimad söelademed asetsevad Liidu Aasia-osas — Kuznetski lademeis, mille söevarud ületavad Donetsi lademete varud viiekordselt. Kolmandaks ulatuslikumaks söebaasiks on Karaganda lademed. NSVL omab peale eelnimetatute veel rea teisi mahukaid kivisöebaase.

Põhimised naftavarud asetsevad Bakuu ja Groznõi rajoonides. Viimasel ajal on avastatud rikkalikke naftaallikaid Lõuna-Uuralis ja mujal, kus levib nafta tootmine.

Põlevkiviladem ed asetsevad Kesk- ja Alam-Volga rajoonides, Leningradi oblastis, ENSV-s jm.

Turbavarud asetsevad peamiselt Liidu Euroopa-osa põhjarajoonides, Gorki oblastis, Uuralis, Valge-Venes jm.

Liidu küttepuidu-varudest langeb 75% Siberile ja Kaug-Idale; puitkütuse ülestöötamise ja väljaveo piirkondadeks on peamiselt NSVL Euroopa-osa põhjapoolsed rajoonid.

Eesti NSV omab iseseisva kohaliku kütusebaasi põlevkivi- ja turbalademete näol. Viru rannikul asetsevate põlevkiviladem ete kasutatavaid varusid hinnatakse enam kui kolmele ja poolele miljardile tonnile, turbavarusid aga ühele miljardile tonnile õhukuiva turvast.

2. Koostis.

Kütuse füüsikalised, keemilised ja põlemistehnilised omadused baseeruvad esijoones kütusaine koostisel, mida määratakse keemilise analüüsiga. Kütuse struktuur tehakse kindlaks sõelumise teel. Keemiline koostis on tarvilik kütusaine üldhindamiseks, küttevääртuse määramiseks, põlemissaaduste arvutamisel jne. Allpool toome kütuse koostise liigitamisi ja aine keemiliste elementide iseloomustusi põlemistehnilisest seisukohast.

Põlevaineiks on kütuses süsinik (C), vesinik (H), orgaaniline ja püriitväävel (S^o ja S^p). Arvestades seda, et nimetatud ained esinevad kütustes mitte vabas olekus, vaid keemilistes ühendites teiste ainetega — hapniku, lämmastikuga jt., loetakse ka need viimatimainitud elemendid kütuse orgaanilisse ja põlevosade koostisse. Tuhka ja niiskust kui ballasti arvestatakse kütuse koostises eraldi. Tahke- ja vedelkütuste elementaarkoostis antakse kaaluprotsentides. Gaaskütuse kohta, mis koosneb põlevate ja mittepõlevate gaaside segust, kusjuures lisanditena esinevad veeaur, tõrv ja tolm, tuuakse analüüsis üksikelementide määrad kuivgaasi mahuprotsentides, lisandite hulk aga tähistatakse grammides normaalkuupmeetri (0° ja 760 mm Hg) kuivgaasi kohta.

Tahke- ja vedelkütuste koostist liigitatakse järgmiselt (vrd. ЦКТИ, Нормы теплового расчета котельного агрегата, 1945 г.):

orgaaniline osa (o): $C_o + H_o + O_o + N_o + S_o^o = 100\%$

põlevosa (p): $C_p + H_p + O_p + N_p + S_p^{o+p} = 100\%$

kuivaine (k): $C_k + H_k + O_k + N_k + S_k^{o+p} + A_k = 100\%$

tarbimisaine (t): $C_t + H_t + O_t + N_t + S_t^{o+p} + A_t + W_t = 100\%$

Siinjuures eristatakse elemendi keemiline sümbol vastava koostisliigi indeksiga all. Väävlit S iseloomustatakse seeläbi, et indeksiga üleval märgitakse väävlit tema eri liikide järgi: orgaaniline väävel — o, püriitväävel — p. Sulfaatväävel (S^a) kui mittepõlev anorgaaniline aine arvatakse tuha hulka.

Alljärgnevalt toome korrutajaid kütuse koostise elementide protsentuaalväärtuste ümberarvutamiseks ühelt koostisliigilt teisele.

Antud koostis	Korrutistegur otsitavale koostisele			
	Orgaaniline osa	Põlevosa	Kuivaine	Tarbimisaine
Orgaaniline osa	1	$\frac{100-S_p^p}{100}$	$\frac{100-\left(S_k^p+A_k\right)}{100}$	$\frac{100-\left(S_t^p+A_t+W_t\right)}{100}$
Põlevosa	$\frac{100}{100-S_p^p}$	1	$\frac{100-A_k}{100}$	$\frac{100-\left(A_t+W_t\right)}{100}$
Kuivaine	$\frac{100}{100-\left(S_k^p+A_k\right)}$	$\frac{100}{100-A_k}$	1	$\frac{100-W_t}{100}$
Tarbimisaine	$\frac{100}{100-\left(S_t^p+A_t+W_t\right)}$	$\frac{100}{100-\left(A_t+W_t\right)}$	$\frac{100}{100-W_t}$	1

Süsinik moodustab olulisema elemendi kütuste koostises. Ta esineb mitte vaba süsinikuna, vaid keeruliste ühenditena. Gaaskütuse komponentides on süsinik ühenduses vesinikuga, moodustades kergeid ja raskeid süsivesinikke, ja hapnikuga CO näol.

Teiseks olulisemaks elemendiks kütuse koostises on vesinik. Eeldatakse, et tahke- ja vedelkütuses kogu hapnik on ühenduses vesinikuga.

Üks kaaluosa vesinikku seob 8 kaaluosa hapnikku. Vaba vesiniku kogus kütuses arvutatakse valemi

$$H - \frac{O}{8}$$

abil, kusjuures $\frac{O}{8}$ on seotud vesiniku määraks.

Hapnik osutub kütuses orgaaniliseks ballastiks ja veel enam — mõjub küttevääruse kahjustavalt seeläbi, et ta on ühenduses põlevosa elementidega, lülitades viimaseid põlemisest välja. Peale selle põlevelemendid, olles hapnikuga ühenduses, oksüdeeruvad ja kaotavad seeläbi oma küttevääruse.

Lämmastikusisaldus on kütuses väga väike — harva üle ühe protsendi.

Lämmastik põlemisest osa ei võta ja läheb vabas olekus põlemissaadustesse.

Väävel esineb looduslikes tahkekütustes kolmel kujul: orgaanilise väävlina (S^O) keerulistes orgaanilistes ühendites kütuse teiste orgaaniliste elementide — C, H, N ja O-ga; püriitväävlina (S^P) püriidi (FeS_2) näol ja sulfaatväävlina (S^a) väävelhappesooladena — kips, $FeSO_4$ jt. Sulfaadid moodustavad kõrgeastmelisi hapendeid ja sulfaatväävel ei põle. Orgaaniline väävel ja püriitväävel põlevad SO_2-ks; orgaaniline ja püriitväävel on kütuses lendosaks (S^{Le}).

Tuhk ja niiskus moodustavad kütuses välisballasti, mis vähendab kütuse küttevääruse ja mõjustab suurel määral kütuse põlemist ning põlemissaaduste kasutamist.

Tuhka võib jagada tahkes kütuses kolme rühma:

1) primaartuhk mineraalsete lisandite näol juba kütust tekitavas algaines, seega seotult kütuse orgaanilise massiga,

2) sekundaartuhk — kõrvallisandid, mis veest ja tuulest on kantud kütusekihtidele kütuse tekkimise aegadel, ja

3) kolmanda järgu tuhk, milleks on tootmisel kütusesse sattunud kütusekihti maapõues piiravad aherained.

Primaartuhk asetseb kütusemassis ühtlaselt paigutatult, sekundaartuhk — enam-vähem ühtlaselt ja kolmanda järgu tuhk — täiesti juhuslikult.

Kütuse analüüsimisel loetakse tuhaks ЦКТИ normide põhjal (K. 26, lk. 6) kuumutusjääk aine kuumutamisest õhu käes laboratoorses muhvelahjus 800° C (Inglismaal levinud määraks on 950° C). Kuumutusjäägi, s. o. mineraaljäägi kaal loetakse kütuse tuhasisalduseks.

Peab mainima, et analüütilise proovi mineraaljääk ei ole täiesti võrdne mineraalosade kaaluga kütuses, sest mõned lisandid kas lagunevad, len-

duvad või suurenevad kaalus õhu käes hapendumise teel. Muutusi kütuse tuha ja analüütilise tuhaproovi vahel kutsuvad esile järgmised reaktsioonid:

a) hüdraatniiskuse kadu silikaatides ja kipsides,

b) kaltsiumkarbonaadi lagunemine CO_2 eraldumisega:

$$CaCO_3 = CaO + CO_2,$$

c) püriitväävli põlemine SO_2 tekkimisega:

$$4\,FeS_2 + 11\,O_2 = 2\,Fe_2O_3 + 8\,SO_2 \text{ ja}$$

d) reaktsioon SO_2 ja CaO vahel:

$$2\,CaO + 2\,SO_2 + O_2 = 2\,CaSO_4.$$

Karbonaatiderikaste kütuste, näit. põlevkivi puhul arvatakse kuumutusjäägile juurde mineraalsüsihappe %; väävlirikaste kütuste analüüsimisel tehakse korrektuur püriitväävli suhtes. Iga aatom püriitväävlit võtab põlemisel juurde 4 aatomit hapnikku, mis jääb sulfaatsoolana tuha hulka. Järelikult püriitväävli (S^p) iga % kohta kütuses tuleb vähendada tuhasisaldust 2% võrra.

Enamiku tahkekütuste tuha koostisse kuuluvad järgmised ained: SiO_2, Al_2O_3, FeO ja Fe_2O_3, CaO ja MgO, Na_2O ja K_2O, väävel- ja fosforhapped, haruldaste metallide hapendid, näit. TiO_2. Neil ainetel on väga erinevad sulamistemperatuurid, näit. Na_2O-l ja K_2O-l 800—1000° C, SiO_2-l, Al_2O_3-l, CaO-l ja MgO-l 1600—2800° C jne. Ühtlasi võivad kütuse põlemisel tuha koostise komponentidest kujuneda eutektilised sulandid tuha üksikkomponentide sulamistemperatuuridest märksa madalamate sulamistemperatuuridega. Tuha sulamisomadusi iseloomustatakse kolme piirmomendi temperatuuriga: plastinemise algus, plastinemine ja vedelolek. Tavaliste tuhkade sulamistemperatuur, olenevalt tuha koostisest, on temperatuuri-intervallis 1100—1600° C. Leppeliselt loetakse tuhad sulamispiiriga alla 1200° C kergesti sulavaiks ehk madala sulamistemperatuuriga tuhkadeks, 1200—1350° C — keskmise sulavusega tuhkadeks ja 1350—1500° C — praktiliselt mittesulavaiks tuhkadeks. Näiteks puidutuhk, koosnedes peamiselt CaO-st, MgO-st ja K_2CO_3-st, kuulub väga raskesti sulavate tuhkade liiki, turbatuhk vastavalt koostisele võib olla kergesti või raskesti sulav, mitmekesised on oma koostise ja sulamispiiride poolest ka kivisöetuhad. ENSV põlevkivi tuhk kuulub madala sulamistemperatuuriga tuhkade liiki.

Praktiliselt on tahkekütustest tuhasisaldus puidul 1—2%, turbal 5—10%, sütel ja põlevkividel kuni 60%, vedelkütustel murdosa protsen-

dist ja gaasidel praktiliselt null. Süte kohta peab nentima, et kõrgema tuhasisaldusega söeliikidel on aine tugevus nõrgem kui tuhavaestel sortidel.

Tuhk mõjustab suuremal või vähemal määral kütuse põlemist, põlemisseadme ja katla osi — resti, koldeseinu, külg-ekraane, katla küttepinda jne.

Niiskus kütuses jaguneb välisniiskuseks, mis eraldub kütusest kuivamisel õhu käes (õhukuiv kütus), ja hügroskoopseks niiskuseks. Viimasest vabastatakse kütus kuivatamisega 105° C t°-l ja saadakse nn. kuivaine. Hügroskoopne ehk spetsiifiline niiskus on tahkekütustel kõrgem kui vedelkütustel.

Hügroskoopse niiskuse sisaldus %-des on kütustes järgmine:

Puit	15 — 20
Turvas	20 — 25
Pruunsöed	35 — 45
Noorkivisöed (poolvaigused, paakuvad)	6 — 12
ENSV põlevkivi	~ 3
Keskvanused kivisöed (gaasisöed, leegilised)	1 — 2,5
Vanad lendosadevaesed kivisöed ja antratsiidid	0,5 — 1
Masuut	1,5 — 3

Niiskus — vesi — on kütuse koostises kahelt seisukohalt kahjulik: esiteks kui ballastaine, mis ei põle, ja teiseks ta aurustub põlemisel valitsevail kõrgetel temperatuuridel, tarvitades selleks 600 kcal/kg soojust, mis tavaliselt ei leia kasutamist põlemissaaduste rakendamisel soojusevahetuse protsessis ja lahkub heitgaasidega.

Eriniiskusena, mida ei loeta tarbimiskütuse niiskusmäära hulka, esineb kütuses nn. hüdraatniiskus, mis eraldub vaid tuhastumisprotsessis, s. o. kuumutamisel kuni 800° C.

Niiskusesisaldus on tahkekütustel väga mitmekesine ja kõigub nullile lähedastest arvudest kuni 60%-ni; vedelkütustes on niiskust vähe, 1—2%. Gaaskütused sisaldavad niiskust veeaurude näol.

3. Lendosad ja koks.

Lendosadeks ehk lenduvaks (*Le*) on see osa kütuse põlevkoostisest, mis lendub kütusest viimase kuumutusel kinnises nõus temperatuurini 700—750° C (K. 26, lk. 10); tahke utmisjäägina jääb järele koks. Lendosadeks on kütuse elementaarkoostises niiskus, hapnik, lämmastik, lend-

väävel, vesinik ja lendsüsinik. Viimane ühenduses vesinikuga moodustab utmissaadustes kergeid ja raskeid süsivesinikke. Koksi jääv süsinik kannab kinnissüsiniku nimetust. Nooremais kütustes esineb süsinik ülekaalukalt lendsüsinikuna, vanemais söeliikides aga kinnissüsinikuna. Ka vesiniku ja hapniku % on noorkütustel kõrgem kui vanemais rühmades. Seetõttu omavad nooremad kütused rohkem lendosi kui vanemad. Lendosade lahkumisest järelejääv koks sisaldab peale kinnissüsiniku ühtlasi ka kütuses olnud tuhka.

Mittepaakuvast söest jääb koks laboratoorsel utmisel järele peene pulbrina, paakuva söe puhul sõltuvalt söe paakumise astmest rohkem või vähem kokkupaakunud massina või tükkidena. Söe ja sellest saadava koksi paakuvus on tingitud esijoones orgaaniliste ühendite — bituumenite iseloomust kütuses. Vaiguloomulised bituumenid sulavad ise kõrgetel temperatuuridel ja kuumas olekus mõjustavad sulamisele ka teisi orgaanilisi ühendeid, andes jäägina kõva koksi. Söed tahkebituumenisisaldusega annavad mureda või pulbritaolise koksi.

Lendosadesisaldusel on oluline tähtsus kütuse süttimise ja põlemise suhtes. Lendosaderikkad tahked kütused süttivad kergemini, s. o. madalamail temperatuuridel kui lendosadevaesed. Kõrge lendosadesisaldusega kütuste põlemisprotsessis tuleb arvestada seda, et lendosade põlemine toimub põlemisruumis, ja omistada erilist tähelepanu põlemisruumi kujundamisele. Lendosade eraldumine ja põlemine, koksikihi moodustumine ja läbipõlemine on kütuste koldespõletamise olulisemaiks tegureiks. Seetõttu toome üksikasjalisemaid selgitusi selle kohta peatükis „Põlemine koldes"; lendosadesisalduse ja koksimäärade üle kütustes vt. selles peatükis allpool järgnevat lõiku: klassifikatsioon.

4. Küttevääртus.

Soojushulka, mis vabaneb ühe kilogrammi kütuse täielikul põlemisel kuiva õhu käes, nimetatakse selle kütuse põlemisväärtuseks. Siinjuures on tingimuseks, et põlemissaadused jahutatakse lähtetemperatuurini — toatemperatuurini või 0° C-ni ja põlemine toimub püsival rõhul või püsiva mahu olukorras. Põlemisväärtus on esijoones füüsikaline mõiste — ta kujutab endast põlemisprotsessi toimel aine keemilise energia soojusenergiaks üleviimisega vabaneva soojushulga näitarvu. Et põlemisel toimub aine molekulide lagunemine — ümberkujunemine, milleks tõenäoliselt kulub soojust, võime aine põlemisväärtuse määramistest kõige täpsemaks

viisiks pidada praktilist määramist kalorimeetriga. Põlemisväärtuse arvutamine matemaatilisel teel aine üksikelementide põlemisväärtuste liitmisega (Dulong'i valem) või empiirilise valemi abil (näit. Mendelejevi valemiga) annab põlemisväärtuse ligikaudse näitarvu.

Kalorimeetrilises pommis põletatakse mõni gramm kütust hapniku sfääris ligikaudu 25-atmosfäärilise rõhu all. Saadud soojus kandub üle kalorimeetri veele, mille hulga ja temperatuuride mõõtmise kaudu leitakse kütuse põlemisel vabanenud soojushulk ja arvutatakse aine põlemisväärtus Q^p kilogrammkalorites ühe kilogrammi kohta. Arvates maha kütuse niiskuse ja vesiniku põlemisel tekkiva lagunemisvee varjatud soojuse, saame aine kütteväärtuse $Q^k \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right)$. Siinjuures märgitakse põlemisväärtus indeksiga p ja kütteväärtus indeksiga k, kirjutades indeksi tähise Q juurde paremale üles. Indeksid, mis näitavad selle aine koostist, mille põlemis- või kütteväärtus oli määramisel, kirjutatakse tähise Q juurde paremale alla. Näiteks Q^p_o tähendab aine orgaanilise osa põlemisväärtust, Q^k_t — tarbimisaine kütteväärtust jne.

Kütuse põlemisväärtus erineb kalorimeetrilises pommis põletamisel saadud soojushulgast väävli S^{o+p} põlemissoojuse võrra põlemisest pommis — väävel põleb mitte SO_2-ks, vaid SO_3-ks, mis annab põlemisväärtuse suurenemise 2250 kcal/kg. Lämmastik ühineb pommis hapnikuga ja tekib põlemisväärtuse suurenemine 0,0015 Q_{kal} (kcal/kg), kusjuures Q_{kal} tähendab kütuse põletamisel pommis (hapniku sfääris) saadud põlemissoojust. Kaltsiumkarbonaate sisaldavate kütuste puhul arvestatakse pommis määramisel saadud soojushulgale juurde karbonaatide lagunemiseks kuluv soojushulk 9,70 CO_2^k kcal/kg. Kütuse põlemisväärtus kujuneb seega

$$Q^p = Q_{kal} - 22{,}5\ S^{o+p} - 0{,}0015\ Q_{kal} + 9{,}70\ CO_2^k \text{ kcal/kg.}$$

Juhul, kui kütteaine põlemisväärtuse määramisel arvestatakse karbonaatide lagunemiseks kuluvat soojust, tuleb kütteväärtuse määramisel silmas pidada karbonaatide lagunemisastet põlemisprotsessides, mida loetakse kütuse kihispõlemisel 0,7, tolmküttel — 1,0.

Kütuse kütteväärtus arvutatakse põlemisväärtusest järgmiste valemite põhjal:

orgaaniline osa:	$Q^k_o = Q^p_o - 54\ H_o$	kcal/kg
põlevaine:	$Q^k_p = Q^p_p - 54\ H_p$	„
kuivaine:	$Q^k_k = Q^p_k - 54\ H_k$	„
tarbimisaine:	$Q^k_t = Q^p_t - 6\ (9\ H_t + W_t)$	„

Sageli tuleb kütteväärtust arvutada aine põlevosa põlemisväärtuse ja vesiniku-, tuha- ning niiskusesisalduse põhjal. Selleks võime kasutada valemit

$$Q_t^k = (Q_p^p - 54\,H_p)\,\frac{100 - (A_t + W_t)}{100} - 6\,W_t \text{ kcal/kg.}$$

Kui kütus teatavast lademest omab enam-vähem püsivailmelise põlevosa põlemisväärtuse ja vesinikusisalduse, piisab tarbimisaine kütteväärtuse määramisel tuha- ja niiskusesisalduse määramisest laboratoorsel teel. Valem tarbimisaine kütteväärtuse määramiseks oleks järgmine:

$$Q_t^k = Q_p^k\,\frac{100 - (A_t + W_t)}{100} - 6\,W_t \text{ kcal/kg.}$$

Säärasel teel võib näit. ligikaudselt määrata ENSV põlevkivi (aegumata) kütteväärtust (vt. ptk. II, 3).

Kui on määratud tahkekütuse elementaarkoostis, leiame aine põlevosa põlemisväärtuse alljärgneva valemi kasutamisega (Mendelejevi valem):

$$Q_p^p = 81\,C_p + 300\,H_p - 26\,(O_p - S_p) \text{ kcal/kg.}$$

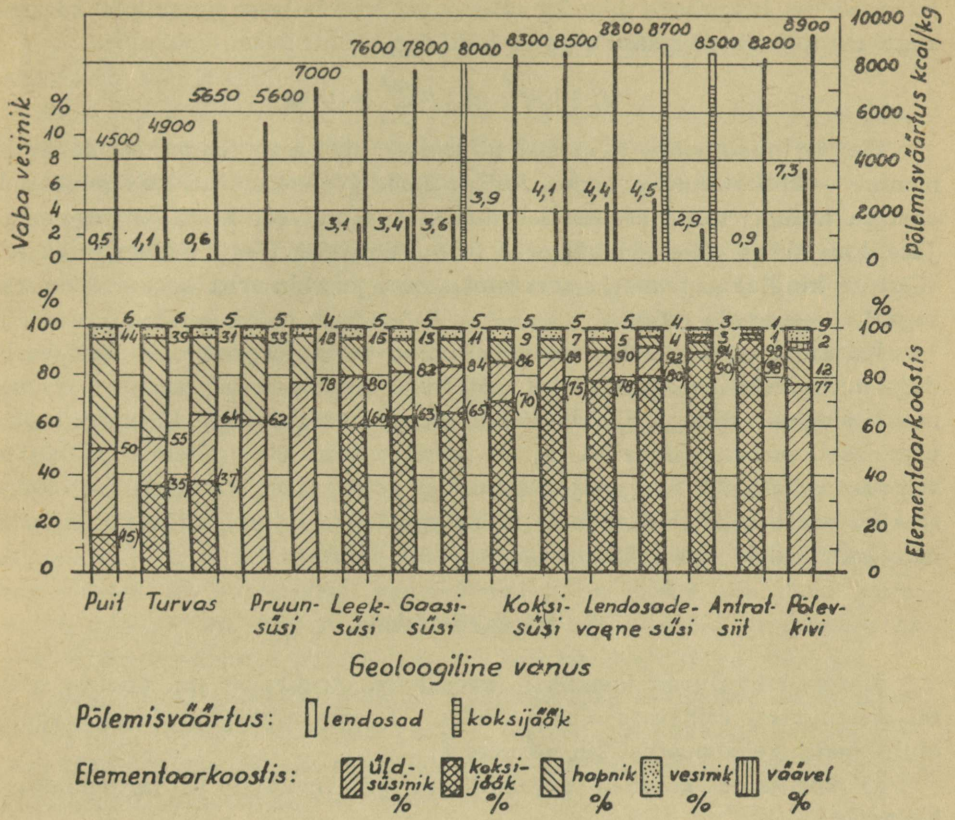
Mendelejevi valemi kasutamine on õigustatud, kui valemi järgi määratud põlemisväärtuse ja kalorimeetriga määratud põlemisväärtuse põikus ei ületa tuhavaeste ($A_k < 35\%$) kütuste puhul 150 kcal/kg ja tuharikaste ($A_k > 35\%$) ainete puhul 200 kcal/kg.

Tahkekütuse põlemisväärtus sõltub peamiselt süsiniku- ja vesinikusisaldusest kütuses. Eriti tähtis on vaba vesiniku % ja suhteline määr süsiniku hulgale. Mida kõrgem see on, seda rohkem läheneb kütus vesinikule kui põlemisvõimelisemale gaasile. Joon. 5 toome ülevaate olulisemate tahkekütuste põlevosa põlemisväärtuse ja nende elementaarkoostise kohta.

Gaaskütuse kütteväärtust võime arvutada valemist (ЦКТИ, Нормы теплового расчета котельного агрегата, lk. 11):

$$Q_k^k = 30{,}2\,CO + 25{,}7\,H_2 + 84{,}65\,CH_4 + 152{,}4\,C_4H_6 + 145{,}6\,C_n\,H_m + \\ + 329{,}8\,C_6H_6 + 54{,}7\,H_2S \text{ kcal/nm}^3.$$

Tarbimisgaasi kütteväärtus Q_t^k arvutatakse ühe nm³ kuivgaasi mahu alusel ja tarbimisgaasi kütteväärtus võrdub kuivgaasi kütteväärtusega, juurde arvatud lisandite põlemissoojuse ja lisandite lagunemisvee aurustussoojuse vahe.



Joon. 5. Tahkekütuste põlevosa põlemisväärtusi ja elementaarkoostisi.

Kahe tahke- või vedelkütuse segu kütteväärtust võib ligikaudselt arvutada valemist

$$Q_t^k = Q_t^{k'} p' + Q_t^{k''} (1-p') \text{ kcal/kg},$$

kusjuures p' — ühe kütuseliigi kaaluosa segus.

Kui antakse kütuse komponentide osamäär segus komponentide soojuseeraldamise osadena, leiame komponentide kaaluosad valemist

$$p' = \frac{q' Q_t^{k''}}{q' Q_t^{k''} + (1-q') Q_t^{k'}},$$

kus q' — ühe kütuse soojuseeraldamise osa.

Tahke- või vedelkütuse põlemisel koos gaaskütusega arvutatakse segu kütteväärtus leppeliselt ühe kg tahke- või vedelkütuse ja sellele kütusekogusele lisandatud gaasihulga n (nm^3/kg) kohta:

$$Q_t^k = Q_t^{k'} + nQ_t^{k''} \text{ kcal/kg.}$$

Eespool mainisime, et kütuse põlemisel leiab aset komponentide lagunemine — krakkimine, s. o. molekulide ümbergrupeerumine, mis on seotud energia kuluga, mille arvutamise alused aga on veel kindlaks tegemata. Järelikult tuleb eelistada kütteväärtuse kalorimeetrilist määramist kütteväärtuse kindlakstegemisele arvutamise teel ja seda eriti keeruka koostisega kütusesegude puhul.

Kütuse energeetilisel kasutamisel lahkuvad soojusprotsessist heitgaasidega tarbimiskütuse niiskus ja põlemisel tekkinud lagunemisvesi enamasti auruna. Kõrge niiskuse- või vesinikusisaldusega kütustel, näit. pruunsöel, turbal, põlevkivil jt., on seetõttu vahe aine põlemis- ja kütteväärtuse vahel suur ning paljudes maades eelistatakse kasutada kütteväärtust kütuse kalorilise hindena. Mõnel pool on levinud kütuse omaduste näitarvuna siiski aine põlemisväärtus, näit. USA-s.

5. Klassifikatsioon.

Kütused kuuluvad koostiselt keerukate, struktuuri jm. poolest üksteisest suuresti erinevate ainete hulka. Toome alljärgnevalt mõningaid olulisemaid iseloomustusi kütusainetest:

a) kütusaine koosneb orgaanilisest põlevmassist ja mittepõlevast ballastist;

b) tahkekütuse orgaaniline osa on kas taime- või loomajäänuselise või nende mõlemate liitpäritoluga, mitmesuguses erinevas lagunemisastmes vastavalt kütuse geoloogilisele vanusele ja tekkimistingimustele;

c) orgaaniliste ühendite — õlise või tahke bituumeni sisaldusest sõltuvad kütuse kuumutamisel lendosade eraldumisest järelejääva koksi omadused — paakuvus jm.;

d) põlevosadesisaldus on kütustel vastavalt nende liikidele väga erinev, samuti on erinevad üksikute kütuserühmade põlevosade põlemisväärtused ja seetõttu ka kütuste kütteväärtused;

e) mineraalset ballasti sisaldavad kütused suuremal või vähemal määral;

f) tahkekütuste mineraalsed ballastosad koosnevad mitmesuguseist erinevaist aineist, mis kütuse põlemisjäägina jätavad järele kergemini või raskemini sulavat tuhka;

g) kütused omavad erineva niiskusesisalduse; praktiliselt kasutatakse kütuseid niiskusega kuni 60—65%;

h) tarbimisele lastakse kütused mitmesuguste eri markidena, kas sorteeritult või sortimata.

Aine füüsikaliselt olekult jagunevad kütused tahke-, vedel- ja gaaskütusteks mitmesuguste erinevate füüsikaliste, keemiliste ja põlemistehniliste omadustega; nad esinevad looduslike ja kunstlike kütustena.

Looduslikest tahkekütustest on tuntumad puit, turvas, pruunsüsi, kivisüsi, antratsiit, põlevkivi, taimekasvu- ja mitmesugused muud jäätmed. Nende kütuseliikide kasutamise seisukohast energeetilisteks ülesanneteks on ulatuse poolest kõige olulisemad kivisöed. Madala väärtusega kütusained — turvas, põlevkivi jne. — omavad tähtsust peamiselt kohalike kütustena. Kunstlikud kütused saadakse üldiselt looduslikest kütustest nende ümbertöötamise teel; kunstlikeks tahkekütusteks on näit. koks, briketid jm.

Looduslikeks vedelkütusteks on maaõlid; vastavalt leiukohtadele ja geoloogilistele leiutingimustele omavad maaõlid ise mitmesuguseid erinevaid omadusi ja järelikult ka nendest toodetud kunstlikud vedelkütused. Looduslikest ja kunstlikest vedelkütustest on kõige tuntumad nafta, masuut, petrooleum, ligroiin, bensiin jt. Vedelkütuseid toodetakse ka tahkekütustest viimaste utmise teel või veeldamisega kõrge rõhu all.

Looduslikeks gaaskütusteks on mitmesugused maagaasid nafta puuraukudest või eriaukudest ainult gaasile. Kunstlikud kütusgaasid on peamiselt tahkekütuste gaasistamise saadused, heitproduktid keemilis-tehnoloogilistel või metallurgilistel protsessidel jne.

Põhiomadustelt (a—g) jagunevad kütused mitmesugustesse eri rühmadesse: geoloogiliselt vanemad ja nooremad, humiin- ja sapropeelkütused, kõrge lendosadesisaldusega ja lendosadevaesed, paakuvad ja mittepaakuvad, kõrgeväärtuslikud (> 5000 kcal/kg) ja madala väärtusega (< 5000 kcal/kg) kütused jne.

Tarbimisel on kütused rühmitatud liikide järgi eri markidesse, sorteeritult või sortimata. Kivisöe liikidest võiksime nimetada näit. pikaleegilisi vaiguseid, lendosadevaeseid, paakuvaid jt. süte liike, mis kannavad tarbimisel vastavat margi nimetust pikaleegilise vaiguse jne. söena. Tükisuuruse alusel sorteeritakse tahkekütuseid: valitud > 100, suurpähkel 25—100, väikepähkel 13—25, tera 6—13 ja peenkütuseks terasuurusega 0—6 mm või teisiti, olenevalt kütuse omadustest, tootmisviisist jm.

Eelnimetatud põhjustel osutub kütusainete kõiki omadusi haarava, ratsionaalse täiusliku klassifikatsiooni moodustamine looduslike ja kunst-

like kütuste kohta väga raskeks ja kütuste klassifikatsioonides piirdutakse klassifitseerimisega üksikute liikide järgi, leiupiirkondades esiletulevate markide ja sortide järgi jne.

Levinum kütuste klassifikatsioon on nn. Grüner'i klassifikatsioon (1873. a.), mis jagab kivisöed nende tekkimisvanuse astmete järgi viide klassi. Grüneri klassitabelis antakse iga klassi kohta C_o-, H_o-, $O_o + N_o$-sisaldus %-des, suhe $\frac{O_o + N_o}{H_o}$, koksisaagis ja lendosade %, koksi iseloomustusi ja kütuse erikaal (tab. 3). Tehnilise analüüsi tulemuste alusel on võimalik sütt paigutada vastavasse klassi ja teha tõepäraseid järeldusi tema kasutatavuse kohta jne.

Tabel 3. **Kivisüte klassifikatsioon Grüneri järgi.**

Klassi nimetus	Orgaaniline koostis						Söe erikaal	Koksi omadusi
	C_o	H_o	$O_o + N_o$	$\frac{O_o + N_o}{H_o}$	Koksijääk	Lendosad Le_o		
	%			%		%	kg/dm³	
I. Kuivad pikaleegilised	75—80	5,5—4,5	19,5—15,0	4—3	50—60	50—40	1,25	Pulbrina või nõrgalt paakunud
II. Vaigused pikaleegilised ehk gaasisöed	80—85	5,8—5,0	14,5—10,0	3—2	60—68	40—32	1,28—1,3	Paakunud, kuid tugevasti murenenud
III. Vaigused ehk sepasöed (paakuvad)	84—89	5,0—5,5	11,0—5,5	2—1	68—74	32—26	1,3	Paakunud, keskmise tihedusega
IV. Vaigused lühileegilised ehk koksisöed	88—91	5,5—4,5	6,5—5,5	1	74—82	26—18	1,3—1,35	Paakunud, kõrge tihedusega, läikivad
V. Lendosadevaesed ehk poolantratsiidilised	90—95	4,5—4,0	5,5—3,0	1	82—90	18—10	1,35—1,4	Pulbrina või nõrgalt paakunud

Tabelist 3 näeme, et klassinumbri tõusuga suurenevad aine orgaanilise osa C-sisaldus ja koksisaagis, vähenevad aga O_o ja N_o hulk, suhe $\frac{O_o + N_o}{H_o}$ ja lendosade %. Kütuse tekkimisvanuse suurenemisega väheneb näitarv

Tabel 4. Tahke- ja vedelkütuste iseloomustusi (ЦКТИ, Нормы тепл. расч. кот. агр.).

Leiukoha rajoon	Leiukoha nimetus	Mark ja sort	Tähis	Põlevosa koostis					Q_p^k	L_p	Kuivaines		Tarbimisaines			Maksimaalne sisaldus		Tuha sulavus			Koksi iseloom
				C_p	H_p	S_p^{o+p}	N_p	O_p			A_k	W_a	A_t	W_t	Q_t^k	A_t^m	W_t^m	Plastinemise algtemperatuur t'	Sulamistemperatuur t''	Vedeloleku temperatuur t'''	
				%					kcal/kg	%	%				kcal/kg	%		°C	°C	°C	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Söed		Pikaleegiline		75,0	5,5	5,8	1,6	12,1	7290	43,0	22,5	4,5	19,8	12,0	4900	30,0	16,0	1000—1100	1100—1200	1150—1250	Pulbriline või paakunud
Donetsi lade		Gaasisüsi		80,5	5,4	4,3	1,5	8,3	7700	39,0	16,0	3,0	14,7	8,0	5900	25,0	11,0	1050—1100	1100—1200	1200—1250	Paakunud-sulanud
		Vaigune aurusüsi	T	83,0	5,1	4,8	1,5	5,6	8000	32,0	20,0	1,0	19,0	5,0	6050	30,0	8,0	1000—1050	1150—1200	1200—1250	„
		Lendosadevaene süsi	AC	90,0	4,2	2,2	1,5	2,1	8260	12,0	14,0	1,0	13,4	4,0	6800	27,0	8,0	1100—1150	1100—1300	1150—1350	Pulbriline—vähe paakunud
		Antratsiitpähkel	A	93,0	1,8	2,2	1,0	2,0	7970	4,0	14,0	2,0	13,2	6,0	6400	22,0	9,0	1000—1150	1050—1350	1100—1400	Pulbriline
		Antratsiidipuru		93,0	1,8	2,2	1,0	2,0	7630	4,0	18,5	2,0	17,3	6,5	6000	26,5	10,0	—„—	—„—	—„—	„
Kuznetski lade	Anžero-Sudženski	Paakuv aurusüsi	T	91,0	4,3	0,7	1,9	2,1	8340	15,0	12,0	1,0	11,5	4,0	7030	16,0	8,0	1050—1150	1200—1400	1250—1500	Paakunud
	Leninsk	Gaasisüsi		83,0	5,8	0,7	2,7	7,8	7910	39,0	11,0	1,8	10,3	6,0	6580	14,0	11,0	1100—1150	1150—1300	1200—1400	Paakunud-sulanud
	Kemerovo	Paakuv aurusüsi	CC	88,5	4,5	0,5	1,8	4,7	8200	18,0	13,0	1,0	12,1	7,0	6590	17,0	9,0	1050—1400	1100—1450	1200—1500	Paakunud
	Prokopjevsk	Nõrgalt paakuv süsi		89,0	4,6	0,5	2,2	3,7	8180	18,0	11,0	1,0	10,3	6,0	6800	16,0	10,0	—	—	—	„
Karaganda lade		Kivisüsi		85,5	5,2	1,0	1,4	6,9	8050	25,0	21,0	2,0	19,5	7,0	5880	31,0	10,0	1150—1500	1450—1500	1500	„
Moskva-lähine lade		Sortimata pruunsüsi		67,5	5,0	5,9	1,3	20,3	6290	45,0	27,5	8,0	18,4	33,0	2860	37,0	37,0	1000—1500	1050—1500	1100—1500	Pulbriline
Kazahhi NSV	Lengerskoje			74,5	5,0	3,6	1,0	15,9	6880	40,0	22,0	8,0	16,7	24,0	3930	27,0	30,0	1000—1050	1050—1200	1100—1250	„
Amuuri obl.	Raitšihha			70,0	4,3	0,3	1,1	24,3	6100	41,0	14,0	10,5	8,7	38,0	3020	19,0	43,0	1000—1150	1150—1250	1200—1300	„
Põlevkivi																					
Leningradi obl.	Oudova			74,0	9,5	4,7	0,3	11,5	8030	80,0	53,5+18,5	1,2	46,0+16,4	11,5	2030	75,0[2]	17,0	1100—1400	1200—1500	1200—1500	„
Kuibõševi obl.	Kašpir			61,5	7,6	13,7	1,2	16,0	6600	70,0	63,0+10,5	4,0	52,0+ 9,0	14,0	1570	80,0	20,0	1050—1150	1100—1200	1150—1200	„
Saraatovi obl.	Saveljevsk			61,5	7,8	13,3	1,1	16,3	6600	70,0	60,5+13,0	4,5	46,4+10,4	20,0	1410	80,0	25,0	1050—1250	1150—1300	1150—1300	„
Tšuvaši ANSV	Bui*)			57,5	7,1	17,7	1,5	16,2	6180	64,0	66,5+12,0	3,5	48,6+ 9,4	22,0	1100	—	—	1000—1050	1100—1150	1100—1150	„
Eesti NSV	Virumaa	I sort — suurkivi		76,6	9,2	2,0	0,4	11,2[4]	8400	82,0	41,0+12,0	3,0	36,0+10,6	12,0	3400	—	—	1100	—	—	„
		II sort — väikekivi		„	„	„	„	„	„	„	46,0+12,0	„	40,0+11,3	13,0	2910	—	—	„	—	—	„
		III sort — peenkivi		„	„	„	„	„	„	„	49,0+13,0	„	41,2+11,8	16,0	2500	—	—	„	—	—	„
		Sortimata		„	„	„	„	„	„	„	44,0+14,0	„		14,0	2900	—	—	„	—	—	„
		Diktüoneema-tilk.		61,4	7,2	2,2	4,3	24,9	6280	—	80,0	2,2	73,5	8,0	1110	—	—	„	—	—	„
Muud kütused																					
tükkturvas (tüüpkoostisega)				57,8	6,0	0,3	2,5	33,4	5240	70,0	11,0	11,0	7,2	35,0	2820	—	53,0	800—1400	990—1500	110—1500	Pulbriline
Freesturvas („)				57,8	6,0	0,3	2,5	33,4	5240	70,0	11,0	11,0	6,1	45,0	2290	—	55,0	—„—	—„—	—„—	„
Puit				51,0	6,1	—	0,6	42,3	4510	85,0	1,0	7,0	0,6	40,0	2440	—	—	—	—	—	Vähepaakunud, sõre
Masuut, väävlivaene (Kaukaasia, Emba raj.)				87,5	10,7	1,0	0,8	—	9700	—	0,2	—	0,2	3,0	9370	—	8,0	—	—	—	„
Masuut väävlirohke (NSVL uued idarajoonid)				84,0	11,5	4,0	0,5	—	1700	—	0,2	—	0,2	3,0	9370	—	8,0	—	—	—	„

Märkusi: *) Selle kütuse omadusi ei ole veel täielikult tundma õpitud.

[1]) ja [2]) Põlevkivide kohta lahtrites 12, 14 ja 17: $A + CO_2^k$.

[3]) Gdovi, Kašpiri, Saveljevski ja Bui põlevkivi osas Q_t^k kalorimeetrilisest määramisest lisandatud soojus $CaCO_3$ lagunemiseks (+9,7 CO_2^k). A_t arvutamisel on võetud arvesse sulfaattuhaõli parandus.

[4]) ENSV põlevkivi põlevosa koostises on 0,6% kloori.

Tabel 5. **Kunstlike gaaside iseloomustusi (ЦКТИ, Нормы тепл. расч. кот. агр.).**

Jrk.-nr.	Gaasi nimetus	Puhta kuivgaasi koostis mahuprotsentides										Tarbegaasi küttevääртus Q_t^k kcal/nm³	Kuivgaasi mahukaal kg/nm³
		CO_2	O_2	N_2	CO	H_2	CH_4	C_6H_6	C_nH_m	$H_2S + SO_2$	C_nH_{2n+2}		
	I. Kõrgahjugaas												
1	Kõrgahjust puidusöel . .	12,0	—	51,4	27,0	8,0	1,6	—	—	—	—	1160	1,24
2	„ koksil	10,5	—	58,5	28,0	2,7	0,3	—	—	—	—	950	1,29
	II. Gaas õhupuhumisest												
3	Koksist	17,5	0,2	75,9	5,0	1,3	—	—	—	0,1	—	190	1,36
4	Antratsiidist	14,5	0,2	73,9	8,8	2,3	0,2	—	—	0,1	—	340	1,33
	III. Generaatorigaas												
	a) Gaasistamisest kihis												
5	Antratsiitidest ja koksist	5,2	0,2	52,4	28,1	13,3	0,6	—	—	0,2	—	1250	1,13
6	Leegi- ja pruunsütest .	6,0	0,2	50,2	26,3	14,0	2,3	—	0,3	0,7	—	1430	1,12
7	Turbast ja puidust . .	7,4	0,2	46,2	28,3	14,5	2,0	—	0,4	0,1	—	1540	1,12
	b) Gaasistamisest lennus												
8	Pruunsütest	6,9	0,2	62,2	21,7	7,1	1,1	—	0,4	0,4	—	1020	1,21
9	Freesturbast	9,8	0,2	56,2	20,3	10,9	1,9	—	0,7	—	—	1070	1,19
	c) Allmaagaasistamisest												
10	Kivisöest	10,3	0,2	57,6	18,4	11,1	1,8	—	—	0,6	—	1040	1,19
11	Moskva-lähisest pruuns.	9,5	—	63,6	10,4	14,5	1,8	—	—	0,6	—	860	—
	IV. Koksiahjugaas												
12	Puhastatud	2,3	0,8	7,8	6,8	57,5	22,5	—	1,9	0,4	—	3900	0,49
13	Puhastamata	2,3	0,8	7 5	6,5	57,0	22,8	0,8	1,9	0,4	—	4140	0,52
	V. ENSV põlevkivigaas[1])												
14	Gaasistamisest rõhtretordis	10,5	0,6	2,6	16,5	22,7	33,7	—	12,8	—	—	5680	—
15	Heitgaas rõht-pöördretordist	18,8[2])	1,1	47,5	3,6	5,1	—	—	5,4	[2])	18,5	4000	—
16	Heitgaas Pintschi generaat.	18,0[2])	1,0	62,6	6,7	7,8	1,4	—	1,4	[2])	—	1242	—

[1]) Rühm V koostatud ETTUK-i andmetel.
[2]) Näitarv koosneb: $CO_2 + H_2S$.

Tabel 6. **Maagaaside iseloomustusi (ЦКТИ, Нормы тепл. расч. кот. агр.).**

Jrk.-nr.	Gaasi nimetus	Puhta kuivgaasi koostis mahuprotsentides							Tarbegaasi küttevääртus Q_t^k	Kuivgaasi mahukaal
		CO_2	N_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	kcal / kg	kg/nm³
	I. Purskkaevpuuraugud									
1	Azerbaidžani nafta	11,0	—	85,0	2,8	—	1,2	—	8000	0,90
2	Groznõi nafta									
	a) Oktoobri rajoon	1,0	3,0	49,0	11,0	17,0	15,0	4,0	152000	1,42
	b) Vana-Groznõi rajoon	—	—	82,1	10,2	3,6	4,1	—	10500	0,90
3	Dagestani nafta .	2,0	4,0	75,0	6,8	6,0	6,0	0,2	10500	1,00
4	Maikopi nafta									
	a) Tahmatehas . .	2,0	6,3	72,4	4,7	7,3	6,7	0,6	10500	1,04
	b) Lai org . . .	0,2	1,0	93,2	2,0	1,2	1,9	0,5	9300	0,80
5	Kama-äärne nafta	0,7	30,0	58,2	6,0	0,8	4,0	0,3	8300	1,11
6	Buguruslani nafta	0,8	11,1	80,2	—	7,9	—	—	8800	0,83
7	Emba nafta . . .	1,8	6,1	87,1	3,2	1,2	0,3	0,3	8400	0,82
8	Turkmeenia nafta	1,3	2,2	87,9	3,2	3,0	2,1	0,3	9500	0,85
9	Kalinini nafta . .	7,8	4,8	79,6	3,4	1,7	2,1	0,6	8500	0,94
	II. Puht gaasipuuraugud									
10	Vähese lämmastikusisaldusega .	0,9	1,8	←		97,3		→	8300	0,75
11	Keskmise lämmastikusisaldusega .	2,5	11,8	←		85,7		→	7350	0,81
12	Kõrge lämmastikusisaldusega . .	0,2	44,8	←		55,0		→	4700	0,96

Tabel 7. **Gaaskütuste kõrvallisandeid (ЦКТИ, Нормы тепл. расч. кот. агр.).**

Gaasi nimetus	Puhastamisviis	Niiskust	Tolmu	Tõrvasid	Tavaline temperatuur °C
		g/nm³			
Kõrgahjugaas	Puhastamata	Küllastunud	7—12	ei ole	—
„	Desintegraator	„	0,1—1,0	„	0—50
„	Skraber	„	0,0—0,3	„	—
Vesigaas (õhupuhumisest)	Puhastamata	15—40	16—32	„	500—600
Generaatorigaas gaasistamisest kihis	Puhastamata	Küllastunud	Jäljed	0—10	20—40
Turba ja pruunsöe gaasistamisest lennus	Puhastamata	200—300	10—15	1,0—1,5	150—200
	Skraber	Küllastunud	0,5—1,0	Jäljed	20—40
Koksiahjugaas	Puhastamata	30—50	Jäljed	„	kuni 800
„	Puhastatud	Küllastunud	„	„	20—40

$\frac{O_o+N_o}{H_o}$; see on näit. süsivesinikel 8, turbal 5—6, pruunsöel 5, kivisütel 4—1 ja antratsiitidel 1—0,75.

Grüneri klassitabel haarab vaid kivisöe liike, jättes välja antratsiidid, pruunsöed, turba ja puidu.

USA ja Saksamaa tahkekütused jagatakse H. Wedding'i ja Schondorf'i järgi kümnesse klassi, kusjuures klassifitseerimise põhialuseks on samuti nagu Grüneri süsteemiski kütuste vanus (Münziger, Dampfkraft).

Suure tähtsuse omavad ühtlasi kütuseid iseloomustavad kokkuvõtted. NSV Liidu tahke- ja vedelkütuste kohta on A. J. Karelin (ВТИ) koostanud kütuste iseloomustustabelid, milles kivisütt ja antratsiite iseloomustatakse nende olulisemate leiupiirkondade järgi. Gaaskütuste iseloomustusi annab **N. V. Šišakov** (K. 17, lk. 55).

ЦКТИ poolt 1945. a. väljaantud normides (Нормы теплового расчета котельного агрегата) esitatakse kütuste iseloomustusi arvutuste aluseks. Esitatud tabeleis on toodud sellest väljavõtteid täiendatult andmetega ENSV kohalike kütuste ja nende saaduste kohta.

Tabelite 4, 5 ja 6 sisu üle märgime järgmist. Andmed tab. 4 lahtrites 5—16 on toodud keskmiste näitarvudena. Suurtes piirides kõikuva niiskusesisaldusega kütuste, näit. puidu, turba ja pruunsöe kohta peab nentima, et nende tegelik niiskus tarbimisaines võib mõningail juhtudel tugevasti erineda tabelis toodud keskmistest näitarvudest, mida tuleb arvesse võtta nende kütuste arvutamistel.

Vedelkütuste tarbimiskoostist võib pidada küllaldaselt stabiilseks ja tabelis toodud näitarvud arvutuste alusena ei vaja täpsustamist erijuhtude puhul.

Täiendusi kunstlike gaaskütuste iseloomustuse kohta niiskuse, lisandite hulga ja temperatuuri osas leiame tabelis 7. Maagaaside rõhk ja niiskus tuleb arvesse võtta igal konkreetsel juhul eraldi.

6. Kasutuslikkus.

Kütuste kasutuslikkus ja kasutamisviis sõltuvad suurel määral kütusaine põhiomadustest, mida võib rühmitada aine füüsikaliste, keemiliste ja tehniliste omaduste järgi. Kütusaine omadustest sõltub ühtlasi ka kütte-energeetiliste seadmete ehituslik külg. Selgitame lühidalt kütuste kasutuslikkuse põhitingimusi. Nendest mainime järgmisi:

a) kütusaine peab olema koostise- ja ilmastikukindel, küllaldase kõvadusega, tihe jt. omadustega, mis võimaldavad kütuse transportimist, säilitamist hoiupaikades või mahutites ja praktilist kasutamist;

b) kütuse põlemisel peab eralduma küllaldasel määral soojust stabiilse põlemisprotsessi arendamiseks põlemisseadmes, arvestades kasutamiseks ärajuhitavat soojushulka, s. o. kütusel peab olema küllaldane kütteväärtus;

c) kütusaine põlevosa peab põlemisel soodsalt lagunema kiire reaktsioonivõimega gaasideks (vesinik, süsihapend), mis tagab kütuse kiire süttimise ja ärapõlemise;

d) niiskusesisaldus ei tohi olla kõrge: niiskusvesi ei võta põlemisest osa ja vee aurustumine neelab põlemissoojust (600 kcal/kg), mis tavaliselt ei leia kasutamist katlaprotsessis ning lahkub heitgaasidega;

e) tuhasisaldus ei tohi olla kõrge: tuhaks muutuva ballasti soojendamiseks kulutatakse soojust, mis jääb enamikus kasutamata, mineraalosad kütusaines takistavad õhu juurdepääsu põlevosadele, mõned mineraalosad lagunevad kuumenemisel, selleks soojust neelates, jne.;

f) põlemissaadused kütuse põletamisest ei tohi sisaldada inimorganismi ega põlemis- või soojuskasutusseadme osi kahjustavaid aineid;

g) tarbimiskütus peab olema sorteeritud markide järgi vastavalt kasutamisnõuetele jne.

Eelloetletud tingimusi rahuldavad kütused leiavad tegelikku kasutamist energeetilisteks ülesanneteks kas põletamise või gaasistamise teel. Erinevate iseloomustuste ning omaduste tõttu vastavad tarbimisel olevad kütusained ülalnimetatud põhitingimustele kas suuremal või vähemal määral.

Kütuste füüsikalistest omadustest nimetatagu aine erikaalu, mahukaalu, erisoojust, kõvadusastet, agregaatoleku üleminekutemperatuuri jm. Tabelis 8 toome näitarve tahke- ja vedelkütuste füüsikalistest omadustest.

Kütuste kasutuslikkuse seisukohast on kõige olulisemad keemiliste omaduste rühma kuuluvad iseloomustused: aine elementaarkoostis, põlev- ja ballastosade keemiline ning soojuskeemiline struktuur, aine lagunemise ja krakkimise käik põlemisel jm.

Põlemistehniliselt on tähtsad nii mõlemasse eelnimetatud omaduste rühma kuuluvad kütuste omadused kui ka alljärgnevad tehnilised omadused: kütteväärtus, lendosadesisaldus ja koksi omadused, niiskus ja veeimavus, isesüttivus, tuha iseloom jm. Sellele kõigele lisandub veel jaotus — sortide järgi jne. Kokkuvõttes peame nentima, et tarbimise seisukohast on olulised kõigisse kolme rühma kuuluvad kütuste omadused. Alljärgnevas tõstame nendest esile suuremat praktilist tähtsust omavaid.

Tabel 8. **Tahke- ja vedelkütuste füüsikalisi näitarve.**

Kütus	Ruumimeetri kaal kg	Erikaal	Varisemisnurk kraadides	Keskmine erisoojus		Soojusejuhtivus	
				kcal/kg°C	piirides °C	kcal/mh°C	temper. °C
Puitkütus [1]							
Kuusk, laotud, niiskus 25%	337[2]	0,48		0,33—0,65 okaspuit	0—100	0,13 0,31	20
Mänd, „ „ . . .	383	0,55	—				
Kask, „ „ . . .	472	0,61	—				
Lepp, „ „ . . .	370	—	—				
Haab, „ „ . . .	360	0,43	—	0,57 pakspuu	0—100	0,18 0,31	20
Tamm, „ „ . . .	540	0,68	—				
Saepuru, niiskus 45% .	400	—	45				
Kännud, „ 25% .	250	—	—				
Puidusüsi	150—220	—	45	0,20—0,24	0—220	0,05—0,06	0—100
Turvas							
Brikett-turvas, laotud, niiskus 10%	1000						
„ „ loobitud niiskus 10%	600		30				
Masinaturvas, loobitud. niiskus 33%	350						
Labidaturvas, loobitud, niiskus 40%	300						
Freesturvas, loobitud, niiskus 40%	220						
Põlevkivi							
I sort (suurkivi) . . .	1000		40				
II „ (väikekivi) . . .	1000	1,40					
III „ (peenkivi) . . .	900		35				
Pruunsüsi							
Süsi (kaevandussüsi) . .	650—780		30—35	0,68—0,76	0—100		
Brikett	720—800		35—40	0,38			
Tolm	450—500			0,31	0—100	0,095	20
Kivisüsi							
Süsi	850		30—45	0,312	0—20	0,12—0,15	20—100
Brikett	1000—1100		30—35				
Tolm	700		25—30	0,31	0—100	0,1	30
Gaasikoks	360—470		35—50	0,37	0—1100		
Koksiahjukoks	450—550		35—45	0,36	0—1100		
Põlevkivi-tooröli	1000	1,00					

[1]) Mahukaal OCT 6671 järgi. [2]) Keskmine näitarv.

Tabel 9. **Gaaside füüsikalisi näitarve.**

Gaasi nimetus	Tähis	Aatomite arv	Molekulkaal	Erikaal kg/m³		Erimaht m³/kg		Tihedus õhuga võrreldes	Gaasikonstant	Erisoojus 0° C ja 760 mm Hg ühel kg C_p	Erisoojus 0° C ja 760 mm Hg ühel m³ C_p	$H=\frac{c_p}{c_v}$	Sulamistäpp °C	Keemistäpp °C
				0° C 760 mm Hg	15° C 735 mm Hg	0° C 760 mm Hg	15° C 735,5 mm Hg							
Õhk, kuiv	—	—	28,95	1,293	1,188	0,773	0,841	1	29,27	0,240	0,310	1,40	—	—
Vesinik	H_2	2	2,016	1,0898	1,083	11,13	12,13	0,0696	420,6	3,396	0,306	1,407	—257,3	—252,8
Hapnik	O_2	2	32,00	1,429	1,312	0,700	0,763	1,105	26,5	0,218	0,312	1,40	-218	—183
Lämmastik	N_2	2	28,02	1,251	1,151	0,798	0,869	0,968	30,26	0,248	0,311	1,40	—214	—194
Süsihapend . . .	CO	2	28,00	1,251	1,147	0,799	0,872	0,968	30,29	0,248	0,311	1,40	—203	—190
Süsihappegaas . .	CO_2	3	44,00	1,977	1,813	0,506	0,551	1,529	19,27	0,196	0,384	1,30	— 78	— 78
Väävelvesinik . .	H_2S	3	34,08	1,539	1,412	0,650	0,707	1,1906		0,243		1,25	— 83	— 60
Väävelhapend .	SO_2	3	64,07	2,927	2,685	0,342	0 372	2,264	13,24	0,154	0,425	1,25	— 72,7	—10,0
Veeaur, ülekuumend.	H_2O	3	18,016	0,804	0,739	1,24	1,350	0,623	47,06	0,474	0.356	1,28	—	—
Atsetüleen	C_2H_2	4	26,02	1,171	1,078	0,854	0,928	0,912	32,59			1,24	— 81	— 84
Metaan	CH_4	5	16,03	0,717	0,657	1,395	1,521	0,554	52,90	0,590	0,425	1,31	—184	—161
Etüleen	C_2H_4	6	28,03	1,260	1,149	0,799	1,870	0,975	30,25	0,400	0,502	1,25	—169	—103
Etaan	C_2H_6	8	30,05	1,356	1,248	0,738	0,802	1,038	28,21			1,2	—171	— 90

Teguriks, mis piirab kütuste vedamise kaugust aine leiukohast tarbimiskohani, on küttevääртus. Kõrgeväärtuslikud kütused küttevääртusega üle 5000 kcal/kg leiavad kasutamist maatranspordi puhul paari tuhande ja rohkem kilomeetri kauguses nende leiukohast, kuid madala väärtusega kütuste puhul, küttevääртusega alla 5000 kcal/kg, piirdutakse vaid mõnesaja-kilomeetrilise veokaugusega. Sootuks madala küttevääртusega kütuseid kasutatakse vaid nende tootmiskohtadel. Kõrgeväärtuslikud kütused osutuvad järelikult kaugeveo-, madala väärtusega kütused aga vaid kohalikeks kütusteks.

Mis puutub kütuste alalhoiusse, siis tahkekütustest on vanemad kütuseliigid, näit. antratsiidid, vanemad kivisöed jne., vähem mõjustatavad ilmastikust kui noored kütused. Seetõttu võib vanemaid kütuseliike hoiuskohtades säilitada kauem kui nooremaid. Kaevatud kütus kaldub lahtiselt õhu käes hoidmisel õhuhapniku toimel lagunemisele. Madalail temperatuuridel, kuni 38° C, on lagunemisprotsess aeglane, kuid kiireneb kütusekihi soojenemisel. Kihi soojenemise vältimiseks piiratakse kihi kõrgust. Vähe soojenevaid kivisöe liike on lubatav aunastada kihi kõrguses 8—12 meetrit, tükkturvast kõrgrabast — kuni 18 meetrit, sedasama madalrabast — 8—10 meetrit. Silos tuleb kütust võimalikult kaitsta õhu juurdepääsu eest. Kivisütt võib hoida ka lahtistel laoplatsidel, kusjuures väävliliste metallide puudumise korral kütusaine lagunemine vee toimel ei ole suurem kui õhu käes. Vedelkütused — õlid — ei tohi sisaldada metallidele sööbivat mõju avaldavaid lisandeid. Gaasid peavad olema vabad mürkainetest.

Kütuste omaduste mõju kasutamisviisile, põlemisprotsessidele ja gaasistamisele selgitame peatükkides „Põlemine koldes“ ja „Gaasigeneraatorid“.

II. Eesti põlevkivi.

1. Põlevkivi geoloogia.

Põlevkivi-kukersiit esineb vahekihtidena nn. Kukruse ja Idavere lademeis, mis avanevad lookleva ribana teatavas kauguses lõuna pool paekalda joont läbi kogu Põhja-Eesti ja ka Leningradi oblasti läänepoolses osas.

Nimetatud lademed on esindatud peamiselt lubjakivide ja mergliste lubjakividega, mille paksus Virumaa keskses osas tõuseb üldsummas üle 30 m. Lubjakivide koostises võib tähele panna mitmesugusel määral orgaanilist ainet: peaaegu kõigis kihtides esinevad pruunid terakesed; mõnedes kihtides kuhjub neid terakesi nii palju, et nad annavad lubjakivile helepruuni välimuse (bituumeniline lubjakivi); kui need pruunid terakesed moodustavad kivimi peamassi, siis ongi meil tegemist põlevkiviga kitsamas mõttes. Neid terakesi on kirjeldatud kui planktonilisi vetikaid (*Gloeocapsamorpha prisca* Zal.), sest oma ehituselt osutuvad nad sarnaseks praegu veekogudes elutseva sinirohelise vetika *Gloeocapsa*'ga. Peale vetikate massi, mille arvele tuleb 35—65% põlevkivist, on tema koostises veel saviosakesi ja karbonaate ligikaudu võrdsel hulgal. Seetõttu ei saa kukersiiti kõrvutada tüüpiliste savikiltkividega.

Lubjaühendid põlevkivis on moodustunud peamiselt mitmesuguste mereloomade ja -taimede jäänustest, mida helevalgete moodustistena on näha peaaegu igas põlevkivitükis (trilobiidid, käsijalgsed, sammalloomad, okasnahksed, lubivetikad). Nähtavaina on säilinud nende organismide lubjaskeletid, kuna orgaanilised kehaosad on lagunenud ja tõenäoliselt ühte liitunud muu orgaanilise osaga põlevkivis. Seega ei pärine põlevkivi orgaaniline osa mitte üksnes taime-, vaid ka loomariigist.

Tootmisväärsed põlevkivikihid eralduvad teravalt lubjakivilademe alumises osas; nende profiil Jõhvi ümbruses on järgmine:

0,12 m — põlevkivi ussikäikudega ja lubjakivi
0,11 „ — „ (kiht H)
0,28 „ — lubjakivi ja bituumeniline lubjakivi
0,24 „ — põlevkivi (kiht G)
1,44 „ — lubjakivi ja bituumeniline lubjakivi (ülemise kolmandiku põhjas 5 cm põlevkivi)
1,05 „ — põlevkivi lubjakivi-mügaratega, eriti ülemises osas (kihid E ja F)
0,07 „ — bituumeniline lubjakivi („roosa paas")
0,08 „ — põlevkivi (kiht D)
0,21 „ — lubjakivi („kahekordne paas")
0,40 „ — põlevkivi, ülal ussikäikudega (kiht C, „hobusenahaga")
0,09 „ — lubjakivi
0,60 „ — põlevkivi (kiht B)
0,14 „ — lubjakivi
0,10 „ — savikas põlevkivi
0,12 „ — põlevkivi (kiht A)

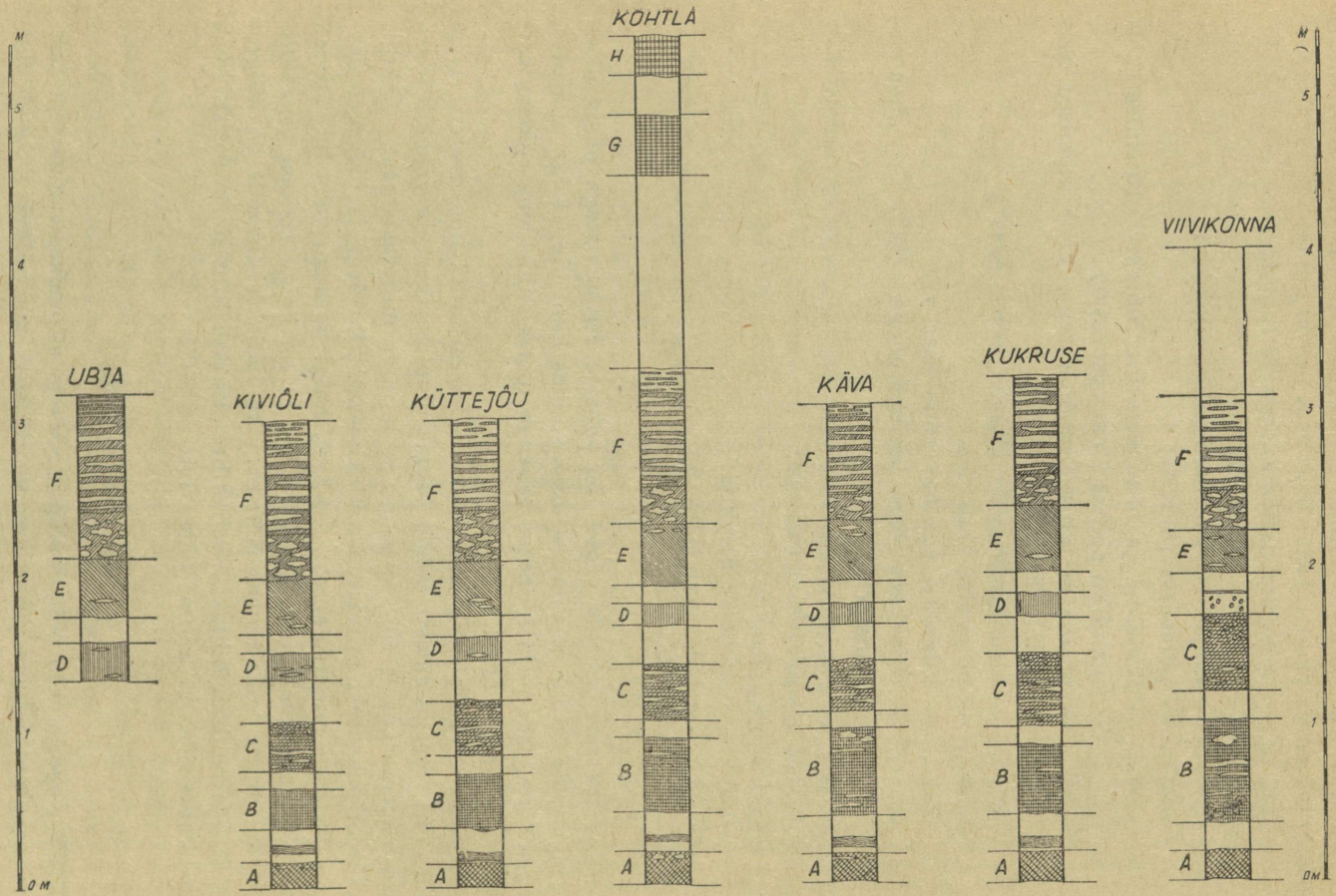
5,05 m

Selline tootsate kihtide profiil on väheste kõikumistega püsiv ida—lääne suunas üle 50 km ja põhja—lõuna suunas kuni üle 15 km ulatuses. Kaugemale itta, lääne ja lõunasse väheneb tootsa kihirühma paksus, eeskätt põlevkivikihtide arvel.

Üksikud tootsad põlevkivikihid on iseloomustatud koostiselt: A- ja B-kihid on peaaegu täiesti vabad lubjakivi-mügarikest ja vahekihtidest, sisaldades ümmarguselt 50% orgaanilist ja 50% mineraalainest. C-kihis on ligi pool paksusest esindatud lubjakivi-vahekihtidega ja puhtas põlevkivis on üle 55% mineraalainest. D-kiht, kuigi peaaegu vaba lubjakivist, sisaldab 67% mineraalainest. Seevastu E-kiht on kõige rikkam orgaanilisest ainest, mille hulk tõuseb 60%-ni; ka lubjakivi-lisandit on kõigest 2—6%. Kõige rohkem lubjakivi-vahekihte sisaldab kiht F (u. 65%), kuna mineraalainese-sisaldus puhtas põlevkivis on 50%.

2. Põlevkivi tootmine.

ENSV-s toodetakse põlevkivi pealmaa- ja allmaakaevandustes. Lahtiste pealmaakaevanduste töö on tasuv vaid seal, kus põlevkivi lasub õhu-



Joon. 6. Põlevkivikaevanduste keskmised profiilid. Põlevkivikihid üksikult viirutatud, lubjakivi valge. Tähed tulpade kõrval märgivad tootsaid põlevkivikihte.

kese katekihi all. Põlevkivi tootmisel pealmaakaevandusest kõrvaldatakse katekiht kas käsitsi või mehhaanilisel teel. Põlevkivi ise aga murtakse kihthaaval, ilma lõhkeaine või mehhaaniliste kaevamisseadmete kasutamiseta. Seetõttu on põlevkivi eraldamine aherainest märksa kergem kui tootmisel allmaakaevandustes. Pikkades, kuni 6 m sügavustes ja niisama laiades kaevandites kõrvaldatakse katekihid, need ja kaevamisel saadud prügid kärutatakse kohtadesse, kust põlevkivi juba välja on võetud. Põlevkivi murtakse lahti ja veetakse välja kaevandi põhjas olevate kitsarööpmelise raudtee vagonettidega. Põlevkivikaevandustes esinev rohke veehulk ja juurdevoolav vesi on kergesti eemaldatav maakihtides olevatesse loomulikesse lõhedesse või ka jõgedesse juhtimisega. Tööjõudlus lahtistes kaevandustes langeb tugevasti talvekuudel maapinna külmumise ja lumerohkuse tõttu; ühtlasi suurenevad ka põlevkivi väljaveo kulud.

Ilmastikuoludest sõltumatu on põlevkivi tootmine allmaakaevandustes. Põlevkivi väljavõtmine toimub siin laiade koristusete kaudu järgmiselt. Põlevkivi asetseb lademes kihtide viisi. Tavaliselt väljavõetava lademe kõrgusel, 2,3 meetrit, on 5 kihti põlevkivi ja nende vahel 4 kihti aherainet. Põlevkivikihid moodustavad umbes ⅔ ja aheraine kihid ⅓ lademe üldkõrgusest. Lademe keskele põlevkivi C-kihti puuritakse kogu esi või selle pooles laiuses puuraugud sügavusega 1,3 meetrit, vahemaaga kuni 1 meeter. Lõhkeaine purustusjõu toimel lahtimurtud rindelt eraldab kaevur põlevkivi aherainest, virnastades aheraine kaevandi täiteks. Põlevkivi laaditakse vagonetti. Rindest ülespoole ja allapoole jäänud kihiosa murtakse lahti kaevurite poolt kangide, kiilude, kirkade ja muude tööriistadega. Seejärel eraldatakse põlevkivi aherainest ja laaditakse vagonettidesse. Kaevuri ülesannetest on kõige olulisem aheraine eraldamine põlevkivist. Kaevur ei tohi jätta ei põlevkivi aheraine hulka ega aherainet põlevkivi hulka. Väljakaevatud tühi ruum täidetakse tihedalt laeni paega, mis saadakse põlevkivi vahekihtidest. Inimeste ja veokite pääsemiseks kaevandusse on kallakkäik, kuna aga põlevkivi tõstmiseks kasutatakse kas veostrekki-kallakteed või tõstešahti, milles olevate tõstetoobrite abil põlevkivi satub sorteerimisseadisesse, sealt tükisuurusele-sordile vastavasse punkrisse ja edasi juba saatmiseks tarvitajale. Põlevkivi väljavedamine töökohtadest sõltuvalt veokaugusest toimub diisel- ning elektriveokite abil. Elektriventilaatorid ja ventilatsioonišahtid tagavad lõhkeainete tarvitamisest tingitud õhupuhastuse kunstlikku kiirendamist. Vee kõrvaldamine kaevandustes toimub loomuliku ärajooksu teel selleks kaevatud veekraavide ja peakraavisüsteemi kaudu.

3. Põlevkivi kütusena.

a) Üldiselt.

Põlevkivi ehk õlikivi on kõrge tuhasisaldusega sapropeelkütus. Tema tekkimise kohta on mitu teooriat. Kõige tõenäolisemaks osutub, et põlevkivikihid tekkisid vastava geoloogilise ajastu loomade ja vetikate jäänustest, segamini savi ja teistest anorgaanilistest ainetest lisanditega. Olles helepruuni värvust on põlevkivi seda tumedam, mida niiskem ta on. Lahtise pealmaakaevanduse põlevkivi erineb üldiselt allmaakaevanduse omast: ta on pehmem, pudevam, niiskem, puhtam ja tuhavaesem, võib aga sisaldada savi ja liiva allmaakivist rohkem.

Põlevkivi põleb sel viisil, et temast väljautetud gaasid ja õliaurud süttivad ning leegitsevad õhuhapniku juurdevoolu mõjul kivitüki ümber, homogeense kihi korral peamiselt kihi peal. Põlevkivi süttib suhteliselt madalail temperatuuridel: 272° C.

Kuival utmisel kinnises retordis algab põlevkivi orgaanilisel osal esimene märgatav lagunemine ja gaaside eraldumine juba 200° t°-l. Tõusva temperatuuriga toimub ka lagunemine järjest tõusva kiirusega. 350°-ses kuumuses eralduvad õlid. Siitpeale on lagunemise kiirus juba nii suur, et põlevkivi muutub mõne tunniga mustaks asfaldimassiks. 400° C t°-l laguneb varem tekkinud asfalt uueks aineks — toorõliks, mille aurud siis ka väljuvad utmisretordist. Uttesaaduste saak põlevkivi utmisel vastavalt temperatuuriastmeile on järgmine: 50—100° — 3%; 100—150° — 6%; 200—250° — 7%; 250—300° — 10%; 300—350° — 20%; üle 350° — 46%. 500°-sel ja kõrgemal temperatuuril on utteproduktide hulk vähene (K. 41, lk. 5).

Põlevkivi plastiliseks muutumine ning paakumine algab temperatuuril 330—350° C.

Sõltuvalt utmise kiirusest, temperatuurist ja põlevkivi $CaCO_3$-sisaldusest ilmub temast kas suurema või väiksema erikaaluga, suurema või väiksema fenoolide-sisaldusega toorõli. Maksimaalne õlisaak ilmub utmisretorti inertsgaasi või auru sisseviimisel, kuna aga $CaCO_3$ vähendab fenoolide arvu õlis, samuti ka õlisaaki.

Toorõli tekkimisega ühel ajal ilmub uttegaas, mille koostis on tugevasti sõltuv utmistemperatuurist. Kuna madalail temperatuuridel on gaasis õige palju süsihappegaasi ja väävelvesinikku, ilmuvad kõrgemail temperatuuriastmetel rasked süsivesinikud ja lisaks palju metaani ja vesinikku. Näiteks 250° C t°-l tekkivas gaasis oli 80,5% CO_2, 350° C t°-l 65,5% CO_2 ja 3,6% H_2S; 500° C t°-l oli 14,8% H_2S, 17,8% CO_2, 10% C_nH_m, 5,7% CO,

22,0% H_2 ja 35% CH_4; 900° C t°-l oli 7,4% CO_2, 20,2% $C_n H_m$, 16,4% CO, 19,9% CH_4, 33,0% H_2 ja 9,1% N_2 (vt. „Riigi Põlevkivitööstus 1918—1938", lk. 36).

b) Elementaarkoostis.

Koostise selgitamiseks iseloomustame ENSV põlevkivi tema orgaanilise osa, mineraalballasti ja niiskuse järgi.

Orgaaniline osa koosneb keerulistest orgaanilistest ühenditest. Aegumata põlevkivi orgaanilise osa keskmine elementaarkoostis on järgmine: süsinikku (C) 76,5—76,8%, vesinikku (H) 9,1—9,3%, väävlit (S) 1,7—2,2%, kloori (Cl) 0,5—0,7%, lämmastikku (N) 0,2—0,5%, hapnikku (O, diferentsist) 10,5—11,9% (K. 36, lk. 47). Eelnimetatud koostis on aegumata põlevkivil ligikaudselt konstantne.

Orgaaniline, s. o. ühtlasi ka ligikaudselt põlevosa laguneb kuumutamisel kergesti, kusjuures lendub 82% põlevaine hulgast. See omadus ja põlevkivi pürolüüs, mida valgustasime lühidalt eespool ja mida käsitleme täiendavalt „Lendosade" all, on eriti tähtsad põlevkivi kasutamisel energeetilise kütusena. Põlevkivi mineraalosade elementaarkoostis on K. Lutsu andmetel järgmine: SiO_2 — 30,0%, Fe_2O_3 — 6%, Al_2O_3 — 9%, CaO — 42%; SO_3 — 8%, MgO — 1,6%, K_2O+N_2O — 3,4%.

Kaltsiumoksüüdi (CaO) sisaldus põlevkivi mineraaljäägis on tingitud kaltsiumkarbonaadi ($CaCO_3$) sisaldusest toorpõlevkivis. $CaCO_3$ laguneb kuumutamisel CaO-ks ja CO_2-ks reaktsiooni järgi:

$$CaCO_3 = CaO + CO_2$$
$$100{,}07 = 56{,}07 + 44{,}00 \text{ kg.}$$

$CaCO_3$ teine komponent — CO_2 — loetakse põlevkivi analüüsimisel mineraalseks CO_2-ks ja arvatakse tuha hulka.

Mineraalosa koostisele on aegumisel märgatav mõju, sest sealjuures kahaneb $CaCO_3$ hulk ja kasvab liiva- ning savisisaldus.

Niiskus peitub põlevkivil peamiselt orgaanilise osa kapillaarkanalikestes. Kaevanduskivi koguniiskus on 12—14% piirides ja samasugune on niiskus ka siis, kui põlevkivi asetseb allpool põhjavee markiiri. Niiskus on põlevkivis suurel määral välisniiskusena, mistõttu põlevkivi õhu käes kergesti kuivab. Tagasiniiskumisel sademeist ei tõuse tükispõlevkivis niiskus üle kaevandusniiskuse määra, s. o. 12—14%. Hügroskoopset niiskust on põlevkivis ligikaudu 3%. Peenpõlevkivil on vee imavus suurem kui tükiskivil. Seetõttu tuleb viimast hoida kinnisladudes.

Aegumata peenpõlevkivi (III sort) keskmiseks koostiseks loevad K. Luts ja teised põlevkiviala eriteadlased: C — 25,9%, H — 3,1%, O — 4%, S^{o+p} — 0,6%, N — 0,1%, *A* — 38,6%, CO_2 — 11,8% ja *W* — 15,9%.

c) Lendosad.

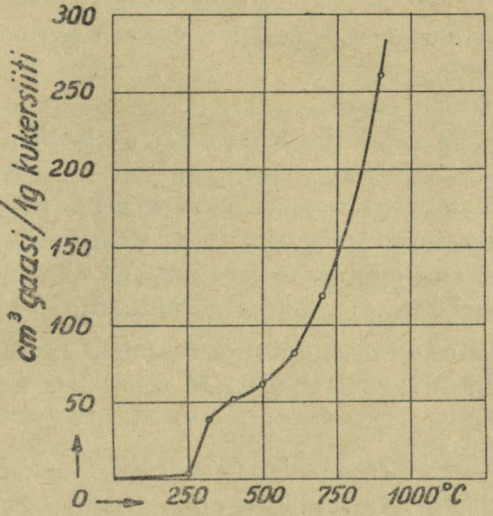
Põlevkivi põlevosa koosneb peamiselt lendosadest: lendosad moodustavad ligikaudu 82% ja põlevaine jääk koksis 18% selle kütuse põlevkoostisest. Põlevkivi kuumutamisel kinnises olekus algab lendosade märgatav eraldumine juba 170° C t°-l, 500° t°-l on lahkunud ligikaudu 75% kogu orgaanilisest ainest ja 1000° t°-l kõik lendosad. Arvestades seda, et põlevkivi lendosad sisaldavad lihtsamate molekulide kõrval suurel määral keerukaid küllastumatuid (olefiinid) ja küllastatud (parafiinid) süsivesinikke, mis tõenäoliselt lagunevad põlemisprotsessi kestel lihtmolekulideks, s. o. teevad enne lõplikku ärapõlemist läbi pürogeneetilise protsessi, toome kokkuvõtliku ülevaate põlevkivi pürolüüsist.

Akadeemik P. Kogerman (K. 32) toob põlevkivi-kukersiidi lagunemise kohta kinnisel kuumutamisel järgmised andmed (tab. 10):

Tabel 10. **Kukersiidi pürolüüs.**

Temperat. °C	Pürolüüsi järgud	Protsessi üldiseloomustus	Reaktsiooni soojuseline iseloomustus
170—180	. . . . .	Kerogeeni osalise lagunemise ehk depolümerisatsiooni algus	
320—380	Kerogeeni depolümerisatsioon	Intensiivse gaaside ja õliaurude eraldumise algus	
380—390		Depolümerisatsiooni lõpp ja depolümerisatsioonisaaduste krakkimise algus	
415—420	Depolümerisatsioonisaaduste utmine ehk krakkimine	. . . . .	Endotermiline
420—440		. . . . .	Eksotermiline
440—470		. . . . .	Endotermiline
üle 470	. . . . .	. . . . .	Eksotermiline
470—550		Maksimaalne vedelsaaduste (tõrva) eraldumine	
Üle 750	Utmissaaduste krakkimine	Kiire gaasieraldumise tõus; vedeldestillaatide „aromatisatsioon“	

Ülevaate põlevkivist-kukersiidist saadavaist gaasikogustest toome joon. 7 ja gaasi koostisest tabelis 11.



Joon. 7. Gaasi saagis kukersiidi gaasistamisel.

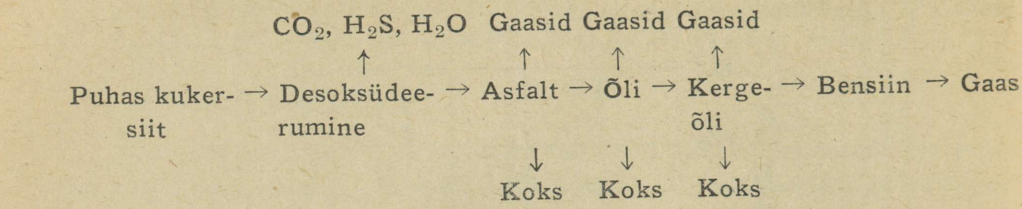
Tabel 11. **Põlevkivigaasi koostis ja gaasikogused.**
(P. N. Kogermani andmetel.)

Gaasi koostis	Destillatsiooni temperatuur °C			
	500	600	700	900
Väävelvesinik	—	2,1	2,2	—
Süsihappegaas	22,5	19,6	15,6	7,4
Küllastumata süsivesinikud	28,2	24,8	22,0	20,2
Süsinikhapend	9,3	11,2	12,5	16,4
Küllastatud süsivesinikud	34,0	26,6	19,6	12,9
Vesinik	4,2	10,8	22,9	33,0
Lämmastik	1,8	7,8	5,2	9,1
Gaasi hulk m^3 tonnist põlevkivist	62,7	83,6	125,4	200,7

K. Luts (K. 36, lk. 85) iseloomustab põlevkivi krakkimisprotsessi ja krakkimissaaduste põlemisväärtusi järgmiselt:

	Vesinikusisaldus %	Põlemisväärtus kcal/kg
Puhas kukersiit ehk kerogeen	9,2	8900
Asfalt	9,4	9200
Primaarõli (alumiiniumretordist)	10,1	9450
Bensiin	13,5	11100
Krakkgaas	20—22	11770

Krakkimisprotsess toimub skeemi järgi:



Kukersiidi krakkimisprotsess on ühtlane selles mõttes, et ümbermoodustussaadused rikastuvad pidevalt vesinikusisalduse poolest ja nende saaduste põlemisväärtus muutub tõusu suunas; krakkimisjääkide vesinikusisaldus ja põlemisväärtus aga vähenevad pidevalt.

Põlevkivi utmisel Pintschi püstgeneraatoris saadud toorõli elementaarkoostis on järgmine: 83% C, 9,7% H, 0,9% S ja 6,4% O + N + Cl (K. 36, lk. 60).

Aegumata põlevkivi (elementaarkoostisega: niiskust 1,1%, mineraaltuhka 29,3%, CO_2 8,3% ja orgaanilist ainet 61,3%) laboratoorne gaasistamine kvartstorus Ø 12 mm ja pikkusega 200 mm andis järgmised tulemused:

Nimetus	Mõõtühik	Analüüs		
		1	2	3
Gaasistatud põlevkivi kogus	g	1,7026	1,5756	1,5985
Gaasisaagis (0° C, 760 mm)	cm^3	691,6	608,5	671,6
Gaasisaagis 1 g põlevkivi kohta	$\frac{cm^3}{g}$	406,1	386,1	420,0
Gaasi põlemisväärtus	$\frac{kcal}{kg}$	6803	7100	6778
Gaasi elementaarkoostis:				
CO_2	%	7,9	8,0	8,3
H_2S	%	0,5	0,5	0,5
C_nH_m	%	14,7	17,0	14,2
O_2	%	1,9	1,9	1,8
CO	%	15,2	13,7	15,1
H_2	%	25,0	23,2	27,6
C_2H_6	%	—	0,8	—
CH_4	%	25,6	25,8	25,8
N_2	%	9,1	9,1	6,7

Eeltoodud gaasistamiskatsetel gaasistamise temperatuur ei ulatunud arvatavasti 1000° C-ni, millega on seletatavad põikused gaasi koostises võrreldes linna gaasivabriku gaasiga.

d) Tuhk.

Mineraalosa-sisaldusest ja põlemisprotsessist tingituna jääb põlevkivi põlemisest järele tuhk, mille keemilist koostist ins. M. Raud märgib järgmiselt: lupja (CaO) 26—50%, ränihapet (SiO_2) 27—51%, alumiinium- ja raudhapendit ($Al_2O_3 + F_2O_3$) 12—17%, magneesiumhapendit (MgO) 1,5—3%, leelismetallhapendit ($K_2O + Na_2O$) 3—6%, väävlit (S) 0,5—3,0%. Põlevkivituha keemilise koostise suur kõikumine on tingitud toorpõlevkivi mineraalosade koostise muutlikkusest, põlemisprotsessi iseloomust jm. Vastavalt mineraalosa koostisele muutub ka tuha plastinemise ja sulamise temperatuur — plastinemistemperatuur on ligikaudu 1100° C. Järelikult kuulub põlevkivituhk kergesti sulavate tuhkade liiki, mida tuleb arvestada põlevkivi põletamisel nii kihis kui lendolekus ruumis.

Tuhk, mis jääb järele peenpõlevkivi põletamisest mehhaanilisel „Krull-Lomšakovi" restil, sisaldab mineraaltuhka 92%, CO_2 — 7%, C—1%. Arvestades peenpõlevkivi keskmist koostist, oleks $CaCO_2$ lagunemine põlevkivi põletamisel ülalnimetatud restidel ligikaudu 75%.

e) Küttevääртus.

Põlevkivi on madala küttevääртusega kütus. Aegumata puhta kukersiidi põlemisvääртus on 8900 kcal/kg ja küttevääртus ligikaudu 8400 kcal/kg. Kukersiidi orgaanilise osa kõrge põlemisvääртus on tingitud kõrgest vesinikusisaldusest — 9,2%. Et aegumata põlevkivi-kukersiidi orgaanilise osa koostis on kütuses ligikaudu konstantne, sõltub selle kütuse küttevääртus peamiselt niiskuse- ja tuhasisaldusest tarbimisaines. Suurkivi kui paesisalduse suhtes kõige puhtama sordi küttevääртus on 3200—3700 kcal/kg, II sordi põlevkivil, s. o. väikekivil samasuguse niiskusesisalduse, kuid tunduvalt suurema tuhasisalduse tõttu 2600—3300 kcal. Peenkivi kui kõige hügroskoopsema ja tuharikkama sordi küttevääртus on 2300—2700 kcal/kg. Karbonaatide ja sulfaatide mõju põlevkivi küttevääртusele on kirjeldatud peatükis „Karbonaatide lagunemine".

Põlevkivi põlemis- ja küttevääртust võib arvutada aine elementaarkoostise järgi Mendelejevi valemi kasutamisega:

$$Q_p^p = 81\ C_p + 300\ H_p - 26\ (O_p - S_p)\ \text{kcal/kg}.$$

Tarbimisaine kütteväärtust võib ligikaudselt määrata valemiga (K. 36, lk. 48)

$Q^k = 84\ p - 6W$ kcal/kg, kus p = põlevaine % kütuses.

Tabelis 12 toome põlevkivi kütteväärtused, mis on arvutatud viimati-esitatud valemi põhjal. Ligikaudseteks praktilise suunaga vajadusteks on ülaltoodud alustel määratud kütteväärtused vastuvõetava, küllaldase täpsusega.

f) Suitsugaasi maht.

Katelde kütmiseks tarvitatavaist tahkeist ja vedelaist kütustest on põlevkivi üks väheseist, mis sisaldab kaunis suurel määral CO_2. See asjaolu tingib teatavaid iseärasusi aurukatelde suitsugaaside mahu arvutamisel. Aurukatlaid käsitlevas kirjanduses ei leidu selle üle midagi üksikasjalisemat. Seepärast pole üleliigne seda küsimust pisut selgitada ins. E. Malteneki järgi.

Aurukatelde kalorilise arvestuse aluseks on 1 kg; kütuse ärapõlemisel kujuneva kuiva suitsugaasi mahu määrab valem $V_k = \frac{C}{0{,}536\ (K_1 + K_2)}$, kus C on kütuse süsinikusisalduse % ja K_1 ning K_2 suitsugaasi analüüsiga määratud CO_2 ja CO %, V_k aga 0° C t°-l ja 760 mm rõhul mõõdetud suitsugaasi maht kuupmeetrites.

See valem põhineb asjaolul, et süsinikugaasi igas m³-s sisaldub alati 0,536 kg puhast süsinikku, olgu see gaas CO_2, CO või mingi muu. Samal alusel tuletub suitsugaasi mahu valem põlevkivi jaoks järgmiselt:

Kui analüüs näitab, et suitsugaasis on K_1 % CO_2 ja K_2 % CO, siis on CO_2 ja CO maht kokku $V_k \frac{K_1 \pm K_2}{100}$ nm³ (0° C, 760 mm), arvatud 1 kg ärapõlenud kütuse kohta. Kui kütuses oli juba enne põlemist CO_2 kadu % süsihapet, mille erikaal 0° C t°-l ja 760 mm rõhul on 1,964, siis 1 kg kütust tõi suitsugaasi $\frac{CO_2}{100 \cdot 1{,}964}$ nm³ süsihapet. Et analüüs näitab nii põlemisel tekkinud kui ka kütusega juurdetoodud CO_2-hulka, siis tekib põlemisel süsinikugaasi

$$\left(V_k \frac{K_1 + K_2}{100} - \frac{CO_2}{100 \cdot 1{,}964}\ \text{nm}^3\right),$$

1 kg kütuse põlemisel aga põleb ära $\frac{C}{100}$ kg puhast süsinikku (kus C on kütuses leiduva puhta süsiniku kadu %), millest iga kg annab $\frac{1}{0{,}536}$ nm³ süsinikugaasi. Põlemisel tekib seega $\frac{C}{0{,}536 \cdot 100}$ nm³ süsinikugaasi, mis on võrdne eespool leitud gaasimahuga, s. t.

Tabel 12. **Põlevkivi küttevääртus sõltuvalt tuhahulgast ja niiskusest tarbimisaines.**
(Põlevosa küttevääртus arvatud 8400 kcal/kg.)

Tuhasisaldus $(A + CO_2)_t$ %	Niiskus W_t %																	
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
39	4494	4404	4314	4224	4134	4044	3954	3864	3774	3684	3594	3504	3414	3324	3234	3144	3054	2964
40	4410	4320	4230	4140	4050	3960	3870	3780	3690	3600	3510	3420	3330	3240	3150	3060	2970	2880
41	4326	4236	4146	4056	3966	3876	3786	3696	3606	3516	3426	3336	3246	3156	3066	2976	2886	2796
42	4242	4152	4062	3972	3882	3792	3702	3612	3522	3432	3342	3252	3162	3072	2982	2892	2802	2712
43	4158	4068	3978	3888	3798	3708	3618	3528	3438	3348	3258	3168	3078	2988	2898	2808	2718	2628
44	4074	3984	3894	3804	3714	3624	3534	3444	3354	3264	3174	3084	2994	2904	2814	2724	2634	2544
45	3990	3900	3810	3720	3630	3540	3450	3360	3270	3180	3090	3000	2910	2820	2730	2640	2550	2460
46	3906	3816	3726	3636	3546	3456	3366	3276	3186	3096	3006	2916	2826	2736	2646	2556	2466	2376
47	3822	3732	3642	3552	3462	3372	3282	3192	3102	3012	2922	2832	2742	2652	2562	2472	2382	2292
48	3738	3648	3558	3468	3378	3288	3198	3108	3018	2928	2838	2748	2658	2568	2478	2388	2298	2208
49	3654	3564	3474	3384	3294	3204	3114	3024	2934	2844	2754	2664	2574	2484	2394	2304	2214	2124
50	3570	3480	3390	3300	3210	3120	3030	2940	2850	2760	2670	2580	2490	2400	2310	2220	2130	2040
51	3486	3396	3306	3216	3126	3036	2946	2856	2766	2676	2586	2496	2406	2316	2226	2136	2046	1956
52	3402	3312	3222	3132	3042	2952	2862	2772	2682	2592	2502	2412	2322	2232	2142	2052	1962	1872
53	3318	3228	3138	3048	2958	2868	2778	2688	2598	2508	2418	2328	2238	2148	2058	1968	1878	1788
54	3234	3144	3054	2964	2874	2784	2694	2604	2514	2424	2334	2244	2154	2064	1974	1884	1794	1704
55	3150	3060	2970	2880	2790	2700	2610	2520	2430	2340	2250	2160	2070	1980	1890	1800	1710	1620
56	3066	2976	2886	2796	2706	2616	2526	2436	2346	2256	2166	2076	1986	1896	1806	1716	1626	1536
57	2982	2892	2802	2712	2622	2532	2442	2352	2262	2172	2082	1992	1902	1812	1722	1632	1542	1452
58	2898	2808	2718	2628	2538	2448	2358	2268	2178	2088	1998	1908	1818	1728	1638	1548	1458	1368
59	2814	2724	2634	2544	2454	2364	2274	2184	2094	2004	1914	1824	1734	1644	1554	1464	1374	1284
60	2730	2640	2550	2460	2370	2280	2190	2100	2010	1920	1830	1740	1650	1560	1470	1380	1290	1200
61	2646	2556	2466	2376	2286	2196	2106	2016	1926	1836	1746	1656	1566	1476	1386	1296	1206	1116
62	2562	2472	2382	2292	2202	2112	2022	1932	1842	1752	1662	1572	1482	1392	1302	1212	1122	1032
63	2478	2388	2298	2208	2118	2028	1938	1848	1758	1668	1578	1488	1398	1308	1218	1128	1038	948
64	2394	2304	2214	2124	2034	1944	1854	1764	1675	1584	1494	1404	1314	1224	1134	1044	954	864
65	2310	2220	2130	2040	1950	1860	1770	1680	1590	1500	1410	1320	1230	1140	1050	960	870	780
66	2226	2136	2046	1956	1866	1776	1686	1596	1506	1416	1326	1236	1146	1056	966	876	786	696
67	2142	2052	1962	1872	1782	1692	1602	1512	1422	1332	1242	1152	1062	972	882	792	702	612
68	2058	1968	1878	1788	1698	1608	1518	1428	1338	1248	1158	1068	978	888	798	708	618	528
69	1974	1884	1794	1704	1614	1524	1434	1344	1254	1164	1074	984	894	804	714	624	534	444
70	1890	1800	1710	1620	1530	1440	1350	1260	1170	1080	990	900	810	720	630	540	450	360
71	1806	1716	1626	1536	1446	1356	1266	1176	1086	996	906	816	726	636	546	456	366	276
72	1722	1632	1542	1452	1362	1272	1182	1092	1002	912	822	732	642	552	462	372	282	192
73	1638	1548	1458	1368	1278	1188	1098	1008	918	828	738	648	558	468	378	288	198	102
74	1554	1464	1374	1284	1194	1104	1014	924	834	744	654	564	474	384	294	204	114	24
75	1470	1380	1290	1200	1110	1020	930	840	750	660	570	480	390	300	210	120	30	—

$$\frac{C}{0{,}536 \cdot 100} = V_k \frac{K_1 + K_2}{100} - \frac{CO_2}{100 \cdot 1{,}964}.$$

Sellest leiame otsitud gaasimahu

$$V_k = \frac{1}{K_1 + K_2}\left(\frac{C}{0{,}536} + \frac{CO_2}{1{,}964}\right) \text{ nm}^3.$$

Meie põlevkivi jaoks annab see valem ligi 10% suurema gaasimahu kui eespool näidatud tavaliselt tuntud valem. Korstnaavause, suitsukäikude jne. arvestamisel on seega lahkuminek küllalt suur. Ka katlaproovil koostatavale soojusbilansile on leitud valemi mõju märgatav. Seepärast tuleks vastavate arvestuste jaoks aluseks võtta põlevkivi iseärasusest tingitud eeltoodud täpne valem (vt. E. Maltenek, „Tehnika Ajakiri" nr. 9, 1934. a.).

g) Karbonaatide lagunemine.

Põlevkivi anorgaaniline osa sisaldab karbonaate, mis lagunevad põlemisprotsessis temperatuuri toimel. Karbonaatide lagunemise määr on ligikaudu 75% peenpõlevkivi kihispõletamisel mehhaanilistel treppristidel. Karbonaatide lagunemise protsess nõuab soojust ja seda rohkem, mida rohkem on põlevkivis elementaarkoostise andmeil süsihappegaasi.

K. Naske järgi on $CaCO_3$ ja $MgCO_3$ lagunemisreaktsioonide soojused järgmised:

$CaCO_3 = CaO + CO_2$ — 990 kcal/1 kg CO_2 kohta,
$MgCO_3 = MgO + CO_2$ — 407 kcal/1 kg CO_2 kohta.

Oletades, et kõik karbonaadid on põlevkivis Ca ja Mg ühendid ja nimetades suhet $\frac{MgO}{CaO} = x$, leiame, et põlevkivi karbonaatide lagunemissoojus arvestatult CO_2-le on

$$Q_{k.l.} = \frac{CO_2}{100} \cdot \frac{990 + x \frac{56{,}07}{40{,}32} \cdot 407}{1 + x \frac{56{,}07}{40{,}32}},$$

kus CO_2 % on mineraalsüsihappe kaaluprotsent põlevkivis. Võttes keskmiselt $\frac{1}{x} = 29$, annab see valem $Q_{k.l.} = 965$ kcal/kg CO_2 kohta = 9,65 kcal/ 1% CO_2 kohta.

Kuigi eriti tuharikastel sortidel karbonaatide lagunemissoojus moodustab umbes 5% põlevkivi küttevääртusest, ei arvestata seda K. Lutsu järgi siiski enam. See on seletatav asjaoluga, et kõrvuti karbonaadi lagunemisega, mis neelab soojust, toimuvad teised reaktsioonid, mis soojust eraldavad (vt. „Küttevääртus"). Peamiselt on seal tegemist vaba CaO

reaktsioonidega. Vaba CaO ei leidu kalorimeetris põletatud põlevkivituhas peaaegu sugugi. See tähendab, et tuha lubi oli astunud edasi teistesse reaktsioonidesse:

1) Mineraalse väävli — püriidi — põlemine: $2FeS_2 + 5\frac{1}{2}\ O_2 = Fe_2O_3 + 4SO_2$.

2) Siit ja orgaanilise väävli põlemisest tekkinud SO_2 toime lubjasse:
$CaO + SO_2 = CaSO_4 + 116{,}3$;
$CaSO_3 + \frac{1}{2}O_2 = CaSO_3$.

3) Reaktsioon ränihappega: $CaO + SiO_2 = CaSiO_3 + 33{,}1$.

4) Lubja kustumine: $CaO + H_2O = Ca(OH)_2 + 94$.

Et põlevkivi põlemisel tuhasse ilmuvad sulfaadid, on tõendatud. On leitud 1,0—3,7% väävlit, mis esineb sulfaadis ja millele vastab sulfaadi hulk 2,5—9,0%. Et sulfaadi tekkimise reaktsiooni soojus on ligi 3 korda suurem ekvivalentse karbonaadi hulga dissotsiatsiooni soojusest, siis tarvitseb ainult $\frac{1}{3}$ kaltsiumkarbonaadist üle minna sulfaadiks, et reaktsioonisoojused juba tasakaalus oleksid.

h) Põlevkivi füüsikalisi omadusi.

Põlevkivi-kukersiidi erisoojus, arvutatud Kopp'i valemi järgi, on ligikaudu 0,36, mineraalosa kohta — 0,19 kcal/kg. Näiteks on erisoojus põlevkivi kuivaine kohta 50% orgaaniliste ja 50% mineraalosade sisaldusel

$$\frac{0{,}36 + 0{,}19}{2} = 0{,}275 \text{ kcal/kg}.$$

Põlevkivi erikaal kõigub kivi kihtide järgi lademeis 1,2—1,65 kg/dm^3, olles keskmiselt 1,4 kg/dm^3. Kuivaines 30—40%-lise tuhasisalduse puhul on põlevkivi erikaal 1,3, 45—55%-lise tuhasisalduse korral 1,5 ja 60—65%-lise tuhasisalduse puhul 1,65. Mahukaal on suurkividel ligikaudu 1,0 ja peenkivil 0,8—0,9 kg/dm^3.

Põlevkivi tugevuse kohta mainitagu, et aegumata põlevkivi on kihi suunas haamrilöögiga kergesti lõhestatav. Tõmbekatse Michaelise aparaadiga andis tugevuse 36 kg/cm^2 kihi suunas. Hoolimata suhteliselt suurest tugevusest killuneb põlevkivi äärtest siiski kukkumisel, mistõttu ka hästi sõelutud põlevkivi alati teatavat osa peenpõlevkivi sisaldab.

i) Kütuspõlevkivi sordid.

Kütuspõlevkivi liigitatakse ENSV normi ESN 1—40 alusel kolme sorti, mis saadakse kaevanduskivi sõelumise teel eraldamisega tükisuuruse järgi: I sort — suurkivi — tükisuurus üle 38 mm, küttevääртus

3200—3700 kcal, veesisaldus 11—15%, tuhka kuivaine kohta 49—55%; II sort — väikekivi — tükisuurus 10—38 mm, küttevääртus 2600—3300 kcal, veesisaldus 11—15% ja tuhka kuivaine kohta 55—62%; III sort — peenkivi — terasuurus alla 10 mm, küttevääртus 2300—2700 kcal, veesisaldus 12—20% ja tuhka kuivaine kohta 58—64%.

Kuigi pae konkretsioonid heidetakse väljakaevamisel kõrvale, jääb siiski kütuskivi hulka lõhkeainega purustatud peeni paetükke, mida ei suudeta välja noppida. Seetõttu on tuhasisaldus nii II kui ka III sordi põlevkivis kõrgem jämekivi tuhamäärast. Peenpõlevkivi on ühtlasi hügroskoopsem, seetõttu on ka tema niiskusesisaldus suurem kui tükiskivil.

Kõik põlevkivikihid ei ole ühesugused. Nii näiteks on F-kiht tuharikkam, sisaldades 62—65% tuhka, kuna orgaaniliselt kõige rikkam E-kiht sisaldab tuhka vaid 40%.

Niiskusesisaldus on kõigil sügavail allmaakihtidel umbes 10—12%. Kaevandusest tulev põlevkivi kaotab seismisel kiiresti suurema osa oma niiskusest. Toas seisnud põlevkivis ei ole rohkem kui 2—5% niiskust. Vahelduva külma ja sula käes olnud põlevkivi killuneb õhukesteks lehtedeks.

j) Põlevkivi hoidmine.

Kaevandusest väljatoodud põlevkivi allub õhuhapniku, temperatuuri kõikumiste ja eriti sademete mõjule. Kuna esimesed tegurid avaldavad põlevkivile väikest ja aeglast mõju, on sademete toime eriti külmaga küllalt suur. Kapillaarsetesse kanalitesse tunginud vihmavesi purustab külmumisel põlevkivi. Esimesel talvel tekivad lõhed, edasi killuneb aga põlevkivi õhukesteks lehtedeks. Mainitud põhjusel tuleb põlevkivi kaitsta sademete eest katusealustes ladudes.

Põlevkivi isesüttivust ei ole otseselt uuritud, samuti puuduvad andmed isesüttimiste esinemise kohta põlevkiviladudes.

k) Kokkuvõte.

Põlevkivi kui energeetilise kütuse iseloomustavad omadused võime lühidalt kokku võtta järgmiselt:

ENSV põlevkivi on sapropeelkütus kõrge põlemisväärtusega — 8900 kcal/kg aine orgaanilisel osal — ja tarbimisaine madala küttevääртusega, mis on tingitud kõrgest tuhasisaldusest ja niiskusest.

Põlevkivi orgaanilise aine lendosade-sisaldus on suur — 82% — ja nende eraldumine toimub ülekaalukalt madalail temperatuuridel; seetõttu on kihispõlemisel kihi temperatuur tunduvalt madalam kui kõrgeväärtusliku kivisöe põlevkihi temperatuur.

Põlevkivituha plastinemise algtemperatuur on madal — ligikaudu 1100° C — ja tuha sulamistemperatuur ligikaudu 1200—1300° C.

Kehtiva normatiivi ESN 1—40 järgi eristatakse kütuspõlevkivi kolme sorti: jämekivi, väikekivi ja peenkivi küttevääruse vastavalt 3200—3700, 2600—3300 ja 2300—2700 kcal/kg.

Põlevkivi on soovitatav alal hoida kaetud ladudes.

4. Põlevkiviõli ja -gaasi tootmine.

Põlevkivist õli ajamise katseid on tehtud väga mitmesuguste seadmetega; paljud neist ebaõnnestusid, näit. katsed šoti tüüpi püstretordiga, sisemise aurküttega utmisahjuga, fusiooni keerleva retordiga ning liikuva restiga ahju abil. Selle põhjuseks on meie põlevkivi tugev paakumine temperatuuril 300—400° C. Teatavasti muutub utmisel põlevkivi orgaaniline osa selles temperatuurivahemikus kas osaliselt või täielikult vedelaks asfaldiks, mis üksikuid põlevkivitükke kinni kleebib ja nende liikumist ahjus takistab, kui ei omata erilisi vahendeid tekkivate ummistuste kõrvaldamiseks. Neist nähtustest on üle saadud ja edukalt töötavad kolme tüüpi põlevkiviutmise seadmed: siseküttega püstgeneraatorid, tsirkulatsioongaasküttega tunnelahjud ja väliskütet omav keerlev Davidsoni ahi sisemise pinnapuhastaja sahaga.

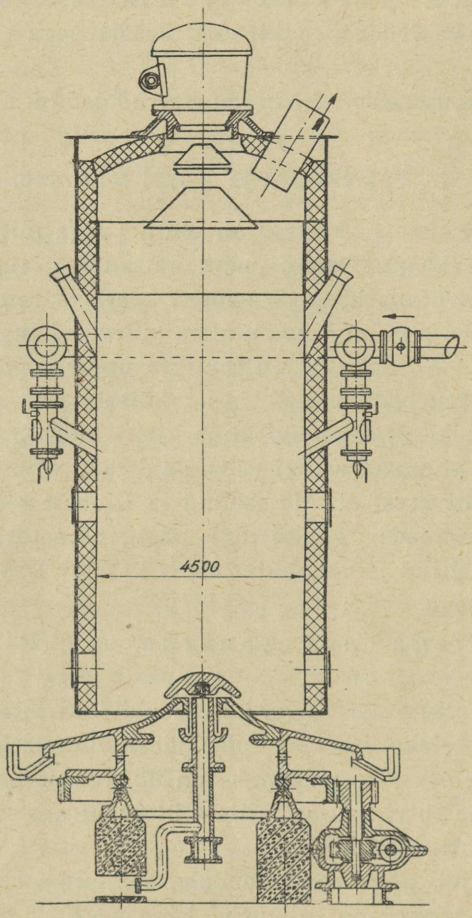
a) Siseküttega püstgeneraator (Pintschi generaator).

Purustatud ja vastavalt sõelutud põlevkivi tõstetakse elevaatori abil punkrisse, kust ta teiskordse sõelumise järel toimetatakse püstgeneraatorisse. Selle ülemine osa — utteruum — on ühendatud alumise — kütteruumiga koonilise vahelehtri kaudu, millest ülalpool asetseb ringkanal küttegaaside juhtimiseks utteruumi.

Utteruumis vajub põlevkivi allapoole, seejuures aeglaselt soojenedes. 400° t°-l algab õli tekkimine; õliaurud koos veeauru ning küttegaasidega juhitakse jahutajasse, kus suurem osa õliaurudest kondenseerub, kuna ülejäänud õli eraldub õlieraldajas. Jääksegu, mis sisaldab vaid vähesel hulgal kergeid õliaurusid, jahutatakse jahutajais 25°-ni ja pestakse nn. bensiinipesijas tooröliga. Saadav õli ja vee segu soojendatakse vee täielikuks eraldamiseks veelahutajas 60°-ni, neutraliseeritakse õlipesijas nõrga naatronilahusega ja pumbatakse vee veelkordse eraldamise järel toorõlina paakidesse.

500—600° kuumad põlevkivijäägid vajuvad vahelehtrist kütteruumi, kus nad, sisaldades veel 10—15% põlevaineid, utteprotsessiks vajalikku soojust annavad. Lõppjääk — tuhk — eemaldatakse vagonettidega.

Pintsch-tüübilisi püstgeneraatoreid on põlevkivi utmiseks läbilaskevõimega kuni 200 tonni põlevkivi 24 tunni kohta.



Joon. 8. Pintschi generaator.

b) T u n n e l a h i.

Põlevkivi peenestatakse ja liigitatakse sõelumise teel. Utmisele lähevad 10—100 mm tükid, kuna peenkivi tarvitatakse utteahjude ja aurukatelde kütteks (mehhaanilistel restidel). Utmisele kuuluv põlevkivi viiakse vagonettides hüdrauliliselt töötavate lüüside ja tõukeseadmete abil uttetunneli esimesse lüüsi, mis eraldab kuivatuskambri välisõhust. Siin kuivatatakse põlevkivi tema enda niiskusest saadava ülekuumendatud auruga, mida saadakse küttegaasidest köetavas ülekuumendajas. Auru ring-

lus kuivatuskambrist ülekuumendajasse ja sealt ülekuumendatult tagasi teostub ventilaatorite toimel. 10—14 minuti järel lükatakse vagonettide rong hüdrauliliselt järgmisse lüüsi, mis eraldab utteruumi kuivatuskambrist. Seejärel lükatakse vagonetid utteruumi, mida täitvad uttegaasid-aurud ringlevad ventilaatorite toimel järgmiselt: ventilaator imeb uttegaasid-aurud toru kaudu ülekuumendajasse, et neid toru kaudu tunnelisse tagasi suruda vagonetis asetseva utmisaine läbi, andes soojuse viimasele. Vajaliku tiheduse toru ja vagoneti torujätku vahel tagab vastav eriseade. Kambris ringlevad gaasid ja aurud väikese ülisurve all ja utmisel pidevalt tekkiv ülejääk juhitakse mitmeastmelisse järjestikku ülesseatud kondensatsiooniseadmesse, kus jahutuse astmestuse tõttu vedelad süsivesinikud jagunevad fraktsioonidesse osalt valmistootena, osalt juhitakse edasisele keemilisele töötlusele. Õliaurud väljuvad tunnelist temperatuuril ligikaudu 550° C.

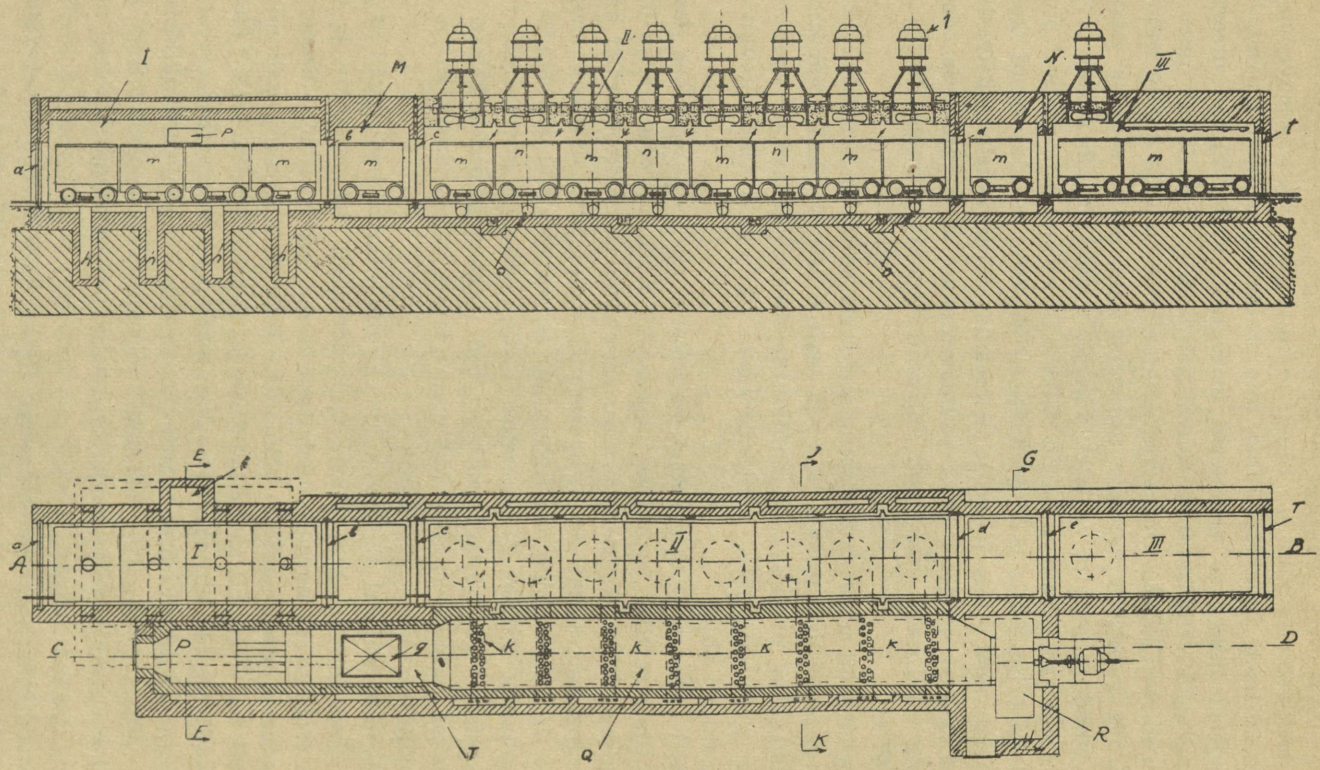
Olles läbinud uttetunneli, satub vagonett kolmandasse lüüsi, mis isoleerib uttekambri kustutuskambrist, ja sealt juba edasi kustutuskambrisse, kus utmisjääk — poolkoks — jahutatakse veega. Jahutatud vagonett väljub ahjust pöördvipperile, tühjendatakse, täidetakse taas põlevkiviga ja lükatakse uuesti ahju.

Rööbiti ahju tunneliga asetseb küttekolle, milles põletatakse peenkivi (mehhaanilisel restil) ja utmise jääkgaasi. Kolle on seadistatud ühtlasi õlipihustitega, mida kasutatakse ahju sissekütmisel. Kütteruumist äravoolavad küttegaasid suubuvad temperatuuri alandamise otstarbel segamiskambrisse, kuhu imetakse osa jahutatud tagasivoolavaid küttegaase. Jahtunud ligikaudu 900°-ni C, imetakse küttegaasid läbi küttekanali tagasivoolukambrisse. Tagasivoolugaasidest osa läheb segamiskambrisse, kuna osa juhitakse kuivatuskambri ülekuumendajate soojendamiseks ja sealt edasi korstnasse.

Utmisprotsessi ajal ahjutunnelis tekkinud õliaurud ja gaasid väljuvad uttegaasitoru kaudu kondensatsiooniseadmesse, kus uttetõrv ja teised raskeõlid eraldatakse astmelise jahutuse toimel eri fraktsioonidesse. Gaas, mis siin edasisi kondensaate ei võimalda, jõuab gaasibensiini osakonda, kus eraldatakse bensiiniosad madaljahutuse ja õliga pesemise teel. Jääkgaas juhitakse utteahjude küttekoldesse kasutamiseks küttegaasina.

Meil on kasutatud kahte tunnel-utmise viisi: vagoneti täitekihi kõrgusega 700—800 mm ja 250—350 mm. Viimatinimetatud menetluse puhul võib utmiseks kasutada ka peenpõlevkivist valmistatud pätsikesi — nooduleid.

Tunnelahjud on läbilaskevõimega ligikaudu 250—500 tonni põlevkivi 24 tunni kohta.

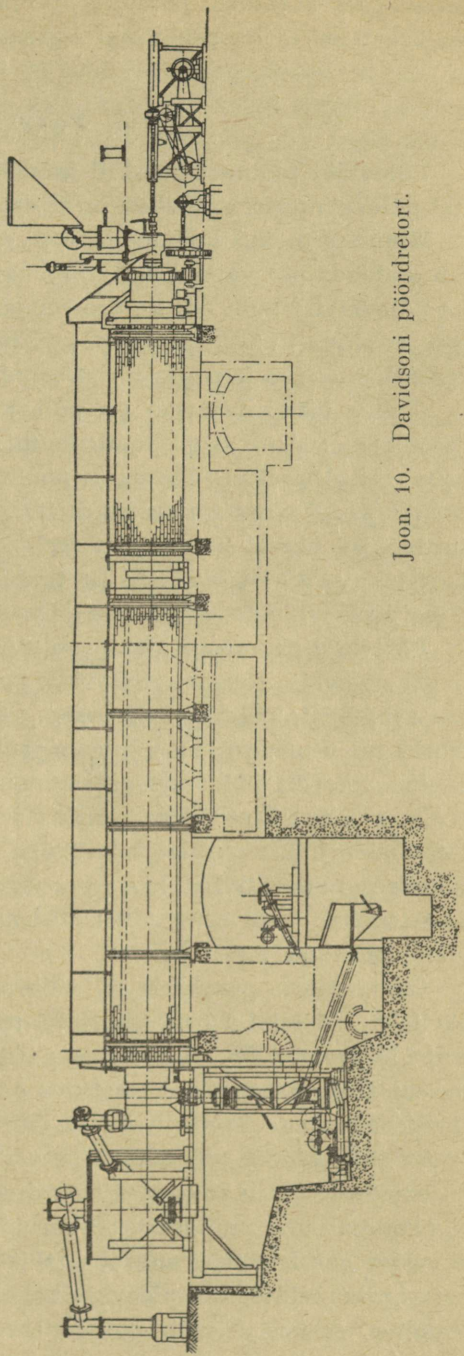


Joon. 9. Tunnelahi.

c) Davidsoni pöördretort.

See on umbes 1,20 m läbimõõduga ja 22,5 m pikkusega lamav terassilinder. Põlevkivi läbib retordi täiesti automaatselt: punkrist langev peenestatud põlevkivi koguneb toitekolusse, kus ta edasi langeb transportteole ja sellelt retorti, mille aeglane pöörlemine paneb pöörlema ka põlevkivitükikesed. Toiteotsast alates tõuseb retordis pidevalt põlevkivi temperatuur ja retordi tipul jõuab umbes 485°-ni. Kuum jääk langeb retordist kasti, mille lae ja põhja moodustavad suruõhu abil liikuvad siibrid, mis reguleerivad kuuma küttematerjali edasitoimetamist retordi all asetseva küttekolde erilise konstruktsiooniga liikuvale restile. Õliaurud ja gaasid lahkuvad retordist toru kaudu, mis neid juhib tolmupüüdjasse. Sealt edasi lähevad gaasid jahutusseadmesse. Õliaurude eraldumine permanentsetest gaasidest toimub algul vesijahutites, siis skraberites ja lõppeks külmutusseadmes.

Davidsoni retordis võib destilleerida peenmaterjali ja seega kaevandusest tuleva kogu põlevkivitoodangu ära kasutada, kuna aga Pintschi püstgeneraatoris ja tunnelahjudes võib nende korralikuks töötamiseks kasutada vaid tükkmaterjali, eraldades peenkivi sõelumise teel. Põlevkiviõli saagis on 19—22%, sõltudes põlevkivi oma-



Joon. 10. Davidsoni pöördretort.

dustest, retordi tüübist ja muudest asjaoludest. Retorte on põlevkivi utmiseks kasutusel läbilaskevõimega ligikaudu 25 tonni 24 tunni jooksul.

5. Põlevkivigaas.

Põlevkivi tootmist on meil arendatud rohkem kui kaks aastakümmet, kuid põlevkivigaasi saamisele on tõsisemat tähelepanu pööratud alles nüüd.

Kinnises olekus kuumutamisega erilistes utmisahjudes kuni 500°-ni C võib eraldada põlevkivist kuni 75% orgaanilisi aineid ja saada ühest tonnist põlevkivist kuni 200 kg toorõli ja ligikaudu 50 m^3 gaasi. Kuumutamisega eriahjus kuni 1000°-ni C võib põlevkivist eraldada kogu lenduva orgaanilise olluse ja saada ühest tonnist kivist 500 m^3 gaasi ja 10—15 kg õli. Tahke jääk siinjuures on põlevkivikoks, kuna tahke jääk kuumutamisest kuni 500°-ni C on poolkoks mõningal määral lenduvate orgaaniliste ainete sisaldusega. Säärase poolkoksi kütteväärtus on ligikaudu 800 kcal/kg. Kuumutamisel kuni 1000°-ni C ja üle selle võib õhu piiratud juurdepääsu korral põlevkivist eraldada kõik orgaanilised ained ja saada ühest tonnist kivist kuni 150 kg toorõli ja 700 m^3 gaasi. Iseloomustavaid näitarve põlevkivigaaside kohta tõime tabelis 11.

Põlevkivi-generaatorigaas on meil tõenäoliselt odavamaid kütuseid, samuti põlevkivi-jõugaas. Põlevkivigaasi kui utmisprotsessi kõrvalsaadust kasutavad kõik põlevkivitööstused, kuid ainult puht-energeetiliseks otstarbeks nii utmisprotsessis kui ka jõujaamades aurukatelde kütteks. Tööstuslikus retordis põlevkivi gaasistamist on teostanud vaid Tallinna gaasivabrik, saades ühest kg-st põlevkivist kuni 0,3 m^3 gaasi kütteväärtusega 7132 kcal/m^3, mis on 2139,6 kcal ühe kg põlevkivi kohta. Selleks aga tarvitatakse ainult tükilist kivi; peenkivi on osutunud tööstuslikus retordis gaasistamisel seni selle tõttu kõlbmatuks, et soojus ei tungi vajalisel määral peenesse massi jm.

Generaatoris gaasistamisel võib saada ühest kg põlevkivist, olenevalt tööviisist, 0,6 kuni 1,7 m^3 gaasi kütteväärtusega 1050—1242 kcal/m^3 ja 50 kuni 173 grammi õli. Seejuures väiksema gaasisaagise puhul on õlisaagis suurem. Generaatorseadme otstarve ongi õli utmine, kuna gaas esineb vaid kõrvalsaadusena. Seetõttu on ka küttegaasi saagis madal ja tema kui utmise jääksaaduse põlemissoojus väike. Pole ju arvestatud põlevkivi erilisi omadusi: palju suuremat tuhasisaldust põlevkivis ja võrdlemisi madalal temperatuuril lenduvaiks õliaurudeks lagunevat kerogeeni. Samuti on põlevkivi gaasistamisel suureks takistuseks kõrge niiskuseprotsent. Generaatorigaasi tekitamine põlevkivikoksist või poolkoksist ei tekita raskusi. Peamine raskus seisneb aga generaatorprotsessil toimuva utteprotsessi

kaudu saadavate õlide viimises ühenditesse, mis harilikul temperatuuril oleksid gaasilises olekus.

III sordi põlevkivi tarvitamisel on raskuseks peenpõlevkivi kihi suur takistus läbivaile gaasidele. Esineb asfaltkorraga ümbritsetud peenkivi, „kottide" tekkimine, mis rändavad ülalt alla toorestena. Mainitud põhjustel ei ole õnnestunud küttegaasi tootmine III sordi põlevkivist.

6. Põlevkiviõli ja -gaas kütusena.

Põlevkiviõlid erinevad maaõlidest nii elementaarkoostise kui ka erikaalu ja põlemissoojuse poolest. Neis on enam hapnikku ja vähem vesinikku, nad on suurema erikaalu ja vähema põlemissoojusega. Erinevus on seda suurem, mida kõrgem on põlevkiviõli erikaal. Kergetes fraktsioonides aga vahed kahanevad. Erinevate omaduste tõttu valitsevad põlevkiviõlides ka teised suhted erikaalu, põlemissoojuse ja vesinikusisalduse vahel. Kõiki omadusi ja suhteid mõjustab fenoolide-sisaldus. Oma kõrge erikaaluga, vähema vesinikusisaldusega ja madalama põlemissoojusega teevad fenoolid põlevkiviõlid maaõlidest erinevaks. Põlevkiviõlidel on võrdse erikaalu korral võrreldes maaõlidega umbes 1% vesinikku vähem. Sellest siis tulebki, et võrdsete erikaalude korral meie õlidel on väiksem põlemissoojus ja nimelt umbes 8%. Põlevkiviõlide põlemissoojus laseb end väljendada empiirilise valemiga $Q = 6000\ (2{,}58\text{-}d)$ cal/g.

Põlevkivi-kütteõli omadused on keskmiselt järgmised:

Erikaal 20° C t°-l	0,99—1,01
Leekpunkt Martens-Pensky järgi	üle 60° C
Viskoossus 30° C t°-l	15—30° E
„ 50° C „	5—7,5° E
„ 70° C „	2—3° E
„ 90° C „	1,2—1,8° C
Vett	alla 1,5%
CS_2-s lahustumatuid	alla 0,5%
Põlemissoojus	9300—9500 kcal/kg
Teoreetiline põlemisõhu tarve	9,4 nm^3/kg
C	83—83,5%
H	9,7—9,9%
O	6,4—6,0%
S	0,8—1,0%

Kütteainena võeti meil põlevkiviõli esmakordselt tarvitusele 1921. aastal põlevkivikaevanduse veduri kütteks. Hiljem võeti ta tarvitusele ka laevastikus ja raudteevalitsuse poolt vedurite kütteks, samuti rohkesti ka elumajades keskkütteks. Põlevkiviõli tarvituse kõrgtipp oli 1939.— 1940. a. enne sõja puhkemist; sõja ajal vähenes tema kui äärmiselt defitsiitse kütuse tarvitamine tööstusmajanduslikuks otstarbeks. Peale võiduka sõja lõppu pole põlevkiviõli tarvitamine kütteks fašistide poolt põlevkivitööstuses tekitatud suurte purustuste tõttu veel saavutanud ennesõjaaegset taset.

Põlevkiviõli — õlikütuse — eeliseks on tema suur painduvus, s. o. omadus kiiresti kohaneda katla koormatuste kõikumistega, edasi puhtus, suitsuta, peaaegu täielik põlemine, kerge teenindamine.

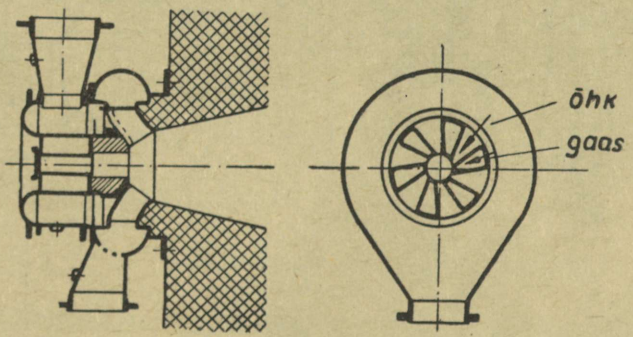
Aurukatelde juures on tarvitusele võetud õli mehhaaniline pihustamine sellekohaste pihustite abil. Pihustatud õli seguneb hästi õhuga, mille tulemuseks on suitsuta põlemine, samuti on võimalus täpselt reguleerida õli juurdevoolu vastavalt katla koormatusele, mis annabki õliküttekoldele tema painduvuse ja kütuse säästu. Olgu siin toodud väike õliküttekolde ja pihusti tüüpide kirjeldus.

Õliküttekolde esiosa põiklõike suurenemisega väheneb pidevalt õliaurude ja õhu segu voolukiirus, süütekiirus aga tõuseb õli kuumenemise tagajärjel kuumadest koldeseintest. Algul peab segu voolukiirus ületama süütekiiruse. Leek ei tohi alata otsekohe pihusti suudmel, vaid kaugemal, et anda õliaurudele võimalust hästi seguneda õhuga. Kolde eesosa selles põiklõikes, kus mõlemad kiirused on võrdsed, algab leek. Kui ei jätku loomulikust tõmbest segule tarviliku kiiruse andmiseks, tuleb tarvitada kunstlikku tõmmet. Kolde eesotsas, kus algab leegi tekkimine, ei põle kõik õliosakesed veel täiesti ära, vaid põlevad ainult kõige väiksemaks tolmustatud osakesed, kuna suuremad osakesed, jätkates teekonda koldes, põlevad ära järk-järgult. Kõrge temperatuuri tõttu koldes lagunevad välja esialgu kerged ja siis raskemad lenduvad ained ning jääb järele osake koksi, mis võib põleda põlemisgaasides leiduva vaba hapnikuga ühinemisel. Tähelepanekud aga näitavad, et kui õlitilk enne lõplikku aurustumist ja põlemist langeb kolde seinale, e i p õ l e sellest tekkiv koksiosake ka tarviliku õhu juuresolekul, vaid tekib koksipesa, mis kasvab ja mida tuleb vahetevahel kõrvaldada. See nähtus ei ilmne niipalju maaõlide kui just Eesti NSV põlevkiviõli puhul. Seepärast on põlevkiviõli tarvitamisel kütusena eriti vajalik õli pihustamine võimalikult väikesteks osadeks ja koldele küllaldase pikkuse andmine. See tagab koksi suuremate koguste tekkimise vältimise kolde seinal. Õliküttekollete soojuseline koormatus praeguste kollete ja pihustite konstruktsioonide juures ei tohi ületada

500 000, maksimaalselt 600 000 kcal 1 m^3 kolde mahu kohta tunnis. Teine nõue on, et kolde maht peab vastama gaaside mahule, mis on tekkinud põlemisel 1—2 sekundi vältel. Iga põletatud kg keskmise koostisega põlevkiviõli annab täielikul põlemisel temperatuuril 0° ümmarguselt $13 \frac{m^3}{kg,\ t^0,\ 760\ mm\ Hg}$. Tegelik maht on aga märksa suurem, näiteks temperatuuril 1000° C, nagu see koldes valitseb, on $Vg_{1000} = 13 \frac{273+1000}{273} =$ $= 61\ m^3/kg$.

Õli pihustamiseks või udustamiseks kasutatakse: 1) katlaauru, 2) suruõhku, 3) õlisurvet.

Esimene pihustamisviis on kõige lihtsam ja kättesaadavam, sest auru on, välja arvatud sisseküimisel, alati olemas. Need pihustid on lihtsa ehitusviisiga, nende valmistamine odav ning käsitsemine turvaline. Pihustamiseks tarvisminev auru hulk oleneb pihusti konstruktsioonist ja koormatusest, s. o. õli hulgast ja kõigub 0,3 kuni 0,7 kg auru 1 kg õli kohta. Keskmiselt võib arvestada 0,5 kg. Et aga 1 kg põlevkiviõli aurustamise arv on umbes 10 kg, siis võib arvestada, et keskmiselt tarvitab pihusti 5% katlas produtseeritud auruhulgast.

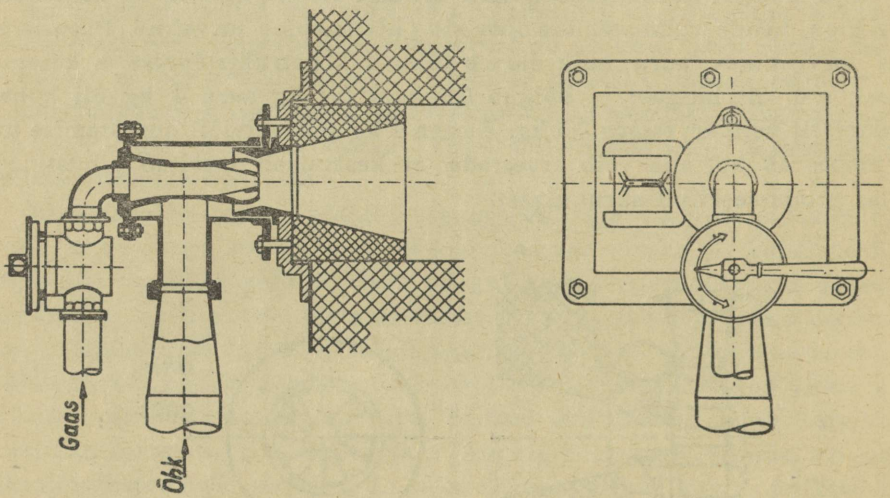


Ex bibl. ms/v. Tart.

Joon. 11. Kombineeritud gaasi-õli põleti.

Teine pihustamisviis — suruõhu abil — ei erine konstruktiivselt ja põhimõttelt palju esimesest. Õhusurve peab olema mitte alla 4 atü. Need pihustid võimaldavad väga head põlemist ja kõrget kolde temperatuuri, sest puudub auru jahutav mõju. Nende pihustite „pikk ja tuline" leek nõuab koldele suurt pikkust. Suruõhu ülesandeks on siin ainult õli pihustamine ja põlemiseks tarvilik õhk tuleb juhtida eraldi,

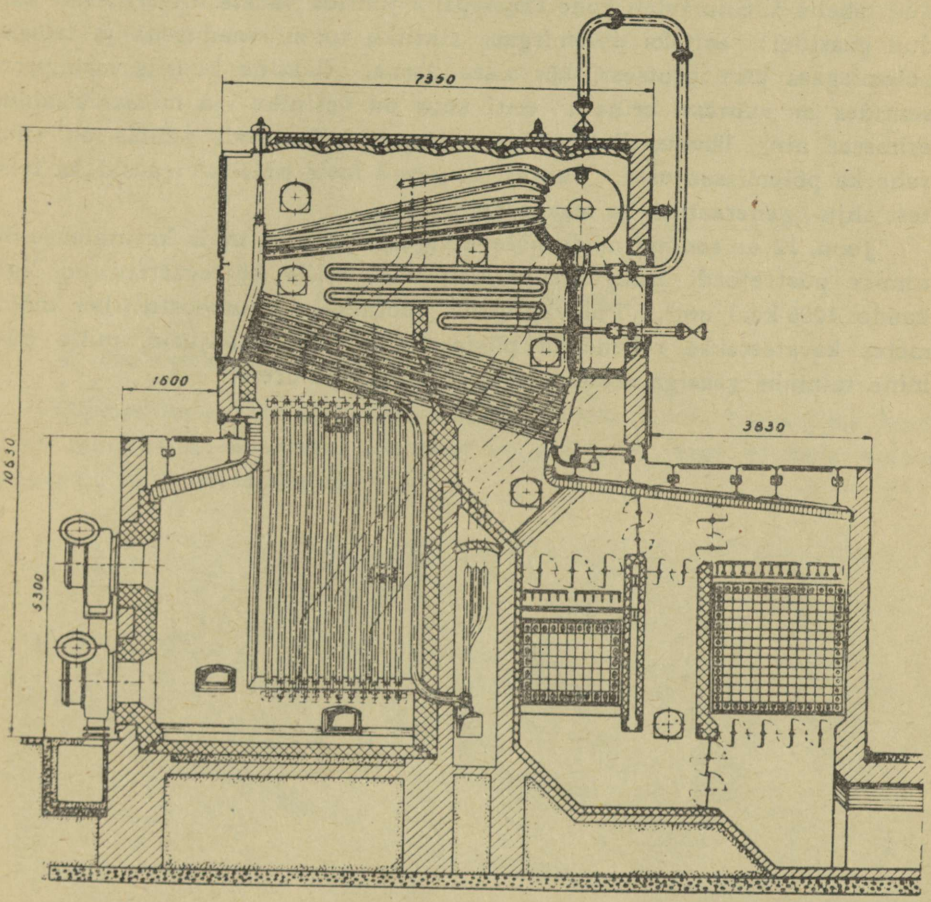
nagu seda tehakse aurupihustite puhul. On konstrueeritud ja kasutamisel ka õlipihustid madala surve jaoks, umbes 400 mm veesammast. Sellist survet suudab anda juba sepääsi ventilaator. Selle pihusti puhul juhitakse kõik õhk, mitte ainult pihustamiseks, vaid ka põlemiseks vajalik, läbi pihusti koldesse. Seega täidab pihusti ühtlasi õhu eelsoojendaja ülesandeid. Sääraste pihustite paremuseks kõrgesurve-pihustitega võrreldes on nende nn. „pehme" leek, mis on lühem ning ühtlasi laiem ja järelikult ei ole nii palju seotud kolde kujuga kui esimeste pihustite puhul. Seda pihustit võib kolde avause eest kõrvale keerata šarniirühenduse tõttu. Seega on loodud võimalus puhastada pihusti suuet koksijäänustest.



Joon. 12. Gaasipõleti.

Kolmas pihustamisviis, kus õli juhitakse koldesse surve abil, omab teise viisi paremuse, s. o. siin puudub jahutava auru mõju ja samal ajal saavutatakse „pehme ja lai" leek. Pihusteid, mis töötavad säärasel põhimõttel, nimetatakse ka tsentrifugaalseiks, sest nende suudmed on varustatud keermekujuliste soontega, mille kaudu umbes 8 atü ja suurema surve all küllaldaselt eelsoojendatud õli juhitakse koldesse. Soonekeste tõttu ei paisata õli pihustist väljumisel koldesse mitte otse pihusti telje suunas, vaid tiirlemise tõttu paisatakse õliosakesed ka kõrvale. Pihusti suudmel kaotab õli väljumisel kohe surve, mistõttu õlitilgad purunevad peenosadeks — uduks, mis kistakse kaasa koldesse juhitud õhuvooluga.

Selline pihustamisseadis, tavaliselt suuremate koormatuste jaoks, on küllalt kulukas, sest ta vajab kõrgrõhu-õlipumpa.



Joon. 13. Gaasküttega sektsionaal-kaldveetorukatel.

Kõigi kolme pihustamisviisi puhul tuleb õli eelsoojendada. Mida kõrgem eelsoojendus, seda madalam on õli sitkus ja seda kergemalt ning intensiivsemalt pihustub õli, järelikult seda parem on põlemine. Põlevkivi-kütteõli eelsoojendatakse võimalikult lähemale süütetemperatuurile, kuni 80° C. Väga soovitatav on just põlevkiviõli jaoks pihusti šarniirühendusega, mis võimaldab pihusti kõrvalekeeramist puhastuse otstarbeks.

Põlevkivigaas omab praegu kütusena tähtsust vaid kaevandusrajoonis, kus teda utteprotsessi kõrvalsaadusena kasutatakse kütteks. Põlevkivigaasi põlemistehnilised omadused võrreldes teiste gaasidega on toodud tabelis 5. Siin tuleb kohe tähelepanu juhtida vahele nii erinevalt saadud gaasidel: esiteks põlemisgaas sihiliku tootmissaadusena ja teiseks põlemisgaas utmisprotsessi kõrvalsaadusena. Gaaside koostis mahuprotsentides on suuresti erinev: eriti suur on vesiniku- ja metaanisisaldus esimesel ning lämmastikusisaldus viimasel. Vastavalt sellele on suur vahe ka põlemissoojuses. Suurelt erinevad meie põlevkivigaasid ka teistest ahju-, generaatori- ja maagaasidest.

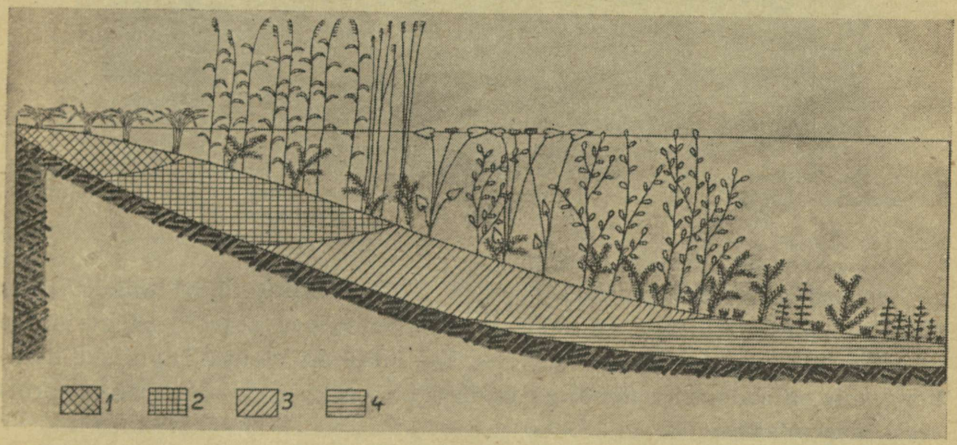
Joon. 12 on toodud näide põlevkivigaasi põletist, mida kasutatakse õli utmise püstretordi jääkgaasi põletamiseks, mille küttevääртus on ligikaudu 1000 kcal/nm^3. Põlevkivigaasi tootmiseks suurtööstuslikes mõõtmetes kavatsetakse rakendada püstasendilisi kamberahjusid, mille kütmine toimuks gaasiga eraldi asetsevaist generaatoreist.

III. Turvas.

1. Turbasood ja turvas.

a) Soostumine.

Olemasolevate soode turbaladestusi uurides võime botaanilise koostise, mineraalide-sisalduse, soopõhja reljeefi jne. järgi eristada kolmesuguseid soostumise tingimusi.

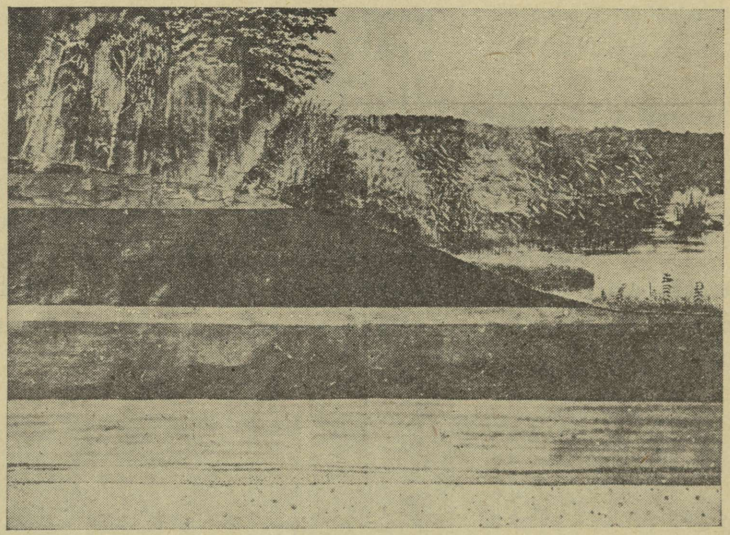


Joon. 14. Järve kinnikasvamise skeem (prof. V. N. Sukatševi järgi). 1. Tarnaturvas. 2. Rooturvas. 3. Sapropeelturvas. 4. Sapropeel.

Ühed sood tekivad veekogude kinnikasvamisel ehk täitumisel taimsete ja loomsete organismide ladestumisega veekogu põhjas. Sellele ladestusele lisandub enamasti mineraalmaadelt juurdeuhetud liiva ja savi ning puude tolmuterakeste ja kõrgemate taimede osi. Põhja sadestunud segule on õhuhapniku juurdepääs raskendatud ja ta muutub seal mitmesuguste

mikroorganismide mõjul elastseks kolloidseks massiks — järvemudaks (kreeka k. sapropeel, rootsi k. gyttja), mille värvus olenevalt mineraalide-lisandusest on hall, oliivroheline, pruun, roosa või must.

Järvemuda kihi kasvades ja vesikatte õhenedes hakkavad arenema osjad, pilliroog, tarnad jm., mille tagajärjel endine vaba veekogu muutub madalsooks.



Joon. 15. Madalsoo tekkimise skeem (C. A. Weberi järgi). 1. Diluviaal-aluspõhi. 2. Savimuda (gyttja). 3. Lubjamuda (gyttja). 4. Turbamuda (dy). 5. Rooturvas. 6. Tarnaturvas. 7. Lodumetsaturvas. 8. Männimetsaturvas.

Teised sood, s. o. enamik soodest üldse, tekivad mineraalmaal, kus sõltuvalt pinnareljeefist on takistatud sademetevee äravool ja aurumine on väiksem kui sademetevee lisandus. Sel juhul on loodud liigniiske keskkond, mis on soodus veenõudliku taimestiku kasvamiseks ja soostumisprotsessi arenemiseks.

Väga laialdaselt areneb soostumine eriti metsamaadel, kus selle põhjuseks peetakse õhu- ja veerežiimi muutusi metsaaluse pinnase ülemistes kihtides. Sageli põhjustab metsade soostumist ka naabruses asetsev raba, mille veega küllastatud sammalkate nihkub edasi ja võidab metsalt maad juurde.

Kolmandad sood tekivad allikavete mõjul. Neid soid esineb kõige vähem. Allikaveed valguvad laiali nõlvakute alla ja soodustavad seal niiskuselembeste taimede levikut. Need veed on enamasti rikastatud

mineraalsooladega, seepärast areneb allikavete mõjukonnas väga liigirikas sootaimestik. See koosneb lehtpuu- ja pruunsambla-liikidest, mille hulgas harva leidub üksikuid valgesamblaid.

Kõik need kolmesuguse päritoluga sood edasi arenedes ja kasvades jõuavad aegade jooksul staadiumi, kus nende varustumine veega toimub vaid atmosfäärist. Selles staadiumis taganeb nõudlikum sootaimestik ja annab ruumi vähem nõudlikule rabataimestikule, nagu valgesammal (*Sphagnum*) jm.



Joon. 16. Raba (kõrgsoo) tekkimise skeem (C. A. Weberi järgi). 1. Hilisdiluviaalaluspõhi. 5—6. Roo- ja tarnaturvas. 7. Lodumetsaturvas. 8. Männimetsaturvas. 9. Rabakaturvas. 10. Vanem *Sphagnum*-turvas. 11. Piirihorisont. 12. Noorem *Sphagnum*-turvas.

b) Turvastumisprotsess.

Turvastumise all mõistetakse turba tekkimist taimestikust ja turba pidevat valmimist, s. o. süsinikurikkamaks muutumist. Turvastumine on seega orgaanilise aine söestumine turba tekkimise ja valmimise intervallis. Turvas ise on maapõue süterea kõige noorem liige. Turba asukohta teiste kütteainete hulgas näitab tabel 13, kus on esitatud keskmised ja ümmardatud andmed puidu-, turba-, pruun- ja kivisöeliikide niiskuse, keemilise koostise ja küttevääruse kohta.

Turvast on soodsais tingimustes võimelised andma kõik taimeliigid alates vetikaist, sammaldest ning rohttaimedest kuni põõsaste ja puudeni.

Turbasoodes, kus toimub looduslik taimestiku juurdekasv ja surnud taimestiku turvastumise tingimused on tavaliselt soodsad, suureneb turba hulk aasta-aastalt. Iga-aastane taimestiku juurdekasv lisab turbasoo pinnale aasta-aastalt uue kihikese turvastumismaterjali surnud taimestiku näol, mis kohe keemilis-bioloogilistele protsessidele alludes muutub aeglaselt turbaks.

Turvastumise väliseks tunnuseks on nähtus, et osa taime struktuurilist ainet muutub struktuurituks, pruuniks kolloidseks (sültjaks) massiks, mis jääb nagu sideainena veel struktuuri säilitanud osakeste vahele. Seda pruuni struktuuritut kolloidset massi nimetatakse humiiniaineks.

Söestumine, selle hulgas ka turvastumine, on looduses toimuv kütuste vääristumise protsess.

Piltliku ülevaate saamiseks kütteaine loodusliku vääristumise tulemustest toome tabelis 13 võrdluseks keskmisi ja ümmardatud andmeid puidu, turba, pruunsöe, kivisöe ja antratsiidi süsinikusisalduse ja küttevääruse kohta. Parema võrdluse saamiseks on süsinikusisaldused ja küttevääruse arvestatud nende ainete orgaanilise (s. o. vee- ja tuhavaba) osa kohta (K. 21, lk. 2).

Nagu andmetest nähtub, asetseb turvas ühelt poolt vääristumata kütteaine — puidu — ja teiselt poolt pruunsöe vahel, olles puidust parem ja pruunsöest nõrgem. Noorema turba põlemisväärtus on keskmiselt 5000 ja vanemal 5700 kcal/kg, arvestatult orgaanilise aine kohta. Äärmised põlemisväärtuse kõikumise piirid on veelgi laiemad ja ulatuvad umbes 4600 kuni 6200-ni, s. o. peaaegu puidust pruunsöeni.

Nagu öeldud, on turvas looduslike süterea esimene ja kõige noorem liige. Tema noorust näitab ka tema lademete geoloogiline kuulumine uue aegkonna kvaternaarajastu alluviaalsesse (s. o. kõige viimasesse) ajastikku. Ainult õige väike osa turbalademeid kuulub diluviaalsesse ajastikku. Need on interglatsiaalsed (jäävaheaegsed) lademed ja on suuremalt jaolt mineraalkihtidega kattunud. Ka meil on neid siin-seal vähemas ulatuses leitud. Tööstuslikku tähtsust nad praegusel ajal ei oma. Alluviaalsed lademed on kõik kaetud kasvava taimestikuga ja nad kujutavad endast koos oma pinnakattega meile kõigile tuntud turbasoid.

Üldiselt ei ole turbas söestumisprotsess, mis seisneb süsinikusisalduse suurenemises, jõudnud veel nii kaugele areneda kui pruunsöes või teistes vanemates looduslikes sütes. Turbas esineb peale struktuuritu kolloidse pruuni massi tingimata veel teatav protsent lagunemata taimorganismi osi, mis on säilitanud oma rakulise struktuuri ja mida teistes looduslikes sütes enam ei leidu. Kui vanemais turvastes ei ole rohke struk-

tuuritu massi tõttu taime struktuurilisi osi palja silmaga enam näha, siis mikroskoobi all on nad veel selgesti märgatavad.

Tabel 13. **Tahkekütuste omaduste näitarve.**

	Niiskuse- %		Orgaanilise aine elementaarne koostis %			Orgaanilise aine kütteväärtus kcal/kg
	Lademe	Õhukuiva	C	H	N+O+S	
Puit	60	15	50	6	44	4500
Turvas, noorem	90	20—30	55	6	39	5000
„ vanem	85	20—30	60	5,5	34,5	5700
Pruunsüsi	35	20	67	5,1	27,9	6500
	50	20—30	70	5	25	6200
	30	20	72	5	23	6400
	15	—	76	5	19	7100
	8	—	78	5	17	7400
Kivisüsi: Leeksüsi	4	—	80	5	15	7600
Gaasisüsi	2,5	—	83	5	12	7900
Koksisüsi	1,5	—	87	5	8	8400
Tõrvavaene	1	—	91	4,5	4,5	8700
Antratsiit	0,5	—	96	2	2	8400

Humiinaine on seega taimede lagunemise või biokeemiliste muutumisprotsesside väga mitmekesiste produktide kogunimetus. Suurem osa humiinaineid on happelise iseloomuga. Neid nimetatakse humiinhapeteks.

Osa humiinhappeid on vees lahustuvad. Neid nimetatakse Sven Oden'i järgi fulvohapeteks. Teine osa humiinhappeid on vees lahustumatud (ainult dispergeeruvad vees), kuid lahustuvad ammoniaagi vesilahuses, alkali- ja alkalikarbonaadi-lahuses. Humiinhapped jagunevad veel alkoholis lahustuvaiks ja alkoholis mittelahustuvaiks. Esimesi nimetatakse humaatomelaanhapeteks, teisi huumushapeteks. Huumushapped moodustavad turba humiinhappe peamassi.

Turbasoo pinnale taimekasvu tulemusena lisandunud surnud taimede kihikesed kui ka kõik nende all asetsevad eelmiste aastate kihikesed alluvad pidevalt keemilisele muutusele, mis tavalistes turvastumistingimustes toimub söestumise, s. o. orgaanilise aine süsinikurikkamaks muutumise suunas. Seepärast on turvas tavaliselt seda süsinikurikkam ja omab seda suurema põlemis- ja kütteväärtuse, mida vanem ta on ehk mida sügavamal ta turbakihis (või -lademes) asetseb. Erandjuhud, mis sageli esi-

nevad mineraalmaade soostumisel tekkinud turbasoode korral, on ilmselt tingitud erinevaist kliimalistest, toitevee ja muudest tingimustest turba tekkimise algperioodil, kui turvas asetses alles turbasoo pinnakihis.

Turba tekkimine algab turvast moodustavate taimede lagunemisega. Lagunemise all mõistame seda biokeemilist protsessi, mille tulemusena taim kaotab oma organismi või selle osade struktuuri. Lagunemine, s. o. struktuuri muutusega seoses olev biokeemiline protsess võib kulgeda, olenevalt õhu juurdepääsu võimalustest lagunevale ainele, kas turba valmimise, s. o. süsinikusisalduse poolest rikastumise või hapendumise, s. o. hapnikusisalduse poolest rikastumise suunas. Hapendumise all tuleb siin järelikult mõista protsessi, mille tulemusena orgaaniline aine muutub hapnikurikkamaks ja süsinikuvaesemaks, seega täpselt vastupidist protsessi turvastumisele. Siinkohal tuleb meeles pidada, et nimetatud hapendumisprotsessiga on väga lähedalt seotud lõplik hapendumine ehk aeglane põlemine, mille tulemusena orgaanilise aine süsinik muutub aeglaselt ja leegita süsihappegaasiks (või teatud tingimustel ka vinguks) ja vesinik veeks.

Surnud taimede lagundamisel on kaastegelasteks mitmesugused mikroobid, kes ongi taimede struktuuri muutumise peapõhjustajaiks. Kui surnud taimele õhu juurdepääs on küllaldane, siis arenevad temas mikroobide aeroobsed (õhku vajavad) liigid, kes, tarvitades taime koostise teatud aineid, nagu valke, suhkruid, tselluloosi jne. endale toiduks, lagundavad taime võrdlemisi kiiresti. Hapendumine kui ka aeglane põlemine toimub sel juhul aeroobsete mikroobide kaastööl. Ka pärast mikroobide elutegevuse lõppu jätkub õhu küllaldase juurdepääsu korral orgaanilise aine hapendumine ja aeglane põlemine, kuni tahke faasina järele jääb ainult taime mineraalne osa, mis koosneb tavaliselt vastavate elementide (Ca, Mg, Fe, Al, Na, K, P, S) hapenditest. Kui aga aeglaseks põlemiseks vajalik küllaldane õhu juurdepääs on takistatud, siis ei saa see põlemine toimuda lõpuni. Järele võib jääda osa poolenisti ja osa mitte hapendunud taimeaineid. Kui õhu juurdepääs järelejäänud ainetele on veelgi enam takistatud (küllaldane vee juuresolek), siis ei suuda aeroobsed mikroobid enam eksisteerida ja surevad. Nende asemele võivad tekkida anaeroobsete (õhku mittevajavate) mikroobide liigid, kes oma hapnikutarvet saavad rahuldada taimede (turba) keemiliselt seotud hapniku arvel. Nende mikroobide kaastegevusel toimub taimeaine (turba) rikastumine süsinikuga, sest osa seotud hapnikku kasutavad mikroobid oma elufunktsioonideks ja selle tagajärjel vabaneb see muidugi süsihappegaasina. Järelejääv aine jääb seeläbi vastavalt süsinikurikkamaks. Seega anaeroobsed mikroobid alustavad ja soodustavad turvastumisprotsessi,

samuti nagu aeroobsed mikroobid alustavad ja soodustavad hapendumisprotsessi. Nagu aeroobsete mikroobide kaasabil alustatud hapendumisprotsess jätkub lõpuks soodsail tingimustel ka ilma nende osavõtuta, nii võib arvata, et ka anaeroobsete mikroobide poolt alustatud turvastumisprotsess võib soodsail tingimustel jätkuda ilma nende kaastegevuseta.

Kiiretempolisem taimede lagunemine nii hapendumise kui turvastumise suunas toimub turbasoode kõige ülemistes kihtides, kus mainitud protsessides saavad kaastegevad olla aeroobsed ja anaeroobsed mikroobid.

Sügavamais turbakihtides ei ole leitud ei aeroobseid ega anaeroobseid mikroobe, mistõttu turvastumisprotsess toimub seal üsna aeglaselt.

Et mõne ajajärgu turba taimestik kliimalistest oludest tingituna on võinud enam laguneda, hapenduda või turvastuda kui temale eelnenud ajajärkude turba taimestik, siis võivadki süsinikusisalduse suhtes turbakihtides esineda ebareeglipärasused. Samuti on kliimalistest ja toitevee muutustest tingitud turbasoo taimestiku muutumine, mis omakorda tingib turba keemilise koostise muutumist.

Ka kõik taimorganismi osad ei allu ühesuguse kergusega lagunemisele. Nii võime näiteks madalsoode turba puhul märgata, et lagunenud või humiinaineks muutunud on peamiselt tamestiku maapealne osa, millele õhk paremini juurde pääseb, kuna juurestik, millele õhu juurdepääs on vee tõttu takistatud, on võrdlemisi hästi säilinud. Näitena võime vaadata tarnaturvast, kus võrdlemisi hästi humiinistunud turbas leiame üsna tervetena säilinud tarnajuurekesi. Võrdlemisi vastupidavad on ka mitmesuguste rohttaimede seemned. Erilist tähelepanu väärivad selles suhtes puude õietolmu terakesed, mis on väga vastupidavad.

c) Turba humiinistumise aste.

Turvas koosneb taimorganismi osadest, mis on säilitanud oma struktuuri, ja struktuuritust pruunist kolloidsest massist — humiinainest, mis on tekkinud taimorganismi osadest keemilis-bioloogiliste protsesside tulemusena. Humiinaine asetseb nagu sideainena struktuuriga taimeosakeste vahel. Taimede algaval turvastumisel on humiinainet võrdlemisi vähe ja turvas koosneb peamiselt struktuuriga taimeosakestest. Mida kaugemale on turvastumisprotsess arenenud ehk mida vanem on turvas, seda suurem on temas humiinaine-sisaldus. Humiinaine-sisaldus turbas mahuprotsentides ongi võetud turba omadust määravaks teguriks ja seda nimetatakse turba humiinistumis- (huminifikatsiooni-) astmeks. Varemalt on seda sageli nimetatud turba lagunemis- ja ka kõdunemisastmeks. Neid nimetusi ei saa pidada otstarbekohaseks, sest me ei saa selgitada,

milline mahuprotsent taimeosi on lagunenud, sest osa neist võib ju olla lagunenud lõplikult, s. o. süsihappegaasiks ja veeks. Meid huvitab ainult, milline mahuprotsent humiinainet turbas järel on. Seega on kõige otstarbekohasem termin „humiinistumisaste".

d) Turbasoode tekkimise perioodid.

Turbasood on enne- ja pärastjääaegse päritoluga. Ennejääaegsed turbalademed on kaetud paksu moreenkihiga. Neid on avastatud sügavate kaevude ja muudel sügavpuurimistel, kaevandustes jne. Nad on peaaegu samasuguse botaanilise koostise ja humiinistumisastmega kui meile nähtavad praegusaja sood. Turbalademe paksus ulatub neis kuni 5 m. Praktilist tähtsust neil sügaval mineraalmaa all asetsevail turbalademeil ei ole, sest nende väljatoomine sügavustest on raskendatud.

Maapealsete, nähtavate turbasoode tekkimise algus arvatakse ulatuvat ajastusse 7500—8000 a. e. m. a. Sellest ajast peale kuni tänapäevani on Läänemere kaldaäärsete maaosade kerkimise ja vajumisega ühenduses Skandinaavia ja Soome teadlaste poolt kindlaks määratud selle mere kujumuutuses 5 tähtsamat faasi nimetustega: 1) Yoldia meri, 2) Antsülusjärv, 3) Litoriina-meri, 4) Limnea-meri ja 5) Läänemeri. Mere kujumuutusega on seoses ilmastiku kõikumised Euroopas. Blytt Sernander'i jt. järgi märgitakse neid ilmastikuperioode järgnevalt (tab. 14):

Tabel 14. **Kliimalisi perioode Euroopas.**

A e g	Läänemere ajalugu	Periood	Ilmastik
Käesolevast ajast kuni 500 a. e. m. a.	Läänemeri	Subatlantiline	Jahe ja märg
500 — 3000 a. e. m. a.	Limnea-meri	Subboreaalne	Soe ja kuiv
3000 — 5300 a. e. m. a.	Litoriina-meri	Atlantiline	Soe ja märg
5300 — 7500 a. e. m. a.	Antsülusjärv	Boreaalne	Soe ja kuiv
7500 — 7900 a. e. m. a.	Yoldia meri	Subarktiline	Külm
7900 — 11 500 a. e. m. a.	Paisjärved	Arktiline	Kõle külm

Postglatsiaalse (pärastjääaegse) taimekasvu kohta on rootsi teadlase L. Post'i poolt toimetatud uurimisi turbalademeis aastatuhandeid hästi

alalhoiduvate puude õietolmuterakeste kaudu. Tolmuterakesed kanduvad õitsemise ajal tuulega laiali turbasoo pinnale ja mattuvad sootaimestiku juurdekasvamisel ja selle turvastumisel turba sisse. Turbas leiduvate tolmuterakeste kaudu saab kindlaks määrata antud turbakihi tekkimise ajal kasvanud metsaliike. Puuliikide nõudlusest ilmastiku suhtes võib tuletada ilmastiku iseloomu. Puuliikide vaheldus näitab kliima jahenemist või soojenemist perioodide viisi. Tolmuterakeste esinemise kohta turbaladestuse profiilis koostatakse liigilised diagrammid, mis näitavad ühe või teise puuliigi esinemist antud turbakihi tekkimise perioodil.

Tolmuterakeste diagrammide põhjal leidis L. Post, et turbalademe nn. piirihorisont on tekkinud ühel ja samal perioodil kõigil Rootsi turbasoodel. Sama piirihorisondi esinemine ja samal perioodil on leitud ka teiste sooteadlaste poolt kõigil Lääne-Euroopa ja NSV Liidu turbasoodel.

Märkus: Piirihorisont on kõrge humiinistumisastmega (40—60%) 20—50 cm paksune turbakiht, mis ladestub rabades 2—3 m sügavuses. Tema tekkimise aega arvatakse subboreaalsesse perioodi, s. o. 3000—500 aastani e. m. a., kus tunnuste järgi valitses kuiv ja soe kliimaperiood, mis soodustas turba head lagunemist.

e) Turbasoode taimkate.

Soodes on sõltuvalt veerežiimist ja õhutemperatuurist taimekasvutingimused sootuks erinevad kui maismaal. Iga-aastane sootaimestiku juurdekasv ja taimejäänuste turvastumine sealsamas koha peal loob keskkonna, kus ei ole enam mineraaltoitesoolasid nõudlikumate taimede arenemiseks ja valitsema jäävad sootaimed, mis lepivad lühema vegetatsiooniperioodiga ja vaese ning märja pinnasega. Nii muutuvad taimekasvutingimused soodes järjest halvemaks.

Taimestiku toiteolude järgi jagatakse sood 3 liiki: eutroofsed (heade toiteoludega), mesotroofsed (keskmised) ja oligotroofsed (kehvad).

Eutroofsete toiteoludega soodes on tagatud mineraalsoolade alaline juurdevool uhtvetega. Seepärast on siin taimkate väga liigirikas, alates puurindest ja lõpetades samblarindega. Puudest esinevad kask, lepp, kuusk, mänd, paju, paakspuu jne.; puhmastest sinikas ja mustikas. Rohurindes kasvavad kõik tarna liigid, pilliroog, sookastik, osi, soopihl, varsakabi, angervaks, sõnajalg jne. Samblarindes esinevad kõik pruunsambla (lehtsambla) liigid ja nõudlikumad rabasamblad.

Mesotroofne sootaimestik esineb eutroofse ja oligotroofse vahepeal. Puurinne koosneb siin peamiselt männist ja kasest. Puhmarindes kasvavad kanarbik, hanevits, küüvits, sookail jt. Rohurindes arenevad enamasti niitjas ja pudeltarn ning villpea.

Oligotroofses keskkonnas esineb puudest vaid kääbusmänd, puhmastest hanevits, küüvits, sookail, sinikas, kukemari, jõhvikas. Rohurindes kasvavad vaid villpea, rabakas, nokk- ja huulhein, üksikjuhtudel ka mudatarn. Samblarindes esinevad kõik turbasambla *(Sphagnum)* liigid.

f) Sootüübid.

Soo tüübi määrab peamiselt temas ladestuva turbaliigi ülekaalus olev botaaniline koostis.

Turba üldise klassifikatsiooni järgi jagatakse turbaladestused 3 tüüpi: madalsoo, üleminekusoo ja raba (kõrgsoo). Need tüübid jagatakse omakorda veel gruppidesse, millede lähem selgitamine jääb siin ruumipuudusel ära.

Madalsooturvas ladestub rikkalikes mineraaltoitetingimustes neutraalses või aluselises keskkonnas. Turba botaaniline koostis on eutroofne. Turvas koosneb enamasti osja-, tarna-, pilliroo-, puu-, pruunsambla- ja rabakaturbast, kuhu seltsib vähesel määral ka valgesamblaturvast. Turba keskmine humiinistumisaste on kõrge, 50—60%. Keskmine tuhasisalduse % on samuti kõrge, 6—18%. Turbalademe keskmine paksus ulatub kuni 3,0 m-ni.

Üleminekusoo turbalade koosneb madalsoo ja raba vahepealsetest taimedest. Botaanilises koostises esinevad mineraalainete järel vähenõudlikumad mesotroofsed taimed, nagu niittarn, pudeltarn, villpea, rabakas jne.; puudest leidub männi ja kase osiseid; samblatest esineb pruunsambla ja nõudlikumaid valgesambla liike. Turba keskmine humiinistumisaste ulatub 40%-ni; tuhasisaldus 4—5%. Reaktsioon on nõrgalt hapu.

Raba- (kõrgsoo-) turvas ladestub vaeses mineraaltoitumise tingimustes. Ta koosneb peamiselt oligotroofsest rabataimestikust, nagu valgesamblast ja üksikuist pruunsamblaist, rohttaimestikust, nagu villpeast, rabakast, nokkheinast, huulheinast jt.; puhmastest esinevad küüvits, hanevits, sookail jt.; puudest kääbusmännid. Rabaturba keskmine humiinistumisaste on madalam kui teistel sootüüpidel. See kõigub keskmiselt 30% ümber, alates 10% ja ulatudes 70%-ni. Tuha protsent 2—4. Reaktsioon hapu.

g) Kütteturbasoode karakteristika.

Peale soo asukoha küttetarvitaja ja juurdepääsuteede suhtes määrab kütteturba-soo sobivuse tema kütteväärtus, mis sõltub turba botaanilisest koostisest, tema humiinistumisastmest ja tuhasisaldusest.

Botaanilise koostise järgi on kõrgema kütteväärtusega puiduturvas, sellele järgnevad tarna-, pilliroo-, kanarbiku-, pruunsambla- ja lõpuks valgesamblaturvas. Turba orgaanilise aine kütteväärtuse kõikumised

botaanilise koostise järgi jäävad 5—7% piiridesse. Kõige rohkem mõjustab kütteväärtust turba humiinistumisaste. P. Vorlõgin'i andmeil annab iga humiinistumisastme 10% turba kütteväärtusele juurde ca 200 kcal/kg. Kui näiteks täiesti humiinistumata puhmaturvas (kanarbiku-sookailu) annab 4600 kcal/kg, siis sama botaanilise koostisega 50%-lise lagunemisastmega turvas annab 4600 + 200 ×5 = 5600 kcal/kg jne.

Turba kütteväärtust vähendab veel tuhasisaldus. Nii vähendab iga 1 tuhasisalduse enamprotsent turba kalorite arvu 1% võrra.

Lõpuks on veel tähtis kütteturba-soo valikul turbalademe kändudesisaldus. Kändude, juurikate ja puutüvede esinemise määr turbalademes on tähtis turba tootmise viisi määramisel. Näit. bagerturba tootmiseks kasutatav turbasoo peab olema võimalikult kännuvaba. Ka teiste tootmisviiside puhul, välja arvatud hüdroturba tootmine, mõjub tootmisprotsessile pidurdavalt kändude rohkus turbas.

2. Soode uurimisi.

Omaduste alusel on sood kasutatavad mitmesugusteks otstarveteks, nagu põllu- ja metsakultuurideks, kütte- ja alusturba tootmiseks, ehitusplaatide valmistamiseks jne. Viimasel ajal võetakse soid järjest kasvaval määral kütteturba tootmise alla.

Soode uurimise eesmärgiks on nende rakendamise võimaluste ja turba tagavarade väljaselgitamine.

Meil tarvitatakse 3 uurimisviisi:

a) Maršruutuurimine ehk ülevaatus.

Seda uurimisviisi tarvitatakse soodes, kus ei ole veel teostatud mingisuguseid uurimisi, aga mõnel turbatootmise ettevõttel on tekkinud huvi antud soo kasutamiseks. Maršruutuurimist toimetatakse sammumõõduga kaardi ja kompassi abil, kusjuures uurimispunktide võrk valitakse umbes 300—500 m vahekaugusega. Igas punktis määratakse soopuuri abil turba botaaniline koostis, humiinistumisaste ja turbalademe sügavus. Iseloomulikelt kohtadelt võetakse turbaproovid laboratoorseks analüüsimiseks.

b) Rekognostseeriv ehk ülduurimine.

Selle uurimisviisiga toimetatakse kõikide soode uurimist üleriigiliselt neis leiduvate turbatagavarade arvelevõtmise ehk inventeerimise otstarbel. Ülduurimise järgi kogutud andmete põhjal koostatakse soode kataster, mis

sisaldab kõik tarvilikud andmed iga soo kohta. Ülduurimist toimetatakse instrumentaalselt mõõtlindi ja nurgamõõduriistade abil. Selle uurimisviisi puhul määratakse peasiht ja uurimissihid 100—600 m vahekaugusega, olenevalt soomassiivi pinnasuurusest. Uurimissihtidel toimetatakse soopuuri abil soobotaanilisi uurimisi iga 100 m järel 0,3, 0,5, 1,0 m sügavuses ja edasi iga täismeetri kohal kuni mineraalpõhjani, mille koostis määratakse kindlaks.

Turbaproove laboratoorseks analüüsimiseks võetakse eri sootüüpide, eri botaanilise koostise ja humiinistumisastme kohaselt iga täismeetri läbilõikelt. Proovid võetakse kaalus ca 200 g ja toimetatakse laboratooriumi õhukindlalt suletud purkides looduslikus seisukorras, või kaalutakse koha peal grammilise täpsusega, pigistatakse vesi välja ja pakitakse proovid veekindlasse paberisse laboratooriumi transportimiseks.

Järvemuda proovid laboratoorseks analüüsimiseks paigutatakse laia kaelaga pudelitesse või purkidesse veega ülevalatult ja õhukindlalt kinnikorgitult. Kuivanud järvemuda proovid ei ole analüüsitavad.

c) Detail- ehk eriuurimine.

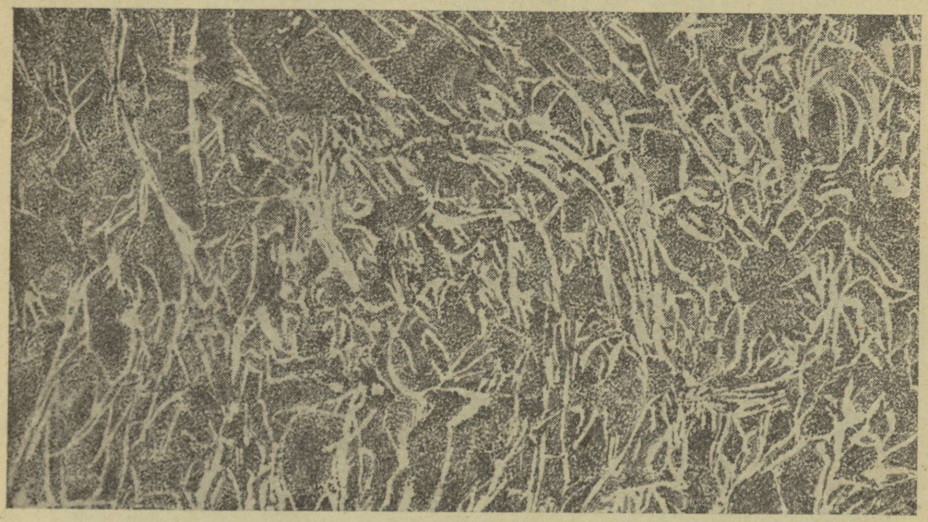
Eriuurimisele asutakse juhul, kui väljavalitud soo vastab kõigile tingimustele, mis on üles seatud kavatsetava ettevõtte edukaks töötamiseks. Enamik uurimiselemente on ühised nii üld- kui ka eriuurimisele. Viimasele lisandub veel topograafiline ja hüdrotehniline uurimine. Uurimissihtide võrk on eriuurimisel peaaegu 2 korda tihedam kui ülduurimisel.

Turbaproovid laboratoorseks uurimiseks võetakse eriuurimisel samade tingimuste kohaselt kui ülduurimiselgi iga 0,50 m lademe läbilõikelt (freesturbatööstuse tarvis uuritava soo puhul võetakse proovid koguni iga 0,25 m läbilõikelt).

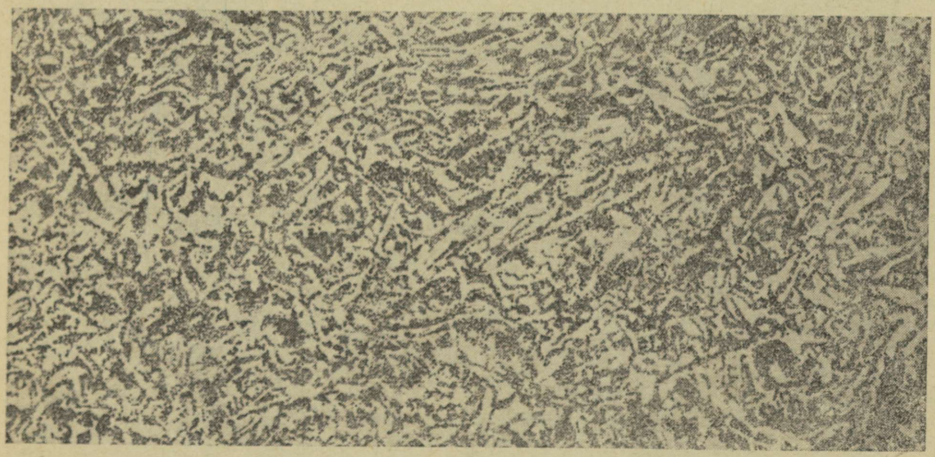
d) Turbalademe uurimine.

Lademe uurimine algab turba botaanilise koostise määramisega. Välitingimustes õnnestub tavaliselt määrata turba botaanilise koostise 3—4 peakomponenti, kuna edasine detailiseerimine toimub juba laboratooriumis mikroskoobi abil. Nõrga humiinistumisastmega turba koostise määramine toimub taimejäänuste struktuuri järgi palja silmaga või luubi abil, kuna lagunenuma turba koostist hinnatakse peale selle veel kompimise, haistmise ja muude kaudsete võtete ja tunnuste järgi. Koostises esineb alati mitme taimeliigi jäänuseid. Turbaliigi nimetuse annavad need taimeliigid, millede jäänuseid esineb turbas üle 20%, kusjuures vähemuses olevad liigid jäävad nimetuses ettepoole ja lõpus esineb enamuses olev või valdav taime-

liik, näiteks kanarbiku jäänuseid sisaldav valgesamblaturvas, metsa- või puiduturba-lisandiga pruunsamblaturvas, puiduturba-lisandiga tarnaturvas jne.



Joon. 17. Nõrgalt humiinistunud valgesambla- *(Sphagnum-)* turvas.



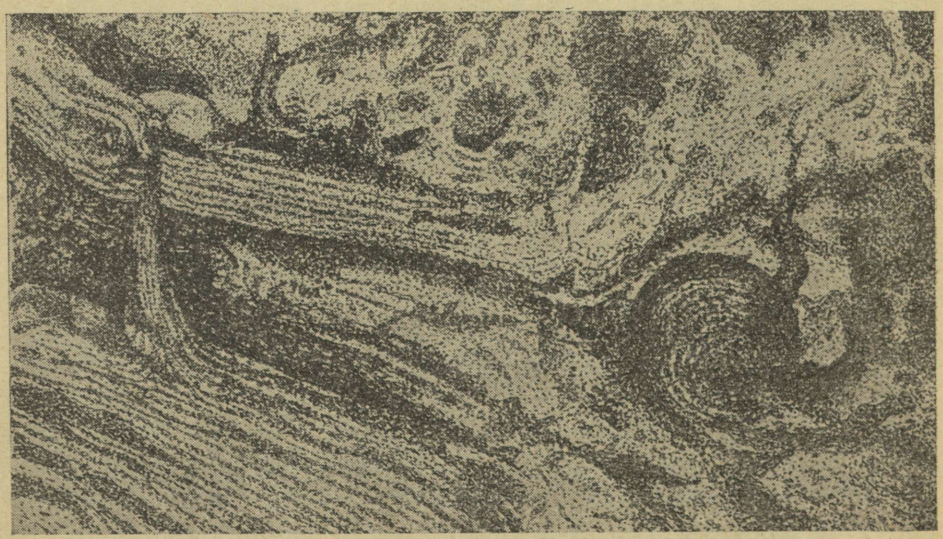
Joon. 18. Pruunsambla- *(Hypnum-)* turvas.

Meil esinevad valitsevad turbaliigid on:

valgesamblaturvas *(Sphagnetum)*. See turbaliik nõrgas humiinistumisastmes on helekollane kuni helepruun, struktuur kiudjas. Tugevasti humiinistunult on ta värvus tumepruun. Peos muljudes tundub mass seebitaoliselt libedana.



Joon. 19. Nõrgalt humiinistunud tarna- *(Carex-)* turvas.

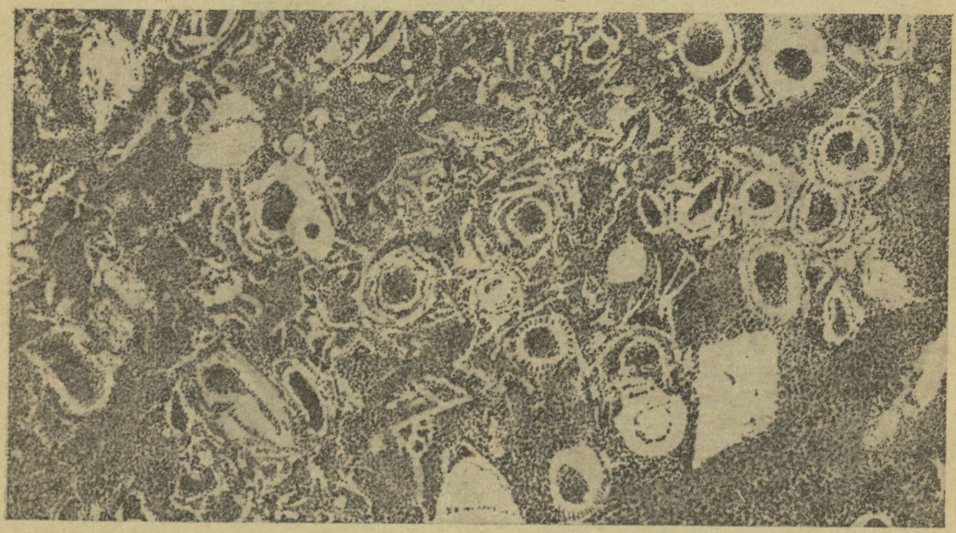


Joon. 20. Puiduturvas.

Pruunsamblaturvas *(Hypnetum)* on vähe humiinistunult kollakaspruuni kuni pronksi värvitooniga ja läikiv. Struktuur samuti kiudjas. Hästi humiinistunult on ta peaaegu must, vähese roheka või pruuni tooniga, näppude vahel hõõrudes tundub muredana.

Tarnaturvas *(Caricetum)* on struktuurilt peenekiuline, punakaspruuni värvusega. Hästi humiinistunult on ta pruunikasmust. See turbaliik on kergesti äratuntav heledate tarnajuurte kaudu murdekohas.

Puiduturvas *(Lignetum)*. Värvuselt on puiduturvas tumepruun kuni must. Peo peal hõõrudes tundub ta mügerikuna.

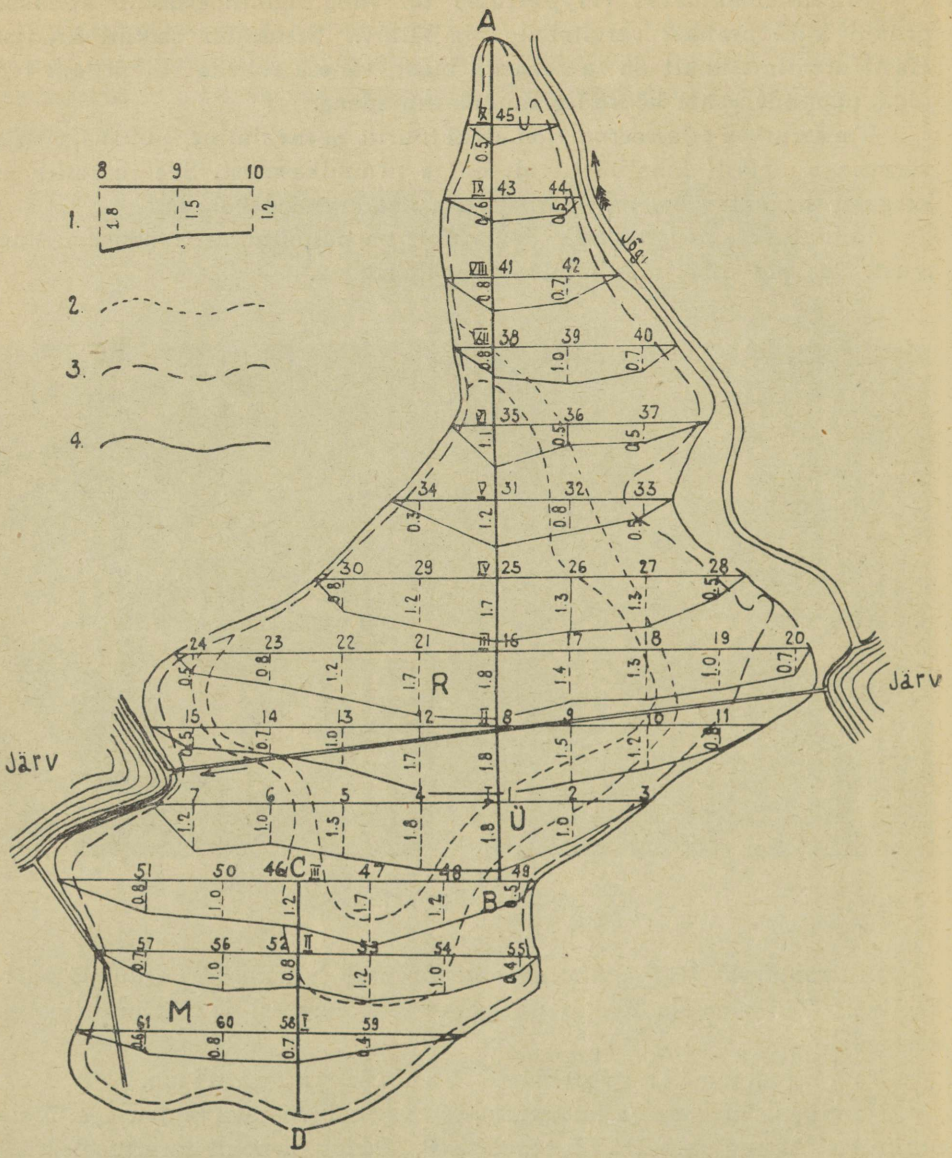


Joon. 21. Rooturvas.

Pillirooturvas *(Phragmitetum)* on värvuselt kollane, struktuur jämedakoeline. Turbamassis leidub pilliroovarte sõlmekesi ja pärlmutritaolisi kestakesi.

Turba humiinistumise astme määramine.

Humiinistumisaste on kütteturba-soo valikul määrava tähtsusega. Meie uurimistel kasutatakse NSVL teadlase P. Varlõgini poolt tarvitusele võetud humiinistumisastme määramise protsendilist meetodit. Selle meetodi järgi hinnatakse palja silmaga või luubiga struktuuritu massi protsent turbas. Alla 20%-lise humiinistumisastmega turvast peetakse kütteturbana kasutuskõlbmatuks, kuna turvas, mille humiinistumisaste on üle 20%, on vastava kvaliteediastmega kütteturvas.



Joon. 22. Soo ülduurimise plaan. Horisontaalmõõt 1:10 000, vertikaalmõõt 1:200. 1. Uurimissiht, punktide numbrid ja turbalademe paksus. 2. Sooliikide piir. 3. Tööstuslikult kasutatava sooala piir. 4. Uuritud sooala piir (nulljoon). *M* — madalsoo, *Ü* — üleminekusoo, *R* — raba, *AB* ja *BC* — peasihid.

3. Turba tootmine ja töötlemine.

a) Turba tootmise üldpõhijooni.

Turvast toodetakse kõige enam kütte otstarbeks. Peale selle toodetakse nooremat sammalturvast suurel hulgal loomadele aluspõhuks ja kompostide valmistamiseks. Turvast toodetakse samuti tunduval hulgal turbakoksi valmistamiseks, mida kasutatakse kas vääriskütteainena eriotstarveteks või mitmesuguste keemiatööstuste lähteainena. Vähemal hulgal turvast toodetakse veel muudeks tehnilisteks ja tööstuslikeks otstarveteks, nagu ehitus- ja pakkematerjaliks, nitrobakterite toiteaineks jne.

Turba kui noorima süterea liikme niiskus on võrdlemisi suur, ca 90%. Sellise niiskusesisaldusega turvas ei ole ei kütteks ega ka enamikuks muudeks otstarveteks otseselt kasutatav. Turba tootmise peamiseks ülesandeks on seega turba vabastamine liigsest veest. Et turba koostisse kuuluvad kolloidse (sültja) iseloomuga ained, nagu humiinained, siis ei ole vee tööstuslikku eraldamist pressimise teel senini tarviliku määrani korda läinud teostada.

Kindel viis kolloidselt seotud vee vabastamiseks on senini kuivatamine. Toorturba kunstlik kuivatamine, alates toorturba lademe niiskusest, ei tule, eriti kütteturba otstarbeks, kõne alla, sest toorturbas oleva vee väljaaurutamine nõuab enam soojuskaloreid, kui toorturbas olev kuivaine neid omab.

Kunstlik kuivatamine võib kõne alla tulla ainult järelkuivatusena, kui suurem osa niiskust on mõne odavama menetlusega eraldatud.

Toorturba veest vabastamiseks kasutatakse peamiselt kuivatamist päikese ja tuule abil. Puuduseks on siin asjaolu, et kuivatamine võib toimuda ainult suvekuudel, kui tööjõud on seotud hooajaliste töödega põllumajanduses.

Kunstlik turba kuivatamine osutub praeguse aja tehniliste seadmete juures tasuvaks alates turba 50%-lisest niiskusesisaldusest. Pressimise teel kemikaalide lisandusel on senini õnnestunud turba vabastamine veest kuni 60—65%-ni. Järelikult on olemas veel väike vahe (10—15%), mis takistab turba tootmise vabanemist selle menetluse järgi tema hooajalisest iseloomust. Pressimisel peale eelnenud turbamassi termilist mõjustust on aga saadud 37%-lise niiskusega turvas. Kui selle menetluse majanduslik külg osutub vastuvõetavaks, siis on oodata uut ajajärku kütteturba tootmise alal.

b) Kütteturba tootmise viise.

Kütteturba tootmiseks peetakse kõige sobivamaks toorturvast, mille humiinistumisaste on 30—60%. Madalama humiinistumisastmega toorturvastest saadakse kergema erikaaluga kütteturbaid ja kõrgema humiinistumisastmega toorturbad annavad kuivatamisel ja transpordil enam purunema kalduvaid kütteturbaid.

Kütteturvast toodetakse peamiselt viie tootmisviisi järgi. Vastavalt sellele nimetatakse ka toodetud kütteturba liike.

Nii tuntakse kütteturbana:

1) labidaturvast,
2) masinaturvast,
3) hüdroturvast,
4) freesturvast ja
5) brikett-turvast.

Kõigile tootmisviisidele on ühine see, et enne tootmisele asumist on vaja läbi viia turbasoo pinna kuivendus. Kui pind on metsaga kaetud, siis on vaja teostada ka puude ja kändude kõrvaldamine.

Pinna kuivendamise otstarbekaks läbiviimiseks peavad sellele eelnema loodimistööd. Vastava kraavide võrguga, mis koosnevad pea- ja abikanalitest ning pinna kuivatamise kraavidest, alandatakse toorturba niiskust kuni 85%-ni. Turbasoo pinna kuivendamine on vajalik soopinna kandevõime tõstmiseks ja freesturba tootmise korral ka produktsiooni tõstmiseks.

Tabel 15. **Kütteturba omaduste näitarve.**

Kütteturba liik	Niiskus	Küttevääртus kcal/kg
Labidaturvas	40	2760
Masinaturvas	30	3320
Hüdroturvas	30	3320
Freesturvas	50	2200
Brikett-turvas	10	4440

Ülalloetletud tootmisviisidest on 4 esimest rajatud puhtlooduslikule kuivatamisele päikese ja tuule abil, kuna viimane — brikett-turba tootmine — on seotud kunstliku kuivatamisega, kusjuures brikett-turba tootmise lähteaineks kasutatakse tavalist freesturvast, mida siis kunstlikult edasi kuivatatakse ja tükkideks pressitakse.

Tabelis nr. 15 on toodud ühe või teise tootmisviisiga meil toodetava kütteturba keskmine ja ümmardatud niiskus ja sellele vastav küttevääртus

juhtumil, kui lähteaineks on toorturvas, mille küttevääртus absoluutkuivalt on 5000 kcal/kg.

c) Labidaturvas.

Labidaturvas on vanim toodetavaist kütteturba liikidest. Seda tootsid turbasoode lähedased elanikud juba kauges minevikus. Seda toodetakse tema lihtsuse tõttu veel tänapäevalgi.

Labidaturba tootmine seisab turbasoost labidaga parajate tükkide (pätside) väljalõikamises ja õhu käes kuivatamises. Labidaturba puuduseks on teiste kütteturba liikidega võrreldes esiteks tema koredus (mahukas olek), sest temas jääb muutumatuks turbasoos ladestunud turbakihi struktuur, mistõttu turba kokkutõmbumine kuivamisel, eriti vähema humiinistumisastmega turvaste puhul, on minimaalne. Teiseks jäävad selle tootmisviisi puhul terveks ka kõik turbas leiduvad veega täitunud taimetorukesed, mistõttu vee väljaauramine kuivatamisel on aeglasem kui masinaturbal. Seetõttu jääb labidaturvas näiteks masinaturbast samasuguste kuivatamistingimuste puhul tavaliselt ca 10% märjemaks, kuigi labidaturba pätsi raskus seda peaaegu kunagi ei reeda. Labidaturba pätsi kergus on tingitud tema koredamast struktuurist, mitte aga vähesest niiskusest.

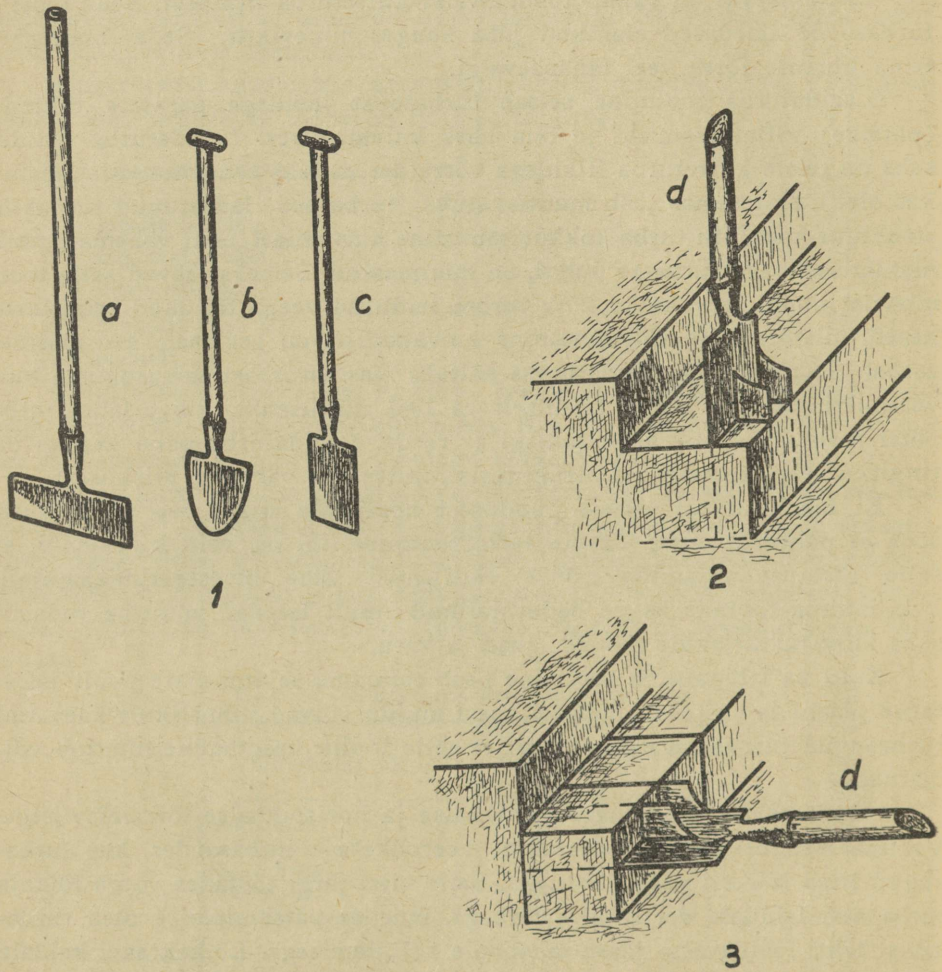
Et labidaturvast sellest puudusest hoolimata siiski veel toodetakse, seda ei põhjusta mitte üksnes tema tootmise lihtsus, vaid ka asjaolu, et selle tööstuse rajamine nõuab võrdlemisi vähe investeerimiskapitali. Labidaturba tootmiseks on hädavajalikud ainult labidad ja turba vedamiseks kuivatusväljakule mõned lauad ja käru.

Kuid ka labidaturba tootmine peab toimuma asjatundjate poolt koostatud plaani ja süsteemi kohaselt, sest muidu võivad juhuslikult kaevatud turbaaugud turbasood rikkuda, nii et selle lõplik kasutamine muutub võimatuks.

Labidaturvast toodetakse vertikaalse ja horisontaalse lõikamisviisiga. Vertikaalset lõikamist kasutatakse veerohketes turbasoodes, kus turbaaugud liiga kiiresti veega täituvad. Selle viisi järgi töötades võtab lõikaja turbapätsi labidale vertikaalse lõikega, murdes pätsi alumise otsa turbakihist lahti labidavarre järsu tahapoole kallutamisega. Lõikekraavi kaldale visatud turbapätsid asetab kaldaäärsele kuivatusväljakule kuivama teine tööline. Töö kiiruse suurendamiseks kasutatakse erilabidaid, mis ühe lõikega ühe või ka kaks turbapätsi kahest küljest lahti lõikavad.

Horisontaalse lõikamise puhul võtab tööline turbapätsi labidale horisontaalse lõikega, kusjuures pätsi kaks külge on vertikaalse lõikega enne lahti lõigatud, mida tavaliselt teeb teine tööline. Nii on selle viisi puhul grupis harilikult 4 töötajat: 2 lõikajat ja 2 kuivama asetajat.

Tööjõudlus labidaturba tootmisel oleneb turbasoo iseloomust ja töötajaist. Soodsa turbasoo ja vilunud tublide töötajate puhul on see ümmarguselt 1 m³ toorturvast inimese kohta tunnis ühes kuivatusväljakule asetamisega.



Joon. 23. Labidaturba tootmine ja tootmisvahendeid. 1. Turba lõikamise tööriistu. 2. Püstlõikamine. 3. Rõhtlõikamine.

Pätsid lõigatakse risttahuka-kujulised, tavaliselt mõõtudega 25 × 10 × ×10 või kuni 40×15×15 cm.

Kuivama asetamine toimub niiviisi, et kahele ca 10 cm vahega rööbiti asetatud turbapätsile pannakse risti peale teised kaks samasuguste vahe-

dega turbapätsi, milledele jälle asetatakse järgmised, ehitades nii 3—5-kordse või veelgi kõrgema rakke, olenevalt turbapätside vastupidavusest.

Kui turbapätsid on sellistes raketes juba küllalt kuivanud, mis soodsa ilma puhul nõuab vähemalt 2 nädalat aega, siis laotakse turvas ümber suurematesse püramiiditaolistesse raketesse. Selleks asetatakse nelinurkselt maha neli kõige pealmist (kuivemat) turbapätsi nii, et nende otsad jääksid üksteisest ca 10 cm kaugusele, ja nende otstele asetatakse nurgeti teised neli, ehitades niiviisi seest tühja, seintes aukudega püramiiditaolise rakke.

Nendes raketes kuivaks saanud labidaturvas tuleb asetada küüni või vähemalt katuse alla, sest labidaturbal on oma koreda oleku tõttu halb omadus sademete vett sisse imeda ja uuesti märguda.

Labidaturba tootmiseks on konstrueeritud ka mitmeid labidaturba lõikamise masinaid. Näiteks saksa labidaturba lõikamise masina „Sonthofen'i" töövõime on 12 m^3 toorturvast tunnis. Nüüdsel ajal tuleb labidaturba lõikamise masinaid otstarbekohaseks pidada ainult alusturba tootmisel ja neid saab eduga kasutada ainult kännuvabades turbasoodes.

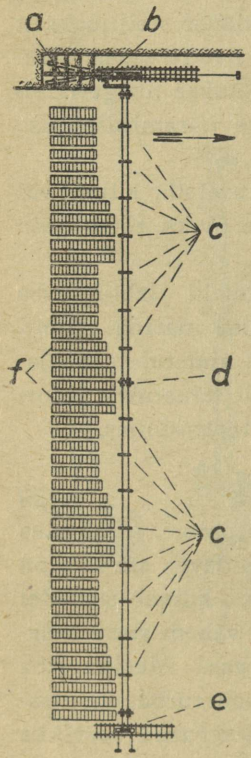
d) Masinaturvas.

Masinaturvas on kütteturbana labidaturbast märksa parem. Paremus seisab selles, et ta on tihedam, kompaktsem, tema vastupidavus survele on suurem, ta puruneb laadimisel ja transportimisel vähem, kuivab samadel kuivamistingimustel vähema niiskusesisalduseni ja imeb vähem sisse sademete niiskust, s. o. ei märgu nii kergesti kui labidaturvas. Masinaturba (varem pressturbaks nimetatud) tootmise põhimõte seisab turba purustamises ja turbamassi segamises ning selle purustatud ja segatud veerikka ühtlase pastataolise massi kuivatamises õhu käes.

Kuivatamisel tõmbuvad turbas sisalduvad kolloidse iseloomuga ained (humiinained) tugevasti kokku. Et masinaturbas on kolloidaine taimeosadega ühtlaselt segatud ja taimeosad peenestatud, siis tõmbub kuivamisel kogu turvas kokku ja saavutab sellega oma tiheduse. Labidaturbas takistavad turba kokkutõmbumist purustamata taimede sisaldumine ja kolloidaine ebaühtlane jaotus. Kolloidaine kokkutõmbumine labidaturba purustamata taimeosade vahel suurendab poorsust, tekitab lõhesid ja muudab turba purunevaks.

Masinaturba tootmine on alles 80—90 aastat vana. Selle aja jooksul on ta läbi käinud pika arenemistee. Turba peenestamist ja segamist masinaturba tootmiseks alustati inimjõuga, siis mindi üle hobujõule ja alles hiljem auru- ning elektrijõule. Meil on masinaturvas kütteturba liikidest esikohal. Turba tootmise kõrgseisul (1939. a.) toodeti meil 478 000 m^3

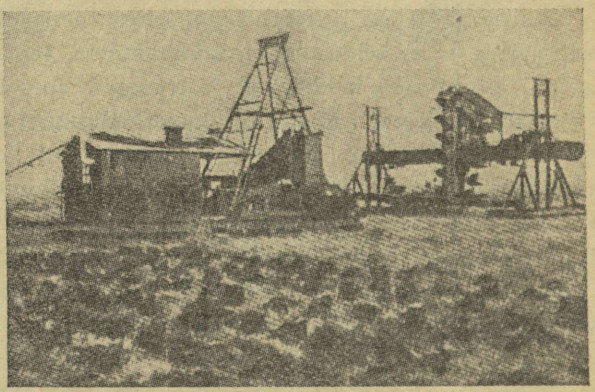
õhukuiva masinaturvast, 150 000 m³ kütte-labidaturvast ja 24 000 tonni brikett-turvast. Turbamasinaid töötas üldse 69, nendest 52 suurt, 5 keskmist ja 12 väikest tüüpi turbamasinat.



Joon. 24. Masinaturba tootmise skeem. *a* — elevaator, *b* — turbamasin, *c* — rullpukk, *d* — juhtpukk, *e* — pingutusvanker, *f* — kuivatusväljakule mahapandud turvas.

Meil on levinud poolautomaatsete, s. o. elevaatoriga ja traatköistransportöörīga (vaiertransportööriga) seadistatud turbamasinad, mis vajavad võrdlemisi palju inimtööjõudu. Tonni õhukuiva masinaturba saamiseks vajaliku turba väljaajamiseks ja kuivatusväljakule panekuks kulub ümmarguselt 1 inimtööpäev.

Automaatseid masinaid, mis viimasel ajal on hästi välja arendatud ja väga edukalt töötavad, meil senini kahjuks ühtegi pole muretsetud. Nende töövõime on 5—7 korda suurem kui poolautomaatsetel, sest nad kaevavad ise turba ja laotavad ise kuivatusväljakule. Elektrivoolu vajavad nad seejuures, arvestades tonni turba kohta, ainult poole rohkem kui poolautomaatsed masinad.



Joon. 25. Bagermasin.

Meil on katsutud inimtööjõudu kokku hoida sellega, et mõned turbamasinad on varustatud mehhaanilise turbavõtjaga — skreeperiga. See lahendab masinaturba tootmise mehhaniseerimise siiski ainult osaliselt. Täisautomaatsete masinate muretsemist tuleb meil väga soovitatavaks pidada.

Masinaturba tootmine on hooajaline töö. See hooaeg on meie oludes võrdlemisi lühike: keskmiselt saab masinaturvast valmistada ainult 3 kuud,

sest normaalselt tuleb see töö lõpetada 15. juuliks, kuna üle selle tähtaja valmistatud masinaturba ärakuivamine normaalniiskuseni ei ole enam kindlustatud. Kuivamiseks asetatakse masinast tulnud turbapätsid, mis on pastataolise konsistentsiga (niiskust 85%) ja mida saab kanda ainult laual, turbasoo pinnale.

Nädala kuni kahe pärast, kui turbapätsid tõsta kannatavad, laotakse nad „ketti" või viiepätsilistesse raketesse. On rakete pealmised pätsid juba enam-vähem õhukuivad (30—35% niiskust), laotakse nad püramiiditaolistesse raketesse, kusjuures vastu maad pannakse ainult eelmiste rakete kõige pealmisi õhukuivi turbapätse. On turvas püramiiditaolistes raketes enam-vähem õhukuivaks (30—35% niiskust) muutunud, pannakse ta rõuku (kuhja, auna), mille ülemine osa laotakse katusetaoliselt. Masinaturvas, alates 30%-lisest humiinistumisastmest, niiskub sademete mõjul võrdlemisi vähe ja võib niiviisi laotult ilma suurema kahjuta olla turbasoos kuni tarvitamiseni. Kuhjas jätkub turba kuivamine. Raketes kergesti lagunema kalduvaid turbaliike on soovitatav kuhja panna juba 40—45%-lise keskmise niiskuse puhul, kusjuures kuhjad tuleb teha kitsamad.

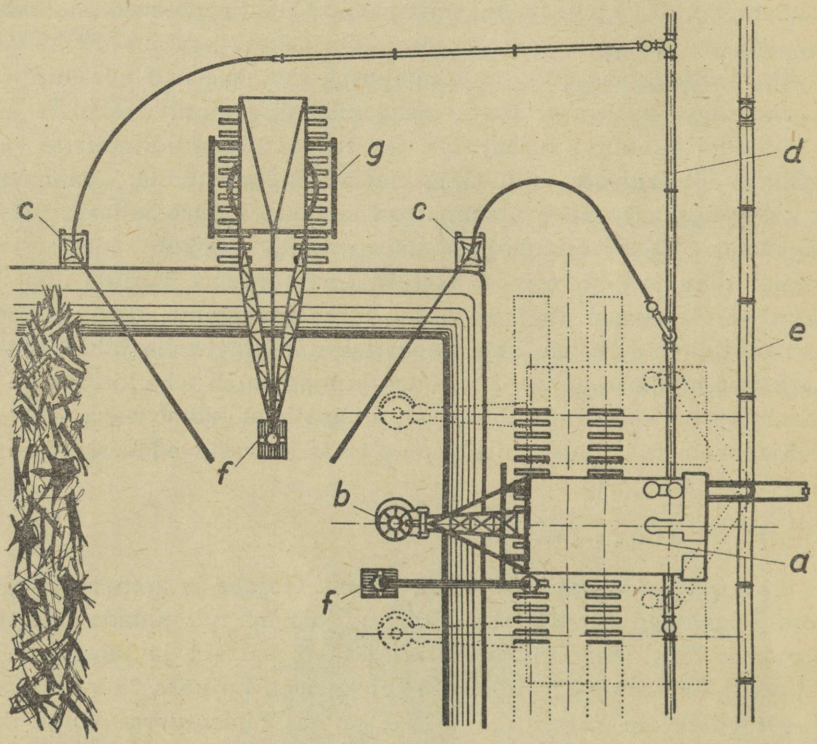
Masinaturba kuivamine, olenevalt ilmastikust, võtab aega 4—8 nädalat. Kuhjapanemise hõlbustamiseks on olemas ka vastavad masinad: „pätsikogujad" ja elevaatorid.

e) Hüdroturvas.

Hüdroturba kodumaa on NSVL. Tema loojaks ja arendajaks oli ins. Klasson. Esimesed katsed tehti 1915. a. ja neid tuli pidada täiesti ebaõnnestunuks. Kuid hoolimata sellest jätkati katseid ja täiendati ning konstrueeriti tootmisseadmeid. Selle tulemusena kujunes 25 aasta jooksul NSVL-s toodetavate kütteturba liikide hulgas hüdroturvas kõige tähtsamaks ja ülekaalukalt esikohal seisvaks. Tema osatähtsus ületas senini kaugelt teised toodetavad kütteturba liigid.

Hüdroturba tootmine seisneb selles, et veejoaga uhetakse turbasoost toorturvas lahti ja pumbatakse vastavate pumpade abil ca 20—30 cm paksuselt kuivatusväljakule. Kuivatusväljak on selleks ümbritsetud turbast vallikesega. Nädala kuni kahe järel on hüdroturvas jõudnud kuivada masinaturba konsistentsini. Siis lõigatakse ta kas käsitsi või vastavate masinate (sellekohaselt ehitatud roomiktraktorite) abil pätsideks, millede kuivatamine toimub juba täpselt samuti kui masinaturba kuivatamine. Hüdroturba tootmisel on suur edu olnud seepärast, et tema tööprotsesse saab hästi mehhaniseerida. Hüdroturba tootmiseks on vajalik raba juures suur veekogu, sest iga ruumimeeter toorturvast vajab 4—5 m^3 vett. Kuivatusväljakule pumbatav hüdroturba mass sisaldab 95 kuni 97% vett.

Kuna hüdroturba tootmine osutus produktiivsemaks ja tasuvamaks elevaatormasinaturba tootmisest, siis muudeti paljud senised elevaatormasinad ümber hüdroturba tootmiseks ja need töötavad nüüd „elevaatori-hüdroturba-“ ehk „väikese hüdroturba“ seadme nimetuse all.

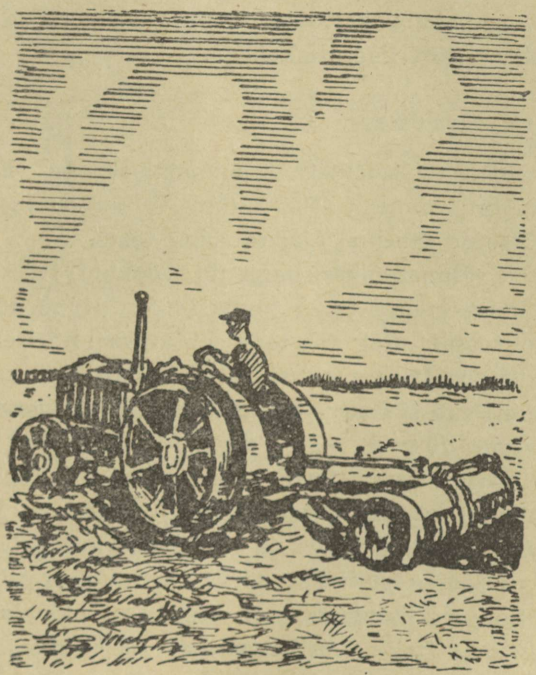


Joon. 26. Hüdroturba tootmise skeem. *a* — peakraana, *b* — hüdroturba imeja, *c* — joatoru, *d* — veetorustik, *e* — hüdroturba torustik, *f* — kännutõstja, *g* — abikraana.

f) Freesturvas.

Freesturvas on turbasoost vastava masina (freeseri) abil lahtifreesitud ja õhu käes kuni ca 40—50% niiskusesisalduseni kuivatatud peen turbapuru. Freesturvast võib sellekohastes kütteseadmetes tarvitada kütteainena. Paljudel juhtudel tarvitatakse seda tavalistes kütteseadmetes lisana tükkturbale (brikett-, masina-, labidaturbale). Freesturvas on odavamaid kütteturba liike. Freesturvast tarvitatakse suurel hulgal brikettturba tootmiseks.

Freesturbatööstus on täielikult mehhaniseeritav. Freesturbatööstuse liikuvaid masinaid, nagu freesereid, segajaid ja kogujaid, veavad linttraktorid. Freesturvas hoitakse alal kuhjades. Kuhjas seistes freesturvas mikrobioloogiliste protsesside tulemusena soojeneb. Mõned turbaliigid, eriti fosforirikkamad (näit. lehtpuumetsa turvas), kalduvad seejuures isesüttimisele. Isesüttimise põhjuseks paistavad tõenäoliselt olevat mikroobide toimel tekkiva vedela fosforvesiniku, P_2H_4 aurud, mis on õhu käes isesüttivad ja süütavad ka teised tekkinud põlevgaasid, nagu metaani jne., ning soodsal juhul võib gaasi põlemisel süttida ka freesturvas.



Joon. 27. Freesturba tootmine.

Freesturba soojenemise tulemusena tõuseb temperatuur kõige kõrgemale kuhja vöötmes, mis on kuhja välispinnast ca 1 m sügavusel. Maksimaalselt soojenev vööde muutub värvuselt mustaks, koksi meenutavaks aineks. Tegelikult ei ole siin tegemist koksiga, vaid hapendumisproduktiga. Kuhjas ei ole toimunud koksistumine, vaid sellele hoopis vastupidine protsess — hapendumine. Freesturba isesoojenemist tuleb seega kahjuli-

kuks pidada, sest tunduv osa freesturba soojusenergiast läheb kaotsi (K. 30, lk. 35). Kaotsi läheb osa freesturba soojusenergiat seetõttu, et osa freesturvast muutub aeglaselt põlemisel süsihappegaasiks ja veeks ning järelejääva osa freesturba küttevääртus on tema osalise hapendumise tõttu endisest madalam. NSVL teistes vabariikides on uuritud isesoojenemise ja isesüttimise ärahoidmist freesturba kuhjade gaasistamisega kloorpikriini abil, kusjuures on saadud rahuldavaid tulemusi.

Meil toodetakse freesturvast Tootsis brikett-turba lähteaineks ja kütte otstarbeks vähemal hulgal ka Ellamaal.

Toodetavaist kütteturba liikidest hakkab viimasel ajal nii NSVL-s kui ka välismaal esikohale kerkima freesturvas. VNFSV-s toodetakse freesturvast tavaliselt 40%-lise niiskusega.

g) Brikett-turvas.

Brikett-turba ehk turbabriketi valmistamiseks on ENSV-s ainuke vabrik Tootsis, tootmisvõimega 35 000 tonni brikett-turvast aastas, millise koguseni on kavatsetud lähemal ajal toodang tõsta.

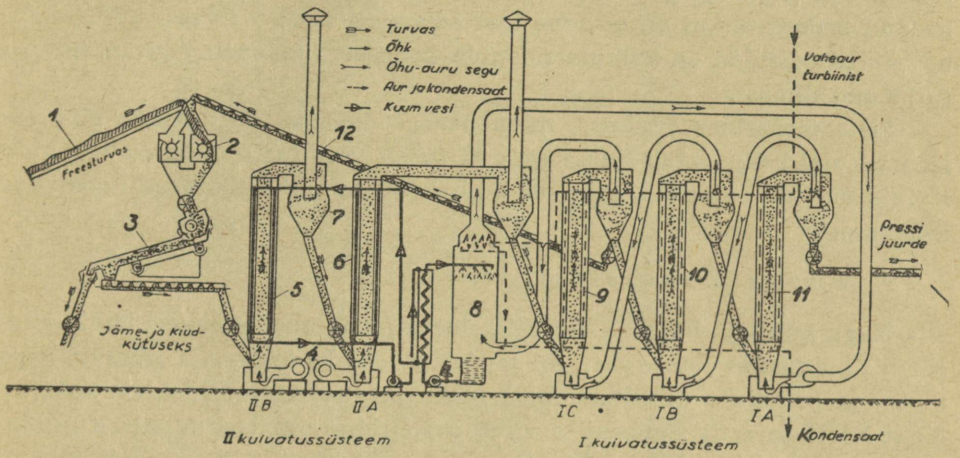
Brikett-turvast valmistatakse, nagu juba öeldud, freesturbast, kusjuures freesturvast kuivatatakse edasi kunstlikult. Enne kuivatamist läheb freesturvas läbi purustaja ning siis teda sõelutakse. Sõeltele jääv jämedam osa läheb katla kütteks, kuna sõeltest läbiminev peenem osa läheb kunstlikule kuivatamisele Peko süsteemi kuivatisse. Viie kuivatustorni läbimisel, milleks kulub vaevalt 10 min. aega, alaneb freesturba niiskus 50%-lt 10%-le. Kahte esimest kuivatustorni soojendatakse kuuma veega. Nendes tornides turba niiskusest tekkiv veeaur lastakse õhku. Järgmist 3 torni köetakse ülekuumendatud aurudega ja seal turba kuivatamisel tekkiv veeaur läheb selle vee soojendamiseks, mida kasutatakse esimese kahe torni kuumutamiseks. Soojuse kasutamine on seetõttu hästi ökonoomne. Kuivatatud freesturvas pressitakse brikettideks 1500-atmosfäärilisel survel, mida tekitatakse löögiga vastavais briketipressides. Et brikett-turba niiskus on teiste kütteturba liikidega võrreldes kõige väiksem ja tema tihedus ja küttevääртus kõige suurem, siis tuleb brikett-turvast pidada kõige väärtuslikumaks kütteturba liikidest.

Viimasel ajal on levinud brikett-turba tootmine ka loodusliku kuivatusega freesturbast, näiteks Taanis Sorö turbatööstuses (K. 15, lk. 59).

Sorös kasutatakse freesturba tootmisel freesereid, mille tiirude arv on 1200 tiiru minutis. Õhuke freesitav kiht (6 mm) ja hea peenestus võimaldavad freesturbal 6—8 tunni jooksul kuivada kuni 30%-lise niisukusesisalduseni. Freesturba kogumiseks kasutatakse pneumaatilisi kogujaid,

mis töötavad tolmuimeja põhimõttel. Kogumisel sellise aparaadiga alaneb freesturba niiskus 5% võrra, nii et saadakse 25%-lise niiskusega freesturvas, mis briketitakse. Brikettimisel alaneb niiskus veelgi, nii et saadakse 21%-lise niiskusega brikett-turvas.

Selle süsteemi järgi toodetud brikett-turba megakalori (miljoni kalori) hinnaks tuli 3,0 Taani krooni, kuna Peko süsteemi järgi toodetud brikett-turvas maksis 5,7—6,0 Taani krooni.



Joon. 28. Turbabriketitehase skeem. 1. Elevaator. 2. Purustaja. 3. Sõel. 4. Ventilaator. 5. ja 6. Veega soojendatavad kuivatustornid. 7. Tsükloon. 8. Skraber. 9, 10 ja 11. Auruga soojendatavad kuivatustornid. 12. Tigutransportöör.

h) Turba tootmine kunstlikult veest vabastamisega termomehhaanilisel menetlusel.

Senini kasutatavate turba tootmise menetluste peamiseks puuduseks on nende hooajaline iseloom. On ammu aru saadud sellest, et see puudus kõige enam takistab turba tootmise arengut.

Kunstlik veest vabastamine mehhaanilise pressimise teel osutub üheks kiiremaks ja vähe jõukulu nõudvaks menetluseks, kuid turba ilma ettevalmistava koaguleerimiseta ei ole see teostatav. Turba koaguleerimise viisidest tema mehhaaniliseks veest vabastamiseks on teada järgmised menetlused: elektro-osmoosimenetlus (Schwerin), külmutusmenetlus (Aleksanderson), menetlus elektrolüütide kasutamisega (Stadnikov) ja kuumutus- ehk termiline menetlus (Ekenberg). Paljud neist menetlustest on leidnud ka katsetamist tööstuslikus ulatuses, kuid kõik nad on senini osutunud majanduslikult mittetasuvaiks.

NSV Liidu teaduslikel töötajail, kes tegelesid turba kunstliku veest vabastamise küsimusega, õnnestus turba veest vabastamiseks välja töötada termomehhaaniline menetlus, mis osutus ka majanduslikult tasuvaks. Selle menetluse majanduslik tasuvus põhineb kõigepealt soojusküsimuse õnnestunud lahendusel ja teiseks kõrvalprodukti — pressvee kasutamisel piirituse, furfurooli ja söödapärmide tootmiseks.

See menetlus põhineb 75%-lise niiskusega freesturba kuumutamisel 180° t°-l ja sellele järgneval pressimisel kuni 37%-lise niiskusesisalduseni. Saadud brikett-turbal on omadus laos seismisel edasi kuivada. Sellise brikett-turba omahind on kalkulatsioonide kohaselt tunduvalt odavam hüdroturba omahinnast.

Selle menetluse edukus, mida peab tõendama tööstuslikus ulatuses lähemal ajal käikulastav Boksitogorski tehas, võib turba tootmise arengule hoopis uue suuna anda, sest see võib kaotada turba tootmise hooajalise iseloomu.

i) Turba koksistamine.

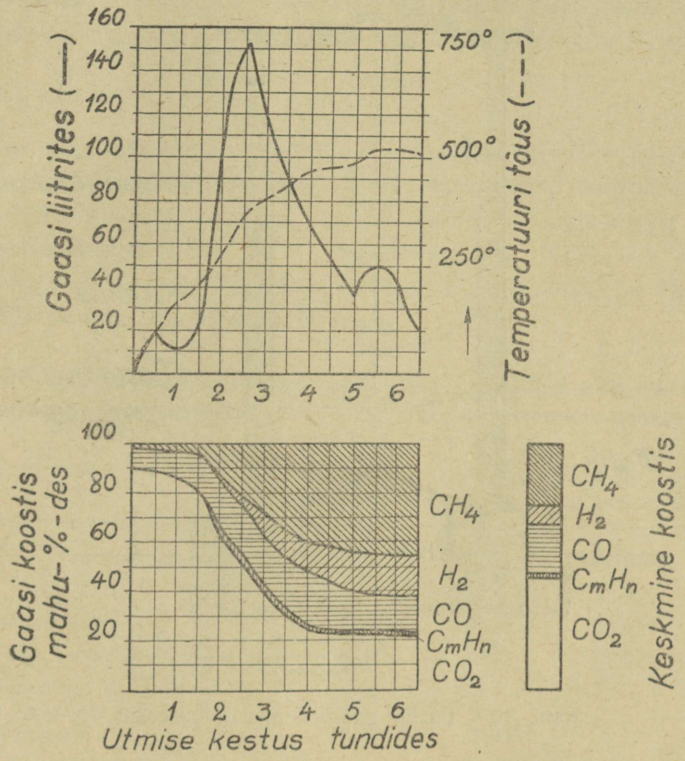
Nagu kuivajamisel ehk -destillatsioonil, s. o. kuumutamisel õhukindlas ruumis puidust saadakse sütt, nii saadakse seda ka turbast. Turbasütt nagu kivi- ja pruunsöe destillatsioonil saadavat süttki nimetatakse koksiks. Kuni XVII sajandi alguseni tarvitati metallide tootmisel peamiselt puidusütt. Et kiiresti kasvavale metallide tootmisele tegi raskusi vajalikul hulgal puidusöe hankimine, siis katsuti selleks muuhulgas ka turbakoksi valmistada ja kasutada. Et sel ajal polnud veel turbakoksi valmistamiseks küllalt kohaseid turba tootmise viise ja märksa lihtsamaks osutus kivisöekoksi tootmine, siis jäi turbakoksi tootmine selleks otstarbeks mõneks ajaks soiku. XX sajandi algul, mis ajaks olid juba tublisti täienenud nii turba kui ka turbakoksi tootmise tehnika ja mis ajaks tekkis nõudmine koksi kui keemiatööstuse tooraine järele, hakati turbakoksi tootmisega uuesti tegelema. Ka leidsid tarvitamist turba koksistamisel saadavad kõrvalsaadused — tõrv, gaas, gaasbensiin. Isegi uttevee kasutamine tuli kõne alla metüülpiirituse, atsetooni, ammoniaagi jne. saamise otstarbel.

Turbakoksi kasutatakse hea eduga raua tsementiitimiseks, aktiivsöe valmistamiseks, kollase fosfori saamiseks, kaltsiumkarbiidi tootmiseks jne. Ka raua tootmiseks ja malmi sulatamiseks saab seda teatavaprotsendiliselt tarvitada. Edasi tarvitatakse seda koksiga töötavate autode gaasigeneraatorites, erijuhtudel kütteks kõrgete temperatuuride saamisel, vesigaasi tootmiseks jne.

Maades, kus kivisüsi tuleb kaugelt vedada ja kellel on omad turbatagavarad olemas, nagu meil, tuleb turbakoksi tootmist väga soovitatavaks

pidada. Tootmine miilimisviisi järgi, kus gaas ja teised destillatsioonisaadused peale koksi kaotsi lähevad, ei ole enam ratsionaalne — see on raiskamine, kuid mõnes olukorras, moodsa turbakoksitehase puudumisel, tuleb ka sellega leppida.

Turba koksistamise tehased on kas välis- või siseküttega. Viimasel ajal hakkavad siseküttega tehased kui produktiivsemad enam arenema.

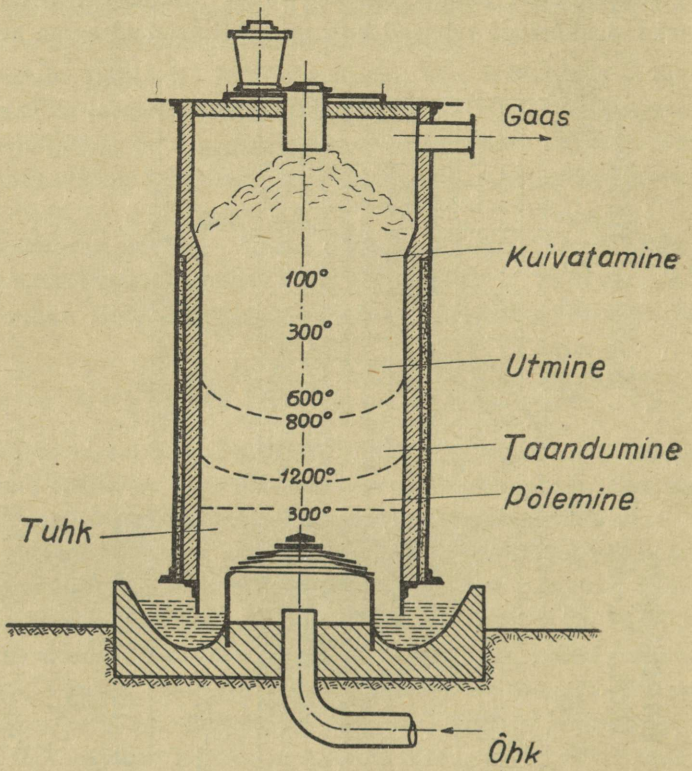


Joon. 29. Turba uttegaasi saagis ja koostis.

j) Turba gaasistamine.

Turba vääristamine gaasistamise teel on viimasel ajal endale kindlat pinda võitnud. Turbagaasil töötavad väga hea eduga näiteks klaasivabrikud (meil Järvakandis). On edukalt katsetatud malmi sulatamist turbageneraatorigaasil ja konstrueeritud sellekohased seadmed. Autosõiduks oleks turbageneraatorigaas väga hea, kuid senini on siin takistuseks olnud kohase gaasipuhastamisseadme puudumine, sest puidugaasi puhastamise seadmed ei osutunud turbagaasi puhastamiseks küllaldasteks. Uurimised on

näidanud, et elekterfiltri rakendamine selleks otstarbeks annab häid tulemusi. Asja praktilisel rakendumisel peaks turba-, eriti brikett-turba-generaatorigaasil hea edu olema autotranspordis.



Joon. 30. Turba gaasistamise generaator.

4. Turvas kütusena.

a) Üldiselt.

Toorturvas ehk rabamass, sõltuvalt raba iseloomust ja kuivatusastmest, sisaldab ligikaudu 80—95% vett ja 20—5% kuivainet, keskmiselt 90% vett ja 10% kuivainet. Säärane märg mass otsekohe peale rabast väljavõtmist ei ole veel kütus, vaid muutub selleks pärast liigse vee kõrvaldamist. Arvestades põlemistehnika tänapäevast arengutaset, loetakse kütustükkturba normaalniiskuseks 33%-list veesisaldust ja seda liiki kütusturvas niiskusega üle 50% ei kuulu enam kasutamisele (NSV Liidu Kütteainetetööstuse rahvakomissari käskkiri nr. 126-a, 28. II 1938. a., vt. K. 20, lk. 14).

Tarbimisele läheb kütusturvas loodusliku tahke kütusena — õhukuiva päts- ja freesturbana; kunstlike kütustena esinevad turbasaadused briketturbana ja turbakoksina.

Turvas ja turbasaadused on kütustena hinnatud nii energia tootmisel kui kodumajanduslikeks tarveteks.

Kütusturba omadused sõltuvad rabamassist, millest turvast toodetakse. Turvas oma madala küttevääruse, kerge mahukaalu ja suhteliselt suure niiskuse tõttu kuulub kohaliku tähtsusega kütuste rühma.

b) Elementaarkoostis.

Turbamassi kuivosa moodustavad järgmised ained: süsinik, vesinik, väävel, hapnik, lämmastik ja tuhk. Tekkimisvanuselt kuulub turvas noorkütuste rühma ning on seetõttu madala süsiniku-, aga kõrge hapniku- ja lendosadesisaldusega. Prof. A. K. Sillnitsky (K. 18, lk. 32) iseloomustab kütusturba põlevosa koostist näitarvudega: C_p 53,6—63,7%, H_p 6,6—5,1%, O_p 40—33% ja Le_p 75—65% (tab. 16).

Tabel 16. **Kütusturba ja puidu põlemistehnilisi näitarve.**

Jrk.-nr.	Nimetus	Turvas			Puit (segap.)
		Vähem humiinistunud	NSV Liidu keskmine	Kõrgesti humiinistunud	
1	Põlevosa C_p %	53,6	58,0	63,7	50,0
2	H_p %	6,6	6,0	5,1	6,2
3	O_p %	40,0	34,0	33,0	42,8
4	Lendosi põlevaines Le_p %	75,0	70,0	65,0	85,0
5	Põlevosade küttevääruse Q_p^k kcal/kg	4800	5240	5600	4500
6	Põlemissaaduste hulk 1 kg põlevosa põlemisest V_{CO_2} nm³/kg	0,99	1,07	1,17	0,92
7	V_{H_2O} nm³/kg	0,74	0,66	0,57	0,69
8	V_N nm³/kg	4,1	4,4	4,67	3,7
9	Teoreetiline õhuhulk 1 kg põlevosa kohta nm³/kg	5,2	5,6	5,9	4,67
10	Seesama põlevosa küttevääruse kohta 1000 kcal nm³/1000 kcal	1,85	1,07	1,05	1,04
11	Põlemissaaduste üldkogus 1 kg põlevosa põlemisest (liigõhutegur $\alpha = 1$) nm³/kg	5,83	6,13	6,41	6,31
12	Seesama põlevosa küttevääruse kohta 1000 kcal nm³/1000 kcal	1,21	1,17	1,14	1,18

Tabel 17. **Eesti rabade turba kuivaine elementaarkoostisi.** (Riikliku Katsekoja andmetel 1924.—1939. a.)

Jrk.-nr.	Päritolu	C	H	S	O	N	O+N (dif.)	O+N+S (dif.)	Tuhk	Mineraaljääk	Põlemisväärtus	Küttevääртus	Märkusi
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	kcal/kg	kcal/kg	
1	Teadmata	50,63	6,08	0,36	38,98	1,04	—	—	2,91	—	4850	4525	
2	Riigi Turbat.	52,81	5,32	—	—	—	—	33,91	7,96	—	4996	4705	
3	Ellamaa t.	63,22	3,72	—	—	—	—	18,56	14,50	—	5880	5680	
4	Aruküla t.	73,83	5,19	—	—	—	—	14,91	6,07	—	5157	4879	
5	Teadmata	50,42	5,02	—	—	—	—	33,85	10,71	—	—	—	
6	„	53,78	4,93	0,85	27,06 (dif.)	2,36	—	—	11,02	—	4965	4700	
7	„	53,81	4,93	0,89	26,97 (dif.)	2,43	—	—	10,97	—	4975	4710	
8	Riigi Turbat.	52,42	5,05	0,23	—	—	30,83	—	11,47	—	4889	4618	
9	„ „	52,47	5,08	0,23	—	—	31,16	—	11,06	—	4904	4632	
10	E. Tehn. Jär. S.	53,93	5,25	0,32	29,84	2,37	—	—	8,29	—	5065	(4781)	
11	Riigi Turbat.	55,93	5,60	0,83	—	—	34,29	—	3,35	—	5319	(5017)	
12	„ „	53,38	5,40	0,42	—	—	36,48	—	4,32	—	5193	(4901)	
13	„ „	51,87	5,88	0,12	—	—	39,83	—	2,30	—	5254	(4936)	
14	„ „	55,14	5,12	0,16	—	—	33,08	—	6,50	—	5155	(4879)	
15	Ins. Veerus	53,50	5,24	0,14	36,34 (dif.)	1,57	—	—	3,21	—	5148	4867	
16	„ „	53,93	5,23	0,18	35,54 (dif.)	1,68	—	—	3,44	—	5230	4950	
17	Teadmata	50,67	4,94	0,26	—	—	32,98	—	11,15	—	4815	(4551)	
18	Pööravere	54,40	5,17	0,22	—	—	33,94	—	6,27	—	5027	(4748)	
19	„	54,69	5,21	0,86	—	—	30,23	—	9,01	—	5295	(5014)	
20	„	55,14	5,72	0,26	—	—	32,59	—	6,29	—	5307	(4999)	
21	„	54,63	5,69	0,35	—	—	32,33	—	7,00	—	5266	(4959)	
22	Teadmata	50,34	5,06	0,27	—	—	32,75	—	13,20	11,58	4690	4419	
23	„	50,95	5,13	0,26	—	—	33,22	—	11,40	10,44	4917	4642	
24	„	50,60	5,13	0,09	—	—	38,56	—	6,30	5,62	4710	(4433)	
25	„	50,36	5,57	0,42	—	—	34,21	—	9,44	—	4814	(4514)	
26	„	55,39	5,56	0,21	—	—	34,93	—	4,20	3,91	5220	4922	
27	„	52,22	5,77	0,07	—	—	41,26	—	0,90	0,68	4795	4486	
	Keskmine	54,09	5,26	0,35	32,46	1,91	34,27	25,31	7,53	0,45	5070,62	4787,19	

Märkus: Sulgudes tähistatud arvud küttevääртuse kohta ei ole Riikliku Katsekoja andmetel, vaid arvutatud valemi järgi: küttevääртus = põlemisväärtus — 54 · H · 6(W+9 · H).

K. 39, lk. 46 toodud andmetel on turbamassi orgaanilise osa keskmiseks koostiseks järgmine elementaarkoostis: 60% C_o, 34% O_o, 5% H_o ja 1% N_o.

ENSV rabadest võetud turbaproovide elementaarkoostisi toome tab. 18. Selles tabelis toodud turbaproovide analüüsimise tulemustel osutub turba orgaanilise osa keskmine koostis järgmiseks: 58% C_o, 34% O_o, 5,6% H_o, 0,4% S_o ja 2% N_o. Eelnimetatud proovide keskmine koostis on ligikaudu võrdne NSV Liidu üldiste turba keskmiste näitarvudega.

Lendosi on turba põlevkoostises 75—65%, kusjuures lendosade kõrgem määr, 75%, kuulub vähem humiinistunud turbaliikidele, kuna kõrgesti humiinistunud turbad omavad lendosi vähem — 65%.

Lendosade eraldumisel jääb turba põlemisel resti pinnale koreda lühileegiliselt hõõguva koksikihina ca 25—35% turba põlevosast ja mittepõlev mineraaltuhk, mis põlemise lõppjärgus põlevosade läbipõlemise järel variseb kokku pulbritaoliseks tuhamassiks. Mõne turbaliigi põlemisel esinevad tuhas väiksemad või suuremad kokkusulanud räbutükid. Turba omadus kujundada põlemisel koksi soodustab tükkturba kihispõlemist: hõõguva koksikihi kaudu kuumeneb värskelt pealevisatud kütus, s. o. koksikihil on altsüütamise toime. See on tähtis turba põletamisel nii paigalseisval restil põlemiskihi katkendlikul täitmisel värske kütusega (käsitsi kütmine) kui ka mehhaanilistel trepp- ja kettrestidel. Turba põlevaine järk-järgulise põlemise tõttu vähese mureda koksijäägiga pärast lendosade eraldumist, orgaanilise osa kui ka tuha vähese paakuvuse tagajärjel jne. saavutatakse kütuse täielikku põlemist mõõdukate liigõhu määradega. Et turbatuhk on üldiselt kore, ei esine tavaliselt resti ummistumist tuha kujunemisel. Vähesed madalrabaturba tuhad omavad madala sulamistemperatuuri, mis kutsub esile kütusekihi paakumise ohu.

Tuhk on kütusturba massis nii primaar- kui ka sekundaartuhana. Sekundaartuharikkad vahekihid eraldatakse turba käsitsi lõikamisel.

NSV Liidu Kütteainetetööstuse Ministeeriumi normide järgi ei tohi tuhasisaldus kütusturbas ületada 23%. Erandid on lubatud hüdro- ja bagerturbale +3%, elevaatoriturbale +1% ja freesturbale +2% lisaks eelnimetatud kõige kõrgemale tuhamäärale.

Riikliku Katsekoja poolt teostati ajavahemikus 1924.—1939. a. tuha määramisi 133 turbaproovi kohta mitmesugustest Eesti rabadest, kusjuures keskmine arv nende proovide tuhasisalduse kohta on 7,16%, 33%-lise niiskuse korral 4,80%, s. o. uuritud rabade keskmine tuhasisaldus osutub mõõdukaks.

Tabe 18. **Tuhasisalduse, põlemisväärtuse ja kütteväärtuse andmeid Eesti NSV rabade turba kohta 1924.—1939. a.**

Jrk.-nr.	Päritolu	Kuivainel		
		tuhka	põlemis-väärtus	kütteväärtus
		%	kcal/kg	kcal/kg
1	Teadmata	4,27	5090	4964
2	„	7,05	5040	—
3	„	6,11	4890	—
4	„	9,64	4940	—
5	„	6,84	4990	—
6	„	2,06	4778	—
7	E. Tehn. Jär. S.	8,07	4770	—
8	Teadmata	2,44	5137	—
9	Habla ehk Suurkivi s.	2,91	4850	4525
10	Teadmata	5,52	5220	—
11	„	6,54	5085	—
12	„	3,67	5700	—
13	„	7,31	5480	—
14	„	8,05	5260	—
15	„	7,73	5190	—
16	„	6,67	5215	—
17	„	4,00	5130	—
18	„	3,27	5320	—
19	„	3,20	5230	—
20	„	6,53	5200	—
21	„	3,74	5150	—
22	„	5,55	5240	—
23	„	3,00	5270	—
24	„	3,52	5320	—
25	„	7,62	5130	—
26	„	3,36	5180	—
27	„	2,88	5165	—
28	„	2,94	5280	—
29	„	7,87	5080	—
30	„	2,95	5290	—
31	„	6,30	—	—
32	„	6,28	—	—
33	„	6,25	5090	4820
34	„	7,72	—	—
35	„	4,92	—	—
36	„	6,95	—	—
37	„	4,47	—	—
38	„	5,07	—	—
39	„	4,98	—	—
40	„	11,85	—	—
41	„	10,94	—	—
42	„	4,57	—	—
43	„	15,00	—	—
44	„	12,40	—	—
45	„	5,97	—	—
46	E. Tehn. Jär. S.	3,62	5110	—
47	„	4,36	4940	—
48	Sõjamäe r.	2,40	5000	—
49	Tondi	4,37	4970	—
50	Teadmata	4,35	4485	—

Jrk.-nr.	Päritolu	Kuivainel		
		tuhka	põlemis-väärtus	küttevääртus
		%	kcal/kg	kcal/kg
51	Riigi Turbat.	7,96	4996	4705
52	Ellamaa t.	14,50	5880	5680
53	Aruküla t.	6,07	5157	4879
54	Teadmata	3,50	5080	—
55	Riigi Turbat.	4,75	5150	4844
56	„	6,98	—	—
57	„	—	5080	(4805)
58	„	—	5170	(4884)
59	„	8,23	4680	—
60	Ulila	—	4985	—
61	Riigi Turbat.	—	5110	—
62	Jämejala	5,10	4770	—
63	„	4,19	5000	—
64	„	7,03	4810	—
65	Teadmata	3,74	—	—
66	„	3,51	—	—
67	„	0,90	5230	—
68	„	2,80	5260	—
69	Riigi Turbat.	6,00	5012	—
70	„	5,83	4820	—
71	Teadmata	3,90	5490	—
72	„	3,30	5330	—
73	„	—	4750	4485
74	„	10,71	—	—
75	„	4,80	5055	—
76	„	11,02	4965	4700
77	„	10,97	4975	4710
78	Riigi Turbat.	11,47	4889	4618
79	„	11,06	4904	4632
80	„	6,00	5116	—
81	„	5,73	5060	—
82	„	—	5085	4815
83	„	9,17	4752	(4488)
84	Teadmata	—	4986	—
85	„	6,60	5600	—
86	„	10,10	4978	4708
87	„	7,50	5176	4898
88	„	6,90	5149	4869
89	E. Tehn. J. S.	8,29	5065	(4781)
90	Riigi Turbat.	3,35	5319	(5017)
91	„	4,32	5193	(4901)
92	„	2,30	5254	(4936)
93	„	6,50	5155	(4879)
94	Avanduse r.	6,80	5115	—
95	Kohala r.	3,70	5740	—
96	Vihula r.	9,00	5125	—
97	Otepää Veskijärve r.	13,50	4595	—
98	Petseri Kulje r.	1,50	5460	—
99	„ Senno r.	2,10	5460	—
100	Tartu Ülenurme raba	14,20	4735	—
101	Leevaku Meelva r.	2,10	5745	—
102	Rainova r.	2,00	6330	—

Jrk.-nr.	Päritolu	Kuivainel		
		tuhka	põlemis-väärtus	küttevääртus
		%	kcal/kg	kcal/kg
103	Koiola Laudsilla raba	1,40	5340	—
104	Võhma 3	5,10	5290	—
105	„ 2	8,80	5140	—
106	„ 1	14,90	4810	—
107	Ins. Veerus	3,21	5148	4867
108	„	3,44	5230	4950
109	Teadmata	—	5265	—
110	„	10,20	—	—
111	„	10,10	—	—
112	„	7,10	—	—
113	„	9,10	—	—
114	„	8,40	—	—
115	„	8,00	—	—
116	Räisvere r.	22,50	4275	—
117	Kivi-Vigala r.	6,10	5145	—
118	Hirola r.	2,90	5445	—
119	M. Maaseppa r.	4,20	4688	—
120	E. Rahv. Jõukomitee	5,20	5190	—
121	Teadmata	11,15	4815	(4551)
122	„	—	4844	—
123	„	—	4883	—
124	„	—	4944	—
125	Pööravere r.	6,27	5027	(4748)
126	„	9,01	5295	(5014)
127	„	6,29	5307	(4999)
128	„	7,00	5266	(4959)
129	Vilgaste r.	7,90	4970	—
130	Jõhvika r.	11,10	5030	—
131	Teadmata	13,20	4690	4419
132	„	11,40	4917	4642
133	„	6,42	5460	—
134	„	6,30	4710	(4433)
135	„	9,44	4814	(4514)
136	„	1,50	5550	—
137	„	12,20	4920	—
138	„	27,00	4265	—
139	„	4,20	5220	4922
140	„	0,90	4795	4486
141	„	11,90	4703	—
142	„	38,90	4310	—
143	„	18,6	4406	—
144	„	23,3	4261	—
	Keskmine	7,16	5077,7	4785,05

Märkus: Sulgudes toodud arvud küttevääртuse kohta ei ole Riikliku Katsekoja andmetel, vaid saavutatud arvutuse teel.

Turbatuha elementaarkoostise määramine ei ole niivõrd oluline turba põletamise kui põllumajanduskeemilisest seisukohast.

Süstemaatilisi turbatuha koostise määramisi on teostatud professor dr. Tacke poolt kümne turbaliigi kohta (K. 31, lk. 204). Väljavõttena sellest uurimusest toome keskmise kokkuvõtte kolme turbaliigi kohta.

Tabel 19. **Tuhasisaldusi ja tuha koostis turba kuivaine kohta.**

Jrk.-nr.	Turba liik	Orgaaniline osa	Tuhk	Kaali	Lubi	Fe_2O_3+ +Al_2O_3	Fosforhape	Väävelhape	SiO_2 + lahustumatu	Lämmastik
		%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	Rooturvas	87,56	12,44	0,149	2,355	2,086	0,151	1,322	6,099	2,275
2	Kasepuiduturvas	97,19	2,81	0,043	0,465	1,101	0,098	0,387	0,527	1,945
3	*Sphagnum*-turvas	97,58	2,43	0,084	0,572	0,281	0,555	0,164	1,167	0,978

Turbateadlane Fleischer on määranud turba põlev- ja mineraalaine näitarvud ja nende ainete tuha koostise, arvatud %-des kuivainest, järgmiselt (tab. 20).

Tabel 20. **Turba ja turbatuha näitarve %-des.**

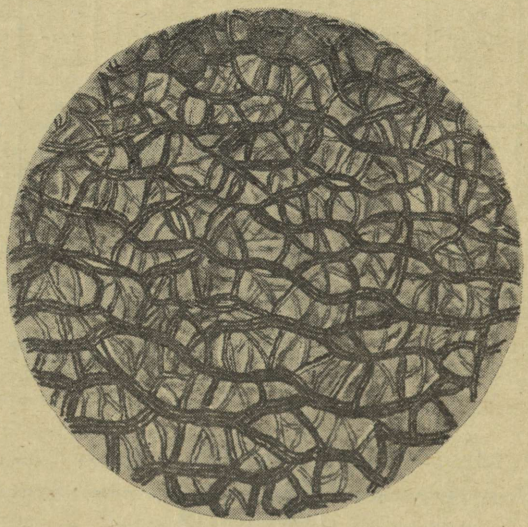
	Põlevaine	Mineraalaine	Lämmastik	Kaali	Lubi	Fosforhape
Madalrabaturvas	85,0	15,0	2,5 2,0—4,0	0,10	4,0 2,5—30,0	0,25 0,15—5,0
Üleminekuraba turvas	95,0	5,0	2,0	0,10	1,0	0,20
Kõrgrabaturvas	98,0	2,0	1,0	0,04	0,25	0,07

Turbatuha koostisse kuuluvaist ainetest märgitagu lupja, kaalit, rauahapendit ja alumiiniumhapendit, fosforhapet, väävelhapet jt. Omaduste poolest võib turbatuhk kui heitprodukt kasutamist leida põllurammuna.

Turba põlemisest järelejääv tuhk on kohev mass väga varieeruvate värvustega, alates peaaegu valgest kuni tumepruunideni. Enamikus on turbatuhk kollakasoranži värvusega.

Niiskusesisaldus on kütusturbal väga kõikuv, mis on tingitud turba kuivatamise tingimustest (temperatuur, õhuniiskus, aeg), tootmisviisist ja kuivturba tagasiniiskumisest (sademed). Toorturvas sisaldab ligikaudu 90% vett ja 10% kuivainet. Professor W. Ostvald'i järgi (K. 31, lk. 172) on vett turba toormassis järgmiselt:

1) oklusiooniveena (lahtise veena), mis täidab 1 mm ja suuremaid õõnsusi,
2) kapillaarveena kapillaarõõnsustes,
3) kolloidveena (34—43%),
4) osmootiliselt seotud veena,
5) keemiliselt seotud veena.



Joon. 31. Vesirakud turbamassis (250 korda suurend.).

Mis vahekorras on vesi turbamassis ülaltähendatud ühendusviiside järgi, ei ole veel lõplikult lahendatud. Tähtis oleks see turba kuivatamise seisukohalt, turba kui kütuse omaduste täpsemaks kindlaksmääramiseks jne. On kindlaks tehtud, et hästi humiinistunud turbad sisaldavad kolloidvett rohkem kui lahtist vett. Need turbad kuivavad tihedamaks ja omavad suurema püsivuse tagasiniiskumise vastu kui vähe humiinistunud rabamassid.

Tootmisel kuivab turvas soodsas olukorras õhu käes tuule ja päikese mõjul ligikaudu kuni 25%-lise niiskusesisalduseni, kuid üle aasta aunas seismisel kuni 15%-lise niiskusesisalduseni. Kuid sageli ilmastikuoludest tingituna ei saavutata turba kuivatamisel tarvilikku niiskusemäära ja turvas läheb tarbimisele normaalsest (33%) kõrgema niiskusesisaldusega, mis küünib sageli 40—50%-ni.

Niiskusesisaldus osutub kütusturbal suurimal määral turba põlemisväärtust kahjustavaks teguriks; seetõttu tuleb eriti rõhku panna turba

niiskusesisaldusele. Hea humiinistumisastmega tihe masinaturvas on vähem tagasiniiskuv kui vähem humiinistunud turbaliigid. Eriti kaldub tagasi niiskuma labidaturvas.

Tingituna toorturba massi struktuurist omandab turvas kuivatamisega külmakindluse, s. o. vormipüsivuse sel juhul, kui kuivatamisel aurab turbast ära ka osa kolloidvett. Jääb aga turvas kuivamisel kolloidveesisaldusest 34—43% niiskemaks, ei oma säärane turvas külmakindlust ja muudab külmumisel oma struktuuri: ta läheb pudedaks ja murenevaks.

c) Küttevääartus.

Põhiloomult oleneb turba kui kütuse kütteväärtus ühelt poolt aine orgaanilise osa põlemisväärtusest, teiselt poolt aga vee- ja tuhasisaldusest tarbimisaines. Turba põlevosa põlemisväärtus oleneb esijoones süsiniku määrast turba koostises: kõrgema süsinikusisaldusega, s. o. vanemaile, hästi humiinistunud turbaliikidele on omane kõrgem põlemisväärtus, noored, vähem humiinistunud turbaliigid omavad madalama põlemisväärtuse. Turvaste põlevosa kütteväärtus kõigub 4600—6100 kcal/kg piirides, kusjuures NSV Liidu turvaste keskmine kütteväärtus Q_p^k = 5240 kcal/kg. Riikliku Kesklaboratooriumi poolt teostatud määramiste põhjal on turba kuivaine keskmine põlemisväärtus 45 turbarabast võetud proovide kohta 5032 kcal/kg. Ajavahemikus 1924.—1939. aastani (tabelid 17 ja 18) Riikliku Katsekoja poolt Eestis teostatud määramistest saame keskmise põlemisväärtuse 120 turbaproovi kohta 5078 kcal/kg. Esialgselt kuni süstemaatiliste uurimuste teostamiseni meie põletusturba rabade kohta täies ulatuses võiks lugeda kuivaine keskmiseks põlemisväärtuseks meie turbale 5050 kcal/kg. Keskmine kütteväärtus praegustel andmetel meie turba kohta 33%-lisel niiskusesisaldusel osutub ligikaudu 3000 kcal/kg.

Niiskuse- ja tuhasisalduse seisukohalt on turvas seda väärtuslikum, s. o. kõrgema põlemis- ja kütteväärtusega, mida vähem ta sisaldab niiskust ja tuhka.

Madala kütteväärtuse tõttu kuulub turvas madalaväärtusega kütuste rühma.

d) Füüsikalisi näitarve.

Turbaliikide erikaal on suurtes piirides kõikuv, olenedes raba liigist ja selle massi humiinistumisastmest. Vähem humiinistunud kuivturba erikaal on madalam kui hästi humiinistunud turbal; nooremad turbaliigid, mis kuivavad vähem tihedaks massiks, omavad vähema mahukaalu kui

geoloogiliselt vanemad turbad. Masinaturba erikaal oleneb tema peenestamise astmest valmistamisel.

Turbateadlase Karmarsch'i järgi on turba kuivaine erikaalud järgmised:

Sammalturvas	0,213—0,263
Noor pruunturvas . . .	0,240—0,676
Maa-, sooturvas . . .	0,410—0,902
Pigi-, rasvaturvas . . .	0,639—1,039

Oldenburgi raba (Saksamaal) mustturba erikaalu ülempiir ulatub 1,3-ni.

Tabelis 21 toome turba erikaalu, mis on määratud Riikliku Katsekoja poolt meie rabadest võetud turbaproovide kohta, kusjuures keskmiseks erikaaluks osutus 0,775 33%-lise niiskuse- ja 3,5%-lise tuhasisalduse juures. Ka meie rabades esineb suure erikaaluga turvast. Näit. eriti kõrget erikaalu — 1,3 — näitab Sõjamäe rabast võetud turbaproov 26,2%-lise niiskusesisalduse juures, selle rabamassi teise proovi kuivaine erikaal oli 1,19 ja ühe Tondi rabast võetud proovi kuivaine erikaal 1,25.

Tabel 21. **Turba erikaale.**
(Riikliku Katsekoja andmetel turba analüüsidest 1924.—1928. a.)

Jrk.-nr.	Erikaal kg/dm³	Niiskus %	Tuhk %	Jrk.-nr.	Erikaal kg/dm³	Niiskus %	Tuhk %
1	0,757	38,36	4,34	16	0,920	29,57	2,66
2	0,718	44,65	3,38	17	0,820	35,79	3,56
3	0,712	44,92	5,31	18	0,900	28,82	2,14
4	0,787	55,53	3,04	19	0,810	25,50	2,62
5	0,750	22,47	1,60	20	0,710	33,60	5,06
6	0,690	25,70	4,10	21	0,910	24,21	2,55
7	0,830	38,90	4,00	22	0,860	21,90	2,25
8	0,900	30,26	5,10	23	0,860	26,85	2,15
9	0,700	37,90	5,00	24	0,890	29,42	5,64
10	0,880	35,85	4,96	25	0,950	22,85	2,27
11	0,820	36,40	4,23	26	0,640	43,10	2,8
12	0,870	26,00	2,96	27	0,750	29,5	4,9
13	0,780	30,37	2,26	28	0,550	35,1	2,9
14	0,600	24,07	2,43	29	0,640	32,9	3,4
15	0,700	38,10	4,05	30	0,560	41,8	2,9
				keskm.	0,775	33,013	3,485

Kütusturba mahukaaluks loetakse:

labidaturbal 150—300 kg/m³,
masinaturbal (päts) 200—450 kg/m³.

Turba mahukaal on teiste tahkekütustega võrreldes madal; näit. jämepõlevkivi ruumimeeter kaalub ligikaudu 1000 kg. Ühe tonni õhukuiva pätsturba maht on ülaltähendatud ruumikaalu andmetel

labidaturbal 6,6—3,3 m^3/tonn,
masinaturbal 5,0—2,2 m^3/tonn.

Ühtlasi vrd. „Tehnika Teatmik," lk. 63 ja 68.

Kuiva turba soojusejuhtivus on madal: mahukaaluga 200—500 kg/m^3 turbal ligikaudu 0,04—0,063 kcal/mh °C.

Turba kuivaine erisoojus on 0,47 kcal/kg °C. Turba kuivaine erisoojus on püsiv suurus, mis ei sõltu ei turba humiinistumisastmest ega muust.

5. Kütteturba omaduste normitud näitarve.

Kütteainetetööstuse RK poolt 1938. a. kinnitatud normide kohaselt (käskkiri nr. 126-a) on tarbijatele antava kütteturba omaduste kohta seatud tabelis 22 (vt. lk. 96) toodud tehnilised tingimused.

Peale selle on tehnilistes tingimustes määratud eriti, et:

a) Aunade ja poolaunade põhjade, mille niiskus on üle 50%, kui ka freesturba aunade külmunud pealiskihi laadimine ei ole lubatav.

b) Laadimisel ei ole lubatud juurde segada üle 50%-lise niiskusega turvast kõrvalaunadest või raketest.

Niiskuse põhjal tehtav hinnaalandus, mis tehniliste tingimuste kohaselt kindlaks määratud, on arvestatud selliselt, et leppeniiskusega turba hind ei muutu, kui selle turba niiskusesisaldus on tükkturbal 33—40% ja freesturbal 40—45%.

Tuha- ja turbapuru-sisalduse kohta seatakse iga aasta eraldi normid igale turbatööstusele, olenevalt turba tootmise viisist. Seejuures ühtsa normina tuhasisalduse suhtes võetakse kogu tööstuse kohta selle väljaku oma, kus tuhasisaldus on kõige suurem. Sellele lisatakse veel lubatav protsent olenevalt turba tootmise viisist. Turbapuru-sisalduse suhtes seatakse normid iga erineva turbakihi kohta eraldi. Brigaadidele seatakse tuhasisalduse arvestamiseks normid eraldi iga agregaadi karjääri kohta.

Et turbakiht oleks tööstuslikult kasutatav, selleks nõutakse:

a) turba humiinistumis- (lagunemis-) aste peab olema mitte alla 20%. Sügavalt tootmisel võetakse see arv keskmisena kogu ekspluateeritava kihi sügavuse kohta, freesturba tootmisel — ühel hooajal võetava kihi paksuse kohta, välja arvatud pealmine kiht paksusega 0,3—0,5 m, kus on lubatav väiksem humiinistumisaste.

Tabel 22. **Nõudeid kütteturba kohta.**

Omaduse näitaja	Turba liik	Praakimise piir	Trahvimise piir	Praagitava koguse suurus	Trahvitava koguse suurus	Hinnaalandusetrahvi suurus müügihinnast trahvimise piiri ületava iga 1% eest
Niiskus	Tükkturvas	50%, gaasigeneraatoritele 45%	Alates 40%-st	Alates ühest pakkimis- või ladumisühikust kuni (rongi) koosseisuni või ladumisühikute rühmani suurusega kuni 500 tk.	Keskmine öö-päevane saadetis ühelt tööstuselt iga turbaliigi kohta eraldi	Kuni 40%-ni hinnaalandust à 1,5%, üle 40% hinnaalandusttrahvi à 2,5 — 3%
	Freesturvas	50%	Alates 45%-st			Kuni 45%-ni hinnaalandust à 1,2%, üle 45% hinnaalandusttrahvi à 3,6%
Tuhk	Tükkturvas	23%, gaasigeneraatoritele 18%	Keskmine maksimaalne lademe tuhasisaldus+3% hüdroja bagerturba puhul, +1% elevaatoriturba puhul	Seesama	Kuu keskmine saadetis ühelt tööstuselt iga turbaliigi kohta eraldi	à 1,5%
	Freesturvas	23%	Seesama +2%			
Alla 25 mm läbimõõduga peenturba (turbapuru) sisaldus	Tükkturvas	35%	Kõrgsooturvas 5% (+1% iga ümberlaadimine), siirdesooturvas 12%(+ +1% iga ümberlaadimine), madalsooturvas 23% (+3% iga ümberlaadimine)	Üksikud (rongi) koosseisud ja ladumisühikute partiid, mis välistunnuste järgi ületavad praakimise piiri	Üksikud rongi koosseisud ja ladumisühikute (+1%) partiid, mis välistunnuste järgi ületavad trahvipiire	30% kogu liigse peenturba (turbapuru) eest
Kõrvaliste põlevainete lisandus 2,5—7 cm	Freesturvas	Normi pole	10%		Seesama	à 1%

b) Tuhasisaldus turbakihis peab kindlustama kütteturba saamist, milles oleks tuhka vähem kui turbas, mida loetakse praagiks, s. o. vähem kui 20—22%.

c) Väljakud, kus kännusus on suurem kui 0,5%, ei kõlba bagermenetlusega tootmiseks.

d) Kihi sügavus peab olema hüdroturba tootmisel vähemalt 1,5 m ja kõikidel teistel menetlustel vähemalt 1 m.

e) b liiki väljakuil lubatakse freesturba tootmist ainult sel määral, mille suhtes on kindlustus tema väljavedamiseks kuni 1. oktoobrini.

f) Madalsoo turbakihte humiinistumisastmega rohkem kui 25% tuleb kasutada freesturba tootmiseks, välja arvatud juhud, kus turvast toodetakse gasifitseerimiseks.

Üksikjuhtudel, nagu a) töötamist lõpetavais tööstustes ja lõpukorral olevail väljakuil, b) kui neid norme mitterahuldavate väljakute mittekasutamine teeb tootmisprotsessi tunduvalt keerulisemaks, c) kui küttebilanss on eriti defitsiitne — lubatakse mõnikord (erilise loaga) mõningaid kõrvalekaldumisi neist normidest.

IV. Põlemine koldes.

Põlemiseks koldes nimetatakse koldesse ehk tulilasse sisseviidud kütusaine põlemist kihis või ruumis, kusjuures aine enne põlemist laguneb kuumendamise toimel reaktsioonivõimelisteks algosadeks; see on põlemine kitsamas mõttes. Kogu koldeprotsessi all aga mõistame põlemist koldes ja sellele lisanduvat energia ülekandumist põlemissaadustelt soojust vastuvõtvaile elementidele. Mõlemad protsessid on üksteisega vastastikku seotud. Seetõttu koosneb põlemisprotsess põlemisel koldes reast füüsikalistest, keemilistest ja pürogeneetilistest nähtustest ning protsessidest. Koldesse viidud kütus soojeneb, algab kütuse põlevosade lagunemine lendosadeks — reaktsioonivõimelisteks gaasideks ja koksiks (tahke kütuse puhul). Kõrgetemperatuurilised põlemissaadused ja kütuse osakesed või kütusekiht on pideva vastastikuse mõju all. Kihist järk-järgult eralduvad põlemisõhuga segatud lendosad moodustavad kolderuumis mitu erinevat gaasisegude tsooni ja sellest tingituna kujunevad erinevad põlemistsoonid koldes nii piki põlevat kihti kui ka ruumi kõrguse suunas. Vastavalt põlemistsoonidele valitsevad nii kütusekihis kui ka kolderuumis erinevad temperatuurid.

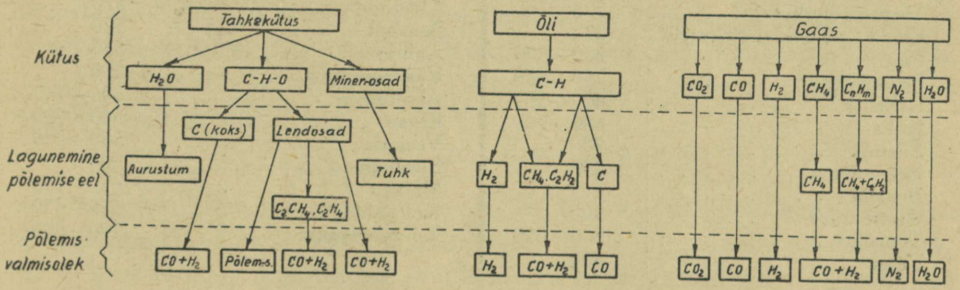
Nii tahke-, vedel- kui ka gaaskütused omavad erinevaid koostisi ja omadusi, mis mõjustavad põlemisprotsessi põlemisel koldes. Seetõttu kasutatakse kütusainete kõrge kasuteguriga ja suure erikoormusega põletamiseks eriehitusviisiga põlemisseadmeid ja kolderuumala konfiguratsioone. ENSV kohlikud kütused — põlevkivi ja turvas — kuuluvad spetsiifiliste iseärasustega kütuste liiki, eriti põlevkivi oma orgaanilise osa kui mineraalballasti poolest. Seetõttu vajatakse nende kütuste edukaks põletamiseks eriehitusviisiga küttekoldeid ja põlemisseadmeid.

1. Põlemisprotsess.

a) Põlemise iseloomustusi.

Põlemiseks nimetatakse elementide keemilist ühinemist hapnikuga, kusjuures eraldub põlemissoojus ja tekib põlemissaadusena kõrgetemperatuurilistest gaasidest leek. Kütuste põlevosa koosneb tavaliselt keerukaist orgaanilistest ühenditest, mille struktuur laguneb aine kuumendamise toimel. See lagunemine jagatakse kütuse kuivdestilleerimisel kahte järku: lagunemiseks madalail temperatuuridel kuni 450° C ehk utmiseks ja pürogeneetiliseks lagunemiseks kõrgetel temperatuuridel 450—1000° C ehk krakkimiseks. Utmissaadusteks osutuvad metaan (CH_4), atsetüleen (C_2H_2), bensool (C_6H_6) jt. Krakkimisel lagunevad eelnimetatud rasked süsivesinikud aromaatseiks süsivesinikeks ja muutuvad protsessi lõppjärgus vesigaasi algosadeks (CO, H_2) ja puhtaks süsinikuks (C). ENSV põlevkivi lagunemise iseloomustus on toodud lk. 34.

Kütusaine struktuuri muutumist põlemise eel, nn. ettevalmistusjärku aine osade üleviimisel põlemisvalmis olekusse, illustreerime alljärgneva skeemi abil (joon. 32).



Joon. 32. Kütuste struktuuri muutumine põlemise eel.

Kütuse pürogeneetiline protsess põlemisel koldes toimub lahtiselt õhuhapniku juuresolekul, mis kutsub esile põlevelementide osalise oksüdeerumise juba madalate temperatuuride piirkondades. See oksüdeerumine kiireneb järjest temperatuuri tõusuga. Kütusaine lendosade lagunemise viimaseks järguks peaks olema eeltoodud pürolüüsi järgi vesigaasi lagunemine CO-ks ja H_2-ks, milliste elementide ärapõlemisega lõpeb põlemine kolderuumis.

Olulist tähtsust evivad veeaurud, redutseerides kõrgetel temperatuuridel süsinikku süsihappegaasiks ja vesinikuks. Veeaurude olemasolu kütuses on kasulik vaid viimatinimetatud redutseerimisprotsessi teostumi-

seks. Sellest kõrgem veeaurude-sisaldus mõjustab põlemist kui kahjustav ballast.

Kütuse nähtav põlemine algab süttimispiiri saavutamisega, millele järgneb intensiivne lendosade eraldumine ja leegitsemine. Van-Hoff'i järgi nimetatakse süttimistemperatuuriks seda temperatuuri, mille juures algab soojuse eraldumine reaktsiooni toimel, s. o. reaktsioonisoojus on võrdne soojuskadudega soojusejuhtimisest jne. Gumz täiendab seda lauset sellega, et nimetab süttimispiirkonnaks seda temperatuuripiirkonda, kus tõuseb tunduvalt reaktsiooni kiirus ja eralduv soojushulk katab kõik soojuskaod ning mõjustab reaktsiooni edaspidist kiirenemist, mis kutsub esile temperatuuri tõusu ja söe näiliku süttimise.

Alljärgnevas tabelis toome süttimispiire tahke- ja gaaskütuste kohta.

Tabel 23. **Tahke-, vedel ja gaaskütuste süttimispiire.**

Nimetus	Süttimis-tempera-tuur °C	Nimetus	Süttimis-tempera-tuur °C
Turvas (õhukuiv)	225	Atsetoon	570
ENSV põlevkivi-kukersiit	272	Bensool	520
Puit	250—300	Aniliin	530
Pruunsüsi	250—450	Väävelvesinik	300
Kivisüsi	400—500	Atsetüleen	406—440
Koks	600—700	Etaan	520—630
Süsinik	~700	Vesinik	580—590
Petrooleum	380	Süsihapend	600
Bensiin	415	Metaan	650—750
Kivisõetõrv	500	Koksiahjugaas	550—650
Tooröölid	500—650	Kõrgahjugaas	700—800
Eeter	400		

Tabel 24. **Põlevgaaside süttimistemperatuure (mitmesuguste määramiste järgi).**

Gaasi nimetus	Meyer-Freyer'i järgi		Meyer-Münz'i järgi	Dikson-Kovard'i järgi	
	Gaasi-hapniku juga °C	Gaasi-hapniku segu kinnises anumas °C	Gaasi-hapniku juga °C	Gaasi-hapniku juga °C	Gaasi-õhu juga °C
H_2	650—730	530—606	620—680	580—590	580—590
CH_4	650—730	606—650	656—678	556—570	650—750
C_2H_4	606—650	530—606	577—590	510	544
C_2H_6	—	530—606	605—622	520—630	520—630
C_nH_2	—	—	509—515	416—440	406—440
CO	650—730	650—730	—	637—658	644—658
H_2S	315—320	250—270	—	227	364

Põlevsegude süttimine toimub kas süttimise levimisega aeglaselt, kihthaaval või suure kiirusega — plahvatusena. Põlemisel koldes on tegemist aeglase süttimisviisiga. Gaasidest on süttimise levimise kiirus suurim H_2 ja O_2 segul — 30 m/sek., H_2 ja õhu segul vaid 12 m/sek. Teistel gaasidel on süttimise levimine tunduvalt aeglasem: märjal CO-l õhuga — 1,0, metaanil õhuga — 1,5, bensiinil ja bensoolil õhuga — 2,3 m/sek. eeldusel, et segu algrõhk oleks 1,0 ata. CO puhul on soodsaim süttimine veeaurude lisandusel 6 kuni 10 mahuprotsendi ulatuses. Sellest suuremal määral veeaurude lisandumisel mõjub veeaur süttimisele kui inertne gaas. Eeltoodust näeme, et põlevsegude süttimine hapnikus levib tunduvalt kiiremini kui õhu käes.

Põlemise intensiivsust mõjustavad ühtlasi temperatuur, põlevgaaside partsiaalrõhk (kontsentratsioon) ja katalüsaatorite kaastoime, näit. seinte vastukiirgus ja kontaktpõlemise (leegita põlemine) esilekutsumine põlevgaaside kokkupuutel kuumade seintega jne.

b) Põlemisreaktsioonid ja põlemissaadused.

Kütuste põlemise tehnilist külge ja arvutuslikku osa määratakse põlemisvalemite abil, kusjuures aine mõõtühikuna figureerib põlemisvalemis kilogramm-molekul (kg-mool). Põlemisvalemeid moodustatakse ka põletatava elemendi ühe kg või nm^3 kohta. Toome näitena põlemisvalemi süsiniku (C) kohta:

$$C + O_2 = CO_2 + 97\,650 \text{ kcal},$$

mis tähendab seda, et üks kg-mool C-d (12 kg) ühineb kahe hapniku kg-mooliga O_2 (2×16 kg) ja saame ühe kg-mooli süsihappegaasi, CO_2 ($12 + 32 = 44$ kg), kusjuures eraldub 97 650 kcal soojust. Tabelis 25 toome põlevainete reaktsioonivalemeid põlemisprotsessides, kaasa arvatud valemid taandumise kohta.

Eeltoodud põlemisvalemite kasutamist õigustab Hess'i soojuskeemiline seadus, mille järgi keemilisel reaktsioonil eralduva soojuse hulk on sõltuv vaid süsteemi alg- ja lõppseisundist ja ei olene vahepealsetest muutustest.

Põlemiseks tarvilik hapnikuhulk arvutatakse põlemisvalemist. Näit. süsiniku põlemisel süsihappegaasiks on elementide kaaluline vahekord reaktsioonis:

$$12 \text{ kg } C + 32 \text{ kg } O_2 = 44 \text{ kg } CO_2,$$

järelikult ühe kg süsiniku täielikuks põlemiseks kulub $\frac{32}{12} = 2{,}67$ kg hapnikku. Enamasti kasutatakse põlemisprotsessides mitte hapnikku, vaid

õhku. Õhk sisaldab 23,2 kaaluprotsenti hapnikku, seega ühe kg süsiniku põlemiseks läheb tarvis $\frac{2,67}{0,232} = 11,51$ kg õhku.

Tabel 25. **Ainete põlemis- ja taandumisvalemid.**

Reaktsiooni valem	Mõõtühik	Põlemissaaduste füüsikaline olek	Reaktsioonisoojus + või −	
			kcal/mool	kcal/kg või nm^3
1 mool C + 1 mool O_2 = 1 mool CO_2	mool	gaas	+ 97650	—
1 kg C + 2 nm^3 O_2 = 2 nm^3 CO_2	kg	„	—	+ 8140
1 kg C + $^8/_3$ kg O_2 = $^{11}/_3$ kg CO_2	kg	„	—	+ 8140
1 mool C + 0,5 mooli O_2 = 1 mool CO	mool	„	+ 29430	—
1 kg C + 1 nm^3 O_2 = 2 nm^3 CO	kg	„		+ 2450
1 mool CO + 0,5 mooli O_2 = 1 mool CO_2	mool	„	+ 68220	—
1 nm^3 CO + 0,5 nm^3 O_2 = 1 nm^3 CO_2	nm^3	„	—	+ 2845
1 mool H_2 + 0,5 mooli O_2 = 1 mool H_2O	mool	vedelik	+ 68520	—
1 nm^3 H_2 + 0,5 nm^3 O_2 = 1 nm^3 H_2O	nm^3	„	—	+ 2855
1 kg H_2 + 8 kg O_2 = 9 kg H_2O	kg	„	—	+ 33990
1 mool H_2 + 0,5 mooli O_2 = 1 mool H_2O	mool	aur	+ 57800	—
1 nm^3 H_2 + 0,5 nm^3 O_2 = 1 nm^3 H_2O	nm^3	„	—	+ 2440
1 kg H_2 + 8 kg O_2 = 9 kg H_2O	kg	„	—	+ 28630
1 mool S + 1 mool O_2=1mool SO_2 [1]	mool	gaas	+ 69800	—
1 kg S + 1 kg O_2 = 2 kg SO_2	kg	„	—	+ 2181
1 mool CO_2 + 1 mool C = 2 mooli CO	mool	„	− 38790	—
1 mool H_2O + 1 mool C = CO + H_2	„	„	− 28800	—
2 mooli H_2O + 1 mool C = CO_2 + 2H_2	„	„	− 37600	—
1 mool H_2O + 1 mool CO = CO_2 + H_2	„	„	− 10000	—

1 kg süsiniku põlemisest hapnikuga saadakse 1 + 2,67 = 3,67 kg süsihappegaasi.

Arvutades hapnikutarbe analoogilisel teel ka teiste põlevelementide kohta, saame teoreetiliselt põlemiseks tarviliku hapnikuhulga arvutamiseks valemi

$$O_{min} = 2,67\ C + 8\ (H - \frac{0}{8}) + S \text{ kg/kg ja}$$

teoreetilise põlemisõhu hulga arvutamiseks valemi

$$L_o = \frac{O_{min}}{0,232} = \frac{2,67\,C + 8\left(H - \frac{0}{8}\right) + S}{0,232} \text{ kg/kg.}$$

Tegelikult põlemisel koldes kas puuduliku segunemise tõttu või teistel põhjustel tekib kohati hapniku puudus ja kohati ülekaal; kõik

1) See on reaktsioon orgaanilise väävli S^o põlemisel. Püriitväävli S^p ühinemine hapnikuga toimub valemi järgi

$$4\ FeS_2 + 11\ O_2 = 2\ FeO_3 + 8\ SO_2.$$

Praktiliselt võib püriitväävli põlemisvalemina kasutada ka tabelis toodud valemit orgaanilise väävli kohta.

hapniku osakesed ei võta põlemisest osa. Seetõttu osa süsinikku põleb CO_2 asemel CO-ks, mis lahkub kõrge kalorisusega, 2450 kcal/kg, korstnasse. Kütuse täieliku põlemise saavutamiseks tuleb koldesse õhku juhtida teoreetilisest õhuhulgast L_0 suuremal määral. Tegeliku õhuhulga L suhet teoreetilise õhuhulgaga nimetatakse liigõhuteguriks ja tähistatakse tähega α.

$$\alpha = \frac{L_\alpha}{L_0} = \frac{O_\alpha}{O_{min}} = \frac{(CO_2)_{maks}}{(CO_2)_\alpha}.$$

Liigõhutegur α sõltub kütuse omadustest, põletamisviisist, põlemisseadmest ja teistest teguritest, seetõttu on tema väärtus mitmesugune ja kõigub suurtes piirides (1,1—1,9; tabel 27).

Põlemissaadused kütuse täielikust põlemisest koosnevad ülaltoodud valemite põhjal järgmistest komponentidest:

1) süsihappegaas (CO_2), mis saadakse süsiniku (C) põlemisest koguses

$$m_1 = 3{,}67 \text{ kg/kg};$$

2) veeaur (H_2O), saadud lagunemisveena vesiniku (H) põlemisel ja niiskusesisaldusest kütuses, kokku koguses

$$m_2 = 9\,H + W \text{ kg/kg};$$

3) vääveldioksüüd (väävlishappe anhüdriid) (SO_2), saadud väävli (S) põlemisest koguses

$$m_3 = 25 \text{ kg/kg};$$

4) lämmastik (N), mis tuleb põlemisgaasi põlemisõhust ja lämmastikusisaldusest kütuses, kokku koguses

$$m_4 = 0{,}768\,L_\alpha + N_{kütus} = 3{,}31\,O_\alpha + N_{kütus} \text{ kg/kg ja}$$

5) hapnik (O) koguses

$$m_5 = O_\alpha - O_{min}\,(\alpha - 1) \text{ kg/kg}.$$

Arvestades mateeria säilivuse seadust, saame võrrandi

$$\Sigma m = 1 + L_\alpha - A_t \text{ kg/kg}.$$

Seda valemit võib kasutada põlemissaaduste arvutustulemuste kontrollimiseks.

Põlemissaaduste arvutamisel mahuühikuis võime kasutada eeltoodud valemeid, jagades O_{min}, L jt. tähiseid vastava aine erikaaluga. Põlemissaaduste arvutamisi võime mahuühikuis ühtlasi teostada ka otse põlemisvalemite rakendamisega; näitena kirjeldame seda vesiniku põlemise kohta.

Vesiniku põlemisvalemit $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ mõistame nii, et kaks vesiniku mahuühikut (kg-mooli) ühineb keemiliselt ühe hapniku mahuühikuga ja põlemissaadusena saame kaks kg-mooli veeauru, kusjuures kõik mahuühikud oleksid võrdseis füüsikalistes tingimustes. Mõõtühikuks võtame ühe kg-mooli, s. o. kilogramm-molekuli mahu, mis võrdub kõikidel gaasidel 22,4 normaalkuupmeetriga; ühikute kaal kilogrammides aga võrdub ühikute arvu ja aine molekulkaalu korrutisega.

Vesiniku (H_2) põlemisel ühineb 2 kg-mooli H_2 ühe O_2 kg-mooliga ja saame 2 kg-mooli H_2O, või 4 kg H_2 ühineb 22,4 nm^3 O_2-ga ja saame 44,8 nm^3 H_2O. Järelikult ühe kg vesiniku põlemiseks tarvitame 5,6 nm^3 hapnikku ja saame 11,2 nm^3 veeauru.

Süsiniku (C) täielikul põlemisel on põlemisvalem järgmine: 12 kg C + 22,4 nm^3 O_2 annab 22,4 nm^3 CO_2 ja C kg täielikuks põlemiseks tarvitame 1,867 C nm^3 hapnikku ja saadakse 1,867 nm^3 CO_2.

Väävli (S) põlemisel 32 kg S + 22,4 nm^3 O_2 annab 22,4 nm^3 SO_2 ja S kg väävli põlemiseks on tarvilik 0,70 O S nm^3 hapnikku ja saadakse 0,70 O S nm^3 SO_2.

1 kg kütuse põlemiseks tarviliku minimaalse (teoreetilise) hapnikuhulga O_{min} võime määrata valemist

$$O_{min} = 1{,}867\ C + 5{,}6\ H + 0{,}7\ S - 0{,}7\ O\ nm^3/kg \text{ või}$$

$$O_{min} = 1{,}867\ C + 5{,}6\ (H - \tfrac{0}{8}) + 0{,}7\ S\ nm^3/kg.$$

Näitarv 0,7 tähistab hapniku mahtu kütuse koostises (hapniku erimaht $= \frac{1}{1{,}429} = 0{,}699 \approx 0{,}7$).

Teoreetilise põlemisõhu hulga arvutamiseks kujuneb valem järgmiseks:

$$L_o = \frac{O_{min}}{0{,}21} = \frac{1{,}867\ C + 5{,}6\ (H - \frac{0}{8}) + 0{,}7\ S}{0{,}21}\ nm^3/kg$$

või

$$L_o = 8{,}89\ C + 26{,}66\ (H - \tfrac{0}{8}) + 3{,}33\ S\ nm^3/kg.$$

Põlemissaaduste hulgad arvutame analoogiliselt arvutuskäigule kaaluühikute kohta ja saame:

1) süsihappegaasi (CO_2) koguses:

$$v_1 = 1{,}867\ C\ nm^3/kg,$$

2) veeauru (H_2O):

$$v_2 = 11{,}2\ H + \frac{W}{0{,}804} = 11{,}2\ H + 1{,}24\ W\ nm^3/kg,$$

3) vääveldioksüüdi (SO_2):

$$v_3 = 0{,}7\ S\ nm^3/kg,$$

4) lämmastikku (N):

$$v_4 = 0{,}79\ L_\alpha + \frac{N_{kütus}}{1{,}251} = 0{,}79\ L_\alpha + 0{,}8\ N_{kütus}\ nm^3/kg$$ ja

5) hapnikku (O):

$$v_5 = O_{min}\ (\alpha - 1)\ nm^3/kg.$$

Põlemisprotsessi arvutused ülaltoodud vormistuses on rakendatavad ka gaaskütustel. Näiteks raskete süsivesinikkude $C_n H_m$ põlemist võime väljendada valemiga

$$C_n H_m + \left(n + \frac{m}{4}\right) O_2 = n\ CO_2 + \frac{m}{2}\ H_2O.$$

Metaani (CH_4) ($n = 1$; $m = 4$) põlemist arvutame valemi järgi:

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2\ H_2O,$$

s. o. 1 nm^3 metaani põlemiseks on tarvis 2 nm^3 hapnikku ja saame 1 nm^3 süsihappegaasi ja 2 nm^3 veeauru.

Tabel 26. **Põlemisõhu ja põlemissaaduste hulk 1 kg põlevelemendi põletamisel.**

Nimetus	Hapnikku		Õhku		Lämmastikku		Põlemissaaduste hulk	
	G_o^O kg	$V_o^O = 0{,}7\ G$ nm^3	$L_o = 4{,}33\ G_o^O$ kg	$V_o = 4{,}78\ V_o^O$ nm^3	$G_o^N = L_o - G_o^O$ kg	$V_o^N = V_o - V_o^O$ nm^3	$1 + L_o$ kg	$G_o^O + 1 + \gamma_o$ põlem.-saad. nm^3 $+ V^N$
C	2,667	1,866	11,54	8,92	8,87	7,05	12,54	8,92
H	8	5,6	34,63	26,77	26,63	21,17	35,63	32,37
S	1	0,7	4,33	3,35	3,33	2,65	5,33	3,335
CO	0,572	0,4	2,473	1,91	1,90	1,51	3,473	2,304
CH_4	4	2,8	17,32	13,40	13,32	10,60	18,32	14,13
C_2H_4	3,43	2,4	14,83	11,48	11,40	9,08	15,83	12,27

Peame nentima, et nii kaalu- kui ka mahuvahekorras on ülaltoodud põlemistehniliste arvutuste alused ligikaudsed ja seda järgmistel põhjustel: esiteks on võetud kg-mooli maht kõikide käsitletud gaaside kohta 22,4 nm^3, mis on järelduseks Avogadro seadusest ideaalgaaside kohta; reaalgaasid aga omavad selle seaduse suhtes põikusi. Teiseks kasutati

elementide molekulkaalude ligikaudseid suurusi. Tulemused täpsetest arvutustulemustest nimetamisväärselt ei erine ja neil väikestel põikustel ei ole praktilist tähtsust. Näiteks lubatakse normides põlemisõhu valemis (L_o) kasutada väävli näitarvu kahekohalisena siintoodud kolmekohalise arvu asemel.

Käesolev põlemistehniline arvutuskäik on toodud põlemisprotsessi koguselise (kvantitatiivse) külje selgitamiseks. Arvutusi soovitame teostada vastavate normide alusel (K. 26, lk. 22).

2. Protsess põlemisel koldes.

a) Füüsikalis-keemilisi nähtusi.

Kütuse täielikul põlemisel tuleb arvestada paljusid füüsikalis-keemilisi nähtusi, mis esinevad koldeprotsessides. Kütuste struktuuri on üksikasjaliselt käsitletud peatükis „Kütuste iseloomustusi" ja ühe kütuse, põlevkivi-kukersiidi orgaanilise osa termilist lagunemist valgustasime lk. 34. Selgitame allpool lühidalt oksüdeerumisprotsessi ja põlemisel esinevaid taandumisreaktsioone.

Põlemise nakatamiseks on tarvilik nii põlevelemendi kui ka õhuhapniku soojenemine nn. süttimistemperatuurini. Temperatuurist sõltub põlemisest osavõtvate elementide — põlevainete ja hapniku vastastikuse ühinemise kiirus. Teatav väikeseulatuslik ühinemine toimub ka allpool ainete süttimispiire. Kindlamääralistena esinevad süttimispiirid vedelkütustel, kuid tahkekütustel on nad kütusaine ballastosade jt. kaasamõjuvate tegurite tõttu ebamäärasemad. Süttimistemperatuure tahke-, vedel- ja gaaskütuste kohta tõime tabelis 23, lk. 100. Süsiniku inertsuse tõttu oksüdeerumisprotsessis on kõrge süsiniku- ja vähese lendosade-sisaldusega keemiliselt vanematele kütustele omased kõrgemad süttimispiirid. Noortel lendosade-rohketel kütustel on süttimistemperatuur madalam ja nende ainete süütamine toimub märksa hõlpsamalt kui kõrge süttimispiiriga aine, näit. koksi süütamine. Süttimispiiri saavutamisel algab kütteaine kiire lagunemine, s. o. lendosade eraldumine ja molekulide rohkearvuline osavõtt oksüdeerumisprotsessist. Põlemisel vabaneb jahtumiskadudest ja reaktsioonist osavõtvate ainete soojendamiseks tarvilikust soojusest rohkemal määral soojust, mis forsseerib põlemistemperatuuri edaspidist tõusu põlevainete täielikuks lagunemiseks ja tarviliku määrani oksüdeerumiseks, s. o. praktiliselt vajaliku põlemistemperatuurini koldes.

Eespool (lk. 101) valgustasime põlemisest osavõtvate algainete — süsiniku, vesiniku ja väävli põlemisproduktsioone kütusest põlemise toimel

saadava soojushulga, põlemiseks tarviliku õhuhulga ja põlemissaaduste määramise seisukohast. Allpool selgitame mõningaid reaktsioone, mis toimuvad põlemisprotsessis nn. vahe-etappidena.

Lendosades, mis saadakse kütusaine termilisel lagunemisel (joon. 32), esineb olulise gaasina metaan (CH_4), mille põlemine toimub kolme üksteisele järgneva etapina. Esimese etapi reaktsiooni

$$CH_4 + O_2 = 2\,H_2O + C$$

toimel saadakse põlemissaadusena veeaur ja vaba süsinik — tahm. Teises etapis laguneb veeaur kuuma süsiniku toimel süsihapendiks ja vesinikuks reaktsiooni järgi

$$C + H_2O = CO + H_2.$$

Metaani põlemise kolmandas järgus toimub süsihapendi ja vesiniku põlemine reaktsiooni järgi

$$2CO + O_2 = 2CO_2 \text{ ja } 2H_2 + O_2 = 2H_2O.$$

Metaani ja teiste lendosade põlemisreaktsioonide toimumine eeldab küllaldase reaktsioonikiiruse hoidmiseks tarvilikku temperatuuri kolderuumis ja hapniku olemasolu metaani esinemise tsoonides.

Kütuse niiskus muutub aine kuumenemisel auruks, mis reageerib hõõguva süsinikuga ja laguneb, nagu eespool tähendasime, endotermilise toimega protsessis vesinikuks ja süsihapendiks reaktsiooni järgi

$$H_2O + C = H_2 + CO.$$

Kuid sellest ei saa veel järeldada niiskuse üldist kasulikkust kütuse koostises. Niiskus võib osutuda kasulikuks vaid selle määrani, kuivõrd ta soodustab kütuse lagunemist, s. o. võtab osa vesigaasi tekkimisest põlemisprotsessis koldes. Niiskus, mis ületab põlemisele kasuliku määra, muutub kahjulikuks, soojust neelavaks ballastiks.

Põlemisel koldes esinevaist taandumisreaktsioonidest mainitagu veel süsihappegaasi taandumist CO-ks kokkupuutel hõõguvate süsinikuosakestega, milline endotermiline protsess toimub valemi järgi

$$CO_2 + C = 2\,CO.$$

Ülaltoodust näeme, et kütuse täieliku põlemise saavutamiseks põlemisel koldes ei ole kaugeltki küllaldane juhtida koldesse kütusaine kõrval nõutav kogus põlemisõhku, vaid põlemisprotsess tuleb organiseerida nii, et oleks välditud põlevainete H_2, C ja CO esinemine koldest lahkuvais põlemissaadustes. Sellest ligemalt allpool (vt. „Põlemiskaod ja soojusbilanss").

b) Põlemisprotsessi järgud.

Tahkekütuse põlemise protsessi võime rühmitada nelja üksteisele järgnevasse järku: ettevalmistus, lendosade eraldumine ja põlemine, koksi põlemine ja räbu põlemine.

Ettevalmistavas järgus toimub kütuse eelsoojenemine ja niiskuse aurumine. Protsessi soojusbilanss on selles järgus negatiivne. Ettevalmistusprotsessiks tuleb soojust juurde anda kuuma õhuga või põlemissaaduste retsirkulatsiooni teel. Ühtlasi neelab värske kütus soojust kolderuumist. Ettevalmistusjärk lõpeb kütusaine süttimispiiri saavutamisega, näit. põlevkivil-kukersiidil asetseb see ligikaudu temperatuuril 272° C. Märgatav lendosade eraldumine algab kukersiidil juba temperatuuril 170° C.

Põlemise teise järguna võime eraldada põlemisprotsessis kütuse termilist lagunemist lendosadeks ja koksiks, kaasa arvatud lendosade põlemine.

Intensiivsem lendosade eraldumine algab temperatuuripiirkonnas 300—400° C. Sealjuures eralduvad gaasid koosnevad SO_2-st, CO_2-st, H_2O-st, CO-st, CH_4-st, C_2H_2-st ja raskeist süsivesinikest. Kütusest lendosade eraldumine kestab temperatuurini kuni 1000° C. Lendosade põlemine ja raskete süsivesinike pürogeneetiline lagunemine toimub kihispõlemisega küttekolletes peamiselt kolderuumis ja ainult osaliselt kihis, ruumpõlemistel — tuleleegi vastavas osas. Raskesti süttivate lendosade puhul kasutatakse katalüsaatorina tule stabiliseerimise otstarbel süütevõlvi, põlemisgaaside retsirkulatsiooni, kõrge eelsoojendusega põlemisõhku jne. Kergesti süttivate süsivesinike puhul on protsessi soojusbilanss kindlasti positiivne; raskesti süttivate gaaside puhul osutub vajalikuks kiirgussoojuse juurdevool põlemisruumist. Üldiselt tuleb lendosade eraldumise ja põlemise tsooni lugeda aktiivpõlemise tsooniks.

Põlemise kolmandas järgus toimub tahke süsiniku, s. o. koksi põlemine. Selles järgus on kütusekihil kõrgeim temperatuur, soojusbilanss on positiivne. See põlemistsoon on võimeline mõnede kütuste puhul toetama põlemist ka naaberkihtides. Põlemisreaktsioonide teostumise kiiruse seisukohalt on tarvilik, et käesolevas põlemisjärgus oleks temperatuur vähemalt 900—1000° C; spetsiifiliste iseärasustega kütuste puhul on see temperatuuri miinimummäär kõrgem.

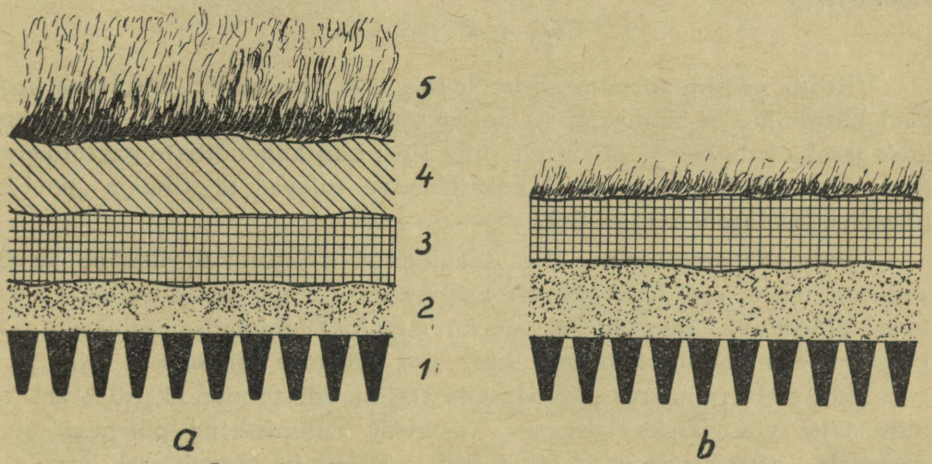
ENSV põlevkivil-kukersiidil on kihitemperatuur selles tsoonis ligikaudu 1000—1100° C. Kihi temperatuuri ülemmäära piirab kütuse mineraalosade plastinemise temperatuur. Viimase ületamisel paakub restil olev kiht õhku läbilaskmatuks räbuks. Kõrgem kihitemperatuur kindlustab lendosade täielikku eraldumist ja koksi läbipõlemist.

Neljandas järgus, s. o. räbu põlemisel toimub viimaste põlevosade põlemine ja tuha kujunemine.

Mineraaltuhk moodustab keeruka segu kütuses leiduvaist mineraalainetest, milledest mõned põlevad, teised lagunevad kuumenemise toimel, kolmandad sulavad kihitemperatuuridel jne. Termiline toime on neljandas põlemistsoonis alaneva iseloomuga, mistõttu mõnede kütuste kihispõletamisel kasutatakse vastukiirgamislagesid.

c) Põlemine liikumatus kihis.

Põlemisprotsessi liikumatus küttekihis (restil käsitsi teenindamisega) võib jagada kihi paksuses viide vöötmesse (joon. 33).



Joon. 33. Kütuse põlemine liikumatus kihis.
a — põlev kiht, *b* — põlenud kiht.

Esimeseks kihivöötmeks ehk -tsooniks on restipind, kus toimub läbivoolava põlemisõhu eelsoojendus resti osade jahutamise arvel.

Resti pinnalt ülespoole asetseb teine kihivööde ehk räbutsoon. Seal toimub samuti nagu eelmiseski tsoonis peamiselt õhu eelsoojendus ja räbukihi mahajahutamine, vähesel määral ka räbukihis esinevate põlevosade järelpõlemine. Mahajahutamine hoiab räbukihi poorsena, vastasel korral on takistatud õhu läbivoolamine ja põlemine lakkab ning resti metallosad kuumenevad kinnipõlenud räbukihiga kohtades üle.

Kolmandas kihivöötmes asetseb lendosade eraldunud ning termilisest mõjust murenenud kütusekiht — koks. Sel kihivöötmel on stabiilne positiivne soojusbilanss; koksi põlemissoojuse kaastoimel teostub kütuse eelsoojendus ja lendosade eraldumine koksikihi peal asetsevas kihivöötmes. Põlemisreaktsioonid koksikihis on järgmised:

väävli põlemine $S + O_2 = SO_2$,
süsiniku täielik põlemine $C + O_2 = CO_2$,
„ poolik põlemine $2\,C + O_2 = 2\,CO$.

Koksikihis toimub peaaegu leegita põlemine.

Neljas kihivööde osutub värske kütuse vöötmeks. Seal toimub kütusaine ettevalmistumine põlemiseks (eelsoojendus ja niiskuse väljaauramine), termiline lagunemine lendosadeks ja koksiks, lendosade eraldumine ning põlema süttimine. Süttimisprotsess toimub siinjuures kihile põiksuunas, ülevalt ja alt. Ühtlasi taandub osa allpool asetsevast koksikihist tulevat süsihappegaasi värske kütuse vöötmes süsihapendiks reaktsiooni järgi

$$CO_2 + C = 2\,CO.$$

Viienda vöötme moodustab lendosade põlemise vööde, mis lasub pealpool küttekihti ja hõlmab kogu põlemisruumi. Värske kütuse pealeviskamise järel algab vee- ja õliaurude ning süsivesinikühendiliste gaaside eraldumine, milledele lisanduvad koksitsoonist tulevad täieliku ja pooliku põlemise saadused CO_2 ja CO.

Lendosade eraldumine, olles saavutanud maksimumi, hakkab järsult vaibuma, mille järel lõpeb kütuse gaasistumise etapp ja kihi allosas algab koksi põlemine. Kuumade gaaside kütusetükist lahkumisel esinevate pingete toimel murenevad kütusetükid. On põlemise esimene ja teine järk, s. o. kütuse ettevalmistus ja lendosade eraldumine toimunud, tuleb kütusekihti täita uue värske kütusega, vastavalt eelnimetatud põlemisjärkude kestusele, ajavahemikus 5—10 minutit. Räbukiht kasvab järk-järgult ja resti tuleb aeg-ajalt puhastada (2—8 tunni järel). Põlevkivi-kukersiidi põletamiseks ehitatavail käpprestidel on hästi lahendatud tuha ja räbu kõrvaldamine läbivarisemise teel resti liigutamisel (joon. 53).

Soojusrežiim ühelt poolt ja põlemisõhu küllus teiselt poolt peavad kindlustama keerulistest molekulidest koosnevate lendosade täiendavat lagunemist lihtgaasideks CO ja H_2 ning nende täielikku põlemist põlemisruumis. Põlemisruum kujundatakse vastavalt lendosade rohkusele ja lendainete põlemistingimustele: kõrged põlemisruumid kergesti süttivaile pika leegiga põlevaile ainetele, katalüsaatorid kattelagedena jne.

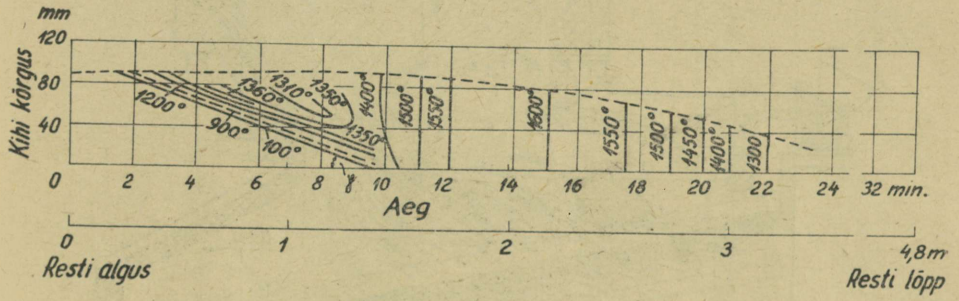
Põlemisõhk voolab juurde läbi küttekihi ja lisaõhuna terava õhujoa näol põlemisruumi. Küttekihi paksus sõltub kütuse struktuurist ja põlemistehnilistest omadustest; soovitatavaks kihi paksuseks on õhukuivale tükkturbale 400, jämeantratsiidile 200, peenantratsiidile 100, kivisöele 60—150, põlevkivile-kukersiidile (jäme) 350 mm jne.

d) Põlemine liikuvas kihis.

Põlemine liikuvas kihis erineb mitmeti põlemisest liikumatus, perioodiliselt värske kütusega täidetavas kihis. Vaatame näitena põlemist kettrestil. Lõputu lindina liikuv resti pind on kaetud ühtlase paksusega kütusekihiga ja see liigub täitekolu poolt vajaliku kiirusega räbupunkri suunas. Põlemisprotsess jaguneb ka siin nelja põhijärku, kuid põlevkihid ei paikne rõhtsalt, vaid piki resti peegelpinda resti lõpu suunas, moodustades kihis kaldepinnalise süttimispiirjoone. Olulise tähtsusega ettevalmistumistsooni piirava alusjoone nihkumist piki resti pinda määravad kütusekihi liikumise kiirus W_k ja kihi süttimise kiirus W_s, kusjuures

$$\tan \gamma = \frac{W_k}{W_s}.$$

Joon. 34 on antud kihi ettevalmistustsooni ja lendosade eraldumise tsooni vaheline kalle ning temperatuuritsoonid kihis.



Joon. 34. Temperatuuritsoonid kivisõe põlemisel kettrestil.

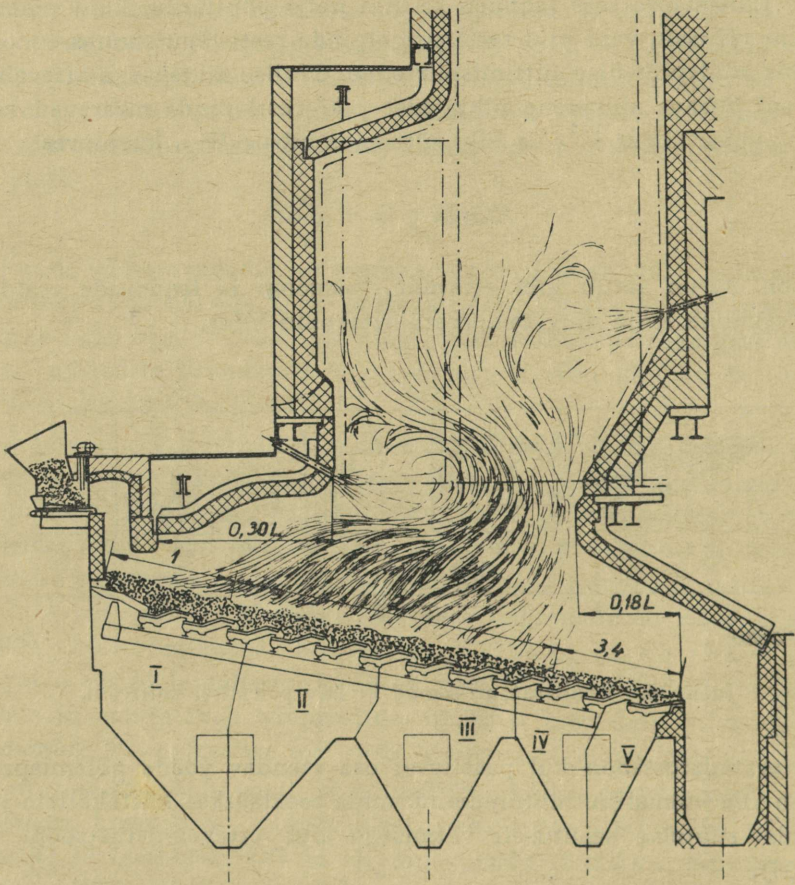
Ettevalmistustsoon kui passiivset osa etendav vööde põlemisprotsessis tuleb viia võimaliku miinimumini, mida teostatakse küttekollete juures paraboolse süütelae kasutusele võtmisega kihi ettevalmistustsooni kohal (joon. 35).

Sama kehtib ka liikuvate trepprestide kohta.

Põlemisjärkudele II, III ja IV vastavad põlemistsoonid jagunevad restil, nagu on tähistatud joon. 35 ja 36.

Põlemise käiku kütuse põletamisel liikuvas kihis iseloomustavad joon. 37 kujutatud kaks nomogrammi gaaside koostise kihi peal ja põlemisruumi lõpus Tšeljabinski kivisõe põletamisel. Kolderuumi esiosas räbupunkri juures tekib resti kohal hapniku ülejääk, resti keskosas aga kasutatakse ära kogu hapnik lendosade ja koksi intensiivse põlemise tõttu.

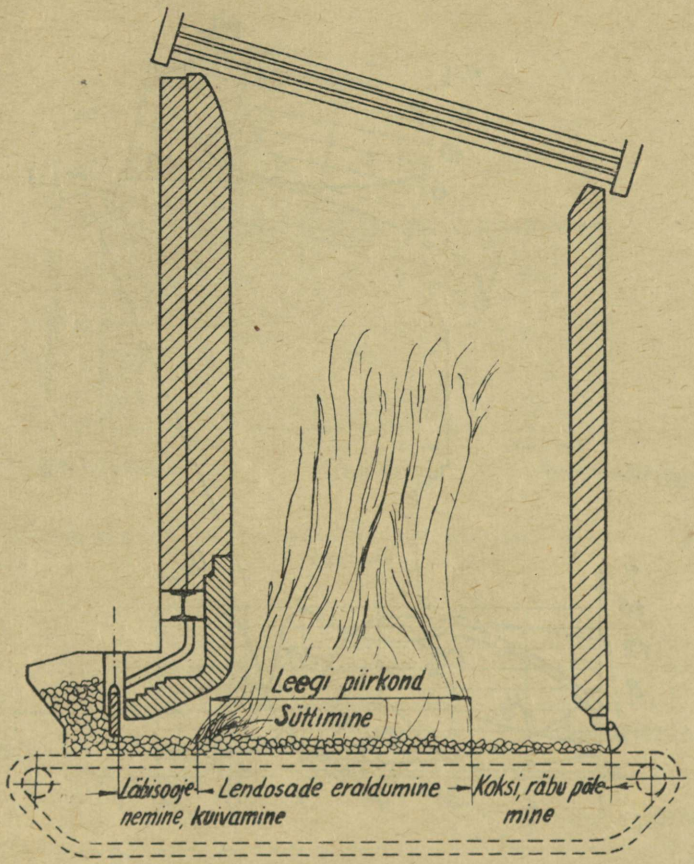
Ühtlasi leidub kolde keskosas suurel määral põlevgaase H_2, CH_4 ja CO, mis vihjab hapniku puudusele selles tsoonis. CO_2-joone lang kolde keskosas on tingitud nii taandumisprotsessist kütusekihis kui ka hapniku kasinusest. CO-sisaldus gaaside koostises nende koldest lahkumisel, s. o. enne toruridasid, vihjab põlemissaaduste ja õhu puudulikule segunemisele kol-



Joon. 35. Kolle „Krull-Lomšakovi" restiga (peenpõlevkivile).

des. Ilmnenud puuduste kõrvaldamine on tõenäoliselt võimalik põlemisõhu õige juhtimisega reguleeritavate tsoonide kaudu küttekihi alla, pealtõhuga põlemisgaaside küllaldase segamisega ja ratsionaalse süütevõlvi kui katalüsaatori rakendamisega resti kohale kolde esiosas. Joon. 38 kujutab põlemissaaduste koostist rändtsoonidega kettrestil H. Werkmeister'i poolt

teostatud põlemiskatsete tulemustel. See koostis on lähedane ideaalkoostisele põlemissaaduste kohta resti peal. Joon. 39 toome vaigulise kivisöe põlemise protsessi iseloomustava nomogrammi sama autori poolt teostatud katsete alusel (K. 37, lk. 31). Iseärasusi põlevkivi-kukersiidi ja turba põlemise kohta liikuvas kihis valgustame peatükis „Küttekolded".

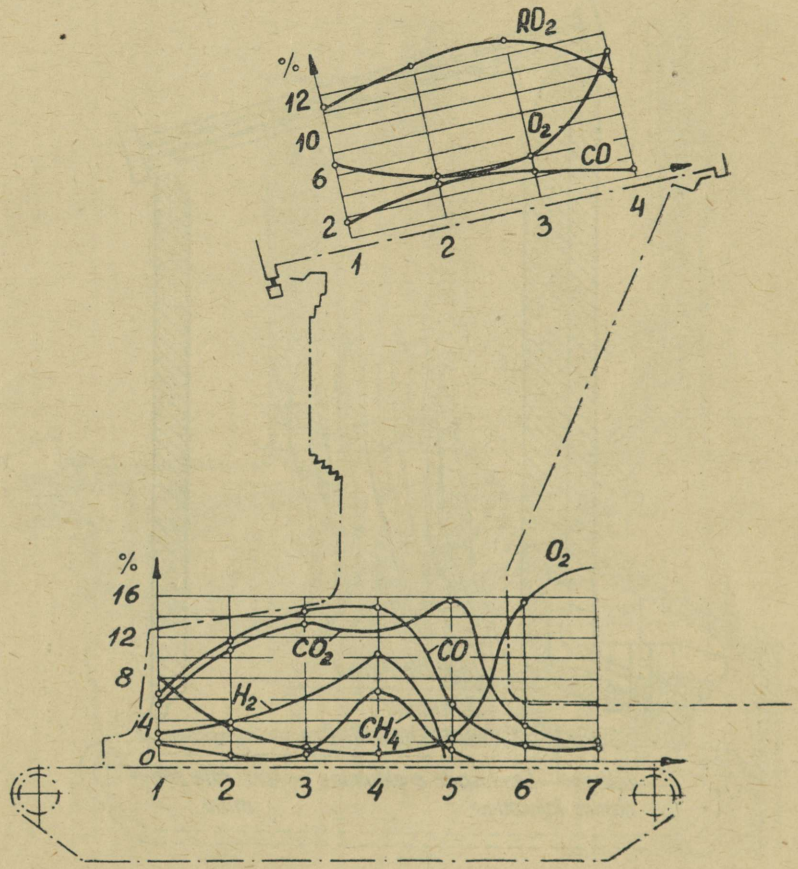


Joon. 36. Põlemistsoonid tahkekütuse põlemisel rändrestil.

e) Hõljuvpõlemine.

Põlemisjärgud kütuse hõljuvpõlemisel on samad, mis kihispõlemisel (lk. 108). Hõljuvpõlemisel toimuvad kõik neli põlemisjärku põlemisruumis, s. o. hõljuvpõlemine on täiel määral ruumispõlemine. Et siinjuures on tingimuseks kütuse täielik põlemine ilma osakeste allavarisemiseta põlemisruumi põrandale, purustatakse kütus enne tarvitamist tolmpeeneks, tera-

suurusega 0—300μ. Enamik hõljuvpõlemiseks ettevalmistatud kütusest on terasuurusega 20 kuni 50μ. Raskemini süttivate kütuste puhul vajatakse põletamistolmu kõrgemat terapeenust, lendosaderohked kütused põlevad ka vähema terapeenuse puhul.

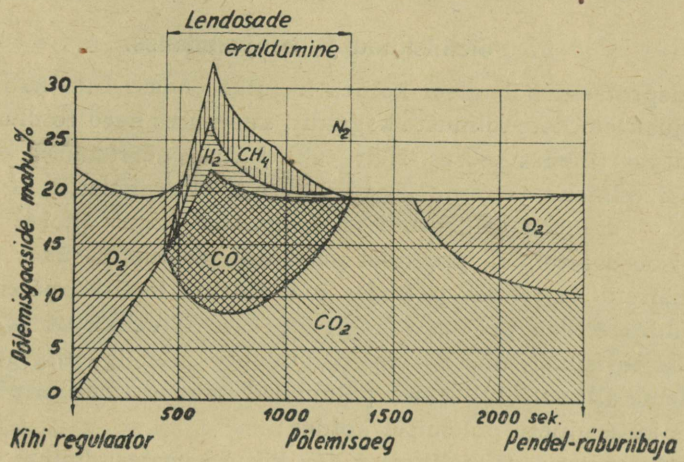


Joon. 37. Põlemisgaaside koostis kihi peal ja kolde lõpus. Kütus — Tšeljabinski kivisüsi. Prof. dr. A. M. Gurvitši ja P. N. Kendõsi andmetel.

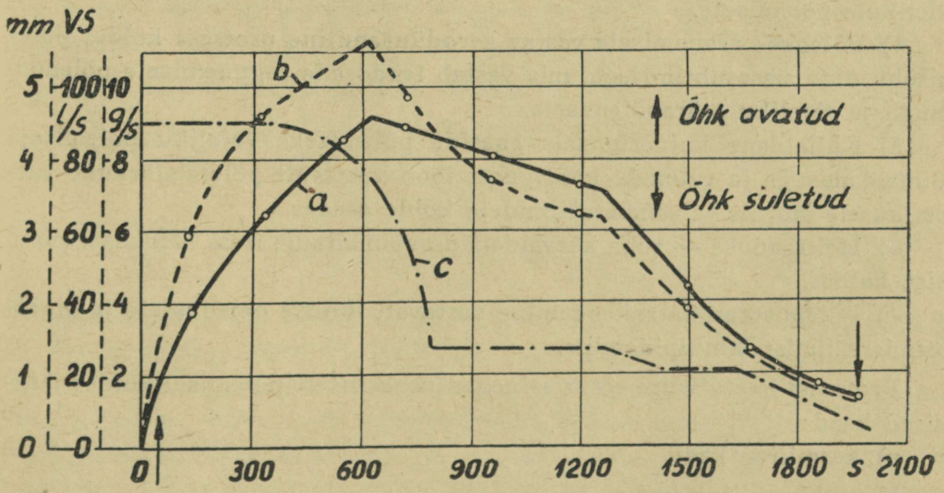
Põlevkivi-kukersiit kuulub lendosaderohkete kütuste liiki, kuid evib kõrge tuhasisalduse, kusjuures tuhk sulab madalail temperatuuridel: plastinemise algus ligikaudu 1100° C, sulamise algus 1200—1250° C ja täielik vedelolek 1300—1400° C. Kukersiidi põletamine tolmuna koldes ei ole veel välja arenenud.

f) Vedel- ja gaaskütuste põlemine.

Vedel- ja gaaskütuste põlemine toimub ruumis (ruumispõlemine). Vedelkütus pihustatakse põlemise eel tolmpeenteks tilgakesteks. Kolderuumis toimub õlitilgakeste aurumine, pürogeneetiline lagunemine ja



Joon. 38. Põlemisgaaside koostis sõltuvalt põlemisajast. Rest → rändtsoonidega kettrest.



Joon. 39. Vaiguse kivisöe põlemisprotsess rändrestil. *a* — põlemisjoon, *b* — õhu hulk, *c* — kihi takistus.

segunemine põlemisõhuga ning põlemine leegina. Põlemisjärkudest võime nimetada leegis kütuse soojenemist, lendosade eraldumist gaasideks ja tahmaks ning nende põlemist.

Gaaskütuste põlemisel langeb peaaegu täiesti ära kütuse ettevalmistamine. Põlemisprotsess seisneb peamiselt kütusgaasi ja põlemisõhu soojenemises, põlevgaasi pürogeneetilises lagunemises ja gaasisegu põlemises.

3. Põlemiskaod ja soojusbilanss.

Põlemisprotsess põlemisel koldes kujutab endast füüsikaliste, keemiliste ja soojuskeemiliste toimuste kogumit, kusjuures need toimused on üksteisega pidevas tihedas seoses. Näit. tahkekütuse põletamisel võivad põlemisprotsessi esimene ja teine järk — kütuse ettevalmistus ja lendosade eraldumine — areneda vaid protsessi kolmanda järgu (koksi põlemine) reaktsioonisoojuse toimel, protsessi puudulik teostumine ühes järgus kutsub esile häireid ka teistes järkudes jne. Kütuse täieliku põlemise saavutamine koldes eeldab protsessi kogu ulatuses täiuslikkust ja niisuguste küttekollete ehitamist, mis vastaksid koldeprotsessi igakülgsele toimumisele. Loetleme allpool olulisemad põhimised nõuded täieliku põlemise saavutamiseks kütusainete põlemisel koldes:

1) Katkestamatu, võimalikult pidev kütuse pealeandmine.

2) Põlemisõhu juurdevool küllaldasel määral, jaotatult tarbekohaselt põlemistsoonidesse.

3) Temperatuuritsoonid koldes, mis vastavad aine lagunemisele ja täielikule põlemisele.

4) Põlemise arenemisele vastav aerodünaamiline protsess koldes põlemisõhu õige sissejuhtimisega, mis vastab lendosade segunemisele põlemisõhuga ja täielikule ärapõlemisele.

5) Küllaldane kolderuumala gaaside põlemiseks vajaliku põlemisaja võimaldamisega ja ruumala konfiguratsioon vastavalt põlemisjärkude vastastikusele mõjule ja tõmberežiimidele kolde osades.

6) Heitsaaduse — tuha kõrvaldamine võimalikult ilma häirimata põlemist koldes.

7) Põlemistehnika rakendamine vastavalt kütuse omadustele ja õigest kütmisrežiimist kinnipidamine.

Protsessi keerulisuse tõttu esinevad praktiliselt põlemisel koldes järgmised kaod:

a) keemiline kadu . . . . . q_3 %,

b) mehhaaniline kadu . . . . . q_4 %,

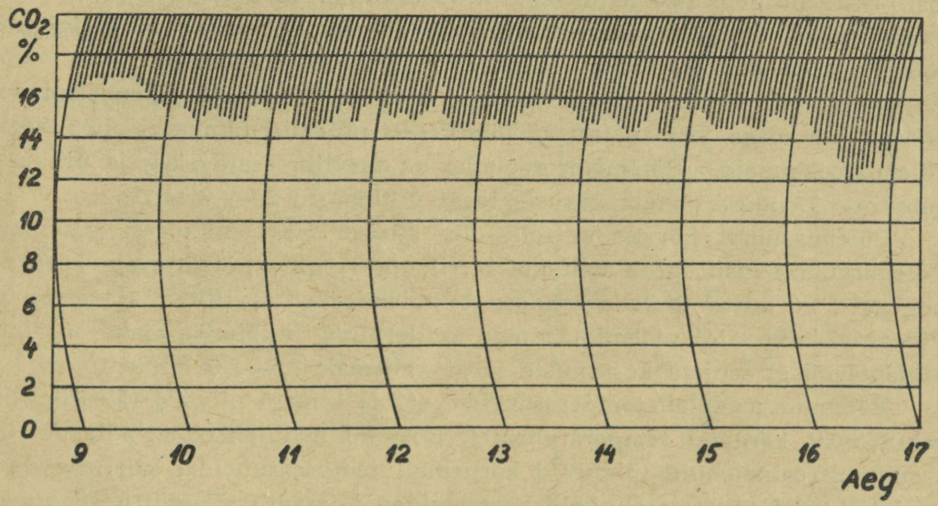
c) kadu välisjahtumisest . . . . . q_5^{ko} %,

d) kadu kolde jahutamisest paneelidega (kui paneelide vesi ei leia kasutamist katlaprotsessis) . . . . . q_6^P %.

Kao näitajaina kasutame tähiseid q_3, q_4 jne., nagu see on ette nähtud aurukatelde soojusbilansi vormistamisel (K. 26, lk. 30).

a) K e e m i l i n e k a d u (q_3).

Keemilise kao all mõistetakse seda põlemiskadu, mis tekib põlemisprotsessi keemiliste reaktsioonide osas nn. aine puuduliku põlemise tõttu. Puuduliku põlemise põhjustajaks võivad olla: õhupuudus põlemisel, põlevosade-õhu puudulik segunemine, madal põlemisruum, madal koldetemperatuur kihis ja ruumis. Vaatleme ligemalt puuduliku põlemise, s. o. põlemisel keemiliste kadude tekkimise põhjusi ja vastuabinõusid nende vältimiseks.



Joon. 40. CO_2-sisaldus suitsugaasis turba põlemisel rändrestiga Makarjevi koldes prooviküütmise andmetel (autorilt).

Kütusaine kõige olulisem põlevelement C põleb täielikul põlemisel CO_2-ks, kusjuures reaktsioonist võtavad osa üks mool C-d ja üks mool O_2. Puudulikul põlemisel põlevad kaks mooli C-d ühe mooli O_2 osavõtul reaktsioonist, s. o. kaks korda vähema õhuhulgaga. Soojust tekib süsiniku puudulikul põlemisel 8140 : 2450 = 3,3 korda vähem kui süsiniku täielikul põlemisel. Õhupuudus on suurimaid kadude tekitajaid põlemisel koldes. CO tekkimisega käib tavaliselt kaasas põlemata süsiniku jäämine leeki tahma näol (puhas süsinik). Tahmakadu loetakse soojustehniliste reeglite

järgi mehhaaniliseks kaoks. Süsihapend, CO, on läbipaistev gaas, tahm aga musta värvitooniga, järelikult ilmuvad puudulikul põlemisel õhuvähesuse tõttu tumedad lainelised vööndid tuleleegis.

Kaod põlevosade puudulikust segunemisest õhuga tekivad järgmistel põhjustel. Hõõguva koksi pinna või hõljuva süsinikuosakese oksüdeerumine hapniku juurdevoolul toimub väga kiiresti. Hapniku juurdevool ja põlemissaaduse — gaasi äravool toimub mõlemate gaaside difusiooni (seitimise) teel, kusjuures tõukejõuks selles protsessis osutub gaaside kontsentratsiooni, s. o. partsiaalrõhkude vahe. Et aga põlemisõhu juurdevool kütusekihile ei ole kaugeltki ühtlane, tekivad põlemiskihis õhuküllased ja õhuvaesed tsoonid. Õhuvaesed tsoonid võivad esineda ka leegis, mille tagajärjeks on puudulik põlemine nendes tsoonides. Kihispõlemisseadmetest on organiseeritud õhu juurdevool väga täiuslikult „Krull-Lomšakovi" restidel, kusjuures altõhu juurdevoolus kütuskihti on välditud teravad joad resti peegelpinna katmisega kruusakihiga. Siit selgub ühtlasi, et intensiivsema õhupuhumisega saavutame elavama põlemise kihis ja hea pööristuulega pealtõhu näol lendosade täieliku läbipõlemise.

Madal (või lühike) põlemisruum põhjustab keemiliste põlemiskadude esiletulekut seega, et madalast või lühikesest põlemisruumist ei piisa leegi põlemisteekonnale. Põlemisprotsessiks on tarvilik teatav aeg ja pikkusgabariit. Lendosarohkete kütuste leegi pikkus on 3—5 meetrit.

Põlemisruumi kõrgus ei tohi olla kütuse leegi pikkusest väiksem. Põlemisruumi maht peab vastama restil või leegina põletatavale kütusekogusele, et mitte ületada lendosade põlemiseks tarvilikku ajanäitarvu. Põlevkivi-kukersiidi põlemissaaduste kolderuumis viibimise ajaks on aine kihispõlemisel seniste kogemuste järgi vähemalt 1,5—2,0 minutit.

Põlemine madalail temperatuuridel ei ole kunagi niivõrd täiuslik kui rahuldavail kõrgetel temperatuuridel. Eespool mainisime, et põlemis- ja taandumisreaktsioonid toimuvad kõrgemail temperatuuridel kiiremini kui madalail. Põlemisaeg on koldeprotsessides piiratud. Seetõttu ei suuda külm kolle kütust täielikult ära põletada.

Keemiliste kadude vältimiseks koldeprotsessis rakendatakse järgmisi vastuabinõusid.

Põlemisõhu puudust välditakse teoreetiliselt suurema õhuhulga rakendamisega. Liigõhutegur valitakse vastavalt kütuse liigile, omadustele, põlemisprotsessi iseloomule, protsessi rakendamise organiseerimisele jm. Tabelis 27 toome praktilisi näitarve küttekollete kohta.

Koldegaaside ja põlemisõhu hea segunemine saavutatakse kolderuumi sobiva konfiguratsiooniga ja tarbe korral pöörisõhu (sekundaarõhu) rakendamisega. Näit. joon. 35 toodud põlevkivikolde puhul on pöörisõhu kasu-

tamine möödapääsematu restipealse esilae alla kogunevate lendosade segamiseks ja suunamiseks kolde aktuaalsemasse põlemistsooni.

Tabel 27. **Kollete arvutuslikke näitarve.**

Kolde tüüp ja kütuse liik	Resti peegelpinna lubatud näil. soojuslik koormus Q/R kcal/m² tund	Kolderuumi lubatud soojuslik erikoormus (katla normaalkoormusel) Q/V_{kO} kcal/m³ tund	Keemiline ja mehh. kadu koldes $q_3 + q_4$ %		Liigõhutegur koldes normaal- ja maksimaalkoormusel (väärõhk kaasa arvatud) α_{ko}	Vajalik õhurõhk resti all maksimaalsel koormusel mm H_2O	Normaalkoormusel lubat. kõrgeim õhutemp. resti all t^0 C
			normaalkoormusel	maksimaalkoormusel			
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Käsitsi teenindamisega koldeid							
Plaanrestiga:							
Antratsiit, sorditud	$1000 \cdot 10^3$	$300 \cdot 10^3$	5+2	6+3	1,4	80	20
„ sortimata	$800 \cdot 10^3$	$300 \cdot 10^3$	8+2	10+3	1,5	100	20
Kivisüsi, paakuv	$900 \cdot 10^3$	$250 \cdot 10^3$	4+3	5+4	1,4	50	20
„ mittepaakuv	$900 \cdot 10^3$	$250 \cdot 10^3$	5+2	6+3	1,4	50	20
Pruunsüsi, sortimata,							
„ $W_t < 25\%$	$900 \cdot 10^3$	$250 \cdot 10^3$	5+3	6+4	1,4	50	20
„ $W_t > 25\%$	$800 \cdot 10^3$	$250 \cdot 10^3$	5+3	6+4	1,4	50	20
Käpprestiga:							
Põlevkivi-kukersiit (jämekivi)	$500 \cdot 10^3$	$220 \cdot 10^3$	10	12	1,6	—	20—50
Trepprestiga:							
Põlevkivi-kukersiit (jämekivi)	$450 \cdot 10^3$	$220 \cdot 10^3$	8	10	1,6	—	20—50
Süvikkolded:							
Turvas ja puit $W_t = 40\%$	$1100 \cdot 10^3$	$300 \cdot 10^3$	1+3	1+4	1,3	40	20
Soome kolded:							
Puitlaastud $W_t = 40 - 50\%$	$800 \cdot 10^3$	$300 \cdot 10^3$	1+2	2+3	1,3	30	20
2. Mehhaanilisi koldeid							
Kettrestiga:							
Antratsiit „AC“	$1200 \cdot 10^3$	$300 \cdot 10^3$	8	10	1,25	100	200
Kivisüsi, sorditud	$1300 \cdot 10^3$	$300 \cdot 10^3$	6	8	1,25	60	200
„ sortimata	$1100 \cdot 10^3$	$300 \cdot 10^3$	7	10	1,3	60	200
Pruunsüsi $W_t < 25\%$	$1000 \cdot 10^3$	$300 \cdot 10^3$	7	8	1,3	50	250
Tükkturvas $W_t = 40\%$	$2100 \cdot 10^3$	$350 \cdot 10^3$	2	3	1,3	60	250
Mehhaanilise treppprestiga:							
Pruunsüsi	$800 \cdot 10^3$	$250 \cdot 10^3$	7	9	1,35	50	200
Põlevkivi-kukersiit (peenkivi, „Krull-Lomšakovi“ restil)	$800 \cdot 10^3$	$180 \cdot 10^3$	5	7	1,35	60	200

1	2	3	4	5	6	7	8
3. Tolmküttekoldeid							
Lendosadevaene süsi	—	$110 \cdot 10^3$ — $130 \cdot 10^3$	6	7	1,15—1,25	—	—
Lendosaderikas „	—	$250 \cdot 10^3$	5	6	1,15—1,25	—	—
4. Õliküttekoldeid							
Masuut, nafta	—	$350 \cdot 10^3$	2	2	1,15	—	—
5. Gaasküttekoldeid							
Maagaas	—	$300 \cdot 10^3$	2	2	1,15	—	—
Kõrgahjugaas	—	$200 \cdot 10^3$		3	1,15	—	—

Kolderuum tuleb valida küllaldaselt kõrge, et saavutada põlevate lendosade täielikku läbipõlemist ja tuharikaste kütuste puhul ka lendtuha eraldumist gaasivoolust. Kolderuumi kõrguse ja ruumi mahu määramisel on oluliseks teguriks lendainete põlemisaeg, s. o. aeg nii põlemis- kui ka taandumisreaktsioonide teostumiseks. Taandumistsoon eraldub kolderuumis heledalt kumava leegiga. Leegi helendamine siinkohal on tingitud süsinikuosade kiirgumisest. Süsivesinike taandumiseta toimub põlemine vähem helendava leegiga. Gaasisegude põlemisaja arvutamine on vastavate näitarvude puudumise ja põlemisprotsessi keerulisuse tõttu raskendatud. Seepärast piirdutakse kolderuumi mahu ja ruumi kõrguse määramisel eksperimentaalse iseloomuga näitarvuga kolderuumi näiliku soojusliku erikoormuse näol kcal/m³ tund. Põlevkivikollete kolderuumi konfiguratsiooni küsimust on selgitatud üksikasjaliselt töös „Kriitiline ülevaade põlevkivikolletest mehhaaniliste restidega“ (K. 38, lk. 18).

b) Mehhaaniline kadu (q_4).

Mehhaaniliste kadude rühma arvatakse kadu põlemata (läbivarisenud) kütuse näol tuhas, räbu tekkimise soojus, kadu lendtuhaga ja tahmakadu, s. o.

$$q_4 = q_4^{l \cdot v} + q_4^{r \cdot t} + q_4^{l \cdot t} + q_4^{tahm} \ (\%).$$

Kadu $q_4^{l \cdot v}$ määratakse läbivarisenud aine analüüsimise teel, kadu $q_4^{r \cdot t}$ aga räbuhulga ja räbu koostise kindlakstegemisega ja selle koostise tuha räbuks sulamise soojushulga ligikaudse arvutamisega. Paakuvate süte põletamisel kettrestil (räburiibaja kasutamisega) koormusega $\frac{Q}{R} = (1200 — 1300) \cdot 10^3$ kcal/m² tund võib hinnata

$$q_4^{r \cdot t} = 0{,}2 \ A_k \ \text{(K. 17, lk. 172)}.$$

Kadu $q_4^{r.t.}$ põlemisel lihtrestidel soovitab ins. Tatištšev

$$q_4^{r.t.} = (0{,}18\ A_k - 0{,}45)\ \%,$$

kui $A_k < 20\%$ ja $\frac{Q}{R_P} = 700—900$ kcal/m² tund.

Lendtuha kao $q_4^{l.t.}$ suurus sõltub suurel määral kolde konstruktsioonist, kütuse struktuurist ja kolde teenindamisest. Peenkütuste puhul tuleb vältida ülemäärast tõmmet koldes ja survet resti tsoonides. Üldiselt kõigub see kadu õigesti ehitatud ja teenindatava kolde puhul 0,5—4,0% piirides.

Kadu tahma läbi q_4^{tahm} sõltub esijoones temperatuurirežiimist põlemisel koldes; tahmumine esineb esijoones kütmisel madalail temperatuuridel. Eriti kalduvad tahmumisele kütused kõrge lendosade-sisaldusega, näit. põlevkivi. Soojusbilansside koostamistel arvatakse tahmakadu jääkkadude hulka.

Mehhaaniliste kadude üldkogused koldes põlemise kohta tõime tabelis 27.

c) Kadu välisjahtumisest, q_5^{ko}, määratakse nomogrammi põhjal (K. 26, lk. 103). Kolde jahtumiskadusid välditakse õige koldemüüritise konstruktsiooni valikuga kui ka teenindamiseeskirjadest kinnipidamisega. Tõhus abinõu jahtumiskadude vähendamiseks on siseseinte isoleerimine välismüüritisest voolava õhukihiga, mis on eriti tähtis ekraanimata koldeseinte puhul.

d) Kadu seinte paneelide kaudu, q_6^P, esineb neil juhtudel, kui jahutuspaneelid ei ole ühenduses katlasüsteemiga. Kadu on arvutatav jahutusvee soojenemise efekti järgi.

e) Kadu tuha füüsikalise soojusega, q_6^T, on tähtis kolde bilansis tuharikaste kütuste, näit. põlevkivi põletamise puhul.

f) Kolde soojusbilansi näide.

Koldeprotsessi soojusbilansi tulude osaks on ühe kg kütusega koldesse viidud soojushulk kcal/kg.

Kuumade põlevgaaside kasutamisel kütusena arvatakse tuluks ka gaaside füüsikaline soojusesisaldus (K. 26, lk. 30). Samuti tuleks toimida kõrgesti eelsoojendatud põlemisõhu kasutamisel, s. o. lugeda õhu eelsoojenduse soojusesisaldus tuluks bilansi juures.

Kulude nomenklatuur koosneb „Aurukatelde soojusliku arvutuse normide" järgi kuuest kululiigist (q_1 kuni q_6).

Toome näitena koldeprotsessi bilansi põlevkivikolde kohta. Kolde ehitusviisi ja gabariitide iseloomustavaid näitarve:

1) kolde rakendamine: kaldveetoru katlale küttepinnaga 397 m²;
2) kolde tüüp: osaline eelkolle;
3) kolde maht: 56,25 m³;
4) põlemisruumi kõrgus: 4,5 m;
5) rest: mehhaaniline „Krull-Lomšakovi" treppprest (NL);
6) resti peegelpind: 6,4 × 3,2 = 20,48 m²;
7) kütus: põlevkivi-kukersiit, III sort (peenkivi), elementaarkoostisega W = 11,70%, $(CO_2)_t$ = 13,33%, A_t = 39,56%, põlevainet 35,41%; küttevääртus Q_t^k = 2764 kcal/kg;
8) kolderuumi erikoormus Q/V_{ko} = 216 010 kcal/m³h.

Koldeprotsessi soojuslik bilanss.

Tulud			Kulud		
Tulu nimetus	kcal/kg	%	Kulu nimetus	kcal/kg	%
1. Ühe kg kütusega koldesse viidud soojushulk	2764	100,00	1. Koldest lahkuvate põlemisgaaside soojusesisaldus $\left(q_1 + q_2 + q_5^{ko}\right)$	2516	91,00
			2. Keemiline kadu q_3	105	3,80
			3. Mehhaaniline kadu [1] q_4	20	0,72[1]
			4. Kadu kolde välisjahtumisest q_5^{ko}	27	1,00
			5. Jääkkaod q_6^{ko}	96	3,48
Kokku	2764	100,00	Kokku	2764	100,00

[1]) Mehhaanilise kaona on võetud vaid kadu põlemata süsiniku näol tuhas.

V. Küttekolded.

Küttekolle ehk tulila on seade kütusaine keemilise energia muutmiseks soojusenergiaks aine põlemise teel. Seal toimub täielikult koldeprotsess, mille iseloomustusi tõime peatükis „Põlemine koldes". Kolle peab evima kõike seda, mis tarvilik koldeprotsessi teostumiseks.

Küttekolde olulisemad osad on põlemisseade ja põlemisruum. Põlemisseadmena kasutatakse resti ehk restseadet tahkekütuse põletamiseks ja erilisi põleteid vedel-, gaas- ja tolmkütuse puhul.

Kolde ruumiline osa ehk nn. põlemisruum kujundatakse kihispõlemisega kolletel vastavalt lendosade sisaldusele ja nende põlemise iseloomule, hõljuvpõlemistel, vedel- ja gaaskütuste puhul sobitatakse põlemisruum leegi kujule ja muudele põlemistehnilistele nõuetele.

Paigutusviisilt jagunevad kolded sise-, eel- ja allkolleteks; resti järgi liigitatakse koldeid tahkekütuse-koldeks käsitsi teenindatava restiga ja koldeks mehhaanilise restiga.

Kolde juurde kuuluvad abiseadmed kütuse ettevalmistamiseks ja etteandmiseks, põlemisõhu puhumiseks, tuha koristamiseks, kihi paksuse reguleerimiseks jne. Kütuse tolmuna põlemisel omavad erilise tähtsuse kütuse eelpurustamise ja jahvatamise seadmed.

1. Tähiseid.

Nimetus	Tähis	Mõõtühik	Märkusi
A. Põhimõisted			
Temperatuur	t	°C	Aluseks vee külmumistäpp (0° C)
Absoluutne temperatuur	T	°K	Aluseks abs. nullpunkt (—273° C) $T°K = 273 + t°$ C

Nimetus	Tähis	Mõõtühik	Märkusi
Normaalkuupmeeter	nm^3	m^3	1 m^3 0° C ja 760 mm Hg j.
Maht	V	m^3	
Kaal	G	kg	$G = V\gamma$
Erimaht	v	m^3/kg	$v = \frac{1}{\gamma}$
Erikaal	γ	kg/m^3	
Erikaal 0° C ja 760 mm Hg j.	γ_0	kg/nm^3	
Absoluutne rõhk	P	kg/m^2	
Absoluutne rõhk	p	kg/cm^2	
Staatiline rõhk	p_{st}	mm Vs	Rõhk (+), tõmme (—)
Dünaamiline rõhk	$p_{dün}$	mm Vs	Voolamisrõhk
Üldrõhk	$p_{üld}$	mm Vs	$p_{üld} = p_{st} + p_{dün}$
Rõhkude vahe	Δp	mm Vs	
Baromeetriseis	b	mm Hg	
Gaasikonstant	R	m kg/°C kg	$PV = GRT$
Molekulkaal	μ	kg/mool	$\mu = 22{,}4 \cdot \gamma_0$
Soojushulk	Q	kcal	1 kcal = 1000 cal
Soojuse mehhaaniline ekvivalent	A	kcal/mkg	$A = 1/427$ kcal/mkg
Soojusesisaldus	i	kcal/kg või kcal/nm^3	
Erisoojus			
Konstantse rõhu puhul			
a) Taandatud kaaluühikule	c_p	kcal/kg°C	
b) Taandatud mahuühikule	C_p	kcal/nm^3 °C	
c) Taandatud 1 moolile	μc_p	kcal/mool °C	Molekulaarsoojus
Konstantse mahu puhul			
a) Taandatud kaaluühikule	c_v	kcal/kg°C	$c_p - c_v = AR$
b) Taandatud mahuühikule	C_v	kcal/nm^3 °C	
c) Taandatud 1 moolile	μc_v	kcal/mool °C	Molekulaarsoojus
Keskmine erisoojus konstantse rõhu puhul	c_{pk}	kcal/kg °C	

Nimetus	Tähis	Mõõtühik	Märkusi
Keskmine erisoojus konstantse mahu puhul	c_{vk}	kcal/nm³ °C	
Soojusejuhtivus	λ	kcal/mh°C	
B. Kütus			
Niiskus	W	%	Kütuse koguniiskus = = väline niiskus + + hügroskoopne niiskus
Tuhasisaldus	A	%	Kütuse kuumutamisel õhu atmosfääris 800° C j. saadud tuhahulk (muhvelahjus)
Lendosade-sisaldus	Le	%	
Orgaanilise väävli sisaldus	S^o	%	Orgaanilises ühendis süsinikku, hapnikku jt., kütuse põlevosa
Amorfse väävli sisaldus	S^a	%	Kütuse mittepõlev osa, arvatakse tuha hulka
Püriitväävli-sisaldus	S^p	%	Püriitväävlina esinev väävel, kütuse põlevosa
Süsinikusisaldus	C	%	
Vesinikusisaldus	H	%	
Hapnikusisaldus	O	%	
Lämmastikusisaldus	N	%	
Kloorisisaldus	Cl	%	
Süsihappegaasi-sisaldus	CO_2	%	
Põlemisväärtus, kalorimeetriline	Q_{kal}	kcal/kg	1 kg kütuse kalorimeetris põletamisel saadud soojushulk
Põlemisväärtus	Q^p	kcal/kg	Märgitakse ülemise indeksiga „p“
Küttevääртus	Q^k	kcal/kg	Märgitakse ülemise indeksiga „k“

Nimetus	Tähis	Mõõtühik	Märkusi
Orgaanilise osa kütteväärtus	Q_o^k	kcal/kg	Alumise indeksiga märgitakse koostis, mille kohta antakse kütteväärtus
Põlevaine kütteväärtus	Q_p^k	kcal/kg	
Kuivaine kütteväärtus	Q_k^k	kcal/kg	
Tarbimisaine kütteväärtus	Q_t^k	kcal/kg	
Komponendi kaaluline osa segakütuses	p', p''		
Komponendi soojuslik osa segakütuses	q', q''		
Gaaskomponendi suurus segakütuses, taandatult tahke- või vedelkütuse komponendi 1 kg-le	n	nm^3/kg	Segakütuse koosnemisel gaasilisist ja tahkeist või vedelaist komponentidest
Tolmkütuse jääk sõelal nr. 70	R_{70}	%	Jääk kaalu-%-des sõelal nr. 70 (aukude arv 1 cm^2 kohta $70 \times 70 = 4900$)
C. Põlemissaadused ja õhk			
Põlemissaaduste hulk täielikul põlemisel	V'	nm^3/kg	Ülemine indeks märgib mehhaaniliste kadude mittearvestamist
Põlemissaaduste hulk täielikul põlemisel, arvestades mehhaanilist kadu	V	nm^3/kg	Tähis ülemise indeksita märgib mehhaaniliste kadude arvestamist
Teoreetiline kaheaatomiliste gaaside hulk	$V^{0'}_{R_2}$	nm^3/kg	1 kg kütuse põlemisel tekkiv teoreetiline N_2-hulk ($\alpha = 1$) mehhaanilist kadu arvestamata

Nimetus	Tähis	Mõõtühik	Märkusi
Tegelik kaheaatomiliste gaaside hulk	V'_{R_2}	nm^3/kg	1 kg kütuse põletamisel liigõhuteguri α juures tekkiva tegeliku N_2 ja O_2 hulk mehhaanilist kadu arvestamata
Kuivade kolmeaatomiliste gaaside hulk	V'_{RO_2}	nm^3/kg	1 kg kütuse põletamisel tekkiva CO_2 ja SO_2 hulk mehhaanilist kadu arvestamata
Veeauru hulk	V'_{H_2O}	nm^3/kg	1 kg kütuse põletamisel tekkiva veeauru hulk mehhaanilist kadu arvestamata
Teoreetiline kuivade gaaside hulk	$V_k^{o'}$	nm^3/kg	Kuivade gaaside hulk $(V'_{RO_2} + V_{R_2}^{o'})$ teoreetilise põlemisõhu hulga ($\alpha = 1$) juures mehhaanilist kadu arvestamata
Tegelik kuivade gaaside hulk	V'_k	nm^3/kg	Vastava liigõhuteguriga täielikul põlemisel saadud kuivade gaaside hulk mehhaanilist kadu arvestamata
Teoreetiline põlemissaaduste hulk	ΣV_o	nm^3/kg	Täielikul põlemisel liigõhuta ($\alpha = 1$) saadud põlemissaaduste hulk
Tegelik põlemissaaduste hulk	ΣV	nm^3/kg	Vastava liigõhuteguriga täielikul põlemisel saadud põlemissaaduste hulk

Nimetus	Tähis	Mõõtühik	Märkusi
Retsirkulatsiooniks võetavate põlemissaaduste hulk	V_{re}	nm^3/kg	
Põlemissaaduste summaarne erisoojus	ΣVc	$kcal/kg°C$	
Põlemissaaduste soojusesisaldus	ΣVct	$kcal/nm^3$	
Kuivade kolmeaatomiliste gaaside partsiaalrõhk	p_{RO_2}	ata	
Veeauru partsiaalrõhk	p_{H_2O}	ata	
Gaasi niiskus	d_g	g/nm^3	1 nm^3 gaasis oleva niiskuse hulk g-des
Õhuhulk täielikul põlemisel	L'	nm^3/kg	Ülemine indeks märgib mehhaaniliste kadude mittearvestamist
Õhuhulk täielikul põlemisel, arvestades mehhaanilist kadu	L	nm^3/kg	Tähis ülemise indeksita märgib mehhaaniliste kadude arvestamist
Teoreetiline õhuhulk, arvestades mehhaanilist kadu	L_o	nm^3/kg	
Tegelik õhuhulk, arvestades mehhaanilist kadu	L	nm^3/kg	Tegelikult vajalik põlemisõhu hulk liigõhuteguri α juures
Liigõhutegur koldes	α_{ko}		
Väärõhutegur koldes	$\Delta\alpha_{ko}$		Ebatiheduse tõttu koldesse tungiv väärlisaõhu hulk teoreetilisest põlemisõhu hulgast

Nimetus	Tähis	Mõõtühik	Märkusi
Õhuniiskus	$d_{õ}$	g/nm³	1 nm³ õhus oleva niiskuse hulk g-des
D. Kolde karakteristikuid			
Resti ehituslik pind	R_{eh}	m²	
Resti peegelpind	R	m²	Kolde põlemisruumis asetsev kütusega kaetud elavpinnaline restiosa
Resti peegelpinna pikkus	L_p	m	Peale kihisiibri
Resti laius	b	m	
Kolde seinte kogupind	F_s	m²	
Kolde seinte ekraneeritud pind	F_{ekr}	m²	
Kolde maht	V_{ko}	m³	Kolde külg-, esi- ja tagaseintega, katla aurutustorude esimese reaga ja kütusekihi pinnaga piiratud ruumala
Kolde kõrgus	h	m	Resti pinnast katla aurutustorude esimese reani
Kolde läbimõõt	D_k	m	
E. Tootmiskarakteristikuid			
a) Kolle:			
Tarbimiskütuse kulu	B	kg/h	$B = \frac{100 \cdot D \cdot (i_{ü} - i_{v})}{Q_t^k \cdot \eta_{ka}}$
Tegelikult põlemisest osavõtva kütuse hulk	B_x	kg/h	$B_x = (1 - q_4) \cdot B$
Koldes saadud kasulik soojus	Q_{ko}	kcal/kg	$Q_{ko} = (1 - q_3 - q_4) \cdot B \cdot Q_t^k$
Resti peegelpinna erikoormus	B_x/R	kg/m²h	

Nimetus	Tähis	Mõõtühik	Märkusi
Resti peegelpinna soojuslik erikoormus	$Q_{R/R}$	kcal/m²h	$Q_R = (1 - q_4) \cdot B \cdot Q_t^k$
Kolde soojuslik erikoormus	Q_{ko}/V_{ko}	kcal/m³h	
Teoreetiline põlemistemperatuur	t_t	°C	
Gaasi temperatuur koldest väljumisel	t_o	°C	
Dimensioonita temperatuur	Θ_o		Koldest lahkuvate gaaside abs. temp. suhe teoreetilise abs. temperatuuriga
Põlemisõhu temperatuur	$t_{õ}$	°C	
Külmõhu temperatuur	$t_{kõ}$	°C	
Rõhk koldes	p_{ko}	mmVs	
b) Soojusbilanss:			
Kütuse füüsikalise soojusega koldesse viidud soojushulk	$Q_{kü}$	kcal/kg	$Q_{kü} = c_{kü} \cdot t_{kü}$
Põlemisõhuga koldesse viidud soojushulk	$Q_{õ}$	kcal/kg	$Q_{õ} = \alpha \cdot L_o \cdot (ct)_{õ}$
Auruga koldesse viidud soojushulk	Q_a	kcal/kg	$Q_a = W_a \cdot (i'' - 600)$
Aurukulu tõmbele või kütuse pihustamiseks	W_a	kg/kg	
Karbonaatide lagunemisaste koldes	x_{CO_2}		Kihispõletamisel $x_{CO_2} = 0{,}7$ Ruumispõletamisel $x_{CO_2} = 1{,}0$
Katla küttepindadele, ülekuumendile ja ökonomaiserile üleantud soojushulk	q_1	%	

Nimetus	Tähis	Mõõtühik	Märkusi
Soojuskaod:			
Lahkuvate suitsugaasidega	q_2	%	$q_2 = \frac{\Sigma Vct - Q_{kü} - Q_{õ} - Q_a}{Q_t^k}$
Keemilised	q_3	%	Keemiliselt puudulikust põlemisest
Mehhaanilised	q_4	%	Restist läbivarisenud ja tuhas põlemata kütuse soojus
Välisjahtumisest	q_5	%	$q_5 = q_5^{ko} + q_5^{ka} + q_5^{ü} + q_5^{õ}$
Tuha füüsikalise soojusega	q_6^t	%	
Katla tsirkulatsiooni arvestamata kolde paneelide ja palkide jahutamisega	q_6^o	%	
Karbonaatide lagunemisega	q_6^k	%	Kütuse karbonaatide lagundamiseks kulunud soojus
Kolde üldkadu	Σq_{ko}	%	$\Sigma q_{ko} = q_3 + q_4 + q_5^{ko} + q_6^{ko}$
Kolde kasutegur	η_{ko}	%	$\eta_{ko} = 100 - \Sigma q_{ko}$

2. Põlevkiviküttе koldeid.

a) Põlevkivikoldeid käsitsi teenindatavate restidega.

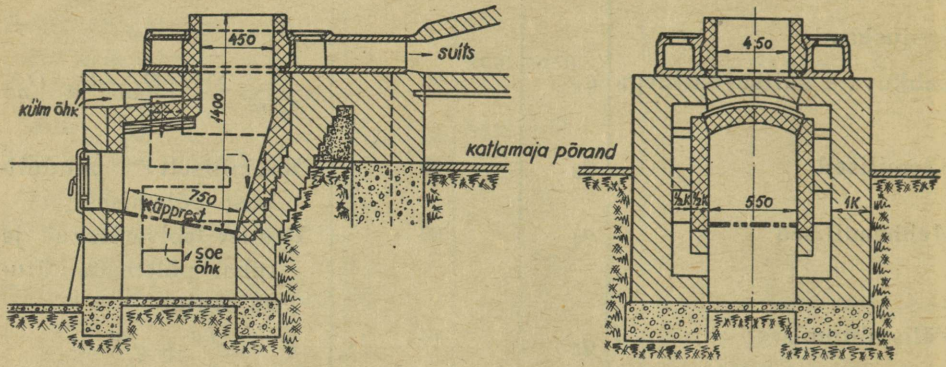
Allkolle nikanderkatlale.

Joonisel 41 on esitatud põlevkiviküttе allkolde kavand 12 m² küttepinnaga nikanderkatlale.

Katel asetseb põrandast kõrgemal 600 mm, kolle ulatub maasse 960 mm.

Kirjeldatud koldes on võimalik põletada I sordi põlevkivi (tükisuurus üle 38 mm), kuna peenem põlevkivi variseb läbi resti.

Katla keres olev koldeuks tuleb õhukindlalt sulgeda.
Kolde ehitamiseks kulub ca 300 šamottkivi ja 700 tellist.



Joon. 41. Allkolle nikanderkatlale.

Allkolle lašapell-katlale.

Põlevkiviküttе kolde kavand lašapell-katlale, küttepinnaga 15 m², on toodud joonisel 42.

Küttekolle on ehitatud süvikkoldena, asetsedes täielikult katlamaja põrandast allpool — seda eeldusel, et katlamaja kõrgus ei võimalda katla tõstmist. Kui see aga võimalikuks osutub, siis võib kolde ka osaliselt põranda peale ehitada. Kolde šamottkivi-vooderdise ladumisel tuleb silmas pidada, et kateplekkide alumine õmblus oleks hästi kaitstud põlemisgaaside eest.

Kolle on seadistatud käsitsi liigutatava käpprestiga, restipinnaga 0,9 m².

Põlemisõhk juhitakse resti alla.

Kütusena tuleb kasutada I sordi põlevkivi.

Katlakeres olev koldeuks tuleb siingi õhukindlalt sulgeda, sest kütuse sisseviskamine toimub allkoldes oleva ukse kaudu.

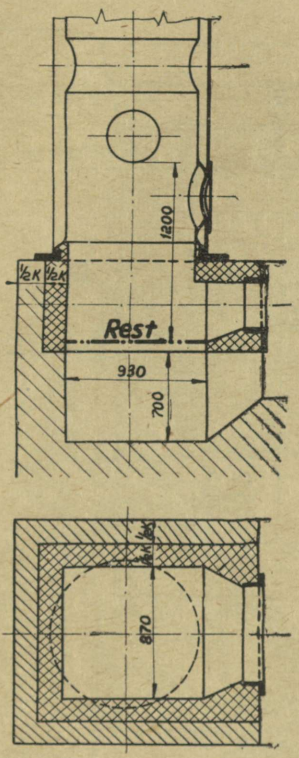
Kolde ehitamiseks vajatakse ca 260 šamottkivi ja 300 tellist.

Kirjeldatud kolle on kohane kütmiseks ka turbaga, asendades käppresti plaanrestiga, mille õhupilude laius on 4—6 mm, milline suurus on turvasküttе puhul sobivaks määraks.

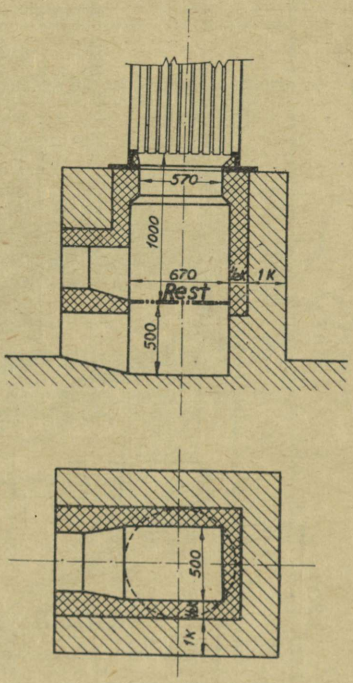
Allkolle püstsuitsutorudega katlale.

Sobiva põlevkiviküttе allkolde kavand püstsuitsutorudega katlale, küttepinnaga 10 m², on toodud joonisel 43.

Kolle on projektitud katlamaja põrandale. Katla alumine serv asetseb põrandapinnast ca 1300 mm kõrgusel. Selline kolde asetus on võimalik vaid siis, kui katlamaja kõrgus seda lubab. Vastasel korral tuleb kolle ehitada kas täielikult või osaliselt süvikkoldena.



Joon. 42.
Allkolle lašapell-katlale.



Joon. 43.
Allkolle püstsuitsutorudega katlale.

Restina kasutatakse käsitsi liigutatavat käppresti, mis tingib kütusena I sordi põlevkivi tarvitamist.

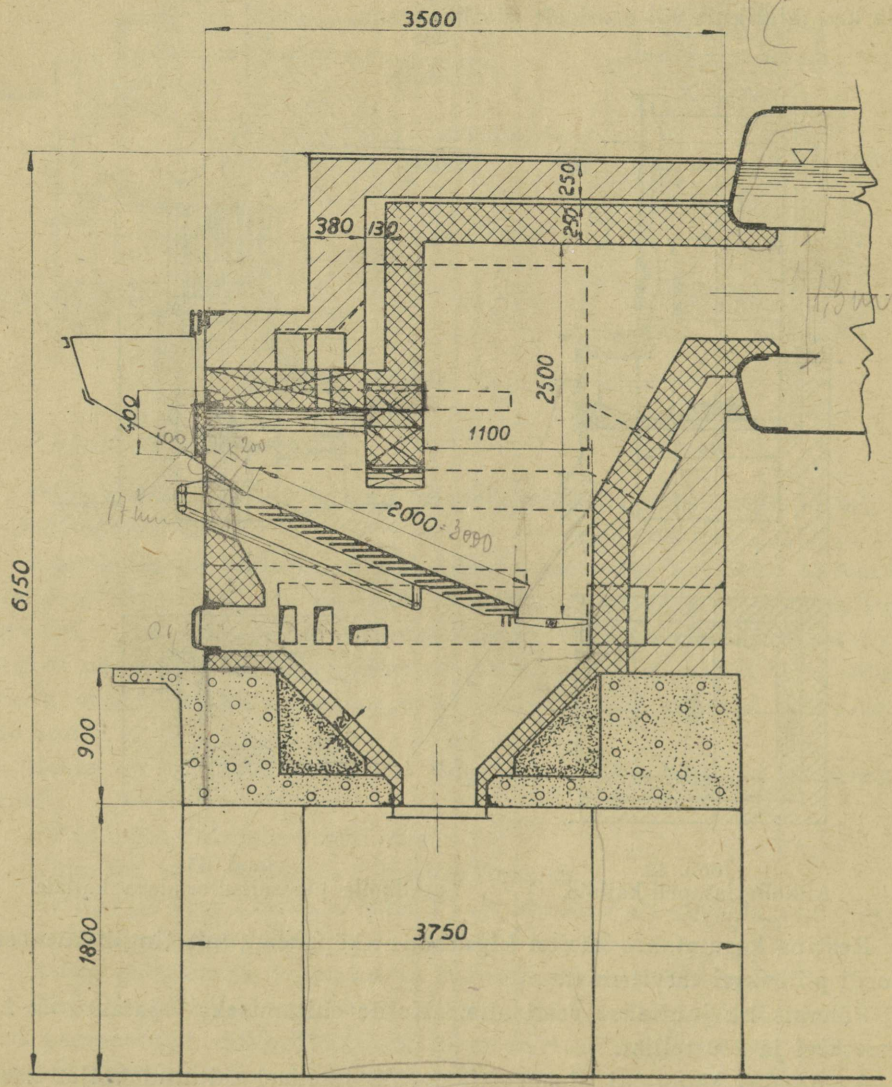
Põlemisõhk juhitakse resti alla. Kolde ehitamiseks vajatakse ca 250 šamottkivi ja 750 tellist.

Asendades käppresti plaanrestiga, võib joonisel esitatud kollet kasutada ka turvasküttе puhul.

Eelkolle leektorukatlale.

Sobiva põlevkiviküttе-eelkolde kavand leektorukatlale, küttepinnaga 100 m², on toodud joonisel 44.

Kolle asetseb osaliselt katlamaja põrandal, osaliselt põranda all. Katel on tõstetud põrandast kõrgemale ca 1600 mm.

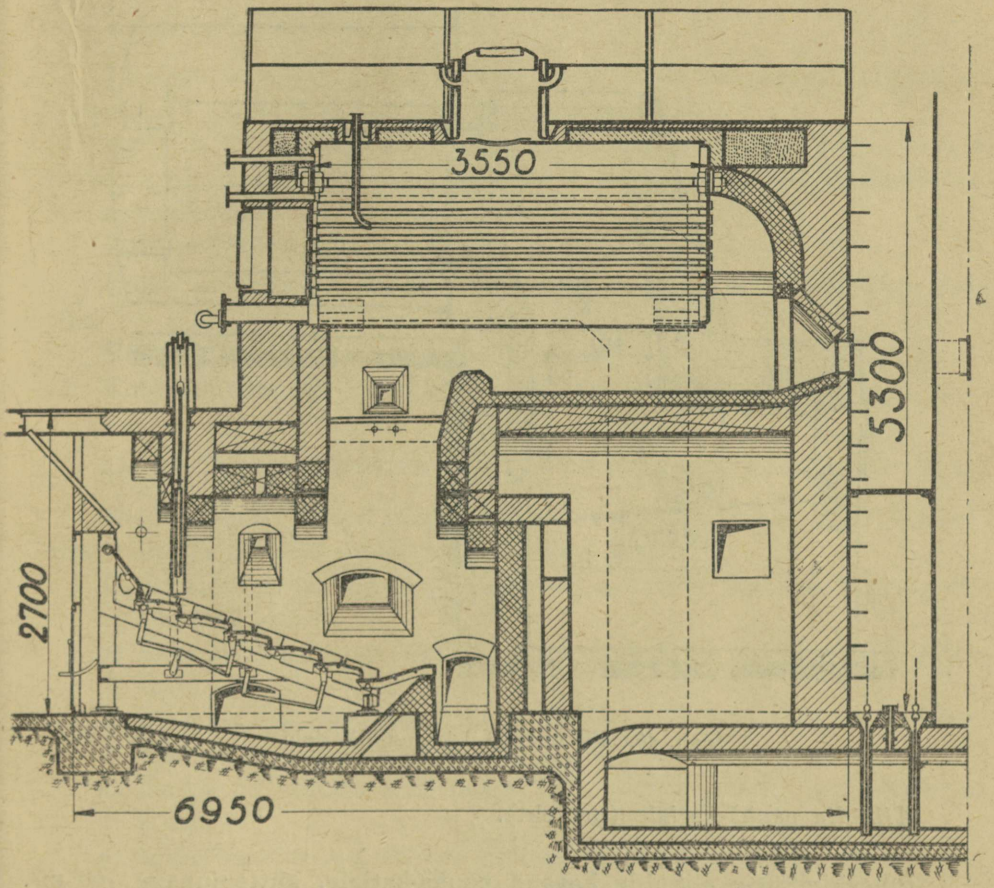


Joon. 44. Eelkolle leektorukatlale.

Kütus antakse restile kolde esiossa monteeritud kolust. Kütuse juurdevoolu reguleerimine toimub tõstetava siibriga.

Restina kasutatakse käsitsi liigutatavat treppresti. Viimasele järgneb kolde tagaosas pööratav järelpõlemis- ehk räburest, millel toimub kütuse lõplik põlemine.

Restiridu liigutatakse kangistiku kaudu kolde esiseinale väljatoodud liigutamishoova abil, räburesti kallutatakse kolde külgseinale väljatoodud hoovaga.



Joon. 45. Allkolle paukš-katlale.

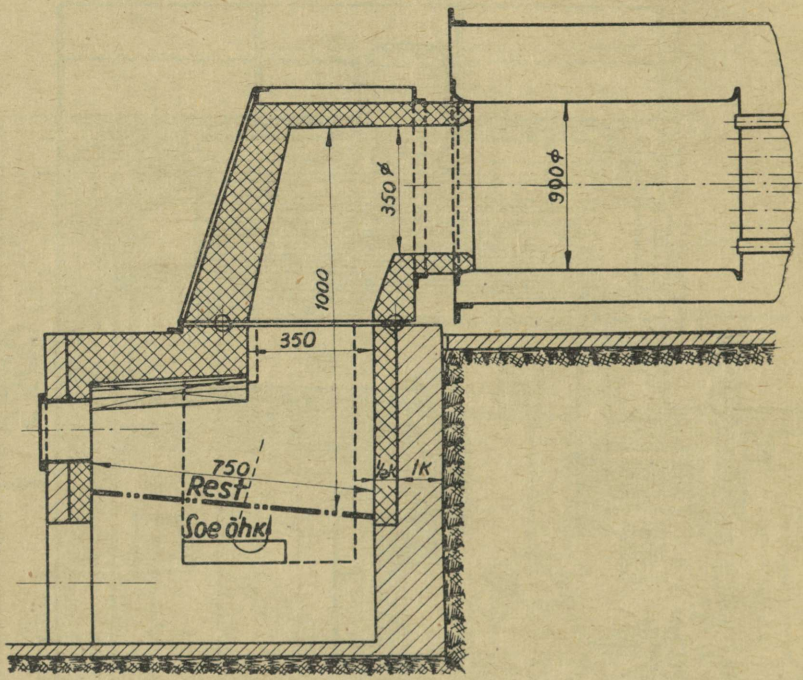
Kütusena tuleb kasutada I või II sordi põlevkivi.

Põlemisõhk, mis eelsoojendatakse katlamüüritise kanaleis, juhitakse resti alla. Täielikumaks põlemiseks juhitakse kolde esiossa resti peale veel lisa- ehk sekundaarõhku, mis on samuti eelsoojendatud koldemüüritise kanaleis.

Kolde esiosas on avaus, mis võimaldab tarbe korral koldesse pääseda.

Räbu ja tuha eemaldamine restilt toimub räburesti kallutamisega, kusjuures tuhk variseb viimaselt resti alla ehitatud tuhakaevu, kust ta eemaldatakse siibriga suletava avause kaudu.

Kolle toetub raudbetoonist vundamendile, omab seespool šamottkividest vooderdise ja on ümbritsetud tellisest müüritisega.



Joon. 46. Eel-allkolle lokomobiilkatlale.

Allkolle paukš-katlale (projekt).

Põlevkiviküttе allkolde kavand paukš-katlale, küttepinnaga 60 m², on näidatud joonisel 45.

Kolle on ehitatud eelsüvikuga pealeantava värske kütuse ettevalmistamiseks põlemisele. Restina on ette nähtud kasutada käsitsi teenindatavat treppresti RÜLT-K. Põlemis- ja lisaõhk eelsoojendatakse koldemüüritise vahekanaleis.

Kütusena tuleb siingi kasutada I või II sordi põlevkivi, tükisuurusega kuni 100 mm.

Tuhk, mis koguneb räbupunkrisse, eemaldatakse kolde külgseinas oleva avause kaudu.

Kolde allosa on seadistatud avausega koldesse pääsemiseks. Sellest kõrgemal asetseb väiksem luugiga suletav vaateava.

Kolde müüritis on tellistest, sees on šamottkividest vooderdis.

Eel-allkolle lokomobiil-katlale.

Joonisel 46 on näidatud põlevkiviküttе kolde kavand väljatõmmatava torustikuga lokomobiil-katlale, küttepinnaga 10 m^2.

Eelkolle on ehitatud süvikkoldena. Maapinnal asetseb ainult ratastel liikuv kael, mida võib eemaldada katla suitsutorude väljatõmbamiseks katla puhastamisel või parandamisel.

Restina kasutatakse käsitsi liigutatavat käppresti.

Kolde müüritise kanalis eelsoojendatud põlemisõhk juhitakse resti alla.

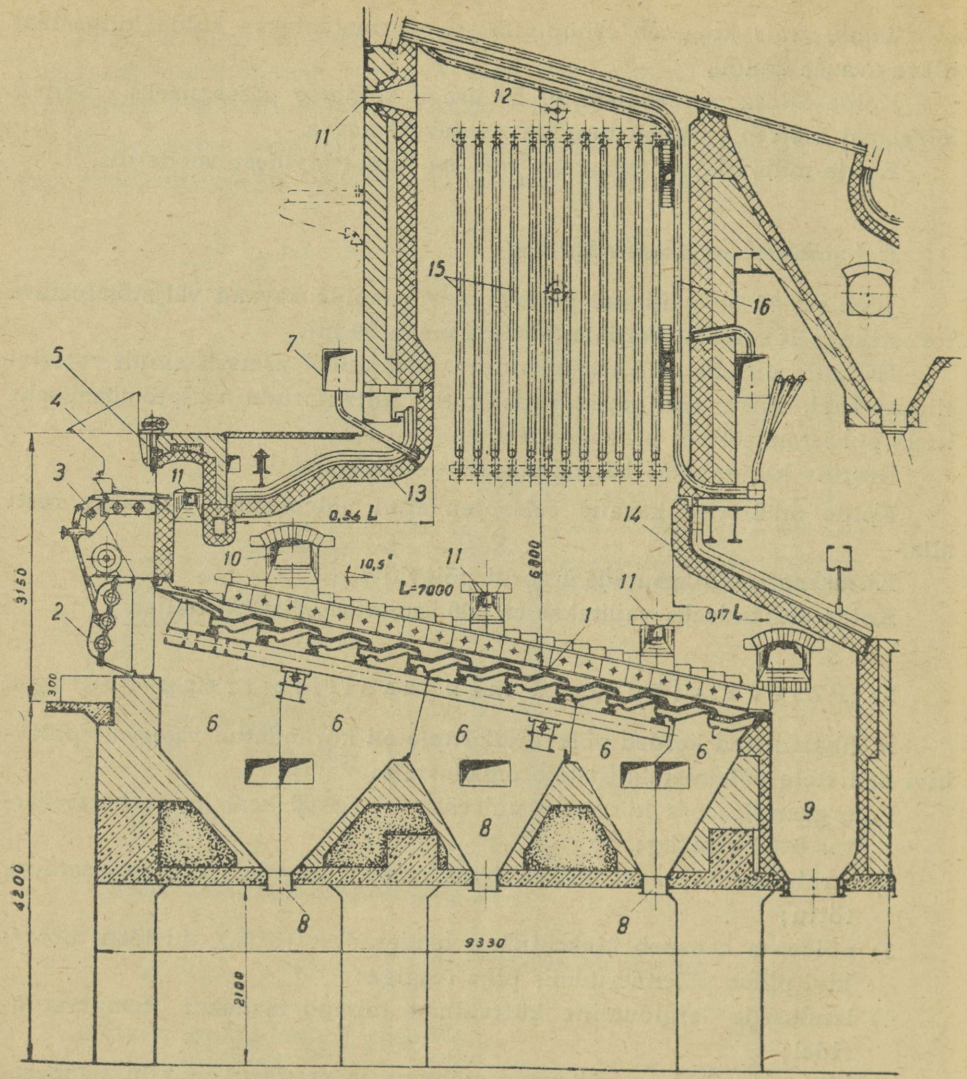
Kütusena tuleb kasutada I sordi põlevkivi.

Kolde ehitamiseks vajatakse ca 200 šamottkivi ja 250 tellist.

b) Põlevkivikoldeid mehhaanilise trepp-restiga.

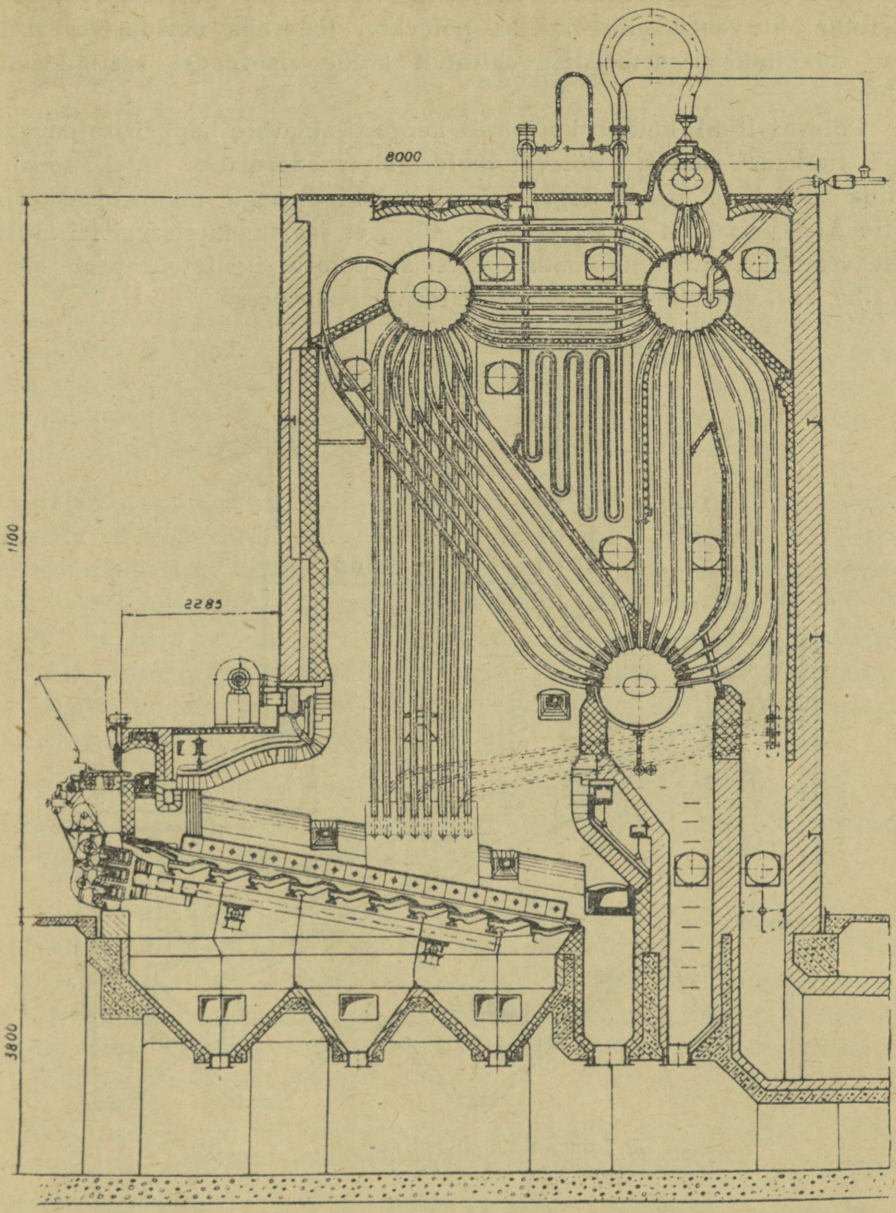
Mehhaanilised kolded põlevkiviküttele on kujundatud vastavalt põlevkivi erilistele põlemistehnilistele omadustele:

1) orgaanilise osa kõrge põlemisväärtus: 8900 kcal/kg ja küttevääртus 8400 kcal/kg;
2) tarbimisaine madal küttevääртus suure tuha- ja niiskusesisalduse tõttu;
3) põlevosa koosneb ülekaalukalt lendosadest (82%), mistõttu põlevkivi põleb põlemisruumis pika leegiga;
4) lendosade eraldumine küttekihist toimub madalail temperatuuridel;
5) kihispõlemisel on vähene osatähtsus ja seetõttu on kihi temperatuur põlemisel madal — ligikaudu kuni 1000—1100° C;
6) tuha plastinemise alguse suhteliselt madal temperatuur (ca 1100° C);
7) suur lenduvate mineraalosade hulk kaltsiumkarbonaatide lagunemisest;
8) vajadus põlemisprotsessi soodustamiseks küttekihi segamise, eelsoojendatud põlemisõhu läbipuhumise ja koldemüüritise katalüütilise toime teel ja muud taolised eespoolkäsitletud omadused.



Joon. 47. NL-restiga kolle sektsionaal-kaldveetorukatlale. 1. NL-rest. 2. Resti ajam. 3. Kütuse pealeandja. 4. Kütusekolu. 5. Kütusesiiber. 6. Altõhutsoon. 7. Pealtõhuseade. 8. Tuhapunker. 9. Räbupunker. 10. Pääseava. 11. Vaateava. 12. Mõõteava. 13. Esilagi. 14. Tagalagi. 15. Kolde külg-ekraan. 16. Kolde tagaekraan.

Nende omaduste arvestamisel, silmas pidades eriti asjaolu, et põlemine toimub peamiselt kolderuumis, mitte restil, omab põlevkivikolle iseloomustava tunnusena suure mahu ning kõrguse. Nii on uuematel katelseadmetel kolde erimaht kuni 4,7 m^3/m^2 resti pinda ning ehitusel olevatel ula-

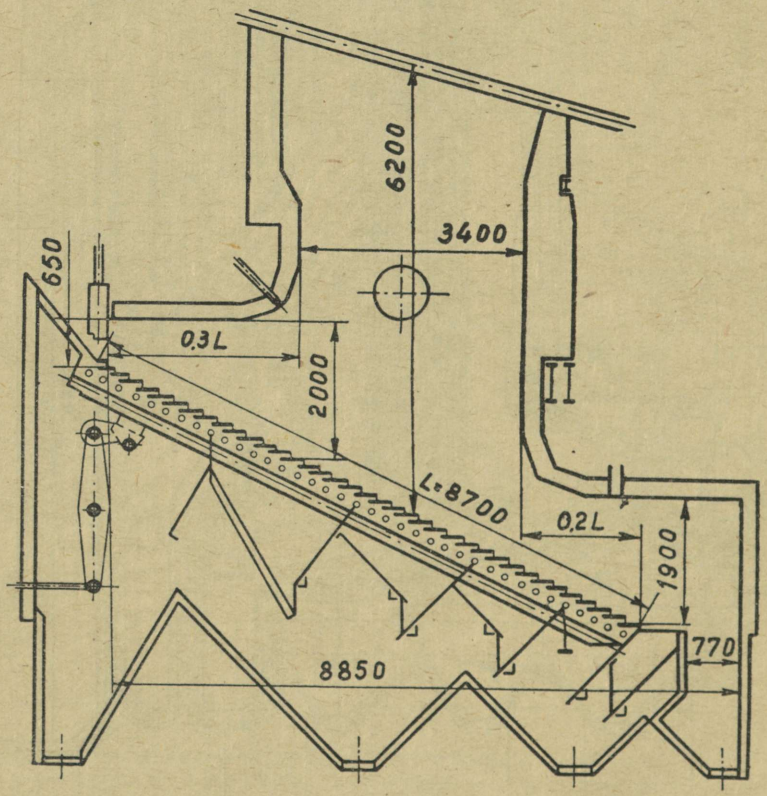


Joon. 48. NL-restiga kolle püstveetorukatlale.

tuslikumalt ekraneeritud suurjõu-katelde kolletel veelgi suurem. Kolde soojuslik erikoormus on senini ehitatud seadmetel kuni 170 — 200 · 10^3

kcal/m³h, mis on praktiliselt rahuldanud nõudeid nii põlemisprotsessi ja lendtuha ohu vähendamise kui ka põlevkivi lendtuha omadustele vastavast tulekindlast materjalist ehitatud kolde sisevoodri vastupidavuse suhtes.

Põlevkivituhk kuulub koostiselt kergesti sulavate happeliste omadustega tuhkade rühma. Põlevkivikolde sisevooderdiseks tuleb seetõttu valida aluseliste omadustega, kõrge tulekindlusega müürimismaterjal, mille Al_2O_3-sisaldus on ligikaudselt 40%, et saavutada sisevoodri küllaldast vastupidavust. Sisevoodri materjal põlevkivikolletele peab olema ka tihe, s. o. vähepoorne ja kõrge valmistamistäpsusega.



Joon. 49. Põlevkivikolle mehhaanilise I-restiga.

Kolde müüritise sisevoodri vastupidavust tõstab veelgi radikaalsemalt koldeseinte kaitsmine katlasüsteemi lülitatud ekraantorudega või vähemal määral ka koldeseinte jahutamine seinte vahedest läbivoolava õhu abil, kuid nende vahendite mõju kolde soojusliku erikoormuse võimalikule

tõstmisele ei ole senini selgitatud, nii nagu koldemahu küsimus üldiselt vajab veel täpsustamist.

Kolderuumi suurust kui ka kuju iseloomustab veel põlemisproduktide viibimise aeg kolderuumis. Et põlevkivi põlemisel on olulisem osa lenduvate osade põlemisel kolderuumis, kusjuures erineva koostise ja omadustega lendosade eraldumine küttekihist toimub resti pikkuse suhtes järk-järgult juba resti esiosast alates, siis mõjustavad kolderuumi suurus ja kuju lendosade põlemise täielikkust sõltuvalt lendosade erinevaist põlemiskiirustest, mis omakorda olenevad kolde temperatuurist. Praktiliselt on senini ehitatud kolletes esinevate koldetemperatuuride juures vastuvõetavaks osutunud põlemisproduktide koldes viibimise aeg 2 kuni 3 sekundit, mille puhul keemiliselt põlemata jäänud osade hulk seadmest väljuvais põlemisproduktides on kuni 1% ning kaasakistud lendtuha hulk on samuti vastuvõetavais piirides.

Vajaliku kolderuumi mahu saamiseks on kolderuumala kujundamisel põlevkivi põlemistehnilistel põhjustel esikoht kolde kõrgusel. Põlevkivi lendosade põlemine toimub pika leegiga, millest peamiselt ongi tingitud põlevkivikollete suhteliselt suur kõrgus. Samuti kui suur kolde maht, soodustab ka kõrgem kolle lendtuha eraldumist enne põlemisproduktide jõudmist küttepindadeni, kõnelemata küttepindade tahmumisohu vältimisest. Senini kogutud andmete põhjal võib pidada praktiliselt vastuvõetavaks kolderuumi kõrguseks 6,0—7,0 m.

Teiste kolde ruumala komponentide, s. o. laiuse ja sügavuse kohta võib tähendada, et nende suuruste määramisel on põlemistehnilised kaalutlused vaid kaudselt otsustavaks teguriks.

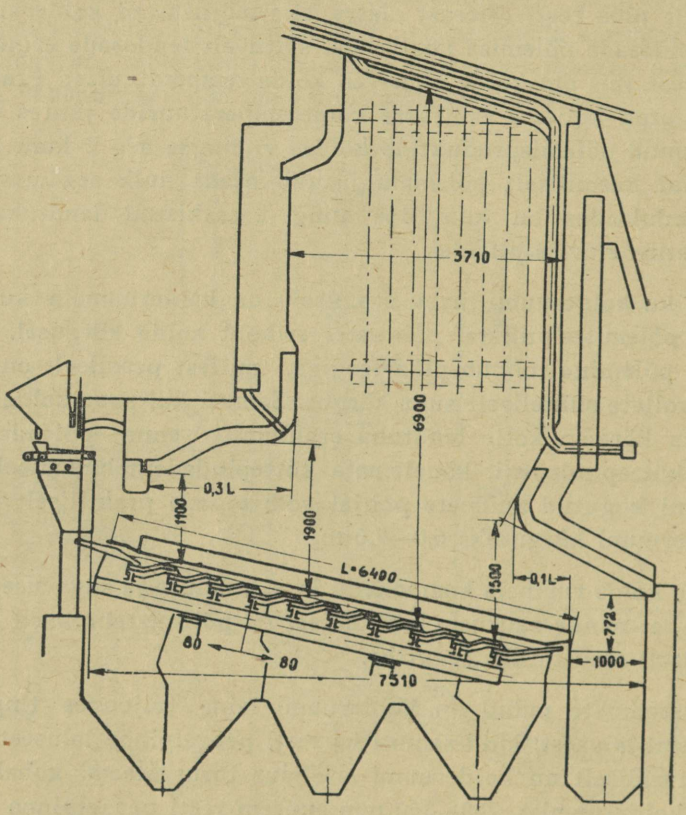
Katelseadmete puhul on kolderuumi laius esijoones tingitud katla torusüsteemi laiusest, kuid samuti ka resti peegelpinna laiusest. Peab märkima, et tavaliselt on kolderuumi siselaius torusüsteemi kohal, s. o. ülemine osa kolderuumist, 200—300 mm suurem resti peegelpinna laiusest, et juhtida restilt tõusvad põlemisgaasid eemale kolde külgseintest ja vähendada sellega nende räbustumist.

Tööstuslikel põlemisseadmetel on kolderuumi laiuse suhtes mõõduandvateks teguriteks peamiselt vajaliku suurusega resti peegelpinna laius kui ka sobitamine rakendatavale seadmele.

Kolderuumi sügavus alumises osas oleneb resti ja räbupunkri pikkusest. Et põlevkivi restid on nagu kõigil madala väärtusega kütustel üldiselt pikad, siis on ka kolde allosa suure sügavusega. Kolderuumi üla-

osa on katelseadmetel sõltuv katla torusüsteemi ehitusviisist, teistel seadmetel aga muudest konstruktiivsetest asjaoludest.

Põlevkivi kolderuumi kujundamisel tuleb hoolikalt tähelepanu pöörata kolde lagedele, mis kasutatava kütuse spetsiifiliste omaduste tõttu on vajalikud tagasikiirgumislagedena kütusekihis oleva kütuse ettevalmistamiseks põlemisele ja järelpõlemise soodustamiseks kui ka kütusekihi



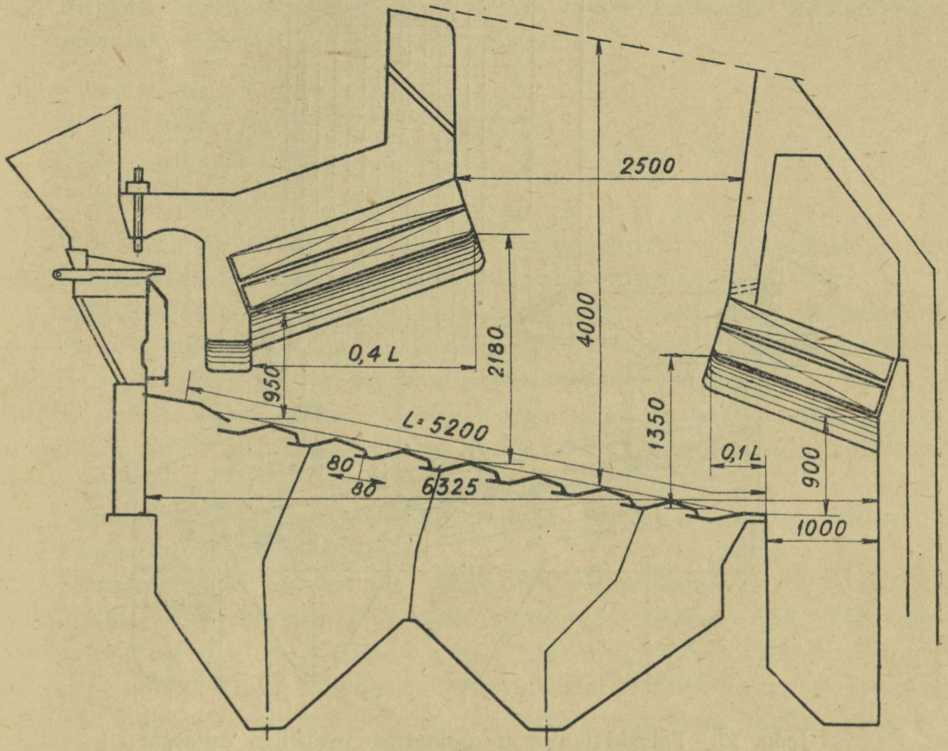
Joon. 50. Põlevkivikolle paraboolse esilaega.

liigse jahtumise vältimiseks soojuse kiirgumisest katla küttepindadele või külmematele koldeseintele, üldise põlemisproduktide voolamise ja segunemise soodustamiseks jne.

Lagede kujundamisel osutuvad kõige tähtsamaks nende pikkus, asend ja profiil.

Esilagi omab oma tagasikiirgava mõjuga kütuse ettevalmistamisel põlemiseks ja utteprotsessi arendamisel kütusekihis eriti olulise tähtsuse

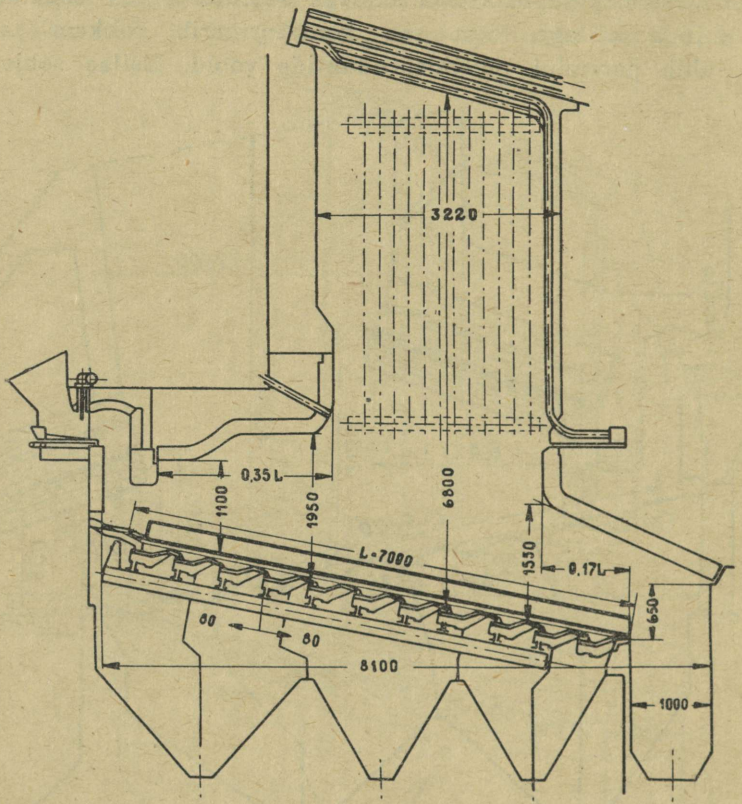
põlevkivikoldes. Praktiliselt on osutunud sobivaks esilae pikkuseks 0,3—0,35 resti pikkusest *L*, kusjuures esilagi moodustab koldesse asetatult resti peegelpinnaga 25—27,5°-se nurga. Suure kaldega restide puhul — näit. on I-resti kalle 25° — on esilae rõhtne asend ja erilise profiilita kuju vastuvõetav, kuid väiksema kaldega restidel tuleb eelistada paraboolse kujuga esilage, sest see kontsentreerib rohkem tagasikiirgust ja juhib paremini põlemisproduktide voolu. Esilae sobiv kõrgus



Joon. 51. Põlevkivikolle kaarvõlv-lagedega.

resti peegelpinnast arvatuna on seniste kogemuste järgi: algul ligikaudu 1,0 m, lõpul ligikaudu 2,0 m. Tagalael ei ole kütuse järelpõlemise suhtes kütusekihis olulist tähtsust, sest põlevkivi põlemine tema suure lendosadesisalduse tõttu on peaaegu lõppenud juba aktiivpõlemise tsoonis, mispärast võib piirduda resti ülekatmisega ligikaudu 0,1—0,18 *L* võrra. Tagalagi ehitatakse väikese tõusuga ettepoole, tavaliselt sirgena, ning paigutatakse ligikaudu samale suhtelisele kõrgusele kui esilagi. Olles ühtlasi ka räbupunkri kohal, takistab tagalagi lendtuha pääsemist kolderuumi ja sealt edasi.

Konstruktiivselt on kolderuumi laed vähemate kolderuumi laiuste puhul võlvitud, mis ei võimalda arusaadavalt anda laele eelistatud paraboolset profiili (joon. 51). Sirgete lagede kõrval esinevad ka murtud joonega laed, mis teataval määral lähenevad paraboolsele profiilile (joon. 52).



Joon. 52. Põlevkivikolle murdjoonelise profiiliga esilaega.

Laiemate kolderuumide puhul kasutatakse koldelagede ehitamisel mitmesugustes konstruktsioonides ripplagesid. Et ripplagede tulekindlatel kividel pole lae konstruktsiooni kandmise funktsioone, milliseks otstarbeks ripplagedel on metallist, tavaliselt malmist kandetalad, siis on võimalik lagedele kõige sobivamat profiili anda.

Kolderuumi seinte kohta võib märkida, et need üldiselt ei erine oma konstruktsioonilt kõrgekvaliteedilise kütuse kolde seintest, küll aga esitatakse põlevkivikollete sisevooderdiseks kasutatavaile tulekindlatele kividele märksa kõrgemad nõuded vastupidavuse suhtes kui tavaliste kütuste

puhul. Seda põhjustab asjaolu, et põlevkivituha vedelate räbude sööbiv keemiline toime on väga intensiivne juba kolderuumis valitsevail temperatuuridel, kõnelemata kütusekihi aktiivpõlemise tsoonis valitsevast temperatuurist. Seepärast valitakse kolde allosa (pealpool resti kandekonstruktsiooni) sisevooderdiseks eriti kõrgekvaliteediline tulekindel kivi, mis on suuteline taluma suure mehhaanilise koormuse juures kõrget temperatuuri ning intensiivset räbude keemilist toimet.

Üldiselt esitatakse põlevkivikollete sisevooderdiseks kasutatavale tulekindlale materjalile järgmised nõuded:

1) erikoostis,
2) tulekindlus vähemalt 1760° C,
3) suur tihedus (poorsus alla 23%) ja
4) põhiomadustelt aluseline.

Katelseadmete ekraanidega kaetud koldeseinte sisevooderdise kohta pole arusaadavalt tarvilik rakendada kõiki eeltoodud nõudeid.

Läbipõlenud sisevooderdise küllaltki sageda uuendamise hõlbustamiseks on rida koldemüüritise konstruktsioone, mis on leidnud rakendamist enamikus põlevkivikolletes suurema jõudlusega aurukatelde ja ka tööstuslike põlemisseadmete jaoks. Põhiliselt on nende konstruktsioonide sihiks võimaldada kolde alumise osa enam koormatud sisevooderdise uuendamist ilma kogu sisevooderdise eemaldamiseta.

Tulekindlate kivide osalise vahetamise võimalus on ka ripplagede üheks eeliseks võlvitud lagede ees.

Korrastustöödel kolderuumi pääsemise võimaldamiseks on iga kolle küllaldasel arvul varustatud vajaliku suurusega ustega, mis, asetsedes tavaliselt otse resti peegelpinna kohal, tarbe korral võimaldavad kolde töös olles põleva kihi kohendamist, samuti kolde käikulaskmisel esialgse tulepesa loomist puidu abil, kuid veel enam vaateklapi kaudu põlemisprotsessi jälgimist.

Erilised vaateluugid võimaldavad jälgida põlemise käiku ja arenemist restil ning kolderuumis, teostada kolderuumi temperatuuri mõõtmisi ja kontrollida sisevooderdise seisukorda. Lisaks mainitud ustele ja luukidele on eriti katelde põlevkivikolded kardetavail kohtadel, näiteks äärmiste (nurkmiste) ekraantorude juures, varustatud vastavate kohendusluukidega võimalike lendtuha kogunemiste ja kinnipakitsemiste kõrvaldamiseks käsi-tahmapuhurite või orade abil.

Mitmesuguste mõõtmiste teostamiseks on kolletel sisseehitatud mõõteriistade kõrval tavalise töötamise ajaks suletavad mõõteriistade avad kolderuumi iseloomustavail kohtadel.

Kolde resp. resti abiseadmed, mis leiavad üksikasjalisemat käsitlemist eripeatükis, on põlevkivikolletel kohandatud põlevkivi erinõuetega.

Kütuse etteandmine toimub kas kihi reguleerimise siibri abil kolderuumist eraldatud täitekaevuse kaudu või kolderuumiga muutmatus ühenduses olevasse kaevusesse allavalguva laia nirena vastava etteandeseadmega, niiviisi, nagu see on kasutataval restitüübil ette nähtud.

Kuigi põlevkivi on suure tuhasisaldusega, pole tuha kõrvaldamise moodus mainimisväärselt erinev teiste kütuste kollete omast. Tavaliselt toimub see räbupunkri, samuti restialuste punkrite all olevate horisontaalsete, hammasratta ja -lati abil käitatavate sulgurite avamise teel tuha (räbu) laskmisega allolevasse vagonetti.

Hoolikat tähelepanu on põlevkivikollete juures juhitud põlemiseks vajaliku õhu andmisele koldesse. Silmas pidades põlevkivi põletamise iseärasusi, tuleb tarvilikuks pidada rakendada põlevkivikolletel altõhu kõrval ka pealtõhku (joon. 35).

Pealtõhu kasutamist põhjustavad järgmised asjaolud:

1) põlevkivi põlemisprotsess areneb suure lendosade-sisalduse tõttu peamiselt kolderuumis;
2) põlevkivi lendosade hulgas on madala süttimiskiirusega aineid;
3) lendosade eraldumine algab juba madala temperatuuriga küttekihis, kus seetõttu põlemine on raskendatud;
4) lendosade segunemine õhuga on täielikuks põlemiseks puudulik, sest lendosad ja põlemisõhk tõusevad põlevkivikihist paralleelvooluna;
5) altõhu ja tõmbe toimel kistakse küttekihist peenemaid põlemata põlevkiviosakesi kui ka lendtuhka kolderuumi.

Veel olulisem on, nagu juba algul mainitud, põlevkivikolletel eelsoojendatud põlemisõhu kasutamine, sest see on vajalik põlevkivi madala küttevääртuse ja põlevkivikihi suhteliselt madala temperatuuri tõttu põlemisprotsessi mõjukaks edendamiseks.

Senini on altõhu temperatuuriga õhukuumendi kasutamisel mindud kuni 160°-ni C, tavaliselt on aga piirdutud ligikaudu 140°-ga C, I-restide puhul veelgi madalama temperatuuriga — 120° C. Olemasolevate restide konstruktsioon aga peaks põlemisprotsessi forsseerimise huvides võimaldama altõhu temperatuuri tõstmist kuni 200°-ni C ja üle sellegi, millega suurendaksime tunduvalt restide töövõimet ka põlevkivi kui madala küttevääртusega kütuse puhul.

Õhukuumendita seadmete puhul peab tingimata taotlema põlemisõhu eelsoojendamist vähemalt koldeseinte jahutuskanalitest läbivoolamisel saavutatava temperatuurini (ligikaudu 70° C).

Altõhk juhitakse resti all olevatesse tsoonidesse reguleeritavate klappide kaudu vastavalt põlemisprotsessi edenemisele piki resti ning küttekihi takistusele, samuti ka resti konstruktsioonile vastava survega. Altõhu surve tsoonides on I-restidel praktiliselt 0 mm Vs, K-L-restidel aga ligikaudu 10—30 mm Vs.

Pealtõhk, mis peale põlemist soodustava toime aitab tõhusal kasutamisel kaasa ka lendtuha vähendamisele, ammutatakse vähematel seadmetel altõhu-magistraalist vastava haruühenduse kaudu ja juhitakse otse vastavate avade kaudu kolderuumi, kuna aga suurematel seadmetel kasutatakse selleks otstarbeks sobivate omadustega ventilaatorit ja reguleeritavaid puhureid.

Koldesse juhitakse pealtõhk enamikus esilae lõpposas, suunatult ligikaudu räbupunkri avausele või vähemalt resti lõpposale. Suurematel seadmetel on paremaks lendosade ja põlemisproduktide segunemiseks õhuga ning nende kolderuumist läbimise teekonna suurendamiseks ka kolderuumi tagaseinas pealtõhu-puhurid, mis on asetatud eesmistest puhuritest mõne meetri võrra kõrgemale.

Seadmetel, mis omavad vastava pealtõhu-ventilaatori, toimub pealtõhu koldesse puhumine kõrge surve all (ventilaatorid on ehitatud survele 300 kuni 500 mm Vs), suure kiirusega puhurite suudmeis (ligikaudu 50 kuni 70 m/sek.). Puhurite arv ja põiklõige sõltuvad seadme suurusest, kuid eelistada tuleb siiski suuremat puhurite arvu ühes reas, et moodustada kolderuumis tihedat, lamedat pealtõhu-juga tõhusama toime saavutamiseks.

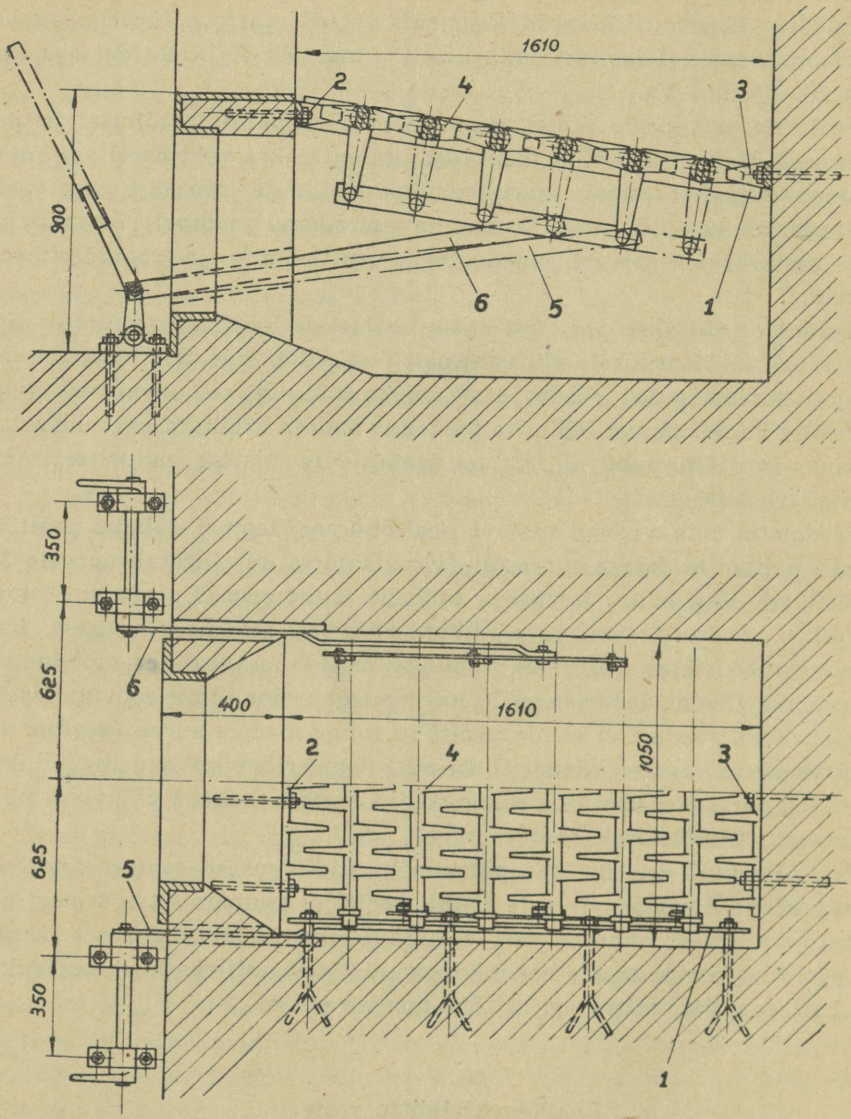
Vähematel seadmetel ei ole pealtõhu toime madala surve (võrdne altõhu survega) ja väikese kiiruse tõttu nii tulemusrikas kui seda soovitakse, kuid sellegipärast on pealtõhu rakendamine otstarbekohane põlevkivi põlemisprotsessi täiustamiseks kolderuumis.

Pealtõhu hulk on 10—20% põlemisõhu üldkogusest, temperatuur võimalikult kõrge. Praktiliselt pole senini pealtõhu temperatuuriga isegi altõhu temperatuurini mindud, sest enamikul suurematel seadmetel jahutatakse pealtõhuga ripplagede kandekonstruktsioone, milleks imetakse külma õhku katlaruumist, mitte aga altõhu-magistraalist.

3. Põlevkivikütte reste.

a) Restid käsitsi teenindamisega.

Väikekateldel (küttepinnaga ligikaudu kuni 75 m^2), kus läbipõletatava kütuse hulk tunnis ei tõuse kõrgele, kasutatakse käsitsi teenindatavaid reste. Siinjuures kütuse pealeandmine, kihi kohendamine ja resti teeninda-



Joon. 53. Käpprest. 1. Restitala. 2. Esimene kinnislüli. 3. Tagumine kinnislüli. 4. Liikuv lüli. 5. Parempoolne liigutamisseadis. 6. Vasakpoolne liigutamisseadis.

mine ühes tuha eemaldamisega toimub käsitsi. Resti tüüp on sõltuv kasutatava kütuse liigist.

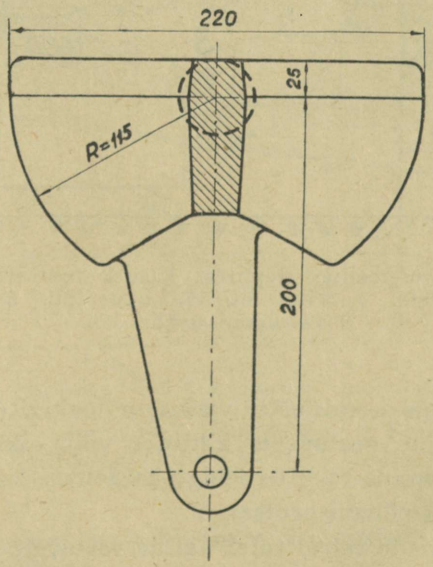
Alljärgnevalt on esitatud ülevaade Eesti NSV-s levinumaist käsitsi teenindatavaist restitüüpidest põlevkiviküttel. Restide iseloomustavaid näitarve on toodud tabelis 28.

Jämepõlevkivi- (I sordi) küttel.

Käppresti kasutatakse põlevkiviküttel vähemate aurukatelde kolletes katla küttepinna puhul ligikaudu kuni 40 m^2. Suuremates aurukateldes tuleb kasutada kas käsitsi või masinajõul liigutatavaid treppreste (olenevalt katla suurusest), kuna käpprest ei osutu siin põlemistehniliselt enam kohaseks.

Liigutatavate käpprestide ehitusviis on järgmine:

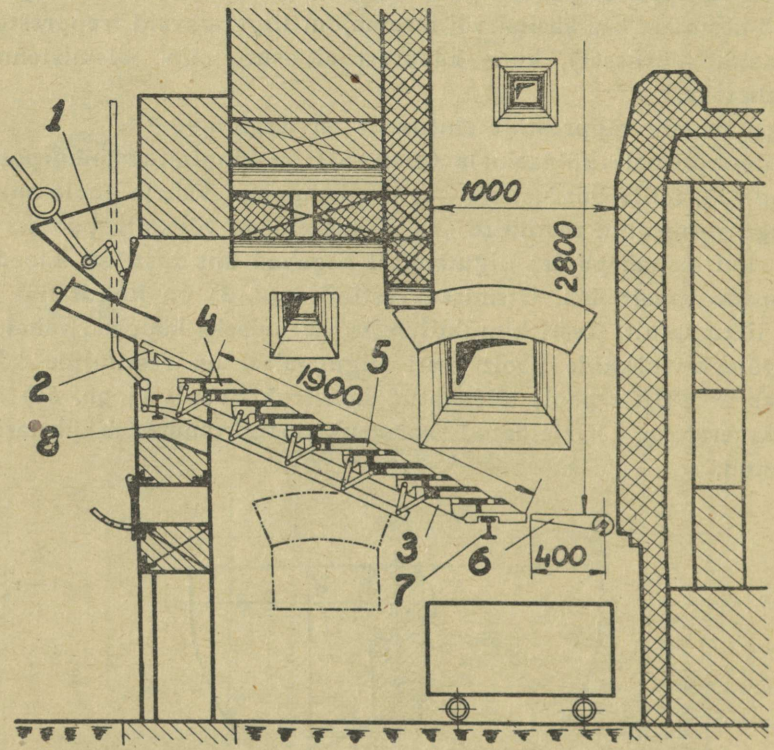
Kolde mõlemale külgseinale (joon. 53) on kinnitatud ankurpoltidega restitalad (1), mille õnarustesse toetuvad tappidel kahele poole suunatud käppadega varustatud restilülid (4). Viimaseid on võimalik pöörata längu nii ette- kui ka tahapoole; liigutamisel liiguvad ühe restilüli käpad teise lüli käppade vahelt läbi. Otsmised restilülid (2, 3) on kinnitatud koldeseintele liikumatult. Resti kinnikiilumise vältimiseks käppade vahele varisevate põlevkivitükkide poolt resti liigutamisel on restilülide käppade otsad (4) ETTUK-i poolt täiendatud konstruktsioonis (joon. 54) kujundatud kumeratena. Kirjeldatud konstruktsioonil suureneb ühtlasi käpa jahutuspind.



Joon. 54. Käppresti liikuv lüli.

Restilülid on seadistatud allapoole suunduvate hoobadega, mis on allotstes kinnitatud vaheldumisi liikuvalt kahele ühenduslatile.

Restilülide liigutamine toimub käsitsi liigutamishoobade ja ülekandelattide abil (5, 6), kusjuures viimased kinnituvad liikuvalt ühenduslattidele. Liigutamishoobade pikendamiseks on viimased varustatud torutükkidega.

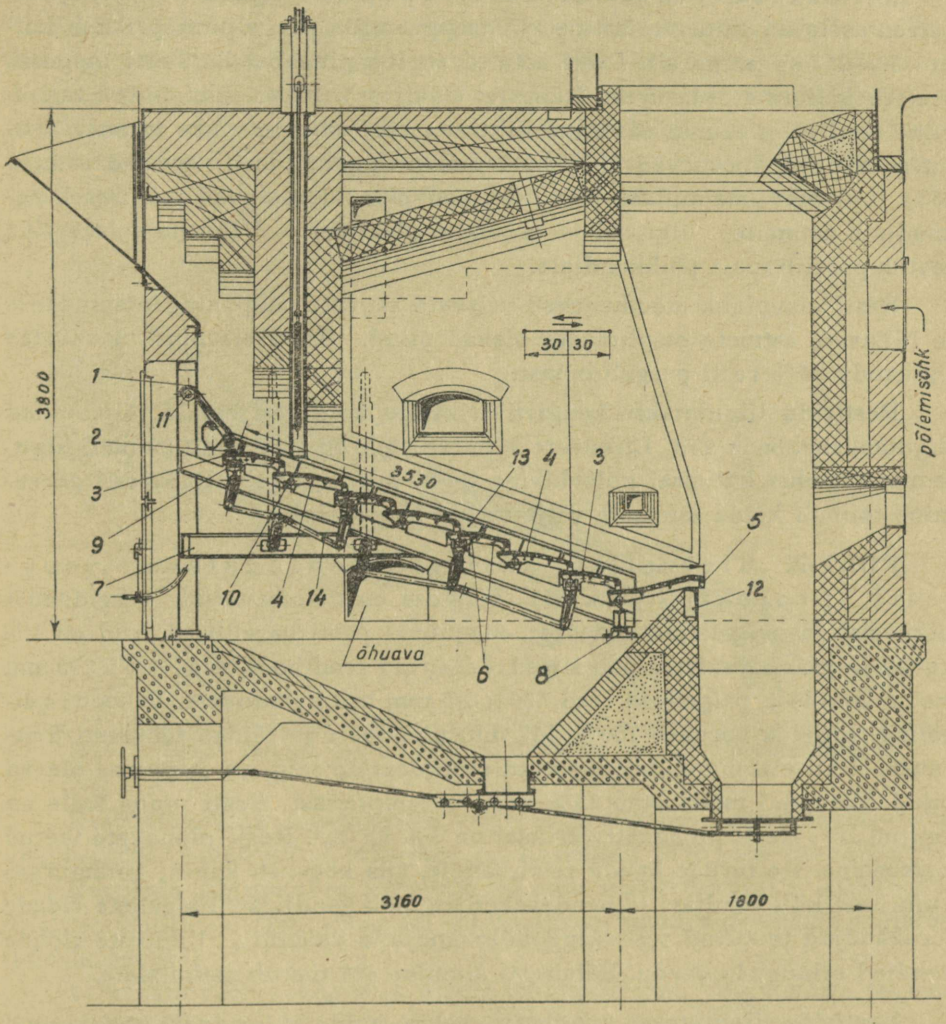


Joon. 55. „Ilmarise" ülerealine treppprest käsitsi teenindamisega. 1. Täitekolu. 2. Roopplaat. 3. Külgtala. 4. Seisev lüli. 5. Liikuv lüli. 6. Räburest. 7. Põiktala. 8. Liigutamismehhanism.

Restilülide längus asendi tõttu variseb põlevkivituhk restilt tuharuumi ja põlevkivi põlemine pealmistes kihtides võib areneda katkestamatult. Käsitsi tuha eemaldamine restilt roobiga koldeukse kaudu jahutaks liigselt kollet ja halvendaks põlemisprotsessi.

Restilülide käppade vahed tuleb valida vastavalt tarvitatava põlevkivitüki suurusele ja need ulatuvad 20—30 mm.

Käpprestidega seadistatud koldes tuleb kütusena kasutada I sordi põlevkivi (tükisuurus üle 38 mm), kuna peenema põlevkivi kasutamisel läbivarisemine käppade vahelt põhjustab suuri kadusid.



Joon. 56. Ülerealine treppprest RÜLT-K käsitsi teenindamisega. 1. Juhtplaadid. 2. Tihenduslülid. 3. Liikuvad restilülid. 4. Paigalseisvad restilülid. 5. Räburest. 6. Liikuvate restilülide ühenduspoldid. 7. Restiraam. 8. Raami alusplaat. 9. Liikuva restiastme kandja. 10. Paigalise restiastme kandja. 11. Juhtplaadi kandja. 12. Räburesti lõpposa. 13. Külgpaneel. 14. Resti liigutamise seade.

Käpprestid paigutatakse koldesse horisontaalselt või enamasti väikese kallakuga, et kütjal oleks kergem visata põlevkivi restile ühepaksuselt või,

visates resti esiosale, lükata seda roobiga kergemini resti tagumistele lülidele. Resti liigutamise sagedus on 6—8 korda tunnis.

„Ilmarise" ülerealine treppprest (joon. 55) kujutab ülerea asetatud liikuvate astmetega treppi, mille peegelpind paikneb koldes 20—25°-se nurga all. Resti astmed on rõhtpinnalised. Resti lõpposas asetseb kallutatav plaanrest (räbu- e. šlakirest). Kütusekihi pidev varisemine resti lõpu suunas saadakse liikuvate restiastmete tõuke toimel. Liikuvad astmed koosnevad 295×1044 mm malmplaatidest, seisvad astmed 352×1070 mm malmplaatidest. Seisvad plaadid toetuvad malmist külgkandjate astmeile, liikuvad — seisvaile plaatidele. Viimane seisev rida toetub profiilrauast põikkandjale.

Resti elavpinna moodustavad seisvate astmete selg- ning otspindades ja liikuvate astmete otspindades olevad pilud. Resti elavpind moodustab ligikaudu 25% resti peegelpinnast.

Restiridu liigutatakse kangistiku kaudu kolde esiseinale väljatoodud liigutamishoobade abil. Liikuvate astmete käik on ligikaudu 60 mm, liigutamise sagedus kütmisel põlevkiviga 8—10 korda tunnis. Räburesti pööramine toimub kolde esiotsale väljatoodud hoova abil.

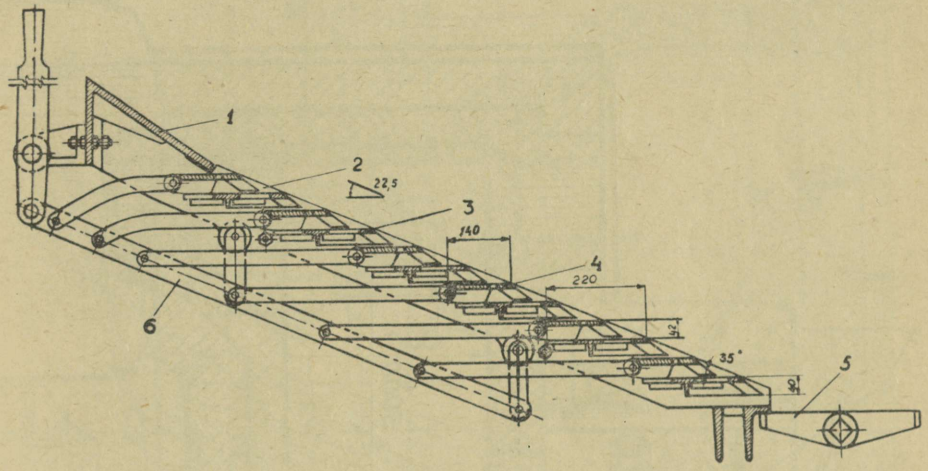
RÜLT-K ülerealise käsitsi teenindatava treppresti (projekt) (joon. 56) trepiosa on moodustatud vaheldumisi liikuvaist ja paigalistest ridadest, kusjuures paarituarvulised read on liikuvad ja paarisarvulised paigalised. Liikuvad read koosnevad 430×295 mm malmplaatidest, paigalised read 530×295 mm malmplaatidest. Viimane paigaline restirida koosneb 700 × 147 mm plaatidest ja täidab räburesti ülesannet. Resti elavpinna moodustavad restiplaatide selg- ja otspinnas olevad pilud. Elavpind moodustab 13% resti peegelpinnast. Resti pinna kalle on valitud 20°. Resti pinnakatte erikaal on 300 kg/m^2. Resti pinnakate toetub paksuseinaliste torude kaudu restiraamile, mis koosneb kahest kolmnurgakujulisest külgkandjast ja nendevahelisist põikkandjaist. Paigaliste ridade torukandjad toetuvad restiraami külgkandjaile vahetult, liikuvate ridade kandjad erinugade kaudu. Räburesti alumine ots toetub malmtalale.

Restiridu liigutatakse kangistiku kaudu kolde külgseinale väljatoodud liigutamishoobade abil. Liikuvate restiridade käik on 60 mm, liigutamise sagedus kütmisel põlevkiviga 6—8 korda tunnis.

RÜLT-K-restil võib põletada põlevkivi tükisuuruses 10—100 mm, kusjuures peen-aine- (terasuurus kuni 5 mm) sisaldus ei tohi ületada 10%. Samuti on restil võimalik põletada tükkturvast niiskusega kuni 50% ja brikett-turvast.

Väikepõlevkivi- (II sordi) küttel.

„Krulli“ ülerealise treppresti (joon. 57) peegelpind moodustub vaheldumisi paigutatud seisvaist ning liikuvaist astmekujulistest restiridadest ja on paigutatud koldesse 22,5°-se nurga all. Resti lõppossa on paigutatud kallutatav plaanrest, mis täidab räburesti ülesannet. Seisvad restiread toetuvad väljaulatuvaile astmeile malmist külgkandjate sisekülgedel, liikuvad read libisevad seisvail ridadel. Külgkandjad kinnituvad ankurpoltidega kolde siseseinale ja toetuvad resti lõpposas malmist põikkandjale. Külgkandja esiotstele kinnitub malmist roopplaat.



Joon. 57. „Krulli“ ülerealine treppprest käsitsi teenindamisega. 1. Roopplaat. 2. Külgtala. 3. Seisev lüli. 4. Liikuv lüli. 5. Räburest. 6. Liigutamismehhanism.

Resti elavpinna moodustavad seisvate ja liikuvate astmete selg- ning otspindades olevad pilud. Elavpind on ligikaudu 20% resti peegelpinnast.

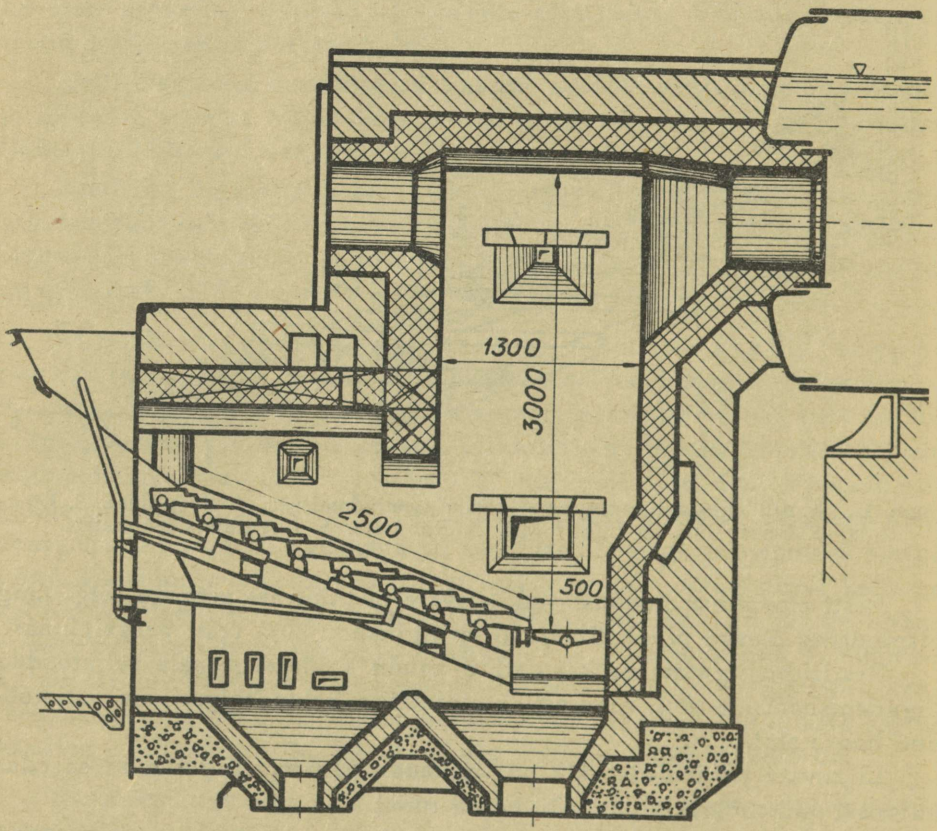
Restiridu liigutatakse kangistiku kaudu kolde esiseinale väljatoodud liigutamishoobade abil, räburesti kallutatakse kolde külgseinale väljatoodud hoova abil.

Liikuvate restiridade käik on ligikaudu 60 mm, liigutamise sagedus kütmisel väikepõlevkiviga 8—10 korda tunnis.

TS ülerealine käsitsi teenindatav treppprest (joon. 58) on konstruktsioonilt sarnane mehhaanilise TS-restiga. Resti liigutamise mehhanism koosneb hoovastikust ja resti liigutatakse kolde esiseinale väljatoodud liigutamishoobadega. Räburesti pööramise hoob on toodud kolde külgseinale. Vajalik resti liigutamise sagedus väikepõlevkiviküttel on 8—10 korda tunnis.

b) Mehhaanilised treppprestid.

Levinumaiks mehhaanilisteks restideks põlevkivi-kukersiidi põletamiseks on mehhaanilised treppprestid restiridade vastassuunalise või ülerealise liikumisega. Vastassuunalise liikumisega restid („Krull-Lomšakovi" ehitusviis) omavad resti pinda moodustava murdjoonelise pikiprofiiliga trepi, kuna ülerealised treppprestid on tahukakujuliste astmetega (vt. joon. 58, 64, 65 ja 66). Sõltuvalt ehitusviisist on resti pindadel erinevad kalded: 10,5—25,0°.

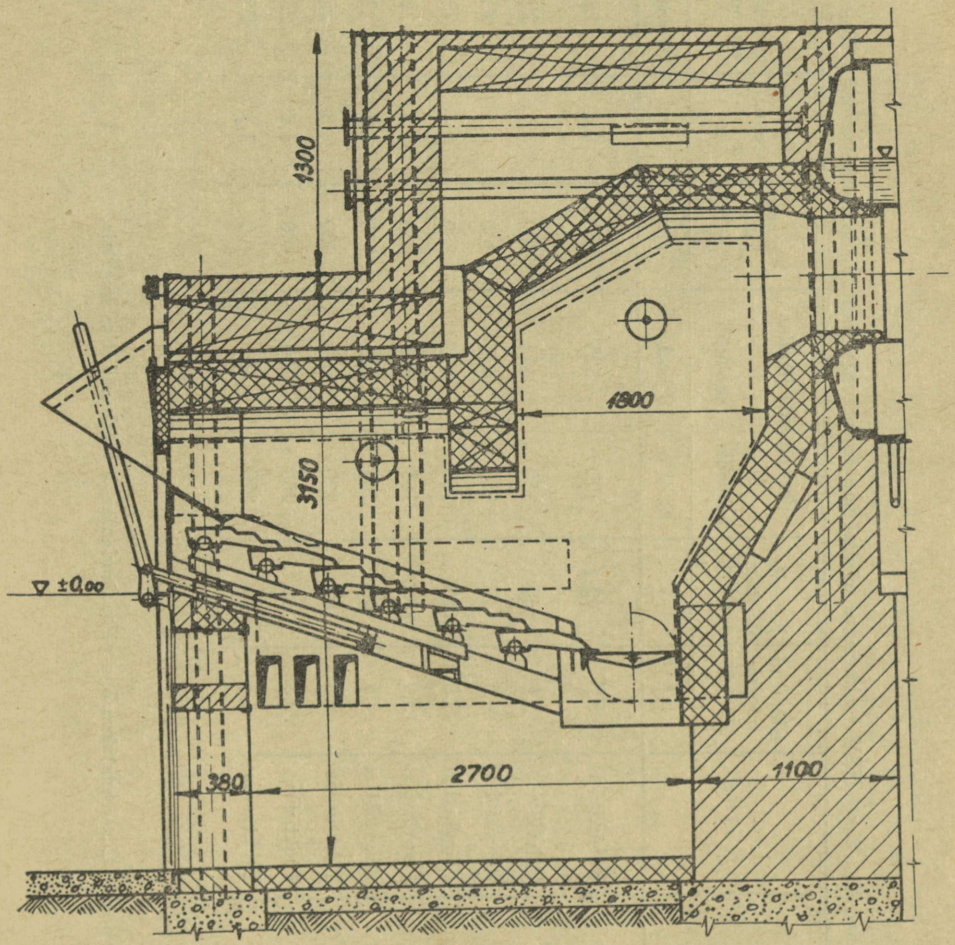


Joon. 58. TS-rest käsitsi teenindamisega.

Mehhaanilisi treppreste kasutatakse nii peen- kui ka väikepõlevkivi põletamiseks, kuna jämekivi (I sort) suure erinevuse tõttu tükisuuruses on ilma eelpurustamiseta mehhaanilise põlemisseadme kütuseks ebakohane.

1) „Krull-Lomšakovi" restid.

„Krull-Lomšakovi" tüüpi restidel on iseloomulik resti pinna profiil, mille moodustavad murdjoonelise pealispinnaga restilülid (raamlülid) neid katvate kärgedega (joon. 59 ja 60). Töövalmis olekus restil on kärjed täi-



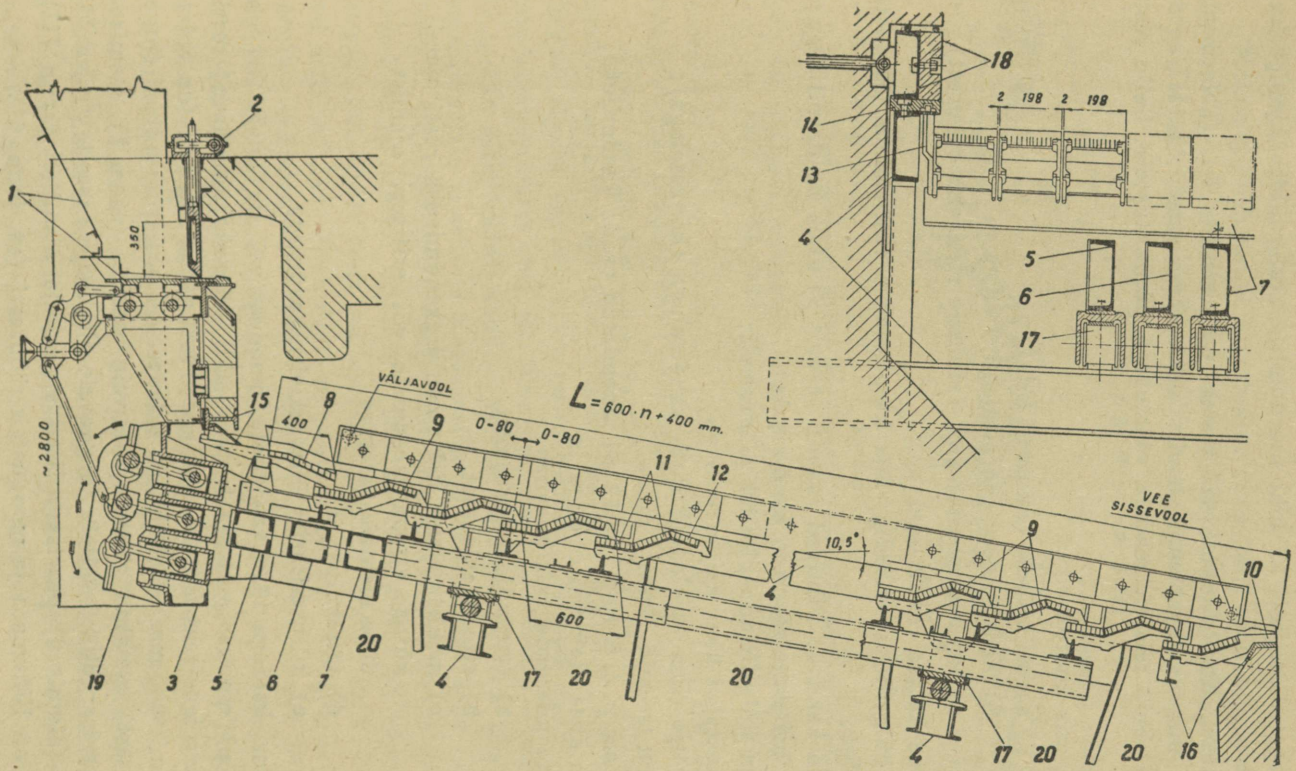
Joon. 58-a. TS-rest käsitsi teenindamisega.

detud sõelutud sõmeralise raudkivikruusaga (terasuurus 8 kuni 12 mm), mille tõttu on takistatud peene kütuse läbipudenemine ning on ühtlustatud ja võrdrõhuliselt jaotatud põlemiseks vajalik altõhk. Kärgede täidis peab olema küllaldase vaba ruumiga terade vahel ja kruus ise ümarate servadega, et ei esineks tihedat kiilumist. Täidis on otseses kokkupuutes

Tabel 28. **Eesti NSV levinumate käsitsi teenindatavate restide iseloomustavaid näitarve.**

Resti tüüp	Kütus	Ehitatud peegelpinnaga	Põlemisõhu temp. resti all	Peegelpinna jõudlus		Kütuse kihi paksus	Liigõhutegur α_{ko}	Kolde erikoormus	Koldekadu
				kütuslik	soojuslik				
		m^2	°C	kg/m^2h	$10^3 kcal/m^2h$	mm		$10^3 kcal/m^3h$	$\frac{(q_3+q_4)}{\%}$
Käpprest	Põlevkivi I	3,5	40[1])	170	525	350	1,6	220	12
„Ilmarise" ülereal. treppprest	Põlevkivi I	3,0	40	150	475	300	1,5	220	9
RÜLT-K (projekt)	Põlevkivi I	4,5	40	150	475	300	1,5	220	9
„Krulli" ülereal. treppprest	Põlevkivi II	3,0	40	165	475	250	1,4	220	8
TS ülereal. treppprest . .	Põlevkivi II	3,0	40	165	475	250	1,4	220	8
RÜLT-K (projekt)	Põlevkivi II	4,5	40	165	475	250	1,4	220	8
Seisev treppprest	Tükkturvas	2,5	40	220	600	400	1,3	250	8
Plaanrest	Tükkturvas	2,5	40	280	700	400	1,4	250	6
RÜLT-K (projekt)	Tükkturvas	4,5	40	220	600	400	1,3	250	6

[1]) Põlemisõhu temp. 40° C saavutatakse õhu eelsoojendamisega koldemüüritise kanaleis.



Joon. 59. „Krull-Lomšakovi" rest. 1. Kütuse etteandja täitekoluga. 2. Kütusesiiber. 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 esikülje tihendus. 16. Resti lõpplüli põikkandja. 17. Liikuva raami kandelaager. 18. Külgjahutusseade. 19. Resti ajam. 20. Restialune õhutsoon.

põleva kihiga ja kaitseb resti metallosi ülekuumenemise eest. Restilülide pealispinna murdjoonelise profiili tõttu toimub resti käigusolekul kütusekihi liikumisega üheaegselt ka kihi murdumine, mis väldib kinnipaakumist põlevkihis.

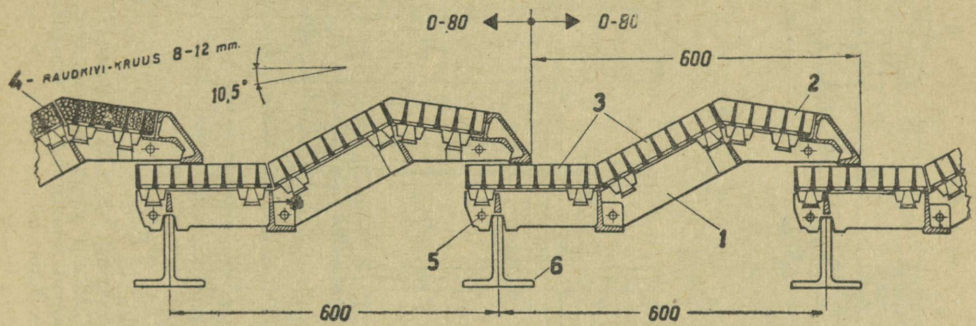
Normaalseks „Krull-Lomšakovi" restiks on restitüüp NL („Normaal-Lomšakov"), mis on kujunenud standardseks põlemisseadmeks III sordi põlevkivile ja sobib teistele madala väärtusega peenkütustele. Selle resti peaosad on:

1) restilülid, mis koosnevad
   a) esilülidest (esimene rida),
   b) kesklülidest (normaalselt 9 rida) ja
   c) tagumistest lülidest (viimane rida ehk räburest);
2) vahetatavad kärjed restilülidele;
3) liikuvad külgtihendusplaadid, mis kinnitatakse restiridades äärmiste lülide külge;
4) restilülisid kandvad liikuvad raamid (arvult 3) ühes kanderullidega;
5) põhiraam liikuvate raamide kandmiseks;
6) liikumatud külgtihendusplaadid põhiraamil;
7) külgjahutustalad ühes kaitsekividega;
8) resti esikülje tihendusplaadid ühes kandetalaga (konkstalaga);
9) põlemisõhu tsoonid (kuni 5 tsooni);
10) resti esiraam p. 5, 8, 10, 11 ja 12 all tähendatud osade kandmiseks;
11) resti ajam ühes elektrimootoriga ja
12) kütuse etteandeseade, mis koosneb:
   a) etteandja alusraamist,
   b) etteandeplaadist,
   c) mehhanismist liikumise ülekandmiseks resti ajamilt kütuse etteandeseadmele või erilisest ajamist ühes elektrimootoriga,
   d) täitekolust ja
   e) kütusesiibrist ühes käivitusseadmega.

Resti pinna, kaldega 10,5° tahapoole, moodustavad ligikaudu 200 mm laiad ja resti põiksuunas mutriga kruvide abil ridadeks ühendatud restilülid; lülide arv igas reas sõltub vajalikust resti pinna laiusest (on ehitatud laiuses kuni 4000 mm). Restilülide ridadest on paarituarvulised (lugedes resti esiosast) asetatud välisele liikuvale raamile (raam I), eesmised (ülemised) paarisarvulised sellele järgnevale liikuvale raamile (raam II) ja tagumised (alumised) paarisarvulised sisemisele raamile (raam III). Viimane rida on liikumatu ja moodustab räburesti (vt. joon. 61).

Iga liikuv raam toetub rullide kaudu paigalisele põhiraamile ja liigub sõltumatult teistest liikuvaist raamidest. Raamid liiguvad resti normaalsel töökäigul vastassuunaliselt.

Kolme liikuva raami kasutamine võimaldab töötamist resti ülemisel ja alumisel poolel erineva raamidevahelise suhtelise käigu pikkusega, s. o. kütuse edasiliikumise kiirusega. Resti ajami mitmekesiste lülitamistega

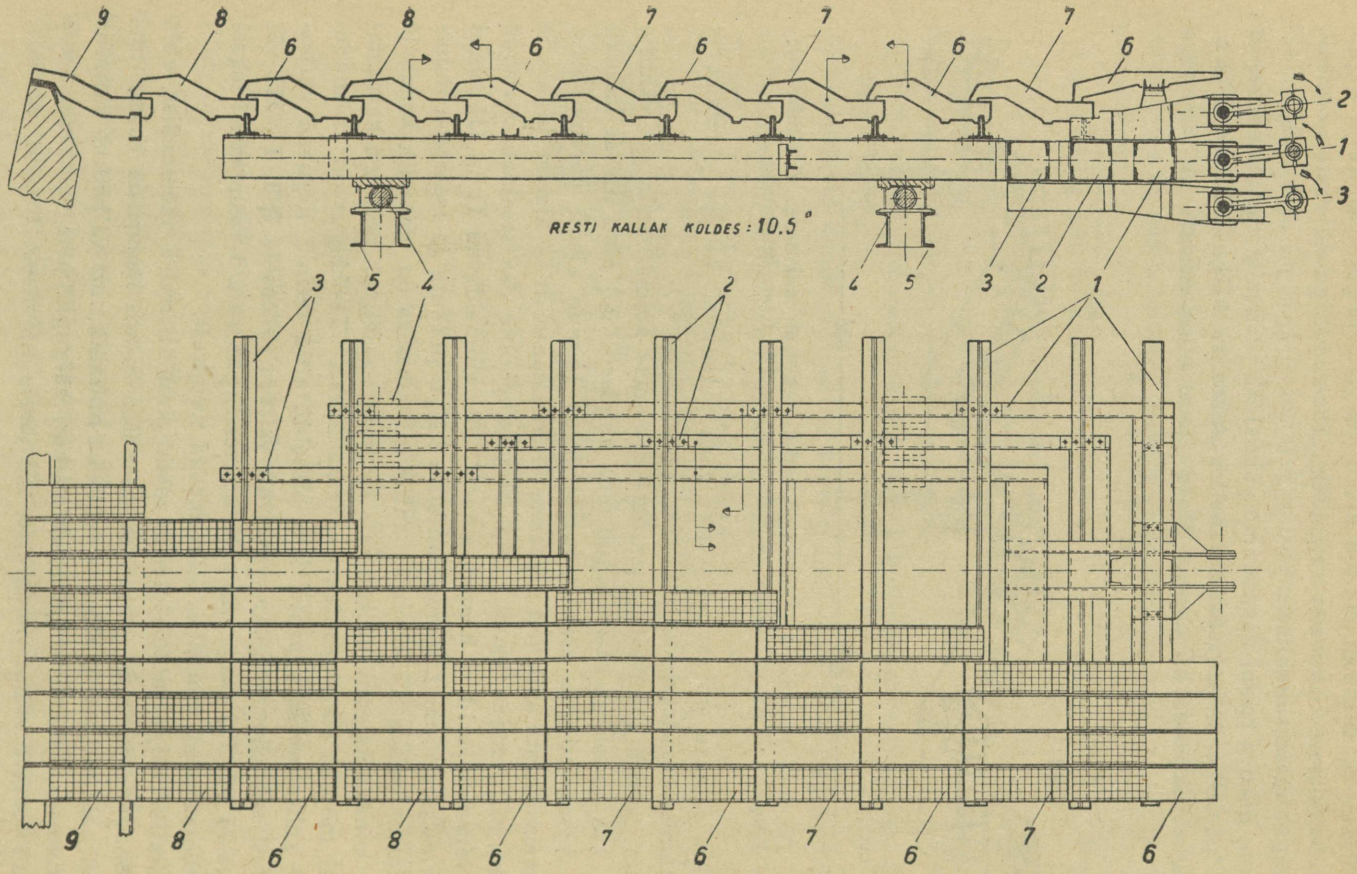


Joon. 60. NL-resti keskmised lülid. 1. Restilüli. 2. Lüli ninakärg. 3. Lüli seljakärg. 4. Kärgede täidis. 5. Ühenduspolt. 6. Resti lülikandja.

teostatakse säärase ehitusviisi juures väga painduvalt kütuse põlemise ja kihi liikumise reguleerimist piki resti (joon. 62 ja 63).

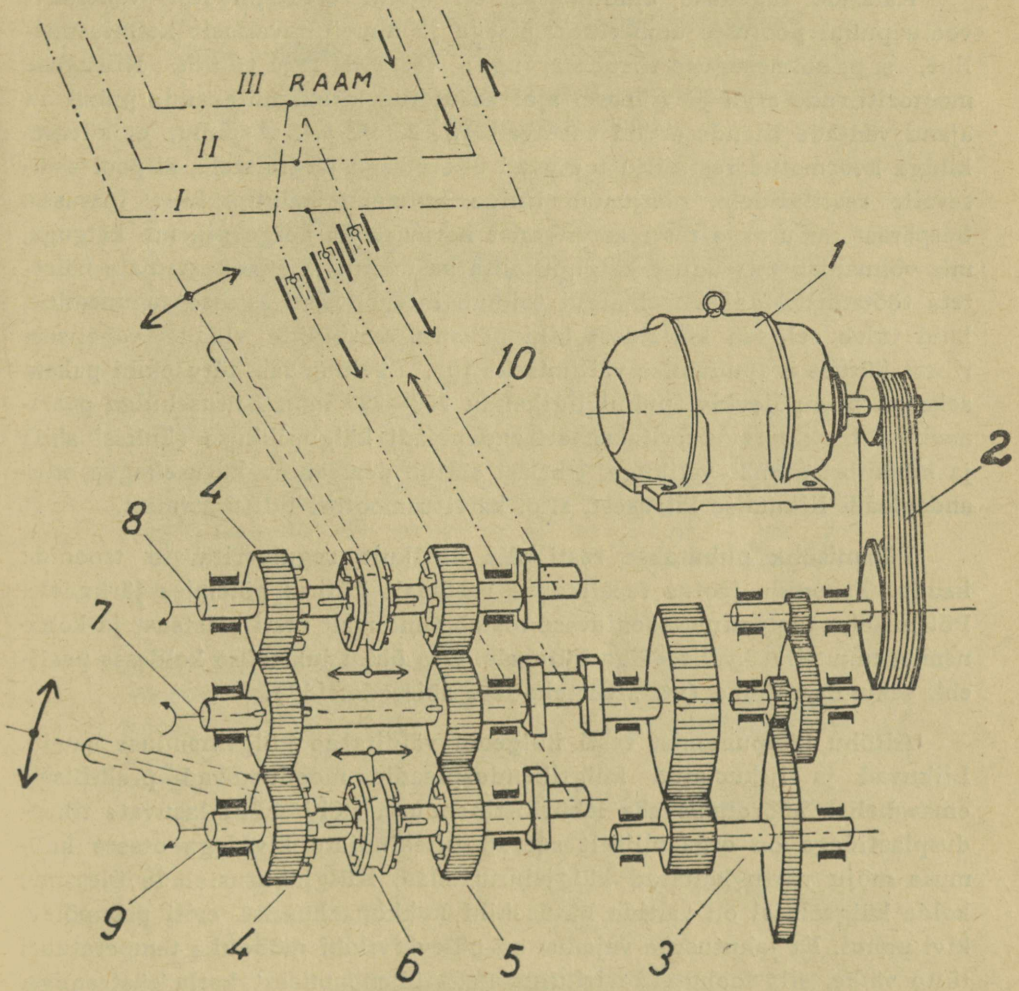
Ajam annab liikuvaile raamidele liikumise kolme vända ja väntaja kaudu, kusjuures iga raam liigub oma kanderullidel resti üldise kallaku suunas. Ajami tiirude arvu redutseerimine toimub ajami parempoolses osas hammasrataste abil, jõu ülekanne elektrimootorilt — elastse ülekande saamiseks kiilrihmade kaudu. Ajami vasakpoolne osa sisaldab vastavad hammasrataste paarid ja hammassidurid, mis võimaldavad II ja III raami sisse- ja väljalülitamist, nende suhtelise käigu pikkuse ja iseloomu muutmist I raami suhtes. Liikuvate raamide lülitamiseks on võimalik kasutada üheksat kombinatsiooni, millest viis on puht töökäigud, neli aga kasutatavad eriti mõjuka roopimisefekti saavutamiseks. Töökäigus on raamidevaheline suhteline käik püsiv, s. o. sisselülitatud raamid liiguvad vastassuunaliselt suhtelise käiguga, vastavalt valitud lülitusele I, I, II, III või IV, kuna II või III raami väljalülitamisel liigub vaid I raam edasi-tagasi ja rest töötab nagu ülerealise liikumisega trepprest.

Suhtelise käigu pikkus oleneb raami sisselülitamise momendist ehk, teiste sõnadega, väntade suhtelisest asendist. Siduri hammaste arvust tingitult on käikude arv 5, kaasa arvatud ka nullkäik, mis väljendub raamide koosliikumises, kui mitte arvestada väikesi käigupikkuste erinevusi, mis tulenevad vastava raami vända ette- või järelejõudmisest I raami vändale.



Joon. 61. NL-resti skeem. 1. Liikuv raam I (keskmine keps). 2. Liikuv raam II (ülemine keps). 3. Liikuv raam III (alumine keps). 4. Liikuva raami kandelaager. 5. Põhiraam. 6. Paaritud restiread (I raamil). 7. Esimesed paarisread (II raamil). 8. Tagumised paarisread (III raamil). 9. Räburest.

Suhtelise käigu pikkus on ligikaudu järgmine: nullkäik — 0, I — 60, II — 110, III — 145 ja IV — 160 mm.



Joon. 62. NL-resti käigukasti skeem. 1. Elektrimootor. 2. Kiilrihmülekanne. 3. Reduktor (kolmekordne hammasülekanne). 4. Püsiva käigu ülekanne. 5. Muutliku käigu ülekanne. 6. Sidur. 7. Veovõll I raamile. 8. Veovõll II raamile. 9. Veovõll III raamile.

Eri roopimiskäikude iseärasuseks on suhtelise käigu perioodiline muutumine, s. t. raamid liiguvad nii vastassuunaliselt kui ka samasuunali-

selt, seega muutub suhteline käik pidevalt nullist kuni sisselülitamisest tingitud maksimumini.

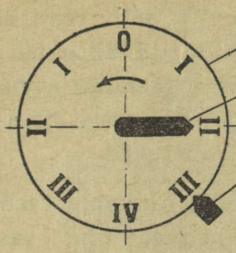
Käikude sageduse muutmiseks on ajami elektrimootor vahelduvvoolu puhul pooluste ümberlülitamisega ja nimelt tavaliselt kolmeastmeline, s. o. kolmesuguse tiirude arvuga: 750/1000/1500 t./min. Niisuguse mootoritiirude arvu ja viimasel ajal kasutatud kiilrihmülekande puhul on ajami väntade tiirude arvud vastavalt 1,7, 2,3 ja 3,4. Asjaolu, et kütusekihiga koormatud restilülid toetuvad ühe otsaga järgmistele, allpool asetsevaile restilülidele, põhjustab lülide kulumist käigupikkuse ulatuses. Seepärast nõutakse resti käivitamist normaalselt kõige pikema käiguga, mis võimaldab teissuguse käigupikkuse kasutamist, hädaohustamata häireteta töötamist. Maksimaalkäigul toimub intensiivsem kütuse segunemine, kuid tuleb eeldada küllaldast kihi paksust restilülide ridade vahelisest ribast kütuse ärapuhumise vältimiseks jne. Levinumaks kütusekihi paksuseks on peenpõlevkivi puhul ligikaudu 200—220 mm. Kütusehulga pealeandmist restile reguleeritakse etteandeplaadi käigupikkuse (kulissi abil) ja kihisiibri asendi valikuga. Ühtlasi sõltub pealeantav kütusekogus etteandeplaadi liikumise kiirusest, s. o. käivitusmootori lülitusastmest.

Põlemisõhk puhutakse resti alla üksikult reguleeritavate tsoonide kaudu. Tsoonide jaotus teostatakse vastavalt kütuse põlemise järkudele. Põlemisõhu jaotamine tsoonidesse tõstab tunduvalt resti elastsust ja kohanemist muutliku kvaliteediga kütusele. Osa õhku juhitakse koldesse pealt- ehk sekundaarõhuna (vt. „Küttekollete abiseadmeid").

Altõhu läbipuhumist resti külgedel välditakse külgtihenduse kaudu. Liikuvad ja liikumatud külgtihendusplaadid moodustavad praktiliselt omavahelise hõõrdumisvaba labürinttihenduse. Põhiraamil lasuvate tihendusplaatidega on orgaaniliselt seotud tulekindlate kividega otsese kuumuse mõju vastu kaitstud külgjahutustalad. Külgjahutustalade ülesanne kolde külgseintel on vältida kütusekihi kokkupaakumist, eriti peenpõlevkivi puhul. Et jahutusvee vajadus on põlevkivikihi mõõduka temperatuuri tõttu väike, siis loobutakse jahutustalade ühendamisest katla süsteemiga. Igal juhul peab läbivool toimuma takistamata ja peab olema võimalus läbivoolu kontrollida nähtavusega ning veehulka nii reguleerida, et väljavoolul temperatuur ei ületaks 80° C.

„Krull-Lomšakovi" ehitusviisiga NL-resti peegelpinna soojuslik koormus võib tõusta 800 000 kcal/m²h ja ülegi, mis III sordi põlevkivi koguses väljendatuna oleks 300 kuni 350 kg/m²h. Resti iseloomustavaid näitarve tõime kokkuvõetult tabelis 27.

KÄIGUVALIKU KETAS

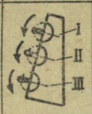


Ketas asub käigukasti vasakul poolel ja näitab I raami liikumist.

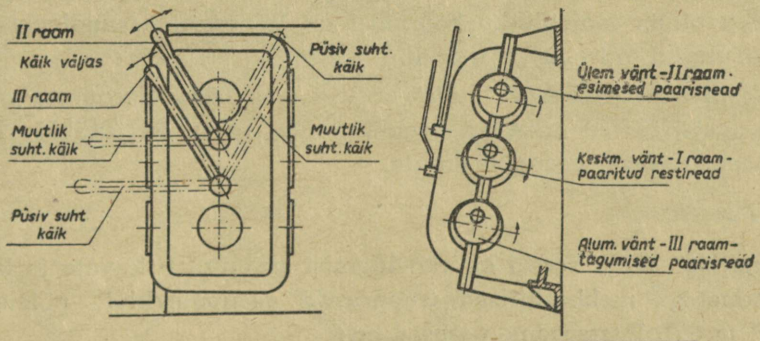
Osuti A näitab II raami vända asendit I raami vända suhtes.

Osuti B näitab III raami vända asendit I raami vända suhtes.

KÄIGUVALIKU NÄITED

OSUTITE ASENDID							
VÄNTADE ASENDID							
SUHTELISE KÄIGU PIKKUS	II RAAM I-se SUHTES	 0	 60	 110	 145	 110	 160
	III RAAM I-se SUHTES	0	110	110	145	145	160

RAAMIDE LÜLITAMINE



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. 63. „Krull-Lomšakovi“ NL-resti lülitusskeem.

Ühtlasi valmistatakse eelkirjeldatud resti ka lihtsustatud ehitusviisi järgi nn. LL-tüübina („Lihtsustatud Lomšakov"). Selle restitüübi peegelpinna moodustamiseks kasutatakse samu restilülisid ühes kärgedega kui normaalrestil. Põhilised erinevused on liikuvate raamide arvus, milliseid LL-restil on vaid kaks; radikaalselt on lihtsustatud resti ajam; külgjahutustalad ja kütuse mehhaaniline pealetõukaja puuduvad.

Restilülide read asetatakse LL-restil kahele liikuvale raamile ülerealiselt. Raamide liikumine on vastassuunaline, ühe raami väljalülitamisel liigub sisselülitatud raam edasi-tagasi ja rest töötab ülerealise liikumisega restina. Lihtsustatud ajam võimaldab vaid ühe raami välja- ja sisselülitamist ning väntade asendamisest tingitud suhtelise käigu muutmist 0 kuni 120 mm. Külgjahutustalad on välja jäetud eeldusel, et selletüübiline rest leiab kasutamist vähemate kollete ning erikoormuste puhul. Etteandeseadme puudumise tõttu asetseb täitekolu resti esiosa kohal oleval süvikul. Kütusekihi juhtimiseks resti pinnale asetseb resti esiosas kaldu asetatud plaatidest moodustatud juhtpind. Kihi paksuse reguleerimine toimub veega jahutatava malmsiibri abil.

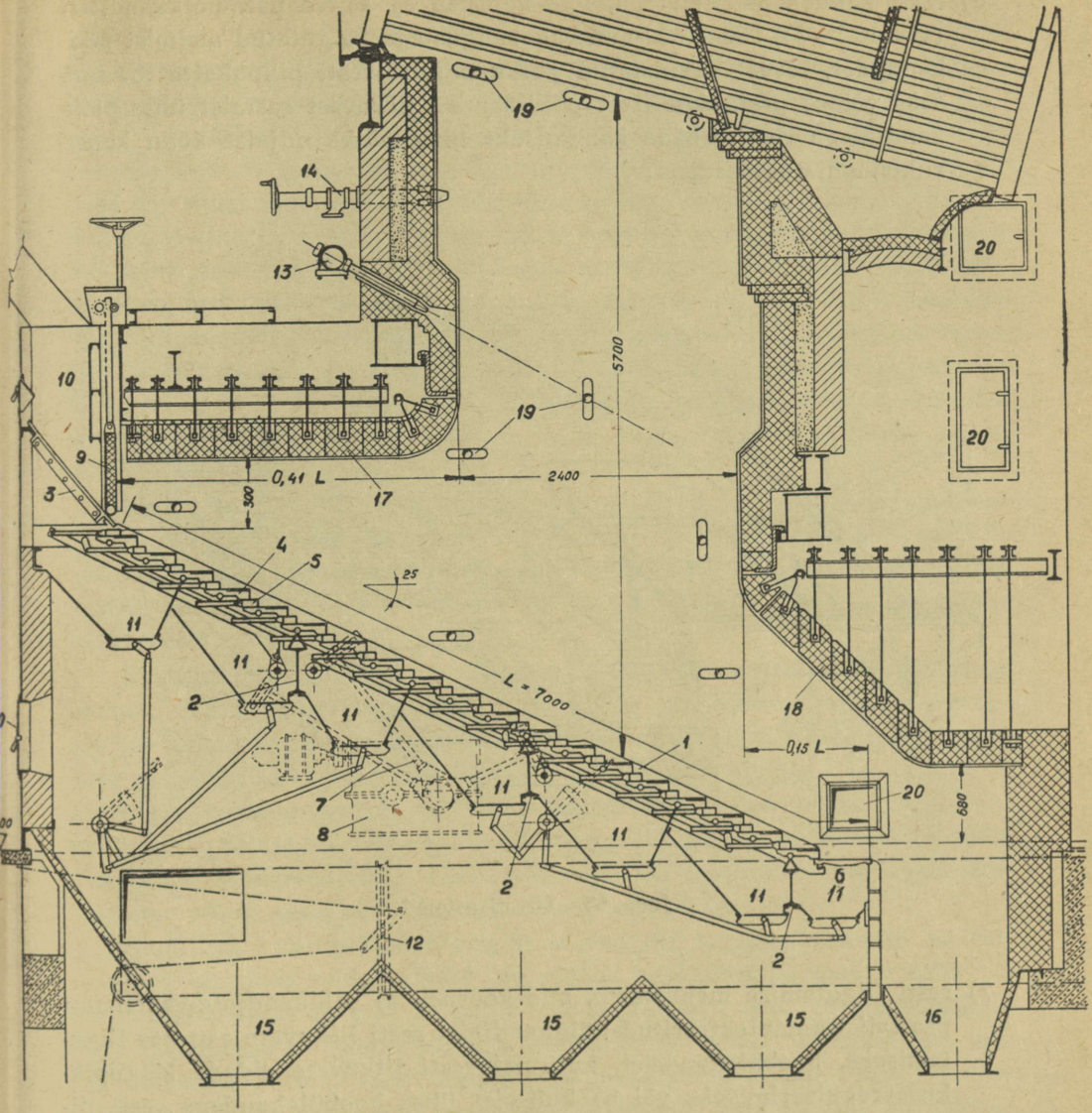
Samalaadse konstruktsiooniga kui eeltoodud tüüp on ka tüüp VL („Väike Lomšakov"), mida kasutatakse väiksemate mehhaaniliste kollete jaoks. Erinevus seisab kasutatavais restilülides, mis on sellel tüübil väiksemate mõõtmetega (laius ca 150 mm) ja raamlüliga ühtevalatud kärgedega. Resti pinna soojuslikku koormust on VL-restil peenpõlevkivi põlemisel saavutatud $575 \cdot 10^3$ kcal/m^{2}h.

Kõik „Krull-Lomšakovi" tüüpi restid oma läbivarisemiseta restipinnaga on spetsiifilised erirestid peenkütustele, neist restitüübid NL ja VL — normaalrestid peenpõlevkivile.

2) *I-restid.*

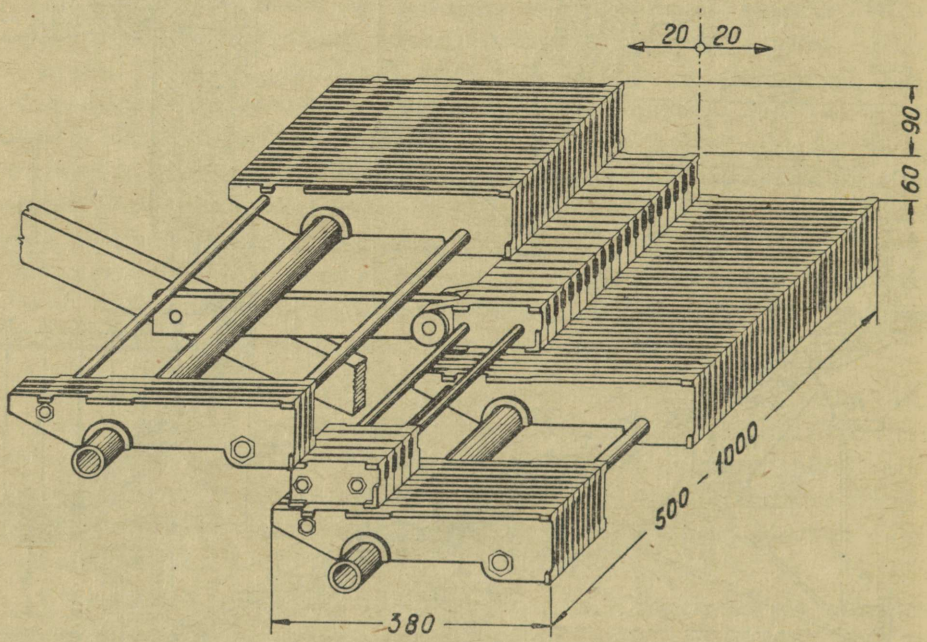
„Ilmarise" tüüpi restid on vaheldumisi asetatud liikuvate ja liikumatute astmetega mehhaanilised trepprestid peenpõlevkivi põletamiseks (joon. 64 ja 65). Restseadme peaosad on:

1) kütusekolu;
2) juhtplaat kütuse vastuvõtmiseks ja juhtimiseks liikuvale restipinnale;
3) siiber kütusekihi paksuse reguleerimiseks;
4) trepiastmeline peegelpind, mis koosneb liikuvaist (paarituist) ja liikumatuist (paaris-) astmeist;
5) paigaline räburest kütusekihi järelpõlemiseks;



Joon. 64. I-resti üldvaade. 1. Resti pikitala. 2. Resti põiktala. 3. Juhtplaat. 4. Liikuv restirida. 5. Liikumatu restirida. 6. Räburest. 7. Liigutamismehhanism. 8. Käigukast mootoriga. 9. Kihisiiber tõsteseadmega. 10. Kütusekolu. 11. Õhutsoonid reguleerimisseadmega. 12. Reguleerimissiiber altõhukanalis. 13. Pealtõhuseade. 14. Õlipihusti. 15. Tuhapunker. 16. Räbupunker. 17. Rippuv esilagi. 18. Rippuv tagalagi. 19. Vaateava. 20. Pääseava.

6) resti kandekonstruktsioon, mis koosneb a) esiraamist, põikkandjaist (arvult 1—3), 500—1000 mm vahekaugustega paigutatud malmist pikikandjaist, torust valmistatud põikkandjaist resti pinnakatte toetamiseks või b) pikiasendilisest põhiraamist, liikuvast raamist ühes põikkandjatega restivarbade kandmiseks ning põikkandjaist kogu konstruktsiooni tugiosadena;



Joon. 65. I-resti astmed.

7) resti liigutamise mehhanism, mis koosneb a) pikikandjate-vahelistest paariviisi komplekteeritud külgkandjaist resti liikuvate astmete liigutamiseks, hoobülekandeist, kulissist resti liikuvate ridade käigupikkuse reguleerimiseks või b) kulissist ühes hoobülekandega resti liikuva raami liigutamiseks;

8) põikkandja räburesti toetamiseks (malmist);

9) õhutsoonide süsteem;

10) kolde külgseinte jahutuskastid ja

11) resti ajam ühes elektrimootoriga.

Kolde esiosa külge monteeritakse kütusekolu, mille põhi moodustatakse kaldu asetatud juhtplaadist. Viimast mööda valgub kütus koldesse resti esimesele liikuvale astmele. Kogu resti laiuses valmistatav kütusekihti reguleeriv malmist kihisiiber kaitstakse šamottvoodriga. See kihisiiber asetatakse koldesse resti juhtplaadi lõpposa kohale. Kütusekihile paksuse andmist teostatakse siibri ja juhtplaadi vahelise ava suurendamise või vähendamisega siibri tõstmise või allalaskmise teel. Suurte kollete puhul (lai rest!) koosneb siiber kolmest osast, kusjuures keskmise osa laius on pool restipinna laiusest. Seetõttu on võimalik anda äärekihtidele resti keskosa omast erinev kihi paksus, mis on tarvilik kihi ühtlase läbipõlemise saavutamiseks laial pinnaühikul. Kihisiiber on varustatud hammaslattidega, liigub juhtpindade vahel ja siibrit liigutatakse käsiratta abil tiguülekande kaudu. Siibri maksimaalne tõus on 600 mm. Kütusekihi paksuseks on, olenevalt resti erikoormusest ja kütuse küttevääртusest, 150—250 mm.

Resti astmekujuline peegelpind paigutatakse koldesse kaldega 20 või 25°. Liikuvate restiastmete roopimise toimel antakse kütusekihile pidev liikumine varisemise näol resti lõppsuunas. Paigaliste ehk liikumatute restiridade ninade juures kujuneb süütekihti moodustav vaikne põlemiskiht. Restiastmete lagipinnad on rõhtsad.

Restiastmed koostatakse üksikuist malmpiidest, pealispinna laiusega 18 mm. Need liidetakse läbi allaulatuva ribi pistetavate poltidega gruppidesse (vene keeles *nabornõje kolosniki*), laiusega 500—1000 mm. Liikuva ja paigalise restiastme piid on erineva ehitusviisiga. Restipiidel on suure vastupidavusega profiil, suur jahutuspind ja kerge kaal (ribi paksus 6 mm). Grupi äärmiste piide ribid on eriti tugeva ehitusviisiga. Säärase kõrge jahutusteguriga restil võib esineda restipiide enneaegne läbipõlemine ainult resti ebaõige käsitsemise tagajärjel.

Õhupilud resti peegelpinnas asetsevad nii lagipindades kui ka astmete esikülgedes; pilu laius on lagipinnas ligikaudu 1,5 mm, liikuva rea astme esiküljes 10 mm ja paigalise rea esiküljes 4 mm. Kitsaste pilude tõttu lagipinnas on läbivarisemine resti juures väike. Intensiivsem õhu läbivoolamine toimub resti liikuvate ja liikumatute ridade nina juures avaramate pilude tõttu neis pindades. Järelikult toimub elav kütusekihi põlemine ka vaid neis piirkondades, mis mõjub kahjustavalt resti peegelpinna kasutamisele, arvestades lagipinna pikkuse suhet rea esiküljega.

Resti liikuvate astmete roopimiskäik on reguleeritav kulissi abil 10—45 mm piirides. Suuremaid restiüksusi on ehitatud kindla roopimiskäiguga 40 mm ja kütusekihi roopimise reguleerimist toimetatakse roopimissageduse muutmisega 1,5—5 roopimist minutis.

Vähemate restiüksuste liikuvad astmed liiguvad kogu restipinnas ühtlaselt ja käivitus toimub ühe ekstsentriku abil. Suuremail restidel on restipind jagatud kütusekihi roopimise mõttes kahte kuni kolme põiksektsiooni ning resti liikuvaid astmeid käivitatakse sektsioonide eriliste ekstsentrikute kaudu.

Resti liigutamise ajam koosneb elektrimootoriga käivitatavast tiguajamist ühes hammasratasülekandega, mis ekstsentriku (või ekstsentrikute) kaudu annab liikumise kulissile ning sellelt läbi kolde müüritise ulatuva võlli kaudu resti liigutamise mehhanismile resti liikuvaile astmeile rõhtsuunalise edasi-tagasi liikumise andmiseks.

Resti kandekonstruktsioone on valmistatud kahel viisil.

Esimest tüüpi kandekonstruktsioonil on restiastmete kandmiseks paigalised malmist pikikandetalad. Viimased paigutatakse, sõltuvalt resti peegelpinna laiusest, vahekaugusega 500—1000 mm.

Liikumatud restiastmed toetatakse eelnimetatud pikikandjaile põiki asetatud torust kandjate kaudu. Liikuvaid astmeid kannavad paigalised restiastmed. Malmist pikitalad toetuvad põikkandjaile.

Teise ehitusviisi puhul laotakse restid profiiltaladest moodustatud raamkonstruktsioonile, kusjuures üks raamidest on paigaline ja teine toetub kanderullidele ning on liigutatav resti liigutamise seadme poolt munaliigendi kaudu.

Äärmised külgtalad (vastu kolde külgseinu) on mõlema ehitusviisi puhul malmist ning moodustavad ühtlasi külgtihenduse.

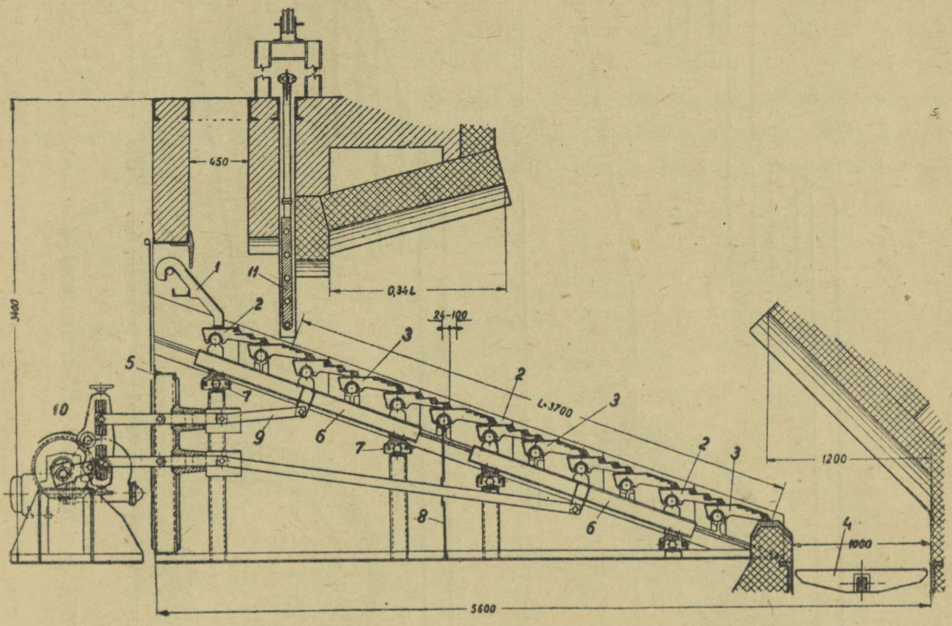
Restipind jagatakse alt, restialuse ruumi poolt, plekist vaheseintega kolme kuni seitsmesse põiktsooni. Tule juhtimiseks restipinnal on iga tsoon iseseisvalt reguleeritava seadmega, et reguleerida põlemisõhu juurdevoolu resti alla.

Resti külgede räbuga kattumise vältimiseks ja kolde müüritise vastupidavuse suurendamiseks jahutatakse resti külgjahutussüsteemi kaudu, mis koosneb ligikaudu resti kolmveerand pikkuses sisseehitatud jahutuskastidest ühes vee juurde- ja äravoolu torustikuga. Plekist jahutuskastid paigutatakse 150 mm võrra kõrgemale resti külgkandjaist ja nad kaitstakse tule eest ½-kivi paksuse šamottvoodriga.

Restseadme rakendamiseks kasutatakse järgmisi abiseadmeid: alttuuleseadet, kusjuures altõhk on eelsoojendatud ligikaudu 100—120° C, pealttuule-seadet, mis on võimeline puhuma kolderuumi kuni ⅓ vajalikust põlemisõhu kogusest; kütuse etteandmine toimub tavaliselt mehhaanilise tõsteseadme ja punkri kaudu ning tuha kõrvaldamine tuha laskmisega vagonettidesse.

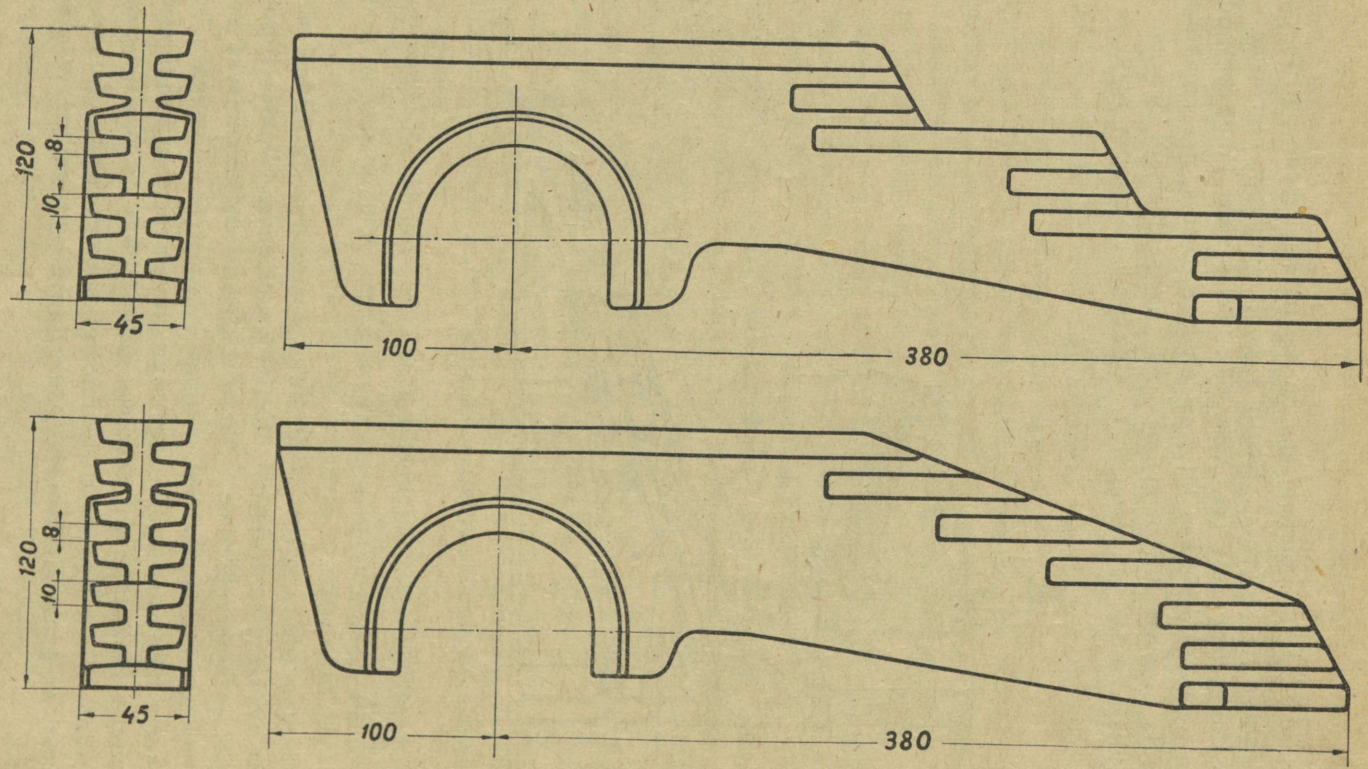
3) TS-rest.

Põlevkivi II sordi põletamiseks on kasutamisel mehhaanilise restina Riikliku Tehase nr. 9 (end. „Krulli") poolt toodetav ülerealise liikumisega TS-tüüpi treppprest (vt. joon. 66). Selle resti pinda kujundavad astmikread komplekteeritakse lülidest laiusega 45 mm, mis omakorda on astmelised ja omavad lüli astmelises osas horisontaalseid õnarusi restivarbade väliskülgedel (vt. joon. 67). Liikuvad restipinna read on jaotatud pikisuunas kahte gruppi — ülemisse ja alumisse. Rullidele asetatud grupid liiguvad horisontaalselt: ülemise grupi edasi liikudes liigub alumine tagasi ja ümberpöördult. Ajam restigruppide käitamiseks koosneb tigu- ja hammasratasülekandest, vändast väntajaga, õõtsuvast hoovast käigupikkuste muutmise spindlitega ning juhtvarraste ja kangide süsteemist liikumise ülekandmiseks restile. Käigupikkus on 24—100 mm, käikude arv mootori tiirudel 950 tiiru/min. ligikaudu 10 käiku minutis.



Joon. 66. TS-resti üldvaade. 1. Juhtplaadid. 2. Liikuv restirida. 3. Liikumatu restirida. 4. Räburest. 5. Põhiraam. 6. Liikuv raam. 7. Liikuva raami kandelaager. 8. Altõhutsoonide vahesein. 9. Resti liigutamise seade. 10. Resti ajam. 11. Kihisiiber.

TS-resti trepiosa lõppu paigutatakse tavaliselt kallutatav plaanrest — räburest.



Joon. 67. TS-resti detailid.

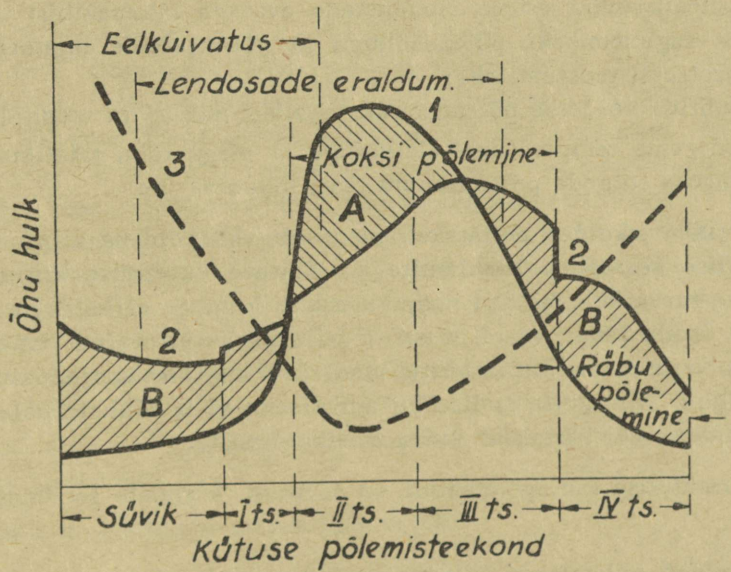
Kütusekihi reguleerimine toimub veega jahutatava malmsiibri abil, põlemise reguleerimine altõhu-ventilaatori olemasolu puhul õhutsoonide reguleerimise klappide abil, altõhu-ventilaatori puudumisel õhuavadel olevate klapp-ustega.

Restipinna erikoormus on töötamisel loomuliku tõmbega kuni 400 000 kcal/m²h, alttuule kasutamisel kuni 600 000 kcal/m²h.

4. Turvasküttekoldeid.

a) Turvaskütte põhijooni.

Õhukuiv turvas kuulub oma orgaanilise osa madala põlemisväärtuse ja kõrge ballastosade- ning niiskusesisalduse poolest madala väärtusega kütuste rühma. See kütus sisaldab vähem lahtist ja rohkem seotud vett



Joon. 68. Skeem turba põlemisest rändrestil. 1. Põlemisõhu tarve. 2. Tegelik põlemisõhu hulk. 3. Liigõhutegur.

(lk. 91). Õhukuiv turvas, nagu teda kütuseks peamiselt kasutatakse, on struktuurilt kore, vähese mahukaaluga ja geoloogiliselt vanuselt noor kütusaine, mille orgaanilise osa termiline lagunemine lendosade eraldumise näol algab madalail temperatuuridel, ligikaudu 250° C. Gaasi tekkimine muutub intensiivsemaks turba kuumenemisel temperatuurini

350—400° C (joon. 29). Gaasistumisel eraldub algainest esiteks CO_2, siis rasked süsivesinikud, CH_4 ja H_2. Lendosadeks on 70% turba orgaanilisest ainest, s. o. turvaskütus kuulub lendosaderohkete kütuste hulka.

Turba põlemisel koldes liikuval restil katavad põlemisprotsessi järgud tugevasti üksteist. Aine eelkuivamine, mis algab kolde süvikus, lõpeb ligikaudu 45%-l kütuse põlemise koguteekonnast. Lendosade eraldumine aga algab ka kolde eelsüvikus ja küünib peaaegu räbu põlemise algpiirini. Koksi põlemine algab gaasistumisjärgu keskosas (joon. 68; K. 6, lk. 34).

Eelnimetatud omaduste tõttu tuleb turbale soodsate põlemistingimuste loomiseks teostada järgmist:

1) kujundada küttekolle soodsalt kütusaine kiire eelkuivamise saavutamiseks;

2) põlemisruumi esiosa moodustada avarana kütusekihist eralduvate lendosade segunemiseks põlemisõhuga ja põlevgaaside lagunemis- ning põlemisprotsessi teostumiseks;

3) juhtida koldesse põlemisõhku vajalisel määral ja tsoonides;

4) kõrgema temperatuuri alalhoiuks ja seega räbu täieliku põlemise saavutamiseks sulgeda põlemisruum resti lõpposas jne.

Turvasküttekolded ehitatakse peamiselt väliskoldena seinte ja lagede katalüütilise kaastoime kasutamisega. Kütuse kuivamise kiirendamiseks ehitatakse turvasküttekolded mahuka eelsüvikuga ja eelkoldega lendosade põlemise soodustamiseks. Kütusaine põlemiseks ettevalmistumise kiirendamiseks kasutatakse turvasküttel kuni 250°-ni C eelsoojendatud kuuma põlemisõhku. Sisekolletes lisaõhu andmisega võib edukalt põletada vaid brikett-turvast või äärmiselt kuiva masinaturvast.

Turvaskütuse kihispõletamine on levinud järgmiste seadmete kasutamisel:

1) kolded põlemisega liikumatus kütusekihis plaanrestil käsitsi teenindamisega;

2) kolded põlemisega liikuvas kütusekihis, nendest poolmehhaanilised, kihi liikumisega raskustungi toimel, — kald- ja trepprestid, süvikkolded;

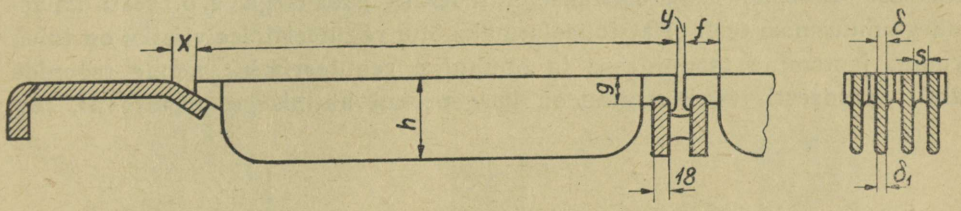
3) kolded kütuse liikumisega koos restiga, kusjuures kütusekiht on resti suhtes liikumatu, — kettrestid.

Suurseadmetes teostatakse turba põletamist hõljuvpõlemisega.

b) Põlemisreste turvasküttel.

1) Käsitsi teenindamisega reste.

Plaanrest (joon. 69) on varbrest, mida kasutatakse väiksemates põlemisseadmetes; asetatakse koldesse tavaliselt horisontaalselt, müüritud kolletes kaldega 1:10—1:20 tahapoole; restieelse roopplaadi kaldeks on



Joon. 69. Plaanresti osad.

tavaliselt 1:7. Õhupilude laius üksikute restivarbade vahel on sõltuv korstnatõmbest. Hea tõmbe korral on soovitatavad õhupilud laiusega 4—6 mm, halvema tõmbe puhul 6—8 mm või isegi rohkem. Üldiselt on aga soovitatav turvasküttel kasutada kitsamate õhupiludega reste, nii nagu puitküttel. Vastavalt ulatuslikule kihi paksusele peab olema ka resti asetuse sügavus tulepesa ukse suhtes. Resti süvendatud asetusel koldesse peab olema resti kõrgusel uks kihi kohendamiseks sellistes mõõtmetes, mis võimaldaksid ka räbu tükeldamist ja eemaldamist. Resti pikkuse valik turvasküttel ei sõltu tüki mõõtmetest, nagu puidu puhul, ja selles seisneb üks turvaskütte plaanresti erinevus puitkütte plaanrestiga võrreldes. Kuna plaanrest täidetakse kütuse pealeviskamise teel, on tema ülim pikkus määratud viskejõudlusest kütja poolt. Plaanreste ehitatakse pikkusega kuni 2,4 meetrit.

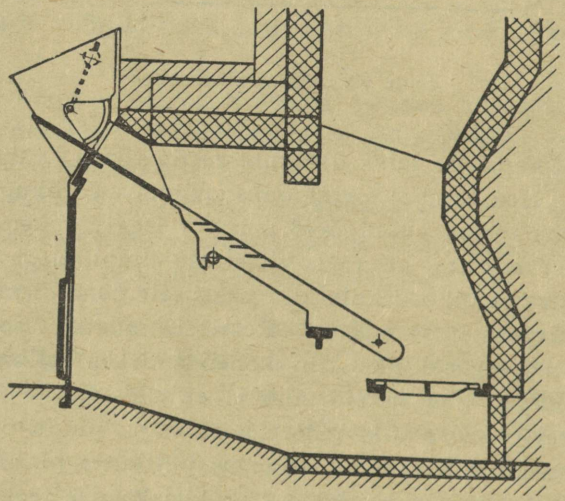
Plaanresti mõõtmeid toome tabelis 29.

Tabel 29. **Plaanresti mõõtmeid millimeetrites.**
(Haeder'i järgi.)

Kütuse liik	x	y	Vahe s	δ	δ_1	f	g	h	l
	13	6	6	6	8	40	35	95	400
Mittepaakuv kivisüsi . .	18	8	8	7	10	44	38	110	600
Paakuv kivisüsi	24	10	10	9	13	48	42	130	800

2) Poolmehhaanilisi reste.

K a l d r e s t (joon. 70) on varbrest, mis asetatakse koldesse ligikaudu kütuse loomuliku varisemisnurga all, mis on õhukuival turbal 32 kuni 36°. Turvas vajub vastavalt põlemisele lehtrist restile oma raskuse mõjul. Kuna kütust vajub restile pidevalt, omab põlemisrežiim kindlakujulise ilme ja kollet ei tule jahutada ukse avamisega värske kütuse pealeviskamiseks. Põlemist reguleeritakse kütusekihi paksusega, s. o. resti kaldenurga muutmise teel. Ratsionaalsemaks õhu reguleerimise viisiks on tuharuumi jaotamine tsoonidesse ja õhuhulga reguleerimine nende tsoonide abil. Kaldresti teenindamine on kergem kui kütmisega plaanrestil, sest

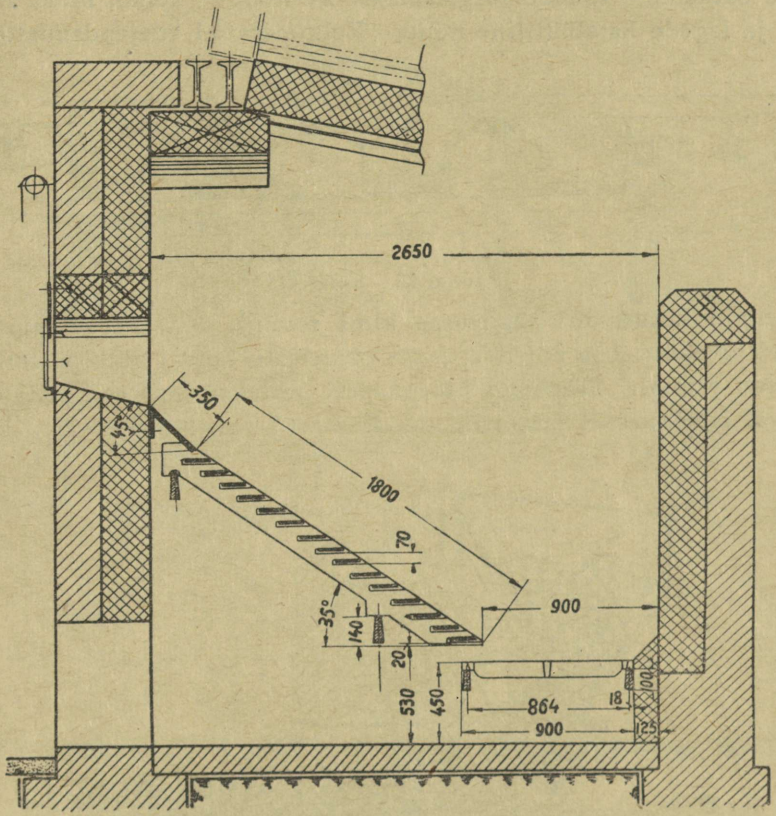


Joon. 70. Kaldrest.

kütus katab resti loomuliku pealevarisemise teel. Kaldresti alumise osa jätkuna kasutatakse sagedasti horisontaalset räburesti. Kaldrestid on levinud restid eel- ja süvikkolletele.

L i i k u m a t u t r e p p r e s t (joon. 71) omab trepiastmetaolised restiplaadid. Treppresti kallak turvaskütte korral on 30°, s. o. turba loomulikust varisemisnurgast väiksem. Resti kallet võib reguleerida resti kandetalade abil 5° piirides. Et kütus treppresti astmetel peatub, siis tekib iga astme peal põlemispesa, mis soodustab piki treppi allavariseva turba süttimist. Sel põhjusel osutub treppprestil võimalikuks niiskema turba põletamine. Nagu kaldrest, nii omab ka treppprest alumises osas räburesti, mis koosneb plaatidest või tervikuna ühte raami asetatud restivarbadest.

Treppreste võib moodustada pikkusega kuni 6,5 meetrit 40 m² restipinna juures.

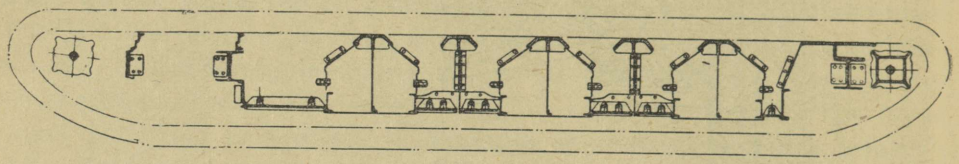


Joon. 71. Liikumatu treppprest.

3) *Mehhaanilisi reste.*

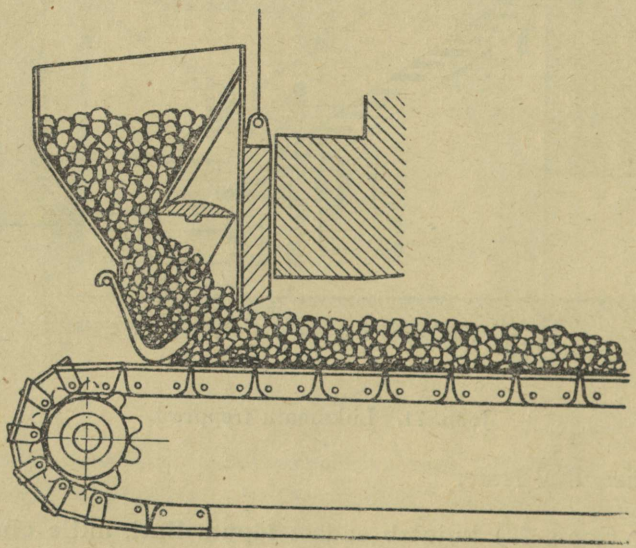
Kettrest (joon. 72) kujutab endast lõputa linti, mille oluliseks osaks on kaks või enam ketti. Ketid on omavahel ühendatud põikvarbadega, milledele toetuvad restilülid. Restikette veetakse ketiratastest. Ketirataste võllid toetuvad enamasti kuullaagreisse. Jõuülekanne elektrimootorilt (1—5 HJ) ketirattale toimub tiguajami kaudu. Vedajana eelistatakse kasutada esimest võlli, tagumine ketiratas on vaid juhtijaks. Restilülid ehk -vardad toetuvad põiktalade õnaratesse, kus nad riivistatakse. Resti pinnakatte lahtivõtmine ja kokkupanek on lihtne ja seda võib osaliselt teostada isegi resti töösolekul.

Kettrest kannab kütuse täitelehtrist koldesse ja allub oma liikumisel vaid perioodiliselt põlemisruumi ja põlevkihi kõrgetele temperatuuridele. Kütuse süütamine toimub leegisambast kütusekihi kohal, mida soodustab seinte ja lagede katalüütiline mõju. Eelnimetatud soojendamistoime üle-



Joon. 72. Kettrest.

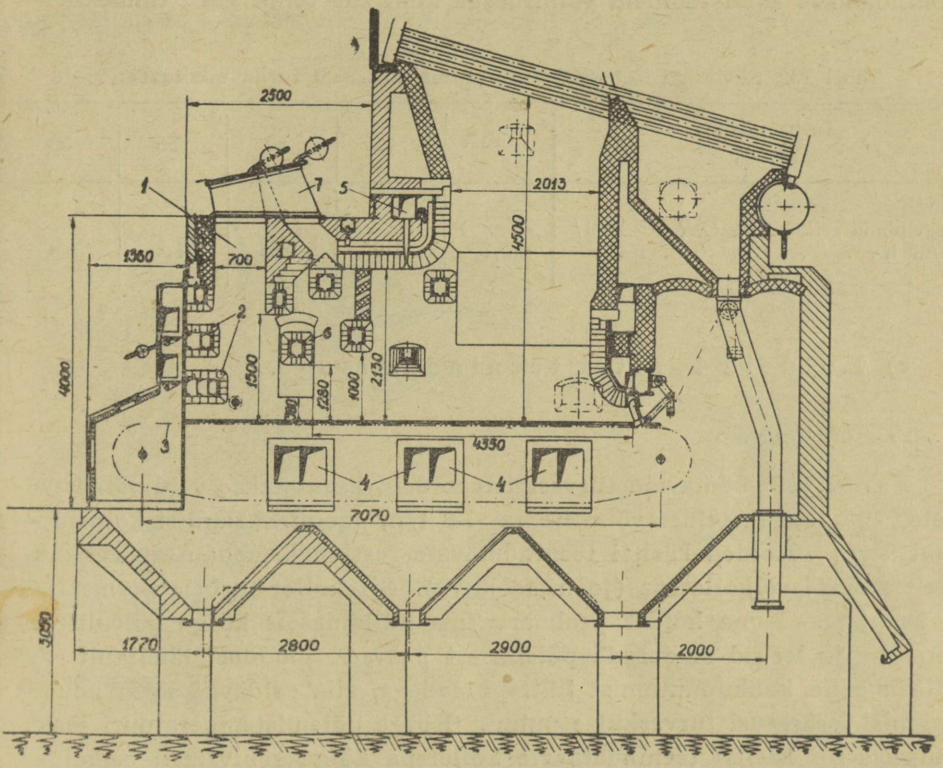
valt tungib kütusekihi sügavusse kuni restini. Õhu kõrgetemperatuurilisel eelsoojendusel ja põlemispesade olemasolu korral võib põlemine alata juba resti esiosal. Sääraseid põlemispesi hoitakse kettresti täitelehtri all asetseval lamenurksel erirestil, nn. Bessert'i restil (joon. 73), kust nad



Joon. 73. Kettrest Besserti lisarestiga.

varisevad kettresti esiosale, moodustades värskelt pealelangevale kütusele süütepadja. Seega algab Besserti restikesega seadistatud kettrestil turbakihi põlemine nii kihi pealt kui ka alt, mis kiirendab mõjuvalt kütusekihi süttimist. Kütuse läbisoojenemine ja süttimine toimub veelgi mõjuvamalt erivõlvide kaastoimel, mis asetatakse trepiastmeliselt resti esiosa kohale, kusjuures intensiivselt puhutakse õhku astmetevahelistele süütepesadele

(Makarjevi kolle tükkturbal, joon. 74). Makarjevi kolle on eriti soodus märja turba põletamiseks.



Joon. 74. Makarjevi kolle tükkturbale (freesturba-lisandiga). 1. Süvik. 2. Süviku astmed. 3. Rändrest. 4. Altõhutsoonid. 5. Pealtõhukanal. 6. Tükkturba kihireguleerija. 7. Freesturba pealeande toru.

Turba põletamisel kettrestil võib olulise kaona esineda kadu aine mittetäielikust keemilisest põlemisest (q_3); eriti kaldub see kadu esinema kuiva turba põletamisel.

Keemilist kadu välditakse põlemisõhu reguleerimisega ja tulegaaside intensiivse segunemisega põlemisruumis selleks põlemisruumi sisseehitatud võlvide kaudu ja pealttuule toimel gaasidele õige liikumise andmisega.

Makarjevi süvikuga kolde kettresti peegelpinnaks arvatakse kihisiibri ja räburiibaja vaheline osa restipinnast, s. o. süviku osa kaasa arvamata.

Kettresti erikoormust $\frac{Q}{R}$ eelsoojendatud alttuule kasutamisel arvestatakse turvasküttel 2,1 · 10^6 kcal m^2/tund (tab. 27 ja 30); kettrestidega teenindatakse katelseadmeid võimsusega kuni 200 tonni auru tunnis.

Tabel 30. **Süvikuga kettresti erikoormus sõltuvalt turba niiskusest.**

Turba niiskus W_t %	40	45	50	55	60
Peegelpinna erikoormus Q/R 10^6 kcal/m^2 h	2,1	1,9	1,65	1,3	0,9

c) Koldeid käsitsi teenindamisega.

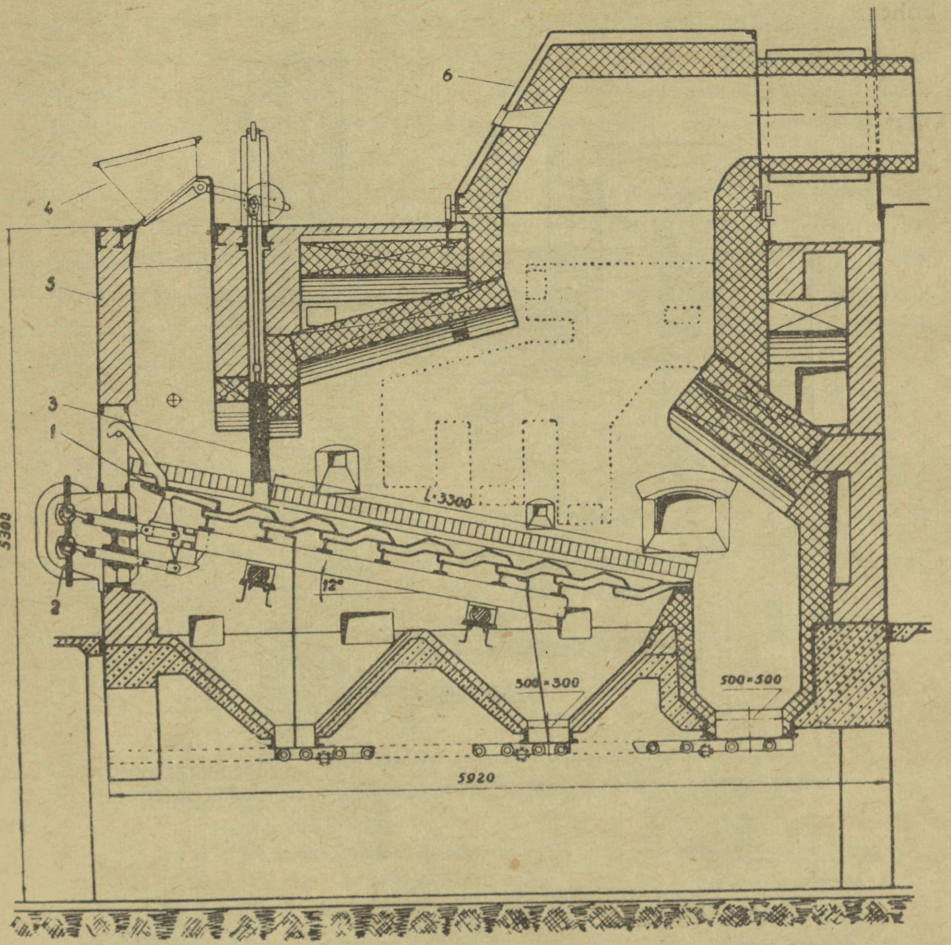
1) *Põhijooni.*

Käsitsi teenindatavaid turvasküttekoldeid kasutatakse vaid väikeseadmetes, s. o. aurukateldes võimsusega < 8 t/h, poolmehhaanilisi koldeid — kuni 9 t/h. Kolded käsitsi teenindatavate restidega moodustatakse tavaliselt all- või eelkolletena (joon. 45 ja 79). Sisekollet turbale normaalselt ei kasutata. Kuna koldes peab arenema küllaldaselt kõrge põlemistemperatuur ja leegid lendosade põlemisest peavad jõudma täielikult ära põleda enne kokkupuutumist küttepindadega, siis eeldavad need nõuded järgmisi iseärasusi turvaskütte puhul. Kõrge põlemistemperatuuri saavutamiseks on käsitsi teenindatavate kolletena kõige sobivamad eelkolded, sest nende kollete müüritis tõstab soojuse tagasikiirgamisega kolde temperatuuri. Samal otstarbel antakse ka müüritisele eriline kuju, moodustades allapoole lastud kaare näol süütevõlvi, mis tõstab selle alt kulgevate põlemisgaaside temperatuuri, aidates seega kaasa gaaside täielikule põlemisele.

Soojust tagasikiirgavate pindade saavutamiseks on kolde müüritise seinad kohati ehitatud kaldega. Süütevõlvi otstarvet täidab ka koldekael, s. o. eel- või allkolde kitsaim koht enne gaaside kokkupuutumist soojust neelavate pindadega.

Käsitsi teenindatavais kolletes juhitakse põlemiseks vajalik õhk restide alla. Et soodustada põlemistemperatuuri saavutamist, juhitakse õhk resti alla läbi koldemüüritise kanalite. Sellega jahutatakse kolde sisevoodrit ja suurendatakse tema vastupidavust. Põlemisõhu eelsoojendamine on eriti tähtis niiske turba kasutamisel.

Täielikumat turba lendosade põlemist saavutatakse mahukamais kolletes. Praktiliste kogemuste järgi kujuneb kohtkindlates kateldes soodus turba põlemine, kui põletatud turbast väljuv soojushulk kolde mahu 1 m^3 kohta tunnis on 150 000 kuni 300 000 kcal piirides. Sääraste soojuslike koor-



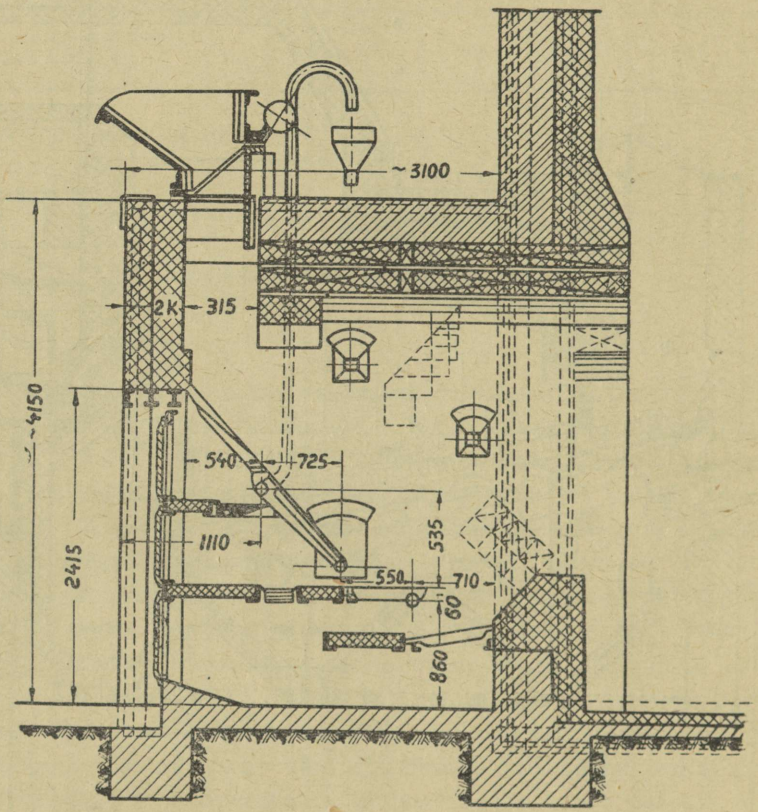
Joon. 75. Eelkolle turvas- ja põlevkiviküttele.

muste puhul on turbaga saavutatud kõrgeid katelseadme kasukraade. Soojushulga kalorimeetriliselt arvestamise asemel võib ligikaudu võtta iga 100 kg tunnis põletatava turba kohta ühe kantmeetri kolde mahtu või aurukatla küttepinna iga 15 m^2 kohta ühe kantmeetri kolde mahtu.

Suure tähtsuse omab resti asend koldes katla küttepinna suhtes ja seda eriti niiske turba puhul. Väikekatelde puhul on minimaalseks resti

kauguseks küttepinnast 1,25 meetrit. See vahemaa tagab turbagaaside läbipõlemist ka turba värskelt koldesse viskamisel ja tahma tekkimise vältimist.

Eeltoodu on kehtiv nii plaan-, kald- kui ka trepprestidega kollete kohta.



Joon. 76. Eelkolle turvas- ja puitküttele.

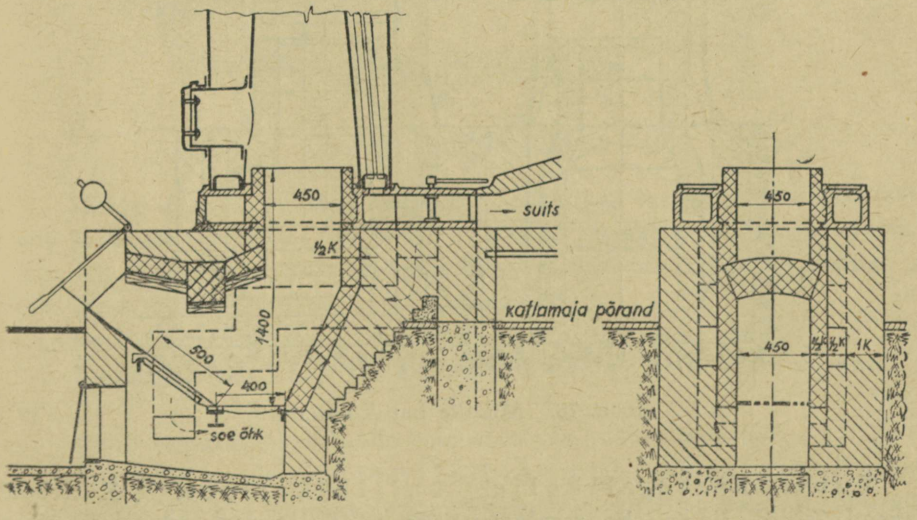
Eriti suure niiskusega turba korral, s. o. kui kasutatakse turvast niiskusesisaldusega kuni 60%, ehitatakse trepprestiga koldele eriline turba eelkuivatamise süvik. Sama toimet avaldavad ka kolderuumi põigiti läbivad erilised võlvid, mis suunavad leegikiirgust ja osaliselt põlemisgaase tagasi värskelt visatud kütusele viimase kuivatamise otstarbel.

Palju levinud on käsitsi teenindatavaist kolletest süvikkolded kald- ja plaanrestiga. Neid koldeid kasutatakse nii tükkturba kui ka puidu

põletamiseks (joon. 76). Kaldresti esiosa kohal asetsevas süvikus toimub kütuse eelkuivamine enne põlemisrestile sattumist. Kuivanud turvas vajub oma raskuse toimel resti kaldossa. Põlemiseks vajaliku õhu jaotamine kogu kütusekihi ulatuses teostatakse vastavalt põlemise nõuetele õhutsoonide kaudu. Õhu eelsoojendus soodustab kütuse kuivamist ja põlemist. Turbakihi kõrgus reguleeritakse olenevalt niiskusesisaldusest kas erilise siibri või liikuva tala abil. Süvikkolde süviku kõrgus on kuni 2 m, kütusevarust süvikus piisab 1 kuni 1,5 tunniks. Süvikust vajub turvas kaldrestile ja põleb täielikult ära, vajudes edasi kaldresti tagumises osas olevale plaanrestile. Süvikkoldesse on võimalik põletamiseks lisada ka freesturvast. Seda tehakse süvikkolde laes oleva pilu kaudu. Resti elavpind on süvikkoldes 20—30%, õhuhõrendus koldes vähemalt 4—5 mm Vs. Vastasel korral hakkab kolde süvik suitsema. Süvikkolde kaldresti soojuslik koormus ulatub 900—1500 · 10^3 kcal/m^2h. Koldemahu soojuslik koormus ulatub 300 · 10^3 kcal/m^3h. Vajalik liigõhutegur on 1,30.

2) Näiteid.

Turvaskütte-allkolle nikanderkatlale. Joonisel 77 on näidatud allkolde kavand 12 m^2 küttepinnaga nikanderkatlale võrdlemisi niiske (45% vett) ja kerge turbaga kütmiseks.



Joon. 77. Allkolle nikanderkatlale.

Küttekolle on esiosas seadistatud 500 mm pikkuse trepp- ja tagaosas 400 mm pikkuse järelpõlemis- ehk räburestiga, millena kasutatakse harilikku plaanresti.

Peale külma õhu juhitakse resti alla veel katlamüüritise kanalis eelsoojendatud õhku. Külm õhk juhitakse kanaleisse katla tagaküljelt. Need kanalid on seadistatud reguleeritavate klappidega.

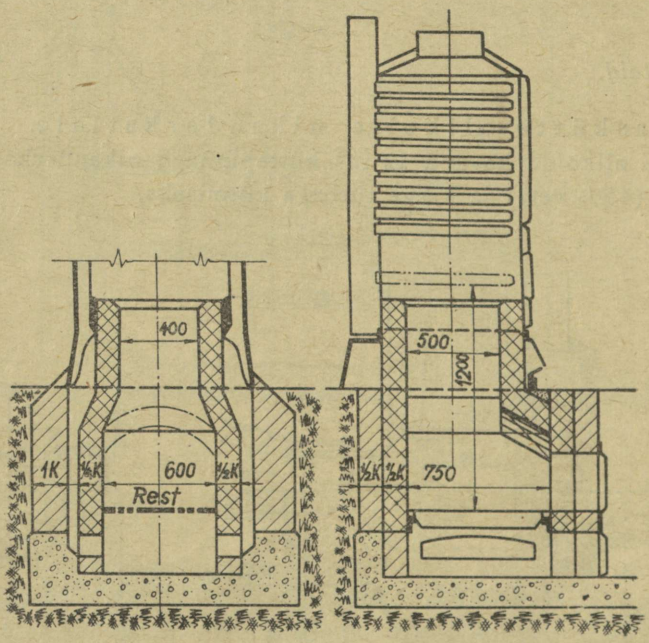
Kolle on ehitatud osaliselt süvikkoldena, ulatudes maasse 940 mm. Katel asetseb 600 mm katlamaja põrandast kõrgemal.

Koldesuu asetseb põrandapinna peal, mis hõlbustab kütuse sisseviskamist koldesse.

Tuha eemaldamine koldest toimub all esiseinas oleva ava kaudu.

Katlakeres olev koldeuks tuleb õhukindlalt sulgeda (saviga kinni müürida).

Kolde ehitamiseks vajatakse ca 350 šamottkivi ja 800 tellist.



Joon. 78. Allkolle baltik-katlale.

Turvasküte-allkolle baltik-katlale. Küttekolde kavand labida- ja niiske masinaturbaga köetavale 16 m² küttepinnaga baltik-katlale on näidatud joonisel 78.

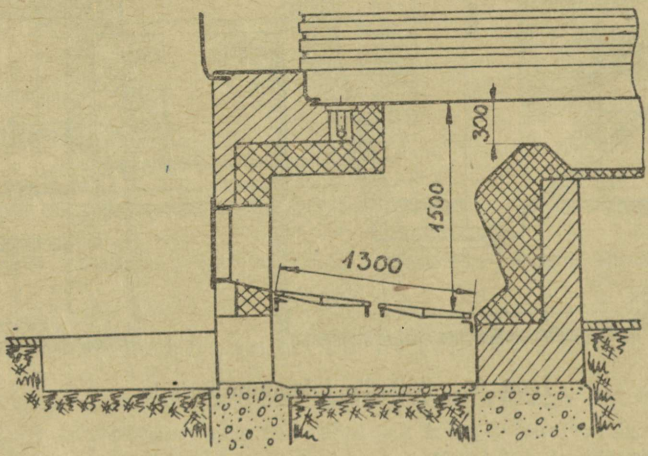
Küttekolle on ehitatud süvikkoldena. Kütteaine visatakse restile koldemüüritisse ehitatud ukse kaudu; katla keres olev koldeuks tuleb õhukindlalt sulgeda.

Koldesuus asetsev väiksem, alumine uks on tuha koristamiseks. Õhk juhitakse koldesse resti all kolde külgseintes oleva kahe avause kaudu, mille pikenduskanalid on ehitatud koldemüüritisse, kus toimub põlemisõhu eelsoojendus.

Restina kasutatakse plaanresti, turvasküttele sobivate õhupiludega 4—6 mm. Restipinna suurus on 0,45 m².

Kolde ehitamiseks vajatakse ca 250 šamottkivi ja 450 tellist.

Turvaskütte-allkolle paukš-katlale. Joonisel 79 on näidatud turvaskütte allkolle paukš-katlale, küttepinnaga 40 m² (vrd. joon. 45).



Joon. 79. Allkolle paukš-katlale.

Kolde esiosas puudub süütevõlv. Soojuse tagasikiirgamiseks restile, mis soodustab värske, pealeantava kütteaine süttimist ja põlemist, on tagamüür kujundatud kaldpinnaliselt. Kolde maht on võrdlemisi suur, mis tagab kütteaine täielikumat põlemist.

Restina kasutatakse plaanresti, õhupiludega 4—6 mm.

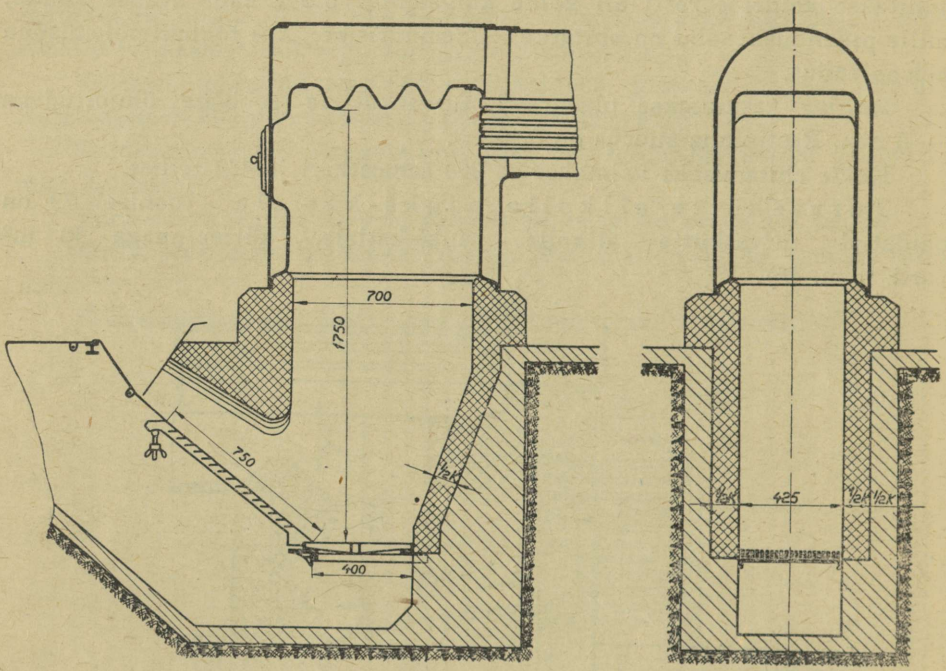
Katlamüüritise kanaleis eelsoojendatud põlemisõhk juhitakse resti alla.

Tuhk eemaldatakse kolde esiosas oleva avause kaudu.

Turvaskütte-allkolle lokomobiilkatlale. Joonisel 80 on toodud kavand koldest lokomobiilkatlale, küttepinnaga 10 m², kütmiseks niiske masina- või labidaturbaga.

Kolle on ehitatud süvikkoldena ja seadistatud treppprestiga, mille kallakus on tarbe korral muudetav, vastavalt kasutatavale kütusele.

Kolde tagaosa on seadistatud järelpõlemisrestiga, millena kasutatakse plaanresti, õhupiludega 4—6 mm.



Joon. 80. Allkolle lokomobiilkatlale.

Kolde ehitamisel tuleb silmas pidada, et lokomobiili raudtulepesa plekkide alumised servad, nn. huuled oleksid šamottmüüritisega hästi kaitstud põlemisgaaside eest, mis põhjustaksid katlapleki servade kiiret läbipõlemist.

Lokomobiili keres olev koldeuks tuleb õhukindlalt sulgeda, kattes pilud ukse ja kere vahel saviga.

Kütuse koldesse andmine toimub kolde esiosas olevast siibriga seadistatud kolust.

Põlemisõhk juhitakse resti alla. Kolde ehitamiseks vajatakse ca 200 šamottkivi ja 360 tellist.

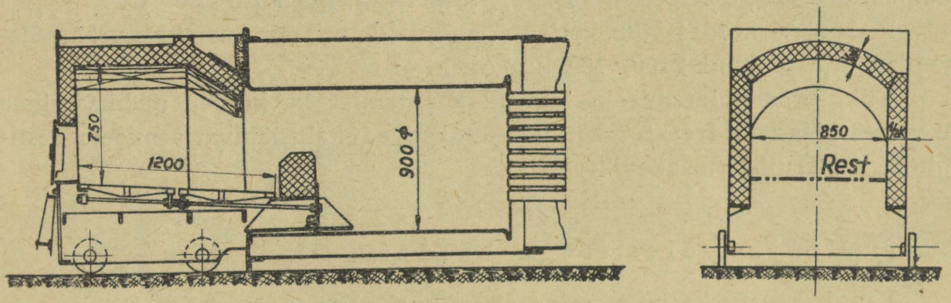
Eelkolle väljatõmmatava torustikuga lokomobiilkatlale. Turvasküttе-eelkolde kavand väljatõmmatava torustikuga lokomobiilkatlale, küttepinnaga 30 m², on toodud joonisel 81.

Eelkolle on paigutatud ratastele, mis võimaldab kolde eemaldamist katlast torustiku väljatõmbamiseks katla puhastamisel või parandamisel.

Kolle on kastikujuline, šamottkividest ja ümbritsetud raudplekist kestaga. Kolde tagaosa võlvitud lagi on kujundatud kaldpinnaliselt soojuse tagasikiirgamiseks restipinnale kütuse paremaks süütamiseks. Lae kallaku osa alumine serv moodustab resti lõpus asetseva tulelävega koldekaela, mis sunnib põlemisgaase paremini õhuga segunema, soodustades täielikumat põlemist.

Restina kasutatakse plaanresti. Põlemisõhk juhitakse kolde esiosast resti alla.

Kolde ehitamiseks vajatakse ca 300 šamottkivi.



Joon. 81. Eelkolle väljatõmmatava torustikuga lokomobiilkatlale.

d) Koldeid mehhaanilise restiga.

Tükkturba põletamisel koldes mehhaanilise restiga on kuivatussüvik eriti oluline, et saavutada resti peegelpinna kõrget koormust, s. o. suurendada resti jõudlust ja vähendada metallikulu restipinna ühiku kohta.

Mehhaanilise restiga Makarjevi süsteemi koldel (joon. 74) on kõrge süvik mitme süüteastmega süviku allosas, mis moodustatakse laiemates kolletes kolde sõrestikule kinnitatud õõnsate taladena ja kitsaskolletes lühikeste võlvidena. Talad on veega jahutatavad ning ümbritsetud tulekindla vormtellisega.

Kolde esiosa on suletud garnituuriga, mille kaudu toimub õhu juurdevool, põlemispesade kohendamine ja puhastamine. Kolde esiosa on jaotatud liigutatavate klappide abil kolme tsooni, millesse juhitakse eelsoojendatud kuum õhk. Süviku allosas asetsevate pööratavate klappide ülesandeks on kolde esikülje luukide kaudu põlemispesadest väljaroobitsetava tuha ja räbu mahalaskmine. Süvikut eraldab kütusepunkrist eriline sulgur, mida käivitatakse hammaslatt-konstruktsiooni abil. Sagedasti on

süvik seadistatud vasturaskusega töötava sulguriga, mis eraldab automaatselt süviku punkrist ega võimalda põlemisgaasi'e sattumist kütusepunkrisse. Automaatsulgur avaneb turba raskuse toimel.

Veega jahutatava tala — kihiregulaatori tõstmiseks või allalaskmiseks on vastavad õnarused kolde müüritises. Kitsaskolletes reguleeritakse kütusekihi tulekindla siibri abil.

Kettresti pikkuse võimalikult paremaks kasutamiseks on süvikud ehitatud võimalikult lähemale esimesele ketirattale. Kolde külgseinad ja tagasein ekraneeritakse torusüsteemiga; teostatakse ka koldes esiseina ekraneerimist. Põlemisõhk juhitakse koldesse peamiselt puhutava alttuulena või kasutatakse ühtlasi lisaõhu andmist pealttuulena. Õhk antakse kuumõhuna kõrge eelsoojendusega, temperatuuriga kuni 250° C.

Makarjevi koldes võib kettresti soojuslik erikoormus tükkturba põletamisel tõusta kuni 2100 · 10^3 kcal/m^2h.

Tükkturba põletamiseks leiavad kasutamist ka kolded mehhaaniliste trepprestidega ja freesturvast põletatakse edukalt läbivarisemiseta restipinnaga „Krull-Lomšakovi" restil.

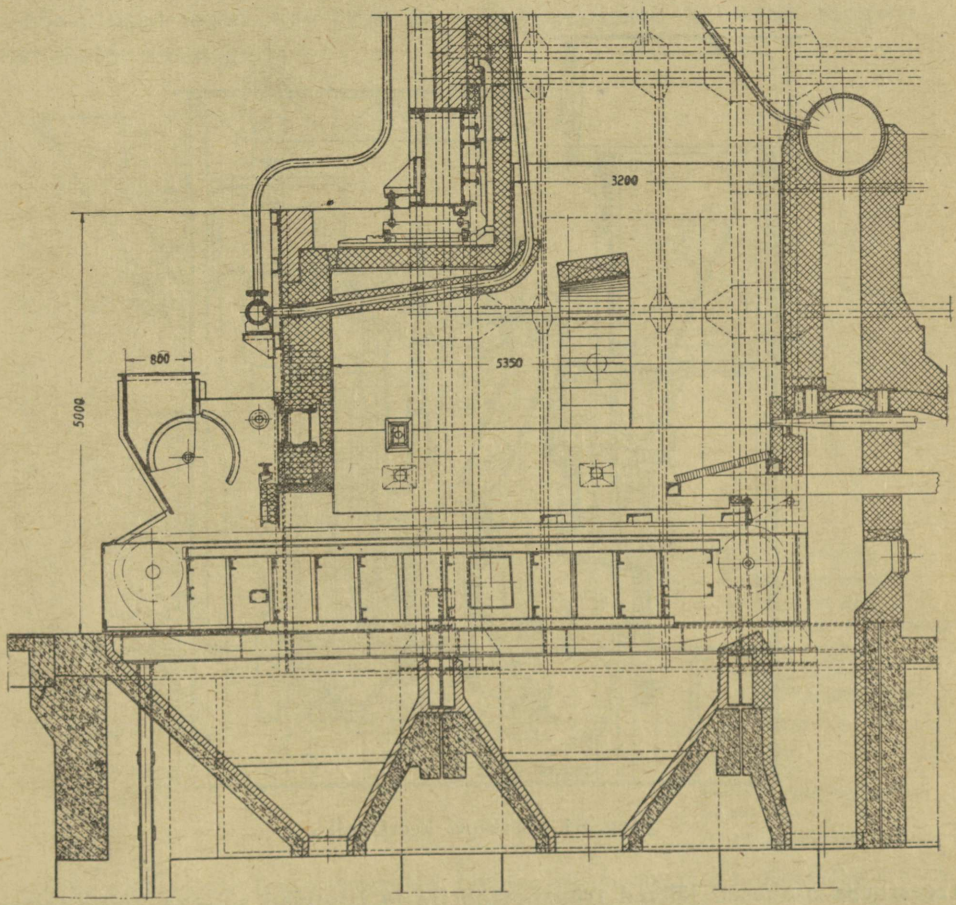
e) Hõljuvpõlemisega koldeid.

Kuigi freesturba põletamine on võimalik vastassuunalise liikumisega käsitsi teenindataval plaatidest plaanrestil, läbivarisemiseta peegelpinnaga mehhaanilisel trepprestil ja lisana tükkturbale mitmesugustes turvasküttekolletes, on ratsionaalsemaks freesturba põletamise viisiks siiski tema põletamine hõljuvas olekus. Freesturba põlemisseadmetest tuntakse Makarjevi keeriskollet, ВТИ-kamberkollet, Šeršnevi kambriga keeriskollet ja süvikveskiga koldeid.

Freesturba omadusi kütusena hinnatakse tema niiskuse, tuhasisalduse, küttevääruse ja terasuuruse järgi. Katelseadmete kütusena esineb freesturvas pealmiste kihtide freesina, mis on hele ja pudev, sisaldab kõdunemata taimekiude ning juuri, ja freesina alumistest turbakihtidest tumepruuni värvusega, tiheda, vähese juurtesisaldusega ainena.

Suure niiskusesisalduse tõttu vajub freesturvas kokku pankadesse, mis tekitavad talvel külmudes ekspluateerimisel suuri raskusi. Freesturba kiulisus ja kõrge niiskusesisaldus põhjustavad tööhäireid kütusepunkrites. Selline turvas liibub punkrite seinte külge ja takistab liikumist. Mainitud põhjusel on võimalik pealt kinnistes punkrites hoida vaid 1—2-tunnilist freesturba tagavara. Freesturba mahukaal sõltub peamiselt tema niiskusest, päritolust, aga ka laos hoidmise tingimustest. Nii on näiteks 50%-lise niiskusega alumiste kihtide freesturba mahukaal 0,47 t/m^3, peal-

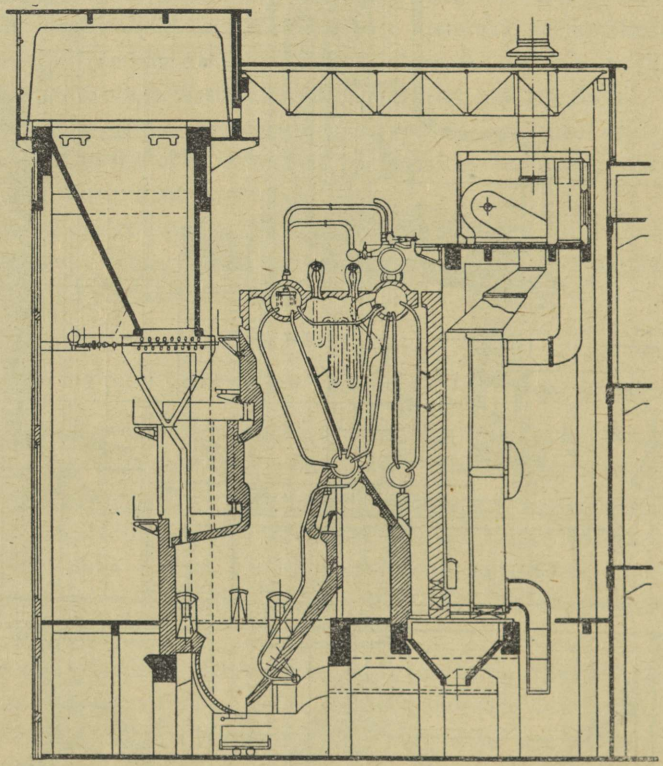
mistel aga 0,35 t/m³, s. o. 25% väiksem. Alumiste kihtide freesturbal on tuhasisaldus kõrgem. Freesturba niiskus on selle aine suure hügroskoopsuse tõttu muutuv ja kõigub suurtes piirides, sõltuvalt aataajast ja ilmastikust. Freesturvas niiskusega üle 55% tekitab põletamisel koldes sedavõrd suuri raskusi, et ei peeta ratsionaalseks freesturba kasutamist sellest määrast kõrgema niiskusesisaldusega.



Joon. 82. Makarjevi keeriskolle freesturbale.

Makarjevi keeriskolle (joon. 82) koosneb kahest üksteisest vaheseinaga lahutatud põlemisruumist. Kummaski kolde osas asetseb transportöör iseseisva ajami, käigukasti ja elektrimootoriga. Transportööride kiiruse muutmisega 20 kuni 160 m/h piirides, samuti kütusekihi kõrguse

muutmisega kihisiibri abil 0 kuni 400 mm tagatakse kütuse andmise reguleerimist suurtes piirides ja paindlikult. Freesturvas satub transportööril kahe õhukeerise mõju alla, mida tekitavad kolde külgedesse asetatud düüside õhujoad. Esimesed düüsid asetsevad kõrgemal kui tagumised. Järelikult tõstetakse freesturvas eespoolsete düüside puhumise toimel kütusekihi pealmises osas ja tagumiste toimel — alumises osas. Õhujoa toimel lennutatud freesturvas põleb kolderuumis hõljuvas olekus. Suuremad

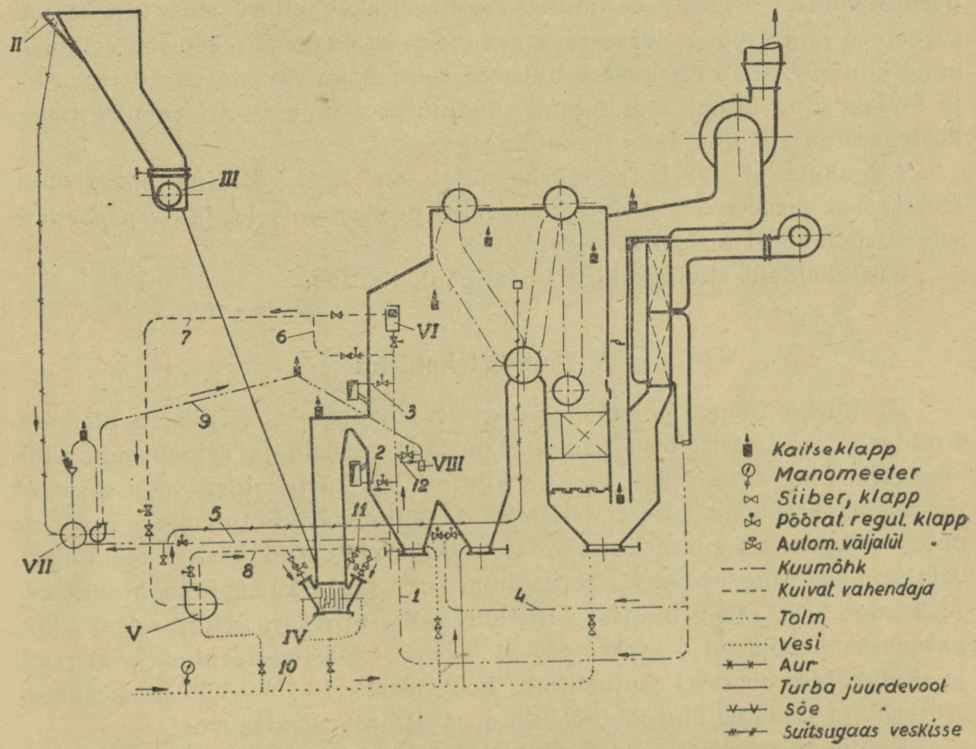


Joon. 83. Seršnevi keeriskolle.

freesturba osakesed jäävad transportöörile ja liiguvad sellega kolde tagaseina suunas, sealt puhutakse nad õhujugade poolt kolde esiossa, kus nad ära põlevad. Suuremad ja raskemad kütuseosad, mis ei jõua ära põleda, langevad kolde tagaosas olevale järelpõlemisrestile. Õhukeeriste tekitamiseks vajalik 200 kuni 280°-ni C eelsoojendatud õhk juhitakse suure kiirusega (60 m/sek.) peadüüsidesse, mille kaudu juhitakse koldesse ligikaudu 60% kogu õhuhulgast. 30% õhuhulgast juhitakse tagasipuhumisdüüsidesse,

kuna 10% õhku satub järelpõlemissüvikusse. Peale transportööri kiiruse ja kütusekihi paksuse muutmise on kolde reguleerimine võimalik ka õhu hulga ja kiiruse muutmisega.

Kõrge liigõhutegur 1,5 kuni 1,7 on koldes esile kutsutud keeriskolde aerodünaamilistest tingimustest, eriti räbu tekkimise vältimisest koldes. Makarjevi keeriskoldes on peale freesturba võimalik põletada ka teisi lendosaderohkeid peenkütuseid, näiteks peenpõlevkivi. Kõrgendatud mehhaanilised kaod 4,0—14% ja teised põhjused halvavad Makarjevi keeriskolde kasutegurit.



Joon. 84. BTИ-kolle freesturvasküttel kivisöe lisandamisega. 1. Kuumõhutorustik õhukuumendist segamiskambrisse. 2. Sama, sekundaarõhu alumisse kanalisse. 3. Sama, sekundaarõhu ülemisse kanalisse. 4. Sama, järelpõlemisrestile. 5. Sama, söeveskisse. 6. Kuumõhu ümbersuunamise torustik. 7. Kuivatusgaasitorustik segamiskambrist ventilaatorisse. 8. Sama, ventilaatorist süvikveskisse. 9. Söetolmutorustik veskist põleteisse. 10. Veetorustik süvikveski ja ventilaatori laagreile ja räbu kustutamiseks. 11. Süvikveski aurutorustik. 12. Kuumõhutorustik magistraallist söetolmupõletisse.

I — freesturbapunker. II — sama, söele. III — freesturba ettekandja. IV — süvikveski. V — gaasi ja õhu ventilaator. VI — segamiskamber. VII — söeveski. VIII — söetolmupõleti.

Šeršnevi keeriskolle freesturba põletamiseks on eriti kohane ja soovitatav keskmise suurusega põlemisseadmena, s. o. võimsusele kuni 20 t/h. Šeršnevi keeriskolde (joon. 83) iseärasus seisneb rõhtsuunalise teljega keerise tekitamises kolde alumises osas. Keeris tõstab suuremaid osakesi ja nad põlevad, kuna tuhk ja räbu koldest välja visatakse.

BTИ tüüpi kolletes (joon. 84) juhitakse eelkuivatatud ja peenestatud freesturvas kuivatustorusse, kust ta kütteventilaatori abil torusid kaudu transporditakse kohe põletitesse. Kambris põlemata jäänud kütus langeb alla ja põleb lõplikult järelpõlemisrestil.

Kütteventilaatori ülesanne on peale kütuse transportimise ka selle peenestamine. Freesturba hulka reguleeritakse siibri abil ventilaatori survetoru jätkul või kuivatustoru ees oleva siibriga. Freesturba eelkuivamine kuni 10%-lise niiskusesisalduseni toimub kuivatustorus küttegaaside ja kuuma ning külma õhu seguga, kusjuures temperatuuri reguleeritakse küttegaaside või õhu hulga muutmisega.

Liigõhutegur BTИ freesturbakoldes on 1,25. Üldine energiakulu freesturba purustamisele, kuivatamisele, peenestamisele ja transportimisele suruõhu abil ulatub 16—18 kWh/t.

Küttekoldeid süvikveskiga vt. allpool, lk. 193.

5. Puitküttekoldeid.

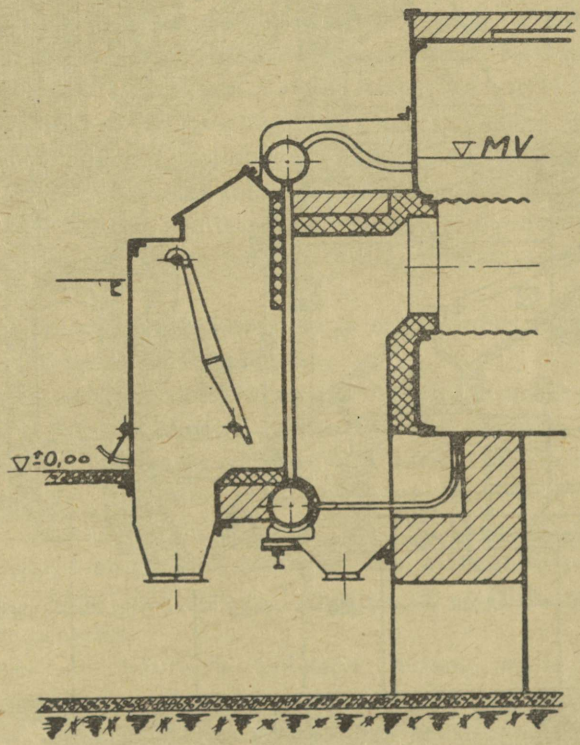
Et puit on oma põlemistehnilistelt omadustelt, esijoones niiskusesisalduse ja küttevääruse poolest lähedane turbale ja erineb vaid tükisuuruselt ning tuha jäägi poolest, siis on puitküttekolded väga sarnased turvasküttekolletega. Põlemistehniliselt küllalt häid tulemusi saadakse puidu põletamisel turvasküttekollete osas kirjeldatud käsitsi teenindatavais kolletes ning restidel. Restipinna suhe katla küttepinnaga valitakse 1:25 kuni 1:40, saepuruküttel 1:18 kuni 1:22 piirides. Normaalseks kihi paksuseks puitküttel peetakse 600—1500 mm. Käsitsi teenindataval restil ja süvikkoldes on resti soojuslikuks koormuseks $1 \cdot 10^6$—$1{,}5 \cdot 10^6$ kcal/m^{2}h. Kütusekihi takistus õhu läbivoolule on 3—15 mm veesammast.

Puidu põletamisel liikumata restidel tuleb arvestada eelkõige puidu kõrget niiskusesisaldust ja puuhalgude suuri mõõtmeid. Need asjaolud ühenduses puidu madala küttevääruse tingivad puidu põletamist väga paksu kihina, 600—800 mm kuivade ja peenemate puude korral ja kuni 1500 mm tooreste ja suurte puuhalgude puhul. Puitküttekollete konstrueerimisel, arvestades seda asjaolu, asetatakse restid kolde täiteavast niipalju madalamale, et ka kõige paksema kihi korral nende pealispind ei tõuseks üle täiteava alumise serva. Täiteava mõõtmed valitakse suuremad,

laiusega kuni 450—500 mm, mis võimaldab paremat resti teenindamist. Resti pikkus sõltub kasutatavate puuhalgude pikkusest — see tuleb võtta viimasest 250 mm võrra suurem.

Puidu põletamisel koldes liikumatu kihina ei kerki kihi õige paksuse korral selle kolde puudused nii väga esile, vaatamata puidu kõrgele lendosade-sisaldusele. Puidu põletamine toimub seejuures väikese liigõhuteguri ($\alpha = 1{,}2 — 1{,}25$) juures ja tähtsusetu kaoga mittetäielikust põlemisest (0—2%).

Eel- ja allkolded on oma lihtsa ja odava ehitusviisi tõttu puitkütteks kõige kohasemad.



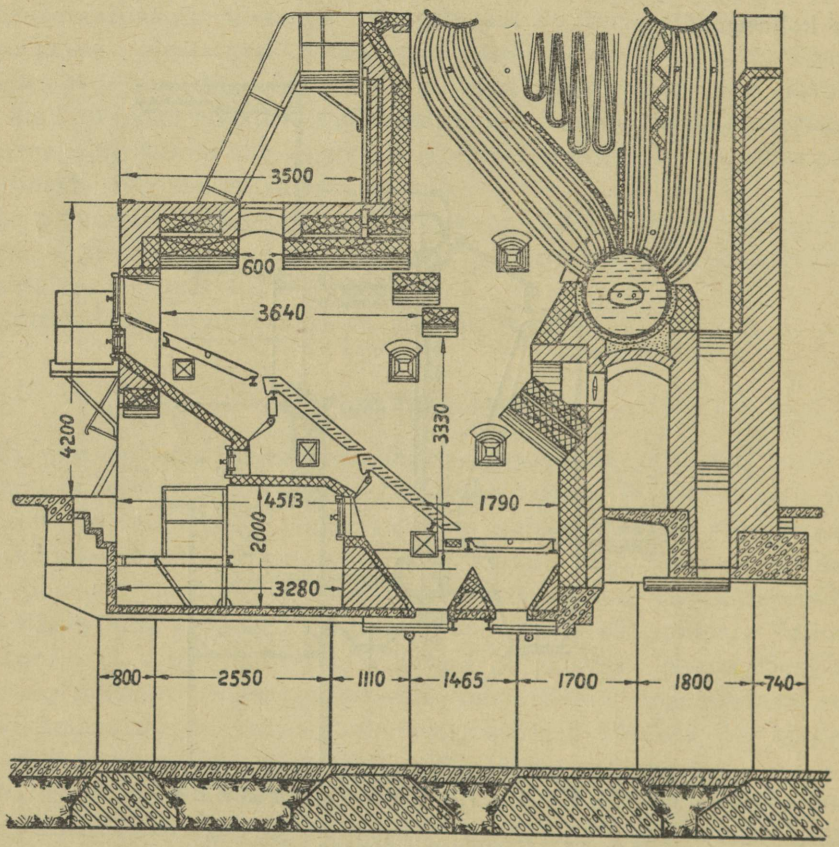
Joon. 83. Püstpõlemispinnaga süvikkolle.

Laastude ja saepuru põletamiseks on kõige sobivamad poolmehhaanilised kolded kald- ja treppristiga, nagu on kirjeldatud juba turvasküttekollete osas. Kaldresti kallak valitakse saepuruküttel võrdne turvasküttе kaldresti omaga, s. o. 32—36°, treppresti kallak viimasest suurem, nimelt

40°. Väga niiske kütuse korral on eelkuivatussüvikute ehitus kolletes väga soovitatav. Samuti on niiske puidu korral sobivad süvikkolded kaldrestiga, mida on kirjeldatud eespool.

45%-line niiskus on puidule põletamiseks poolmehhaanilistes kolletes põlemisega kaldpinnal äärmiseks piiriks. Puitu niiskusesisaldusega üle 50% põletatakse süvikutes püstse põlemispinnaga (joon. 85).

Laastude, saepuru ja puidujäänuste põletamiseks kasutatakse tihti nn. soome kollet (joon. 86). Kütus puistatakse kuhjana kergelt kallutatud resti



Joon. 86. Soome kolle.

ülemisele osale, kust ta variseb suure kallakuga treppprestile. Resti ülemisel osal peatumisel tekivad seal kütuse põlemise pesad, mis kuivatavad treppprestile allavarisevat kütust. Kütuse lõplik põlemine toimub treppresti allosas asetseval rõhtsal restil. Põlemiseks vajalik õhk juhitakse kolmes

tsoonis ülemise kaldresti, keskmise treppresti ja alumise rõhtresti juurde. Süütevõlvid, tagasikiirgavad võlvid ja koldekael koldes tõstavad selle koldetüübi efektiivsust.

Mehhaanilise restiga koldeid puidu põletamiseks ei kasutata.

6. Süvikveskiga koldeid.

Üldmõisteid. Kütuse kihispõlemisel on kaks kasutamist piiravat tegurit. Mehhaaniliste restidega seadmed ei võimalda suurema aurutootlusega katelseadmete ehitamist ja neis on raskendatud freesturba põletamine. Paljudel juhtudel rahuldaksid neid tingimusi täielikult süvikveskitega kolded, kus kütuse põletamine toimub tolmuna.

Küttetehnika arenemisega viimastel aastatel on laialdaselt tarvitusele võetud tolmu põletamise seadmeid. Ameerika statistika andmetel kasutati seal 1936/1937. a. kivisöeküttega katelde juures 90% kamberkoldeid kütuse põletamiseks tolmuna. Nõukogude Liidu energiaseadmetes põletatakse 90—95% sütt tolmuna. Selline põletamismoodus võimaldab kasutada igasuguse kvaliteediga kütust, olenemata tuha- ja niiskusesisaldusest, seejuures ka säärast, mille põletamine varem ei osutunud tasuvaks.

ENSV oludes nõuab madalakalorilise ja suure tuhasisaldusega kütuse ratsionaalne põletamine erilist tähelepanu.

Hõljuvpõlemisel jahvatatakse kütus pulbriks, mille osakeste suurus on alla 88 μ. Pulber segatakse õhuga ja puhutakse kolderuumi, kus ta põleb tolmu ja õhu seguna. Esialgseks süütamiseks kasutatakse tavaliselt naftaleeki. Kütuseosakeste põlemine peab lõppema täielikult kolderuumis hõljuvas olekus. Osakesed, mis langevad leegi piirkonnast välja või väljuvad ruumist mittepõlenult, moodustavad kao mehhaanilisest mittetäielikust põlemisest. Seda liiki kao vältimiseks on vajalik, et kütusetolm oleks küllaldaselt peenike.

Kamberkolletes on võimalik põletada kütust, mille tuhasisaldus on kuni 65%. Hõljuvas olekus kütuse kuivatamine võimaldab lihtsustada tolmu valmistamise seadmeid ja kasutada kütuseid niiskusesisaldusega kuni 55% (freesturvas). Ühelt kütuselt teisele üleminek ei valmista raskusi. See võimaldab ehitada universaalkoldeid, s. o. seadmeid mitmesuguste kütuste kasutamiseks.

Kamberkolletes puuduvad igasugused liikuvad osad, mis tavaliselt teistes kolletes tekitavad ekspluatatsioonilisi raskusi. Sellest tingituna on kütuse tolmuna põletamise moodus kindel ja tagab katla pikaajalise katkestamatu töötamise.

Kamberkollete suuremaks puuduseks on, et nad nõuavad täiendavat energiakulu tolmu valmistamiseks, mis vähendab katla üldist neto-kasutegurit võrreldes mehhaaniliste kolletega. Keerukas tolmu valmistamise protsess tingib seadme kõrge ehitushinna kui ka edaspidise ekspluateerimise kalliduse. Seoses sellega püütakse praegusajal tolmu valmistamise protsessi võimalikult lihtsustada ja leida võimalusi kütuste põletamiseks hõljuvas olekus, kusjuures osakeste mõõtmed on 0—10 mm. Sel juhul langeks tolmu valmistamise vajadus näit. meie III sordi põlevkivi puhul täiesti ära. Tänapäevane kolde ehitamise tehnika pole lahendanud veel kõiki raskusi sel alal.

Kütust ei kuivatata eraldi, vaid tolmu valmistamise protsessi vältel. Seetõttu praegusajal kasutada olevais seadmeis kütuse kuivatamise kohta erilisi nõudeid ei püstitata. Enne veskisse juhtimist tuleb kütus lasta läbi eelpurustaja. Mida peenemal kujul kütus kuivatamise-jahvatamise süsteemi juhitakse, seda kindlamini ja paremini viimane töötab. Et vältida raudosade sattumist purustusmasinaisse, on viimased varustatud magnetiliste separaatoritega, mis eraldavad raudesemed kütusest.

Et kütus sisaldab suurte tükkide kõrval ka peenemaid osi, siis eelpurustusseadme asjatu koormamise vältimiseks ehitatakse tema ette kanal, mis kaetakse jämeda sõelaga vastavalt lubatud tükisuurusele. Selle kanali kaudu juhitakse peenemad osad otse veskisse. Jämedamad osad tõugatakse üle sõela eelpurustajasse. Seejuures eelpurustajasse sattuva kütuse hulk on ligikaudu määratav valemiga

$$B_{ep} = B_s - \eta_s B_v,$$

kus B_s — sõelale sattuva kütuse hulk t/h,

B_v — kütuse hulk t/h, mille osakeste suurus on väiksem sõela aukudest,

η_s — sõela kasutegur — tavaliselt 0,60—0,75.

Energiakulu eelpurustusseadmes arvestatakse ligikaudu 0,3—0,4 kWh/t ja eelpurustusmasina mootori orienteeriva võimsuse leidmiseks kehtib valem

$$N_{ep} = 0{,}1 \cdot e \cdot B_{ep},$$

kus $e = \frac{D_t}{d_t}$, s. o. suhe eelpurustajasse juhitava ja peale purustamist saadava tüki maksimaalse suuruse vahel.

Jahvatatud tolmu iseloomustab tema osakeste suurus, mis määratakse sõelte abil. Kõige tarvitatavamad sõelad on nr. 70 ja nr. 30. Sõelad on iseloomustatud järgnevas tabelis toodud suurustega:

Sõela nr.	Aukude arv 1 cm^2	Augu laius μ	Sõela traadi ø μ
30	900	200	130
70	4900	90	55

Tolmu väärtust iseloomustatakse sõeltele nr. 30 ja nr. 70 jäänud tolmu hulgaga. Nende kahe suuruse vahel kehtib seos

$$R_{30} = 100 \left(\frac{R_{70}}{100}\right)^{2{,}22\,n} \%,$$

kus n = alaline koefitsient, mis muutub olenevalt jäägist sõelale nr. 70, s. o. R_{70}

$$n = n_0 \approx a \cdot R_{70},$$

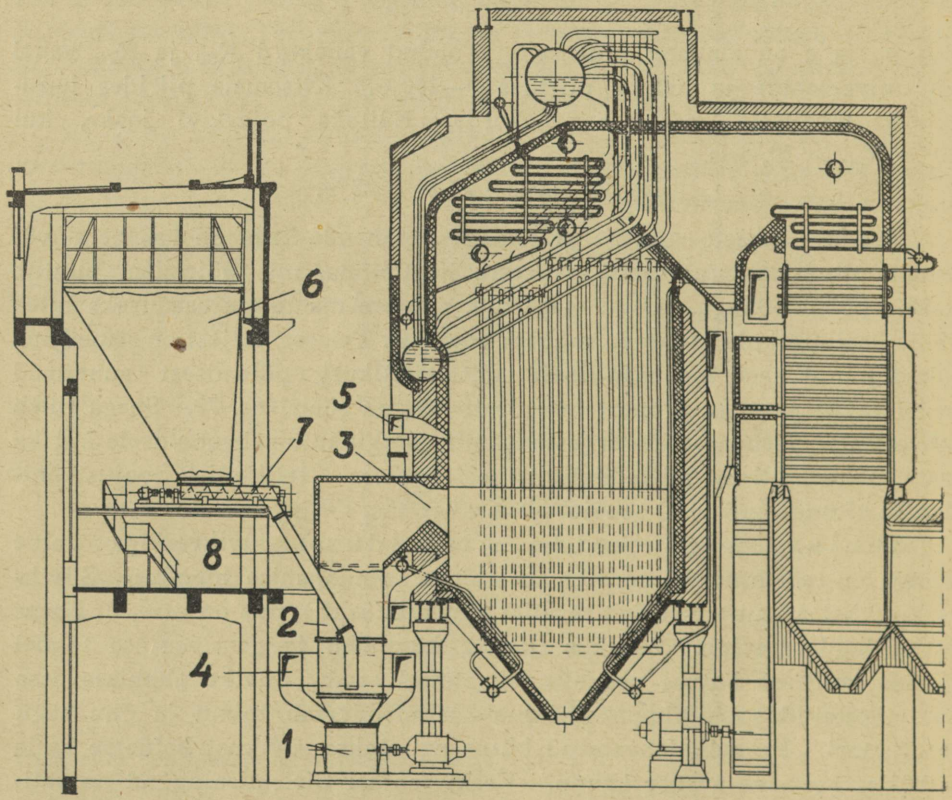
kus n_0 ja a on alalised suurused. Toodud vahekord R_{30} ja R_{70} vahel on universaalne ja kehtiv piirides 0—100%. Kitsamais piirides kasutatakse tavaliselt lineaarset vahekorda. Näiteks põlevkivi jaoks, kui $30 > R_{30} > 10$, siis

$$R_{70} = 1{,}025 \cdot R_{30} + 22\%.$$

Teades osakeste suurust ja eeldades, et nende kuju on kas kera- või kuubitaoline, saab arvutada osakeste kogupinna, mis põlemisel puutub kokku põlemisõhuga. Olgu märgitud, et peenema tolmu saamiseks tuleb ühele kaaluühikule kulutada rohkem energiat. Teisest küljest on jämedama tolmu puhul kaod mehhaanilisest mittetäielikust põlemisest suuremad ja kasvavad peaaegu proportsionaalselt jäägiga sõelal nr. 70. Seega tuleb jahvatamise peenus valida arvestades nii energiakulu jahvatamisele kui ka kadu mehhaanilisest mittetäielikust põlemisest. Üleliidulise Soojustehnilise Instituudi andmetel soovitatakse võtta $R_{70} = 50\%$.

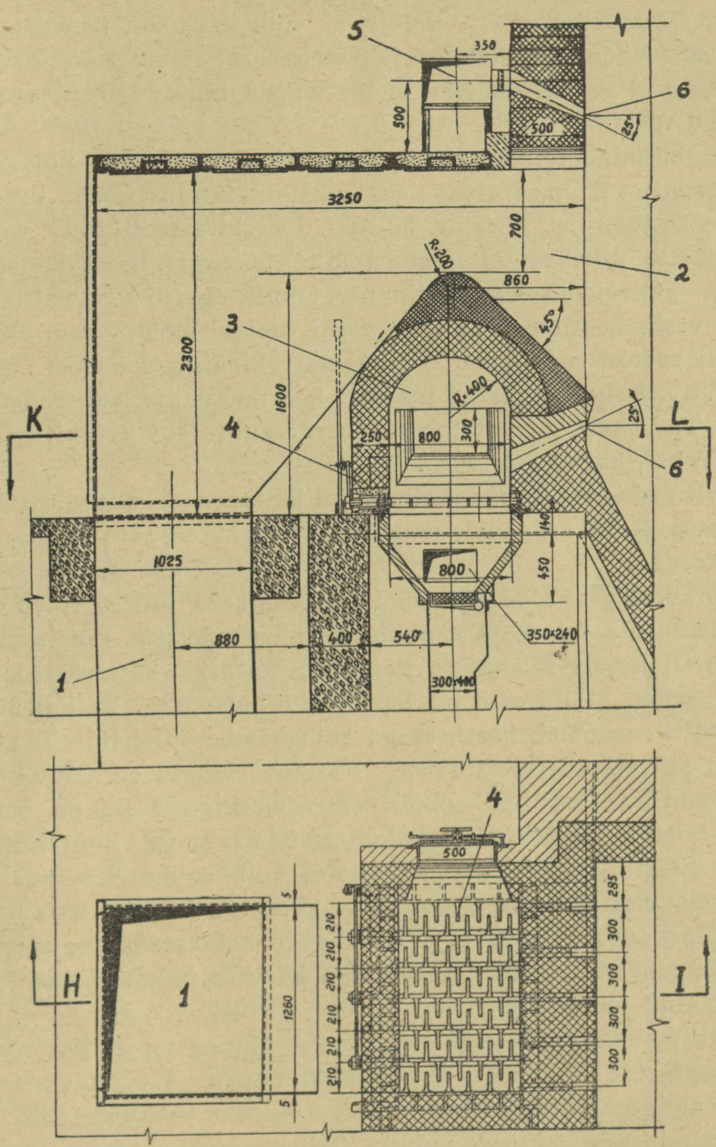
S ü v i k v e s k i g a k o l d e k i r j e l d u s. Süvikveskiga kolde puhul on teostatud kõige lihtsam tolmu valmistamise moodus. Süvikveskiga kolle kujutab endast tavalist süvikut (šahti), mis on otseselt ühendatud kolderuumiga. Süvikus liikuva kuumõhu ja gaasivooluse toimel viiakse koldesse kütuse peeneks jahvatatud osad. Süviku alumisse ossa on paigutatud veski, kuna ülemine osa moodustab tolmu ja õhu segu separaatori. Peeneks jahvatatud kütus paisatakse süvikust koldesse katla esiküljes asetseva avause kaudu. Veski rootori tiirlemise suund on valitud selline, et veskisse tulev kütus paisatakse allapoole ja valmis tolm ülespoole. Veskisse antav kütus on tavaliselt tükisuurusega kuni 20 mm. Väiksemad tükid on soovitatavamad, sest see vähendab jahvatamiseks vaja-

liku energia kulu. Jahvatamise reguleerimine on võimalik süvikut läbiva õhuhulga muutmisega. Süviku kõrgus rootori teljest kuni väljumisava tsentrini peab olema vähemalt 4 m. Süvikut läbiva õhu hulk ja temperatuur peavad olema niisugused, et seadme maksimaalkoormusel ei tekiks liiga jämedat või niisket tolmu. Õhu kiirus süviku ülemises osas kõigub 2—4 m/sek. Kolde koormuse reguleerimiseks 25—30% piirides juhitakse sinna õhku süvikust mööda. Sellega saavutatakse suur ja ühtlane jahvatamise peenus. Kütuse eelkuivatamiseks juhitakse veskisse kuuma õhku või gaasi ja õhu segu. Niiske kütuse puhul on temperatuur süviku lõpus 60—70° C. Õhu juurdevool veskisse on aksiaalne (veski otstest) või tangentsiaalne rootorile. Esimesel juhul osa õhku imetakse veskisse, sest veski rootor tekitab liikumisel hõrenduse. Normaalsel töötamisel hoitakse süvikus atmosfääri surve või väike hõrendus.



Joon. 87. Süvikveskiga kolle püstveetoru-katlale freesturvasküttel. 1. Veski. 2. Süvik. 3. Ambrasuur. 4. Primaarõhu-kanal. 5. Sekundaarõhu-kanal. 6. Kütusepunker. 7. Tiguetteandja. 8. Kütuse pealeande toru.

Veskist paisatakse tolm õhuvooluga põlemisruumi läbi neljakandilise akna (ambrasuuri), mille kuju on näidatud joonisel 88. Seejuures tolmu ja õhu segu väljumise kiirus on 2—5 m/sek. Sageli esineb välju-



Joon. 88. Süviku kael sissekütmisseadmega (M. I. Polljaki järgi). 1. Süvik. 2. Süviku suudmik. 3. Sissekütmise abikolle. 4. Abikolderest. 5. Sekundaarõhu-kanal. 6. Sekundaarõhu-düüs.

misakna asemel rida avasid, mis on kaitstud ekraantorudega. Koldekambrisse sattuv tolm põleb hõljuvas olekus. Suuremad osakesed, mõõtmetega 0,5—1 mm ja enam, kukuvad alla, kus nende järelpõlemiseks on sageli ehitatud vastav rest. Järelpõlemisrest on soovitatav põlevkivi- ja freesturvasküttel. Sel juhul võib kasutada jämedamat tolmu ja seega vähendada energiakulu jahvatamiseks. Kolderuumi sügavus peab olema 4—5 m selleks, et leek ei ulatuks tagumise seinani ega põhjustaks seal räbu tekkimist.

Sissekütmine toimub kas nafta või puiduga, mida põletatakse järelpõlemisrestil. Külmas olekus katla käikulaskmine nõuab aega ca 1 tund ja peale 30-tunnilist seisakut 30 min. Veskite tootlikkust reguleeritakse normaalsetes piirides toiteseadme ning põlemis- ja sekundaarõhu vahekorraga. Jahvatamiseks vajalik energiahulk oleneb kütuse liigist ja kvaliteedist, veski koormusastmest ja veski rootori mõõtmetest. Mida suurem on veski rootor, seda suurem on tema tühikäigu võimsus. Sellest tingituna nõuavad suured veskid madalal koormusastmel suurendatud energiakulu. Tavaliselt arvestatakse energiakulu süvikveskitega seadmetel 8—16 kWh/t, kui $R_{70} = 50\%$.

Süvikveskiga koldega katla tootlikkus on 7—8 t auru katla laiuse 1 m kohta. Katla külgedele paigutatud süvikute puhul võib see arv tõusta 1,5—2 korda.

Süvikveskiga kolde kasutamisel freesturba juures tuleb kolle freesturbas leiduvate juurte ja kännuosade purustamiseks seadistada eelpurustajaga. Olenevalt niiskusest kõigub freesturba küteväärtus 1450—3000 kcal/kg vahel. Põlevosas on lendaineid kuni 70%. Eelkuivatatud freesturvas süttib ja põleb hästi, seega võib kamberpõletamisel kasutada väga jämedalt jahvatatud freesturvast. Vastavad katsed on tehtud Üleliidulise Soojustehnilise Instituudi poolt. Süvikveskiga kolle on oma ehituselt lihtsam teistest kamberpõletamiskolletest ja seda just suurema jahvatamisjämeduse tõttu. Süvikveskiga kolletes võib eduga kasutada lendaineterikast põlevkivi ja freesturvast. Süvikveskiga kolle osutub paljudel juhtudel kõige otstarbekamaks ja ainuõigeks koldeseadmeks suure niiskusesisaldusega ja madala küteväärtusega kütuste põletamiseks. Koldeseade on kujutatud joonisel 87.

Kütuse eelkuivatamiseks kasutatakse õhu eelsoojendist võetavat õhku või küttegaaside ja külma või kuuma õhu segu. Kuivatava aine temperatuuri tõstmisega saavutatakse parem kuivatus ja kindel töö ka kõikuva niiskusesisaldusega kütuste puhul. Sellest seisukohast on soovitatav kuivatava aine temperatuur võimalikult kõrgele tõsta. Olemasolevate veskite konstruktsioonist tingituna tohib maksimaalne temperatuur olla kuni

350° C. Õige temperatuuri valikuks võetakse aluseks, et kütuse niiskus peale eelkuivatust oleks:

põlevkivil 3%,
freesturbal 35%.

Veski kirjeldus. Kuni 1941. a. valmistati NSV Liidu Raskemasinaehituse RK Katla-Turbiinitööstuse Peavalitsuse tehaste poolt aksiaalseid ШМА tüüpi veskeid, millede tootlikkus oli 3, 5 ja 8 t/h (ШМА-3, ШМА-5 ja ШМА-8), ja tangentsiaaltüüpi veskeid ШМТ-1,5 ja ШМТ-5.

Alates 1941. a. hakati valmistama uut tüüpi süvikveskeid kateldele aurutootlusega 10—200 t/h. Nii vanade kui ka uute veskite iseloomustavad andmed on toodud tabelis 31.

Tabel 31. **Veskite karakteristikuid.**

Veski tüüpmõõt	Rootori ø mm	Tiirude arv minutis n	Ringkiirus m/sek. ω	Rootori pikkus mm l	Rootori aktiivne põiklõige m² F	Tootlikkus kg/h B	Mootori võimsus kW N
1	2	3	4	5	6	7	8
Vanad veskid:							
ШМА - 8	1000	960	50	794	0,79	Määratakse valemiga: $B = 45 \cdot F \cdot K \cdot R^{\frac{1,2}{70}}$	Orienteerivalt määratakse valemiga: $N = 100 \cdot F$. F = veski aktiivne põiklõige m²
ШМА - 5	830	960	42	530	0,46		
ШМА - 3	810	960	41	334	0,27		
ШМТ - 5	810	960	41	510	0,41		
ШМТ - 1,5	550	960	28	300	0,16		
Uued veskid:							
* ШМ - 1500/1181	1500	730	57	1811	1,77		
* ШМ - 1300/944	1300	730	50	944	1,23		
* ШМ - 1300/710	1300	730	50	710	0,92		
* ШМ - 1000/710	1000	960	50	710	0,71		
* ШМ - 1000/550	1000	960	50	550	0,55		
* ШМ - 1000/470	1000	960	50	470	0,47		

*) Märgitud tüüpide kohta on ЦКТИ poolt välja töötatud täielikud tööjoonised.

Veski tootlikkuse valem on kehtiv tükisuurusele 0—10 mm. Tükisuuruse juures 0—40 mm väheneb tootlikkus 20%.

$F = \varnothing l$ — rootori aktiivne põiklõige m² võrdub rootori läbimõõdu ja pikkuse korrutisega.

K — jahvatusvõime tegur, mis oleneb laboratoorselt määratud jahvatustegurist K_1:

$$K = 0{,}39\ K_1 + 0{,}61.$$

ЦКТИ andmetel on K ja K_1 suurused põlevkivi kohta järgmised:

Leiukoht		K_1	K
Leningradi oblasti põlevkivi		4,22—6,4	2,26—3,11
Gruusia NSV	„	2,19	1,47
Komi ANSV	„	3,77	2,08

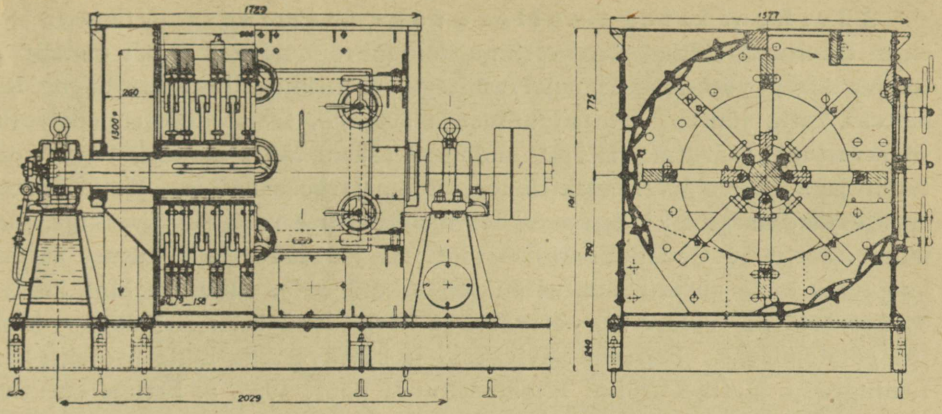
R_{70} = kütuse hulk %-des, mis jääb sõelale nr. 70.

Üldine aerodünaamiline takistus koos süviku ja ambrasuuriga on:

vanadel veskitel Hv üld. = 75—100 mmVs,
uutel veskitel Hu üld. = 20— 25 mmVs.

Veskite remondi, vahetuse jne. teostamise võimaldamiseks tuleb katel seadistada vähemalt kahe veskiga. Üks veski on lubatud ainult erandjuhul väikestele kateldele aurutootlusega $D \leqslant 12{,}5$ t/h, kusjuures peab olema võimalus veski seismajätmiseks purustajate vahetamisel. Suuremad katlad aurutootlusega $D > 75$ t/h varustatakse kolme veskiga.

ЦКТИ uut tüüpi süvikveski on kujutatud joonisel 89. Kuivatav aine juhitakse külgtaskutest veskisse läbi kahe ringikujulise akna, mis on lõigatud kere mõlemasse otsseina. Ringi tsenter ühtib rootori teljega ja läbimõõt on võrdne purustajate sisemise läbimõõduga. Vahe äärmiste purustajate ja otsseina vahel on vähendatud miinimumini. Kettad, mille külge kinnitatakse haamrid liigendite abil, on võimalikult väikesed. Need abinõud on vajalikud veski parema endaventilatsiooni ja väiksema aerodünaamilise takistuse saamiseks. Kesta kaitsesoomuse ja purustajate vahel on 30—100 mm vahe. Purustaja kinnitatakse hoidja külge vastava sõrme ja spindli abil. Lihtne kinnitusviis võimaldab purustajate vahetamist koha peal. Võlli osa, mis ulatub veski otskambritesse, on kaitstud kuivatava ainega otsese kokkupuutumise eest. Sellega on vähendatud soojuse ülekandumine võlli kaudu laagritesse. Veski esiküljel on suur uks, mis võimaldab juurdepääsu rootorile tema kontrollimiseks kui ka kulunud purustajate vahetamiseks. Rootori väljavõtmiseks on ette nähtud väljalõiked kere otsseintes.



Joon. 89. Aksiaalse süvikveski üldvaade (ЦКТИ uus tüüp ШМ-1300/944).

Veski ühes käivitusseadme — elektrimootoriga — paigutatakse ühisele alusraamile nii, et veski ja mootori võll asetsevad ühel telgjoonel; võllid ühendatakse elastse siduriga.

Uus veski on tundlikum nii õhu kui ka kütterežiimi suhtes. Madalamalt koormuselt üleminekul suuremale tuleb suurendada kiirust süvikus, millega halveneb jahvatatud terade ühtlus, või suurendada mootori koormust ilma jahvatuse, s. o. kolde režiimi muutmata. Tuleb märkida, et ebaühtlasema jahvatamise korral kasvab kiiresti veski jõudlus, kusjuures energiakulu väheneb. Selles avaldub süvikveski üks iseärasusi.

Purustajad ehitatakse nõrgalt legeeritud terasest (3% Mn). Kulumise vähendamiseks on osutunud otstarbekaks purustajate töötav pind katta „staliniidi"-kihiga. 6—8 mm paksuselt pealekeevitatud „staliniidi"-kiht pidas töötamisel Karaganda söega vastu 467 tundi. Ilma täiendava pindade katmiseta on ЦКТИ andmetel süvikveskite töötamise iga ca 200 tundi.

Tabel 32. **Süvikveskite näitarve.**

Veski tüüp	Tootlikkus tonni tunnis		Õhu juurdetoomise moodus	Vajalik mootori võimsus kW	Kaal tonnides ilma mootorita
	freesturvas	süsi			
ШМА-1,5	1,5	1,0	aksiaalne . . .	—	0,7
ШМТ-1,5	1,5	1,0	tangentsiaalne .	14,5	0,8
ШМА-3	3,0	2,0	aksiaalne . . .	29,0	1,7
ШМА-5	5,0	3,5	aksiaalne . . .	40,0	2,5
ШМТ-5	5,0	3,5	tangentsiaalne .	40,0	1,9
ШМА-8	8,0	5,5	aksiaalne . . .	55,0	3,8

Süvikveskite hind mootorita on: ШМ-1,5 — 5000 rbl., ШМ-5 — 10 000 rbl.

Süvikveskitega kollete rakendamisest. Viimasel ajal enam tarvitust leidnud süvikveskiga kolded võimaldavad suurt metalli ja tööjõu säästu, võrreldes trummelveskitega või mehhaaniliste restidega. Nii näiteks katla juures aurutusjõudlusega 200 t/h, asendades trummelveski süvikveskiga, saavutati ЦКТИ andmetel säästu 210 t metalli, 13 000 töötundi ja 2 500 000 kWh elektrienergiat omatarbeks aastas. Katla juures aurutusjõudlusega 20 t/h, asendades mehhaanilise resti süvikveskiga, saavutati säästu 50 t metalli, 11 000 töötundi ja 1500 t leppekütust aastas, kusjuures katla aurutusjõudlus suurenes kuni 50%. Süvikveskiga kolded on kasutatavad freesturba, põlevkivi ja kõrge lendainete-sisaldusega kivisöe põletamiseks. Esimene süvikveski ja süvikveskiga kolle projekteeriti Leningradis Katla-Turbiini Keskinstituudi poolt 1935. a. katlale aurutusjõudlusega 7 t/h Oudovas. 1936.—1937. a. prooviti säärast tüüpi koldeid Oudova põlevkiviga, Moskva ümbruse kivisöega ja freesturbaga. Nende katsete põhjal võib süvikveskitega koldeid tööstuslikuks otstarbeks täiesti kõlblikuks pidada.

Süvikveskiga kolde iseärasused on järgmised:

1) Koldeseadme teenindamise lihtsus.
2) Kogu kütuse ettevalmistamise skeemi lihtsus väldib avariivõimalusi. 9 aasta jooksul, alates esimese süvikveskiga kolde käikulaskmisest NSVL-s, ei esinenud seal kütuse ettevalmistuse osas ühtki plahvatust, mis oleks vigastanud seadet või personali. Seega võib süvikveskiga koldeid lugeda ekspluatatsiooniks kindlaks ja ohutuks.
3) Süvikveskiga kolle omab kõrge ökonoomsuse. Kaod mehhaanilisest mittetäielikust põlemisest on ainult 0,5—2%.

Eeltoodu põhjal võib süvikveskiga koldele omistada järgmised paremused:

a) tolmu põletamisel, mis jätab võrdse jäägi sõelale nr. 70, on kadu mehhaanilisest mittetäielikust põlemisest väiksem kui seadmetel teissuguse tolmuettevalmistamisseadmega;
b) süvikveskis esineb väikseim peente osade ülejahvatamine, mille tõttu jahvatamiseks tarviliku elektrienergia kulu on minimaalne;
c) elektrienergia kulu mehhaaniliseks transpordiks on samuti minimaalne, sest süvik kujutab ühtlasi separaatorit ja lühimat tolmu juhet väikese aerodünaamilise takistusega; elektrienergia erikulu on 4—15 kWh piirides valmis kütuse tonni kohta, seega 2 korda väiksem kui trummelveskil.

4) Metalli- ja tööjõukulu, seega tolmu valmistamise seadme hind on süvikveskiga seadme puhul 3 korda odavam kui trummelveskiga seadmel või 5—7 korda odavam kui mehhaanilise resti hind.
5) Süvikveski konstruktsioon on lihtne. Tema valmistamiseks pole vaja kõrgekvaliteedilisi töökodasid.
6) Süvikveskiga seadme mõõtmed on väiksemad trummelveski omadest, mille arvel võib saavutada kokkuhoidu katlamaja ehituslikus osas. Lisaks sellele lubab see erinevus mahutada süvikveskiga kollet olemasolevaisse ruumigabariitidesse juhul, kui tahetakse üle minna kütuse kihispõletamiselt hõljuvpõletamisele.

NSVL-s töötas 1943. a. lõpul 184 süvikveskiga koldeseadet. Varem kasutatud süvikveskiga kolletele kateldel aurutootlusega 15—30 t/h on lisandunud projektid 150 t/h ja 200 t/h aurutootlusega katelde jaoks.

Ühtlasi on mitmesuguste NSVL-s leiduvate kivisöesortide kõrval õpitud süvikveskit kasutama ka Oudova, Kaspiri ja Saveljevi põlevkivi kui ka freesturba juures.

Uuemaist süvikveskiga kolletest NSVL-s on tähelepanuväärivamad Leningradis ja Gorkis ehitatud kolded. Leningradis ehitatud katel on nelja trumliga — ehitatud Leningradi Stalini-nimelise metallitehase poolt. Küttepinna suurus on 1500 m^2, kolde maht 450 m^3, kolde koormus 170 000 kcal/m^3h. Ekraanide pind 170 m^2, kusjuures kolde seinad on täielikult ekraneeritud. Räbupunkris asetseb järelpõlemisrest pinnaga 35,4 m^2. Kolle on varustatud nelja ЦКТИ ШМА-8 tüüpi süvikveskiga. Õhk eelkuumutatakse kuni 175° C. Kütuse kuivatajaina esinevad eelkuumutatud õhk ja koldegaaside segu temperatuuril 350° C, mille liikuma panemiseks on kaks ventilaatorit võimsusega 120 000 m^3/h, survega 260 mm Vs temperatuuril 30° C.

Projekti järgi oli kütusena ette nähtud kas freesturvas, põlevkivi või madala kvaliteediga kivisüsi. Praegu tarvitatakse kütuseks freesturvast. Vaatamata sellele, et teenindaval personalil puudusid kogemused ja võimalus praktiliselt süvikveskiga koldega töötamiseks, on juhtiv ja ekspluatatsioonipersonal omandanud kiiresti ja ilma avariideta kogemused uue koldeseadme käsitsemiseks, mis on seletatav peamiselt selle seadme lihtsusega. Freesturba põletamisel annab süvikveskiga kolle suurema ökonoomsuse ja kindlustab auru pideva saamise ilma õlipihusti tarvitamiseta koormuse langemisel kuni 20% ja seda ka freesturba puhul, mille niiskus ulatub kuni 57%-ni. Varasemat tüüpi kolletes oli kõrge niiskusesisaldusega freesturba põletamine võimatu. Niiskuse tõusul üle 50% viidi katel üle masuutküttele. Katelseadme üleviimine Leningradis süvikveskiga

koldele andis kolde kasuteguri tõusu 8—10%, millega saavutati aastas turba kokkuhoidu ca 50 000 t.

Gorkis ehitatud katelseade koos Leningradi seadmega pakuvad erilist huvi, sest siin on esmakordselt maailmas freesturba põletamiseks tarvitusele võetud süvikveskiga kolle nii suure võimsuse juures.

Gorki süvikveskiga kolle on ehitatud Leningradis Stalini-nimelise metallitehase katla juurde, mille küttepind on 1200 m^2, kolde maht 420 m^3, kolde soojuslik koormus $160 \cdot 10^3$ kcal/m^3h. Kolle on täielikult ekraneeritud, välja arvatud väike osa esi- ja külgseintest, kus jahutus on läbi viidud teisiti. Ekraani kogupind on 175 m^2. Katla juurde on monteeritud kolm süvikveskit, kusjuures veskite teljed on risti katla frondiga. Kütuse kuivatamiseks kasutatakse kuuma õhu ja koldegaaside segu, temperatuuril 330° C.

Süvikveskite paigutamisega risti katla frondiga ei halvene süvikus voolamise ühtlus kui ka separeerimine. Eelmainitud ekspluatatsioonilised kogemused juhivad meid järgmistele momentidele:

1) Kui kütuseks kasutatakse kõrge niiskuseprotsendiga freesturvast, siis ei ole tavaline kütusepunkri ehitusviis kõlblik, sest sel juhul kleepub punkri alumises osas asetsev freesturvas kokku ülemiste kihtide suure surve all (punkri kõrgus ~ 6 m), jääb kinni punkri seintele kohas, kus põiklõige on kitsas, ja häirib oluliselt kütmisprotsessi. Selliste ummistuste kõrvaldamine käsitsi on väga raske ega anna soovitud tulemusi. Ainukeseks radikaalseks lahenduseks on siksakiline punkri ehitus, kus punkris oleva kütuse alumised kihid ei ole ülemiste kihtide täie surve all.
2) Gorkis toiteseadmetena kasutatud tigukujulised etteandjad läbimõõduga 400 mm osutusid ekspluatatsioonil täielikult kõlblikuks. Juhul, kui sama toiteseadist tahetakse kasutada nii freesturba kui ka muu kütuse puhul, tuleb toiteseadise konstruktiivsele väljatöötamisele erilist rõhku panna.
3) Kütuse põletamisel tolmuna on kolde soojuslik inerts väga väike. Peale selle on süvikveski väga tundlik ülekoormuse suhtes. See tingib kütuse etteandmise eriti täpse reguleerimise vajadust. See tingimus on eriti tähtis kütmisel freesturbaga, sest sel juhul on küttevääртus suurtes piirides kõikuv, olenevalt tarvitatava kütuse koostisest ja niiskusest, mis avaldab mõju põlemisrežiimile koldes. Tigukujulise toitesüsteemi puhul on kõige otstarbekam kasutada alalisvoolumootoreid või vahelduvvoolu-kollektormootoreid, mis võimaldavad sujuvat tiirude reguleerimist suurtes piirides.

4) Kolderuum peab olema tihedalt ekraneeritud, vastasel korral tekib kuiva turba ja eriti kivisöe põletamisel räbustumisoht. Ekraneerimise tihedus peab olema vahekorras $s/d = 1{,}1$ (s. o. suhe torude sammu ja torude läbimõõdu vahel).

5) Järelpõlemisrest on õigustatud ainult vähekõdunenud ja niiske freesturba kasutamisel. Järelpõlemisresti alla on tavaliselt võimalik õhku anda ainult vähesel hulgal. Seega suurte mõõtmetega resti puhul on õhu väljumise kiirus väike, millega pole kindlustatud resti küllaldane jahutamine. Kõige tähtsam on aga see, et puudub võimalus restile langenud osakeste tagasijuhtimiseks leeki. On arusaadav, et freesturba väikeste osakeste põletamine kihis on võimatu. Seega suurenevad restist läbivariseva kütuse hulk ja kaod mehhaanilisest mittetäielikust põlemisest.

6) Siibrid, mis reguleerivad kuivatava vahendi hulka üksikult igal veskil, osutuvad põhilisteks katlasüsteemi kvaliteetse režiimi saavutamise vahenditeks. Seega ei tohi siibrid asetseda eraldi veskite juures, vaid nende reguleerimise võimalus peab olema koondatud ühte punkti katla esiküljel vastutava kütja juures.

7) Plahvatusohu vältimiseks ehitatud klapid pole oma olemasolu õigustanud. Süvikveskiga kolde süsteemis tolmu osas puuduvad horisontaalsed osad ja peene tolmuga täidetud osad on väga väikesed. Paljuaastaste ekspluatatsioonikogemuste põhjal võib öelda, et eriliste plahvatusohu kõrvaldamise klappide ehitamine on üleliigne.

Gorki ja Leningradi seadmete ekspluatatsiooni kogemustest järeldub, et süvikveskiga koldega on võimalik ilma masuudi abita põletada freesturvast niiskusega kuni 60%, kusjuures kaod mehhaanilisest mittetäielikust põlemisest on 3,8—3,2%.

Olemasolevate andmete varal võib konstateerida, et süvikveskiga küttekolle on lihtne, töös kindel, kõrge ökonoomsusega ja odavaim valmistamisel. Kateldele alates 10 t/h ülespoole, kui kütusena kasutatakse freesturvast, põlevkivi või kivisütt, mis sisaldab lendaineid üle 30%, võib põhilise koldeseadmena soovitada süvikveskit.

Uute süvikveskitega seadmete projekteerimisel tuleb arvestada olemasolevaid kogemusi ja eriti hoolikalt konstrueerida punkrid ning lahendada veskisse antava kütuse täielik reguleerimine.

Masuudi puudumisel võib kütuse süütamiseks kasutada tahket kütust sellekohases seadeldises. Optimaalse jahvatuspeenuse kindlaksmääramisel tuleb arvestada mitte ainult kütuse lendosade sisaldust, vaid ka nende

reaktsioonivõimet, mis on iseloomustatud kütuses leiduva O hulgaga. Orienteerivalt võib kasutada järgmist vahekorda:

Hapnikusisaldus põlevosas O %	Jahvatuse peenus, mis väljendub sõelale nr. 70 jääva kütuse hulgaga R_{70}%
üle 10—12	$1{,}4 \cdot V$
alla 10—12	$1{,}0 \cdot V$

V = lendosade % põlevosas.

Freesturba põletamiseks kasutatakse süvikveskitega koldeid alates 1936. a.

Põlevkivi põletamine on seni toimunud liikuvatel treppretidel. Edaspidi peab süvikveskiga kolle näitama oma konkurentsivõimet meie kohalikkude kütuste põletamisel.

VI. Küttekollete abiseadmeid.

1. Kütuse etteande seadmeid.

Kütuse etteande seadmed jagunevad kütuse etteande viisilt kahte pealiiki:

a) poolmehhaanilised seadmed,

b) mehhaanilised seadmed.

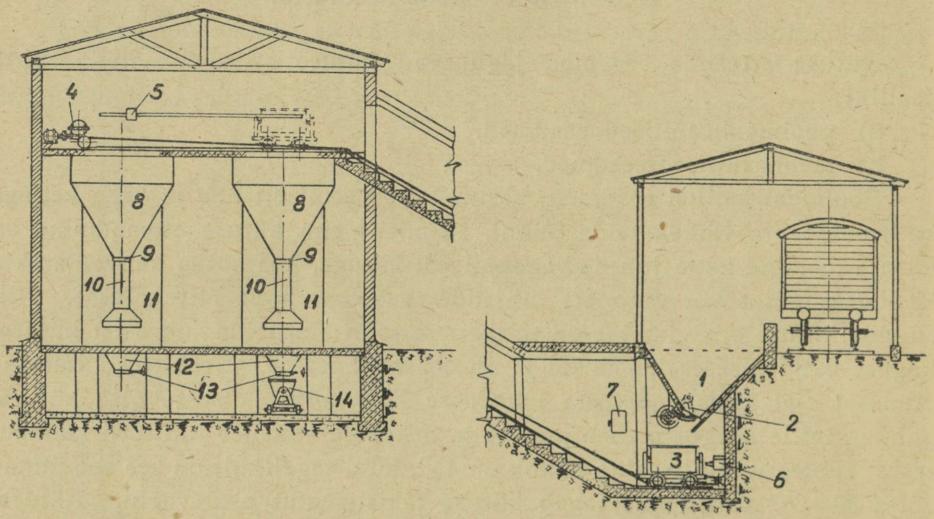
Poolmehhaanilisi seadmeid kasutatakse peamiselt ühe ja kahe katlaga katlamajade ja väikekatelde puhul. Primitiivseim kütuse etteandmine on kütuse toomine katla juurde vagoneti või käruga, kus kütus kühveldatakse käsitsi koldesse või vagonett tühjendatakse otse katla toitekolusse. Niisugune kütuse etteandmine on tülikas, ei võimalda hoida suuremat kütusekogust katla otseses läheduses ja on ebaratsionaalne. Seetõttu ehitatakse viimasel ajal katla vahetusse lähedusse küttekoldepoolsesse otsa kütusepunker, mille kõrgus oleneb punkri ja toitekolu vahelise juhttoru kallakusest. Juhttoru minimaalne kallak on 45°, kuid tegelikult on see soovitatav võtta 50—60° vahel, mis tagab kütuse takistamatut pealevoolu. Kütusepunkri mahuks valitakse 1—2 vahetuse või koguni katla 2—7-päevane kütusetarvidus, lähtudes katla koormusest, töötamise pidevusest ja kütuse etteande seadme keerukusest, s. t. esinevate rikete võimalustest. Kütusepunkri ja juhttoru vahel asetseb siiber, mille abil on võimalik reguleerida kütuse väljavarisemise hulka punkrist või punkrit tarbe korral sulgeda.

Punkri täitmine kütusega võib toimuda mitmel viisil, olenevalt kohalikest tingimustest ja seadme tüüpsuurusest.

Kütusega täidetud vagonett tõstetakse väljaspool katlamaja „Demag"-elektertaliga üles ja sõidutatakse kütusepunkri kohale, kus vagonett käsitsi tühjaks kallutatakse. Tühi vagonett sõidutatakse tagasi ja lastakse „Demagiga" uuesti alla. Punkri täitmise aeg oleneb „Demagi" tõste- ja sõidukiirusest ning vagoneti tühjendamise kestusest.

Kütusega täidetud vagonett lükatakse tõstešahti, kus ta liftiga üles tõstetakse. Üleval lükatakse vagonett rööbasteed kaudu punkri kohale, kus vagonett tühjendatakse kas käsitsi või kallutaja abil. Siin oleneb punkri täitmise aeg lifti tõste- ja vagoneti sõidu- ning tühjendamise kiirusest. Igal juhul toimub siin punkri täitmine kauem kui eespoolmainitud „Demagiga" täitmisel, sest lifti uste avamine ja sulgemine ning kallutaja pööramine tarvitavad teatud aega, mida „Demagi" puhul ei esine.

Kütusega täidetud vagonett tõstetakse käsivintsiga kaldjuhtrööpaid mööda üles ja tühjendatakse rööbastee lõpul otse punkrisse. Tühi vagonett liugleb omaraskuse tõttu uuesti alla. Siin oleneb punkri täitmise aeg vagoneti tõste- ja allalaskmise kiirusest. Mainitud tõstekiirust on võimalik suurendada, kui käsivintsi asemel rakendada elektervintsi.



Joon. 90. Kütuse etteande seade (estakaadiga). 1. Kolu. 2. Sulgur. 3. Vagonett. 4. Tõmbevints. 5. Paigutatav väljalüliti katlapunkri kohal. 6. Automaatväljalüliti. 7. Käsilüliti. 8. Katlapunker. 9. Punkri sulgur. 10. Kütuse pealevoolu toru. 11. Katel. 12. Tuhapunker. 13. Sulgur. 14. Tuhavagonett.

Eespoolmainitud kolmest kütuse etteande viisist on viimane kõige ratsionaalsem. Selle süsteemi puhul vajatakse ainult ühte meest vagoneti haakimiseks ja tühjendamiseks. Kahe eelmise puhul vajatakse aga vähemalt kahte meest — üks, kes all haagib, ja teine, kes üleval tühjendab.

Kõigil kolmel juhul kasutatava vagoneti maht on ca 1 m^3.

b) Mehhaanilisi seadmeid kasutatakse enam kui kahe katlaga katlamajade ning suurte katelde puhul, kus katelde toitmist poolmehhaaniliste seadmetega ei jõuta teostada.

Esineb peamiselt kolm põhitüüpi:

K ö i s r a u d t e e. Kallutatavad kopad mahuga ca 1 m^3 jooksevad kanderullide abil terastrossil. Koppade sõidukiirus on normaalselt 0,5 m/sek. ja koppade vahe 10—20 m, olenevalt täitmise ajast ja terastrossile lülitamisest. Köistee kallakus on maksimaalselt 30°, kuid normaalselt kasutatakse 10—15°. Kopad täidetakse kütusega laoplatsil ja viiakse köisteed kaudu üle katlamajas asetsevate kütusepunkrite. Soovitud punkri kohal kallutatakse kopp tühjaks ja tühi kopp sõidab edasi kütuse laoplatsile.

Ü h e k o p a g a e l e v a a t o r. Kütusega täidetud raudteevagun juhitakse rööbasteed kaudu kallutajale, mis tühjendab vaguni sõidu suunas maas olevasse kütuse eelpunkrisse. Punkrist juhitakse kütus punkri suudme all olevasse koppa. Kopp tõmmatakse elektervintsi abil kaldjuhtrööpaid mööda üles ja tühjendatakse rööbastee otsas automaatselt kütusepunkrisse, mitme katla puhul torupükstesse, kust juhitakse vastavasse kütusepunkrisse. Torupükste abil on võimalik maksimaalselt täita ainult kolm kütusepunkrit, sest torude minimaalne kallak on 45°, mis määrab kopale kindla tühjendamiskõrguse. Enam kui kolme punkri korral toimuks kopa tühjendamine katlamajast kõrgemal. Ka ei jõua üks kopp rahuldada üle kolme katla tarvidust.

Tühi kopp liigub alla tagasi, avab automaatselt punkri suudme ning täitub uuesti. Terve kopa liikumise süsteemi juhtimine, s. t. kütusega täitmine, ülessõitmine, tühjendamine, tagasisõitmine, punkri suudme avamine ja uuesti kütusega täitmine toimub elektriliselt vastavate releede abil.

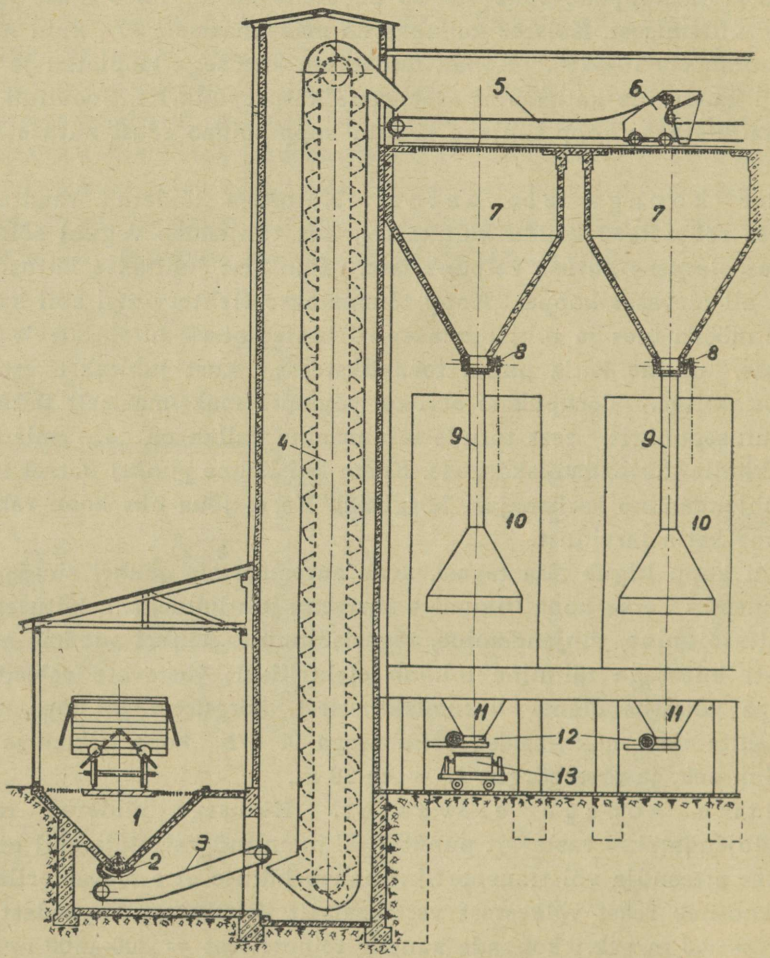
Kopa võimsus oleneb liikumiskiirusest, kõrgusest ja kopa mahust. Kopad ehitatakse maksimaalse võimsusega 90 t/h, kopa liikumise kiirus v = 0,5 m/sek. ja tõstekõrgus H = ca 20 m.

M i t m e k o p a g a e l e v a a t o r. Kütusega täidetud raudteevagun tühjendatakse vastavalt punkt 2 all mainitud kallutaja abil eelpunkrisse, kus etteandja või transportlint annab kütuse ette elevaatorile. Elevaator koosneb reast väikestest vertikaalselt liikuvatest koppadest, mille kiirus v = 0,5 m/sek.; koppade kaugus teineteisest = 300—400 mm. Elevaatori kopad tõstavad kütuse üles ja kallutavad elevaatori peasse, kust ta juhitakse torupükste kaudu kütusepunkrisse või elevaatori peast juhtrenni abil transportlindile. Transportlindilt juhitakse kütus mahaviskevankri abil vastavasse kütusepunkrisse.

Punkri täitmise aeg oleneb elevaatori võimsusest, mis omakorda sõltub elevaatori tõstekõrgusest, koppade suurusest ja liikumiskiirusest.

Konstruktiivselt ehitatakse elevaator punkrite rea otsa, s. t. katlamaja külgseinasse, võimaldades seega katlamaja laiendamist ja transport-

lindi ühesuunalist kasutamist. Transportlinti täidetakse seejuures ühest otsast, lint jookseb piki üle kütusepunkrite ning tühjendatakse mahaviske-vankri abil kahele poole linti.



Joon. 91. Kütuse etteande seade (kopp-elevaatori ja linttransportööridega). 1. Kütuse eelpunker. 2. Sektorsulgur. 3. Linttransportöör. 4. Elevaator. 5. Jagaja lint. 6. Jagaja mahaviske vanker. 7. Katlapunker. 8. Sektorsulgur. 9. Kütuse pealevoolu toru. 10. Katel. 11. Tuhapunker. 12. Siibersulgur. 13. Tuhavagonett.

Esineb ka juhtumeid, kus elevaator on ehitatud katlamaja katlakoldepoolsesse otsa ning toidab linti keskelt. Sel juhul ehitatakse reversiivlint, s. t. edasi-tagasi liikuv lint. Seda moodust tuleks võimaluse korral vältida,

sest reversiivlint on kulukam ja nõuab punkrite toitmiseks ümberlülitamiste tõttu enam aega kui ühesuunaline lint.

Mainitud kolmest süsteemist leiab kõige enam kasutamist viimane — kütuse etteandmine elevaatoriga ja transportlindi abil.

Suurte katlamajade puhul, kus katlaid koormatakse pidevalt, ehitatakse kahekordsed kütuse etteande seadmed. Sel juhul on üks etteandeseade varuks ja rakendatakse käiku juhul, kui teine rikke tõttu välja langeb. Seega on garanteeritud pidev kütuse etteandmine.

Kahekordsete etteandeseadmetena kasutatakse ühe seadmena elevaatorit transportlindiga ja teisena köisraudteed, või kahte elevaatorit reversiivlindiga. Sel juhul asetseb kumbki elevaator transportlindi teises otsas.

Kõikide katlamajade puhul pole võimalik kütuse eelpunkrite igakordne täitmine vahetult raudteevagunist kallutaja abil, sest kütusekaevandused asetsevad enamasti katlamajadest eemal ja kütuse kohaletoomine oleneb raudteetranspordist. Sel juhul tuleb katlamaja vahetus läheduses ette näha katusega kaetud laod, kütuse hoiukohad. Kütuselao mahtu arvestatakse vajatava kütusehulga ja kütuserongi kohalejõudmise sageduse järgi. Soovitatav on laost läbi ehitada raudtee, mis võimaldab vagunite kiiret tühjendamist.

Laost antakse kütus sõidutatavate elevaatorite abil maa sees asetsevasse eelpunkrisse, kust ta transportlindi abil edasi juhitakse elevaatorisse.

2. Põlemisõhu andmise ja tõmbeseadmed.

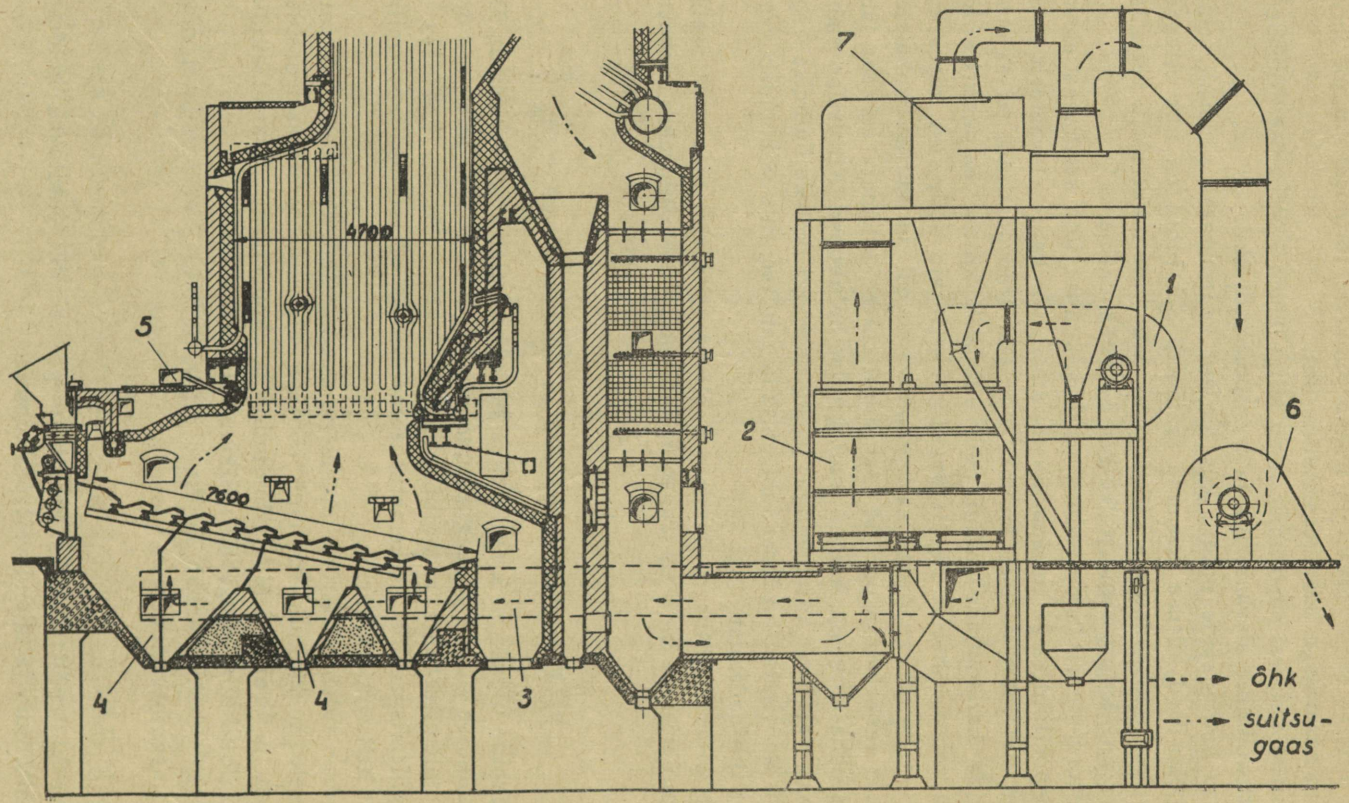
Küttekolde õigeks ja katkematuks tööks on vajalik organiseerida õhu andmist koldesse hulgal ja tingimustes, mis tagavad kütuse täielikku ärapõlemist põlemisseadme mõõtühiku kohta maksimaalsetes kogustes ja teostada põlemisgaaside katkematut eemaldamist pärast nende termilist kasutamist heittemperatuurini.

Seejuures tuleb arvestada, et suitsugaaside liikumisel katla või muu soojusevaheldaja käikudes toimub soojuse ülekande protsess gaasidelt küttepindadele. Protsessi õige läbiviimine ja ökonoomsus nõuavad kindlat režiimi nii õhu kui suitsugaaside liikumisel agregaadis.

Käesolev peatükk annab lühikese ülevaate kolde varustamisest põlemisõhuga ja tõmbeseadmetest.

a) Altõhk.

Kütuse kihispõletamiseks kasutatav põlemisõhk juhitakse koldesse peamiselt altõhuna ja täiendavalt pealtõhuna.



Joon. 92. Põlemisõhuseadmed aurukatlale. 1. Altõhu-ventilaator. 2. Regeneratiivne pöörlev õhu eelsoojendi. 3. Peaõhukanal. 4. Altõhutsoon. 5. Pealtõhuseade. 6. Tõmbeventilaator. 7. Tsükloon-suitsupuhasti.

Altõhk juhitakse koldesse läbi resti ja restil oleva kütusekihi. Tema toimel teostub põlemine kihis (restil) ja samuti moodustab ta peaosa lendainete põletamiseks vajalikust õhuhulgast. Resti ja kütusekihi takistuse ületamiseks tuleb altõhk kas imeda läbi resti ja kütusekihi korstna loomuliku tõmbe või korstnaventilaatori toimel või suruda läbi resti altõhu-ventilaatoriga.

Korstna loomulikku tõmmet resti takistuse ületamiseks kasutatakse väiksemate seadmete puhul, kuna suuremad seadmed töötavad altpuhumise ja tõmbeventilaatoriga.

Altõhu surve on sõltuv kütuse tihedusest, terajämedusest, kihi paksusest ja põletamise intensiivsusest. Olenevalt nendest teguritest kõiguvad altõhu surved resti all 30—100 mm Vs. Madala väärtusega kütuseid põletatakse tavaliselt paksemas kihis kui kõrgeväärtuslikke. Õhusurve ei tohi ületada lubatud määra, sest vastasel korral kistakse õhuvoolu poolt kaasa palju peent kütust, mis kutsub esile lendtuha kao suurenemise. On küllaldane, kui altõhu surve võrdub ligikaudselt resti ja kütusekihi takistusega, kuna kolderuumi ja suitsukäikude takistus koldegaaside liikumises ületatakse tõmbega. Näiteks on „Krull-Lomšakovi" resti takistus 12—15 mm Vs ja III sordi 200 mm paksuse põlevkivikihi takistus ca 20 mm Vs.

Põlevkivi põletamisel reguleeritakse altõhk tavaliselt nii, et resti peal kolderuumis oleks väike alasurve (2—5 mm Vs). Kasutatavad altõhu surved on toodud tabelis 27. Kütusekihi takistuste kohta vt. joon. 39.

Et kütuse põlemine kogu resti pikkusel ei toimu võrdse intensiivsusega, on vajalik altõhku jagada vastavalt tema tarvidusele, s. o. nii, et intensiivsema põlemise piirkonda satuks rohkem õhku kui vähese põlemisega piirkonda.

Õhu jaotamiseks jagatakse suuremad restid põiksuunaliste plekkvaheseinte abil tsoonidesse (joon. 92). Tsoonid on õhukindlalt üksteisest eraldatud ja igasse nendest suubub üldõhutorust haru, mis on varustatud pööratava reguleerimisklapiga. Klappide abil on võimalik reguleerida tsooni antava õhu survet ja hulka. Iga tsoon peab olema seadistatud survemõõtjaga, mille lugemi põhjal kütjal oleks võimalik reguleerida tsoonis valitsevat survet. III sordi põlevkivi põletamisel „Krull-Lomšakovi" restil kasutatakse tavaliselt järgmisi surveid [normaalse kihipaksuse (ligikaudu 200 mm) juures]:

Tsoon	I	II	III	IV	V
Surve mm Vs	10	25	40	25	10

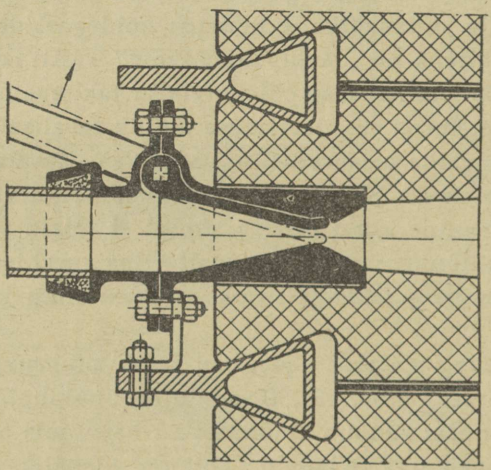
Õhutorustik peab peale eelnimetatud tsooniklappide olema seadistatud veel ühe üldklapiga kohe peale õhu eelsoojendit, mis soodustab seadme

teenindamist koormuse muutmistel. Tule reguleerimine säärastel juhtudel kõikide tsooniklappide üksikult reguleerimisega on märksa keerukam.

Oluliseks teguriks kütuse küteväärtuse täielikul ärakasutamisel on põlemisõhu temperatuur. Eelsoojendatud õhu kasutamisel teostub põlemisprotsess märksa intensiivsemalt kui külma õhu puhul: kütuse kuivamine ja kuumenemine süttimistemperatuurini kiireneb, lendainete eraldumine ja põlemine intensiivistuvad ja samuti kiireneb kihi põlemine. Kolde temperatuur tõuseb siinjuures tunduvalt. Õhutemperatuuri ülempiiri määrab resti metallosade kuumenemine. Seetõttu näit. põlevkivi kihispõlemisel ei või õhu eelsoojendustemperatuur ületada 200° C. Tolmküttekolletes võib õhu temperatuur olla tunduvalt kõrgem, kuni 400° C.

b) Pealtõhk.

Pealtõhku kasutatakse peamiselt suure lendainete-sisaldusega kütuste põletamisel. Sellistest kütustest põleb võrdlemisi väike osa restipinnal,



Joon. 92-a. Pealtõhu reguleerimise düüs.

kuna suurem osa põlevainet lendub gaasina kolderuumi. Et aga altõhk hästi ei segune põlevate gaasidega, mille tõttu mõnes koldeosas võib tekkida puudulik põlemine või halvemal juhul gaasid võivad kolderuumist isegi põlematult lahkuda, siis selle pahe vältimiseks puhutakse osa põlemisõhku nn. pealtõhuna otse kolderuumi. Pealtõhu-joa toimel intensiivistub gaaside segunemine õhuga ja põlemine muutub täielikumaks.

Pealtõhku antakse koldesse pilude või reguleeritavate düüside kaudu, mis asetsevad tavaliselt esimese võlvi kaares, ühtlaste vahedega üle kolde

laiuse. Õhu kiiruseks piludes või düüsides valitakse 50—70 m/sek. Selle kiiruse saavutamiseks peab pealtõhu-ventilaator arendama survet ligikaudu 300—450 mm Vs. Põlemise õigeks reguleerimiseks koldes peavad piludesse suubuvad õhutorud olema varustatud reguleeritavate siibritega, millede abil on võimalik rohkem õhku anda intensiivsema põlemise piirkonda.

Pealtõhk võetakse kas üldisest, õhu eelsoojendist tulevast õhutorust või katlamüüritises olevaist jahutuskanaleist.

Pealtõhu hulgaks on tavaliselt 5—15% kogu põlemisõhu hulgast.

c) Puhumisõhk hõljuvpõlemisel.

Hõljuvpõletamisel jahvatatakse kütus peeneks tolmuks ja tolm, segatuna õhuga, puhutakse õhu ja tolmu seguna koldesse. Tolmuga segatav õhk on hõljuvpõlemisel primaarõhuks. Šahtveskitega süsteemi puhul surutakse primaarõhk õhu eelsoojendist ventilaatori abil šahtveskisse, mida läbides õhuvoolus võtab kaasa tolmu, viies ta šahti kaudu koldesse. Tolmu kuivatamiseks ja põlemisprotsessi kiirendamiseks kuumendatakse primaarõhk ette kuni 400°-ni C. Kui eelkuumendatud õhu soojusest ei piisa tolmu kuivatamiseks ja tolmu ning õhu segule vajaliku eelsoojenduse andmiseks, siis imetakse lisaks primaarõhule veel koldest kuumi suitsugaase. Sel korral puhutakse tolm koldesse koos õhu ja suitsugaasi seguga.

Õhu ja tolmu segu puhutakse koldesse neljakandiliste avade (ambrasuuride) kaudu. Segu kiirus avades valitakse 2—5 m/sek.

Šekundaarõhk antakse koldesse õhu ja tolmu segu avade all ja peal asetsevate pilude kaudu. Pilud on ühtlaselt jagatud kogu kolde laiusele ja suunatud nii, et koldesse voolav sekundaarõhk lõikaks õhu ja tolmu segu juga. Sekundaarõhu suure kiiruse toimel segatakse põlevad gaasid hästi õhuga, mistõttu kütuse põlemine muutub täielikumaks.

d) Õhutorustik.

Õhutorustikud valmistatakse raudplekist, enamasti nelinurkse põiklõikega. Eelsoojendatud õhu kasutamisel isoleeritakse nad soojuskadude vähendamiseks.

Torustiku takistus koosneb kahest tegurist: hõõrde- ja kohalikust takistusest.

Hõõrdetakistus on määratav valemiga:

$$p_h = \beta \frac{l}{R} v^2 \frac{\gamma}{2g},$$

kus: β — takistustegur
l — toru pikkus (m)
R — toru hüdrauliline raadius (m)
v — õhu kiirus (m/sek.)
γ — õhu erikaal (kg/m^3)
g — maakera kiirendus (m/sek^2).

Ümmargusele põiklõikele:

$$R = \frac{d}{4} \text{ ja } p_h = \lambda \frac{l}{d} v^2 \frac{\gamma}{2g},$$

kus $\lambda = 4\ \beta$ — hõõrdetegur.

Täisnurksele põiklõikele:

$$R = \frac{ab}{2(a+b)} \text{ ja } p_h = \lambda \frac{l(a+b)}{2\ ab} v^2 \frac{\gamma}{2g}.$$

λ määramiseks võib kasutada Nikuradse valemit:

$$\lambda = \frac{1}{[2 \log (Re\sqrt{\lambda} - 0{,}8)]^2},$$

kus $Re = \frac{vd}{\nu}$ (Reynolds'i arv)
v — õhu keskmine kiirus (m/sek.)
d — toru läbimõõt (m)
ν — õhu kinemaatiline viskoossus (m^2/sek.).
Tellisest kanalites on soovitatav valida

$$\lambda' = (2—3)\lambda.$$

Ümmargustele raudtorudele võetakse ligikaudse arvutuse juures: $\lambda = 0{,}02$.

Kohalikud takistused, s. o. takistused säärastes torustiku elementides, kus toimub kiiruse muutumine õhuvoolu suuna muutmisega, määratakse valemiga

$$p_k = \zeta\ v^2 \frac{\gamma}{2g},$$

kus ζ — kohaliku takistuse tegur, mis määratakse katseliselt, vastavalt iga takistuse iseloomule.

e) Põlemisgaaside eemaldamine.

Põlemisgaaside eemaldamist teostatakse kas korstna (loomulik tõmme) või tõmbeventilaatori abil (kunstlik tõmme).

Tõmbeseadmel on kaks ülesannet: 1) põlemisõhu pidev juurdeandmine põlevale kütusele ja põlemisproduktidele liikumise andmine katlakäikudes, 2) gaaside juhtimine nõutavasse kõrgusesse korstna abil.

Õhu ja gaaside liikuma panemiseks kulutatakse tõmbeseadmes tööd, mis sooritatakse loomuliku tõmbe korral gaaside soojusesisalduse arvel ja kunstliku tõmbe korral tõmbeventilaatoriga.

Töö, mis tehakse gaaside soojusesisalduse arvel, võib jagada järgmisteks osadeks:

1) põlemisõhule kiirenduse andmiseks kuluv töö,
2) resti ja kütusekihi takistuse ületamiseks kuluv töö,
3) katla küttepindade, auru ülekuumendi, toitevee ökonomaiseri ja katla gaasikäikude takistuse ületamiseks kuluv töö,
4) töö, mis kulub gaaside tõstmiseks korstna ülemise põiklõikeni,
5) soojuskaod gaasikäikude ja korstnaseina kaudu,
6) soojuskaod korstnast lahkuvate gaasidega.

Loetletud kuuest osast kulutatakse neli esimest gaaside liikvelhoidmiseks. Seejuures tuleb tähelepanu omistada gaaside kiirustele, mis on vajalikud soojusülekannete tagamiseks üksikutes katelseadme küttepindade osades.

Loetletud nelja esimese töö teostamiseks on vajalik, et koldesse antava õhu ja katelseadmest lahkuvate gaaside staatiliste survete vahel oleks teatud vahe.

Loomuliku tõmbe korral tekib staatiliste survete vahe külma õhu ja kuumade gaaside sammaste kaalude vahe tõttu. Kunstliku tõmbe korral saavutatakse survete vahe vastava seadme tööga, mis tekitab katelseadme lõpus alasurve ventilaatori imemise toimel, või õhuventilaatori abil, mis tekitab resti all ülesurve. Tihti kasutatakse survete vahe tekitamiseks mõlemat moodust. Viimasel juhul tuleb arvutus teostada kaalutlusel, et kolderuumis oleks surve madalam kui katlamajas, et vältida leegi väljalöömist koldest.

Loomuliku tõmbe korral võib gaaside ja õhu kiirused määrata valemitega:

$$w = \varphi \cdot 4{,}43 \sqrt{H \frac{t - t_o}{273 + t_o}} \text{ (m/sek.)},$$

$$w_o = \varphi \cdot 4{,}43 \sqrt{H \frac{t - t_o}{273 + t}} \text{ (m/sek.)},$$

kus: w — gaaside keskmine kiirus korstnas
w_0 — resti alla antava õhu kiirus

H — korstna kõrgus (m)
t — suitsugaaside temperatuur °C
t_0 — õhu temperatuur °C
φ = 0,25 — 0,30.

Korstna kõrgus on arvutatav valemiga:

$$H = \frac{\left(\frac{B}{F}\right)^2}{11560} \text{ (m)},$$

kus: H — korstna kõrgus restipinnast korstna tipuni
B — põletatava kütuse hulk kg/h
F — korstna põiklõige m².

$$F = \frac{BG\,(1 + \beta t) \cdot 760}{3600\ \Delta_0\ wb} \text{ (m}^2\text{)},$$

kus: G — 1 kg kütusest saadud gaaside kaal kg-des
$\beta = \frac{1}{273}$
t — keskm. gaaside temperatuur °C korstnas
Δ_0 — gaaside erikaal kg/nm³
w — keskm. gaaside kiirus m/sek. korstnas
b — baromeetriline rõhk mm Hg.

Orienteerivaiks arvutusteks võib kasutada valemit:

$$d = \frac{\sqrt{B}}{20} \text{ (m)},$$

kus d — korstna läbimõõt.

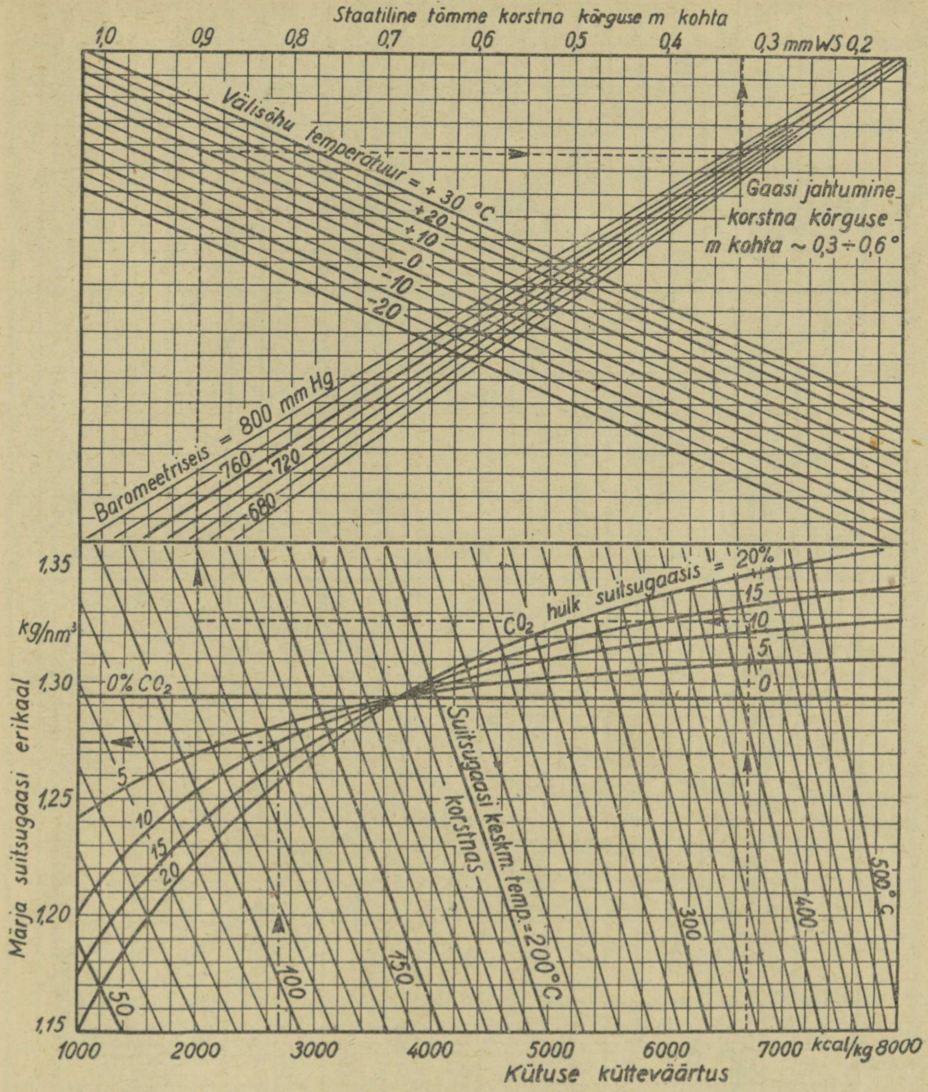
Kunstliku tõmbe puhul oleneb tõmbeventilaatori valik suitsugaaside hulgast ja katelseadme ning suitsukäikude takistusest.

Ventilaatori mootori võimsus on määratav valemiga:

$$N = 1{,}1\ \frac{Q \cdot h}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} \text{ (HJ)}$$

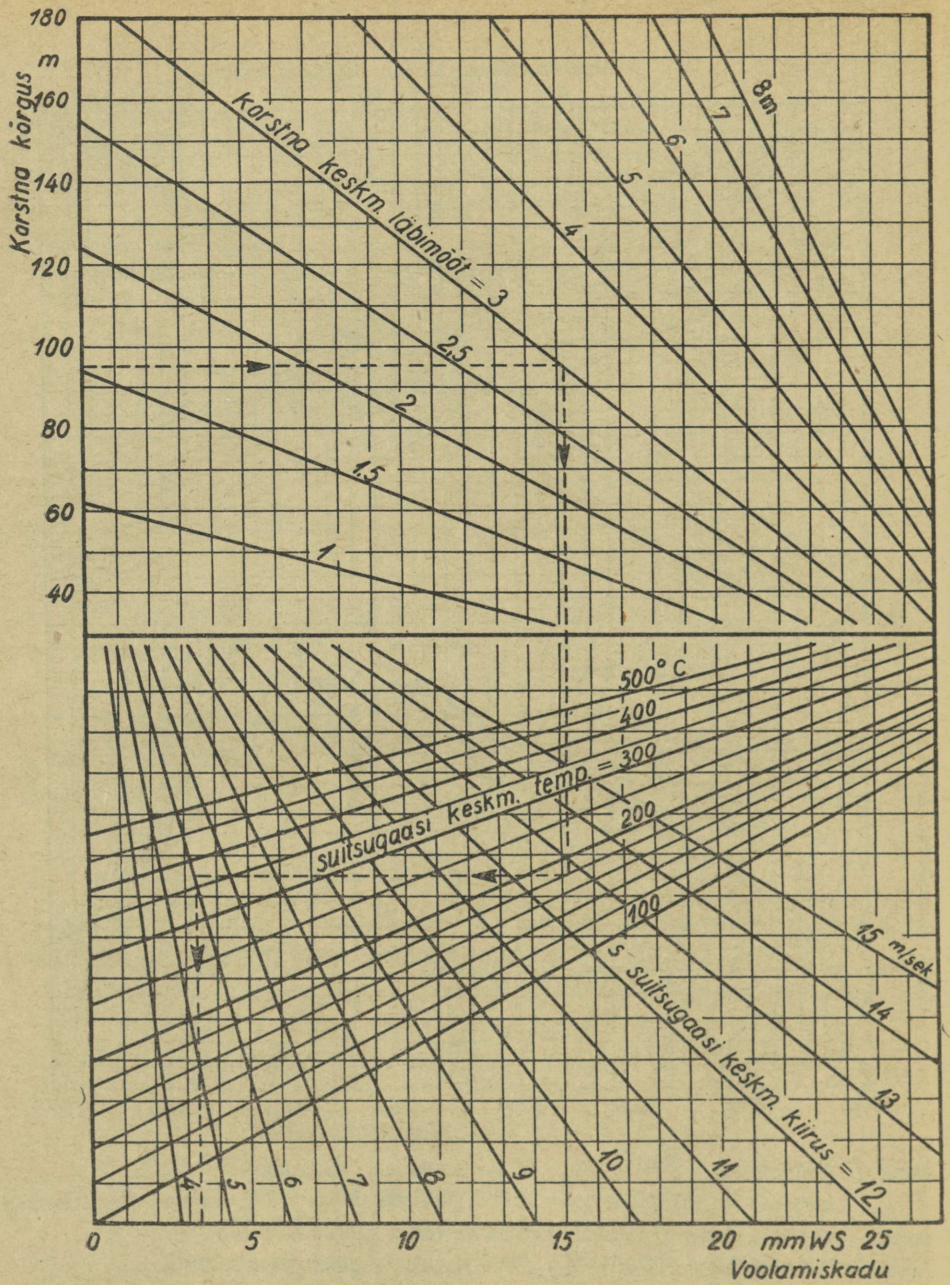
$$N = 1{,}1\ \frac{Q \cdot h}{3600 \cdot 102 \cdot \eta} \text{ (kW)},$$

kus: Q — ventilaatori võimsus m³/h
h — ventilaatori poolt arendatav kogusurve
η — agregaadi kasutegur
η = 0,5 — 0,6, kui h < 100 mm Vs
η = 0,5 — 0,7, kui h = 100 — 400 mm Vs
1,1 — tagavarategur.



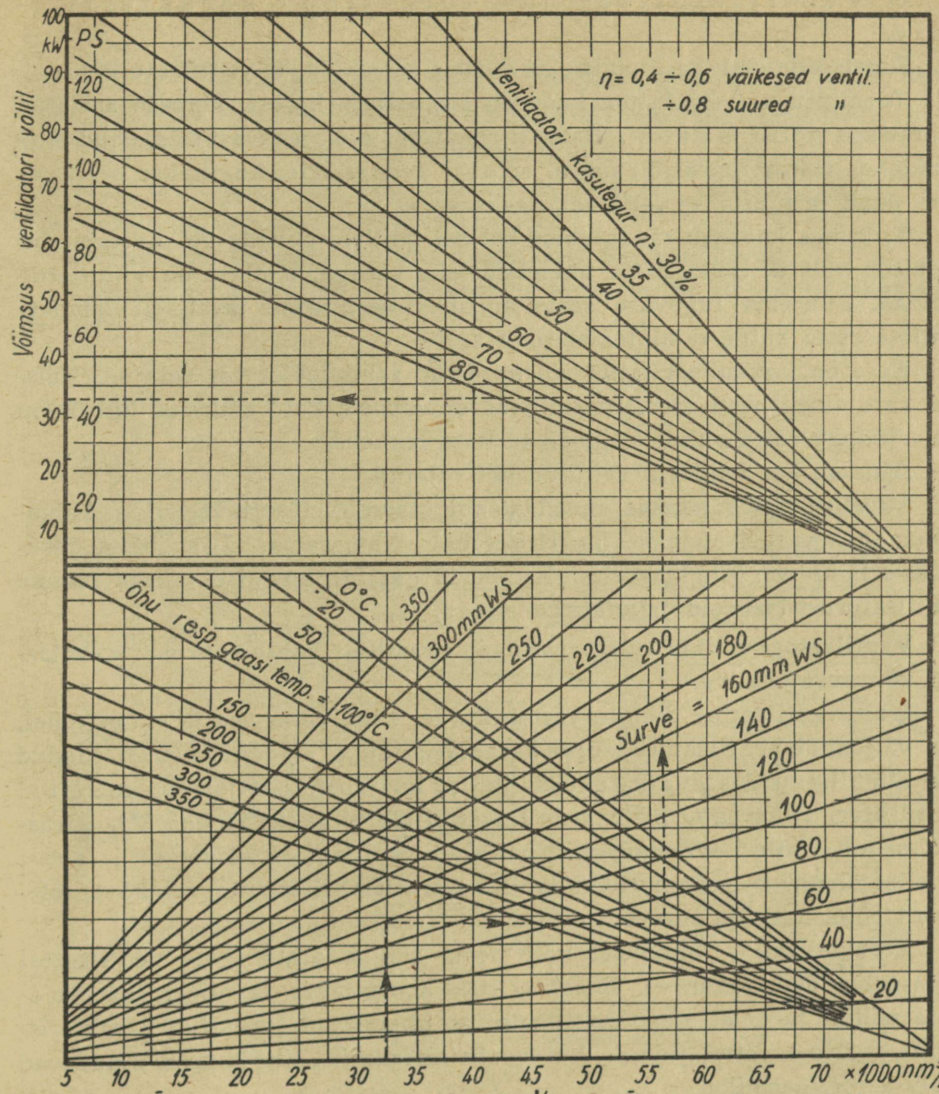
Näide 1: Küttevääartus = 6700 kcal/kg, CO_2 – sisaldus suitsugaasis = 12%
suitsugaasi keskm. temp. = 120°C, välisõhu temp. = +10°C, barom.-seis = 760 mm Hg
annab: staatiline tõmme korstna kõrguse m kohta 0,324 mm WS
Näide 2: Küttevääartus = 2700 kcal/kg, CO_2 – sisaldus suitsugaasis = 10%
annab: suitsugaasi erikaal = 1,274

Joon. 93. Korstna staatiline tõmme ja suitsugaaside erimaht.



Näide Korstna kõrgus 95m, korstna keskm. läbimõõt = 3m, suitsugaasi keskm. temp. = 180° C, suitsug. keskm. kiirus = 6 m/sek
annab: voolamiskadu hõõrdest ja väljumisest = 3,4 mmWS

Joon. 94. Korstna hõõrde- ja väljumiskadu.



Näide: Õhu resp suitsugaasi hulk = 32400 n m³/h
Surve = 120 mm WS
Õhu resp. suitsugaasi temp. = 150° C
Ventilaatori kasutegur = 50 %
Annab: võimsus ventilaatori võllil = 32,4 kW

Joon. 95. Ventilaatorite jõukulu.

f) Ventilaatorite ja torustike karakteristikuid.

Katelseadmetel kasutatakse tavaliselt tsentrifugaalventilaatoreid.

Tsentrifugaalventilaator koosneb spiraalsest kerest, keresse asetatud tiibrattaga võllist ja alusest. Ratta tiirlemisel sisselaskeavast sisenenud õhk surutakse tsentrifugaaljõu mõjul rootori perifeeriale, kogutakse spiraalse kere poolt ja juhitakse välja väljalaskeava kaudu.

Tiibratas koosneb raudplekist kettast, millele poltide või neetide abil kinnitub valatud puks ratta ühendamiseks võlliga. Kettale on kinnitatud labidad. Suurema tugevuse saavutamiseks needitakse tavaliselt labidate lahtiste otste külge raudplekist rõngas.

Kere on kokkukeevitatud või needitud raudplekist või valatud. Valatud kere omab head aerodünaamilised omadused, kuid suurema kui 0,4 m läbimõõduga ratta puhul kujuneb ta liiga raskeks.

Alus on kas kokku keevitatud või valatud.

Tavaliselt sidestatakse ventilaatorid otseselt elektrimootoriga. Rihmülekande korral asetatakse laagrite vahele rihmaratas. Laagritena kasutatakse kuul- või liuglaagreid. Kuumade gaaside imemiseks kasutatavate ventilaatorite laagreid jahutatakse veega.

Ventilaatori valikul tuleb arvestada peamiselt kahte suurust: ventilaatori võimsust ja survet.

Igale ventilaatori tüübile vastab kindel suhe võimsuse ja surve vahel, mis väljendub ventilaatori „surve karakteristikuga". Joonisel 96 on toodud üks tüübilisemaid surve karakteristikuid, kus abstsissteljele on märgitud ventilaatori võimsus Q m³/h ja ordinaatteljele — surve H mm Vs. Graafikusse on kantud kõverad, mis näitavad ventilaatori võimsuse ja surve vahelist olenevust. Samuti on toodud ventilaatori kasuteguri kõver olenevalt võimsusest ja survest.

Karakteristiku tundmisel võib tema abil määrata igale ventilaatori võimsusele vastava surve. Karakteristik koostatakse tavaliselt katseandmete põhjal ja ta ei olene ventilaatoriga ühendatud torustiku karakteristikust, välja arvatud juhud, kui voolu sisenemise tingimused muudavad voolu aerodünaamikat.

Ventilaatori karakteristik koostatakse nii üld- kui ka staatilise surve põhjal. Üldsurve all mõistetakse üldsurvete vahet sisenemis- ja väljumispõiklõigetes:

$$H_{ü} = H_{ü}^{a} - H_{ü}^{b},$$

kus: $H_{ü}^{a}$ — väljumistorus valitsev üldsurve mm Vs

$H_{ü}^{b}$ — sisenemistorus „ „ „

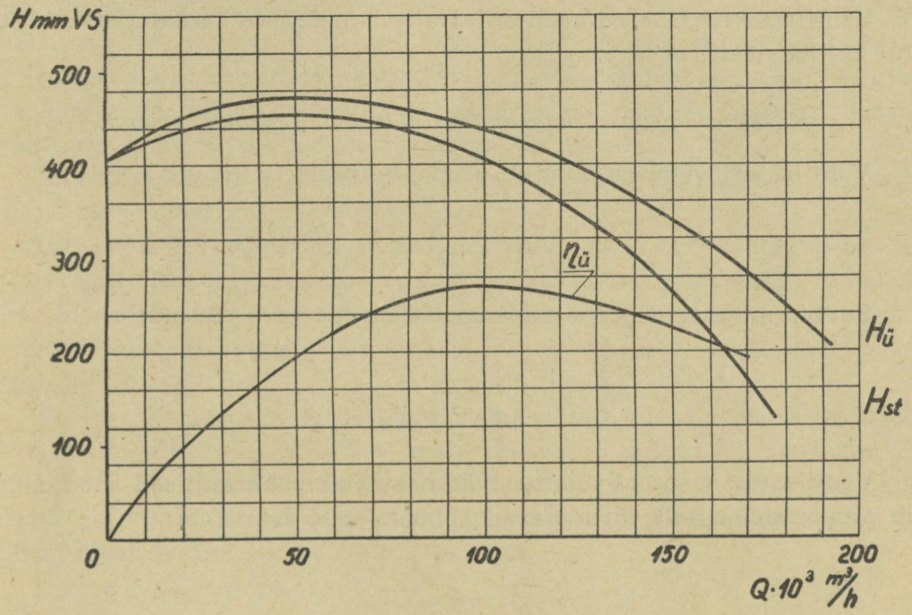
$$H_{ü}^{a} = H_{st}^{a} + H_{dün}^{a};\ H_{ü}^{b} = H_{st}^{b} + H_{dün}^{b},$$

kus: H_{st}^{a} ja H_{st}^{b} — staatilised surved vastavais põiklõigetes, mida tavaliselt mõõdetakse U-kujulise tõmbemõõtjaga, kusjuures surve märgitakse pluss- ja hõrendus — miinusmärgiga.

$H_{dün}^{a}$ ja $H_{dün}^{b}$ — dünaamilised surved vastavais põiklõigetes — mõõdetakse vahetult või saadakse arvutuse teel.

Üldsurve on samuti mõõdetav U-kujulise tõmbemõõtjaga.

Ventilaatori staatiline surve võrdub üldsurve ja survetoru dünaamilise surve vahega:



Joon. 96. Ventilaatorite karakteristikud.

$$H_{st} = H_{ü} - H_{dün}^{a} = H_{st}^{a} - H_{st}^{b} - H_{dün}^{b}.$$

Peale survekarakteristiku antakse veel ventilaatori karakteristik olenevalt tema kasutegurist, s. o. kasuteguri muutumise kõver, sõltuvalt võimsusest.

Vastavalt üld- ja staatilisele survele vaadeldakse ka ventilaatori üld- ja staatilist kasutegurit:

$$\eta_{ü} = \frac{Q\,H_{ü}}{N \cdot 102 \cdot 3600}\%,$$

$$\eta_{st} = \frac{Q\,H_{st}}{N \cdot 102 \cdot 3600}\%,$$

kus: $\eta_{ü}$ ja η_{st} — üld- ja staatiline kasutegur

N — ventilaatori mootori võimsus kW.

Survetorustikku mitteomavatel seadmetel, mis töötavad väljumisega atmosfääri, s. o. seal, kus dünaamilist survet ei esine, on otstarbekas kasutada masinate võrdluseks staatilise surve järgi koostatud karakteristikuid.

Katelseadme õhuventilaatoritel, kus alati esineb survetorustik, tuleb kasutada üldsurve järgi koostatud karakteristikuid.

Ventilaatorite tehased annavad tavaliselt masinate karakteristikuid nii üld- kui ka staatilise surve järgi.

Karakteristikute muutumine sõltuvalt tiirude arvust.

Ventilaatori võimsus muutub proportsionaalselt tiirude arvule:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Surved muutuvad proportsionaalselt tiirude arvu ruutudele:

$$\frac{H_{ü2}}{H_{ü1}} = \frac{n_2^2}{n_1^2}; \quad \frac{H_{st2}}{H_{st1}} = \frac{n_2^2}{n_1^2}.$$

Ventilaatori mootori võimsus, välja arvatud mehhaanilised kaod, muutub proportsionaalselt tiirude arvu kolmandatele astmetele:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{n_2^3}{n_1^3}.$$

Õhu erikaalu muutumisega muutuvad karakteristlikud suurused järgmiselt:

a) ventilaatori võimsus jääb muutumatuks:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \ldots\ldots$$

b) üld- ja staatiline surve muutuvad proportsionaalselt erikaalule:

$$\frac{H_{ü2}}{H_{ü}} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}; \quad \frac{H_{st2}}{H_{st1}} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}$$

c) ventilaatori mootori võimsus, välja arvatud mehhaanilised kaod, muutub proportsionaalselt erikaalule:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}.$$

Üksikute karakteristikute punktide arvutamisel uutele n-le ja γ-le muutuvad ainult võimsus, surve ja mootori võimsus, kuna kasutegur jääb muutumatuks.

Torustiku karakteristik.

Torustiku karakteristikuks nimetatakse kõverat, mis väljendab torustiku takistust, olenevalt läbivoolava õhu hulgast. Vastavalt ventilaatori karakteristikule võivad torustiku karakteristikud olla antud kõveratena, mis väljendavad üldsurvete kadusid, olenevalt läbivoolava õhu hulgast (kaasa arvatud väljumiskaod), või kõveratena, mis väljendavad survekadude olenevust õhuhulgast, arvestamata väljumiskadusid.

Esimest olenevust nimetatakse torustiku karakteristikuks üldsurve järgi, teist — staatilise surve järgi.

Survekaod torustikus on proportsionaalsed gaasi erikaalule. Olenevalt sellest omab üks ja sama torustik erinevaid takistuskõveraid. Seetõttu tuleb torustiku karakteristiku juurde tingimata märkida gaasi erikaal. Torustiku karakteristiku määramine toimub üheaegselt ventilaatori proovimisega.

Uue projekteeritava torustiku karakteristiku määramisel tuleb arvutus teostada üksikute torustiku osade takistuste põhjal nii imi- kui ka surupoolel. Seejuures tuleb üksikute katlakoormuste ja vastavate õhuhulkade juures kamberkollete puhul arvestada töötavate põletite arvu ja kihispõlemise kollete puhul — kihi paksust.

Torustiku üldtakistus:

$$\Delta H = (\Sigma \Delta h)_{im} + (\Sigma \Delta h)_{sur} + h_{dün},$$

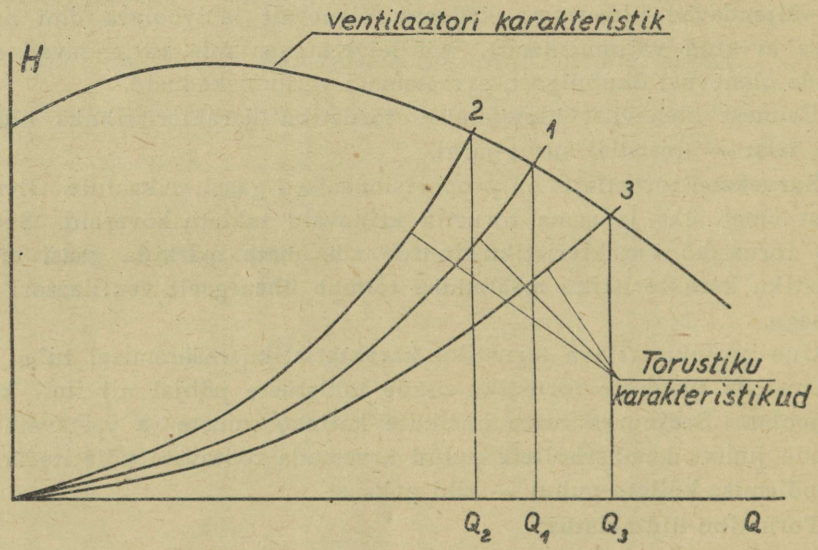
kus: $(\Sigma \Delta h)_{im}$ — kõikide kadude summa imipoolel mm Vs,
$(\Sigma \Delta h)_{sur}$ — kõikide kadude summa surupoolel mm Vs,
$h_{dün}$ — voolu dünaamiline surve torustikust väljumisel mm Vs.

Karakteristiku töötäpp.

Nagu eeltoodust selgub, sõltub ventilaatori võimsuse ja rõhu vaheline olenevus ainult ventilaatori konstruktsioonist.

Ventilaatori lülitamine ükskõik millisele torustikule ei muuda seda olenevust; torustiku ja ventilaatori karakteristikute kokkuasetamine määrab selle täpi ventilaatori karakteristikus, mille juures ventilaator töötab antud torustikku lülitatult. Seda täppi — kahe karakteristiku lõiketäppi — nimetatakse ventilaatori töötäpiks.

Joonisel 97 on toodud ventilaatori karakteristik ja mitmesuguste torustikkude karakteristikud. On ilmne, et üks ja sama ventilaator võib arendada erinevaid võimsusi, olenevalt sellest, millisele torustikule ta on lülitatud. Seda ventilaatorite iseärasust tuleb arvestada ventilaatori valikul olemasolevale torustikule. Tihti tehaselt tellitud ventilaator, vaatamata tema vastavusele tehase garantiile, ei rahulda katelseadme nõudeid seepärast, et tellimisel ei arvestatud õigesti torustiku karakteristikut.



Joon. 97. Ventilaatori ja torustiku karakteristiku töötäpp.

Toodud ventilaatori ja torustikkude karakteristikuist selgub, et ventilaator omab võimsuse Q_1 m³/h ainult siis, kui ta on lülitatud torustikule karakteristikuga 1. Kui torustiku karakteristikuks on 2, siis annab ventilaator nõutava võimsuse Q_1 m³/h asemel ainult võimsuse Q_2 m³/h. Ventilaatorit torustikule 3 lülitada on ebaökonoomne ja torustiku karakteristikut tuleb muuta reguleeriva siibri asetamisega torustikku või ventilaatori karakteristikut tuleb muuta reguleerimisseadmega.

Tabel 33. Tehase „Ökonomaiseri" poolt valmistatavate ventilaatorite näitarve.

Jrk.-nr.	Nimetus	Tüüp	Võimsus m³/h	Staatiline surve mm Vs	Imetava gaasi temp. °C	Tiirude arv minutis	Mootori võimsus kW
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Tõmbeventilaator	Д— 40/200	40000	200	200	960	46
2	„	Д— 82/170	82000	170	200	960	75
3	„	Д—100/220	100000	220	200	960	122
4	Ühepoolse imemisega altõhu-ventilaatorid	ВД— 35/240	35000	240	30	960	51
5		ВД— 35/280	35000	280	30	1450	65
6		ВД— 45/150	45000	150	30	960	46
7		ВД— 45/180	45000	180	30	960	55
8		ВД— 55/200	50000	200	30	960	75
9		ВД— 65/240	65000	240	30	960	95
10		ВД— 80/200	80000	200	30	960	100
11		ВД— 80/240	80000	240	30	960	115
12		ВД— 80/280	80000	280	30	960	155
13		ВД—105/180	105000	180	30	960	120
14		ВД—105/280	105000	280	30	960	180
15		ВД—105/300	105000	300	30	960	200
16	Kahepoolse imemisega altõhu-ventilaatorid	ВД—120/250	120000	260	30	960	185
17		ВД—125/380	125000	380	30	960	270
18		ВД—130/310	130000	310	30	960	235
19		ВД—135/250	135000	250	30	730	220
20	Veski-ventilaatorid	ВМ— 21/650	21000	650	90	1460	100
21		ВМ— 21/750	21000	750	90	1460	125
22		ВМ— 28/650	28000	650	90	1460	125
23		ВМ— 28/800	28000	800	70	1460	155
24		ВМ—28/1000	28000	1000	70	1460	175
25		ВМ—40/1100	40000	1100	70	1460	300
26		ВМ— 42/750	42000	750	70	1460	196
27		ВМ—50/1000	50000	1000	70	1460	300
28		ВМ— 55/900	55000	900	70	1460	340
29		ВМ— 60/525	60000	525	70	1460	200
30		ВМ—60/1100	60000	1100	70	1460	—
31	Sekundaarõhu ventilaatorid	ВОД— 6/135	6000	135	260	2950	4,9
32		ВОД— 6/300	6000	300	260	2950	18
33		ВОД— 9/300	9000	300	260	2950	25
34		ВОД— 10/300	10000	300	260	2950	27
35		ВОД— 12/280	12000	280	260	2950	29
36		ВОД— 15/350	15000	350	260	2950	32

3. Tuha koristamise seadmeid.

Tuha koristamise seadmed jagunevad oma iseloomult kolme tähtsamasse gruppi:

a) käsitsi koristamise seadmed,

b) mehhaanilised koristamisseadmed ja

c) hüdraulilised koristamisseadmed.

Tuha käsitsi koristamine on kasutamisel peamiselt väikekatelde puhul, kus koristamisele tulevad väikesed tuhahulgad. Käsitsi tuha koristamist teostatakse tavaliselt järgmiselt:

1) Rööbasteel laiusega 500—600 mm liigub kallutatav vagonett, mahuga ligikaudu 1 m^3, mis juhitakse katla tuhapunkri alla. Siibri avamisega lastakse tuhk vagonetti. Tuhaga täidetud vagonett lükatakse käsitsi välja tuhamäele. Kaugemal asetseva tuhamäe puhul haagitakse mitu vagonetti kokku rongiks, mida veab tuhamäele väike diiselvedur, kus tühjendamine toimub vagoneti kallutamisega.

2) Väikekatelde juures asetseb tuhavagonett, mahuga ligikaudu 0,5 m^3, resti all. Tuhaga täitumisel tõmmatakse vagonett käsitsi resti alt välja ja tühjendatakse tuhamäe puudumisel (linnades) katlamaja läheduses õuele tuhahunnikusse. Siit tõstetakse tuhk autole ja transporditakse tuhamäele.

Väikekatelde kolded asetsevad enamikus 2 kuni 3 m allpool maapinda. Sel juhul tõstetakse vagonett taliga üles maapinnale ja sõidutatakse tuhahunnikule.

3) Täis tuhavagonett tõstetakse katla tuharuumist — keldrist — „Demag"-elektritaliga üles ja sõidutatakse tuhakoguja kohale, kus ta tühjendub tuhakogujasse. Tühi vagonett sõidutatakse tagasi ja lastakse uuesti keldrisse. Tuhakogujaks on väljaspool katlamaja postidel asetsev raud- või betoonpunker või -punkrid.

Tuha väljalaskmine tuhakogujast toimub siibriga suletava ava kaudu tuhakoguja alt või küljelt. Väljalaskeava kõrgus valitakse maapinnast nii, et auto või tuhavagun mahuks ava alla. Siibri avamisel langeb tuhk autosse või vagunisse, millega ta eemale transporditakse.

Mahult valitakse tuhakoguja selline, et tema tühjendamise sagedus on kooskõlas käitise töö iseloomuga.

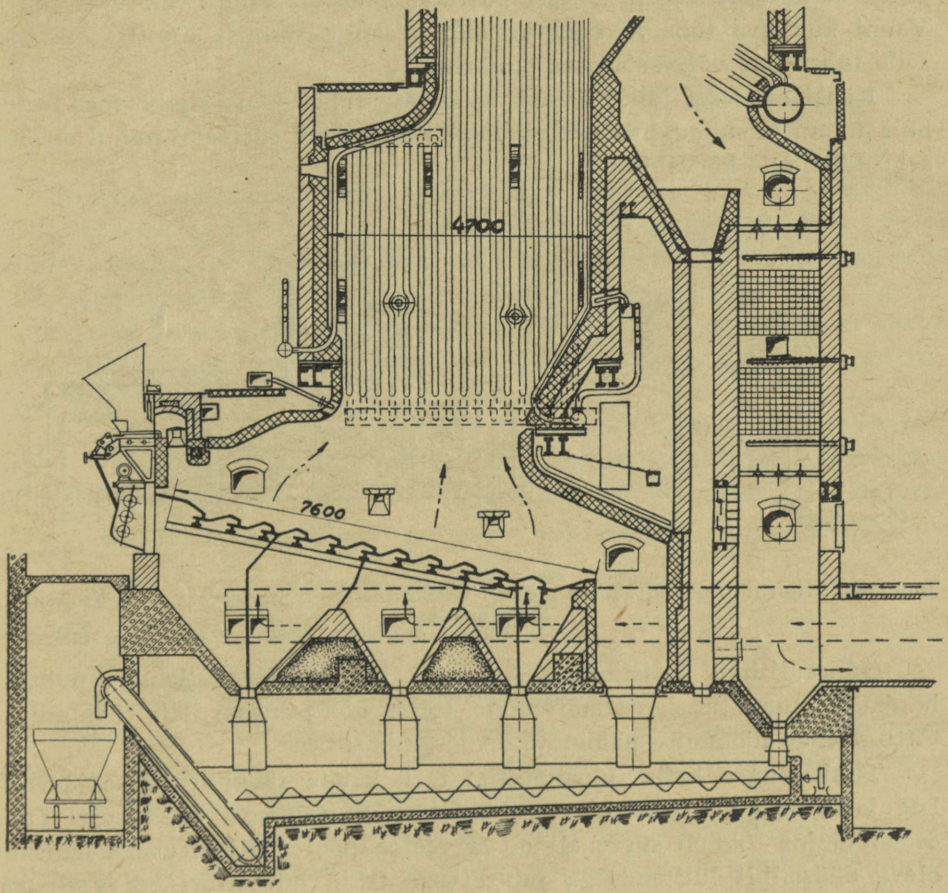
4) Tuhavagonett, mahuga ligikaudu 0,5 m^3, tõstetakse kald-juhtrööpaid mööda elektervintsiga üles ja kallutatakse tuhk tuhakogujasse või mitme koguja puhul torupükstesse. Viimastest juhitakse tuhk kaldtorusid mööda täitmisel olevasse tuhakogujasse. Tühi vagonett lastakse uuesti keldrisse täitmiseks.

Kõigi nelja eelnimetatud viisi puuduseks on see, et katlamaja tuharuumis või keldris valitseb tolm, mustus ja suits, mis teeb tuha koristamise ebameeldivaks ja raskeks.

Punkt 2 all mainitud juhul rikutakse ka katlamaja õu ja ümbrus tolmust ja suitsust, sest tuha laadimisel autole, samuti tuule mõjul paiskub tuhk laiali. Seetõttu tuleb eelistada punkti 3 või 4 all mainitud tuha-

koguja kasutamist. See võimaldab hoida katlamaja ümbruse puhtana ja nägusana, mis on sanitaarselt oluline.

Täismehhaanilisi tuha koristamise seadmeid kasutatakse enamikus neis katlamajades, kus ööpäevane tuhakogus on võrdlemisi suur ja käsitsi



Joon. 98. Kolle mehhaanilise tuhakoristamisseadmega.

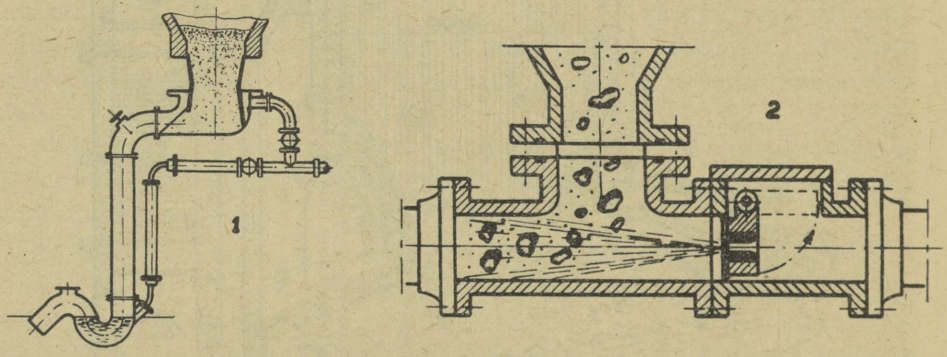
koristamine nõuaks palju inimtööjõudu. Täismehhaanilistest tuha koristamise viisidest on levinumad järgmised:

1) Tuhk juhitakse katla tuhapunkrist toru kaudu kopptransportöörile, mis viib tuha katlamaja läheduses olevale tuhamäele. Eemal asetseva tuhamäe puhul kallutab transportöör tuha raud- või betoonpunkrisse, kust ta lastakse kallutatavaisse koppadesse ja viiakse köisraudteed kaudu tuhamäele. Pärast tühjendamist pöörduvad kopad uuesti täitmiseks tagasi.

2) Katla tuhapunkrist lastakse tuhk toru kaudu köisraudtee kallutatavasse koppa ja viiakse tuhamäele, kus kopp tühjendub.

3) Katla tuhapunkri ava on suletud veevanniga, milles liigub nurkraudadest kraapija. Vanni juhitakse pidevalt vett, mis takistab õhu pääsu katla resti alla ja ühtlasi kustutab pidevalt vanni kukkuvat tuhka. Vanni kukkuva tuha ja räbu kraabib kraapija vannist lindile, mis viib selle tuhamäele või vastavasse punkrisse.

Kahel esimesel juhul esineb katlamaja tuharuumis siiski veel teatud hulk tolmu ja suitsu, mis aga viimasena nimetatud süsteemi puhul on peaaegu täielikult kõrvaldatud.



Joon. 99. Hüdrauliline tuhakoristamine. 1. Madalsurve-puhumisseade. 2. Kõrgsurve-puhumisseade.

Hüdraulilised koristamisseadmed on kasutamisel katlamaja puhtuse hoidmise, suure tuhakoristamisvõime, tolmuvaba transpordi ja töökindluse tõttu. Nende töötamise põhimõte on järgmine:

Tuhk langeb katla tuhapunkrist toru kaudu räbupurustisse ja sealt kogujasse, mis on siibri abil eraldatud veega täidetud juhttorust. Tuha eemaldumine toimub surve all oleva veejoa poolt. Käivitusmehhanismis oleva düüssiibri lülitamisega juhttorusse tekib düüssiibri ees vaakuum, mille toimel kolu siibri avamisel imetakse pealevarisev tuhk kaasa. Kustutatud tuhk juhitakse toru kaudu porina tuhamäele või tuhakogujasse rongiga äratransportimiseks. Katla punkrist tuha eemaldumise järel suletakse kolu siiber, kõrvaldatakse veelt surve ja lülitatakse düüssiiber juhttorust välja.

Hüdrauliliste seadmetega võib tuha kuni 1,5 km kauguse juures 30 m kõrguseni juhtida.

VII. Gaasigeneraatorid.

Tahkete kütuste kaasaegse gaasistamise eesmärk seisneb gaasi tootmises kütteks, valgustuseks, jõumajanduse tarbeks ja keemiatööstuse tooraineks. Ühtlasi võimaldab gaasistamine muundada madala väärtusega tahkeid kütuseid kõrgeväärtuslikeks gaaskütusteks esimeste täielikumaks ja hõlpsamaks kasutamiseks. Samaaegselt võib kütuste gaasistamisel saada väärtuslikke tehnoloogilisi lisaprodukte (äädikhape, puupiiritus, ammoniaak, väävelhape jm.).

Eesti NSV-s, kelle soojusenergeetilise baasi moodustavad peamiselt madala kütteväärtusega tuharikkad kütused, tuleb gaasistamisprotsessile omistada küllaldast tähelepanu uute seadmete väljatöötamisega ja olemasolevate kohandamisega kohalike kütuste iseärasustele.

1. Gaasistamisprotsessi põhijooni.

Kütuse gaasistamine võib toimuda:

gaasigeneraatoreis,

maa-aluse gaasistamise protsessiga.

Käesoleva teose raamides on käsitletud ainult esimest menetlust. Maa-alune gaasistamine, mis uue menetlusena on alles katsetamisjärgus, pole veel koha peal rakendamist leidnud.

Kütuse gaasistamiseks nimetatakse tahke kütuse jäägitut muundamist põlemisvõimeliseks gaaskütuseks, kusjuures mineraalset tuhka pole arvestatud jäägina. Seejuures on protsess isekulgev ja toimub tahkele kütusele õhu, sageli ka veeauru ja teiste gaaside juurdejuhtimisega. Gaasistamisprotsessiks vajalik soojus saadakse kütuse orgaanilise osa osalisest põlemisest generaatoris, s. o. kütuse põlevosa osalisest ühinemisest hapnikuga. Seejuures eralduvad suured soojushulgad võivad mõnikord põhjustada tehnilisi raskusi. Nende vältimiseks juhitakse generaatorisse harilikult veeauru või mõnda gaasi, mis kõrgel temperatuuril kütuse süsinikuga reageerides mõjuvad soojust neelavalt, endotermiliselt. Neelatud soojus vabaneb uuesti generaatorigaasi põletamisel põlemisseadmes.

Gaasigeneraator kujutab endast tavaliselt vertikaalset, restidega seadistatud šahti (kaevust), mis on osaliselt täidetud kütusega ja milles toimub kütuse gaasistamine. Kütus antakse generaatorisse ülevalt, tuhk eemaldatakse alt. Kütuse juurdeandmine ja tuha eemaldamine toimub kas käsitsi või mehhaaniliselt.

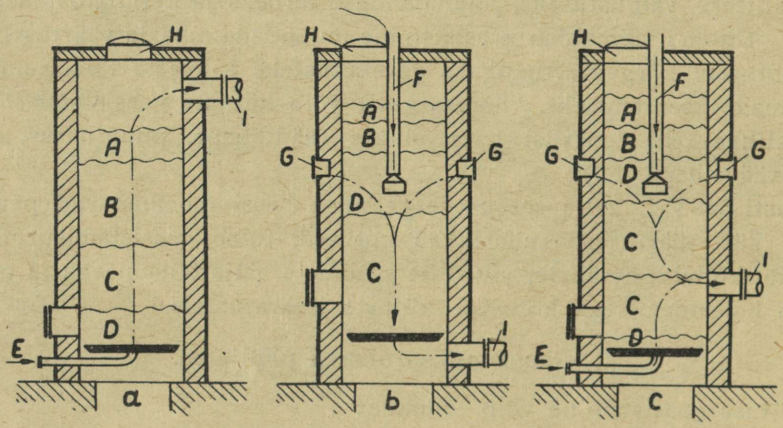
Sõltuvalt gaasistamisprotsessi iseloomust jaotatakse generaatorid:

otsese protsessiga (joon. 100, *a*),

pöördprotsessiga (joon. 100, *b*),

horisontaalse protsessiga (joon 100, *c*) generaatoriteks.

Seejuures võivad generaatorid olla kas ühe või kahe põlemistsooniga ehk -vöötmega.



Joon. 100. Gaasistamisprotsessi skemaatiline kujutis. *a* — otsese protsessiga, *b* — pöördprotsessiga, *c* — horisontaalse protsessiga kahe põlemistsooniga, *A* — kuivatustsoon, *B* — utmistsoon, *C* — taandumistsoon, *D* — põlemistsoon, *E* — altõhu sissejuhtimine, *F* — tsentraalne õhu sissejuhtimine, *G* — perifeerne õhu sissejuhtimine, *H* — kütuse täiteava, *I* — gaasi äravool.

Otsese protsessi puhul juhitakse põlemisõhk resti alla, gaas väljub generaatori ülaosast. Kütuse ja gaasi liikumise suunad on vastupidised. Otsene protsess on sobiv tõrvavaestele kütustele.

Pöördprotsessi puhul juhitakse põlemisõhk ligikaudu šahti kõrguse keskkohas resti peale, gaas väljub resti alt. Kütus ja gaas liiguvad samas suunas. Pöördprotsess on sobiv tõrvarikaste kütuste kasutamisel, kuna utmisvöötmes eraldunud tõrvained, läbides süsinikukihi põlemisvöötmes, viimases lagunevad.

Horisontaalse protsessi puhul juhitakse põlemisõhk resti alla, gaas väljub resti pealt (või ümberpöördult) generaatori allosas. Gaasi ja

kütuse liikumise suunad on teineteisega risti. Tõrvarikaste kütuste gaasistamiseks kasutatakse pöördprotsessi kõrval ka kahe põlemistsooniga generaatoreid, juhtides osa põlemisõhku generaatori ülaosse.

Generaatorisse puistatud kütus generaatori ülaosas, nn. kuivatustsoonis (*A*), kuiveneb, vabanedes niiskusest. Temperatuur kuivatustsoonis on < 200° C. Allapoole langemisel tekib nn. utmis- ehk destillatsioonitsoonis (*b*) ligikaudu 250—300° C t°-l intensiivne kütuse lagundumine ehk utmine (kuivdestillatsioon), kusjuures produktid eralduvad aurudena või gaasidena (süsihappegaas, rasked süsivesinikud, peamiselt etüleen ja metaan, vesinik, süsihapend, äädikhape, puupiiritus, lämmastik, ammoniaak, väävelvesinik jt.). Küllaldasel kuumendamisel eralduvad uttegaasid ja aurud 300—600° C t°-l peaaegu täielikult. Edasisel temperatuuri tõstmisel jätkub eriti vesiniku — H_2 — eraldumine. Utmistsooni temperatuur mitmesugustel generaatoritüüpidel ulatub 200—700°-ni C. Otsese protsessiga generaatoris järgneb utmisvöötmele taandamis- ehk redutseerimistsoon (*C*). Põlemistsoonis (*D*) reageerib generaatorisse juhitud õhuhapnik kütuse koksistunud süsinikuga, mille tulemusena tekib süsihappegaas, CO_2, ja eraldub soojus (eksotermiline protsess):

$$C + O_2 = CO_2 + 97\,650 \text{ kcal/mool.}$$

Osa süsinikku põleb põlemisvöötmes süsihapendiks, CO-ks:

$$2\,C + O_2 = 2\,CO + 58\,860 \text{ kcal/mool.}$$

Temperatuur põlemisvöötmes ulatub 1100—1300°-ni C.

Süsihappegaas, läbides redutseerimisvöötmes süsinikukihte, taandub CO-ks, kusjuures tekkiv protsess on soojust neelav (endotermiline):

$$C + CO_2 = 2\,CO - 38\,790 \text{ kcal/mool.}$$

Täpsemalt väljendades on eelmine protsess pöörduv, s. o. ta kulgeb mõlemas suunas:

$$C + CO_2 \rightleftarrows 2\,CO \mp 38\,790 \text{ kcal/mool, s. t.}$$

süsihappegaas, CO_2, läbides C kihte, ei taandu ainult CO-ks, vaid vastupidi, ka CO võib laguneda C-ks ja CO_2-ks. Dünaamilises tasakaalus olev süsteem $C - CO_2 - CO$ sõltub temperatuurist ja on määratav eksperimentaalselt. Reaktsiooni

$$C + CO_2 \rightleftarrows 2\,CO$$

tasakaalukonstant K määratakse avaldisega

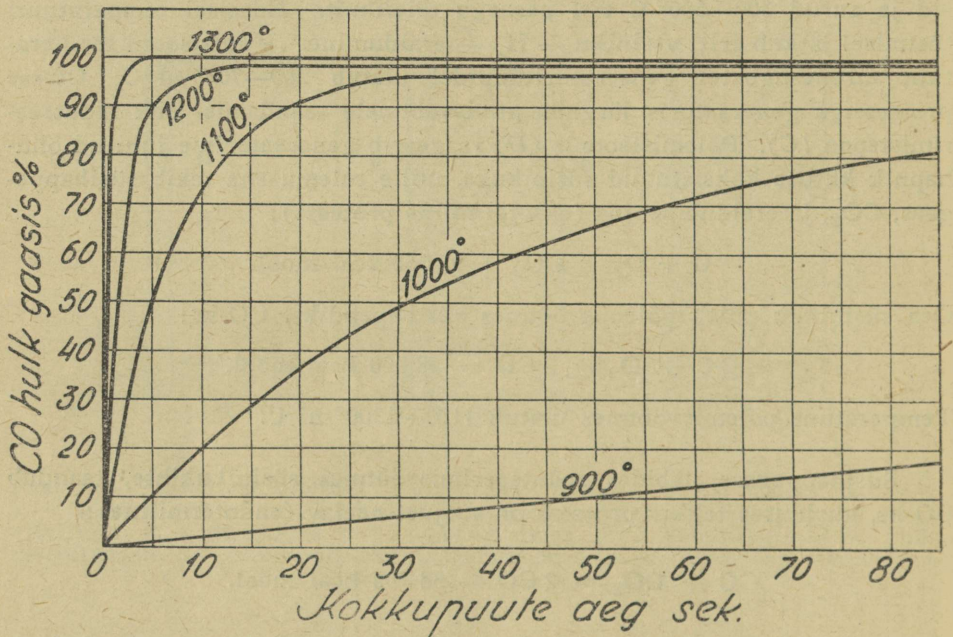
$$K = \frac{p^2_{CO}}{p_{CO_2}} \text{ või } K = P\frac{x^2}{1-x}, \text{ kus}$$

p_{CO} ja p_{CO_2} — süsihapendi ja süsihappegaasi vastavad partsiaalrõhud generaatorigaasis,

p — CO ja CO_2 — kogurõhk,

x — süsihapendi moolmurd.

Reaktsioonil tekkiva CO hulk sõltub kontakti ehk kokkupuute kestusest, temperatuurist ja kütuse liigist (joon. 101 ja 102). Ühe ja sama



Joon. 101. CO tekkimise kiirus CO_2-st koksis, sõltuvalt temperatuurist ja kokkupuuteajast.

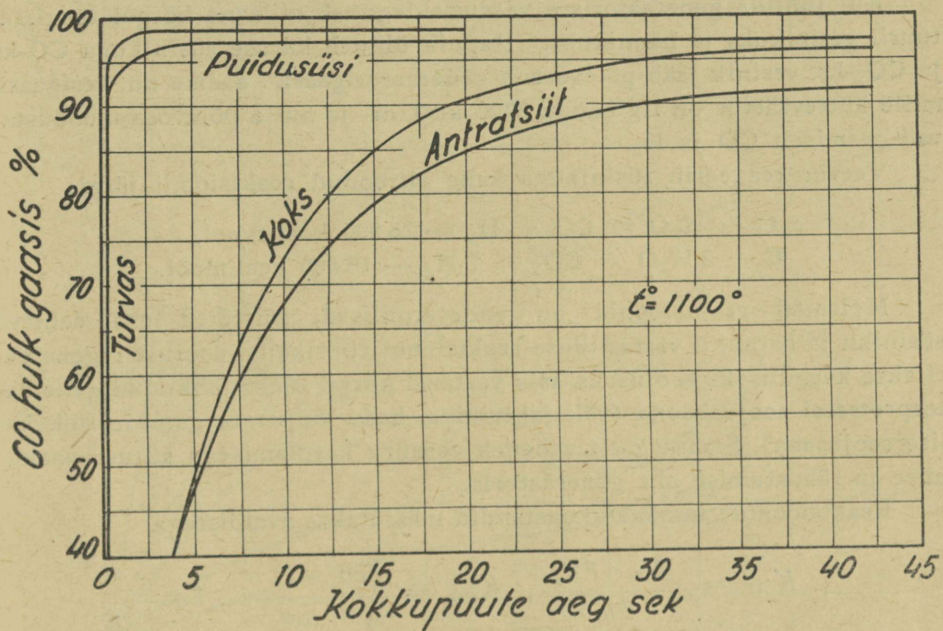
kütuse puhul on tekkiva CO hulk seda suurem, mida pikem on reaktsiooni kestus ja mida kõrgem on temperatuur. Reaktsiooniks vajalik temperatuur on üle 1000° C.

CO tunduv hapendumine CO_2-ks, mida tuleb protsessil võimalikult vältida, sest CO_2 on mittepõlev gaas, on põhjustatud liiga kiirest gaasivoolust generaatoris, madalast ja ebaühtlasest temperatuurist taandumisvöötmes, ebaühtlasest gaasi jaotusest generaatori põiklõikele ja ebaühtla-

sest kütuseosakeste ümbritsemisest gaasi poolt. Süsihappegaasi hulka saab vähendada kütusetüki suuruse sobiva valikuga, kütuse sortimisega ja generaatori täielikuma koormamisega, mis tagab taandumisvöötmes küllaldast temperatuuri. Mitmesugustel generaatoritüüpidel ulatub temperatuur taandumisvöötmes 700—1100°-ni C (1200° C).

Pöördprotsessiga generaatoris järgneb kütuse liikumise suunas kuivatus- ja utmisvöötmele põlemisvööde ja viimasena taandumisvööde (joon. 100, *b*).

Eespoolkirjeldatud menetlus, kus generaatorisse kütusele lisaks juhitakse ainult õhku, võimaldab saada nn. generaatorigaasi, mille küttevääртus kõrgeväärtuslike kütuste puhul on ligikaudu 1100—1300 kcal/m^3 ja



Joon. 102. Süsiniku liigi mõju CO tekkimisele temperatuuril 1100° C.

mille peamiseks põlevosaks on CO. Sellist menetlust kasutatakse peamiselt generaatoreis vedelräbu eemaldamisega ja kuivtuha kõrvaldamisega neil juhtudel, kui pole karta resti räbustumist, mis võib tekkida tingituna kõrgest temperatuurist.

Kirjeldatud menetlusel süsiniku põlemisel süsihapendiks,

$$2\,C + O_2 = 2\,CO + 58\,860 \text{ kcal/mool},$$

s. o. 24 kg süsiniku põlemisel CO-ks, eraldub soojust 58 860 kcal, mis moodustab ligikaudu 30% generaatorisse juhitud süsiniku potentsiaalsest soojusest. Et CO kõrval tekib generaatoris praktiliselt ka CO_2, siis ei ületa sellise menetlusega generaatori kasutegur 70%. Arvestades generaatori jahtumist ja kadusid väljuvate gaaside ning tuha füüsikalisest soojusest, lendtahmast jm., on generaatori kasutegur praktiliselt alla 70%.

Põlemisõhu sisseviimine generaatorisse võib toimuda õhu juhtimisega:

a) restialusesse ruumi,
b) perifeerselt — kere ümbermõõdu kogu pikkusel,
c) tsentraalselt — generaatori keskteljele,
d) segasüsteemina — kombinatsioonina eelmistest.

Kui juhtida generaatorisse veeauru, laguneb viimane kõrgel temperatuuril vesinikuks ja hapnikuks. Hapnik ühineb kütuse süsinikuga CO-ks ja CO_2-ks, vesinik jääb põlevosana generaatorigaasi. Saame nn. vesigaasi, mille küttevääртus on ligikaudu 2700 kcal/m³ ja mille põlevosa moodustavad peamiselt CO ja H_2.

Veeaur reageerib süsinikuga kahe alltoodud reaktsiooni järgi:

$$C + H_2O = CO + H_2 - 28\,800 \text{ kcal/mool},$$
$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2 - 18\,800 \text{ kcal/mool}.$$

Mõlemad reaktsioonid on endotermilised, mistõttu osa eelneva süsiniku ja hapniku vastastikuse reaktsiooni füüsikalist soojust regenereeritakse keemiliseks soojuseks, mis vastasel korral oleks lahkunud generaatorprotsessi soojuskaona (välisjahtumine, kadu väljuvate gaaside füüsikalise soojusena). Samaaegselt väheneb veeauru kasutamisega kütuse paakumise ja räbustumise oht generaatoris.

Reaktsioonide tasakaalukonstandid määratakse avaldistega

$$K_{CO} = \frac{p_{CO} \cdot p_{H_2}}{p_{H_2O}}, \quad K_{CO_2} = \frac{p_{CO_2} \cdot p^2_{H_2}}{p^2_{H_2O}}, \text{ kus}$$

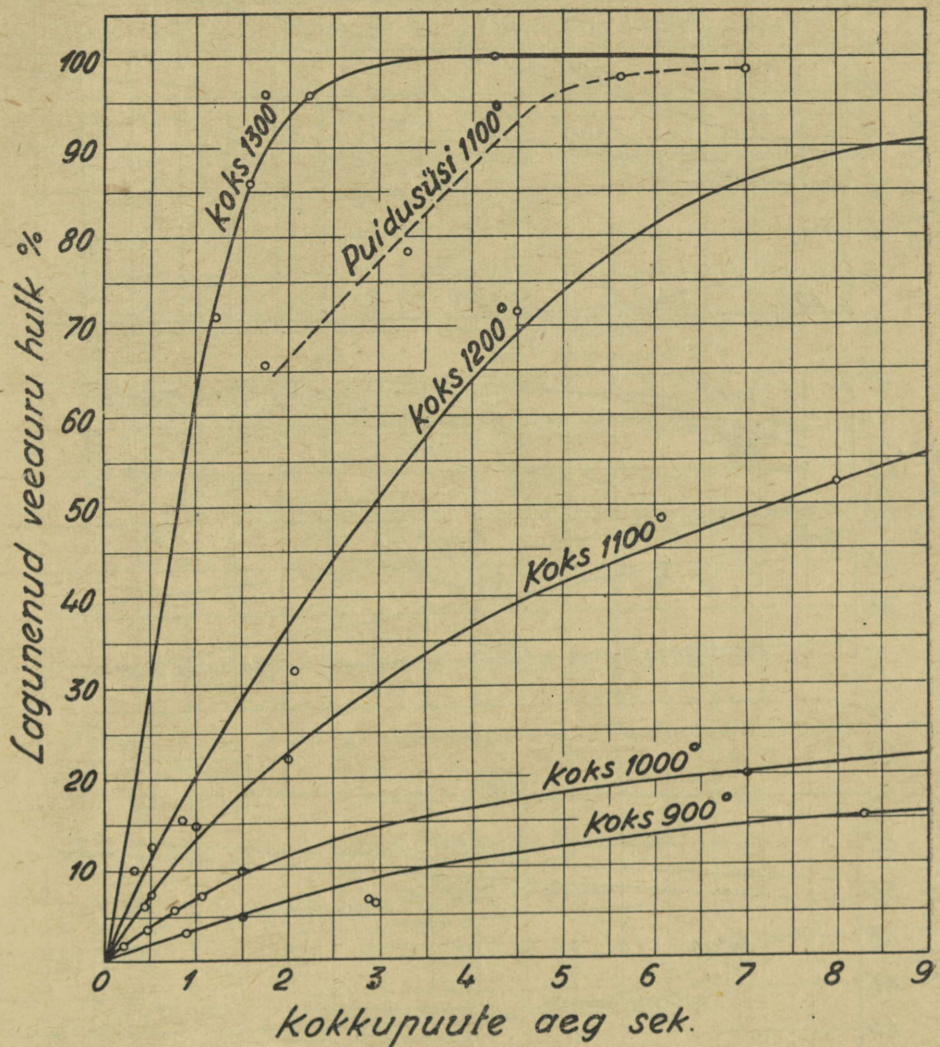
p_{CO}, p_{H_2}, p_{H_2O} ja p_{CO_2} on vastavalt süsihapendi, vesiniku, veeauru ja süsihappegaasi partsiaalrõhud generaatorigaasis.

Paralleelselt eeltoodud reaktsioonidele kulgevad pöörduv reaktsioon

$$H_2O + CO \rightleftarrows H_2 + CO_2 \pm 10\,000 \text{ kcal/mool ja reaktsioonid}$$
$$2H_2 + O_2 = 2H_2O + 115\,600 \text{ kcal/mool},$$
$$2CO + O_2 = 2CO_2 + 136\,440 \text{ kcal/mool}.$$

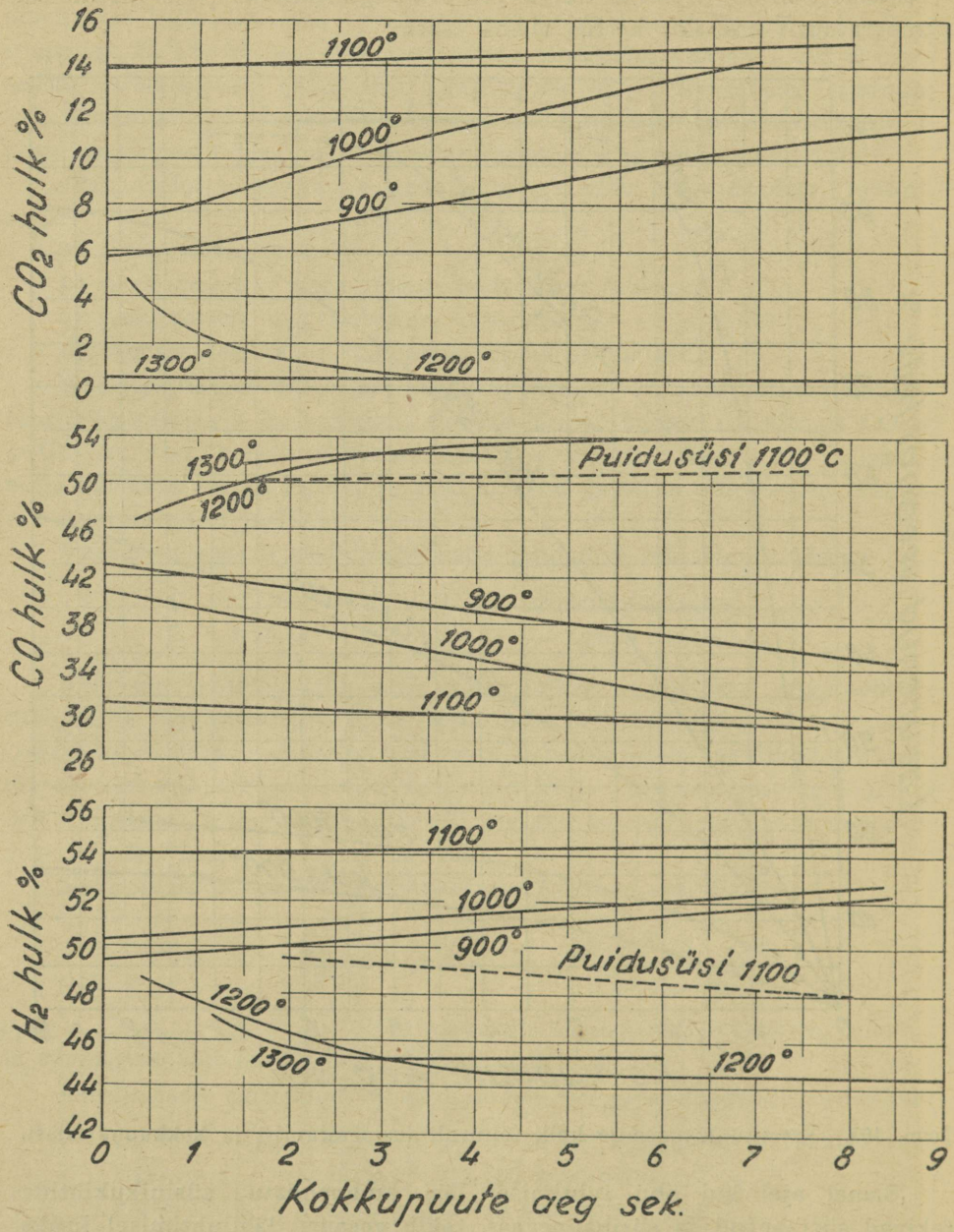
Veeauru lagunemise aste sõltub reaktsiooni temperatuurist, laguneva veeauru hulgast, kontakti kestusest ja kütuse iseloomust (joon. 103).

Joonisest nähtub, et sama hulga veeauru lagunemiseks peab madalamal temperatuuril kontakti kestus olema pikem.



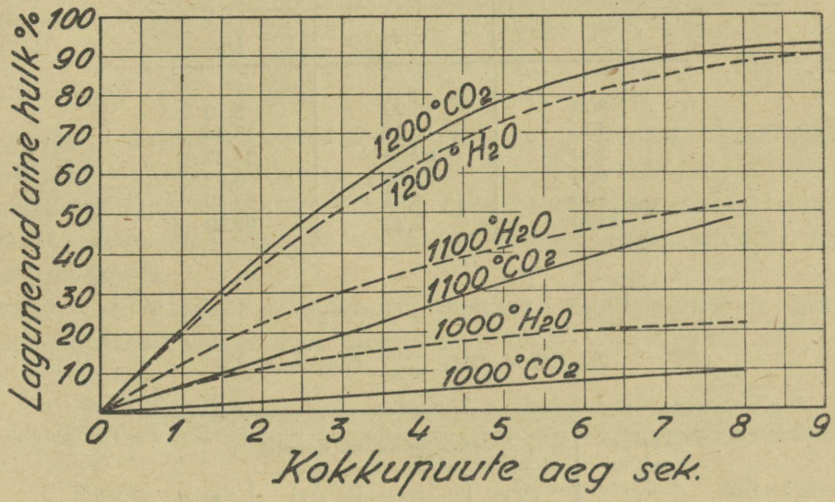
Joon. 103. Veeauru lagunemise hulk sõltuvalt temperatuurist ja kokkupuuteajast.

Samal ajal kui õhu juhtimisel läbi kuumendatud süsinikukihtide tekivad süsihapend ja süsihappegaas, tekib veeauru läbijuhtimisel lisaks eelnistele veel vesinikku ja vähesel määral metaani. Tekkivate gaaside mahulist suhet iseloomustab joon. 104.



Joon. 104. Vesigaasi komponentide tekkimise hulk sõltuvalt temperatuurist ja kokkupuuteajast.

CO_2 ja H_2O lagunemise hulka generaatoris illustreerib joon. 105, millest nähtub, et temperatuuril üle 1100° C laguneb CO_2 intensiivsemalt, 1100° C t°-l lagunevad mõlemad gaasid peaaegu sama kiirusega, temperatuuril alla 1100° C on H_2 lagunemise kiirus suurem CO_2 omast.



Joon. 105. CO_2 ja H_2O lagunemine hõõguvas koksis.

Metaan, CH_4, tekib generaatorprotsessil järgmiste mõlemas suunas kulgevate reaktsioonide järgi:

1) $C + 2H_2 \rightleftarrows CH_4 \pm 20\,870$ kcal/mool

2) $CO + 3H_2 \rightleftarrows CH_4 + H_2O \pm 49\,250$ „

3) $CO_2 + 4H_2 \rightleftarrows CH_4 + 2H_2O \pm 38\,900$ „

4) $2CO + 2H_2 \rightleftarrows CH_4 + CO_2 \pm 59\,100$ „

Metaan tekib üldiselt madalamail temperatuuridel, kusjuures tekkimise maksimum asetseb 400—600° C vahemikus. Temperatuuril üle 1100° C on CH_4 tekkimine tegelikult null.

Tabelis 34 on esitatud ülaltoodud reaktsioonide järjekorras tekkiva metaani hulk, sõltuvalt temperatuurist.

Tabel 34. **Metaani hulk gaasistamisel, sõltuvalt temperatuurist.**

1) $C + 2H_2 \rightleftarrows CH_4$

Temperatuur	Gaasi mahuline koostis %	
°C	CH_4	H_2
300	96,90	3,10
400	86,16	13,84
500	62,53	36,47
600	31,68	68,32
800	4,41	95,59
1100	0,20	99,80

2) $CO + 3H_2 \rightleftarrows CH_4 + H_2O$

Temperatuur	Gaasi mahuline koostis %			
°C	CO	H_2	CH_4	H_2O
427	2,79	8,37	44,43	44,43
527	8,13	24,39	33,73	33,73
627	15,74	47,22	18,51	18,51
727	21,42	64,26	7,17	7,17
827	23,81	71,43	2,38	2,38

3) $CO_2 + 4H_2 \rightleftarrows CH_4 + 2H_2O$

Temperatuur	Gaasi mahuline koostis %			
°C	CO_2	H_2	CH_4	H_2O
327	1,90	7,69	30,16	60,32
427	4,89	19,56	25,19	50,38
527	8,84	35,36	18,60	37,20
627	12,84	51,36	11,92	23,84
727	15,75	63,00	7,08	14,16
827	17,55	70,20	4,08	8,16

4) $2CO + 2H_2 \rightleftarrows CH_4 + CO_2$

Temperatuur °C	Gaasi mahuline koostis %			
	CO	H_2	CH_4	CO_2
427	3,14	3,44	46,56	46,56
527	12,83	12,83	37,17	37,17
627	29,44	29,44	20,56	20,56
727	43,06	43,06	6,94	6,94
827	48,10	48,10	1,90	1,90

Veeauru juhtimine generaatorisse toimub praktiliselt katkestatult, iga 5—8 minuti järel. Veeauru pideval sissejuhtimisel langeb veeauru lagunemisest tingitud endotermilise protsessi tõttu generaatori temperatuur, mille tulemusena väheneb omakorda veeauru lagunemine ja seega gaasi kütteväärtus.

Kütuse gaasistamisel generaatoris toimuvad reaktsioonid on kokkuvõetuna paigutatud järgnevasse tabelisse.

Tabel 35. **Reaktsioonide valemeid generaatorprotsessis.**

Jrk.-nr.	Reaktsioon	Reaktsioonisoojus		Märkusi
		Molekulaarne kcal/mool	Tahke süsiniku kaaluühikule kcal/kg	
1	$C + O_2 = CO_2$	+ 97 650	+ 8137	Otsesed reaktsioonid
2	$2C + O_2 = 2CO$	+ 58 860	+ 2450	
3	$2CO + O_2 = 2CO_2$	+ 136 440	+ 5685	
4	$2H_2 + O_2 = 2H_2O$	+ 115 600	—	
5	$C + CO_2 \rightleftarrows 2CO$	∓ 38 790	∓ 3233	Pöörduvad reaktsioonid
6	$C + 2H_2O \rightleftarrows CO_2 + 2H_2$	∓ 28 800	∓ 2400	
7	$C + 2H_2O \rightleftarrows CO_2 + 2H_2$	∓ 18 800	∓ 1566	
8	$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2$.	± 10 000	± 833	
9	$C + 2H_2 \rightleftarrows CH_4$	± 20 870	± 1739	
10	$2CO + 2H_2 \rightleftarrows CH_4 + CO_2$	± 59 100	± 2421	
11	$CO + 3H_2 \rightleftarrows CH_4 + H_2O$	± 49 250	± 4104	
12	$CO_2 + 4H_2 \rightleftarrows CH_4 + 2H_2O$	± 38 900	± 3241	

2. Generaatorprotsessi mõjustavaid tegureid.

Gaasistamise intensiivsust generaatoris iseloomustatakse generaatori šahti põiklõikele langeva gaasistatud kütuse hulgaga ajaühikus (kg/m^2h).

Põiklõikena arvestatakse generaatori keskmist põiklõiget kogu kütusekihi kõrgusel.

Gaasistamise intensiivsus ja gaasi kvaliteet generaatoris sõltuvad:

a) kütusest,
b) generaatori konstruktsioonist,
c) generaatori koormusastmest,
d) katalüsaatoreist.

a) K ü t u s.

Alused, mille järgi hinnatakse generaatori kütuse kvaliteeti, on:

1) Kütuse aktiivsus, mida hinnatakse gaasistamisel süsihappegaasi süsihapendiks muutumise kiiruse järgi. Lugedes puidusöe aktiivsuseks 180, on see koksil 80 jne.
2) Reaktiivsus, mille all mõistetakse kütuse kiiret reageerimist hapnikuga, s. o. kerget süttimist ja põlemist.
3) Tihedus.
4) Kokkupaakumine ja kuju säilitamine põlemisel.
5) Tükisuurus.
6) Niiskusesisaldus.
7) Tuhasisaldus ja tuha sulamistäpp.
8) Väävlisisaldus.
9) Lenduvate tõrvainete sisaldus. Viimaste kõrge hulk raskendab gaasistamisprotsessi.

Kütuse suur aktiivsus ja reaktiivsus soodustavad gaasistamisprotsessi ühtlast ning intensiivset kulgemist generaatoris, kütuse kerget ning kiiret süttimist ja kõrge temperatuuri saavutamist aktiivses tsoonis.

Mida tihedam on kütus, seda kõrgem on tema kvaliteet generaatorikütusena. Eriti oluline on kütuse tihedus transporditavais generaatoreis, kus ta mõjustab tunduvalt sõiduki tegevusraadiust.

Kergesti paakuvad ja kuju mitte säilitavad kütused raskendavad gaasistamisprotsessi, vähendades kütuse aktiivse pinna suurust ja nõudes kihi sagedat kohendamist.

Tükisuurusest sõltuvad kütuse aktiivse (kokkupuute-) pinna suurus ja kihi takistus. Üldiselt on gaasistumine peenemateralise kütuse puhul intensiivsem, kuid tõuseb tunduvalt ka generaatori takistus. Eriti tõstab takistust tolmulise osa sisaldus, mis mõjub ka gaasi kvaliteedile, sest tolm kistakse gaasivooluga kaasa.

Kütuse ühtlus (tükisuuruselt) mõjub gaasistamisprotsessi soodustavalt. Seejuures väheneb ka kihi takistus. Ebaühtlase koostisega kütuse puhul langevad suured tükid läbipõlematult restile, kust nad eemalda-

takse koos tuhaga, milline asjaolu suurendab soojuskadusid. Tükisuurusest on suurel määral sõltuv optimaalne kihi paksus generaatoris ja viimasest omakorda gaasi kvaliteet.

Tabelis 36 on toodud mitmesugustele kütuseliikidele lubatav minimaalne kihi kõrgus, sõltuvalt tükisuurusest.

Tabel 36. **Minimaalne kihi kõrgus generaatoris, sõltuvalt tükisuurusest.**

Kütuse liik	Tükisuurus mm	Madalaim ökonoomne kihi kõrgus mm
Antratsiit	10 — 20	300 — 600
„	25 — 40	750 — 900
Koks	20 — 30	750
„	30 — 50	1150
„	50 — 75	1800
Kivisüsi	13 — 19	550
„	sortimata	1500 — 2000
Puit	jämedad halud	1500 — 2150
„	saagmed, laastud	1200 — 1500
Turvas	tükk 300 × 120 × 75	2000 — 3000

Esitatud andmed kihi paksuse osas võivad suuresti kõikuda, kuid üldiselt võib öelda, et mida peeneteralisem on kütus, seda madalam peab olema kiht ja ümberpöördult. Ülemääraselt madala kütusekihi puhul langeb tunduvalt taandumistsooni temperatuur ja sellest sõltuvalt halveneb gaasi kvaliteet.

Kütuse niiskus avaldab mõju gaasi küttevääretusele. Üldiselt võib öelda, et mida suurem on kütuse niiskusesisaldus, seda madalam on gaasi küttevääretus. Küllaldase kihipaksuse korral, mille juures eralduvad gaasid sisaldavad piisavalt füüsikalist soojust kütuse niiskuse aurustamiseks, mõjub niiskus gaasi kvaliteedile vähe.

Kütuse niiskuse ülemmääraks tuleb lugeda 50—55%. Kõrgema niiskusemäära puhul tekkiv gaas ei oma enam küllaldaselt soojust kütuse kuivatamiseks ja generaatori ülaosas võib tekkida utteaurude kondenseerumine, mis mõjub generaatorprotsessi pidurdavalt.

Kütuse suur tuhasisaldus mõjub generaatorprotsessile negatiivselt, suurendades soojuskadusid kütuse põlemata osadega tuhas ja nõudes generaatori sagedat puhastamist tuhast, mis mõjub gaasistamisprotsessi ühtlusele pidurdavalt. Eriti oluline on tuha plastinemis- ja sulamistäpp — generaatoris kuivtuha eemaldamisega. Madalal temperatuuril räbustuv tuhk ümbritseb kütuseosakesi, takistades gaasistumist, ja mõjub ühtlasi hävitavalt generaatori šamottvoodrile.

Generaatoreis kuivtuha eemaldamisega tuleb lubatavaks tuha sulamistemperatuuri alammääraks lugeda 1000° C. Tuhasisaldus kütuses üle 50% esitab generaatorprotsessile raskusi.

Väävlisisaldus raskendab tunduval määral generaatorigaasi kasutamist tööstuslikuks otstarbeks. Enne kasutamist sisepõlemismootoreis tuleb gaas väävlist puhastada.

Gaasistamisprotsess võimaldab praktiliselt kasutada mistahes kütust, ka selliseid madala väärtusega kütuseid (suur niiskuse- ja tuhasisaldus), mis koldes põletamiseks ei osutu kõlblikuks.

Eesti NSV-s tuleb peamist tähelepanu generaatorikütuste osas omistada kohalikele kütustele — turbale, põlevkivile ja puidujäätmeile. Puidu ja turba osas on küllaldaselt väljakujundatud ja töötamiskindlaid generaatoritüüpe, mida ei saa aga öelda põlevkivi kohta. Siin on kohase generaatoritüübi väljatöötamine alles katsetamisjärgus ja jääb loota, et sellele probleemile omistatakse küllaldast tähelepanu.

Järgnevalt on toodud peamiste generaatoreis kasutamiskõlblike kohalike kütuste iseloomustavaid andmeid.

P u i t u kasutatakse generaatoreis halgudena, klotsidena ja jäätmeina (laastud, saagmed). Puitkütusele on iseloomulik vähene tuhasisaldus. Niiskus toores puidus ulatub 35—60%-ni, õhukuival puidul keskmiselt 18%-ni. Puidu keskmine erikaal on 0,55.

Tabel 37. **Puidu kuivaine elementaarkoostis kaalu-%-des.**

Puidu liik	C %	H %	O %	N %	Tuhk %	Kütte-väärtus kcal/kg
Tamm . . .	49,4	6,1	43,2	1,3	1,6	4390
Pöök . . .	48,5	6,3	44,3	0,9	7,0	4450
Kask . . .	48,6	6,4	43,9	1,1	6,8	4460
Saar	49,2	6,3	43,8	0,7	—	4410
Kuusk . . .	49,6	6,4	43,1	0,9	0,8	4510
Mänd . . .	50,2	6,0	43,4	0,4	1,2	4560

Tabel 38. **Tõrvainete saagis ja elementaarkoostis puidu gaasistamisel.**

Nimetus	Pöök	Kask	Kuusk	Mänd
Tõrvainete saagis %	8,11	7,93	8,08	11,79
Tõrvainete koostis %				
C	61,70	65,10	66,10	68,50
H	6,50	7,00	7,18	6,90
O + N . .	31,80	27,90	26,72	24,60

P u i d u s ö e omadused — koostis, küttevääртus ja mehhaaniline tugevus — sõltuvad puidu liigist ja söestamisviisist. Lugedes kasesöe tugevuse ühikuks, on see männisöel 0,58, haavasöel 0,46 ja kuusesöel 0,43. Söetüki suurus peab generaatoris kasutamiseks olema 20—50 mm, niiskus alla 12%.

Puidusütt iseloomustab puhtus tõrvainetest.

Tabel 39. **Puidusöe kuivaine elementaarkoostis kaalu-%-des.**

Söe nimetus ja saamisviis	C %	H %	(O+N) %	Tuhk %	Küttevääртus kcal/kg
Kasesüsi miilisüsi . . .	84,84	2,94	8,00	1,22	7700
Kasesüsi ahjusüsi . . .	75,04	3,49	19,83	0,90	6380
Männisüsi miilisüsi . . .	88,12	2,53	8,14	1,21	7650
Männisüsi ahjusüsi . . .	75,38	4,13	17,17	1,24	6500
Kuusesüsi miilisüsi . . .	89,71	2,31	6,52	1,40	7750
Kuusesüsi ahjusüsi . . .	73,41	3,45	20,63	1,26	6210

Tabel 40. **Puidusöe eri- ja mahukaalud.**

Söe nimetus	Puidu erikaal	Söe erikaal	Söe mahukaal kg/m³		Söe saagis mahu- % -des
			ahjusüsi	miilisüsi	
Kasesüsi	0,584	0,424	175	184	51,82
Haavasüsi	0,432	0,309	140	147	51,74
Männisüsi	0,471	0,3 47	137	145	54,68
Kuusesüsi	0,372	0,271	115	127	57,29

Vähese tuhasisaldusega (2—4%), mõõduka niiskusega (alla 25%) ja tuha kõrge sulamistäpiga (1200—1300° C) t u r v a s on kõlblik kasutamiseks tavalistes puitküttega generaatorites. Erikonstruktsiooniga generaatorid võimaldavad turba kasutamist tuhasisaldusega 10—12%, niiskusega kuni 50% ja tuha sulamistäpiga ligikaudu 1100° C.

Tabel 41. **Turba elementaarkoostis kaalu-%-des.**

Turba liik	C %	H %	O %	N %	S %	W_o %	A %	Märkusi
Kõrgrabaturvas . .	45,25	3,87	27,00	0,90	0,15	20,00	2,83	W_o — keskmine suhteline niiskus
Madalrabaturvas .	39,70	4,05	24,50	2,00	0,16	20,00	9,60	A — keskmine tuhasisaldus

Turba mahukaal 330—450 kg/m³, küttevääртus 3300—3500 kcal/kg.

Tabel 42. **Tõrvainete elementaarkoostis turba gaasistamisel.**

Generaatori tüüp	Turba liik	Tõrvainete saagis % kuivast massist	Elementaarkoostis %						Tõrvainete põlemisväärtus kcal / kg
			C	H	O	N	*A*	S	
Utmisšahtiga AVG - tüüpi generaator .	kõrgrabat.	10,2	80,42	9,33	10,10	10,10	10,10	0,15	8878
—do—	madalrabat.	7,0	70,77	8,74	19,87	0,35	0,03	0,24	8496
Utmisšahtiga ja mehhaanilise restiga generaator .	madalrabat.	6,26	68,28	10,71	19,98	1,06	—	—	8230

T u r b a b r i k e t t omab tükkturbaga võrreldes kütusena mitmeid eeliseid:

väiksem niiskusesisaldus — 12—15%
väiksem tuhasisaldus — 3,7—4,3%
suurem küttevääртus — 4000—4500 kcal/kg
suurem mehhaaniline tugevus
kõrgem reaktsioonivõime
suurem tihedus — mahukaal — 550—600 kg/m³

Järgnevas tabelis on toodud võrdlusandmed puidu, turba ja turbabriketi kohta.

Tabel 43. **Turbabriketi, turba ja puidu elementaarkoostis.**

Kütuse liik	Tarbimisaine koostis %							Küttevääртus kcal / kg
	C	H	O	N	S	*A*	*W*	
Turbabrikett	46,1	4,7	25,1	1,3	0,5	8,4	14,0	4200
Madalrabaturvas . .	37,2	3,8	23,0	1,9	0,15	9,0	25,0	3260
Puit	40,0	4,8	34,5	0,2	—	0,5	20,0	3400

Võrreldes turbaga esineb turbabriketi kasutamisel suurem generaatori räbustumise oht, milline asjaolu eeldab eritüübilist generaatorit.

T u r b a k o k s on peaaegu tõrvainetevaba kütus, millise asjaolu tõttu ta leiab eelistatud kasutamist generaatoris. Turbakoksi niiskusesisaldus on 3—7%, küttevääртus 7000—7700 kcal/kg, mahukaal 350—370 kg/m³.

Takistavalt mõjub turbakoksi kasutamisele generaatorikütusena tema võrdlemisi suur tuhasisaldus: kõrgraba turbakoksis on tuhka 8—20%, madalraba turbakoksis 20—30%.

Turbakoksi koostis mitmesuguse lenduvate ainete määra juures on toodud järgnevas tabelis.

Tabel 44. **Turbakoksi elementaarkoostis mitmesuguse lenduvate ainete määra juures.**

Lenduvate ainete sisaldus %	C %	H %	O %	N %	S %	*A* %
2,13	90,36	0,88	1,12	0,67	0,09	6,83
3,82	90,30	1,67	2,12	1,03	0,09	4,79
6,12	88,16	2,38	3,19	1,58	0,06	4,63
12,04*	85,22	3,13	5,22	1,59	1,12	4,72

Põlevkivi kui kütuse omadused on toodud üksikasjaliselt II osas, „Eesti põlevkivi".

b) Generaatori konstruktsioon.

Üheks olulisemaks teguriks gaasistamise intensiivsuse suhtes on generaatori konstruktsioon. Konstruktsioonist sõltuvad ühe ja sama kütuseliigi puhul termiliselt efektiivne kütuse gaasistamine, gaasistamisprotsessi kasutegur ja gaasi koostis ning kvaliteet. Generaatori konstruktsioon tuleb valida vastavalt kütuse liigile ja gaasistamisprotsessi iseärasustele. Lähemad andmed generaatorite konstruktsiooni kohta on toodud eespool.

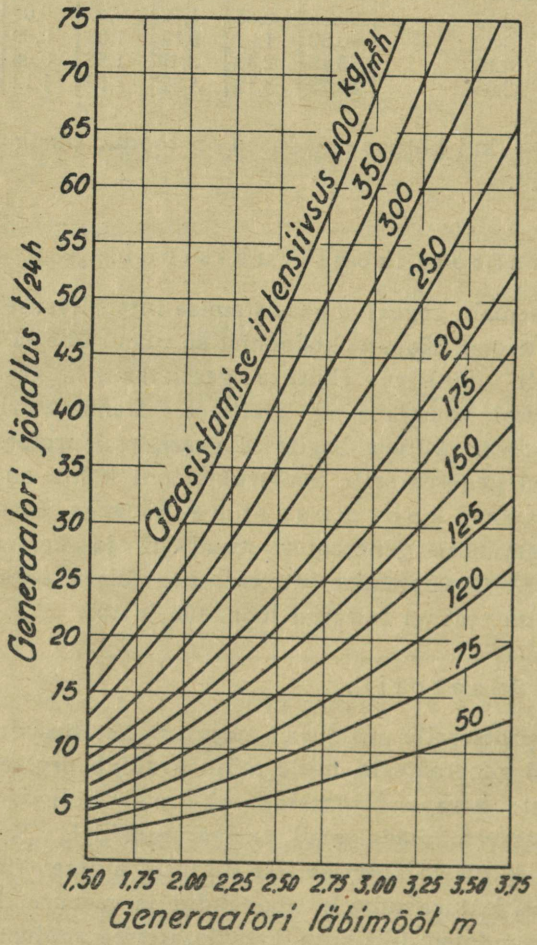
Generaatori koormusastme tõusuga kaasub gaasistamise intensiivsus. Seejuures generaatori tunduval ja kestval ülekoormusel langeb kasutegur. Gaasistamise intensiivsuse sõltuvus koormusastmest ja generaatori mõõtmetest on esitatud joon. 106 ja 107.

c) Katalüsaatorid.

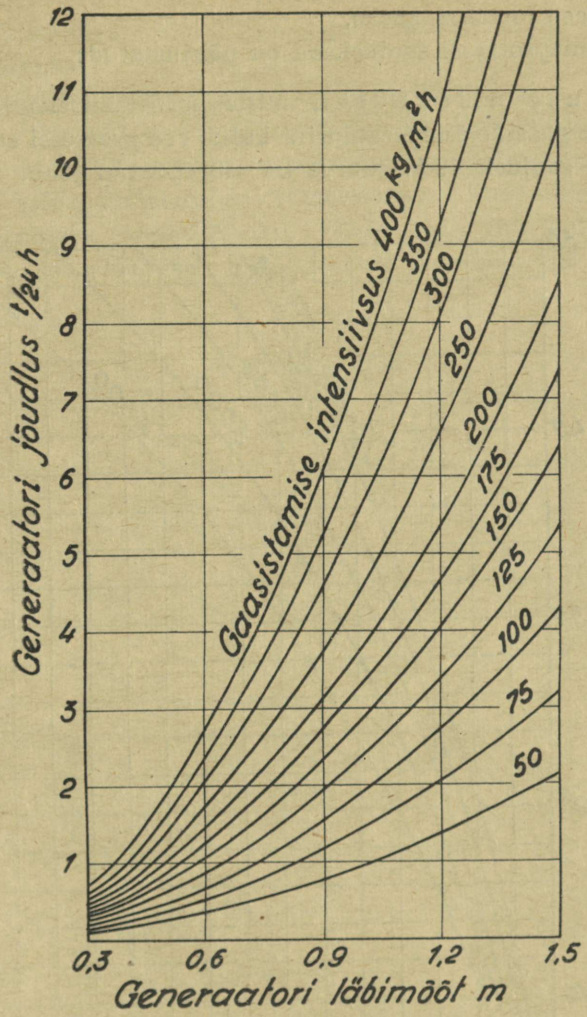
Gaasistamisprotsessile avaldavad mõju nn. katalüsaatorid, s. o. mitmesugused lisandid generaatoris, mille mõju avaldub protsessi kiiruse muutuses ja üksikute komponentgaaside tekkimise hulgas. Katalüsaatorite toime on märgatavam madalamail temperatuuridel. Katalüütilist mõju avaldavad peale kütusele spetsiaalselt lisatud ainete kütuse pind, generaatori vooderdis, kütuse tuha komponendid ja veeaur. Järgnevas tabelis on toodud katseandmed üksikute katalüsaatorite mõjust koksi gaasistamisel.

Tabel 45. **Katalüsaatorite mõju koksi gaasistamisel.**

Katalüsaator	Võetud koksi kaal g	Lisatud auru hulk l/h	Gaasistamise kiirus g/h	CO_2 % gaasis	Kihi temp. ^0C
Puhas koks	10	2,5	1,15	5,2	1000
5% Fe_2O_3	10	21,9	10,5	5,0	1000
5% CaO	10	11,2	5,2	5,4	1000
5% Na_2CO_3	10	21.0	—	0,4	1000
Puhas koks	10	10,0	0,9	18,8	800
5% Na_2CO_3	10	10,0	5,8	1,7	800



Joon. 106. Generaatori jõudlus sõltuvalt gaasistamise intensiivsusest ja generaatori läbimõõdust (1,5—3,75 m).



Joon. 107. Generaatori jõudlus sõltuvalt gaasistamise intensiivsusest ja generaatori läbimõõdust (0,3—1,5 m).

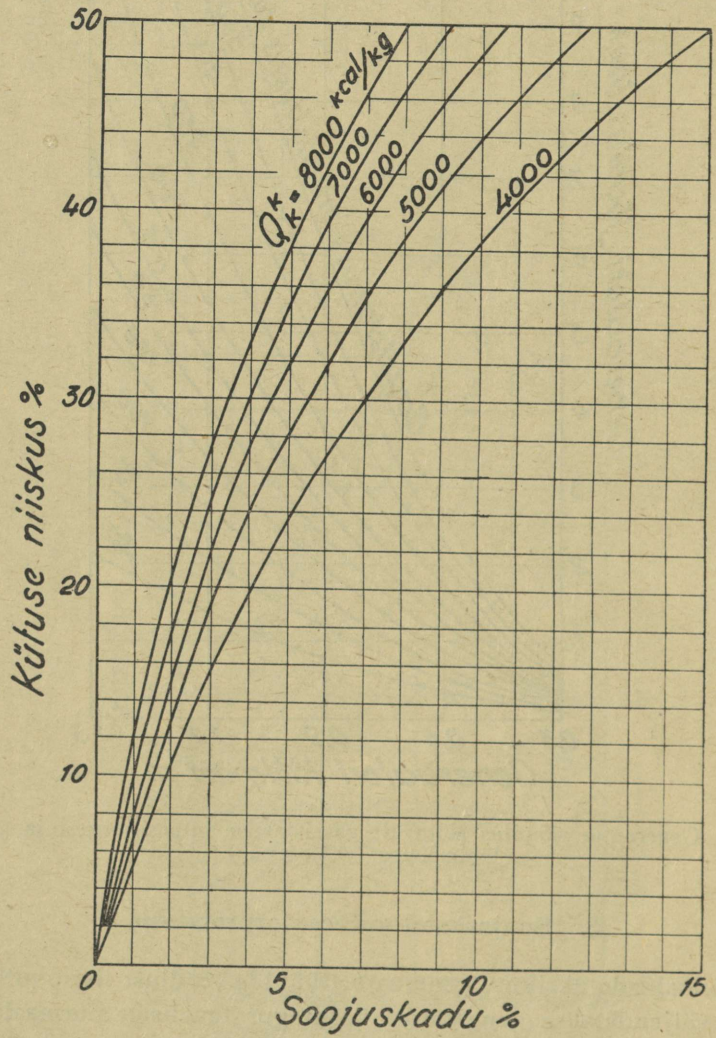
3. Soojuskaod generaatorprotsessis.

Et võimaldada üksikute generaatoritüüpide võrdlust lisaarvutuste teostamiseta, väljendatakse generaatori kasutegur tavaliselt normaaltingimustele (0° C ja 760 mm Hg) taandatud gaasi järgi kütuse kuivaine kaaluühiku suhtes.

Utteaurude ja -gaaside füüsikalist soojust ei arvestata kasulikuks soojuseks ja see loetakse kaoks.

Gaasistamisprotsessi soojuskaod on põhjustatud:

a) Kütuse niiskusest, mille aurustamiseks ja kuumendamiseks väljuvate gaaside temperatuurini kulub osa protsessi soojust. Niiskusest tingitud soojuskadude suurus on väljendatud joon. 108.

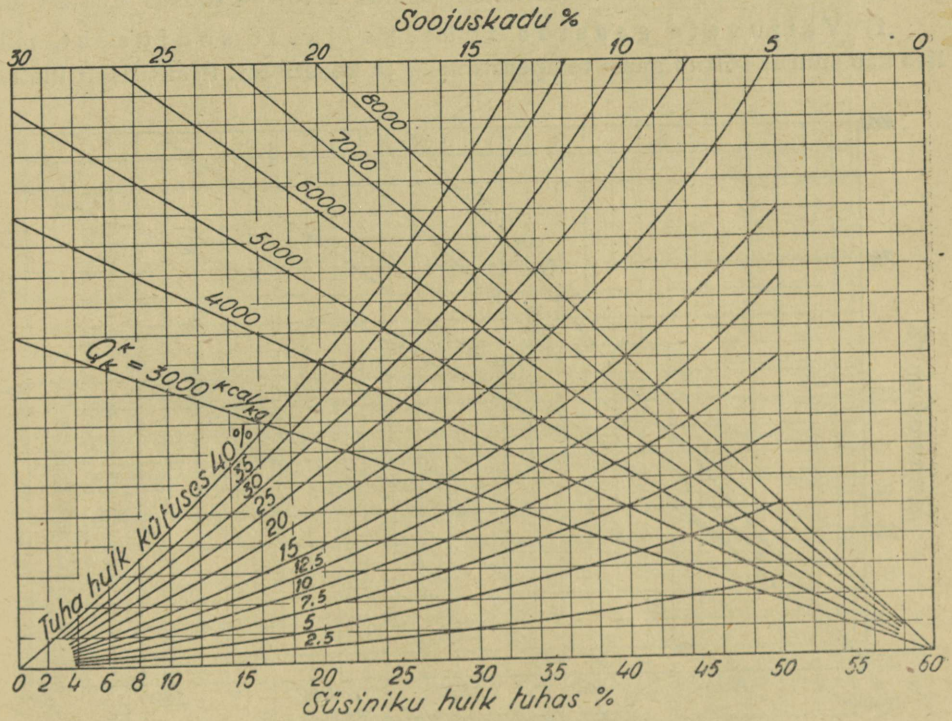


Joon. 108. Soojuskadu sõltuvalt kütuse niiskusest.

b) Gaasistamisel tekkivast tahmast, kusjuures viimane tekib protsessi ebaõigel juhtimisel tõrvainete lagunemisest kõrgel temperatuuril gaasiks ja süsinikuks.

Kadu tahmaga ja lendtuhaga kokku ulatub 0—7%-ni.

c) Tuhas kaasaviidud soojusest põlemata kütuse näol ja tuha füüsikalise soojusena. Kogu kadu on seda suurem, mida suurem on kütuse tuhasisaldus ja mida madalam on küttevääртus. Kao suuruse põlemata kütusest võib määrata joon. 109 abil. Kadu tuha füüsikalise soojusega tõuseb kuivtuha eemaldamisel 0,1—0,5%-ni ja vedeltuha eemaldamisel 0,5—1,5%-ni.



Joon. 109. Soojuskadu sõltuvalt süsiniku hulgast tuhas.

d) Soojuse kiirgusest ja konvektsioonist välisõhku, milline kogukadu tõuseb 1—2%-ni. Kao suuruse võib määrata avaldisega

$$Q = c\left[(C\frac{T_1}{100})^4 - (\frac{T_o}{100})^4\right] + k\,(t_1 - t_o)\ 1{,}23,\ \text{kus}$$

Q — soojuskadu kiirgusest ja konvektsioonist $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}}$

c — kiirgustegur, teraspleki puhul 2,8
T_1 — generaatori välispinna absoluutne temp. °K
T_0 — ümbruse absoluutne temperatuur °K
k — konvektsioonitegur, keskm. atmosf. tingimustel 3,5
t_1 — generaatori välispinna temperatuur °C
t_0 — ümbruse temperatuur °C.

e) Gaasi kõrvalevoolamisest läbi ebatiheduste ja generaatori puhastamisel ning kihi kohendamisel, mis võib tõusta 1%-ni ja rohkem generaatorisse antud kogu soojusest.

Kadu gaasi puhastamise ja jahutamisega — jahutus- ning puhastusvee poolt kaasaviidud ja vees lahustunud gaaside arvel — tõuseb 1,5—2%-ni.

f) Väljuvate gaaside füüsikalisest soojusest, millise kao suurus sõltub gaasi temperatuurist ja koostisest. Praktiliselt ulatub

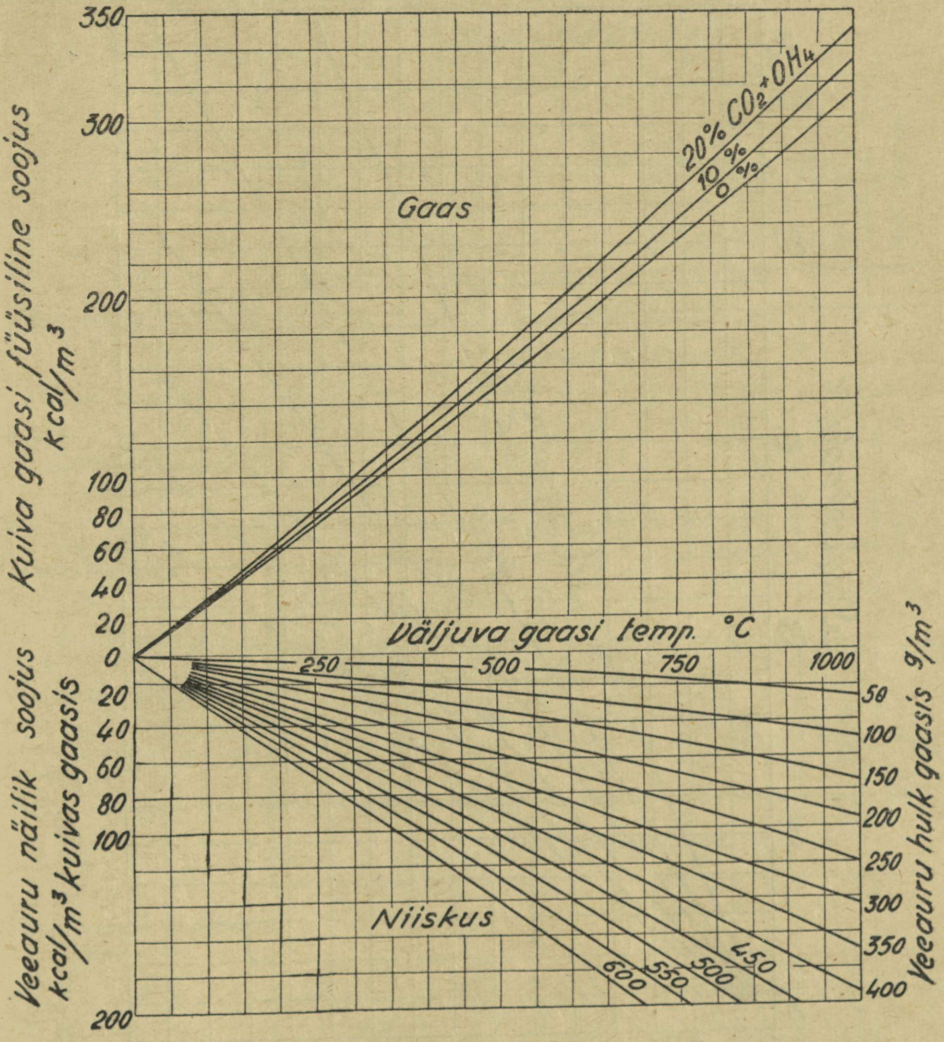


Joon. 110. Gaaside soojusesisaldus sõltuvalt temperatuurist kütuses.

see kadu 15—20%-ni. Siia hulka tuleb arvata ka soojuskadu generaatorist väljuva lagundamata veeauruga.

Generaatorprotsessil tekkivate gaaside soojusesisaldus on toodud joon. 110, soojuskadu füüsikalise soojusega joon. 111.

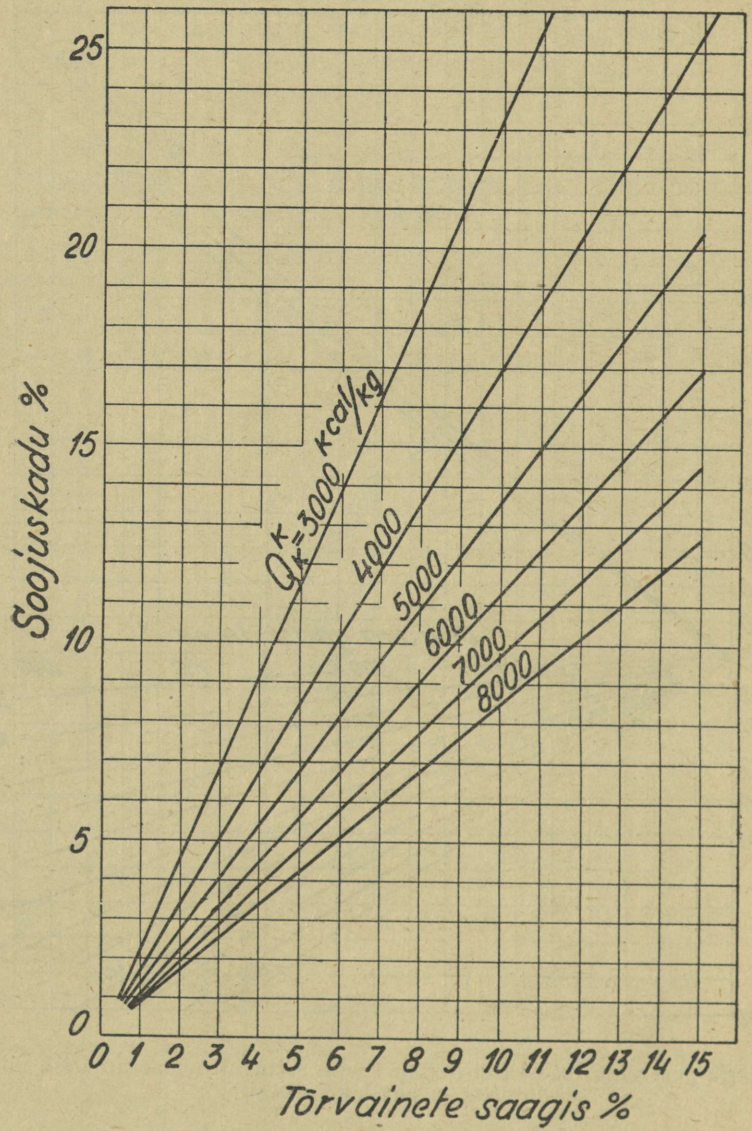
Soojuskadu väljuvate gaasidega on võimalik praktiliselt vähendada nimetatud soojuse kasutamisega kütuse ja õhu eelsoojendamiseks.



Joon. 111. Märja generaatorigaasi füüsikaline soojus sõltuvalt temperatuurist, niiskusesisaldusest ja gaasi koostisest.

g) Kaost gaasiga kaasaviidud lagundamata bituumeni ja tõrvainete näol, mis võib ulatuda kuni 20%-ni ja moodustada bituminoossete ja tõrvjate kütuste puhul olulisema osa generaatorprotsessi soojuskadudest. Lagundamata bituumeni ja tõrvainete näol tekkivate soo-

juskadude suurust võib praktilistel arvestustel määrata joon. 112 abil. Veevaba bituumeni ja tõrva soojusesisaldus on ligikaudu 8000—9000 kcal/kg.



Joon. 112. Soojuskadude sõltuvus tõrvainete hulgast.

Mitmesuguste gaasigeneraatorite termilisi kasutegureid, sõltuvalt seadme tüübist ja kütuse liigist, on toodud järgnevas tabelis.

Tabel 46. **Gaasigeneraatorite termilisi kasutegureid, sõltuvalt seadme tüübist ja kütuse liigist.**

	Seadme tüüp ja kütuse liik							
	Kivisüsi			Antratsiit, tuha eraldamiseta	Peen koks, tuha eraldamiseta	Turvas		Puit, tuha eraldamiseta
	Kuum gaas	Tuha eraldamiseta	Madalatemperatuuriline, tuha eraldamisega			Tuha eraldamiseta	Tuha eraldamisega	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Laboratoorsed andmed								
Kütuse koostis:								
Niiskuse- %	5	5	5	5	15	40	30	30
Absoluutkuiva massi koostis %:								
Tuhk	12	12	8	5	30	18	4	3
Lenduvad ained	30	30	31,5	5	6	50	71	71
Süsinik (koguhulk)	72	72	80	87	64	50	56	47
Seotud süsinik	55	55	56,5	—	—	34	—	24
Vesinik	4,5	4,5	5,0	—	—	5,5	5,9	5,8
Kuivaine küttevääртus kcal/kg	6530	6530	6800	7780	5450	4580	5010	4720
Kütuse tükisuurus %:								
üle 13 mm	60	60	94	100	15	—	—	—
6,5 — 13 mm	20	20	4	—	35	tükk	tükk	halud
alla 6,5 mm	20	20	2	—	50	—	—	—
Tootmise näitarvud								
Gaasi koostis normaaltingimustes:								
CO_2 %	75	9	8,3	7,5	7	20,0	7	11,0
CO %	27	22	21,0	24,0	24,5	9,0	28	20,0
CH_4 %	4	3	5.0	1,2	1 1	3,3	3	3,3
H_2 %	12	18	20,5	16,5	11,0	21,0	17	16,0
N_2 %	52	48	45,2	50.8	56.4	46,7	45	49,7
Gaasi küttevääртus kcal/m³	1476,5	1394,6	1593	1262	1127,6	1103,6	1548	1307,4
Väljuva gaasi temp. °C	800	700	150	700	700	150	100	250
Niiskusesisaldus kuumas puhastamata gaasis g/m³ (0° C 760 mm Hg)	30	110	60	40	90	600	—	450
Süsinikku tuhas %	10	10	10	20	20	12	12	10
Tõrvainete eraldumine %	—	4	10	—	—	7,7	11,1	7,5

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Soojuskadu %							
Kütuse niiskusega	0,5	0,5	0,5	0,3	2,2	9,5	5,4	6,0
Tõrvainetega	0	5,2	13,0	0	0	14,0	18,4	13,0
Lendtuha ja tahmaga . .	3,5	3,0	0,5	0,5	2,0	1,5	0,8	2,0
Tuhaga	1,6	1,6	1,0	1,2	10,5	4,5	0,7	0,5
Gaasi jahutamisega . . .	1,0	1,0	1,0	2,0	1,2	1,5	2,4	1,5
Gaasi kõrvalevoolamisega	0,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5
Kokku	7,1	12,3	17,0	5,0	17,4	32,5	28,7	24,5
Kuuma gaasi kogu füüsikaline ja potentsiaalne soojusesisaldus %	92,9	87,7	83,0	95,0	82,6	67,5	71,3	75,5
Soojuskadu gaasi füüsikalise soojusega %	14,4	14,0	2,5	15,2	16,3	8,2	2,5	8,3
	Kaod füüsikalise soojusega kcal/m³ (0° C ja 760 mm Hg)							
$CO_2 + CH_4$ sisaldus % .	9	12	13,3	8,7	8,1	23,3	10	14,3
Kaheaatomiliste gaaside sisaldus %	91	88	86,7	81,3	91,9	76,7	90	85,7
Kuiva gaasi füüsikaline soojus kcal/m³	259	228	46	224	224	50	30	79
Veeauru näilik soojus kcal/m³	12	36	4	14	30	42	20	51
Niiske gaasi füüsikaline soojus kcal/m³	271	264	50	238	254	92	50	130
Gaasi potentsiaalne soojus kcal/m³	1476,5	1394,6	1593	1262	1127,6	1103,6	1548	1307,4
Gaasi potentsiaalse ja füüsikalise soojuse summa kcal/m³	1747,5	1658,6	1643	1500	1381,6	1195,6	1437,4	1598
Suhe $\frac{\text{gaasi potents. soojus}}{\text{gaasi potents.} + \text{füüs. soojus}}$ %	84,5	84,0	97,0	84	81,6	92,4	96,9	89,0
Termiline kasutegur %	78,5	73,7	80,5	79,8	67,4	62,3	68,8	67,2

4. Generaatorite tüüpe.

A. Statsionaarsed generaatorid.

Kütuse gaasistamiseks võib kasutada ükskõik mis kujulist seadet, mis on varustatud kütuse, õhu ja veeauru sissejuhtimise ning tuha ja gaasi ärajuhtimise osadega. Seejuures sõltuvad gaasistamisprotsessi kasutegur

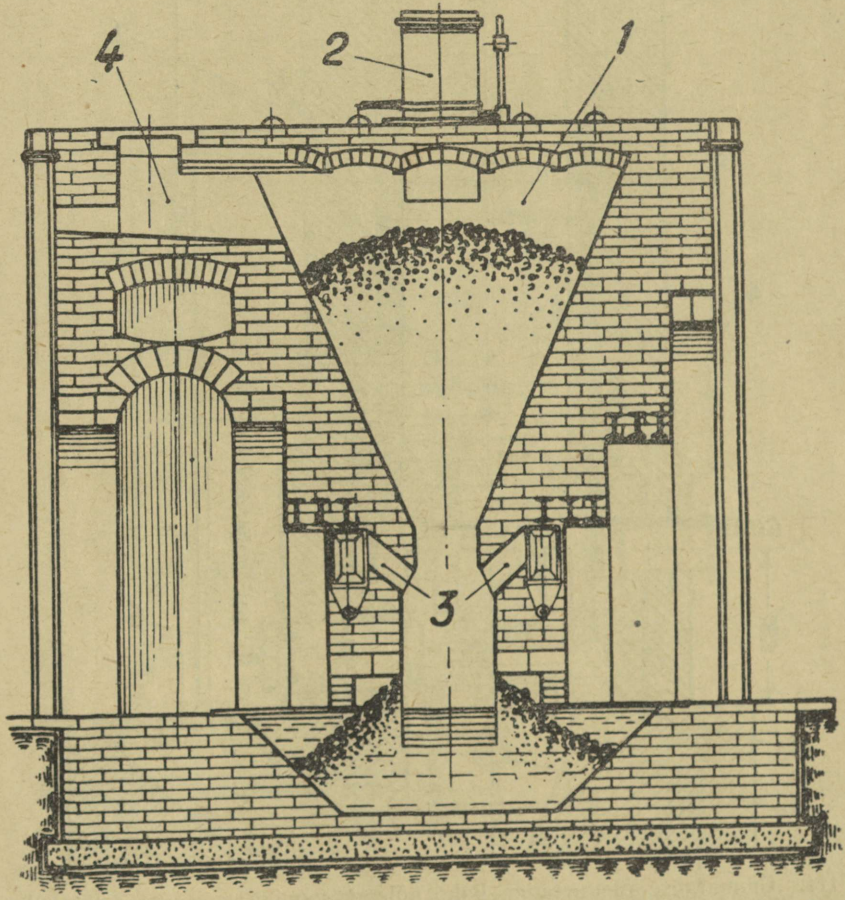
ja saadava gaasi koostis suurel määral kasutatava seadme — generaatori konstruktsioonist. Generaatorite konstruktsioone on palju ja nende klassifitseerimine võib toimuda lähtudes mitmesuguseist aluseist.

Õhu jaotuse, kütusekihi hoidmise ja tuha eemaldamise konstruktsioonilt võib generaatorid jaotada:

1) restita
2) liikumatu restiga
3) mehhaanilise restiga

} tuhk eemaldatakse tahkena

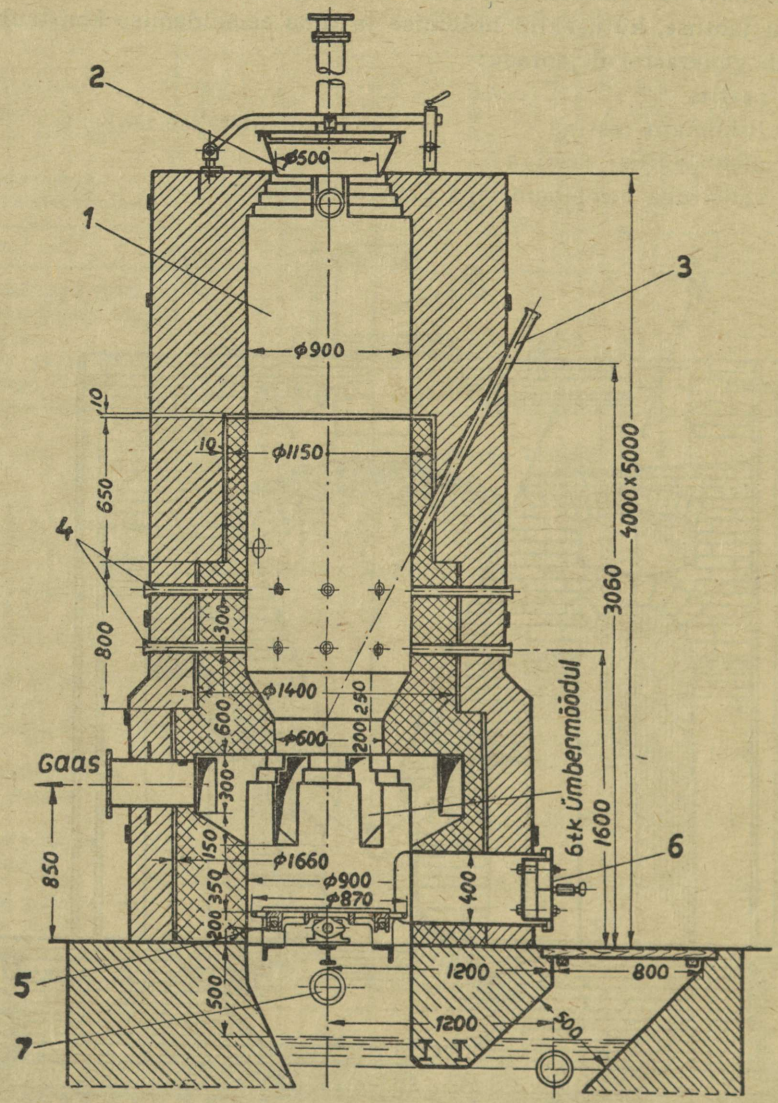
4) vedeltuha eemaldamisega generaatoreiks.



Joon. 113. Helleri tüüpi restita generaator. 1. Saht. 2. Täiteava. 3. Ava õhu sissejuhtimiseks. 4. Gaasi väljavool.

1) Restita generaatorit (joon. 113) iseloomustab konstruktsiooni lihtsus ja odavus. Tavaliselt müüritakse seda tüüpi generaatorid

nelikant-põiklõikega ja nad ei oma metallkesta. Õhk juhitakse generaatorisse läbi avade külgseintes. Tuhk eemaldatakse käsitsi. Generaatorid on

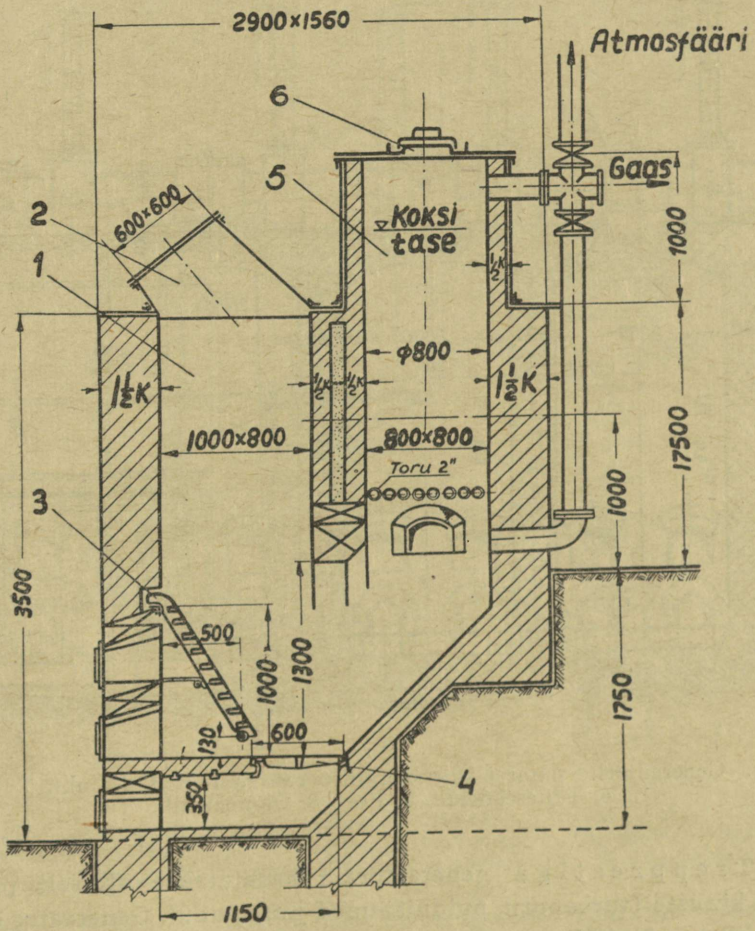


Joon. 114. Ümmarguse plaanrestiga kahe põlemistsooniga generaator turvasküttele. 1. Šaht. 2. Täiteava. 3. Torkimisava. 4. Õhudüüs. 5. Rest. 6. Puhastusluuk. 7. Õhu sissejuhtimine.

suhteliselt väikese jõudlusega ja kõlblikud jämetükk-kütusele, mille gaasistamine toimub paksu kihiga (puit, turvas).

2) Liikumatu restiga generaatorid kuuluvad väikese või keskmise jõudlusega seadmete hulka. Sõltuvalt kasutatavast kütusest, generaatori kujust ja gaasistamise tingimustest valitakse resti kuju kas

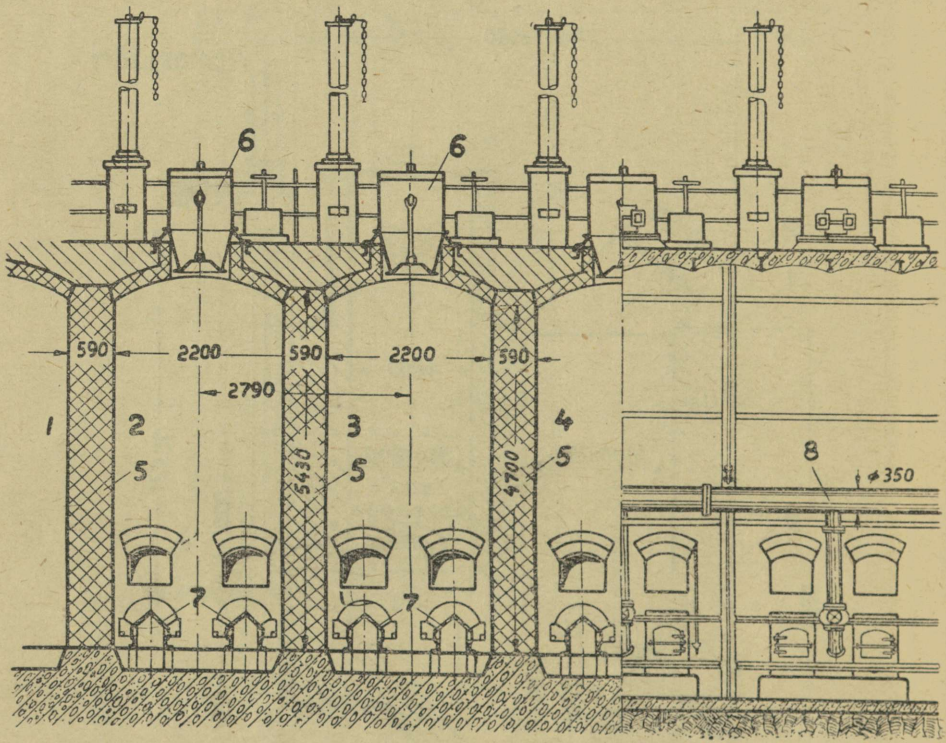
a) horisontaalne,
b) trepp,
c) katusekujuline,
d) ümmargune.



Joon. 115. Trepprestiga generaator niiskeile ja tõrvarikkaile puidujäätmeile. 1. Šaht puidule. 2. Täiteava puidule. 3. Treprest. 4. Plaanrest. 5. Šaht koksile. 6. Koksi täiteava.

a) Horisontaalse restiga generaator valitakse jämedatükilise, vähese tuhasisaldusega noorte kütuste (puit, turvas) kasutamisel, kus

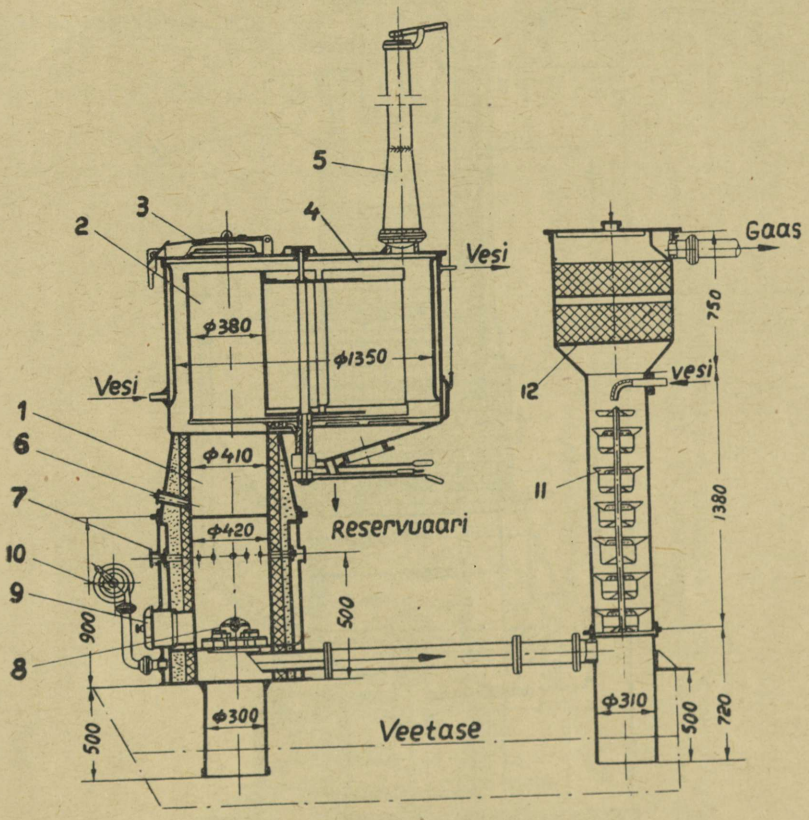
gaasistamine toimub paksu kihiga. Šahti põiklõige on kas nelikant (tavalisem) või ümmargune, niiskete kütuste puhul võrdlemisi kõrge. Esimesel juhul valmistatakse rest sirgetest varbadest, teisel juhul ümmargustest rõngastest. Tuhk eemaldatakse käsitsi. Tõmme loomulik. Ümmarguse plaanrestiga kahe põlemistsooniga generaator turvasküttele on kujutatud joon. 114.



Joon. 116. Generaatorite patarei katusekujulise restiga 1, 2, 3, 4. Šaht. 5. Vahesein. 6. Täiteseadeldis. 7. Rest. 8. Õhutorustik.

b) Treppprestiga generaatoreid kasutatakse üldiselt peenemate kütiliste kütuste (turbapuru, puidujäätmed jm.) puhul. Generaator on tavaliselt nelikant-põiklõikega. Ümmarguse šahti puhul valmistatakse rest ümmargustest rõngastest. Resti kallak valitakse kütuse varisemisnurgast suurem. Sageli ühendatakse kallakrest horisontaalse restiga (joon. 115). Viimase puhastamiseks jäetakse mõlema resti vahele pilu laiusega 100—150 mm. Tuhk eemaldatakse käsitsi, tõmme tavaliselt loomulik.

c) Katusekujulise restiga generaatoriplokk on kujutatud joon. 116. Generaatori šahtid on nelikant-põiklõikega. Õhk ja veeaur juhitakse resti alla, kust eemaldatakse ka tuhk (käsitsi). Katusekujulise restiga generaatorit iseloomustavad vähene metallikulu, hea õhu (veeauru) jaotus generaatori põiklõikele ja ökonoomne töötamine. Joon. 116 toodud generaator on konstrueeritud turvasküttele. Generaatori puuduseks on õhu

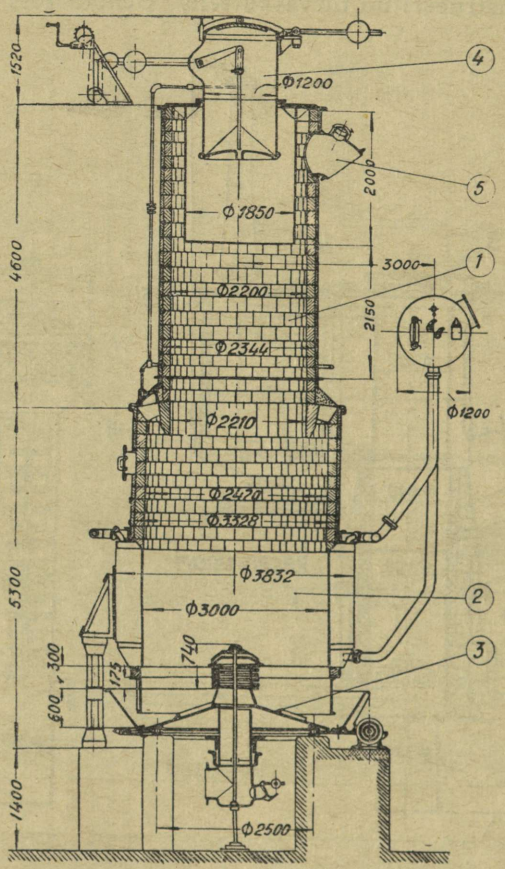


Joon. 117. Ümarrestiga generaatorseade puitküttele. 1. Šaht. 2. Padrun puidule. 3. Täiteava. 4. Punker. 5. Tõmbekorsten. 6. Süüteava. 7. Õhudüüs. 8. Rest. 9. Luuk. 10. Käivitusventilaator. 11. Kaskaadpuhasti. 12. Kuivpuhasti.

andmise pidurdamise vajadus tuha eemaldamisel. Ehitatuna patareina see töötamist nimetamisväärselt ei takista.

d) Ümarrestiga pöördprotsessiga generaatorseade on toodud joon. 117. See töötab puitkütusel (halud 750 mm). Generaator on seadistatud vesilukuga, mis võimaldab tuha eemaldamist ilma töötamist katkestamata.

3) Suure jõudlusega seadmeis kasutatakse mehhaaniliste restidega generaatoreid. Viimastel langeb ära tuha ja räbu käsitsi eemaldamine, väheneb tunduvalt kütuse käsitsi kohendamise vajadus kütuse räbustumisel ning tuha eemaldamise mõju gaasistamisprotsessile. Samaaegselt saavutatakse kütuse täielikum läbipõlemine, gaasistamisprot-

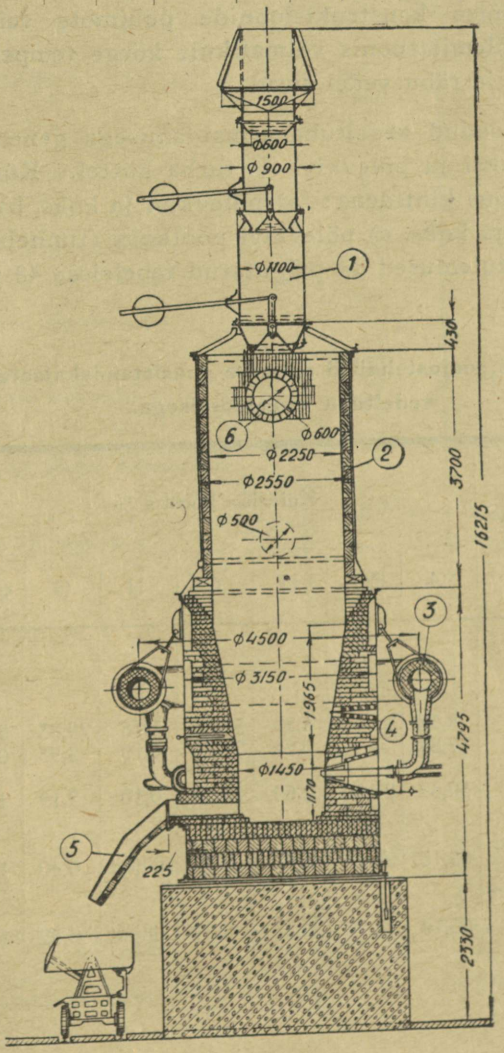


Joon. 118. AVG-tüüpi utmisšahtiga generaator. 1. Utmisšaht. 2. Alumine šaht 3. Mehhaaniline rest. 4. Täiteseadeldis. 5. Gaasi väljavool.

sessi ühtlasem kulgemine ja generaatori jõudluse tunduv tõus. Mehhaanilise resti konstruktsioone on väga palju, kuid töötamispõhimõte on neil kõigil peaaegu samane: karikakujulisele malmalusele kinnitub rest, mis pöörleb sellega kaasa. Pöörlemisel viiakse kaasa tuhk ja räbu, mille juures need ühtlasi laiali litsutakse. Sattudes liikumatult generaatori kerele kinnitatud räbunoa vastu, korjuvad räbu ja tuhk sinna kokku ja langevad üle

Tabel 47. **Soojustehnilisi näitarve turba ja puitlaastude gaasistamisel AVG-generaatoris.**

Kütuse liik	Niiskus %	Generaatori jõudlus t/24 h	Kuiva gaasi saagis m^3/kg	Tõrvainete saagis %	Gaasi koostis %							Gaasi kütteväärtus kcal/m^3	Generaatori kasutegur %	
					CO_2	C_nH_m	CH_4	O_2	CO	H_2	N_2		Külma gaasi suhtes	Külma gaasi + tõrvainete suhtes
Turvas	36,0	54,9	1,34	4,92	9,70	0.80	3,36	0,20	21,20	20,40	44,34	1570	65,5	76,2
„	46,0	72,5	—	—	9,62	0,34	3,09	0,18	22,71	12,47	51,89	1326	65,1	—
Puit-	30—	65—												
laastud	—35	—70	—	17,3	6,3	—	3,1	0,4	30,2	12,8	47,2	1516	—	—



Joon. 119. Gaasigeneraator vedelräbu eemaldamisega. 1. Täiteseadeldis. 2. Šaht. 3. Ohutoru. 4. Jahutusplaat. 5. Räbu väljavool. 6. Gaasi väljavool.

aluse serva välja. Rest käivitatakse mehhaanilise ajamiga. Mehhaanilise restiga, utmissahtiga varustatud AVG-generaator on toodud joon. 118. Kõrge utmissahti tõttu on võimalik gaasistada turvast niiskusega 30—50%. Generaator on kõlblik ka puitlaastude ja pruunsöe gaasistamiseks.

Andmed turba ja puitlaastude gaasistamise kohta AVG-generaatoris on toodud tabelis 47.

4) Sulamistäpp on paljude kütuste tuhkadel niivõrd madal, et kütuste gaasistamisel võib tekkida tõsiseid raskusi tuha räbustumise jm. tagajärjel. Selle vältimiseks kasutatakse vedeltuha eemaldamist. Kõigi vedeltuha eemaldamise konstruktsioonide põhimõte seisneb selles, et luuakse eeldused põlemistsoonis võimalikult kõrge temperatuuri saavutamiseks, millel tuhk ja räbu vedelduvad.

Joon. 119 on toodud vedeltuha eemaldamisega generaator, mis töötab põlevkivi + koksi ja põlevkivi + turba küttel. Kütuse kasutamine üksikuil katseil toimus kihtidena: a) põlevkivi ja koks, b) põlevkivi poolkoks (tunnelahjus) ja koks, c) põlevkivi poolkoks (tunnelahjus) ja turvas. Katsete andmed ja tulemused on paigutatud tabeleisse 48 ja 49.

Tabel 48. **Kütuste soojustehnilisi näitarve gaasistamiskatsetel generaatoris vedeltuha eemaldamisega.**

Kütuse liik	Niiskus W_t %	Kuivaine koostis %							Kuivaine põlemisväärtus pommis kcal/kg
		A	CO_2	H	C	N	O	$S^{üld}$	
Turvas	24,50	8,68	—	5,73	54,00	1,76	29,83	0,26	5343
Kivisöekoks . .	0,57	17,87	—	0,28	77,80	0,10	3,95	0,26	6240
Oudova põlevkivi	5,13	50,82	21,00	2,69	22,20	0,10	3,19	1,31	2334
Põlevkivi poolkoks gaasistamisel turbaga . .	12,20	65,18	25,10	0,42	8,90	jäljed	0,40	1,08	603
Põlevkivi poolkoks gaasistamisel koksiga . .	7,10	66,14	24,70	0,27	8,37	jäljed	0,52	1,20	539

Tabel 49. **Katsete näidud gaasistamiskatsetel generaatoris vedeltuha eemaldamisega.**

Nimetus	Mõõtühik	Generaatori töötamise režiim		
		Koks—põlevkivi poolkoks	Turvas—põlevkivi poolkoks	Põlevkivi—koks
Põlemisvöötme põiklõige	m^2	1,64	1,64	1,64
Katse kestus	tund	40	28	24
Kütuse koostis:				
Koks või turvas	%	50	65,6	35
Põlevkivi poolkoks või põlevkivi	%	50	34,4	65
Gaasistatud kütuse hulk:				
Koks või turvas	kg	14600	21200	9000
Põlevkivi poolkoks või põlevkivi	kg	14400	11100	16800
Põlemisvöötme põiklõike erikoormus:				
Koks või turvas	kg/m^2h	220	466	228
Põlevkivi poolkoks või põlevkivi	"	220	245	425
Süsinik	"	190	207	280
Gaasi keskmine koostis:				
RO_2	%	2,5	5,7	2,5
O_2	%	0,3	0,3	0,4
H_2	%	2,5	7,5	3,1
CO	%	31,0	28,5	30,4
CH_4	%	0,5	2,4	1,9
N_2	%	63,0	55,3	61,4
C_nH_m	%	—	0,3	0,3
Gaasi põlemisväärtus	$kcal/m^3$	1068	1370	1246
Gaasi küttevääртus	"	1052	1331	1212
Keskmine õhurõhk	mm Vs	40—45	35—40	40
Keskmine õhu temperatuur	°C	315	300	335
Kuiva gaasi saagis 1 kg kütusest	m^3/kg	2,51	1,43	2,14
Õhukulu 1 kg kütusele	"	1,93	0,96	1,61
Väljuva gaasi keskmine temperatuur	°C	375—400	150—200	300—330

5) Mitmesuguste generaatoritüüpide ekspluatatsioonilisi andmeid.

A. Statsionaarsed generaatorid.

Tabel 50. **Gaasistamise intensiivsus (kg/m²h), sõltuvalt generaatori tüübist ja kütuse liigist.**

Generaatori tüüp	Puit		Turvas	Pruunsüsi	Kivisüsi	Antratsiit	Koks
	halud	laastud					
Liikumatu restiga loomulikul tõmbel	100—150	—	50—75	50—100	35—70	—	—
Liikumatu restiga suruõhuga	150—225	300—400	100—300	75—150	60—120	60—120	60—120
Pöörleva restiga	—	400—800	250—600	150—275	80—200	100—220	100—220
Pöörleva restiga ja automaatse kihi segamise seadeldisega	—	—	—	—	220—350	—	—
Vedeltuha eemaldamisega	—	—	1000—2000	—	300—1000		

Tabel 51. **Kütusekihi ja üksikute tsoonide kõrgus statsionaarseis generaatoreis.**

Kiht \ Kütus	Puit	Turvas	Pruunsüsi	Kivisüsi	Antratsiit	Koks
Kogu kiht restil	3000—7000*)	3000—7000	1200—7000	600—1700	700—1600	1000—2000
Turbakiht				100—300		
Hõõguv kütusekiht	300—2500	300—2500	300—2500	400—1000	400—1000	100—600
Tume kütusekiht	—	—	—	100—500**)	200—500**)	300—1700

*) Halgudele; laastudele madalam.
**) Pärast generaatori täitmist.

Tabel 52. **Gaasistamisprotsessi soojusbilanss statsionaarseis generaatoreis.**

Generaatori tüüp	Kütus					Soojuse jaotus %					Märkusi
	Liik	A_t	W_t	Q_t^p	Väljuva gaasi küttevääartus	Füüsikaline soojus		Tõrvainete küttevääartus	Läbivarisenud kütus ja lendtuhk	Välisjahutumine	
		%		kcal/kg		Kuivgaas	Veeaur				
Horisontaalse restiga loomulikul tõmbel	puit	0,3	22	3376	67,81	4,50	7,16	8,41[1]	1,35	10,77	1) Literatuuri andmeil
Liikumatu restiga	turvas	2,6	30	3560	64,4	2,6	9,7	14,9[1]	1,2	7,2	
Pöörleva restiga, utmissahtiga ja jahutussärgiga	turvas	3,46	27,10	3788	67,17	7,37		19,55	0,21	5,70[2]	2) Kaasa arvatud soojus auru tootmiseks jahutussärgis
Pöörleva restiga	pruunsüsi	18,3	31,0	3455	70,0	3,0	7,5	9,0	4,5	6,0[2]	
Pöörleva restiga ja mehhaanilise kihisegajaga .	kivisüsi	9,8	4,5	6590	72,6	8,7	3,9	5,4	3,9	5,5[3]	3) Kaasa arvatud kadu jahutusveega (0,5 %)
Pöörleva restiga	antratsiit	6,84	5,80	7092	76,8	12,5	1,0	—	5,1[4]	4,6	4) Selles 3,2% lendtuhaga
Pöörleva restiga	koks	14,95	10,91	5933	74,18	8,25	3,37	—	2,11	2,09	

Tabel 53. **Gaasi elementaarkoostis %-des gaasistamisel statsionaarseis generaatoreis.**

Gaasi nimetus	Tähistused	Puit			Turvas			Pruunsüsi		Kivisüsi		Antratsiit	Koks
		Liikumatu restiga *)	Liikumatu restiga	Liikuva restiga ja utmissahtiga	Liikumatu restiga *)	Pöörleva restiga	Pöörleva restiga ja ulmissahtiga	Pöörleva restiga	Pöörleva restiga ja utmissahtiga	Liikumatu restiga *)	Pöörleva restiga	Pöörleva restiga	Pöörleva restiga
Põlevgaas:													
Süsihapend	CO	29,5	28,0	30,0	28,5	28,7	28,3	23,5	27,0	21,5	25,0	29,0	30,0
Rasked süsivesinikud	$C_2H_4(C_nH_m)$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1
Metaan	CH_4	3,0	2,7	3,0	3,1	3,0	2,8	3,4	3,4	2,5	3,0	0,7	1,0
Vesinik	H_2	10,0	15,0	13,0	7,0	13,0	17,4	16,0	17,0	9,0	13,0	14,0	11,0
Mittepõlev gaas:													
Süsihappegaas . . .	CO_2	6,0	7,0	6,0	6,0	6,4	7,3	8,0	7,5	7,0	4,3	3,0	2,5
Hapnik	O_2				0		0,3						
Lämmastik	N_2	51,1	46,9	47,6	55,0	48,5	43,8	48,8	44,8	59,7	54,4	53,2	55,4

*) Veeauru lisamiseta.

Tabel 54. **Auru- ja õhukulu gaasistamisel statsionaarseis generaatoreis.**

Kütuse liik	Kulub		Gaasi saagis m^3/kg		Gaasi kütteväärtus $kcal/m^3$	Gaasi temperatuur ^0C
	auru kg/kg	õhku m^3/kg	kuiv	märg		
Puit	0,0—0,1	0,7—1,2	1,0—1,7	1,7—2,2	1300—1500	80— 300
Turvas	0,1—0,2	0,7—1,2	1,2—1,7	1,8—2,2	1200—1600	80— 300
Pruunsüsi	0,1—0,4	0,7—1,5	1,4—2,4	2,0—3,0	1150—1600	70— 400
Kivisüsi	0,2—0,4	1,5—2,6	2,3—3,8	2,7—4,2	1200—1400	500— 800
Antratsiit	0,3—0,6	2,6—3,2	3,8—4,4	4,0—4,7	1150—1250	350— 650
Koks	0,3—0,6	2,6—3,2	3,8—4,4	4,0—4,7	1150—1250	350— 650

B. Transporditavad generaatorid.

Eri liigi generaatorseadmeist moodustavad transporditavad generaatorid, mis asetatakse autodele, traktoreile jne. Nimetatud generaatorseadmete konstruktsioonis taotletakse: 1) võimalikult kerget kaalu ja 2) võimalikult vähemat ruumitarvidust. Järelikult peab generaator töötama võimalikult forsseeritult. Et gaas imetakse mootorisse mootori silindreis tekkiva alarõhu mõjul, peab kihi takistus generaatoris olema minimaalne. Eeltoodu tõttu loetakse lubatavaks kihi paksuseks 100—230 mm. Kasutades taandumistsooni kõrget temperatuuri, saadakse gaasistamise intensiivsus, võrreldes statsionaarsete generaatoritega, 4—5 korda kõrgem.

Transporditavais generaatoreis kasutatakse ühtlase tükisuurusega ja vähese tuhasisaldusega kõrgeväärtuslikku kütust. Peamiselt kasutatavate kütustena esinevad puitklotsid, puidusüsi, koks, turvas, turbabrikett, turbakoks.

Erilist tähelepanu tuleb pöörata gaasi puhastamisele lendtuhast ja tõrvainetest.

Sõltuvalt kütuse liigist ja gaasistamisprotsessi iseloomust jagunevad transporditavad generaatorid analoogiliselt statsionaarseile

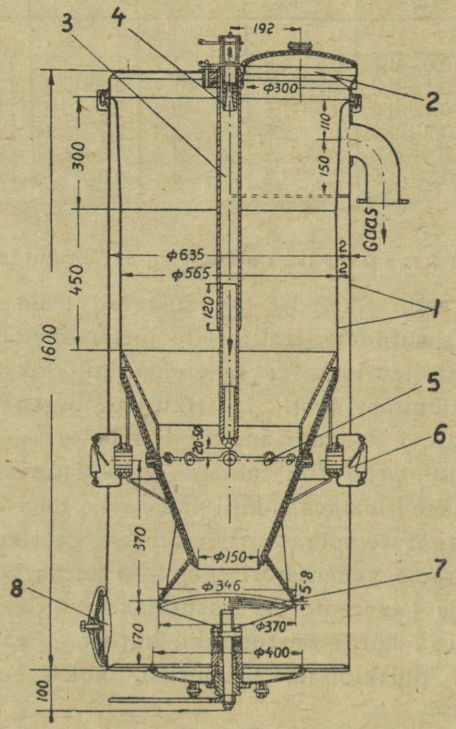
1) otsese protsessiga,
2) pöördprotsessiga,
3) horisontaalse protsessiga generaatoreiks.

Generaatori täitmine, kütusekihi liigutamine ja tuha eemaldamine toimub käsitsi.

Restina kasutatakse tavaliselt raputatavat või kallutatavat plaanresti, mis soodustab tuha eemaldamist. Kasutamist leiab ka vedeltuha ja -räbu eemaldamine.

Joon. 120 on toodud turvasküttel töötav gaasigeneraator Инсторф-НАТИ-traktorile. Õhk juhitakse generaatorisse perifeerselt ja tsentraal-

selt. Tsentraalset õhutoru mööda juhitakse ejektori abil utmistsoonist põlemistsooni uttegaasid ning aurud ja veeaur. Generaator on seadistatud käsitsi pööratava restiga ja konstrueeritud küttele tükkturbaga, mille tuhasisaldus ei ole üle 7—8% ja niiskusesisaldus alla 40%.



Joon. 120. Gaasigeneraator turvasküttele. 1. Generaatori kere. 2. Täiteava. 3. Tsentraalne õhutoru. 4. Ejektor. 5. Õhudüüs. 6. Tagasilöögi-klapp. 7. Rest. 8. Puhastusluuk.

Generaatori ekspluatatsioonilisi andmeid on toodud tabelis 55.

Tabel 55. **Ekspluatatsioonilisi näitarve tükkturba gaasistamisel Инсторф-НАТИ-generaatoris.**

Generaatori jõudlus m^3/h (0^0C ja 760 mm Hg)	Gaasi elementaarkoostis %							Gaasi kütteväärtus kcal/m^3
	CO	H_2	CH_4	C_nH_m	CO_2	O_2	N_2	
100—105	21,7	16,9	2,4	0,37	9,8	0,65	48,2	1325
85— 90	21,2	14,9	2,3	0,36	8,9	0,65	51,5	1255
55— 60	22,6	12,6	2,3	0,33	7,5	0,55	54,0	1234
25— 30	16,0	11,4	2,4	0,35	12,0	0,60	57,25	1012

Tabel 56. **Ekspluatatsioonilisi näitarve tükkturba gaasistamisel Инсторф-НАТИ-generaatoris.**

Generaatori jõudlus m^3/h 0^0 C. ja 760 mm Hg	Väljuva gaasi keskmine temperatuur ^0C	Generaatori keskm. takistus mm Vs	Kuiva kütuse kulu kg/h	Gaasi saagis 1 kg kuivast kütusest m^3/kg 0^0C ja 760 mm Hg	Põlemisvõime erikoormus kg/m^2 h	Läbipõlemata kütuse hulk %	Kihi kohendamiste arv kahe täitmise vahel	Räbu hulk
100	275	300	31	3,20	280	7	2	Ei ole nimetamisväärne
85—90	230	200	30	3,00	270	6	1—2	
60—65	150	100	19,5	3.30	177	5	0	
25—30	115	30	—	—	—	—	0	

Tabel 57. **Perioodiliste puhastuste arv tükkturba gaasistamisel Инсторф-НАТИ-ЗИС-21-generaatoris.**

Agregaadi nimetus	Perioodiliste puhastuste arv (töötunni järgi)	
	Generaator Инсторф-НАТИ	Generaator ЗИС-21
Tuhapunker	20—25	30—40
Tsükloon	20—25	—
Jämepuhasti	—	30—40
Jahuti	50	—
Filter	50	—
Peenpuhasti	—	200—300

Joon. 121 on toodud Berliet-Imbert'i gaasigeneraatorseade puitklotsküttele, mille keskmised ekspluatatsioonilised andmed on järgmised:

Gaasi koostis:

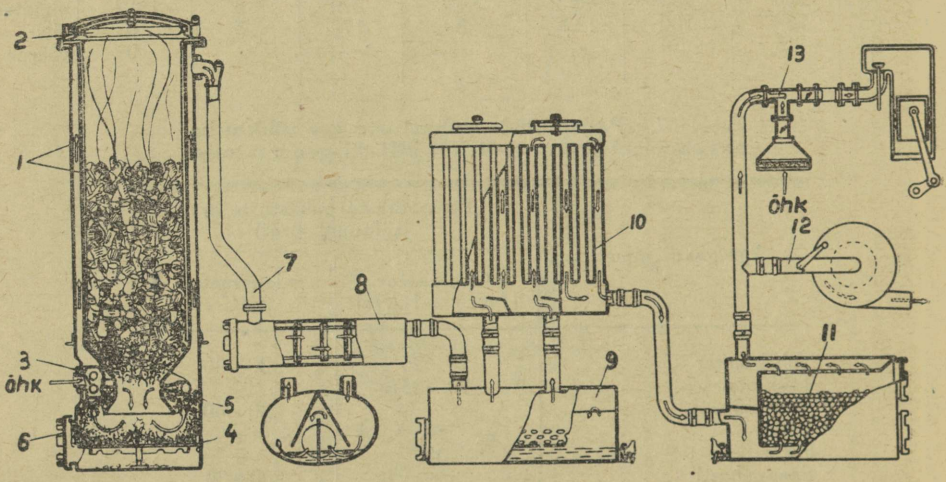
CO	— 19,5%	CO_2	— 9,8%
H_2	— 16,3%	O_2	— 1,7%
CH_4	— 2,5%	N_2	— 50,2%

Gaasi küttevääртus — 1100—1400 kcal/m^3
Põlemistsooni erikoormus — 400—1000 kg/m^2 h
Gaasi saagis — 2,0—2,5 nm^3/kg.

5. Gaasi puhastamine ja jahutamine.

Generaatorist väljuv gaas sisaldab mitmesuguseid kõrvalaineid ja mehhaanilisi lisandeid. Esimeste hulka kuuluvad äädikhape, tõrvad, fenoo-

lid, ammoniaak, väävelsüsinik; viimaste hulka — lendtuhk ja veeaur. Bituumenivaeste kütuste gaasistamisel, kui tarbijad asuvad generaatori lähedal, piirdutakse tavaliselt gaasi kuivpuhastamisega lendtuhast. Jättes lendtuha eraldamata, sadestub see gaasitorustikus ja põhjustab selle ummistumist. Bituminoossete kütuste gaasistamisel, mille puhul tekib tunduv hulk tõrvaineid, võib tarbijate lähedalasumisel piirduda samuti ainult



Joon. 121. Gaasigeneraatorseade „Berliet-Imbert". 1. Generaatori kere. 2. Täiteava. 3. Äärik tagasilöögi-klapiga. 4. Rest. 5. Õhudüüs. 6. Puhastusluuk. 7. Gaasitorustik. 8. Jämepuhasti. 9. Settimispaak. 10. Gaasijahuti. 11. Peenpuhasti. 12. Käivitusventilaator. 13. Gaasi ja õhu segaja.

gaasi kuivpuhastamisega, juhtides tarbivasse seadmesse kuuma gaasi. Asuvad aga tarbijad generaatorist eemal, siis tuleb generaatorist väljuv gaas puhastada veel tõrvainetest ja veeaurust. Teistest ülalloetletud lisandeist vabastamine sooritatakse majanduslikel kaalutlustel nimetatud ainete tootmise otstarbel. Kõrgendatud niiskusega kütuste kasutamisel sisaldab generaatorigaas suure hulga veeauru, mille olemasolu halvendab gaasi põletamisel püromeetrilist efekti põlemistemperatuuri alandamisega ning põhjustab suuremaid soojuskadusid lahkuvate suitsugaasidega. Gaasi kuivendamisel, seoses gaasi samaaegse jahutamisega, väheneb gaasi maht ja energiakulu gaasi transportimiseks; ühtlasi väheneb gaasitorustiku söövitus. Tõrvained, kondenseerudes gaasitorustikus, põhjustavad viimase pigitumist ja sellega tarbija tööst väljalülitamist.

a) Gaasi puhastamine lendtuhast.

Lendtuha hulk gaasis, sõltudes kütuse liigist, tera jämedusest, generaatori koormusastmest jne., võib ulatuda 2—60 g/m³. K. 16, lk. 303 andmetel võib lubatud lendtuha ülemmäär gaasis olla:

kuumendusahjudes ja kateldes . . . . alla 0,5 g/m³
gaasimootoreis . . . . . 0,005—0,012 g/m³

Vastavalt ülaltoodud määradele eristatakse
gaasi jämepuhastamist — lendtuhasisaldus gaasis < 0,5 g/m³, ja
„ peenpuhastamist — „ „ < 0,012 g/m³.

Jämepuhastamist teostatakse tolmukambritega või tsükloonidega ja skraberitega (pesijatega), peenpuhastamist desintegraatoritega, filtritega ja elektrostaatilisel teel.

Lendtuha eraldumine tolmukambreis saavutatakse gaasivooluse põiklõike järsul laienemisel või vooluse suuna teraval muutmisel, tsükloonides tsentrifugaaljõu mõju kasutamisega gaasile tiirleva liikumise andmise teel. Lendtuha eraldumise aste tolmukambreis ulatub 60—80%-ni, tsükloonides 80—95%-ni.

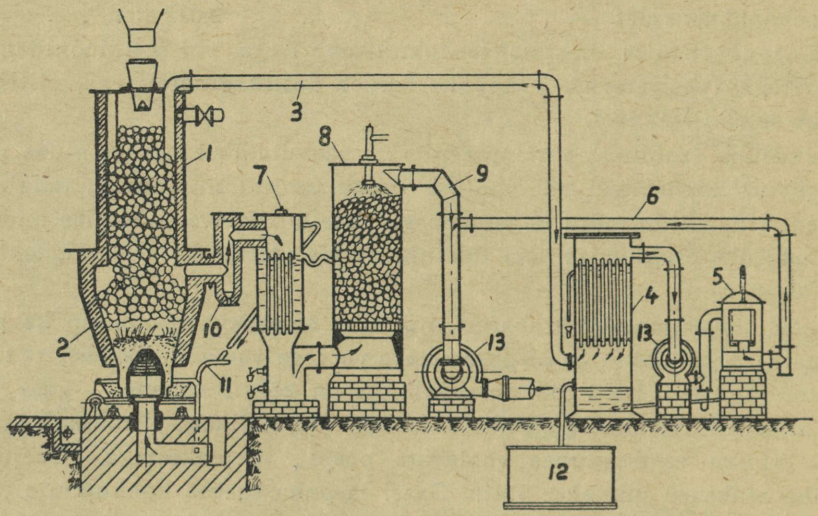
Gaasi puhastamine skrabereis, milledes samaaegselt toimub ka gaasi jahutamine, teostatakse gaasi pesemisega voolava vee abil. Skraberite tüüpe on mitmesuguseid, kuid töötamispõhimõte on kõigil samane — gaas juhitakse sisse alt, tavaliselt silindrikujulisse (ka nelikant-) nõusse, kus ta puutub kokku vastassuunas voolavate peente veejoakestega. Seejuures lendtuha osakesed uhetakse välja. Gaasi ja puhastusvee kokkupuute pinna suurendamiseks ja gaasivooluse suuna muutmiseks täidetakse skraberid koksiga, puitrestidega ja keraamiliste, teras- või malmrõngastega. Samuti kasutatakse kaskaadskrabereid (joon. 117), milledesse ehitatud vaheseintega muudetakse järsult gaasi liikumise suunda ja suurendatakse gaasi ning vee kokkupuute pinda.

Gaasi puhastamise aste täidisskrabereis ulatub kuni 96%-ni, kaskaadskrabereis kuni 97%-ni. Pigitamisoht tõrvainete poolt on viimaseis väiksem. Kasutades tsentrifugaalskrabereid, milledes sisseehitatud kambreile antakse tiirlev liikumine, tõuseb gaasi puhastumise aste kuni 98,5%-ni.

Gaasi puhastamine desintegraatoreis seisneb selles, et aparaadis asetsevaile kettaile või labidaile antakse tiirlev liikumine. Kettad või labidad pihustavad neist läbijuhitud puhastusvedeliku, mille osakesed, liikudes gaasivoolusele vastu, seovad viimases olevad tolmuosakesed. Desintegraatorite puhastamisaste ulatub 99,5%-ni.

Filtrite kasutamisel, mis lülitatakse tavaliselt jämepuhasti-tsüklooni või skraberi järele, võib saavutada gaasi puhastumise astme kuni 0,012 g

lendtuhka 1 m^3 gaasis, s. o. vajaliku peenpuhastusastme. Filtrite materjalina kasutatakse koksi, höövlilaaste, Raschig'i rõngaid, korki jm. Filtrite kasutamine on võimalik tõrvavaba ja temperatuuriga alla 100° C gaasi puhul, sest tõrvarikas gaas põhjustab filtrite kiiret ummistumist ja üle 100° C gaas filtri materjali kiiret hävimist. Ka on filtrite kasutamine võimalik ainult väikestes seadmetes, kuna nad suurtes seadmetes osutuvad mõõtmetelt suureks ja nõuavad suurt pindala.



Joon. 122. Utmisšahtiga ja kahekordse gaasi võtmisega generaatorseadme üldskeem. 1. Utmisšaht. 2. Alumine šaht. 3. Gaasitorustik generaatori ülaosast. 4. Pindjahuti. 5. Tõrvaeraldaja. 6. Puhta gaasi torustik. 7. Torukatel. 8. Skraber. 9. Puhta gaasi torustik. 10. Lendtuha eraldaja. 11. Õhutorustik. 12. Kondensaadi paak. 13. Ventilaator.

Gaasi puhastamine elekterfiltris seisneb selles, et gaasi läbilaskmisel kõrgepinge-elektriväljast laetakse gaasis olevad tolmuosakesed elektriliselt ja liikudes vastaspoolusele annavad nad viimasele oma laengu ning langevad alla. Elekterfiltrid lülitatakse pärast jämepuhasteid ja nende puhastamisaste tõuseb 99%-ni ja üle selle, kusjuures lendtuha hulk puhasgaasis ulatub 0,001—0,050 g/m^3.

b) Gaasi puhastamine veeaurust.

Gaasi puhastamine veeaurust toimub jahutamisega skrabereis või eriistes jahutites.

c) Gaasi puhastamine tõrvainetest.

Generaatorigaasis sisalduvate tõrvainete hulk sõltub kütuse liigist ja generaatori tüübist ning võib kõikuda laiades piirides:

puitkütusel	35 — 100 g/m³
turbal	25 — 50 „
pruunsöel	10 — 50 „
kivisöel	3 — 15 „

Tõrvained esinevad väljuvas gaasis aurudena ja nende eraldamiseks kasutatakse eelkirjeldatud

mehhaanilisi puhasteid — desintegraatoreid,
filtreid,
skrabereid ja
elekterfiltreid.

Statsionaarse generaatorseadme üldskeem ühes gaasi puhastite ja jahutitega on toodud joon. 122.

VIII. Kütmistehnika.

Kütmistehnika all mõistetakse tehnika põhimõtteil väljakujunenud toiminguid, mille sihiks ja tulemuseks on kütuse kavakindel edukas põletamine põlemisseadmes. Siinjuures on kõige olulisem kütuse pealeandmine, põlemisõhu andmine, tõmbe reguleerimine, põlemise jälgimine jm., et tagada näit. auru tootmisel vajaliku kindlate ja püsivate parameetritega auruhulga saamist või kalorite arvu tööstusahju puhul. Sellele lisanduvad soojusmajandusliku iseloomuga nõuded: vajalik kilogrammkalorite hulk toodetagu minimaalsete küttekuludega. Järelikult hõlmab kütmistehnika põlemistehniliselt õiget ja majanduslikult säästlikku kütuse kasutamist energia tootmiseks.

Kütmistehnika valdamine ja arendamine eeldab kütuste, nende põlemise ja põlemisseadmete täielikku tundmist. Ainult eelnimetatud ala valdamisel ja kogemuste õigel rakendamisel on võimalik õige ja otstarbekohane kütuse põletamine. Tuld tuleb juhtida nii, et leiab aset kütusaine põlevelementide täielik põlemine, kohaldades kolde-tulila koormust vastavalt vajadustele. Käsitleme allpool kütmistehnika ainet ülesannete rühmade järgi, põlemiskontrolli abinõusid, toome põlevkivi põletamisel meil olulisema „Krull-Lomšakovi" resti teenindamise juhendeid ja gaasigeneraatorite käsitsemise kirjelduse.

1. Kütmise teostamine.

a) Kütuse pealeandmine.

Kütuse pealeandmise alla kuuluvad toimingud põlemisseadme toitmiseks kütusega, mida teostatakse näit. tahke kütuse pealeandmisel faasideta põlemisprotsessi puhul katkendlikult — käsitsi pealeviskamisega — või mehhaaniliselt viske- või muu toiteseadme kaudu. Faasprotsessiga põlemisseadme toitmine toimub kütuse pideva pealevarisemise teel. Vedel- ja gaaskütuste kasutamisega põlemisseadmetes juhitakse kütust koldesse pideva voolusena.

Lähtudes sellest, et kõrgemaid kasutegureid saavutatakse kõrgesti mehhaniseeritud põlemisprotsessides, mis aga eeldab kütuse pidevat pealevoolu, tuleb kütuse pealeandmise viisidest pidevat pealeandmist eelistada katkendlikule, perioodilisele pealeandmisele.

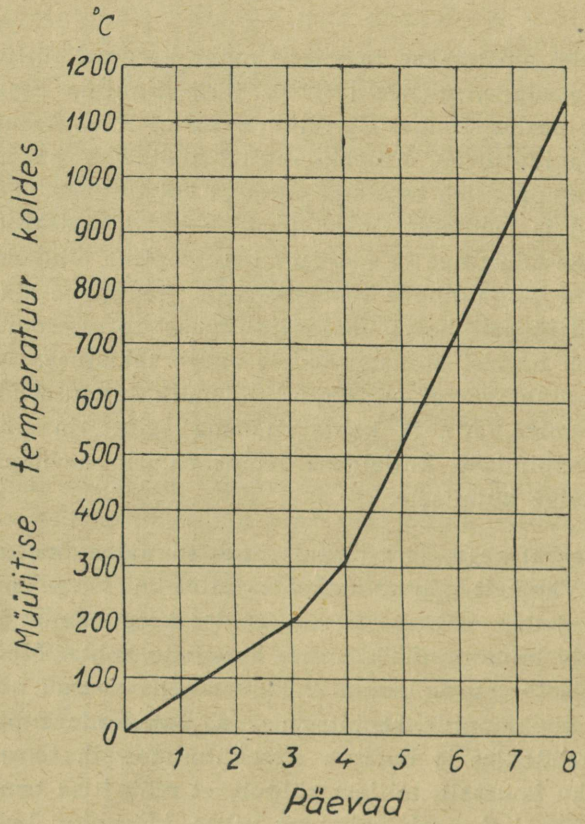
Eelkõige selgitame lühidalt põlemisseadme ja katla sissekütmise toimingut.

Sissekütmist alustatakse tavaliselt mõne kergesti süttiva tahke kütusega, näiteks puiduga, millele järgneb järk-järguline raskemini süttiva tarbimiskütuse pealeandmine. Ka õlikütte puhul tuleb kasutada kolde eelsoojendamist puidutulega. Põlevkiviküttel töötavate seadmete sissekütmise esimene etapp tuleb teostada puiduga või turbaga. Põlevkivist eralduvad õliaurud ja lendtahm jääksid põlevkiviga sissekütmisel peatuma külmadele kolde müüritise ja soojusevahetusseadme pindadele, kattes neid kondenseerunud õli ja tiheda tahmakorraga. See mitte ainult ei vähenda nende ainete äärmiselt halva soojusejuhtivuse tõttu soojuse ülekannet, vaid moodustab ühtlasi suitsugaasidele suure takistuse. Näiteks suitsutorudega katlatüübi korral on koguni võimalik suitsutorude täielik tahmaga ummistumine. Ainult kolde ruumala seinte ja sinna paigutatud kütte- ja ekraanpindade küllaldase temperatuuri saavutamisel võib üle minna põlevkiviga kütmisele.

Suure ettevaatusega, järk-järgult peab toimuma uue müüritud kolde sissekütmine. Värskelt müüritud koldeseintel on kõrge niiskusesisaldus, mis kiirel kuivamisel kutsub esile müüritise pragunemist ja murenemist. Öeldu on kehtiv ka uute või külmade korstnate kohta. Müüritise kunstlikule kuivatamisele eelneb loomulik kuivatamine avatud küttekolde uste, tuhasulgurite, õhuklappide, roobitsemis- ja vaateavade ning korstnasiibri juures. Koldemüüritise ja korstna sissekütmist võib teostada joon. 123 toodud graafiku kohaselt, millest nähtub, et müüritise temperatuuri tõstmine koldes 200°-ni C peab toimuma mitte kiiremini kui kolme päeva vältel.

Kuivatusprotsessi kiirendamiseks ja kütuse säästmiseks on võimalik ja soovitatav kasutada teiste töötavate katelde poolt soojendatud õhku, mida ventilaatori abil juhitakse müüritise vastavate osade juurde. Kuivatuse kiirmeetod seisnebki selles, et üheaegselt korstna ja suitsukäigu tule abil kuivatamisega toimub esialgselt müüritise kuivatamine loomulikul tõmbel, siis soojendatud õhuga ja lõpuks tulega, kuni müüritise välispind on katsumisel ühtlaselt soe. Alles pärast seda, s. t. siis, kui telliste vahed on küllaldaselt kuivad, võib müüritise kuivatamist tõsta ja kiirendada.

Kütuse pealeandmine peab toimuma kooskõlas põlemisseadme koormamisega. Kihispõlemisel tuleb resti pind kütusega üleni katta ühtlaselt ja tihedalt; kütusekihi paksus valida vastavalt kütuse omadustele, seadme ehitusviisile, koormusele, põlemisõhu andmise võimalustele jne. Tuginedes kihispõlemise põhitingimustele (vt. lk. 109), ei tohi lasta resti tühjaks



Joon. 123. Müüritise kuivatamise graafik.

põleda, sest hõõguva aluspõhja puudumisel ei sütti värskelt pealevisatud kütus ja kolde töös tekivad lüngad. Ka ei tohi kihis lasta tekkida auke ega kraatreid, sest tühjadest kohtadest voolab ülemäärast õhku, mis jahutab kollet ning langetab põlemistemperatuuri. Samuti tuleb hoiduda paksust kihist: rohkel hulgal eralduvad põlevgaasid ei põle õhupuudusel täielikult ära. Põlemine jääb poolikuks, kutsudes esile keemilise kao q_3 suurenemist ja seega kütuse ülekulutamist.

Kütuse sisseviskamise ajal hoitagu kolde uks lahti võimalikult lühikest aega; korstnasiiber asetada selleks ajaks koomale. Vältida tuleb kütusekihi sagedast roobitsemist, sest see jahutab kollet ja kütus võib läbi resti variseda.

Kütuse pealeandmine peab ühtlasi toimuma põlemisseadme koormusele vastavas kihipaksuses.

Kihispõletamisel käsitsi teenindamisega reguleeritakse kütuse pealeandmist sissevisatava kütuse hulgaga vastava paksusega kihi saavutamiseks restil. Sisseviskamiste sagedus sõltub kütuse iseloomust. Mehhaanilistel restidel teostatakse pealeandmist kihisiibri seisu ja kütusekihi liikumise kiiruse muutmisega. Gaaskütte korral toimub kütusehulga pealeandmine gaasi- ja õhusiibrite reguleerimisega või töötavate põletite arvu muutmisega, õliküttel aga reguleeritakse tuld pealevoolava õlihulga muutmisega. Kütuse õigemääralise ja õigeaegse pealeandmisega saavutatakse koldes täielik ja seadme koormusele vastav põlemine ja välditakse soojuskadusid puuduliku põlemise ning režiimi kõikumiste näol.

Põlemisseadme pidevaks toitmiseks kütusega hoitakse seadme juures kütuse nn. lähisvaru-punker ja vedelkütuse korral vastavates määrustes lubatud suurusega tarbimisõlianum. Kütuse suuremad kogused paigutatakse kuuridesse või katusealustesse, kivisöe puhul ka lahtisesse lattu. Jälgida tuleb kütuse küllaldase tagavara olemasolu kütuse katlamaja punkris. Alati punkris peetava kütuse kohustusliku tagavara kogus, väljendatuna katlaseadme töötundides, nähakse ette seadme teenindamise juhendis.

b) Tuletehnika.

Teose IV osas on käsitletud kütuse koldes põlemise põhijooni. Allpool toome olulisemat tule reguleerimise tehnika alalt. Tule reguleerimine teostub resti liikumise kiiruse, kütuse, kütusekihi paksuse, antava põlemisõhu hulga ja tõmbe muutmisega. Lisaks IV osas toodud põlemise ja põlemisprotsessi kirjeldusele nimetame siinkohal tähtsamat põlevkivi põletamisel. Põlevkivi süttimine toimub üldiselt kergesti. Peenpõlevkivi süttimine kihispõlemisel mehhaanilisel treppрestil toimub peamiselt ülalt alla kihipealse leegi ja soojust vastukiirgavate koldemüüritise osade mõjul. Väiksemal määral teostub süttimine alt üles, hõõguvate koksipesade ja nendest läbipuhuva alttuule mõjul. Jämepõlevkivi kihispõletamisel faasita põlemisel on altsüttimise toime suurem kui peenpõlevkivi põlemisel liikuvas kihis. Põlevkivi on kõrge tuhasisaldusega kütus. Et tuhk esineb sekundaartuhana ja orgaaniline aine enamasti peenikeste terakestena, siis

on kihis toimuva põlemisprotsessi dünaamika seisukohalt eriti tähtis põlemisõhu andmine alttuulena. Kuumõhu puhumine on intensiivseim vahend tule põlemisprotsessi forsseerimiseks. Ühtlasi on vajalik kihi pidev liigutamine põlemise kestel. Eriti tuleb puhumist forsseerida põlemise teises ja kolmandas faasis, neljandas aga tuule jahutava toime tõttu tuleb puhumist piirata.

Tükkturba põletamisel on olulisemaid tegureid turba kuivatamise ja koksi põlemise faasid. Treppprestidel toimub süttimine nii alt üles kui ka ülalt alla, kettrestidel peamiselt ülalt alla. Märja turba põletamise korral lisandatakse põlemisõhule kuumi põlemisgaase, et kiirendada ja toetada põlemisprotsessi esimese, s. o. ettevalmistus- ehk kuivatusfaasi osas.

Kolde töötamist tuleb pidevalt reguleerida vastavalt seadme koormuse muutustele. Koormuse suurenemisel tugevdada tõmmet ja põlemisõhu puhumist tsoonidesse, seejärel sobitada resti liikumise kiirust. Koormuse vähenemisel vastupidi: enne vähendada resti kiirust ja selle järel puhumist tsoonidesse ning tõmmet. Põletatava kütuse hulga ja antava põlemisõhu koguse vahel tuleb hoida kasulikumat, ökonoomsemat suhet, mis väljendub liigõhuteguris ja süsihappegaasi-sisalduses suitsugaasides.

CO_2-sisaldus katla järel peab normaalselt olema põlevkiviküttе korral 12%, turvasküttel 13—14% (joon. 40). Õhuhulga suurendamine ja CO_2-sisalduse langus umbes 1% piirides on lubatav restide ülekuumutuse vältimiseks väga kuiva kütuse kasutamisel. Õhu puudumisel ilmneb keemiliselt mittetäielik põlemine, mida näitab $CO+H_2$ esinemine suitsugaasis. Õhu vähesuse korral koldes aga tõuseb CO_2-sisaldus suitsugaasides ülemääraselt kõrgeks. Sel juhul tuleb koldesse rohkem põlemisõhku juhtida, avades suuremal määral õhuklappe või tõstes ventilaatori tiirusid.

Normaalsest väiksema CO_2-sisalduse korral tuleb vähendada ventilaatori tiirusid või õhuklappide lahtiolekut. Selle järel tuleb tõmmet reguleerida nii, et koldes oleks normaalne alarõhk.

Õhusurve peab olema reguleeritud nii, et suurem õhuhulk antaks keskmistesse tsoonidesse (joon. 35 ja 36).

Põlevkivi-kukersiidi põletamisel tuleb eriti silmas pidada pealtõhu andmist kõrge lendosadesisalduse ja lendosade elementaarkoostise tõttu selles kütuses. Ülekaalukas osa lendosadest eraldub põlevkivist madalail temperatuuridel. Täieliku põlemise saavutamiseks peab suunama pealtõhu toimel kolde eesosas eraldunud ja lagunemata või osaliselt lagunenud rasked süsivesinikud aktuaalpõlemistsooni koldes ja hoolitsema koldegaaside hea segunemise eest põlemisõhuga.

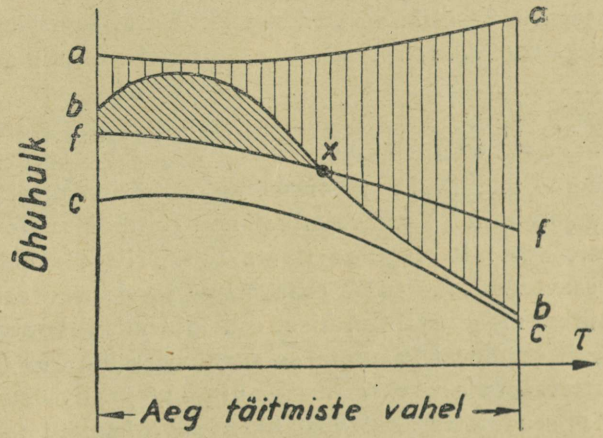
Kütusekihi paksus peab vastama kasutatavale kütusele. Normaalset kütusekihi paksust võib suurendada ainult seadme suure koormatuse kor-

ral ja kütuse niiskuse või tükkide suurenemisel. Peenema kütuse korral hoida kiht õhem, sest vastasel korral suureneb ülemääraselt tema takistus õhule.

Resti liikumiskiiruse ja kütusekihi paksuse muutmisel silmas pidada järgmist:

a) Kütusekihi paksuse tõstmine muutmata restikiiruse ja õhuhulga juures põhjustab kütuse mittetäielikku läbipõlemist; kütusekihi paksuse vähendamine muutmata restikiiruse ja õhuhulga juures põhjustab resti tagumise osa paljakspõlemist.

b) Resti liikumiskiiruse tõstmine või vastavalt vähendamine põhjustab samu nähtusi.



Joon. 124. Kirši diagramm. *aa* — koldesse antud õhuhulk, *bb* — täielikuks põlemiseks vajalik õhuhulk, *cc* — koksi põlemiseks vajalik õhuhulk, *ff* — kütuse põlemiseks tegelikult kasutatud õhuhulk.

Koldesse antava üldise õhuhulga suurendamine muutmata kihipaksuse ja restikäigu juures põhjustab resti tagumise osa paljakspõlemist, õhuhulga vähendamine aga läbipõlemata kütuse tekkimist.

Arvestades eeltoodut, peab kütmisrežiimi määramisel kindlaks tegema koldele ja restile kohased kütusekihi, restikäigu ja õhuhulga suhted, milledest kinnipidamine on tingimata vajalik.

Käsitsi teenindavate restide puhul tuleb veel meeles pidada, et põlemiseks vajalik õhuhulk kütuse sisseviskamiste vahel peab pidevalt teatavast maksimumist miinimumini muutuma. Koldesse värskelt visatud kütus osutab õhu läbimisele suurimat takistust, mis väheneb pidevalt vastavalt kihi läbipõlemisele. Vastavalt kihi takistusele muutub ka põlemi-

seks vajaliku õhuhulga suurus. Alguses on õhuhulk väike, kihi läbi põledes tõuseb aga läbivoolav õhuhulk järgmise sisseviske eel maksimumini. Õhuvajadus on aga just vastupidine. Kirši diagrammis (joon. 124) kujutab *bb* täielikuks põlemiseks vajalikku, *ff* kütuse põlemisel tegelikult kasutatud õhuhulka. Nende kõverate ristumispunktist *x* vasakul olev pindala näitab õhupuuduse ja paremal olev liigõhu olemasolu ning suurust. *aa* näitab koldesse juhitavat, *cc* aga koksi põlemiseks vajalikku õhuhulka. *bb* ja *cc* ordinaatide vahe näitab kütuse lendosade põlemiseks kulutatud õhuhulka.

Tehes Kirši diagrammist järeldusi, selgub, et käsitsi teenindatavate kollete korral tuleb kütust koldesse visata väikestes kogustes, kuid sagedasti. Mis puutub antava õhuhulga muutmisse vastavalt vajadusele, siis pole selle teostamine kasulik, sest värske kütuse sisseviskamisel on kolde temperatuur niigi madalam tavalisest ja suureneks õhuhulga suurendamisel veelgi.

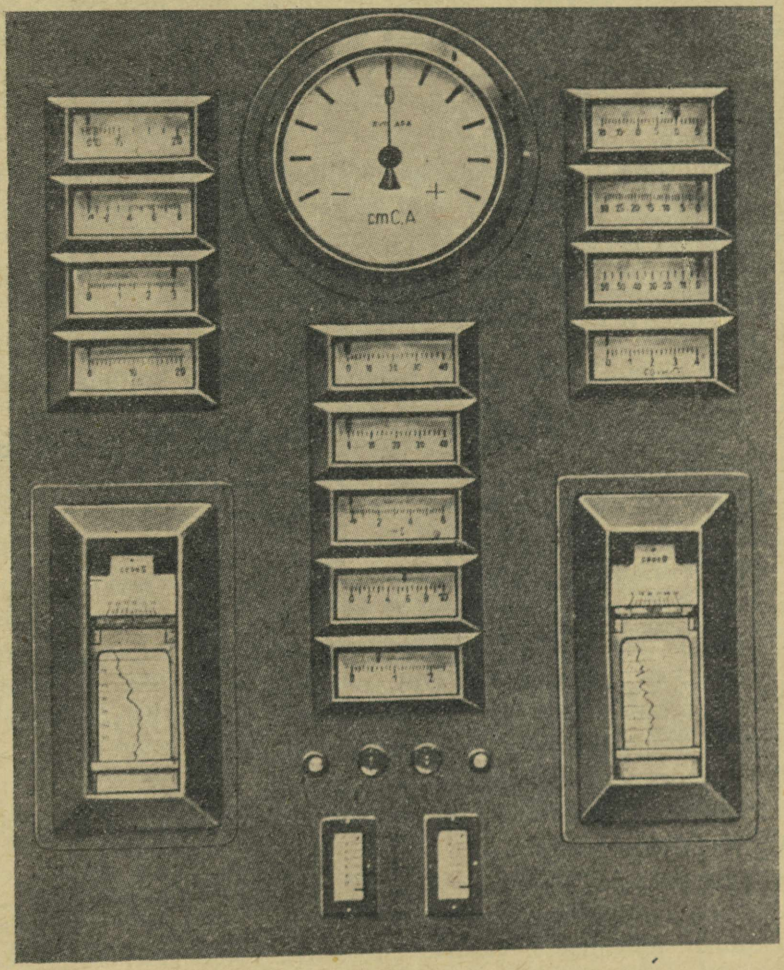
c) Põlemise jälgimine.

Põlemisseadme teadlikuks ja oskuslikuks käsitsemiseks on tarvilik põlemise pidev jälgimine ühes vajalike kontrollmõõtmiste teostamisega iseregistreerivate või mitteregistreerivate mõõteriistadega. Kütuse täieliku põlemise saavutamiseks tuleb teha õiged järeldused eeltoodud käsitlusest. Siinjuures moodustab olulise osa põlemise kontrollimine. On teada, et sõltuvalt seadmest kasutatakse aurukatlas kuni 90% koldesse viidud kütuse küttevääртusest, väiksemates ning primitiivsemates seadmetes vähem. Halbades seadmetes, kui veel lisandub oskamatu ja hooletu kütmine, läheb umbkaudu 50% koldesse toodud soojusest kaduma. Soojuskaod kuumadest korstnagaasidest, mittetäielikust põlemisest, kiirgamisest ja kütuse läbivarisemisest sõltuvad katlatüübile ja kütuseliigile sobiva kolde ja resti valikust. Veel on soojuskadude vähendamiseks oluline kolde ja selle abiseadmete korrashoid. Peamiselt tuleb aga soojuskadude vähendamiseks erilist rõhku panna õigele ja otstarbekohasele kütmisele.

Mida lihtsam on põlemisseade, seda lihtsam on tema õige käsitsemine ja seda väiksem on tema teenindamiseks vajalike kontroll- ja mõõteriistade arv. Suurseadmete kütterežiimi õige määramine ja selle täpne jälgimine eeldab mitmesuguste mõõteriistade kasutamist (joon. 125).

Põlemisprotsessi jälgitakse müüritises olevate vaateavade kaudu ja temperatuuri, tõmbe ja gaasianalüüsimise mõõteriistade lugemi abil (punkt 3). Vaateavadest jälgitakse põlemiskihti, tema paksust, ühtlust ja tule värvi, põlemise dünaamikat jm. Normaalne ja põlemistehniliselt õige, ühtlasi ökonoomne on põlemine siis, kui leek on hele, kollakas, elav ja

lendosaderohkete kütuste juures võrdlemisi pikk. Mittetäieliku põlemise tunnuseks on tumepunakas, tumedate vöötmetega tuli. Samuti on tuli nor-



Joon. 125. Mõõteriistade tahvel.

maalsest tumedam, leek aga väga elav ja lühike, kui koldesse satub õhku liigsel määral.

Leegi ja tule dünaamika jälgimiseks tuleb kasutada tumedavärvilisi klaase.

Väikestes katelseadmetes on kerge põlemist jälgida korstnast välja-

tuleva suitsu värvuse järgi. Õige põlemise puhul peab korstnast välja tulema turvasküttе korral helekollakas, tükk-põlevkivi korral helehallikas suits, mille värvus vastab Ringelmanni skaala 1.—2. astmele. Selle nõude täitmisel on kütuse põlemiseks juurdejuhitava õhu hulk kõige otstarbekohasem. Kui suits on värvuseta või valge, tuleb koldesse või läbi müüritise liiga palju õhku. Kui suits värvub õige tumedaks, mustaks, siis on õhku liiga vähe. Gaasi ja põlevkiviõli põletamisel peab suits olema täiesti värvusetu.

Ülaltähendatud põlemisprotsessi jälgimise viis tule ja suitsu värvuse järgi on primitiivne ja mõeldav vaid väikeste seadmete puhul, annab aga orienteerumiseks põlemisprotsessi reguleerimisel ikkagi teatavaid juhendeid. Suuremate katelseadmete korral tuleb aga põlemist jälgida kõigi mõõteriistade lugemite vaatlusega.

Põlemise jälgimisel tuleb silmas pidada ka kolde seinte ja resti seisukorda. Kolde seinad, samuti resti külgpaneel võivad kattuda ülessulanud räbuga.

Peale otsese jälgimise tuleb vaadata mõõteriistade lugemeid kindlate ajavahemike järel ja teha sissekanded seadme tööraamatusse.

d) Tuha kõrvaldamine.

Tahkekütuste, eriti aga tuharikaste kütuste, nagu põlevkivi põletamisel on tuha kõrvaldamine olulise tähtsusega. Et põlevkivi jätab peaaegu niisama palju tuhka mahuühikuis, kui oli kütust kaaluühikuis, tuleb jämekivi kasutamisel vastavalt tüki põlemisele vabastada kihis põlenud kivitükke tuhast, et võimaldada õhu juurdepääsu kütuse põlevosadele. Teiselt poolt aga peab restidele jääma teatav aluskiht, mis aitaks värskelt pealevisatud kütusel kuivada ning süttida ja soojendaks koldesse juhitava külma õhu ning jahutaks resti peegelpinda.

Liigutatavate käpprestide puhul variseb tuhk liigutamisel läbi restipilude tuharuumi.

Liikumatuil treppprestidel toimub kütusekihi põlemisel tuha varisemine piki resti astmelist pinda all asetsevale räburestile kütuse omaraskuse toimel põlemisele vastavalt teostuva värske kütuse pealeandmisega.

Mehhaanilistel treppprestidel teostub samuti kihi liikumine räburesti suunas. Räburestile jõudmisel peab kütus olema täielikult läbi põlenud ja räburestile peab jõudma vaid tuhk, kust ta üle resti variseb tuhapunkrisse. Räburestile püsima jäänud räbu ja tuhk langetatakse resti kallutamisega tuhapunkrisse. Paigalise räburesti korral nihkub tuhk liikuva kihi toimel räburestilt tuhapunkrisse. Teatav osa tuhka variseb juba kihi liikumisel läbi resti.

Vastavalt eelkirjeldatule tuleb ka korraldada tuha koristamist, mis peab toimuma korrapäraselt.

Tuhakiht ei tohi tuharuumis tõusta liiga kõrgele, sest ta takistab õhuvoolu ja ohustab resti pinnakatte metallosi. Samuti võib tuha kõrvaldamise seadme juhuslik rike raskendada ja isegi takistada kolde teenindamist.

Tuharuumi varisev tuhk koristatakse (lk. 227) ära. Tuleb olla ettevaatlik, et veel tuline või isegi hõõguv tuhk ei tekitaks tulikahju või põletushaavu. Selle vältimiseks, samuti liigse tolmamise ärahoidmiseks kastetakse tuhka veega. Eriti ohtlik on puudulikult läbipõlenud kuiv tuhk, mis tuhapunkri sulguri avamisel õhuga kokku puutudes võib pika leegiga põlema plahvatada, ohustades personali.

Peeneteraline tuhk kantakse tõmbe toimel kolderuumist gaasikäikudesse, kus ta osaliselt langeb kogujatesse — punkritesse, mida tuleb aegajalt tühjendada.

Lendtuhk-lendtolm mõjub ümbruskonnale kahjustavalt. Seetõttu kasutatakse suurema lendtolmusisalduse korral tolmupüüdmisseadmeid.

2. „Krull-Lomšakovi" resti teenindamise juhend.

A. Resti kontroll enne tööle rakendamist.

1) Rest tuleb hoolsasti järele vaadata ja veenduda, et kõik pinnakatte elemendid oleksid korralikult täidetud ümarateralise raudkivikruusaga (terajämedus 8—12 mm).

Liiga peene kruusaga täitmisel langevad terakesed läbi restikärgede põhjas olevate avakeste, mis põhjustab peeneteralise kütuse läbivarisemist restist.

Ülemääraselt jämedateralise kruusa kasutamisel variseb tuhk kruusaterade vahele ja ummistab resti elavpinda.

Täitematerjal ei tohi olla killune.

2) Resti katepind puhastada kõigist kõrvalistest esemetest (metallosad, tellised, müürimisel varisenud savi jne.).

3) Kontrollida küttekolde külgseintes olevate resti jahutuspalkide korrasolekut ja jahutusvee läbivoolu.

4) Kontrollida, kas resti ajam on puhastatud ja ajami osade vahel ei leidu kõrvalisi esemeid. Kõik õlitatavad kohad tuleb korralikult õlitada, õlitoosid täita õliga või tavotiga.

5) Kütust etteandva laua hõõrdekohad täita paksu määrdega.

6) Kontrollida resti raamide liikumist ja selgitada, kas nende liikumine pole takistatud. Selleks

a) käivitada I raam üksikult,
b) käivitada I ja II raam,
c) käivitada I ja III raam,
d) käivitada kõik raamid koos.

Resti raamide liikumist kontrollida resti käivitusmootori kõige madalamate tiirude juures.

Kontrolli tuleb teostada kõikide käikudega, alustades kõige lühemaga.

7) Kontrollida, kas märkketta lugem on kooskõlas resti käikudega; vastasel korral asetada märkketas õigesse asendisse.

8) Kontrollida kütuse etteande seadme korrapärast liikumist.

9) Kontrollida kihisiibri korrasolekut ja siibriava kõrguse kooskõla siibriseisu näitajaga.

10) Kontrollida, kas õhu läbivool läbi resti peegelpinna on korrapärane ja külgtihendid tihedad.

B. Sissekütmine.

1) Lasta vesi resti jahutuspalkidesse.

2) Esimestele restiastmetele teha kergesti süttiva kütusega (puitlaastud, halupuit jm.) nõrk tuli. Õhutsoonidega restil peavad kõik tsoonid olema suletud; esimese tsooni alla juhtida välisõhku resti raamis oleva ava kaudu.

3) Esimestele restiastmetele tehtud tuld järk-järgult suurendada, seejuures silmas pidada, et küttekolde eesmine, tulele lähedal olev osa liigselt ei kuumeneks ja et tuli ei satuks kütusekolusse.

4) Resti aeg-ajalt käivitada, kasutades kõige lühemat käiku. Valvata, et tuli püsiks esivõlvi all. Pärast kolde müüritise küllaldast soojenemist, kui kogu rest on kaetud kütuse ja räbuga, mis on tekkinud kütuse põlemisest, käivitada altõhu-ventilaator ja anda tsoonide kaupa, vastavalt kütuse edasiliikumisele, resti alla õhku.

Läbipõlemata pikemate puidutükkide puhul on resti käivitamine keelatud.

C. Juhendeid resti töötamisel.

1) Altõhk koldes resti peal hoida võimalikult ühtlane, 2—5 mm Vs.

2) Resti jahutuspalkidest väljuva jahutusvee temperatuur ei tohi tõusta üle 80° C. Tarbe korral suurendada jahutusvee läbivoolu. Kasutada puhast jahutusvett. Aeg-ajalt (pikemaajalistel resti seisakutel) kontrollida jahutuspalgi ja -torude seinte puhtust.

3) Kütusekolu peab alati olema kütusega täidetud.

4) Kütus peab restil täielikult läbi põlema ja põlemata kütust ei tohi sattuda tuhapunkrisse.

5) Tuhk ja räbu kõrvaldada punkritest õigeaegselt, kusjuures silmas pidada, et sulgurid tuha väljalaskmisel oleksid avatud võimalikult vähe aega, et piirata külma õhu pääsemist koldesse.

Tuhapunkrite tühjendamisel altõhk sulgeda.

6) Restist läbivarisenud kütus aegsasti kõrvaldada (koristamise periood 1—7 päeva, sõltuvalt läbivarisemise hulgast).

D. Kolde töötamise reguleerimine.

1) Vastavalt koormusastmele ja kütuse omadustele tuleb kolde korralikuks ja ökonoomseks töötamiseks sobivalt valida:

a) kütusekihi paksus restil,
b) altõhu surve üksikuis tsoonides,
c) sekundaarõhu surve,
d) korstna tõmme,
e) resti käigud,
f) resti käivitusmootori kiirus,
g) kütuse etteande laua käigu suurus.

2) Normaalsel töötamisel kasutada kõikide raamide juures ühtlase pikkusega käike.

3) Kütuse intensiivsel läbipõlemisel resti esi- ja keskosas kasutada III raamil lühemat käiku küllaldase kütusekihi säilitamiseks resti tagaosal.

4) Läbipõlemata kütuse tuhapunkrisse varisemise takistamiseks kasutada III raamil lühemat (kuni null) käiku. Seejuures suurendada viimases tsoonis altõhu survet.

5) Kui restil on märgata kohati kütuse ja räbu kogunemist, tuleb kasutada roopimiskäike. Tarbe korral roopida käsitsi.

6) Pideval pikaldasel aurusurve tõusul vähendada kütuse liikumise kiirust restil (resti käivitusmootorile madalam kiirusaste, restiraamidele lühem käik), tõmmet ja altõhu survet.

7) Pideval kiirel aurusurve tõusul vähendada kütuse etteandmist, kütuse liikumise kiirust restil, tõmmet ja alt- ning sekundaarõhu survet.

8) Aurusurve langemisel suurendada kütuse etteandmist, kütuse liikumise kiirust restil, tõmmet ja alt- ning sekundaarõhu survet.

Seejuures silmas pidada, et liiga suur ja järsk kütuse ning põlemisõhu lisandamine järsult jahutab põlevat kütusekihti, mis võib põhjustada edasist aurusurve langust.

9) Kütuse liikumise kiirust restil, altõhu survet ja tõmmet reguleerida resti erikoormuse ja suitsugaasis oleva CO_2 hulga järgi.

E. Resti seiskamine.

1) Sulgeda kütuse juurdevool restile.

2) Lõpetada sekundaarõhu andmine koldesse.

3) Tõmme ja altõhu andmine lõpetada, kui kütus on restil küllaldaselt läbi põlenud ja pole karta restipinna rikkumist tule poolt.

4) Panna seisma resti käivitusmootor, kui rest on kütusest ja räbust tühi.

5) Juhul, kui kolle kavatsetakse pikemaks ajaks seisma jätta ja hoida seisu ajal restil tuld, peab põleva kütuse lükkama roopidega esimeselt restiastmelt järgmisele, et vältida kolde esiosa liigset kuumenemist.

6) Iga pikemaajalist kolde seisakut kasutada resti järelevaatuseks ja korrastamiseks:

a) resti pinnakatte täidis läbi puhuda suruõhuga, ummistunud restil kärjed tühjendada ja uuesti täita;

b) täidist tasandada ning tarbe korral lisandada uut raudkivikruusa;

c) puhastada kolde seinad, külgtihendused ja jahutustalad neile kleepunud tuhast ja räbust;

d) kontrollida sekundaarõhu-avade lahtiolekut ja ummistused kõrvaldada;

e) kontrollida restiraamide viltuolekut, mis on tingitud kanderullide kulumisest, ja raamide õiget liikuvust resti pikisuunas;

f) kontrollida resti ajamit ja käivitusmehhanismi.

7) Esmakordselt töösse rakendatud küttekolle jätta seisma pärast nädalast töötamist, et teostada kolde järelevaatust ja kõrvaldada ilmnenud küttekolde valmistamise ning monteerimise vead. Teiskordne ülevaatus teostatakse üks kuu pärast esimest järelevaatust, mille järel võib seadme rakendada pidevasse ekspluatatsiooni.

3. Põlemise kontrollimise abinõud.

a) Kalorimeetrid.

Õige kütmisrežiimi kujundamisel lähtutakse kasutatavast kütusest, mille üheks tähtsamaks iseloomustajaks, samuti põhialuseks kõigile soojuslikele arvutustele on põlemis- või küttevääртus. Põlemis- ja küttevääртuse arvutamine on võimalik ka vastavate teoreetiliste valemite abil, nende täpne määramine aga toimub kalorimeetriga laboratoorsel teel.

Kütuse põlemisväärtuse määramine kalorimeetrilise meetodi järgi seisneb selles, et kütuse põlemisel eralduva soojuse mõjul soojeneb kalorimeeter. Teades kalorimeetri massi ja tema erisoojusemahtuvust, samuti temperatuuri tõusu, on võimalik täpselt arvutada kalorimeetrile üleantud soojuse hulka ja seega ka kütuse põlemisväärtust valemi järgi:

$$Q = \frac{(M_1 \cdot 1 + M_2 \cdot C_2) \cdot (t_2 - t_1)}{g} \text{ kcal/kg, kus}$$

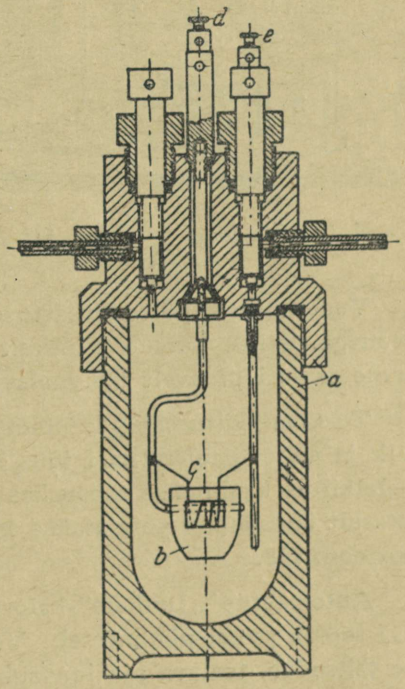
Q = otsitav põlemisväärtus kcal/kg,
M_1 = kalorimeetri pommi ümbritseva vee mass,
M_2 = kalorimeetri mass,
1 = vee erioojusemahtuvus,
C_2 = massi M_2 keskmine erisoojusemahtuvus,
$t_2 - t_1$ = vee temperatuuride vahe,
g = põletatud kütuse hulk kilogrammides.

Tahkekütus põleb pikkamisi, gaas peaaegu silmapilkselt, kuna vedelkütuse põlemise kiirus on nende eelmiste vahepealne.

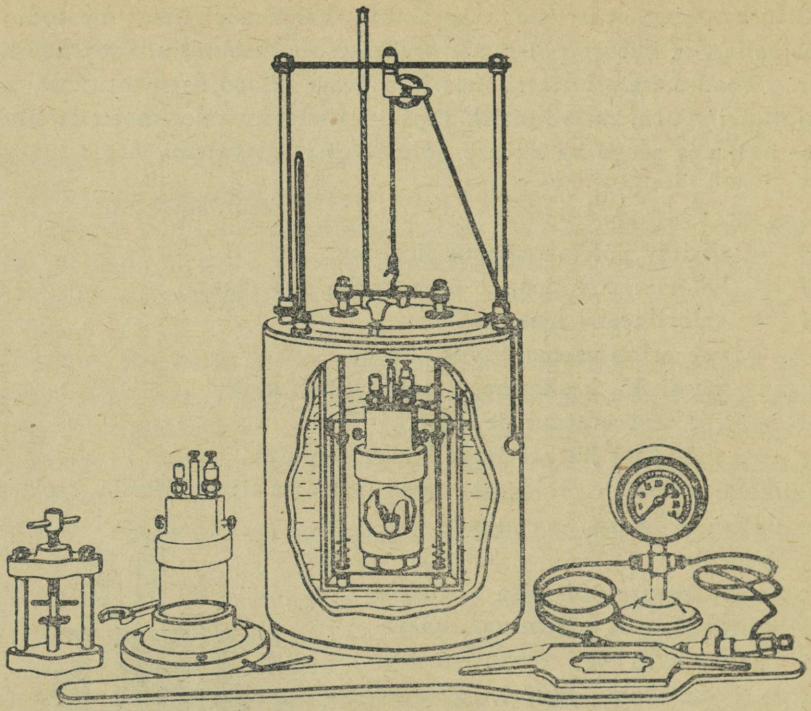
Vastavalt kütuse põlemise kiirusele toimub tahkekütuse põlemine maksimaalse põlemiskiiruse saavutamiseks hapnikus 25 at rõhu juures, gaaside põlemine aga atmosfäärses rõhus ja keskkonnas. Vedelkütuse põlemisväärtuse määramine kalorimeetri abil võib toimuda nii esimese kui ka teise menetluse järgi.

Kalorimeetri pomm on näidatud joonistel 126 ja 127.

Terasest treitud kere *a* välisseinad on soojuse paremaks juhtimiseks jahutusvedelikule poleeritud ja siseseinad kaitseks põlemisgaaside vastu kullatud. Kütus asetatakse plaatinast või kroomnikkelterasest tiiglisse *b* ja süüdatakse elektriliselt hõõgniidi *c* abil, mille otsad on ühendatud klemmidega *d* ja *e*. Kalorimeetri pomm riputatakse kahekordsete seintega nõusse, mis on täidetud veega. Vee soojenemist mõõdetakse kahe termomeetriga $^1/_{100}$° C täpsusega.



Joon. 126. Kalorimeetri pomm. *a* — kere, *b* — tiigel, *c* — hõõgniit, *d* ja *e* — klemmid.

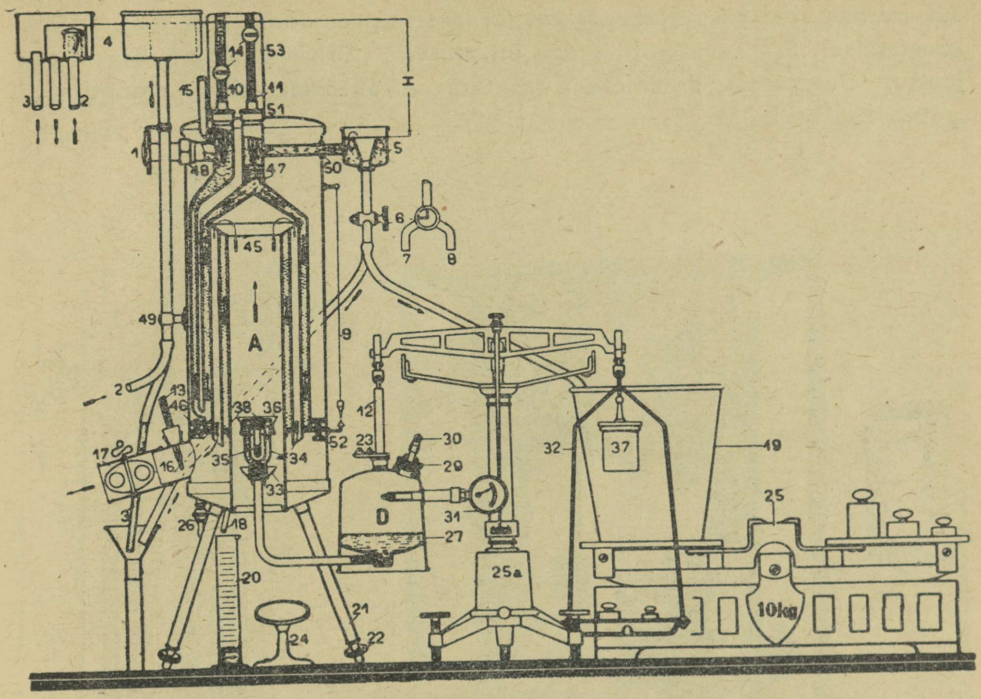


Joon. 127. Pommkalorimeeter.

Vedelkütuse põlemisväärtuse määramine toimub „Junkers"-kalorimeetriga. Selles toimub pidevalt juurdevoolava õli põlemissoojuse ülekanne samuti pidevalt läbivoolavale veele.

Teatava kütusehulga põletamisel kalorimeetrist läbivoolanud vee hulk ja selle temperatuuri tõus annavad kütuse põlemisväärtuse kcal/kg. Vedelkütus kaalutakse täpsuskaaluga (gaasidel mõõdetakse maht) ja gaasistatult suruõhuga põletatakse kalorimeetris. Kalorimeeterseadist kujutab joon. 128.

Automaatne „Junkers"-kalorimeeter gaaskütuste jaoks (joon. 129 ja 130) töötab samal põhimõttel. Veehulga suhe gaasihulgaga on siin püsiv, see tähendab, teatava aja jooksul põletatud gaasihulgale vastab alati kindel kogus läbivoolanud vett. Nii on siin põlemisväärtus sõltuv ainult sooja ja külma vee temperatuuride vahest. Kalorimeetrisse sisseehitatud termoelement registreerib neid temperatuuri vahesid põlemisväärtuse kõvera näol.



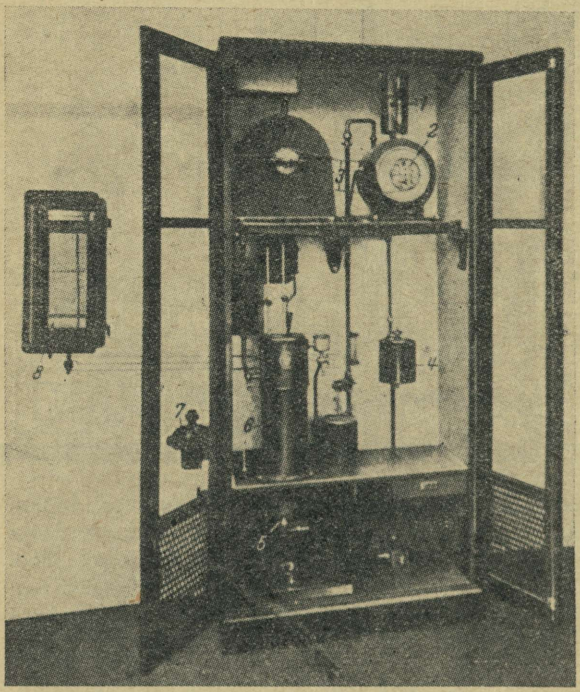
Joon. 128. „Junkers"-kalorimeeter vedelkütustele. 1. Vee reguleerimise kraan. 2. Külma vee juurdevool. 3. Vee äravool, ülejooks. 4. Vee ülejooksu seade. 5. Sooja vee äravool. 6. Lülimiskraan. 7. Mõõduvee torujätk. 8. Äravee torujätk. 9. Vesilood. 10. Termomeeter, külm 1/10°. 11. Termomeeter, soe 1/10°. 12. Gaasistaja lambi riputi. 13. Termomeeter, äragaasid 1/1°. 14. Luup. 15. Ohustustoru. 16. Pesa gaaside termomeetrile. 17. Kägiklapp. 18. Torujätk kondensaatorile. 19. Mõõdunõu. 20. Kondensaatori mõõduklaas 0,1 l. 21. Alus. 22. Reguleerimiskruvi. 23. Kaalukauss. 24. Peegel. 25. Lauakaal. 25a. Täpsuskaal. 26. Tühjenduskraan. 27. Gaasistaja lamp. 29. Sulgemiskruvi. 30. Kaitseventiil. 31. Rõhumõõtja. 32. Kaalukausi riputi. 33. Küttekauss. 34. Põleti. 35. Põleti jalg. 36. Põleti pea. 37. Põleti vastukaal. 38. Põleti kruvi. 45. Küttekeha. 46. Ääriku kruvi. 47. Veesegaja. 48—52. Kruviühendid. 53. Reflektorplekk.

A. Kalorimeetri põlemisruum. D. Gaasistaja lambi õhuruum. H. Vee ülerõhukõrgus.

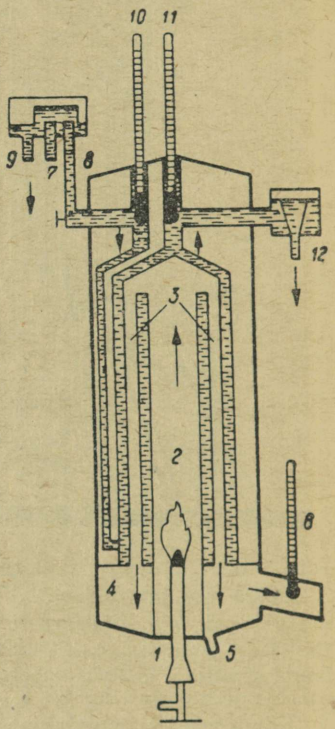
b) Kütusehulga mõõtmise abinõud.

Kütuse põlemisväärtuse määramine koos keemilise analüüsiga annab kütuse iseloomustuse, seadme ökonoomsuse kindlakstegemiseks on aga vajalik põletatava kütuse hulga teadmine. Kütuse hulga arvestuse lihtsamaks ja tähtsamaks viisiks on tema kaalumine. Iga tahkekütuse vagonetti

või käru või vedelkütuse hulka kaalutakse kümnendik- või sajandikkaaludel, millist viisi kasutataksegi katelseadmete proovimistel ja soojusbilansi koostamisel. Igapäevases töös aga on see viis tülikas ja nõuab liigset tööjõudu. Suuremais seadmetes kasutatakse automaatseid vagoneti- või punkrikaalusid.



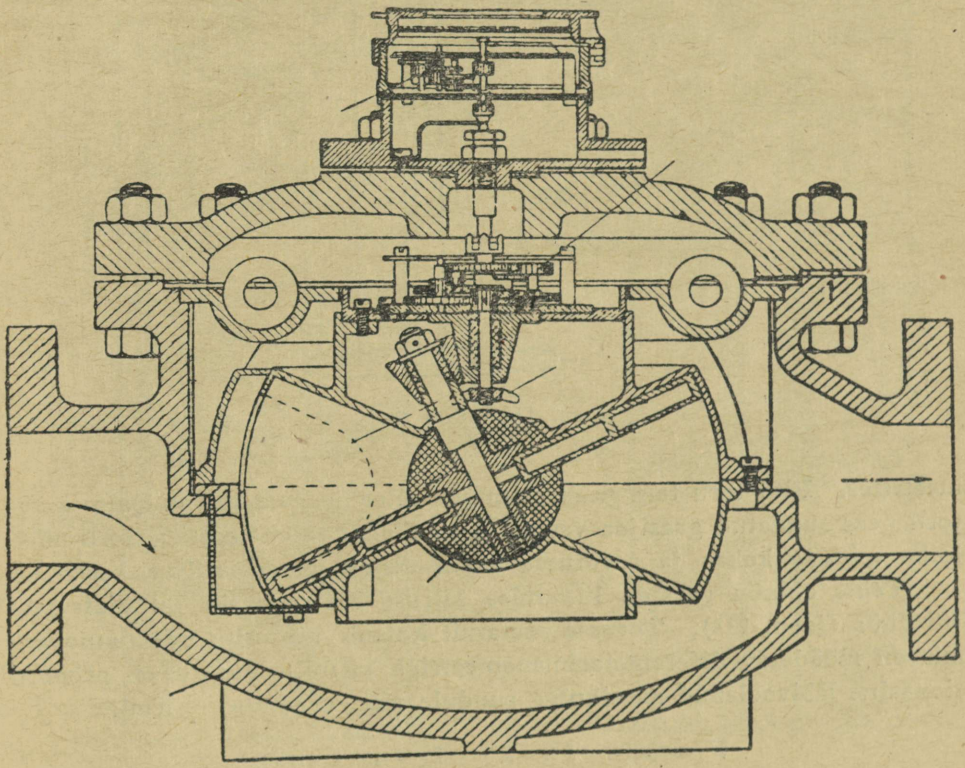
Joon. 129. „Junkers"-kalorimeeter gaaskütustele.



Joon. 130. „Junkers"-kalorimeeter gaaskütustele.

Vedelkütuse kulu hulga mõõtmiseks on mitmesuguseid õlimõõtjaid, mis oma ehituselt ja töötamispõhimõttelt on väga erinevad. Tuntuimad nendest on „Siemensi" ketas-õlimõõtja (joon. 131), milles läbivoolav õlihulk paneb pöörama lugejaseadisega ühendatud ketta, ja Kennedy (ka Eckardti nime all tuntud) kolb-õlimõõtja. Viimases surub neljakäigulise kraani kaudu kolvi peale voolav õli silindris kolvi alt õli välja. Kolvi käigu lõpul suunab neljakäiguline kraan õli liikumise vastupidiseks. Kolvi varre külge kinnitatud hammaslati ja hammasratasülekande abil kanduvad kolvi täiskäigud lugejale, registreerides silindrist läbivoolavat õlihulka.

Gaaskütuse kulu määramine pole gaaside väikese erikaalu ja kokkusurutavuse tõttu otseselt teostatav ja seepärast kasutatakse kaudset viisi: määratakse gaasi liikumise kiirus ja seda gaasijuhtme vastava põiklõikega korrutades saadakse juhtmest läbivoolanud gaasi hulk. Gaaside liikumise kiiruse määramiseks kasutatakse P i t o t o r u. Teatavasti on

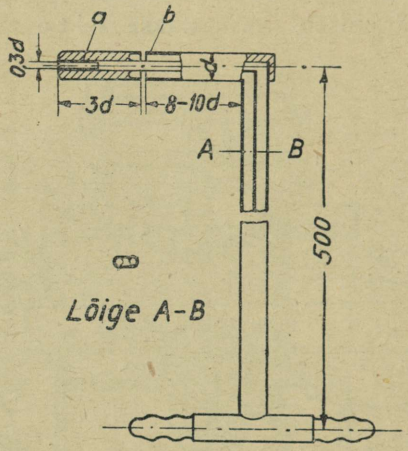


Joon. 131. „Siemensi" ketas-õlimõõtja.

gaaside liikumise kiirus torudes $w = \sqrt{2gH}$ m/sek., kus $g = 9{,}81$ on raskusjõu kiirendus ja H — gaasi dünaamiline rõhk, mõõdetuna gaasisamba kõrgusega meetrites. H on asendatav veesamba kõrgusega h: $h = H \cdot \gamma$, kus γ = gaasi erikaal antud temperatuuril ja rõhul. Seega gaasi hulk $V = 3600 \cdot F \cdot W = 15\,948 \cdot F\sqrt{\frac{h}{\gamma}}$ m³ tunnis, kui F on toru põiklõike pind ruutmeetrites mõõtmiskohas.

Pito toru (joon. 132) keskmine kanal on gaasi dünaamilise ja staatilise rõhu all, kuna välises kanalis on ainult staatiline rõhk. Kanalid

ühendatakse Pito toru teises otsas olevate haruühenduste kaudu diferentsiaalmanomeetriga, mis näitab otseselt h suurust veesamba kõrguse milli-



Joon. 132. Pito toru.

meetrites. Pito toru telg peab olema paralleelne gaasijoa suunale ja ava toru peas suunatud gaasijoa vastu. h mõõtmist tuleb teostada toru põiklõike mitmes kohas ja arvutusse võtta nende matemaatiline keskmine.

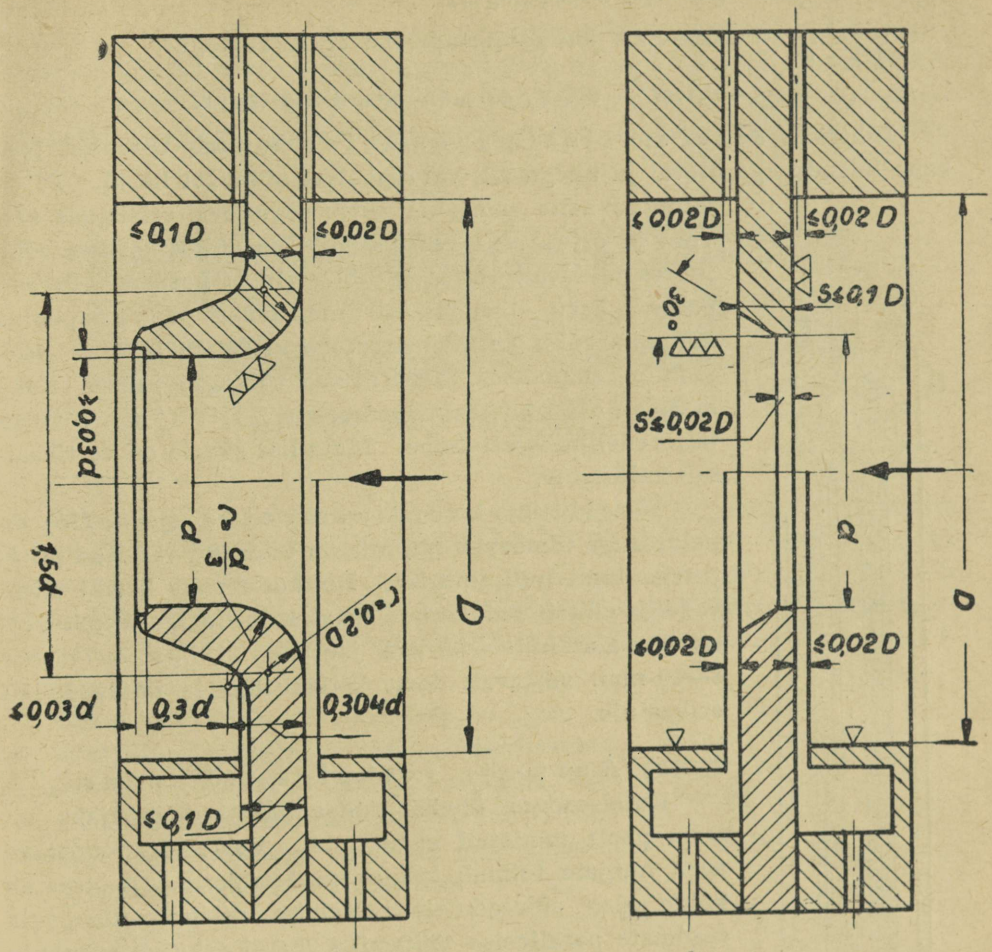
Teine abinõu gaaside liikumise kiiruse määramiseks on diafragma või düüs (joon. 133). Torusse asetatult kutsub see esile rõhu muutuse, mis on mõõdetav diferentsiaalmanomeetriga ja mille suurus on proportsionaalne läbivoolanud gaasihulga ruudule ning arvutatav valemiga

$$V = 3600 \cdot F_2 \cdot k \cdot \sqrt{2gH}\,\mathrm{m^3/tunnis},$$

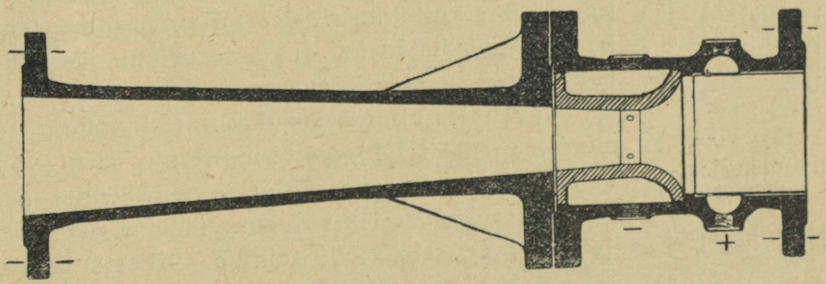
kus F_2 — diafragma või düüsi ava läbimõõt, $k = \mu \cdot \eta \frac{1}{\sqrt{1-\varphi^2}}$ = tegur, mis sisaldab diafragma tegurit μ, gaasijoa kokkusurumist arvestavat tegurit η ning gaasi kiiruste suhet torus ja diafragma avas $\varphi = \frac{w_1}{w_2}$.

Kolmandaks ja kõige enam kasutatavaks gaaside hulga määramise vahendiks on Venturi toru (joon. 134), mille põhimõte ühtib diafragma omaga. Valem gaasihulga arvutamiseks on samasugune kui diafragma puhul, kuid tegurite tähendus on täiesti teine:

$$k = \mu\ \eta\ \frac{1}{\sqrt{1-\varphi^2}},$$



Joon. 133. Diafragma, düüs.



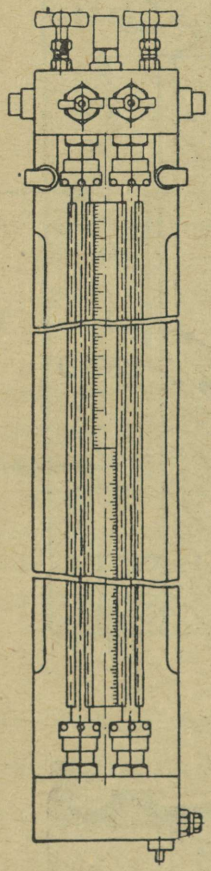
Joon. 134. Venturi toru.

μ = 0,96—1,0, hõõrdetegur,

$\frac{1}{\sqrt{1-\varphi^2}}$ = 1,05—1,25, joa kokkusurumist arvestav tegur,

η = suhtest $\frac{p_2}{p_1}$ sõltuv termodünaamiline tegur.

Lihtsaim diferentsiaalmanomeeter kujutab U-taolist toru kahe laiendusega üleval ja ühega all, vasakpoolsel alumisel harul. Ta on täidetud kahe omavahel mitte seguneva, erisuguse värvuse ja erikaaluga vedelikuga, mis atmosfäärilise rõhu juures täidavad ühtlaselt mõlemaid U harusid. Parempoolne haru ühendatakse madalama ja vasakpoolne kõrgema rõhu keskkonnaga. Vedelikke lahutav piirjoon parempoolses torus näitab rõhkude vahet. Kahe klaasiga diferentsiaalmanomeetris ДТ-50 (joon. 135) on täitevedelikuks elavhõbe. Metallist skaala on vertikaalselt nihutatav.



Joon. 135. Diferentsiaalmanomeeter.

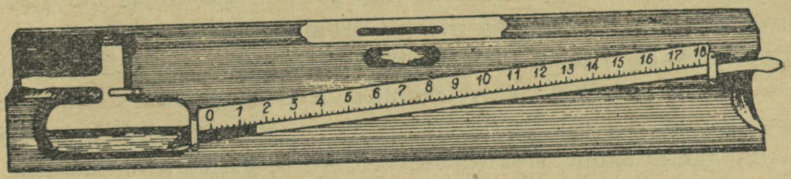
Krelli mikromanomeeter (joon. 136) on kaldtoruga tõmbemõõtja, mis on täidetud värvitud piiritusega kuni nullpunktini. Rõhkude vahe korral täitevedelik näitab seda vahet skaalal, mille iga 1 mm veesamba alarõhule vastava jaotuse pikkus on umbes 8—10 mm. vastavalt toru kallakusele ja täitevedeliku erikaalule.

c) Auru- ja veehulga mõõtmine.

Katelseadme üheks tähtsaimaks töönäitajaks on tema poolt toodetud auru hulk. Vastavalt toodetava auru hulgale toimub kütuse pealeandmine ja teostub kolde ning abiseadmete töötamise režiim. Aurukatla seadmete paralleelse töötamise korral tehakse aurukulu varal kindlaks kateldele soodsamad koormused ja valitakse kõige säästlikum režiim koormuste sobivaima jaotusega üksikuile kateldele. Katelseadme tähtsamaiks kontrollimisriistadeks ongi aururõhu ja -kulu näitajad — manomeeter ja aurumõõtja.

Tavaliselt toimub aurukatla töö vahetu reguleerimine manomeetri lugemite muutuste järgi. Näitab ju katla manomeeter aururõhku, tema lugemite muutus aga aurukulu vähenemist või suurenemist, vastavalt manomeetri osuti tõusule või langusele. Nii toimub väikeste katelseadmete

puhul katla töötamise reguleerimine tavaliselt ainult manomeetri järgi. Kütja reguleerib kütuse kulutust ja põlemist nii, et aururõhk püsiks muutumatuna. Keskmistes ja suurtes seadmetes on aga kateldel aurumõõtjad. Ka seal toimub katelde töötamise vahetu reguleerimine manomeetri järgi, aurumõõtjate järgi teostub vaid koormuste jaotamine üksikute katelde vahel.



Joon. 136. Krelli mikromanomeeter.

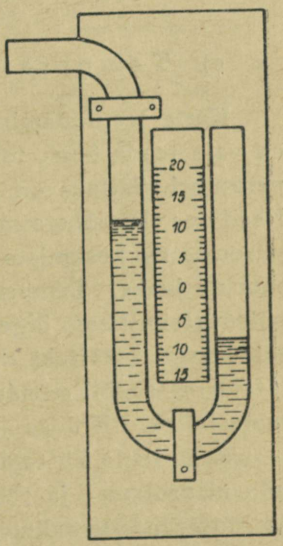
Selleks, et katel annaks vajalikul hulgal auru, on vajalik reguleerida ja juhtida temasse vastaval hulgal toitevett. Veekulu on veemõõtja järgi alati suurem aurukulust, sest osa vett läheb katla läbipuhumiseks ja kaob ebatiheduste tõttu. Vajadust katla toitmiseks veega jälgitakse veenäitajaklaaside ja kontrollkraanide abil, mille järgi toimub ka väiksemates seadmetes katla toitmine veega.

Auru- ja veehulga mõõtmiseks on auru- ja veemõõtjad. Ehituselt ja töötamispõhimõttelt on nad eelkirjeldatud õlimõõtjate taolised. Õlihulga suurema sitkuse, määramisvõime ja madalamate temperatuuride tõttu on aga õlimõõtjad täpsemad ja töötamiskindlamad.

d) Tõmbe mõõtmine.

Koldesse juhitava põlemisõhu liigset või puuduvat hulka kontrollitakse tõmbemõõtjate ja gaaside analüsaatori abil, mis ongi tähtsamaiks kontrollriistadeks õige ja säästliku kütmistehnika määramisel.

Lihtsaim tõmbemõõtja kujutab endast veega täidetud U-taolist klaastoru (joon. 137), mille üks ots on ühendatud ruumiga, mille rõhku mõõdetakse, teine atmosfäärse õhuga. Toru harudes kujunevat vee kõrguse vahet mõõdetakse vastaval skaalal mm Vs. Täpsem on



Joon. 137. Tõmbemõõtja — U-toru.

eelkirjeldatud Krelli tõmbemõõtja. Veel on laialdaselt levinud membraantõmbemõõtja, milles membraani läbipaindumine rõhu mõjul kandub edasi osutile, ja veel teised tüübid. Rõhku ja alarõhku mõõdetakse tavaliselt resti all koldes, enne ja peale ülekuumendit, katelseadme järel või veeökonomaiseri ees, enne õhu eelsoojendajat või tema puudumisel peale ökonomaiserit ja suitsukäigus enne siibrit. Alarõhu vahe koldes ja katelseadme lõpul on üheks tähtsamaks katelseadme töötamise näitajaks. Selle järgi sagedasti reguleeritakse põlemisprotsessi ning otsustatakse liigõhu üle koldes, sest et ta teatava ligikaudsusega annab ettekujutuse katelseadet läbivast õhu- ja gaasihulgast. Alarõhu suurenemine auru ülekuumendi ees muutumatu aurutootluse ja alarõhu juures katla taga osutab auru ülekuumendi pindade mustumisele. Suurte koormuste puhul peab alarõhk seadme järel olema suurem kui katla normaalse ja väikese koormatuse korral.

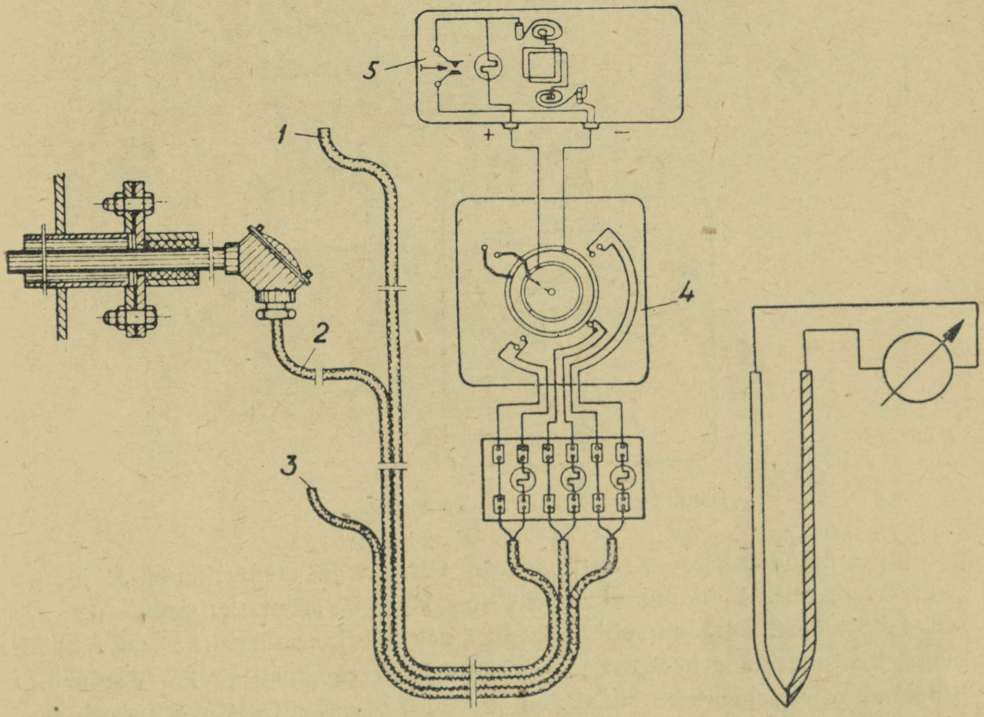
Suurema hõrenduse saamiseks ja suurema hulga gaaside äraimemiseks on vajalik elektrienergia suurem kulutus. Püsiva pinge ja cos φ juures suureneb energiakulu elektrivoolu tugevuse suurenemise arvel. Kui elektrimootor on varustatud ampermeetriga, siis võib ampermeetri lugemite järgi otsustada ventilaatori koormuse, s. t. ühtlasi ka äraimetava gaaside hulga üle. Selleks on muidugi vaja teada peale voolu tugevuse või elektrienergia kulu ka ventilaatori tehnilisi andmeid. Mainitud põhjusil on põlemisprotsessi jälgimisel vajalik ventilaatori mootorite ampermeetrite väljatoomine mõõteriistade lülitustahvlile.

e) Temperatuuride mõõtmine.

Katla teenindamisel, eriti aga üksikasjalise soojusbilansi koostamisel on vaja teada õhu-, toitevee-, suitsugaaside ja ülekuumendatud auru temperatuuri. Selleks on katelseadmed varustatud vastavate mõõteriistadega. Need on: elavhõbetermomeetrid madalate temperatuuride, termoelektrilised püromeetrid keskmiste ja optilised püromeetrid kõrgete, näit. koldetemperatuuride jaoks. Temperatuuride teadmine on nii katla teenindamise kui ka põlemistehniliselt õige kütterežiimi määramise seisukohast küllalt suure tähtsusega. Näiteks on ülekuumendatud auru temperatuur piiratud kasutatava määrdeõli omadustega ja auruturbiini labidate konstruktsiooni ning materjaliga. Koldes ja gaasikäikudes oleva temperatuuri teadmisel võib otsustada katla küttepindade soojusliku töö üle. Kolde temperatuur näitab põlemisprotsessi ja räbustumist, temperatuur gaasikäikudes — liigõhku ja küttepindade tahmumist. Nende andmete perioodilisel kontrollimisel avaneb võimalus teha vastavaid parandusi õhuhulga juhtimises või teostada katla küttepindade puhastamist. Toitevesi peab omama teatavat kind-

lat temperatuuri aurukulu püsimiseks lubatavais piirides nõutava rõhumise, temperatuuri ja kütuse kulutuse juures. Põlemisõhu temperatuuri kõrgendamine võimaldab tõsta põlemisprotsessi intensiivsust, kolde temperatuuri ja soojuse ülekannet. Ka vähenevad põlemisõhu temperatuuri tõstmisel keemilised ja mehhaanilised kaod.

Tavaline elavhõbetermomeeter, mille töötamine põhineb temperatuuri muutusest tingitud elavhõbeda paisumisel või kokkutõmbumisel, on kasutatav kuni + 550° C temperatuuride mõõtmisel. Et elavhõbetermomeeter on kergesti purunev ja lubatava temperatuuri juhusliku ületamise korral (gaaside süttimine suitsukäigus) muutub kasutamiskõlbmatuks, siis leiab rohkem kasutamist termoelektriline püromeeter. Viimase töötamine põhineb termoelektriliste voolude tekkimisel suletud voolu-ringis kahe erisuguse metalli jootekoha seondamisel (joon. 138 ja 139).



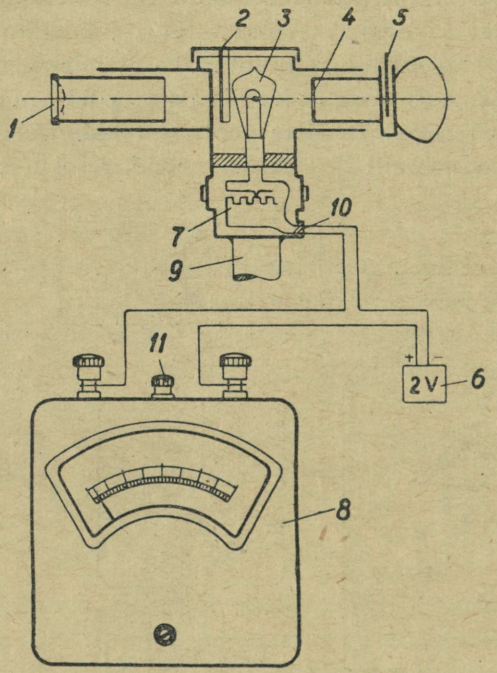
Joon. 138. ja 139. Termoelektriline püromeeter.

Galvanomeetrile (millivoltmeetrile) pole kantud elektrilist mõõtjaotust, vaid ta näitab otseselt temperatuuri kraadides. Termoelektrilise püromeetri mõõteulatus sõltub kasutatavaist metallidest. Nii on see vask-

konstantaanil 350°C, raud-konstantaanil 400°C (lühiajaliselt kuni 1250°C) ja hõbe-konstantaanil 600°C.

Termoelement millivoltmeetriga on näidatud joonisel 138, kus *1*, *2* ja *3* on termopaarid, *4* — ümberlülija ühisele millivoltmeetrile *5*.

Koldetemperatuuride mõõtmisel kasutatakse optilisi püromeetreid, mis põhinevad nähtavate kiirte kiirguse heleduse võrdlemisel etaloonlambi heledusega (joon. 140). Objektiiv *1* suunatakse esemele, mille tem-



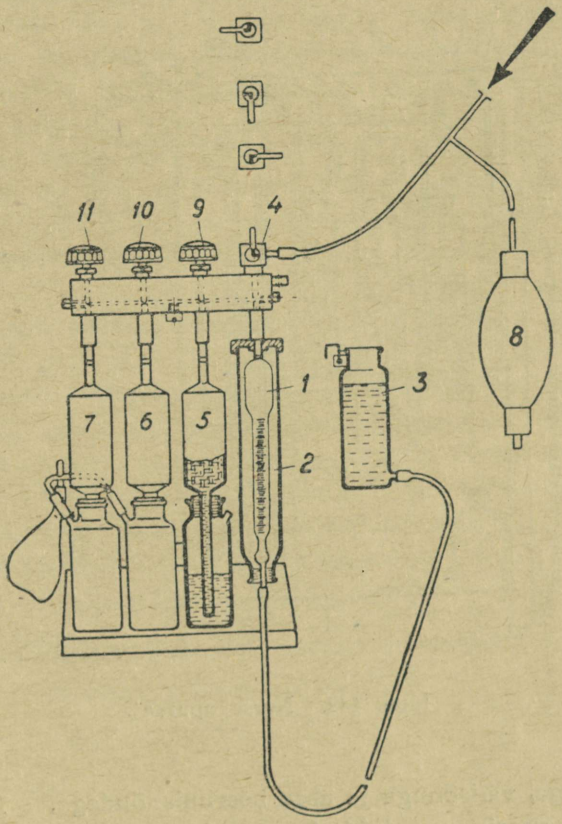
Joon. 140. Optiline püromeeter.

peratuuri mõõdetakse. Kiired läbivad filtri *2* ja elektrilambi *3*, jõudes okulaari *4*, milles on monokromaatiline klaas *5* silma kaitseks tugevate kiirte mõju eest. Elektrilambi hõõgniit *3* hakkab akumulaatori *6* voolust hõõguma, kusjuures see hõõguvus on reguleeritav reostaadiga *7*. Vooluringi lülitatud galvanomeetri *8* skaala on jaotatud otseselt Celsiuse kraadidesse. Hoides käepidemest *9*, suunatakse optiline püromeeter valgust kiirgavale allikale, mille temperatuuri mõõdetakse, ning lülitades lüliti *10* abil voolu, reguleeritakse seda reostaadiga *7* seni, kuni hõõgniit ja mõõdetav heleduselt ühtivad. Galvanomeeter näitab siis otseselt mõõdetavat temperatuuri. Lüliti *11* on galvanomeetri nullpunkti reguleerimiseks enne mõõtmise teos-

tamist. Optiline püromeeter ei ole päris täpne, ka on ta näidud subjektiivsed, sõltudes vaatlejast.

f) Gaasi analüüsimise abinõud.

Kontrolli teostamiseks suitsugaaside CO_2- ja CO-sisalduse ning liigõhu üle kasutatakse nn. gaasianalüsaatoreid. Suitsugaaside analüüse

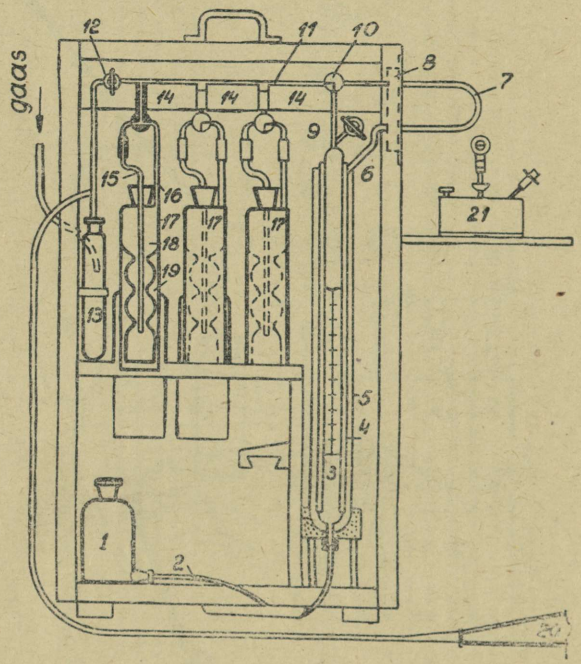


Joon. 141. Orsat' aparaat.

teostatakse mitmes kohas: katla ja ökonomaiseri taga ja viimases suitsukäigus. Oma töötamispõhimõtte järgi jagunevad gaasianalüsaatorid keemilisteks ja elektrilisteks.

Keemiliste gaasianalüsaatorite töötamine põhineb teatavate keemiliste lahuste omadusel absorbeerida mõningaid gaase (CO_2, O_2, CO). Mõõtes suitsugaaside mahtu enne ja peale kokkupuutumist vastava lahusega, saame nende gaaside protsendilise hulga. Kõige lihtsam on kantav gaasi-

analüsaator — Orsat' aparaat (joon. 141), mida kasutatakse kontrollkatsete teostamisel ja teiste automaatsete gaasianalüsaatorite kontrollimisel. Aparaat koosneb 1 cm^3 jaotusega klaasnõust — büretist *1* mahuga 100 cm^3, mis on paigutatud püsiva temperatuuri hoidmiseks veesärki *2*. Büreti alumine ots on kummilõdviku abil ühendatud klaasiga *3*, ülemine aga läbi nurkkraani *4* gaase CO_2, O_2 ja CO absorbeerivate lahustega täidetud erikujuliste klaaspudelitega *5*, *6* ja *7*. Nurkkraan võimaldab büretti ühendada



Joon. 142. Norse aparaat.

proovivõtmistoruga, välisõhuga ja absorbeerimisnõudega. Kummist imipalliga *8* võetud gaasiproov juhitakse nurkkraani vastava asendiga ja ventiilide *9*, *10* ja *11* avamisega CO_2, O_2 ja CO absorbeerimise nõudesse, kuna büreti mõõtjaotuselt loetakse vastavad absorbeeritud gaaside hulgad mahuprotsentides.

CO_2 absorbeerimise lahusena kasutatakse kaaliumhüdroksüüdi (KOH), lahustatuna kaalu järgi kahekordses veekoguses. O_2 absorbeerimise lahuse valmistamiseks lahustatakse 36 g pürogallooli [$C_6H_3(OH)_3$] 80 cm^3 tulises vees ja lisatakse sellele 140 cm^3 kaaliumhüdroksüüdi-lahust. Valmis lahust ei tohi lahtiselt seisma jätta, sest et ta vastasel korral kiiresti hapen-

dub. CO absorbeerimiseks segatakse 40 g vask(I)kloriidi (Cu_2Cl_2) 50 g ammooniumkloriidiga (NH_4Cl) ja lahustatakse 150 cm^3 destilleeritud vees. Tarvitamise eel lisatakse sellele lahusele juurde 50 cm^3 ammooniumhüdroksüüdi (NH_4OH).

Gaaside järelpõletamise põhimõttel töötav Norse aparaat (joon. 142) võimaldab määrata ka teiste gaaside — vesiniku (H_2), metaani (CH_4) ja raskete süsivesinike ($C_n H_m$) sisaldust. Seda saavutatakse nende gaaside põletamisega peale CO_2 ja CO määramist. Imiseadise *20* abil imetakse gaasid läbi filtri *13* aparaati. Bürett *3* on kummilõdviku abil ühendatud klaasiga. *1*. Büretile tihedalt pealepandud kuppel *4* on asetatud välimisse klaasi *5*. Gaas juhitakse toru *6* kaudu plaatinast põleti *7* juurde, mis on tihedalt asetatud oma pessa *8*. Kraani *9* kaudu toimub vajaliku põlemisõhu imemine, kraani *10* abil võib büretti ühendada kapillaartoru *11* kaudu absorbeerimisnõudega *17*, proovivõtmiskraaniga *12* või põletiga *7*.

Analüüsi teostamiseks võetakse büretti 100 cm^3 gaasi ja määratakse nagu tavaliselt CO_2-, O_2- ja C_2O_4-sisaldus. Seejärel lastakse gaas veelkordselt läbi kaaliumhüdroksüüdinõu H_2SO_4 aurude absorbeerimiseks ja loetakse büretilt gaasi maht V. Jättes büretti 8—10 cm^3 gaasi V_1, mida mõõdetakse büretilt, võetakse kraani *9* kaudu 90 cm^3 põlemisõhku — gaasi ja õhu segu V_2, loetud büretilt, ja peale põleti kuumendamist bensiinilambiga hõõguvpunaseni juhitakse gaas büretilt kuplisse *4* ja tagasi, millega saavutatakse CO, H_2 ja CH_4 põlemine. Peale põletamist tehakse kindlaks järelejäänud gaasi maht V_3 ja määratakse selle CO'_2- ja O'_2-sisaldus. Gaaside hulgad saadakse arvutuse teel järgmiselt:

Hapniku tarvitus järelpõletamisele:

$$a = 0{,}209\,(V_2 - V_1) - O'_2.$$

Segu mahu vähenemine peale põletamist:

$$c = V_2 - V_3.$$

Vesiniku hulk:

$$H_2 = (c - a)\,\frac{V_0}{V_1}\ cm^3 \text{ või protsenti.}$$

Metaani hulk:

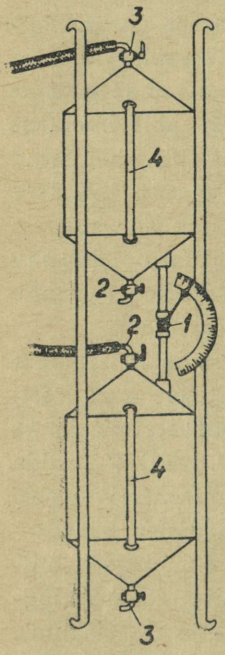
$$CH_4 = \tfrac{1}{3}\,(3a - CO'_2 - c)\,\frac{V_0}{V_1} cm^3 \text{ või protsenti.}$$

Süsinikoksüüdi hulk:

$$CO = \tfrac{1}{3}\,(4CO'_2 - 3a + c)\,\frac{V_0}{V_1}\ cm^3 \text{ või protsenti.}$$

Orsat', samuti Norse aparaat näitavad suitsugaaside proovi võtmise hetke tulemusi. Et need tulemused saadakse pealegi teatava hilinemi-

sega -- analüüsi kestus on umbes 5 minutit —, siis osutub eriti soojuskadude määramisel vajalikuks analüüsi teostamine pikema aja vältel võetud keskmisest proovist. Seda võimaldab aspiraator (joon. 143).



Joon. 143. Aspiraator.

See koosneb kahest metallanumast, mis on ühendatud kraaniga *1* varustatud toru kaudu ja omavad kraane *2* ja *3* ning veeseisu näiteklaase *4*. Anumatesse kallatakse vett nii, et ülemine oleks täis, alumises aga ulatuks vesi veeseisu näiteklaasi alumise otsani. Ülemise anuma kraani 3 külge kinnitatud kummilõdviku abil ühendatakse kraan proovivõtmistoruga. Avades alumise anuma kraani *2* ja reguleerimiskraani *1* nii, et vesi aeglaselt voolaks ülemisest anumast alumisse, imetakse gaas ülemisse. Vee väljumisel alumise anuma kraanist *2* suletakse kõik kraanid ja aspiraator pööratakse ümber. Ülemine (nüüd) kraan *3* ühendatakse jällegi kummilõdviku abil proovivõtmistoruga, kuna alumine (nüüd) anuma kraan *2* ühendatakse Orsat' aparaadi filtriga. Kui avada mõlema anuma ülemised kraanid ja reguleerimiskraan *1*, toimub ülemisse anumasse gaasi imemine, kuna varem kogutud gaas juhitakse nüüd alumisest anumast analüüsi teostamiseks Orsat' aparaati.

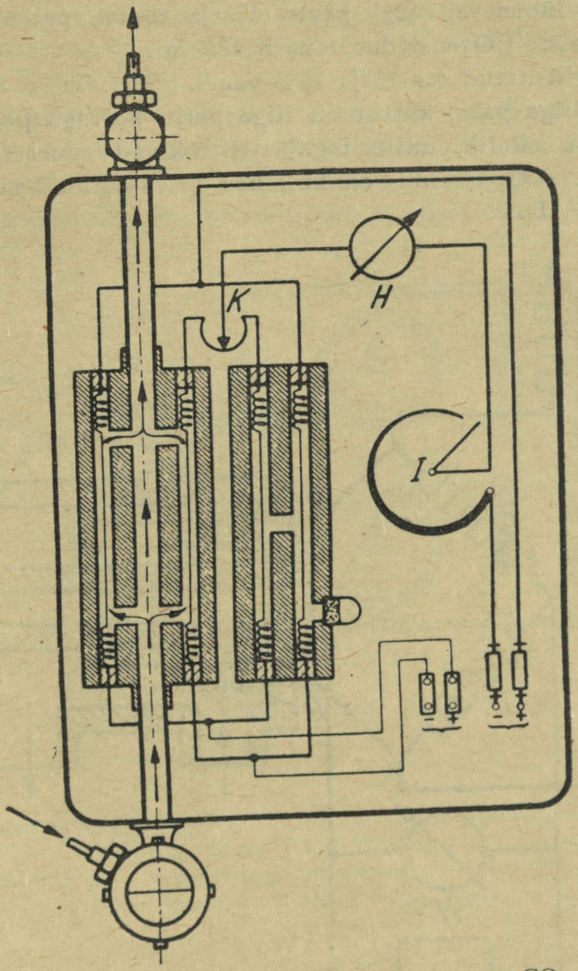
Orsat' ja Norse aparaat on kohased täpsete kontrollkatsete teostamisel, tööstustingimustes on aga sobivamad iseregistreerivad aparaadid, milledest tuntuim on kaksimono. Selles liigub veeimipumba poolt aparaati imetud suitsugaas mõõtebüretist CO_2 määramiseks absorbeerimisnõusse, sealt gaaside põlevosade põletamiseks katalüütahju ning teiskordse absorbeerimise järel mõõtebüretti tagasi.

Seega toimub gaasi analüüs kordamööda CO_2- ja $CO_2 + CO + H_2$-sisalduse suhtes, kusjuures aparaat registreerib lindile CO_2- ja $CO + H_2$-sisalduse.

Isekirjutava gaasianalüsaatori kaksimono lint on jaotatud pikuti joontega 20 ossa suitsugaaside koostise näitamiseks protsentides, põigiti aga on ta kellaaegadele vastavalt nummerdatud 1 kuni 24-ni. Analüsaatori kirjutusseadis tõmbab lindile põiki tihedamalt või harvemalt kriipsukesi. Lindi puhas, kirjutamata osa näitab suitsugaaside CO_2-sisaldust, harvalt viirutatud osa aga $CO + H_2$-sisaldust. Diagrammist õigeks

arusaamiseks ning õigete järelduste tegemiseks on näitena toodud ja seletatud üksikud võimalikud esinevad lugemid.

1) Lint on 20 — 0% täis kirjutatud.
Katel ei tööta, CO_2 ei ole. Analüsaator imeb õhku suitsukäigust.



Joon. 144. Elektriline gaasianalüsaator. CO_2 määraja.

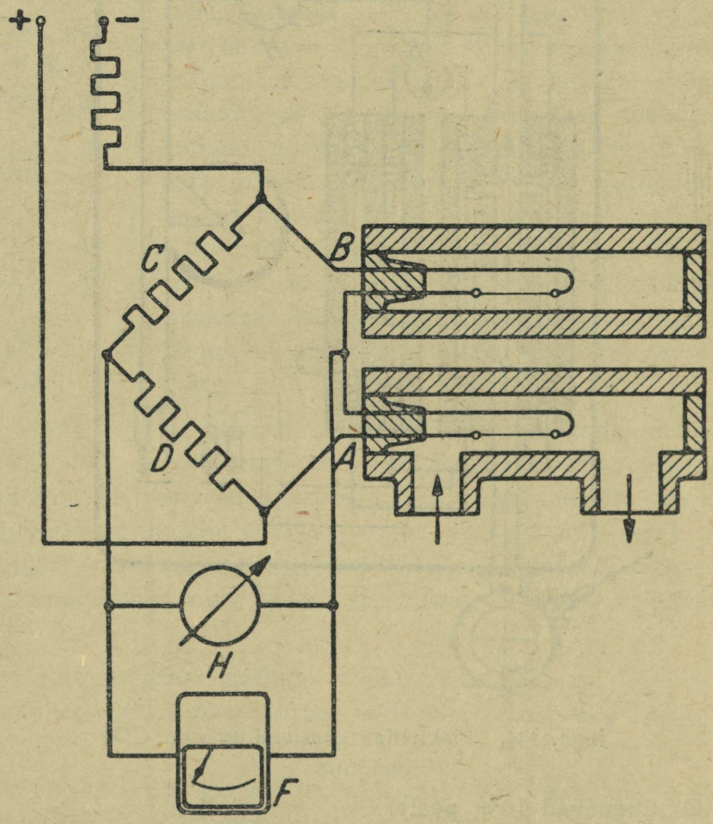
2) Kriipsud lühenevad 10% peale.
Katel võetakse tegevusse, CO_2-sisaldus tõuseb 10%-ni.

3) Kriipsude pikkus kõigub 7% piirides.
Kütja saavutab keskmiseks CO_2-sisalduseks 7%, s. o. töötab suure õhuhulgaga.

4) Kriipsud pikenevad 5—4% peale.
Kütja laseb tule liiga läbi põleda. Kihis tekivad augud, kust tungib läbi palju õhku, — sellest on tingitud suur liigõhu ja suitsugaaside hulk ning suhteliselt madal kolde temperatuur.

5) Kriipsud lühenevad 12% peale. Kütja töötab paremini, katab resti ühtlasemalt. CO_2-sisaldus tõuseb 12%-ni.

6) Harvalt viirutatud osa 13 ja 16% vahel.
Tuli on liiga paks, kütust on liiga palju korraga peale antud. Põlemine pole täielik, mille tagajärjel tekivad suured kaod põlemata gaasidest. CO_2-sisaldus on küll hea — 13%, kuid suitsugaasides on 3% CO + H_2.



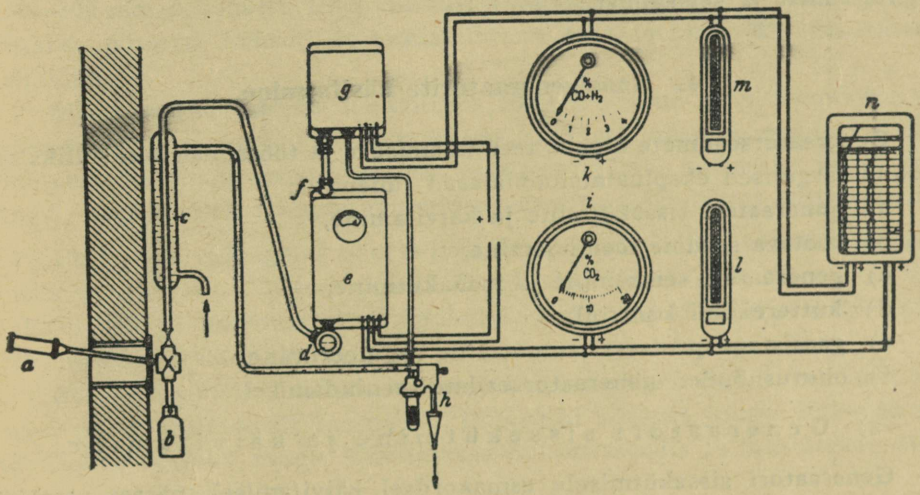
Joon. 145. Elektriline gaasianalüsaator. CO + H_2 määraja.

7) Kriipsud püsivad ühtlaselt 13% piirides.
Kütja töötab hästi, hoides CO_2 pidevalt 13% piirides. Põlemine on hea, CO suitsugaasides ei esine.

Elektrilise gaasianalüsaatori töötamine põhineb gaaside CO_2-sisaldusest tingitud soojusejuhtivuse muutusel. Analüsaatori metallkeres olevasse puurmulku tõmmatud Wheatstone'i silla süsteemi kuuluv plaatinatraat kuumutatakse 100°-ni C ja juhitakse gaas läbi puurmulgu. Vastavalt CO_2-sisaldusele muutub soojuse ülekanne plaatinatraadilt metallkerele, sellega ühtlasi ka traadi temperatuur ja takistus, mida mõõdetakse Wheatstone'i sillas (joon. 144).

$CO + H_2$ määramiseks juhitakse gaasi-õhu segu analüsaatorisse Wheatstone'i silla süsteemi kuuluva plaatinatraadi juurest läbi. Suitsugaasi põlevosad põlevad, tõstes plaatinatraadi temperatuuri (joon. 145).

Elektriline gaasianalüsaator on näidatud joonisel 146. Veeimipump *h*



Joon. 146. Elektriline gaasianalüsaator. *a* — keraamiline filter, *b* — kondenspott, *c* — jahutaja, *d* — vatt-filter, *e* — CO_2 määraja, *f* — reguleerimisseade, *g* — $(CO + H_2)$ määraja, *h* — veeimipump manomeetriga, *i* — CO_2 mõõtja, *k* — $(CO + H_2)$ mõõtja, *l* — CO_2 lugeja, *m* — $(CO + H_2)$ lugeja, *n* — registreerija.

imeb suitsugaasi keraamilise filtri *a* ja jahutaja *c* kaudu läbi CO_2 ja $(CO + H_2)$ analüsaatori *e* ja *g*. Jahutajas *c* toimub gaasi jahutamine õhutemperatuurini, seejuures kondenseeruv vesi langeb kondenspotti, gaas aga liigub läbi vatt-filtri *d* CO_2 analüsaatorisse. *f* abil reguleeritakse gaasi voolamise kiirust. Veeimipump reguleeritakse gaasi läbilaskele 0,3 l/min.; sellele kiirusele vastava alarõhu jälgimine toimub imipumba juures oleva manomeetri abil.

Katelseadme ohutuks ja ökonoomseks teenindamiseks vajalike kontroll- ja mõõteriistade arv, arvestades kaasaegseid suure võimsusega seadmeid, on õige suur ja nad võivad teenindava personali asukohast olla kümnete meetrite kaugusel. Katelseadme soojusliku kontrolli aparaadid ja seadmed koondatakse seepärast seadme teenindamise hõlbustamiseks ühisele soojustehniliste mõõteriistade lülitustahvlile. Mõõteriistade lülitustahvel kujutab endast kas kappi või pulti, kuhu on peale mõõte- ja kontrollaparatuuri paigutatud veel signalisatsiooniaparatuur ja lülijad, mis võimaldavad seadet teenindaval personalil lülitustahvli juurest lahkumata teostada abiseadmete juures igasuguseid vajalikke operatsioone, käitamist, reguleerimist ja seiskamist.

4. Gaasigeneraatorite käsitsemine.

Generaatorseadmete õigeks teenindamiseks ja töötamise kontrolliks on toodud järgmised ekspluatatsioonialased juhendid:

a) generaatori sissekütmine ja käivitamine,
b) töötava seadme teenindamine,
c) generaatori seiskamine ja mahakütmine,
d) kütterežiimi kontroll,
e) gaasistamisprotsessi automaatne reguleerimine,
f) ohutusnõuded generaatorseadme teenindamisel.

a) Generaatori sissekütmine ja käivitamine.

Generaatori sissekütmisele esmakordsel käivitamisel, pärast remonti või pikemaajalist seisakut eelneb generaatori ja kõigi abiseadmete järelevaatus, et veenduda nende korrasolekus.

Enne sissekütmist tuleb generaatorist eemaldada kõik kõrvalised esemed: tööriistad, materjalid jm.

Generaatori aurusärki ning vee- ja aurutorustikku peab hüdrauliliselt proovima ning veelukkude, täiteseadise, sulgurite, siibrite ja klappide korrasolekut kontrollima.

Gaasi ärajuhtimise avad, restid ja õhudüüsid ning torustik on vaja korralikult puhastada.

Liikuv rest ja kõik abiseadmed tuleb käivitada, et veenduda nende korrasolekus.

Tuleb kontrollida kogu seadme gaasitihedust, juhtides generaatorisse õhku või suitsugaasi.

Generaatori vooder peab olema seest puhas, sile ja pragudeta, et vältida räbu külgepõlemist ja väliskesta kuumenemist. Niiske vooder tuleb enne generaatori käikulaskmist kuivatada. Selleks tehakse generaatori põhjale või restile nõrk tuli, suletakse täiteava ja juhitakse põlemisgaasid läbi tõmbekorstna välisõhku. Kuivatamine peab toimuma pikkamööda ja katkestamatult voodri lõpliku kuivamiseni.

Generaatori jahutussärk tuleb täita veega normaalse tasemeni.

Pärast ülalloetletud ettevalmistusi eraldatakse generaator üldisest süsteemist ja alustatakse sissekütmist. Generaatori rest kaetakse ärapõlemise vältimiseks 200—300 mm paksuselt jämedate räbutükkidega, millele riputatakse kiht puitlaaste ja viimastele peeni kuivi puid või puidusütt 250—300 mm paksuselt. Puit või süsi valatakse üle petrooleumiga ja süüdatakse mitmest kohast, et saada ühtlast tule levimist üle generaatori põiklõike.

Sissekütmine toimub loomulikul tõmbel avatud käivituskorstna või selle puudumisel avatud täiteava juures. Õhk juhitakse generaatori allossa õhutorustikust või mõnest muust avausest. Tule ühtlaseks põlemiseks kogu restipinnal riputatakse roopimisavadest tarviduse järgi kütust juurde.

Puidu- või turbageneraatoris lisatakse põlevale kihile vähehaaval kuiva puitu või turvast. Tõuseb põlevkiht küllaldaselt kõrgele, täidetakse veelukk veega ja käivitatakse õhupuhumisseadis. Ühtlasi alustatakse auru juhtimist generaatorisse.

Söegeneraatoris lisatakse põlevale kihile vähehaaval koksi, sest viimane põleb ühtlasemalt ega paaku. Põlevkihi kõrguse juures 300—400 mm täidetakse veelukk veega, käivitatakse puhumisseadis ja alustatakse vähehaaval söe lisamist.

Sissekütmisel otsustatakse gaasi kvaliteedi üle tema värvuse, süttimise kiiruse ja gaasi leegi värvuse järgi, põletades gaasi iga 10 minuti tagant. Lõplik hinnang gaasi kvaliteedi kohta saadakse reeglipäraselt tema analüüsimisega.

On gaasi kvaliteet rahuldav ja kütusekihi seisukord võimaldab vajalikku generaatori koormust, alustatakse gaasi andmist tarbijaile.

Et gaasitorustik on täidetud õhu ja sissejäänud endise gaasi seguga, siis tuleb torustik enne gaasi juhtimist tarbijaile ohtliku ja plahvatava gaasi-õhu segu tekkimise vältimiseks läbi puhuda. Läbipuhumist teostatakse värske gaasiga, auruga või põlemisproduktidega, mis suruvad torustikus oleva õhu torustiku lõpus oleva läbipuhumistoru kaudu välja. Aur juhitakse torustikku kõige ülemises punktis ja kontrollitakse torustikul olevate avade kaudu tema voolamist torustikus. Auru väljumisel torustiku

kõige alumisest punktist on sealt kõik õhk eemaldatud ja võib alustada gaasi andmist tarbijaile.

Generaatori käivitamine külmast olekust nõuab 1—2 tundi, kuumast reservolekust 10—20 minutit.

b) Töötava seadme teenindamine.

Teenindav personal teostab kütuse pealeandmist, tuha eemaldamist, räbustumise kõrvaldamist ja kütusekihi tasandamist generaatoris, reguleerib õhu, auru ja vee juurdevoolu, puhastab sulgureid ja lülitab töösse ning tööst välja generaatoreid ja abiseadmeid. Personal kontrollib generaatori seisukorda ja töötamise režiimi vahetult ning kontrollmõõteriistade abil, millega välditakse takistusi seadme töös ja mis lubab õigeaegselt kõrvaldada töötamisel esinevaid puudusi.

Kütuse pealeandmine käsitsi peab toimuma regulaarselt — hilinemiseta. Vastasel korral pole gaasi koostis töötamise kestel ühtlane — gaas rikastub pärast kütuse pealeandmist niiskusega ja sisaldab palju lendosi. Ühtlasi on kütusekiht enne täitmist läbi põlenud. Kütust on soovitav juurde anda tihedamini ja väikeste kogustena, et hoida kihi kõrgust võimalikult ühtlasena, ja samas süsteemis töötavaile generaatoritele mitteüheaegselt, et mitte põhjustada gaasirõhu langust torustikus. Kolu täitmine peab toimuma kiiresti. Täitmisel lülitatakse kolus sisse aurukatik. Automaat-täiteseadeldise juures reguleeritakse kütuse pealeandmist niiviisi, et kihi kõrgus püsiks muutumatuna.

Kütusekihi paksus sõltub peale värske juurdeantava kütuse taseme generaatoris veel tuhakihi kõrgusest. Kütusekihi hoidmiseks püsival kõrgusel tuleb kontrollida niihästi kütuse pealeandmist kui ka tuha eemaldamist. Kütusekihi ja üksikute tsoonide kõrgusest generaatoris sõltub suurel määral gaasi kvaliteet. Paksu kütusekihi ja küllaldase kõrgusega hõõguva tsooni juures saadakse kõrge kvaliteediga gaas, kusjuures generaator omab ühtlasi suure jõudluse.

Tuhakiht restil on tarvilik resti kaitsmiseks läbipõlemise eest. Peale selle võimaldab tuhakiht põlemisõhu ühtlasemat jagamist generaatori põiklõikele ja põlemisõhu eelsoojendamist. Ülemäärane tuhakiht, eriti peene tuha puhul, suurendab tunduvalt kihi takistust.

Kihi kõrgust mõõdetakse generaatorile monteeritud eriseadeldisega või kasutatakse selleks ~ 15 mm läbimõõduga ümarrauast valmistatud varrast, mille üks ots on löödud teravaks ja teine varustatud käelisega. Lugemise hõlbustamiseks on vardale löödud jaotused. Varras pistetakse läbi ülemise roopimisava kihti kuni restini ja hoitakse seal 3—5 minutit. See-

juures varras kuumeneb kogu pikkusel üksikuile tsoonidele vastava temperatuurini, mis võimaldab määrata tsoonide kõrgust. Põlemise ühtluse kontrolliks mõõdetakse kihi paksust resti keskel ja äärtel teataval kaugusel generaatori seinast. Tsoonide kõrguse mõõtmine võimaldab teenindaval personalil kõrvaldada ebanormaalsusi generaatori töös, nagu üksikute kohtade paljakspõlemine, kihi vildak põlemine jm.

Tuha ja räbu eemaldamine restilt peab toimuma võimalikult ühtlaselt ja reeglipäraste vaheaegadega. Liikumatu restiga generaatorist eemaldatakse tuhka tuhakihi tõusmisel 300—500 mm-ni. Seejuures jäetakse resti pind ärapõlemise vältimiseks tuhaga kaetuks. Praktiliselt toimub tuha koristamine 1—2 korda vahetuses. Liiga sagedasel tuha eemaldamisel halveneb gaasi koostis ja alaneb gaasi küttevääртus, mis on põhjustatud tsoonide ühtluse rikkumisest. Gaasi normaalne koostis ja kvaliteet taastuvad pärast tuha eemaldamist liikumatu restiga generaatoris 2—3 tunni pärast.

Tuha eemaldamise viis sõltub generaatori resti konstruktsioonist. Kunstlikul õhu puhumisel tuha kuiv-eemaldamisel õhu puhumine katkestatakse, tuha märg-eemaldamisel õhu puhumist harilikult jätkatakse. Tekkinud räbutükid purustatakse raudkangiga ja eemaldatakse restilt.

Mehhaanilisel tuha eemaldamisel peab rest pöörlema võimalikult väikese kiirusega ja võimalikult pidevalt.

Roopimise ülesandeks on hoida kütusekihti sellisena, et õhu ja gaasi voolamine toimuks ühtlaselt kogu generaatori põiklõikes ning kütterežiim võiks kulgeda takistamatult.

Roopimisega jagatakse kütus ühtlaselt generaatori põiklõikele, kõrvaldatakse generaatori põlemine, tasandatakse kihi pealispind, purustatakse räbukänkarid, takistatakse kütuse osakeste paakumist ja eemaldatakse generaatori siseseintele korjunud räbu. Roopimist teostatakse regulaarselt ja määratud plaani järgi kõigist roopimisavadest. Roopimise vajadus määratakse kütusekihi ja põlemisprotsessi jälgimisega generaatoris. Näiteks põlev leek ja sädemete tõusmine üksikuist kohtadest kihi pealispinnal vihjab kihi läbipõlemisele, mis tekib kütuse paakumisest ja räbustumisest, kütuse ebaühtlasest jagunemisest generaatori põiklõikele jne.

Põlemisõhu ja auru reguleerimine toimub siibrite ja klappidega.

Õhurõhk peab olema seda kõrgem, mida suurem on kihi takistus ja gaasirõhk generaatori ülaosas. Kihi takistus on seda suurem, mida suurem on kihi kõrgus, mida väiksematükiline on kütus, mida suurem on generaatori räbustumine ja mida suurem on koormus. Liiga kõrge puhumisõhurõhu puhul intensiivistub kihi läbipõlemine, suurenevad räbustumine ja

lendtuha hulk ning gaasi kadu läbi ebatiheduste. Põlemisõhu minimaalse rõhu määrab vajalik gaasirõhk generaatori ülaosas, mis määratakse kontroll-mõõteriistadega või „silma" järgi (otsustades vaateavast gaasi väljavoolu intensiivsuse põhjal). Langeb gaasirõhk alla atmosfäärilise rõhu, imetakse läbi ebatiheduste generaatorisse õhku, mis võib tekitada plahvatavaid segusid.

Gaasirõhu tõstmiseks suurendatakse puhumisrõhku. Viimase osutumisel puudulikuks või puhumisseadise puudumisel vähendatakse gaasi andmist tarbijaile määrani, mille juures gaasirõhk saavutab nõutava kõrguse.

Tõuseb õhurõhk resti all ja samaaegselt ka gaasirõhk generaatori ülaosas, siis vihjab see gaasitorustiku mustumisele. Mustunud torustik tuleb puhastada.

Auru juhitakse generaatorisse hõõguva tsooni temperatuuri vähendamiseks ja räbustumise vältimiseks, samuti gaasi küttevääruse tõstmiseks. Auru tuleb anda ainult sel määral, et ei tekiks generaatori räbustumist. Ülemäärasel auru andmisel väheneb hõõguva tsooni temperatuur ja osa süsihappegaasi ning veeauru jääb lagunemata, mis halvendab gaasi kvaliteeti ja vähendab generaatori tootlust. Mitteküllaldasel auru andmisel tõuseb gaasi ja kihi temperatuur, tekib generaatori räbustumine, väheneb gaasitootlus ja tekib generaatori voodri söövitumine räbust.

Generaatori töötamisel esinevad põhilised takistused ja suuremad kõrvalekaldumised normaalsest tööreżiimist on generaatori töötamine kuumalt või külmalt, räbustumine ja generaatori põlemine.

Generaatori k u u m a l t t ö ö t a m i s e l saadakse kõrgetemperatuuriline ja madala küttevääruse gaas. Kuumalt töötamise põhjuseks võib olla mitteküllaldane kihi kõrgus ja auru sissejuhtimine. Madala kihi puhul tõuseb gaasi ja kihipinna temperatuur, kasvab hõõguva kihi kõrgus ning suureneb süsihappegaasi hulk gaasis.

Režiimi korrastamiseks tuleb vähendada õhu andmist ja suurendada kütusehulka, tõstes pikkamööda kihi kõrgust, suurendada auru sissejuhtimist ja generaatorit korralikult roopida.

Generaatori k ü l m a l t t ö ö t a m i s e l on generaatori temperatuur normaalsest madalam, mille tagajärjel langeb gaasi tootlus ja halveneb gaasi kvaliteet süsihappegaasi ja veeauru puudulikust lagunemisest.

Generaatori külmalt töötamine on tingitud mitteküllaldasest õhu andmisest, liigsest veeauru sissejuhtimisest ja liigsest kihi kõrgusest. Mitteküllaldane põlemisõhu hulk võib olla tingitud generaatori räbustumisest, kütuse ja tuhakihi suurest paksusest, kütuse liigsest peenusest, õhuventilaatori vigastusest, õhutorustiku mustumisest ja ebatihedustest.

Kui generaatoris gaasi tootlus langeb, kuid õhurõhk resti all on samal ajal normaalne või sama gaasirõhu juures isegi kõrgem, siis on põhjuseks kas lubamatult kõrge tuhakiht ja generaatori räbustumine või ummistumine liiga peenest kütusest.

Generaatori tootluse tõstmiseks tuleb tuhk eemaldada, generaatorit roopida või kütus sorteerida, vastavalt põhjusele.

Generaatori külmalt töötamise põhjuseks võib olla ka liigne tuha eemaldamine, mistõttu osa hõõguvat kihti variseb läbi resti, põhjustades hõõguva kihi kõrguse vähenemist; see omakorda põhjustab gaasi tootluse vähenemist ja gaasi kvaliteedi halvenemist.

Kihi liigse kõrguse korral väga niiske kütuse puhul võib gaasi temperatuur generaatori ülaosas langeda alla 80—90° C, mille tagajärjel kondenseeruvad gaasis olev niiskus ja tõrvaaurud; seetõttu ummistub kütusekihi pealispind, tõuseb kihi takistus ja väheneb gaasihulk. Selle vältimiseks tuleb kütuse pealeandmist pidurdada, kuni gaasi temperatuur on tõusnud 100—110°-ni C.

Generaatori r ä b u s t u m i s e põhjuseks on liiga kõrge gaasistamisprotsessi temperatuur. Selle tagajärjel tuhk pehmeneb ning sulab ja moodustuvad kas suured räbukänkarid, tihedad rippuvad räbusillad või ummistub rest.

Räbustumise tõttu on kütuse põlemine takistatud, räbu põleb generaatori seintele ja põhjustab seinte voodri söövitumist.

Kõrgendatud temperatuuri põhjuseks generaatoris võib olla mittekülladane auru sissejuhtimine või ebaühtlane õhujaotus generaatori põiklõikele. Õhu läbivoolamisel üksikuist kohtadest intensiivistub seal põlemine, tõuseb temperatuur ja tekib räbustumine. Ebaühtlane õhujaotus võib olla tingitud kütuse ebaühtlasest tükisuurusest, ebatasasest kihist või üksikuist tsoonidest ja resti kohatisest ummistumisest. Generaatori räbustumist saab vältida kindlaksmääratud režiimi kasutamisega ja generaatori õigeaegse roopimisega.

Generaatori p õ l e m i n e on põhjustatud räbustumisest, kütuse paakumisest ja ebaühtlasest pealeandmisest. Suurte räbukänkarite moodustumisel on takistatud õhu ühtlane jaotus generaatori põiklõikele. Kütusekihis tekivad kanalid, mida läbib õhk, süüdates gaasi. Kanalid kütusekihis tekivad ka kütuse paakumisel. Kütuse ebaühtlane jagunemine tekib täitekolu koonuse vigastumisest või kütuse pealeandmisest ebaühtlaste vahedegadega. Seejuures õhk läbib kihi õhukese osa ja süütab gaasi.

Generaatori põlemise põhjuseks võivad olla ka ebaühtlase tükisuurusega kütus ja hulgaline peen-aine-sisaldus kütuses. Kütuse pealeandmisel langeb peen-aine generaatori keskele ja jämedam osa variseb generaatori

seina äärde. Et takistus jämedamatükilises kihis on väiksem, siis toimub seina ääres intensiivsem õhu läbivool ja tekib generaatori põlemine.

Põlemine võib olla põhjustatud ka tuhakihi ebaühtlasest kõrgusest, mistõttu läbivoolava õhu takistus pole ühtlane.

Generaatori põlemise vältimiseks tuleb kõrvaldada räbustumise põhjused, teostada kütuse ühtlast pealeandmist, kütusekihi tasandamist ja reeglipärast roopimist.

c) Generaatori seiskamine ja mahakütmine.

Lühiajaliseks seiskamiseks lülitatakse generaator käivituskorstnale, lõpetatakse õhu puhumine ja ühendatakse õhutorustik atmosfääriga. Käivituskorstna puudumisel lastakse gaas välja läbi roopimisavade. Samuti talitatakse generaatori jätmisel kuumreservi. Kütusekulu generaatori seismisel ulatub 2—4%-ni täiskoormuse kulust. Generaatori käivitamine ja kvaliteetse gaasi saamine peatustel alla 24 tunni nõuab 10—20 minutit. Generaatori uuel käivitamisel tuleb gaasitorustik läbi puhuda.

Pikemaajaliseks seiskamiseks tuli generaatoris kustutatakse. Selleks lõpetatakse õhu andmine ja juhitakse generaatorisse ainult veeauru. Kiireks kustutamiseks uhetakse kütuse pind läbi roopimisavade veega üle, vältides intensiivset aurustumist. Järsk ja hulgaline vee andmine pole lubatav, sest vesi, sattudes tulisele restile või seinavoodrile, võib viimaseid vigastada. Pärast tule kustutamist generaatorisse jäänud kütuse eemaldamine toimub analoogiliselt tuha eemaldamisele.

Gaasitorustik puhutakse läbi eelkirjeldatud viisil.

d) Generaatori kütterežiimi kontroll.

Kütterežiimi ligikaudne kontroll ja juhtimine toimub vahetu vaatlusega, otsustades režiimi üle kütusepinna hõõgumise, kihi põlemise ja gaasirõhu järgi. Täpne režiimi juhtimine toimub lisaks vahetule vaatlusele kontrollmõõteriistade abil.

Niiskete kütuste puhul (puitlaastud, turvas, pruunsüsi) on kütusekihi pinna värvus tume, mis on tingitud madalast gaasi temperatuurist, ja režiimi üle otsustamine ainult vaatluse järgi pole võimalik.

Kuivade kütuste puhul (antratsiit, koks, kivisüsi) omab kütusepind punase värvuse.

Lendosaderikkal kütusel on gaasi värvus pruunikaskollane, lendosadevaesel kütusel on gaas läbipaistev ja omab helesinise varjundi.

Suure niiskusesisalduse korral omab gaas valkja värvingu.

Generaatori põlemisel muutub kihi pealispind helepunaseks ja kõrge temperatuuri tõttu tekib tõrvainete lagunemisest tahma. Gaas omab tumeda värvingu ja põleb kihi pinnal.

Gaasi kvaliteedi üle võib otsustada tema leegi värvuse järgi põlemisel. Korralik gaas põleb kollaka leegiga. Vähese lendosadesisaldusega kütuse gaasi leek on läbipaistev, põlevainetevaese gaasi leek punakas. Gaas hulgalise tahmasisaldusega põleb tumeda leegiga ja sädemetega.

Kontrollmõõteriistade kasutamine võimaldab igal momendil hinnata generaatori töötamist, määrata kõrvalekaldumisi režiimist ja õigel ajal tarvitusele võtta abinõusid režiimi korrastamiseks ning õigeks juhtimiseks.

Generaatorite juures kasutatakse näitavaid kui ka registreerivaid mõõteriistu.

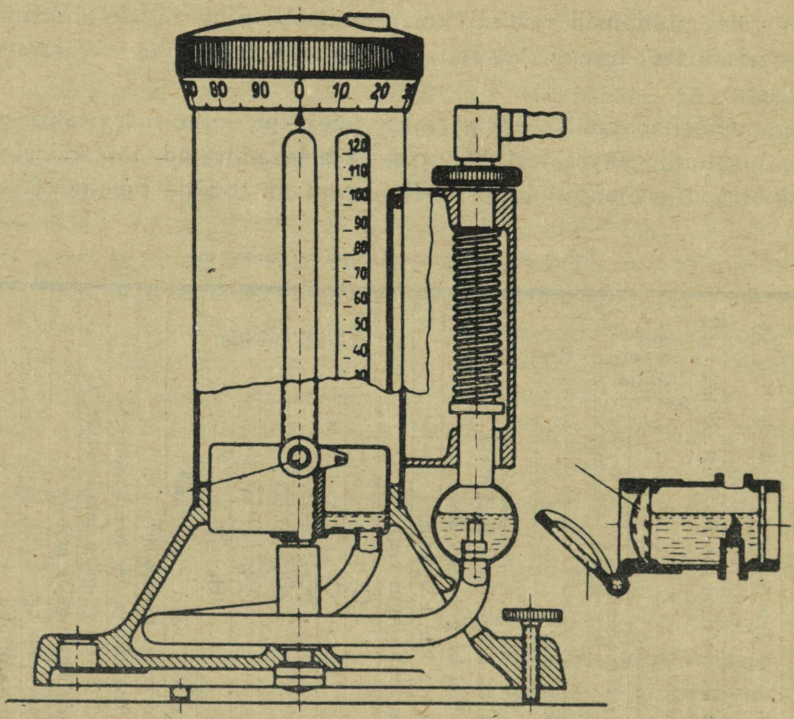
Generaatori töötamise üle peetakse päevikut, kuhu märgitakse mõõteriistade lugemid, generaatori käivitus- ja seiskamisajad, töötamisel esinenud takistused, remondid jm. Päeviku vorm on toodud tabelis 58.

Tabel 58. **Generaatoripäeviku vorm.**

| Kuupäev | | |

Seejuures diafragma annab tunduva rõhulanguse, düüs vähema ja Venturi toru veelgi vähema. Mikrodiferentsiaalmanomeetrit kasutatakse väikesel rõhu langusel.

Gaasi koostise tundmine võimaldab otsustada gaasistumisprotsessi käigu ja gaasi kvaliteedi üle ning määrata gaasi omahinda.



Joon. 147. Mikrodiferentsiaalmanomeeter („Askania").

Generaatorigaasi peamisteks komponentideks on: süsihappegaas (CO_2), vingugaas (CO), vesinik (H_2), küllastunud süsivesinikud, peamiselt metaan (CH_4) ja lämmastik (N_2). Peale selle sisaldab generaatorigaas vähesel määral küllastumata süsivesinikke (C_2H_4 jt.), hapnikku (O_2) ja veeauru (H_2O). Küllastumata süsivesinikke esineb gaasis, mis on saadud bituminoossete kütuste gaasistamisel, ja nende hulk kõigub tavaliselt 0,1—0,6% vahel. Hapnikusisaldus gaasis ei ületa harilikult 0,2%. Suurem hapnikusisaldus vihjab väärõhu sissepääsule, mis tuleb viivitamatult kõrvaldada.

Gaasi koostis määratakse gaasianalüsaatoritega (joon. 141 ja 142). Analüsaatorid võivad olla automaatsed või mitteautomaatsed.

Niiskuse hulk gaasis ja auru-õhu segus määratakse eriaparatuuriga, millest levinum on psühromeeter, mis võimaldab määrata veeauru küllastustemperatuuri ja selle kaudu niiskusesisaldust.

Olulise tähtsusega on tõrvainete- ja tuhasisalduse määramine gaasis. Seda teostatakse gaasi filtrimisega. Filtri materjalina kasutatakse klaasipuru, marmorit, klaasvilla, räbuvilla, asbesti, hügroskoopset vatti jm.

Gaasi küttevääртus iseloomustab gaasistamisprotsessi ökonoomsust ja gaasi kõlblikkust eri vajadusteks. Küttevääртus määratakse kalorimeetriga või arvutuse teel gaasianalüüsi põhjal.

Joon. 129 ja 130 on toodud „Junkers"-kalorimeeter, milles gaas põletatakse ja sellest saadud soojus antakse üle ümbritsevale veele. Gaasi- ning veehulga ja siseneva ning väljuva vee temperatuuri mõõtmise teel määratakse gaasi küttevääртus.

Gaasianalüüsi põhjal arvutatakse gaasi küttevääртus avaldisega

$$Q \text{ kal} = 30{,}35\ CO + 25{,}7\ H_2 + 86{,}0\ CH_4 + 145{,}4\ C_2H_4 + 55{,}93\ H_2S \text{ kcal/nm}^3.$$

Gaasi temperatuur võimaldab teataval määral otsustada protsessi käigu üle generaatoris. Gaasi temperatuuri tõusmise põhjuseks võib olla generaatori tootluse suurenemine ja generaatori osaline või täielik põlemine. Temperatuuri alanemine tekib koormuse vähenemisel ja auru sissejuhtimise suurendamisel. Gaasi temperatuur langeb pärast kütuse pealeandmist ja tõuseb enne seda.

Gaasi temperatuuri põhjal pärast kuivatajat võib otsustada gaasi kuivenemisastme üle; auru-õhu segu temperatuuri tundmine võimaldab määrata sissejuhitava auru hulka ja niiskusemäära.

Temperatuuri mõõtmiseks kuni 500°-ni C kasutatakse elavhõbetermomeetreid, üle selle temperatuuri — termoelektrilisi püromeetreid (joon. 138).

Generaatorisse juhitava põlemisõhu ja gaasirõhu mõõtmine generaatori ülaosas võimaldab otsustada kihi takistuse ja selle põhjal kihi seisukorra üle (räbustumine, paakumine, tsoonide kõrgused jne.). Gaasirõhu hoidmine konstantsena kindlustab nõutavat tootlust ja väldib väärõhu sissepääsu läbi ebatiheduste.

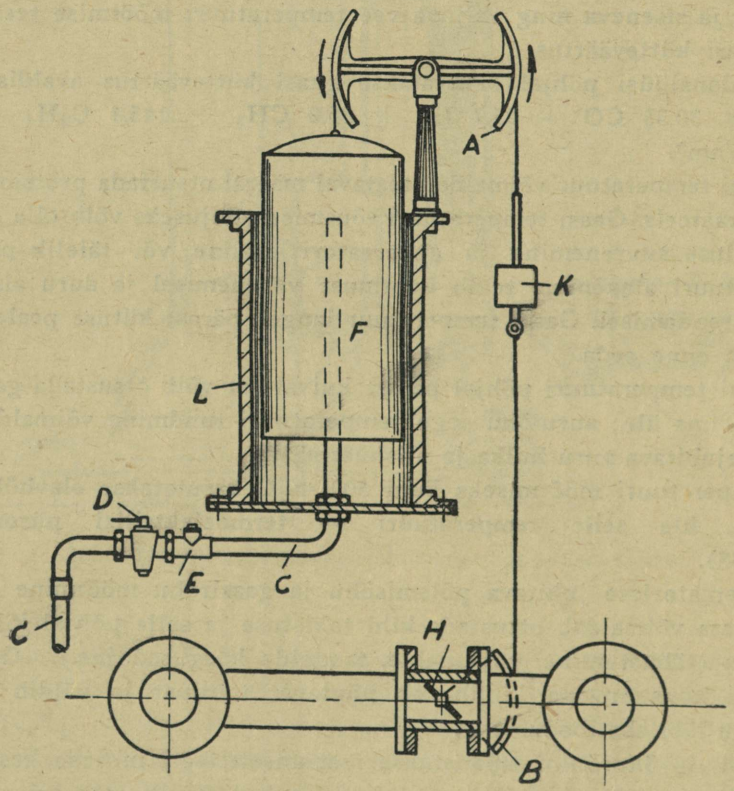
Gaasi- ja õhurõhku mõõdetakse manomeetritega, milleks kasutatakse U-toru (joon. 137) ja väikeste rõhkude puhul Krelli mikromanomeetrit (joon. 136). Viimases on kaldu asetatud toru tõttu vedelikusamba nihkumine suurem kui U-torus. Rõhk määratakse veesamba millimeetrites. U-torus kasutatakse sammaste vahe suurendamiseks sageli veest kergema

erikaaluga vedelikke. Lugemite saamiseks veesamba millimeetrites jagatakse skaala jaotusteks pikkusega $\frac{1}{\gamma}$ mm, kusjuures γ on kasutatava vedeliku erikaal.

Suurema ülevaatlikkuse saamiseks koondatakse mõõteriistad lülitustahvlile.

e) Gaasistamisprotsessi automaatne reguleerimine.

Sõltuvalt gaasi kasutamisest, kütuse tükisuurusest, perioodilisest kütuse pealeandmisest, kütuse paakumisest, generaatori räbustumisest jne. on gaasirõhk kõikuv. Samuti võivad kõikuda õhurõhk ja auru-õhu segu temperatuur.



Joon. 148. Kellregulaator.

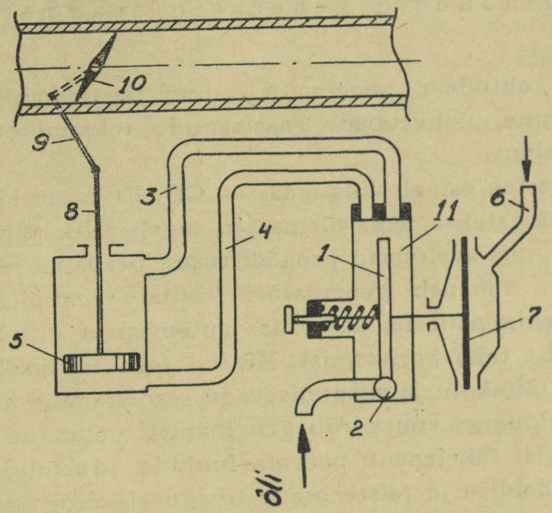
Gaasistamisprotsessi õige juhtimine toimub eelnimetatud rõhkude ja temperatuuride reguleerimisega, mida teostatakse käsitsi või automaatselt.

Viimane viis on täpsem, eelistatavam ja seda kasutatakse eriti suuremais seadmeis.

Reguleerimisviise on otseseid ja kaudseid. Esimesel juhtumil mõjustab regulaator täiteorganit vahetult, teisel juhtumil toimub see abiseadise kaudu, milles abijõuna kasutatakse suruõhku, -õli, -vett, elektrienergiat jm.

Väljuva gaasirõhu hoidmine praktiliselt muutumatuna toimub kas gaasikogujaga, gaasi- või õhuventilaatori kiiruse muutmisega, gaasi- või õhuvooluse drosseldamisega või gaasi või õhu osalise tagasijuhtimisega ventilaatori imemistorustikku.

Gaasikoguja, kuhu juhitakse ülejääv gaas väikesel tarbimisperioodil, osutub kõige lihtsamaks, kuid samal ajal kõige kallimaks lahendusviisiks.



Joon. 149. Membraanregulaator.

Gaasi- või õhuventilaatori kiiruse muutmiseks seadistatakse ventilaatori elektrimootor tiirude regulaatoriga, aurujõuseadis aurutorustikule monteeritud kägiklapiga.

Joon. 148 on toodud kellregulaator rõhu vahetuks reguleerimiseks. Ruum *F* kella all on toru *C* abil ühenduses ruumiga, milles rõhk peab olema püsiv. Kell asetseb veepaagis *L* ja on tasakaalustatud vastukaaluga *K*. Rõhu muutmisel kell tõuseb või langeb, milline liikumine kantakse balanssiiri *A*, kangistiku ja sektori *B* kaudu üle kägiklapile *H*.

Gaasi tarbimise vähenemisel suureneb gaasirõhk süsteemis, kell tõuseb ja kägiklapp suleb torustiku. Selle tagajärjel gaasi või õhu läbivool väheneb ja rõhk langeb endisele tasemele.

Joon. 149 on toodud kaudselt töötav membraanregulaator. Torust *1*, mis võib pöörduda telje *2* ümber, voolab mõneatmosfäärilise surve all olev õli ruumi *11* ja sealt torusid *3* ja *4* mööda kolvi *5* alla ja peale, mõjudes mõlemale kolvipoolele samasuguse rõhuga. Muutub gaasi- või õhurõhk ruumis, mis on ühendatud toruga *6*, liigub membraan *7* kohalt ja pöörab toru *1* paremale või vasakule. Selle tagajärjel õlirõhk kolvi ühel poolel suureneb, kolb nihkub oma asendist ja pöörab hoovastiku *8* abil kägiklappi *9*.

Gaasi või õhu tagasijuhtimiseks on torustik seadistatud ülevooluklapiga (*by-pass*), mis rõhu tõusmisel avaneb ja laseb osa gaasi või õhku tagasi ventilaatori imemistorustikku.

f) Ohutusnõudeid generaatorseadmete teenindamisel.

Põhilisteks ohtudeks generaatorseadme teenindamisel on mürgiste gaaside eraldumine, plahvatavate gaasisegude tekkimine ja generaatorigaasi kerge süttivus.

Mürgise gaasina esineb vingugaas — CO. Et ta on lõhnata, värvita ja maitseta, siis märgatakse tema olemasolu sageli alles pärast mürgitustunnuste ilmnemist, mis avalduvad peapöörituses, peavalus ja iivelduses.

Mürgitusoht väheneb generaatori käsitsi teenindamise üleviimisel automaatsele teenindamisele, kasutades automaatset täitmist ja roopimist ning mehhaanilist tuha koristamist. Käsitsi teenindamisel takistavad gaaside eraldumist täitekolu ja roopimisavade seadistamine katikutega.

Gaaside eraldumist suurendab generaatori töötamine surve all. Seepärast tuleb erilist tähelepanu pöörata luukide, lukkude, kaitseventiilide, siibrite, täiteseadeldise ja teiste osade tihedusele ning generaatori keres ja gaasitorustikus tekkivate ebatiheduste (pragude, tihenduste jm.) kohesele kõrvaldamisele. Eriti ohtlik gaasi läbilaskmise suhtes on tellisest gaasitorustik. Tõrvavaba gaasi juures pole viimase kasutamine lubatav.

Sissekütmiseks peab gaasigeneraator olema seadistatud käivituskorstnaga, et vältida teenindava personali mürgitumist sissekütmisel läbi täiteava generaatorite ruumi eralduvate gaasidega. Generaatorite ruumi tõhusaks ventileerimiseks peab olema ette nähtud loomulik või kunstlik ventilatsioon.

Siiber generaatori eraldamiseks gaasikogujast peab olema hästi tihe. Enne generaatorisse minekut viimase järelevaatuseks, puhastamiseks või remondiks tuleb generaator hästi ventileerida. Sama kehtib gaasitorustiku kohta, mis tuleb hermeetiliselt välja lülitada gaasi all olevast torustikust ja seadmetest.

Gaasi all olevate luukide, klappide ja uste tihendamine ning kinnimüürimine peab toimuma kahe päästeaparaadiga varustatud töölise poolt.

Töötamisel gaasitorustiku juures tuleb viimast pidevalt ventileerida. Tööd gaasitorustiku sees tuleb teostada vähemalt kahe töölisega, kes on omavahel ühendatud päästenööriga ja kellest üks asub väljaspool torustikku torus töötaja abistamiseks gaasmürgituse tekkimisel. Tööd teostatakse tehnilise juhtkonna juuresolekul ja järelevalvel ning peab olema tagatud esmaabi andmine.

Gaasigeneraatorit ja torustikku tuleb valgustada seest plahvatuskindla akumulaatorlambiga.

Gaasist mürgitatu tuleb kanda värske õhu kätte ja teha talle kunstlikku hingamist. Eriti rasketel mürgitusjuhtudel anda mürgitatule hingata hapnikku, millega täidetud padi peab olema generaatorijaamas.

Plahvatav segu tekib juhtumil, kui gaas seguneb õhuga teatava kindla suhte juures ja süttib. Kui kaitseventiilid ei avane segu plahvatamisel õigeaegselt, tekib seadme või gaasitorustiku purustus. Seepärast tuleb pidevalt kontrollida kaitseventiilide korrasolekut. Ventiilid seadistatakse raskustega ja on keelatud ventiilide kinnikiilumine.

Eriti ohtlik on plahvatava segu tekkimine gaasi puhastamiseks kasutatavate elekterfiltrite puhul, mis töötavad kõrgpinge all ja sädemete tekitamisega.

Õhu sissepääs generaatorisse ja gaasitorustikku läbi müüritise, klappide, tihenduste ja täiteseadeldise, mis võib tekitada plahvatavat gaasi-õhu segu, võib olla põhjustatud alarõhu tekkimisest üksikuis seadme osades. Seepärast tuleb kõik ebatihedused õigeaegselt kõrvaldada ja vältida töötamist alarõhuga.

Plahvatav gaasi-õhu segu võib moodustuda generaatori käivitamisel torustikku jäänud õhust või generaatori seiskamisel gaasitorustiku läbipuhumisel õhuga. Selle vältimiseks kuuma gaasiga töötava generaatori käivitamisel ja seiskamisel tuleb generaator ja gaasitorustik väljatöötatud juhiste kohaselt läbi puhuda auruga või põlemisproduktidega.

Plahvatav gaasi-õhu segu võib tekkida rõhu langemisel õhutorustikus (ventilaatori peatamine, rõhu tõus generaatoris müüritise sisselangemisest või tuha kogunemisest torustikus jm.), mistõttu generaatorist satub õhutorustikku gaasi. Selle vältimiseks tuleb õhutorustik seadistada tagasilöögiklappidega.

Plahvatavate gaasi-õhu segude tekkimise vältimiseks tuleb silmas pidada veel järgmisi asjaolusid:

Generaatori sissekütmisel võib kustunud kütuse uuesti süütamine toimuda ainult pärast generaatori läbipuhumist õhuga.

Õhutorustik tuleb enne õhuventilaatori käivitamist ventileerida sinna kogunenud gaasist.

Generaatori režiimi juhtimise automaatsed reguleerseadmed peavad olema seadistatud heli- või valgussignaalidega, mis juhivad teenindava personali tähelepanu suuremaile kõrvalekaldumistele normaalsest režiimist, vältides häireid ja avariisid generaatorseadme töös.

Põletushaavade vältimiseks tuleb käsitsi roopimist teostada kinnastes. Roopimiskangid asetatakse pärast roopimist kõrvale.

Generaatorist eemaldatav räbu ja tuhk tuleb üle valada veega.

Töötavasse generaatorisse vaatamisel kasutada kaitseprille.

Kõik generaatorseadmed peavad vastama ohutustehnika nõuetele, s. o. peavad omama käigupiirajad liikuvaile osadele, kaitsekatted ja seadised ohutuks käsitsemiseks.

Generaatorite ruumis peavad olema varuks töökorras akumulaatorlambid kasutamiseks valgustuse võimaliku kustumise korral.

Tulikahju likvideerimiseks peab generaatorite ruumis olema ettenähtud arv töökorras keemilisi tulekustutajaid.

Kõik kaitsevahendid — gaasivastased, samuti esmaabi andmise vahendid, asbestkindad jne. peavad asuma kindlaksmääratud ruumis.

Töötav personal peab hästi tundma generaatorseadme teenindamise, tulikahju likvideerimise ja esmaabi andmise juhendeid.

Kasutatud kirjandus.

1. Арнольд, Л. В., и Акимов, П. П., Теплосиловое оборудование подемно-транспортных машин. 1945. Изд. Наркомречфлота СССР.
2. Баранов, А. Ф., Тягодутьевые устройства. 1941. ВСНИТО.
3. Газогенераторные автомобили. Сборник статей. 1943. Издательство Наркомхоза РСФСР.
4. Гинзбург, Д. Б., Газификация топлива и газогенераторные установки. 1938. Государственное издательство легкой промышленности.
5. Грибанов, И. И., Газогенераторное топливо. 1942. ОГИЗ.
6. Гурвич, А. М., Сжигание кускового торфа. 1932. Госэнергоиздат.
7. Долголенко, В. Я., Судовые паровые установки, часть I. Котлы. 1940. Издательство «Морской Транспорт».
8. Кавадеров, А. В., Промышленные индивидуальные газогенераторы. 1945. Металлургиздат.
9. Кнорре, Г. Ф., Курс топочных процессов. Часть вторая. 1937. ОНТИ.
10. Мартинсон, В. П., Введенский, Исследование торфяных месторождений. 1936. ОНТИ НКТП СССР.
11. Нейштадт, М. И., Методы исследования торфяных болот. 1939. ЦСТОС.
12. Некрасов, Н. Н., Газификация в народном хозяйстве СССР. 1940.
13. Полляк, М. И., Проектирование и расчет топок с шахтными мельницами. 1944. НКТМ СССР.
14. Полляк, М. И., Топки с шахтными мельницами. 1945. ЦКТИ.
15. Пробст, А. Е., Свиди в торфяной промышленности капиталистических стран за годы войны. 1945. Издательство Академии Наук СССР.
16. Рамбуш, Н. Э., Газогенераторы. 1939. ОНТИ.
17. Роддатис, К. Ф., Ромм, Э. И., Семенко, Н. А., Усенко, Т. Т. Цыганков, В. Н., Котельные установки. Том 1. 1946. Госэнергоиздат.
18. Сильницкий, А. К., Сжигание кускового торфа в мелких промышленных установках.
19. Справочник Газогенераторные тракторы и автомобили — Газобаллонные автомобили. Смазочные масла и горючие из древесины. ОГИЗ. 1943.
20. Справочник по торфу. 1944. Госэнергоиздат.
21. Стадников, Г., Химия торфа. 1930.
22. Тюремнов, С. Н., Торфяные месторождения. 1940. Гостоптехиздат.
23. Халкионов, А. Д., Применение торфа в автотранспортных газогенераторах. 1945. Лениздат.
24. Хозанов, Я. Н., Добыча торфа элеваторным и багерным способом. 1938. ГОНТИ НКТП СССР.
25. Шкляр, Н. Г., Сокровища болот. 1945. Госэнергоиздат.
26. ЦКТИ, Нормы теплового расчета котельного агрегата. 1945. МАШГИЗ.
27. ЦКТИ, Информационное письмо № 17.
28. ЦКТИ, Информационное письмо № 18.
29. Энергоснабжение железнодорожных узлов. 1941. Тепловая часть, 2 том.
30. Avaste, A., Soojusenergia kadu freesturba seismisel. 1940. Tallinna Tehnikaülikooli väljaanne.

31. Bartel, F., Torfwerke. 1923. Berlin.
32. Kogerman, P., On the chemistry of the Estonian oil shale „Kukersite". 1931. Tartu.
33. Kroll, W., Der Gasgenerator. 1943. Verlag Kliemt.
34. Ludwig, O., Handbuch des Maschinenbaues. Heinrich Killinger Verlagsgesellschaft.
35. Luha, A., Eesti NSV maavarad. 1946. RK „Teaduslik Kirjandus".
36. Luts, K., Der Estländische Brennschiefer-Kukersit, seine Chemie, Technologie und Analyse. 1944. Tallinn.
37. Münzinger, F., Dampfkraft. 1933. Berlin.
38. Truu, H., Kriitiline ülevaade põlevkivi-küttekolletest mehhaaniliste restidega. 1946. RK „Teaduslik Kirjandus".
39. Wirth, F., Brennstoff-Chemie. 1922. Berlin.
40. Winkler, H., Der Estländische Brennschiefer. 1930. Tallinn.
41. Zeidler, R., Neue Wege der Verwertung des Ölschiefers und seiner Verwandlung in Öle. 1933. Tallinn.

Местные топлива ЭССР и их энергетическое применение.

В структуре народного хозяйства большую роль играет успешное развитие энергетики. Советская Эстония обладает значительными ресурсами местных горючих полезных ископаемых в виде залежей горючего сланца, а также и торфа. Бурный рост промышленности и сельского хозяйства республики в настоящем пятилетии вызывает широкое развитие выработки энергии на базе местных топлив. Считаясь с отсутствием исчерпывающей литературы, охватывающей качества местных топлив ЭССР и их энергетическое применение, Институт промышленных проблем Академии Наук ЭССР взял на себя труд составить данную работу, которая может послужить основой при подготовке новых кадров в отрасли энергомеханики, а также и справочным материалом для энергетиков в промышленности.

В первой главе книги приводятся общие сведения по топливу, в том числе его генезис, химическая и технологическая характеристика, применяемость и пр. В разделе «Эстонский сланец» описывается геология сланцезалежей ЭССР, способы добычи сланца, характеристика сланца как топлива, выработка сланцевого масла, газы, их теплотехническая характеристика и энергетическое применение.

В главе по торфу приведены характерные черты торфяных болот и торфа, поясняются методы исследования болот, добыча торфа и характеристика торфа как топлива.

Специальная глава посвящается пояснению основных реакций горения топлив, топочному процессу и его тепловому балансу.

Весьма существенную часть книги составляет глава «Топки». Здесь приводятся — впервые на эстонском языке — основные обозначения по топочному процессу, механические топки для сжигания сланца и торфа (как топки с ручным обслуживанием, так и полугазовые топки) колосниковые решётки и топки с камерным процессом горения. Особое внимание в этой главе уделено иллюстрациям топочных устройств и их деталей.

В главе «Вспомогательное оборудование топок» описывается устройство топливоподачи и тяго-дутьевое оборудование, включая их характеристики, а также оборудование для уборки золы.

В виду особой важности роли газогенераторов в применении местных топлив в энергохозяйстве ЭССР, отдельная глава посвящается газогенераторам. Приводится процесс газификации топлива, его характеристика, тепловой баланс, различные виды газогенераторов, очистка и охлаждение газа.

В последней главе излагаются основы техники сжигания топлива, в особенности сланца-кукерсита, осуществление теплового контроля, теплоизмерительные приборы и пр.

Считаясь с быстрыми темпами внедрения местных топлив и стремясь к своевременному выполнению пятилетнего плана в области энергохозяйства ЭССР, нам пришлось придерживаться конспективного изложения содержания книги, выпуская её в весьма короткий срок.

Aineregister.

aksiaalsed tolmuveskid 199
altõhk 146, 211

gaasigeneraatorid 231, 256, 269
gaasigeneraatorite restid 259
gaasi puhastamine 271, 273
gaasistamisprotsess 231

katalüsaator 142, 247
kihisiiber 167
koks 13
kolde ehituse materjalid 145
— erimaht 138
— lagi 142
— sisevooderdis 140
kolderuum 120, 141
kollete abiseadmed 207, 209
korsten 218
krakkimine 99
küttekolded 123
allkolle 123, 131, 132, 136, 181, 182, 183, 184
eel-allkolle 137
eelkolle 123, 133
hõljuvpõlemisega 186
kamberkolle 193
puitküttekolded 190, 192
sisekolle 123
süvikkolle 180
süvikveskiga 193
turvasküttele 171, 177, 180, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 190
kütus 6, 18, 23, 242
kütusevarud 8
kütuse keemiline karakteristika 9
— eelpurustaja 194
kütusepunker 207
kütteväärtus 14, 37, 88, 93

lendosad 13, 34, 87, 104
liigõhutegur 103

oksüdeerumisreaktsioon 106

pealtõhk 147, 214
puhumisõhk hõljuvpõlemisel 215
põlemine koldes 98, 109, 111, 113, 115
põlemiskaod 116
põlemisprotsess 99, 101, 109, 110
põlemisruum 123
põlemisvalemid 102
põlemisväärtus 14, 37, 88, 93
põlevkivi 28
elementaarkoostis 33
erikaal 41
erisoojus 41
-gaas 35, 48

geoloogia 28
karbonaatide lagunemine 40
-koks 48
kütuspõlevkivi sordid
küttevääртus 37
lademed 28
lendosad 34
mahukaal 41
mineraalballast 33
niiskus 33
orgaaniline osa 33
põlemisväärtus 37
pürolüüs 34
suitsugaasi maht 38
tootmine 29
tugevus 41
tuhk 37
põlevkiviõli ja -gaasi tootmine 43
Davidsoni pöördretort 47
Pintschi generaator 43
tunnelahi 44
põlevkiviõlid 49
põlevkiviõlide põletamine 49

restid 123, 147
Bessert'i rest 176
„Ilmarise" ülerealine treppprest 152, 164
kaldrest 174
kettrest 175
„Krull-Lomšakovi" rest 155
„Krulli" ülerealine treppprest 153
käpprest 149
LL-rest 164
mehhaanilised 154
mehhaaniline treppprest 137
NL-rest 158
plaanrest 173
RÜLT-K treppprest 152
räburest 135
treppprest 135, 174
TS-treppprest 153, 169
restilülid 155
külgtihendus 162
kärjed 155
näitarve 156
resti ajam 159, 163

soode uurimisi 65
soojusbilanss 116, 121
soojustehnilised tähised 123
sootüübid 64
madalsoo 64
üleminekusoo 64
kütteturbasoo 64
raba 64
süttimispiir 100
süttimistemperatuur 100, 106

taandumisreaktsioon 106
taandumisvalemid 102
tuha koristamine 227, 264
turvas 55
elementaarkoostis 85
erikaal 93
erisoojus 95
gaasistamine 83
humiinistumisaste 61
koksistamine 83
kuivatamine 71
külmakindlus 93
küttevääртus 88, 93
lendosad 87
mahukaal 94
niiskus 84, 91
põlemisväärtus 88, 93
soojusejuhtivus 95
tehnilised tingimused 95
tootmine ja töötlemine 71

tuhk 87
turbaliigid:
pillirooturvas 69
pruunsamblaturvas 69
puiduturvas 69
tarnaturvas 69
valgesamblaturvas 68
brikett-turvas 80, 246
freesturvas 78
hüdroturvas 77
labidaturvas 73
masinaturvas 75
turbasoode taimkate 63
turbasoode tekkimine 62
tsoonid 213
tõmbeseadmed 217

utmine 99

ventilaator 218

õhutorustik 215

Sisukord.

Lk.

Saateks 3

I. **Kütuste iseloomustusi** (H. Truu) 5

1. Tekkimine ja varud 5
2. Koostis 9
3. Lendosad ja koks 13
4. Küttevääртus 14
5. Klassifikatsioon 18
6. Kasutuslikkus 23

II. **Eesti põlevkivi** (B. Kask, A. Luha ja H. Truu) 28

1. Põlevkivi geoloogia (A. Luha) 28
2. Põlevkivi tootmine (B. Kask) 29
3. Põlevkivi kütusena (B. Kask ja H. Truu) 32
   a) Üldiselt 32
   b) Elementaarkoostis 33
   c) Lendosad (H. Truu) 34
   d) Tuhk 37
   e) Küttevääртus 37
   f) Suitsugaasi maht 38
   g) Karbonaatide lagunemine 40
   h) Põlevkivi füüsikalisi omadusi 41
   i) Kütuspõlevkivi sordid 41
   j) Põlevkivi hoidmine 42
   k) Kokkuvõte 42
4. **Põlevkiviõli ja -gaasi tootmine** (B. Kask) 43
   a) Sisekütega püstgeneraator (Pintschi generaator) 43
   b) Tunnelahi 44
   c) Davidsoni pöördretort 47
5. Põlevkivigaas (B. Kask) 48
6. Põlevkiviõli ja -gaas kütusena (B. Kask) 49

III. **Turvas** (A. Avaste, J. Põder ja H. Truu) 55

1. Turbasood ja turvas (A. Avaste ja J. Põder) 55
   a) Soostumine 55
   b) Turvastumisprotsess (A. Avaste) 57
   c) Turba humiinistumise aste (A. Avaste) 61
   d) Turbasoode tekkimise perioodid 62
   e) Turbasoode taimkate 63
   f) Sootüübid 64
   g) Kütteturbasoode karakteristika 64
2. Soode uurimisi (J. Põder) 65
   a) Maršruutuurimine ehk ülevaatus 65
   b) Rekognostseeriv ehk ülduurimine 65
   c) Detail- ehk eriuurimine 66
   d) Turbalademe uurimine 66

3. Turba tootmine ja töötlemine (A. Avaste) 71
a) Turba tootmise üldpõhijooned 71
b) Kütteturba tootmisviise 72
c) Labidaturvas 73
d) Masinaturvas 75
e) Hüdroturvas 77
f) Freesturvas 78
g) Brikett-turvas 80
h) Turba tootmine kunstlikult veest vabastamisega termomehhaanilisel menetlusel 81
i) Turba koksistamine 82
j) Turba gaasistamine 83
4. Turvas kütusena (H. Truu) 84
a) Üldiselt 84
b) Elementaarkoostis 85
c) Küttevääртus 93
d) Füüsikalisi näitarve 93
5. Kütteturba omaduste normitud näitarve (A. Avaste) 95

IV. **Põlemine koldes** (H. Truu) 98

1. Põlemisprotsess 99
a) Põlemise iseloomustusi 99
b) Põlemisreaktsioonid ja põlemissaadused 101
2. Protsess põlemisel koldes 106
a) Füüsikalis-keemilisi nähtusi 106
b) Põlemisprotsessi järgud 108
c) Põlemine liikumatus kihis 109
d) Põlemine liikuvas kihis 111
e) Hõljuvpõlemine 113
f) Vedel- ja gaaskütuste põlemine 115
3. Põlemiskaod ja soojusbilanss 116
a) Keemiline kadu 117
b) Mehhaaniline kadu 120
c, d, e) Muud kaod 121
f) Kolde soojusbilansi näide 121

V. **Küttekolded** (E. Antje, A. Irak, B. Kask, H. Truu ja H. Veide) 123

1. Tähiseid (H. Veide) 123
2. Põlevkivikütte koldeid (E. Antje ja H. Veide) 131
a) Põlevkivikoldeid käsitsi teenindatavate restidega (H. Veide) 131
b) Põlevkivikoldeid mehhaanilise trepprestiga (E. Antje) 137
3. Põlevkivikütte reste 147
a) Restid käsitsi teenindamisega (H. Veide) 147
b) Mehhaanilised restid (E. Antje ja H. Truu) 154
1) „Krull-Lomšakovi" restid 155
2) I-restid (H. Truu) 164
3) TS-rest (E. Antje) 169
4. Turvasküttekoldeid (B. Kask, H. Truu ja H. Veide) 171
a) Turvaskütte põhijooni (H. Truu) 171
b) Põlemisreste turvasküttel (B. Kask) 173
1) Käsitsi teenindamisega reste 173
2) Poolmehhaanilisi reste 174
3) Mehhaanilisi reste 175
c) Koldeid käsitsi teenindamisega (B. Kask ja H. Veide) 178
1) Põhijooni (B. Kask) 178
2) Näiteid (H. Veide) 181
3) Koldeid mehhaanilise restiga (B. Kask) 185
e) Hõljuvpõlemisega koldeid (B. Kask) 186
5. Puitküttekoldeid (B. Kask) 190
6. Süvikveskiga koldeid (A. Irak) 193

VI. **Küttekollete abiseadmeid** (K. Lind ja J. Roes) 207

1. Kütuse etteande seadmeid (J. Roes) 207
2. Põlemisõhu andmise ja tõmbeseadmeid (K. Lind) 211
   a) Altõhk 211
   b) Pealtõhk 214
   c) Puhumisõhk hõljuvpõlemisel 215
   d) Õhutorustik 215
   e) Põlemisgaaside eemaldamine 216
   f) Ventilaatorite ja torustike karakteristikuid 222
3. Tuha koristamise seadmeid (J. Roes) 227

VII. **Gaasigeneraatorid** (H. Veide) 231

1. Gaasistamisprotsessi põhijooni 231
2. Generaatorprotsessi mõjustavaid tegureid 241
   a) Kütus 242
   b) Generaatori konstruktsioon 247
   c) Katalüsaatorid 247
3. Soojuskaod generaatorprotsessis 249
4. Generaatorite tüüpe 256
   A. Statsionaarsed generaatorid 256
   B. Transporditavad generaatorid 269
5. Gaasi puhastamine ja jahutamine 271
   a) Gaasi puhastamine lendtuhast 273
   b) Gaasi puhastamine veeaurust 274
   c) Gaasi puhastamine tõrvaineist 275

VIII. **Kütmistehnika** (B Kask ja H. Veide) 276

1. Kütmise teostamine (B. Kask) 276
   a) Kütuse pealeandmine 276
   b) Tuletehnika 279
   c) Põlemise jälgimine 283
   d) Tuha kõrvaldamine 284
2. „Krull-Lomšakovi" resti teenindamise juhend (H. Veide) 285
   A. Resti kontroll enne tööle rakendamist 285
   B. Sissekütmine 286
   C. Juhendeid resti töötamisel 286
   D. Kolde töö reguleerimine 287
   E. Resti seiskamine 288
3. Põlemise kontrollimise abinõud (B. Kask) 288
   a) Kalorimeetrid 288
   b) Kütusehulga mõõtmise abinõud 291
   c) Auru- ja veehulga mõõtmine 296
   d) Tõmbe mõõtmine 297
   e) Temperatuuride mõõtmine 298
   f) Gaasi analüüsimise abinõud 301
   g) Mõõteriistade lülitustahvel 308
4. Gaasigeneraatorite käsitsemine (H. Veide) 308
   a) Generaatori sissekütmine ja käivitamine 308
   b) Töötava seadme teenindamine 310
   c) Generaatori seiskamine ja mahakütmine 314
   d) Generaatori kütterežiimi kontroll 314
   e) Gaasistamisprotsessi automaatne reguleerimine 318
   f) Ohutusnõudeid generaatorseadme teenindamisel 320

Kasutatud kirjandus 323

Резюме: Местные топлива ЭССР и их энергетическое применение 325

Aineregister 326

1. trükk.

Vastutav toimetaja

H. Truu.

Tehniline toimetaja

A. Pill.

Ladumisele antud 16. I 47. Trükkimisele antud 14. IV 47. Paberi kaust 67×95, 1/16. Trükipoognaid 20,75+lisa 3/8. Autoripoognaid 16,52. Arvestuspoognaid 22,77. MB 01775. Laotihedus trpg. 48500. Tiraaž 3200. Trükikoja tellimus nr. 172. Trükikoda „Tartu Kommunist", Tartu, Ülikooli 21/23.

Hind 25 rbl.

На эстонском языке.
Местные топлива ЭССР и их энергетическое применение.
Эгосиздат „Научная Литература", Тарту.