

TALLINNA TEHNIKUM.

Käsikirja õigusega

# TEHNILINE KEEMIA

Esimene osa.

---

J. ANNUSON.



TALLINNAS 1927.

**TALLINNA TEHNIKUM.**

Käsitirja õigusega.

# TEHNILINE KEEMIA

**Esimene osa.**

**J. ANNUSON.**

*Kelmu E. Reichenbaeg.*  
*Stud. Vy. electro.*  
*31.5.29.*



TALLINNAS 1927.

E e i s ö n a .

Tehnilise keemia kursus Mehaanika osakonna üliõpilastele sisaldab valitud peatükid keemia tehnoloogiast: kütteained, wesi, määrdeained ja metallid, peamiselt raud. Juba walik näitab, et selle kursuse otstarbe on eestkätt praktiline. Kursus ei piirdu ainult wasta-waste keemiliste protsesside teoreetiliste alustega ja kirjeldawa materjaliga, waid näitab ka, kuidas seda teadmiste kogu tööstusele rakendada. Peale laboratoorseid harjutusi, mis paralleelselt kursusele tehtakse, on laia ulatusega arwestused ettenähtud (näit. lhk. 79 - 85).

Tehnilises keemias on tähtsam osa põlemisprotsesseid ja kütteained; nendele on järgnewad leheküljed pühendatud. Selle kursuse kauaaegne lektor J. Annusson kirjastas neid loenguid, kuid ärasõidu tõttu ei jõudnud ta I osa lõpule wiia, ja lhk. 78 - 102 on nende ridade kirjutaja sulest.

prof. F. Dreyer.

Jaauanaris 1927 a.

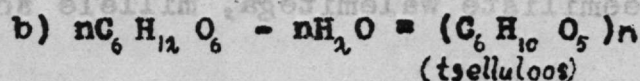
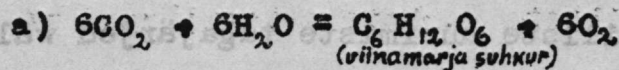
## ESIMENE OSA.

### KÜTTEAINED JA KÜTTEPROTSESSID.

#### 1. Kütteained ja nende tekkimine.

Kütteaineteks nimetame aineid, mis õhus põledes tegelikult tarviduseks rahuldaval määral soojust annavad ning looduses tarvilises ulatuses leiduvad, või mida ajakohase hinna eest mõnesugustest tooresainetest tehniliselt valmistatakse. Oma keemilise koosseisu poolest on nad mitmet liiki süsiniku ühendused; erandina tarvitatakse soojust saamiseks ka teisi aineid, näit. metallilist alumiiniumi, vaski jne.

Kütteained on tekkinud päikese soojust mõjul, taime leherohelise (klorofüll) kui katalüsaatori kaasabil toimiva assimilatsiooniprotsessi kaudu. Lehe abil omandab taime õhust süsihappegaasi, mis mõnesuguste vahetähtsuste kaudu veega ühinedes taime keha ehituseks tarvilikud ained - tselluloos j.t. moodustab. Üldkokkuvõttes, ilma eelastmeteta, võiks seda protsessi järgnevalt kujutada:



Maapinna kihtideks koondunud taimejäänuste pikaajalisel muutumisel tekiwad turwas, pruunsüsi ja kiwisüsi. Mõned kütteained, nagu nahwta ja põlewkiwi, on nähtawasti kas täiel määral wõi osaliselt mõnesuguste loomade jäänuste muutumise produkt.

## 2. Ekso- ja endotermilised reaktsioonid.

Keemilise reaktsiooni kaaslaseks on mingisugune soojusline muudatus - soojuse wabanemine wõi soojuse neeldumine. Soojust wabastawad reaktsioonid nimetatakse eksotermilisteks, soojust neelawad reaktsioonid - endotermilisteks. Soojuse tekkimist seletab oletus, et igas aines leidub nn. keemilist energiat, millest eksotermilisel protsessil teatud osa soojuseks muutub, kuna endotermilise protsessi puhul soojus wastuoksa keemiliseks energiaks muutub. Sellest järgneb, et aine endotermilisel reaktsioonil keemilise energia poolest rikastub, eksotermilisel aga kehweneb.

Keemilise reaktsiooni puhul toimivate soojuse muudatuste uurimine on ühe keemia eriosa - termokeemia ülesanne. Termokeemial on suur tegelik tähtsus eriti mitmesuguste põlemisprotsesside selgitamisel.

Termokeemiliste uurimiste tagajärjed wäljendatakse harilikkude keemiliste walemitega, millele soojuse muudatus

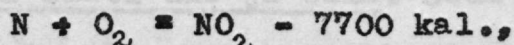
kalorites x) ( grammide ja liitrite puhul wäiksed kalorid, kilogrammide ja kantmeetrite puhul suured kalorid) juure lisatakse; selle juures asetatakse kalorite arvu ette eksotermilise reaktsiooni puhul märk +, endotermilise puhul märk -,

näit: 1) eksotermiline reaktsioon:



s.t. 12 grammi xx) süsiniku ühinemisel 32 grammi hapnikuga tekib 44 grammi süsihaput gaasi ja wabaneb 97200 wäikest kalorit soojust;

2) endotermiline reaktsioon:



s.t. 14 grammi lämmastiku ja 32 grammi lämmastiku ja 32 grammi hapniku ühinemisel tekib 46 grammi lämmastikkaks hapendit ja neeldub 7700 wäikest kalorit soojust.

Ei arwata aine hulgad moleekulkaalude, waid mingi teise möödu peale, siis tulewad walemitesse ka wastawad

x) wäike kalor on soojuse hulk, mis 1 grammi wett 1 Celsiuse kraadi wõrra soendab; üks suur kalor on 1000 wäikest ja soendab ühe kilogrammi wett ühe kraadi wõrra.

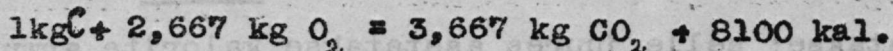
Inglismaal ja Ameerikas tarwitatakse Briti soojusüksus (British Thermal Unit, B.T.U.), mis ühe inglise naela (0,4536 kg) ja ühe Fahrenheiti kraadi kohta arwatakse. Kuna kaaluüksus nii põlewa kütteaine kui ka möötmise aluseks olewa kalori kohta käib, siis lihtsustub kilogramm-kalori ja Briti soojusüksuse suhe tegelikult Celsiuse ja Fahrenheiti kraadide suhteks:

$$1 \text{ B.T.U.} = \frac{5}{9} \text{ kilogramm kalorit};$$

$$1 \text{ kg. kal.} = \frac{9}{5} = 1,8 \text{ B.T.U.}$$

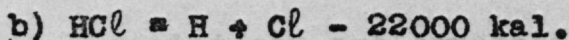
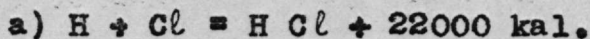
xx) Kui walemis üksikute ainete hulk eraldi tähendatud ei ole, siis loetakse igit ainet nii mitu grammi wõi kilogrammi, kui suur on aine moleekulkaal, näit. C = 12, O<sub>2</sub> = 32, CO<sub>2</sub> = 44 jne.

möödud asetada, näit:

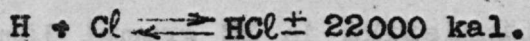


Keemilisel reaktsioonil wabanewat wõi neelduwat soojuste hulka nimetame reaktsiooni soojuswäärtuseks ehk soojus-saawutuseks.

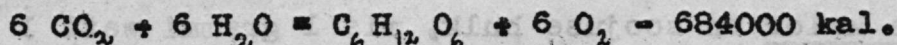
Kui mingisugune antud reaktsioon on eksotermiline, siis on temale wastupidine reaktsioon endotermiline ja neegatiivse, kuid sama absoluut arwu kalorigega. Näit.



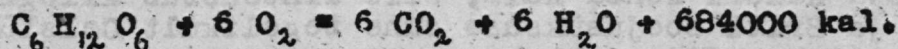
wõi lühendatult:



Esimeses paragrahwis nimetatud assimilatsiooniprotsess on endotermiline ja tarwitab 180 grammi (ühe grammimoleekuli,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 180$ ) wiinamarja suhkru tekkimiseks 684000 wäikest kalorit:



Suhkru põlemine on tagurpidine protsess, milles endised ained,  $\text{CO}_2$  ja  $\text{H}_2\text{O}$ , uuesti tagasi saadakse; selle juures wabaneb ka enne tarwitatud soojus:



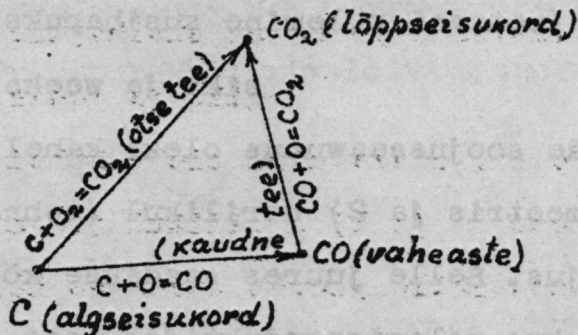
Nõnda oleks siis kütteenaine põlemisel wabanew soojus sisuliselt öieti assimilatsioonipuhul ära tarwitatud päikese energia, mis mõnikord aasta tuhandete jooksul ainesse

peitunud oli ja seal oma vabastamist ja tegewusesse rakedamist ootas.

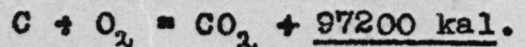
### 3. Püsiwate soojushulkade seadus.

Ainet wõi ainete süsteemi wõib mitmel teel ühest teatud algseisukorrast mingisse teise, lõppseisukorda wia. Selle muutumise läbiwiimisel wabastab ta wõi omandab väljaspoolt teatud hulga soojust. Hesz näitas (1840), et keemilise reaktsiooni soojussaawutus ei olene teest, mida mööda reaktsioon toimib, ja on wõrdsete alg- ning lõppseisukordade puhul alati üks ja sama. Seda lauset nimetatakse püsiwate soojushulkade seaduseks (Heszi seadus).

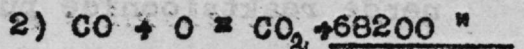
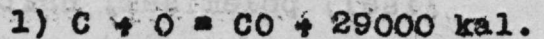
Näit. wõib süsinikku kahel wiisil süsihapuks gaasiks põletada:



a) otseteel:



b) astmeliselt (kaudsel teel):



Kokku 97200 kal.

Joon. 1.

Tee walikust olenemata saame mõlemil juhusel wõrdsed soojushulgad, 97200 kal.

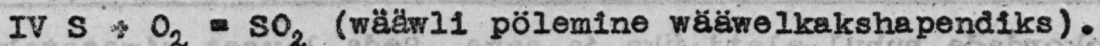
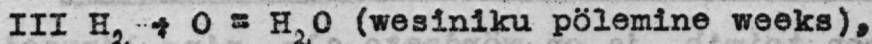
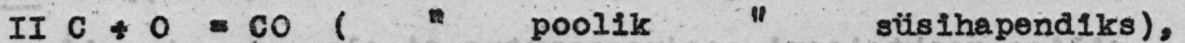
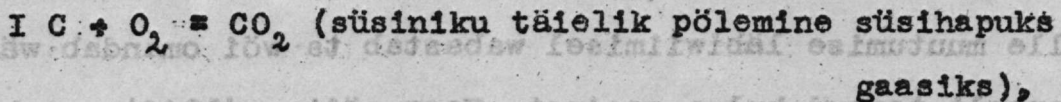
### 4. Põlemisreaktsioonid ja nende soojussaawutus.

Kütteinete põlemisel korduvad alati ühed ja samad

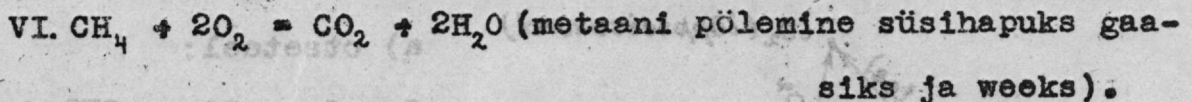
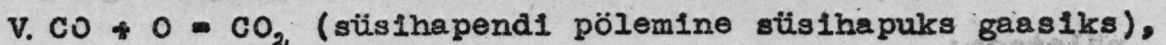


põhireaktsioonid, mille tundmine võimaldab kütteainete soojussaawutuse, põlemiseks tarwis minewa õhu hulga, põlemisgaaside hulga jne. arwutamist.

Elementaarse koosseisu järele on kütteaine põlewateks sisuocadeks süsinik, wesinik ja wääwel; sellega oleksid need põhireaktsioonid järgnewad:



Sagedasti korduwad ka, eriti gaasiliste kütteainete juures, süsihapendi ja metaani põlemisreaktsioonid:



Eeltoodud reaktsioonide soojussaawutus oleks kahel wiisil määrataw: 1) kalorimeetris ja 2) harilikul (tehnilisel) põlemisel, näit. ahjus. Selle juures saadakse kõigil nende reaktsioonide puhul, kus põlemisproduktides wesi puudub (reaktsioonid I, II, IV ja V) mõlemil määramisel wõrdsed arwud. Ülejäänud reaktsioonid (III ja VI) annawad aga erinewad arwud, ja nimelt on kalorimeetris leitud soojussaawutus suurem kui harilik põlemise soojussaawutus. Sama nähtus kordub ka kõigi kütteainete juures, mis wesinikku

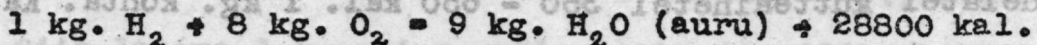
sisaldavad ja mille põlemisproduktides wastawalt wett leidub.

Selle põhjuseks on järgmine asjaolu. Harilikul põlemisel lenduwad põlemisproduktid põlemiskohast, näit. ahjust, kaugelt üle 100 kraadilise temperatuuri juures minema, mille juures wesi ühes teiste põlemisproduktidega auruna püsimajääb. Kalorimeetrilisel määramisel jahutatakse aga põlemisproduktid kuni toa temperatuurini, kusjuures neis leiduw wesi wedelikuks tiheneb.

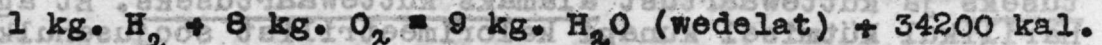
Nõnda saame ühest ja samast ainest wesenikust ühel juhusel (harilikul põlemisel) wee auru, teisel juhusel (kalorimeetris) wedela wee.

Waatleme neid sündmusi Heszi seaduse seisukohast.

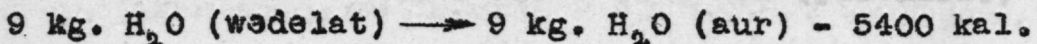
Laseme esiteks 1 kg. wesenikku harilikul põlemisel hapnikuga weeauruks ühineda. See on eksotermiline protsess, mille puhul 28800 kalorit wabaneb:

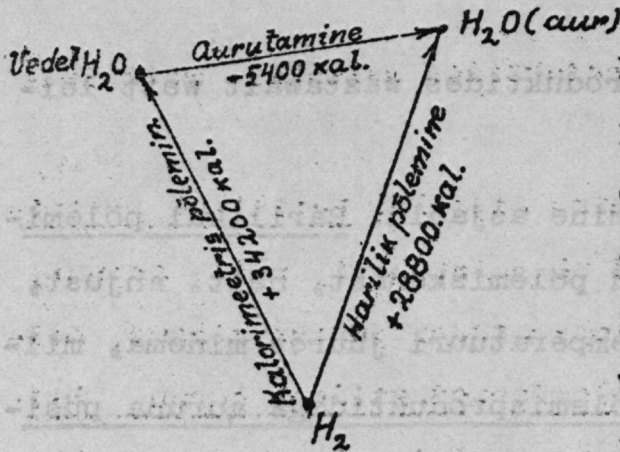


Teiseks põletame kalorimeetris samuti 1 kg. wesenikku wedelaks weeks; ka see reaktsioon on eksotermiline, kuid annab 34200 kal:



Saadud wedela wee muudame auruks; see reaktsioon on endotermiline ja tarwitab 1 kilogrammi kohta (üleminek wedelikust auruks 0° juures arwatud) ümmarguselt 600 kalorit:





Kuna sel teel läbi viidud protsessidel on ühine algproduktwesinik, ja lõppprodukt - weeaur - ka üks ja sama, peavad nende soojussaavutused võrdsed olema, mis katsest ka tõestub:

Joon. 2.

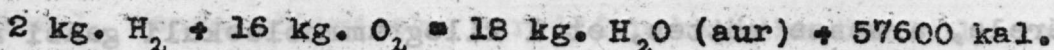
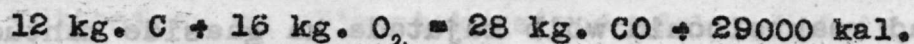
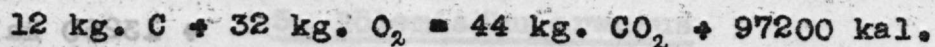
- I. 1 kg.  $H_2$  + 8 kg.  $O_2$  = 9 kg.  $H_2O$  (aur) + 28800 kal.
  - II. a) 1 kg.  $H_2$  + 8 kg.  $O_2$  = 9 kg.  $H_2O$  (wedel) + 34200 "
  - b) 9 kg.  $H_2O$  (wedel) → 9 kg.  $H_2O$  (aur) - 5400 "
- 28800 kal..

Selle järele, kas kütteaineks vähemal või rohkemal määral vesinikku leidub, on ka kalorimeetrilisel määramisel ja harilikul põlemisel saadavate soojussaavutuste vahem vähem või suurem, ning ulatab näit. kiwisöel 250 - 300 kal., wedelatel kütteainetel 350 - 650 kal. 1 kg. kohta. Kalorimeetrilisel põletamisel saadud soojus nimetatakse põlemisväärtuseks, harilikul põlemisel tekkiw soojus - küttewäärtuseks.<sup>x)</sup>

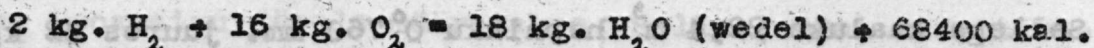
x) Mõnikord nimetatakse põlemisväärtust ülemaks kütteväärtuseks ja kütteväärtust alamaks kütteväärtuseks. Et aga harilikul kütisel kunagi kalorimeetrilist soojuse hulka ei saada, siis on asjata wiimast ükskõik mis kütteväärtuseks nimetada. Nõnda oleks siis ainult üks kütteväärtus - hariliku põlemise soojussaavutus.

Mõlemad väärtused väljendatakse harilikult suurtes kalories, 1 kg. kütteaine kohta arvatud, või väiksetes kalories, 1 g. kütteaine puhul.

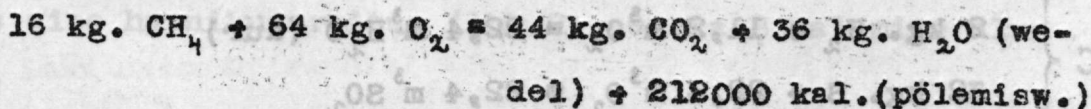
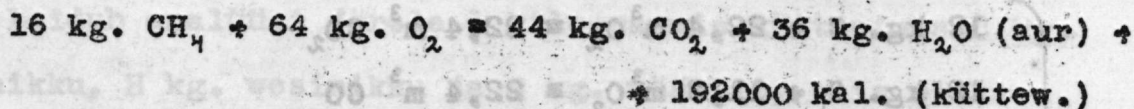
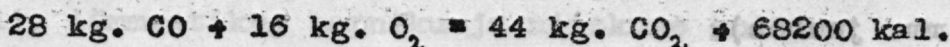
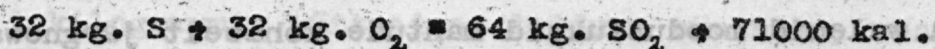
Need vastavate soojussaavutustega kujunevad põlemisreaktsioonid, järgnevalt:



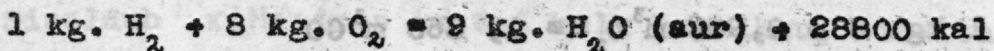
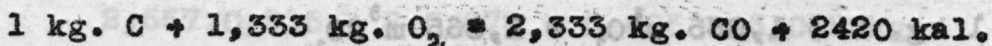
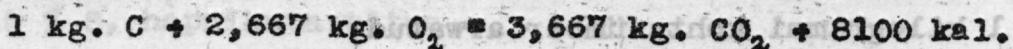
(kütteväärtus)



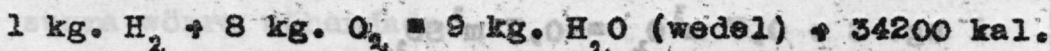
(põlemisväärtus).



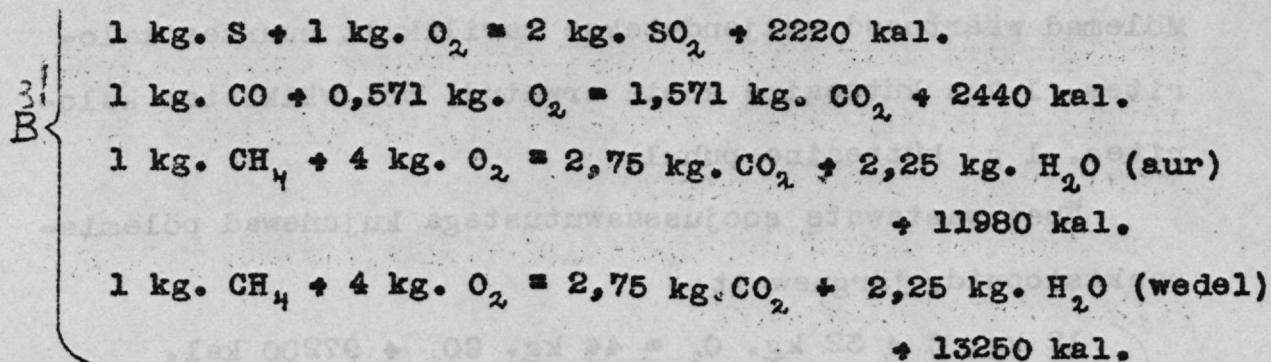
Siit leiame 1 kg. aine, põlemiseks tarviliku hapniku ja põlemisproduktide hulga ning soojussaavutuse:



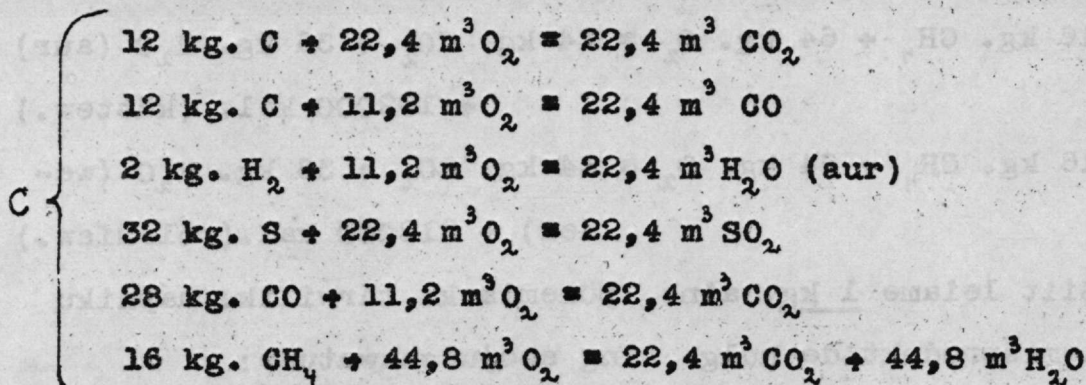
(küttev.)



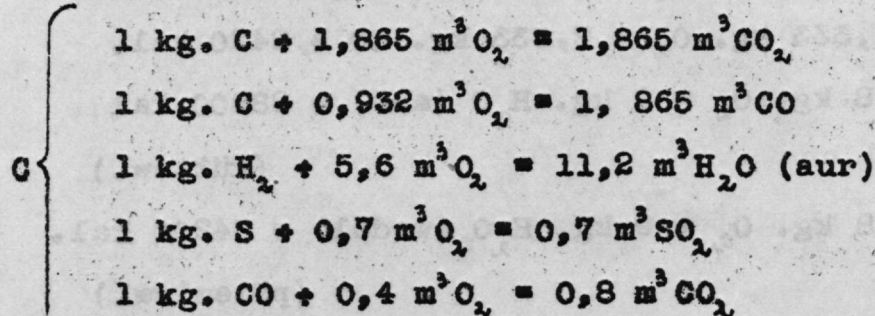
(põlemisw.)



Samad reaktsioonid võib kujutada ka gaaside mahtude järele, arwesse wõttes, et 1 kilogrammmoleekuli gaasi maht 0°760 mm. juures on 22,4 m<sup>3</sup>, ja 15°735,5 mm. juures 24,4 m<sup>3</sup>. Sellega kaaluks 22,4 m<sup>3</sup> hapnikku 0°760 mm. juures 32 kg. (O<sub>2</sub> = 32), 22,4 m<sup>3</sup> lämmastikku 28 kg. (N<sub>2</sub> = 28) jne. Lhk. 9 seeria A walemid moodustuksid mahtude kohaselt järgnewateks (0°760 mm. juures):



1 kilogrammi kohta ümber arwatud:



1 kg.  $\text{CH}_4 + 2,8 \text{ m}^3 \text{O}_2 = 1,4 \text{ m}^3 \text{CO}_2 + 2,8 \text{ m}^3 \text{H}_2\text{O}$  (aur).

Märkus: Kõigis eeltoodud võrrandites on antud teoreetiline hapniku hulk, mis põlemisel ära tarvitatakse. Tegelikul kütmisel juhitakse kütteainele märksa rohkem hapnikku juure, millest üleliigne osa kasutamata jääb.

### 5. Põlemisõhu arvutus.

Kütteaines on põlewateks sisuosadeks süsinik, vesinik ja väävel. Nende põlemiseks tarviliku hapniku õhu hulk leitakse teoreetilise hapniku tarwituse kaudu, mis aine keemilise koosseisu järele määratakse. Selle juures tarvitatawates walemites tähendawad märgid C, H, S, N, O ja W wastawalt 1 kilogrammis kütteaines leiduwa süsiniku, weseniku, wääwli, lämmastiku, hapniku ja niiskuse hulka.

Leidub analüüsi järele 1 kilogrammis kütteaines C kg. süsinikku, H kg. wesenikku ja S kg. wääwli, siis oleks selle aine hapnikutarwitus (lhk.9, seeria B walemite alusel):

$$(2,667C + 8H + S) \text{ kg.}$$

Näit. on 1 kg. bensiinil, mille koosseis on 91,5 % C, 7,8 % H ja 0,5 % S, hapnikutarwitus

$$2,667 \cdot 0,915 + 8 \cdot 0,078 + 0,005 = 3,069 \text{ kg.}$$

Sisaldub kütteaines teatud hulk hapnikku, siis tuleb põlewatele ainetele wastaw teoreetiline hapniku tarwitus selle summa wõrra wähendada.

Näit. kui kiwisöes sisaldub 73 % C, 4,5 % H, 10 % O ja 1 % S, siis on selle söe hapnikutarvitus:

$$2,667 \cdot 0,73 + 8 \cdot 0,045 + 0,01 - 0,10 = 2,3 \text{ kg.}$$

ehk üldiselt:  $(2,667 C + 8 H + S - O)$  kg.

Hapnikust õhu juure üleminek sünnib järgnevale suhete kohaselt:

Õhu koosseis.		1 kg. hapnikule	1 m <sup>3</sup> hapnikule
kaalu järele:	mahu järele:	wastab:	wastab:
23,2 % O <sub>2</sub>	20,96 % O <sub>2</sub>	4,31 kg. õhku	4,77 m <sup>3</sup> õhku
76,8 % N <sub>2</sub>	79,04 % N <sub>2</sub>	3,31 kg. lämmastikku.	3,77 m <sup>3</sup> lämmastikku.

Ümmarguselt arvates sisaldub õhus hapnikku kaalu järele 23 %, mahu järele 21 %.

1 m<sup>3</sup> kuiwa õhku kaalub 0°760mm. juures 1,293 kg; sellega oleks 1 m<sup>3</sup> õhus  $1,293 \cdot 0,232 = 0,3$  kg. hapnikku.

15°735,5 mm. juures on 1 m<sup>3</sup> õhus leiduva hapniku kaal 0,275 kg.

Eelpool toodud hapnikutarvituselt saame nüüd põlemiseks kuluva teoreetilise õhu hulga:

1) kaalu järele:

$$\frac{2,667 C + 8 H + S - O}{0,232} \text{ kg.}$$

2) mahu järele:

a)  $\frac{2,667 C + 8 H + S - O}{0,3} \text{ m}^3$  (0°760 mm. juures).





$$= \frac{1}{12} \left[ C + 3 \left( H - \frac{O}{8} \right) \right] \quad " \quad "$$

$$= \frac{22,4}{12} \left[ C + 3 \left( H - \frac{O}{8} \right) \right] \text{ m}^3 \text{ (0}^\circ\text{760 mm.)}$$

$$= \frac{24,4}{12} \left[ C + 3 \left( H - \frac{O}{8} \right) \right] \text{ m}^3 \text{ (15}^\circ\text{735,5 mm.)}$$

Õhutarvitus ( $\bar{O}$ ) saadakse nende arvude korrutamisel 4,77-ga (w. lhk. 12):

$$\bar{O}_{\text{teor. 0}^\circ\text{760mm}} = \frac{22,4 \cdot 4,77}{12} \left[ C + 3 \left( H - \frac{O}{8} \right) \right] = 8,9 \left[ C + 3 \left( H - \frac{O}{8} \right) \right] \text{ m}^3$$

$$\bar{O}_{\text{teor. 15}^\circ\text{735,5mm}} = \frac{24,4 \cdot 4,77}{12} \left[ C + 3 \left( H - \frac{O}{8} \right) \right] = 9,7 \left[ C + 3 \left( H - \frac{O}{8} \right) \right] \text{ m}^3$$

### 6. Põlemisgaasid.

Põlemisgaas (suitsugaas, korstnagaas) on tarvitatud õhu ja ära põlenud kütteaine summa. Kui 1 kg. kütteainet sisaldas T kg. tuhka, siis on ta põlewate osade kogusumma, oletades et põlemine oli täielik,  $[1 - T]$  kg. Selle juures tekiks põlemisgaase (G) 1 kilogrammi kütteaine kohta:

$$G = \left[ \frac{2,667 C + 8H + S - O}{0,232} + 1 - T \right] \text{ kg.}$$

Arvesse võttes, et 1 kg. hapnikule vastab 4,31 kg. õhku ja 1 m<sup>3</sup> hapnikule 4,77 m<sup>3</sup> õhku, saame eelpooltoodud arvudest tabeli põlemisproduktide üksikute sisuosade leidmiseks kilogrammides või kantmeetrites:

Aine.	Tarvitab õhku.	Annab põlemisprodukte	Tarvitab õhku. 0 <sup>o</sup> 760 mm.	Annab põlemisprodukte. 0 <sup>o</sup> 760 mm.
1 kg. C, põledes CO <sub>2</sub> -ks	11,5 kg.	12,5 kg.	8,88 m <sup>3</sup>	8,88 m <sup>3</sup>
1 kg. C " CO-ks	5,75 "	6,75 "	4,44 "	5,38 "
1 kg. H <sub>2</sub> " H <sub>2</sub> O-ks	34,48 "	36,48 "	26,67 "	32,28 "

1 kg. S põled.	SO <sub>2</sub> -ks	4,31 kg.	5,31 kg.	3,34 m <sup>3</sup>	3,34 m <sup>3</sup>
1 kg. CO "	CO <sub>2</sub> -ks	2,46 "	3,46 "	1,91 "	2,31 "

Siit saame põlemisgaaside hulga üksikute sisuosade järele 1 kg. kütteaine kohta:

$$G = \left\{ \left[ 12,5 C + 35,48 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 5,31 S \right] + \left[ 9 \frac{O}{8} + W \right]_{H_2O} + N \right\} \text{kg.}$$

ehk

$$G = \left\{ \left[ 8,88 C + 32,28 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 3,34 S \right] + 1,243 \left[ 9 \frac{O}{8} + W \right]_{H_2O} + 0,797 N \right\} m^3$$

Mõlemis walemis on põlemisgaasid kolme ossa jaotud:

$$1) \left[ 12,5 C + 35,48 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 5,31 S \right] \text{ ja } \left[ 8,88 C + 32,28 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 3,34 S \right]$$

tähendavad süsiniku, kasutatava wesiiniku ja wäawli põlemisel tekkinud gaaside hulka;

2)  $\left[ 9 \frac{O}{8} + W \right]_{H_2O}$  ja  $1,243 \left[ 9 \frac{O}{8} + W \right]_{H_2O}$  on ilma wälise õhu tarwitusest tekkinud wesi ( $9 \frac{O}{8}$  tähendab kütteaines leiduwa hapniku ja sellega seotult mõeldawa wesiiniku hulga wastawat wett, W on niiskuswesi; 1,243 tähendab 1 kg. weeauru mahtu kantmeetrites 0°760 mm. juures);

3) N on kütteaines leiduw lämmastik; 0,797 tähendab 1 kg lämmastiku mahtu kantmeetrites 0°760 mm. juures.

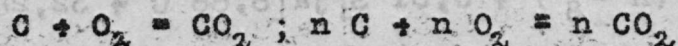
Näit. kütteaine koosseis oli 53 % C, 4 % H<sub>2</sub>, 11 % O<sub>2</sub>, 2 % S, 1 % N<sub>2</sub>, 14 % niiskust ja 15 % tuhka. Siit leiame põlemisgaaside hulga:

$$G = \left\{ \left[ 12,5 \cdot 0,53 + 35,48 \left( 0,04 - \frac{0,11}{8} \right) + 5,31 \cdot 0,02 \right] + \left[ 9 \frac{0,11}{8} + 0,14 \right] + 0,01 \right\} = 7,927 \text{ kg.}$$

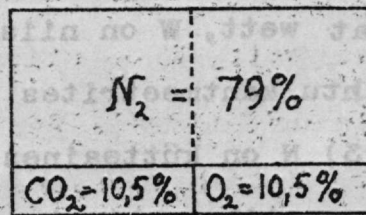
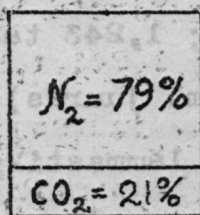
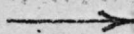
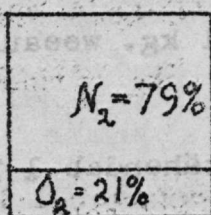
### 7. Süsihapu gaasi maksimum.

Reaktsioonide kohta, mille alg- ning lõpuproduktide hulgas on gaasilisi aineid, maksab seadus, et gaaside maht võrdsete temperatuuride ja surwete juures ei muutu, kui gaasilises olekus leiduwate moleekulite arv endiseks jääb; nende arwu kaswamisele wõi kahanemisele wastab proportsionaalne gaasi mahu kaswamine wõi wähenemine.

Näit. jääb süsihapu gaasi tekkimisel süsinikust ja hapnikust gaasi maht endiseks, kuna tarwitatud hapniku ja tekkinud süsihapu gaasi moleekulite arwud on võrdsed:



Selle järeldusena wõrdub süsihappe protsent puhta süsiniku teoreetilises õhumääras ja täielikul põlemisel tekkinud gaasides õhus leiduwa hapniku protsendile. Teoreetiliselt suurema õhumäära puhul on süsihapu gaasi protsent wastawalt wäiksem.

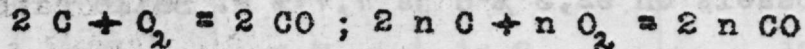


Joon.3. Puhta süsiniku põlemisgaasid teoreetilises õhumääras.

Joon 4. Puhta süsiniku põlemisgaasid kahekordses õhumääras.

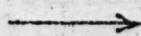
Süsihappendi tekkimisel puhtast hapnikust ja süsinikust

kaswab gaasi molekulite arw kui ka maht kahäkordseks:



Pöleb süsinik teoreetilises öhumääras ainult süsihappendiks, siis kaswab üldine gaaside maht wöetud öhu mahuga wörreldes 21 % wörra ja põlemisgaaside lõpulikuks koos-

$N_2 = 79\%$
$O_2 = 21\%$



$N_2 = 65,3\%$
$CO = 34,7\%$

seisuks on, nagu joon. 5 näha, 65,3 % lämmastikku ja 34,7 % süsihappendit.

Joon. 5. Puhta süsiniku põlemisgaasid süsihappendiks põlemisel teoreetilises öhumääras.

Eelöeldust järgneb ka, et 21 % on

kõrgem süsihapu gaasi

määr, mis harilikul põlemisel tekkida wöib; see arw saadakse puhta süsiniku põlemisel teoreetilises öhumääras. Teistel juhustel on süsihappe protsent wäiksem ja alaneb üleliigse öhu kui ka kütteaines süsiniku-körrwal leiduwate teiste põlewate osade - wesiniku ja wääwli - hulga kaswamisel.

Üldistel analüütilistel meetodidel määratakse põlemisgaaside kooseis harilikult mahu järele, ilma gaasides leiduwa weeauru arwestamiseta. Ilma weeauruta gaase nimetatakse kuiwadeks gaasideks. Teatud kütteaine täielikul põlemisel teoreetilises öhumääras tekkinud kuiwade gaaside süsihappe protsent nimetatakse süsihappe maksimumiks. Selle järele on puhta süsiniku süsihappe maksimum 21 %, kuna ta teistel kütteainetel wäiksem on.

Määrame näit. süsihappe maksimumi bensooli jaoks, mille koosseis on 92,3 % C ja 7,7 % H. Selle aine põlemiseks kulub hapnikku

$$O_{\text{teoreet}}^{0^{\circ}760\text{mm}} = 1,865 \cdot 0,923 + 5,525 \cdot 0,077 = 2,14 \text{ m}^3 O_2$$

millele vastab  $3,77 \cdot 2,14 = 8,07 \text{ m}^3 N_2$

Põlemisel tekib  $1,865 \cdot 0,923 = 1,72 \text{ m}^3 CO_2$ .

Sellega oleks süsihappe maksimum:

$$CO_{2\text{max}} = \frac{100 CO_2}{CO_2 + N_2} = \frac{100 \cdot 1,72}{1,72 + 8,07} = 17,6\%$$

Aine koosseisu järele võib süsihappe maksimumi lhk.

10 ja 12 toodud tabelites antud arvudest leida:

$$CO_{2\text{max}} = \frac{100 \cdot 1,865 C}{1,865 C + 3,77 \cdot 0_{\text{teor}}} = \frac{100 \cdot 1,865 C}{1,865 C + 3,77(1,865 C + 5,525 H)}$$

$$\frac{100 \cdot 1,865 C}{1,865 C + 3,77 \cdot 1,865 C + 3,77 \cdot 5,525 H}$$

see annab 1,865 C- ga koondamisel:

$$CO_{2\text{max}} = \frac{100}{4,77 + 11,3 \frac{H}{C}}$$

Missuguses suhtes üleliigse õhu hulga kasvamisel süsihappu gaasi protsent alaneb ja hapniku protsent tõuseb, selgub järgnevast tabelist:

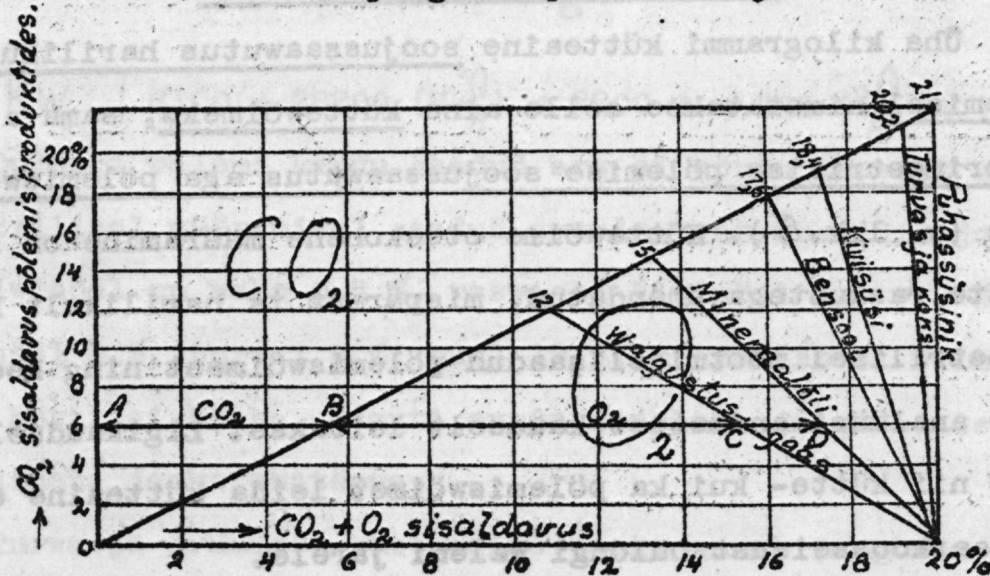
Kütteaine	Ohumäär	Kuiwades põlemisgaasides leiduwa		$(CO_2 + O_2) \%$
		$CO_2 \%$	$O_2 \%$	
Puhas süsinik C	$\tilde{O}_{\text{teg}} = \tilde{O}_{\text{teor}}$	21	0	21
	$= 2 \tilde{O}_{\text{teor}}$	10,5	10,5	21
	$= 3 \tilde{O}_{\text{teor}}$	7	14	21
	$= 4 \tilde{O}_{\text{teor}}$	5,25	15,75	21
	$= 10 \tilde{O}_{\text{teor}}$	2,1	18,9	21

Bensool $C_6H_6$	$O_{teor}$	17,6	0	17,6
	$2\tilde{O}_{teor}$	8,6	10,7	19,3
	$3\tilde{O}_{teor}$	5,7	14,2	19,9
	$4\tilde{O}_{teor}$	4,2	15,9	20,1
	$10\tilde{O}_{teor}$	1,7	19	20,7

Nagu tabelist näha, on puhta süsiniku põlemisgaasides leiduva süsihappu gaasi ja hapniku summa alati 21 %. Wesinikkusisaldavate ainete põlemisgaasides on see arv väiksem, kuid ta kasvab ühes õhumäära suurenemisega, selle juures 21 protsendile lähenedes.

Kütteaine koosseisu järele on süsihappu gaasi maksimum mitmesugune — puhtal süsinikul 21 %, kiwisöel 18-20,4 %, turval 19,5-20,1 %, puul 20,2-20,7 %, bensoolil 17,6 %, mineraalil 15 %, walgustusgaasil 12 % jne.

Teatud kütteaine süsihappe maksimumi ja põlemisproduktides leiduva süsihappu gaasi protsendi järele võib mää-



Joon. 6. Põlemisproduktide  $CO_2 + O_2$  summa mitmesuguse  $CO_2$  hulga juures.

rata põlemisgaaside hapniku hulga. See sünnib kõige kergemalt joon. 6 toodud diagrammi abil, kus püstjoonele on tähendatud süsihappu gaasi sisaldawus põlemisproduktides, pöikjoonele aga süsihappu gaasi ja hapniku summa. Diagonaallile märgitakse üksikute kütteainete süsihappe maksimumpunktid (turwal ja koksil 20,2, kiwisöel 18,4 jne.), mis selle järele parempoolse alumise nurgatipuga ühendatakse.

Diagrammi tarvitamine on lihtne. Oli näit. walgustusgaasi põlemisproduktides 6 % süsihappu gaasi, siis neis gaasides diagrammi järele  $CO_2 + O_2 =$  joonlõik AC = 16,4 %; siit leiame  $O_2 = 16,4 - 6 = 10,4$  %.

Leidus sama 6 % süsihappu gaasi mineraalõli põlemisproduktides, siis  $CO_2 + O_2 = AD = 18,6$  %, ehk  $O_2 = 18,6 - 6 = 12,6$  %.

### 8. Küttewõime ja põlemiswõime.

Ühe kilogrammi kütteaine soojussaawutus harilikul põlemisel nimetatakse selle aine küttewõimeks, sama aine kalorimeetrilise põlemise soojussaawutus aga põlemiswõimeks (w. lhk. 8). Küttewõime otsekohene määramine on suuremate raskustega ühendatud, mispärast ta harilikult kalorimeetrilisel mõotmisel saadud põlemiswõimest ning keemilise analüüsi andmetest kaudselt leitakse. Ligikaudselt wõib nii kütte- kui ka põlemiswõimet leida kütteaine elementaarkoosseisust Dulongi walemi järele.

Selle juures waadeldakse otsitawaid arwe kui aine põlewat elementaarsisuosade (C, H ja S) põlemis wõi kütewõimete summat. Oletades endiselt, et 1 kg. ainet sisaldab C kg. süsinikku, H kg. wesiinikku, S kg. wääwliit ja O kg. hapnikku, saame lhk. 9 toodud walemite alusel selle aine põlemiswõimuse (PW)

$$PW = [8100 C + 34200 (H - \frac{O}{8}) + 2200 S] \text{ kal.}$$

Sama aine küttewõime (KW), kui aines puudub niiskuse wesi:

$$KW_1 = [8100 C + 28800 (H - \frac{O}{8}) + 2200 S] \text{ kal.}$$

Leidub aga 1 kg. aines W kg. niiskuse wett, siis tuleks eelmine arw selle wee aurutamissoojuse 600W wõrra vähendada:

$$KW_2 = [8100 C + 28800 (H - \frac{O}{8}) + 2200 S - 600W] \text{ kal.}$$

Täpsemalt wõttes tuleks  $KW_1$  ka aines leiduwale hapnikule wastawa wee aurutamissoojuse  $600 \cdot \frac{20}{8}$  wõrra vähendada:

$$KW_3 = [8100 C + 28800 (H - \frac{O}{8}) + 2200 S - 600 (\frac{20}{8} + W)] \text{ kal.}$$

Dulongi walemi kaudu saadud arw ei wõrdu täpselt kalomeetrilisel määramisel saadud arwule. Antratsiidil ja lahjal kiwisöel on wähe 0,5 %, raswasel kiwisöel 1,5 - 2 %, pruunsöel 5 %, turwal 8 %, puul 12 %, mispärast ta wiimaste jaoks hästi ei kõlba. Samuti on ta wedelate ja gaasiliste kütteinete jaoks ebatäpne.

Turwa ja pruunsöe kütteinete jaoks annab Langbein teise walemi:



$$\left\{ 8500 \text{ C} + 27000 \text{ H} - 2500 \text{ S} - \left[ 2550 \text{ O} + 600 (9 \text{ H}-\text{H}_2\text{O}) \right] \right\} \text{kal.}$$

Gaasiliste kütteainete põlewateks osadeks on vesinik, süsihappend, metaan, etüleen  $\text{C}_2\text{H}_4$  ühes homologidega, mille üldine koosseis on  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ , ja bensool  $\text{C}_6\text{H}_6$  ühes homologidega  $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$ . Gaaside põlemis- ja küttevõime arvatakse  $1\text{m}^3$  kohta.

Tähendavad H, CO,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  ja  $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$  vastavate gaaside mahuprotsente, siis on  $1\text{m}^3$  gaasi põlemisvõime:

$$PW = \left[ \underset{(0^\circ 760\text{mm})}{30,5 \text{ H} + 30,3 \text{ CO} + 95,48 \text{ CH}_4 + 165,3 \text{ C}_n\text{H}_{2n} + 351,7 \text{ C}_n\text{H}_{2n-6}} \right] \text{ kal.}$$

$$PW = \underset{(15^\circ 760)}{0,95} \left[ 30,5 \text{ H} + 30,3 \text{ CO} + 95,48 \text{ CH}_4 + 165,3 \text{ C}_n\text{H}_{2n} + 351,7 \text{ C}_n\text{H}_{2n-6} \right] \text{ kal.}$$

kuna  $\frac{273}{273+15} = 0,95$ .

Gaaside küttevõime on:

$$KW = \left[ \underset{(0^\circ 760\text{mm})}{25,8 \text{ H} + 30,3 \text{ CO} + 85,3 \text{ CH}_4 + 140 (\text{C}_n\text{H}_{2n})} \right] \text{ kal.}$$

Temperatuuri tõusmise puhul tekkinud paisumise ja kõrenemise tagajärjel alaneb gaasi küttevõime iga kraadi soojenemisega umbes 0,36 % võrra.

Küttevõimest leiame auratamisvõime, s.t. wee hulga, mis 1 kg. aine põlemisel auruks muutub. Kuna 1 kg. wee ( $0^\circ$  juurest) auruks muutmiseks ( $150^\circ$  peale, vastavalt 4-5 atmosfäärile) kulub 652 kal., siis on auratamisvõime (AW)

$$AW = \frac{KW}{652} \text{ kg.}; \text{ näit. kiwisöel, mille küttevõime on } 7000 \text{ kal.}, AW = \frac{7000}{652} = 10,7 \text{ kg.}$$

Kindlate ja wedelate ainete küttevõime määramine sünnib harilikult Berthelot pomm-kalorimeetris, mis mitmesuguse tüübi tarwitusel. Wedelikkudel ja gaasidel määratakse küttevõime Junkersi kalorimeetris. Aparaatide kui ka meetodide üksikasjaline kirjeldus leidub erikirjanduses, näit. Lunge - Berl, Chemisch - technische Untersuchungsmethoden I.

Sagedasti tuleb aine küttevõimet mõne teistsuguse niiskuse ja tuha hulga juure ümber arvata. Kõigi nende kalkulatsioonide aluseks on harilikult kalorimeetrilisel põletamisel määratud põlemisvõime  $Q$ . Selle juures vaadeldakse kütteainet kui orgaanilise ehk põlewa osa (Org), niiskuswee ( $W$ ) ja tuha ( $T$ ) summat:

$$\text{Org.} + W + T = 100 ;$$

siit leiame:  $\text{Org.} = 100 - W - T$ ; weewaba aine  $= 100 - W$

Saime kalorimeetris  $W\%$  niiskuse ja  $T\%$  tuha puhul põlemisvõime  $Q$  kalorit, siis on (1. kg. kohta arvatud)

1) puhta orgaanilise aine põlemisvõime  $Q_1$ :

$$Q_1 = \frac{100 Q}{100 - W - T} \quad \text{kal.};$$

2) weewaba aine põlemisvõime  $Q_2$ :

$$Q_2 = \frac{100 Q}{100 - W} \quad \text{kal.};$$

3) küttevõime sama niiskuse ja tuha sisldawuse juures  $Q_3$ :

$$Q_3 = Q \cdot 6 \text{ (9.H. org.} + W) \text{ kal.}$$

Märkus: Küttevõime leidmiseks vähendatakse põlemisvõime põlemisel tekkiwa wee ja niiskuswee aurutamissoojuse wõrra;

põlemisel tekib siin aga  $\left[ \frac{9.H. Org.}{100} \right]$  kg. wett, kuna wesinik ainult orgaanilises osas leidub;  $600. \frac{9.H.Org.}{100} = 6.9.H.Org.$

4) Weewaba aine küttevõime  $Q_4$ :

$$Q_4 = \left[ Q_2 - \frac{6.9.H. Org. \cdot 100}{Org. + T} \right] \text{ kal.}$$

5) põlemisvõime  $Q_5$  uue niiskuse  $W_1$  kuid endise tuhaga:

$$Q_5 = \left[ Q_2 \left( \frac{100 - W_1}{100} \right) \right] \text{ kal.}$$

6) küttevõime  $Q_6$  uue niiskuse  $W_1$  kuid endise tuhaga:

$$Q_6 = \left[ Q_5 - 6.9. 5,5. \frac{Org(100 - W_1)}{100 - W} \right] \text{ kal.}$$

Põlemisel saadud soojus kasutatakse kas sarnasena otsekohes, näit. ruumide kütmisel, metallide sulatamisel jne., või muudetakse aurumasinate ning mootorites mehhaaniliseks energiaks. 1 kilogramm keskmise tuha ning niiskuse sisaldavusega kiwisütt annab põlemisel 7000 kalorit, millele vastab ekwiwalentne hulk  $427.7000 = \sim 3000000$  kilogr.-meetrit tööd. Kuna 1 hobusejõu tund = 270000 kg.-mtr., siis peaksime 1 kilogrammi söe põletamisel ühe tunni jooksul 11 hobusejõudu saama; tegelikult annab keskmine aurumasin sissesead aga ainult ühe hobusejõu tunni, s.t.

$$\frac{\text{kasutatav töö} \times 100}{\text{tarvitatud energia}} = \frac{1 \cdot 100}{11} = 9 \%;$$

sellega oleks kadu üle 90 %.

Wäiksemates või vaheldava koormatusega töötavates masinate on kadu veel suurem. Üldkadu tekib: 1) söe põlemisel 15 %, 2) katlakütmisel 45 % ja 3) aurumasinas 30 %.

Kütteaine gaasiks muutmisel ning selle tarvitamisel plahvatusmootorites tõuseb kasutuskoeffitsient üle 30 %.

näit. dieselmootorites, sama piirini tõuseb soojusenergia kasutus ka kõrgesurve aurumasinates.

### 9. Põlemistemperatuur.

Põlemissoojus läheb kõige pealt põlemisest osa võtivate ainete temperatuuri tõstmiseks ja laguneb sealt soojusjuhtivuse ning kiirgavuse teel ümbrusesse laiali. Mida suurema hulga ainesse soojus jaguneb, seda vähem on põlemisele järgneva temperatuuri tõus. Teoreetiliselt kõige kõrgema põlemistemperatuuri saame aine täielikul põlemisel teoreetilises hapnikumääras soojuskaotuse eest kaitstud ruumis.

Põlemistemperatuuri kõrgus oleneb aine küttevõimest, põlemisproduktidest ning nende erisoojusest.

Waatleme näit. puhta süsiniku põlemist teoreetilises puhta hapniku hulgas:

1 kg. süsinikku annab põledes 3,667 kg. süsihaput gaasi, mille erisoojus kõrge põlemistemperatuuri juures tuttav ei ole, kuid arwatawasti on 1 kg. jaoks 0,5; s.t. et 1 kg. süsihapu gaasi soendamiseks 1° wõrra kulub 0,5 kalorit soojust. Sellega oleks põlemistemperatuur t:

$$t = \frac{8100}{3,667 \cdot 0,5} = 4400^{\circ}$$

Õhus saadaw põlemistemperatuur on palju madalam, kuna suur osa soojust kulub ballastina esinewa lämmastiku soendamiseks. Wõtame näit. sama aine põlemise teoreeti-

lises õhumääras. Õhus põlemisel asub 3,667 kg. süsihappu gaasi kõrva veel 8,83 kg. lämmastikku, mille erisoojuseks võetakse keskmiselt 0,28; süsihappu gaasi erisoojus on siin, kuna temperatuur madalam, 0,35. Siit leiame põlemistemperatuuri:

$$t_1 = \frac{8100}{3,667 \cdot 0,35 + 8,83 \cdot 0,28} = 2100^\circ$$

Wesiniku põlemistemperatuur teoreetilises hapnikumääras:

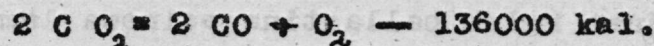
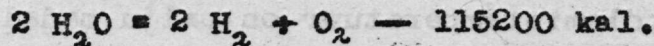
1 m<sup>3</sup> wesinikku annab 1 m<sup>3</sup> weeauru, mille erisoojus on 0,5. Selle juures tekib 2570 kal. , millest saame põlemistemperatuuri:

$$t_2 = \frac{2570}{0,5} = 5140 \text{ kal.}$$

Leitud arvud on aga tõelikkudest palju kõrgemad, kuna:

1) osa soojust läheb ümbrusesse kaduma, sellejuures õhus rohkem kui kinnises ruumis;

2) kõrgete temperatuuride juures algab wee ja süsihappu gaasi dissotsiatsioon; mõlemad protsessid on endotermilised ja tarvitavad oma läbiwiimiseks osa põlemissoojust:



Harilikude küttekollete temperatuuri juures on dissotsiatsiooni kraad alles väike:

t	CO			H <sub>2</sub> O		
	10 atm.	1 atm.	0,1 atm.	10 atm.	1 atm.	0,1 atm.
1500°	0,25 %	0,7 %	1,3 %	0,1 %	0,2 %	0,5 %
2000°	2,7 "	5,2 "	9,5 "	0,8 "	1,7 "	3,2 "

Antud arvud tähendavad lagunenud molekulite hulka. Nagu näha, oleneb dissotsiatsiooni kraad temperatuurist ja gaaside survest.

Põlemistemperatuuri tõstmiseks puhutakse küttekol-  
desse kunstlikult õhku juure, mis läbi vähema ruumi ja  
lühema aja kohta suurem soe jõushulk saadakse. Juure puhu-  
tava õhu eelsoendamine aitab temperatuuri veelgi tõsta.  
Üleliigne õhk alandab aga soojust; samuti rõhub ka kütte-  
aines leiduv niiskus temperatuuri alla. Gaasiküte, kus  
nii põlevaid aineid kui ka õhku eelsoendada võib, annab  
kõrge temperatuuri, eriti valgustus - ja vesigaas. Ise-  
äranis mõjuvaks temperatuuri kõrgendamise abinõuks on  
põletamine puhtas hapnikus. Igal juhul on aga tähtsaks  
eeltingimuseks hea ahjumaterjal, mis soojuse kadu juhti-  
vuse ning kiirgavuse kaudu minimumini vähendab.

Põlemistemperatuur oleneb kütteainest, õhurohkusest,  
ahju tüübist, põlemisviisist ja põlemisproduktide erisoo-  
justest. Näit. on kiwisöe põlemistemperatuur, põlemisgaa-  
sides 9-14 % süsihappu gaasi leidmise puhul, vastavalt  
1000-1500° ; pruunsöel samade süsihappe hulkade juures  
800° - 1200° jne.

Üleliigse õhu mõju selgub järgnevatest arvudest:

( $\lambda = 1 =$  teoreetiline õhuhulk):

$\lambda$	Kiwisee gaas.	Pruunsee gaas.
1	2210°	2120°
1,5	1620°	1580°
2	1280°	1250°

Washingtoni Bureau of Mines katsetel saadi põlemiskiiruse ja temperatuuri kohta järgnevad andmed:

Ühe ruutjala resti kohta tunni jooksul põletatud koks.	Temperatuur restist 6 tolli kõrgemal.
20 naela	1232° C
51 "	1383° "
71 "	1442° "
106 "	1509° "

Nõnda siis tõstab viiekordne põlemiskiirus temperatuuri ainult 277° võrra.

3000° ja sellest kõrgem temperatuur saadakse:

- 1) elektri ahjus,
- 2) paukgaasi (vesiniku ja hapniku, või ka atsetüleeni ja hapniku segu) puhktules,
- 3) termiidi (metallilise alumiiniumi pulbri ja rauahapendi segu) põlemisel:



See annab küll 1 kg. termiidi kohta, kus 25 % alumiiniumi, kõigest 850 kalorit, kuid alumiiniumhapendi

ja raua väikese erisoojuse mõjul tõuseb temperatuur kuni 3000° kraadini; pealegi ei lähe siin soojust, nagu söe põlemisel, gaaside kaudu kaduma.

Kõrgete temperatuuride mõõtmiseks tarvitatakse mitmesugused püromeetrid:

1) optilised püromeetrid, mis kuumade ainete valgustugevust, spektri pikkust, või erilise spektraalfotomeetri abil teatud pikkusega laente kiirgavusheledust määravad (Wanneri, Hempeli j.t. omad)

2) elektri püromeetrid, näit. Le Chatelier oma, mis enesest platina ja platinroodiumi (10 % Rh) termoelementi kujutab, mille woolu pinge järele temperatuur kuni 1600° mõõdetakse; või Siemens - Halske, Heraeuse j.t. takistus - püromeetrid j.ne.

3) gaasi püromeetrid, mis õhuga, lämmastikuga või vesinikuga täidetud ja milles leiduvate gaaside maht temperatuurile proportsionaalselt muutub;

4) Savi, klaasi ja tsemendi tööstuses mitmesugustest sawisegudest valmistatud Segeri koonused (Segerkegel), mis 600° - 2000° temperatuuride piirides sulavad; igale numbrile vastab eri sulamispunkt.

Segeri koonuste taolised, on metallpüromeetrid - tuttavate sulamispunktidega metallide proovid:

Ag 963°, Au 1063°, Pt 1755° jne.

Umbkaudu võib temperatuuri määrata ka leegi või kuuma asja värvi järele:



Pimedas nähtaw punane	400° C	Hele kirsipunane	1000°
Widewikus "	"	Oraanspunane	1100°
Päewawalgel "	"	Oraanskollane	1200°
Päikese käes "	"	Kollane-walge	1300°
Tume punane	700° "	Walge sulamiskuumus	1400°
Tuhm kirsipunane	800° "	Briljant walge	1500°
Kirsipunane	900° "	Pimestaw (sinakas) walge	1600°

Temperatuuri määramise üle waata lähemalt: Bechstein, Instrumente zur Messung der Temperaturen; Lunge-Berl, Chemisch-techn. Untersuchungsmethoden I; Burgess & Le Chatelier, Measurement of High Temperatures.

#### 10. Pölemisgaaside erikaal.

Üldiselt wõrdub aine erikaal (d) tema kaalu ja mahu jagatisele.

$$\text{erikaal} = \frac{\text{kaal}}{\text{mahu}}, \text{ wõi } : \text{kaal} = \text{maht} \times \text{erikaal.}$$

Pölemisgaasi erikaalu määramiseks tuleb temas leiduwate üksikute gaaside mahud nende erikaaludega korrutada ning saadud arwud liita.

Andis gaasi analüüs näit. 12 % CO<sub>2</sub>, 8 % O<sub>2</sub> ja 80 % N<sub>2</sub> siis on nende segu erikaal:

Koosseis.	1 m <sup>3</sup> kaal (0° 760 mm)	Segu erikaal.
CO <sub>2</sub> = 0,12 m <sup>3</sup>	1,977 kg.	0,12.1,977 = 0,237
O <sub>2</sub> = 0,08 "	1,429 "	0,08.1,429 = 0,114
N <sub>2</sub> = 0,80 "	1,256 "	0,80.1,256 = 1,005
<u>1,00 m<sup>3</sup>.</u>		<u>Segu erikaal = 1,356.</u>

Sellejuures tuleb arvesse võtta, et gaasi analüüsi andmetes ainult kuiwade gaaside koosseis esineb.

Wee auru sisaldawate gaaside erikaal leitakse, kui § 6 toodud walemite järele saadud põlemisgaaside raskus nende mahule jagada:

$$d = \frac{g_{kg.}}{g_{m^3}}$$

Ligikaudselt võib lugeda, et suitsugaaside erikaal = 1,03 × öhu erikaal.

Suitsugaaside erikaalu arutamise võib järgnewasse walemisse koondada:

$$d_{0^{\circ}760mm} = (1,977 CO_2 + 1,429 O_2 + 1,256 N_2 + 1,250 CO) \text{ kg./m}^3$$

Erikaal t<sup>o</sup> juures:

$$d_t = d \cdot \frac{273}{273 + t}$$

Kuni 400<sup>o</sup> võib arwata ligikaudu:

$$d_t = [1,62 - 0,0035 t] \text{ kg.}$$

Kui öhu ülekaalarw = λ ( lhk28 ), siis:

a) kuiwade gaaside erikaal  $d_{0^{\circ}760mm} = 1,36 - 0,03 \lambda$

b) weeauru sisaldawate gaaside erikaal

$$d_{0^{\circ}760mm} = 1,30 - 0,03 (W + 9 H).$$

### 11. Põlemisgaaside erisoojus.

Tehnikas loetakse gaaside erisoojuseks seda kalore arwu, mis kulub 1 kg. wõi 1 m<sup>3</sup> gaasi soendamiseks 1<sup>o</sup> wõrra. Gaasi soendamine on kahel wiisil mõeldaw:

1) püsiwa surwe kuid muutuwa mahu juures; sellele wastaw erisoojus tähendatakse märgiga  $C_p$  ;

2) muutuwa surwe kuid püsiwa mahu juures, millekohase erisoojuse märgiks on  $C_v$  .

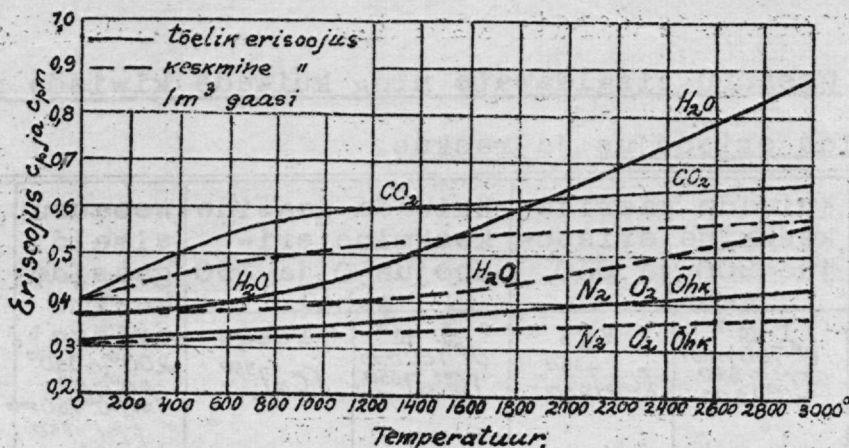
Praktiliselt on meil tegemist ainult püsiwa surwe juures wõetud gaasi erisoojuse  $C_p$  - ga.  $C_p$  on suurem kui  $C_v$  ;  $\frac{C_p}{C_v} = 1,4$ .

Nagu kõigil ainetel, nii kasvab ka gaaside erisoojus temperatuuri tõusmisel, selle juures süsihapul gaasil ja weeaurul kiiremal kui õhul, lämmastikul, hapnikul wõi süsihappendil.

Arwutustes tuleb teha wahet gaasi tõeliku ja keskmise erisoojuse wahel. Esimene näitab gaasi erisoojust teatud temperatuuri juures (näit.  $15^\circ - 16^\circ$  wahel); teine keskmist soojust, mis kulub gaasi soendamiseks  $t_1$  ja  $t_2$  (harilikult  $0^\circ$  ja  $t^\circ$ ) wahel ühe kraadi wõrra. Tõeliku erisoojuse jaoks tarwitame sulgudeta, keskmise jaoks - sulgudega märke:

$C_p^{mol}$	- 1 kg.-mol. gaasi tõelik erisoojus;
$C_p$	- 1 kg. gaasi " "
$C_p'$	- 1 m <sup>3</sup> gaasi " "
$[C_p^{mol}]_0^{t^\circ}$	- 1 kg.-mol. gaasi keskmine erisoojus $0^\circ$ kuni $t^\circ$
$[C_p]_0^{t^\circ}$	- 1 kg. " " " " $0^\circ$ " $t^\circ$
$[C_p']_0^{t^\circ}$	- 1 m <sup>3</sup> " " " " $0^\circ$ " $t^\circ$

Gaaside erisoojuse suurus kui ka muutumise ulatus selgub lhk. 35-38 toodud B. Neumanni uuematest tabelitest (Ergänzungswerk zu Muspratts enzyklopädischem Handbuch I 2, 1921). Neist järgneb, et ühel osal gaasidel, nimelt kaheaatomilistel - hapnikul, lämmastikul, vesinikul ja süsihappendil - erisoojus temperatuuri tõusmisel ühetasaselt (sirgjooneliselt) kasvab; süsihappu gaasi ja veeauru erisoojuse kasvamine ei ole aga, nagu enne oletati, ühetasane ning sünnib, joon. 7 kohaselt, kõverjooneliselt:



Joon. 7. 1 m<sup>3</sup> (0° 760 mm) gaasi töelik ja keskmine erisoojus.

Toodud arvudest leiame ka gaaside segu erisoojuse.

Erisoojus on massiüksuse soojusmahutus (kapatsiteet).

Koosneb keha mitmest eriaainest, mille massid on m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub>, m<sub>3</sub> jne., erisoojused aga vastavalt c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub> jne., siis on selle keha erisoojus:

$$c_K = m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3 + \dots$$

Kui põlemisgaasis leidus näit. 81 % N<sub>2</sub>, 9 % O<sub>2</sub> ja 10 % CO<sub>2</sub>, siis on selle gaasi 1 m<sup>3</sup> (0 760 mm) töelik erisoojus 100° juures tabelite järele:

$$C'p = 0,81 \cdot 0,316 + 0,09 \cdot 0,316 + 0,10 \cdot 0,422 = 0,327.$$

Harilikult sisaldub aga põlemisgaasides ka weeauru mida gaasi erisoojuse leidmisel tuleb arvesse võtta. Tehnilistes arvutustes võib rahuldava täpsusega kasutada alljärgneva tabeli andmeid, oletades et küttegaasides 8-10 % CO<sub>2</sub> leidub, nagu see tööstuses harilikult kordub. 1 kg. kuiwade põlemisgaaside erisoojus võrdub ligikaudselt kuiwa õhu erisoojusele (0,240); weeauru sisaldavate gaaside erisoojus on umbes 1-2 % kuiwade gaaside omast kogem.

Weeauru sisaldavate ning kuiwade kiwisõe põlemisgaaside erisoojus ja raskus.

Kuiwade gaaside CO <sub>2</sub> -sisaldawus analüüsi %	Kuiwade gaaside keskmine erisoojus 200 ja 350 vahel		Kuiwade gaaside keskmine erisoojus 0 ja 350 vahel		Weeauru sisald. gaaside kesk. erisooj. 200 ja 350 vahel 1 m <sup>3</sup> 0° 760 mm [C'p] <sub>200</sub> <sup>350</sup>	1 m <sup>3</sup> raskus	
	1 m <sup>3</sup> 0° 760 mm [C'p] <sub>200</sub> <sup>350</sup>	1 kg. [C'p] <sub>200</sub> <sup>350</sup>	1 m <sup>3</sup> 0° 760 mm [C'p] <sub>0</sub> <sup>350</sup>	1 kg. [C'p] <sub>0</sub> <sup>350</sup>		Kuiwadel 0° 760 mm	Weeauru sisald. gaasid.
5	0,3247	0,2485	0,3180	0,2436	0,3265	1,319	
6	0,3263	0,2489	0,3193	0,2437		1,324	
7	0,3275	0,2490	0,3204	0,2439	0,330	1,329	
8	0,3293	0,2490	0,3215	0,2440		1,334	
9	0,3308	0,2490	0,3230	0,2442	0,335	1,340	1,32
10	0,3320	0,2490	0,3243	0,2442		1,346	
11	0,3337	0,2492	0,3252	0,2443	0,338	1,350	
12	0,3350	0,2492	0,3267	0,2443		1,354	
13	0,3368	0,2495	0,3275	0,2444	0,342	1,361	
14	0,3380	0,2500	0,3290	0,2444		1,365	
15	0,3395	0,2500	0,3300	0,2444	0,346	1,371	
Kasutatav keskvaartus.	0,330	0,249	0,325	0,244	0,335		

Tabel 1.

1 kg. gaasi t elik erisoojus Cp püsiwa surwega, t  juures.

Tempe- ratuur �C	CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	Wee- aur.	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , CO	�hk.	H <sub>2</sub>
0	0,202	0,462	0,218	0,249	0,241	3,445
100	0,215	0,465	0,221	0,252	0,244	3,490
200	0,230	0,470	0,224	0,255	0,247	3,534
300	0,244	0,475	0,226	0,259	0,250	3,579
400	0,257	0,481	0,229	0,262	0,253	3,624
500	0,268	0,489	0,232	0,265	0,256	3,668
600	0,275	0,499	0,235	0,269	0,260	3,713
700	0,282	0,509	0,238	0,272	0,263	3,758
800	0,289	0,521	0,240	0,275	0,266	3,802
900	0,293	0,535	0,243	0,279	0,269	3,847
1000	0,297	0,551	0,246	0,282	0,272	3,891
1100	0,300	0,572	0,249	0,285	0,275	3,936
1200	0,302	0,594	0,252	0,289	0,278	3,981
1300	0,305	0,619	0,254	0,292	0,281	4,025
1400	0,307	0,644	0,257	0,295	0,284	4,070
1500	0,309	0,670	0,260	0,299	0,288	4,115
1600	0,311	0,696	0,263	0,302	0,291	4,159
1700	0,313	0,723	0,266	0,305	0,294	4,204
1800	0,315	0,750	0,269	0,309	0,297	4,249
1900	0,317	0,779	0,271	0,312	0,300	4,293
2000	0,319	0,808	0,274	0,315	0,303	4,338
2100	0,320	0,837	0,277	0,319	0,306	4,382
2200	0,322	0,865	0,280	0,322	0,309	4,427
2300	0,323	0,895	0,283	0,325	0,312	4,472
2400	0,325	0,924	0,285	0,329	0,315	4,516
2500	0,327	0,954	0,288	0,332	0,319	4,561
2600	0,329	0,984	0,291	0,335	0,322	4,605
2700	0,331	1,014	0,294	0,339	0,325	4,650
2800	0,333	1,044	0,297	0,342	0,328	4,695
2900	0,334	1,075	0,300	0,345	0,331	4,740
3000	0,336	1,105	0,302	0,349	0,334	4,784

Tabel 2.

1 kg. gaasi keskmine erisoojus [Cp] püsiwa surwega, 0° ja t°

wahel.

Tempe- ratuur °C	CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	Wee- aur.	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , CO	Õhk.	H <sub>2</sub>
0	0,202	0,462	0,218	0,249	0,241	3,445
100	0,209	0,464	0,219	0,251	0,242	3,467
200	0,217	0,466	0,221	0,252	0,244	3,490
300	0,225	0,468	0,222	0,254	0,246	3,512
400	0,232	0,470	0,224	0,255	0,247	3,534
500	0,238	0,473	0,225	0,257	0,249	3,556
600	0,243	0,476	0,226	0,259	0,250	3,579
700	0,248	0,479	0,228	0,260	0,252	3,601
800	0,253	0,484	0,229	0,262	0,253	3,624
900	0,257	0,490	0,230	0,264	0,255	3,646
1000	0,260	0,495	0,232	0,265	0,256	3,668
1100	0,263	0,500	0,233	0,267	0,258	3,690
1200	0,265	0,506	0,235	0,269	0,260	3,713
1300	0,268	0,513	0,236	0,270	0,261	3,735
1400	0,270	0,520	0,238	0,272	0,263	3,758
1500	0,273	0,527	0,239	0,274	0,264	3,780
1600	0,275	0,535	0,240	0,275	0,266	3,802
1700	0,278	0,544	0,242	0,277	0,267	3,824
1800	0,280	0,554	0,243	0,279	0,269	3,847
1900	0,282	0,566	0,245	0,280	0,270	3,869
2000	0,283	0,578	0,246	0,282	0,272	3,891
2100	0,284	0,590	0,248	0,284	0,273	3,914
2200	0,286	0,603	0,249	0,285	0,275	3,936
2300	0,288	0,616	0,250	0,287	0,277	3,958
2400	0,289	0,629	0,252	0,289	0,278	3,981
2500	0,290	0,642	0,253	0,290	0,280	4,003
2600	0,291	0,655	0,255	0,292	0,281	4,025
2700	0,292	0,669	0,256	0,294	0,283	4,047
2800	0,294	0,683	0,257	0,295	0,284	4,070
2900	0,295	0,698	0,259	0,297	0,286	4,092
3000	0,296	0,713	0,260	0,299	0,288	4,115

Tabel 3.

1 m<sup>3</sup> gaasi t elik erisoojus [C'p] püsiwa surwega, t  juures.

Temperatuur °C	CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	Weeaur.	O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , �hk, CO
0	0,397	0,372	0,312
100	0,422	0,374	0,316
200	0,452	0,378	0,320
300	0,479	0,382	0,324
400	0,505	0,387	0,328
500	0,527	0,393	0,332
600	0,547	0,401	0,336
700	0,558	0,409	0,340
800	0,568	0,419	0,344
900	0,576	0,430	0,348
1000	0,583	0,444	0,352
1100	0,589	0,460	0,356
1200	0,595	0,478	0,360
1300	0,599	0,498	0,364
1400	0,603	0,518	0,368
1500	0,607	0,539	0,372
1600	0,611	0,560	0,376
1700	0,615	0,582	0,380
1800	0,619	0,604	0,384
1900	0,623	0,627	0,388
2000	0,626	0,650	0,392
2100	0,629	0,673	0,396
2200	0,632	0,696	0,400
2300	0,634	0,720	0,404
2400	0,638	0,743	0,408
2500	0,642	0,767	0,412
2600	0,646	0,791	0,416
2700	0,650	0,816	0,420
2800	0,654	0,840	0,424
2900	0,657	0,865	0,428
3000	0,660	0,889	0,432



Tabel 4.

1 m<sup>3</sup> gaasi keskmine erisoojus [C'p] püsiwa surwega, 0° ja t° wahel.

Temperatuur ° C	CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	Weeaur.	O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , õhk, CO
0	0,397	0,372	0,312
100	0,410	0,373	0,314
200	0,426	0,375	0,316
300	0,442	0,376	0,318
400	0,456	0,378	0,320
500	0,467	0,380	0,322
600	0,477	0,383	0,324
700	0,487	0,385	0,326
800	0,497	0,389	0,328
900	0,505	0,394	0,330
1000	0,511	0,398	0,332
1100	0,517	0,402	0,334
1200	0,521	0,407	0,336
1300	0,526	0,413	0,338
1400	0,530	0,418	0,340
1500	0,536	0,424	0,342
1600	0,541	0,430	0,344
1700	0,546	0,438	0,346
1800	0,550	0,446	0,348
1900	0,554	0,455	0,350
2000	0,556	0,465	0,352
2100	0,558	0,475	0,354
2200	0,562	0,485	0,356
2300	0,566	0,495	0,358
2400	0,568	0,505	0,360
2500	0,570	0,516	0,362
2600	0,572	0,527	0,364
2700	0,574	0,538	0,366
2800	0,577	0,549	0,368
2900	0,579	0,561	0,370
3000	0,581	0,573	0,372

Muutub gaasi erisoojus temperatuuri tõusmisel ühe-  
tasaselt, näit. iga ühekraadilise temperatuuri tõusugak  
b kalori võrra, ja on erisoojus  $0^{\circ}\text{C}$  juures a kal., siis  
leiame töeliku erisoojuse  $t^{\circ}$  juures:

$$C_p = (a + bt) \text{ kal.}$$

Siit saame keskmise erisoojuse  $0^{\circ}$  ja  $t^{\circ}$  vahel:

$$[C_p]_0^t = \frac{a + (a + bt)}{2} = \left(a + \frac{b}{2}t\right) \text{ kal.}$$

Gaaside keskmiste erisoojuste leidmiseks võib tarwi-  
tada järgnevaid valemeid:

a)  $1 \text{ m}^3$   $0^{\circ}$  760 mm juures:

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} & [C_p]_0^t = 0,403 + 0,0000622t \\ \text{CO}_2 & \text{ " } = 0,403 + 0,0001045t \\ \text{O}_2, \text{N}_2, \text{CO ja öhk} & \text{ " } = 0,305 + 0,0000245t \end{aligned}$$

b)  $1 \text{ m}^3$   $15^{\circ}$  735,5 mm juures:

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} & [C_p]_0^t = 0,37 + 0,000057t \\ \text{CO}_2 & \text{ " } = 0,37 + 0,000096t \\ \text{O}_2, \text{N}_2, \text{CO ja öhk} & \text{ " } = 0,28 + 0,0000225t \end{aligned}$$

Üleminek  $1 \text{ kg.}$  juure sünnib järgnevaite valemitte kau-  
du, kusjuures  $M$  tähendab gaasi molekulkaalu:

$$[C_p] = \frac{[C_p'] \cdot 22,4}{M}, \text{ wõi } [C_p] = \frac{[C_p'] \cdot 24,4}{M}$$

( $0^{\circ}$  760 mm juures)      ( $15^{\circ}$  735,5 mm juurest)

Nende valemitte lahendus annab keskmise erisoojuse  
 $1 \text{ kg.}$  gaasi jaoks  $0^{\circ}$  ja  $t^{\circ}$  vahel:

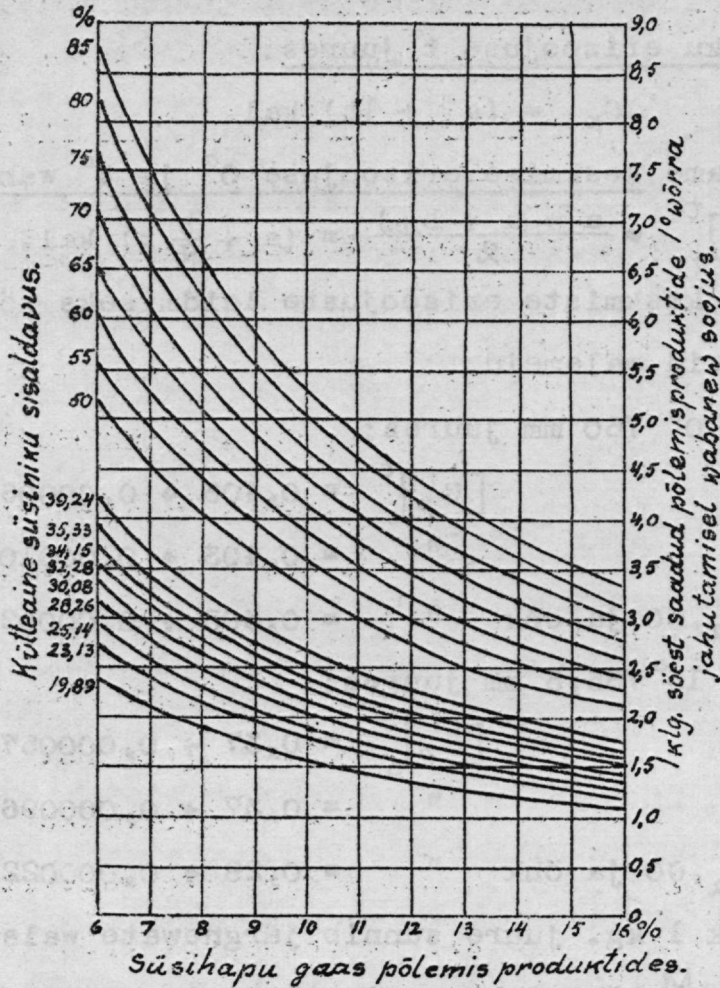
$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} & [C_p]_0^t = 0,501 + 0,0000773t \\ \text{CO}_2 & \text{ " } = 0,205 + 0,0000532t \end{aligned}$$

O<sub>2</sub>

$$[c_p]_0^t = 0,2135 + 0,0000171t$$

N<sub>2</sub>

$$" = 0,244 + 0,0000196t$$



Joon.8. Soojuse wabanemine (kalorites) 1 kg. söe põlemisproduktide jahutamisel 1° wõrra, mitmesuguse CO<sub>2</sub> sisaldawuse juures.

Kahe temperatuuri (t<sub>1</sub> ja t<sub>2</sub>) wahelise keskmise erisoojuse leidmiseks tuleb walemis  $a + \frac{b}{2} t$  teise liikme

koeffitsient summaga  $t_1 + t_2$  korrutada:

$$[C'_p]_{t_1}^{t_2} = a + \frac{b}{2} (t_1 + t_2)$$

Näit. on weeauru keskmine erisoojus  $t_1$  ja  $t_2$  vahel

( $0^\circ$  760 mm juures).

$$[C'_p]_{t_1}^{t_2} = 0,403 + 0,0000622 (t_1 + t_2)$$

L.hk. 40 joon. 8 järele leiame küttaaine süsiniku sisaldavusest ja põlemisgaasides leiduva süsihappu gaasi protsendist põlemisgaaside erisoojuse, teiste sõnadega - mitu kalorit soojust wabaneb  $1 \text{ m}^3$  põlemisgaaside jahutamisel  $1^\circ \text{ C}$  wõrra.

## 12. Põlemine üleliigses õhus.

Soojuse kaotusest kui ka põlemistemperatuuri langemisest hoolimata, mis üleliigse õhu tarwitamisega kaasas käib, oleme ometi tahes wõi tahtmata sunnitud õhku üle teoreetilise määra ahju juhtima. Selle põhjuseks on asjaolu, et õhk küttaaine kihist läbi tungides mitte kõikide tema osakestega ühetasaselt kokku ei puutu; samal ajal kus teda ühes kohas küllaldaselt, walitseb teisel õhupuudus. Selle tagajärjel ei põle küttaaine lõpuni; osa ainet langeb täiesti põlematult tuha hulka, osa lendub aga põlemata wõi poolpõlemata jäänud gaasidena korstnasse.

Nagu katsed näitawad, puuduwad kindlate küttaainete põlemisproduktides sarnased gaasid alles siis täielikult, kui põlemiseks teoreetilisest määrast kaks korda rohkem õhku wõeti. Wedelate ja gaasiliste küttaainete juures,

mis õhuga paremini segunewad, ulatab õhu ülekaalu wafadus ainult 15-20 %. Kuna iga üleliigselt ahju juhitan kant-meeter õhku suurt soojuskaotust, tähendab, siis tohib ülekaalu ainult tarwiduse piirini tõsta. Missuguse õhu ülekaaluga põlemine sünnib, võib määrata suitsugaaside ja küteteaine analüüsi andmetest.

Nimetame tegelikult tarwitatud ja teoreetiliselt tarwiliku õhumaära suhet õhu ülekaaluks  $\lambda$  (w.lhk. 28 ja 31)

$$\frac{\tilde{O}_{teg}}{\tilde{O}_{teor}} = \lambda ; \quad \tilde{O}_{teg} = \lambda \cdot \tilde{O}_{min.}$$

Lhk. 12 walemitest saame :

$$\tilde{O}_{teg} = \lambda \frac{2,667C + 8H + S - O}{0,232} \text{ kg.}$$

$$\tilde{O}_{teg} = \lambda \frac{2,667C + 8H + S - O}{0,3} \text{ m}^3 \text{ (0}^\circ\text{760 mm juures)}$$

$$= \lambda \frac{2,667C + 8H + S - O}{0,275} \text{ m}^3 \text{ (15}^\circ\text{735,5 mm juures)}$$

Arusaadawalt on üleliigse õhu tarwitamise puhul ka põlemisgaaside hulk teoreetilisest suurem.

$$G_{teg} = G_{teor.} + (\lambda - 1) \tilde{O}_{teor.}$$

Näit. kui  $\lambda = 2,5$ , siis 1 osa õhku läheb  $G_{teor}$  moodustamiseks,

$(\lambda - 1) = 1,5 \tilde{O}_{teor.}$  aga jääb muutmata ja seguneb põlemisgaaside

$G_{teor}$ -ga.

Tähendawad  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$  ja  $SO_2$  neile märkidele wastawate ainete mahuosi põlemisgaasides, C, H ja W aga wastawalt süsiniku, wesiiku ja niiskuswee määra 1 kg. küteteaines, siis leiame täielikul põlemisel tekkinud gaaside hulga:

$$g_{\text{teg}} = g_{\text{kuiv}} + W_{\text{veaur}} =$$

$$g_{\text{teg}} = \left[ \frac{1,865C}{CO_2} + \frac{9H + W}{0,804} \right] m^3 (0^\circ 760 \text{ mm})$$

Näit. oli kütteenaine 75 % C, 5 % ja 8% niiskusvett ja sisaldus suitsugaasides 10 % CO<sub>2</sub>, siis tekib aine põlemisel 1,865.0,75 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> = 0,10 kuivade gaaside mahust, mille järele kuiwi gaase oleks  $\frac{1,865.0,75}{0,10}$  m<sup>3</sup>; weeauru k tekiks [9.0,05 + 0,08] kg. =  $\frac{9.0,05 + 0,08}{0,804}$  m<sup>3</sup> 0° 760 mm juures (0,804 = 1 m<sup>3</sup> weeauru erikaal 0° 760 mm juures). Sellega oleks tähendatud kütteenaine põlemisgaaside hulk g:

$$g_{\text{teg}} = \left[ \frac{1,865.0,75}{0,10} + \frac{9.0,05 + 0,08}{0,804} \right] m^3 (0^\circ 760 \text{ mm})$$

Süsihapu gaasi hulgast leiame ka põlemisgaasides leiduva hapniku, lämmastiku ja väävelkaskshapendi hulga:

Gaasides leidub:

- 1)  $\frac{1,865C \cdot O_2}{CO_2}$  m<sup>3</sup> hapnikku (0° 760 mm)
- 2)  $\frac{1,865C \cdot N_2}{CO_2}$  m<sup>3</sup> lämmastikku " "
- 3)  $\frac{1,865C \cdot SO_2}{CO_2}$  m<sup>3</sup> väävelkaskshapendit " "

Üksikute sisuosade järele oleks siis kütteenaine koosseisu ja põlemisgaaside analüüsi alusel täielikul põlemisel tekkinud gaaside hulk:

$$g_{\text{teg}} = \left[ 1,865C + \frac{1,865C \cdot O_2}{CO_2} + \frac{1,865C \cdot N_2}{CO_2} + \frac{1,865C \cdot SO_2}{CO_2} + \frac{9H + W}{0,804} \right] m^3 (0^\circ 760 \text{ mm})$$

või, kuna 1 m<sup>3</sup> süsihapu gaasi kaal. = 1,965 kg., hapni-

kul = 1,432 kg., lämmastikul 1,254 kg. vääwelkakshapendil 2,86.

$$g_{\text{teg}} = \left[ 1,865,1,965C + \frac{1,865 \cdot 1,432 \cdot C \cdot O_2}{CO_2} + \frac{1,865 \cdot 1,254C \cdot N_2}{CO_2} + \frac{1,865 \cdot 1,254C \cdot SO_2}{CO_2} + 9H+W \right] \text{kg.}$$

Ohuülekaalu  $\lambda$  võib leida kütteaine ja põlemisgaaside analüüsi andmetest; samuti võib põlemisgaaside üksikute osade protsendi määrata kütteaine koosseisust ja ohuülekaalust. Selle juures on a alljärgnewates walemites aines leiduwa kasutatawa wesiniku ja süsiniku suhe:

$$\frac{H}{C} = \frac{O}{S} = a$$

kuna  $O_2$ ,  $CO_2$  ja  $N_2$  wastawate ainete mahuosi tähendawad.

("Hütte", des Ingenieurs Taschenbuch I, 1920, lhk 464):

$$\lambda = 0,21 \frac{\frac{1}{CO_2} + 3a}{1 + 3a} \quad \text{wõi} \quad \lambda = 0,21 \frac{\frac{1-CO_2}{O_2} - 1}{0,21 \frac{1-CO_2}{O_2} - 1} = 1 + \frac{0,79}{0,21 \frac{1-CO_2}{O_2} - 1}$$

$$\text{wõi} \quad \lambda = \frac{1}{1 - \frac{0,79 O_2}{0,21 N_2}}$$

$$CO_2 = \frac{0,21}{\lambda + 3} \frac{(\lambda - 0,21)a}{\lambda + 3} ; \quad CO_2 + O_2 = 0,21 \frac{\lambda + 3(\lambda - 1)a}{\lambda + 3(\lambda - 0,21)a}$$

$$O_2 = \frac{0,21(\lambda - 1)(1 + 3a)}{\lambda + 3(\lambda - 0,21)a} ; \quad N_2 = \frac{0,79\lambda(1 + 3a)}{\lambda + 3(\lambda - 0,21)a}$$

### 13. Ohuröskus ja röske öhu kaal.

Teiste gaaside hulgas leidub öhus alati weeauru.

Wifimase hulk on muutuw ja wäljendatakse nn. wördlewa öhu-

röskuse kaudu. Öhu võrdlewaks röskuseks nimetame öhus töelikult leiduwa weeauru ja samadesse tingimustesse asetatud öhku mahtuwa maksimaalse weeauru suhet.

Näit. mahub  $10^{\circ}$  ja 760 mm juures wöetud  $1 \text{ m}^3$  öhku kõige rohkem 9,37 grammi weeauru; sattus sinna sellest rohkem wett, siis eraldub üle 9,37 gr. ulataw osa wedelikuna (uduna wõi kastena) wälja.

Leidus samades tingimustes ( $10^{\circ}$  760 mm)  $1 \text{ m}^3$  öhus näit. ainult 4,7 gr. weeauru, siis on wördlew öhuröskus:

$$\varphi = \frac{4,7}{9,37} = 0,5 \text{ ehk } 50 \%$$

s.t. öhus leidub 50 % maksimaalsest weeauru määrast, mis antud tingimustes üldse öhku mahub.

Absoluutkuiwal öhul on wördlew röskus  $\varphi = 0$ ; maksimaalse auruisaldawuse juures  $\varphi = 1$ ; muil juhustel kõigub see arw 0 ja 1 wahel.

Temperatuur, mille juures öhk weeauruga küllastud ( $\varphi = 1$ ), nimetatakse udupunktiks.

Öhu röskusarwu  $\varphi$  saame öhus leiduwa weeauru osasurve  $p_0$  ja auru küllastussurve  $p'$  suhtest:  $\varphi = \frac{p_0}{p'}$

Auru küllastussurve  $p'$  tähendab weeauru surwet wedela wee kohal ( $\varphi = 1$ ) teatud temperatuuri juures.

On röske öhu surwe  $p \text{ kg./cm}^2$ , siis jaguneb selle

öhu maht kuiwa öhu ja weeauru wahel järgnewalt:

$$\tilde{\text{Öhu maht}} = \frac{p - \varphi p'}{p}, \text{ weeauru maht} = \frac{\varphi p'}{p}$$

Röske öhu kaal  $\gamma$  ( $1 \text{ m}^3$  kal kilogrammides) leidub järgnewast walemist:



$$\gamma = \gamma'' \frac{h}{735,5} - \Delta \varphi,$$

milles  $\gamma''$  tähendab 1 m<sup>3</sup> kuiwa õhu kaalu 15° 735,5 juures, h - baromeetri surwet, kuna  $\Delta$  on parandus, mis ühes  $\gamma''$ -ga leitakse lhk. 46 asuwast tabelist ("Hütte" I, 1920)

Ülewaatlikkude kiirarwutuste jaoks wõib tarwitada keskmise röskusega õhu jaoks lihtsustatud walemit:

$$\gamma = 1,3 - 0,004t \text{ kg/m}^3 \text{ (waata ka alljärgnew tabel).}$$

- 20	1,395 kg.	1,06 g	0,93	14	1,230	12,00	11,91
- 16	1,374	1,47	1,31	16	1,222	13,55	13,54
- 12	1,353	2,03	1,83	18	1,213	15,27	15,36
- 8	1,332	2,68	2,45	20	1,206	17,18	17,39
- 4	1,312	3,62	3,37	22	1,197	19,28	19,66
+ 0	1,293	4,87	4,60	24	1,189	21,62	22,18
+ 2	1,284	5,58	5,30	30	1,165	30,13	31,55
4	1,275	6,37	6,10	40	1,128	50,77	54,90
6	1,265	7,26	7,00	50	1,093	82,50	91,98
8	1,256	8,26	8,02	60	1,060	129,90	148,78
				70	1,029	198,00	233,08
10	1,247	9,37	9,16	80	1,000	293,40	354,62
				90	0,972	423,90	525,39
12	1,239	10,62	10,46	100	0,946	598,70	760,00
Temperatuur °C	1 m <sup>3</sup> kuiwa õhu kaal kilogrammi- des 760 mm sur- ve juures. $\gamma$	Küllastud õhu vee- sisaldawus (1 m <sup>3</sup> veeauhu kaal grammides.) $\gamma''$	Deauru surve (elavhõbeda sam- ba kõrgus mm)	Temperatuur °C	1 m <sup>3</sup> kuiwa õhu kaal kilogrammides 760 mm surve juures $\gamma$	Küllastud õhu vee- sisaldawus (1 m <sup>3</sup> veeauhu kaal grammides.) $\gamma''$	Deauru surve (elavhõbeda samba kõrgus mm) h

Õhu kaal ja weesisaldawus 760 mm juures (Herberg, Hand-  
buch der Feuerungstechnik u. des Dampfkesselbetriebs).

Õhu ja weeauru segu.

z	Deeauru sur- ve elavhõbeda mm.	l m <sup>3</sup> weeauru kaal t <sup>o</sup> ja h mm juures.	l m <sup>3</sup> kuiva õhu kaal t <sup>o</sup> ja 735,5 mm. juures.	Parandus rõske õhu jaoks.	z	Deeauru sur- ve elavhõbeda mm.	l m <sup>3</sup> weeauru kaal t <sup>o</sup> ja h mm juures.	l m <sup>3</sup> kuiva õhu kaal t <sup>o</sup> ja 735,5 mm. juures.	Parandus rõske õhu jaoks.
	h'	γ'	γ''	A		h'	γ'	γ''	A
-20	0,77	0,90	1,351	0,001	10	9,21	9,41	1,208	0,006
-19	0,85	0,99	1,346	0,001	11	9,8	10,0	1,204	0,006
-18	0,93	1,08	1,340	0,001	12	10,5	10,7	1,200	0,007
-17	1,03	1,18	1,335	0,001	13	11,2	11,4	1,196	0,007
-16	1,13	1,29	1,330	0,001	14	12,0	12,1	1,192	0,007
-15	1,24	1,41	1,325	0,001	15	12,8	12,8	1,188	0,008
-14	1,36	1,53	1,320	0,001	16	13,6	13,7	1,183	0,008
-13	1,49	1,67	1,315	0,001	17	14,5	14,5	1,179	0,009
-12	1,63	1,83	1,310	0,001	18	15,5	15,4	1,175	0,009
-11	1,78	1,99	1,305	0,001	19	16,5	16,3	1,171	0,010
-10	1,95	2,17	1,300	0,001	20	17,5	17,3	1,167	0,011
-9	2,13	2,36	1,295	0,001	21	18,6	18,3	1,163	0,011
-8	2,32	2,56	1,290	0,002	22	19,8	19,4	1,159	0,012
-7	2,53	2,78	1,286	0,002	23	21,1	20,6	1,155	0,013
-6	2,76	3,01	1,281	0,002	24	22,4	21,8	1,151	0,013
-5	3,01	3,27	1,276	0,002	25	23,8	23,1	1,148	0,014
-4	3,28	3,54	1,271	0,002	26	25,3	24,5	1,144	0,015
-3	3,57	3,84	1,267	0,002	27	26,8	25,8	1,140	0,016
-2	3,88	4,15	1,262	0,003	28	28,4	27,3	1,136	0,017
-1	4,22	4,48	1,257	0,003	29	30,1	28,8	1,132	0,017
0	4,58	4,84	1,253	0,003	30	31,8	30,4	1,128	0,018
+ 1	4,93	5,20	1,248	0,003	32	35,3	33,5	1,121	0,020
2	5,29	5,57	1,244	0,003	34	39,5	37,2	1,114	0,023
3	5,69	5,96	1,239	0,004	36	44,2	41,3	1,107	0,025
4	6,10	6,37	1,235	0,004	38	49,3	45,8	1,100	0,028
5	6,54	6,81	1,230	0,004	40	54,9	50,7	1,093	0,031
6	7,01	7,26	1,226	0,004	42	61,0	56,0	1,086	0,034
7	7,51	7,76	1,221	0,005	44	67,8	61,8	1,079	0,037
8	8,05	8,28	1,217	0,005	46	75,1	68,1	1,072	0,041
9	8,61	8,83	1,212	0,005	48	83,2	74,9	1,065	0,045
10	9,21	9,41	1,208	0,006	50	92,0	82,3	1,058	0,050

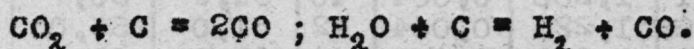
Ohuröskus määratakse kas keemilise analüüsi kaudu või hügromeetrite ehk psühromeetrite abil (waata Lunge-Berl, Chem.-techn. Untersuchungsmethoden I).

Keskmise röskusega öhu kaal (1 m<sup>3</sup> kilogrammides).

Baro- meetri surwe mm.	Öhitemperatuur °C							
	-5	+0	+5	+10	+15	+20	+25	+30
760	1,314	1,288	1,266	1,243	1,221	1,200	1,180	1,161
750	1,293	1,273	1,250	1,228	1,206	1,185	1,167	1,147
740	1,278	1,252	1,232	1,211	1,190	1,170	1,149	1,130
730	1,260	1,239	1,216	1,194	1,172	1,152	1,132	1,118
720	1,242	1,220	1,199	1,178	1,158	1,138	1,119	1,100
710	1,228	1,205	1,182	1,160	1,141	1,121	1,106	1,083
700	1,211	1,188	1,166	1,146	1,127	1,106	1,088	1,070
690	1,191	1,170	1,150	1,130	1,110	1,090	1,071	1,054
680	1,175	1,152	1,131	1,111	1,092	1,074	1,058	1,040

#### 14. Puudulik põlemine.

Ka üleliigses öhus ei lähe põlemine sagedasti kuni lõpuni; selle juures võib põlewatel gaasidel osalt hapnikuga ühinemiseks aeg puududa, osalt aga woiwad algpõlemisel tekkinud süsihapu gaas ja wesi paksust kuuma söe kihist läbi tungides süsihapendiks ja wesinikuks taanduda.



On süite kohal olewas ruumis hapnikku liig wähe, wõi tee kuni korstnani liig lühike, wõi sünnib miski pärast liig järsk jahtumine, siis jääb põlemine puudulikuks ja korst-

nasse satuvad süsihappu gaasi ning weeauru asemel süsihappend ja wesinik.

Ka plahwatusmootorites leiame pooliku põlemise produkte, kui kütteainele liig vähe õhku juure juhiti.

Leidub põlemisproduktides neist gaasidest, mis edasi põleda võiksid, ainult süsihappendit, siis nimetatakse protsessi esimest liiki puudulikuks põlemiseks. Sel juhul sel sünnib puudulikkuse astme määramine hariliku korstnagaaside analüüsi meetodidega.

Sisalduvad aga suitsugaasides CO kõrval veel teised põlewad ained ( $H_2$ ,  $CH_4$  ja tahm), siis on tegemist nn. teist liiki puuduliku põlemisega. Siin tuleb gaasi koosseisu määramisel üldisi gaasi analüüsi metoode tarvitada.

Temperatuurist, reaktsiooni wältusest, surwest ja katalüsaatorist oleneb, missugused neist ainetest hapniku mõjul esimestena ära põlewad. Madalama temperatuuri juures põleb wesinik kergemalt kui süsiwesinikud, kuna see kõrgemate temperatuuride juures näib wastupidi olewat.

#### M a s i m ö j u s e a d u s.

Mitte kõik keemilised reaktsioonid ei lähe kuni lõpuni. Reaktsioonist osa wõtavad ained asuwad keemilisse tasakaalu, enne kui alguses wõetud ained täielikult oodetawateks lõpuproduktideks on muutunud. Berthollet näitas (1801), et keemilise reaktsiooni kõik peale ainete omaduste veel reaktsiooni piirkonnas asuwate ning keemiliselt üksteise peale wõjuwate ainete hulkadest oleneb. Kuna reaktsiooni astunud ainete omawahelisel mõjul iga wõetud aine hulk wahetpidamata wäheneb ja nende kõrwale

ikka rohkemal määral uusi aineid kuhjub, tekib sellest põhjus, mis reaktsiooni käiku takistab ning lõpuks ta täielikult seisma paneb. Tekkinud ainetel on kalduvus alguses wõetud aineteks tagasi muutuda ja tasakaal tekib, enne kui reaktsioon sai wõetud sihis lõpule jõuda.

Selle ainete omaduse põhjendasid Guldberg ja Waage (1867) kwantitatiivselt ja teda tuntakse üldiselt masside mõju seaduse nime all. Masside mõju seaduse järele on teatud aine keemiline mõjuvus proportsionaalne selle aine mõjuwale hulgale, s.t. mahuüksuses olewale aine hulga-le ehk koondusele (kontsentratsioonile). Selle juures väljendatakse koondus 1 liitris olewate aine moolide (gramm-molekulite) arwuga, mis harilikult sulgudesse paigutatud moleekuli märgi kaudu kujutatakse. Näit. tähendab  $[CO_2]$  süsihapu gaasi molaarset koondust. Oli ühes liitris näit. 11gr süsihaput gaasi ( $CO_2 = 44$ ), siis oli selle gaasi molaarne koondus  $\frac{11}{44} = 0,25$ . Üldisel kujul tarwitame molaarsete koonduste jaoks märke  $C_1, C_2, C_3$  jne.

Gaasiliste ainete juures wõib koonduste asemel osasurweid tarwitada, kuna molaarne koondus ja osasurwe on üksteisele proportsionaalsed.  $0^\circ$  ja 760mm juures on gaasi mooli maht 22,4 liitrit; leidub 1 liitris 1 mool gaasi siis selle gaasi molaarkoondus = 1, osasurwe aga = 22,4 atm. Oli gaasi osasurwe näit. 0,5atm., siis on ta molaarne koondus  $\frac{0,5}{22,4} = 0,022$ .

Waatleme näit. nelja aine ( $A_1, A_2, A_3$  ja  $A_4$ ) wahelist reaktsiooni:



kusjuures nende ainete molaarkoondused on  $c_1, c_2, c_3$  ja  $c_4$ .

Wasakult paremale poole sihitud reaktsiooni kiirus  $V_1$  on proportsionaalne molaarkoondustele  $c_1$  ja  $c_2$ -le ning wõrdub nende koonduste ja antud temperatuurile wastawa konstandi  $K$  (kiiruskoeffitsiendi) kaswatisele:

$$V_1 = k_1 c_1 c_2;$$

paremalt poolt wasakule sihitud reaktsiooni kiirus  $V_2$  wõrdub  $A_3$  ja  $A_4$  molaarkoonduste ning wastawa kiiruskoeffitsiendi  $k_2$  kaswatisele:

$$V_2 = k_2 c_3 c_4.$$

Neid kahte wastupidi sihitud reaktsiooni kiirust ei määra meie eraldi, waid waatleme kogureaktsiooni üldkiirust nende wahana ( $V_1 - V_2$ ). Tasakaalu saabumisel wõrdub ühele poole sihitud reaktsioonil muutuwate moleekulite arw wastupidises sihis tekkiwate samalaadiliste moleekulite arwule; teiste sõnadega - kogumuutumine = 0, wõi  $V_1 - V_2 = 0$ . Sellest järgneb, et tasakaalu puhul

$$k_1 c_1 c_2 = k_2 c_3 c_4$$

ehk

$$\frac{c_1 c_2}{c_3 c_4} = \frac{k_2}{k_1} = K.$$

K nimetatakse selle reaktsiooni tasakaalu koefitsiendiks.

Näit. on vesigaasi reaktsiooni  $H_2O + CO \rightleftharpoons CO_2 + H_2$  (w. lhk. 52) tasakaalu tingimuseks 1259° juures Oskar Hahni katsete järele (vaata alljärgnevat tabeli):

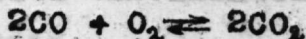
$$\frac{[H_2O] \cdot [CO]}{[CO_2] \cdot [H_2]} = K = 1,596$$

W e s i g a a s i t a s a k a a l 1 2 5 9 j u u r e s .

Algesgu %		Löppsegu %			K	
CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO=H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	Üksik katse	Keskmine
10,1	89,9	0,70	9,46	80,38	1,591	1,602
		0,67	9,33	80,67	1,613	
30,1	69,9	7,18	23,00	46,82	1,581	1,575
		7,12	22,92	47,04	1,568	
49,1	51,9	21,52	27,83	22,82	1,576	1,603
		20,78	28,04	23,13	1,641	
		21,36	27,88	22,88	1,591	
60,9	39,1	34,67	26,28	12,77	1,557	1,601
		34,20	26,61	12,58	1,645	
70,3	29,7	47,66	22,79	6,76	1,613	1,599
		47,35	22,85	6,95	1,585	

Üldkeskmine: K = 1,596

Wõtab mingi aine reaktsioonist  $n_1, n_2$  jne. molekulaarse osa näit.



(üldkujul  $n_1 A_1 + n_2 A_2 = n_3 A_3 + n_4 A_4$ ), siis on tasakaalu puhul

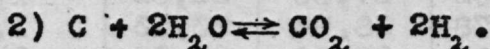
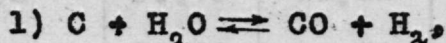
$$\frac{c_1^{n_1} c_2^{n_2}}{c_3^{n_3} c_4^{n_4}} = K$$

wõi antud juhuse jaoks:

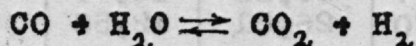
$$\frac{[CO]^2 \cdot [O_2]}{[CO_2]^2} = K$$

Puudulikul põlemisel tekkinud gaasid ei tarvitse oma vahel tasakaalus olla, küll aga on neil massimõju seaduse kohane tung kuni tasakaalu saabumiseni muutuda. On mõjuaeg liig lühike, siis ei wasta lõpulik koosseis tasakaalu tingimustele. Kuna igale temperatuurile wastab eriline tasakaalu seisukord, siis nihkub temperatuuri muutumisel enne tekkinud tasakaal paigast; muutub aga reaktsiooni kiirus jahtumiskiirusest aeglasemaks, siis jääb tasakaal püsima. Wiimast juhust wõiksime nimetada tasakaalu tardumiseks ehk kinnikülmamiseks.

Weeauru juhtimisel üle kuuma koksi sünnib paralleelselt kaks reaktsiooni:



Neist mõlemist kokkupõimitud protsess



nimetatakse wesigaasi reaktsiooniks. Temast wõtawad osaneli gaasi - CO, H<sub>2</sub>O (aur), CO<sub>2</sub> ja H<sub>2</sub>, mille wahel umbes 800° algades kaunis kiiresti tasakaal saabub. Haberi ja Richardti järele saabub tasakaal üle 1600° järsult, allaseda ei ole ta aga täielik.

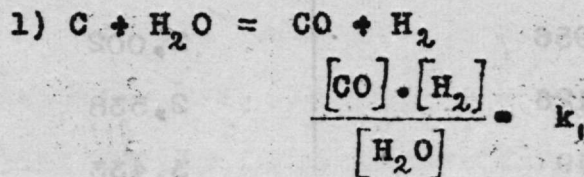
Kui wee auru üle kuuma söe juhtida, siis kujuneb 750 kraadist peale warsti H<sub>2</sub>O, CO, CO<sub>2</sub> ja H<sub>2</sub> tasakaal (wesigaasi reaktsioon). Alljärgnew tabel näitab Harries'i

katsetes saadud andmeid (Gas u. Wasserfach 1894,82), millest selgub, et temperatuur gaasi koosseisu peale tun-  
tawat mõju avaldab.

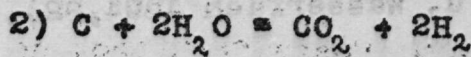
W e s i g a a s i t a s a k a a l m i t m e s u g u s t e  
t e m p e r a t u u r i d e j u u r e s .

Temperatuur °C	Weewaba gaa- si koosseis			Weeaur		Weeauru sisaldawa gaasi koosseis			
	mahuprozent.			lagu- nenud	lagu- ne- mata				
	%	%	%			%	%	%	%
	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	%	%	H <sub>2</sub> O	CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
674	65,2	4,9	29,8	8,8	91,2	87,12	0,63	8,41	3,84
758	65,2	7,8	27,0	25,3	74,7	65,82	2,67	22,28	9,23
838	61,9	15,1	22,9	41,0	59,0	47,15	7,96	32,77	12,11
861	59,9	18,1	21,9	48,2	51,8	39,18	11,01	36,48	13,33
954	53,3	39,3	6,8	70,2	27,2	17,21	32,7	44,43	5,66
1010	48,8	49,7	1,5	94,0	6,0	3,02	48,2	47,3	1,45
1060	50,7	48,0	1,3	93,0	7,0	3,68	46,31	48,84	1,25
1125	50,0	48,5	0,6	99,4	0,6	0,3	48,34	50,73	0,60

Lhk. 52 toodud reaktsioonidele vastavad järgnevad  
tasakaalu võrrandid:







$$\frac{[CO_2] \cdot [H_2]^2}{[H_2O]^2} = k_2$$

Nende liitmisest saame kolmanda:



$$\frac{[CO] [H_2O]}{[CO_2] [H_2]} = \frac{K_1}{K_2} = K$$

K on temperatuuri funktsioon ja leitakse võrrandist:

$$\lg K = - \frac{2232}{T} - 0,08463 \lg T - 0,0002203 T + \text{Konst.}$$

Katselisel teel leidis Hahn, et konst. = 2,5084; Luggini määramise järele konst. = 2,4943; nõnda siis keskmiselt konst. = 2,5.

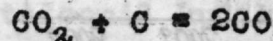
Ülaltoodud valemi järele (konst. = 2,5084) kui ka katsetest leidis Hahn mitmesugustele temperatuuridele vastava K:

Temperatuur	K (katseliselt leitud).	K (valemi järele arvatud)
786° C	0,840	0,851
886 "	1,197	1,170
986 "	1,571	1,570
1005 "	1,62	1,650
1086 "	1,956	2,002
1205 "	2,126	2,538
1405 "	2,49	3,433
1600 "	-	3,802

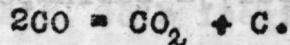
Kuni 1086° lähewad katseliselt ning arwutustest saadud andmed kokku. Kõrgemate temperatuuride juures tulewad esile dissotsiatsioon kui ka kõrwalreaktsioonid, mis katseliselt saadawat arwu tuntawalt mudawad.

Süsiniku põlemise suhtes lähewad praegu arwamised lahku, kas sel puhul otsekohe süsihapu gaas tekib ( $C + O_2 = CO_2$ ), wõi põleb süsi alguses süsihapendiks, mis hapnikuga ühinedes süsihapuks gaasiks muutub (1)  $C + O = CO$ ; 2)  $CO + O = CO_2$ ).

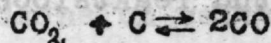
Kuuma süsiniku mõjul taandub süsihapu gaas süsihapendiks:



Taandumisel tekkinud süsihapend ei ole püsiv ja laguneb süsihapuks gaasiks ning süsinikuks tagasi:



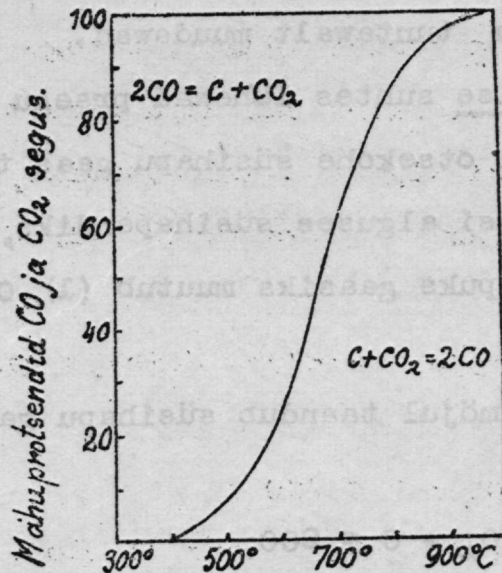
Teiste sõnadega öeldes on see reaktsioon pöörduw:



Püsiba surwe juures wastab igale temperatuurile teatud tasakaalu tingimuste kohane gaasisegu koosseis (Boudouard, Z. f. angew. Ch. 1900).

Temperatuur	CO <sub>2</sub> %	CO %	Temperatuur	CO <sub>2</sub> %	CO %
450° C	97,80	2,2	750° C	24,1	75,9
500 "	94,6	5,4	800 "	12,4	87,6
550 "	88,0	12,0	850 "	5,9	94,1
600 "	76,8	23,2	900 "	2,9	97,1
650 "	60,2	39,8	950 "	1,4	98,6
700 "	41,3	58,7	1000 "	0,9	99,1

Arvud kui ka joon. 9 toodud kõverik vastavad 1 atmosfäärilisele survele.



Joon. 9. Süsihapi gaasi ja süsihapi tasakaal.

Nende wastupidi sihitud reaktsioonide kiirust võrreldes leiame, et  $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$  palju kiiremalt läheb kui süsihapi lagunemine  $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$ . Näit. on  $850^\circ$  juures esimese reaktsiooni kiirus teise omast Rhead ja Wheeleri järele umbes 166 korda suurem. Madalamate temperatuuride juures sünnib süsihapi lagunemine ainult katalüsaatorite (rauapulbri, rauahapi, rauakarbiidi, nikkeli pulbri jne.) juuresolekul.

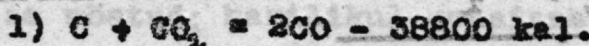
Wõrreldes süsiniku põlemiskiirusega hapnikus on aga

ka reaktsioon  $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$  kiirus väike. Farupi järelle (Z. f. angew. Ch. 1906, 276) mõjub söe peale süsihappu gaas  $850^\circ$  juures sama kiirusega, nagu hapnik  $450^\circ$  juures;  $850^\circ$  juures läheb reaktsioon  $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$  3 miljoni korda kiiremalt kui reaktsioon  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ .

Süsihappu gaasi süsihapendike muutumise tingimusteks on kõrge temperatuur (üle  $1000^\circ$ , veel parem  $1200-1300^\circ$ ) ja küllaldane ainete kokkupuutumise wältus, mis ahjus kui ka generaatorites saawutatakse õhu juhtimisel läbi paksu söe kihi.

Wesigaasi reaktsioonil kui ka reaktsioonil  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$  on puuduliku põlemise juures waldaw tähtsus. Paralleelselt wõiwad seal aga veel mitmed teised reaktsioonid tekkida. Näit. võib isegi destillatsioonil ilmuwa fenooli  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  tekkimist puuduliku põlemisena waadelda. Metaani tekkimine on seletataw kas  $\text{CO}$  ja  $\text{CO}_2$  taandumisega wõi kuuma süsiniku ja wesiniku otsekohese ühinemisega:  $\text{C} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_4$ .

Suurem osa neist reaktsioonidest on endotermilised ning nende wõimaldamiseks kulub osa põlemisel tekkinud soojust:





wastawate ainete sisaldavust korstnagaasides, mahupro-  
tsentides.

Olgu 1 kg kütteaine kuivade põlemisgaaside hulk =  
=  $Q \text{ m}^3$  ( $0^\circ 760 \text{ mm}$ ). 1 kg puhast süsinikku annab täielikul  
põlemisel 1,865  $\text{m}^3$  süsihaput gaasi. Põles 1 kg kütteai-  
nest tegelikult  $C'$  kg süsinikku ära, siis tekib sellele  
wastawalt 1,865  $C' \text{ m}^3$  süsihaput gaasi, mis on  $\text{CO}_2$  % üldisest  
korstnagaaside mahust, ehk  $1,865 \cdot C' = Q \cdot \frac{\text{CO}_2}{100}$

Leidus korstnagaasis iga kantmeetri kohta  $K$  grammi  
tahma süsinikku, siis on  $Q$  kantmeetris  $Q \cdot K$  grammi =  $\frac{Q \cdot K}{1000}$   
kilogrammi põlematut süsinikku. Sellega on süsihapu gaa-  
si, süsihappendi ja metaani moodustamiseks tõelikult  
ainult  $[C' - \frac{QK}{1000}]$  kg süsinikku kulunud, mis 1,865  $[C' - \frac{QK}{1000}] \text{ m}^3$   
süsiniku ühendusi - gaase annab. Gaaside üldmahu leiame  
üksikute sisuosade ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  ja  $\text{CH}_4$ ) protsentide järele:

$$1,865 (C' - \frac{QK}{1000}) = Q \cdot \frac{\text{CO}_2}{100} + Q \cdot \frac{\text{CO}}{100} + Q \cdot \frac{\text{CH}_4}{100}$$

ehk:

$$1,865 C' = Q (\frac{\text{CO}_2}{100} + \frac{\text{CO}}{100} + \frac{\text{CH}_4}{100} + \frac{1,865K}{1000}).$$

Siit leiame, et

$$Q = \frac{C'}{0,536 (\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + \frac{K}{5,36})} \text{ m}^3 (0^\circ 760 \text{ mm}).$$

Põlemisel tekkiw  $\text{SO}_2$  ei ole siin tema wähesese hulga  
pärast arwesse wõetud; harilikul gaasianalüütilisel  
määramisel sisaldub ta osana  $\text{CO}_2$  protsentides.

1 kg kütteaine põlemisel tekkiwa märja gaasi hulk

$Q'$  on ( $0^\circ 760 \text{ mm}$ ):

$$g' = \left[ \frac{C'}{0,536(CO_2 + CO + CH_4 + \frac{K}{5,36})} + \frac{gH_1 + W}{0,804} \right] m^3$$

(0,804 - weeauru erikaal 0°760 mm juures).

Üleliigse õhu tarvitamise puhul on puudulikul põlemisel tekkiwate gaaside ja õhu ülekaalarwu  $\lambda$  suhe järgnew (Hassenstein, Z. f. Dampftech. u. M. 1910):

$$\lambda = \text{const.} \times \frac{N_2}{CO_2 + CO + SO_2 + \frac{K}{5,36}}$$

kus juures üksikute kütteinete const on:

kiwisöel const = 0,235; koksil const = 0,258

antratsiidil " = 0,235; turbal " = 0,247

pruunsöel " = 0,238; puul " = 0,258

Sellest walemist saadud arwu wiga ulatab kuni 6 % - ni, on aga harilikult alla 2 %.

Korstnagaasi analüüsi alusel võib leida süsihappu gaasi maksimumi:

1) täielikul põlemisel:

$$CO_2 \text{ max} = \frac{20,9 \cdot CO_2}{20,9 - O_2}$$

2) puudulikul põlemisel:

$$CO_2 \text{ max} = 20,9 \frac{CO_2 + CO + CH_4 + \frac{K}{5,36}}{20,9 - O_2 + 0,3955CO + 1,582CH_4 + 0,1865H_2 + \frac{K}{5,36}}$$

wõi, kui  $CH_4$ ,  $K$  ja  $H_2$  kui tegelikult wähese tähtsusega tegurid wälja jätta, siis

$$CO_2 \text{ max} = 20,9 \frac{CO_2 + CO}{20,9 - O_2 + 0,3955CO}$$

Süsihappu gaasi maksimumi määramiseks suurendatakse õhu ülekaal kuni täieliku põlemiseni, mis harilikult sel ju-

husel aset leiab, kui süsihappe sisalduvus põlemisgaasides on 12 - 13 %. Neis tingimustes tehtud gaasianalüüside keskmistest andmetest leitakse  $CO_2$  max walemist

$$CO_2 \text{ max} = \frac{20,9 CO_2}{20,9 - O_2}$$

Leitud väärtuse kaudu saadakse põlemata jäänud gaaside CO hulk walemist

$$CO_2 \text{ max} = 20,9 \frac{CO_2 + CO}{20,9 - O_2 + 0,3955CO}$$

On aga võimata gaasi proovide wõtmiseks põlemist täielikult läbi wiia, siis määratakse harilikul analüütilisel teel korstnagaasis süsihappe ja süsihapendi sisalduvus ning leitakse eelmisest walemist  $CO_2$  max, mille abil järgnevald korstnagaasi analüüse ilma CO määramiseta teha võib, s.t. CO leitakse walemist antud  $CO_2$  ja  $CO_2$  max ning  $O_2$  kaudu.

Nagu lhk. 14 toodud tabelist näha, annab 1 kg. süsinikku teoreetilises õhumääras süsihapuks gaasiks põledes  $8,88 m^3$  põlemisprodukte, süsihapendiks põledes aga ainult  $5,38 m^3$  ( $0^\circ 760$  mm juures); s.t. et süsiniku täieliku põlemise produktide hulk on poolikul (süsihapendiks) põlemisel saadud produktide hulgast  $\frac{8,88}{5,38} = 1,6$  korda suurem.

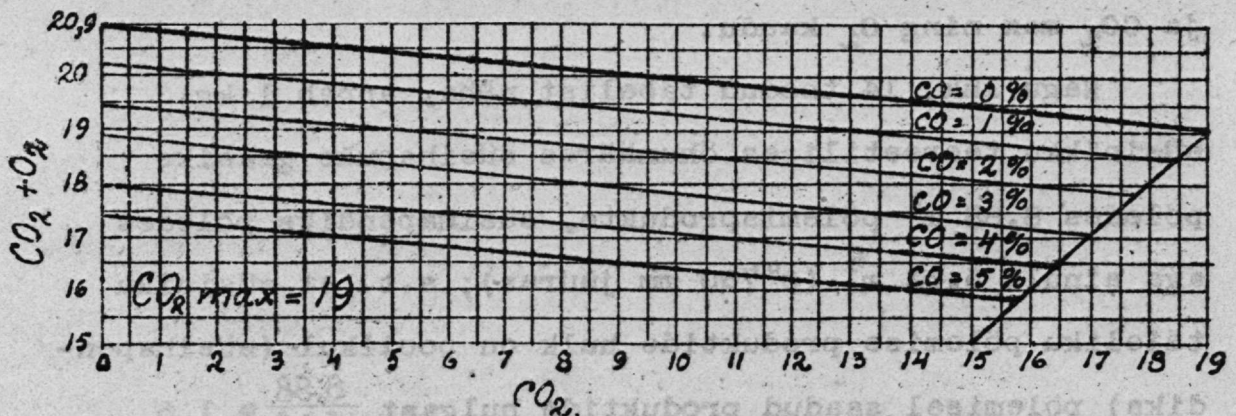
Igale õhu üleküllusele wastab teatud kütteainel oma  $CO_2 + O_2$  summa, missuguse arwu ka täieliku põlemise puhul gaasi analüüsil saane. Selgub aga analüüsist, et



$\text{CO}_2 + \text{O}_2$  summa on väiksem kui näit. joon. 6 toodud tabelist leiame, siis tuleb puudujääk sellest, et osa  $\text{CO}_2$  asemel tekis CO. Puudujääki 1,6-ga korrutades saadakse põlemisgaasides leiduva CO protsent.

Wõtame näit. juhuse, kus mineraalöli põlemisgaasides leidsime 10 %  $\text{CO}_2$  ja 4,5 %  $\text{O}_2$ ; sellega siis  $\text{CO}_2 + \text{O}_2 = 14,5$  %. Joon. 6 järele (lhk.19) peab see summa olema 16,9 %, nõnda siis 2,4 % võrra suurem, missugusele vahele vastab  $1,6 \cdot 2,4 = 3,84$  % CO.

Põlemise puudulikkuse leidmiseks suitsugaasi andmetest (ilma CO määramiseta analüüsil) võib tarvitada ka iga kütteeaine jaoks tema  $\text{CO}_2$  max kohaselt kokkuseatud tabelisi, näit. 19 % süsihappu gaasi maksimumiga söe jaoks joon. 10, mida järgnevalt tarvitatakse.



Joon. 10. CO sisalduvus puudulikul põlemisel ( $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  ja  $\text{CO}_2$  max järele).

Kui gaasi analüüs andis näit. 13 %  $\text{CO}_2$  ja 5,2 %  $\text{O}_2$ , siis  $\text{CO}_2 + \text{O}_2 = 18,2$  %.

Walem  $\text{CO}_2$  max =  $\frac{20,9 \cdot \text{CO}_2}{20,9 - \text{O}_2}$  järele leiame aga  $\text{CO}_2$  max = 19 % ja  $\text{CO}_2 = 13$  % puhul, et  $\text{O}_2$  peaks olema 6,6 % ja

$CO_2 + O_2 = 13 + 6,6 = 19,6 \%$ , sellega siis on vahe  
 $19,6 - 18,2 = 1,4 \%$ . Seda vahet 1,6-ga korrutades saame  
 $1,4 \cdot 1,6 = 2,2 \%$  CO.

Tabelist saame umbes sama arvu, kui vaatleme, et  
joon. 10 koordinaadid 13 %  $CO_2$  ja 18,2 %  $CO_2 + O_2$  löiku-  
wad 2 % CO joone kohal.

### 15. Soojuskaotus kütmisel.

Katla kütmisel läheb üks osa soojust ilma kasuta-  
mata kaduma. Kadu suurus oleneb sisseseadest ja kütja  
osavusest ning hoolest. Tähtsamad kaotused on;

1. korstnagaaside soojuse kaudu,
2. põlemata või puudulikult põlenud gaaside kaudu,
3. tuhas ning shlakis leiduva põlemata jäänud kütte-  
aine soojuse ning mittegaasiliste põlemisjäänus-  
te soojuse kaudu,
4. lõõridesse ning korstnasse kistawa lenduwa kok-  
si kaudu,
5. korstnagaasides leiduwa tahma kaudu,
6. kiirgavuse ning katlaseinte või müüri soojus-  
juhtivuse kaudu, mis sagedasti differenttsina  
määratakse,

Üldkaotuse üksikute osade suurus kõigub väga laia-  
des piirides; teatud piirides oleneb üks osaline kaotus  
teistest. Kõige suurema arvu annab gaaside kaudu kaduma  
minev p. 1 ja 2 tähendatud soojus. Selle juures on aga

wõimalik just neile punktidele wastawate arwude peale kütmisel kõige suuremat mõju awaldada.

Gaaside kaudu tekkiwa soojuskaotuse peale awaldawad mõju gaasi rohkus, gaaside temperatuur ja gaaside põle- wate osade (tahma, CO, CH<sub>4</sub>) hulk.

Gaaside hulk oleneb kütteaine koosseisust ja põle- misõhu rohkusest; möödupuuks on korstnagaaside CO<sub>2</sub>- si- saldawus, mis langeb õhu hulga kaswamisel. Täpsetel kal- kulatsioonidel tuleb peale CO<sub>2</sub> ja O<sub>2</sub> weel CO, CH<sub>4</sub> ja tahm määrata, samuti ka kütteaine analüüs, ja temperatuu- ride möötmine toimetada. Eelpool toodud arwutuswiisidel leitakse korstnagaaside hulk kilogrammides wõi kantmeet- rites, mille järele üksikute sisuosade erisoojuse kaudu soojuskaotus määratakse.

Täielikule kui ka puudulikule põlemisele wastawat soojuskaotust wõime mitmesuguse täpsusega leida. Selle- kohastes walemites tarwitame peale eelpool ettetulnud märkide weel järgnewaid:

põletatud kütteaine hulk kilogrammides M  
gaaside temperatuur °C T  
wälisõhu temperatuur °C t

keskmine erisoojus t ja T wahel 1 kg (1 m<sup>3</sup>) jaoks (waata lhk. 32):

Cp<sub>1</sub><sup>T</sup> ja [Cp<sub>1</sub>]<sub>t</sub><sup>T</sup> - süsihapul gaasil,

Cp<sub>2</sub><sup>T</sup> ja [Cp<sub>2</sub>]<sub>t</sub><sup>T</sup> - süsihapendil,

$[Cp_3]_t^T$	ja	$[C'p_3]_t^T$	- lämmastikul,
$[Cp_4]_t^T$	ja	$[C'p_4]_t^T$	- vääwelkakshapendil,
$[Cp_5]_t^T$	ja	$[C'p_5]_t^T$	- weeaurul,
$[Cp_6]_t^T$	ja	$[C'p_6]_t^T$	- hapnikul,
$[Cp_7]_t^T$	ja	$[C'p_7]_t^T$	- metaanil.

Kaheaatomiliste gaaside ( $O_2$ ,  $N_2$  ja  $CO$ ) 1 kantmeetri erisoojustused on võrdsed (lhk.39).

a. Soojuskaotus korstnagaaside soojuse kaudu ( $SK_1$ )

Arvutus tehakse kas kaalu või mahu järele, kütta-aine ja korstnagaasi analüüsi andmetel (w. lhk.43 ja 44):  
kaalu järele

$$SK_1 = M \left[ 3,667C' \cdot [Cp_1]_t^T + \frac{1,865 \cdot 1,432 \cdot C' \cdot O_2}{CO_2} \cdot [Cp_6]_t^T + \right. \\ \left. + \frac{1,865 \cdot 1,254C' \cdot N_2}{CO_2} \cdot [Cp_3]_t^T + (9H + W) \cdot [Cp_5]_t^T \cdot (T-t) \text{ kal.} \right]$$

või mahu järele

$$SK_1 = M \left[ 1,865C' \cdot \left[ [C'p_1]_t^T + \frac{O_2}{CO_2} \cdot [C'p_6]_t^T + \frac{N_2}{CO_2} \cdot [C'p_3]_t^T \right] + \frac{9H + W}{0,804} [C'p_5]_t^T \right] \cdot (T-t) \text{ kal.}$$

Ligikaudsete arvutuste jaoks võib tarvitada Bunte valemit:

a)  $0^\circ$  kuni  $t^\circ$

$$SK_1 = M \left( 0,32 \frac{C}{0,536CO_2} + 0,48 \frac{9H + W}{100} \right) \cdot t \text{ kal.}$$

b)  $t^\circ$  kuni  $T^\circ$

$$SK_1 = M \left( 0,32 \frac{C}{0,536CO_2} + 0,48 \frac{9H + W}{100} \right) \cdot (T-t) \text{ kal.}$$

Mitte üle 10 % niiskust sisaldava kiwisöe ja pruun-  
söe jaoks saab ligikaudse soojuskaotuse Siegerti valemi  
järel:

$$SK_1 = \frac{0,65(T-t)}{CO_2} \quad \% \text{ aine küttevõimest.}$$

Näit. on korstnagaaside kuumusest olenew soojuskaotus 10 %  $CO_2$ ,  $T = 350^\circ$  ja  $t = 15^\circ$  puhul

$$SK_1 = \frac{0,65 \cdot 335}{10} = 21,8 \quad \% \text{ s\oe k\uettev\oimest.}$$

Gaasilistel kütteainetel on soojuskaotus 1 m<sup>3</sup> gaasi kohta:

$$SK_1 = \left[ 100 \frac{A}{CO_2} Cp_v + (h + 2v + 2r + s) Cp_w \right] \cdot (T-t) \text{ kal.,}$$

kusjuures

$$A = p + v + k + 2r + 2s,$$

$p = CO$  - sisalduvus 1 m<sup>3</sup> gaasis kantmeetrites,

$v = CH_4$  - " " " "

$k = CO_2$  - " " " "

$r = C_2H_4$  - " " " "

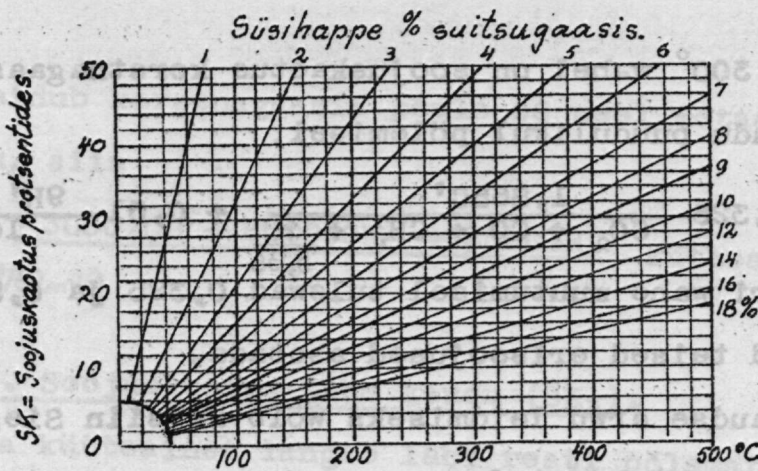
$s = C_2H_2$  - " " " "

$CO_2$  = korstnagaasis leiduva süsihappe protsent,

$Cp_v$  = 1 m<sup>3</sup> kuiwa korstnagaasi erisoojus  $T^\circ$  juures,

$Cp_w$  = 1 m<sup>3</sup> weeauru erisoojus  $T^\circ$  juures.

Korstnagaaside temperatuurist ja süsihappe protsendist leiame kiwisöe jaoks soojuskaotuse ka joon. 11 järel:



Joon. 11. Soojuskaotus korstnagaaside soojuse kaudu kiwisöe küttevõime protsentides.

Näit. saame 8 % CO<sub>2</sub> ja 400°-lise temperatuuri juures ligi 33 %.

Missuguste määratu suurte soojuskaotuste põhjuseks on korstnagaaside kõrge temperatuur ja neis leiduw üleliigne õhk, näeme järgnewatest arwudest:

λ	CO <sub>2</sub> - sisalduwus korstnagaasides.	Põlemis temperatuur °C	Soojuskaotus korstnagaaside mitmesuguste temperatuuride juures:		
			500°C	300°C	100°C
Kiwisüsi 75%C, 5%H, 3% niiskust, küttev. = 7500 kal.					
1	0,181	2185	19,3 %	11,0 %	3,1 %
2	0,089	1285	36,3	20,7	5,8
3	0,059	910	53,4	30,4	8,6
Kõrgeahju gaas 3%H <sub>2</sub> , 29%CO, 8%CO <sub>2</sub> , 6%N <sub>2</sub> , küttevõime 880 kal.					
1	0,236	1595	27,9 %	15,8 %	4,4 %
2	0,159	1170	39,9	22,7	6,3
3	0,121	930	51,8	29,5	8,2

0° ja 300° vahel on soojuskaotus korstnagaaside soojuse kaudu puudulikul põlemisel:

$$SK_1 = M \left[ 0,325 \frac{1,865C'}{CO_2 + CO + CH_4 + \frac{K}{5,36}} + 0,51 \frac{9H' + W}{100} \right] (T-t)$$

Temperatuuri vahe muutumisel tulevad 0,325 ja 0,51 asemel wastawad teised erisoojused asetada.

Ligikaudse arwu leidmiseks võib ka siin Siegerti walemit (lhk. 66) kasutada.

b. Soojuskaotus põlemata gaaside kaudu (SK<sub>2</sub>).

Analüüsist otseteel wõi CO<sub>2</sub> max kaudu leitud CO protsendi järele saadakse 1 kg wõi 1 m<sup>3</sup> kütteaine põlemisel tekkinud korstnagaasiides leiduwa CO hulka kantmeetrites; soojuskaotuse leidmiseks korrutatakse saadud arw 3050 kaloriga (1 m<sup>3</sup> 0°760 mm süsihapendi küttewõime):

$$SK_2 = q_{(0^{\circ}760\text{mm})} \cdot \frac{CO}{100} \cdot 3050 \text{ kal.},$$

missuguse arwu kütteaine küttewõime (Q) protsentide peale ümber arwata võib:

$$SK_2 = \frac{q \cdot CO \cdot 3050}{Q} \% \text{ aine küttewõimest.}$$

Andis 1 kg kütteainet näit. 12,5 m<sup>3</sup> kuiwi põlemisprodukte 1,2 % CO-ga ja oli söe küttewõime 7000 kal., siis

$$SK_2 = \frac{12,5 \cdot 1,2 \cdot 3050}{7000} = 6,5 \%$$

Ligikaudsete arwutuste jaoks võib 1 % CO kohta wötta 6 - 7 % soojuskaotust.

Leidub korstnagaasis peale CO weel metaani ja we-  
sinikku, siis

$$SK_2 = q_{(0,9760\text{mm})} \cdot \frac{3050 \cdot CO + 8600 \cdot CH + 2590 \cdot H}{Q} \quad \text{küttaaine kütte-  
wõimest.}$$

c. Soojuskaotus tuha kaudu (SK<sub>3</sub>).

Osa küttaainet langeb läbi resti põlematult tuha hulka, sellega põlemisel oodatavat soojushulka teatud protsendi võrra vähendades. Sulab tuhk kergesti shla- kiks, siis ümbritseb ta söe põlemistakistawa kaitse- kihiga; raskesti sulawa shlaki kõrwal põleb süsi pea täielikult ära. Kõrge temperatuur edendab shlaki sula- mist, madal takistab põlemist. Põlemata jäänud söe kau- du tekkinud soojuskaotus suureneb kuuma shlaki soojus- sisaldawuse võrra. Korralikul teenimisel ja küttaainele wastawa resti tarwitamisel ei tõuse kaotus harilikult üle 2-3 %.

Kaotuse määramiseks laitakse tuhas sisalduwa põle- wa aine hulk, mis puhta süsiniku näol arwutusesse aseta- takse, kütteväärtusega 8100 kalorit 1 kg. Kogutuhas leiaw süsiniku hulk kilogrammides, korrutatud 8100-ga, annab soojuskaotuse, mis söe üldise küttevõime protsen- tideks ümber arwatakse:

$$SK_3 = \frac{\alpha \cdot A \cdot 8100}{M \cdot Q} \% \text{ söe küttevõimest.}$$



$\alpha$  - koldejäänustes leiduva põlewa aine protsent;

A - koldejäänuste hulk kilogrammides;

M - põletatud söe hulk kilogrammides.

Näit. põletati teatud aja jooksul 2000 kg sütt, kütteväärtusega 7000 kal., kusjuures koldesse jäänud 150 kg tuhas oli 20 % põlewat ainet. Siit leiame soojuskaotuse tuha kaudu:

$$SK_3 = \frac{20 \cdot 150 \cdot 8100}{2000 \cdot 7000} = 1,7 \%$$

d. Soojuskaotus lenduwa koksi kaudu ( $SK_4$ ).

See soojuskaotuse osa on eriti suur alawäärtusliste kütteinete juures, mis tugewat tõmbet tarwitawad. Wiimasega ühenduses on rohke tolmu korstnasse sattumine. 3-4 meeter- sekundilisel liikumiskiirusel wõtab õhk enesega 1 mm<sup>2</sup> läbimööduga osakesed kaasa; mõnel juhusel saadakse wördlemisi suur kaotus (3-5 %);

e. Soojuskaotus tahma kaudu ( $SK_5$ ).

Tahm on ebasoodsatel põlemistingimustel wälja eraldunud süsinik; tema kütteväärtuseks tuleb lugeda 8100 kal. wõi 1 grammi kohta 8,1 suurt kalorit. Leidus korstnagaa-sides 1 m<sup>3</sup> kohta K gr. tahma, siis on tahma läbi tekkinud soojuskaotus kütteväärtuse protsentides:

$$SK_5 = \frac{K \cdot 8,1 \cdot 100}{Q}$$

Kiwisöe kütteil näit. on ta harwa üle 1-3 %, kuna paksu suitsu tekkimispõhjused harilikult ainult lühikese aja

jooksul mõju avaldavad. Väga paksu suitsu juures võib lugeda  $K = 3$ , musta suitsu juures  $K = 2$ .

Soojuskaotust suuruse kohta saame pildi järgnevalt arvutabelist.

Korstnagaaside koosseis ja soojuskaotus.

Põlemis- õhu tempe- ratuur t°	Kors- tna- gaasi tem- pera- tuur T°	Korstnagaasi koosseis mahu protsentides.					Tahm. g/m <sup>3</sup>	Soojus kaotus korstna- gaasi soojuse kaudu %-des.	Soojus kaotus põle- mata gaasi- de kaudu %-des	Kaotus tahma kaudu %-des
		CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>				
30,0	334	11,42	0,55	0,24	8,47	79,31	1,631	16,1	3,7	2,1
29,3	330	11,30	1,01	0,76	7,01	79,92	2,126	15,4	7,8	2,5
26,2	338	9,93	1,14	0,72	10,38	77,82	3,438	17,8	9,2	4,6
23,0	326	11,83	3,45	1,51	4,10	79,09	5,503	12,6	18,1	5,3
27,5	341	9,70	0,04	0,25	10,66	79,32	0,654	20,2	1,5	1,0
24,5	328	9,06	0,05	0,28	10,24	80,35	0,877	20,9	1,8	1,5
31,2	355	10,34	0,02	0,32	10,07	78,25	1,868	19,7	1,6	1,3
30,3	347	10,21	0,03	0,27	10,60	78,86	1,676	19,5	1,5	2,5

Tahma tekkimine oleneb tähtsal määrel kiwisöe sor-  
dist; ta on suurem pikaleegilistel (gaasirikastel) sü-  
tel; kaotuse suurus tõuseb harilikult söe lenduwate osa-  
de hulga kaswamisega, kusjuures lenduwateks osadeks on  
söe kuumutamisel tekkinud gaasid kui ka gaasilises ole-  
kus leiduwad õlid, tõrw ja pigi.

Tahma tekkimise kõrwal jääb korstnagaasidesse ha-  
rilikult ka rohkesti põlematuid gaase, kuna neil ühised  
tekkimispõhjused; ahju wisatud söe põlemise arenemisel

kahaneb aga üks kui teine kaotus. Sellest järgneb, et korstna suitsu tahm peale tülil, mis ta mustuse läbi ümbrusele toob, veel suure majandusliku kahju põhjuseks on, mis pärast tahma kõrvaldamine üheks soojusmajanduse tähtsamaks probleemiks tuleb pidada. Mitmesuguste abinõudega on võimalik tahma tekkimist kuni teatud piirini vähendada, kus ta enam tuntawat ainelist kahju ei sünnita.

#### f. Soojuskaotus kiirgavuse ning juhtivuse kaudu

(SK<sub>6</sub>).

See osa üldisest soojuskaotusest sisaldab eneses mitu liiget; ta leitakse soojuskatsetel harilikult differenttsina ehk waheliikmena (Restglied).

Soojadest müüridest, katlaosadest ja koldest eraldub ümbrusesse soojus kas kiirgavuse või otsekohe kokkupuutumise kaudu. Nende kaotuste suurus oleneb müüri ning raua osade pinna ning ümbruse temperatuurist, müüri paksusest ja üldisest seisukorrast, õhu wooludest, ruumi ventilatsioonist jne. Müüri välispinna temperatuur oleneb oma soodu müüri paksusest ning gaaside ja katla ruumi õhu temperatuuride vahel, samuti ka müüri soojusjuhtivusest. Müüripinna temperatuur on üksikutes katla osades mitmesugune; sooja müüri juures tõuseb õhk ülesse, kus ta vastu külma lagi või katust ära jahtub

ja uuesti alla waob; osa soojast õhust läheb läbi aknate ja pragude wälja, seda suuremal määral, mida kangem wentilatsioon. Ukse ning aknate kaudu tuleb wäljast jahedat õhku asemele, mis läbi õige keerulised õhuliikumised tekiwad; katlaruumi üksikutes osades on temperatuur sagedasti väga lahkuminev. Selle juures tekib aga neis tingimustes teatud tasakaal, nõnda et möötmisel wördlemisi õiged keskmised wäärtused saadakse. Müüridest laguneb soojus kiirtena laiali; sellest jääb ainult wäike osa ümbrusõhku püsima; ta neeldub ruumis olewatesse asjadesse ning seintesse ja laguneb juhtiwuse kaudu laiali; osalt pörkab ta aga ka katlamüüri peale tagasi. On kaks kõrwuti töötawat katelt üksteisele õige lähedal ja mõlemil wälismüüril ühine temperatuur, siis on kaotus kiirgawuse kaudu väga wäike ja soojuskaotus tekib ainult õhu liikumise läbi. Hoopis teine on lugu akna ning wälisseinte läheduses asuwate kateldega. Kitsastes ja halwasti õhutatawais katlamajades kaob juhtiwuse ning kiirgawuse kaudu vähem soojust kui suuremates ja parema wentilatsiooniga ruumides. Ka müürides olewad praod mõjuwad soojuse kaotuse suurendamiseks kaasa.

Kõigi nende soojuskaotuste täpne määramine on asja praeguse seisukorra juures kaunis suurte raskustega ühendatud. On ju raskendatud isegi katlamüüri temperatuuri mõõtmine, kuna ta igas punktis isesugune on. Te-

geliku väärtusega järeldusi saab teha ainult rohketest kohta peal tehtud katsetest ning mõõtmistest. Selle küsimuse laiem teoreetiline arendamine ei kuulu aga käesoleva kursuse raamidesse. Ülewaatlikkuse, mõttes olgu tähendatud, et kõne all olev soojuskaotus harilikud tingimustes 3 - 9 % on, s.t. esimese 10 % piiridesse jääb.

Üldkokkuvõttes ulatab mitmesuguste soojuskaotuste summa halbade katlasiseseadete ja ebakohase kütmise juures kuni 50 % söe küttevõimest. Nende kaotuste vähendamisel on üheks mõjuvamaks teguriks hoolas kütmine.

Selle juures tuleb:

a) süsi ühetasaselt põletada, värsket sütt korrapäraselt juure lisades ning restile ühetasaselt jaotades;

b) söekihi kõrgus ja õhutõmbe kiirus korstnagaasi analüüsi andmetel nõnda valida, et  $\text{CO}_2$  - sisaldavus umbes 10 - 14 % vahel oleks;

c) ära hoida tahma ning suitsu tekkimist;

d) õhu puuduse ja selle tagajärjel CO tekkimise eest hoidmiseks mitte liig palju sütt korraga ahju viisata; värsket söe juureviskamise järele lühikese aja jooksul rohkemal määral õhku ahju juhtida, milleks siiber korralikult töötama peab;

e) põlemistemperatuuri küllaldaselt kõrgel hoida.

Korstnagaaside temperatuur ei tohiks üle  $300^{\circ}$  tõus-

ta. Soojust võiks ära kasutada:

- a) kütteaine kuiwatamiseks,
- b) põlemisõhu soendamiseks,
- c) katlawee soendamiseks,
- d) ruumide soendamiseks ja keskkütte jaoks.

Korstnagaaside kõrge temperatuuri põhjused on mitmesugused:

- a) mitteküllaldane õhu ning gaaside segunemine tulepesas ja sellest olenew järelepõlemine,
- b) ebakohane tulepesa ehitus,
- c) puudulikust ehitusest olenew halb soojusjuhtivus, katlakiwi, tahma tekkimine, õlikiht, tuha kuhjumine.

Tegelikult sünnib põlemine nõnda, et õhk läbi söekihi altpoolt ülesse liikudes soeneb, kuni ta täieliku põlemise kohal ehk nn. "täieliku põlemise wöös" oma kõrgema temperatuuri omandab. Selles wöös tarwitatakse harilikult juba kõik hapnik ära, ja kui põlemisgaasid siit ülespoole kerkides kütteainest lõpulikult lahkuwad, wõtawad nad enesega kõik põlemissoojuse kaasa.

On aga täieliku põlemise wööst kõrgemal weel sütt, siis taandub põlemisel tekkinud süsihappu gaas selles süsihappendiks:



Selle endotermilise reaktsiooni läbiwiimiseks kulub suur

osa alumistes kihtides tekkinud soojusest (lhk.57 ja 58). Ahjude ehitamisel ja kasutamisel on täieliku põlemise wöö asupaiga tundmine äärmise tähtsusega. Wöö kõrgus oleneb: 1) kütteaine tükide suurusest, 2) määramismomendile wawatavast ahju keskmisest temperatuurist ja 3) õhutõmbe kiirusest.

1200° ja kõrgema temperatuuri juures, mis ahjudes walitseb, lähewad reaktsioonid praktilises mõttes silmapilkselt. Neis tingimustes ei muuda temperatuuri tõstmine ja õhu tõmbe kiirendamine enam täieliku põlemise wöö kõrgust. Ühetaoliselt purustatud, 1 sentimeetrilise läbimööduga tükidest koosnewal söe kihil on täieliku põlemise wöö 5 - 10 cm õhu sissewoolu kohast kõrgemal.

10 sentimeetrilistest tükidest koosnewas kihis, on täieliku põlemise ja maksimaalse temperatuuri wöö 0,5 - 1 m. kõrgusel.

Üldiselt võib ütelda, et täieliku põlemise wöö ja õhu sissewoolu koha wahe väga kuumas ahjus on proportsionaalne söe tükide suurusele ja nimelt tüki läbimöödudest umbes kümme korda suurem.

On temperatuur alla 1000°, siis läheb põlemisreaktsioon pikaldasemalt ning reaktsiooni lõpule wiimiseks kulub teatud aeg. Sel juhusel oleneb täieliku põlemise wöö kaugus õhutõmbe kiirusest, ja ta nihkub seda kaugemale, mida kiirem tõmbe. Alla 1000°, 5 sentimeetri-

lise läbimööduga koksi tükidega töötavas wesigaasi ahjus tõuseb täieliku põlemise wöö kuni 2 meetri kõrgusele.

Tugewa õhu juurepuhumise mõjul tõuseb temperatuur, ning täieliku põlemise wöö langeb kuni 0,5 meetri peale.

Maksimaalse kütmise tagajärje saavutamiseks tohib söe koht ainult kuni täieliku põlemise wööni ulatada. Aurukatla kütmisel ulatagu söekiht ainult 10 - 15 cm restist kõrgemale. See mööt on wäiksem, kui ülaltähendatud ühetasaselt purustatud söel. Katla söes on palju puru ja tolmu, ja tuleb üleküllaldase õhuga kütta, et teda söest tekkinud destillatsiooniproductide ära põletamiseks jatkuks.

Kõigi peale vaatamata ei saa aga tegelikult kunagi minimaalsele õhule wastawa teoreetilise koosseisuga leeki; alati on tegemist üleliigse õhuga, millest ainult osa hapnikku süsinikuga  $\text{CO}_2$ -ks ühinenud on. Wõimata on söehunikus ühetasast waheruumide jaotust saada; kus wähe wäiksem, seal tekib süsihape kiiremalt; kus suurem, seal pikaldasemalt. Kui ainult teoreetiline hulk õhku wõtta, siis tekkiks mitmes kohas süsihapend, missugune protsess suure soojuskaotustega ühenduses on. Sellepärast ei asu ka täieliku põlemise wöö ühes ja samas geomeetrilises tasapinnas; õhusissepeasu kohas wõib ta olla kaks korda kõrgem kui mujal.

Kui söetükid oma mitmekesise suurusega õhu läbi woolu takistawad, siis jaguneb põlemiswöö tükiliseks, s.t. täielik põlemine on ainult seal, kust õhk korralli-



kult läbi peaseb. Oma nurkadega vastu ahju seina toetades moodustavad suuremad sötükid avarad õhu läbiwooluted, mispärast ahju seinte juures väga elaw põlemine on; see takistab ühetasast soojuse jaotust ning mõjub seinte peale häwitawalt. Näit. on selletaoline põlemine suureks takistuseks süte keskele paigutatud tiigli kuumutamisel. Sötükide wahel põlewad awara õhu läbiwoolutede ümber kaanalid, mida mööda õhk ülesse peaseb, mis generaatoris gaasiga segunedes wiimase põlema süüdata wõib.

Kütteenest järele jääw tuhk takistab õhutõmbet. Jääb ta oma raske sulawuse wõi tule madala temperatuuri tagajärjel teraliseks ja ei liigutata teda, siis suleb ta õhu woolu täiesti. Sel juhusel wõib teda aga ka kergesti resti alla toimetada, mispärast kergest tuhka suureks takistuseks ei peeta, wõi ta on seda ainult juhusel, kui ta suitsuga kaasa lendab ja kohtadesse satub, kus ta kahju teha wõib, näit. Siemensi regeneraatorites wõi generaatorgaasi mootorites.

Sagedasti sulab aga tuhk shlakiks, mis jahtumisel väga kõwaks läheb. Kui põlemistemperatuur allapoole shlaki sulamispunkti (1100 - 1400°) jääb, siis jääb shlakk teraliseks ja ei tee suurt tüli; tõuseb aga temperatuur hoogsal põlemisel kõrgemale, siis tekiwad mahukad shlaki tükid, mis resti kinni matawad.

Resti puhastamine on väga tülikas töö, mispärast pikema aja jooksul vahetpidamata töötawates ahjudes kõrgehinna- list, vähese tuhaga sütt odawale kuid tuharohkele eelis- tatakse.

16. Soojustehnilised arwestused.

Eeltoodud walemid ja arwud on kütmise tehnika alu- seks; rajades nendele, on alljärgnewalt mõni soojustehni- line arwestus läbiwiidud.

Ülesanne 1. Põlewkiwi koosseisuga: 29,3 % C, 3,4 % H 0,1 % N 7,8 % O, 0,4 % S, 18,0 % niiskust, 41,0 % tuh- ka põleb kütetolles teoreetilise õhuhulgaga täielikult ja saadab põlemisgaase korstnasse temperatuuriga 300°, kuna ärakoristawa tuha temperatuur 300° on. Kalorimee- triliselt on põlemisvõime leitud 3470 kal. Leida 1 kg põlewkiwi ärakasutaw soojus.

Põlevkiwi koosseis	Hapniku tarvitus	Korstna gaasidekoosseis			
		CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N	Summa
C 0,293	$0,293 \cdot \frac{22,4}{12} = 0,546$	0,546			
H 0,034	$(0,034 - \frac{0,078}{8}) \cdot 5,6 = 0,133$		0,133	} $\frac{0,683 \cdot 79}{21} = 2,90$	
N 0,001			(0,056) $\cdot 2 = 0,378$		
O 0,078					
S 0,004	$0,004 \cdot 1 = 0,004$	(0,004)			
Miskus 0,180	$(\frac{0,18 \cdot 22,4}{18} = 0,224)$		0,224		
Tuhk 0,410 (selles CO <sub>2</sub> 0,11)	$(0,41 \cdot \frac{11 \cdot 22,4}{100 \cdot 44} = 0,023)$	0,023			
	0,683	0,569 (0,004)	0,602	2,90	4,075

\*  $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ ; veeaurul on 2 korda suurem maht kui põlemiseks tarvitatud hapnikul.

Nii annab 1 kg põlewkiwi korstnagaasides

0,569 cbm CO<sub>2</sub>

0,004 " SO<sub>2</sub>

0,602 " H<sub>2</sub>O

2,90 " N<sub>2</sub>

Nende erisoojus 0° ja 300° vahel on

$$(0,569 + 0,004) \cdot 0,442 = 0,253$$

$$0,602 \cdot 0,376 = 0,226$$

$$2,90 \cdot 0,318 = 0,923$$

1,402 kal 1° kohta

$$300° \text{ kohta } 1,208 \cdot 300 = \underline{\underline{420,6 \text{ kal.}}}$$

Põlewkiwi põlemisvõime (kalorimeetris määratud):

3470 kal

$$\text{Wee kondenseerimise soojus: } 537 \cdot 0,602 \frac{18}{22,4} = 259 \text{ kal}$$

$$\text{Tuhakasti kaotus: } 0,23 \cdot 0,41 \cdot 300 = 28 \text{ kal}$$

$$\text{Korstna kaotus} = 421 \text{ kal}$$

708 kal

$$\text{Ärakasutaw soojus} = 2762 \text{ kal}$$

Ülesanne 2. Küttekoldes põleb kiwisüsi koosseisuga: 80,4 % C, 4,9 % H, 7,1 % O, 0,9 % S, 1,3 % N, 2,8 % niiskust ja 2,6 % tuhka; küttevõime 7600 kal.

Wäljaarwata, kui suur on 100 kg kiwisöe ärakasutud soojuse hulk, kui põletamisel suitsugaasid 11 % CO

sisaldavad (orsataparaati määratud) ning 320-ga korstnasse jõuavad, kuna välistemperatuur 20° on?

100 kg põlemisel tekiwad järgmised gaasid ja aurud (cbm)

Kivisöe koosseis	Hapniku tarvitus	Korstna gaaside koosseis.				
		CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N	O	Summa
C 80,4	$80,4 \cdot \frac{22,4}{12} = 150,1$	150,1				
H 4,9	$(4,9 - \frac{7,1}{8}) \cdot 5,6 = 22,4$		22,4 (5,0) } · 2	173,4 · 79 21 = 652,3		
O 7,1						
S 0,9	$0,9 \cdot 1 = 0,9$	0,9				
N 1,3				1,3		
Miskus 2,8	$(\frac{2,8 \cdot 22,4}{18})$		3,4			
Põlemine teoreetilise õhuhulgaga annab järgmised põlemisgaasid:	173,4	150,1	(58,2)	653,6		804,6
Et 11 % CO <sub>2</sub> korstna gaasides, siis peab nende tildmaht 1364,5 cbm olema; tähendab tuleb juurdelisada 1364,5 - 804,6 = 559,9 cbm õhku:		(0,9)		442,3	117,6	
		150,1	(58,2)	1095,9	117,6	1364,5
		(0,9)				

Nii annavad 100 kg kiwisütt põlemisel järgmised mehud (cbm) korstnagaase:

150,1 cbm CO<sub>2</sub>

0,9 " SO<sub>2</sub>

58,2 " H<sub>2</sub>O

1095,9 " N<sub>2</sub>

117,6 " O<sub>2</sub>

Need korstnagaasid lähewad korstnasse kuni 320° scendatult, tähendab 320° - 20° = 300° soemalt kui wälisõhk. Sellest olenew soojuse kadu on 1° kohta

$$(150,1 + 0,9) \cdot 0,442 = 66,7 \text{ kal}$$

$$58,2 \cdot 0,376 = 21,7 \text{ "}$$

$$(1095,9 + 117,6) \cdot 0,318 = 385,9 \text{ "}$$

474,3 kal, ja 300° kohta

142290 kal.

Põlemisel saadud 760000 kal., kaotatud 142290 kal. ehk 18,7 %. Nõnda on ärekasutatud soojus 81,3 %.

### Ülesanne 3.

Kiwiõest koosseisuga: 77,1 % C, 5,2 % H, 10,3 % O, 1,4 % N, 2 % niiskust, 4 % tuhka walmistatakse generato- ris, kus tuhakasti ja lenduwa tolmu näol 2,5 % C kaduma läheb, segagaasi koosseisuga: 3,7 % CO<sub>2</sub>, 28,3 % CO, 0,1 % C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, 2,0 % CH<sub>4</sub>, 11,5 % H, 0,3 % O, 54,1 % N. Mitu cbm weewaba gaasi ja mitu cbm weeauru tekiwad 100 kg kiwiõest ?

100 cbm gaasis on süsiniku:  $(3,7 + 28,3 + 2,0) \frac{12}{22,4} = 18,2$

$$0,1 \cdot \frac{24}{22,4} = 0,1$$

18,3 kg C

Et 100 kg-st kiwisütt 77,1 - 2,5 = 74,6 kg C ära kasutata, siis annab see süsiniku hulk

$$\frac{74,6 \cdot 100}{18,3} = 408 \text{ cbm weewaba segagaasi}$$

100 cbm weewaba gaasi sisaldavad 11,5 cbm  $H_2$ . See on pärit: a) söe kuiwa destillatsioonist; b) õhu rõskusest; c) juurdelisatawast weeaurust.

a) 100 kg sütt annawad 30 cbm koksahjugaasi keskmiselt 50 % H-ga, järjekult 15 cbm  $H_2$  100 cbm segagaasi sisaldawad  $\frac{15}{4,08} = 3,6$  cbm  $H_2$  kuiwa destillatsioonist.

b) Et 100 cbm segagaasis 54,1 cbm N sisaldub, mis peaaegu kõik õhust pärit, siis on  $\frac{54,1 \cdot 100}{79} = 68,5$  cbm õhku sissepuhutud; 30° juures sisaldub 1 cbm õhus 30,4 g weeauru (waata lhk 47), 68,5 cbm põlemisõhku 2,08 kg weeauru ehk  $2,08 \cdot \frac{22,4}{18} = 2,59$  cbm weeauru, millest tekib seesamane maht H, see on 2,6 cbm H.

c) Gaasis on 11,5 cbm H ja sellest on  $11,5 - (3,6 + 2,6) = 5,3$  cbm H pärit sissepuhatawast weeaurust. Selleks on vaja 5,3 cbm weeauru ehk  $5,3 \cdot \frac{18}{22,4} = 4,25$  kg weeauru.

Nii siis saab õhu rõskuse ja weeauru näol 100 cbm juurdelisatud wett (wõi õigemini weeauru):  $2,6 + 5,3$  cbm = 7,9 cbm weeauru. 408 cbm-ist kuiwa gaasi te-

kiwad 7,9.4,08 = 32 cbm weeauru ehk 26 kg.

Ülesanne 4.

Wäljaarwata 100 kg kiwisöe kohta soojuse tulu ja soojuse kulu (soojusline bilans) segagaasi walmistamisel.

Kiwisöe koosseis ja kõik teised tingimised on samad kui ülesanne 3.

T u l u .

100 kg kiwisöes on, mahaarwates resti kadu 74,6 kg C;

74,6 . 10,8 : 100 = 8,1 kg C, mis CO<sub>2</sub> ks ärapölewad.

= 8,1 . 8100 = 65610 kal

74,6 . 82,7 : 100 = 61,7 kg C, mis

CO-ks ärapölewad: = 61,7 . 2420 = 149310 kal

280 cbm x) põlemisõhku puhutakse

30° juures sisse; nomad wiivad ahju

soojust (lhk. 37): 28030 . 0,320 = 2700 kal

18 kg (waata lehekülg 83 c.) wee-

auru, puhutakse sisse, mis kaasa

toowad 18.600 = 10800 kal

---

228420 kal

---

x) 68,5 . 4,1 = 280.

K u l u .

100 kg kiwisõe kuiwa destillatsioonil peidetud soojus		
100 . 153 =		15300 kal
2 kg H <sub>2</sub> O aurutamiseks 2 . 600 =		1200 kal
26 kg weacuru dissotsieerimiseks:		
26 . 28800 : 9 (lhk 9) =		83110 kal
Resti läbi langewad 4 kg tuhka ja		
2,5 kg koksi temperatuuriga 500°		
500 (4 . 2,0 + 2,5 . 2,4) =		7000 kal
440 cbm niisket gaasi kannawad		
temperatuuri juures 500° soojust		
wälja 440 . 500 . 0,358 <sup>x)</sup> =		78760 kal
Soojuskaotused (differenttsist)		53050 kal
		<hr/>
		228420 kal

17. Ülewaade kütteainetest.

Kütteained, mis tarwitust leiawad, jagunewad ühelt poolt kindlateks, wedelateks ja gaasi kujulisteks, teiselt poolt looduslikudeks ja kunstlikudeks.

---

x) Gaasi erisoojuse arwestus ei ole siin detailselt läbi wiidud, waid lõputulemus antud.



Kütteained	loomulikud	kunstlikud
kindlad	<u>puu, turwas, põ- lewkiwi, pruunsüsi, kiwisüsi</u>	süsi, <u>koks</u> , briketid
vedelad	nafta	tõrw, <u>põlewkiwi õli</u> , <u>bensool, bensiin, pii- ritus, petroleum.</u>
gaasi kuju- lised	looduse gaas	<u>generator gaas, kõrge- anju gaas, segagaas, wesigaas, walgustusgaas, atsetüleen.</u>

Kindlate kütteainete keskmine koosseis ja omadused on alljärgnevas tabelis kokkuvõetud.

Kindlate kütteainete koosseis ja omadused.

	Orgaanilise ollu- se koosseis			Koks %	Dispo- nibel vesinik %	Kütte- wõime, kaloo- riatt
	C %	H %	O+N %			
1) Puu	50,5	6,2	43,3	25	0,9	4350
2) Turwas	60	6	34	35	2,0	5450
3) Põlewkiwi	71,5	8,2	21,3	—	5,5	8600
4) Pruunsüsi	70	5,5	24,5	45	2,7	6500
5) Kiwisüsi						
a) liiwasüsi	77,5	5,5	17	55	3,6	7350
b) gaasisüsi	82,5	5,3	12	68	3,8	7700
c) sepasüsi	86,5	5,0	8,5	68	3,8	8000
d) koksisüsi	89,5	4,5	6	78	4,0	8400
e) antratsiit	94	2,0	4	92	1,8	8150

Päale C, H, O ja N sisaldawad looduslikud kütte-  
ained veel kõrwalaineid, milledest tähtsamad: wesi,

tuhk ja wäawel. Niiskus wõib kõikuda laiades piirides ja mõnigi kütteaine saab tarwitusele wõetud ainult peale kuiwatamist (turwas). Niiskus määratakse kindlaks kaheastmelise kuiwatamisega.

Suurem hulk kuiwatakse näit. 1 kg toa soojuse käes wõi 2 päewa; sel wiisil saadakse õhukuiw kütteaine; peale selle õhukuiwa kütteaine kuiwatamisega 100° juures kuni püsiwa kaaluniwalmistakse weewaba kütteaine.

Tuhk määratakse keskmise proowi kuumutamisel kuni püsiwa kaaluni. Kütteinetes suure tuha rohkusega (põlewkiwi) see lihtne metood ei anna tagajärgi, sest kuumutamisel lendawad peale põlemisprodukte weel süsihapu gaas (põlewkiwis sisaldub märksal hulgal süsihapu lupja), wäawelhapendid ja lehelised ära; teiselt poolt muutub kiwis leiduw kahewäärilise raua hapend kolmewäärilise raua hapendiks ja annab wastawa tuha kaalu juurdekaswu. Sellepärast jaguneb tuha määramine põlewkiwis kahte ossa:

- 1) määratakse kindlaks, kuumutamisel kõrge temperatuuri juures, hapendite hulk,
- 2) eraldi proowis määratakse süsihappe rohkus.

Mõlemate summa on tuha koguhulk. Sarnane tuha määramine on ainult ligikaudne.

Wäawel on kütteaines olemas mitmel kujul: osa temast on seotud orgaanilise ollusega, osa on püriidina

ja osa wääwelhapu sooladena. Põletamisel lendab õhku üks osa wääwelt, teine osa jääb tuha sekka. Katla küttemisel annab ennast tunda lendu wääwel; tekiwad  $SO_2$  ja  $SO_3$ , mis paraja temperatuuri juures (kõige rohkem alla  $100^\circ$ ) metallisi hääwitawad. Lendu wääwel nimetakse sellepärast ka kahjulikuks wääwliks. On aga küsitaw, kas see nimetus "kahjulik" on õigustatud; sepašoes näituseks eraldub lendaw wääwel õhku kõrge kuumuse juures, kuna mitte lendaw metalli peale mõjuda võib.

Harilikult määratakse üldwääwel ja lendu wääwel eraldi. Üldwääwli määramisel Eschka järele kuumutakse 1 g sütt segatult 1g-ga  $MgO + 0,5g Na_2CO_3$ , siis lahustatakse broomi sisaldawas lahjendatud soolhapes ja sadestatakse tekkinud wääwelhape kloorbariumiga.

Lendu wääwel määratakse orgaanilise põletamise juures ja tekkinud wääwlihapugaas (ja  $SO_3$ ) juhatakse wesi-niku üle hapendi lahusse; peale põletamise lõpu sadestatakse tekkinud wääwelhape baariumklooriidiga. Kirjeldatud meetodid wääwli määramiseks šoes ei ole siis tarwitawad, kui kiwisüsi haruldaselt palju wääwelt sisaldab; siis võib wääwli määramist näit. kombineerida põlemiswõime määramisega Berthelot pommis.

Teisa kõrwalaineid kütteainetes harilikult ei määrata.

Ülesloetud kütteainetest on Eesti tööstuses ja

majapidamises tarwitusel puu, turwas, põlewkiwi ja vähemal määral kiwisüsi ja koks; nafta on peaaegu täielikult asetatud põlewkiwi õliga, naftasaadused aga (petroleum, bensiin) wõistlewad senini põlewkiwi õli wastawate destillaatidega. Meie põllumajanduse kõrvaltöös- tusprodukt, piiritus ei leia kahjuks omale tööstuses rakendust, olgugi et katseid selle ärakasutamiseks bensiini aseainena tehtakse. Loodusgaas, mis kuni 1912 a. meil Koksääri saarel tuletorni walgustas, on järsku ära kadunud ja teda otsitakse Eestis senini tagajärjeta. Kunstlikkudest gaasidest on tarwitust leidnud Eestis walgustusgaas, generatorgaas, wesigaas ja wäiksel määral atsetüleen.

### 18. Kindlad kütseained.

Puu wärskelt raiutud sisaldab 30 - 45 % wett, 0,5 % tuhka, ja 1,2 - 1,8 % waiku. Lageda taewa all hoitud puu kaotab osa wett, ja õhukuiw puu sisaldab 12 - 20 % wett. Üksikute puu liikide koosseis on üsna sarnane.

	C	H	O	tuhk
kask	48,9 %	6,1 %	44,6 %	0,4 %
kuusk	50,3 "	6,2 "	43,0 "	0,5 "

Samuti on kõikide puu liikide küttevõime weewabas olekus pea ühesugune; alljärgnewalt toome keskmised andmed Eesti küttepuude kohta:

puu liik	mänd	lepp	kuusk	kask	haaw	
weewaba aine küttevõime	4430	4340	4330	4290	4040	kalooriat

Arwud käiwad rikkumata puu kohta, pehastanud puul on märksa wäiksem küttevõime.

Eestis leiduw turwas on keskmise headusega; tema orgaanilise olluse küttevõime on keskmiselt 5000 kalooriat. Wähesel määral leidub wanemat turwast (ligniit) orgaanilise olluse küttevõimega 6150 kalooriat, kuid ligniit tööstuslist ärakasutamist leidnud senini ei ole. Ohukuiwas turwas leidub keskmiselt 2 - 5% mineraal ollu- si. Loomulik turwas on õige weerikas, 85 - 90 %; tema kuiwatamine õhu käes nõuab mitu kuud, kunstlik kuiwa- tamine ei tasu ennast ära. Wabastamine weest teisel teel (koaguleerimine, elektrosmoos, pressimine) on senini katse a.jajärgus. Turwas põletatakse pätsidena ehk pul- brina (Rootsi); turwa wäawlisalisaldus on üsna wäike, kesk- miselt 0,2 %.

Põlewkiwi on tekkinud mikroorganismidest, ja leidub Eestis erikihis (Kukruse kiht, keskmise paksu- sega üle 2 m); siin põlewkiwi kihid wahetuwad paekiwi kihtidega. Põlewkiwi on mitügil kolm sorti, millede oma-

dused alljärgnevas tabelis näidatud.

Koosseis	I sort	II sort	III sort
niiskuse %:	13 - 18	15 - 20	15 - 25
tuhk %:	37 - 43	39 - 47	42 - 51
bitumeeni %:	38 - 44	31 - 39	28 - 34

Põlevkiwi on ikka väga tuharikas, värskest kaevanduse lademetest väljavõetud moodustab ta pehmeid tükki, kuid peale mitmeaastast õhu käes hoidmist muutub ta pulbriks. Koosseis kõigub kitsastes piirides. Näituseks weevaba põlevkiwi Kohtla kihist E:

Ained	H <sub>2</sub> O	C	H	O	N	S	CO <sub>2</sub>
protsentides	2,5	37,4	4,4	9,6	0,1	0,8	9,4

Ained	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> OK <sub>2</sub> O
protsentides	14,7	1,8	4,1	12,6	0,7	2,3

Lenduwa orgaanilise olluse (bitumeeni) koosseis on antud lnr 86 tabelis kus kokkuvõetud kütteainete koosseis. Vähegi sisaldus on kiwis leiduwa püriidi tõttu mõnes kihis kõrgem, kui siin näidatud, ja ulatab 1,4 %-ni. Põlevkiwi võetakse välja peamiselt Riigi tööstuse poolt Kohtla ja eratööstuste poolt Wanamõisas, Püssis ja teistes kohtades. Nende toodang oli 1923 a.: Riikline põlevkiwi tööstus 206000 t, Eesti

kiwiõli (Püssi) 6600 t, Wanamõisa ? t. Põlewkiwi ka-  
tab üle 2000 qkm idapoolse Tapa meridiaani. Seni on  
põlewkiwi leidnud tarvitust kütteinena raudteel (kõik  
wedurid Eestis köetakse põlewkiwiga), tööstuses kiwi-  
sõe asemel, tsemendi valmistamiseks, lubja põletamiseks  
ja põlewkiwi õli utmiseks. Asfaldi valmistamine põlew-  
kiwist näib veel katse järgus olemas. Kütteinena põ-  
letakse põlewkiwi tükkidena, pulbri näol tarvitatakse  
harva.

Kiwiõõe tähtsamad liigid on eelpool tabelis üle-  
loetud<sup>x)</sup> Eestis kiwisütt ei leidu, kõik tööstustes tar-  
witataw kiwisüsi weetakse wäljamaalt (Inglismaa, Sak-  
samaa, Poola) sisse. Kiwisüsi on wäawlikkam kui tur-  
was ja saab eriti wäawli sisalduse peale proowitud.  
Wäawel püriidi näol ei ole ainult kahjulik kiwiõõe põ-  
lemisel, waid ka hoidmisel (isesüttiwus). Kiwiõõe koos-  
seis kõigub laiades piirides, mitte ainult mitmetes leiu-  
kohtades, waid ka sellesamas mäetööstuses. Kiwiõõe ost-  
misel on õige tähtis asjatundlikult keskmist proowi  
wõtta. Näitusena kiwiõõe koosseisust järgneb tabel.

---

x) Seal antud klassifikatsioon Gruneri järele. Tähtis  
on kiwiõõe liikide jaotus Blacheri järele, kus arwesse  
wõetakse lenduwate ainete hulk ja süsiwesinikkude roh-  
kus neis.

	Kütte wõime,	wesi	tuhk	C	H	O+N	S	lendirwad ained
		%	%	%	%	%	%	%
Townley gaassüsi	7840	1,1	5,2	82,8	4,8	3,2	0,7	28,7
Cardiff aurüsüsi	6840	3,0	14,0	72,0	4,2	5,5	0,7	17,0
New Valley Antra-tsiit	7720	4,4	3,6	84,8	3,6	2,9	0,7	8,4
Dombrowo kiwisüsi	6050	12,0	4,7	65,0	4,0	12,0	2,3	32,0
Ruuri gaassüsi	7430	1,6	7,6	77,1	5,0	7,5	1,2	27,5

### 19. Wedelad kütteained.

Nafta, petroleum, bensiin. Nafta on süsiwesiniku-  
de segu, kas metaani reast (Pensylvanias nafta) enk naf-  
teeni reast (Kaukaasia nafta). Wähesel määral leiduwad  
naftas olefiinid, bensool, lämmastik- ja wäewliühendu-  
sed; kõige vähem wäewelt sisaldab Kaukaasia nafta-0,1 %, ja kõige rohkem Kalifornia nafta - 3 %. Kõrwalejättes  
nafta tekkimise, tema leiukohad ja tehnoloogiat piirdu-  
me siin mõme andmega nafta omaduste kohta. Keskmise  
nafta koosseis on 84 % C, 12 % H ja 1 % O; erikaal kõi-  
gub piirides 0,80 - 0,96, leekpunkt 15° ja 120° wahel.  
Põlemiswõime, keskmiselt, 10500. Nafta leiab tarwitust  
kütteainena diiseliites ja mõnes plahwatusmootoris, kus  
tema äga wiimasel ajal meil Eestis põlewkiwi õli poolt  
ikka rohkem wäljasurutakse. Rohkem tarwitust leiawad  
naftast walmistatawad ained - bensiin ja petroleum, mis



enesest kujutavad vastava keemispunktiga nafta destillaate. Bensiin on kergem lenduv osa naftast ( $40^{\circ} - 150^{\circ}$ ); tema keskmine koosseis on 85,1 % C + 14,9 % H; erikaal kõigub mitmedes turusortides 0,65 ja 0,75 vahel; bensiini leekpunkt on õige madal ja parematel (kergematel) bensiinidel umbes  $- 60^{\circ}$ . Bensiini aurud ohuga segus plahvatawad, kui segu 2,4 - 4,9 mahuprotsenti bensiini sisaldab.

Petroleumiks nimetakse  $150 - 300^{\circ}$  üledestilleeriw osa naftast, mis keskmiselt 0,03 % wäawelt sisaldab. Wäawli sisaldus oleneb toores naftas leiduwast wäawlist ja on näit. Kalifornia naftadest valmistatud petroleumis märksa kõrgem, kuni 0,3 %. Petroleumi küttewõime keskmiselt 10500 kalooriat, koosseis 85,3 % C, 14,1 % H ja 0,6 % O + N. Leekpunkt mitte alla  $21^{\circ}$ , eriotstarbeteks  $35^{\circ}$  ja kõrgem. Kõige laiemat tarwitust leiab petroleum majapidamises, walgustus ja osalt kütteinena; tarwitakse teda peamislikult petroleummoolorites.

Põlewkiwiõli on madala temperatuuri utmise saadus ("algtõrw") põlewkiwist, mis omaette, ehk ümbertöötult tööstuses tarwitust leiab. Oliajamisel põlewkiwist muutub üle  $250^{\circ}$  tema bitumeem õliks ja aurab wälja suuremalt jaolt  $400^{\circ} - 480^{\circ}$  vahel. Tööstuses tarwitakse kaks utmiswiisi: shaht-ahjudes ja retortides, wõi õigemalt sisemise ehk wälise küttega utmiswiisid. Tekkinud

õliaurude kõrvaldamine kuumast destillatsiooniruumist kiirendakse põlemisgaaside (Kohtla, Eesti kiwiõli) ehk weeauru (Wanamõisa) wooluga. Praegu on Eestis 3 õliwabrikut: Riikline wabrik Kohtlas, päewase produktsiooniga 40 tonni tooresõli, milleks 200 tonni põlewkiwi tarwis läheb, ja 2 erawabrikut, Püssis 70 t. ja Wanamõisas 50 t. põlewkiwi ümbertöötamiseks päewas.

Põlewkiwi tooresõli on paks pruunikas-must wedelik, erikaal 0,93 - 1,10, leekpunkt  $65^{\circ}$  -  $120^{\circ}$ , sitkus  $50^{\circ}$  juures 4,5 - 6, hangumistemperatuur -  $5^{\circ}$ , küttevõime 9000 kalooriate ümber, keemiline koosseis: 82 % C, 10 % H, 7 % O, 0,8 % S, 0,2 % N. Tooresõli põletatakse küttekolletes tolmutajate ("fersunkad") abil, ja plahwatusjõumootorites süütamisel hõõgkuuli läbi; peale laewakatalde tarwitakse põlewkiwi õli veel diiselites.

Põlewkiwi õli destilleerimisel walmistakse mootornaftat (tarvitamiseks diiselites ja igasugustes mootorites), bensiini, määrdeõli (wastupidaw külma käes) ja pigi.

Wiimasel ajal on põlewkiwi asfalt uulitsate tegemiseks, samuti ka kresolat (fenoolid tooresõlist) raudteel liiprite imbutamiseks (Walga imbutamistehas) tarwitusele wõetud.

Kergede õlide walmistamine põlewkiwi õlist, nõnda

nimetatud krack protsessi järele on tehniliselt küll läbi viidud, kuid senini ei ole tööstuslikes mõõdus veel realiseeritud.

Piiritus - etüülalkohol  $C_2H_5OH$  - valmistakse tärgli-ehk suhkrurikkadest ainetest, näit. kartulist. Soojuse ja rõhumise abil muudetud pudrutaoline kartuli mass saab diastaasi mõjul suhkrustatud, pärmil juurelisamisel suhkur piirituseks muudetud ja destilleerimise teel alkohol kontsentreeritud. Tehnilisteks otstarbeteks saab piiritus denatureeritud juurdelisades puupiiritust atsetooni, kettsoonõlisi, bensiini jne. Puhta piirituse koosseis on

C	H	O
52,12 %	13,14 %	34,74%

Hapniku rikkusega on seletatav ka madal küttevõime, 6360 kalooriat; wee juurdelisamisel langeb küttevõime märksa, näit:

	100 %	95 %	90 %	85 %	80 %	alkoholi
küttevõime:	6360	6010	5660	5320	4970	kalooriat

Piirituse keemistemperatuur on  $78^{\circ}C$ ,  $95^{\circ}$  denatureeritud piirituse leekpunkt on  $+12^{\circ}$ . Piiritus tarvitatakse peaaegu ainult segatult teiste vedelate kütteinainetega, peamiselt bensooli ja tétraliiniga. Pii-

rituse põletamisel mootorites soovitakse suurt õhuühel- hulga tarvitada; vastasel korral võivad kõrvalproduktid (aldehüüd ja äädikahape) tekkida, mis roostet sünnitavad. Bensooli juurdelisamisel on see hädaoht tema taandawa iseloomu tõttu märksa ärahoitud.

## 20. Gaasilised kütteained.

Walgustusgaas on koksi kõrval peaproduct kiwisöe kuiwa destilleerimisel koksahjudes ehk walgustusgaasi retortides; ligemalt peatame siinjuures retortide juures, kuna Eestis koksahjud puuduvad.

Tarwismine w gaasitööstuses kiwisüsi kulub n.n. gaasisöe liiki ja 100 kg sütt annab 31 - 33 cbm gaasi. Järele jääb kokkusulanud koksi kuni 70 kg. Mitmete retortide võimalikudest asetusest on kasulikud püstretortid (rohkem gaasi, parem koks, väiksem teenimine). Kõrwaltööstusena on gaasiwabrikus tõrwa ja amoniaki saamine. Retortide kütmiseks kulub umbes 15 kg koksi 100 kg söe gaasistamiseks. Kuiwa ja märja puhastamise läbi püütakse peale tõrwa ja  $NH_3$  weel gaasis leiduwad  $CO_2$ ,  $H_2S$ , CO ja teised kõrwalained. Walgustusgaasil segatakse harilikult väikesel määral wesigaasi juurde.

Generatorgaas ja wesigaas. Generatoris süsi-alguses gaasistakse ja selleks, et ülejäänud koksi gaasiliseks kütteaineks muuta, tarwitatakse waba hapniku (õh-

ku) ehk seotud (vesi,  $\text{CO}_2$ ). Mida kõrgem temperatuur ja mida kauem gaasid sõega kokku puutuvad, seda rohkem ja täielikum sünnib CO tekkimine ( $1300^\circ$  juures silmapilkselt). Vesi aur osastakse hõõgawa koksi läbi hapnikuks ja wesinikuks ja sellepärast sisaldab generatorgaas peale CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$  weel mõne % H. Näit. üks hea generatorgaas turvast sisaldas 5,7 %  $\text{CO}_2$ , 30,6 % CO, 5,1 %  $\text{CH}_4$ , 6,1 % H, 52,5 % N. Ühest korralikust generatorist nõutakse, et tema võimalikult suure põletisaine hulka tunnis lqm resti kohta gaasitaks, gaasi võimalikult kõrge CO sisaldusega ja kergesti sulawa ehk generatori kuumuses mitte sulawa shlaki annaks. Tuhk kõrwaldakse liikuwa (tiirlewa) resti abil ehk lastakse shlakina wälja. Harilikult on 1 cbm generatorgaasi küttewõime 1000 - 1100 kal.

Wesigaasi walmistamine seisab koos kahest operatsioonist: sõe hõõgusele wiimisest (1,5 min.) ja gaasi walmistamisest (6 min.). Koksi põlemisel läbipuhutud õhu waral tekib soojus, mis õige ruttu kogu kütteaine hulga kõrge kuumusele wiib; põlemisgaasid sisaldawad üle 13 %  $\text{CO}_2$  ja lastakse korstnasse. Peale soojaks kütmist sulutakse läbipääs korstnasse ja juhitakse põlemisruumi ülevalt weeaur: tekib CO ja  $\text{H}_2$  ning generator jahutub ära ja nõuab uut soojaks kütmist. Wesigaasi küttewõime on 2500 - 2700 kal. Keskmise wesigaasi koosseis:

40 % CO, 4 % CO<sub>2</sub>, 50 % H<sub>2</sub>, 6 % N<sub>2</sub>. Wesigaas tarwitakse peasjalikult shweisimiseks, klaasi tööstuses ja walgustus gaasi asemel (Ameerikas).

Segagaas tekib generatorites, kui õhul weeauru juurde lisada ehk kui niisket kütteained generatoris ära põletada (imew gaas). Koosseisu ja küttevõime poolest seisab tema generatorgaasi ja wesigaasi wahel.

Atsetüleen valmistatakse mõjudes weega kaltsiumkarbiidi peale:  $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ . See reaktsioon on eksotermiline. Atsetüleen on atsetoonis kergesti lahustuv ja näit. 1 l atsetooni 12 atm. surwe all lahustab 360 l atsetüleeni. Sellel näol atsetüleen on müügil teras pudelites, mis täidetud pooriliste kehadega. Kui tahetakse atsetüleeni valmistada karbiidist, siis tarwitatakse wastawad apparaadid, milledes 1) kaltsiumkarbiid suure wee hulga sisse langeb ehk 2) wee tõusmisel karbiidiga kokku puutub ja liig kiire atsetüleeni tekkimisel temalt jälle tagasi surutakse. Wilmastes apparaatides tekkiw soojus wõib hädaohtlikuks minna, kui temperatuur üle 425° (atsetüleeni isesüütamise temperatuur) tõuseb.

Atsetüleeni küttevõime on 12360 kalooriat; wasega ja haruldasemate metallidega annab õige kergesti plahwatawad ühendused. Atsetüleen leiab tarwitust autogeenilise keetmise ja lõikamise juures.

## 21. Küteainete walik.

Küteainete walikul teatud tööstusele on makswad majanduslised ja tehnilised tingimised. Soowitaw on, et küteaine oleks wõimalikult odaw ja kättesaadaw, kuidigauks küteaine ei rahulda tööstuse tehnilisi tingimisi.

Kõige kasulikum näib gaasiline küteaine. Tema tarwitamisel on järgmised paremused:

- a) põlemine ilma tuhata
- b) wäiksem õhu ülihulk ja korstnagaaside hulk
- c) laialt warieeriw põlemise intensiivsus
- d) põlemise tsentraliseerimine
- e) leegi temperatuuri tõstmine gaasi eelsoendamisega
- f) kerge ja kiire temperatuuri reguleerimine.

Gaasiline küteaine nõuab aga iseäranist apparatuuri (generatorid, retordid) gaasi walmistamiseks, sest transporteerida gaase on liiga kulukas, wäljaarwatud mõned erijuhused (atsetüleen). Waatamata eriapparatuuri wadjaduse peale on siiski gaasiline küteaine tööstuses laialtarwitusel ja näit. weoautomobiilid warustakse wiimasel ajal generatoriga, selleks et auto mootor saaks kütta jõugaasiga. Kasulikuks peetakse jõugaasi tarwitamine, mis on alawäärtuslisest küteainest (saepuru, turbajätised jne.) walmistatud, n.n. imew gaasi mooto-

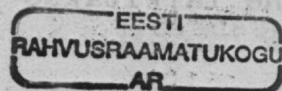
rites, s.o. mootorites, mis otse ühendatud generatoriga; neis sisseseadetes tuleb eriapparaadid tõrwa aurude kõrvaldamiseks ette näha. Kõigis tööstusharudes, mis intensiivsed kuumust nõuavad (malmi sulatamine ärtsist ja tema muutmine teraseks, klaasi tööstus ja osalt ka keraamilised tööstused), tarvitakse gaasiküttet (sega-gaasi), osalt gaasi ja põlemisõhu eelsoendamisega.

Wedel kütteaine on harilikult kallim kui gaasiline, kuid tema transporteerimine ja hoidmine on kergem läbiwii kui gaasilise juures. Teiselt poolt on tema kütewõime, iseäranis mahu peale arwatud, märksa kõrgem kui kõwal küteainel; küteaine süütab kergesti ja laseb ennast tolmutajate (inshektorite) abil tihedalt põlemisõhuga segada (wäike õhu ülihulk, aga suurem kui gaasil); ka teised gaasilise küteaine paremused on enam-wähem siin makswad, kuid täielise põlemise teostamine on raskem (inshektorite ehk silindrite umistamine). Wedel küteaine leiab laialt tarwitust liikumis abinõude käi-manemiseks (laewad, autod, lennukid). Eriti kergete õlide tarwitamine on kaswanud (automobiilid) ja nõudmiste rahuldamiseks eritööstused (krackimine, Bergius, F. Fischer) kerkinud.

Kõikide oma puuduste peale waatamata katab kõwa küteaine senini üle 90 % kogu kütetarwidusest. Kõwa küteaine tarwitakse shahtahjudes, kus hõõgaw süsi taan-



duwa tegurina osutub (kõrge ahi), ja osalt leekahjudes, kus põlemisgaasid otse soendawate ainetega kokkupuutuwad (telliskiwi -, sooda-, puddelahjud). Küteaine lenduw tolm (tuhk) ja kõrwalained (wääwel) sattuwad nende ahjudes ümbertöötawate ainete sekka; sellepärast peab olema neis ahjudes tarwitataw küteaine tuha- ja wääwliwaene (puustisi ehk turwakoks). Sagedamini saawad ained kaudselt soendatud, see on mõne nõu abil otsekohese kokkupuutumise eest leegiga kaitstud (muffelahjud); nende sekka kuuluwad igasugused mufflid, pannid, retoridid, katlad, -ka aurukatel. Aurukatlate kütmiseks wõib igasugust küteainet tarwitada, kuid selle juures tuleb silmaspidada, et lenduw wääwel pikapeale katla seinu häwitab; ei ole ükskõikne, kas küteaine kergesti suitsu (tahma) annab wõi mitte. Tahmaga läheb osa kütewõimest kaduma; tahm katab osa kütepinda ja vähendab tema soojusjuhtiwust. Tahm annab mustuse ja on juba sellepärast õige tülikas, iseäranis siis, kui korstnad mitte õige kõrged ei ole. Sellepärast näit. walitakse auru katlate kütmiseks laewadel kiwisüsi lühikese leegiga. Sellega ei ole õeldud, et teist küteainet aurukatlate all põletada ei wõi; walitakse küteaine, mis kättesaadaw ja -peasi küllalt odaw on.



3-97-171

EESTI RAHVUSRAAMATUKOGU



AR3-97-00171