

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Kone- ja laiteautomaatio

Tutkintotyö

Pauli Blomberg

KATTILALAITOKSEN POLTTOTEKNIIKAT JA ILMAJÄRJESTELMÄT

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2005

Matti Lähteenmäki
Insinööritoimisto Comatec Oy, valvojana tj. Aulis Asikainen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Kone- ja laiteautomaatio

Pauli Blomberg

Tutkintotyö

Työnvalvoja

Työn teettäjä

Kattilalaitoksen polttotekniikat ja ilmajärjestelmät

98 sivua + 6 liitesivua

Yliopettaja Matti Lähteenmäki

Insinööritoimisto Comatec Oy, valvojana toimitusjohtaja Aulis Asikainen

Toukokuu 2005

Hakusanat

kattilalaitokset, polttotekniikka, ilmajärjestelmät

TIIVISTELMÄ

Tutkintotyössä on tarkasteltu kattilalaitosten polttotekniikoita ja ilmajärjestelmiä. Tarkastelussa keskitytään enimmäkseen polttoaineteholtaan 5 - 50 MW laitoksiin, jotka sisältävät myös alle 5 MW kattiloita. Tässä tutkintotyössä 50 - 50 MW laitoksia kutsutaan pieniksi polttolaitoksiksi. Tässä kokoluokassa erilaisia kattilatyyppejä ovat tulitorvi/tuliputkikattila ja vesiputkikattila. Näitä kattiloita käytetään pienen kokoluokan voimalaitoksissa, joita ovat perinteinen höyryvoimalaitos, kaasuturbiini-, kaasumoottori- ja dieselmoottorivoimalaitos.

Tutkintotyössä käydään läpi kattilalaitosten polttotekniikoista turpeen ja puun polttotekniikat, joita ovat arinapoltto, kaasupoltto ja leijupoltto. Näistä tarkastellaan kattiloiden rakennetta, ominaisuuksia ja päästöjä. Lisäksi käsitellään hiukkasten poistotekniikoita ja laitoksen ajotavan ja käytönvalvonnan vaikutusta savukaasupäästöihin.

Lopuksi tutkintotyössä esitetään ilmakehävien suunnittelussa huomioon otettavia asioita. Näitä ovat ilmakehävien materiaali, muoto, kannatukset ja jäykisteet sekä eristykset. Lisäksi käsitellään ilmakehävien kuuluvia osia: tilavuusvirran mittarit, palkeet, kulkuluukut, sulku- ja säätöpellit.

TAMPERE POLYTECHNIC

Mechanical and production engineering

Machine automation

Pauli Blomberg

Bachelor Thesis

Supervisor

Commissioned by

May 2005

Keywords

Boiler plants burning techniques and air systems.

98 pages + 6 appendices

Seniorlecturer Matti Lähteenmäki

Insinööritoimisto Comatec Oy, Aulis Asikainen, chief executive

boiler plants, burning techniques, air systems

ABSTRACT

In this thesis have been studied the boiler plants burning techniques and burning air systems. In this thesis has been concentrated mostly on small boilers witch have 5 - 50 MW fuel power. In this range different kind of boiler types are fire tube boiler and water tube boiler. These boilers are used in small class power plants witch are traditional steam power plant, gas turbine, gas engine, diesel engine power plants.

In this thesis are examined boiler plants burning techniques to peat and wood. These are grate-fired, gasification burning and fluidized bed. And in this thesis are looked over those boilers constructions, qualities and emissions. In addition to techniques for the reduction of particle emissions and effectives of monitoring of the process to combustion gas are handled in this thesis.

Finally are shown the planning and parts of burning air systems.

ALKUSANAT

Tutkintotyö on tehty Comatec Oy:lle. Tutkintotyön tarkoituksena on tarkastella kattilalaitosten polttoaine tekniikoita ja ilmajärjestelmiä.

Tahdon kiittää Comatec Oy:tä mahdollisuudesta tehdä tutkintotyöni kattilaosastolle. Erityisesti tahdon kiittää Arvo Niemeä neuvoista ja Aulis Asikaista kärsivällisyydestä ja mahdollisuudesta tämän työn tekemiseen. Tahdon myös kiittää Timo Haapalaa piirustusteknisestä palautteesta ja arvokkaista neuvoista.

Lisäksi tahdon kiittää vanhempiani tuesta ja kannustuksesta, sekä kiittää Eero Rantosta teknisistä ja rakenteellisista tiedoista ja taidoista. Erityisesti tahdon kiittää avopuolisoani Saria, kaikesta tuesta opiskeluni aikana.

Tampereella 15.5.2005

Pauli Blomberg
Insinöörinkatu 43 A 53
33720 Tampere

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
1 JOHDANTO	10
2 INSINÖÖRITOIMISTO COMATEC Oy	12
2.1 Historia ja liikeidea	12
2.2 Comatec Oy nykypäivänä	12
2.3 Comatecin referenssejä	13
2.4 Toimintapolitiikka	17
2.5 Liikevaihto ja henkilöstö	18
3 ENERGIANKULUTUS SUOMESSA	19
3.1 Energian kokonaiskulutus	19
3.2 Polttoaineen kulutus energiantuotantolaitoksissa	21
3.3 Nykyiset savukaasupäästöt	22
3.3.1 Energiantuotannon ja -kulutuksen hiilidioksidipäästöt	22
3.3.2 Energiantuotannon savukaasupäästöt	24
4 POLTTOLAITOSTYYPIT	24
4.1 Höyryvoimalaitos	24
4.1.1 Teollisuusvoimalaitos	26
4.1.2 Kaukolämpövoimalaitos	27
4.1.2 Kaasuturbiini/kaasumoottori/ dieselmoottorivoimalaitos	28
4.2 Lämpökeskukset ja höyrykeskukset	29
4.3 Energiatehokkuus	29
5 KATTILATYYPIT	30
5.1 Tulitorvi/tuliputkikattilat	30
5.2 Vesiputkikattila	31
6 KIINTEÄT POLTTOAINEET	32
6.1 Ominaisuudet	32
6.2 Kosteus	33
6.3 Tuhka	33
6.4 Haihtuvat aineet/kiinteä hiili	34
6.5 Lämpöarvo	34
6.6 Alkuainekoostumus	34
6.7 Kemiallinen rakenne	35
6.8 Ympäristötekniset ominaisuudet	36
6.9 Kierrätyspolttoaineet	36
7.1 Arinapoltto	39
7.1.1 Polttoaineen syöttö	40
7.1.2 Arina	40
7.1.3 Palamisilman syöttö	42
7.1.4 Tulipesä	42
7.1.5 Tuhkanpoisto	43
7.1.6 Päästöt ja niiden hallinta	43
7.2 Leijupoltto	45
7.2.1 Leijupedin ominaisuudet	46
7.2.2 Leijupedit	47

7.2.3 Leijukattilat.....	48
7.2.4 Päästöt ja niiden hallinta.....	50
7.3 Kaasutuspoltto.....	52
7.3.1 Kiinteäkerroskaasutus.....	52
7.3.2 Savukaasupäästöt.....	54
7.3.3 Leijukerroskaasutus.....	54
8 HIUKKASTEN POISTO.....	55
8.1 Sähkösuodatin.....	55
8.1.1 Toimintaperiaate.....	56
8.1.2 Erotuskykyyn vaikuttavia tekijöitä.....	56
8.2 Kuitusuodatin.....	58
8.3 Savukaasupesuri.....	60
8.4 Mekaaniset erottimet.....	62
8.5 Käyttö ja soveltamismahdollisuudet Suomessa.....	64
9 LAITOKSEN AJOTAVAN JA KÄYTÖNVALVONNAN VAIKUTUS SAVUKAASUPÄÄSTÖIHIN.....	65
9.1 Liekin valvonta.....	65
9.2 Savukaasuanalyysit.....	66
9.3 Savukaasun pölypitoisuus.....	66
9.4 Kiinteän polttoaineen poltto.....	67
10 ILMAKANAVIEN SUUNNITTELU \13\.....	68
10.1 VIRTAAUSTEKNINEN MITOITUS.....	68
10.1.1 Mitoitusperusteet ja laskentakaavat.....	68
10.1.2 Virtausnopeudet ilma- ja savukanavissa.....	69
10.1.3 Kanaviston painehäviöt.....	70
10.1.4 Muotoilu.....	70
10.1.5 Kiertokaasun sekoittaminen ilmakanavaan.....	72
10.2. KANAVISTON LAYOUT SUUNNITTELU.....	74
10.2.1 Kulkukorkeudet ja -leveydet.....	74
10.2.2 Tilavaraukset, aukkotiedot.....	74
10.2.3 Kuormitukset.....	74
10.2.4 Komponenttien sijoitukset, huolto ja luoksepäästävyys.....	75
10.3 KANNATUKSET JA LÄMPÖLIIKKEIDEN KOMPENSOINTI.....	75
10.3.1 Alta tuetut vaakakanavat.....	76
10.3.2 Tankokannatetut kanavat.....	77
10.3.3 Pystysuorat kanavat.....	79
10.3.4 Lämpöliikkeen ohjaus.....	80
10.4. LUJUUSTEKNINEN MITOITTAMINEN.....	80
10.4.1 Materiaalit.....	80
10.4.2 Jäykistys.....	81
10.4.3 Jäykisteiden laskenta, suorakaidekanava.....	81
10.4.4 Jäykistykseen laskenta, pyöreä kanava.....	83
10.5. TILAVUUSVIRRAN MITTARIT.....	84
10.5.1 Aerofoil.....	84
10.5.2 Venturi.....	87
10.6 ILMA- JA SAVUKANAVIEN KOMPONENTIT.....	90
10.6.1 Palkeet.....	90
10.6.2 Sulku- ja säätöpellit.....	93
10.6.3 Kulkuluukut.....	93
10.7 VALMISTUS JA ASENNUS.....	94

10.8 ERISTYKSET	95
10.9 KANAVISTA TEHTÄVÄT PIIRUSTUKSET	95
11 YHTEENVETO	96
LÄHDELUETTELO	98

LIITTEET

- 1 Hiukkaspäästöohjeavot
2. Ominaisarvokertoimet ja hyötysuhteet
3. Kokoonpanokuva ilmakehän kanavasta

MERKINNÄT JA LYHENTEET

13CrMo4-5	kuumaluja teräs
<i>A</i>	pinta-ala
<i>A_r</i>	aukkosuhde
<i>a</i>	jäykisteen pituus
Al	alumiini
<i>b</i>	levykentän lyhyempi sivu
bar	baari, paineen yksikkö
<i>c</i>	tankojen välinen etäisyys
C	hiili
<i>C</i>	aerofilin siiven korkeus
<i>C_l</i>	levykentän mitoista riippuva kerroin
Ca	kalsium
CaCO ₃	kalkkikivi
CaCO ₃ ·MgCO ₃	dolomiitti
Ca(OH) ₂	kalsiumhydroksidi
CO	hiilimonoksidi
CO ₂	hiilidioksidi
<i>d</i>	kanavan halkaisija (sisämitta)
<i>D</i>	kanavan halkaisija (ulkomitta)
<i>D_y</i>	kanavan ko
<i>F_c</i>	kapasiteettikerroin
Fe	rauta
<i>G</i>	massavirta
<i>H</i>	vety
<i>H</i>	kanavan korkeus
<i>k</i>	palkeiden välinen etäisyys
K	kalium
<i>K</i>	kanavan leveys
<i>L</i>	levyn tai siiven pituus
<i>l</i>	jäykisteiden väli
<i>m</i>	palkeen kulmamuutoksesta aiheutuva liike
<i>ṁ</i>	massavirta
Mg	magnesium
MJ	megajoule
MW	megawatti
<i>n</i>	varmuuskerroin
nm ³	normikuutio
N	typpi
Na	natrium
NO _x	typen oksidit
O	happi
O ₂	happi
<i>p</i>	paine
Δp	paine-ero
<i>p_a</i>	ilmanpaine
Pa	paskali, paineen yksikkö
P265GH	painekestävä teräs

POK	polttoöljy
POR	raskaspolttoöljy
Q	tilavuusvirta
Q_n	normitilavuusvirta
r_1	kanavan ohjauslevyn säde
r_2	kanavan ohjauslevyn säde
r_s	kanavan sisäsäde
r_u	kanavan ulkosäde
REF	kierrätyspolttoaine
s	palkeen pituus
Δs	palkeen pituuden muutos
S	rikki
S235JRG2	hiiliteräs
SFS	Suomen Standardisointiliitto
Si	pii
SO ₂	rikkidioksidi
SS2343	ruostumaton teräs
t	kanavalevyn paksuus
T	lämpötila
Ti	kromi
TJ	tera joule
TWh	tera watti tunti
UV	ultravioletti
v	virtausnopeus
V	ominaistilavuus
\dot{V}	tilavuusvirta
\dot{V}_n	tilavuusvirta normikuutiona
W	jäykisteen taivutusvastus
x	lukumäärä
X	siiven paksuus
ρ	tiheys
ρ_n	normitiheys
σ	laskentalujuus mitoituslämpötilassa
σ_j	jäykisteen jännitys
σ_L	levyentän jännitys
σ_{ver}	vertailujännitys

1 JOHDANTO

Alle 50 MW kattila- ja voimalaitoksiin sovelletaan ympäristönsuojelulainsäädäntöä. Ympäristönsuojelulain mukaan ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan toimintaan on oltava lupa. Lupavelvollisista toiminnoista säädetään tarkemmin ympäristönsuojeluasetuksessa, joka koskee öljyä, kivihiltä, puuta, turvetta, kaasua tai muuta poltettavaa ainetta käyttävää voimalaitosta, kattilalaitosta ja muuta laitosta, jonka suurin polttoaineteho on yli 5 megawattia tai jossa käytettävän polttoaineen energiamäärä on vuodessa vähintään 54 terajoulea. Laitokseen voi kuulua yksi tai useampia kattiloita, joiden lupavelvollisuus määräytyy kattiloiden kokonaispolttoainetehon perusteella, jos ne sijaitsevat samalla laitosalueella. \1\

Ympäristönsuojeluasetuksessa määritellään lupaviranomaisen toimivalta. Sen mukaan kunnan ympäristönsuojeluviranomainen käsittelee kattila- tai voimalaitoksen ympäristöluvan, jos laitoksen kokonaispolttoaineteho on yli 5 MW mutta alle 50 MW. Alueellinen ympäristökeskus käsittelee ympäristöluvan, jos laitoksen polttoaineteho on vähintään 50 MW mutta korkeintaan 300 MW. Näitä suurempien kattila- tai voimalaitosten ympäristöluvat käsittelee ympäristölupavirasto. \1\

Ympäristönsuojeluasetuksessa säädetään olemassa olevien 5 - 50 MW ja yli 50 MW energialaitosten ympäristönsuojelulain mukaisesta pakollisesta lupamenettelystä. Pienille alle 50 MW polttolaitoksille on käytettävissä ainoastaan yksi päästönormi, joka koskee hiukkaspäästöjä. Tämä päätös ei kuitenkaan enää vastaa parhaan käyttökelpoisen tekniikan vaatimuksia. Päästöjä voidaan arvioida myös polttoaineen koostumuksen perusteella. Sovellettavaa lainsäädäntöä löytyy mm. polttoaineen sisältämän rikin määrälle. Näihin polttoaineisiin kuuluvat mm. kivihili, kevyt ja raskas polttoöljy sekä dieselöljy. \1\

Ympäristönsuojelulain eräänä periaatteena on, että pilaantumisen vaaraa aiheuttavassa toiminnassa käytetään parasta käyttökelpoista tekniikkaa. Lisäksi lain mukaan päästöjen ehkäisemistä ja rajoittamista koskevien lupamääräysten tulee perustua parhaaseen käyttökelpoiseen tekniikkaan. Laki velvoittaa myös toiminnanharjoittajaa olemaan tietoinen parhaasta käyttökelpoisesta tekniikasta.

Parhaalla käyttökelpoisella tekniikalla tarkoitetaan mahdollisimman tehokkaita ja kehittyneitä, teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia tuotanto- ja puhdistusmenetelmiä ja toiminnan suunnittelu-, rakentamis-, ylläpito- sekä käyttötapoja, joilla voidaan ehkäistä toiminnan aiheuttama ympäristön pilaantuminen tai tehokkaimmin vähentää sitä. Tekniikka on teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoista silloin, kun se on saatavissa käyttöön yleisesti ja sitä voidaan soveltaa asianomaisella toiminnan alalla kohtuullisin kustannuksin.

Parhaan käyttökelpoisen tekniikan arvioinnissa on otettava huomioon käytettyjen raaka-aineiden luonne ja kulutus. Käytettävien aineiden vaarallisuus ja mahdollisuus käyttää entistä haitattomampia aineita. Mahdollisuus uudelleen käyttää ja hyödyntää tuotannossa käytettyjä aineita ja siinä syntyviä jätteitä. \1\

Huomioon on otettava myös energian käytön tehokkuus ja toiminnan vaikutus ympäristöön. Syntyvien päästöjen luonne, määrä ja vaikutus sekä jätteiden määrän ja haitallisuuden vähentäminen on otettava huomioon. Parhaan käyttökelpoisen tekniikan käyttöönottamiseen liittyvä aika ja toiminnan suunnitellun aloittamisajankohdan merkitys sekä päästöjen ehkäisemisen ja rajoittamisen kustannukset ja hyödyt on otettava huomioon. Huomioon on myös otettava toimintaan liittyvien riskien ja onnettomuuksien ennaltaehkäisy sekä onnettomuuksien seurausten ehkäiseminen. Tekniikan ja luonnontieteellisen tiedon kehitys sekä Euroopan yhteisöjen komission tai kansainvälisten toimielinten julkaisemat tiedot parhaasta käyttökelpoisesta tekniikasta on otettava huomioon. \1\ \X3\

2 INSINÖÖRITOIMISTO COMATEC Oy

2.1 Historia ja liikeidea

Insinööritoimisto Comatec Oy on vuonna 1986 perustettu osakeyhtiö. Yhtiön toimitusjohtaja Aulis Asikainen aloitti vuonna 1985 toiminimellä, josta sittemmin syntyi Comatec Oy.

Liikeideana Comatec Oy:llä on auttaa asiakkaita tekemään hyviä investointi-hyödykkeitä kannattavammin. Comatec Oy tuottaa teknistä suunnittelu- ja konsultointipalvelua sekä teknistä käännöstä asiakkailleen. \2\

2.2 Comatec Oy nykypäivänä

Tällä hetkellä Comatecin omistavat Aulis Asikainen (toimitusjohtaja), Jorma Nordfors (osastopäällikkö, kiskokalusto) ja Petri Leino (aluejohtaja). Toimipaikkoja Comatecilla on Tampereella (pääpaikka), Helsingissä ja Heinolassa (entinen Insinööritoimisto Vemika Oy). Lisäksi Turkuun ja Poriin on perustettu toimipisteet.

Comatecin palveluita ovat konsultointi, projektitehtävät, suunnittelu, dokumentointi, tekniset käännökset (englanti, ruotsi) ja tekninen laskenta. Toimialoina ovat koneenrakennus johon kuuluvat liikkuvat työkoneet ja tuotantolaitteet, kiskokalusto, teollisuusautomaatio, materiaalinkäsittelyjärjestelmät ja kattilalaitokset.

Asiakkaina Comatecin Tampereen toimipisteellä ovat mm. Metso (Minerals, Paper ja Automation), Nokian renkaat, Timberjack, VR, Patria, Raumaster, Kalmar, Sandvik, Pilkington, Perlos Andritz Oy ja Kvaerner Power Oy. Helsingin toimipisteellä mm. Outokumpu, Aker Finnyards Oy, Rautaruukki, HKL ja ABB Service. Heinolan toimipisteen asiakkaita ovat mm. Outokumpu, Heinolan Sahakoneet, Teräskomponentti Oy ja HAR-KO Oy. \3\

2.3 Comatecin referenssejä

Kuvissa 2.1 - 2.13 on esitetty projekteja eri toimialoilta, joita Comatec on ollut tekemässä. Kuvat 2.1 ja 2.2 esittävät materiaalinkäsittelyjärjestelmiä. Kuvassa 2.1 on Tampereen postikeskuksen kirjelaatikoiden kuljetusjärjestelmä ja kuvassa 2.2 Avesta Polarit Oyj:n teräsrullien siirtovaunu. Kuvissa 2.3 - 2.7 on erilaisia koneenrakennusprojekteja, joista kuvissa 2.3 - 2.5 on liikkuvia työkoneita ja kuvissa 2.6 - 2.7 tuotantolaitteita. Työkoneet ovat Timberjackin kuormatraktori, Metso Mineralsin murskain ja Kalmar Industriesin lukki. Tuotantolaitteet ovat Glassrobotsin lasinjalostuskone ja Outokummun vaahdotuskenno. Kiskokalustoa esittää kuva 2.8, jossa on Alstomin pendolino. Kuvat 2.9 ja 2.10 esittävät teollisuusautomaatioprojekteja. Kuvissa on Algolin automaattinen kahmarinosturi ja Kalmarin teollisuuslukki. Kuvassa 2.11 on Kvaerner Power Oy:n kattilalaitos. Tuotesuunnittelu- ja simulointipalveluja kuvaavat kuvat 2.12 ja 2.13. \4\



Kuva 2.1. Kirjelaatikoiden kuljetusjärjestelmä Postikeskus, Tampere.



Kuva 2.2. Teräsrullien siirtovaunu Avesta Polarit Oyj, Tornio.



Kuva 2.3. Timberjack, kuormatraktori.



Kuva 2.4. Metso Minerals, murskain.



Kuva 2.5. Kalmar Industries, lukki.



Kuva 2.6. Glassrobots, lasinjalostuskone.



Kuva 2.7. Outokumpu, vaahdotuskenno.



Kuva 2.8. Alstom, pendolino.



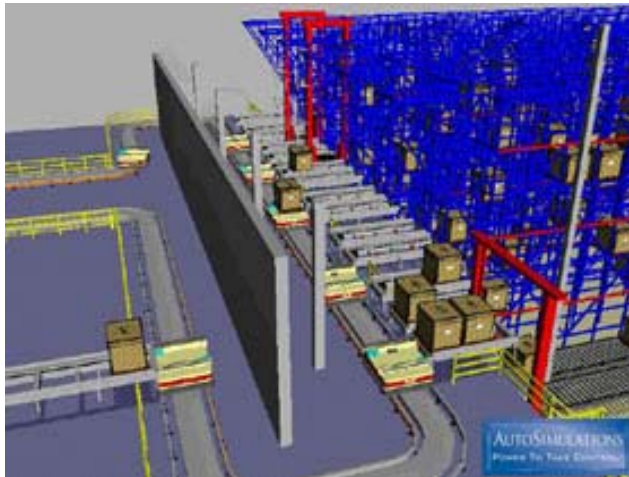
Kuva 2.9. Algol, automaattinen kahmarinosturi.



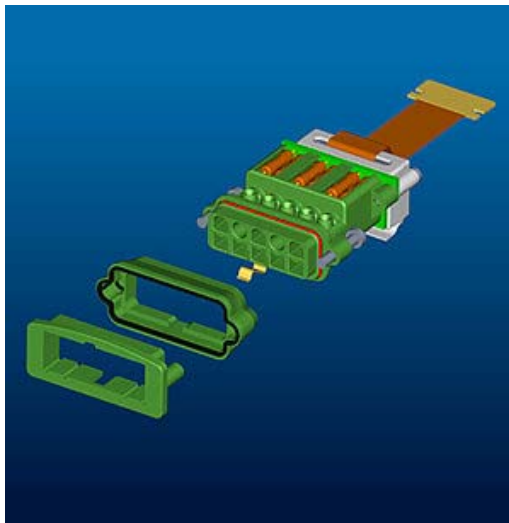
Kuva 2.10. Kalmar, teollisuuslukki.



Kuva 2.11. Kvaerner Power Oy:n kattilalaitos.



Kuva 2.12. Comatec Oy:n simulointipalvelut. \X\



Kuva 2.13. Instrumentarium Oyj / Datex-Ohmeda Group, ECG-liitin

2.4 Toimintapolitiikka

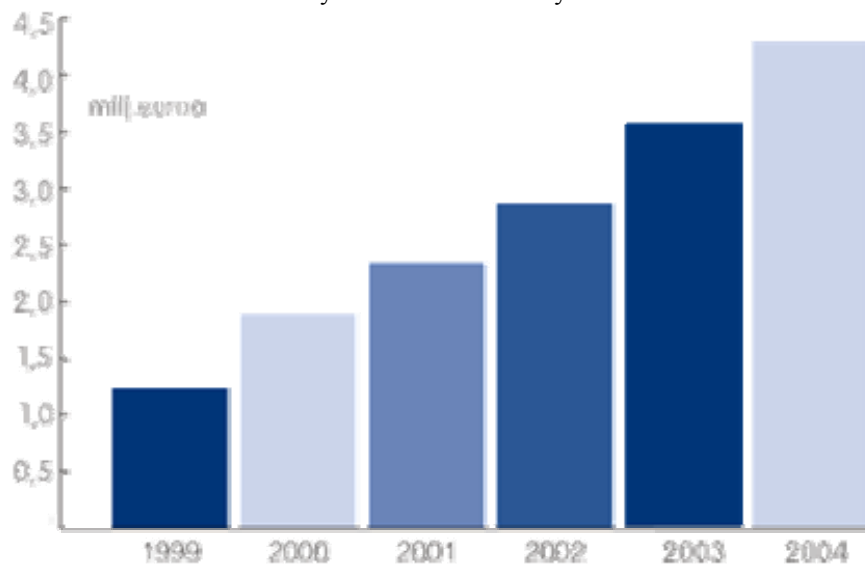
Toimintapolitiikan pääperiaatteena on varmistaa tavoitteet yrityksen selkeillä toiminnoilla sekä henkilökunnan tietoisuudella tehtäviensä hoidosta ja merkityksestä.

Insinööritoimisto Comatec Oy katsoo vaativien koneenrakennuksen, teollisuusautomaation, materiaalinkäsittelyjärjestelmien ja kiskokaluston suunnitelmien sekä konsultoinnin tekijänä velvollisuudekseen huolehtia, että suunnitelmat ja dokumentit täyttävät asiakkaan niille asettamat vaatimukset. \2\

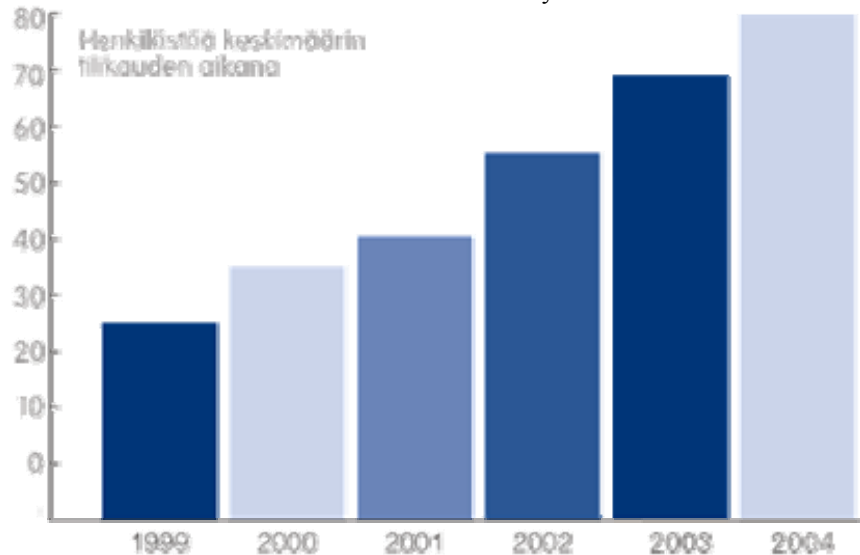
2.5 Liikevaihto ja henkilöstö

Comatec Oy:n liikevaihto ja henkilöstömäärä ovat kasvaneet tasaisesti vuosien 1999 ja 2004 välillä. Tänä aikana liikevaihto on kasvanut 1,25 milj. eurosta 4,3 milj. euroon (taulukko 2.1) ja henkilöstömäärä 27 henkilöstä 80 henkilöön (taulukko 2.2). Alkukesästä 2005 henkilöstömäärä on kasvanut jo n. 120 henkilöön. \4\

Kaavio 2.1. Comatec Oy:n liikevaihdon kehitys vuosina 1999 - 2004.



Kaavio 2.2. Comatec Oy:n henkilöstömäärän kehitys vuosina 1999 - 2004.

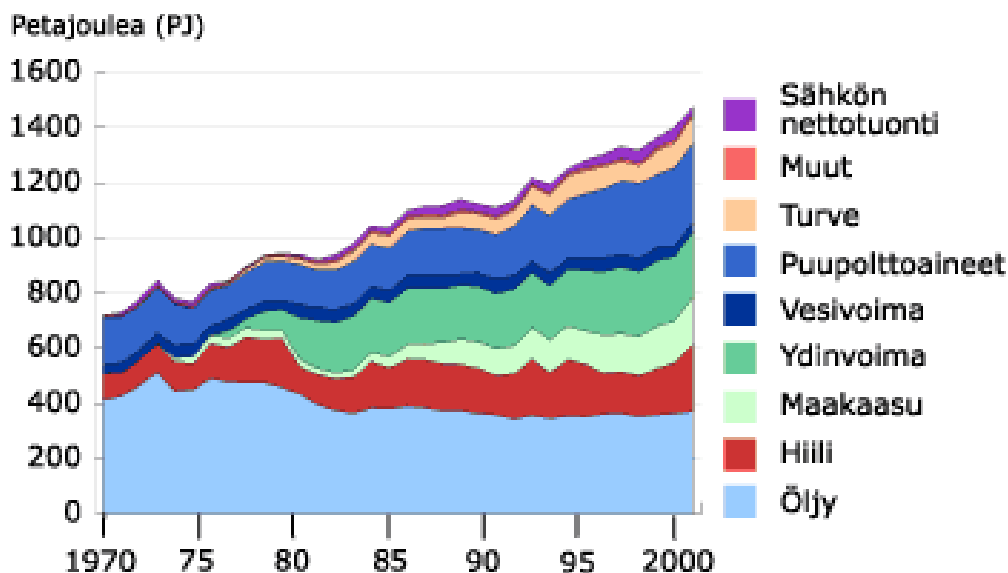


3 ENERGIANKULUTUS SUOMESSA

3.1 Energian kokonaiskulutus

Kaaviossa 3.1 kuvataan Suomen energian kokonaiskulutusta energialajeittain vuosina 1970 - 2003. Kaaviosta nähdään, että energian kulutus on kasvanut taulukon esittämällä ajanjaksolla noin kaksinkertaiseksi. Kasvanutta energian tarvetta on täydennetty maakaasulla, ydinvoimalla, turpeella ja sähkön tuonnilla.

Kaavio 3.1. Energian kokonaiskulutus energialajeittain Suomessa 1970 - 2003.



Suomen energian kokonaiskulutus vuonna 2004 laski Tilastokeskuksen tietojen mukaan puoli prosenttia eli pysyi lähes vuoden 2003 tasolla. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen polton hiilidioksidipäästöt laskivat 5 prosenttia vuoden 2003 ennätyslukemista. Päästöt olivat Tilastokeskuksen tietojen mukaan 67 miljoonaa tonnia eli noin 3,5 miljoonaa tonnia pienemmät kuin vuotta aiemmin. Taulukossa 3.1 on vertailtu vuosien 2003 ja 2004 energiankulutuksia.

Keskimääräistä sateisempi vuosi täytti kuivien vuosien tyhjentämiä vesivarastoja, ja vesivoiman tuotanto kasvoi peräti 56 prosenttia vuonna 2004. Samalla väheni polttoaineperäinen lauhdevoiman tuotanto, mikä näkyi fossiilisten polttoaineiden ja turpeen kulutuksen vähenemisenä. Fossiilisia polttoaineita käytettiin 4 prosenttia ja turvetta 8 prosenttia vähemmän kuin vuonna 2003. Eniten fossiilisista polttoaineista laski hiilen käyttö, 11 prosenttia. Maakaasua käytettiin 3 prosenttia vähemmän,

mutta öljyä käytettiin lähes saman verran kuin edellisenä vuonna. Vuotta 2004 leimasi myös edellisvuotta lämpimämpi sää, mikä johti lämmitysenergian tarpeen ja kaukolämmön tuotannon vähenemiseen.

Uusiutuvan energian käyttö kasvoi vuonna 2004 kaikkiaan noin 10 prosenttia. Uusiutuvista energialähteistä kasvoi eniten vesivoiman tuotanto. Myös puupolttoainesten käyttö energialähteenä kasvoi edellisvuosien tapaan, kaikkiaan 5 prosenttia, mihin vaikutti metsäteollisuuden tuotannon nopea kasvu.

Energian loppukäyttö kasvoi 2 prosenttia vuonna 2004. Energian loppukäytöllä tarkoitetaan energiamäärää, joka jää energian siirto- ja muuntohäviöiden jälkeen yritysten, kotitalouksien ja muiden kuluttajien käyttöön.

Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön väheneminen johti myös energian käytöstä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen vähenemiseen. Vuoden 2004 kaikki kasvihuonekaasupäästöt ovat arviolta noin 16 prosenttia suuremmat kuin vuonna 1990. Noin 80 prosenttia kaikista kasvihuonekaasupäästöistä on energiaperäisiä. \5\ \6\

Taulukko 3.1. Energian kokonaiskulutus energialähteittäin Suomessa 2003 - 2004.

	2003 TJ	2004 TJ	Muutos· %
Öljy	373 818	372 520	0 %
Hiili	244 558	218 622	-11 %
Maakaasu	169 200	164 066	-3 %
Ydinenergia	238 145	237 589	0 %
Vesivoima	34 038	53 013	56 %
Puupolttoaineet	289 014	302 810	5 %
Turve	98 779	90 949	-8 %
Muut	22 164	22 609	2 %
Sähkön nettotuonti	17 467	17 532	0 %
Yhteensä	1 487 515	1 480 143	0 %

3.2 Polttoaineen kulutus energiantuotantolaitoksissa

Suomalaisissa energiantuotantolaitoksissa polttoaineiden kulutus vuonna 2001 oli noin 160 TWh. Kyseisestä määrästä noin 13 % eli hieman yli 20 TWh käytettiin polttoaineteholtaan alle 50 MW kattiloissa. Lukumääräisesti polttoaineteholtaan alle 50 MW kattiloita on noin 1 400 kappaletta ja yli 50 MW kattiloita jonkin verran yli 200. Alle 50 MW kattiloista noin puolet on yli 5 MW kattiloita ja toinen puolisko alle 5 MW kattiloita. Pienissä polttolaitoksissa (5 – 50MW) poltetaan eniten raskasta polttoöljyä (POR), puuta, maakaasua ja turvetta. Polttoaineiden osuudet on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 3.2. Polttoaineiden kulutuksen jakautuminen pienissä polttolaitoksissa vuonna 2001.

	Kivihiili	POR	POK	Maakaasu	Turve	Puu	Muut	Yhteensä
TWh	0,8	5,1	0,2	4,4	2,0	4,6	3,3	20,4
%	4	25	1	22	10	22	16	100

Muut polttoaineet ovat pääosin teollisuuden prosessiperäisiä polttoaineita, kuten mm. jalostamokaasua, koksia, mäntyöljyä, hajukaasua ja vetyä (yhteensä lähes 60 % muista polttoaineista). Lisäksi muihin polttoaineisiin kuuluvat erilaiset kiinteät jätteet, kuten mm. kierrätyspolttoaine, teollisuusjäte, muovijäte ja lajittelematon yhdyskuntajäte (sekajäte), sekä jäteliemet, joiden osuus on yhteensä lähes 15 % muista polttoaineista. Taulukossa 3.3 polttoainekulutus on jaoteltu polttotekniikan mukaan. Melkein puolet polttoaineesta käytetään poltinpoltto-laitoksissa. Yksi neljäsosa polttoaineesta poltetaan arinakattiloissa ja noin yksi viidesosa leijukerroskattiloissa. Loput eli vajaat yksi kymmenesosa käytetään diesel/kaasumoottoreissa, kaasuturbiineissa ja kaasutuslaitoksissa sekä ryhmässä muut, joka sisältää pääosin teollisuuden prosessikattiloita ja -uuneja.

Taulukko 3.3. Polttoaineiden kulutuksen jakautuminen pienissä polttolaitoksissa vuonna 2001.

	Poltinpoltto	Kerrosleijju	Kiertoleijju	Ari-na	Diesel/kaasumoottori	Kaasuturbiini	Kaasutus	Muu	Yhteensä
TWh	9,8	2,9	1,0	4,9	0,4	0,6	0,1	0,7	20,4
%	49	14	5	24	2	3	0	3	100

Pienten polttolaitosten polttoainekulutus on jaettu seuraavassa taulukossa laitos-
tyypeittäin.

Taulukko 3.4. Polttoaineiden kulutus laitostyypeittäin pienissä polttolaitoksissa vuonna 2001.

	Teollisuus erillinen yhdistetty lämpö säh- kö ja lämpö		Yhdyskunnat erillinen yhdis- tetty lämpö säh- kö ja lämpö		Erillinen sähkö	Muu	Yhteensä
TWh	8,0	5,1	5,3	1,8	0,0	0,2	20,4
%	39	25	26	9	0	1	100

Polttoaineesta lähes kaksi kolmannesta käytetään teollisuuden laitoksissa ja kol-
mannes yhdyskuntien laitoksissa. Yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon käy-
tetään kolmasosa polttoaineesta ja kaksi kolmannesta erilliseen lämmön tuo-
tantoon. Teollisuudessa polttoaineiden kulutus yhdistettyyn tuotantoon on suu-
rempaa kuin yhdyskunnissa. Erilliseen sähkön tuotantoon käytettävä polttoaineiden
kulutus on merkityksetön. Ryhmään muu sisältyy maakaasun siirtoputkiston komp-
ressoriasemien polttoaineiden kulutus. \5\ \7\

3.3 Nykyiset savukaasupäästöt

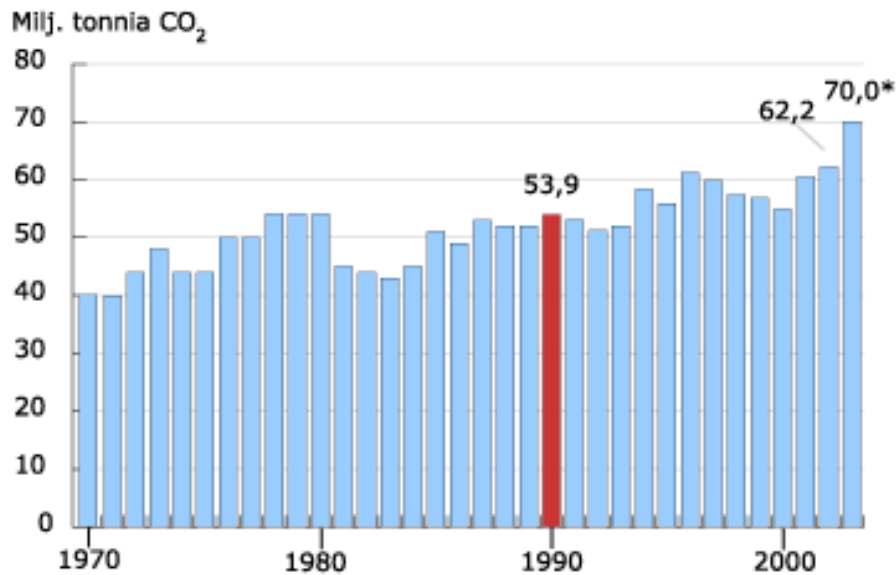
3.3.1 Energiantuotannon ja -kulutuksen hiilidioksidipäästöt

Tilastokeskuksen mukaan energian tuotantoon ja kulutukseen liittyvät fossiilisten
polttoaineiden ja turpeen käytön hiilidioksidipäästöt olivat 2003 lähes 13 prosenttia
(lähes 8 miljoonaa tonnia) suuremmat kuin vuonna 2002 (kaavio 3.4). Energian
tuotantoon ja kulutukseen liittyvät hiilidioksidipäästöt ovat noin 80 % kaikista Kio-
ton sopimuksessa seurattavista päästöistä. Päästöjen kasvu aiheutui lisääntyneestä
kivihiilen, maakaasun ja turpeen poltosta. Kivihiilen käytön kasvu yli 40 % edel-
lisvuodesta nosti yksin hiilidioksidipäästöjä yli viidellä miljoonalla tonnilla.

Vuoden 2003 energian tuotantoon ja kulutukseen liittyvät hiilidioksidipäästöt ylit-
tivät 30 prosentilla vuoden 1990 tason. Vuoden 2003 suuri ero vuoden 1990 tasoon
verrattuna johtui kasvaneen energiankulutuksen lisäksi vähentyneestä sähkön net-

totuonnista ja vesivoiman korvaamisesta sähkön lauhdetuotannolla. 1990 tuontisähkön osuus Suomen sähkön hankinnassa oli myös poikkeuksellisen suuri. Hyvänä vesivuonna 2000 päästiin jo lähelle vuoden 1990 tasoa.

Kaavio 3.4. Polttoaineiden käytön hiilidioksidipäästöt 1970 - 2003.



Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen polton hiilidioksidipäästöt vuonna 2004 lasivat 5 prosenttia vuoden 2003 ennätyslukemista. Päästöt olivat Tilastokeskuksen ennakkotietojen mukaan 67 miljoonaa tonnia eli noin 3,5 miljoonaa tonnia pienemmät kuin vuotta aiemmin.

Päästöjä vähensi pääasiassa vesivoiman tuotannon kasvu, joka korvasi hiiltä, maakaasua ja turvetta sähkön tuotannossa. Runsaat sateet lisäsivät vesivoiman tuotantoa. Myös lämpimät säät vähensivät päästöjä pienentämällä lämmön tarvetta ja sen tuotantoa.

Kioton pöytäkirjassa ja sitä koskevassa EU:n taakanjaossa on Suomen kasvihuonekaasujen päästöjen tavoitteeksi vuosille 2008 - 2012 asetettu vuoden 1990 päästömäärät. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen hiilidioksidipäästöjen osuus on noin 80 prosenttia kaikista kasvihuonekaasujen päästöistä.

Vuoden 2004 kaikki kasvihuonekaasupäästöt ovat arviolta yhteensä noin 16 prosenttia suuremmat kuin vuoden 1990 päästöt. \5\ \6\

3.3.2 Energiantuotannon savukaasupäästöt

Pienet polttolaitokset tuottivat vuonna 2001 Suomessa energiantuotannon typenoksidipäästöistä noin 17 %, rikkidioksidipäästöistä noin 27 % ja hiukkaspäästöistä noin 30 %. Pienten polttolaitosten osuus polttoaineiden kulutuksesta oli noin 13 %. Pienten polttolaitosten kohdalla ainoastaan hiukkaspäästöjä rajoitetaan valtioneuvoston päätöksellä (157/87), joka on esitetty liitteessä 1. \1\

Suomessa samassa polttolaitoksessa käytetään useasti erilaisia polttoaineita samanaikaisesti. Erityisesti näin on kiinteän polttoaineen laitoksissa, joissa poltetaan usein sekaisin puuta, turvetta ja mahdollisesti myös muita polttoaineita. Itse asiassa on melko harvinaista, että kiinteän polttoaineen laitoksessa poltettaisiin vain yhtä polttoainetta. Liitteessä 2 on esitetty tyypilliset ominaispäästökertoimet ja hyötysuhteet polttoaineittain ja polttotekniikoittain pienissä polttolaitoksissa. \7\

4 POLTTOLAITOSTYYPIT

Pienten polttolaitosten kokoluokassa (5 - 50 MW) energiaa tuottavat laitokset voivat olla joko pelkästään lämpöä tai höyryä tuottavia lämpökeskuksia tai höyrykeskuksia tai sähköä ja lämpöä/höyryä tuottavia voimalaitoksia. Pienten polttolaitosten kokoluokassa ei pelkästään sähköä tuottavia lauhdevoimalaitoksia käytännössä ole lainkaan. \7\

4.1 Höyryvoimalaitos

Höyryvoimalaitokset ovat tyypiltään lauhde- tai vastapainevoimalaitoksia. Koska pelkästään sähköä tuottava lauhdevoimalaitos on tyypillisesti suuren kokoluokan (yli 100 MW sähköä) peruskuormaa ajava energiantuotantoyksikkö, ei Suomessa ole lauhdevoimalaitoksia pienten polttolaitosten kokoluokassa (5 - 50 MW).

Vastapainevoimalaitos on sekä sähköä että lämpöä tai höyryä tuottava eli yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon perustuva. Teollisuuden tai yhdyskunnan kaukolämpöä tuottavista voimalaitoksista käytetään myös nimitystä kaukolämpö- tai lämmitysvoimalaitos. Vastapainevoimalaitoksen primäärituote on lämpö, joten laitokset mitoitetaan lämpökuorman mukaan ja sähköä saadaan lämmöntuotannon yhteydessä. Kuvassa 4.1 on Kvaerner Power Oy:n Ruotsissa Eskilstunassa sijaitseva höyryvoimalaitos, jonka höyryntuottoteho on 110 MW.

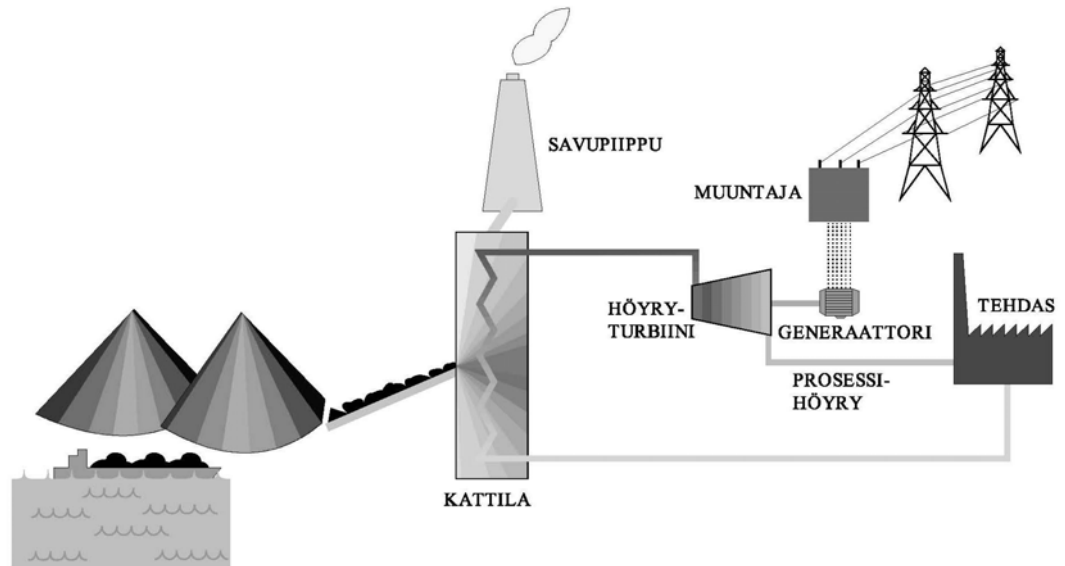


Kuva 4.1. Höyryvoimala, Kvaerner Power Oy.

4.1.1 Teollisuusvoimalaitos

Teollisuusvoimalaitosten hyötysuhde, eli tuotetun sähkön ja prosessihöyryn suhde käytettyyn polttoaine-energiaan, on huomattavasti korkeampi kuin lauhdelaitoksilla. Hyötysuhde on tyypillisesti luokkaa 80 - 85 %, joka vastaa suunnilleen hyötysuhteen käänteislukua eli kulutussuhdetta 1,2.

Teollisuuslaitokset käyttävät yleensä omasta tuotannostaan peräisin olevia polttoaineita, kuten puunkäsittelystä syntyvää kuori- ja puujätettä, sekä lisäksi ostopolttoaineita, kuten turvetta ja hiiltä. Sähkön- ja lämmöntuotantoa kuvataan teollisuusvoimalaitoksissa usein rakennussuhteella, jolla tarkoitetaan tuotetun vastapainesähkön ja prosessilämmön suhdetta. Tyypillisesti rakennussuhde teollisuusvoimalaitoksilla on luokkaa 0,2 - 0,3. Rakennussuhteeseen vaikuttavat tuorehöyryn arvot (450 - 520 °C, 40 - 100 bar) vastapaine (3 - 5 bar) sekä turbiinin hyötysuhde. Kuvassa 4.2 on esitetty yksinkertaistettu prosessikaavio teollisuuslaitoksesta. \7\ \8\



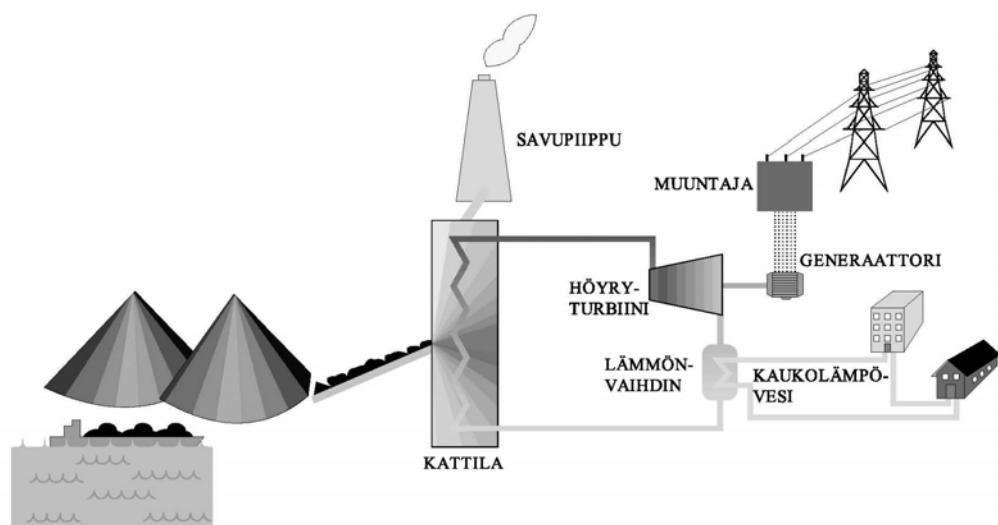
Kuva 4.2. Teollisuusvoimalaitos.

4.1.2 Kaukolämpövoimalaitos

Kaukolämpövoimalaitokset ovat yleensä blokkikytkentäisiä, eli voimalaitoksen muodostavat yksi tai useampi kattila/turbiini-yhdistelmä. Kattiloissa voidaan polttaa samaa tai eri polttoainetta. Yleisimmät polttoaineet ovat turve, puu ja hiili, joiden käyttö on pääsääntöisesti jakaantunut maantieteellisesti siten, että rannikolla sijaitsevat laitokset käyttävät hiiltä ja sisämaassa sijaitsevat turvetta ja puuta.

Höyryturbiini voi kaukolämpölaitoksessa olla puhdas vastapaineturbiini, jolloin kaukolämpövettä lämmitetään turbiinin ulostulohöyryllä, tai turbiini voi olla väliotto-lauhdeturbiini, jolloin kaukolämpövettä lämmitetään väliottohöyryllä. Tällöin ylimääräisen höyryn voidaan antaa paisua lauhduttimen paineeseen asti. Puhtaassa vastapainekäytössä saatava sähköteho riippuu kaukolämpöverkkoon syötettävän veden lämpötilasta. Mitä kuumempaa kaukolämpövettä syötetään, sitä korkeampi on vastapaine ja lyhyempi turbiinipaisunta sekä pienempi sähköteho. Vastapaine vaihtelee tällöin välillä 0,2 - 0,6 bar, kun vastaavasti lauhduttimen paine on yleensä luokkaa 0,02 - 0,05 bar.

Kaukolämpövoimalaitoksen hyötysuhde on varsin korkea, luokkaa 85 - 90 %. Rakennussuhde on luokkaa 0,45 - 0,55, joka on noin kaksinkertainen teollisuusvoimalaitokseen verrattuna. Kuvassa 4.3 on esitetty yksinkertaistettu prosessikaavio kaukolämpövoimalaitoksesta. \7\



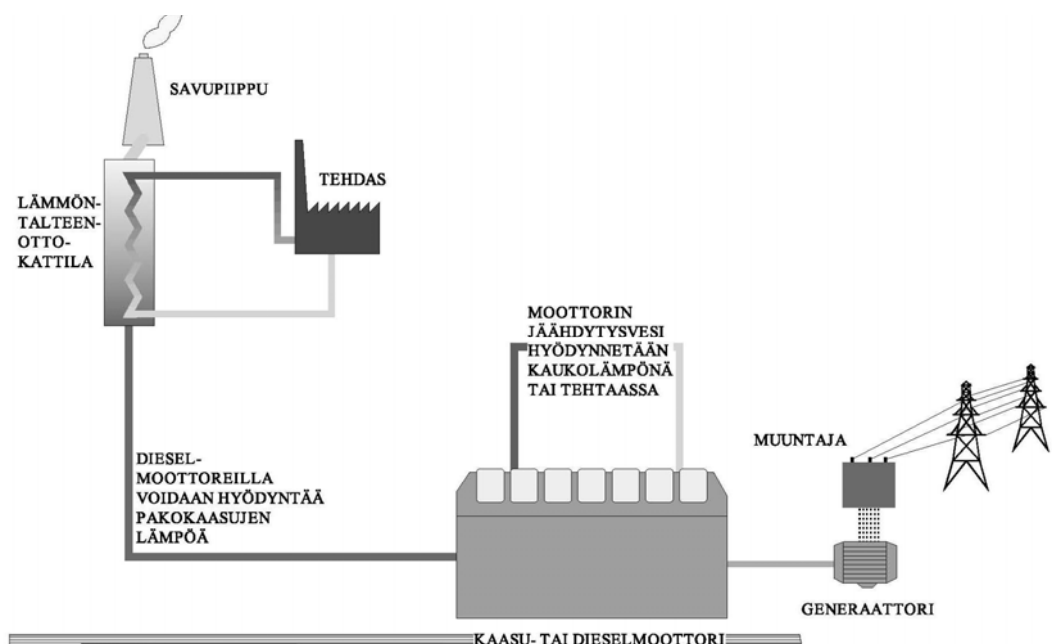
Kuva 4.3. Kaukolämpövoimalaitos.

4.1.2 Kaasuturbiini/kaasumoottori/ dieselmoottorivoimalaitos

Kaasuturbiini/kaasumoottori/dieselmoottori-jätelämpökattilalaitoksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä kaasuturbiini/kaasumoottori/dieselmoottorivoimalaitoksia, joissa sähköä tuotetaan kaasuturbiinilla, kaasumoottorilla tai dieselmoottorilla. Jätelämpökattilassa tuotetaan joko kaukolämpöä kaukolämpöverkkoon, höyryä prosessiin tai molempia.

Kaasuturbiini/kaasumoottori/dieselmoottori-jätelämpökattilalaitoksia käytetään yleensä kaukolämpövoimalaitoksina tai teollisuusvoimalaitoksina. Näitä laitoksia on Suomessa muutamia pienten polttolaitosten (5 - 50 MW) kokoluokassa. Rakennussuhde on kaasuturbiini-jätelämpökattilalaitoksissa tyypillisesti luokkaa 0,5 - 0,6 ja kokonaisyötysuhde yleensä luokkaa 80 - 85 %. Moottorivoimalaitokselle vastaavat arvot ovat noin 0,9 ja 90 %.

Polttoaineena kaasuturbiini-jätelämpökattilalaitoksissa käytetään yleensä maakaasua. Varapolttoaineena voidaan käyttää esim. kevyttä polttoöljyä. Moottorivoimalaitoksen polttoaineina käytetään mm. maakaasua sekä raskasta ja kevyttä polttoöljyä. Kuvassa 4.4 on esitetty yksinkertaistettu prosessikaavio kaasu- ja dieselmoottorivoimalaitoksesta. \7\



Kuva 4.4. Kaasu- ja dieselmoottorivoimalaitos.

4.2 Lämpökeskukset ja höyrykeskukset

Lämpökeskukset ovat pelkästään lämpöä yhdyskunnalle tuottavia laitoksia, joissa ei ole sähkön tuotantoa. Höyrykeskukset ovat pelkästään höyryä teollisuudelle tuottavia laitoksia, joissa ei ole sähkön tuotantoa.

Näissä laitoksissa saadaan polttoaineen sisältämästä energiasta siirrettyä veteen tai höyryyn noin 85 - 93 %. Tämä hyötysuhde vastaa kulutussuhdetta luokkaa 1,1 - 1,2, ja se riippuu polttoaineesta, polttotekniikasta ja kattilan mitoituksesta sekä ajo-parametreista (esim. kuorma, savukaasun happipitoisuus, veden lämpötilat). Selvästi suurin häviö on savukaasuhäviö, jonka suuruus riippuu savukaasun happipitoisuudesta ja loppulämpötilasta.

Lämpökeskusten ja höyrykeskusten pääpolttoaineina ovat raskas polttoöljy, maakaasu, puu ja turve sekä vähäisessä määrin myös kevyt polttoöljy. Lukumääräisesti suurin osa kaukolämpökattiloista on jaksottaisesti tai jatkuvasti valvottuja kuuma-vesikattiloita, joissa veden lämpötila on alle 120 °C. \7\

4.3 Energiategokkuus

Pienten polttolaitosten tyypillisiä energiatehokkuusarvoja (hyötysuhteet, kulutussuhteet, rakennussuhteet) on koottu taulukkoon 4.1 laitosyypeittäin.

Taulukko 4.1. Pienten polttolaitosten laitosyypien tyypillisiä energiatehokkuusarvoja.

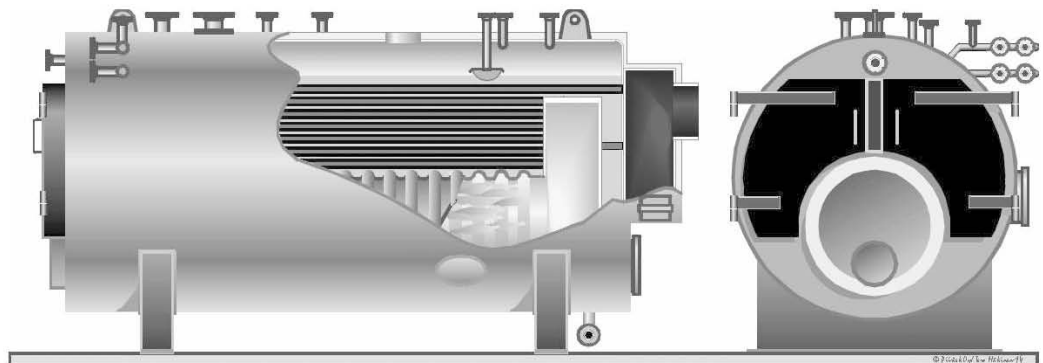
Teollisuus	Yhdyskunnat			
		yhdistetty sähkö ja lämpö	erillinen lämpö	yhdistetty sähkö ja lämpö
Hyötysuhde	0,85-0,93	0,8-0,85	0,85-0,93	0,85-0,9
((sähköteho + lämpöteho) / polttoaineteho)				
Kulutussuhde	1,08-1,18	1,18-1,25	1,08-1,18	1,11-1,18
(polttoaineteho / (sähköteho + lämpöteho))				
Rakennussuhde	0	0,2-0,3	0	0,45-0,55

5 KATTILATYYPIT

5.1 Tulitorvi/tuliputkikattilat

Tulitorvi/tuliputkikattiloissa savukaasut virtaavat tulitorvessa ja tuliputkien sisäpuolella (kuva 5.1). Yhdessä kattilassa voi olla yksi tai kaksi tulitorvea. Tulitorvi/tuliputkikattila kuuluu suurvesitilakattiloihin, joiden teho on maksimissaan 15 MW/ tulitorvi eli 30 MW/ kattila ja paine yleensä alle 20 bar.

Yksittäiset öljy- ja maakaasukattilat ovat nykyään 12 - 15 MW kattilatehoon asti tulitorvi/tuliputkikattiloita, jotka on varustettu yhdellä tulitorvella. Kahdella tulitorvella varustettuja kattiloita voidaan valmistaa 25 - 30 MW kattilatehoon asti. Tätä suuremmat kattilat ovat tyypiltään vesiputkikattiloita, koska rakenteen vuoksi paksut ainevahvuudet ja suuri tilantarve ovat usein esteenä suurempien yksiköiden valmistuksessa. \7\ \

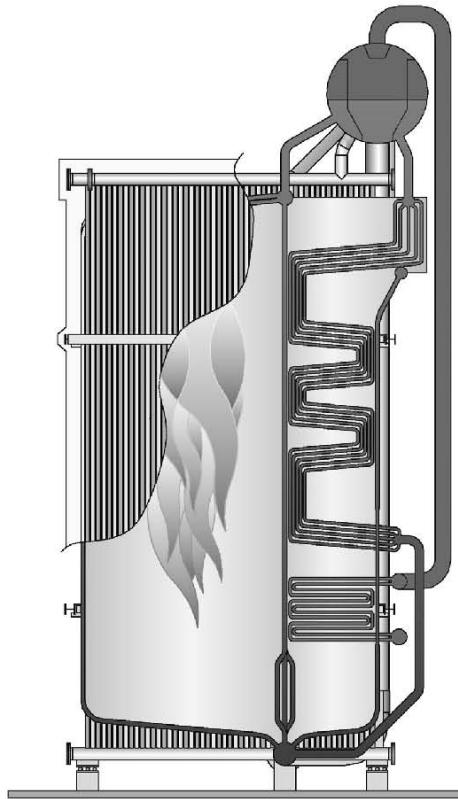


Kuva 5.1. Tulitorvi/tuliputkikattila (Noviter Oy).

5.2 Vesiputkikattila

Nimityksensä mukaisesti vesiputkikattilassa virtaa putkien sisällä vesi ja savukaasut virtaavat putkien ulkopuolella (kuva 5.2). Vesiputkikattilat voivat olla kuumavesikattiloita, kylmän höyryn tai tulistetun höyryn kattiloita. Vesiputkikattilan tulipinta verrattuna vesitilavuuteen on suurempi kuin tulitorvi/tuliputkikattilassa. Vesiputkikattilan putkien pienen läpimitan ansiosta voidaan vesiputkikattiloita rakentaa myös erittäin korkeita paineita varten ilman, että putkien ainepaksuus tulisi suhteettoman suureksi.

Vesiputkikattilan eräänä etuna tulitorvi/tuliputkikattilaan verrattuna on, että putkivuoto käytön aikana aiheuttaa yleensä seurauksiltaan lievät vauriot, kun taas tulitorvi/tuliputkikattilan painerungon vaurioituminen on yleensä aina seuraukseltaan vakava.



Kuva 5.2. Vesiputkikattila (Noviter Oy).

6 KIINTEÄT POLTTOAINEET

6.1 Ominaisuudet

Kiinteät polttoaineet voidaan jakaa fossiilisiin ja uusiutuviin polttoaineisiin. Fossiilisia ovat kivihiili ja turve, ja uusiutuvia ovat biomassapohjaiset polttoaineet kuten esimerkiksi puu ja olki. Kivihiili on syntynyt turpeesta kovassa paineessa ja korkeassa lämpötilassa, jota kuvaa hiiltymisaste ja kivettyneyt koostumus. Turve on puolestaan maatumutta kasviainesta, jota kuvaa maatumisaste ja kasvilajikoostumus. Myös biomassapohjaiset polttoaineet, joihin kuuluvat esimerkiksi erilaiset maa- ja metsätalouden tuotteet: puu, metsätähteet, olki ja erilaiset energiakäyttöä varten viljeltyt kasvit, ovat kasvavan mielenkiinnon kohteena. Lisäksi kierrätyspolttoaineen (REF) käyttö rinnakkaispolttoaineena kiinteän polttoaineen kattilalaitoksissa lisääntyy koko ajan.

Kiinteiden polttoaineiden laatua voidaan kuvata mm. seuraavilla käyttöteknisillä ominaisuuksilla, joita tarvitaan arvioitaessa polttoaineen teknistä käytettävyyttä:

- haihtuvien aineiden pitoisuus
- kiinteän hiilen pitoisuus
- tuhkapitoisuus
- kosteuspitoisuus
- kalorimetrinen lämpöarvo
- tehollinen lämpöarvo
- rikkipitoisuus
- klooripitoisuus.

Kiinteiden polttoaineiden ominaisuudet riippuvat pääasiassa polttoaineen geologisesta iästä. Polttoaineiden käsittelyyn ja palamiseen vaikuttavia tekijöitä ovat myös

- raekokajakautuma
- paisuvuus
- leipoutuvuus eli tuhkan sulaminen polttoaineen päälle
- tuhkan ominaisuudet: koostumus, sulamis-, kuonaantumis- ja likaantumisominaisuudet

- kemiallinen rakenne
- ympäristötekniset ominaisuudet. \7\

6.2 Kosteus

Kosteus on tavanomaisin ja kenties merkittävin kiinteille polttoaineille määritetty ominaisuus. Kosteus pienentää polttoaineen tehollista lämpöarvoa eli tavanomaisessa poltossa vapautuvaa lämpöenergiaa.

6.3 Tuhka

Kiinteän polttoaineen tuhalla tarkoitetaan sitä epäorgaanisen aineen massaa, joka jää jäljelle poltettaessa polttoainenäyte täydellisesti hapettavassa kaasukehässä. Tuhka ilmoitetaan tavallisesti painoprosenteina kuivan aineen painosta. Tuhkan määrä ei vastaa suoraan sitä epäorgaanisen aineen määrää, joka polttoaineessa on alkuperäisessä tilassaan, sillä esimerkiksi useat mineraalit voivat hajota tai hapettua polton aikana.

Tuhkan pääkomponentit ovat Si (pii), Al (alumiini), Fe (rauta), Ca (kalsium), Mg (magnesium), Ti (titaani), Na (natrium), K (kalsium) ja S (rikki). Tuhkan koostumus ilmoitetaan tavallisesti siten, että kaikki komponentit oletetaan täydellisesti hapettuneiksi.

Tuhkan alkuainekoostumuksen avulla pyritään lähinnä arvioimaan tuhkan sulamis- tai kuonaamistaipumuksia, joskaan yksikäsitteisiä korrelaatioita tuhkan koostumuksen ja näiden mahdollisesti haitallisten taipumusten välille ei kuitenkaan voida esittää. Tuhkan koostumuksen ohella on tunnettava tapauskohtaisesti käytettävät polttotekniset ratkaisut, jolloin vasta voidaan tehdä mahdollisia johtopäätöksiä erilaisten polttoaineiden sulamis- tai kuonaamistaipumuksista. Tuhkan sulamiskäyttäytymisellä on merkitystä erityisesti sellaisissa polttotekniikoissa, joissa tuhka poistetaan sulana tai joissa tuhkan sulaminen voi estää polttoilman kulkeutumista. Myös sulan tuhkan aiheuttamien kerrostumaongelmien selvittelyssä tuhkan sulamiskäyttäytymisen tunteminen saattaa olla hyödyksi. \7\

6.4 Haihtuvat aineet/kiinteä hiili

Haihtuvilla aineilla tarkoitetaan sitä osaa polttoaineesta, joka kaasuuntuu kuumenttaessa polttoainenäyte nopeasti korkeaan lämpötilaan ilmalta suojattuna. Ns. kiinteä hiili tarkoittaa vastaavasti haihtuvien aineiden määrityksessä jäljelle jäävää palavan aineen osuutta eli hiiltojäännöstä, josta on poistettu tuhkan osuus. \7\

6.5 Lämpöarvo

Merkitykseltään tärkein polttoaineominaisuus on lämpöarvo, joka ilmoittaa polttoaineen täydellisessä palamisessa vapautuvan lämpöenergian. Kiinteille polttoaineille lämpöarvo ilmoitetaan tavallisesti energiana massayksikköä kohti eli MJ/kg.

Lämpöarvo voidaan ilmoittaa

- ylempänä lämpöarvona (kalorimetrinen lämpöarvo), jolloin palamistuotteenä syntyvä ja polttoaineen sisältämä vesi oletetaan palamisen jälkeen nesteeksi
- alempana lämpöarvona (tehollinen lämpöarvo), jolloin kaikki vesi oletetaan höyrystyneeksi palamisen yhteydessä.

Ylempi lämpöarvo on siten veden höyrystämiseksi vaadittavan energian verran suurempi kuin alempi lämpöarvo. Kiinteän polttoaineen sisältämää energiamäärää kuvaa parhaiten saapumistilaisen eli käyttökosteudessa olevan näytteen alempi eli tehollinen lämpöarvo. \7\

6.6 Alkuainekoostumus

Kiinteän polttoaineen koostumus voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan: palava aines, tuhkaa muodostava (epäorgaaninen) aines ja vesi. Näistä tuhkaa muodostava aines ja vesi ovat molemmat polttoaineen laatua heikentäviä tekijöitä. Poltto-

ainemielessä tärkein osa on palava aines, jonka pääkomponentit ovat hiili (C), vety (H), typpi (N), rikki (S) ja happi (O).

Polttoaineen sisältämän energiamäärän eli palamisessa vapautuvan lämmön kannalta tärkeimmät alkuaineet ovat hiili ja vety, kun taas typpi ja rikki ovat merkittäviä haitallisten, happamien palamistuotteiden lähtöalkuaineita. Vedyllä on korkean lämpöarvon ohella myös lämpöarvoa pienentävä vaikutus, sillä vedyn palaessa muodostuvan veden höyrystymislämpö on vähennettävä ylemmästä lämpöarvosta alempaa lämpöarvoa laskettaessa. Hapen merkitystä voi karkeasti verrata tuhkaa muodostavaan ainekseen, sillä sen voi polttoteknisesti rinnastaa lähinnä polttoaineen sisältämään palamattomaan aineeseen. \7\

6.7 Kemiallinen rakenne

Kiinteiden polttoaineiden kemiallinen rakenne on erittäin monimutkainen, minkä vuoksi se tunnetaan vain pääpiirteittäin. Rakenteen kemiallinen karakterisointi voidaan tehdä tärkeimpien orgaanisten funktionaalisten ryhmien ja jossain määrin tuhkaa muodostavan aineksen suhteen.

Kivihielessä kemiallinen koostumus noudattaa hiiltymisastetta: mitä suurempi hiiltymisaste, sitä aromaattisempi on kivihieksen rakenne. Pisimmälle hiiltynyt polttoaine on grafiitti. Hiiltymisasteen kasvaessa haihtuvien aineiden määrä alenee. Turpeen kemiallinen rakenne muuntuu alkuperäisestä kasviaineksen rakenteesta maatumisprosessin myötä. Taulukossa 6.1 on esitetty kiinteiden polttoaineiden tyyppisiä ominaisuuksia. \7\

Taulukko 6.1. Kiinteiden polttoaineiden tyypillisiä ominaisuuksia.

Ominaisuus	Hake	Kuori	Puru	Jyrsinturve	Kivihiili
Kosteus, %	45 - 55	50 - 60	50 - 60	45 - 55	10
Tuhka, %	0,5 - 2	1-3	0,5 - 1	6	14
Haihtuvat aineet, %	80 - 90	70 - 80	70 - 80	65 - 70	30
Tehollinen lämpö- arvo, MJ/kg	19 - 20	19 - 20	19 - 20	20 - 21	29
Tehollinen lämpö- arvo, MJ/kg	7 - 10	6 - 9	6 - 9	8 - 10	26
Hiili, %	52	55	50	54	72
Vety, %	6	6	6	5,5	4,5
Typpi, %	<0,5	<0,5	<0,5	1,7	1,0
Rikki, %	<0,05	<0,05	<0,05	0,2	<1,0
Happi, %	40	37	43	33	8
Kloori, %	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1

6.8 Ympäristötekniset ominaisuudet

Polttoaineiden ympäristöteknisinä ominaisuuksina voidaan pitää niitä, jotka aiheuttavat ympäristön saastumista. Näistä ominaisuuksista rikki-, typpi-, kloori ja haitalliset hivenalkuainepitoisuudet ovat merkittävimmät. Hivenalkuaineiksi luetaan ne alkuaineet, joita polttoaineessa esiintyy pieninä määrinä (alle 0,1 %). Hivenalkuaineista merkittävän ryhmän muodostavat raskasmetallit.\7\

6.9 Kierrätyspolttoaineet

Kierrätyspolttoaineille on kansallisesti laadittu standardi SFS 5875 (Jätteen jalostaminen kiinteäksi polttoaineeksi, laadunvalvontajärjestelmä), joka valmistui tammikuussa vuonna 2000. Standardi määrittelee yhdyskuntien ja yritysten polttokelpoisista, kuivista, kiinteistä ja syntypaikalla lajitelluista jätteistä valmistetun kierrätyspolttoaineen laatuluokat ja periaatteet laadunvalvonnalle. Laatuluokan määräytymisperustana ovat polttoaineen seuraavat pitoisuudet:

- kloori
- rikki

- kaliumin ja natriumin yhteismäärä
- elohopea
- kadmium.

Lisäksi standardi nimeää metallisen alumiinin luokitusperusteeksi, mutta jättää eri luokissa sallittavat pitoisuudet I-luokkaa lukuun ottamatta avoimiksi. Luokassa I ei sallita metallista alumiinia. Myös polttoaineen kosteus, tiheys ja raskasmetallien määrä ovat ominaisuuksia, jotka on otettava huomioon kierrätyspolttoainetta valittaessa. Kierrätyspolttoaineen luokkien määräytymisperusteet standardin SFS 5875 mukaan on esitetty taulukossa 6.2. \7\

Taulukko 6.2. Kierrätyspolttoaineiden laatuluokitus standardin SFS 5875 mukaan.

Epäpuhtaus	Yksikkö	REF I	REF II	REF III
Kloori	massa-%	< 0,15	< 0,50	< 1,50
Rikki	massa-%	< 0,20	< 0,30	< 0,50
Typpi	massa-%	< 1,00	< 1,50	< 2,50
Kalium + natrium	massa-%	< 0,20	< 0,40	< 0,50
Elohopea	mg/kg	< 0,1	< 0,2	< 0,5
Kadmium	mg/kg	< 1,0	< 4,0	< 5,0

7 TURPEEN JA PUUN POLTTOTEKNIIKAT

Arinapoltto on ollut pienten ja keskisuurten yksiköiden yleisin kiinteiden polttoainesten polttomenetelmä teollistumiskauden alusta lähtien. Ensimmäiset puuta polttavat laitokset käyttivät arinapolttoa. Kattiloissa käytettiin kiinteitä arinoita. Pienemmissä kattiloissa mekaaniset arinat syrjäyttivät käytännössä kiinteät arinat, mikä mahdollisti turpeen arinapolton.

Uudet polttotekniikat, erityisesti leijupoltto, ovat 1980-luvulta lähtien voimakkaasti syrjäyttäneet arinapolttotekniikkaa erityisesti Suomessa tehoalueella yli 10 MW. Tätä pienemmissä yksiköissä arinapoltto on edelleen yleisin turpeen ja puun polttomenetelmä. Kokoluokassa 2 - 10 MW käytetään myös kaasutuspolttoa. Taulukossa 7.3 on esitetty turpeen ja puun polton tyypilliset teholuokat eri polttotekniikoilla. \7\

Taulukko 7.3. Turpeen ja puun polton tyypilliset teholuokat polttotekniikoittain pienten polttolaitosten kokoluokassa.

Polttotekniikka	Pienin teho, MW	Tyypillinen teho, MW
Mekaaninen arina	1	2 - 30
Kerrosleijupoltto	2	10 - 50
Kiertoleijupoltto	7	20 - 50
Kaasutuspoltto	0,5	2 - 10

Taulukossa 7.4 on esitetty arvio eri polttotekniikoiden soveltuvuudesta jyrsinturpeen, palaturpeen ja hakkeen polttoon ja säädettävyyteen.

Taulukko 7.4. Eri polttotekniikoiden soveltuvuus ja säädettävyyys jyrsinturpeen, palaturpeen ja hakkeen poltossa.

Polttotekniikka	Jyrsinturve	Palaturve	Hake	Säädettävyyys
Mekaaninen arina	2	3	3	2
Leijupoltto	3	2	3	3
Kaasutuspoltto	0	* 3	3	3

0 = ei sovellu, 1 = välttävä, 2 = tyydyttävä, 3 = hyvä, * vaatii esimurskauksen

7.1.1 Polttoaineen syöttö

Polttoaineen syöttöjärjestelmän ensisijainen tehtävä on syöttää polttoaine arinalle koko arinan leveydeltä tasaisena kerroksena. Tämä on ensiarvoisen tärkeää lähinnä sen takia, että toisin kuin esimerkiksi leijupoltossa, polttoaineen sekoittuvuus arinalla on erityisesti leveyssuunnassa huonoa, vaikka arina olisi ns. mekaaninen, eli arinaraudat olisivat liikkuvia.

Mikäli polttoaine ei levity tasaisesti, on seurauksena primääri-ilman hallitsematonta ”karkaamista” sieltä, missä arinan ja polttoainekerroksen vastus on pieni. Suuremmissa arinoissa syöttö tapahtuu arinan koko leveydeltä painovoiman avulla. Levittäytyminen arinalle tapahtuu täten tavallaan automaattisesti. Alasyötötarinassa polttoaine syötetään ruuvilla arinan keskelle kaukaloon, josta polttoaine leviää eri puolille arinaa.

Syöttöjärjestelmät on konstruoitava siten, että syöttöaukosta ei pääse hallitsematonta ”sekundääri-ilmaa” tulipesään, eikä toisaalta epästabiileissa tilanteissa ns. takatulta tulipesästä polttoaineen käsittelyjärjestelmään. \7\ \10\ \11\

7.1.2 Arina

Arinoiden rakenteet riippuvat polttoaineesta ja kattilan koosta. Pääjaottelun turpeelle ja puupolttoaineille voisi olla esimerkiksi seuraava:

- kiinteä tasoarina
- kiinteä viistoarina
- mekaaninen viistoarina.

Arinat ovat usein em. päätyyppien yhdistelmiä, esim. kiinteän aineen ja mekaanisen arinan yhdistelmät. Arinat eroavat lisäksi toisistaan arinamateriaalin jäähdytystavan osalta. Pienet arinat ovat useimmiten ilmajäähdytteisiä, eli jäähdytys tapahtuu primääri-ilmalla. Suuret arinat ovat pääsääntöisesti vesijäähdytteisiä, ja jäähdytys on integroitu kattilan vesikiertoon.

Mekaanisissa arinoissa osa arinaraudoista on hydraulisesti liikuteltavissa edestakaisin (työntö luokkaa 100 mm). Liikkeellä saadaan aikaan polttoaineen sekoittumista ja hallittua siirtymistä vaiheesta toiseen. Arinakulma voi tällöin olla selvästi loivempi kuin kiinteällä viistoarinalla, jolla eteenpäin siirtyminen tapahtuu painovoiman avulla. Kiinteän viistoarinan kaltevuus riippuu polttoaineesta, mutta tyypillinen taso on 35 - 38°. Mekaanista arinaa on käytetty sellaisenaan puujätteelle tai suuremman arinakokonaisuuden tuhkausarinana.

Mekaaninen arinaratkaisu voi olla myös pyörivä kekoarina. Siinä arina on jaettu vyöhykkeisiin, joista esim. joka toinen pyörii (kuva 7.2). Tavoite on sama kuin mekaanisen edestakaisen liikkeen. Ratkaisua on sovellettu menestyksekkäästi erityäin määrän (kosteuspitoisuus noin 60 %) puujätteen (lähinnä hake ja puru) poltossa. Varsinaisen arinaraudan materiaali on tyypillisesti valurautaa, jonka lämmönkestävyyttä on voitu lisätä kromiseostuksella.



Kuva 7.2. Pyörivä kekoarina, BioGrate 3, Wärtsilä Finland BioPower Oy.

Arinan ilmanvastuksen mitoituksessa on oleellista, että vastus on suurempi kuin polttoainekerroksen vastus, jotta ilma saadaan jakautumaan mahdollisimman tasaisesti huolimatta polttoainekerroksen epätasaisuudesta. Tämä johtaa siihen, että ilmavirtaustien osuus kokonaispinnasta on vain muutamia prosentteja. Luonnonvetokattiloilla joudutaan tyytymään vähemmän mitoitukseen.

7.1.3 Palamisilman syöttö

Palamisilma syötetään tyypillisesti kahdessa vaiheessa, mutta joissain tapauksissa myös kolmessa. Primääri-ilma syötetään arinan alta ja sekundääri- ja mahdollisella tertiääri-ilmalla poltetaan polttoainekerroksesta haihtuneet palamiskelpoiset kaasut.

Palamistuloksen kannalta on edullista, jos primääri-ilmavirta voidaan erikseen säätää kuivaus-, pyrolyysi- ja loppuun palamisvaiheisiin. Primääri-ilman esilämmitys pienentää kattilan savukaasuhäviötä ja nopeuttaa palamisreaktioita. Sekundääri-ilmajärjestelmän toimivuuden kannalta on oleellista ilman tehokas ja oikea-aikainen sekoittuminen palamiskaasuihin. Tämä saadaan aikaan riittävällä ilman nopeudella ja suuttimien oikealla mitoituksella.

7.1.4 Tulipesä

Tulipesän geometria valitaan polttoaineominaisuuksien perusteella. Vastavirtaperiaate soveltuu polttoaineille, jotka syttyvät huonosti johtuen joko suuresta kosteuspitoisuudesta tai matalasta haihtuvien määrästä tai molemmista. Kuumat savukaasut johdetaan arinan alkuosaan nopeuttamaan kuivumista ja syttymistä. Vastavirtaperiaatetta sovelletaan yleisesti kosteille biopolttoaineille.

Myötävirtaperiaate soveltuu päinvastoin polttoaineille, jotka syttyvät ja pyrolysoituvat nopeasti. Haihtuneet palamiskaasut johdetaan varsinaisen liekkialueen läpi, jolloin ne viipyvät kauemmin palamiselle edullisissa olosuhteissa ja loppuunpalamisen voidaan olettaa tehostuvan.

Yleisperiaatteena tulipesägeometrian valinnassa tulee lisäksi olla mahdollisimman tasainen ja korkea lämpötilataso ja paikallisten kylmien kohtien välttäminen. Kosteilla polttoaineilla tulipesän seinärakenteen tulee olla jäädyttämätön (= muurattu tai massattu) ainakin niiltä osin, jotka palvelevat lämpötilatason ylläpitoa kuivaus- ja pyrolyysivaiheissa.

Olisi edullista, jos tulipesän seinä polttoainekerroksen kohdalta olisi jäädytetty, jolloin välttyttäisiin siltä sangen yleiseltä ilmiöltä, että polttoaine palaa nopeasti arinan reunoilta tyhjäksi edesauttaen primääri-ilman hallitsematonta karkaamista polttoainekerroksen ohi. Alasyöttöisessä pyörivässä kekoarinassa ei seinämäongelmia ole; polttoainekerroksen ja seinämän välissä on tuhkasola tuhka-arinoineen. \7\ \10\ \11\

7.1.5 Tuhkanpoisto

Polttoaineen sisältämä tuhka poistuu arinapoltoissa pääosin arinan läpi tai suuremmissa yksiköissä jäännöshiilen loppuunpalamiseen tarkoitetun, usein mekaanisen ns. tuhka-arinan loppuosasta sammutuskaukaloon. Arinan läpi putoava tuhka sisältää usein merkittävän määrän palamiskelpoista polttoainetta, ja yleensäkin voidaan todeta, että arinapolton ns. tuhkan hehkutushäviö, joka tarkoittaa tuhkan sisältämän palamiskelpoisen polttoaineen osuutta, on esimerkiksi leijupolttoa selvästi suurempi. Savukaasun mukana lentoon lähtevien tuhka- ja polttoainehiukkasten määrä riippuu hiukkasten koosta ja kaasun virtausnopeudesta polttoainekerroksen pinnassa. \7\ \10\ \11\

7.1.6 Päästöt ja niiden hallinta

Arinapoltoille ovat ominaisia erilaiset lämpötilatasot arinan ja siihen liittyvän tulipesän eri osissa. Varsinkin kosteilla polttoaineilla palaminen on usein epätäydellistä, minkä seurauksena häkä- ja hiilivetypäästöt ovat usein korkeammat kuin leijupoltossa. Ilman palamisilman esilämmitystä käytännössä poltetaan enintään kosteudeltaan 65 - 68 -prosenttista puupolttoainetta.

Kaasujen sekoittuminen arinapoltossa on leijupolttoon verrattuna tehottomampaa, mikä myös omalta osaltaan lisää epätäydellisen palamisen seurauksena syntyviä häikä- ja hiilivetypäästöjä. Tämä johtuu siitä, että polttoaineen sekoittuminen ja liike on rajallista. Arinapolton teho pinta-alayksikköä kohti on myös leijupolttoa pienempi, mikä vaikeuttaa sekundääri-ilman tehokasta suuntaamista ja sekoittamista. Viipymäaika säädellessään lähinnä tulipesän mitoituksella, ja se on arinapoltossa saatavissa samantasoiseksi kuin muillakin polttoaineilla. Kuitenkin modernissa arinapoltossa oikein suunnitellulla ilmanjaolla CO-päästötaso keskimäärin voi olla samaa luokkaa kuin leijukerrosoltossa. \7\ \10\ \11\

Tyypillistä arinapoltolle on se, että esimerkiksi epätäydellistä palamista arinalla on erittäin vaikeata todeta jatkuvaluontoisilla mittauksilla, mikä mahdollistaisi automaattiset korjaustoimenpiteet. Palamisen hallinta jää näin ollen puutteelliseksi, koska ainoa mittaustieto vanhoissa kattiloissa on usein savukaasun happimittaus ja sekin vain suuremmissa yksiköissä. Esimerkiksi leijupoltossa palamista pystytään jatkuvasti seuraamaan pedin lämpötila- ja painemittauksilla perinteisen happimittauksen lisäksi.

Nykyisissä moderneissa arinakattiloissa aina instrumentointiin ja palamisen säätöön kuuluvat tulipesän alipaineen- ja lämpötilan mittaus, happimittaus sekä joissain tapauksissa jatkuvatoiminen CO-mittaus 1 MW tasolta lähtien. \7\ \10\ \11\

Hiukkaset

Arinakattiloilla valtaosa tuhkasta poistuu pohjatuhkana ja vain pieni osa lentotuhkana, jolloin varsinkin pienessä kokoluokassa (alle 5 - 10 MW) käytetään yleisesti multisykloneita hiukkaserottimina. Tätä suuremmissa uusissa arinakattiloissa käytetään nykyään yhä useammin sähkösuodatinta hiukkasten poistossa tiukempien hiukkaspäästömääräysten takia.

NO_x

Arinapolton NO_x-päästöt syntyvät pääasiassa polttoaineen tyypestä, ja korkeimmissa lämpötiloissa myös ilman tyypestä. Kattavia mittaustuloksia arinapolton NO_x-päästöistä ei ole saatavilla, mutta esim. vastaavien polttoaineiden leijupolttoon verrattuna voidaan olettaa päästöjen olevan korkeammat. Arinapoltolla on keskimää-

räinen yli-ilmamäärä jonkin verran (luokkaa 10 %) leijupolton arvoja korkeampi ja samoin voi arinapoltolla esiintyä leijupolttoa enemmän paikallisia lämpötilahuippuja, jotka voivat jopa ylittää termisen NO_x-muodostuksen tasolle.

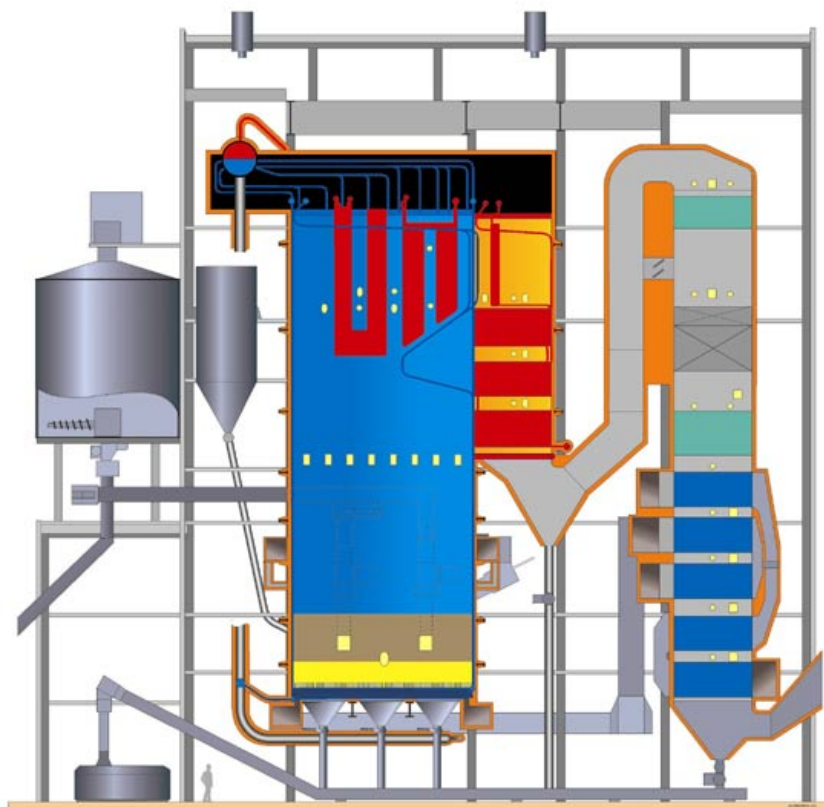
Palamisilman vaiheistuksen toteuttaminen NO_x-päästöjen rajoittamiseksi on arinapoltolla leijupolttoa vaikeampi toteuttaa varsinkin olemassa olevilla laitoksilla. Kaikki uudet kiinteän polttoaineen arinakattilat varustetaan nykyään palamisilman vaiheistuksella NO_x-päästöjen vähentämiseksi.

SO₂

Arinapoltolla rikkidioksidipäästö tulee merkittäväksi lähinnä vain hiilenpoltossa, jossa päästöjen rajoittaminen edellyttää aina ns. sekundäärisen menetelmän käyttöä eli savukaasun puhdistusta. Kuten leijukattiloissa myös ketjuarinakattiloissa on kehitetty lisäaineen (kalsiumhydroksidin) injektiota tulipesään rikin sitomiseksi, mutta erotuskyky jää hyvissäkin olosuhteissa käytännössä suunnilleen samalle tasolle kuin kiinteän polttoaineen poltinpoltossa eli parhaimmillaan noin 30 %:iin, mikä ei yleensä ole riittävä. \7\10\11\

7.2 Leijupoltto

Leijukerrostekniikka on ollut tunnettua kemianteollisuudessa jo 1920-luvulta lähtien. Ensimmäiset sovellukset kehitettiin öljyn krakkaukseen ja hiilen kaasutukseen. Leijukerrostekniikka yleistyi kemian- ja metallurgiateollisuudessa 1940-luvulla, jolloin kehitettiin mm. sovellus pyriitin pasutukseen. Suomessa leijukerrostekniikkaa kehitettiin 1960-luvun lopussa kaasutukseen ja kaasunkehitykseen. Kattilatekniikkaan leijupolttoa alettiin kehittää 1970-luvun puolivälissä, ja ensimmäiset kaupalliset laitokset valmistuivat vuosikymmenen lopussa. Nykyisin leijukattilat ovat vakiinnuttaneet markkina-asemansa ympäristöystävällisinä erilaisten kiinteiden polttoaineiden monipolttoainekattiloina. Kuvassa 7.3 on kerrosleijulaitoksen kaaviokuva. \7\12\



Kuva 7.3. Kerrosleijulaitoksen kaaviokuva, Kvaerner Power Oy.

7.2.1 Leijupedin ominaisuudet

Leijupoltossa palaminen tapahtuu pedissä (kerroksessa), jota leijutetaan sen alapuolelta puhallettavan ilman avulla. Leijupeti muodostuu kiinteästä petimateriaalista (yleensä hiekka), siihen syötettävästä polttoaineesta, mahdollisesta kalkkikivestä ja ilmasta sekä palamisessa syntyvästä savukaasusta. Leijukerroksen käyttäytyminen riippuu mm. kaasun virtausnopeudesta, petimateriaalista, pedin ja polttoaineen partikkelikokojakaumasta, pedin korkeudesta ja palamisilmajaosta sekä pedin painehäviöstä.

Leijupedille tyypillisiä piirteitä ovat hyvä kaasun ja kiintoaineen sekoitus ja pedin suuri lämpökapasiteetti, joka mahdollistaa huonolaatuisen, matalalämpöarvoisen ja kostean polttoaineen polton hyvällä palamishyötysuhteella. Lisäksi on mahdollisuus käyttää samassa kattilassa hyvinkin erilaisia polttoaineita, joiden laatu vaihtelevat voivat olla nopeita ja suuria. Leijupedillä on pieni huollon tarve, koska siinä on

vähän liikkuvia osia. Tasaisen ja matalan palamislämpötilan (800 - 950 °C) sekä palamisilman vaiheistuksen vuoksi NO_x-päästöt ovat yleensä alhaiset. Rikkipäästöjä voidaan vähentää helposti, tehokkaasti ja taloudellisesti syöttämällä petiin kalkkikiveä (CaCO₃) tai dolomiittia (CaCO₃·MgCO₃). Leijupedin palamislämpötila on tuhkan pehmenemis- ja sulamislämpötilojen alapuolella, ja lämmönsiirto pedistä kattilan vesi-höyrypiiriin on hyvä. Pedin suuren painehäviön vuoksi leijupolton omakäyttöteho on korkea. Pedin voimakkaan sekoittumisen sekä pelkistävien ja/tai hapettavien olosuhteiden vuoksi pedissä mahdollisesti sijaitsevat lämmönsiirtoputket ovat alttiina eroosiolle. Eroosiota voidaan estää pinnoittamalla putket kulutusta kestäväällä materiaalilla (esim. muurauksilla). Leijupeti ei tarvitse juuri polttoaineen esikäsittelyä, lähinnä vain raudan erotuksen ja tarvittaessa esimurskauksen ja seulonnan. \7\ \12\

7.2.2 Leijupedit

Leijukattilat voidaan pedin käyttäytymisen perusteella jakaa neljään erilaiseen tyyppiin: kiinteään petiin, kuplivaan petiin, turbulenttipetiin ja kiertopetiin. Kiinteän pedin alueella kaasun nopeus on alhaisempi kuin minimileijutusnopeus, käytännössä alle 0,5 m/s. Kaasun ja kiintoaineen sekoittuminen pedissä on vähäistä. Pedin painehäviö kasvaa virtausnopeuden kasvaessa.

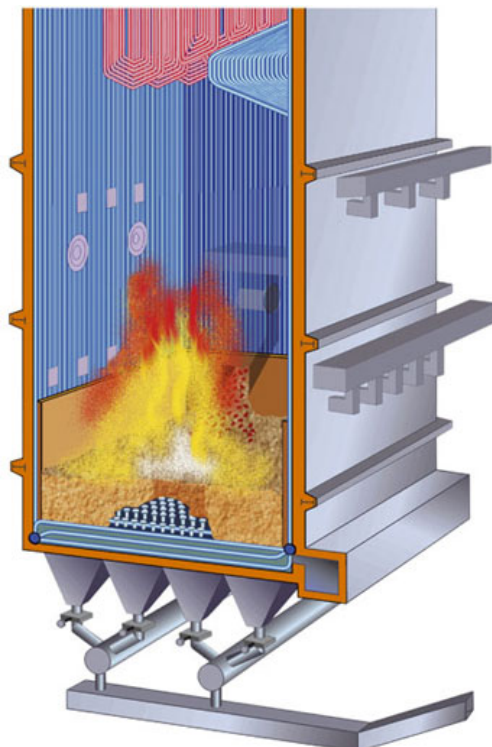
Perinteisellä leijupedillä tarkoitetaan usein kuplivaan leijupetiä. Se voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen, kupla- ja emulsiofaasiin. Kuplafaasi muodostuu kaasukuplista, jotka nousevat kiintoaineesta muodostuneen emulsiofaasin läpi. Kaasu läpäisee leijupedin kuplafaasissa, ja kiinteän polttoaineen palaminen tapahtuu emulsiofaasissa. Palamisessa tarvittava happi siirtyy kuplafaasista emulsiofaasiin. Kaasun nopeus kuplivassa leijupedissä on 1,0 - 3,0 m/s, ja pedin korkeus 0,5 - 1,0 m ja tiheys 800 kg/m³. Petimateriaalin hiukkaskoko on tyypillisesti 1 - 3 mm. Pedin painehäviö ei riipu kaasun virtausnopeudesta leijukerroksessa. Tulipesän poikkipintarasitus on 1,5 - 3,0 MW/m².

Kun kaasun virtausnopeus osittain saavuttaa hiukkasten vapaan putoamisnopeuden eli terminaalinopeuden, kuplat häviävät ja osa petimateriaalista kulkeutuu kaasun

mukana pois pedistä. Kaasu kulkee tasaisesti jakautuneena leijupedin läpi. Tässä tapauksessa leijupetiä kutsutaan turbulentiksi leijupediksi, ja kaasun nopeus siinä on tyypillisesti 3,0 - 4,0 m/s. Nostettaessa edelleen kaasun virtausnopeutta leijukerrosksen läpi yhä suurempi osa hiukkasista kulkeutuu kaasun mukana pois pedistä, joka tavallaan täyttää koko tulipesän. Kiertoleijukattilassa nämä ”karkaavat” hiukkaset palautetaan esim. syklonin avulla takaisin pedin alaosaan. Kaasun virtausnopeus kiertopedissä on käytännössä 4,0 - 10,0 m/s, ja pedin tiheys on alaosassa noin 800 kg/m^3 ja pienenee ylöspäin mentäessä. Petimateriaalin hiukkaskoko on 0,1 - 0,5 mm. Tulipesän poikkipintarasitus on 5 - 7 MW/m².

7.2.3 Leijukattilat

Leijupedin käyttäytymisen perusteella leijukattilat jaetaan kerrosleijukattiloihin (kuva 7.4) ja kiertoleijukattiloihin. Kerrosleijukattilassa hiukkaset ja petimateriaali pysyvät leijukerroksessa, kun taas kiertoleijukattilassa ne kulkevat leijutuskaasun mukana pois leijutusstilasta, ja ne on jatkuvuustilan aikaansaamiseksi palautettava takaisin erillisillä erotus- ja kierrätyslaitteilla (sykloni ja palautusputki).



Kuva 7.4. Kerrosleijukattila, Kvaerner Power Oy.

Kerrosleijukattiloissa polttoaine syötetään normaalisti sulkusyöttimen ja syöttösuppilon kautta tulipesään leijupedin yläpuolelle. Myös tunkijaruuvia voidaan käyttää. Kiertoleijukattiloissa polttoaine syötetään normaalisti sulkusyöttimen kautta sykloneiden palautuskanavaan (ns. paluupolveen) tai tunkijaruuveilla tulipesän etuseinälle. \7\ \12\

Leijukattilan tulipesä valmistetaan normaalista eväputkesta. Tulipesän alaosa ja arinan pinta suojataan eroosiota vastaan muurauksilla 2 - 6 metrin korkeuteen asti arinan pinnalta. Arina muodostuu pohjalevystä tai vesijäähdytetystä eväputkilevystä, jonka läpi arinasuuttimet menevät. Jotkin valmistajat käyttävät jäähdytysputkia pedin sisällä arinan yläpuolella tulipesän alaosan jäähdyttämiseksi.

Kiertoleijukattiloissa käytetään höyryn tulistamiseen joskus säteilytulistimia tulipesässä. Primääri-ilma puhalletaan ilmakaapin ja arinasuuttimien läpi tulipesään. Primääri-ilman osuus vaihtelee polttoaineesta riippuen välillä 45 - 80 %. Mitä kosteampaa polttoaine on, sitä suurempi on primääri-ilman osuus. Sekundääri- ja tertiääri-ilmat johdetaan tulipesään 1,5 - 4,0 m arinan pinnan yläpuolelle. Leijukattiloiden pohjatuhka poistetaan arinan alta sulkuventtiilien kautta tuhkansammuttimelle tai erikoisvalmisteista jäähdytettyä ruuvikuljetinta käyttäen. Toinen mahdollisuus on poistaa tuhka arinan sivulle asennettujen tuhkanjäähdyttimien kautta. Tuhka seulotaan tuhkanjäähdyttimessä, ja hienorakeinen aines palautetaan takaisin tulipesään.

Kerrosleijukattilaan verrattuna kiertoleijukattilalla on sama palamishyötysuhde sekä matalammat typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöt. Kiertoleijukattilassa on mahdollista polttaa myös hiiltä pääpolttoaineena. Kerrosleijukattilan etuina kiertoleijukattilaan verrattuna voidaan pitää parempaa soveltuvuutta myös hyvin märille ja/tai matalalämpöarvoisille polttoaineille ja kattilamuutoksille sekä yksinkertaisemmasrakenteesta (ei sykloonia eikä palautusputkea) johtuvaa halvempaa hintaa, mikä korostuu erityisesti pienten polttolaitosten kokoluokassa. \7\ \12\

7.2.4 Päästöt ja niiden hallinta

Hiukkaset

Leijupoltossa savukaasujen puhdistus hiukkasista vaatii yleensä tehokkaat ja kalliit erottimet (käytännössä sähkösuodattimet tai letkusuodattimet), koska valtaosa tuhkasta poistuu kattilasta lentotuhkana ja vain pieni osa poistetaan pohjatuhkana.

NO_x

Leijupolton NO_x-päästö on yleensä selvästi pienempi kuin poltinpoltossa. Tämä selittyy osaltaan leijupolton matalalla polttolämpötilalla (800 – 950 °C), minkä vuoksi termisen-NO_x:n muodostus on merkityksetön ja lähes kaikki NO_x on peräisin polttoaineen typestä. \7\ \12\

Varsinkin kiertoleijupoltossa alhainen NO_x-päästö selittyy myös osaltaan NO_x:n erittäin tehokkaasta vähennyksestä ilmanvaiheistuksella. Tämä johtuu NO_x:n pelkistymisestä koksien avulla. Kiertoleijupoltossa merkittäviä koksimääriä esiintyy koko kattilassa, ja NO_x:n ja koksien tehokas kanssakäyminen on mahdollista koko palotilassa. Ilmanvaiheistuksella koksimäärä kattilassa edelleen lisääntyy. Kaikki uudet kiinteän polttoaineen leiju- ja arinakattilat varustetaan nykyään palamisilman vaiheistuksella NO_x-päästöjen vähentämiseksi. Lisäksi lähes kaikkiin olemassa oleviin leijukattiloihin voidaan lisätä palamisilman vaiheistus ja optimoida ajoparametreja.

Tärkeimmät leijupolton NO_x-päästöön vaikuttavat tekijät ovat polttoainelaatu, lämpötila ja ilmakerroin. NO_x-päästö kasvaa, kun ilmakerroin tai lämpötila kasvaa. NO_x-päästön riippuvuus polttoaineenlaadusta on monimutkaisempi, eikä selvää korrelaatiota NO_x-päästön ja polttoaineen iän välillä löydy. Nuorilla polttoaineilla, kuten puulla, NO_x-päästö riippuu voimakkaasti polttoaineen typpipitoisuudesta eli NO_x-päästö kasvaa, kun puun typpipitoisuus kasvaa. Vanhemmille polttoaineille, kuten hiilelle, vastaavaa NO_x-päästön selvää riippuvuutta polttoaineen typpipitoisuudesta ei aina löydy. \7\ \12\

Kiertoleijupoltossa on lisäksi havaittu, että hiilen NO_x-päästö voi olla jopa pienempi kuin puun, vaikka hiilen typpipitoisuus on selvästi suurempi kuin puun. Tä-

mä johtunee kattilan suuremmasta koksimäärästä hiilen poltossa, jolloin NO_x voi pelkistyä kaksin avulla. Lisäksi NO_x-päästö voi olla hyvinkin erilainen kierto-leijupoltossa kuin kerrosleijupoltossa. Myös kalkkikiven lisäys kattilaan vaikuttaa olennaisesti sekä NO_x-päästöihin. Esim. kierto-leijupoltossa kalkkikiven lisäys lisää NO_x-päästöä. \7\ \12\

Savukaasun takaisinkierrätystä voidaan myös käyttää joillakin olemassa olevilla pienillä kiinteän polttoaineen kattilalaitoksilla arinalämpötilojen säätöön, mikä taas osaltaan laskee NO_x-päästötasoa.

SO₂

Leijupolton olosuhteet ovat otollisia tehokkaalle rikinpoistolle: viipymääjat ovat riittävän pitkiä ja lämpötila on sopivalla alueella. Merkittävin rikinpoistoa edistävä tekijä on kuitenkin se, että leijupoltossa petimateriaalin intensiivinen jauhautuminen poistaa kalkkikivi- tai dolomiittipartikkelin ympärille muodostuvaa tiukkaa sulfaattikerrosta, joka muutoin hidastaisi SO₂:n sitoutumista. Isoista partikkeleista sulfatoituvat ainoastaan pintaosat, ja ellei tätä kerrosta poistettaisi, jäisi partikkelin sisäosa täysin hyödyntämättä.

Leijupoltossa palamislämpötilalla on myös merkitystä rikinpoistoon. Optimilämpötila riippuu mm. käytettävästä sorbentista (alkalista), ja sen on todettu olevan 850 - 880 °C kierto-leijupoltossa ja 820 - 850 °C kerrosleijupoltossa. Kierto-leijupoltossa saavutetaan huomattavasti parempia rikinpoistotuloksia kuin kerrosleijupoltossa, koska kierto-leijupoltossa on pitemmät viipymääjat.

Polttoaineen rikkipitoisuudesta riippuen rikinpoistoaste voi runsasrikkisen hiilen kierto-leijupoltossa olla jopa 90 %, mutta jää vähemmän rikkiä sisältävän turpeen kierto-leijupoltossa parhaimmillaan tasolle 70 % ja turpeen kerrosleijupoltossa parhaimmillaan tasolle 30 %. Leijupolton rikkidioksidin sitomiseksi tulipesässä ei yleisesti käytetä lisäaineen syöttöä pienten polttolaitosten kokoluokassa. Uusimmissa turvetta polttavissa leijukattiloissa tehdään yleensä lisäaineen syöttölaitteelle ainakin tilavaraus, jolloin se voidaan asentaa tarvittaessa helposti jälkikäteen.

Polttaessa turvetta ja puuta leijukattilassa polttoaineen tuhka sitoo periaatteessa myös pienen osan (10 - 20 %) syntyneestä rikkidioksidista johtuen puun tuhkan sisältämistä korkeista alkalimetalli- (Na ja K) ja kalsiumpitoisuuksista. Näiden vaikutus rikinsidontaan riippuu em. alkuaineiden pitoisuuksien lisäksi myös palamisolosuhteista ja pedin koostumuksesta tulipesässä, joten rikinsidontan tehokkuutta on vaikea arvioida tarkasti. Toisaalta tuhkan korkea alkalimetallipitoisuus yleensä heikentää kattilan käytettävyyttä alentamalla tuhkan sulamispistettä, mikä voi aiheuttaa pedin sintraantumista ja vaikeuttaa pohjatuhkan poistoa. Korkea alkalimetallipitoisuus voi aiheuttaa myös kattilan likaantumista muodostamalla kerrostumia lämpöpinnoille. \7\ \12\

7.3 Kaasutuspoltto

Kaasutus on periaatteessa ali-ilmaista polttamista olosuhteissa, joissa polttoaine osittain palamisen ja osittain muiden reaktioiden tuloksena hajoaa kaasumaisiksi yhdisteiksi. Ilmakerroin on tyypillisesti alueella 0,3 - 0,5 ja lämpötila 500 - 1000 °C. Näissä olosuhteissa syntyy kaasutuskasua (tuotekasua), joka sisältää palavina ainesosina häkää, vetyä, metaania ja muita hiilivetyjä ja lisäksi inertteinä ainesosina typpeä ja hiilidioksidia, joiden kaikkien määrä riippuu kaasutettavasta polttoaineesta ja kaasutusprosessista. \7\ \12\

7.3.1 Kiinteäkerroskaasutus

Pienten polttolaitosten (5 - 50 MW) kaasutustekniikka perustuu kiinteäkerroskaasutukseen, joka voidaan toteuttaa joko vastavirta- tai myötävirtaperiaatteella. Molemmissa kaasutintyypeissä polttoaineena käytettävän turpeen, puun ja hyvälaatuisen kierrätyspolttoaineen täytyy olla hyvin tasalaatuista ja pääosin palamaista eikä se saa olla liian märkää (alle 50 - 55 %). Polttoaineessa ei saa olla liikaa tuhkaa eikä sen sulamislämpötila saa olla liian alhainen (alle 900 °C), jottei syntyisi tuhkan sintraantumista ja tuhkakakkujen muodostumista.

Kiinteäkerroskaasutukseen perustuvat laitokset ovat yleensä kaukolämpöä ja/tai prosessihöyryä tuottavia lämpölaitoksia, jotka koostuvat kaasuttimesta ja kaasukattilasta. Vaihtoehtoisesti kaasutuskaasu voidaan johtaa myös kaasumoottoriin, dieselmoottoriin tai kaasuturbiiniin, jolloin saadaan sähköä, ja kun pakokaasujen lämpö otetaan talteen, myös höyryä teollisuusprosessiin ja/tai kaukolämpöä yhdyskunnalle. Tällöin kaasutuskaasu voi olla ainoa polttoaine ja sitä voidaan käyttää seospolttoaineena esim. maakaasun kanssa. \7\ \12\

Vastavirtakaasuttimessa polttoaine syötetään ylhäältä ja ilma puhalletaan hyvin pienellä nopeudella alhaalta, jotta tuhkan ja polttoaineen kerros ei ala leijua vaan pysyy kiinteänä. Polttoaine kaasuuntuu kiinteässä tuhkakerroksessa, ja kaasu poistetaan kaasuttimen yläosasta sekä tuhka alaosasta.

Vastavirtakaasuttimen kaasun tervapitoisuus on korkea ja lämpötila alhainen, mikä asettaa erityisvaatimuksia kaasun tehokkaalle puhdistukselle sähköntuotantoratkaisuissa. Lisäksi kaasuputken tukkeutuminen voi aiheuttaa ongelmia. Vastavirtakaasuttimien kokoluokka on 2 - 20 MW ja kokonaishyötysuhde yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa 80 - 90 % prosessikytkennästä ja laitoskoosta riippuen. Rakennusaste on 0,6 - 0,7. Suomessa on nykyisin kaupallisessa käytössä muutama vastavirtakaasutukseen perustuva lämpökeskus, jotka kaasuttavat palaturvetta tai haketta. Kaasutuskaasu poltetaan kattilassa, jossa tuotetaan kaukolämpöä noin 5 MW. \7\ \12\

Myötävirtakaasuttimessa polttoaine ja ilma syötetään ylhäältä kiinteään tuhkakerrokseen, jossa polttoaine kaasuuntuu ja kaasuu kulkee kerroksen läpi ja poistetaan kaasuttimen alaosasta. Hiilikonversio on tämän takia alhainen, joten kaasuttimen alaosasta poistettu tuhka sisältää huomattavan määrän myös palamatonta hiiltä.

Myötävirtakaasuttimet soveltuvat vain hyvin pieneen kokoluokkaan (alle 2 MW) ja erittäin hyvälaatuisille polttoaineille (lähinnä hake), jonka tuhkapitoisuus on erittäin alhainen ja sulamislämpötila korkea, jotta tuhkan sulamiselta ja kanavoitumiselta vältyttäisiin ja jotta tuhkakerroksen painehäviö olisi kohtuullinen.

Suomessa on koekäytössä yksi myötävirtakaasutukseen (2 MW) perustuva moottorivoimalaitos ja lisäksi muutamia muita hankkeita on vireillä. \7\ \12\

7.3.2 Savukaasupäästöt

Kiinteäkerroskaasutuksen typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöt ovat samalla tasolla kuin vastaavien kokoisten puuta ja turvetta polttavien arinakattiloiden, mutta yleensä jonkin verran suuremmat kuin leijukattiloiden. Sen sijaan hiukkaspäästöt ovat yleensä alhaisemmat kuin ilman hiukkaserottimia varustettujen vastaavien kokoisten kiinteiden polttoaineiden kattiloiden, koska varsinkin vastavirtakaasuttimissa tuhka jää kaasuttimeen, ja kaasutuskaasu sisältää vain hyvin vähän hiukkasia eikä täten vaadi erillistä hiukkaserotinta. Toisaalta kaasun korkea tervapitoisuus vaatii tehokasta puhdistusta, jos kaasu johdetaan moottoriin, mutta ei vaadi käsittelyä, jos kaasu poltetaan kattilassa. \7\ \12\

7.3.3 Leijukerroskaasutus

Periaatteessa biopolttoainetta ja/tai kierrätyspolttoainetta on mahdollista kaasuttaa myös pienissä yli 20 - 30 MW kerrosleiju- tai kiertoleijukerrosreaktorissa ja johtaa kaasu puhdistettuna tai puhdistamattomana olemassa olevaan isoon höyrykattilaan ja korvata siellä enintään 30 % kattilan pääpolttoaineesta. Tällöin kuitenkin laitoksen savukaasupäästörajat määräytyvät isojen polttolaitosten (yli 50 MW) päästömääräysten mukaisesti, koska olemassa olevan höyrykattilan teho on yli 100 MW. Tämän takia leijukerroskaasutusta ei käsitellä tässä selvityksessä. \7\ \12\

8 HIUKKASTEN POISTO

Savukaasujen sisältämät kiintoaineet ovat pääasiassa peräisin polttoaineen sisältämästä tuhkasta sekä palamatta jääneestä polttoaineesta. Leijupoltossa osan pölystä muodostaa myös mukaan tempautuva hienojakoinen petimateriaali. Yleisesti ottaen voidaankin todeta, että hiukkasten muodostuminen ja siten myös kokonaisuus on lähes riippumaton polttotekniikasta. Sen sijaan hiukkasten jakautuminen kattilan pohjatuhkaan ja savukaasujen lentotuhkaan riippuu polttotekniikasta, polttoaineesta ja kattilan toimintaolosuhteista.

Kiintoaineen eli hiukkaspäästöjen rajoittamiseksi on olemassa useita menetelmiä, joiden valinta riippuu sekä toimintaolosuhteista että vaaditusta erotusasteesta. Hiukkasten erottumisen kannalta tärkeitä tekijöitä ovat mm. hiukkasten ja kaasun fysikaaliset ominaisuudet. Kaasun ominaisuuksista tärkeimpiä ovat lämpötila, paine ja kosteus. Hiukkasten ominaisuuksista merkittävimpiä ovat kokojakauma, varautumiskyky, tiheys, karkeus, johtavuus ja agglomeroitavuus. Puhdistinlaitteen valintaan vaikuttavat myös erotettavien aineiden reaktiivisuus ja palamisherkyys.

Pienten polttolaitosten savukaasujen puhdistuksessa käytetään mm. seuraavia erotintyyppejä:

- mekaaniset eli dynaamiset erottimet, jotka perustuvat keskipakoisvoiman hyväksikäyttöön
- sähkösuodattimet, joissa hiukkaset varataan sähköisessä kentässä ja kerätään erotuslevyille
- kuitusuodattimet, joissa kaasut kulkevat suodattavan materiaalin läpi
- pesurit, joissa savukaasu pestään vedellä. \7\ \10\ \12\

8.1 Sähkösuodatin

Sähkösuodatin on tällä hetkellä ylivoimaisesti eniten käytetty kiintoaineen erotuslaite suurissa voimalaitoksissa. Se on yleistynyt myös yhä pienemmissä kattilalaitoksissa. Pienimmät sähkösuodattimella varustetut laitokset ovat Suomessa alle

10 MW. Syitä sähkösuodattimen suosioon ovat korkea erotusaste, lämpötilankesto, luotettavuus, vähäinen huoltovaatimus ja tukkeutumisvaarattomuus. Pitkä käyttöikä ja pienet käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat alhaiset sähkötehonkulutuksen ja pienen painehäviön takia.

Haittapuolena on korkea investointikustannus, mikä korostuu varsinkin pienillä alle 20 MW polttolaitoksilla ja hyvin korkeilla erotusasteilla. Sähkösuodattimen hinta nousee jyrkästi, kun erotuskykyä nostetaan 99,5 %:sta ylöspäin. Esim. erotuskyvyn nostaminen 99,5 %:sta 99,9 %:iin kiinteällä polttoaineella nostaa sähkösuodattimen hintaa noin 30 %, koska tällöin joudutaan lisäämään sähkösuodattimeen yksi lisäkenttä. Tällöin luonnollisesti myös käyttökustannukset nousevat.

8.1.1 Toimintaperiaate

Sähkösuodattimessa pölyhiukkaset varataan sähkökentässä, minkä jälkeen ne erotuvat keräyselektrodeille, joilta pöly ravistetaan tai huuhdotaan vedellä pois. Pölypitoinen savukaasu johdetaan maadoitettujen kokoojalevyjen ja jänniteyksikköön yhdistettyjen emissioelektrodien väliin. Emissioelektrodit varataan negatiivisella tasavirtajännitteellä, joka on prosessista ja elektrodien ja levyjen välisestä etäisyydestä riippuen luokkaa 50 - 80 kV. Emissioelektrodeilla syntyy ns. koronapurkaus, jolloin negatiivisten elektrodien irtoaminen synnyttää sähkövirran. Elektronit törmäävät kaasumolekyyleihin, jotka ionisoituvat ja puolestaan varaavat hiukkaset negatiivisella varauksella. Tällöin hiukkaset sähköisten voimien vaikutuksesta ajautuvat kokoojalevyille, joilta ne aika ajoin levyä ravistamalla pudotetaan suodattimen pohjalla olevaan pölysäiliöön.

8.1.2 Erotuskykyyn vaikuttavia tekijöitä

Koska hiukkasten erottuminen kaasuvirrasta saadaan aikaan sähköisillä voimilla, on suodattimen erotusaste suuresti riippuvainen emissioelektrodeilta irtoavasta sähkövirrasta. Tämä ilmaistaan ominaisvirrankulutuksena yksikössä mA/ m² eli

sähkövirtana kokoojalevypinta-alaa kohti, ja sen on nykyisissä sähkösuodattimissa yleensä luokkaa $0,3 - 0,7 \text{ mA/m}^2$.

Virran suurentamista rajoittaa ns. sähköinen ylilyöntiraja. Ylilyönti voi tapahtua joko emissioelektrodien tai kokoojalevyjen välillä tai levyille kertyneen hiukkaskeroksen läpi. Molemmissa tapauksissa ylilyöntialttius riippuu käsiteltävän kaasun dielektrisyyslujuudesta, joka on puolestaan riippuvainen kaasun lämpötilasta, koostumuksesta ja hiukkasten ominaisvastuksesta. Sähkösuodattimen toimintaan vaikuttavat lisäksi hiukkasten hiukkaskokojakauma, herkkä yhteenliimautuminen, palamattomien hiukkasten osuus ja kaasun nopeusjakauma.

Lämpötila

Kaasun lämpötilan kohoaminen alentaa ylilyöntijänniterajaa. Tästä seuraa matalampi kokonaisvirta ja erotuskyvyn heikkeneminen.

Kaasun koostumus

Vesipitoisuus vaikuttaa sähkösuodattimen jännite-virta-korrelaatioon sekä hiukkasten ominaisvastukseen. Vesihöyry nostaa suodattimen erotuskykyä. Samoin vaikuttavat rikin oksidit. Päinvastaiseen suuntaan eli suodattimen erotuskykyä laskevat mm. vety, typpi ja hiilidioksidi.

Hiukkaskokojakauma

Hiukkaskokojakauman vaihtelurajat samassa prosessissa ovat yleensä niin pienet, että ne mahtuvat sähkösuodattimen normaaleihin mitoitusmarginaaleihin. Pääsääntö on, että karkeat hiukkaset erottuvat hienompia paremmin.

Palamattomat hiukkaset

Epätäydellisestä palamisesta johtuu, että savukaasuissa voi esiintyä palamattomia hiukkasia, hiiltä. Näiden hiukkasten ominaisvastus on erittäin pieni, joten heti kokoojalevyille jouduttuaan ne menettävät varauksensa, joka tarvitaan niiden pitämiseksi levyllä. Tästä syystä ne eivät liimaudu yhteen muiden hiukkasten kanssa vaan tempautuvat takaisin kaasuvirtaan irrottaen jo levyille kerääntyneitä hiukkasia mukaansa.

Kaasujen nopeusjakauma

Suuria savukaasumääriä käsiteltäessä on erittäin tärkeää, että koko asennettu koojalevypinta-ala tulee tehokkaasti hyväksikäytetyksi. Matalat nopeusalueet aiheuttavat suodattimen kapasiteetin vajaakäyttöä. Korkealla nopeusalueella saatetaan ylittää eroosionopeus, jolloin kerätyt hiukkaset tempautuvat takaisin kaasuvirtaan. Suuri kaasun nopeus suodattimen alaosassa vaikeuttaa hiukkasten laskeutumista pölytaskuun ja lisää ravistushäviötä ja pienentää siten suodattimen erotusastetta. Epätasainen nopeusjakauma saattaa aiheuttaa myös takaisinvirtaus- ja pyörreilmiötä eri kammioiden ja pohjataskujen välillä. Tätä varten suodattimiin on aina asennettu virtauksenestolevyt kenttien reunoille, yläosaan ja pohjataskuihin. Savukaasun pinnanopeus on tyypillisesti luokkaa 1 m/s.

Sähköisten järjestelmien lukumäärä

Teoria ja käytäntö ovat osoittaneet, että suodattimen toiminta on sitä parempaa, mitä useampaan toisistaan sähköisesti eristettyyn järjestelmään se on jaettu. Kullakin järjestelmällä tulee tällöin olla oma ohjausyksikkönsä. Tällöin pienemmillä järjestelmillä on pienempi ylilyöntiherkkyys. Myös hiukkaskerrostumien ja ravistusten aiheuttama ylilyöntien määrä ja siten niiden vaikutus kokonaiserotusasteeseen on pienempi.

Useimmissa voimalaitoksissa sähkösuodatin muodostuu kahdesta tai useammasta rinnakkaisesta kammioista. Tällöin kaikkien kammioiden sisääntulo- ja ulosmenokanavat varustetaan kaasutiiviillä sulkupelleillä. Silloin yhtä kammiota voidaan huoltaa toisten kammioiden käytön aikana. Laitoksen tulee kuitenkin käydä osateholla, jotta vaadittu erotusaste voidaan säilyttää. \7\ \10\ \12\

8.2 Kuitusuodatin

Kuitusuodattimia (tai letkusuodattimia) käytetään jonkin verran suurissa voimalaitoksissa, mutta ainakin vielä toistaiseksi varsin vähän (vain muutamassa) pienessä polttolaitoksessa. Perusteet kuitusuodattimen käytölle ovat tavallisesti hyvin vaikeasti erottuvat hiukkaset ja erittäin tiukat ilmansuojeluvaatimukset.

Kuitusuodattimilla saavutetaan hyvä erotusaste myös pieniä hiukkasia (hiukkaskoko alle 1 μm) erotettaessa. Kuitusuodattimen mitoitus ei tietyissä rajoissa ole kovinkaan riippuvainen hiukkasmäärästä tai sen luonteesta, vaan suodattimen koon määrää lähinnä savukaasumäärä. \7\ \10\

Kuitumateriaalit ovat kehittyneet paljon viime vuosina. Lämpötilan kestävyys on selvästi parantunut (nykyään jopa 250 °C saakka), ja samoin kemiallista kestävyyttä on pystytty parantamaan ilman, että hinta on noussut kohtuuttomaksi. Sähkösuodattimeen verrattuna kuitusuodattimen käyttö on huomattavasti tarkempaa. Tämä johtuu mm. siitä, että ohituskanava tarvitaan ylös- ja alasajotilanteita varten. Normaaliarjossa se on pidettävä suljettuna, jotta kokonaiserotuskyky ei vuodon takia huonone. Ohitustilanteita varten tarvitaan mekaaninen esierotin (sykloni/multisykloni). Käyttökatojen aikana suodatin on lämmitettävä kondensoitumisen välttämiseksi. Suodattimelle menevän kaasun lämpötilaa on seurattava huolellisesti, jotta sallittuja lämpötiloja ei ylitetä. Suodatin voi tukkeentua esim. savukaasussa esiintyvien tervojen takia, mitä voidaan estää syöttämällä ennen suodatusta lisäainetta (esim. $\text{Ca}(\text{OH})_2$), jolla voidaan poistaa hiukkasten lisäksi myös muita savukaasun epäpuhtauskomponentteja, kuten mm. rikkidioksidia (puolikuiva rikkinpoistomenetelmä). Poltosta tulevat hehkuvat hiukkaset voivat aiheuttaa reikiä letkuihin, mitä voidaan estää mekaanisella esierotimella tai korkeampaa lämpötilaa kestäväällä letkumateriaalilla (esim. Teflon). \7\ \10\

Kuitusuodatin on pienillä kiinteän polttoaineen laitoksilla hyvän erotuskyvyn (yli 99 %) takia houkutteleva vaihtoehto pyrittäessä hyvin alhaiseen hiukkaspäästöön (alle 10 mg/m^3). Sen käyttö edellyttää kuitenkin huolellisuutta ja jatkuvaa valvontaa. Sen sijaan öljyä polttavilla laitoksilla kuitusuodattimen erotuskyky on selvästi alempi, koska suodattimen pinnalle syntyvä suodattava hiukkaskerros on öljyn hyvin pienen tuhkapitoisuuden johdosta ohut, jollei lisäainetta syötetä savukaasuun ennen suodatusta.

Kattilalaitoksilla kuitusuodattimen hinta riippuu merkittävästi käytetystä suodatinletkumateriaalista, mutta se on perinteisellä materiaalilla (esim. Ryton, jonka läm-

pötilankesto on noin 170 °C) samaa suuruusluokkaa kuin uuden sähkösuodattimen investointikustannus (noin 15 000 - 20 000 euroa/MW) koosta riippuen.

Sen sijaan kokonaiskustannukset ovat letkusuodattimella selvästi korkeammat, koska letkujen vaihtoväli on 2 - 4 vuotta, mistä aiheutuu merkittävä kunnossapitokustannus. Letkujen osuus letkusuodattimen hinnasta on 20 - 30 % letkumateriaalista riippuen. Lisäksi letkusuodattimen painehäviö on noin 10 mbar eli selvästi suurempi kuin sähkösuodattimen (2 mbar), mikä nostaa käyttökustannuksia, mutta kompensoituu sähkösuodattimen sähkötehon tarpeeseen. Lisäkustannus tulee suuresta paineilman kulutuksesta (suodatinletkujen puhdistus).

Pienen kattilalaitoksen letkusuodattimen käyttö- ja kunnossapitokustannusten arvioidaankin olevan noin kolminkertaiset (suuruusluokkaa 0,3 euroa/MW ilman tuhkan loppusijoituksesta aiheutuvia kustannuksia) sähkösuodattimeen verrattuna. \7\ \10\

8.3 Savukaasupesuri

Pesurissa savukaasu pestään runsasta nestemäärää käyttäen siten, että aineensiirto tapahtuu kaasufaasista nestefaasiin. Samalla kaasu jäähtyy vesikastepisteen lämpötilaan. Pesurilla voidaan hiukkasten lisäksi tarvittaessa absorboida myös rikkiyhdisteitä ja muita happamia kaasukomponentteja syöttämällä pesuriin veden lisäksi jotakin alkalista kemikaalia. Tämä parantaa pesurin käyttötaloutta merkittävästi pienissä polttolaitoksissa ja on selvä etu vertailtaessa eri hiukkaserottimia keskenään, minkä takia useimmat pienten polttolaitosten pesurit on varustettu kemikaalin syöttölaitteilla.

Ennen pesuria tuleva savukaasu kostutetaan vedellä, jolloin kaasun lämpötila laskee 150 - 200 °C:sta 60 - 70 °C:een ja tilavuusvirta pienenee. Savukaasu pestään suuttimilla pesurin alavaiheessa, ja mahdollinen savukaasun vesihöyryn lämmön talteenotto lämpimän veden muodossa on pesurin ylävaiheessa. Lämmön talteenotto parantaa pesurin käyttötaloutta ja saattaa antaa laitoksen kokonaishyötysuhteen yli 100 %. Tämän takia pesuri varustettuna lämmön talteenotolla on houkutteleva

ja viime aikoina yleistynyt vaihtoehto varsinkin erittäin märillä puupolttoaineilla, joilla savukaasun vesihöyrypitoisuus on korkea. \7\ \10\ \12\

Ennen savukaasujen johtamista savupiippuun niistä erotetaan pisarat tehokkailla pisanan erottimilla. Savukaasu voidaan johtaa ilman lämmitystä ns. märkä-savupiippuun tai jälkilämmittää ennen johtamista tavanomaiseen savupiippuun. Pesurin materiaalina käytetään haponkestävää terästä tai lujitemuovia.

Osa pesuliuksesta palautetaan takasin pesukiertoon. Hiukkasia sisältävä ylimääräinen pesuliuos on käsiteltävä asianmukaisesti eikä sitä yleensä voida hyödyntää. Tyypillinen pesuveden pisarakoko vesipainehajotteisissa suuttimissa on 0,1 mm ja suutinpaine 2 - 4 bar. Pesuvesimäärä on riippuen savukaasun lämpötilasta tyypillisesti kattilalaitoksella noin 300 - 400 l/min, joka vastaa 3 - 4 litraa savukaasukuutiometriä kohti. Pesurin painehäviö on korkea, tyypillisesti noin 15 mbar, mikä lisää käyttökustannuksia.

Pesuri ei ole yhtä tehokas hiukkasten erotin kuin sähkösuodatin tai kuitusuodatin. Sen erotustehokkuus on tyypillisesti 90 - 95 % kiinteän polttoaineen laitoksissa, mutta selvästi alhaisempi öljyä polttavilla laitoksilla. Pesuri erottaa tehokkaasti isoja ja takertuvia hiukkasia, mutta on varsin tehoton pienten alle 1 µm hiukkasten erotuksessa ja suuren hiukkaskuormituksen vallitessa, joten se ei sovellu ilman esi-erotinta (esim. sykloni) paljon tuhkaa sisältäville polttoaineille.

Toinen pesurin haittapuoli on jätevesi, jonka käsittelyvaatimuksista riippuu pitkälti koko pesuriprosessin kannattavuus. Jos pesurin jätevettä ei voida käsitellä olemassa olevalla jäteveden käsittelyjärjestelmällä, ei pesuri liene kannattava investointi ainakaan pelkkänä hiukkaserottimena.

Savukaasupesuria käytetään sen huonoista puolista huolimatta melko yleisesti pienissä polttolaitoksissa, meesauuneissa ja hajukaasun polttolaitoksissa hiukkasten ja rikkiyhdisteiden pesuun. Pesurityyppejä on markkinoilla useita ja ne soveltuvat erilaisiin käyttökohteisiin. Kattilalaitoksen savukaasupesurin investointikustannus lämmön talteenotolla on kaksinkertainen sähkö- ja kuitusuodattimeen verrattuna.

\7\ \10\ \12\

8.4 Mekaaniset erottimet

Mekaaniset eli dynaamiset erottimet ovat perinteisesti olleet pienten ja keskisuurten kattiloiden (alle 50 MW) hiukkaspuhdistimia. Mekaaniset erottimet ovat yleensä yksinkertaisia ja investointikustannuksiltaan erittäin halpoja. Esim. pienten kattilalaitosten kokoluokassa yleisesti käytetyn multisyklonin investointikustannus on noin 1 500 - 2 000 euroa/MW laitoskoosta ja polttoaineesta riippuen.

Käyttö ja huolto on yksinkertaista, ja mekaaniset erottimet ovat olleet varsin varmatoimisia. Ainoa merkittävä käyttökustannus on painehäviön aiheuttama savukaasupuhaltimen omakäytösähkön kulutuksen kasvu, joka on samaa suuruusluokkaa kuin letkusuodattimella. Lisäksi syklonin kuluminen aiheuttaa jonkin verran kunnossapitokustannuksia. Multisyklonin käyttö- ja kunnossapitokustannusten arvioidaan olevan samaa suuruusluokkaa kuin sähkösuodattimen eli noin 0,1 euroa/MW ilman tuhkan loppusijoituksesta aiheutuvia kustannuksia. \7\ \10\ \12\

Tavallisin ja yleisin mekaaninen erotin on sykloni (kuva 8.1). Siinä hiukkasia sisältävä kaasu johdetaan sisään joko tangentiaalisesti tai aksiaalisesti, ja se kulkee spiraalimaisesti pohjaa kohti. Tällöin hiukkaset sinkoutuvat keskipakoisvoiman vaikutuksesta syklonin seinämiä vasten ja putoavat alas pohjalle. Puhdistunut kaasu imeetään pois syklonin keskeltä.

Syklonin erotuskykyyn vaikuttaa keskipakoisvoima, joka on suoraan riippuvainen hiukkasen massasta ja nopeudesta ja kääntäen riippuvainen syklonin säteestä. Muita syklonin erotuskykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat hiukkasten koko ja ominaispaino, kaasun nopeus (kattilan kuorma) ja viskositeetti sekä luonnollisesti hiukkaspitoisuus. Myös syklonin pituudella on merkitystä.

Pyrittäessä parantamaan syklonin erotuskykyä on mahdollista suurentaa hiukkasen (kaasun) nopeutta ja pienentää syklonin sädettä. Koska toisaalta painehäviö on verrannollinen nopeuden neliöön, ei nopeuden lisääminen painehäviön ollessa määrät-

ty ole mahdollista. Syklonia voidaan pienentää korvaamalla yksi sykloni usealla pienemmällä ja asentamalla ne rinnakkain. \7\ \10\ \12\

Piensykloni on erittäin varmatoiminen ja hyvin kulutusta kestävä sekä suhteellisen halpa, mutta sillä ei voida saavuttaa suurille voimalaitoksille asetettuja päästörajaja. Parhaimpienkin multisyklonien erotuskyky (tyypillisesti luokkaa 60 - 90 % polttoaineesta ja olosuhteista riippuen) jää selvästi alle sähkö- ja kuitusuodattimien erotuskyvyn.



Kuva 8.1. Sykloni (Alstom Finland Oy).

Mekaanisten erottimien erotusaste rajoittuu käytännössä kiinteillä polttoaineilla noin 90 %:iin. Syklonien erotusaste riippuu ratkaisevasti sisään tulevan pölyn hiukkaskokojakaumasta eli halkaisijasta, joka puolestaan riippuu hiukkasen muodosta ja tiheydestä sekä kaasun viskositeetista. Syklonien erotusaste kasvaa hiukkasten koon ja tiheyden kasvaessa ja pienenee kaasun lämpötilan noustessa kaasun viskositeetin nousun johdosta.

Huonon erotusasteen lisäksi syklonien haittana on suuri painehäviö (10 - 20 mbar), joka tekee niiden käytön varsinkin suuremmissa laitoksissa epätaloudelliseksi. Suuri painehäviö saattaa vaatia savukaasupuhaltimen kapasiteetin lisäämistä tai jopa kokonaan uuden puhaltimen hankkimista olemassa olevissa laitoksissa, jos sykloni asennetaan jälkikäteen, jotta varmistetaan, että kaasun nopeus on riittävä savupii-
pun ulostulossa. Syklonin toiminta (erotuskyky) on myös herkkä polttoaineen laadun ja kattilan kuorman vaihteluille, joten sen oikeaan mitoittamiseen ja käyttöön tulee kiinnittää erityistä huomiota. \7\ \10\ \12\

8.5 Käyttö ja soveltamismahdollisuudet Suomessa

Sykloni tai multisykloni on selvästi yleisin hiukkaserotin pienten polttolaitosten kokoluokassa. Ne soveltuvat yleensä varsinkin kaikenkokoisiin raskasöljykattiloihin ja pienimpiin puuta polttaviin arinakattiloihin ja leijukattiloihin (kokoluokka alle 10 MW).

Suuremmat arina- ja leijukattilat (kokoluokka yli 10 MW) varustetaan nykyään yleensä sähkösuodattimella tai kierrätyspolttoaineen rinnakkaispolttolaitoksissa myös kuitusuodattimella ja joskus lisäksi pesurilla savukaasun lauhtutusta (lämmön talteenottoa) varten. Pesurilla voitaneen jossain määrin vähentää myös pienten kiinteän polttoaineen kattiloiden hiukkaspäästöjä. Syklonia käytetään myös esierot-
timena ennen sähkösuodatinta suuremmissa arina- ja leijukattiloissa. \7\ \10\ \12\

9 LAITOKSEN AJOTAVAN JA KÄYTÖNVALVONNAN VAIKUTUS SAVU- KAASUPÄÄSTÖIHIN

Seuraavassa on esitetty keinoja, joilla öljyn, kaasun ja kiinteän polttoaineen palamisen laatua pienissä polttolaitoksissa voidaan valvoa ja sitä kautta vaikuttaa savukaasupäästöihin.

9.1 Liekin valvonta

Liekinvalvontalaitteiden pääasiallisena tarkoituksena on estää tulipesäräjähdykset sekä muut häiriötilanteet, joissa polttoainetta syötetään liekittömään pesään. Liekinvalvonta perustuu joko liekin aiheuttamaan ionisaatioon tai liekin lähettämään säteilyyn. Liekin aiheuttamaan kaasun ionisaatioon perustuva liekinvalvonta on yleisesti käytetty sytytys- ja kaasupoltinten liekinvalvonnassa. Öljyliekkiä valvottaessa tarkkaillaan tavallisesti joko UV- tai näkyvän valon alueen säteilyä.

Liekinvalvojan antama viesti voidaan viedä valvomoon, jolloin liekinvalvojan näyttämää voidaan käyttää jatkuvaan liekin ja palamisen valvontaan. Liekinvalvonnan alentunut näyttämä voi liekin muuttumisen lisäksi johtua mm. valokennon likaantumisen ja vanhentumisesta tai sen suuntauksen muuttumisesta. Lisäksi eri valokennoyksilöiden näyttämät ovat usein erilaisia.

Liekin silmämääräinen tarkkailu palamisen laadun varmistamiseksi on käyttökelpoinen menetelmä lähinnä liekkien välisessä vertailussa. Todellisia, numeroin ilmaistavia arvoja palamistuloksesta ei kuitenkaan saada selville tällä tavoin. Kattilaja poltinkohtaisen kokemuksen perusteella on kuitenkin mahdollista laatia silmämääräiseen tarkkailuun perustuva malli liekin käyttäytymisestä, mikäli käytettävissä on täsmälleen vastaava aineisto palamistuloksista. Tällaiset tiedot ovat siirrettävissä toiseen kattilaan tai toisille polttimille, erityisesti toisille poltintyypeille, kuitenkin vain suuntaa-antavina. \7\ \10\ \12\

9.2 Savukaasuanalyysit

Liian suuri ilmaylimäärä alentaa palamishyötysuhdetta ja ali-ilmamäärä taas aiheuttaa epätäydellistä palamista. O₂-pitoisuuden määrittäminen savukaasusta on käytökelppoisin analyysimenetelmä ilmaylimäärän valvonnassa, koska siinä lukeman muuttuminen on hyvässä suhteessa palamistapahtumiin. Lisäksi sillä on selvä teoreettinen ääriarvo, joka ei riipu polttoaineesta. Käytännöllistenkin ääriarvojen vaihtelalue on pieni.

Huomattavasti vaikeampaa on käyttää palamisen valvontaan CO₂-pitoisuutta. Sen muuttuminen on lievää eikä sillä ole selvää yleistä ääriarvoa. Polttoainekohtaiset maksimi-arvot ovat keskenään erilaisia, ja sekapoltoissa maksimin laskeminen on hankalaa. Palamattomien kaasujen esiintyminen vääristää CO₂-mittauksen tulosta. Palamattomien kaasujen analyysi, tavallisesti häkämittaus, on hyvä O₂-mittauksen täydennys, ja se kuvaa häkäpäästön yhteyttä hiilivety- ja hiukkaspäästöihin. Palamattomien kaasujen, lähinnä hiilimonoksidin, tarkkailu on tarpeen erityisesti pienissä kiinteän polttoaineen laitoksissa, joissa polttoaine on usein epähomogeenista (kosteus ja laatu vaihtelevat) ja palamisen säätö ja hallinta on vaikeaa. Häkäpitoisuuden seuranta on mainittu myös jätteenpolttodirektiivissä ja näin ollen se sisältyy myös kansallisessa asetuksessa vaadittuihin päästökäkomponentteihin. \7\ \10\ \12\

9.3 Savukaasun pölypitoisuus

Savukaasujen hiukkaspitoisuus on öljyä poltettaessa erittäin tärkeä suure. Se kertoo palamisen laadusta luotettavammin kuin nokikuva. Jos hiukkaskoko on suuri, saattaa nokikuva näyttää hyvää tulosta, vaikka kattilan noenmuodostus olisi suuri. Hiukkasmittauksella voidaan kattilan noenmuodostus todeta tarkasti. \7\ \10\ \12\

9.4 Kiinteän polttoaineen poltto

Öljyn ja kaasun poltossa kuvattujen käytönvalvontamittareiden (savukaasuanalyssaattorit) ja palamisen näköyhteyden (liekin valvonnan) lisäksi tuhkamäärän ja tuhkan ulkonäön valvonnalla voidaan vaikuttaa palamisen laatuun (kattilahyötysuhteeseen) ja savukaasupäästöihin kiinteän polttoaineen kattiloissa. Tuhkan väri kertoo tuhkan sisältämän palamattoman kiintoaineen osuuden. Mitä tummempaa tuhka on, sitä enemmän se sisältää palamatonta. Puhdas tuhka on väriltään hyvin vaaleaa. Taulukossa 9.1 on esitetty ohjeelliset perusteet palamisen arvioinnille liekin ja savukaasun värin perusteella kiinteää polttoainetta käytettäessä.

Taulukko 9.1. Palamisen arviointi liekin ja savukaasun värin perusteella kiinteän polttoaineen poltossa.

Liekki	Syy	Säätö
Liekki on punainen ja siinä on mustia kiehkuroita.	Poltto ei saa sekundääri-ilmaa ollenkaan tai erittäin vähän. Savukaasut ovat mustia tai tumman harmaita. Ilmassa on kitkerä haju erityisesti turvetta poltettaessa.	Lisää sekundääri-ilmaa tai vähennä primääri-ilmaa tai tee molemmat toimenpiteet. Tarkkaile säädön vaikutusta savukaasuista.
Liekki on vaalean kellertävä.	Primääri- ja sekundääri-ilmojen suhde on oikein säädetty. Savukaasut ovat lähes näkymättömiä tai vaalean harmaita. Ilmassa ei ole kitkerää hajua.	Säädöt ovat kohdallaan.
Liekki on valkoinen tai kirkkaan sininen ja lyhyt.	Poltto saa liikaa sekundääri-ilmaa. Savukaasut ovat valkoisia tai piipun päässä näkyy väritöntä väreilyä.	Vähennä sekundääri-ilmaa tai säädä primääri-ilmaa tai tee molempia, kunnes savukaasut muuttuvat värittömiksi tai vaalean harmaiksi. Jos ilmassa tuntuu kitkerää hajua, on sekundääri-ilmaa vähennetty liikaa.

10 ILMAKANAVIEN SUUNNITTELU \13\

10.1 VIRTAUSTEKNINEN MITOITUS

10.1.1 Mitoitusperusteet ja laskentakaavat

Kanavan pinta-ala saadaan kaavasta

$$A = \frac{\dot{V}}{v}, \quad (1)$$

missä $\dot{V} = \text{kaasun tilavuusvirta} \left[\frac{m^3}{s} \right]$

$$v = \text{haluttu kaasun virtausnopeus} \left[\frac{m}{s} \right].$$

Usein tilavuusvirta annetaan normikuutioina $\dot{V}_n \left[\frac{nm^3}{s} \right]$.

Normitilavuusvirta muutetaan tilavuusvirraksi eli normeerataan seuraavasti:

$$\dot{V} = V_n \cdot \left(\frac{T}{273} + 1 \right) \cdot \left(\frac{101,3}{101,3 + p} \right), \quad (2)$$

missä $T = \text{kaasun lämpötila} [^{\circ}C]$

$$p = \text{kaasun paine} [kPa]$$

Jos kaasun määrä on annettu massavirtana [kg/s], muutetaan se tilavuusvirraksi kaasun tiheyden avulla

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}, \quad (3)$$

missä $\dot{m} = \text{kaasun massavirta} \left[\frac{kg}{s} \right]$

$$\rho = \text{kaasun tiheys} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right].$$

Tai muutetaan normitilavuusvirraksi, kun tiedetään kaasun normitiheys

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}, \quad (4)$$

missä $\rho = \text{kaasun normitiheys} \left[\frac{\text{kg}}{\text{nm}^3} \right]$

10.1.2 Virtausnopeudet ilma- ja savukanavissa

Pyöreissä kanavissa voi käyttää suurempia virtausnopeuksia kuin suorakaidekanavissa. Kuumalle ilmalle voi käyttää suurempaa nopeutta kuin kylmälle, koska tiheyden pienentyessä myös painehäviö pienenee. Pienissä sekä mutkikkaissa kanavissa pitää käyttää pienempiä virtausnopeuksia kuin suurissa ja suorissa kanavissa. Kuitenkin aina pitäisi painehäviöt kanavissa laskea, ja jos häviöt ovat liian suuret, pitää virtausnopeuksia alentaa. Ilmakanavan suositeltavat virtausnopeudet on listattu alla olevassa taulukossa 10.1.

Taulukko 10.1. Suositeltavat virtausnopeudet.

	Suorakaidekanava Virtausnopeus m/s	Pyöreä kanava Virtausnopeus m/s
Imukanava	11 - 13	12 - 14
Painekanava	13 - 17	14 - 19

Savukanavissa varsinkin suppiloiden jälkeen on vältettävä virtausnopeuden äkillistä kasvattamista, eli jyrkkien kartio-osuuksien tekemistä kanaviin, koska tällöin kartion lopetuskohtaan saattaa kohdistua eroosiota. Alempia virtausnopeuksia on käytettävä, jos savukanavassa on useita mutkia tai kattilan polttoaine on sellaista, että savukaasut sisältävät paljon kuluttavia partikkeleita. Alhaisemmat virtausnopeudet nopeuttavat kuitenkin tuhkan kertymistä vaakasuorille osuuksille, joten varsinkin alhaisilla virtausnopeuksilla on vaakasuorien osuuksien tekemistä kanaviin vältettävä. Savukanavan suositeltavat virtausnopeudet on listattu alla olevassa taulukossa.

Taulukko 10.2. Suositeltavat virtausnopeudet.

	Suorakaidekanava Virtausnopeus m/s	Pyöreä kanava Virtausnopeus m/s
Imukanava	13 - 17	14 - 19
Painekanava	13 - 17	14 - 19

10.1.3 Kanaviston painehäviöt

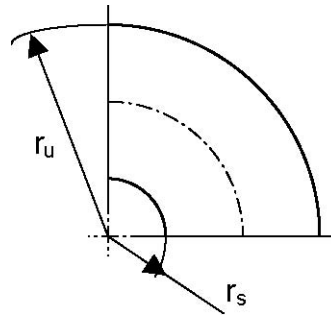
Painehäviö on verrannollinen virtausnopeuden neliöön, eli kanavan poikkipinnan pienentäminen lisää huomattavasti painehäviötä. Suoran kanavan painehäviö on kuitenkin pieni verrattuna esimerkiksi mutkien ja haaroitusten aiheuttamaan kertavastukseen. Näitä kertavastuksia voi pienentää ohjauslevyjä käyttämällä sekä muotoilemalla haaroitukset oikein.

10.1.4 Muotoilu

Ensisijaisesti on käytettävä pyöreitä kanavia, koska jäykistetarve pyöreälle kanavalle on vähäisempi kuin suorakaidekanavalle. Pienemmän painehäviön takia pyöreän kanavan virtausnopeus voi olla suurempi, ja kanavan koko siis pienempi kuin suorakaidekanavan. Näin ollen pyöreät kanavat ovat kevyempiä kuin suorakaidekanavat. Kun kanavien valmistus perustuu kilohintaan, tulevat pyöreät kanavat myös halvemmiksi. Usein kanava on kuitenkin tehtävä litteäksi layout-syistä. Myös liittyminen moniin laitteisiin, esim. höyrypatteriin, luvoon tai aerofoiliin vaatii suorakaiteen. Jos kanavalinjassa on useita tällaisia laitteita tai muu layout-syy rajoittaa pyöreän kanavan käyttöä, kannattaa koko linja tehdä suorakaiteen muotoiseksi.

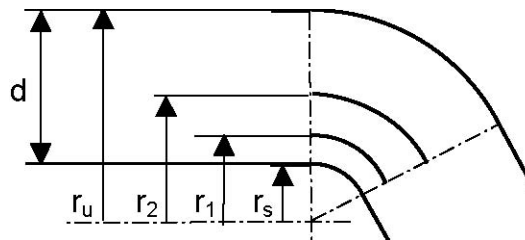
Suorakaidekanavan käyrän aiheuttamaa kertavastusta voidaan pienentää ohjauslevyjen avulla. Ohjauslevyistä on myös hyötyä virtauksen tasoittajina, jos puhaltimen imuaukon lähelle on jouduttu sijoittamaan käyrä. Jos kuitenkin primääri-ilma kanavassa on kiertokaasukanavan yhde ennen mutkaa, on se otettava huomioon ohjauslevyjen suunnittelussa, koska ohjauslevyt rajoittavat kiertokaasun tehokasta sekoittumista päävirtaukseen.

Ohjauslevyjä käytetään silloin kun kanavan suunnanmuutos on 45° tai enemmän. Jos virtausnopeus on yli 15 m/s, kannattaa ohjauslevyjä käyttää jo 35° kanavan suunnanmuutoksessa. Ohjauslevyjä ei kuitenkaan tarvita, jos $r_s / r_u \approx 0,5$ (kuva 10.1).



Kuva 10.1. Ohjauslevyn sijoitus.

Normaalisti käytetään kahta 5 mm paksua ohjauslevyä. Ohjauslevyjen sijainnin perustana on jakaa mutka osiin, joiden säteiden suhde on vakio (kuva 10.2). Ohjauslevyt on hitsattava tukevasti kanavan kylkiin.



Kuva 10.2. Kahden ohjauslevyn sijoitus.

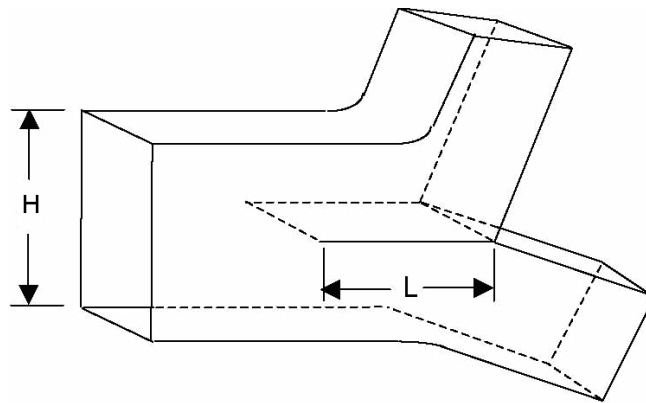
Ohjaus levyjen paikat mitoitetaan seuraavilla kaavoilla

$$\frac{r_1}{r_s} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{r_u}{r_2} \quad (5)$$

$$r_1 = \sqrt[3]{r_s^2(r_s + d)} \quad (6)$$

$$r_2 = \sqrt[3]{r_s(r_s + d)^2} \quad (7)$$

Haaroitettaessa tai yhdistettäessä kanavia (kuva 10.3) on periaatteena se, että virtaukset jaetaan yhdensuuntaisiksi ennen erottamista tai yhdistämistä. Haaroituksessa sisäänmenohäviötä voidaan pienentää tekemällä kanavan pää kartiomaiseksi. Kanavan muodon ja/tai mittojen muutoksia ei suositella tehtäväksi mutkissa. Mutkien molemmin puolin jätetään suoraa kanavaa kanavan leveyden verran. Haaroituksista kuten mutkista, laajentumisista ja kuristuksista löytyy lisätietoa esimerkiksi puhallintekniikan käsikirjasta.

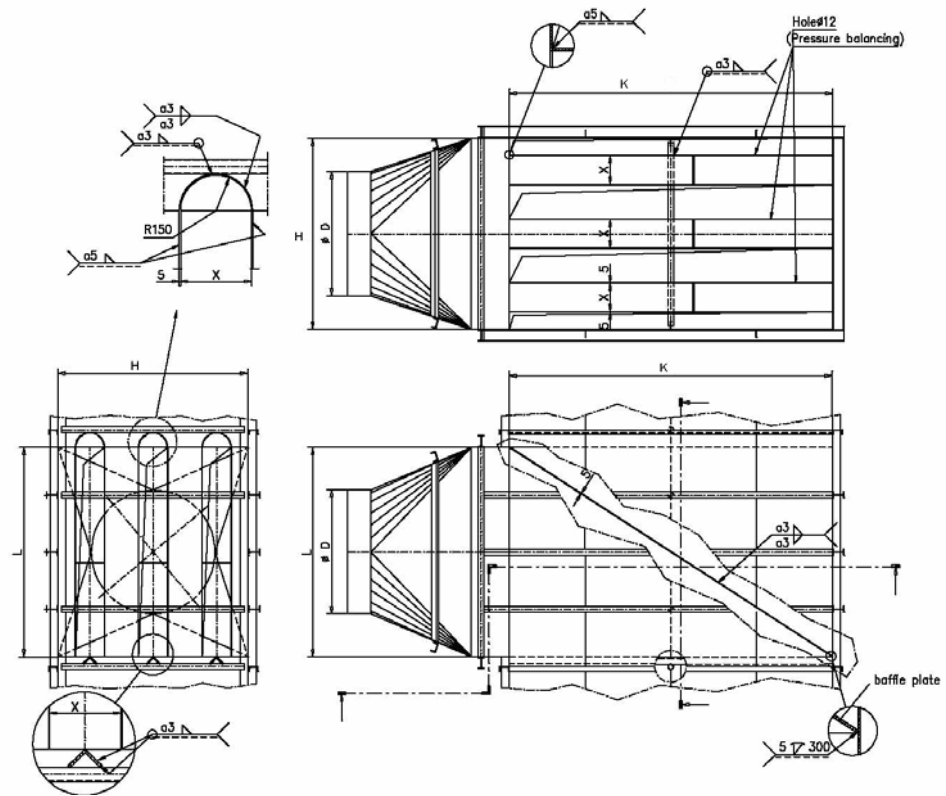


$$L = 0,75 \cdot H$$

Kuva 10.3. Kanavan haaroittaminen.

10.1.5 Kiertokaasun sekoittaminen ilmakeanavaan

Voimakattiloissa savukanavasta haaroitetaan kanava, kiertokaasukanava, joka liitetään primääri-ilmakeanavaan tai suoraan tulipesään. Kiertokaasua tarvitaan varsinkin hiili- ja turvekattiloissa, sekä kattiloissa, joiden polttoaineen koostumus vaihtelee. Kiertokaasun avulla myös pienillä kuormilla saavutetaan luvattu höyryn loppulämpötila. Kun kiertokaasukanava yhdistetään ilmakeanavaan on tärkeää, että kiertokaasu sekoittuu ilmaan niin, että tulipesään menevä ilma on kauttaaltaan samanlaista. Kuvan 10.4 kaltaisella järjestelyllä aikaansaadaan riittävä sekoittuminen.



Kuva 10.4. Kiertokaasun sekoitus ilmakehään

Kuvassa 10.4 mitat K ja H ovat ilmakehän leveys ja korkeus. Mitat X, L ja siipien lukumäärä n saadaan seuraavasti:

$$n \cdot X \cdot L = 1,5 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (8)$$

missä x = siipien lukumäärä

X = siiven paksuus

L = siiven pituus

H = kanavan korkeus

K = kanavan leveys

Sopiva siiven paksuus X on esimerkiksi 300 mm.

10.2. KANAVISTON LAYOUT SUUNNITTELU

10.2.1 Kulkukorkeudet ja -leveydet

Kanavat täytyy sijoittaa rakennukseen siten, että vaaditut kulkukorkeudet ja leveydet tasoilla toteutuvat. Kulkukorkeuden on yleensä oltava vähintään 2100 mm. Kulkukorkeus on kuitenkin tarkastettava projektikohtaisesti. Kun kanavia sijoitetaan, täytyy kulkukorkeuteen lisätä eristyspaksuus sekä mahdolliset kanavien lämpöliikkeet. Kulkuleveyden minimiarvona voi käyttää 1000 mm.

10.2.2 Tilavaraukset, aukkotiedot

Kanavien reittiä suunniteltaessa kannattaa höyrypattereiden, äänenvaimentimien sekä puhaltimien ympäristöön jättää riittävästi tilaa, sillä usein kyseisten komponenttien lopullisissa mittapiirustuksissa on jokin mitta muuttunut merkittävästi. Tilavaraus täytyy muistaa jättää eristyksille, lämpöliikkeille, peltien toimilaitteille, puhaltimien moottoreiden nostolle, puhaltimen siipipyörän kaavun aukkaisemiseen, kulkuluukkujen aukeamiseen, kannatuksille sekä pyörivän luvon moottorin nostamiseen. Aukkotiedot on merkittävä tasolayout- sekä rakennustehtäväpiirustuksiin jo hyvin varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Aukkotiedoissa on huomioitava eristyksiset ja mahdolliset lämpöliikkeet.

10.2.3 Kuormitukset

Kun kanavien layout-suunnittelu on vielä kesken, täytyy alustavat kanavakuormat usein antaa heti projektin alkuvaiheessa rakennussuunnitteluun. Tällöin riittävät arvioidut kannatuspisteet ja kokonaiskuorma. Varsinaisissa rakennustehtäväpiirustuksissa tulisi kanavakuormat ilmoittaa kuormitustyypeittäin jaettuna vaak- ja pystysuuntaisiin kuormiin sekä esittää kannatuspisteiden sijainti mahdollisimman tarkasti.

Seuraavat kuormitustyyppit ovat tyypillisiä kanaville:

- rakenteen paino
- eristykset
- painekuormat tekstiilipalkeiden jälkeisten kanavamutkien jälkeen
- tuhakuormat savukanavissa
- tuhakuormat pyörivän luvon jälkeisissä ilmakeinavissa
- tuulikuormat ulkoalueella
- lumikuormat ulkoalueella
- seismiset kuormat

10.2.4 Komponenttien sijoitukset, huolto ja luoksepäästävyyys

Periaatteena kulkuluukkujen sijoituksessa on se, että jokaiseen kanavanosaan on pääsy. Kulkuluukku kannattaa sijoittaa toimilaitteen välittömään läheisyyteen, jos luoksepääsy vaatii erillisen tason rakentamista. Tällöin luoksepääsy hoituu samalta tasolta. Laitteet kuten höyrypatterit, äänenvaimentimet, pellit sekä virtausmittarit rajoittavat kulkua. Tekstiilipalje pitää sijoittaa ennen mutkaa ja höyrypatterit tulee sijoittaa riittävän korkealle lauhdesäiliöstä. Aerofoil täytyy sijoittaa siten, että impulssiputket osoittavat sivulle tai ylöspäin.

10.3 KANNATUKSET JA LÄMPÖLIIKKEIDEN KOMPENSOINTI

Kanavien kannatusten suunnittelu on tehtävä projektin alkuvaiheessa kanavien perussuunnittelun yhteydessä. Kun kanavien layout-suunnittelu on tehty, täytyy kanavakuormat antaa rakennustehtäväpiirustusten muodossa teräsrakennesuunnitteluun.

Lämmitetyissä kanavissa täytyy kannatuksissa ottaa huomioon kanavien lämpöliikkeet. Osa kannatuspisteistä täytyy kiinnittää jäykästi teräsrakenteisiin, jotta tiedetään tarkasti kanavien käyttäytyminen kuumana. Kiintopisteiden väliset lämpöliikkeet kompensoidaan palkeilla. Palkeita käsitellään luvussa 10.6.

Kanavien kannatusten suunnittelussa, kuormissa, täytyy ottaa huomioon kanavissa käytettävän raudan lisäksi

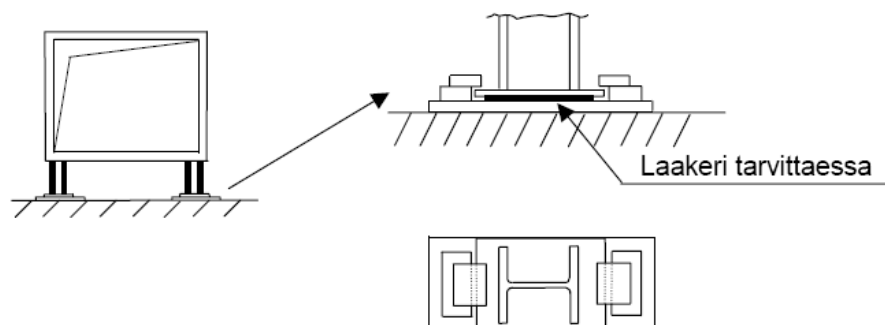
- patterit, äänenvaimentimet, pellit, palkeet, aerofoilit ja venturit
- eristykset
- mahdolliset painekuormat tekstiilipalkeiden jälkeisten kanavamutkien jälkeen
- tuhkuormat savukanavissa ja pyörivän luvon jälkeisissä ilmakeinavissa
- ulkoalueilla tuuli- ja lumikuormat.

Kannatukset täytyy suunnitella siten, että eristys on mahdollista tehdä niin, ettei vesi pääse eristysten sisään. Tämä täytyy huomioida varsinkin ulkona sijaitsevilla savukanavissa sekä ilmakeinavissa, jos rakennuksessa ei ole seiniä.

Ensisijaisesti kanavat on suunniteltava alta tuetuiksi, jollaisten asennus- ja eristystyö on helpompaa kuin tangoista riippuvien kanavien. Savukanavien kannatuksissa on estettävä kylmäsiltojen muodostuminen.

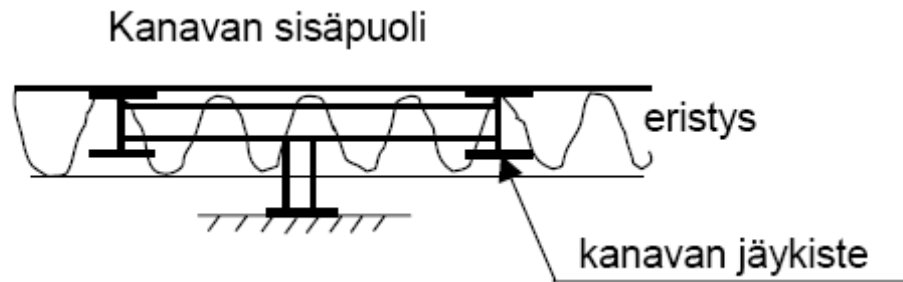
10.3.1 Alta tuetut vaakakanavat

Kuvassa 10.5 on esitetty tyypillinen vaakatasossa olevan kanavan alapuolinen tuenta, liukutuki. Tuet suunnitellaan tapauskohtaisesti, ja niiden on oltava niin korkeat, että tukipinta jää eristyksen ulkopuolelle.



Kuva 10.5 Vaakatasossa olevan kanavan alapuolinen tuenta, liukutuki.

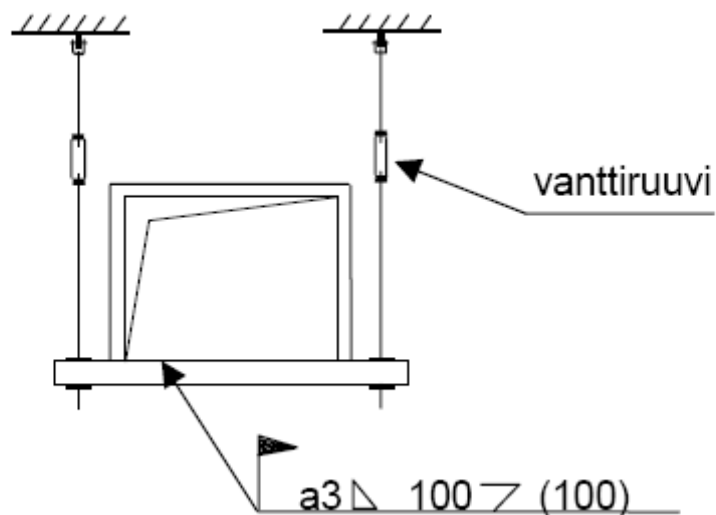
Savukanavien tuennoissa on vältettävä kylmäsiltoja, jotka voivat aiheuttaa kaste-
pistekorroosiota. Eristyksen pinnan ulkopuolelta kylmästä tilasta tuleva, eristyksen
läpi menevä kannatuselin ei saa suoraan olla yhteydessä kanavalevyyn. Kuvassa
10.6 on esitetty tuenta, jolla voidaan estää kylmäsilta.



Kuva 10.6. Savukanavan tuenta, jossa kylmäsilta eliminoitu.

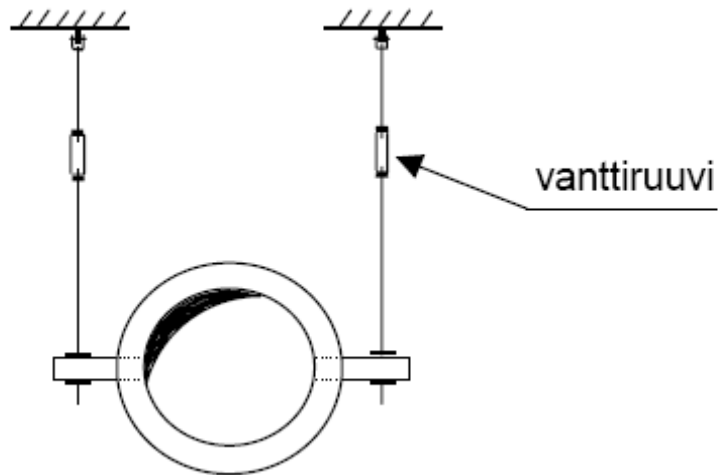
10.3.2 Tankokannatetut kanavat

Kuvassa 10.7 on esitetty tyypillinen tangoilla kannatettu suorakaidepoikki-
leikkauksinen kanava.



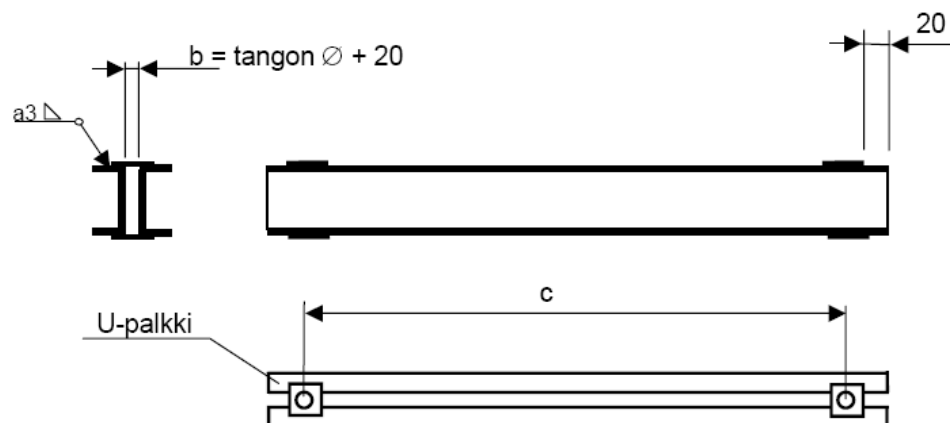
Kuva 10.7. Tankokannatettu suorakaidekanava.

Kuvassa 10.8 on esitetty pyöreän kanavan suositeltava kannatus. Tarvittaessa voidaan käyttää jousia tai vakiovoimakannattimia. Tankojen ja jousien tyyppi/toimittaja on sovittava projektikohtaisesti. Vanttiruuvien avulla saadaan kanava oikeaan korkeusasemaan helpommin.



Kuva10.8 Tankokannatettu pyöreäkanava.

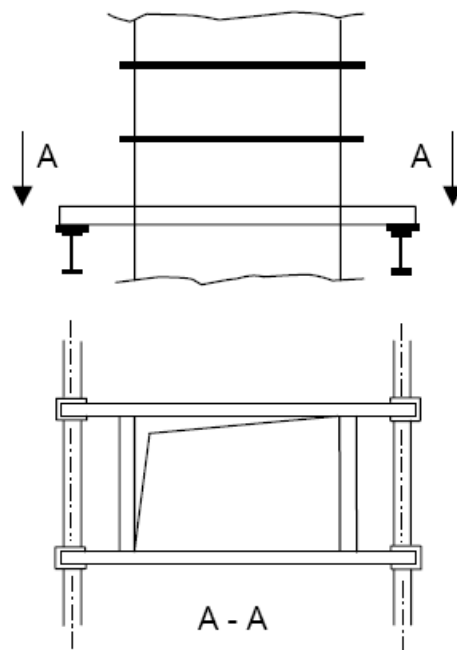
Kuvassa 10.9 on esitetty kuvissa 10.7 ja 10.8 olevan kannatuspalkin periaate. Kannatuspalkki voidaan hitsata osaksi kanavan jäykistekehää verstaalla tai hitsata asennuspaikalla vuorohitsillä, kuten kuvassa 10.7 on esitetty. Tankojen välinen etäisyys c on valittava siten, että tangot jäävät eristyksen ulkopuolelle.



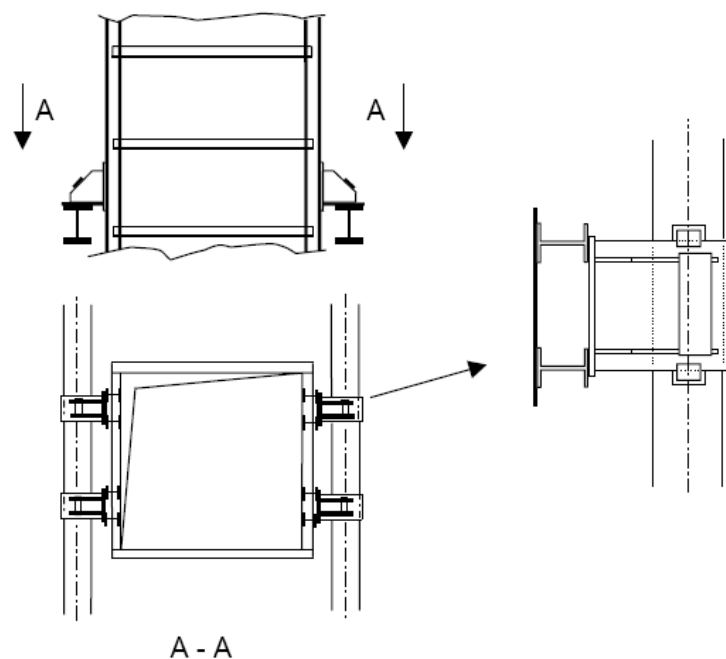
Kuva 10.9 Kannatuspalkin periaate.

10.3.3 Pystysuorat kanavat

Pystysuoran kanavan kannatus suositellaan tehtäväksi rakennuksen terästen päälle. Kuvissa 10.10 ja 10.11 on esitetty kaksi tapaa tehdä kannatus. Kuvan 10.11 kannatus on tarkoitettu suurille kanaville tai kuormille.



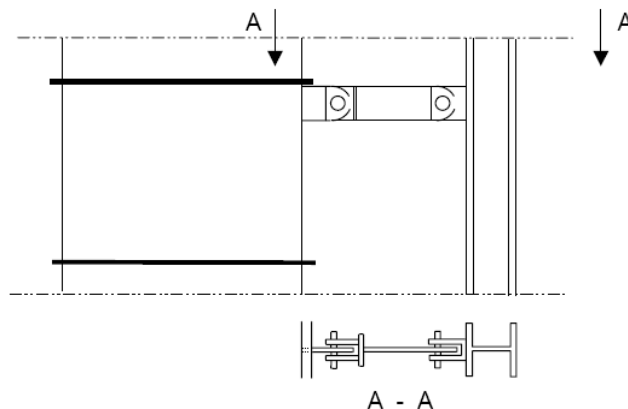
Kuva 10.10 Pystykanavan kannatuskuva.



Kuva 10.11 Pystykanavan kannatuskuva.

10.3.4 Lämpöliikkeen ohjaus

Teräsrakenteeseen suoraan tukeutuvaa kannatuskohtaa voidaan usein käyttää myös lämpöliikkeiden ohjaukseen. Tämä toteutetaan helpoimmin kynsien avulla, joista kuvissa 10.5 ja 10.11 on esimerkkejä. Kynsien avulla kannatuselin ohjataan niin, että halutun suuntainen liike sallitaan. Kuvan 10.5 esittämä kynsiohjaus soveltuu myös pystykanavan pystysuuntaisen liikkeen sallivaan sivuttaisliikkeen estoon, kun liukupinta kiinnitetään pystyasentoon. Toinen tapa tehdä ohjaus on nivel-systeemi, joka sallii enemmän vapausasteita. Nivel-systeemiä voi soveltaa esimerkiksi tuulitukiin. Kuva 10.12 esittää tyypillistä nivel-systeemiä.



Kuva 10.12 Nivel-systeemi.

10.4. LUJUUSTEKNINEN MITOITTAMINEN

10.4.1 Materiaalit

Kanavissa käytettävät materiaalit valitaan käyttölämpötilan mukaan. Taulukossa 10.3 on esitetty kanavamateriaaleja ja niiden käyttölämpötiloja.

Taulukko 10.3. Kanavien materiaali lämpötilan mukaan.

Materiaali	Suunnittelulämpötila / °C
S235JRG2 (Fe 37)	300
P265GH (H II)	301 - 450
13CrMo4-5	451 -

Ilmakanavissa levynvahvuudet ovat 3 - 6 mm. Pienipaineisissa kanavissa, esimerkiksi soodakattilan ilmakanavissa käytetään yleensä 3 tai 4 mm levyä. 6 mm levynpaksuutta voidaan käyttää esimerkiksi voimakattiloiden primääriilmakanavissa, joissa paine on yli 10 kPa. Savukanavien levynpaksuus on yleensä 5 mm. Käytettävät levynvahvuudet on tarkastettava projektikohtaisesti. Usein käytettävät levynvahvuudet on määritelty sopimuksessa.

10.4.2 Jäykistys

Jännityksiä laskettaessa mitoituspainena käytetään laskettua todellista maksimipainetta ko. kanavanosalle. Vastaavasti mitoituslämpötilana käytetään laskettua maksimilämpötilaa ko. kanavassa. Kanavamutkien jäykistämiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Lieriöpinta ei tarvitse jäykistystä, ja usein mutkissa olevat sisäpuoliset ohjauslevyt toimivat kylkien jäykistäjinä.

Jos kanavat valmistetaan Virossa, käytetään ensisijaisesti lattajäykisteitä tai virolaisia profiileja,

U80x40, 7,05 kg/m, $W = 22400 \text{ mm}^3$,

U100x46, 8,59 kg/m, $W = 34800 \text{ mm}^3$,

U160x64, 14,2 kg/m, $W = 93400 \text{ mm}^3$.

Jos kanavat valmistetaan muualla, käytetään ensisijaisesti lattajäykisteitä tai taulukkirjoista löytyviä L- tai I-profiileja.

10.4.3 Jäykisteiden laskenta, suorakaidekanava

Jäykisteiden laskennassa on tarkastettava, että jäykisteen jännitys ei ylitä laskentalujuutta mitoituslämpötilassa ja levykentän jännitys ei ylitä laskentalujuutta mitoituslämpötilassa. Koska melkein kaikki kanavat eristetään, kannattaa jäykisteväli valita eristelevyden mukaan.

Jäykisteen jännitys lasketaan jäykästi tuetulle palkille seuraavasti:

$$\sigma_j = \frac{l \cdot p \cdot a^2 \cdot n}{12 \cdot W} \leq \sigma \quad (9)$$

missä σ_j = jäykisteen jännitys [N/mm²]
 σ = laskentalujuus mitoituslämpötilassa [N/mm²]
 l = jäykisteiden väli [mm]
 p = mitoituspaine (1 kPa = 0,001 N/mm²) [N/mm²]
 a = jäykisteen pituus [mm]
 W = jäykisteen taivutusvastus [mm³]
 n = varmuuskerroin = 1,5
= 3 (puhaltimen läheisyydessä)

Jäykisteen taivutusvastusta W laskettaessa voidaan L-tangolle ottaa kanavalevyä mukaan, jos kanavalevyn paksuus on ≥ 4 mm, painekuorma on vain ylipainetta ja vertailujännitys σ_{vert} ei ylitä laskentalujuutta mitoituslämpötilassa.

Vertailujännitys lasketaan seuraavasti

$$\sigma_{vert} = \sqrt{\sigma_j^2 + \sigma_L^2 + \sigma_l \cdot \sigma_L} \leq \sigma \quad (10)$$

missä σ_L = levykentän jännitys [N/mm²]

Levykentän jännitys lasketaan jäykästi tuetun laatan maksimijännityksen kaavan mukaisesti

$$\sigma_L = C_1 \cdot \frac{p \cdot b^2 \cdot n}{t^2} \leq \sigma \quad (11)$$

missä σ = laskentalujuus mitoituslämpötilassa [N/mm²]
 C_1 = levykentän mitoista riippuva kerroin, ks. taulukko 9.4

$p = \text{mitoituspaine (1 kPa = 0.001 N/mm}^2) \text{ [N/mm}^2]$

$b = \text{levykentän lyhyempi sivu [mm]}$

$t = \text{kanavalevyn paksuus [mm]}$

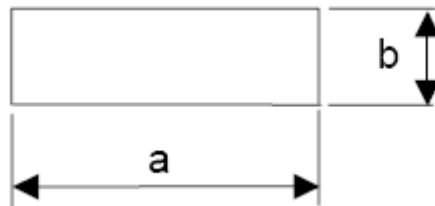
$n = \text{varmuuskerroin, ks. taulukko 9.4}$

Taulukko 10.4. Kertoimen valinta ja varmuusluku.

a/b	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0	4,0	5,0	∞
C ₁	0,308	0,384	0,436	0,468	0,487	0,497	0,5	0,5	0,5	0,5
n	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5

Kuvassa 10.13 esitetyn levykentän lyhyemmän sivun b pituus rajoitetaan seuraavasti

- kanavalevyn paksuus ≤ 4 mm, $b \leq 900$ mm
- kanavalevyn paksuus ≥ 5 mm, $b \leq 1200$ mm



Kuva 10.13 Levykentän määrittäminen.

Jos laskenta osoittaa, ettei esim. jäykisteväli riitä, voidaan pienentää jäykisteväliä, pienentää levykenttää välijäykisteillä tai suurentaa levyn paksuutta.

10.4.4 Jäykistyksen laskenta, pyöreä kanava

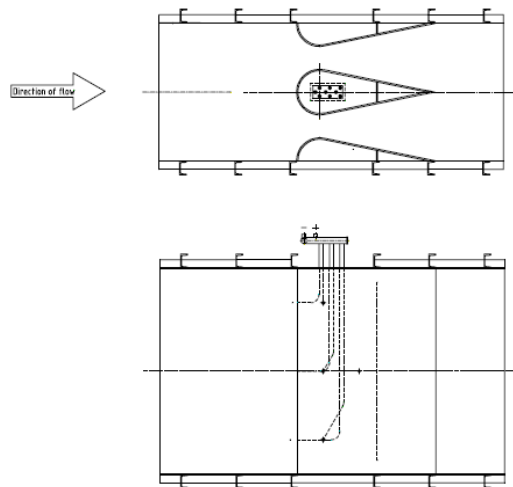
Pyöreä ylipaineinen kanava ei tarvitse jäykisteitä. Kannatusten kohdalle tehdään kuitenkin lattajäykiste. Alipaineinen halkaisijaltaan yli 1000 mm pyöreä kanava jäykistetään lattajäykisteillä, joiden jako on 900 - 1500 mm. Myös pitkät kannatusvälit vaativat jäykisteitä. Varsinkin suurten ($D > 1000$ mm) pyöreiden kanavien lohkojen päiden läheisyyteen kannattaa kuljetuksen vuoksi sijoittaa lattajäykiste.

10.5. TILAVUUSVIRRRAN MITTARIT

10.5.1 Aerofoil

Aerofoil on kaasun tilavuusvirran mittaamenetelmä, jossa tilavuusvirran määrittämiseksi tarvittava paine-ero saadaan aikaan kuristamalla virtaus kanavaan sijoitettavan siiven tai siipien avulla. Aerofoil-siiven profiili muodostuu ympyrästä, jolle piirretään kaksi tangenttiviivaa, jotka yhtyvät matkan 2,5 kertaa ympyrän halkaisija päässä ympyrän keskustasta. Siiven kokonaispituudeksi tulee siis 3 kertaa ympyrän halkaisija.

Mittausreiät sijaitsevat kolmessa rivissä siiven kärjessä sekä ylä- ja alapuolella siiven paksuimmassa kohdassa. Siiven kärjen mittausaukoista mitataan virtauksen kokonaispainetta (staattinen + dynaaminen paine), kun taas siiven ylä- ja alaosan aukoista mitataan virtauksen staattista painetta. Jokaisesta mittausreiästä johdetaan oma putki aerofoilin ulkopuolelle, jossa staattista painetta mittaavat putket yhdistetään omaksi ja kokonaispaineen putket omaksi putkeksi. Näin saadaan virtauksen keskimääräinen kokonaispaine ja staattinen paine sekä edelleen näiden välinen paine-ero. Aerofoilin siipi asennetaan kanavan pitemmän sivun suuntaisesti. Aerofoil on asennettava kanavaan siten, että impulssiputket osoittavat sivulle tai ylöspäin. Kaksisiipisen aerofoilin asennus on esitetty kuvassa 10.14.



Kuva 10.14. 2-siipinen aerofoil.

Aerofoililla on etuna venturiin nähden pienempi pituus, suoraa osuutta ennen ja jälkeen mittausta tarvitaan huomattavasti vähemmän sekä pysyvä painehäviö on pienempi. Pysyvä painehäviö aerofoilista on noin 10 % halutusta paine-erosta. Aerofoil on aina suorakulmainen, joten sen käyttö pyöreissä kanavissa vaatii muutoskappaleet aerofoilin eteen ja taakse. Käyttöä rajoittavat myös valmistustekniset ongelmat pienissä alle 500 x 500 mm kanavissa.

Aerofoilin mitoituksen lähtötietoina tarvitaan kanavan leveys ja korkeus, normitilavuusvirta, mittauskohdan paine ja lämpötila, haluttu paine-ero sekä normitiheys. Lähtötietojen perusteella alla esitetyillä kaavoilla lasketaan siiven mitat.

Olosuhteiden mukainen tilavuusvirta

$$Q = \frac{1}{3600} \frac{273+T}{273} \cdot Q_n \cdot \frac{p_a}{p_a + p} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (12)$$

missä Q_n = normitilavuusvirta [nm^3/h]
 T = mittauskohdan lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]
 p = mittauskohdan paine [kPa]
 p_a = ilmanpaine = 101.325 [kPa]

Olosuhteiden mukainen tiheys:

$$\rho = \frac{273}{273+T} \cdot \frac{p_a + p}{p_a} \cdot \rho_n, \quad [\text{kg}/\text{m}^3] \quad (13)$$

missä ρ_n = normitiheys [kg/nm^3]

Kapasiteettikerroin:

$$F_c = 37.5 \cdot (1 - A_r) \quad (14)$$

missä A_r = aukkosuhde
 F_c = kapasiteettikerroin

Massavirta pinta-alayksikköä kohti:

$$G = F_c \sqrt{\frac{\Delta p}{V}} \quad [\text{kg/m}^3\text{s}] \quad (15)$$

missä $\Delta p = \text{haluttu paine-ero [kPa]}$
 $V = \text{ominaistilavuus} = 1/\rho \text{ [m}^3/\text{kg]}$
 $G = \text{massavirta [kg/m}^3\text{s]}$

ja

$$G = \frac{\sigma \cdot Q}{A} \quad [\text{kg/m}^2\text{s}] \quad (16)$$

missä $A = \text{kanavan pinta-ala [m}^2\text{]}$

Aukkosuhde eli aerofoilin poikkipinta-alan suhde kanavan vapaaseen pinta-alaan

$$A_r = \frac{2 \cdot C}{H} \quad (17)$$

missä $H = \text{kanavan korkeus [m]}$
 $C = \text{aerofoilin siiven korkeus [m]}$

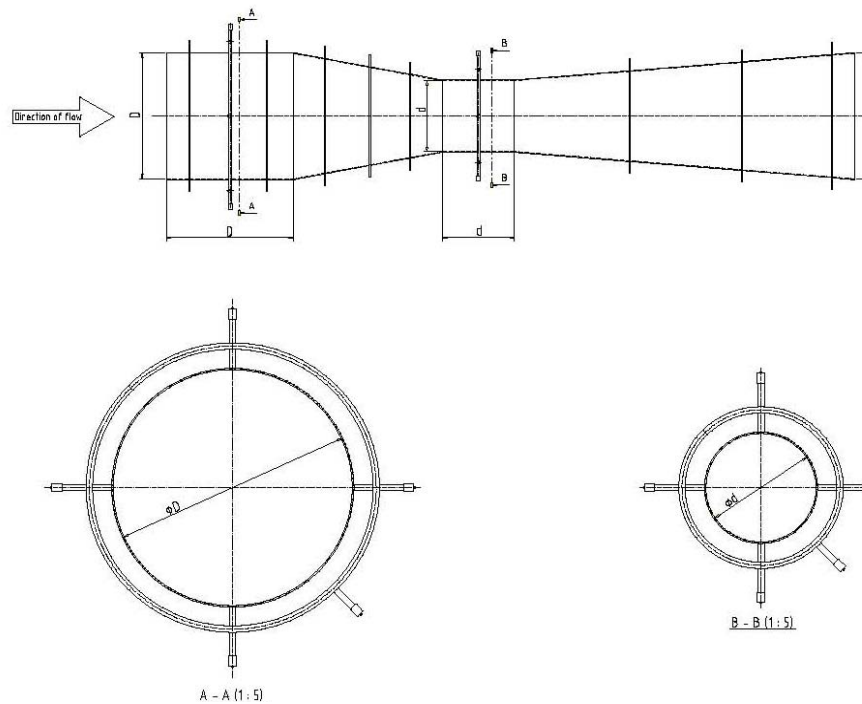
Edellä esitettyjen kaavojen avulla ratkeaa aukkosuhde A_r ja edelleen aerofoilin siiven korkeus C . Aukkosuhteen pitäisi olla välillä 0,6 - 0,7. Jos näin ei käy, pitää halutusta paine-erosta tinkiä tai muuttaa kanavan poikkipintamittoja, mikä usein ei kuitenkaan ole mahdollista. Ennen siipeä pitää suoraa osuutta olla vähintään $0,75 \cdot H$ ja siiven jälkeen vähintään korkeuden C verran kaksisiipisessä aerofoilissa.

10.5.2 Venturi

Venturi on kaasun tilavuusvirran mittaamenetelmä, jossa tilavuusvirran määrittämiseksi tarvittava paine-ero saadaan aikaan kuristamalla virtaus kanavan poikkipintaa vähentämällä. Venturi voi yhtä hyvin olla poikkileikkaukseltaan suorakulmainen tai ympyrä. Koska yleensä käytetään ympyrän poikkileikkauksisia ventureita, tässä esityksessä käsitellään vain niitä.

Mittausreiät sijaitsevat ennen kuristusta sekä kuristuksen kohdalla (kurkussa). Mittausreikiä on neljä kappaletta kummassakin paikassa tasaisin välein. Molemmista mittauskohdista mitataan staattista painetta, joka muuttuu virtausnopeuden muuttuessa. Jokaisesta mittausreiästä johdetaan oma putki venturin ulkopuolelle, jossa rengaskammio yhdistää mittauskohdan mittausreiät. Näin saadaan virtauksen keskimääräinen paine sekä edelleen mittauskohtien välinen paine-ero. Kuva 10.15.

Venturi itsessään on pitkä verrattuna esimerkiksi aerofoiliin. Mittauksen luotettavuuden kannalta tarvitaan myös paljon kanavan suoraa osuutta ennen ja jälkeen venturia. Suoraa osuutta ennen venturia tarvitaan $1 - 9 \cdot D$ riippuen venturin aukkosuhteesta ja kanavan mutkien määrästä ja laadusta. Venturin jälkeen suoraa tarvitaan vähintään $4 \cdot d$ (d = kurkun halkaisija) mitattuna kurkun yhteistä. Taulukko vaadittavista suorista minimipituuksista löytyy standardista SFS-ISO 5167-1. Usein kanavien layout on sellainen, että riittäviä suoraa osuuksia on vaikea saada aikaan, joten aerofoili on parempi vaihtoehto. Mutta esimerkiksi kiertoleijukattilan kiertokaasukanavassa käytetään usein venturia, koska kanavan poikkileikkaus on pyöreä ja kanavassa on pitkiä suoraa osuuksia. Venturista johtuva pysyvä painehäviö on suurempi kuin aerofoilia käytettäessä.



Kuva 10.15 Pyöreäleikkauksien venturi.

Venturin mitoituksen lähtötietoina tarvitaan kanavan halkaisija, normitilavuusvirta, mittauskohdan paine ja lämpötila, haluttu paine-ero, normitiheys sekä kartiokulmat, jolloin saadaan kurkun halkaisija. Normitilavuusvirta valitaan siten, että maksimivirtaus asettuu 75 - 80 % kohdalle mitta-alueella. Haluttu paine-ero pitää valita siten, että maksimivirtauksen kohdalla paine-ero on 0,8 - 1,0 kPa. Kartioiden kulmat pitää valita siten, että tulokartio on $21^\circ \pm 1^\circ$ ja lähtökartio on $7 - 15^\circ$.

Olosuhteiden mukainen tiheys

$$\rho = \frac{273}{273 + T} \cdot \frac{p_a + p}{p} \cdot \rho_n, \quad [\text{kg/m}^3] \quad (18)$$

Massavirta pinta-alayksikköä kohti:

$$G = \frac{\rho_n \cdot Q_n}{A}, \quad [\text{kg/m}^2\text{s}] \quad (19)$$

Kapasiteettikerroin:

$$F_c = \frac{G}{\sqrt{\Delta p \cdot \rho}}$$

(20)

Aukkosuhde:

$$A_r = \sqrt{\frac{F_c^2}{2000 + F_c}} \quad (21)$$

ja

$$A_r = \frac{d^2}{D^2} \quad (22)$$

missä D = kanavan halkaisija [m]
 d = kurkun halkaisija [m]

Kurkun halkaisija:

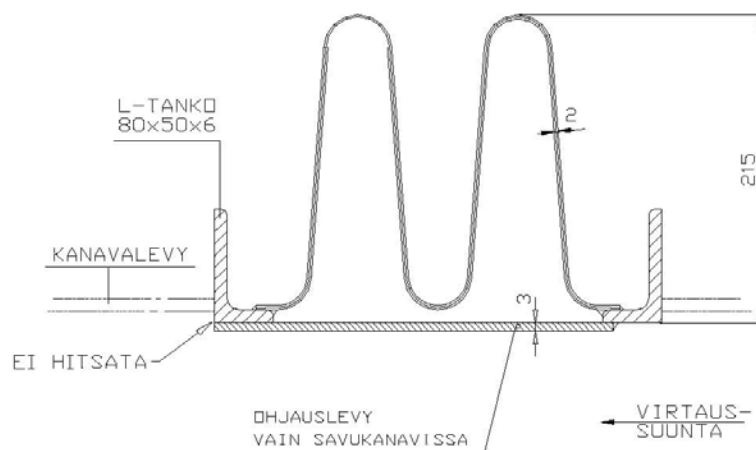
$$d = D \cdot \sqrt{A_r} \quad (23)$$

10.6 ILMA- JA SAVUKANAVIEN KOMPONENTIT

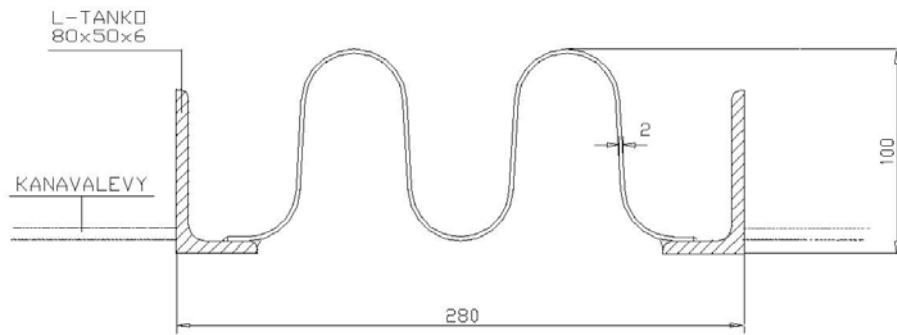
10.6.1 Palkeet

Lämpöliikkeiden kompensoimiseksi tarvitaan lämmitettyä ilmaa tai savukaasua sisältäviin kanaviin palkeita. Kanavat täytyy sijoittaa sopivien välein rakennukseen jäykästi kiintopisteillä. Palkeet kompensoivat näiden kiintopisteiden väliset lämpöliikkeet. Tulipesän jakokanaviin liityttäessä käytetään liittyvässä kanavassa teräspalje-para (nitkua), jossa palkeiden väli on muutamia metrejä riippuen tulipesän lämpöliikkeen suuruudesta. Palkeita käytetään myös liityttäessä puhaltimiin värähtelyjen kompensoimiseksi sekä esimerkiksi liityttäessä pyörivään ilmanesilämmittimeen (luvoon), kun ei haluta aiheuttaa kanavista kuormitusta luvon.

Suorakaidekanavissa käytetään normaalisti teräspalkeita, elleivät lämpöliikkeet ole liian suuria. Käytettävissä on kaksi paljeprofiilia, korkea- (kuva 10.16) ja matalapöimäinen (kuva 10.17) palje. Matalampaa paljetta käytetään jakokanavissa ja paikoissa, joihin korkea palje ei mahdu. Teräspalkeet joustavat vain aksiaalisuunnassa. (Pyöreät valmiina ostettavat teräspalkeet joustavat myös radiaalisuunnassa). Palkeiden materiaalina on normaalisti S235JRG2 tai vastaava.



Kuva 10.16 Kaksipöimäisen korkeaprofilisen palkeen poikileikkaus, tyyppi 2L.



Kuva 10.17 Kaksipoimuksen matalaprofilisen palkeen poikkileikkaus, tyyppi 2ML.

Taulukoissa 10.5 ja 10.6 on listattu sekä korkea- että matalaprofilisten palkeiden pituus, joustovara, metripaino ja käyttökohde. Paljetyyppi-sarakkeessa numero kertoo montako poimua palkeessa on, kirjain L taas sen, että ohjauslevyä ei ole. Ohjauslevyä käytetään vain savukanavissa. Vaakakanavissa ohjauslevy hitsataan kuten kuvassa 10.16. Pystykanavissa levy hitsataan kuitenkin virtauksen jättösuunnan puolelta, jotta tuhka ei kertyisi palkeen poimuihin. Palkeen kokonaispaino saadaan, kun metripainolla kerrotaan kanavan sisäpuolinen piiri sekä lisätään vakioarvo. Esim. kanava 2000 · 1500, palje 2L, palkeen paino $m = (2 + 1,5) \cdot 2 \cdot 27,0 \text{ kg} + 16 \text{ kg} = 205 \text{ kg}$.

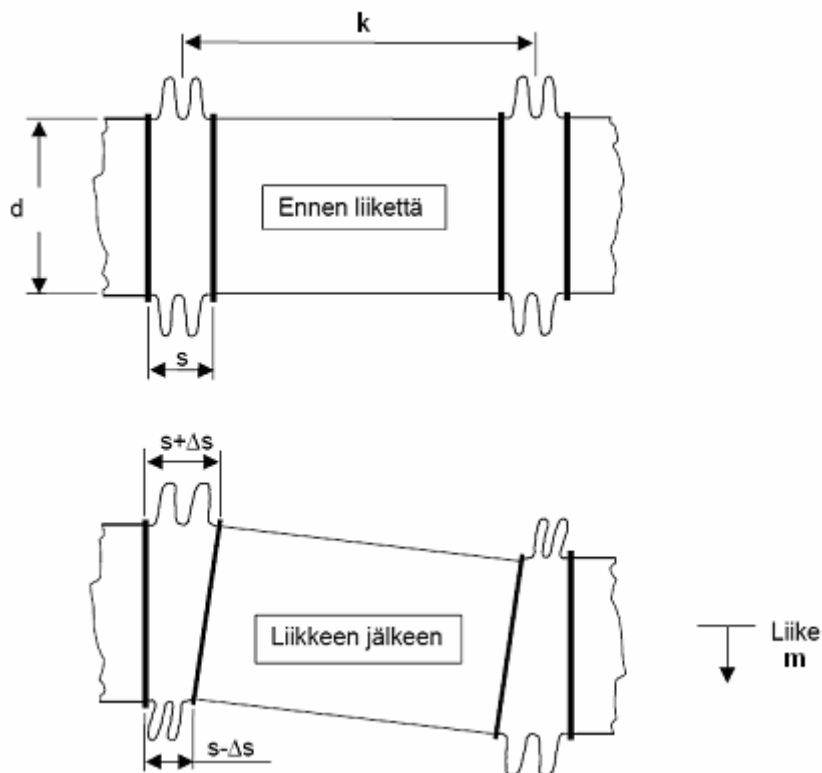
Taulukko 10.5. Korkeaprofiliset palkeet.

Paljetyyppi	Pituus <i>Mm</i>	Joustovara <i>Mm</i>	Metripaino	Käyttökohde
1L	200	± 15	19,6 kg/m + 10 kg	Ilmakanava
2L	310	± 30	27,0 kg/m + 16 kg	Ilmakanava
3L	420	± 45	34,4 kg/m + 22 kg	Ilmakanava
4L	530	± 60	41,8 kg/m + 28 kg	Ilmakanava
5L	640	± 75	49,2 kg/m + 34 kg	Ilmakanava
1	200	± 15	23,6 kg/m + 10 kg	Savukanava
2	310	± 30	33,6 kg/m + 16 kg	Savukanava
3	420	± 45	43,6 kg/m + 22 kg	Savukanava
4	530	± 60	53,6 kg/m + 28 kg	Savukanava
5	640	± 75	63,6 kg/m + 34 kg	Savukanava

Taulukko 10.6. Matalaprofiiliset palkeet.

Paljetyyppi	Pituus <i>Mm</i>	Joustovara <i>Mm</i>	Metripaino	Käyttökohde
1ML	175	± 10	15,8 kg/m + 5 kg	Ilmakanava
2ML	280	± 15	19,6 kg/m + 6 kg	Ilmakanava
3ML	385	± 20	23,4 kg/m + 8 kg	Ilmakanava
4ML	490	± 25	27,2 kg/m + 9 kg	Ilmakanava
5ML	595	± 30	31,0 kg/m + 11 kg	Ilmakanava
1M	175	± 10	19,2 kg/m + 5 kg	Savukanava
2M	280	± 15	25,5 kg/m + 6 kg	Savukanava
3M	385	± 20	31,8 kg/m + 8 kg	Savukanava
4M	490	± 25	38,0 kg/m + 9 kg	Savukanava
5M	595	± 30	44,3 kg/m + 11 kg	Savukanava

Nitkun mitoitus on esitetty kuvassa 10.18.



Kuva 10.18 Kaksipoimuinen matalaprofiilinen palje, tyyppi 2ML.

Kulmanmuutoksesta aiheutuvan liikkeen ja kanavageometrian välillä on likimääräisesti seuraava yhteys

$$\Delta s = \frac{m}{k} \times \frac{d}{2} \quad (24)$$

missä $k =$ *palkeiden välinen etäisyys*
 $m =$ *palkeen kulmamuutoksesta aiheutuva liike*
 $d =$ *kanavan halkaisija (sisämitta)*
 $\Delta s =$ *palkeen pituuden muutos*

Δs :n maksimiarvo voi olla kullekin paljetyypille taulukossa 10.5 oleva joustovara. Laskenta ottaa huomioon vain kulmamuutoksesta aiheutuvan liikkeen. Muut liikkeet (esim. lämpöliikkeet) täytyy lisätä, jotta saadaan palkeelle tuleva kokonaisliike. Tekstiilipalkeita käytetään yleensä pyöreissä kanavissa, kohteissa, joissa esiintyy kanavaan nähden kohtisuoria lämpöliikkeitä, puhaltimille liityttäessä sekä liityttäessä laitteisiin, joihin ei haluta kanavista tulevaa kuormitusta.

10.6.2 Sulku- ja säätöpellit

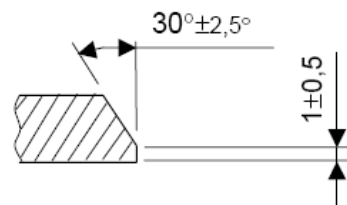
Peltien avulla säädetään virtausmäärää. Sulkupellit on tarkoitettu olemaan joko kokonaan auki tai kokonaan kiinni, eli niiden avulla voidaan esimerkiksi rinnakkaisista linjoista toinen sulkea huollon ajaksi. Säätöpelleillä virtausta voidaan tarkemmin säätää. Säätöpeltien vieressä on yleensä virtausmittaus, josta tuleva impulssi säätää peltiä. Säätöpellit eroavat sulkupelleistä lapojen aukeamisen ja vivustojen osalta.

10.6.3 Kulkuluukut

Kanavissa käytettävä kulkuluukku on kooltaan 400 x 600. Luukkujen materiaali on joko hiiliteräs tai ruostumaton teräs. Luukun valmistus hankitaan standardi-piirustusten mukaisesti. Ilmakanavissa käytettävän kulkuluukun materiaali on hiiliteräs S235JRG2, ja savukanavissa käytettävän kulkuluukun materiaali on ruostumaton teräs SS2343.

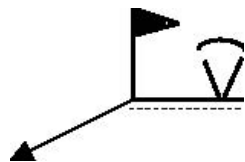
10.7 VALMISTUS JA ASENNUS

Toleranssit sekä valmistukselle että asennukselle on esitetty piirustusten ohjeteksteissä. Kanavien hitsaus on esitetty standardipiirustuksissa. Kanavat valmistetaan pääsääntöisesti Virossa. Hitsauksen laadun varmistamiseksi kanavalevyjen jatkohitsit sekä nurkkien liitokset hitsataan molemmilta puolilta. Asennuksessa kanavablokkien jatkohitsit hitsataan vain yhdeltä puolelta. Savukanavissa lohkojen liitospinnat viistetään (hitsaus tavallisesti ulkopuolelta) alla olevan detaljin mukaisesti (kuva 10.19). Viistäminen on esitettävä kokoonpanopiirustuksessa.

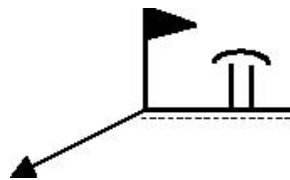


Kuva 10.19 Savukanavan liitospinnan viiste.

Kuvissa 10.20 ja 10.21 on esitetty savukanavien ja ilmakeinavien päittäishitsit.



Kuva 10.20 Savukanavien päittäishitsi.



Kuva 10.21 Ilmakeinavien päittäishitsi.

Piirustusten ohjeteksteissä esitetään hitsien tunkeumavaatimukset. Asennuspäittäishitsien tunkeuma oltava vähintään 0,6 kertaa levynpaksuus (ilmakeinavat) ja 0,75 kertaa levynpaksuus (savukanavat).

10.8 ERISTYKSET

Kanavissa käytettävä eristyspaksuus määräytyy useimmiten standardin SFS 3977 taulukoiden B.2 tai B.3 mukaisesti. Eristystyön asettamat vaatimukset kattilan, kanavien ja sähkösuotimien suunnittelulle on esitetty standardissa SFS 5744. Standardi sisältää myös kuvia tyypillisimmistä tavoista tehdä eristys.

Savukanavien kannatusten suunnittelussa on kiinnitettävä erityisesti huomiota kylmäsiltojen katkaisuun sisäpintojen kondensoitumisen estämiseksi. Kannatukset on myös suunniteltava siten, ettei vesi pääse eristyksen sisään. Kanavien jäykisteiden päällä täytyy olla eristettä vähintään 40 mm, tämä täytyy muistaa määriteltäessä tilavarauksia kanaville, varsinkin jos eristyksen paksuus on pienempi kuin kanavajäykisteen korkeus.

10.9 KANAVISTA TEHTÄVÄT PIIRUSTUKSET

Kanavista tehdään työnumeroittain kokoonpanopiirustus, joka on samalla asennuspiirustus, sekä piirustus, jonka avulla kanavan valmistaja tekee valmistuspiirustukset. Samalla työnumerolla voi kuitenkin olla useita kokoonpanopiirustuksia riippuen kattilan tyypistä tai koosta. Tarvittaessa kokoonpanopiirustukseen voi liittyä piirustus, jossa esitetään esimerkiksi leikkaukset sekä kohtakuvat. Erillisen kohtakuvapiirustuksen käyttö on suotavaa ainakin silloin, kun leikkauksia tai kohtakuvia on niin paljon, että piirustuksen luettavuus ja selkeys kärsii. Lisäksi kanavista tehdään instrumenttien sijoituspiirustus tai -piirustuksia. Näissä piirustuksissa esitetään instrumenttien kiinnitysyhteiden tyypit ja sijainnit. Samoissa piirustuksissa voidaan esittää myös kulkuluukkujen sijoitus. Liitteessä 3 on mallikuva, yhtenä tapana tehdä kokoonpanopiirustus.

11 YHTEENVETO

Pienellä polttolaitoksella tarkoitetaan tässä tutkintotyössä yhdestä tai useammasta polttolaitteesta (kattilat, moottorit, kaasuturbiinit) koostuvaa samalla alueella olevaa laitostokokonaisuutta, jonka polttoaineteho on yhteensä enintään 50 MW ja jonka savukaasut voidaan poistaa yhteisen savupiipun kautta ulkoilmaan.

Pienissä polttolaitoksissa poltetaan eniten raskasta polttoöljyä, puuta, maakaasua ja turvetta. Lähes puolet polttoaineesta käytetään poltinpolttolaitoksissa. Neljäsosa polttoaineesta poltetaan arinakattiloissa ja noin viidesosa leijukattiloissa. Loput eli vajaat kymmenesosa käytetään diesel- ja kaasumoottoreissa, kaasuturbiineissa ja kaasutuslaitoksissa sekä teollisuuden prosessikattiloissa ja -uuneissa. Pienet polttolaitokset tuottivat vuonna 2001 Suomessa noin 17 % energiantuotannon typenoksidipäästöistä, noin 27 % rikkidioksidipäästöistä ja noin 30 % hiukkaspäästöistä. Pienten polttolaitosten osuus polttoaineiden kulutuksesta oli noin 13 %.

Ympäristönsuojelulain mukaan päästöjen ehkäisemistä ja rajoittamista koskevien lupamääräysten tulee perustua parhaaseen käyttökelpoiseen tekniikkaan. Parhaan käyttökelpoisen tekniikan arvioimisesta säädetään ympäristönsuojeluasetuksessa, jossa on lueteltu ne asiat tai tekijät, jotka on otettava arvioinnissa huomioon. Pienille alle 50 MW:n polttolaitoksille on käytettävissä ainoastaan yksi päästönormi, joka koskee hiukkaspäästöjä.

Sykloni tai multisykloni, sähkösuodatin ja kuitusuodatin täyttävät parhaan käyttökelpoisen tekniikan vaatimukset hiukkaspäästöjen vähentämisessä pienissä polttolaitoksissa. Pesuri voi yksittäistapauksissa tulla kysymykseen esimerkiksi lämmön talteenottoon perustuvissa sovellutuksissa myös pienten polttolaitosten kokoluokassa.

Polttolaitosten ilma- ja savukanavien suunnittelussa on otettava ensimmäiseksi huomioon se kuinka suuria virtauksia ja paineita kanavissa tullaan käyttämään. Tämä määrää kanavien koon ja rakenteen. Rakenteen tulee täyttää kaasuvirtauksen asettamat vaatimukset ja kestää kanaviin kohdistuvat rasitukset. Rakenne muodostuu kanavan seinämänpaksuuden, jäykisteiden sijainnin ja suuruuden valinnan

kautta. Toiseksi kanavien suunnitteluun vaikuttaa kaasun lämpötila, joka määrää käytettävän materiaalin. Pitkiä kanavarakenteita suunniteltaessa on otettava huomioon kanavien liikkuminen lämpöliikkeestä johtuen. Tähän käytetään palkeita ja liitoskohdissa kangasta. Kankaalla saadaan estettyä esimerkiksi puhaltimen resonansista johtuvat värinät välittymästä kanavaan. Kanavien suunnitteluun kuuluvat myös erilaiset komponentit, kuten virtausmittarit, palkeet, kulkuluukut, säätö- ja sulkupellit, jotka täytyy sijoittaa oikein. Lisäksi kanavien kiinnityksessä täytyy käyttää, kullekin kanavamudolle soveltuvaa tekniikkaa.

LÄHDELUETTELO

- 1 www.finlex.fi
- 2 Insinööritoimisto Comatec Oy 2002. Yrityksen ABC.
- 3 Insinööritoimisto Comatec Oy:n uuden työntekijän kansio.
- 4 Insinööritoimisto Comatec Oy:n nettisivut. www.comatec.fi
- 5 Motiva Oy:n kotisivut. Motiva Oy tuottaa asiantuntija- ja projektipalveluja uusiutuvan energian ja energian tehokkaamman käytön lisäämiseksi.
<http://www.motiva.fi/fi/kirjasto/energiankayttosuomessa/>
- 6 Tilastokeskuksen kotisivut. www.stat.fi
- 7 Jukka Jalovaara, Juha Aho ja Eljas Hietämäki, Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW polttolaitoksissa suomessa, Helsinki 2003.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=23847&lan=fi>
- 8 Kvaerner Power Oy
- 9 Power-technologyn kotisivut. www.power-technology.com
- 10 Wärtsilä Finlad Biopower Oy (Sermet Oy)
- 11 Omat kokemukset ja työkavereiden opetukset.
- 12 Kvaerner Power Oy
- 13 Yleiset ja asiakkaan sekä Comatecin käyttämät suunnitteluohjeet kattilalaitoksen ilma- ja savukaasujärjestelmissä.

LIITTEET

Liite 1. Hiukkaspäästöohjeavot

Erityisesti energiantuotantolaitoksia koskee 1.3.1987 voimaan tullut valtioneuvoston päätös (157/87) yleisistä ohjeista voimalaitoksen ja kattilalaitoksen hiukkaspäästöjen rajoittamiseksi. Päätöksen 1 §:ssä on annettu uusille 1...50 MW laitoksille seuraavat päästöohjeavot.

Ilman pilaantumisen ehkäisemiseksi on ohjeena, että uusien voimalaitosten ja kattilalaitosten kattiloiden, joiden polttoainetehto (P) on yli 1 mutta enintään 50 megawattia (MW), hiukkaspäästöt milligrammoina megajoulea (mg/MJ) ovat enintään seuraavat:

Taulukko 1. Hiukkaspäästöohjeavot.

Pääasiallinen polttoaine	Kattilan polttoainetehto, MW	Hiukkaspäästö enintään, mg/MJ
Kotimaiset polttoaineet	$1 < P < 5$	200
	$5 < P < 50$	lasketaan kaavasta $85 - 4/3 * (P - 5)$
Kivihili	$1 < P < 5$	150
	$5 < P < 50$	lasketaan kaavasta $60 - 7/9 * (P - 5)$
Öljy	$1 < P < 3$	90
	$3 < P < 5$	60
	$5 < P < 50$	40

Päästöohjeavot arinapolttua käyttävälle polttoaineteholtaan vähintään 5 mutta alle 10 MW kattilalle on kuitenkin kotimaisia polttoaineita poltettaessa 200 mg/MJ ja kivihiltä poltettaessa 150 mg/MJ.

Liite 2. Ominaisarvokertoimet ja hyötysuhteet

Taulukko 1. Tyypilliset ominaispäästökertoimet ja hyötysuhteet POR-kattiloissa.

Poltinpoltto		Raskas polttoöljy		
		alle 5 MW	5-15 MW	15 - 50 MW
Polttoaineteho	MW	alle 5 MW	5-15 MW	15 - 50 MW
Laitosten lukumäärä	kpl	300	200	100
Polttoaineen kulutus	GWh	1500	1900	2 100
Polttoaineen osuus	%	> 90	> 90	> 90
Kattilahyötysuhde	%	92 - 93	92 - 93	93 - 94
NO _x (osassa low-NO _x -poltto)	mg/MJ	150 - 250	150 - 250	120 - 200
SO ₂	mg/MJ	350 - 500	350 - 500	350 - 500
Hiukkaset (osassa sykloni)	mg/MJ	20 - 90	10 - 70	5 - 40

Taulukko 2. Tyypilliset ominaispäästökertoimet ja hyötysuhteet POK-kattiloissa.

Poltinpoltto		Kevyt polttoöljy		
		alle 5 MW	5 - 15 MW	15 - 50 MW
Polttoaineteho	MW	alle 5 MW	5 - 15 MW	15 - 50 MW
Laitosten lukumäärä	kpl	20	20	10
Polttoaineen kulutus	GWh	100	50	50
Polttoaineen osuus	%	100	100	100
Kattilahyötysuhde	%	93 - 94	93 - 94	93 - 94
NO _x (osassa low-NO _x -poltto)	mg/MJ	100 - 150	100 - 150	60 - 120
SO ₂	mg/MJ	50 - 70	50 - 70	50- 70
Hiukkaset	mg/MJ	< 10	< 10	< 10

Taulukko 3. Tyypilliset ominaispäästökertoimet ja hyötysuhteet maakaasukattiloissa.

Poltinpoltto		Maakaasu		
		alle 5 MW	5 - 15 MW	15 - 50 MW
Polttoaineteho	MW	alle 5 MW	5 - 15 MW	15 - 50 MW
Laitosten lukumäärä	kpl	120	100	40
Polttoaineen kulutus	GWh	900	1 300	2 000
Polttoaineen osuus	%	100	> 95	> 95
Kattilahyötysuhde	%	93 - 94	93 - 94	94 - 95
NO _x (osassa low-NO _x -poltto)	mg/MJ	60 - 100	60 - 100	40 - 80
SO ₂	mg/MJ	0	0	0
Hiukkaset	mg/MJ	0	0	0

Taulukko 4. Tyypilliset ominaispäästökertoimet diesel/kaasumootoreissa (maakaasukone on kipinäsytytteinen moottori (SG) tai dieselkaasumootori (GD)).

Diesel/kaasumoottori		Raskasöljy	Maakaasu
Polttoaineteho	MW	20 - 40	10 - 15
Laitosten lukumäärä	kpl	2	5
Polttoaineen kulutus	GWh	70	300
Polttoaineen osuus	%	> 99	100
Sähköhyötysuhde	%	40	40
NO x	mg/MJ	2 000 - 2 500	160 (SG) 1 500 (GD)
NO x (katalyytti)	mg/MJ	200 - 300	-
SO ₂	mg/MJ	450 - 500	0
SO ₂ (rikinpoisto)	mg/MJ	100 - 200	-
Hiukkaset	mg/MJ	30 - 60	0

Taulukko 5. Tyypilliset ominaispäästökertoimet kaasuturbiineissa.

Kaasuturbiini		Maakaasu
Polttoaineteho	MW	16
Laitosten lukumäärä	kpl	9
Polttoaineen kulutus	GWh	500
Polttoaineen osuus	%	100
Sähköhyötysuhde	%	30
NO x	mg/MJ	100-150
SO ₂	mg/MJ	0
Hiukkaset	mg/MJ	0

Taulukko 6. Tyypilliset ominaispäästökertoimet ja hyötysuhteet kerrosleijukattiloissa.

Kerrosleiju	Turve	Puu			
		5 - 10	10 - 50	5 - 10	10 - 50
Polttoaineteho	MW	5 - 10	10 - 50	5 - 10	10 - 50
Laitosten lukumäärä	kpl	8	12	8	10
Polttoaineen kulutus	GWh	160	1 400	150	850
Polttoaineen osuus	%	> 60	> 60	> 60	> 60
Kattilahyötysuhde	%	88 - 90	89 - 91	88 - 90	89 - 91
NO x	mg/MJ	150 - 200	130 - 200	80 - 150	80 - 150
SO ₂	mg/MJ	150 - 250	150 - 250	< 30	< 30
Hiukkaset (sähkösuodin)	mg/MJ	10 - 50	5 - 20	10 - 70	5 - 30

Taulukko 7. Tyypilliset ominaispäästökertoimet ja hyötysuhteet kiertoleijukattiloissa.

Kiertoleiju	Turve		Puu
Polttoaineteho	MW	20 - 50	20 - 40
Laitosten lukumäärä	kpl	3	4
Polttoaineen kulutus	GWh	700	400
Polttoaineen osuus	%	> 70	> 70
Kattilahiötysuhde	%	89 - 91	89 - 91
NO x	mg/MJ	80 - 150	70 - 120
SO2	mg/MJ	150 - 250	< 30
Hiukkaset (sähkösuodin)	mg/MJ	5 - 20	5 - 30

Taulukko 8. Tyypilliset ominaispäästökertoimet ja hyötysuhteet turvearinakattiloissa.

Arina	Turve			
				10 - 50
Polttoaineteho	MW	alle 5 MW	5 - 10 MW	MW
Laitosten lukumäärä	kpl	50	10	2
Polttoaineen kulutus	GWh	500	200	150
Polttoaineen osuus	%	> 60	> 70	> 70
Kattilahiötysuhde	%	85 - 87	85 - 87	85 - 87
NO x	mg/MJ	150 - 250	150 - 250	140 - 220
SO2	mg/MJ	150 - 250	150 - 250	150 - 250
Hiukkaset (syklo-ni/sähkö-s.)	mg/MJ	20 - 150	5 - 120	5 - 100

Taulukko 9. Tyypilliset ominaispäästökertoimet ja hyötysuhteet puuarinakattiloissa.

Arina	Puu			
Polttoaineteho	MW	alle 5 MW	5 - 10 MW	10 - 50 MW
Laitosten lukumäärä	kpl	120	50	35
Polttoaineen kulutus	GWh	1 200	1 500	3 000
Polttoaineen osuus	%	> 70	> 70	> 80
Kattilahiötysuhde	%	85 - 87	85 - 87	85 - 87
NO x	mg/MJ	80 - 200	80 - 200	70 - 150
SO2	mg/MJ	< 30	< 30	< 30
Hiukkaset (syklo-ni/sähkö-s.)	mg/MJ	20 - 150	20 - 150	10 - 150

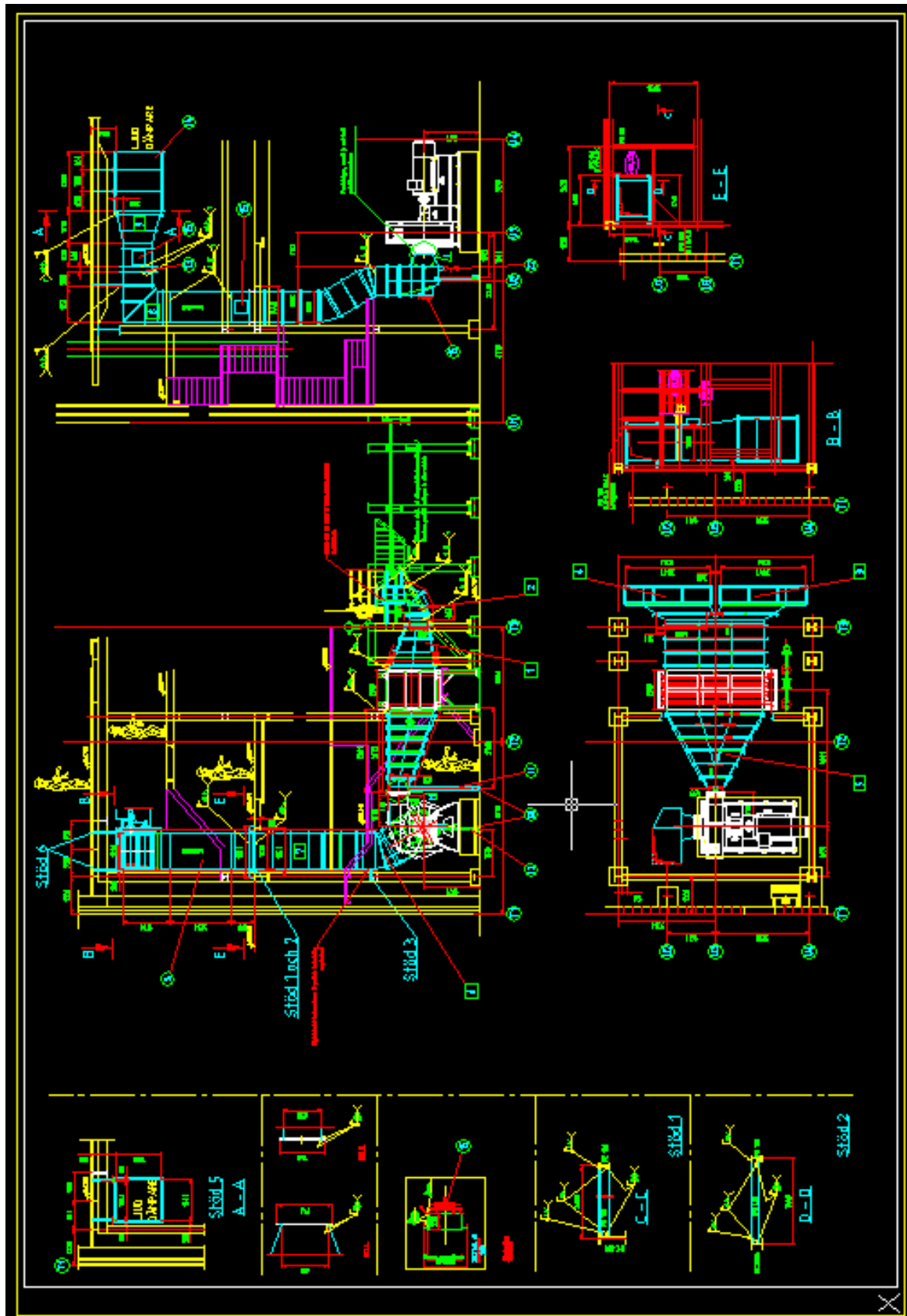
Taulukko 10. Tyypilliset ominaispäästökertoimet ja hyötysuhteet hiiliarinakattiloissa.

Arina		Hiili	
Polttoaineteho	MW	5 - 10 MW	25 - 40 MW
Laitosten lukumäärä	kpl	3	5
Polttoaineen kulutus	GWh	60	500
Polttoaineen osuus	%	100	100
Kattilahyötysuhde	%	85 - 87	85 - 87
NO x	mg/MJ	70 - 150	80 - 200
SO ₂	mg/MJ	400 - 600	400 - 600
Hiukkaset (sähkösuodin)	mg/MJ	5 - 50	5 - 50

Taulukko 11. Tyypilliset ominaispäästökertoimet ja hyötysuhteet kaasutuslaitoksissa.

Kaasutus		Turve	Puu
Polttoaineteho	MW	5	2 - 7
Laitosten lukumäärä	kpl	2	5
Polttoaineen kulutus	GWh	30	70
Polttoaineen osuus	%	100	100
Kattilahyötysuhde	%	87 - 89	87 - 89
NO x	mg/MJ	200 - 250	150 - 200
SO ₂	mg/MJ	200 - 250	< 20
Hiukkaset (sykloni)	mg/MJ	40 - 120	50 - 150

Liite 3. Kokoonpanokuva ilmakanaavista



Kuva 1. Ilmakanaan kokoonpanokuva.