

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tutkintotyö

Onni Lahtinen

MEMBRANESEINÄN OHITUSPIIRUSTUSTEN OHJEISTUS

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä

Lehtori Kari Järvinen  
Rantotek Oy

Tampere 2007

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Kone- ja tuotantotekniikka

Lahtinen Onni	Membraneseinän ohituspiirustusten ohjeistus
Tutkintotyö	35 sivua + 19 liitesivua
Työn ohjaaja	Lehtori Kari Järvinen
Työn teettäjä	Rantotek Oy, valvoja Kimmo Sauro
2007	
Hakusanat	kattilatekniikka, membraneseinä, ohituspiirustus

## TIIVISTELMÄ

Ohjeistus on tehty Rantotek Oy:n kattilan suunnitteluprosessin parantamiseksi ja nopeuttamiseksi. Työssä käsitellään energiatekniikassa käytettävien vesiputkikattiloita yleisesti, ja keskitytään erityisesti membraneseinään tehtäviin ohituksiin sekä ohjeistetaan ohituspiirustusten laadintaa. Membraneseinä on kattilatekniikassa käytettävä kaasutiivis vesiputkiseinärakenne, jota käytetään erityisesti kattilan tulipesän seinissä. Työssä kuvataan yleisimpiä vesiputkikattilarakenteita, komponentteja ja toimintaperiaatteita. Kattiloiden toimintaperiaatteita ovat luonnonkierto, läpivirtaus ja pakkokierto. Ohjeistuksen lähtökohtana on yhtiön ohituspiirustusten suunnittelun yhtenäistäminen. Ohjeistuksen tarkoituksena on antaa membraneseinän ohituspiirustusten tekijälle riittävästi tietoa, jotta piirustukset voidaan tehdä yrityksessä yhdenmukaisesti. Ohjeistusta käytetään uusien työntekijöiden perehdyttämiseen ja ohjeistamiseen. Ohjeessa kerrotaan piirustusten laadinta Auto-CAD-ohjelmistolla perusteellisesti sekä annetaan tietoa riittävän mitoituksen tekemiseen ja kerrotaan tarkastuslistan avulla piirustuksesta tarkastettavat kohteet. Ohjeistus on tarkoitettu yhtenäistämään yrityksen piirustuksien tekemistä sekä nopeuttamaan suunnitteluprosessin läpivientiaikaa.

TAMPERE POLYTECHNIC

Mechanical and Production Engineering

Lahtinen Onni	Membranewall bypassdrawing instruction
Engineering Thesis	35 pages, 19 appendices
Thesis supervisor	Teacher Kari Järvinen
Comissioning Company	Rantotek Oy, Supervisor Kimmo Sauro
2007	
Keywords	boilertechnique, membranewall, bypassdrawing

## ABSTARCT

This work deals energytechonology and especially industrial boilertechnique. There are presented different types of industrial boilers and all most common boiler components. Today in industrial boilers generally used membranewall technique is presented in this work. The main point is instruction of membranewall bypassdrawing and how it can be done systematically and more effectively. In the instruction it is descriped how a new worker can individually do a membranewall bypassdrawing. The bypassdrawings are done with AutoCAD- program.

## ALKUSANAT

Tutkintotyön on mahdollistanut Rantotek Oy:n tarve teettää ohjeistus suunnitteluprosessin tehostamiseksi. Tarkoituksena on tehdä mahdollisimman selkokielineen ja hyvä ohjeistus jota yrityksen työntekijät voivat vaivatta hyödyntää. Työ on tehty Rantotek Oy:n toimistotiloissa, rauhallisessa ja hiljaisessa ilmapiirissä. Kiitokset toimitusjohtaja Rauno Rantovaaralle tutkintotyön tekemisen mahdollisuudesta yritykseen. Erityiset kiitokset työn onnistumisesta sekä hyvistä neuvoista Kimmo Saurolle ja Raino Seilolle. Kiitokset työpaikan kahvikoneelle, joka tuli tutuksi kahvitauoilla.

## SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	3
Yrityksen taustaa .....	3
Tehtävän asettelu .....	3
Tehtävän rajaus.....	4
2. HÖYRYKATTILATEKNIikka.....	4
2.1.1 Luonnonkiertokattila .....	5
2.1.2 Pakkokierto-kattila.....	6
2.1.3 Läpivirtauskattila.....	8
2.2 Höyrykattilatekniikan komponentit.....	9
2.2.1 Tulistimet.....	9
2.2.2 Syöttövedenesilämmitin (EKO) .....	11
2.2.3 Ilman esilämmitin (LUVO) .....	12
3.1 Leijukerros-poltto .....	13
3.1.1 Leijupetikattila.....	14
3.1.2 Kiertopetikattila.....	16
3.2 Jätelämpökattila .....	17
3.3 Soodakattila .....	18
3.3.1 Selluloosan valmistus sulfaattiperiaatteella.....	19
3.3.2 Mustalipeän kierto ja poltto selluloosanvalmistusprosessissa.....	19
3.3.3 Lipeän palaminen tulipesässä .....	21
3.3.4 Soodakattilan rakenne .....	23
4. VESIPUTKIKATTILOIDEN SEINÄRAKENTEET .....	25
5. MEMBRANESEINÄN OHITUKSET .....	27
6. OHITUSTEN SUUNNITTELUPROSESSI.....	28
6.1 Suunnitteluprosessin kuvaus.....	28
6.2 3D-mallin ja piirustusten tekeminen.....	29
7. OHITUSPIIRUSTUSTEN OHJEISTUS.....	30
7.1 Ohjeistuksen yleiskuvaus .....	30
7.2 Ohjeistuksen sisältö .....	30
8. OHJEISTUKSEN TARKASTELU .....	31
8.1 Ohjeistuksen onnistuminen.....	31
8.2 Ohjeistuksen selkeys.....	31
LÄHTEET .....	31

Kirjallisuus.....	31
Internet-lähteet.....	32
LIITTEET .....	32

# 1. JOHDANTO

## Yrityksen taustaa

Rantotek Oy on vuonna 1985 perustettu insinööritoimisto. Rantotek Oy on osa Comatec-konsernia. Comatec osti vuonna 2004 osake-enemmistön eli 60 % Rantotekista. Toimipisteitä Rantotekilla on Tampereella ja Varkaudessa. Varkauden toimipiste avattiin 1.1.2007. Yrityksen vahva osaamisala on paine- ja kattilasuunnittelu. Erityinen osaamisalue on eri maiden painelaitesäädösten ja lujuuslaskentajärjestelmien hallinta. Yrityksessä tehdään myös erilaisia suunnitteluprojekteja, jotka liittyvät prosessimitoitukseen, putkisto-, säiliö- ja teräsrakennesuunnitteluun. Yrityksellä on ollut vuosien saatossa lukuisia referenssejä eri suunnitteluprojekteissa. Rantotek on tehnyt painelaitesuunnitelmia ulkomaille, mm. Ruotsiin, Puolaan, Unkariin, Kiinaan, Yhdysvaltoihin ja Venäjälle. Kotimaahan on tehty lukuisia suunnitteluprojekteja. Merkittävä yhteistyökumppani kattilanvalmistajana Rantotekille on Foster Wheeler Energia Oy.

## Tehtävän asettelu

Yrityksessä on huomattu, että eräs kattilansuunnitteluprosessin kohta vie suuren määrän aikaa verrattuna koko kattilansuunnitteluprosessin keston. Yrityksessä työskentelee monta henkilöä, ja jokaisella on ollut tapana tehdä tietty osa suunnitteluprosessista hiukan eri tavalla. Piirustuksista on tullut erinäköisiä versioita, joiden määrää halutaan karsia yhtenäistämällä suunnitteluprosessia. Samanlaisen yhteisen peruseriaatteen käyttäminen selkeyttää piirustusten laadintaa, koska kaikilla on samanlainen lähtökohta ennen piirustusten tekoa. Tutkintotyön tavoitteena on laatia selkeä ohjeistus aikaa vievän suunnitteluprosessin osan tekemiseen ja yhtenäistää siten koko yrityksen kattilansuunnitteluprosessia. Ohjeistuksessa tulee ottaa huomioon myös uuden työntekijän näkökulma. Lisäksi ohjeistuksen tulee sisältää tarkastuslista, jolla suoritetaan piirustuksien työntekijäkohtainen tarkastus.

## Tehtävän raja

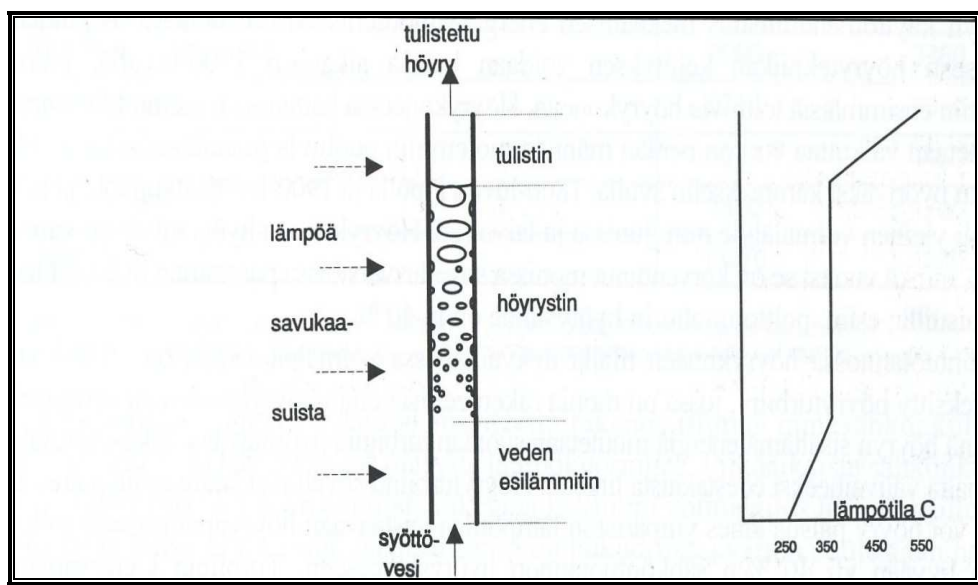
Rantotek Oy:ssä tehdään monien erityyppisten kattiloiden suunnittelua. Tutkintotyössä esitellään yleisiä kattilatyyppejä yleiskuvan muodostumiseksi. Ensimmäinen raja on tehtävä kattilatyypin valinnassa. Tähän työhön on valittu kiertopetityyppinen kattila. Kattilatyypin valinnalla ei tosin ole suurta merkitystä, sillä ohituksia tarvitaan kaiken tyyppisissä kattiloissa. Koko kattilan suunnitteluprosessista tähän työhön on valikoitunut membraneseinän ohituksia koskeva kohta. Tämä raja on tehty yrityksen toimeksiannosta. Tehtäväksi tulee siten membraneseinän ohituspiirustusten ohjeistaminen ja yhtenäistäminen. Ohjeistuksen tulee olla niin selkeä ja tarkka, että uusi työntekijä pystyy itsenäisesti laatimaan piirustuksia ohjeistuksen avulla.

## 2. HÖYRYKATTILATEKNIikka

### 2.1 Höyrykattilatekniikan toimintaperiaatteita

Höyrykattilan toiminta perustuu veden höyrystämiseen. Kattilan putkistoon syötetään vettä, ja lopputuloksena saadaan höyryä. Vesi ei muutu putkistossa höyryksi ilman ulkopuolista lämpöä. Kattilatekniikassa lämpöä tuotetaan putkistoon pääasiassa polttoaineilla. Tuotetulla lämmöllä lämmitetään vesi kattilassa höyrystymislämpötilaan. Höyrystymislämpötilassa vesi alkaa höyrystyä. Tiettyä painetta vastaa tietty höyrystymislämpötila. Vedelle ominaisesti höyryn muodostuminen saavuttaa suurimman mahdollisen arvonsa tietyssä tilavuudessa ja lämpötilassa. Kun kaikki vesi on höyrystynyt tietyssä tilavuudessa ja sitä on niin paljon kuin tässä lämpötilassa on mahdollista, puhutaan kylläisestä höyrystä. Kylläisen höyryn kuumentamista nesteettömässä tilassa sanotaan tulistamiseksi. Kuvassa 1 on esitetty veden muuttuminen höyryksi ja edelleen tulistetuksi höyryksi sitä lämmitettäessä savukaasulla. Kuvassa 1 näkyy, kuinka lämpötila muuttuu vettä höyrystettäessä ja tulistettaessa.





**Kuva 1. Veden höyrystyminen ja tulistuminen kattilassa /2, s. 7./**

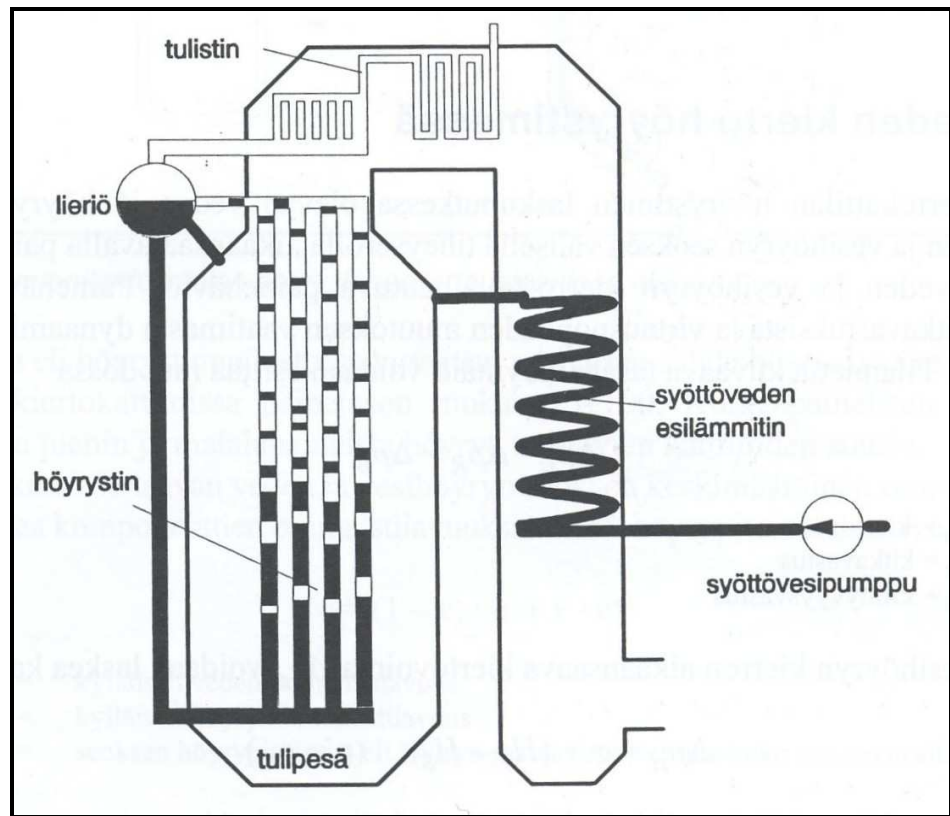
Savukaasuihin sitoutunut lämpö hyödynnetään mahdollisimman tarkkaan jäädyttämällä sitä erilaisilla lämmönvaihtimilla. Höyrykattilatekniikassa käytettäviä lämmönvaihtimia ovat höyrystin, tulistin, syöttöveden esilämmitin (EKO) ja palamisilman esilämmitin (LUVO). Savukaasut kulkevat edellä mainittujen lämmönvaihtimien läpi savukaasujen puhdistimille ja lopuksi savupiipun kautta ympäristöön.

Kattilatyypit voidaan jakaa kahteen pääluokkaan, lieriökattilat ja vesiputkikattilat, niissä käytettävän vesitilan perusteella. Vesiputkikattilat jaetaan vedenkierto periaatteen perusteella luonnonkierto-, pakkokierto- ja läpivirtauskattiloihin. Luonnonkiertokattilat voidaan vielä jakaa polttolaitteen tai tulipesärakenteen perusteella. Tutkintotyössä käsitellään tarkemmin vesiputkikattilatyyppejä, joissa käytetään luonnon- tai pakkokiertoa ja tulipesärakenteita ovat kupliva leijupeti, kiertopeti sekä soodakattila. /1, s.15 - 16; 2, s.7./

### 2.1.1 Luonnonkiertokattila

Luonnonkiertokattiloissa vesi ja höyry liikkuu kattilan putkistossa veden ja höyryn välisen tiheyseron vaikutuksesta. Laskuputkia alaspäin virtaavan veden tiheys on suurempi kuin höyrystinputkia ylöspäin virtaavan veden ja höyryn seoksen. Syöttövesi pumpataan esilämmittimen kautta lieriöön, josta vesi jatkaa matkaansa laskuputkia pitkin höyrystinputkien alapäähän. Esilämmittimen tehtävänä on lämmittää syöttövesi lähelle veden kylläistä lämpötilaa ja laskea

savukaasujen lämpötilaa. Höyrystinputket muodostavat tulipesänseinämät. Höyrystinputkissa osa vedestä höyrystyy, ja veden sekä vesihöyryn seos menee takaisin lieriöön tiheyseron vaikutuksesta. Lieriössä höyry ja vesi erotetaan toisistaan. Höyry virtaa lieriöstä tulistimiin ja uudelleen syöttöveteen sekoittunut höyrystymätön vesi palaa takaisin laskuputkia pitkin tulipesän höyrystinputkistoon.



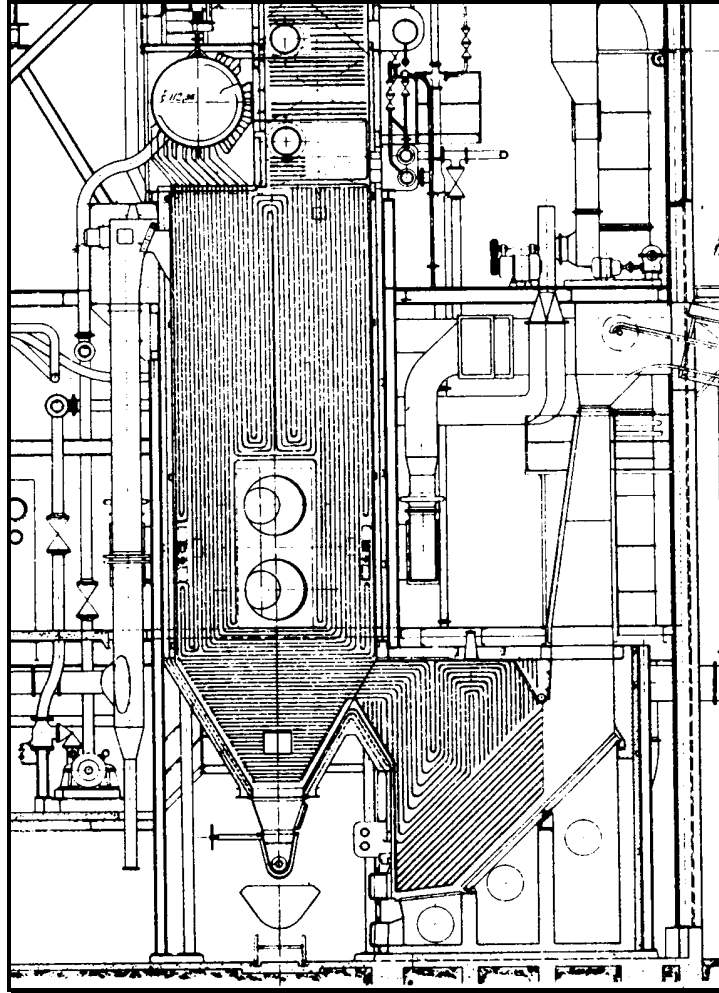
**Kuva 2. Luonnonkiertokattilan periaatekuva /2, s. 113./**

Kuvassa 2 on esitetty luonnonkiertokattilan komponentit ja veden- sekä höyrynkierro kattilassa. Luonnonkiertokattilan komponentteja ovat vedenesilämmitin, lieriö, höyrystin ja tulistin. /2, s. 113 - 114./

### 2.1.2 Pakkokierto kattila

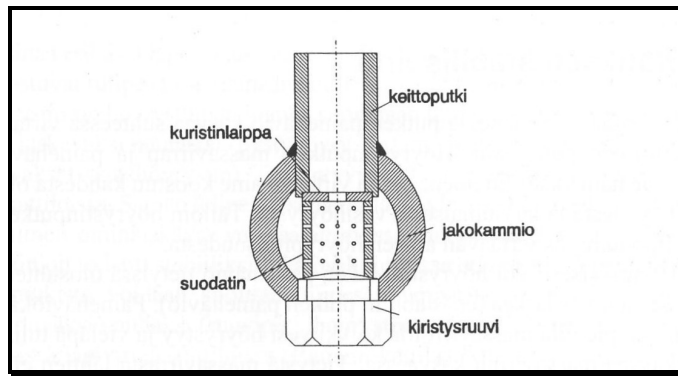
Pakkokierto kattilan toiminta perustuu pumpulla tuotettavaan paineeseen, jonka avulla vesi kiertää kattilan höyrystinputkistossa. Syöttövesi pumpataan esilämmittimen kautta lieriöön aivan kuten luonnonkiertokattilassakin. Lieriöstä vettä pumpataan pakkokierto kattilalle tyypilliseen tapaan höyrystimeen pumpun avulla. Pumpun tulee olla luotettava, ettei vedenkierto kattilassa lakkaisi, mikä johtaisi kattilan ylikuumentumiseen ja tulipesän putkistovaurioon. Yleensä veden

pumppaamiseen käytetään kahta pumppua, joista toinen on sähkökäyttöinen ja toinen höyrytoiminen. Höyryputkisto voidaan tätä kattilarakennetta käytettäessä rakentaa mihin asentoon tahansa. Kuvassa 3 on esitetty erään pakkokiertokattilan putkien asettelua. Höyryputkisto on asetettu välillä viistoon tai vaakasuoraan.



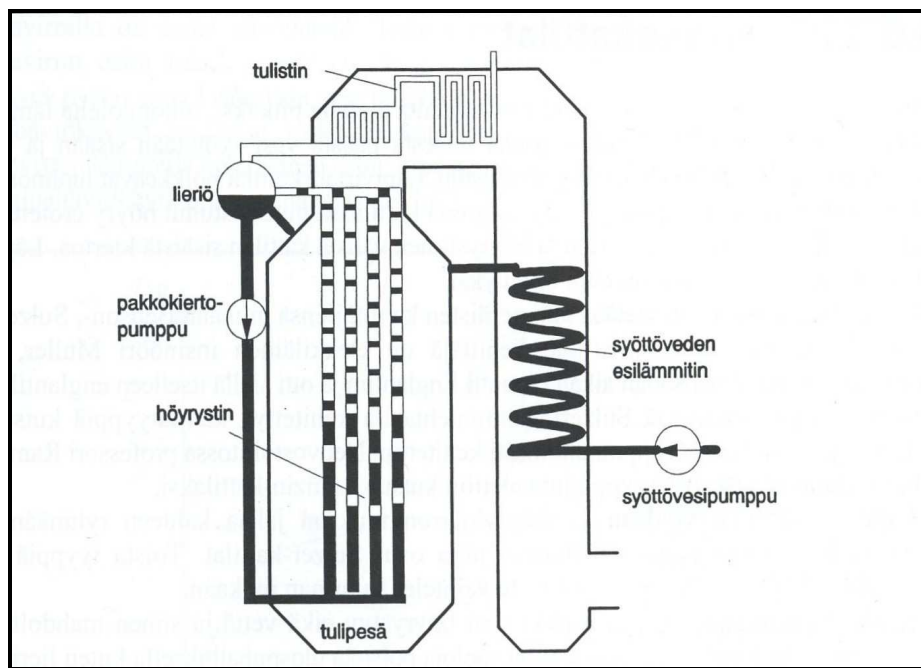
**Kuva 3. Pakkokiertokattilan höyryputkiston rakennekuva /1, s. 64./**

Kattilatyyppissä voidaan myös hyödyntää pienempää putkihalkaisijaa jolloin kustannukset muodostuvat pienemmiksi. Höyrystinputkisto vaatii tasaisen veden jakautumisen toimiakseen luotettavasti. Tasainen veden jakautuminen saadaan aikaan kuvassa 4 olevalla virtauksenkuristimella. Kuristimen kuristinlaippa säätelee höyryputkeen menevän veden määrän oikeaksi.



**Kuva 4. Pakkokiertokattilan virtauksenkuristin ja sen osat /2, s. 119./**

Höyrystinputkistossa tapahtuvan höyrystymisen jälkeen veden ja höyryn seos menee takaisin lieriöön, jossa höyry erotetaan vedestä samoin kuin luonnonkiertokattilassakin. Höyry virtaa lieriöstä edelleen tulistimiin. Kuvassa 5 on esitetty pakkokiertokattilan rakenne ja komponentit. /2, s. 118 - 119; 1, s.62 - 65./

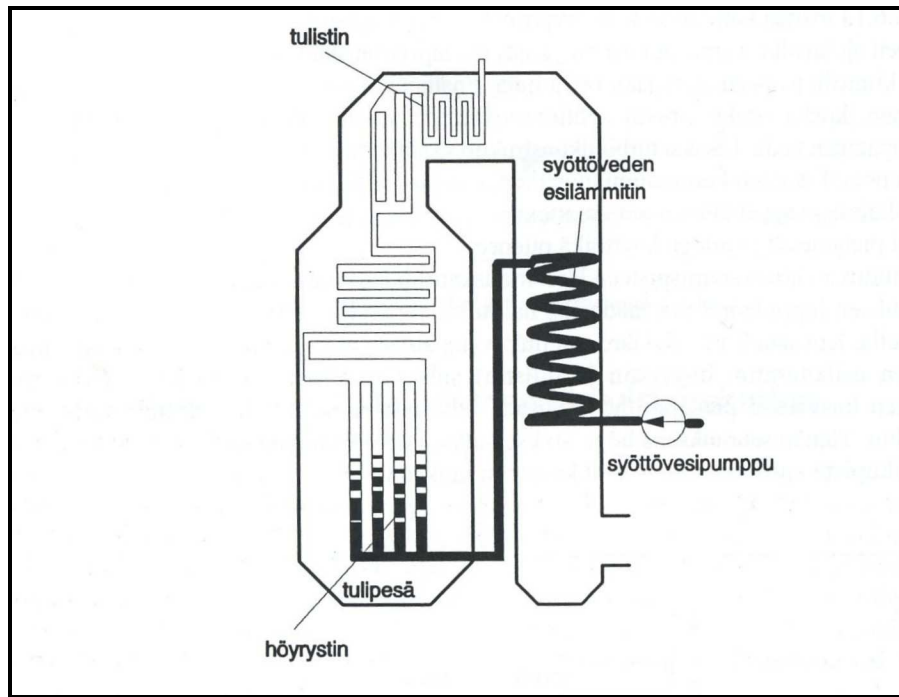


**Kuva 5. Pakkokiertokattilan periaatekuva /2, s. 119./**

### 2.1.3 Läpivirtauskattila

Läpivirtauskattilat eroavat luonnon- ja pakkokiertokattiloista siten, että niissä ei käytetä ollenkaan lieriötä. Läpivirtauskattiloita on kolme eri tyyppiä, joita nimetään niiden kehittäjien mukaan, Benson-, Sulzer- ja Ramsinkattiloiksi.

Kuvassa 6 on esitetty Bensonkattilan rakenne.



**Kuva 6. Bensonkattilan periaatekuva /2, s. 124./**

Kuvasta nähdään, että syöttövedenpumppu tuottaa paineen, jonka avulla vesi virtaa putkistossa. Putkisto on yhtenäinen, ja sisään syötetty syöttövesi tulee putkiston toisesta päästä ulos höyränä. Läpivirtauskattilat vaativat puhtaampaa syöttövedettä kuin lieriötä käyttävät kattilatyypit, koska ennen tulistimia lieriöön jää osa veden epäpuhtauksista höyryä erotettaessa.

Tulistimet ovat herkkiä epäpuhtauksille, ja läpivirtauskattiloissa vaaditaan siksi puhtaampaa syöttövedettä. Läpivirtauskattiloissa kaikki vesi höyrystyy, jolloin kattilat soveltuvat myös ylikriittisille paineille (paine yli 221 bar). Ylikriittistä paineita käytettäessä saadaan hyötysuhdetta parannettua korkealla tuorehöyrinpaineella sähköntuotantovoimalaitoksissa. /2, s. 120 - 125./

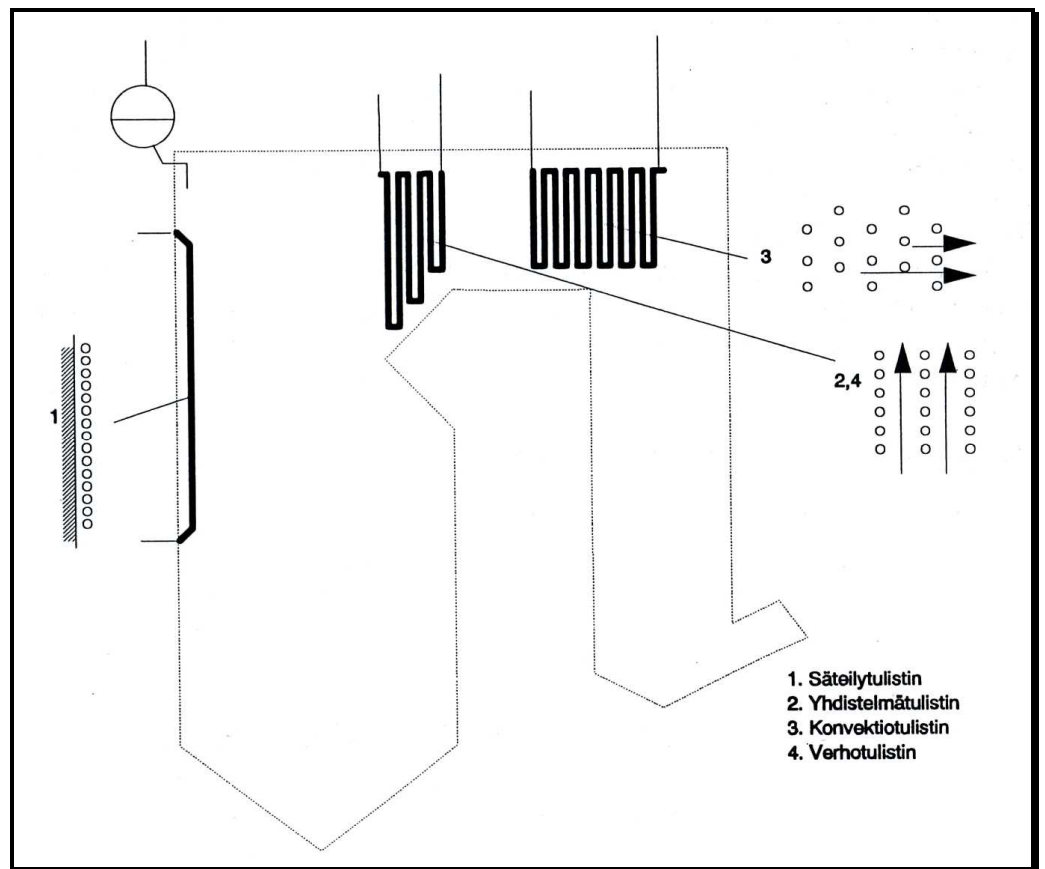
## 2.2 Höyrykattilatekniikan komponentit

### 2.2.1 Tulistimet

Tulistimia käytetään kohottamaan höyryn lämpötilaa. Kuumempi höyry sisältää enemmän liike-energiaa ja lisää höyryturbiinin pyörimisnopeutta. Nykyisillä materiaaleilla tulistimen maksimi lämpötila on noin 550 °C. Kattilatekniikassa käytetään neljää eri tulistintyyppiä.

1. Säteilytulistimeen lämpö siirtyy säteilemällä liekeistä, sillä tulistin sijaitsee tulipesän yläosassa.
2. Verhotulistin toimii suojaavana tulistimena konvektiotulistimille.  
Verhotulistin jäädyttää savukaasuja niin nopeasti, että savukaasujen sula tuhka ei pääse tarttumaan konvektiotulistimiin. Verhotulistin toimii säteilyperiaatteella.
3. Konvektiotulistin toimii konvektiolla, eli lämpö siirtyy tulistimeen savukaasujen kosketuksesta. Tulistin sijaitsee suojassa liekkien säteilyltä, joten se on sijoitettu tulipesän jälkeen.
4. Yhdistelmätulistin on tulistin, jossa osa tulistinputkista toimii konvektiolla ja osa säteilyllä. Putket on jaettu siten, että pidemmät tulistimenputket ovat suorassa kosketuksessa liekkien säteilyyn ja lyhyemmät tulistinputket saavat lämpöä vain savukaasujen kosketuksesta. /2, s. 188 - 190./

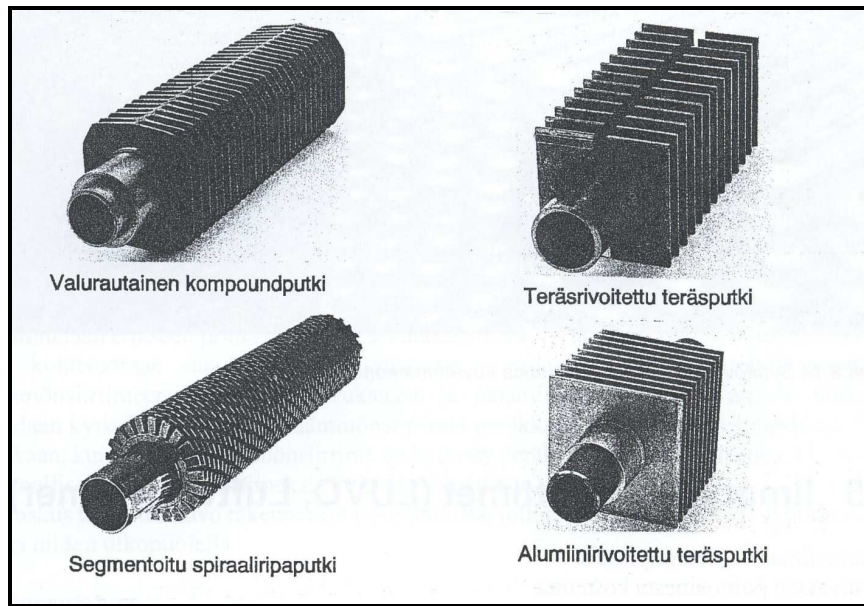
Kuvassa 7 on esitetty tulistimien sijainti kattilassa. Kuvassa numero 1 on säteilytulistin, 2 on yhdistelmätulistin, 3 on konvektiotulistin ja 4 on verhotulistin.



Kuva 7. Tulistimien sijainti kattilassa /2, s. 189./

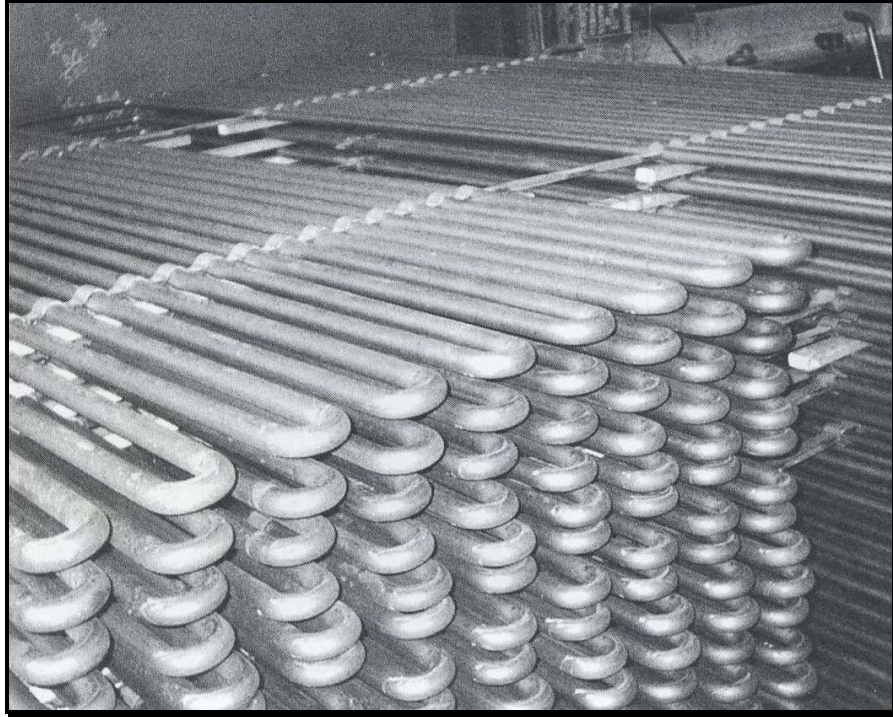
## 2.2.2 Syöttövedenesilämmitin (EKO)

EKO sijaitsee kattilan savukaasukanavassa, jossa savukaasuilla lämmitetään kattilansyöttövettä. Syöttöveden lämmittäminen alentaa savukaasujen lämpötilaa ja parantaa kattilan hyötysuhdetta, koska savukaasujen sisältämä lämpöenergia saadaan tarkemmin hyödynnettyä. Kuvassa 8 on esitetty rivoitettuja veden esilämmitinputkia.



**Kuva 8. Esilämmitimissä käytettäviä rivoitettujaputkia /2, s. 195./**

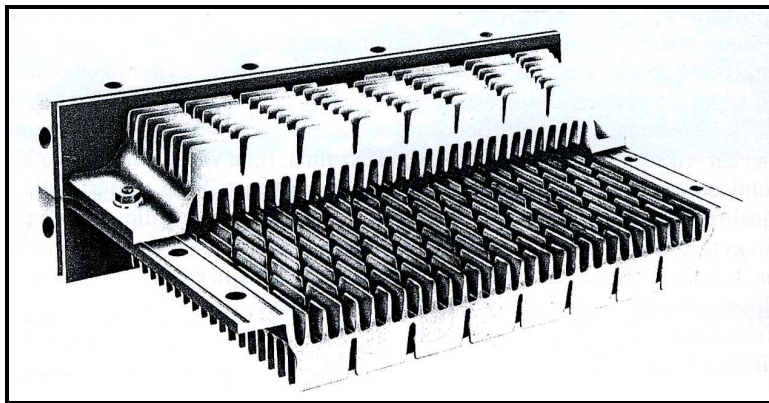
Valurautaisessa compoundputkessa käytetään sisäpuolella painetta hyvin kestävää teräsputkea ja ulkopuolella rivoitettua valurautarakennetta, joka parantaa lämmönsiirtymistä savukaasuista lämmitettävään syöttövedeen. Alumiinia käytetään tilanteissa, joissa tarvitaan parempaa syöpymisen kestoa. Teräsputki rivoitetaan paremman lämmönsiirtymisen saavuttamiseksi, mutta sen rikkihapposyöpyminen on suurempaa kuin valurautarivoituksen. Nykyisin käytössä on paljon segmentoitua spiraaliputkea. Kuvassa 9 on hiiliteräksestä valmistettuja rivoittamattomia esilämmittimiä. Tällaista rakennetta käytetään, kun savukaasut sisältävät runsaasti lentotuhkaa, koska rakenne on helpompi puhdistaa. /2, s. 194 - 196./



**Kuva 9. Hiiliteräksestä valmistettu veden esilämmitin /2, s. 196./**

### 2.2.3 Ilman esilämmitin (LUVO)

Palamisilma esilämmitetään savukaasuilla ilman esilämmittimessä. LUVO sijaitsee viimeisenä lämmönsiirtimenä savukaasukanavassa. Palamisilman lämmityksellä saadaan aikaan stabiilimpi palamisreaktio. Ilmanesilämmitys parantaa palamista kuivattamalla polttoaineen kosteutta. Ilman esilämmittimet jaetaan kahteen ryhmään lämmön siirtymisperiaatteen mukaan. Rekuperatiivisissa ilman esilämmittimissä lämmönsiirtyminen tapahtuu lämmönsiirtopinnan läpi savukaasuista palamisilmaan. Kuvassa 10 on kuvattu valurautainen ilmanesilämmitin, jossa ripojen ulkopintaa lämmittävät savukaasut ja josta lämpö siirtyy ripojen sisäpuolella virtaavaan palamisilmaan.

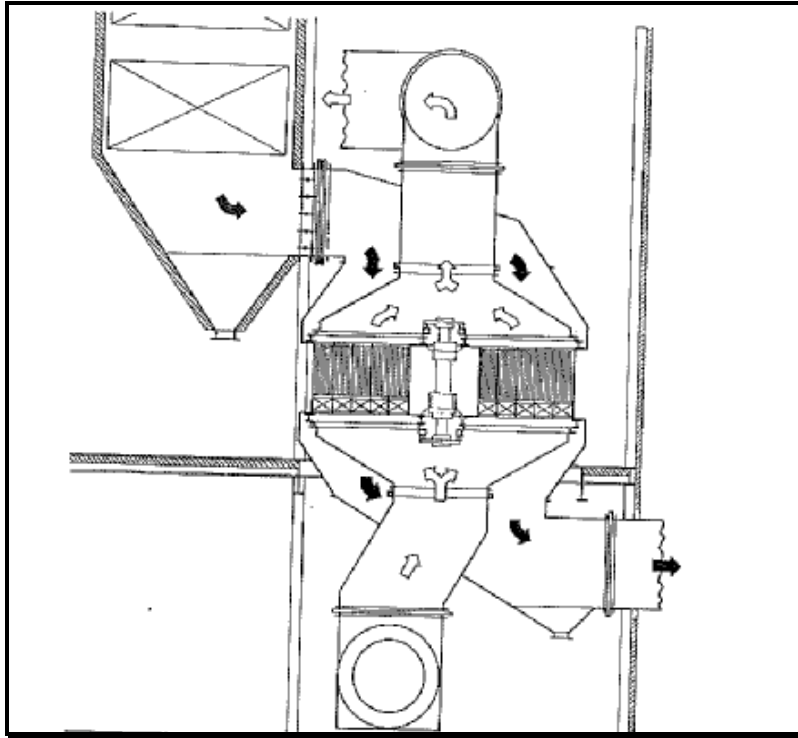


**Kuva 10. Valurautainen ilman esilämmitin /2, s. 198./**



Regeratiivisissä ilman esilämmittimissä lämpö siirtyy massan välityksellä.

Kuvassa 11 on pyörivä massan välityksellä lämpöä siirtävä ilman esilämmitin.



**Kuva 11. Pyörivä regeneratiivinen ilman esilämmitin /2, s. 200./**

Savukaasujen ilmavirta lämmittää lämpöä varaavia kennoja. Kennot luovuttavat lämmön palamisilmavirtaan. /2, s. 196 - 200./

### 3. ERILAISIA KATTILATYYPPEJÄ

#### 3.1 Leijukerros poltto

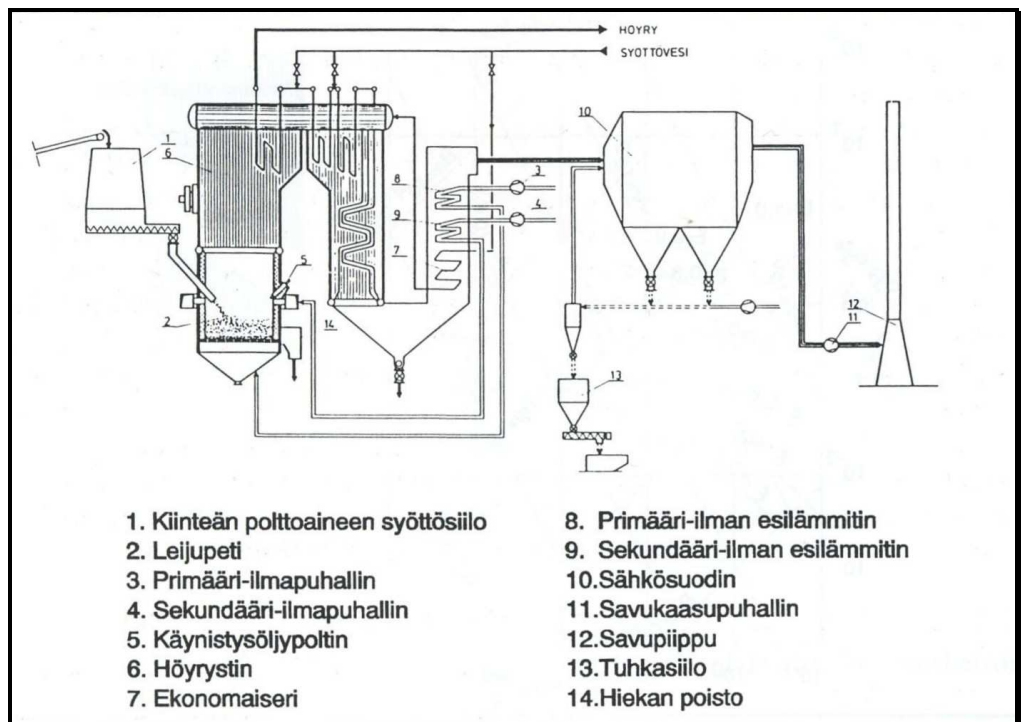
Leijukerros poltto on yleistynyt energiantuotannossa 1970-luvulta lähtien. Polttotavan etuna on alhainen palamislämpötila, joka pienentää typenoksidipäästöjä. Polttotapa mahdollistaa myös erilaisten polttoaineiden käytön samassa kattilassa, ja savukaasujen rikinpuhdistus voidaan toteuttaa helposti syöttämällä kalkkia kattilantulipesään. Leijukerros poltossa leijutetaan hiekkaa kattilan tulipesässä ilmavirtauksen avulla. Leijuvaa hiekkakerrosta kutsutaan pediksi. Ilmavirtauksen aikaan saaman paine-eron tulee olla yhtä suuri kuin hiekkakerroksen hydrostaattinen paine, jotta hiekkapeti leijuisi. Paine-eroa saadaan kasvatettua ilmavirtausta nopeuttamalla. Leijuttamiseen tarvittavan ilmavirran nopeudesta käytetään nimitystä minimileijutusnopeus. Kyseinen

nopeus riippuu hiekkahiukkasten koosta. Leijukerroskattiloita on kahdentyyppisiä, kuplivia leijupetikattiloita ja kiertopetikattiloita. /2, s. 153 - 154./

### 3.1.1 Leijupetikattila

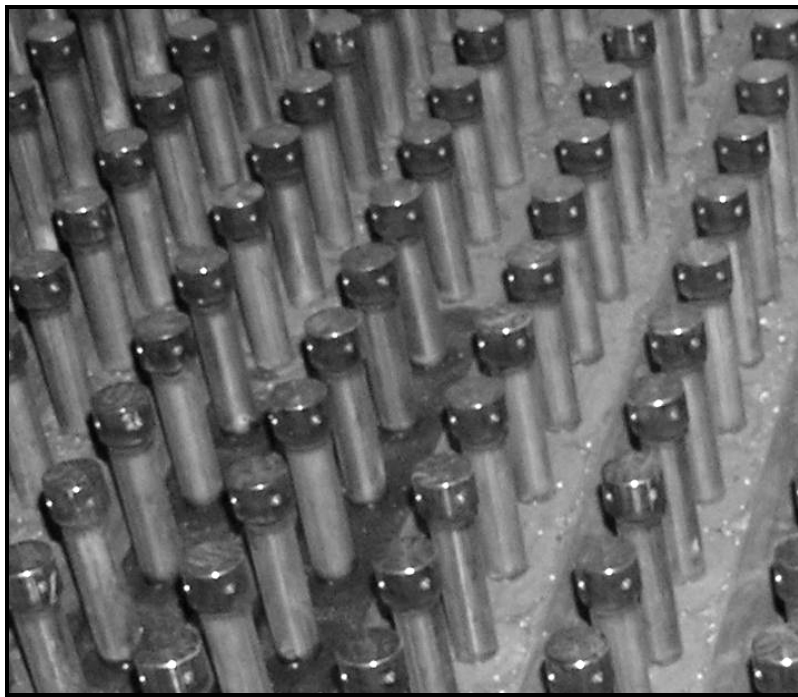
Leijupetikattila on englanniksi Bubbling Fluidized-Bed Boiler. Edellä mainituista sanoista muodostuu lyhenne BFB. Leijupetikattilasta puhutaan nimellä BFB-kattila tai kerrosleijukattila. Kattilan tulipesässä käytettävää hiekkaa leijutetaan ilmvirralla siten, että se ylittää minimileijutusnopeuden. Tämän nopeuden ylittyessä alkaa leijukerros kuplia kiehuvan veden tavoin. Leijupetikattille ominaisia toiminta-arvoja ovat hiekan raekoko 1 - 3 mm, leijutusnopeus 0,7 - 2 m/s ja hiekkakerroksen korkeus 0,4 - 0,8 m.

Kattilatyypin vaatii hiekan lämmittämisen ennen kuin tulipesään voidaan syöttää polttoainetta. Esilämmitys toteutetaan erillisillä sytytyspolttimilla, joissa polttoaineena käytetään yleensä öljyä tai kaasua. Pääpolttoaineen turvallisen syttymisen takaa noin 500 - 600 °C lämpötila. Kattilassa voidaan käyttää hyvinkin kosteita polttoaineita, koska kuumaan hiekkään sekoittuva polttoaine kuivuu nopeasti. Hiekan suuri lämpökapasiteetti vähentää polttoaineen tasalaatuisuusvaatimuksia.



Kuva 12. Leijupetikattilan komponenttikuva /2, s. 158./

Kuvassa 12 on esitetty leijupetikattilan komponentit. Polttoaine syötetään polttoainesäiliöstä tulipesään mekaanisen kuljettimen ja syöttöputken avulla. Kuljetin kuljettaa polttoaineen polttoainesäiliöstä syöttösulkimeen, josta se valuu syöttöputkea pitkin tulipesään. Kattiloissa käytetään useampia syöttöputkia, jotta polttoaine jakautuu tasaisesti hiekkapedille. Pedin lämpötila on noin 700 - 1000 °C, ja lämpötila valitaan käytettävän polttoaineen perusteella. Lämpötilan tulee olla niin alhainen, että polttoaineen tuhka ei sula tai pehmene. Tuhkan sulaminen tai pehmeneminen aiheuttaa hiekan sintraantumisen, mikä johtaa kattilan hankalaan puhtaanapitoon. Hiekkapedin vaatima ilmansyöttö toteutetaan tulipesän pohjassa olevilla ilmasuuttimilla. Palamiseen tarvittavaa happea saadaan leijutusilmasuuttimista, mutta niiden lisäksi kattilassa on sekundääri-ilmasuuttimet jotka sijaitsevat pedin yläpuolella. Kuvassa 13 on esitetty erään leijupetikattilan leijutussuuttimia ja niiden asettelua kattilan pohjalla.

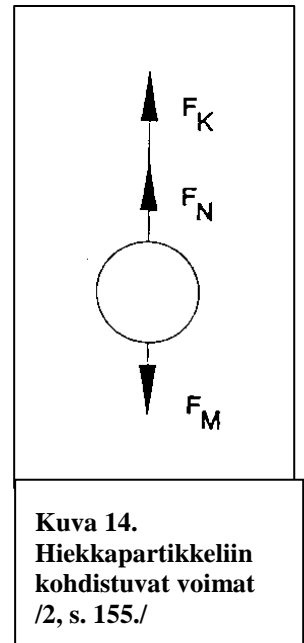


**Kuva 13. Leijupetikattilan leijutussuuttimia /Rantotek/**

Tulipesän pohja ja putkien alaosat vuorataan tulenkestävällä massalla. Massaus estää tulipesän seinäputkien ylikuumentumisen sekä vähentää niiden kulumista. Tuhkan poisto tapahtuu tulipesän pohjan kautta. Tulipesästä päästetään hiekkaa tuhkaluukkuun, ja hiekasta erotetaan seulomalla tuhka, minkä jälkeen puhdas hiekka palautetaan takaisin kattilaan. Tulipesästä savukaasujen mukana poistuu hienojakoinen tuhka, joka jauhautuu leijupedissä. Hienojakoinen tuhka poistetaan savukaasuista sähkösuodattimella. /2, s. 157 - 159./

### 3.1.2 Kiertopetikattila

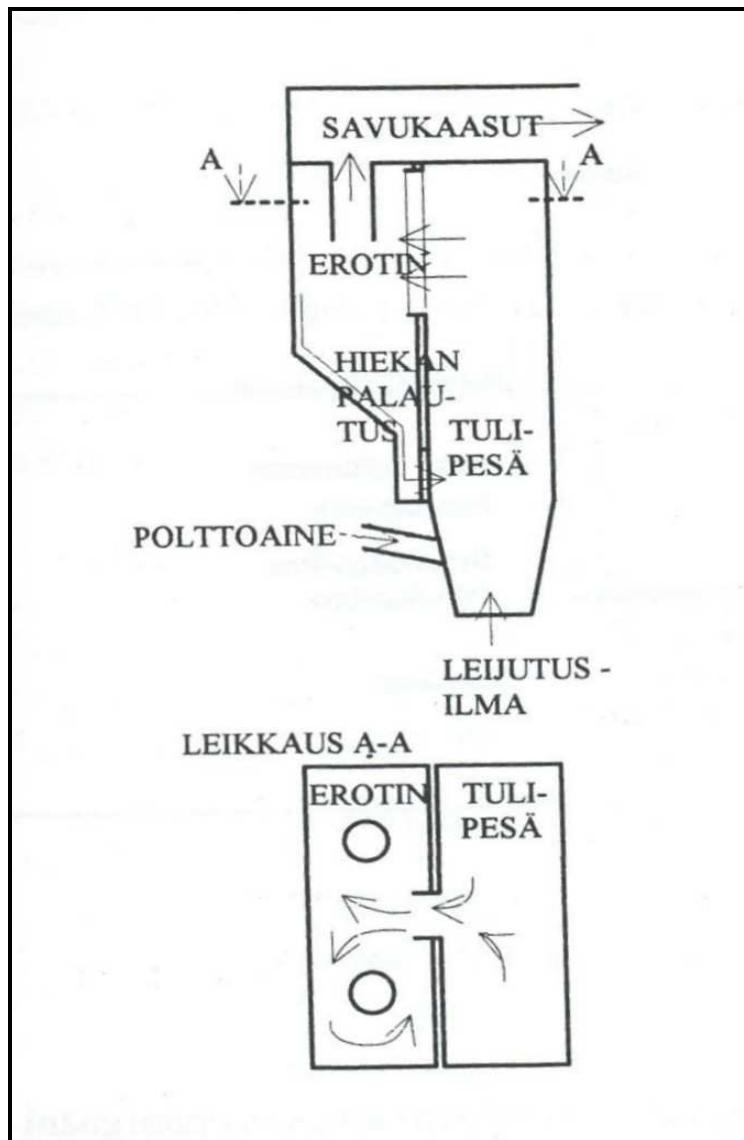
Kiertopetikattila on englanniksi Circulating Fluidized-Bed Boiler, josta muodostuu lyhenne CFB. Kattilan tulipesässä käytettävä hiekka on hienojakoisempaa kuin leijupetikattiloissa. Ilmavirran nopeus on luonnollisesti suurempi kuin leijupetikattiloissa. Tarvittavan ilmavirran nopeuden tulee olla suurempi kuin hiekkapartikkelin lentoonlähtönopeus, jotta partikkeli lähtee kiertoon. Hiekkapartikkeliin kohdistuvat voimat on esitetty kuvassa 14.  $F_K$  on kitkavoima,  $F_N$  on nostevoima ja  $F_M$  on maan vetovoima. Kiertopetikattille ominaisia toiminta-arvoja ovat hiekan raekoko 0,1 - 0,5 mm ja leijutusnopeus 3 - 10 m/s. /2, s. 159 - 163./



**Kuva 14.**  
**Hiekkapartikkeliin**  
**kohdistuvat voimat**  
/2, s. 155./

Kiertopetikattilat vaativat samalla tavoin käynnistyspolttimen kuin leijupetikattilat, ja niissä käytettävät polttoaineet ovat yleensä öljy tai kaasu. Tulipesään syötettäviä polttoaineita ovat esimerkiksi biomassa, hiili ja jyrshinturve. Polttoaine syötetään suoraan kattilan tulipesään tai syklonista tulevan kiertohiekan paluuputkeen ennen tulipesää. Pedin lämpötila on noin 800 - 950 °C. Palamiseen tarvittava ilma tuodaan pohjan leijutuspuuttimen kautta. Tämä ilma on primääri-ilmaa, ja sen osuus koko ilmamäärästä on yleensä 40 - 60 %. Sekundääri-ilma tuodaan muutama metri pohjan yläpuolelle parille eri tasolle. Primääri- ja sekundääri-ilma esilämmitetään savukaasujen avulla, ja niiden lämpötila on 20 - 400 °C. Kiertävä hiekka ja mahdolliset polttoainehiukkaset sekä tuhka erotetaan savukaasuista syklonin avulla ja palautetaan takaisin tulipesään. Syklonissa savukaasut virtaavat noin 20 m/s, jotta erotusaste saadaan korkeaksi. Erotus tapahtuu keskipakovoiman vaikutuksesta, jolloin hiekka, karkea tuhka ja polttoainehiukkaset eroavat raskaampina savukaasuista ja valuvat painovoiman vaikutuksesta alas syklonista. Hiekka ja muut hiukkaset valuu syklonin alle rakennettuun polveen, joka estää savukaasujen virtaamisen tulipesästä sykloniin. Paineilman avulla hiekka sekä muut hiukkaset siirretään polvesta takaisin paluuputkeen ja tulipesään. Tuhka poistuu kattilasta joko syklonissa erottuvana karheana tuhkana tulipesänpohjan kautta tai lentotuhkana savukaasujen mukana. /2, s. 159 - 163./

Aikaisemmin syklonit ovat olleet vuorattuja eikä niitä ole jäähdytetty, mutta nykyisin käytetään jäähdytettyjä sykloneita. Syklonin seinät on rakennettu tulipesässä käytettävästä (membrane) putkirakenteesta. Tämä putkipaneeli kuuluu myös vesihöyrykiertoon. Putkirakenne on edullisempi ja vaatii vähemmän massausta. Kuvassa 15 on esitetty uudentyyppinen erotin, jossa hiekka jakautuu kahteen pyörteeseen. /2, s. 159 - 163./

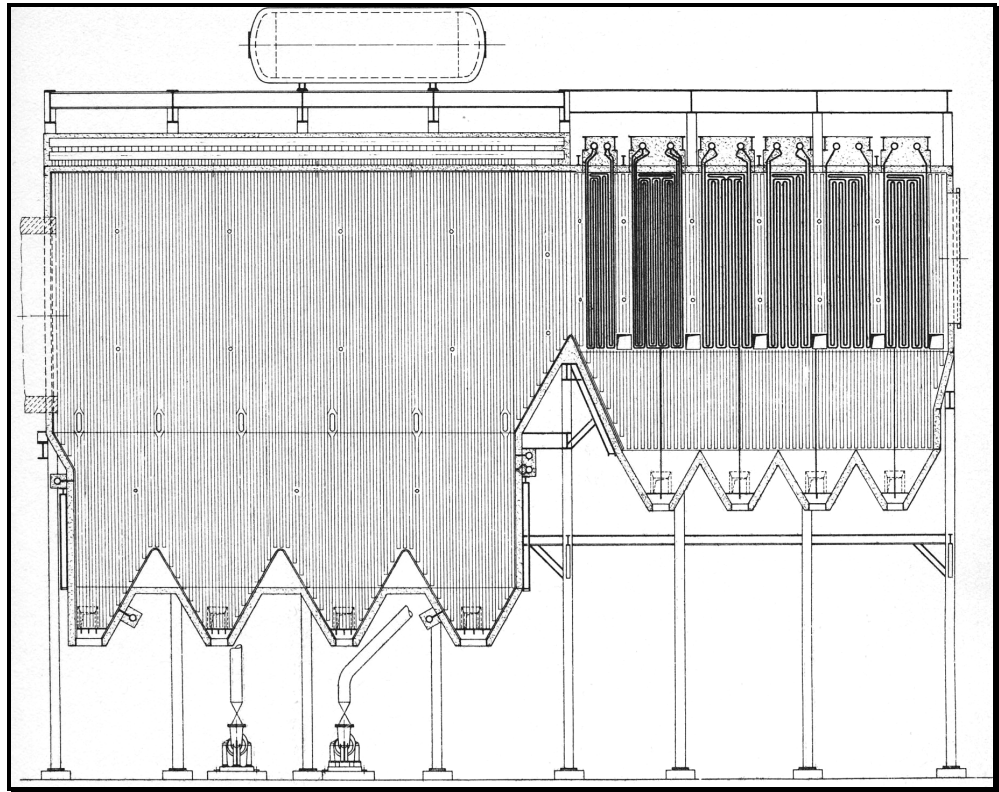


Kuva 15. Kiertopetikattilan tulipesä ja erotin /2, s. 163./

### 3.2 Jätelämpökattila

Jätelämpökattila on englanniksi Waste Heat Boiler, josta tulee lyhenne WHB. Jätelämpökattilat ovat yleensä tyypiltään pakkokierto-kattiloita. Jätelämpö voi syntyä jonkin teollisuusprosessin tuotteena esimerkiksi metallurgisessa liekkisulatusmenetelmässä. Syntyvät palokaasut ovat normaalia kuumempia ja

sisältävät epäpuhtauksia. Palokaasujen epäpuhtaudet kuluttavat kattilaa enemmän, ja siksi kattilalta vaaditaan erikoisempaa rakennetta.



**Kuva 16. Jätelämpökattilan rakennekuva /1, s. 65./**

Kuvassa 16 on esitetty edellä mainitun prosessin jätelämpökattilankuva. Kattilan kaasutiivis putkisto on sijoitettu savukaasukanavan seinille, kattoon ja tuhkasuppiloihin. Jätekaasut tulevat vasemmalta ensiksi säteilypesään, josta ne jatkavat matkaansa konvektio-osaan. Konvektio-osan alussa kaksi ensimmäistä putkiryhmää ovat tulistusputkia ja seuraavat ovat konvektioputkiryhmiä. Molemmat putkiryhmät roikkuvat katosta, ja niiden alapuolella on tuhkasuppilot. /1, s. 63, 65./

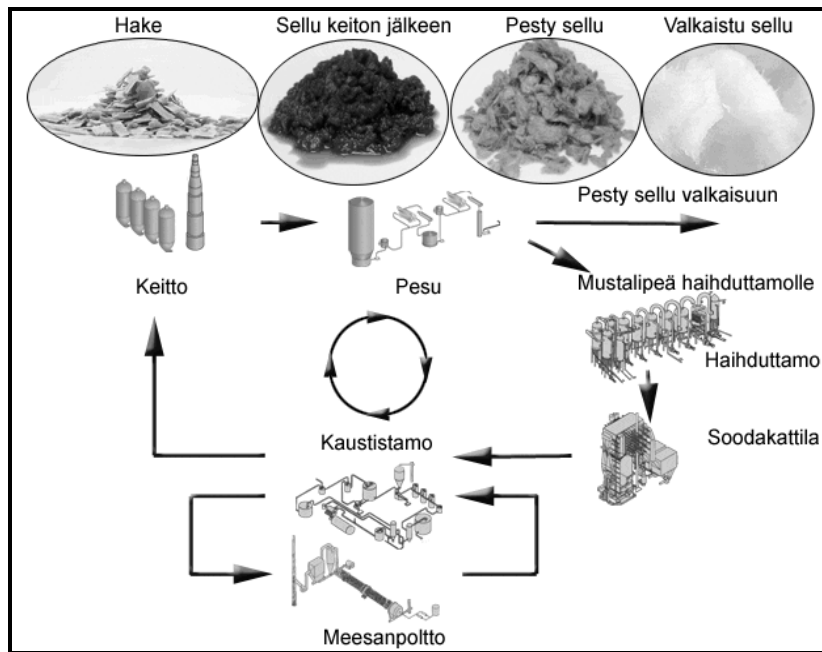
### 3.3 Soodakattila

Soodakattila, englanniksi Recovery Boiler (lyhennettynä RB), on sulfaattiselluloosateollisuudessa käytettävä kattilatyyppe mustalipeän polttoon. Mustalipeä on selluloosateollisuuden jäteainetta, jota soodakattilassa käytetään polttoaineena. Mustalipeää syntyy paperinvalmistuksessa käytettävän raaka-aineen, selluloosan valmistuksessa. Mustalipeä sisältää arvokkaita natriumyhdisteitä, jotka saadaan talteen mustalipeän polton yhteydessä, ja niitä

voidaan käyttää uudelleen selluloosan valmistuksessa. Palava-aine on puun orgaanista sidosainetta ligniiniä. /1, s.122 - 127; 2, s. 163 - 168./

### 3.3.1 Selluloosan valmistus sulfaattiperiaatteella

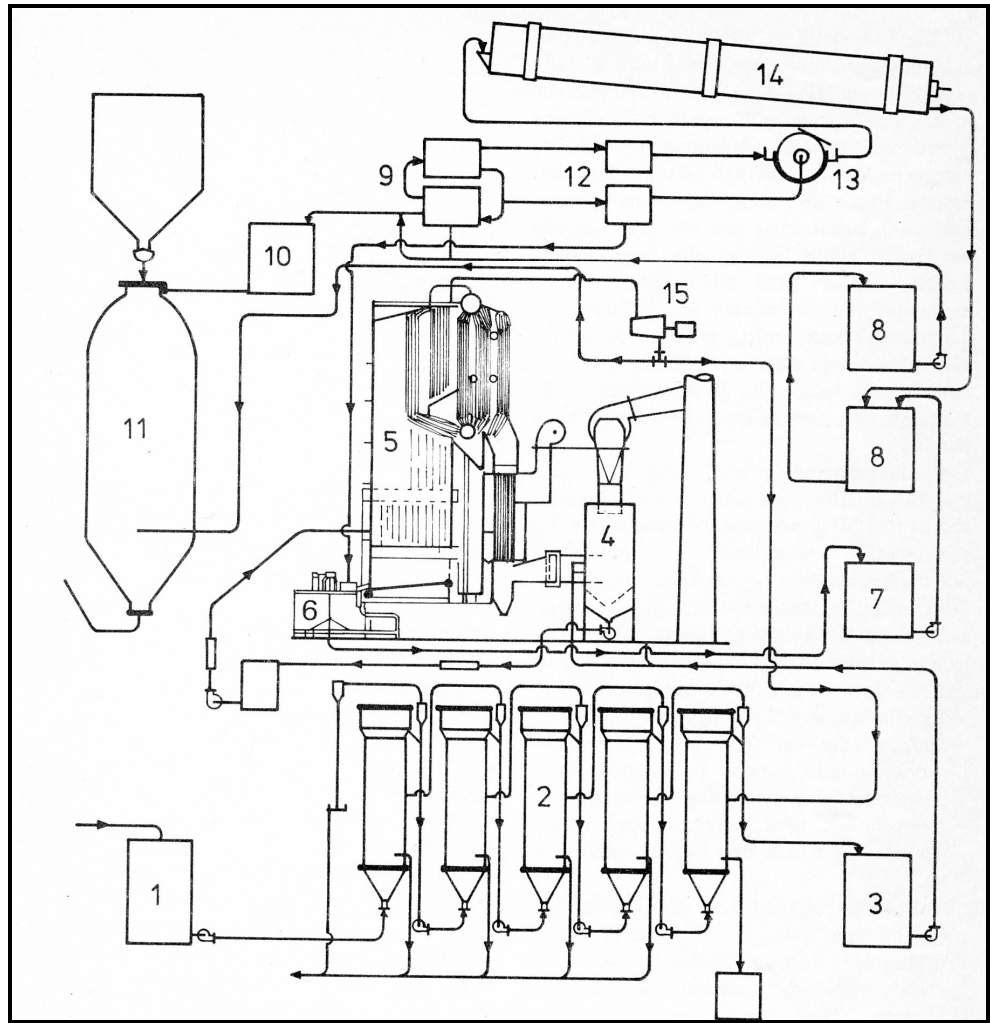
Massapuut kuoritaan ja niistä muodostetaan haketta, jota keitetään massakeittimessä. Massan keittoon käytetään keittoliuosta, joka sisältää pääasiassa natriumsulfidia, natronlipeää ja soodaa. Massakeittimessä keittoliuos liuottaa hakkeesta selluloosakuituja sitovan ligniinin eli puuaineen. Liuoksen reagoiessa ligniinin kanssa muodostuu mustalipeää, joka on väriltään mustaa. Mustalipeä erotetaan selluloosakuiduista erilaisilla pesulaitteilla, minkä jälkeen selluloosa menee vielä puhdistettavaksi ja edelleen paperin valmistuksen raaka-aineeksi. Selluloosanpesussa erotettu mustalipeä on laihaa mustalipeää ja sen kuiva-ainepitoisuus on 15 - 20 %. Kuvassa 17 on esitetty mustalipeän kiertoprosessi. /1, s. 122; 3./



Kuva 17. Mustalipeän muodostuminen ja kierto /3./

### 3.3.2 Mustalipeän kierto ja poltto selluloosanvalmistusprosessissa

Kuvassa 18 on esitetty mustalipeän kiertokaavio. Suluissa olevat numerot viittaavat kuvassa 18 oleviin numeroihin. Laiha mustalipeä väkevöidään höyryn avulla haihduttimissa (2).

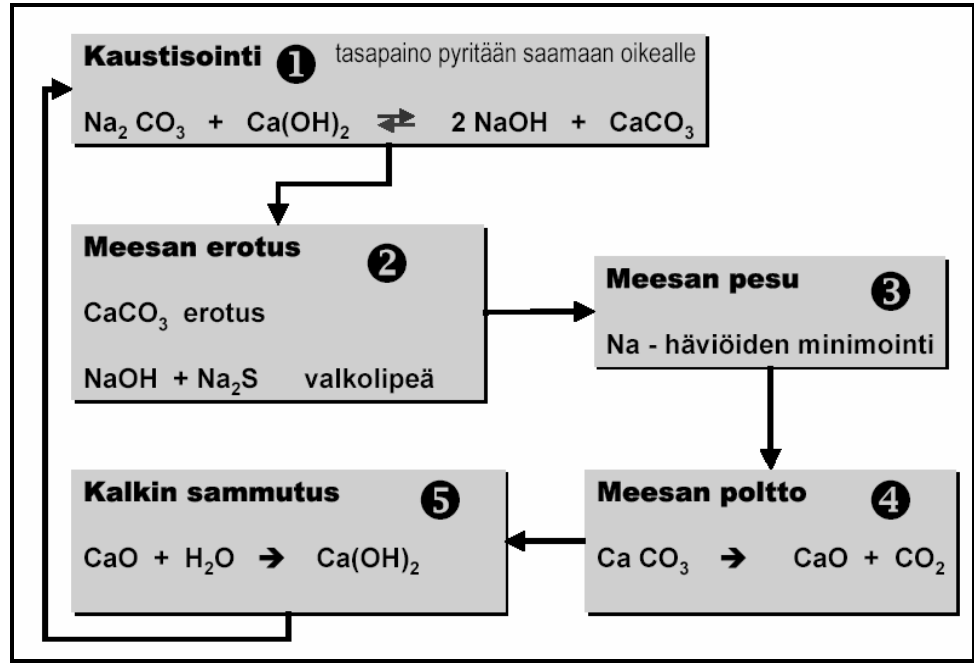


**Kuva 18. Lipeänkierron kaaviokuva /1, s. 123./**

Haihduksessa saadaan lipeän kuiva-ainepitoisuus nostettua 50 - 55 %:iin. Tämä ns. väkevä mustalipeä pumpataan edelleen säiliöön (3). Säiliöstä mustalipeä voidaan pumpata suoraan kattilantulipesään (5), mikäli kattilassa käytetään sellaista lipeänsyöttöjärjestelmää, joka ruiskuttaa lipeän kattilanseinille. Ruiskutuksen ansiosta lipeä leviää suurelle alalle ja kuivuu ennen kuin putoaa kattilan pohjalle palamiskekoon. Parempi hyötysuhde saadaan, jos lipeän kuiva-ainepitoisuutta nostetaan lisää ennen kattilaan syöttämistä. Tämä tapahtuu kattilasta tulevilla savukaasuilla ns. harpassa (4). Harppa on neliskulmainen säiliö, jossa savukaasut huuhtelevat lipeää ja nostavat sen kuiva-ainepitoisuutta. Muita savukaasumenetelmää käyttäviä kuivauslaitteita ovat sykloni- ja venturihaiduttimet. Kyseisillä menetelmillä saadaan kuiva-ainepitoisuus nostettua 65 - 80 %:iin. 80 % on suurin mahdollinen kuiva-ainepitoisuus lipeälle, sillä sen syöttäminen kattilaan pumpaamalla ei enää onnistu korkeammilla pitoisuuksilla. Lipeän lämpötilalla on myös merkitystä sen pumpattavuuteen. Lämpötilan laskiessa liian alas lipeä jäykistyy, ja pumppaaminen ei ole enää mahdollista. Lipeä lämmitetään höyryllä esilämmittimessä ja ruiskutetaan



tulipesään noin 100 - 120 °C lämpötilassa sekä 1 - 2 barin paineessa. Lipeä poltetaan tulipesässä jolloin siitä saadaan lämpöä ja kemikaalit valuvat sulana talteen liuotusastiaan (6). Liuotusastiassa sulaan sekoitetaan heikkoa valkolipeää. Sulasta ja valkolipeästä muodostuu viherlipeää. Viherlipeä johdetaan viherlipeäsäiliöön (7), ja siitä edelleen kaustisointiastiaan (8).

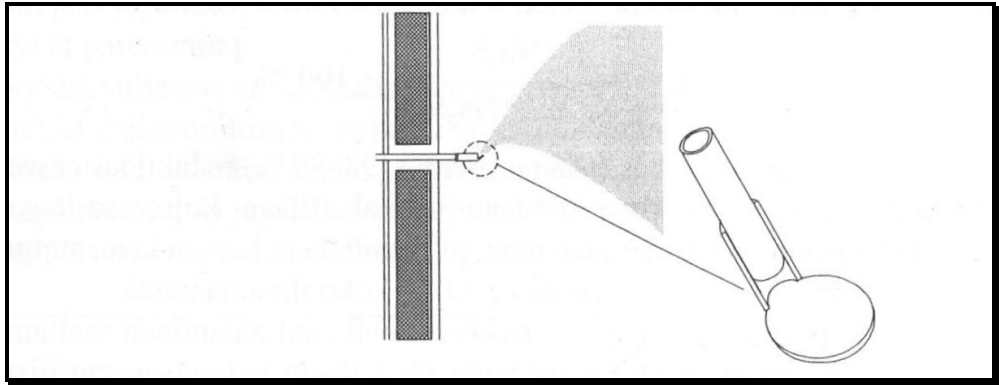


Kuva 19. Valkolipeän muodostus ja meesan kierto /4./

Kaustisointiastioissa viherlipeään sekoitetaan kalkkia, josta syntyy valkolipeää ja meesaa. Valkolipeä ja meesa erotetaan toisistaan valkolipeäselvittimessä (9). Erottunut valkolipeä menee valkolipeäsäiliöön (10) ja erottunut meesa meesasäiliöön (12). Säiliöstä meesa menee edelleen meesasudattimeen (13), jossa meesasta pestään talteen alkaliyhdisteet. Meesauunissa (14) meesan koostumus muutetaan kalkiksi. Kuvassa 19 on esitetty valkolipeän muodostuminen viherlipeästä sekä meesan kemiallinen kierto prosessissa. /1, s. 122 - 125; 4./

### 3.3.3 Lipeän palaminen tulipesässä

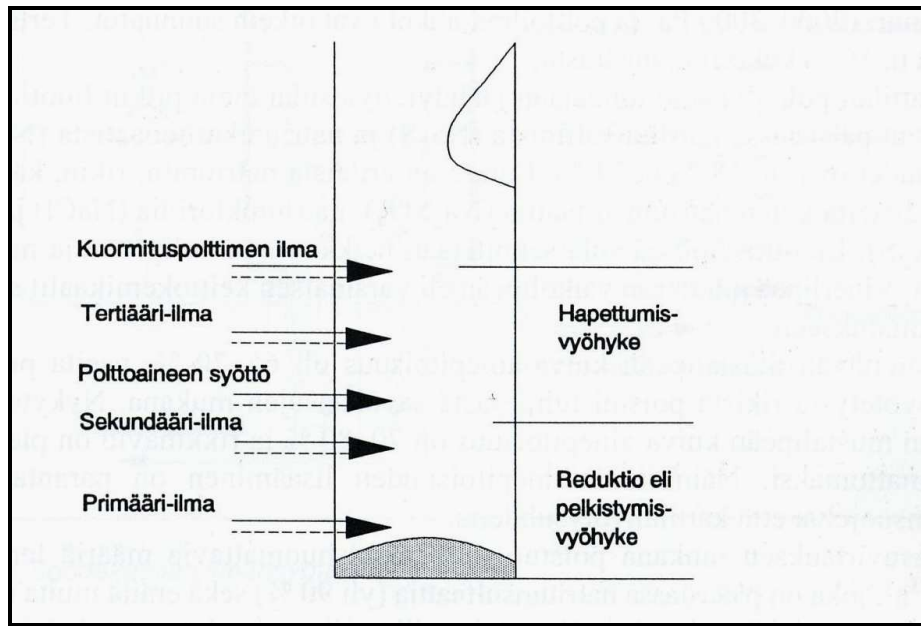
Tulipesässä tapahtuvat prosessit voidaan jakaa kahteen vyöhykkeeseen, pelkistymisvyöhykkeeseen ja hapettumisvyöhykkeeseen. Tulipesään hapettumisvyöhykkeelle ruiskutetun lipeän loppu kosteus haihtuu, jolloin puuainees alkaa palaa. Yleisin suutin lipeän kattilaan ruiskuttamiseen on kuvan 20 lusikkasuutin.



**Kuva 20. Lusikkamallinen lipeäruiskutuslaitteisto /2, s. 165./**

Suuttimesta tuleva lipeä osuu lusikkaan ja hajoaa pisaroiksi. Osa pisaroiden vedestä höyrystyy kylläiseksi höyryksi, jolloin pisaroiden koko kasvaa moninkertaiseksi ja niiden pinta-ala kasvaa. Kasvanut pinta-ala nopeuttaa pisaroiden kuivumista. Mikäli pisaran koko on liian pieni, jää kiintoainepartikkelien koko liian pieneksi, ja ne kulkeutuvat kaasuvirran mukana pois kattilasta. Pisaroiden koon tulee olla noin 1 - 2 mm, ja sitä voidaan säädellä lipeän lämpötilaa muuttamalla. Palamisen jatkuessa lipeähiukkaset putoavat kattilan pohjalle edellisessä kappaleessa mainittuun kekomuotoon. Kartiomaisen keon korkeus keskeltä on noin 2 - 3 m.

Kemikaalien palauttaminen polttamalla keosta vaatii tiettytyyppiset olosuhteet. Tulipesän keossa tulee mustalipeän natriumsulfaatin ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) rikin (S) pelkistyä natriumsulfidiksi ( $\text{Na}_2\text{S}$ ). Tämä tapahtuu siten, että tulipesään tuodaan natriumsulfaatista vapautuvan hapen lisäksi vain lipeän sisältävän palavan aineen palamiseen tarvittava primääri-ilmaa. Tämä on noin 30 - 40 % koko palamisprosessissa tarvittavasta ilmamäärästä. Mustalipeä sisältää myös muita natriumyhdisteitä, jotka reagoivat hiilidioksidin kanssa ja muodostavat natriumkarbonaattia ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Primääri-ilmalla hallitaan myös tulipesän palamislämpötilaa. Haluttu lämpötila on noin 1000 - 1100 °C, jolloin hiili palaa keossa muodostaen pääasiassa kaasuuntuvaa hiilimonoksidia. Sekundääri-ilmalla poltetaan keosta kaasuuntuvat palavat kaasut, ja sen määrä on noin 50 - 60 % koko ilmamäärästä. Tertiääri-ilmalla pyritään saamaan aikaan täydellinen palaminen. Tertiääri-ilmamäärä on noin 10 % koko ilmamäärästä.



**Kuva 21 Tulipesän ilmansyöttö ja hapettumis- sekä pelkistymisvyöhykkeet**

Kuvassa 21 on esitetty ilman- ja polttoaineensyöttö tulipesään sekä hapettumis- ja pelkistymisvyöhykkeet. Reduktio- eli pelkistymisalueella tapahtuvaa pelkistymistä kuvataan reduktioasteella, joka hyvässä soodakattilassa on 98 - 99 %. Kattilan pohjalle muodostunut sula sisältää natriumkarbonaattia ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) noin 74 % ja natriumsulfidia ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) noin 18 %. Sula valuu kattilanpohjalta liuotinsäiliöön, josta se kierrätetään edellisessä kappaleessa kuvatulla tavalla takaisin prosessiin. /1, s.122 - 127; 2, s.163 - 168./

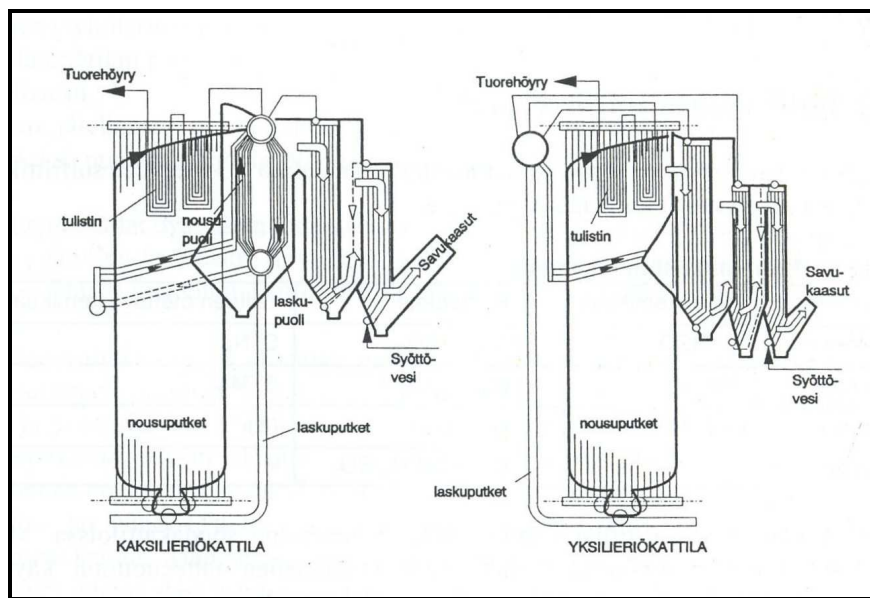
### 3.3.4 Soodakattilan rakenne

Soodakattilat ovat tyypiltään pääosin luonnonkiertokattiloita. Kattiloissa käytettävät tuorehöyryarvot ovat yleensä 85 bar ja 480 °C. Korkeampien arvojen käyttö lisää kattilan korroosiovaaraa. Veden esilämmittimet sijaitsevat konvenktio-osassa ja ne ovat rakenteeltaan pystyputkisia. Pystyputkirakenne auttaa esilämmittimien puhtaana pysymistä. Syöttövesi tuodaan kylmimmän esilämmittimen alaosaan, josta se virtaa luonnonkierrolla sen yläosaan. Yläosasta vesi menee seuraavan esilämmittimen alaosaan ja virtaa edelleen luonnonkierrolla lieriöön. Kuvassa 22 tulipesän oikealla puolella näkyvät pystyrakenteiset vedenesilämmittimet.

Soodakattiloissa käytetään myös höyrystinputkista rakennettua vesivarastoa, englanniksi boiler bank, joka takaa veden riittävyyden vaaratilanteissa.

Mahdollinen vaaratilanne syntyy, jos kattilan pohjalla olevaan kemikaalisulaan pääsee vettä. Vesi ja kemikaalisula aiheuttavat ns. sulavesiräjähdyksen; tästä seuraa paineaalto, joka voi rikkoa kattilan tulipesän rakenteet. Vaaratilanteen varalta kattilassa on veden pikatyhjennysjärjestelmä, jolla kattila saadaan tyhjennettyä vedestä noin 20 minuutissa. Kattilaa ei voida kuitenkaan tyhjentää täysin, ettei kuuma sulakeko tuhoa tulipesän putkistoja, ja vesivarasto auttaa jäähdyttämään kattilaa tyhjennyksen yhteydessä. Höyrystinputkista koostuva vesivarasto sijaitsee tulistimien ja vedenesilämmittimien välissä. Tulistimet sijaitsevat kattilan yläosassa, ja niiden lukumäärä vaihtelee kattilan käyttötarkoituksen mukaan. Tulistimien suojaksi rakennetaan verhoputkisto, jonka tehtävänä on suojata tulistimia liian suurelta kuumuudelta.

Tulipesän seinämien höyrystinputket ovat alttiita korroosiolle. Seinämäputkissa käytetään kaksikerroksista compound-putkea. Putken rakenne koostuu sisäosasta, jossa käytetään normaalia kattilaputkea, ja ulkokerroksesta, joka on yleensä ruostumatonta austeniittiterästä. Austeniittiteräs kiinnitetään sisäputkeen metallurgisella sidoksella. Compound-putket ulottuvat sekundääri-ilmasuuttimien tasolle. Tulipesän seinät ja pohja suojataan alaosasta myös keraamisella massalla, joka sisältää piikarbidia. Massaus tehdään tulipesän seinien alaosasta primääri-ilmasuuttimien tasolle.



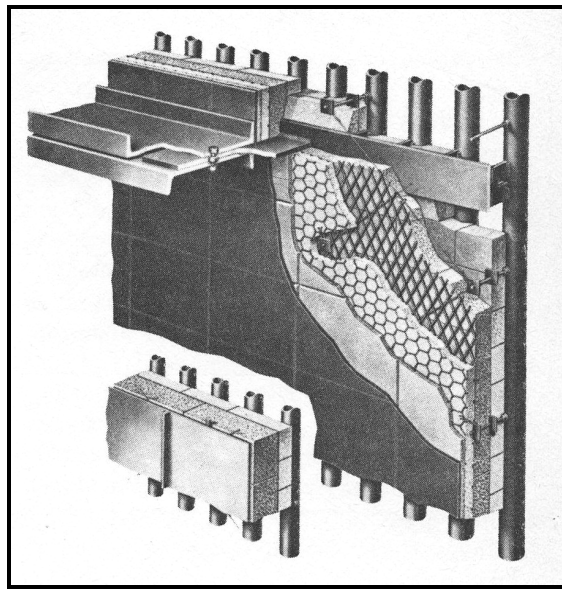
**Kuva 22. Yksi- ja kaksilieriöiden soodakattila /2, s. 167./**

Kuvassa 22 on esitetty vanhemmissa kattiloissa käytettyä kahden lieriön rakennetta. Kyseinen rakenne on raskas ja sisältää enemmän putkiliitoksia. Putkiliitokset lisäävät kustannuksia, joten nykyisin soodakattiloissa käytetään ainoastaan yhtä lieriötä. /1, s.122 - 127; 2, s. 163 - 168./

#### 4. VESIPUTKIKATTILOIDEN SEINÄRAKENTEET

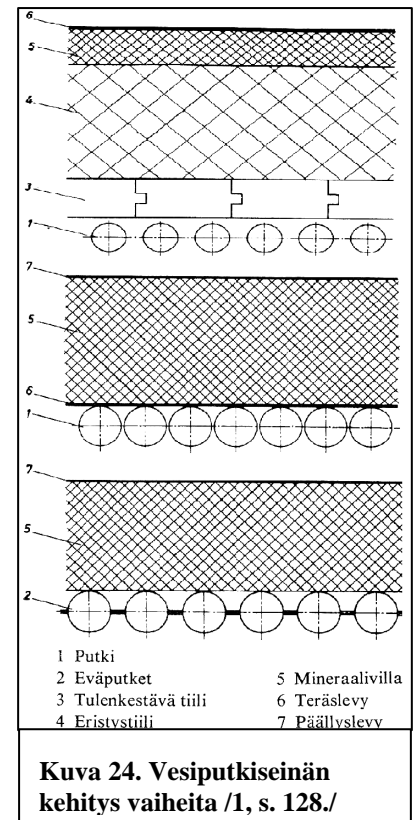
Membraneseinä on kaasutiivis vesiputkiseinä rakenne. Tulipesää ympäröi kaasutiivis seinä, jonka putkistossa vesi höyrystyy. Tulipesästä poistuvat savukaasut kulkeutuvat ns. konvektio-osaan, joka on myös rakennettu membraneseinästä. Kiertopetikattiloiden erottimessa käytetään membraneseinä rakennetta. Membraneseinä on nykypäivän kattilatekniikassa yleisesti käytössä oleva rakenne.

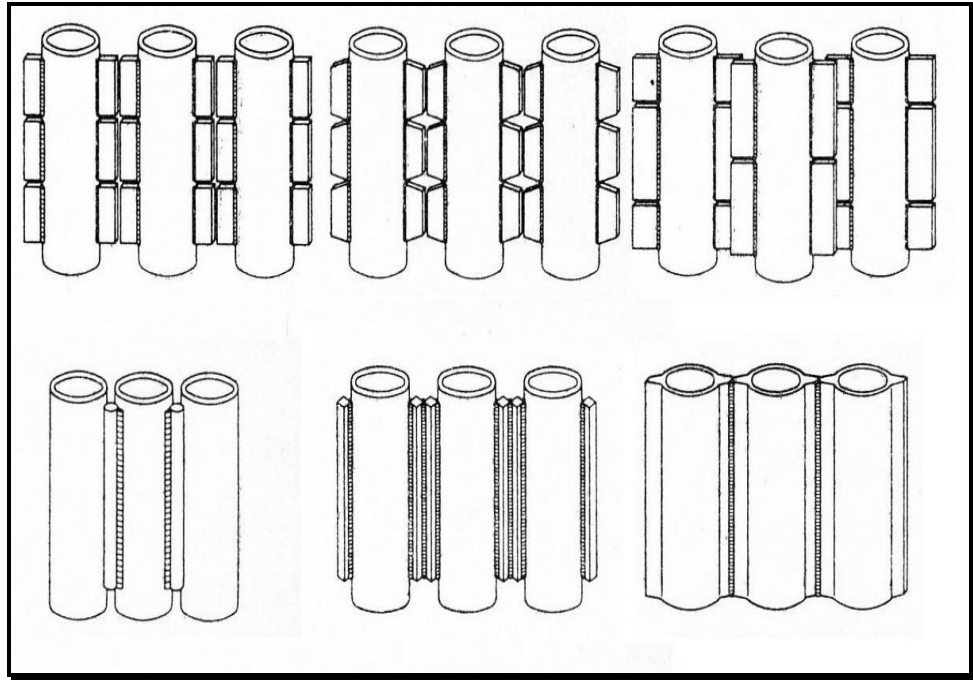
Vesiputkikattiloiden seinän rakenne on muuttunut vuosien varrella melkoisesti. Kuvassa 23 on aluksi vesiputkikattiloissa yleisessä käytössä ollut seinärakenne. Seinä koostuu kuudesta eri kerroksesta. Putket on sijoitettu tulipesään harvaan ja ne on mankeloitu kiinni ylä- ja alapään jakotukkeihin. Putkista seuraavana on tulenkestävä tiili, jonka jälkeen on eristystiili. Eristystiilien jälkeen on tukeva teräsverkko. Seuraavana on mineraalivillamatto, joka on vahvistettu ohuella teräslankaverkolla. Tukevuutta ja tiivistystä lisäämässä on kovalevy ja päällimmäisenä on teräslevy. Sama seinärakenne on ylimmäisenä kuvassa 24.



**Kuva 23. Aikaisemmin käytetty höyrykattilan vesiputkiseinä rakenne /1, s. 127./**

Kuvassa 24 keskimmäisenä olevassa versiossa ei käytetä ollenkaan tiiliä, mikä helpottaa kunnossapitoa. Alimmassa kuvassa on otettu käyttöön eväputket, ja niiden takana on mineraalivilla sekä teräslevy. Eväputkia ja niiden kehitysvaiheita on kuvattu kuvassa 25.



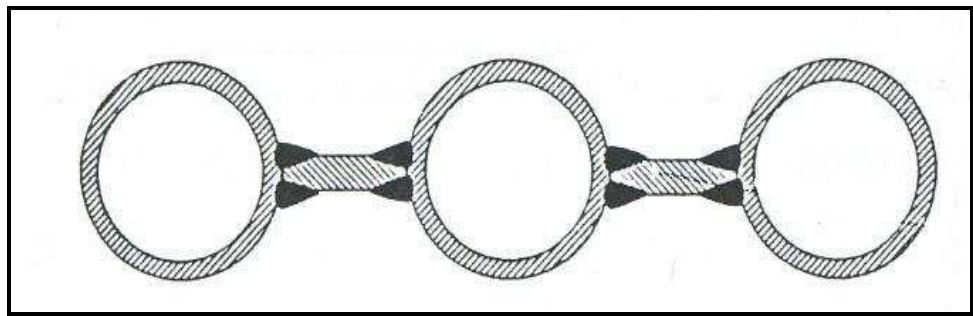


**Kuva 25. Eväputkien kehitysvaiheita**

Nykyisin käytössä oleva membraneseinärakenne on kuvan 26 mukainen.

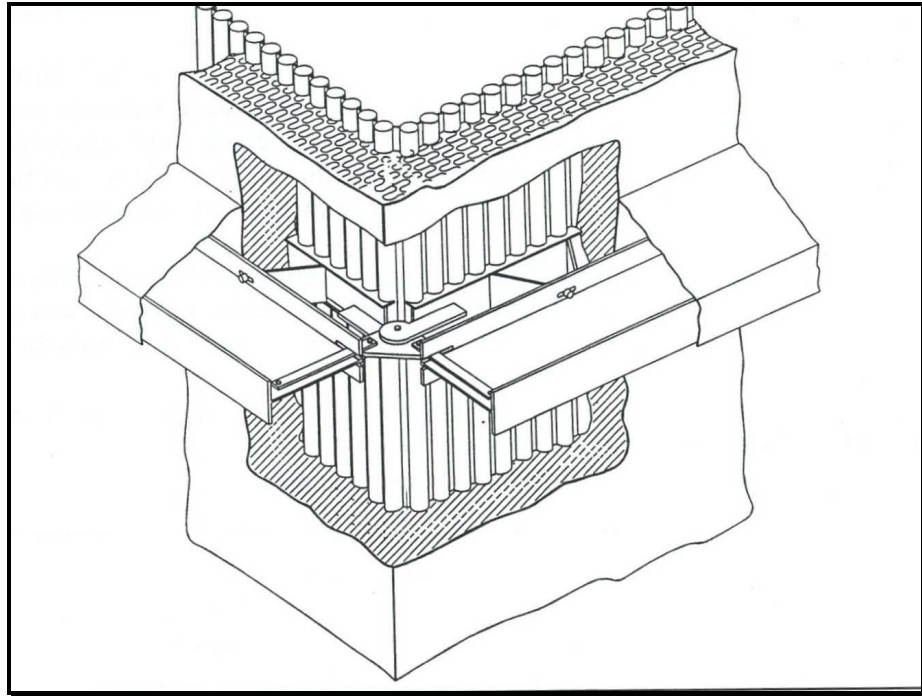
Kyseisessä rakenteessa kattilaputkien väliin hitsataan lattarautaa, joka tekee seinästä täysin tiiviin. Putkiseinää seuraa eristevilla, ja viimeisenä on ulkoseinä.

Nykyinen seinärakenne on huomattavasti edeltäjiään ohuempi, kevyempi ja ulkoinen lämpösäteily on paljon pienempää. /1, s. 127 - 128./



**Kuva 26. Poikkileikkaus membraneseinärakenteesta /2, s. 186./**

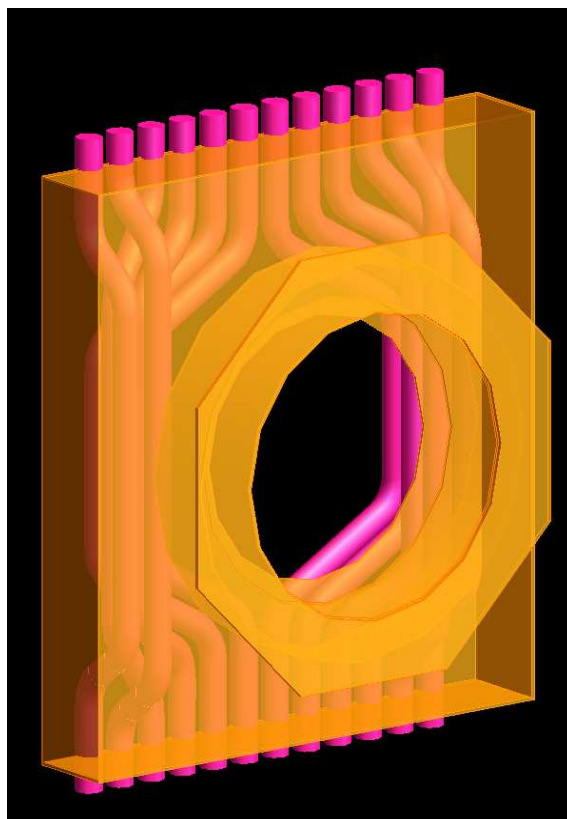
Membraneseinärakenteen ansiosta erillisrunkoa ei tarvitse käyttää. Nykyisin kaikki suuret kattilat ovat tyypiltään ripustettuja kattiloita eli niiden tukirakenne on kattilan yläpuolella. Kannatuspilarit ovat pystysuoria, ja niiden päällä ovat primääripalkit, joista kattila riippuu. Yläpuolisen tuennan avulla lämpölaajeneminen tapahtuu alaspäin.



**Kuva 27. Membraneseinän tukirakenne /2, s. 187./**

Kuvassa 27 näkyy membraneseinässä käytettävä tukirakenne, joka ottaa vastaan kattilan sisäpuolelta seinämään kohdistuvan painekuormituksen. /2, s. 186 - 188./

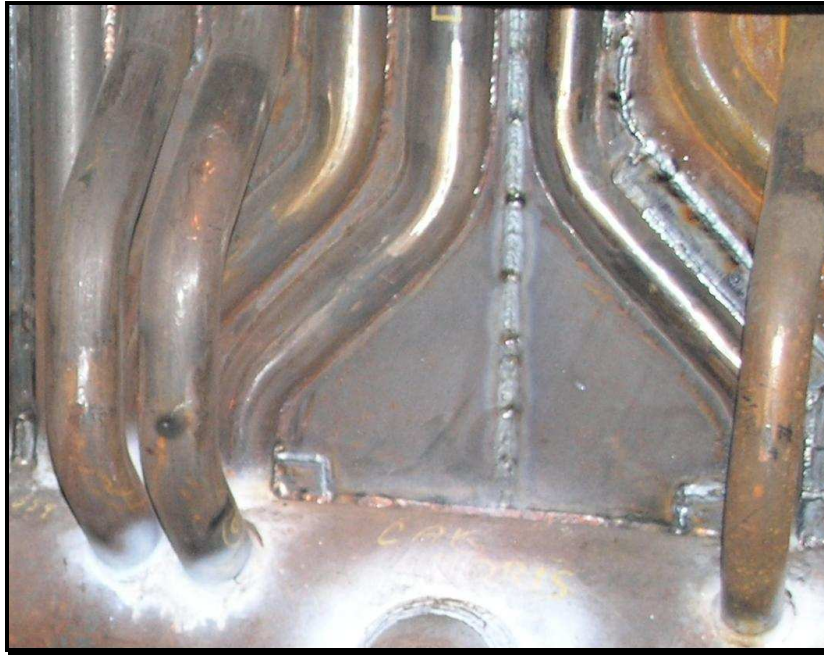
## 5. MEMBRANESEINÄN OHITUKSET



Membraneseinään joudutaan tekemään ohituksia eli taivuttamaan seinänputkirakennetta tietyn läpiviennin edestä. Läpivientejä on erilaisia, mutta tärkeimmät niistä ovat polttoaineensyöttö-, ilma- ja nuohousaukot sekä tarkastusluukut. Läpivientien kohdalla täytyy seinämän kaasutiivyyden säilyä. Tällöin tiivistys suoritetaan eräisiin taivutuskohtiin tehtävillä profiililevyillä tai aukkojen kohdalla koteloidimalla. Kuvassa 28 on esitetty tyypillinen ohitustilanne, jossa käytetään kotelotiivistystä.

**Kuva 28. Membraneseinän ohitus /Rantotek/**

Kuvassa 29 on tilanne, jossa kotelointia ohituksen kohdalla ei tarvita, vaan kaasutiiviyys saadaan aikaan tasopellillä.



**Kuva 29. Kaasutiivistys tasopellillä /Rantotek/**

## 6. OHITUSTEN SUUNNITTELUPROSESSI

### 6.1 Suunnitteluprosessin kuvaus

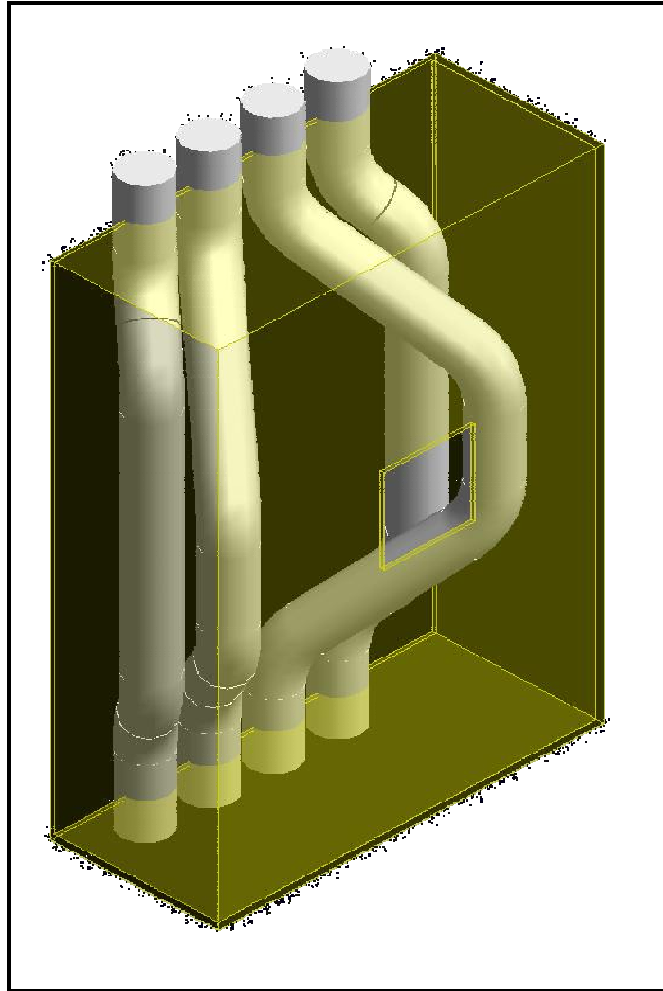
Piirustuksien tulee sisältää tarvittavat tiedot valmistusta ja asennusta varten. Käytännössä tämä tarkoittaa kolmea eri kuvantoa sekä riittävää mitoitusta. Ohitusten yhteydessä tärkeä tieto putkien taivutuksia tehtäessä on tarkat taivutustiedot. Nämä kyseiset tiedot voidaan esittää oikein lukuisilla eri tavoilla. Selkeän yhtenäisen periaatteen puuttuminen johtaa monennäköisiin erilaisiin piirustuksiin. Vaikka kaikissa piirustuksissa olisikin tarvittavat tiedot on niiden tarkastaminen vaikeampaa, kun esitystapa ei ole yhtenäinen.

Koko kattilan suunnitteluprosessiin käytettävä aika on noin 4000 tuntia. Membraneseinäpiirustusten tekemiseen tarvittava aika on yleensä noin 2000 tuntia. Kaikkien ohituspiirustusten tekemiseen tarvitaan tästä noin 40 % eli 800 tuntia. Ohjeistuksen avulla kyseinen aika tulisi saada lyhyemmäksi. Tällöin säästyisi työtunteja, jotka lisäävät kustannuksia.



## 6.2 3D-mallin ja piirustusten tekeminen

Membraneseinän ohitusten suunnittelu alkaa 3D-mallintamisesta. Kuvassa 30 on erään ohituksen 3D-malli.



**Kuva 30. Membraneseinän ohituksen 3D-malli /Rantotek/**

Projektin lähtötiedoissa voi olla valmiina tiettyjä ohituksia. Mikäli valmiita ohituksia ei ole, ne täytyy mallintaa ennen piirustusten tekemistä. Lopputuloksena membraneseinästä on kokoonpanopiirustuksen lisäksi tukirakenne- ja ohituspiirustukset.

Ohituspiirustukset tehdään 3D-mallista. Mallissa käytetään yleensä ns. rautalankarakennetta putkien keskiviivoista. Ennen varsinaisen piirustuksen tekemistä täytyy keskiviivoista luoda putkia. Yrityksessä käytetään AutoCAD 2006-ohjelmaa, johon on tehty erityinen työkalu putkien luomista varten. Työkalulla voidaan tehdä keskiviivoista 3D-putkia antamalla vain putken halkaisija. Putkitaivutuskoodin tekemiseen yrityksellä on myös käytössä erityinen

AutoCAD-työkalu, jolla saadaan taivutustiedot taulukoitua suoraan putken keskilinjasta.

## 7. OHITUSPIIRUSTUSTENOHJEISTUS

### 7.1 Ohjeistuksen yleiskuvaus

Ohjeistuksen alussa kuvataan membraneseinän valmistusta ja siinä käytettävää menetelmää. Seuraavaksi kerrotaan yleisimpiä ohituksen vaativia tilanteita. Erilaisia ohitustilanteita on kuvattu valokuvin, sillä kuvat havainnollistavat tilannetta erittäin hyvin. Kuvissa näytetään myös 3D-malleja, joista selviää koteloituissa tilanteissa putkien taivutus ja sijainti kotelon sisällä. Yleiskuvauksen jälkeen ohjeistuksessa kerrotaan pääkohdat, kuinka ohituspiirustukset tehdään. Ohjeistuksessa on tarkasti kuvattu, kuinka piirustukset laaditaan AutoCAD-ohjelmalla. Ohjeistuksessa näytetään käytettävien toimintojen kuvakkeet. Mukana on myös kuvia mallien sijoittelusta piirustuksien tekovaiheessa.

### 7.2 Ohjeistuksen sisältö

Ohjeistus sisältää putkitaivutus- ja massakotelopiirustuksen teko-ohjeen. Aluksi kerrotaan, kuinka tehdään putkitaivutuspiirustus ja kuinka siihen tuodaan massakotelonsilhuetti. Putkitaivutuspiirustuksen mitoituksessa on kerrottu riittävä mitoitus, jotta putkien taivuttaminen konepajalla onnistuu ongelmitta. Massakotelopiirustuksen tekeminen noudattaa melkein samaa kaavaa kuin putkitaivutuspiirustuksenkin tekeminen, mutta sisältää kuitenkin omat erityiset ohjeet. Massakotelopiirustuksen mitoittamisessa täytyy kiinnittää huomiota mitoituksen riittävyyteen, että osat voidaan valmistaa oikein, ja myös hitsausmerkintöihin, jotta kotelosta tulee kaasutiivis. Ohjeistuksen lopussa on vielä erityinen tarkastuslista, joka sisältää piirustuksesta tarkastettavat kohdat.

## 8. OHJEISTUKSEN TARKASTELU

### 8.1 Ohjeistuksen onnistuminen

Tutkintotyön valvojan Kimmo Sauron mielestä ohjeistus on onnistunut. Hänen mielestään se tulee ottaa yrityksessä käyttöön mahdollisimman pian. Todelliseen testiin ohjeistus joutuu vasta, kun uusi työntekijä käyttää sitä. Pidemmällä seurannalla saataisiin selville, kuinka paljon ohjeistus nopeuttaa suunnitteluprosessia ja miten paljon sen avulla saadaan tehokkuutta parannettua. Tämä vaatisi käytännössä kokonaisen projektin läpiviennin kattavan seuranta-ajan, että ohitusten osuus koko projektista saataisiin selville.

### 8.2 Ohjeistuksen selkeys

Ohjeistus on mielestäni selkeä ja yksiselitteinen. Asiat, joita en ole osannut kirjoittamalla kuvata, on kerrottu kuvin. Ohjeistuksesta on tullut käytännössäkin uudelle työntekijälle suunnattu, sillä itselläni ei ole paljoa kokemusta AutoCAD-ohjelman käytöstä tai membraneseinän ohituspiirustuksen tekemisestä. Mikäli ohjeistuksessa havaitaan selkeitä puutteita tai virheitä, ne tulee tietenkin korjata. Pieniä korjauksia ohjeeseen on jo valmisteluvaiheessa tehty.

## LÄHTEET

### Kirjallisuus

1. Arpalahti, Esko – Näretie, V, Höyrytekniikka kattilat ja koneet, toinen painos. Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki 1976. 270 s.
2. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki, Höyrykattilatekniikka, viides painos. Oy Edita Ab, Helsinki 2000. 379 s.

## Internet-lähteet

3. Soodakattila. [www-sivu]. Prowledge Oy 8.3.2007. [viitattu 8.3.2007].

Saatavissa:

[http://www.knowpulp.com/suomi/demo/suomi/pulping/recovery\\_boiler/1\\_general/fr\\_text.htm#4](http://www.knowpulp.com/suomi/demo/suomi/pulping/recovery_boiler/1_general/fr_text.htm#4)

4. Dosentti TkT Jutta Nuortila-Jokinen. [www-sivu]. [viitattu 8.3.2007].

Saatavissa:

[http://www2.lut.fi/kemia/mempo/tpk\\_eoj04/luennot/Massan%20valmistus.pdf](http://www2.lut.fi/kemia/mempo/tpk_eoj04/luennot/Massan%20valmistus.pdf)

## LIITTEET

1. Ohitustenohjeistus