

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Jere Timonen

Opinnäytetyö

Oppimateriaali

Höyrykattila ja sen toiminta voimalaitoksen osana

Työn ohjaaja lehtori, Anne Ojala
Työn tilaaja TAMK
Tampere 5/2009

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikan koulutusohjelma

Tekijä	Jere Timonen
Työn nimi	Oppimateriaali: Höyrykattila ja sen toiminta voimalaitoksen osana
Sivumäärä	44
Valmistumisaika	11/2009
Työn ohjaaja	Anne Ojala
Työn tilaaja	TAMK

TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena on luoda oppimateriaali käytettäväksi eri kursseille, joissa käsitellään lämmönsiirtoa, termodynamiikkaa tai muulla tavoin perehdytään höyryntuotantoon. Työssä selvitetään höyrykattilan toiminta ja höyryntuotannon periaatteet läpi siten, että asiasta ymmärtää perusteet. Työn ensimmäisessä osassa selvitetään teollisuuden voimalaitoksien toimintaa. Toisessa osiossa tarkastellaan kattilalaitoksen eri komponentit kauttaaltaan sekä niiden ominaisuuksia. Kolmas osio sisältää yleisimmät käytössä olevat polttotekniikat.

Avainsanat höyryntuotto, sähköntuotto, teollisuus, voimalaitos, kattila, turbiini, höyry, sähkö

Writer Jere Timonen
Thesis Teaching material: The steam boiler and function as part of the power plant
Pages 44
Graduation time 11/2009
Thesis supervisor Anne Ojala
Co-operating Company TAMK

ABSTRACT

In this thesis the course material to be used in TAMK was created. This material is meant to be used in courses that involve heat transfer, thermal dynamics or any other matter of the steam production process. This thesis runs through the steam boiler functions in a way, that one should be able to understand the basics of this subject. The first part of the thesis deals with the basic ideas of power plants. The second part scrutinizes the different components and properties of boiler plants. The third part is about the most commonly used burning techniques.

Keywords steam production, electricity production, industry, power plant, boiler, turbine, steam, electricity

Alkusanat

Työn ideana oli saada mahdollisimman selkeä kuva, mikä on höyrykattila ja kuinka se toimii voimalaitoksessa. Luotettavien lähteiden löytäminen oli työn haastavin osio, onnistuin tässä kuitenkin lopulta hyvin. Kiitän Tampereen sähkölaitosta ja Kari Wessmania sekä tutustumiskäynnistä sähkölaitokseen, että saadusta materiaalista.

Tampereella marraskuussa 2009

Jere Timonen

Sisällysluettelo

Johdanto	7
1 Voimalaitosprosessi	8
1.1 Höyrykattilan periaate	8
1.2 Höyryvoimalaitosten toimintaperiaate	10
1.2.1 Lauhdevoimalaitos	10
1.2.2 Vastapainevoimalaitos	12
1.2.3 Kaasuturbiinivoimalaitos	12
1.2.4 Kombivoimalaitos	15
1.3 Voimalaitosten energialähteet Suomessa	16
2 Höyrykattilat ja vesi-höyrypiirin komponentit	18
2.1 Luonnonkiertokattila	18
2.2 Pakkokiertokattila.....	18
2.3 Benson-kattila.....	20
2.4 Sulzer-kattila	21
2.5 Höyrystimen toiminnasta	23
2.6 Tulistimet	25
2.6.1 Säteilytulistin.....	27
2.6.2 Konvektiotulistin.....	27
2.6.3 Yhdistelmätulistin	28
2.6.4 Tulistimien rakenne.....	28
2.7 Tuloveden esilämmitin (EKO, Ekonomaiser).....	29
2.8 Tuloilman esilämmitin (LUVO, Luftvorwärmer)	31
3 Polttolaitteet	32
3.1 Poltinpoltto	32
3.1.1 Öljypoltto	33
3.1.2 Kaasunpoltto.....	34
3.1.3 Kiinteän polttoaineen poltinpoltto.....	35
3.2 Arinapoltto	36
3.2.1 Kiinteä tasoarina.....	36
3.2.2 Kiinteä viisto- tai porrassarina.....	36
3.2.3 Alasyöttöarina	37
3.2.4 Mekaaninen ketjuarina	38
3.2.5 Valssiarina	39
3.3 Leijukerrospoltto	40
Lähteet	43
Liitteet	44

Erityissanasto

Kavitaatio Ilmiö, jossa neste, yleensä vesi, alkaa kiehua paineen laskun takia.

Konvektio Tarkoittaa aineen mukana kulkemista, esimerkiksi lämpö, joka kulkee savukaasun mukana.

Johdanto

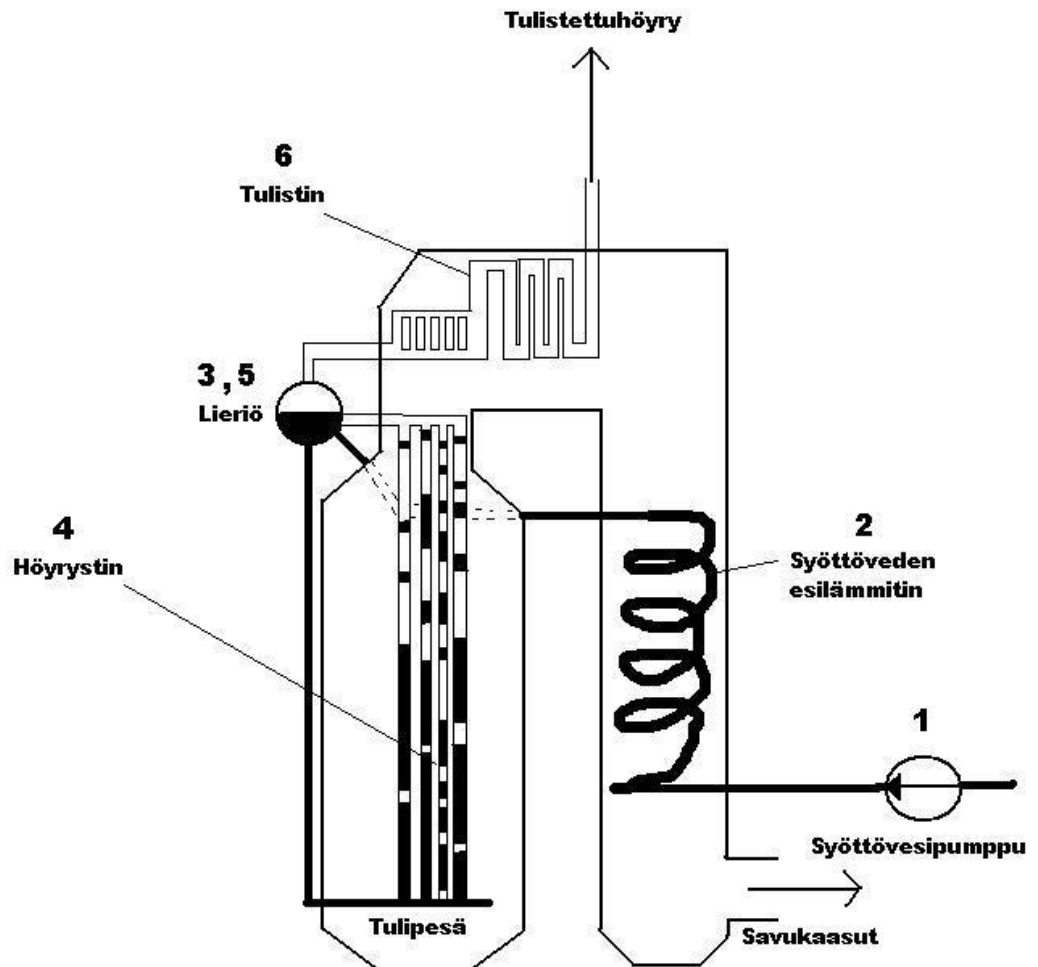
Höyryä tarvitaan teollisuudessa useisiin eri tarkoituksiin. Näitä ovat esimerkiksi lämmönsiirto, kuivatus, kaasujen- ja kakkujen pesu sekä sähköntuotanto. Sähkön- ja höyryntuotanto ovat niitä tärkeimpiä asioita, joiden pitää toimia moitteettomasti ja tehokkaasti jokapäiväisessä elämässä. Tässä työssä tarkastellaan voimalaitoksen höyrykattilan tarkoitusta, toimintaa sekä kattilan vesi-höyry piiriä.

1 Voimalaitosprosessi

1.1 Höyrykattilan periaate

Veden höyryttäminen on höyrykattilan perusidea. Kattilan putkistoon syötetään vettä ja lopputuloksena saadaan vesihöyryä. Muuttuakseen höyryksi putkistossa vesi vaatii ulkopuolista lämpöä. Tämä lämpö tuotetaan putkistoon lähinnä polttoaineilla. Polttoaineita polttamalla saadaan putkiston vesi höyrystymislämpötilaan, jolloin vesi alkaa höyrystyä. Höyrystymislämpötila riippuu paineesta. Vedelle ominainen höyrymuodostuminen saavuttaa suurimman mahdollisen arvonsa tietyssä tilavuudessa ja lämpötilassa. Kun kaikki vesi on höyrystynyt ja sitä on niin paljon kuin on mahdollista tässä lämpötilassa, puhutaan kylläisestä höyrystä. Kun kylläistä höyryä kuumennetaan tilassa, jossa ei ole nestettä, käytetään termiä tulistaminen. (Lahtinen 2007, 4.)

Höyrykattilan perusajatus on muuttaa kattilaan syötetty vesi tulistetuksi höyryksi. Nykyaikainen höyrykattila on peruseriaatteeltaan eräänlainen putki, jossa vesi käy läpi erivaiheita. Esimerkkinä voidaan käyttää luonnonkiertokattilaa. Kuviossa 1 on numeroitu eri vaiheet.



Kuvio 1: Luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiri

- 1) Ensin syöttöveden paine korotetaan kattilassa vallitsevaan paineeseen syöttövesipumpuilla.
- 2) Syöttövedettä lämmitetään syöttöveden esilämmittimessä (Economizer, EKO) ennen kuin se pumpataan lieriöön. Vesi lämmitetään lähelle kiehumispistettä savukaasuilla.
- 3) Esilämmitetty vesi johdetaan lieriöön, jonka tehtävänä on erottaa vesi ja höyry. Erottelu tapahtuu veden ja höyryn tiheyseron avulla. Lieriöstä vesi valuu painovoiman avulla laskuputkia pitkin höyrystimeen.
- 4) Höyrystimessä lämpö siirtyy tulipesästä veteen ja se höyrystyy osittain. Lämpötila ei nouse kovinkaan paljon, sillä valtaosa energiasta menee veden höyrystämiseen. Kiehuva vesi nousee takaisin putkia ylös lieriöön, jossa höyrystynyt höyry erottuu vedestä.
- 5) Lieriössä eroteltu vesi jatkaa kiertoa takaisin höyrystimeen ja kehittynyt höyry johdetaan tulistimille. Höyry on tässä vaiheessa faasitasapainossa veden kanssa eli se on kyläistä höyryä.

6) Tulistimissa höyryn lämpötilaa nostetaan korottamatta sen painetta, näin höyrystä saadaan enemmän sähköenergiaa, kuin vastaavan paineisesta kylläisestä höyrystä.

1.2 Höyryvoimalaitosten toimintaperiaate

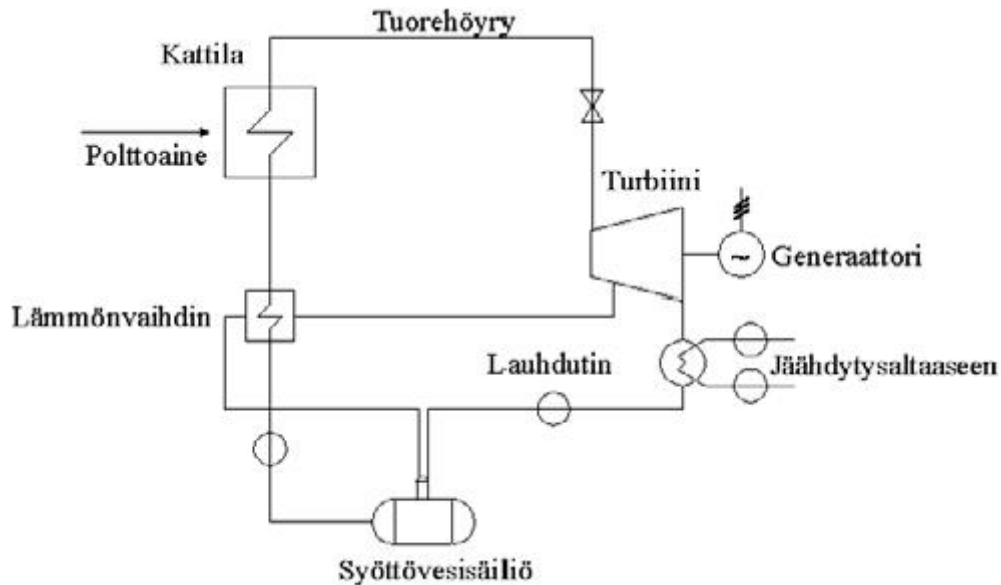
Voimalaitoksella käsitetään yleensä teollisuuden mittakaavassa olevaa sähkön tuotantolaitosta. Yleisin konstruktio on, että väliainetta kuumennetaan ja paineistetaan, minkä jälkeen väliaine ajetaan turbiiniin. Turbiini pyörii ja pyörittää generaattoria, mikä luo sähkövirran. Yleisin voimalaitoksen konstruktio on höyrykattilavoimalaitos.

1.2.1 Lauhdevoimalaitos

Höyrykattilavoimalaitoksissa höyrystetään paineistettua vettä, joka myös lähes poikkeuksetta tulistetaan. Tulistettu höyry ohjataan turbiiniin, jossa höyryn paine- ja lämpöenergia muutetaan turbiinin pyörimisenergiaksi. Turbiini pyörittää generaattoria, mikä luo sähkövirran. käytetyn polttoaineen mukaan höyryvoimalaitokset voidaan luokitella ydin-, hiili-, turve- ja maakaasuvoimalaitoksiin.

(Voimalaitos 2009)

Tavallisella lauhdevoimalaitoksella tarkoitetaan fossiilisia polttoaineita käyttäviä lauhdevoimalaitoksia, poislukien ydinvoimalaitos. Lauhdelaitoksen toiminta perustuu veden ja vesihöyryn kiertoprosessiin, kuten myös vastapainevoimalan toiminta.



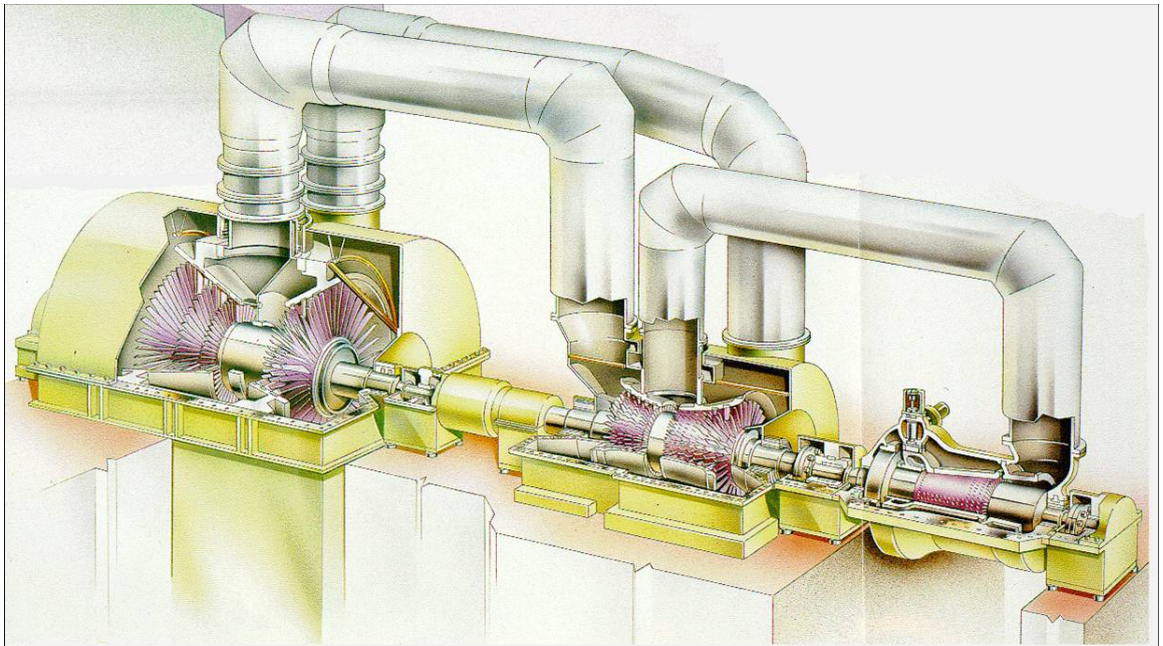
Kuvio 2: lauhdelaitoksen rakenne (Elovaara & Laiho 1988.)

Yllä olevan kuvion (2) mukaisesti pumpuilla paineistettu syöttövesi syötetään höyrykattilaan. Kattilassa höyrytetty ja tulistettu korkeapaineinen vesihöyry johdetaan turbiiniin. Turbiinissa vesihöyry pääsee paisumaan ja jäähtymään lauhduttimessa vallitsevaan paineeseen ja lämpötilaan. Näin osa höyryn lämpöenergiasta voidaan muuntaa turbiinia pyörittäväksi mekaaniseksi energiaksi. Turbiini pyörittää generaattoria, joka muuntaa pyörimisenergian sähköenergiaksi. Lauhdutin muuttaa vesihöyryn takaisin vedeksi, joka pumpataan takaisin syöttövesisäiliöön. Vapautuva lämpö siirretään matalalla lämpötilatasolla takaisin ympäristöön, yleensä lauhdutinta jäähdyttävään veteen. Lauhdutusvoimalaitokset on suunniteltu toimimaan peruskuormalaitoksina, minkä takia on suotavaa, että niiden sähköntuotannon hyötysuhde on mahdollisimman hyvä. Hyötysuhdetta voidaan parantaa

- nostamalla tuorehöyryn painetta
- laskemalla lauhdutinpainetta
- syöttöveden turbiinien väliottohöyryllä tapahtuvalla esilämmityksellä
- komponenttien hyötysuhteita parantamalla.

Vaikka lauhdutusvoimalaitos toimisi lähes optimaalisella tasolla, voidaan hyötysuhde saada enimmillään noin 44 %:n tasolle. Tämä johtuu siitä syystä, että vain osa polttoaineeseen sitoutuneesta kemiallisesta energiasta saadaan muunnettua sähköksi. Seuraavana on kuvio (3) Vuosaaren B laitoksen höyryturbiinista.

(Vuosaaren voimalaitosten yleisesittely 2009)



Kuvio 3: Helsingin Vuosaaren B-laitoksen höyryturbiini (Vuosaaren voimalaitosten yleisesittely 2009)

1.2.2 Vastapainevoimalaitos

Vastapainevoimalaitoksen turbiinin läpi virrannut höyry johdetaan kulutuskohteisiinsa ja yleensä vain osa palautetaan lauhteena takaisin voimalaitokseen. Vastapainevoimalaitoksen edullisuus perustuu siihen, että höyryä lämmitykseen tuottavan kattilalaitoksen yhteyteen voidaan suhteellisen pienin lisäkustannuksin rakentaa sähkövoimala. Teollisuuden vastapainevoimalaitokset mitoitetaan höyryntarpeen mukaan ja sähkö on sivutuote. Vastapainevoimalaitoksissa käytetään yleensä polttoaineena teollisuudessa syntyneitä jätteitä, kuten mustalipeää. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 13)

1.2.3 Kaasuturbiinivoimalaitos

Ensimmäinen kaasuturbiini otettiin käyttöön 1971, josta nykyiset kaasuturbiinivoimalaitokset ovat kehittyneet huomattavasti. Kaasuturbiinivoimalaitoksessa turbiinia pyöritetään kuumilla ja korkeapaineisilla savukaasuilla. Kaasuturbiinissa polttoaine ruiskutetaan korkealla paineella akselin ympärille ja moottorin keskellä oleviin polttokammioihin. Kompressori puristaa ilmaa noin 10–20 bar:n paineeseen ja pumppaa sen poltto-

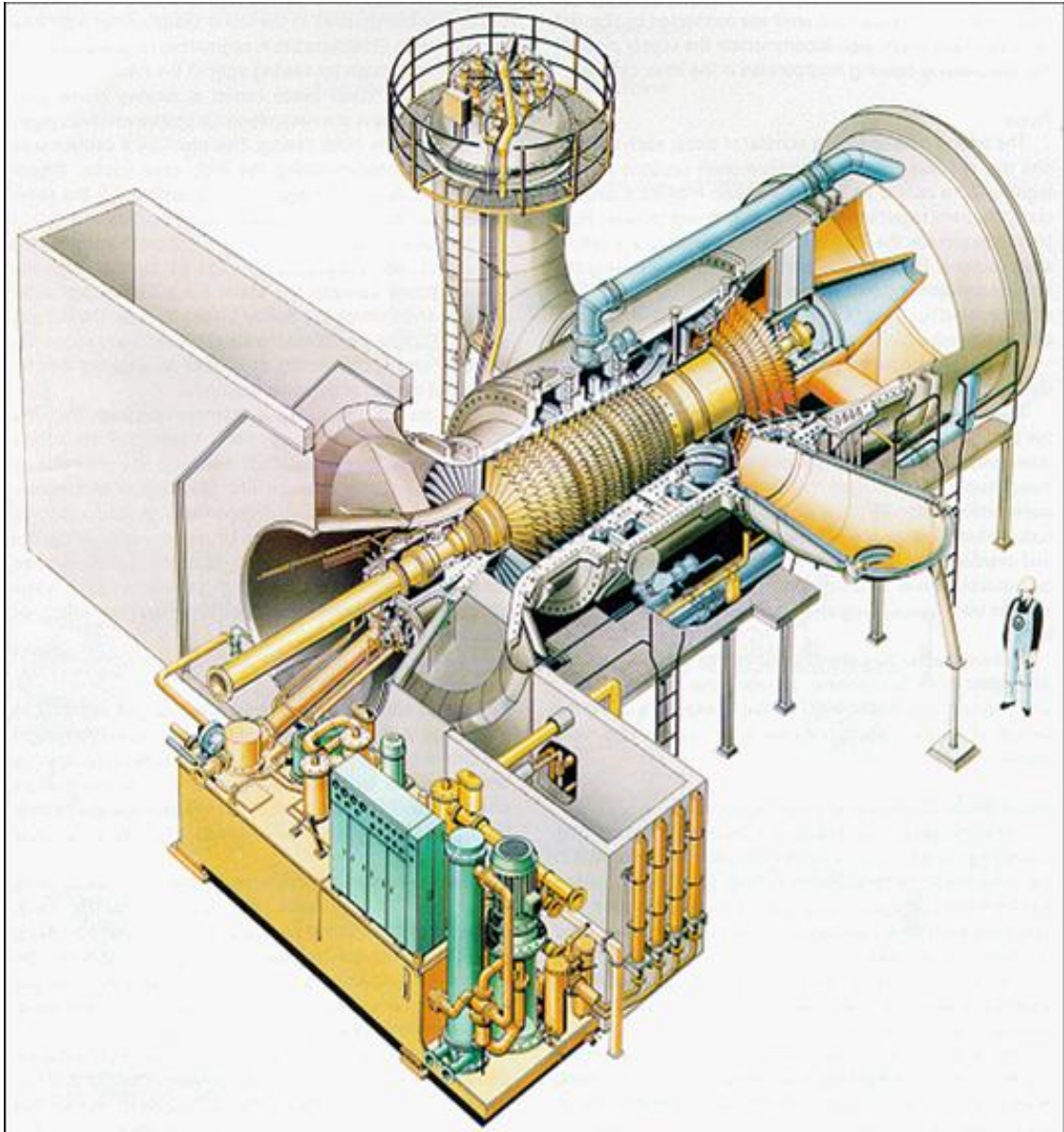
kammioihin, jolloin polttoaine palaa korkeassa paineessa ja pakokaasut purkautuvat taaksepäin turbiinin läpi. Turbiini taas antaa voimaa kompressorille.

Suurin ero kaasuturbiinin ja höyrykattilavoimalaitoksessa käytettävään höyryturbiiniin näkyy palamisessa. Höyryturbiinissa palaminen tapahtuu kattilassa ja itse turbiini pyörii välikaasun eli vesihöyryn avulla.

(Bohl 1985, 127.)

Suihkumoottori ja kaasuturbiini eivät eroa kovin paljon toisistaan. Erona on, että kaasuturbiineista halutaan maksimaalinen akseliteho, kun taas suihkumoottorista maksimaalinen työntövoima.

(Kaasuturbiinivoimalaitos 2009)

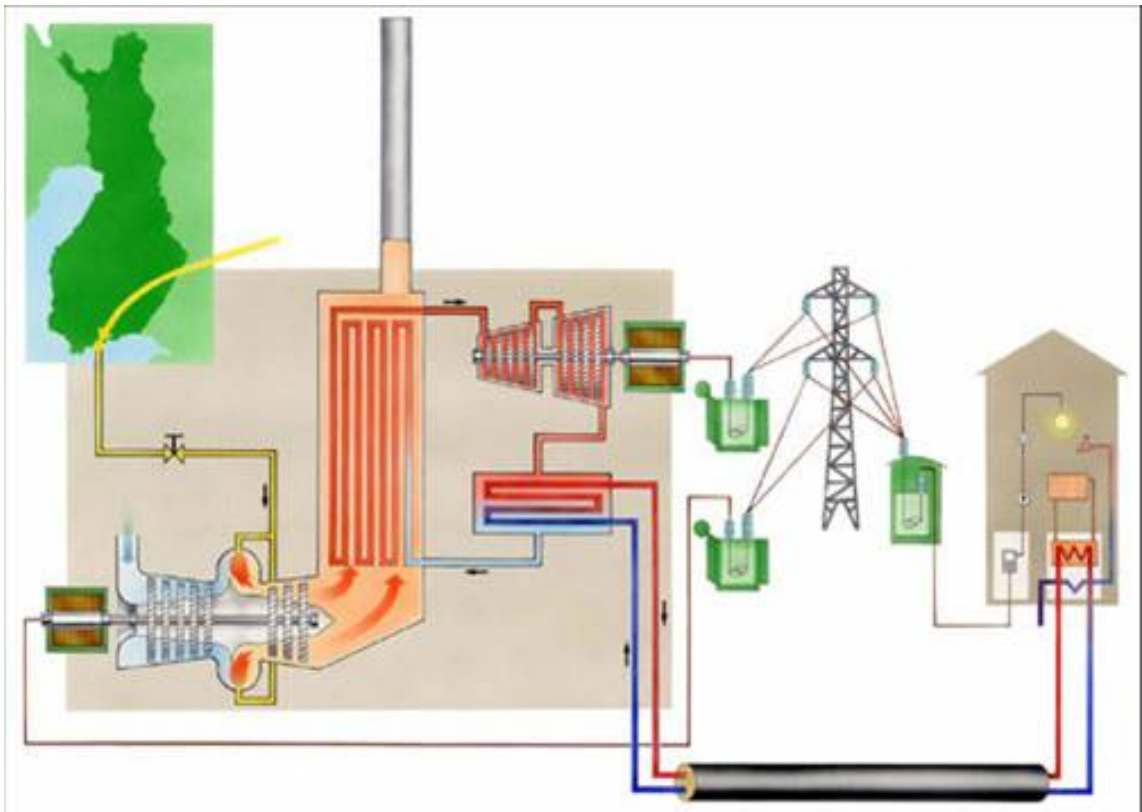


Kuvio 4: Helsingin Vuosaaren B-laitoksen kaasuturbiini (Vuosaaren voimalaitosten yleisesittely 2009)

Polttokammioissa vapautettavasta energiasta poistuu savukaasujen mukana 65 % savukaasuhäviöinä. Vapautuva energia käytetään turbiinini kanssa samalle akselille sijoitetun kompressorin ja generaattorin pyörittämiseen, jonka takia sähköntuotannon hyötysuhde on enimmilläänkin 35 %. Kaasuturbiinivoimalaitosten etuna on kuitenkin niiden sekä nopea että tehokas säädettävyys. Kaasuturbiini voidaan käynnistää ja pysäyttää lyhyessä ajassa ja tämän takia sillä voidaan säätää nopeasti voimalaitoksen tuotantoa vastaamaan sähköntarvetta. (Kaasuturbiinilaitos 2009)

1.2.4 Kombivoimalaitos

Kaasuturbiinivoimalaitos voidaan yhdistää lämmöntalteenottokattilaan. Tällöin poistuvista kuumista (400 - 500 °C) savukaasuista saadaan otettua lämpöenergiaa esimerkiksi kaukolämpövedeen. Yhdistämällä kaasuturbiinilaitos lämmöntalteenottokattilaan saadaan kokonaishyötysuhde nousemaan jopa 90 %:iin. Kaasuturbiinilaitos voidaan yhdistää myös höyrykattilavoimalaitokseen, jolloin tätä kompleksia kutsutaan kombivoimalaitokseksi. Kombivoimalaitoksella sähköntuotannon hyötysuhde nousee jo 60 %:iin. Kokonaishyötysuhde vastapainetuotannossa nousee 90 %:iin, kun lauhdetuotannossa se on sama kuin sähköntuotannonhyötysuhde. (Huhtinen ym. 2000, 17 - 18.)



Kuvio 5: Kombilaitoksen toimintaperiaate. (Vuosaaren voimalaitosten yleisesittely 2009)

Edellisestä kuvista (5) näkyy kombilaitoksen toimintaperiaate. Vasemmalla alhaalla olevasta kaasuturbiinista saadaan suoraan sähköä. Höyryturbiinista tulevat kuumat savukaasut käytetään höyrystämään höyryä höyryturbiinille, josta taas saadaan lisää sähköä. Höyryturbiinin lauhdelämmöt voidaan taasen käyttää kaukolämpönä.

1.3 Voimalaitosten energialähteet Suomessa

Fossiiliset energialähteet muodistivat noin 55 % Suomen energiakulutuksesta vuonna 2007. Edelleen Suomen tärkeimpänä energialähteenä on öljy. Seuraavana tulevat bioenergia (20 %), ydinvoima (17 %) ja kivihiihi (13 %). Öljyn käytön osuus on laskenut 25 %:iin energiantarpeesta.

Vuonna 2013 Olkiluodon kolmas yksikkö valmistunee ja ydinenergiasta tulee tärkein energianlähde Suomessa. Ydinvoiman primäärienergia nousee tällöin yli 100 TWh:n tasolle. Myös bioenergian käyttö kasvaa vauhdilla, ja sen odotetaan ohittavan öljyn käytön jo vuoteen 2020 mennessä.

Maailman energiankulutuksesta fossiilisten polttoaineiden osuus on noin 78 %. Öljyn osuus on noin 31 %, hiilen osuus noin 25 % ja maakaasun osuus noin 21 % markkinoista. Fossiiliset polttoaineet säilyvät siis vielä pitkään tärkeimpinä energianlähteinä maailmassa.

Ei-fossiilisista energialähteistä tärkein on bioenergia, jonka osuus maailman primäärienergiasta on 11 %. Vesivoiman ja ydinvoiman osuus on kuitenkin 6 %, kun taas tuulivoiman osuus on häviävän pieni 0,4 %. Seuraavana on taulukko maailman energiantuotannosta. Taulukossa sähköntuotannon hyötysuhteeksi on otettu 38 % ydin-, vesi-, ja tuulivoimalla.

Taulukko 1: Maailman primäärienergianlähteet (Pwh = 1000 TWh) (Vuorinen 2009, 9)

Vuosi	1990	1995	2000	2005	2007	Osuus %
	PWh	PWh	PWh	PWh	PWh	
Fossiiliset energianlähteet						
Öljy	36,6	37,8	41,1	44,6	46,0	31 %
Kivihiili	26,0	26,5	27,5	34,1	37,0	25 %
Maakaasu	20,9	22,5	25,5	28,8	30,7	21 %
Yhteensä	83,4	86,9	94,1	107,5	113,6	78 %
Osuus	79 %	77 %	77 %	78 %	78 %	
Ei Fossiiliset energianlähteet						
Vesivoima	5,8	6,6	7,1	8,8	8,2	6 %
Ydinvoima	6,1	7,0	7,8	8,4	8,3	6 %
Tuulivoima			0,1	0,3	0,6	0,4 %
Bioenergia	10,8	11,9	13,0	14,0	15,5	11 %
Yhteensä	22,6	25,6	28,0	30,5	32,6	22 %
Osuus	21 %	23 %	23 %	22 %	22 %	
Yhteensä	106,0	112,5	122,1	137,9	146,2	100 %
Indeksi	100 %	106 %	115 %	13 %	138 %	

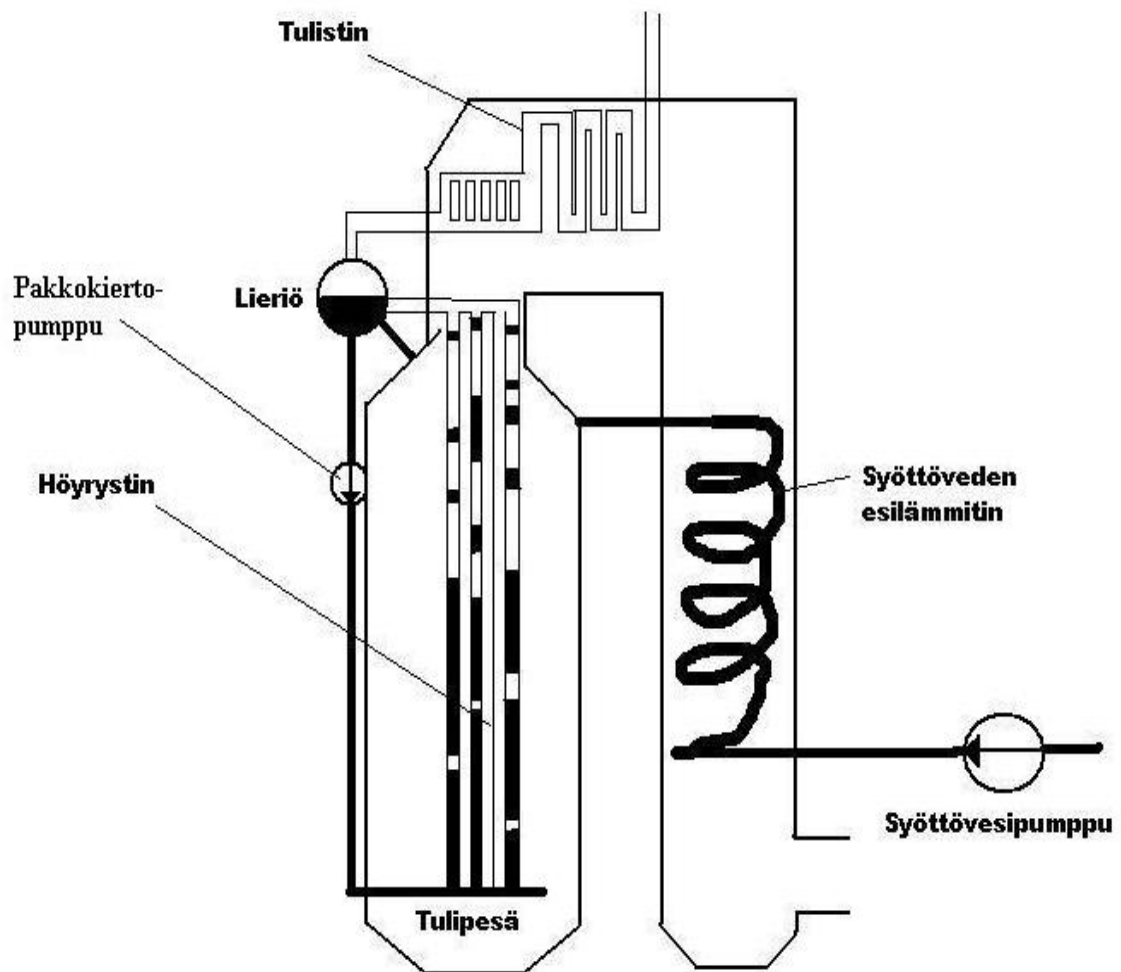
2 Höyrykattilat ja vesi-höyrypiirin komponentit

2.1 Luonnonkiertokattila

Luonnonkiertokattila nimitys tulee siitä, että vesi kiertää ikään kuin itsestään putkistossa, ilman erillistä pumppaamista. Luonnonkiertokattilassa veden ja vesihöyryn kierto lieriöstä höyrystimeen ja takaisin tapahtuu veden ja vesihöyryn tiheyseron avulla. Vedenlaskuputki ja tulipesää ympäröivä höyrystinputkisto muodostavat yhtenäisen putkiston. Höyrystinputkistossa osa vedestä muuttuu höyryksi tulipesästä siirtyvän lämmön vuoksi, tällöin höyrystinputkistossa olevan veden ja vesihöyryn seoksen tiheys on pienempi kuin laskuputkistossa olevan kylläisen veden. Tiheyseroihin perustuen höyrystinputken kevyempi seos nousee ylöspäin ja virtaa takaisin lieriöön samalla, kun laskuputkesta virtaa uutta kylläistä vettä tilalle. Ahosen (1978, 35) mukaan staattisen paineen on voitettava putkiston virtausvastukset sekä kiihtyvyyden vaatima voima. Luonnonkiertokattilan toimintaperiaate kuvio 1 katso sivu 9. (Huhtinen ym. 2000, 113.)

2.2 Pakkokiertokattila

Pakkokiertokattilassa vesi kiertää höyrystimessä pumpun avulla. Kuviossa 6 näkyy pakkokiertokattilan periaate.



Kuvio 6: Pakkokiertokattilan toimintaperiaate

Lieriöstä vesi johdetaan höyrystimeen pakkokiertopumppujen avulla. Höyrystimessä muodostunut veden ja vesihöyryn seos jatkaa pumppujen muodostaman paineen avulla takaisin lieriöön. Pakkokiertokattilan lieriö on samanlainen kuin luonnonkiertokattilan. Syklonilla varustettu lieriö erottelee veden ja vesihöyryn, minkä jälkeen vesi palautuu kiertoon ja vesihöyry jatkaa matkaansa tulistimille. Pumpun kavitointi saadaan vältettyä sijoittamalla pumppu tarpeeksi lieriön alapuolelle, jottei kylläinen vesi höyrystyisi pumpussa. Wessman (haastattelu 28.8.2009) kertoi, että pakkokierron etuna on sen soveltuvuus hieman korkeammille paineille kuin luonnonkiertokattila. Höyrystinputkisto voidaan myös rakentaa lähes miten päin tahansa tarpeen vaatiessa, lisäksi on mahdollista mitoittaa höyrystinputkisto suuremmille painehäviöille kuin luonnonkiertokattilassa. Kiertoluvut ovat pakkokiertokattiloissa pienemmät kuin luonnonkiertokattiloissa. Pakkokiertokattiloiden kiertoluvut ovat yleensä 3 - 8, tämän takia höyrystinputket voivat

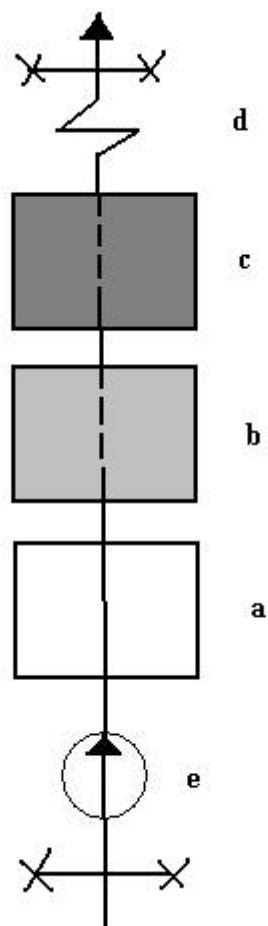
pakkokierto-kattilassa olla halkaisijaltaan pienempiä ja hinnaltaan halvempia, kuin luonnonkierto-kattilassa. Pakkokierto-kattilan virtausnopeudet ovat noin 1,5 - 4m/s.

(Huhtinen ym. 2000, 118.)

2.3 Benson-kattila

Benson-kattilan suurin ero pakkokierto- ja luonnonkierto-kattilaan verrattuna on lieriön puuttuminen kokonaan. Vesi kulkee kattilan vesi/höyrypiirin läpi kerralla. Benson-kattilassa syöttövesipumpulla pakotetaan höyrystettävä vesi kattilan putkiston vaiheiden läpi ilman kiertoa. Benson-kattila on toiselta nimeltään läpivirtauskattila. Alla olevassa kuviossa 7 on Benson-kattilan yksinkertaistettu periaatekuvio.

(Ahonen 1978, 21 - 22.)



Kuvio 7: Benson-kattilan yksinkertaistettu kaavio

Kuvion 7 merkintöjen selitykset:

a = esilämmitysosa

b = höyrystys alkaa

c = höyrystys osa

d = tulistin

e = syöttövesipumppu

X – X = kattilan rajat

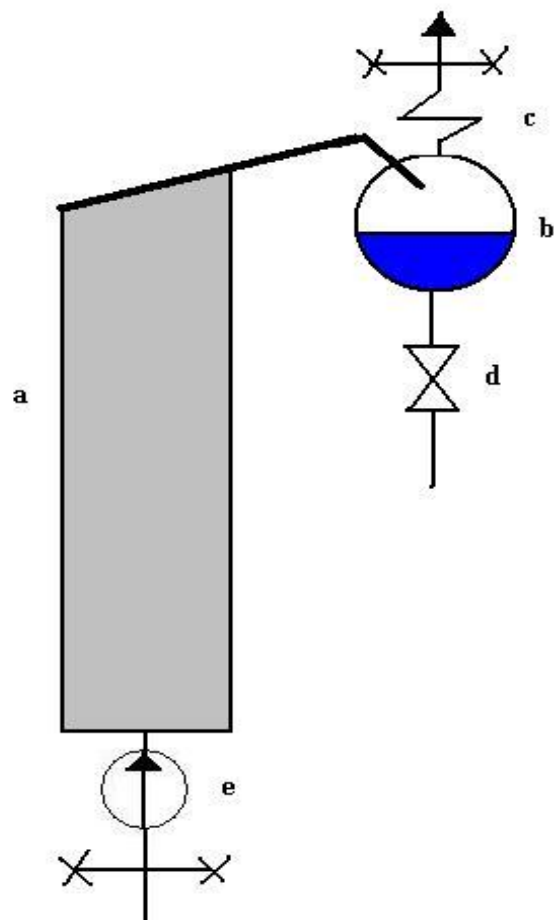
Benson-kattilan tärkeimmät ominaispiirteet ovat

- kattilan halpa hinta
- korkealuokkaisen vedenkäsittelyn vaatimus
- hyvän automatiikan vaatimus
- suuren pumpputyön vaatimus
- yksinkertainen rakenne ja toiminta
- ajettavuus ylikriittisillä höyrynpaineilla.

Korkealuokkaisen vedenkäsittelyn vaatimus johtuu lieriön puuttumisesta, sillä ilman lieriötä ulospuhallus, jolla poistetaan kattilakiveä aiheuttavia suoloja sekä muita epäpuhtauksia, ei ole mahdollista. (Ahonen 1978, 21 - 22.)

2.4 Sulzer-kattila

Sulzer-kattilassa voidaan hieman helpottaa veden laatuvaatimusta verrattuna Benson-kattilaan. Sulzer-kattilassa vesi- ja höyrypiirin epäpuhtauksia saadaan poistettua niin kutsutulla suolanpoistopullolla. Seuraavassa kuviossa (8) on Sulzer-kattilan yksinkertaistettu periaate.



Kuvio 8: Sulzer-kattilan yksinkertaistettu toimintaperiaate

Kuvion 8 merkintöjen selitykset:

a = höyrystinosa

b = suolanpoistopullo

c = tulistin

d = väkevöityneen veden poisto

e = syöttövesipumppu

X – X = kattilan rajat

Sulzer-kattilan suolanpoistopulloa ei voida käyttää ylikriittisillä paineilla, koska silloin vesifaasia ei synny ollenkaan. Sen käyttö alikriittisillä arvoilla on suuri etu, koska näin saadaan suojattua tulistinta epäpuhtauksilta. Suolanpoistopullo on myös hyvin käytännöllinen kattilaa käynnistettäessä ja pysäytettäessä.

Sulzer-kattilan tärkeimmät ominaisuudet ovat

- yksinkertainen rakenne ja toiminta
- kuormitusvaihteluiden nopea seuranta ja sopivuus suurillekin tehoille
- suurempi syöttöveden epäpuhtauksien sietokyky kuin Benson-kattilassa
- suuren omakäyttötehon sekä hyvän automatiikan vaatimus
- korkeatasoisen vedenkäsittelyn vaatimus
- pienien kuormien hankala ajettavuus.

Sulzer-kattila ei ole saavuttanut suurta käyttöä teollisuudessa, mutta suurvoimalaitoksissa se on osoittautunut varmaksi höyryn tuottajaksi. (Ahonen 1978, 23 - 24.)

2.5 Höyrystimen toiminnasta

Luonnonkiertokattilan höyrystimen laskuputkessa olevan veden ja höyrystinputkissa olevan veden ja vesihöyryn seoksen välisellä tiheyserolla aikaansaataavalla paine-erolla on ylitettävä veden ja vesihöyryn kierrosta johtuva painehäviö. Painehäviö muodostuu virtausnopeuden muutoksen vaatimasta dynaamisen paineen lisäyksestä sekä putkiston kitkavastuksesta. Tilannetta kuvaava tasapainoyhtälö (1) voidaan esittää muodossa

$$\Delta p_{st} = \Delta p_r + \Delta p_B \quad (1)$$

jossa

$$\Delta p_{st} = \text{kiertovoima}$$

$$\Delta p_r = \text{kitkavastus}$$

$$\Delta p_B = \text{kiihtyvyyssvastus}$$

Vesihöyryn ja veden kierron aikaansaava kiertovoima Δp_{st} voidaan laskea kaavalla (2)

$$\Delta p_{st} = g \cdot (H_F - H_S) \cdot (\sigma' - \sigma_G) \quad (2)$$

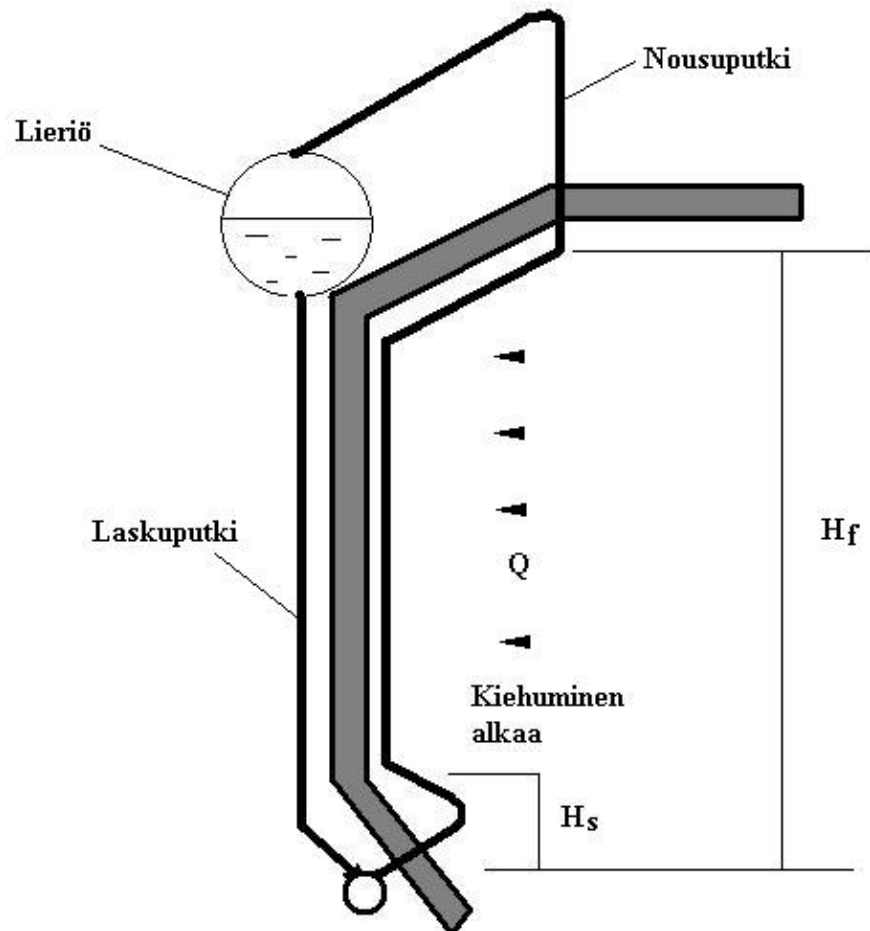
jossa

$$\sigma_G = \text{vesi-höyry seoksen keskimääräinen tiheys nousuputkissa}$$

$$\sigma' = \text{laskuputkessa olevan kylläisen veden tiheys}$$

$H_F - H_S$ = korkeusero lieriön vesipinnasta kohtaan, jossa höyrystyminen alkaa nousuputkissa (kuvio 9).

(Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 114.)



Kuvio 9: Luonnonkiertokattilan höyrystimen malli

Luonnonkiertokattila on edullista rakentaa kapeaksi ja korkeaksi, sillä kiertovoima on sitä suurempi, mitä korkeampi kattila on.

Vesi on lieriössä kylläisessä lämpötilassa. Kun vedenpaine laskuputkessa nousee hydrostaattisen paineen vaikutuksesta, vedestä tulee alijäähtynyttä, kun se tulee höyrystinputkille. Vesi ei siis ala höyrystyä välittömästi sen saavuttua höyrystinputkiin, vaan sen on ensin lämmitettävä höyrystyslämpötilaan. Korkeus, jossa höyrystyminen alkaa, voidaan laskea kaavalla (3)

$$\frac{H_S}{H_F} = \frac{h'' - h'}{\Delta h \cdot U} \quad (3)$$

jossa

H_S = veden höyrystymisen alkamiskorkeus

H_F = hydrostaattinen korkeus lieriön pinnasta höyrystymisputken alapäähän

h'' = lieriön painetta vastaava kylläisen höyryn entalpia

h' = lieriön painetta vastaava kylläisen veden entalpia

Δh = höyrystymispaineen kasvusta johtuva alijäähtymistä vastaava entalpiamuutos

U = höyrystinputkessa kiertävän vesivirran suhde höyrystyvään vesivirtaan eli kiertoluku

(Huhtinen ym. 2000, 115.)

Luonnonkierron takia virtausvastuksien aiheuttaman painehäviön on höyrystimessä oltava vähäinen, tähän päästään käyttämällä tulipesän seinämään asennettuja pystysuoria höyrystinputkia, joilla on suuri halkaisija. (Veikko Ahonen 1978, 40 - 43.)

2.6 Tulistimet

Tulistin on höyrykattilakomponentti, jonka tarkoitus on kuumentaa höyrystimestä tuleva höyrystetty vesihöyry energialähteen lämpöenergialla höyrystymislämpötilaa korkeampaan lämpötilaan. Mitä kuumempaa höyry saadaan johdettua höyryturbiiniin, sitä suurempi liike-energia saavutetaan. Materiaaliteknisistä syistä johtuen tulistustemperatuurit ovat suurimmillaan noin 550 °C:ssa. Höyry tulistuu tulistimessa siis noin pari sataa astetta ennen kuin se johdetaan turbiiniin.

Höyryturbiinin sähköntuottoa on mahdollista tehostaa välitulistimella. Välitulistus tarkoittaa turbiinin läpivirranneen höyryn takaisinjohtamista kattilaan, jossa se uudelleen lämmitetään eli tulistetaan matalammassa paineessa. Välitulistimella saadaan höyryn lämpötila samalle tasolle kuin tulistimessa. Välitulistimen hankinta kannattaa vasta suuremmissa voimalaitoksissa, sillä turbiinin ja kattilan investointikustannukset kasvavat.

Tulistimet sijoitetaan tulipesän yläosaan, jossa savukaasut ovat riittävän kuumia tulistamaan höyryn haluttuun lämpötilaan. Tulistimien kuumennus savukaasuilla on kannattavaa myös sen takia, että putket eivät pääse ylikuumentumaan läheskään yhtä helposti kuin säteilylämmönsiirtoa käytettäessä. Höyryltä vaaditaan tasalämpöisyyttä, eli stabiilia lämpötilaa. Stabiilia lämpötilaa vaaditaan kahdesta syystä: Jos lämpötila laskee, sähköntuotanto laskee, jos lämpötila nousee, saattavat tulistinputket ylikuumentua. Tavallisesti lämpötila saa vaihdella noin ± 5 °C viimeisen tulistusvaiheen jälkeen. Tulistuslämpötilaa voidaan säätää usealla tavalla, esimerkiksi ruiskuttamalla vettä tulistetun höyryn joukkoon tulistusvaiheiden välissä tai sekoittamalla kolmitieventtiilin avulla tulistetun höyryn joukkoon viileämpää höyryä. (Huhtinen ym. 2000, 188 - 189 ja 273 - 275.)



Kuvio 10: Tulistinputkia (Lahtinen 2007, 12)

Tulistimet voidaan jakaa sijoitustapansa mukaan

- säteilytulistimiin
- verhotulistimiin
- konvektiotulistimiin
- yhdistelmätulistimiin.

2.6.1 Säteilytulistin

Säteilytulistin on lähes poikkeuksetta seinätulistin ja se sijaitsee tulipesän yläosassa. Säteilytulistimeen lämpöenergia siirtyy pääosin liekeistä säteilemällä. Tunnusomaista säteilylle on lämmönsiirtyminen ilman kosketusta. Ahonen kirjoittaa (1978, 30), että säteilytulistimissa käytetään suuria höyryvirtausnopeuksia, jotta lämmönsiirtoputkisto ei pääse ylikuumentamaan. Putkiston jäähtyminen on tärkeää, koska lämpö siirtyy säteilynä ja sitä saattaa virrata tulistimeen hyvinkin nopeasti. Säteilytulistimen materiaalin lämpötila on noin 60 °C kuumempi kuin siinä virtaavan höyryn lämpötila. (Huhtinen ym. 2000, 189.)

2.6.2 Konvektiotulistin

Yleisin höyrykattiloissa käytetty tulistin on konvektio- eli kosketustulistin. Konvektio tarkoittaa aineen mukana kulkemista eli lämpö kulkee savukaasujen mukana. Konvektiotulistimen materiaalin lämpötila on säteilytulistimen materiaalia alhaisempi ja noin 10-40 °C korkeampi kuin virtaavan höyryn lämpötila. . (Ahonen 1978, 27)

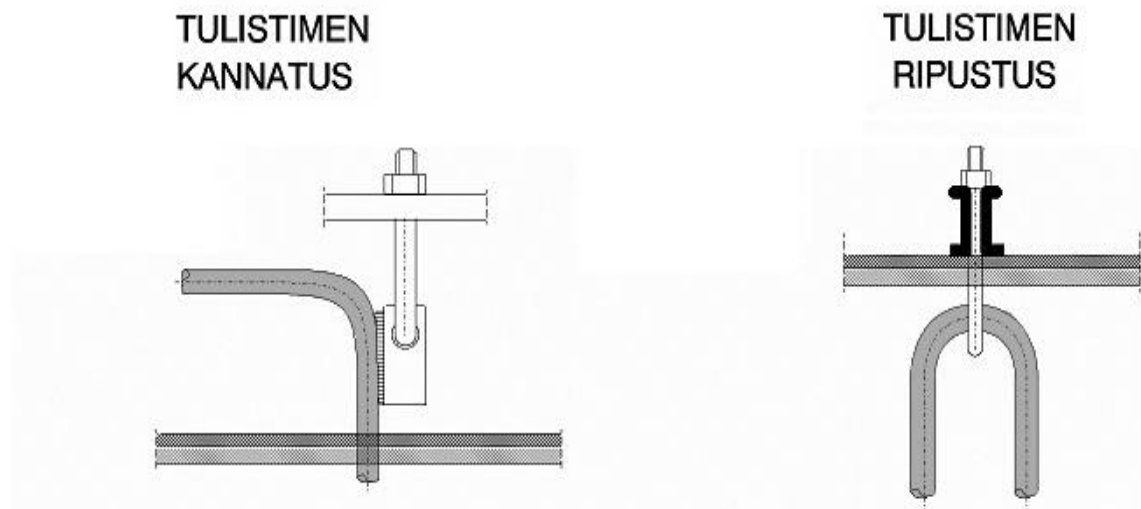
Konvektiotulistimia on valmistettu kahdenlaisia, pysty- ja vaakaputkitulistimia. Vaakaputkitulistimet on suunniteltu vesitettäviksi ja niitä käytetään varsinkin suurten kattiloiden primääriosissa. Vaakaputkitulistin suojataan ylikuumentumiselta varovaisella lämmityksellä kattilan ylösajon aikana ja höyryn ulospuhallus tulistimien jälkeisen käynnistysventtiilin kautta. (Huhtinen ym. 2000, 190 - 191)

2.6.3 Yhdistelmätulistin

Yhdistelmätulistimella tarkoitetaan tulistinta, josta osa toimii säteilytulistimena ja osa konvektiotulistimena. Tulistin on jaettu siten, että pidemmät tulistimenputket ovat suoraan kosketuksessa liekkien kanssa, jolloin lämpö siirtyy enimmäkseen säteilemällä, kun taas lyhyemmät tulistimenputket koskevat ainoastaan savukaasuihin, jolloin lämpö siirtyy konvektion avulla. Schotten-tulistimessa tulistimenputket riippuvat erittäin tiheänä putkiseinämänä noin 0,5cm - 1,0cm etäisyydellä toisistaan, jolloin uloimmat tulistimenputket joutuvat suoraan kosketukseen liekkien kanssa, kun sisemmät tulistimenputket koskevat yksinomaan savukaasuihin. . (Huhtinen ym. 2000, 190 - 191)

2.6.4 Tulistimien rakenne

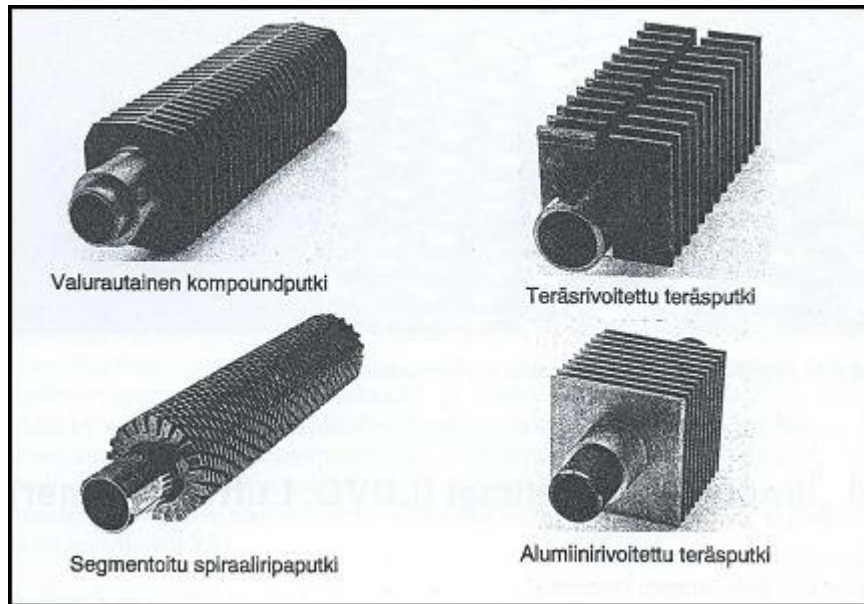
Kattilan tulistin koostuu ryhmästä erilaisia tulistimia ja tulistimet koostuvat useista putkielementeistä, jotka lähtevät jakokammioista. Periaatteessa voidaan sanoa, että tulistinyksikkö on nippu teräspanputkia, jotka roikkuvat tulipesän katosta. Tulistimet ripustetaan nykyisin tulipesän ulkopuolelta, koska tämä tapa on huomattavasti kestävämpi kuin tulipesän sisäpuolelle kannattimien avulla ripustaminen. Kannatinputkiin hitsataan kiinnikkeet, joiden avulla putki yläpäästään tuetaan muuhun kattilarakenteeseen. Seuraavana olevassa kuviossa on putkien vanha ja uusi ripustustapa. . (Huhtinen ym. 2000, 190 - 191)



Kuvio 11: Tulistimien vanha kannatus ja uusi ripustus tekniikka . (Huhtinen ym. 2000, 192)

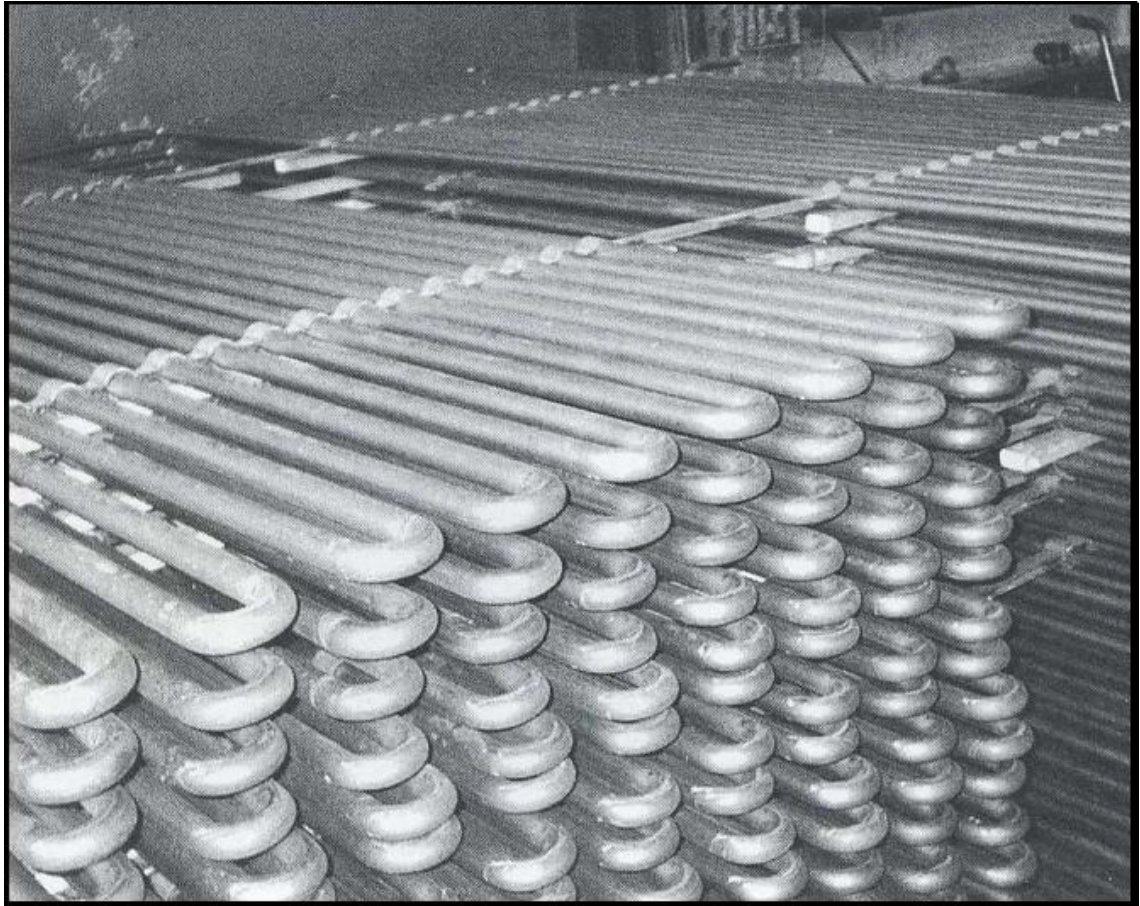
2.7 Tuloveden esilämmitin (EKO, Ekonomaiser)

EKO:n eli syöttöveden esilämmittimen avulla lämmitetään vettä lähemmäksi höyrystyslämpötilaa. Tavanomainen syöttöveden lämpötila keskikokoisissa ja pienissä kattiloissa on noin 100 - 200 °C. Lämmön lähteenä käytetään savukaasuja. EKO sijoitetaan tulistimien jälkeen savukaasujen virtaussuuntaan nähden. EKO parantaa laitoksen hyötysuhdetta ottamalla savukaasuissa jäljellä olevaa lämpöenergiaa hyötykäyttöön. Tulistimien jälkeen savukaasut ovat noin 600 - 800 °C, mikäli savukaasuja ei saataisi tämän enempää jäädytettyä, jäisi kattilan hyötysuhde verrattain heikoksi. EKO:n avulla saadaan savukaasut jäähtymään lähelle syöttöveden tulolämpötilaa. Rivoituksella lisätään pinta-alaa, jonka kautta lämpö pääsee siirtymään savukaasuista tuloveteen. Kuviossa 12 on esitetty neljä rivoitettua veden esilämmitinputkea. (Çengel 1998, 178)



Kuvio 12: Neljä syöttöveden esilämmitinputkea (Lahtinen 2007, 11)

Segmentoitu spiraaliripaputki on nykyisin yleisin malli. Valurautaisessa komppoundputkessa on sisäpuolella painekestävää teräsputkea ja ulkopuolella valurautaa rivoitus. Valurautarivoitus siirtää lämpöä paremmin savukaasuista syöttövedeen. Teräsriivoitetun putken rikkihapposyöpyminen on voimakkaampaa kuin valurautaisen. Seuraavassa kuviossa on hiiliteräksestä valmistettuja rivoittamattomia vedenlämmitysputkia. Vesi virtaa useassa rinnakkaisessa putkessa esilämmittimen lävitse. Keskelle on jätetty tila nuohoillemme. (Veikko Ahonen 1978, 66.)



Kuvio 13: Syöttöveden rivoittamattomat esilämmitysputket (Lahtinen 2007, 11)

2.8 Tuloilman esilämmitin (LUVO, Luftvorwärmer)

Ilmanesilämmittimellä eli palamisilmanesilämmittimellä kuivataan polttoaineesta kosteutta, tehostetaan polttoaineen syttymistä sekä nopeutetaan palamista. Palamisilma on yleensä 100 - 400 °C:n välillä. Palamisilman esilämmitys on erityisen tärkeää, kun poltetaan esimerkiksi kivihiiltä, turvetta tai muita heterogeenisiä polttoaineita. Palamisilman esilämmityksen merkitys korostuu kosteuden ja heterogeenisyyden kasvaessa. LUVO sijoitetaan viimeiseksi lämmönsiirtimeksi kattilassa. (Huhtinen ym. 2000, 196 - 197)

3 Polttolaitteet

3.1 Poltinpoltto

Polttolaitteen ajatuksena on saada polttoaine palamaan, jolloin polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia saadaan vapautettua lämmöksi. Palamisen hyötysuhteen täytyy olla hyvä eli polttoaineen pitää palaa mahdollisimman täydellisesti niin, että ilmaylimäärä jää mahdollisimman vähäiseksi. Palamisen täytyy olla tasaista ja palamista tulee voida säätää tarpeen mukaan. Eri polttolaitteita on kehitetty erilaisiin tarkoituksiin. Näitä ovat

- nestemäisille, kaasumaisille ja kiinteästä polttoaineesta valmistetulle pölylle soveltuvat erilaiset polttimet
- kiinteille polttoaineille soveltuvat erityyppiset arinat
- kiinteille polttoaineille soveltuvat erityyppiset leijukerrosratkaisut.

Tulipesällä tarkoitetaan kattilan liekkiä sekä liekkiä ympäröivää kattilan osaa. Tulipesän seinämissä on tulipesää jäähdyttävä putkisto, jonne osa tulipesän tuottamasta lämmöstä siirtyy. Loput tulipesän tuottamasta lämmöstä siirtyy kuumien savukaasujen mukana kattilan muihin osiin, useimmiten ensimmäiseksi tulistimiin.

Polttolaitteiden ja tulipesän hyvä yhteen sovittaminen on tärkeä kattilan suunnitteluun liittyvä tehtävä, tärkeää on myös saavuttaa paras mahdollinen palamistulos. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että polttolaitteessa muodostuvan liekin tulee mahtua hyvin tulipesään. Lisäksi poltinpoltossa tulipesän tulee olla riittävän suuri, jotta savukaasujen ja samalla myös syötetyn polttoaineen viipymäaika tulipesässä on palamisaikaa suurempi.

Tilavuusrasitteella voidaan kuvata tulipesän kokoa. Tilavuusrasite saadaan jakamalla kattilaan tuotu polttoaineteho tulipesän tilavuudella. Tilavuusrasituksen arvot vaihtelevat suuresti riippuen kattilatyypistä ja polttoaineesta. Tyypillisesti arvot liikkuvat alueella $50\text{-}7000 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3}$. Suomessa käytössä olevissa voimalaitoskattiloissa arvot liikkuvat

alueella $100-500 \frac{kW}{m^3}$. Tilavuusrasitus kuvaa nimenomaan savukaasujen viiveaikaa tulipesässä.

Savukaasujen virtausnopeutta tulipesässä kuvataan tulipesän poikkipintarasituksella. Poikkipintarasitus saadaan kun jaetaan polttoaineteho kattilan virtauspoikkipinta-alalla. Polttoaineteholla tarkoitetaan polttoainevirran ja polttoaineen lämpöarvon tuloa (polttoainevirta · tehollinen lämpöarvo).

Lämmönsiirron tehokkuutta tulipesässä voidaan tarkastella tulipinnan lämpökuormitusluvulla. Se saadaan jakamalla lämmönsiirtopinnan läpi siirtyvä lämpöteho lämmönsiirtopinta-alalla. Tämä tunnusluku on yleensä alueella $50-200 \frac{kW}{m^2}$. (Huhtinen ym. 2000, 126)

3.1.1 Öljypoltto

Öljyä käytetään erittäin useissa sovellutuksissa, näitä voidaan jakaa esimerkiksi energiantuotantoon, liikenteeseen sekä teollisuuden käyttöön. Useimmat nestemäiset hiilivedyt ovat raakaöljyn tisleitä. Öljyä voidaan polttaa erilaisissa kattiloissa, turbiineissa ja moottoreissa. (Çengel & Boles 2002, 702)

Tavallinen öljyjen jako tapahtuu niiden käyttöominaisuuksien mukaan kevyisiin ja raskaisiin polttoöljyihin. Kevyet polttoöljyt ovat helposti juoksevia ja palavia tisleitä, joiden polttaminen on yksinkertaista eikä vaadi kalliita laitteita. Kevyet polttoöljyt ovat niin sanottuja keskitisleitä, joita saadaan kun tislauslämpötila on 180 °C:n ja 360 °C:n välissä. Raskaat polttoöljyt ovat jo huoneenlämmössä liian jäykkiä käsiteltäviksi, joten niiden juoksevuus on varmistettava riittävällä lämmityksellä sekä kierrätyksellä. Raskaan polttoöljyn laadun valintakriteereihin vaikuttaa laitospääte ja käytössä olevan aineen lämpötilataso. Kevyet laadut sopivat yleensä pienemmille lämpökeskuksille, kun taas jäykimmät laadut sopivat suuriin laitoksiin (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 439)

Öljy siirretään esilämmittimistä tulipesään polttimen kautta. Polttimen pääosat ovat sumutin, ilmarekisteri sekä apulaitteet. Normaalisti pääosat on rakennettu yhteen, jolloin niitä voidaan tarkastella erillisinä osina, koska tarpeesta riippuen osat voidaan yhdistellä mielivaltaisesti. Polttimille johdetaan palamisessa tarvittava ilma yleensä sopivaan lämpötilaan esilämmitettynä. Polttimelle johdettavan öljyn yleinen mittauspaiikka on heti esilämmittimen jälkeen. Tämän mittasuureen avulla voidaan myös säätää polttimille johdettavan ilman määrää. Öljyn painetta, lämpötilaa ja viskositeettiä voidaan myös seurata. (Ahonen 1978, 118.)

3.1.2 Kaasunpoltto

Yleisimmät poltettavat kaasut ovat maakaasu, nestekaasu ja kaupunkikaasu. Lisäksi teollisuudessa syntyy prosesseissa muitakin poltettavia kaasuja. Muita kaasuja, joita voidaan hyödyntää, ovat erilaiset biokaasut sekä kaatopaikkakaasut. Kaasujen etuja verrattuna kiinteisiin tai nestemäisiin polttoaineisiin ovat

- helppo palamisen valvonta
- laaja säätöalue
- pienet päästöt
- hyvä palamisen hyötysuhde.

Maakaasulle ja nestekaasulle suunnitellut polttimet jaetaan yleensä kahteen peruspoltintyyppiin polttokaasun ja palamisilman sekoitussuhteiden perusteella: atmosfääripolttimet ja puhallinpolttimet.

Atmosfääripolttimessa palamiseen tarvittava ilma imetään polttimen ympäristöstä polttokaasun virtauksen ja kattilan vedon aiheuttaman virtauksen avulla. Atmosfääripoltin on yleinen kotitalouksissa ja sitä käytetään myös pienehköissä teollisissa kohteissa.

Puhallinpolttimessa palamisilma sekoitetaan polttokaasuun puhaltimen avulla. Puhaltimen ansiosta tulipesään saadaan helpommin haluttu painetaso ja sopivat virtausolosuht-

teet. Kun painetaso ja virtausolosuhteet ovat hyvät, on palaminen ja lämmönsiirto tehokasta hyvän sekoittuvuuden takia.

Puhallinpoltin on monimutkaisempi ja kalliimpi kuin atmosfääripoltin, mutta sitä käytettäessä saadaan kattilan hyötysuhde paremmaksi. Tästä syystä lähes kaikki teollisuudessa käytettävät polttimet ovat puhallinpolttimia (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 449 - 451)

3.1.3 Kiinteän polttoaineen poltinpoltto

Kiinteillä polttoaineilla tarkoitetaan hiiltä, turvetta ja puuta. Pölypoltossa polttoaine syötetään hienoksi jauhettuna polttimen kautta tulipesään, jossa se palaa hyvin nopeasti. Kiinteä polttoaine on jauhettava tarpeeksi hienoksi, jotta se ehtii palaa tulipesässä viipymään aikana. Lisäksi kostea polttoaine on kuivattava ensin, kuten esimerkiksi jyrshinturpe. Pölypoltto sopii teoriassa kaiken kokoisille kattiloille, mutta polttoaineiden käsittelylaitteiden tarpeen takia pölypoltto on kannattavaa vasta, kun kattilateho on suuri. Pölypolttimessa tulee saada aikaan stabiili, mahdollisimman täydellinen palaminen, jotta ilmaylimäärä ja päästöt saadaan mahdollisimman vähäisiksi. Nykyään Suomessa on käytössä niin sanottu low-nox poltin joka pienentää typpioksidipäästöjä huomattavasti.

Tuhka jota on hiilessä noin 10 % ja turpeessa n. 5 %, voidaan poistaa kahdella tavalla, joko kiinteänä tai sulana. Tulipesää kutsutaan tämän mukaan kuivapesäksi tai sulapesäksi. Kuivapesän tuhkan erotus tapahtuu pääasiallisesti sähkösuodattimen avulla (noin 75 - 85 %). Kattilan pohjan kautta poistetaan kuivaa kuonaa sammutusaltaan ja laahakuljettimen avulla (10 - 15 %).

Sulapesäkattilassa lämpötilaa pidetään niin korkeana, että tuhka pysyy sulana. Näin saadaan suurin osa sulasta tuhkasta poistettua suoraan tulipesästä. Sulapesäkattiloita on käytössä lähinnä Keski-Euroopassa. Suomeen on jyrshinturpeen polttoa varten rakennettu

muutamia syklonimallisia alle 15MW:n sulapesäkattiloita. (Huhtinen ym. 2000, 144 - 145)

3.2 Arinapoltto

Arinalla tarkoitetaan kattilan pohjalle sijoitettavaa polttolaitetta, jonka päällä kiinteä polttoaine palaa joko paikallaan tai hitaasti liikkuvana kerroksena. Hyvin toimivia arinaratkaisuja on olemassa varsinkin hiilelle, puulle ja puujätteelle. Arinoita ei voida käyttää teollisuuden jäteliemille, niiden sisältämän suuren tuhkapitoisuuden vuoksi. Raikon ym. (2002, 473) mukaan nykyään arinoita rakennetaan lähinnä alle 10MW käyttötehoja varten sekä suuriin jyrshinturpeen pölypolttokattiloiden jälkipolttoarinoiksi. Arinan rakenteita on useita erilaisia. Arinaraudat ovat usein valurautaa, jonka lämmönkestävyyttä voidaan lisätä kromiseostuksella. (Huhtinen 2000, 146 - 147)

3.2.1 Kiinteä tasoarina

Kiinteä tasoarina on ratkaisultaan yksinkertaisin. Tavallisesti tasoarinat koostuvat kannatuspalkkien varaan ladotuista arinasauvoista. Tasoarinoita käytetään pienissä kattiloissa, joihin polttoaine syötetään käsin. (Huhtinen 2000, 147)

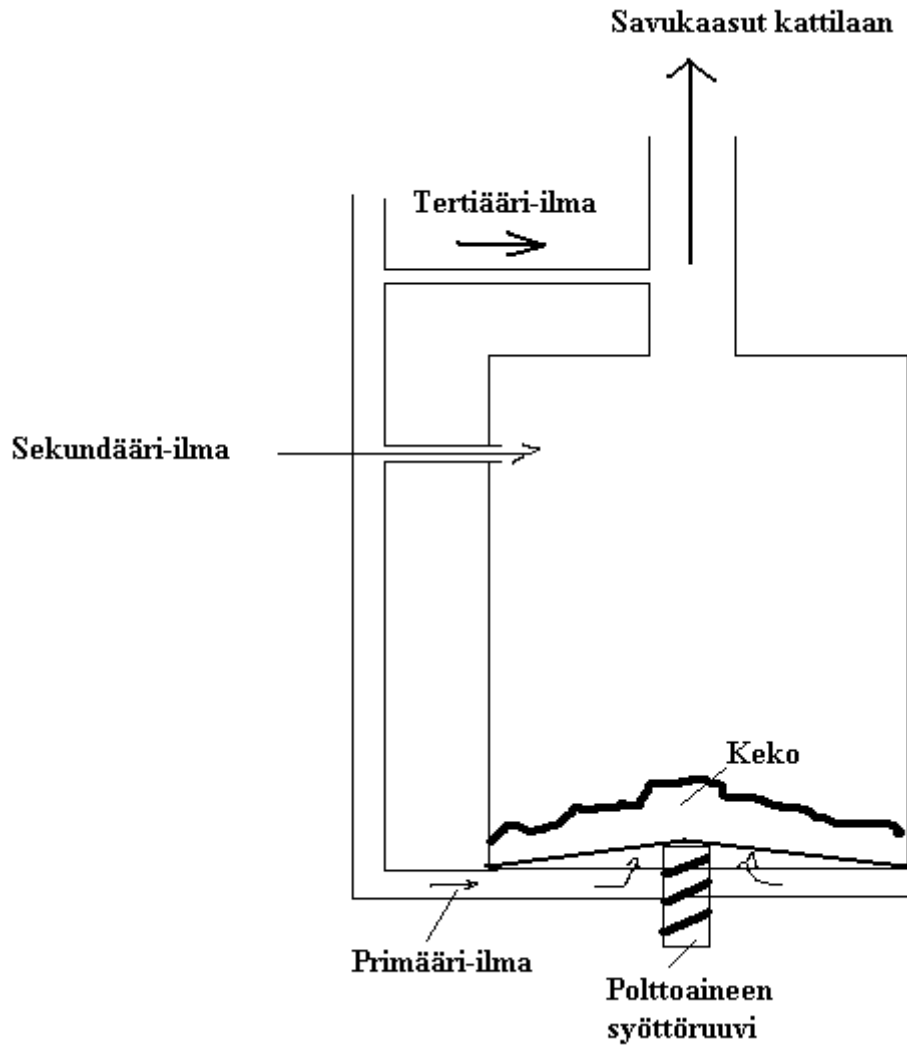
3.2.2 Kiinteä viisto- tai porrasarina

Polttoaine saadaan kulkemaan painovoiman avulla, kun arina sijoitetaan 30°-50° kulmaan. Viistoarinan jälkeen on usein jalka-arinaksi nimetty tasoarina, jolla saadaan polttoaineen loppuun palaminen varmistettua. Viistoarina on ollut yleinen teollisuudessa puun ja puujätteen poltossa. Porrasarinalla tarkoitetaan viistoarinaa, jonka arinaraudat on sijoitettu porrasmaisesti toistensa päälle, tällöin ilma johdetaan arinarautojen välistä vaakasuoraan suuntaan. Viistoarinan polttoaineelle ei tarvitse asettaa laatuvaatimuksia

ja kosteuden yläraja on noin 60%. Viistoarina voidaan myös mekanisoida, jolloin polttoaine liikkuu arinassa arinarautojen tärinän tai liikkeen vaikutuksesta. Ahosen (1978, 110) mukaan mekaanista viistoarinaa käytetäänkin lähinnä huonohkolaatuisten polttoainneiden polttamiseen, kuten esimerkiksi kostean puun tai turpeen. (Huhtinen 2000, 150 - 151)

3.2.3 Alasyöttöarina

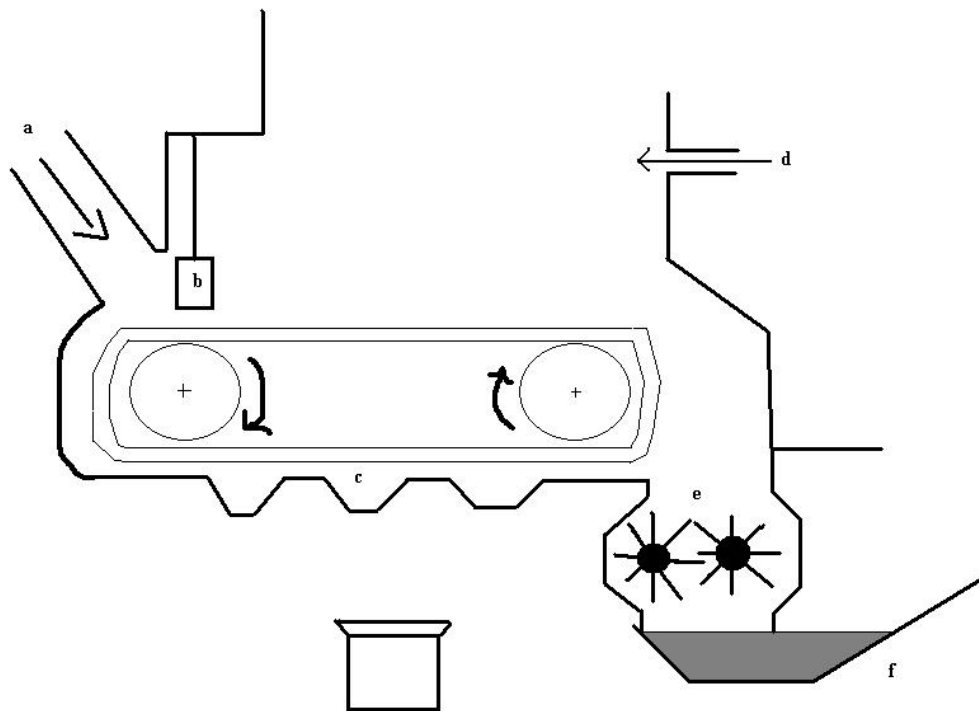
Kuten alasyöttöarinan nimikin kertoo, polttoaineen syöttö tapahtuu arinan pohjasta käsin. Polttoaine siirtyy tulipesän keskelle ruuvikuljettimen avulla. Palamisilma on esilämmitettyä ja se tuodaan arinaan arinan alta rengasmaisia kanavia pitkin. Tätä kautta tuotua ilmaa sanotaan primääri-ilmaksi. Sekundääri-ilma voidaan tuoda kattilaan tangentiaalisesti, jolloin polttoa voidaan kutsua myös syklonipoltoksi. Seuraavana on havainnollistava periaatekuva (kuvio 14) alasyöttöarinasta. (Huhtinen 2000, 147)



Kuvio 14: Alasyöttöarinan periaatekuva

3.2.4 Mekaaninen ketjuarina

Mekaaninen ketjuarina on liikkuva tasoarina. Ketjuarina on alun perin kehitetty kivihii-
len polttoa varten, mutta myöhemmin sen käyttö on laajentunut lähes kaikkiin kiinteisiin
polttoaineisiin. Mekaaninen ketjuarina on sarja tasoarinoita, jotka liitetty toisiinsa
päättymättömäksi matoksi, joka liikkuu kahden telan välillä. Matto liikkuu hitaasti noin
3-30m/h nopeudella.



Kuvio 15: Mekaanisen ketjuarinan periaatekuva.

Kuvion 15 merkkien selitykset:

a = polttoaineensyöttö

b = kerroskorkeuden säätö

c = ilmakammio

d = sekundääri-ilma

e = kuonamurskain

f = kuonan sammutin

Ketjuarinan polttotehon säätö tapahtuu joko polttoainekerroksen korkeutta säätämällä, arinan nopeutta säätämällä tai palamisilman määräsäädöllä. (Huhtinen 2000, 150)

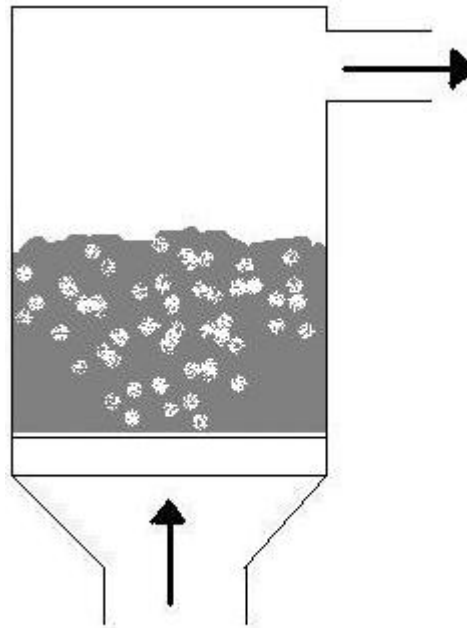
3.2.5 Valssiarina

Valssiarina muodostuu sylinterinmuotoisista pyörivistä valsseista. Primääri-ilma tuodaan valssiin, josta se siirtyy arinarautojen lävitse polttoaineeseen. Valssien avulla saa-

daan polttoaine sekoittumaan tehokkaasti. Tehokasta sekoitusta tarvitaan erityisesti poltettaessa erityisen huonolaatuista ja heterogeenistä polttoainetta, kuten yhdyskuntajätettä. (Huhtinen 2000, 151)

3.3 Leijukerros poltto

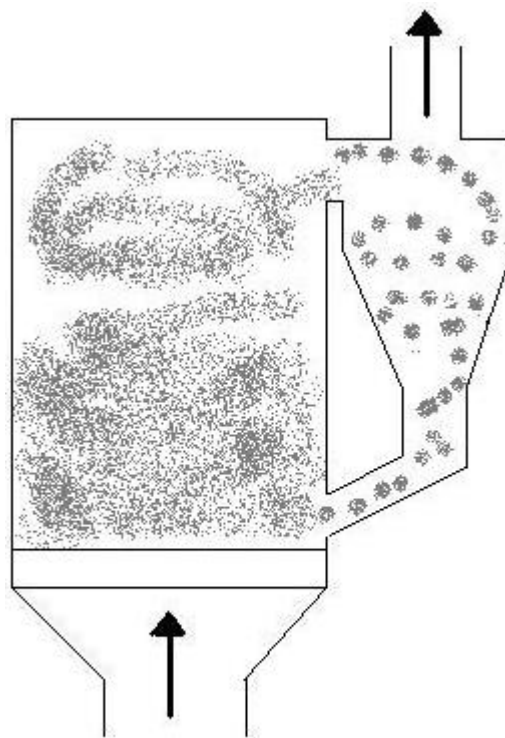
Leijukerros poltto mahdollistaa eri polttoaineiden polton samassa kattilassa hyvällä palamishyötysuhteella, vaikka polttoaineet olisivat huonolaatuisia. Leijukerros polton palamislämpötilat ovat alhaiset, jolloin myös typenoksidipäästöt jäävät pieniksi. Syöttämällä kalkkia suoraan tulipesään, saadaan savukaasujen rikinpuhdistus suoritettua edullisesti. Leijutustapoja on kaksi, leijupeti ja kiertopeti. Mikäli ilman leijutusnopeus on suurempi kuin hiekkapartikkelien lentoonlähtönopeus, lähtevät hiukkaset kulkemaan leijutusväliaineen mukana. Tätä ominaisuutta hyödynnetään kiertopetipolttoratkaisussa. Leijupetikattilan hiekan raekoko on 1mm-3mm ja leijutus nopeus 0,7m/s–2m/s. Hiekkakerroksen korkeus on alle metri. Kiertopetikattiloissa käytetään hienojakoisempaa petimateriaalia ja kiertopetikattiloiden leijutusnopeus on 3m/s – 10m/s ja hiekan raekoko on 0,1mm - 0,5mm. (Huhtinen 2000, 153 - 159)



Leijupeti

Kuvio 16: Periaatekuva leijupetistä

Yllä olevasta kuvassa ilma syötetään alhaalta leijukerrokseen sopivalla nopeudella, jolloin petikerros alkaa leijua, mutta ei lähde lentoon savukaasujen mukana.



Kiertopeti

Kuvio 17: Periaatekuva Kiertopetistä

Kiertopetin pintaa ei ole havaittavissa ja petimateriaali kiertää leijutuskaasun mukana. Savukaasujen mukana kulkevat hiukkaset ja mahdollinen polttoaine erotetaan syklonis-
sa savukaasuista ja palautetaan takaisin tulipesään. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kur-
ki-Suonio 2002, 492)

Lähteet

Ahonen, Veikko 1978. Höyrytekniikka II, Otakustantamo

Bohl, Willi 1985, Strömungsmaschinen, Vogel-Buchverlag

Çengel, Yunus 1998, Heat Transfer: A practical approach. The McGraw-Hill Companies Inc.

Çengel, Yunus, Boles, Michael 2002, Thermodynamics: An engineer approach, fourth edition, The McGraw-Hill Companies Inc.

Elovaara, Jarmo. & Laiho, Yrjö, 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet, Otatieto

Huhtinen, Markku, Kettunen, Arto, Nurminen, Pasi, Pakkanen, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab

Kaasuturbiinivoimalaitos 2009 [online] [viitattu 10.09.2009]
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Kaasuturbiinivoimalaitos>

Lahtinen, Onni 2007. Membraaniseinän ohituspiirustusten ohjeistus. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu Kone- ja tuotantotekniikka. Tampere.

Raiko, Risto, Saastamoinen, Jaakko, Hupa, Mikko, Kurki-Suonio, Ilmari 2002, Poltto ja Palaminen, Teknillistieteelliset akatemi

Voimalaitos 2009. [online] [viitattu 08.09.2009].
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Voimalaitos>

Vuorinen, Asko 2009. Energian käyttäjän käsikirja, Espoo: Ekoenergo Oy

Vuosaaren voimalaitosten yleisesittely diasarja 2009. Helsingin Energia

Wessman Kari Tampereen sähkölaitos Haastattelu: 28.8.2009 Tampere

Liitteet

paperiversio oppimateriaaliksi tarkoitettusta power point diaesityksestä



Höyrykattila ja sen toiminta voimalaitoksen osana

Jere Timonen



Diasarjan rakenne

Aihe on jaettu kolmeen osaan

Osa 1 Voimalaitosprosessi

Osa 2 Höyrykattilat ja vesi-höyrypiirin
komponentit

Osa 3 Polttolaitteet



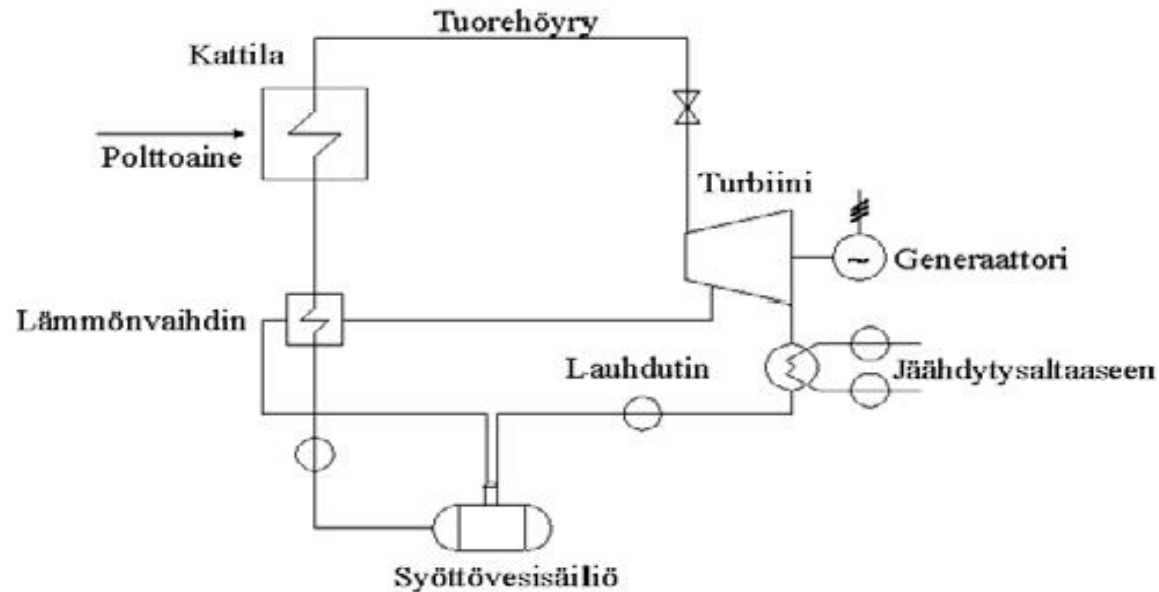
Osa 1 Voimalaitosprosessi

- Höyrykattilan toimintaperiaate
- Voimalaitoksista
- Kaasulaitoksen toimintaperiaate
- Primäärienergian lähteistä

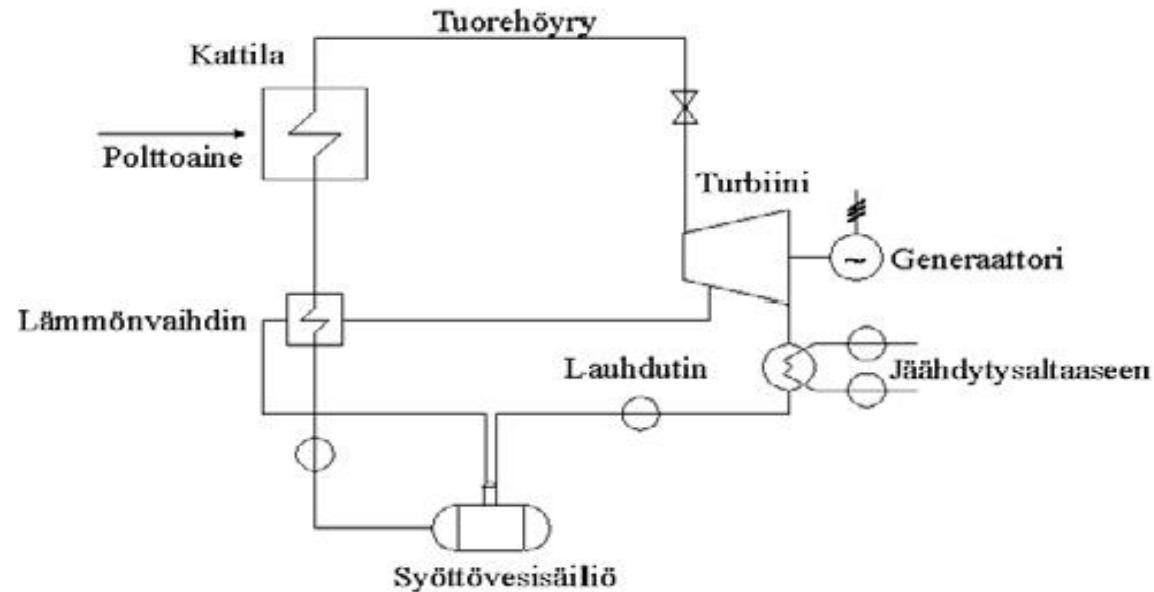


Voimalaitosten toimintaperiaate

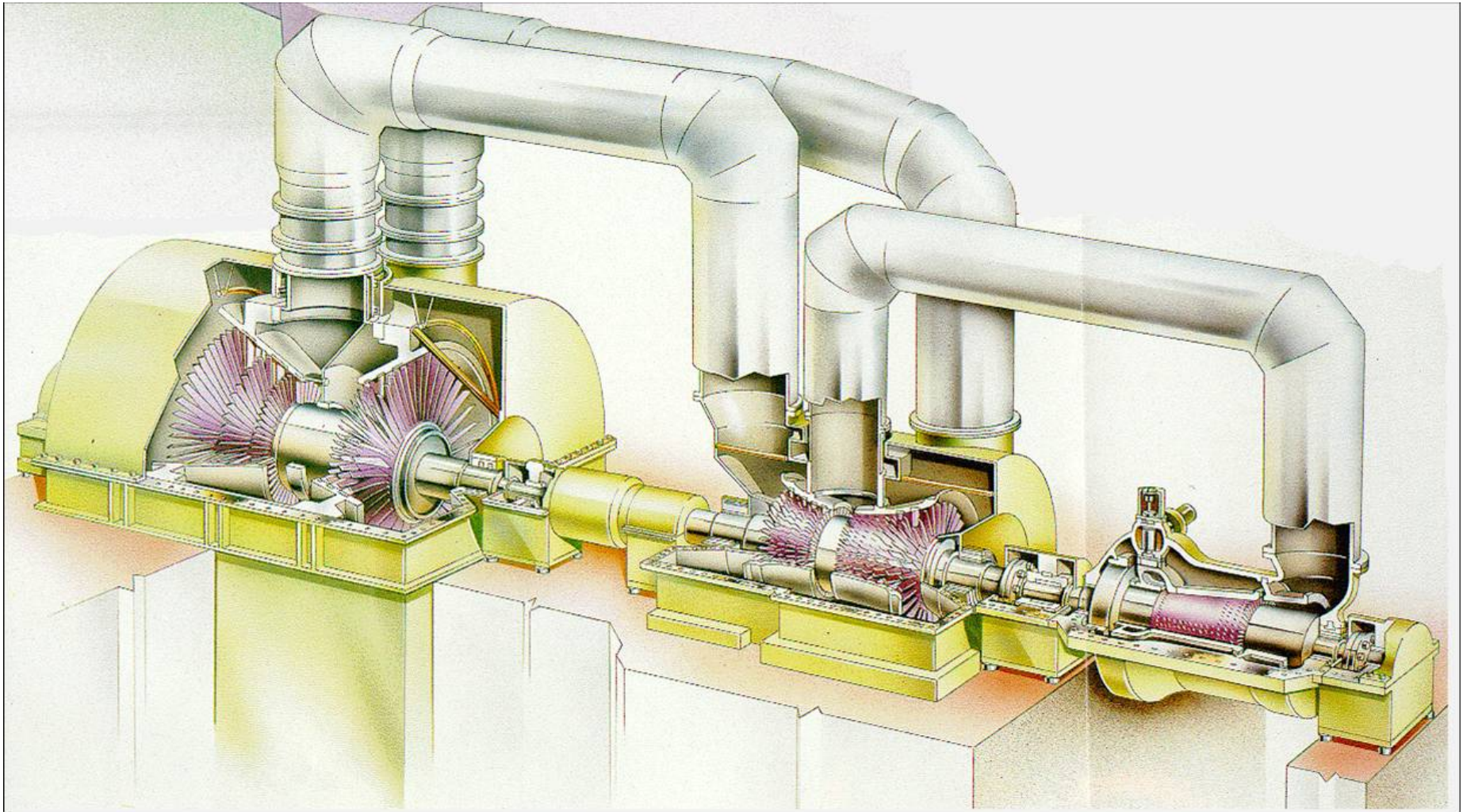
- Voimalaitoksella käsitetään yleensä teollisuuden mittakaavassa olevaa sähkön tuotantolaitosta.
- Yleisin konstruktio on, että väliainetta kuumennetaan ja paineistetaan, jonka jälkeen väliaine ajetaan turbiiniin.
- Turbiini pyörii ja pyörittää generaattoria, joka luo sähkövirran. Yleisin voimalaitoksen konstruktio on höyrykattilavoimalaitos.



- Yllä olevan kuvion mukaisesti pumpuilla paineistettu syöttövesi syötetään höyrykattilaan. Kattilassa höyrystetty ja tulistettu korkeapaineinen vesihöyry johdetaan turbiiniin. Turbiinissa vesihöyry pääsee paisumaan ja jäähtymään lauhduttimessa vallitsevaan paineeseen ja lämpötilaan...



- ...ja näin osa höyryn lämpöenergiasta voidaan muuntaa turbiinia pyörittäväksi mekaaniseksi energiaksi. Turbiini pyörittää generaattoria, joka muuntaa pyörimisenergian sähköenergiaksi. Lauhdutin muuttaa vesihöyryn takaisin vedeksi, joka pumpataan takaisin syöttövesisäiliöön.



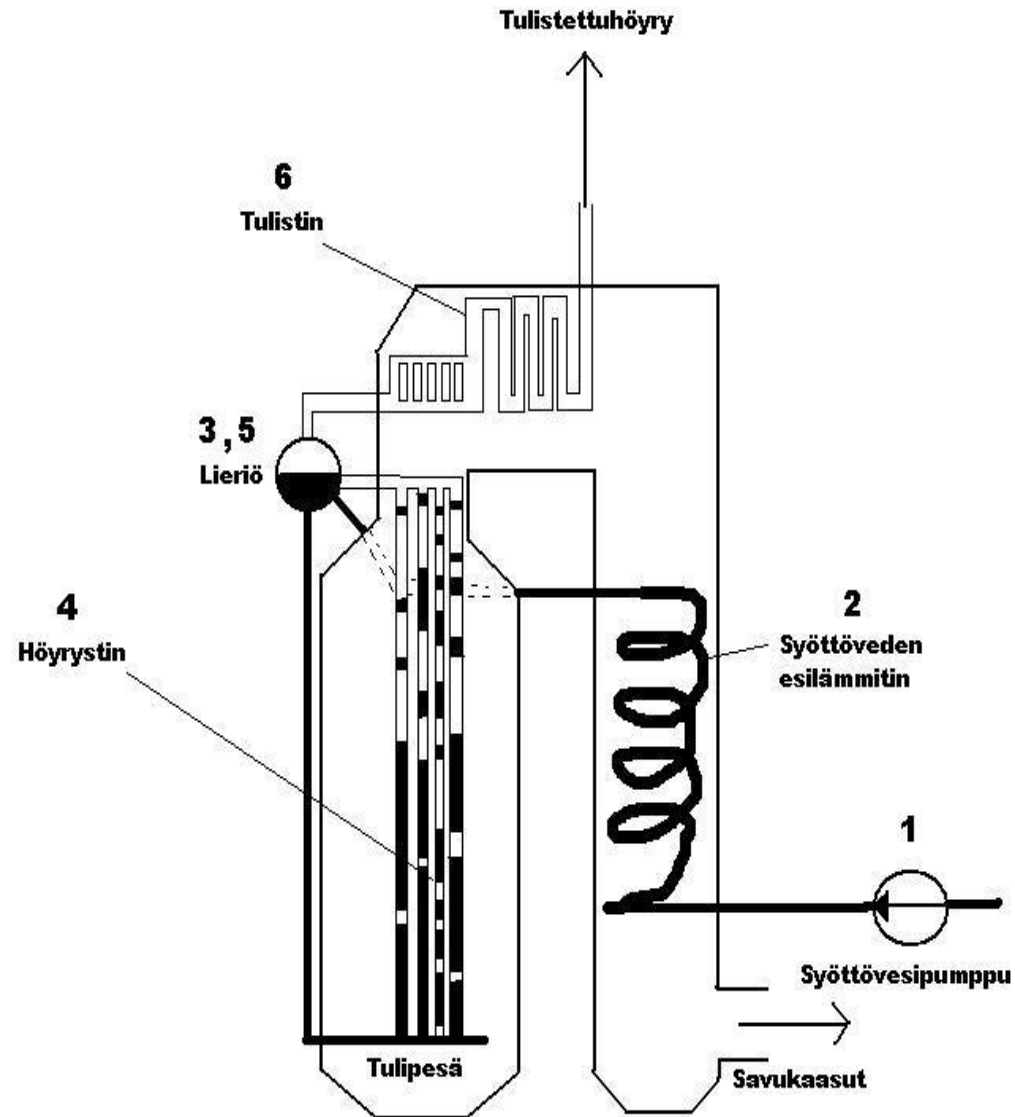
- Helsingin Vuosaaren B-laitoksen höyryturbiini.



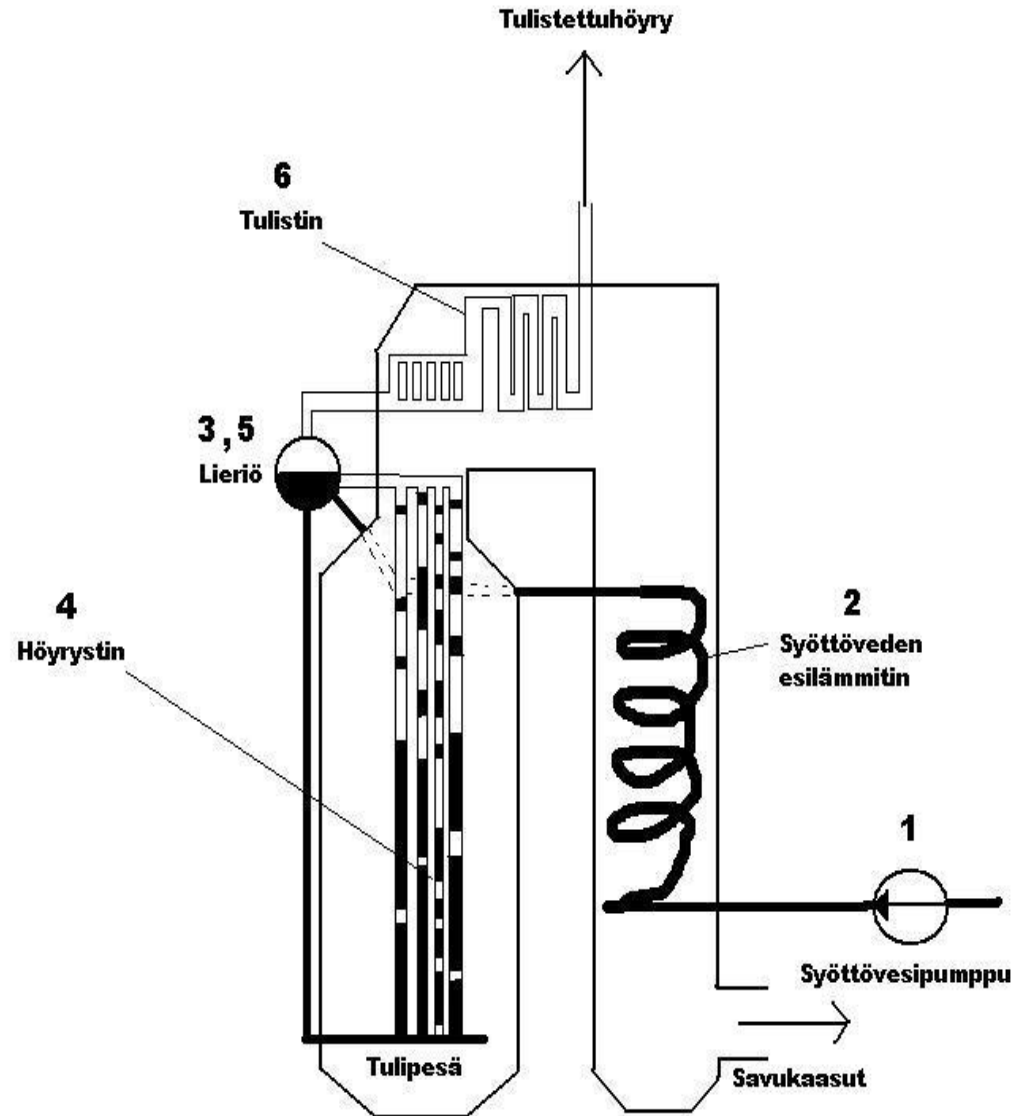
Höyrykattilan toimintaperiaate

- Höyrykattilan perusajatus on muuttaa kattilaan syötetty vesi tulistetuksi höyryksi. Nykyaikainen höyrykattila on peruseriaatteeltaan eräänlainen putki, jossa vesi käy läpi erivaiheita. Esimerkkinä voidaan käyttää luonnonkiertokattilaa.

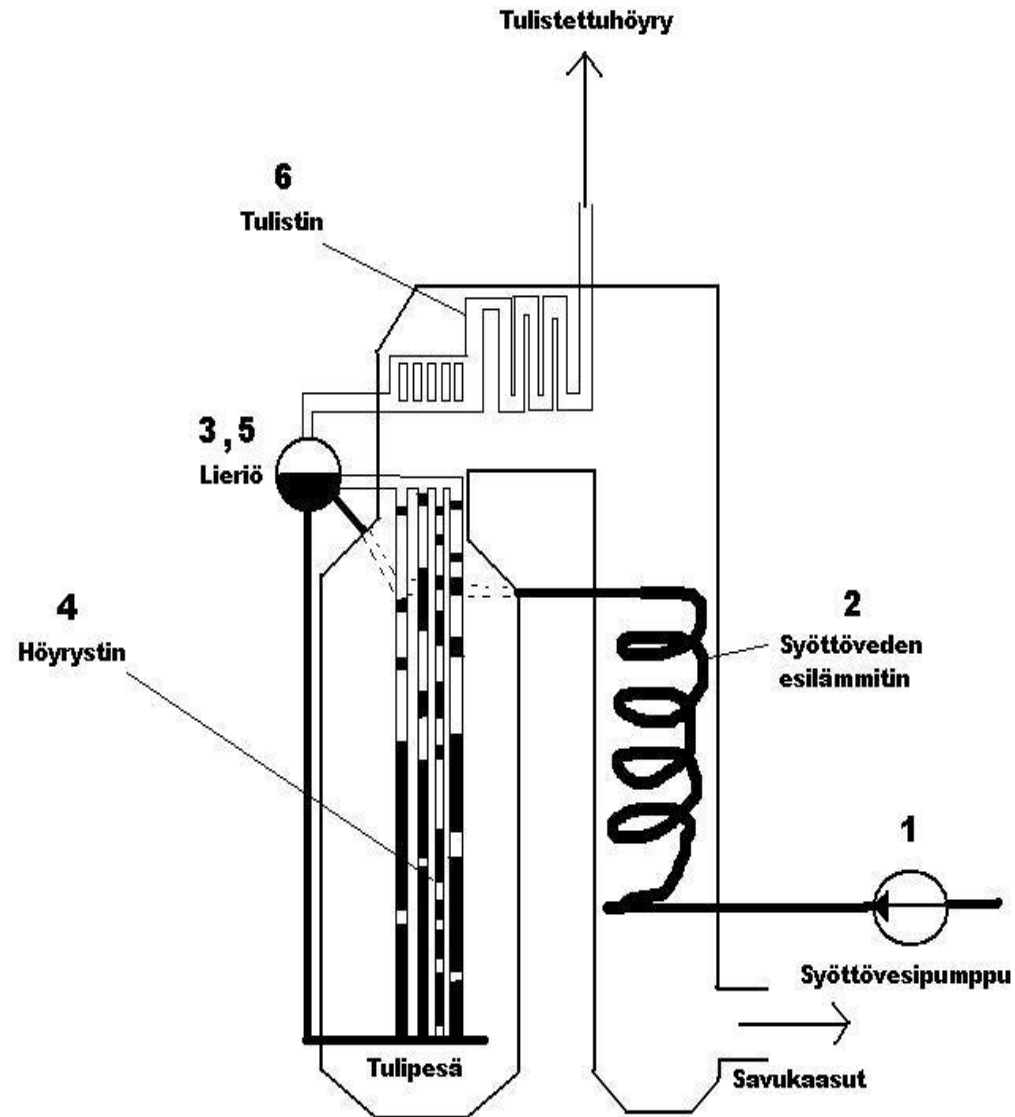
- 1) Ensin syöttöveden paine korotetaan kattilassa vallitsevaan paineeseen syöttövesipumpuilla.
- 2) Syöttövettä lämmitetään syöttöveden esilämmittimessä (Economizer, EKO) ennen kuin se pumpataan lieriöön. Vesi lämmitetään lähelle kiehumispistettä savukaasuilla.



- 3) Esilämmitetty vesi johdetaan lieriöön, jonka tehtävänä on erotella vesi ja höyry. Erottelu tapahtuu veden ja höyryn tiheyseron avulla. Lieriöstä vesi valuu painovoiman avulla laskuputkia pitkin höyrystimeen.
- 4) Höyrystimessä lämpö siirtyy tulipesästä veteen ja se höyrystyy osittain. Lämpötila ei nouse kovinkaan paljon, sillä valtaosa energiasta menee veden höyrystämiseen. Kiehuva vesi nousee takaisin putkia ylös lieriöön, jossa höyrystynyt höyry erottuu vedestä.



- 5) Lieriössä eroteltu vesi jatkaa kiertoa takaisin höyrystimeen ja kehittynyt höyry johdetaan tulistimille. Höyry on tässä vaiheessa faasitasapainossa veden kanssa eli se on kylläistä höyryä.
- 6) Tulistimissa höyryn lämpötilaa nostetaan korottamatta sen painetta, näin höyrystä saadaan enemmän sähköenergiaa, kuin vastaavan paineisesta kylläisestä höyrystä.





Vastapainevoimalaitos

- Vastapainevoimalaitoksen turbiinin läpi virrannut höyry johdetaan kulutuskohteisiinsa ja yleensä vain osa palautetaan lauhteena takaisin voimalaitokseen.
- Teollisuuden vastapainevoimalaitokset mitoitetaan höyryntarpeen mukaan ja sähkö on sivutuote.
- Vastapainevoimalaitoksissa käytetään yleensä polttoaineena teollisuudessa syntyneitä jätteitä, kuten mustalipeää



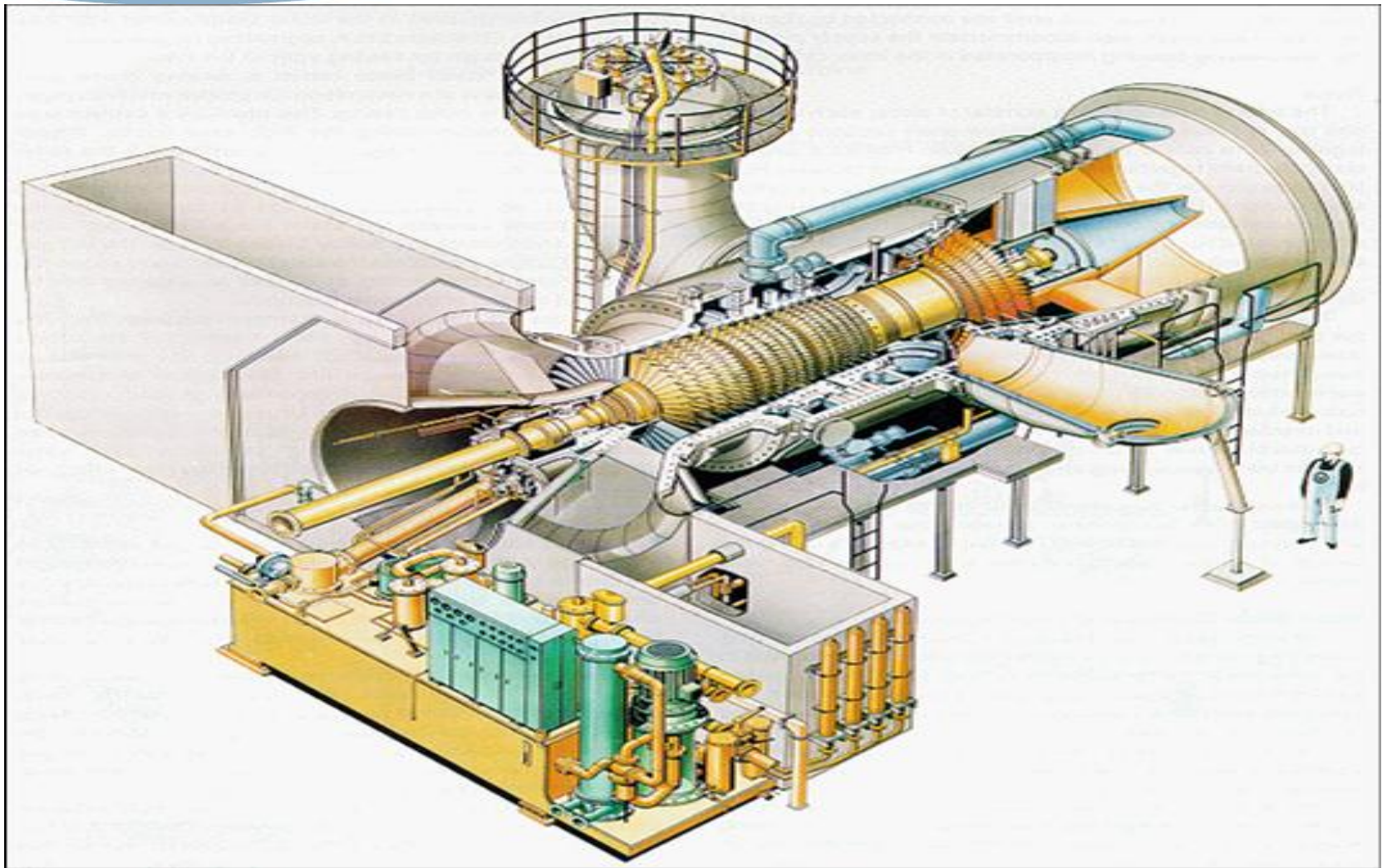
Kaasuturbiinivoimalaitos

- Kaasuturbiinivoimalaitoksessa turbiinia pyöritetään kuumilla ja korkeapaineisilla savukaasuilla.
- Kaasuturbiinissa polttoaine ruiskutetaan korkealla paineella akselin ympärille ja moottorin keskellä oleviin polttokammioihin.



Kaasuturbiinivoimalaitos

- Kompressori puristaa ilmaa noin 10–20 bar:n paineeseen ja pumppaa sen polttokammioihin, jolloin polttoaine palaa korkeassa paineessa ja pakokaasut purkautuvat taaksepäin turbiinin läpi. Turbiini taas antaa voimaa kompressorille.
- Suurin ero kaasuturbiinin ja höyrykattilavoimalaitoksessa käytettävään höyryturbiiniin näkyy palamisessa. Höyryturbiinissa palaminen tapahtuu kattilassa ja itse turbiini pyörii välikaasun eli vesihöyryn avulla.



Helsingin Vuosaaren B-laitoksen kaasuturbiini



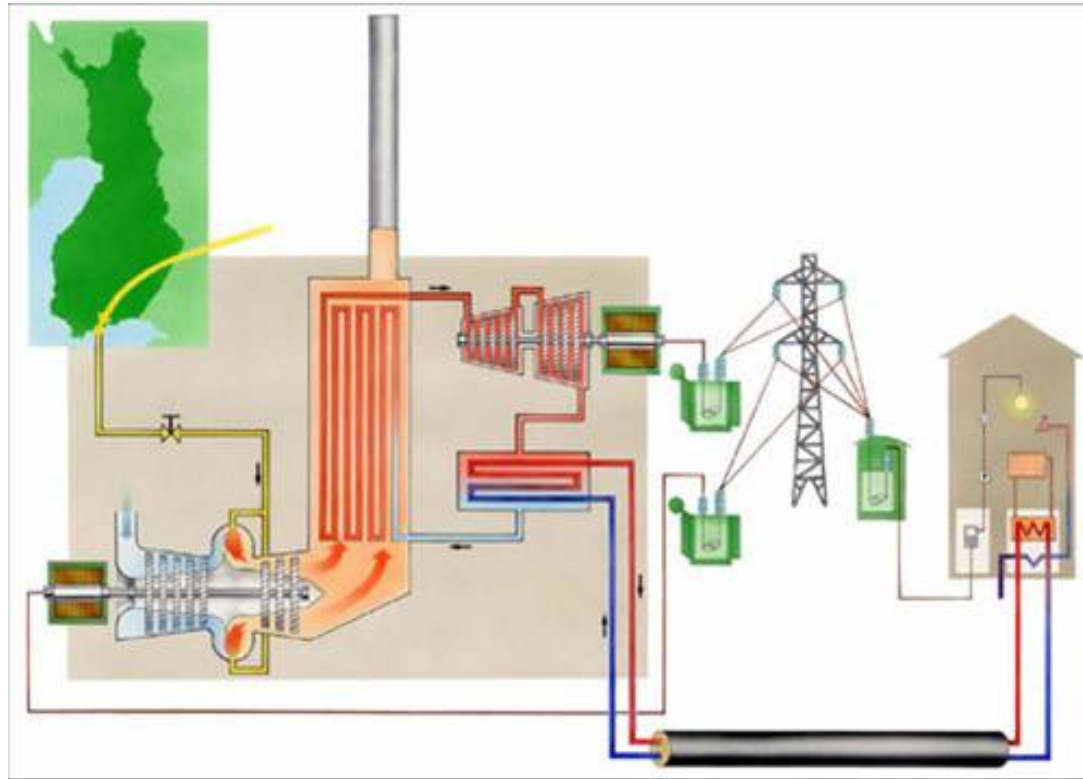
Kaasuturbiinivoimalaitos

- Polttokammioissa vapautettavasta energiasta poistuu savukaasujen mukana 65 % savukaasuhäviöinä. Vapautuva energia käytetään turbiinini kanssa samalle akselille sijoitetun kompressorin ja generaattorin pyörittämiseen, jonka takia sähköntuotannon hyötysuhde on enimmilläänkin 35 %.



Kaasuturbiinin etuja

- Yhdistämällä kaasuturbiinilaitos lämmöntalteenottokattilaan saadaan kokonaishyötysuhde nousemaan jopa 90%:in
- Kaasuturbiini voidaan käynnistää ja pysäyttää lyhyessä ajassa ja tämän takia sillä voidaan säätää nopeasti voimalaitoksen tuotantoa vastaamaan sähköntarvetta.
- Kombivoimalaitoksella sähköntuotannon hyötysuhde nousee jo 60 %:in. Kokonaishyötysuhde vastapainetuotannossa nousee 90 %:in



- Kombilaitoksen toimintaperiaate. Vasemmalla alhaalla olevasta kaasuturbiinista saadaan suoraan sähköä. Höyryturbiinista tulevat kuumat savukaasut käytetään höyrystämään höyryä höyryturbiinille, josta taas saadaan lisää sähköä. Höyryturbiinin lauhdelämmöt voidaan taasen käyttää kaukolämpönä.



Voimalaitosten energialähteet Suomessa

- Fossiiliset energialähteet muodistivat noin 55% Suomen energiakulutuksesta vuonna 2007. Edelleen Suomen tärkeimpänä energialähteenä on öljy.



Voimalaitosten energialähteet Suomessa

Öljyn jälkeen seuraavana tulevat:

- bioenergia 20%
- ydinvoima 17%
- kivihiili 13%

Maailman primääri energianlähteet

Vuosi		1990	1995	2000	2005	2007	Osuus
		PWh	PWh	PWh	PWh	PWh	%
Fossiiliset energianlähteet							
	Öljy	36,6	37,8	41,1	44,6	46,0	31 %
	Kivihiili	26,0	26,5	27,5	34,1	37,0	25 %
	Maakaasu	20,9	22,5	25,5	28,8	30,7	21 %
	Yhteensä	83,4	86,9	94,1	107,5	113,6	78 %
	Osuus	79 %	77 %	77 %	78 %	78 %	
Ei Fossiiliset energianlähteet							
	Vesivoima	5,8	6,6	7,1	8,8	8,2	6 %
	Ydinvoima	6,1	7,0	7,8	8,4	8,3	6 %
	Tuulivoima			0,1	0,3	0,6	0,4 %
	Bioenergia	10,8	11,9	13,0	14,0	15,5	11 %
	Yhteensä	22,6	25,6	28,0	30,5	32,6	22 %
	Osuus	21 %	23 %	23 %	22 %	22 %	
Yhteensä		106,0	112,5	122,1	137,9	146,2	100 %
	Indeksi	100 %	106 %	115 %	13 %	138 %	

Maailmalla käytetään edelleen paljon fossiilisia polttoaineita



Osa 2 Höyrykattilat ja vesi-höyrypiirin komponentit

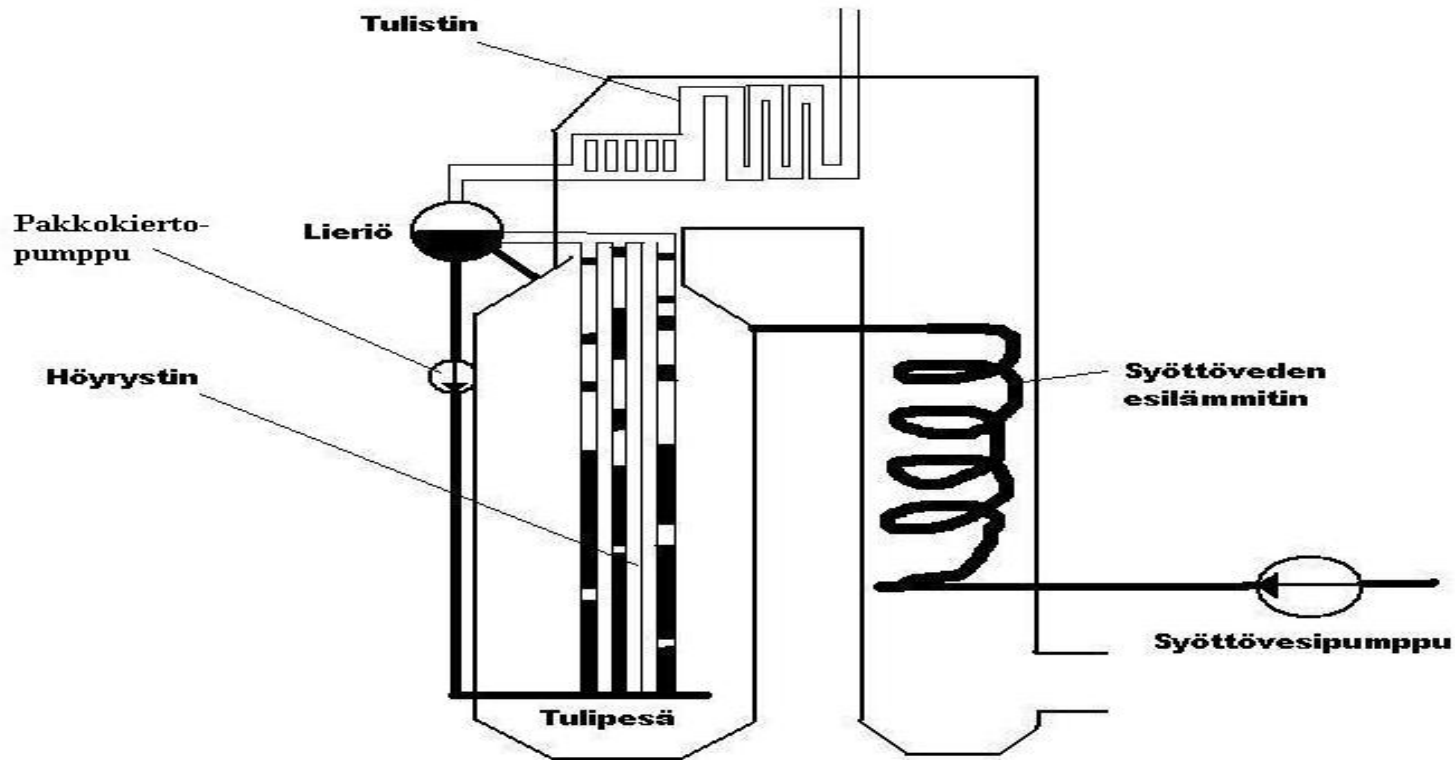
- Kattilat (Luonnonkierto-, pakkokierto-, benson-, sulzerkattila)
- Tulistimet (Säteily-, konvektio-, yhdistelmätulistin)
- Tuloveden esilämmitin EKO
- Tuloilman esilämmitin LUVO



Luonnonkiertokattila

- Luonnonkiertokattilassa veden ja vesihöyryn kierto lieriöstä höyrystimeen ja takaisin tapahtuu veden ja vesihöyryn tiheyseron avulla
- Höyrystinputkistossa osa vedestä muuttuu höyryksi tulipesästä siirtyvän lämmön vuoksi, jolloin seos nousee takaisin lieriöön

Pakkokierto-kattila



- Pakkokierto-kattilassa vesi kiertää höyrystimessä pumpun avulla



Pakkokiertoattila

- Pakkokiertoattilan lieriö on samanlainen kuin luonnonkiertoattilan.
- Syklonilla varustettu lieriö erottelee veden ja vesihöyryn, jonka jälkeen vesi palautuu kiertoan ja vesihöyry jatkaa matkaansa tulistimille
- Pakkokierron etuna on sen soveltuvuus hieman korkeammille paineille kuin luonnonkiertoattila
- Höyrystinputkisto voidaan myös rakentaa lähes miten päin tahansa tarpeen vaatiessa, lisäksi on mahdollista mitoittaa höyrystinputkisto suuremmille painehäviöille kuin luonnonkiertoattilassa



Benson-kattila

- Benson-kattilan suurin ero pakkokierto- ja luonnonkiertokattilaan verrattuna on lieriön puuttuminen kokonaan
- Vesi kulkee kattilan vesi/höyrypiirin läpi kerralla
- Benson-kattilassa syöttövesipumpulla pakotetaan höyrystettävä vesi kattilan putkiston vaiheiden läpi ilman kiertoa
- Benson-kattila on toiselta nimeltään läpivirtauskattila
- Benson-kattila vaatii korkealuokkaisen vedenkäsittelyn, mikä johtuu lieriön puuttumisesta, sillä ilman lieriötä ulospuhallus, jolla poistetaan kattilakiveä aiheuttavia suoloja sekä muita epäpuhtauksia, ei ole mahdollista

Benson-kattila

Oikealla yksinkertaistettu Benson-kattilan kaavio

a = esilämmitysosa

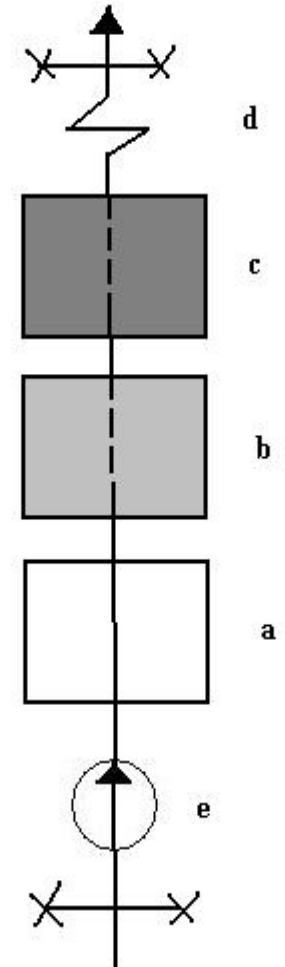
b = höyrystys alkaa

c = höyrystys osa

d = tulistin

e = syöttövesipumppu

X – X = kattilan rajat





Benson-kattila

Benson-kattilan tärkeimmät ominaispiirteet:

- kattilan halpa hinta
- vaatii korkealuokkaisen vedenkäsittelyn
- vaatii hyvän automatiikan
- kattila tarvitsee suuren pumpputyön
- yksinkertainen ja varmistettu sekä rakenne että toiminta
- voidaan ajaa ylikriittisillä höyrynpaineilla



Sulzer-kattila

- Sulzer-kattilassa vesi/höyrypiirin epäpuhtauksia saadaan poistettua niin kutsutulla suolanpoistopullolla
- Sulzer-kattilan suolanpoistopulloa ei voida käyttää ylikriittisillä paineilla, koska silloin vesifaasia ei synny ollenkaan
- Sen käyttö alikriittisillä arvoilla on suuri etu, koska näin saadaan suojattua tulistinta epäpuhtauksilta
- Sulzer-kattila ei ole saavuttanut suurta käyttöä teollisuudessa, mutta suurvoimalaitoksissa se on osoittautunut varmaksi höyryn tuottajaksi

Sulzer-kattila

Sulzer-kattilan yksinkertaistettu toimintaperiaate

a = höyrystinosa

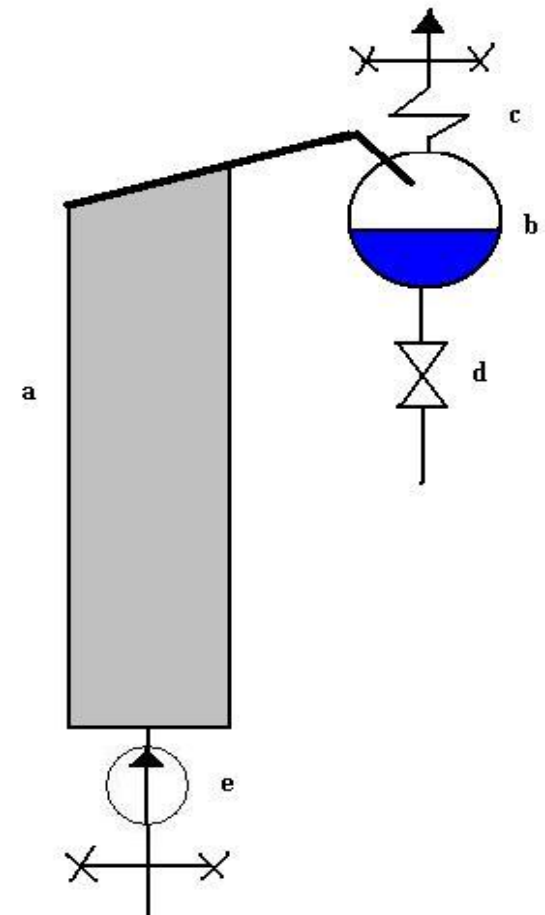
b = suolanpoistopullo

c = tulistin

d = väkevöityneen veden poisto

e = syöttövesipumppu

X – X = kattilan rajat





Sulzer-kattila

Sulzer-kattilan tärkeimmät ominaisuudet ovat:

- yksinkertainen rakenne ja toiminta
- seuraa kuormitusvaihteluita nopeasti ja sopii suurillekin tehoille
- ei läheskään yhtä arka syöttöveden epäpuhtauksille kuin Benson-kattila
- vaatii suuren omakäyttötehon sekä hyvän automatiikan
- vaatii korkeatasoisen vedenkäsittelyn
- pieniä kuormia on hankala ajaa



Tulistimet

- Tulistin on höyrykattilakomponentti, jonka tarkoitus on kuumentaa höyrystimestä tuleva höyrystetty vesihöyry energialähteen lämpöenergialla höyrystymislämpötilaa korkeampaan lämpötilaan
- Kattilan tulistin koostuu ryhmästä erilaisia tulistimia ja tulistimet koostuvat useista putkielementeistä, jotka lähtevät jakokammioista. Periaatteessa voidaan sanoa, että tulistinyksikkö on nippu teräsputkia, jotka roikkuvat tulipesän katosta
- Mitä kuumempaa höyry saadaan johdettua höyryturbiiniin, sitä suurempi liike-energia
- Materiaaliteknisistä syistä johtuen tulistuslämpötilat ovat suurimmillaan noin 550 °C:ssa



Tulistimet

- Tulistimet sijoitetaan tulipesän yläosaan, jossa savukaasut ovat riittävän kuumia tulistamaan höyryn haluttuun lämpötilaan
- Tulistimien kuumennus savukaasuilla on kannattavaa myös sen takia, että putket eivät pääse ylikuumenemaan läheskään yhtä helposti kuin säteilylämmönsiirtoa käytettäessä



Tulistimet

Höyryltä vaaditaan tasalämpöisyyttä koska:

- jos lämpötila laskee, sähköntuotanto laskee
- jos lämpötila nousee, saattavat tulistinputket ylikuumentua

Tavallisesti lämpötila saa vaihdella noin ± 5 °C viimeisen tulistusvaiheen jälkeen. Tulistuslämpötilaa voidaan säätää usealla tavalla, esimerkiksi ruiskuttamalla vettä tulistetun höyryn joukkoon tulistusvaiheiden välissä tai sekoittamalla kolmitieventtiilin avulla tulistetun höyryn joukkoon viileämpää höyryä



Tulistimet



Teräksisiä tulistinputkia



Tulistimet

Tulistimet voidaan jakaa sijoitustapansa mukaan seuraavasti:

- säteilytulistin
- verhotulistin
- konvektiotulistin
- yhdistelmätulistin



Säteilytulistin

- Säteilytulistin on lähes poikkeuksetta seinätulistin ja se sijaitsee tulipesän yläosassa
- Säteilytulistimissa käytetään suuria höyryvirtausnopeuksia, jotta lämmönsiirtoputkisto ei pääse ylikuumenemaan
- Putkiston jäähditys on tärkeää, koska lämpö siirtyy säteilynä ja sitä saattaa virrata tulistimeen hyvinkin nopeasti



Konvektiotulistin

- Yleisin höyrykattiloissa käytetty tulistin on konvektio- eli kosketustulistin
- Konvektio tarkoittaa aineen mukana kulkemista eli lämpö kulkee savukaasujen mukana
- Konvektiotulistimia on valmistettu kahdenlaisia, pysty- ja vaakaputkitulistimia
- Vaakaputkitulistimet on suunniteltu vesitettäviksi ja niitä käytetään varsinkin suurten kattiloiden primääriosissa



Yhdistelmätulistin

- Yhdistelmätulistimella tarkoitetaan tulistinta, josta osa toimii säteilytulistimena ja osa konvektiotulistimena
- Tulistin on jaettu siten, että pidemmät tulistimenputket ovat suoraan kosketuksessa liekkien kanssa, jolloin lämpö siirtyy enimmäkseen säteilemällä, kun taas lyhyemmät tulistimenputket koskevat ainoastaan savukaasuihin, jolloin lämpö siirtyy konvektion avulla

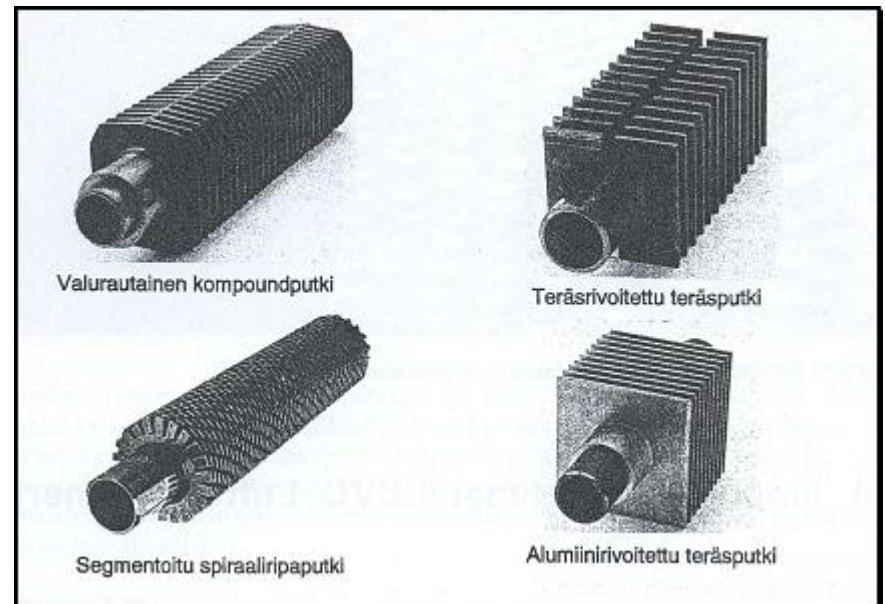


Tuloveden esilämmitin (EKO)

- EKO on eli syöttöveden esilämmittimen avulla lämmitetään vettä lähemmäksi höyrystyslämpötilaa
- Tavanomainen syöttöveden lämpötila keskikokoisissa ja pienissä kattiloissa on noin 100-200 °C
- Lämmön lähteenä käytetään savukaasuja
- EKO parantaa laitoksen hyötysuhdetta ottamalla savukaasuissa jäljellä olevaa lämpöenergiaa hyötykäyttöön

Tuloveden esilämmitin (EKO)

- Rivoituksella lisätään pinta-alaa, jonka kautta lämpö pääsee siirtymään savukaasuista tuloveteen
- Segmentoitu spiraaliripaputki on nykyisin yleisin malli





Tuloilman esilämmitin (LUVO)

- Ilmanesilämmittimellä, eli palamisilmanesilämmittimellä kuivataan polttoaineesta kosteutta, tehostetaan polttoaineen syttymistä sekä nopeutetaan palamista
- Palamisilman esilämmitys on erityisen tärkeää, kun poltetaan esimerkiksi kivihiiltä, turvetta tai muita heterogeenisiä polttoaineita
- Palamisilman esilämmityksen merkitys korostuu kosteuden ja heterogeenisyyden kasvaessa
- LUVO sijoitetaan viimeiseksi lämmönsiirtimeksi kattilassa



Osa 3 Polttolaitteet

- Poltinpoltto:
 - öljypoltto
 - kaasunpoltto
 - kiinteänaineen poltinpoltto
- Leijukerrosoltto
- Arinapoltto
 - Kiinteä tasoarina
 - Kiinteä viisto- tai porrasarina
 - Alasyöttöarina
 - Mekaaninen ketjuarina
 - Valssiarina



Polttinpoltto

- Polttolaitteen ajatuksena on saada polttoaine palamaan, jolloin polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia saadaan vapautettua lämmöksi
- Palamisen hyötysuhteen täytyy olla hyvä eli polttoaineen pitää palaa mahdollisimman täydellisesti niin, että ilmaylimäärä jää mahdollisimman vähäiseksi
- Palamisen täytyy olla tasaista ja palamista tulee voida säätää tarpeen mukaan



Poltinpoltto

- Eri polttolaitteita on kehitetty erilaisiin tarkoituksiin, näitä ovat:
 - nestemäisille, kaasumaisille ja kiinteästä polttoaineesta valmistetulle pölylle soveltuvat erilaiset polttimet
 - kiinteille polttoaineille soveltuvat erityyppiset arinat
 - kiinteille polttoaineille soveltuvat erityyppiset leijukerrosratkaisut



Poltinpoltto

- Tulipesällä tarkoitetaan kattilan liekkiä sekä liekkejä ympäröivää kattilan osaa. Tulipesän seinämissä on tulipesää jäähdyttävä putkisto, jonne osa tulipesän tuottamasta lämmöstä siirtyy. Loput tulipesän tuottamasta lämmöstä siirtyy kuumien savukaasujen mukana kattilan muihin osiin, useimmiten ensimmäiseksi tulistimiin
- Polttolaitteiden ja tulipesän hyvä yhteen sovittaminen on tärkeä kattilan suunnitteluun liittyvä tehtävä, tärkeää on myös saavuttaa paras mahdollinen palamistulos
- Poltinpoltossa tulipesän tulee olla riittävän suuri, jotta savukaasujen ja samalla myös syötetyn polttoaineen viipymäaika tulipesässä on palamisaikaa suurempi



Öljypoltto

- Tavallinen öljyjen jako tapahtuu niiden käyttöominaisuuksien mukaan kevyisiin ja raskaisiin polttoöljyihin
- Kevyet polttoöljyt ovat helposti juoksevia ja palavia tisleitä, joiden polttaminen on yksinkertaista eikä vaadi kalliita laitteita
- Raskaat polttoöljyt ovat jo huoneenlämmössä liian jäykkiä käsiteltäviksi, joten niiden juoksevuus on varmistettava riittävällä lämmityksellä sekä kierrätyksellä
- Raskaan polttoöljyn laadun valintakriteereihin vaikuttaa laitospääte ja käytössä olevan aineen lämpötilataso. Kevyet laadut sopivat yleensä pienemmille lämpökeskuksille, kun taas jäykimmät laadut sopivat suuriin laitoksiin



Öljypoltto

- Öljy siirretään esilämmittimistä tulipesään polttimen kautta. Polttimen pääosat ovat sumutin, ilmarekisteri sekä apulaitteet
- Polttimille johdetaan palamisessa tarvittava ilma yleensä sopivaan lämpötilaan esilämmitettynä
- Polttimelle johdettavan öljyn yleinen mittauspaikka on heti esilämmittimen jälkeen. Tämän mittasuureen avulla voidaan myös säätää polttimille johdettavan ilman määrää. Öljyn painetta, lämpötilaa ja viskositeettiä voidaan myös seurata



Kaasunpoltto

- Yleisimmät poltettavat kaasut ovat maakaasu, nestekaasu ja kaupunkikaasu
- Muita kaasuja, joita voidaan hyödyntää, ovat erilaiset biokaasut sekä kaatopaikkakaasut
- Lisäksi teollisuudessa syntyy prosesseissa muitakin poltettavia kaasuja



Kaasunpoltto

- Kaasujen etuja verrattuna kiinteisiin tai nestemäisiin polttoaineisiin ovat muun muassa:
 - helppo palamisen valvonta
 - laaja säätöalue
 - pienet päästöt
 - hyvä palamisen hyötysuhde



Kaasunpoltto

- Maakaasulle ja nestekaasulle suunnitellut polttimet jaetaan yleensä kahteen peruspoltintyyppiin polttokaasun ja palamisilman sekoitussuhteiden perusteella: atmosfääripolttimet ja puhallinpolttimet
- Atmosfääripolttimessa palamiseen tarvittava ilma imetään polttimen ympäristöstä polttokaasun virtauksen ja kattilan vedon aiheuttaman virtauksen avulla. Atmosfääripoltin on yleinen kotitalouksissa ja sitä käytetään myös pienehköissä teollisissa kohteissa



Kaasunpoltto

- Puhallinpolttimessa palamisilma sekoitetaan polttokaasuun puhaltimen avulla. Puhaltimen ansiosta tulipesään saadaan helpommin haluttu painetaso ja sopivat virtausolosuhteet. Kun painetaso ja virtausolosuhteet ovat hyvät, on palaminen ja lämmönsiirto tehokasta hyvän sekoittuvuuden takia
- Puhallinpoltin on monimutkaisempi ja kalliimpi kuin atmosfääripoltin, mutta sitä käytettäessä saadaan kattilan hyötysuhde paremmaksi. Tästä syystä lähes kaikki teollisuudessa käytettävät polttimet ovat puhallinpolttimia



Kiinteän polttoaineen poltinpoltto

- Kiinteillä polttoaineilla tarkoitetaan hiiltä, turvetta ja puuta
- Pölypoltossa polttoaine syötetään hienoksi jauhattuna polttimen kautta tulipesään, jossa se palaa hyvin nopeasti
- Kiinteä polttoaine on jauhattava tarpeeksi hienoksi, jotta se ehtii palaa tulipesässä viipymänään aikana
- Kosteaa polttoaine on kuivattava ensin, kuten esimerkiksi jyrsinturve



Kiinteän polttoaineen poltinpoltto

- Pölypoltto sopii teoriassa kaiken kokoisille kattiloille, mutta polttoaineiden käsittelylaitteiden tarpeen takia pölypoltto on kannattavaa vasta, kun kattilateho on suuri
- Pölypolttimessa tulee saada aikaan stabiili, mahdollisimman täydellinen palaminen, jotta ilmaylimäärä ja päästöt saadaan mahdollisimman vähäisiksi



Kiinteän polttoaineen poltinpoltto

- Tuhka, jota on hiilessä n. 10% ja turpeessa n. 5%, voidaan poistaa kahdella tavalla, joko sulana tai kiinteänä
- Tulipesää kutsutaan tämän mukaan kuivapesäksi tai sulapesäksi



Kiinteän polttoaineen poltinpoltto

- Kuivapesän tuhkan erotus tapahtuu pääasiallisesti sähkösuodattimen avulla (noin 75-85%). Kattilan pohjan kautta poistetaan kuivaa kuonaa sammutusaltaan ja laahakuljettimen avulla (10-15%)



Kiinteän polttoaineen poltinpoltto

- Sulapesäkattilassa lämpötilaa pidetään niin korkeana, että tuhka pysyy sulana. Näin saadaan suurin osa sulasta tuhkasta poistettua suoraan tulipesästä
- Sulapesäkattiloita on käytössä lähinnä Keski-Euroopassa. Suomeen on jyrshinturpeen polttoa varten rakennettu muutamia syklonimallisia alle 15MW:n sulapesäkattiloita



Arinapoltto

- Arinalla tarkoitetaan kattilan pohjalle sijoitettavaa polttolaitetta, jonka päällä kiinteä polttoaine palaa joko paikallaan tai hitaasti liikkuvana kerroksena
- Hyvin toimivia arina ratkaisuja on olemassa varsinkin hiilelle, puulle ja puujätteelle
- Arinoita ei voida käyttää teollisuuden jätelemille niiden sisältämän suuren tuhkapitoisuuden vuoksi



Arinapoltto

- Nykyään arinoita rakennetaan lähinnä alle 10MW käyttötehoja varten sekä suuriin jyrshinturpeen pölypolttokattiloiden jälkipolttoarinoiksi
- Arinaraudat ovat usein valurautaa, jonka lämmönkestävyyttä voidaan lisätä kromiseostuksella



Kiinteä tasoarina

- Kiinteä tasoarina on ratkaisultaan yksinkertainen. Tavallisesti tasoarinat koostuvat kannatuspalkkien varaan ladotuista arinasauvoista. Tasoarinoita käytetään pienissä kattiloissa, joihin polttoaine syötetään käsin



Kiinteää viisto- tai porrassarina

- Polttoaine saadaan kulkemaan painovoiman avulla, kun arina sijoitetaan 30°-50° kulmaan. Viistoarinan jälkeen on usein jalkaarinaksi nimetty tasoarina, jolla saadaan polttoaineen loppuun palaminen varmistettua
- Viistoarina on ollut yleinen teollisuudessa puun ja puujätteen poltossa

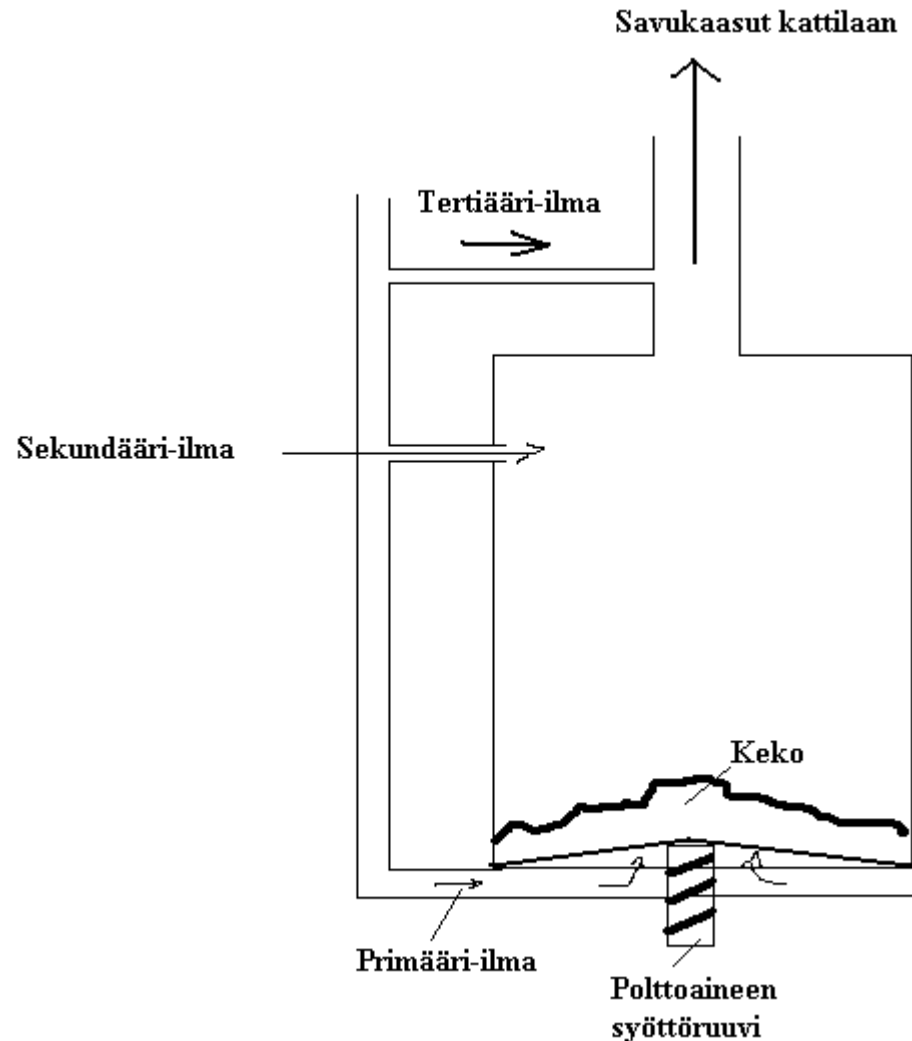


Kiinteä viisto- tai porrasarina

- Porrasarinalla tarkoitetaan viistoarinaa, jonka arinaraudat on sijoitettu porrasmaisesti toistensa päälle, tällöin ilma johdetaan arinarautojen välistä vaakasuoraan suuntaan
- Viistoarinan polttoaineelle ei tarvitse asettaa laatuvaatimuksia ja kosteuden yläraja on noin 60%
- Viistoarina voidaan myös mekanisoida, jolloin polttoaine liikkuu arinassa arinarautojen tärinän tai liikkeen vaikutuksesta. Mekaanista viistoarinaa käytetäänkin lähinnä huonohkolaatuisten polttoaineiden polttamiseen, kuten esimerkiksi kostean puun tai turpeen

Alasyöttöarina

- Polttoaineen syöttö tapahtuu arinan pohjasta käsin
- Polttoaine siirtyy tulipesän keskelle ruuvikuljettimen avulla
- Palamisilma on esilämmitettyä ja se tuodaan arinaan arinan alta rengasmaisia kanavia pitkin
- Sekundääri-ilma voidaan tuoda kattilaan tangentiaalisesti, jolloin polttoa voidaan kutsua myös syklonipoltoksi



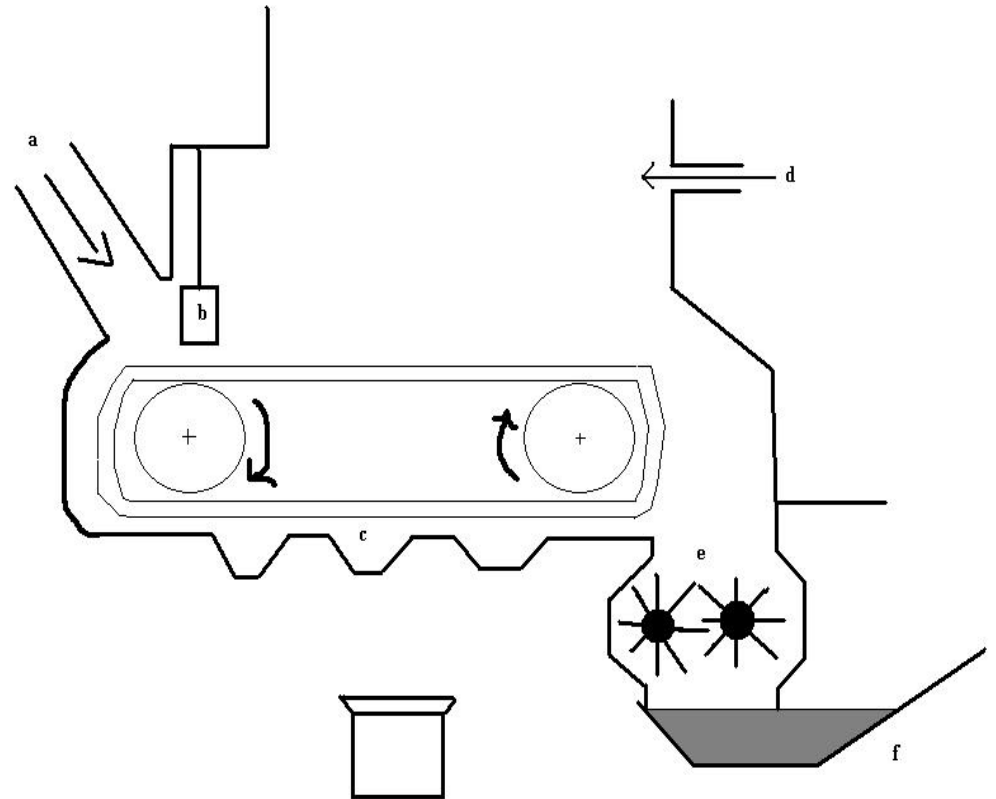


Mekaaninen ketjuarina

- Mekaaninen ketjuarina on sarja tasoarinoita liitettynä toisiinsa päättymättömäksi matoksi, joka liikkuu kahden telan välillä. Matto liikkuu hitaasti noin 3-30m/h nopeudella.
- Ketjuarinan polttotehon säätö tapahtuu joko polttoainekerroksen korkeutta säätämällä, arinan nopeutta säätämällä tai palamisilman määräsaädöllä

Mekaaninen ketjuarina

- a = polttoaineensyöttö
- b = kerroskorkeuden säätö
- c = ilmakammio
- d = sekundääri-ilma
- e = kuonamurskain
- f = kuonan sammutin





Valssiarina

- Valssiarina muodostuu sylinterinmuotoisista pyörivistä valsseista. Primääri-ilma tuodaan valssiin, josta se siirtyy arinarautojen lävitse polttoaineeseen. Valssien avulla saadaan polttoaine sekoittumaan tehokkaasti. Tehokasta sekoitusta tarvitaan erityisesti poltettaessa erityisen huonolaatuista ja heterogeenistä polttoainetta, kuten yhdyskuntajätettä



Leijukerrospoltto

- Leijukerrospoltto mahdollistaa eri polttoaineiden polton samassa kattilassa hyvällä palamishyötysuhteella, vaikka polttoaineet olisivat huonolaatuisia
- Leijukerrospolton palamislämpötilat ovat alhaiset, jolloin myös typenoksidipäästöt jäävät pieniksi
- Syöttämällä kalkkia suoraan tulipesään, saadaan savukaasujen rikinpuhdistus suoritettua edullisesti



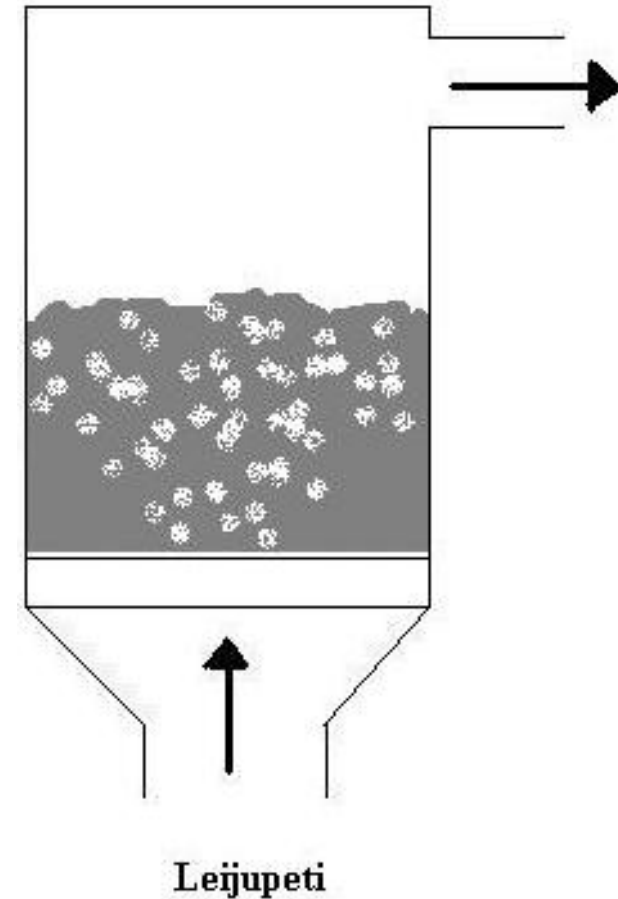
Leijukerrospoltto

- Leijutustapoja on kaksi, leijupeti ja kiertopeti
- Leijupetikattilan hiekan raekoko on 1mm-3mm ja leijutus nopeus 0,7m/s–2m/s. Hiekkakerroksen korkeus on alle metri
- Kiertopetikattiloissa käytetään hienojakoisempaa petimateriaalia ja kiertopetikattiloiden leijutusnopeus on 3m/s – 10m/s ja hiekan raekoko on 0,1mm - 0,5mm

Leijukerrospoltto

Leijupetin periaate

- Ilma syötetään alhaalta leijukerrokseen sopivalla nopeudella, jolloin petikerros alkaa leijua, mutta ei lähde lentoon savukaasujen mukana



Leijukerrospoltto

Kiertopetin periaate

- Kiertopetin pintaa ei ole havaittavissa ja petimateriaali kiertää leijutuskaasun mukana. Savukaasujen mukana kulkevat hiukkaset ja mahdollinen polttoaine erotetaan syklonissa savukaasuista ja palautetaan takaisin tulipesään

