

# KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

## Hukkalämmön hyödyntäminen

Samuli Ylisuvanto

Kone- ja tuotantotekniikan opinnäytetyö  
Konetekniikka  
Insinööri (AMK)

ROVANIEMI 2011

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Suosiolan henkilökuntaa positiivisesta ja kannustavasta tuesta ja avusta työni aikana. Lisäksi haluan kiittää työni ohjaajia Ari Pikkaraista ja Lauri Kilpijärveä avusta, jolla olen saanut vietyä työni suunnitelmallisesti loppuun. Kiitän myös Matti Virtaa hyvästä ja kiinnostavasta opinnäytetyön aiheesta.

## TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Samuli Ylisuvanto
Opinnäytetyön nimi	Hukkalämmön hyödyntäminen
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	30.11.2011
sivumäärä	55 + 2 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	Insinööri (YAMK) Ari Pikkarainen
Yritys	Rovaniemen Energia Oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	Insinööri (AMK) Lauri Kilpijärvi

Rovaniemen Energia Oy:n omistama Suosiolan vastapainevoimalaitos tuottaa kaukolämpöä Rovaniemen kaupungin alueelle ja sähköä tukkumyyntiin. Työssä tutustutaan Suosiolan voimalaitoksen prosessiin. Tämän opinnäytetyön aiheena on selvittää prosessin hukkalähteet ja esittää hukkaan menevälle lämpöenergialle käyttökohde sekä selvittää, kuinka hukkaan menevä lämpöenergia voidaan hyödyntää prosessissa. Lämpöenergiaa menetetään aina voimalaitoksen ollessa päällä. Energiaa menetetään hukkalämpöjen muodossa laitoksen ympäristöön.

Hönkähöyryt ovat voimalaitoksen suurin yksittäinen hukkalähde ja niiden tehtävänä on poistaa kattilan syöttövedestä epäpuhtauksia. Valittaessa sopivaa lämmön talteenottojärjestelmää hönkähöyryille tutustutaan työssä höyrytekniikan teoriaan ja lämmön talteenottojärjestelmiin.

Tämä työ on toteutettu suurimmalta osalta tutkimustyönä ja siinä on tutustuttu teorian ja henkilöhaastattelujen kautta Suosiolan prosessiin. Lisäksi työ sisältää laskentaa, suunnittelua ja mittausta.

Nykypäivänä ihmiset ovat tietoisia energiatehokkuudesta, joten pienäkin energiansäästöä on syytä harkita. Työ sisältää laskelmia, joiden avulla saadaan selville hönkähöyryjen mukana menetetty energian määrä, sekä pystytään arvioimaan lämmöntalteenoton taloudellisuutta.

Asiasanat: energiantuotanto, höyryturbiinit, höyry, kaukolämpö, lämmön talteenotto

## ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Name	Samuli Ylisuvanto
Title	Waste Heat Recovery
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	30 November 2011
Pages	55 + 2 appendices
Instructor	Ari Pikkarainen, MEng
Company	Rovaniemen Energia Oy
Contact Person/Supervisor from Company	Lauri Kilpijärvi, BEng

The Suosiola Heat and Power Plant owned by Rovaniemen Energia Oy produces district heat for the city of Rovaniemi and electricity for wholesaling. The processes of Suosiola Power Plant are presented. The topic of this Bachelor's thesis is to investigate the sources of process waste and present the uses for the wasted heat energy and find out how the wasted heat energy can be utilized in the process. Thermal energy is continuously wasted whenever the power plant is turned on. Energy will be lost in the form of waste heat into the environment.

Breath vapors is the power plant's largest source of waste and their task is to remove the impurities of the boiler feed water. When selecting a suitable heat recovery system to the breath vapors, the theory of steam technology and heat recovery systems are presented in the thesis.

This thesis has been carried out most as research work and the processes of Suosiola are presented through theory and personal interviews. In addition, the thesis includes accounting, planning and measurement.

Today, people are aware of energy efficiency so the smallest energy savings should be considered. The thesis include the calculations which is possible to know breath vapors energy loss as well as to evaluate the heat recovery efficiency.

Keywords: energy production, steam turbine, steam, district heating, heat recovery.

## SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT .....	I
TIIVISTELMÄ .....	II
ABSTRACT .....	III
SISÄLLYSLUETTELO .....	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET .....	VI
1. JOHDANTO .....	1
1.1. Tavoitteet .....	1
1.2. Menetelmät .....	1
1.3. Ongelmat .....	1
2. ROVANIEMEN ENERGIA OY .....	3
2.1. Historia .....	4
2.2. Organisaatio .....	4
3. SUOSIOLAN VOIMALAITOS .....	6
3.1. Vastapainevoimalaitos .....	7
3.2. Suosiolan prosessikuvaus .....	9
3.3. Suosiolan polttoainekierto .....	11
3.3.1. Kiinteän polttoaineen vastaanottoasema .....	11
3.3.2. Seulomo ja murskaamo .....	12
3.3.3. Polttoainevarastot .....	13
3.3.4. Syöttösiilot .....	14
3.4. Turbiinin prosessikuvaus .....	14
3.4.1. Turbiini .....	14
3.4.2. Korkeapaineturbiini .....	15
3.4.3. Matalapaineturbiini .....	16
3.4.4. Tiivistyshöyry .....	17
3.4.5. Generaattori ja alennusvaihteet .....	18
3.4.6. Lauhdejärjestelmä .....	19
3.5. Järjestelmäkuvaukset .....	23
4. HÖYRYTEKNIIKAN TEORIA .....	37
4.1. Höyryn ominaisuuksia .....	37
4.1.1. Ominaislämpökapasiteetti .....	38
4.1.2. Ominaisentalpia .....	38
4.1.3. Tilavuusvirta ja massavirta .....	39
5. LÄMMÖN TALTEENOTTO .....	40
5.1. Lämmönsiirto .....	40
5.2. Lämmönsiirtolaitteet .....	40
6. HUKKALÄMPÖ .....	42
6.1. Hukkalämmön kohteet .....	42
6.1.1. Ulospuhallussäiliön hönkähöyry .....	42
6.1.2. Virtausmäärä .....	42
6.1.3. Syöttövesisäiliön hönkähöyry .....	43
6.1.4. Virtausmäärä .....	43
6.1.5. Turbiinin vuotohöyry ja vaihtimien tyhjiöpumput .....	44
6.1.6. Virtausmäärä .....	45
7. ULOSTULOHOYRY .....	46

7.1. Ulostulohöyryn mittaaminen .....	46
7.2. Ulostulohöyryn energiasisältö .....	47
8. ENERGIAN TALTEENOTTO.....	49
8.1. Talteen otetun energian käyttökohteet.....	49
8.1.1. Ratkaisu.....	49
8.2. Energian talteenoton kannattavuus.....	50
9. YHTEENVETO .....	52
10. LÄHDELUETTELO .....	53
11. LIITELUETTELO .....	55

**KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET**

1NP	Kuumavesikattila
2NP	Vastapainevoimalaitos
5NP	Öljykattila
KLV	Kaukolämmönvaihdin
SYVE	Syöttövesi
UPS	Ulospuhallussäiliö
JUP	Jatkuva ulospuhallussäiliö

# 1. JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheeksi on valittu vastapainevoimalaitoksen hukkalämpölähteiden hyödyntäminen. Työn aiheen antoi Rovaniemen Energia Oy:n tuotanto-osaston laskentainsinööri Matti Virta ja työtä ohjaa käyttöpäällikkö Lauri Kilpijärvi.

## 1.1. Tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa 2NP:n voimalaitoksen hukkalämmönlähteet ja paneutua näistä ulospuhallushöyryyn siten, että lopputuloksesta saadaan selville vuosittainen energiansäästö. Mitattu hukkalämpö ilmoitetaan MWh:na. Hukkalämpölähteistä pyritään mahdollisuuksien mukaan selvittämään massavirta. Työn tavoitteena on myös Suosiolan voimalaitoksen energiatehokkuuden parantaminen. Työssä selvitetään prosessin hukkalämpöjen talteenoton mahdollisuudet, sekä esitetään teknillisesti toimiva vaihtoehto Suosiolan voimalaitokselle. Tavoitteisiin kuuluu myös oppia tuntemaan Suosiolan prosessi.

## 1.2. Menetelmät

Työssä perehdytään Suosiolan prosessiin, jossa ilmenee hukkalämpökohteiden sijainnit, sekä selvitetään näiden tarkoitus prosessissa. Lisäksi työssä käydään läpi teoriaa höyrytekniikasta ja lämmöntalteenotosta.

Työssä tutustutaan teollisuuden käyttämiin lämmön talteenottojärjestelmiin, sekä esitetään ratkaisua, miten hukkalämmön kohteita voidaan hyödyntää LTO-järjestelmällä.

## 1.3. Ongelmat

Tämä työ tehdään tutkimustyönä, jossa perehdytään hukkalämpökohteiden energia sisältöön. Ennen työn aloitusta selvitettiin, että kaasuille on olemassa kannettavia virtausmittareita. Valitettavasti nopeasti työn aloittamisen jälkeen kävi ilmi, että kannettavaa virtaus-



mittaria ei pystytä käyttämään höyrylle. Tämä johtuu siitä, että hönkähöyry sisältää vesipisaroita, jotka estävät kaasulle suunniteltujen virtausmittareiden käytön. Ainoa toimiva tapa saada selville höyryn virtaus on asentaa hönkälinjaan kiinteä virtausmittari. Tämä ei kuitenkaan ollut enää mahdollista, koska tämä olisi vaatinut useamman päivän pysäytyksen voimalaitokselle. Täten työn luonne muuttui alkuperäisestä tavoitteesta selvitystyöksi siitä, kuinka hukkalämpölähteet voidaan hyödyntää Suosiolan prosessissa.

## 2. ROVANIEMEN ENERGIA OY

Rovaniemen Energia Oy on Rovaniemen kaupungin omistama yritys. Rovaniemen Energia Oy:n toimialaan kuuluu kaukolämmön jakelu Rovaniemen kantakaupungin alueella, lämpöliiketoiminta Lapissa, sähkön tuotanto ja tukkumyynti, sekä vesivoimaosakkeiden omistaminen. /14/

Rovaniemen ydinkeskustassa sähkön siirtoliiketoiminta kuuluu tytäryhtiölle Rovaniemen Verkko Oy:lle. Kolarin kunnan keskustaajamassa harjoittaa lämpöliiketoimintaa Kolarin Lämpö Oy, joka on myös Rovaniemen Energia Oy:n tytäryhtiö./14/ Paikallisena sähkönmyyjänä toimii Energiapolar Oy, josta Rovaniemen Energia Oy omistaa 13,7 %. /16/

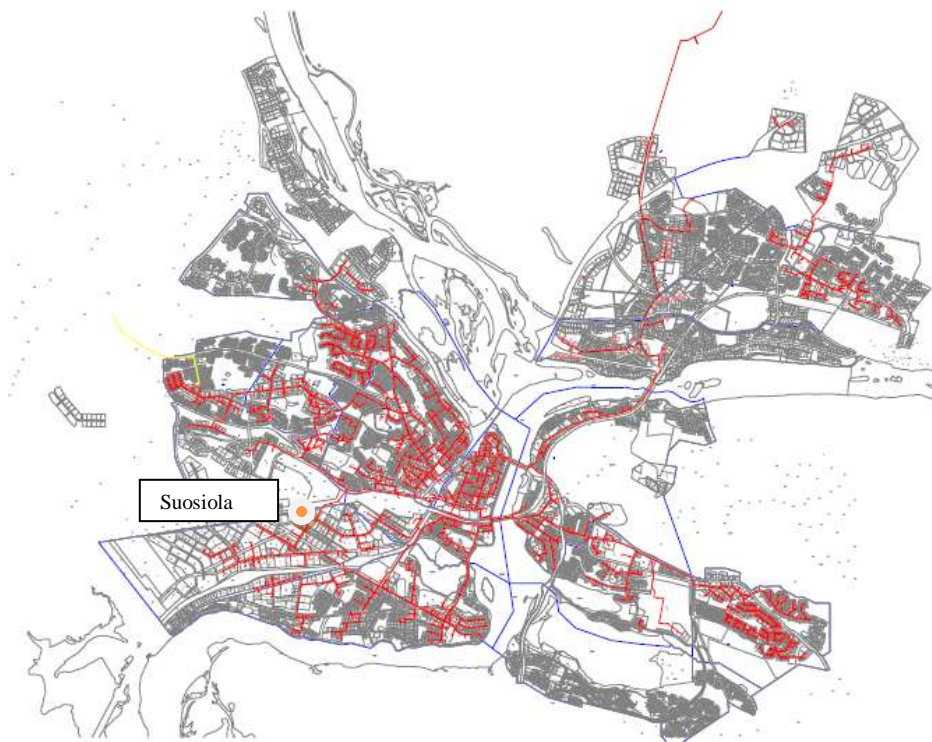
Rovaniemen Energia Oy:llä oli vuonna 2010 2556 kaukolämpöasiakasta. Rovaniemen alueella sijaitsee n. 250 km kaukolämpöverkkoa, joka ilmenee kuvassa 1, sekä n. 1400 km sähköverkkoa. /16/

Rovaniemen Energia –konsernilla on käytössä ISO 14001 –standardin mukainen ympäristöjärjestelmä, sekä ISO 9001:2008 –standardin mukainen laatujärjestelmä. /16/

Rovaniemen Energia Oy:n palveluksessa oli 29.9.2011 päivitetyn tilanteen mukaan 118 henkilöä.

Henkilöstöön kuuluu:

- 57 työntekijää
- 49 toimihenkilöä
- 6 ylempää toimihenkilöä
- 6 johtoon kuuluvaa henkilöä.



**Kuva 1. Rovaniemen kaukolämpöverkkokartta**

## 2.1. Historia

Yrityksen historia alkaa vuodelta 1913, jolloin ensimmäinen sähköosakeyhtiö perustettiin Rovaniemelle. Vuonna 1931 siirtyi toiminta kunnalliselle kauppalan sähkölaitokselle. Vuonna 1960 nimi muuttui Rovaniemen kaupungin sähkölaitokseksi. Yhtiö aloitti kaukolämpötoiminnan vuonna 1980. Vuonna 1986 valmistui Suosiolan lämpövoimalaitos, joka laajeni nykyiseen muotoon vuonna 1995, jolloin myös energialaitoksesta tuli kunnallinen liikelaitos. 1.7.2003 liikelaitos yhtiöitettiin Rovaniemen Energia Oy:ksi. /14/

## 2.2. Organisaatio

Rovaniemen Energia Oy:n hallituksen puheenjohtajana on Markus Lohi. Toimitusjohtajana toimii Markus Tykkyläinen. Yhtiöllä on neljä osastoa: konsernipalvelu, palvelut, tuotanto ja verkot. Konsernipalvelu huolehtii henkilöstöpalvelusta ja taloushallinnosta, jonka johtajana toimii talousjohtaja Liisa Majava. Palvelut-osastoon kuuluu asiakaspalvelu, järjestelmäpalvelu sekä rakennus ja kunnossapito.

Asiakaspalvelu huolehtii Energiapolar Oy:n ja kaukolämmön asiakashallinnasta. Sähkön-siirron hallinnasta, sekä uusien liittymien myynnistä, laskutuksesta, myyntireskontrasta ja sanomaliikenteestä. Järjestelmäpalvelut huolehtivat energiamittauksista, tasehallinnasta, automaatiojärjestelmistä, tietojärjestelmistä ja –verkoista, sekä ulkoisesta urakoinnista. Rakennus ja kunnossapito-osaston tehtäviin kuuluvat sähkö- ja kaukolämpöverkon suunnittelu, rakentaminen ja kunnossapito. Palvelut-osaston johtajana toimii Arto Springare.

Tuotanto-osastoon kuuluu taloussuunnittelu, tuotantolaitokset ja polttoaineet. Taloussuunnittelu huolehtii taloussuunnittelusta, budjetoinnista, seurannasta, laskennasta, päästökau-pasta ja sopimusten hallinnasta. Tuotanto-osaston vastuisiin kuuluu huolehtia käytön suunnittelusta ja johdosta, sekä laboratorion johtaminen. Polttoaineet osaston tehtävänä on huolehtia lämpölaitosten polttoaineen saannista. Tuotanto-osaston johtajana toimii Pentti Mat-tanen.

Verkot osastoon kuuluu kaukolämpö ja sähköverkko. Kaukolämpö-osaston kuuluu huolehtia kaukolämpöverkon yleissuunnittelusta ja työohjelmista, verkko-omaisuuden hallinnasta, sopimusten hallinnasta, sekä myynnistä ja markkinoinnista. Sähköverkko-osaston tehtävänä on vastata sähköverkon yleissuunnittelusta ja työohjelmista, käytön suunnittelusta ja johdosta, siirto- ja liittymistariffeista sekä sopimusten hallinnasta.

### 3. SUOSIOLAN VOIMALAITOS

Rovaniemen Energia Oy:n omistama Suosiolan voimalaitos sijaitsee Rovaniemellä Alakorkalon teollisuusalueella. Laitos tuottaa asiakkailleen sähköä ja kaukolämpöä. Suosiolan voimalaitosalueella sijaitsee Suosiola I, II ja III. Näistä käytetään lyhenteitä 1NP, 2NP ja 5NP. 1NP valmistui vuonna 1986, jonka kattila on 27 MW kuumavesikattila. Kattila tuottaa kaukolämpöä pääasiassa turpeen ja puuperäisten biopolttoaineiden avulla.

Nykyiseen muotoon Suosiola valmistui vuonna 1995. Tällöin valmistui vastapainevoimalaitos 2NP, joka tuottaa täydellä teholla 32,4 MW sähköä ja 62,6 MW kaukolämpöä. Polttoaineena 2NP käyttää jyrshinturvetta ja puuperäisiä biopolttoainetta suhteessa 60:40. Varapolttoaineena 2NP käyttää kivihiiltä ja polttoöljyä. Varapolttoaineilla saavutetaan 30 %:n teho kattilan nimellistehosta. Vastapainevoimalaitoksen suurin sallittu höyrynpaine on 115 baria, tällöin maksimi teho on 95,8 MW ja höyryn tuotto on 38,5 kg/s 535 °C:sta höyryä.

Vuonna 2007 Suosiollaan valmistui 47 MW kaukolämpöä tuottava öljykattila. Tästä öljykattilasta käytetään lyhennystä 5NP. Lisäksi yhtiöllä on öljyllä, kaasulla ja puuperäisten biopolttoaineiden avulla toimivia lämpölaitoksia ympäri kaupunkialuetta. Näiden yhteenlaskettu teho on noin 132 MW.

Rovaniemen kaukolämmön ensisijaisena lämmönlähteenä toimii Suosiolan 2NP, joka näkyy kuvassa 2. Tämän lämmöntuotanto riittää kattamaan Rovaniemen lämpöenergian määrän 0 °C:seen asti. Toissijainen energianlähde on 1NP, joka yhdessä 2NP:n kanssa riittää kattamaan lämpöenergian määrän -8 °C:seen saakka. Tämän jälkeen käynnistetään Rovaniemen kaupungin alueella sijaitsevia varavoimalaitoksia, ennalta tehdyn käyntiohjelman mukaan, siten että lämpötilan ollessa alle -30 °C, kaikki varavoimalähteet ovat päällä.



**Kuva 2. Suosiolan voimalaitos**

### **3.1. Vastapainevoimalaitos**

Vastapainevoimalaitoksella tuotetaan samanaikaisesti sähköä ja lämpöenergiaa. Vastapainevoimalaitokset voidaan jakaa teollisuuden vastapainevoimalaitoksiksi ja kaukolämpövoimalaitoksiin. Suurin ero näiden kahden välillä on se, että kaukolämpövoimalaitoksessa voidaan antaa höyryn paisunnan jatkoa selvästi alempaan paineeseen, johtuen pienemmästä höyryn lämpötilasta. Vastapainevoimalaitoksiin kuuluu aina turbiini, jolla sähkö tuotetaan. Nimitys vastapainevoimalaitos tulee turbiinin jälkeisen vastapaineen johdosta. /7/, /13/

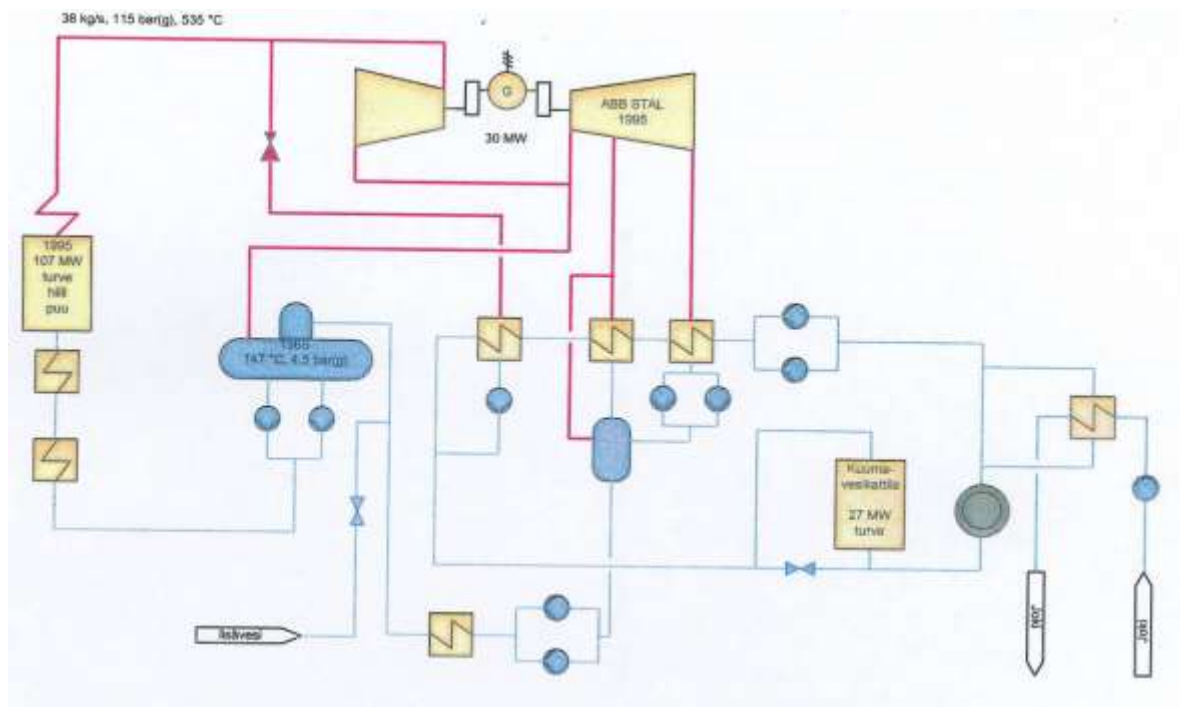
Vastapainevoimalaitoksen peruskomponentit ovat:

- tulistimella varustettu kattila
- turbiini
- kaukolämmön vaihdin
- syöttövesisäiliö
- syöttövesi- ja lauhdepumput./8/

Kaukolämpövoimalaitos tuottaa lämpöenergiaa, joko suoraan kattilasta tai turbiinin välitosta lämmönvaihtimen välityksellä. Lämmitystarkoituksiin vaadittavan korkean lämpötilan vuoksi täytyy lauhtuvan höyryn olla yli 1 barin paineista. Talviaikana täytyy kaukolämpöveden olla n. 120 °C, tällöin lämmönvaihtimen puolella paineen tulee olla 2 - 3 baria, riippuen lämmönvaihtimen pinta-alasta. /13/

Kaukolämpövaraaja eli lämpöakku on suuri vedellä täytetty säiliö, joita on nykyään käytössä monissa kaukolämpövoimalaitoksissa. Varaajaan siirretään lämpöenergiaa silloin, kun lämpöenergian kulutus on pieni. Tämän johdosta pystytään tuottamaan sähköä turbiinilla silloin, kun sen kulutus on huipussa. Vastaavasti kun yleensä yö aikaan sähkönkulutus on pieni, mutta lämmitysenergian tarve suuri, pystytään varaajasta siirtämään lämpöenergiaa kaukolämpöverkkoon. Kaukolämpövaraajan takaisinmaksuaika on muutama vuosi. /8/, /13/

Vastapainevoimalaitoksen hyötysuhde on noin 90 %. Hyötysuhde on korkea sen vuoksi, että turbiinilta tuleva höyryn sisältämä lämpöenergia käytetään hyväksi esim. kaukolämpöveden lämmitykseen./13/ Kuvassa 3 on Suosiolan voimalaitoksen kytkentäkaavio



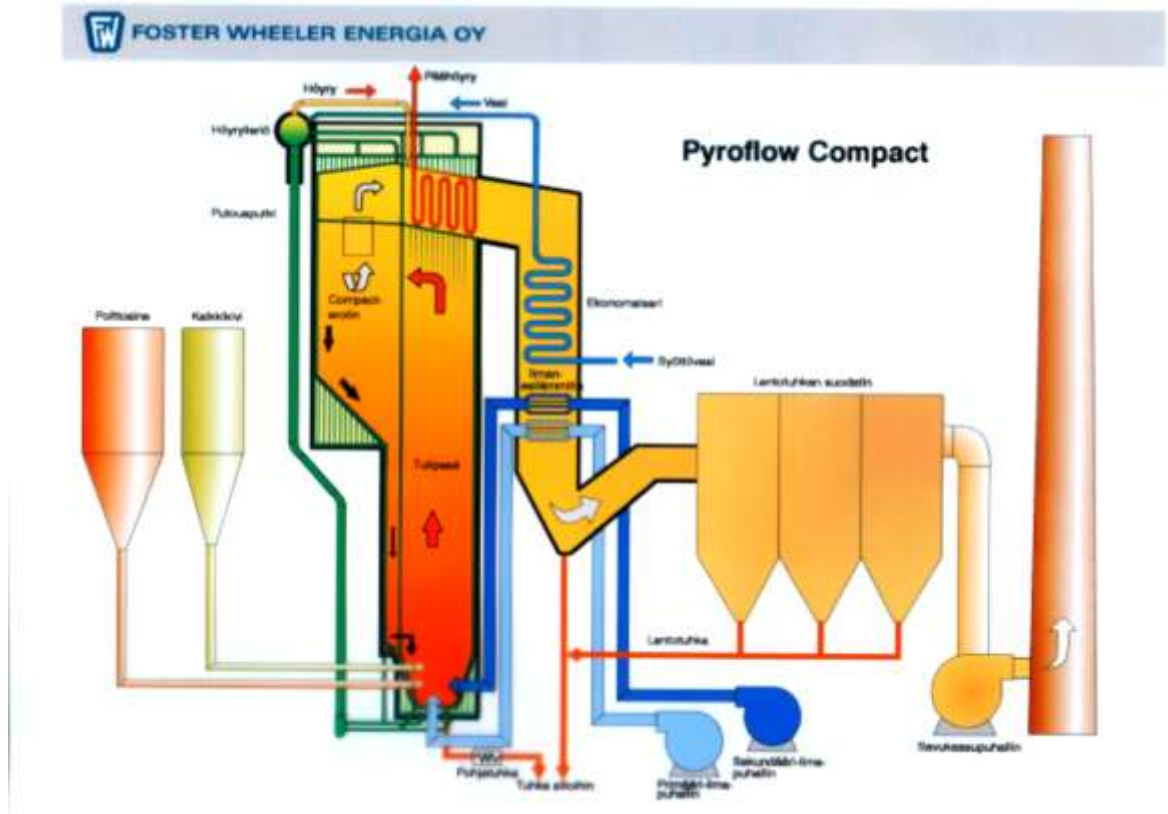
**Kuva 3. Suosiolan kytkentäkaavio**

### 3.2. Suosiolan prosessikuvaus

Suosiolan voimalaitoksen höyrykattila on Foster Wheeler Energia Oy:n toimittava Pyroflow Compact-kiertovesikattila (95,8 MW, 38,5 kg/s, 115 bar, 535 °C). Kattilan toiminta perustuu luonnonkiertoperiaatteeseen. Suosiolan kattilassa poltetaan polttoaine kiertoleijupolttona. Kattilan pääosat ovat tulipesä, compact-erotin ja takaveto. Leijuvana petimateriaalina, johon polttoaine sekoitetaan, käytetään hienojakoista hiekkaa, jonka raekoko on 0,1-0,6 millimetriä. Hiekkapeti puhalletaan ilmalla kiertoan arinassa sijaitsevilla pohjasuuttimilla. Tätä ilmaa kutsutaan primääri-ilmaksi. Tarvittava puhallinpaine on n. 15–20 kPa. Primääri-ilman osuus kokonaispalamisilmasta on noin 40–60 %. Loput tarvittavasta palamisilmasta puhalletaan tulipesän seinällä olevista suuttimista. Tätä ilmaa kutsutaan sekundääri-ilmaksi. Primääri- ja sekundääri-ilma esilämmitetään kattilan takavedossa. Tätä lämmityspiiriä kutsutaan luvoksi. Hiekka ja sen mukana lähtenyt palamaton polttoaine palautetaan polttoon compact-erottimessa. Erottimen toiminta perustuu painovoimaan, jossa raskaammat hiekka ja palamattomat hiukkaset tippuvat kattilan polvi osaan ja ne puhalletaan takaisin petihiekkaan korkeapainepuhaltimen avulla. Hiekan ja polttoaineen mukaan sekoitetaan myös kalkkia, johon polttoaineen sisältämä rikki sitoutuu. Liikkuva petimateriaali pitää myös kattilan polttopinnat puhtaina. Kiertopetihiekkaa vaihdetaan vuoro-kaudessa noin 5 tonnia sen karkenemisen vuoksi. Karkeutuneen petimateriaalin vaihto tapahtuu kattilan pohjalla sijaitsevien pohjatuhkasuppiloiden (2 kpl) kautta. Karkeutunutta petihiekkaa kutsutaan pohjatuhkaksi. /2/, /8/, /13/

Polttoaineen palamislämpötila on noin 800–950 °C:een alueella. Palamisessa syntyisi runsaasti typpioksidipäästöjä, jos palamislämpötila olisi > 950 °C. Mataliin palamislämpötiloihin päästään siten, että heti palamisen alussa lämpö siirretään työaineeseen, eli putkissa virtaavaan veteen ja höyryyn. /13/





**Kuva 4. Suosiolan kiertopetikkattilan toimintaperiaate**

Kuvasta 4 nähdään kattilan lämmönsiirtopintojen sijainnit. Lieriöön pumpataan paineistettua syöttövetä syöttövesisäiliöstä. Syöttövesi esilämmitetään kattilan takavedossa sijaitsevassa ekonomaiserissä. Lieriöstä kylmempi ja raskaampi vesi laskeutuu päälaskuputkia pitkin höyrystinosan jakokammioihin. Jakokammioista vesi jatkaa kattilan seinämissä sijaitseviin putkistoihin ja putkistossa vesi muuttuu höyryksi, joka kulkeutuu kattilan katolla olevaan lieriöön. Luonnonkiertokattilassa veden ja vesihöyryn kierto lieriön ja höyrystimen välillä perustuu veden ja höyryn tiheyseroon. /2/, /7/, /13/

Lieriössä erotellaan kattilan vesikierrosta tuleva vesi ja höyry erilleen kahdeksantoista syklonin ja demisterin avulla. Lieriöstä höyry kulkeutuu kolmivaiheiselle tulistukselle. I ja III tulistimet sijaitsevat kattilan yläosassa compact-erottimen jälkeen. Molemmat tulistimet ovat tyypiltään konvektiotulistimia. Konvektiotulistimen tuntomerkkinä pidetään sitä, että pinta ei kohtaa tulipesän lämpösäteilyä lainkaan, vaan tulipesästä tulevat kuumat savukaasut ainoastaan lämmittävät höyryä. II tulistin sijaitsee tulipesässä, ja se on tyypiltään säteilytulistin. /2/, /13/

Tulistimien jälkeen tulistetun höyryn lämpötila on 535 °C. Tulistettu höyry ohjautuu tämän jälkeen päänhöyryputkeen, josta se johdetaan turbiinin korkeapainepuolelle. /2/

Kattilan takavedon jälkeen savukaasut ohjataan sähkösuotimille. Sähkösuodattimessa savukaasujen hiukkaset varataan negatiiviseksi, kulkiessaan ionisoituneen vyöhykkeen läpi. Negatiiviset hiukkaset tarttuvat positiivisesti varatuille keräilyelektrodeille, jotka ovat Suosiolassa levymäisiä. Kiinnittyneet hiukkaset poistetaan keräilyelektrodeista ravistelemalla, joista ne tippuvat tuhkalähettimeen. Suosiolan sähkösuotimessa on kolme kappaletta keräilykennostoja. Tuhkalähettimiltä tuhka lähetetään paineilman avulla tuhkan varastosiiloon. /2/, /7/

Tulipesän painetta säädetään savukaasupuhaltimen kierrosnopeutta muuttamalla. /2/

### **3.3. Suosiolan polttoainekierto**

Suosiolan voimalaitos käyttää pääpolttoaineena turve ja biopolttoaineperäistä puuhaketta suhteessa 60:40. Varapolttoaineena on kivihiili ja tuki- ja käynnistyspolttoaineena kevyt polttoöljy. Polttoainetta tuodaan voimalaitokselle polttoainerekoilla. Vuorokautinen tarve polttoaineelle laitoksen ollessa täydellä teholla on 25–30 polttoainekuormaa. Polttoainerekat punnitaan automaattisesti aina ennen ja jälkeen purun, jotta saadaan selville toimitettu polttoainemäärä. Jokaisesta polttoaineesta otetaan purkunäyte, josta määritetään polttoaineen energiamäärä polttoainelaboratoriossa.

#### **3.3.1. Kiinteän polttoaineen vastaanottoasema**

Vastaanottoasemalla polttoaine puretaan ritilän päälle, josta polttoaine putoaa vastaanottoaseman kellariin. Kellarin koko on 26,5x4x3 metriä. Tällöin tilavuudeksi tulee 318 m<sup>3</sup>. Vastaanottoaseman kellarin pohjalla on kolapurkain, joka näkyy kuvassa 5 ja sen tehtävänä on syöttää polttoainetta taittopäälle. Kolapurkaimen kapasiteetti on 700 m<sup>3</sup>/h, kun polttoainepatjan paksuus on 1,25–2,5 metriä. Purkaimen loppupäässä, ennen taittopäätä sijaitsee 2 kappaletta repijäteloja, joiden tehtävänä on toimia kolapurkaimen loppupäässä kapasiteetin tasaajina. Taittopäässä polttoaine tippuu kolapurkaimelta hihnakuljettimelle, joka kuljettaa

polttoaineen seulomo rakennukseen. Hihnan leveys on 1,8 m ja sen nopeus on vain 1 m/s pölyämisen minimoimiseksi./17/



**Kuva 5. Polttoaineen vastaanotto kellari**

### **3.3.2. Seulomo ja murskaamo**

Vastaanottoasemalta tuleva hihnakuuljetin tuo polttoaineen seulomo rakennukseen. Hihnan loppupäässä sijaitsee raudanerotusmagneetti, joka on ns. itsepuhdistava hihnamagneetti. Magneetti erottaa polttoainevirtauksesta vähintään 90 %:sti 20x50 mm kokoiset pultit. Magneetissa on jatkuvasti pyörivä hihna, johon rautaesineet tarttuvat. Magneetin loppupäässä magneetikenttä loppuu ja rautaesineet tippuvat pudotustorvea pitkin keräilyastiaan. Magneetin etäisyys polttoainehihnasta on 400 mm. /17/

Polttoaine tippuu kuljetinhihnalta kiekkoseulaan, seulontaa varten, joka näkyy kuvassa 6. Alkuosassa seulaa, jota kutsutaan syöttöalueeksi, on 25x70 mm olevat aukot. Loppuosaa kutsutaan seulonta-alueeksi, ja sen aukkojen koko on 40x70 mm. Seulojen yli jatkava ylite, joita ovat kannot, juuret ja turpeen mukana tulleet epäpuhtaudet, tippuvat murskaimelle. Murskain on hitaasti pyörivä 2-telainen repijämurskain. Murskaimen kapasiteetti on 150 m<sup>3</sup>/h. Murskaimia voidaan ajaa käsin sekä myötä- ja vastapäivään. Kiekkoseulan ja murskaamon läpi tippunut polttoaine kuljetetaan kolakuuljettimella polttoainevarastoihin. /17/

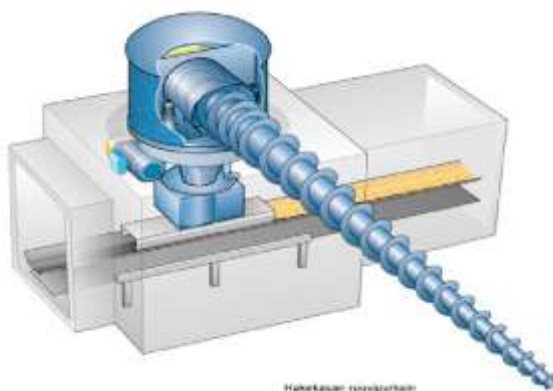


**Kuva 6. Kiekkoseula**

### 3.3.3. Polttoainevarastot

Suosiolassa on kaksi polttoainevarastoa. Pienempi näistä on  $1000 \text{ m}^3$  ja isompi on  $4000 \text{ m}^3$ . Polttoaine näihin tulee seulomosta kolakuljettimella, jonka kapasiteetti on  $700 \text{ m}^3/\text{h}$ . Kolakuljettimen yläpäässä sijaitsee jakosuppilo, josta ohjataan sulkupellin avulla polttoaine halutulle polttoainevarastolle./17/

Polttoaineen purkaminen varastoista tapahtuu ruuvipurkaimen avulla. Kuvassa 7 näkyy varastosiilon ruuvipurkaimen toimintaperiaate. Purkaimessa ruuvi pyörii aksiaalisesti oman akselin ja radiaalisesti varastosäiliön ympäri, keräten polttoainetta alla olevalle kolakuljettimelle.



**Kuva 7. Polttoainevarastojen ruuvipurkaimen havainnekuva. /10/**

### 3.3.4. Syöttösiilot

Suosiolassa on kaksi kappaletta syöttösiiloja, joihin syötetään polttoaine polttoainevarastoista kolakuljettimilla. Siilojen tilavuus on  $60 \text{ m}^3/\text{siilo}$ . Polttoaineen purku siilosta tapahtuu ruuvipurkaimen avulla, jonka kapasiteetti on  $20\text{--}162 \text{ m}^3/\text{h}$ . Ykkössiilon ruuvipurkaimelta polttoaine tippuu kolakuljettimelle, joka kuljettaa polttoaineen sulkusyöttimelle. Kakkossiilosta polttoaine tippuu siirtoruuville, joka kuljettaa polttoaineen kolakuljettimelle ja sieltä edelleen sulkusyöttimelle. Molemmilla siiloilla on oma kolakuljetin polttoaineelle. Kolakuljettimien kapasiteetti on sama, kuin siilojen ruuvipurkaimilla. Sulkusyötinten tehtävänä on siirtää polttoainetta tunkijaruuveille sekä toimia takatulisuojana mahdollisten tulipesän voimakkaiden paineenvaihteluiden aikana. Polttoaine syötetään tulipesään tunkijaruuveilla./2/

## 3.4. Turbiinin prosessikuvaus

Suosiolan voimalaitoksen turbiinin ja generaattorin on toimittanut ABB Stal Ab. Turbiini on tyypiltään VAX-mallinen väliottohöyryturbiini. Laitteistojen tehtävänä on muuttaa kattilassa tuotettu lämpöenergia sähköksi ja kaukolämmöksi. Turbiineja on kaksi kappaletta, joita ovat korkeapaineturbiini ja matalapaineturbiini ja näiden välissä sijaitsee generaattori.

### 3.4.1. Turbiini

Turbiini muodostuu kiinteästä siivistöstä eli staattorista (kuva 8), joka on kiinni turbiinin rungossa. Turbiinin akselilla olevaa siivistöä kutsutaan roottoriksi. Staattoreiden tehtävänä on ohjata kylläinen paineistettu tuorehöyry oikeassa kulmassa roottorisivistölle. Höyryturbiinissa paine-ero saa aikaan höyryn virtauksen, jolloin höyryssä oleva lämpöenergia muuttuu mekaaniseksi energiaksi. Höyryn virratessa siivistöjen läpi, aiheuttaa se paineen turbiininakselilla oleville suuttimille, ja paine saa aikaan akselille vääntömomentin. /4/



**Kuva 8. Turbiinin staattorin ohjauspyörät ja siivistö /9/**

### **3.4.2. Korkeapaineturbiini**



**Kuva 9. Suosiolan KP-turbiini**

Suosiolan korkeapaineturbiini on malliltaan ABB STAL-HP16 (kuva 9), jonka maksimi nimellinen teho on 25200 kW, kierrosluvun ollessa 11016 r/min. Turbiinille jatkuvasti tulevan höyrynpaine on 110 baria ja poistuva paine on 6 baria. Tulohöyryn lämpötila on 530 °C. /1/

KP-turbiini on yksittäisvirtaus-paineturbiini, jossa on yksitoista vaihetta. Turbiinin pesä on tynnyrin muotoinen, joka tarkoittaa, ettei siinä ole puskusaumaa pesän ylä- ja alapuoliskon

välillä, joihin roottori lasketaan. Roottori ja ohjauspyörät on asennettu aksiaalisesti turbiinin ulkoposan poistopuolelta. Turbiiniin syötetään höyryä sisäänmenopuolen kehän ympärille tasaisesti jaettujen neljän aukon kautta. Jokaisella aukolla on oma ohjausventtiili, jonka asento säädetään hydraulisesti toimivilla servomooottoreilla. KP-turbiini on varustettu kahdella höyryn väliotolla, joilla esilämmitetään kattilan paineistettua syöttövettä, ennen kuin se pumpataan takaisen lieriöön. Turbiini on varustettu lauhdesäiliöillä, jotka on sijoitettu useisiin mataliin kohtiin, minne lauhdetta saattaa kerääntyä alasajon aikana. Turbiinin poistohöyry ohjataan yhdysputkella matalapaine-turbiinille paisumaan. /1/

### 3.4.3. Matalapaineturbiini



**Kuva 10. Suosiolan MP-turbiini**

Suosiolan matalapaineturbiini (kuva 10) on malliltaan ABB STAL-LP10, jonka maksimi nimellinen teho on 12000 kW, kierrosluvun ollessa 8222 r/min. KP-turbiinilta tuleva höyry on 6 baria ja MP-turbiinilta poistuva höyry on 1 bar. /1/

MP-turbiini on 4-vaiheinen paineturbiini. Turbiinin pesä on vaakasuoraan jaettu ja koostuu kahdesta osasta:

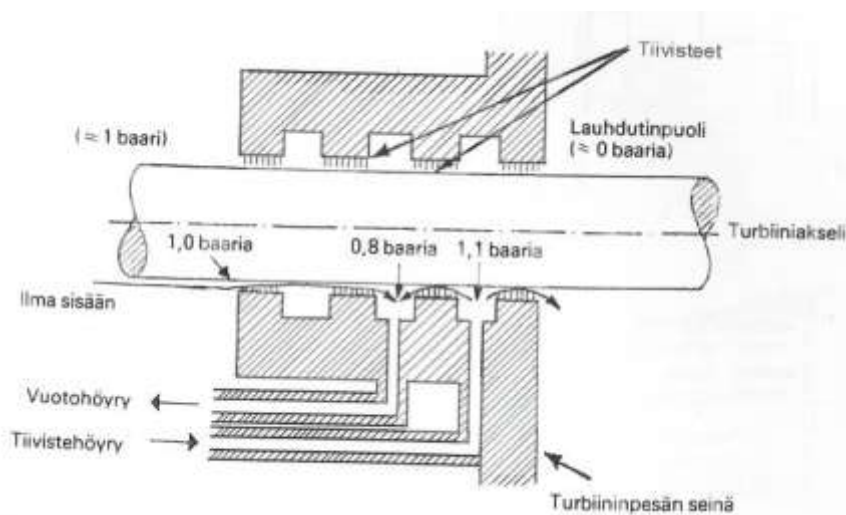
- hitsatusta teräslevystä valmistettu pääturbiinipesästä
- hitsatusta teräslevystä valmistettu poistohöyrypesästä

Syynä yllä mainittuun on, että lämpötilaero on pienempi eikä termisestä joustavuudesta ole mitään hyötyä saatavana tynnyrirakennetta käytettäessä. /1/



Höyry syötetään KP-turbiinin poistupuolelta väliputken kautta MP-turbiinille. Tämän jälkeen höyryä jaetaan turbiinin sisällä kehän ympärille. MP-turbiini on myös varusteltu höyryn väliotolla. Tällä höyryllä lämmitetään lauhdeksi muuttunutta syöttöväettä, ennen kuin se paineistetaan kattilapaineeseen korkeapainepumpuilla. Poistuvalla höyryllä lämmitetään kaukolämpöväettä lämmönvaihdin 1:ssä ja 2:ssa /1/

### 3.4.4. Tiivistyshöyry



**Kuva 11. Tiivistyshöyryn periaate/8/**

Suosiolan KP- ja MP-turbiinit on varusteltu kuvan 11 mukaisella tiivistyshöyryjärjestelmällä. Turbiinien kaikki ohjauspyörät ja pesien kumpikin pää on varustettu tiivistein. Tiivisteet koostuvat neljästä 90° renkaasta tiivistysripoineen asennettuna T-muotoiseen ohjauspyörässä olevaan uraan (kuva 12). Kaksi jousikela painaa kummankin osan roottoria vasten. Ajettaessa renkaiden ulommalla kehällä oleva höyryn paine toimii yhdessä jousivoiman kanssa. Tiivisterenkaiden rakenne sallii renkaiden liikkua säteittäin ulospäin tulematta vaurioitetuiksi, jos roottori koskettaa niitä pyörimisen aikana ennen käynnistystä. Tiivisteiltä poistuva vuotohöyry ohjautuu vuotohöyrylauhduttimelle. Vuotohöyrylauhduttimen puhallin saa aikaan alipaineen imemällä ilmaa lauhduttimesta ja puhaltamalla sen ulkoilmaan. Alipaine kulkeutuu edelleen kaikkien turbiinin akselitiivisteiden ulkopuolelle. Sieltä vuotohöyry imetään vuotohöyrylauhduttimeen. Lauhtunut höyry pumpataan KLV1:een. /1/





**Kuva 12. Turbiinin tiivisterenkaat paikoilleen asennettuna/9/**

### **3.4.5. Generaattori ja alennusvaihteet**

Generaattorin tehtävä on tuottaa sähköä turbiinin tuottaman mekaanisen energian avulla. Generaattori sijaitsee KP- ja MP-turbiinin välissä, joka on yhdistetty turbiineihin alennusvaihteiden välityksellä. Alennusvaihteet muuttavat turbiinin kierrosluvun sopivaksi generaattorille.

Alennusvaihteet ovat malliltaan Flender-Graffenstaden TX 100/7. Alennusvaihteet pyörittävät generaattoria 1500 r/min. KP puoleinen alennusvaihteen välityssuhde on 1:7,3 ja MP on puolestaan 1:5,5. /1/

Generaattori on malliltaan ABB Drives GB 12500 LD. Sen teho 40000 kVA, jännitteeltään generaattori on 10500 V ja virraltaan 2199 A. Generaattori tuottaa vaihtovirtaa 50 hertsin taajuudella.

Generaattorissa sijaitsee myös kaksi jäähdytintä, joiden lämmönvaihtoteho on 524 kW. Jäähdyttimissä virtaa jäähdytysvettä 65,0 m<sup>3</sup>/h. Veden tulolämpötila saa olla maksimissaan 30 °C. /1/

### 3.4.6. Lauhdejärjestelmä

Lauhdejärjestelmän tehtävänä on ottaa höyryn lämpöenergia talteen ja muuttaa höyry lauhdeksi eli vedeksi takaisin.

#### **Kaukolämmönvaihdin 1**

KLV 1 sijaitsee turbiinisalin alapuolella ja ottaa vastaan KLV 2:lta tulevan lauhteen. Vaihtimeen pumpataan paluukierrolta tuleva kaukolämpövesi, johon siirretään lauhteen lämpöenergia. KLV 1:sen lämmönsiirtoteho on turbiinin täydellä teholla 29 MW ja lauhteen maksimivirtaus 13,9 kg/s. Paluukierrolta tuleva kaukolämpövesi on noin 55 °C ja vaihtimelta lähtevä vesi on noin 74 °C. /1/

Pituutta KLV 1:llä on 10370 mm ja halkaisija 1900 mm. Lämpöpinta-alaa vaihtimella on yhteensä 1150 m<sup>2</sup>. /1/

#### **Kaukolämmönvaihdin 2**

KLV 2 sijaitsee turbiinisalissa, heti MP-turbiinin vieressä (kuva 13). Vaihdin ottaa vastaan turbiinilta tulevan höyryn. Vaihtimeen pumpataan KLV 1:ltä tuleva kaukolämpövesi, johon siirretään vaihtimessa höyryn lämpöenergia. Turbiinin täydellä käytöllä on KLV 2 teho 34 MW, jolloin höyry/lauhde virtaus on 15,7 kg/s. Vaihdin nostaa kaukolämpöveden lämpötilan 74 °C:sta 95 °C:een. Lämmönvaihtimen pituus on 10570 mm ja halkaisija 1900 mm. Lämpöpinta-ala vaihtimessa on 1190 m<sup>2</sup>. /1/ Lisäksi KLV 1 ja 2 on varustettu ilmanpoistojärjestelmällä. Tämä koostuu kahdesta erillisestä tyhjiöpumpusta, jotka muodostavat alipainetta vaihtimiin. Tällöin saadaan enempi tehoa MP-turbiinista verrattuna tilanteeseen, että höyry poistettaisiin ilmakehäpaineeseen 1 bar. /4/ Tyhjiöpumpuilta poistunut ilma johdetaan ulkoilmaan.



**Kuva 13. Suosiolan KLV 2**

### **Kaukolämmönvaihdin 3**

KLV 3 sijaitsee turbiinisalin alapuolella. Vaihdinta käytetään vain laitoksen ylösajossa, jolloin ei vielä tuoteta tarpeeksi laadukasta höyryä turbiineille, sekä mahdollisissa turbiinin häiriötilanteissa. KLV 3 on lämmönsiirtoteholtaan 60 MW, joka on yhtä suuri, kuin KLV 1 & 2 yhteensä. Vaihdin nostaa kaukolämpöveden lämpötilan 70 °C:sta 120 °C:een. Lämmönvaihtimen pituus on 7850 mm ja halkaisija 1500 mm. Lämpöpinta-ala vaihtimessa on 400 m<sup>2</sup>. /1/

### **Syöttövesipumput**

Syöttövesipumpun tehtävänä on syöttää ja paineistaa prosessivettä kattilan vesikiertoon. Pumpulta vaaditaan rakenteellisesti paljon, koska sen pitää pystyä tuottamaan suuria paineita, sekä kestää korkeita lämpötiloja. Syöttövesipumppu on rakenteelta kotelopumppu, joka eroaa normaalista sarjapumpusta siten, että pumppu on asennettu paksuseinäiseen taottuun sylinterivaipan sisälle, joka näkyy kuvassa 14. Syöttövesipumpun vesimäärän säädöllä pyritään pitämään lieriön pinta vakiona. /7/

Suosiolassa syöttöpumppuja on kaksi kappaletta, joista toinen on aina käytössä ja toinen varalla. SYVE-pumpun ottoteho on 895 kW ja pyörimisnopeus 2905 r/min. Pumpulle tulevan veden lämpötila on 163 °C ja virtausmäärä 40,2–174 m<sup>3</sup>/h. Veden paine pumpun imu-

puolella on 6,5 baria ja pumpun läpi virrattuaan 152,8 baria. Pumpun petissä on myös 250 litran voiteluöljysäiliö pumpun laakereille. /15/

Syöttövesipumpun varusteisiin kuuluu syöttövesipumppu mallia HGC 4/11, Voith-nestekytin mallia 487 Su TL 22, sekä sähkömoottori malliltaan AMA 450 L2L BSH. /15/



**Kuva 14. Suosiolan syöttövesipumppu**

### **Sekoitus-esilämmitin**

Sekoitus-esilämmitin sisältää sekä höyryä ja vettä. Esilämmitin lämmittää KLV 1 tulevan lauhteen MP-turbiinin väliottohöyryllä ja vastaanottaa lauhteen KLV 2 ennen kuin se kulkee päälauhdepumpuille. Lämmittimen suurin sallittu käyttöpaine on 5 baria ja korkein sallittu lämpötila 150 °C. Lämmittimen tilavuus on 1,57 m<sup>3</sup> ja sen korkeus on 2550 mm ja halkaisija 1000 mm. /1/

### **MP-esilämmitin**

MP-esilämmitin on kaksoisvirtaus-putkilämmönvaihdin. Esilämmittimen tehtävänä on lämmittää lauhde, ennen kuin se pumpataan syöttövesisäiliöön. Lämmitykseen tarvittava höyry otetaan MP-turbiinin säätämättömästä väliotosta. MP-esilämmittimen suurin sallittu

käyttöpaine on 3 baria vaippapuolelle ja putkipuolella 16 baria. Lämmittimen vaippapuolen tilavuus on  $2,1 \text{ m}^3$  ja putkipuolen  $0,45 \text{ m}^3$ . Lämpöpinta-ala lämmittimellä on  $105 \text{ m}^2$ . Lämmittimen pituus on 4400 mm ja halkaisija 540 mm. Lämmittimen nimellinen teho on 2,6 MW. /1/

### **KP-esilämmittimet**

Kuvassa 16 on Suosiolan KP-esilämmittimet, joita Suosiolassa on kaksi kappaletta. Lämmittimet ovat kaksivaiheisia putkilämmönvaihtimia, jotka lämmitetään höyryllä. Höyry otetaan KP-turbiinin kahdesta väliotosta. KP-esilämmittimet lämmittävät paineistettua syöttövettä.

KP1-esilämmittimen suurin sallittu käyttöpaine on 16 baria vaippapuolella ja putkipuolella 200 baria. Lämmittimen vaippapuolen tilavuus on  $1,5 \text{ m}^3$  ja putkipuolen  $0,43 \text{ m}^3$ . Lämpöpinta-ala lämmittimellä on  $170 \text{ m}^2$ . KP1-esilämmittimen korkeus on 8615 mm ja halkaisija 600 mm. Lämmittimen nimellinen teho on 4,6 MW. /1/

KP2- esilämmittimen suurin sallittu käyttöpaine on 27 baria vaippapuolella ja putkipuolella 200 baria. Lämmittimen vaippapuolen tilavuus on  $1,5 \text{ m}^3$  ja putkipuolen  $0,43 \text{ m}^3$ . Lämpöpinta-ala lämmittimellä on  $170 \text{ m}^2$ . KP1-esilämmittimen korkeus on 8615 mm ja halkaisija 600 mm. Lämmittimen nimellinen teho on 4,9 MW. /1/



**Kuva 16. Suosiolan KP-esilämmittimet 2 & 1**

### 3.5. Järjestelmäkuvaukset

Järjestelmäkuvaukset osiossa kuvataan prosessin eri komponenttien ja toimilaitteiden toiminta ja sen merkitys prosessiin.

#### Höyrystin

Höyrystimen tehtävänä on kattilaan pumpattavan syöttöveden lämmittäminen kylläiseen tilaan, sekä höyrystys- ja höyryvesiseoksen erottaminen höyryksi ja vedeksi./2/ Taulukosta 1 ilmenee kattilan prosessiarvot eri kuormitustilanteissa.

Järjestelmään kuuluu seuraavat pääkomponentit:

- syöttövesiputket
- ekonomaiseri
- lieriö sisäosineen
- höyrykehitysputkistot
- keittopintojen kammiot
- compact-erotin
- muu putkisto./2/

Syöttövedettä pumpataan lieriöön syöttövesipumppujen avulla ekonomaiserin kautta. Automaattikka huolehtii pumppujen toiminnasta siten, että lieriön pinta pysyy vakiona. Ekonomaiseriissa syöttövesi lämmitetään lähelle kattilaveden lämpötilaa. Samalla kattilan savukaasut jäähtyvät lähelle syöttöveden tulolämpötilaa. Suosiolan teräsputkieko on jaettu kolmeen eri pakettiin, joiden lämpöpinta-ala on 3720 m<sup>2</sup>. Putkia ekon yhdessä kerroksessa on 146 kpl, kerroksia on yhteensä 69 ja putkia rinnan 1./2/

Lieriössä erotellaan kattilan vesikierrosta tuleva vesi ja höyry erilleen kahdeksantoista syklonin ja demisterin avulla./2/ Syklonit ovat rinnankytkettyjä, joissa höyry ja vesipisarot erottuvat keskipakovoiman vaikutuksesta. Syklonien jälkeen höyry virtaa demisteri suodatimen läpi, joka toimii pisaraerottimena./2/, /7/ Höyryyn kuivausdemisterin pinta-ala on 2,4 m<sup>2</sup>./2/ Lieriön sisällä sijaitsee myös ulospuhalluksen kokoojaputki, jonka tehtävänä on

poistaa paineistetusta vedestä kertyneet epäpuhtaudet. Epäpuhtaudet ovat vedessä olevia suoloja, mm. silikaatti ( $\text{SiO}_2$ ) on tällainen, joka liukenee höyryyn ja kiteytyy turbiinin siivistöihin höyrynlämpötilan laskiessa alle  $300\text{ }^\circ\text{C}$ :een, jolloin se aiheuttaa turbiinille resonanssia tai mahdollisesti vaurioitumisen. /2/, /4/

Höyrykehitysputkistoihin kuuluvat tulipesän seinämät ja muut keittopinnat. Tulipesän seinämät ovat kuvan 17 mukaiset. Seinämäputkien koko on  $63,5 \times 6,3\text{ mm}$  ja niiden jako on  $88\text{ mm}$ . Putken yhdistävä eväsrauta on kooltaan  $25 \times 5\text{ mm}$  olevaa lattaa. Muihin keittopintoihin kuuluu compact-erottimen seinämäputket, sekä hilaputkisto, joka ohjaa höyrystettäväksi tulevan veden jakokammioilta kattilan seinämän kierto. /2/

Keittopinta kammioiden tehtävänä on ohjata höyry-vesiseosta eteenpäin kattilan kierrossa. Kattilan seinämissä on jako- ja kokoojakammioita. Kammioiden koko tulipesän puolella on  $219,1 \times 32\text{ mm}$ . Compact-erottimen jako- ja välikammiot ovat  $168,3 \times 22,2\text{ mm}$ :n kokoisia ja kokoojakammiot ovat kooltaan  $219,1 \times 28\text{ mm}$ . /2/

Muihin putkistoihin kuuluu päälaskuputket lieriöltä, pääjakokammiot laskuputkien alapäässä, sekä yhdysputket jakokammioiden ja lieriön välillä. /2/

Kattilan kokonaisvesitilavuus lieriön normaaliin vesipintaan on n.  $68\text{ m}^3$ . /2/



**Kuva 17. Kattilan seinäpaneeli**

**Taulukko 1. Kattilan prosessiarvot eri kuormituspisteissä/2/**

Kattilan suurin sallittu käyttöpaine: 137 bar						
<b>Kuorma</b>	%	100	75	50	40	32
Höyryteho	MW	95,8	73,6	50,9	41,0	33,2
<b>Höyryvirta</b>						
Kp-höyry	kg/s	38,0	28,5	19,0	15,0	14,0
Höyryn paine	bar	115,0	115,0	115,0	115,0	115,0
Paine lieriössä	bar	124,3	120,8	118,2	117,4	116,9
<b>Kattilavesi</b>						
Ennen ekoa	°C	215	201	180	167	160
Ekon jälkeen	°C	303	288	265	257	265
Lieriössä	°C	328	325	324	323	323

**Jatkuva ulospuhallus**

Kattilan vesikemian ylläpitämiseksi poistetaan kattilan lieriöstä kattilaveden kiehumisen tuloksena syntyneet epäpuhtaudet ulospuhallusventtiilin ja jatkuvan ulospuhallussäiliön kautta. Jatkuvan ulospuhallussäiliön höyry johdetaan hönkäputkea myöten syöttövesisäiliöön. Jatkuvan ulospuhallussäiliöön kertynyt vesi johdetaan puolestaan pinnansäätöventtiilin kautta ulospuhallussäiliöön. Ulospuhallussäiliöstä höyry johdetaan katolle ulkoilmaan ja vesi lattiakanaaliin tai kaukolämpöveden paisuntasäiliöön. Ulospuhallussäiliön lämpötila pyritään säilyttämään vakiona n. 70 °C./2/

Jatkuvan ulospuhallussäiliön virtaus on 0-2 kg/s paineistettua vettä. Kattilan käynnistyksen yhteydessä ulospuhalluksen virtaus on lähellä maksimivirtausta, jotta kattilan veden kiintoainemäärä saadaan normaaliksi. Normaalikäytössä jatkuvan ulospuhalluksen virtaus määräytyy näytteenottojen perusteella. Kattilan ollessa täydellä teholla on ulospuhallus virtaus noin 0,4-0,7 kg/s. Jatkuvan ulospuhallussäiliön koko on 1 m<sup>3</sup> ja maksimi käyttöpaine 10 baria. Ulospuhallussäiliön koko on 5 m<sup>3</sup>. /2/



## Tulistin

Tulistuksen tehtävänä on kohottaa höyryn lämpötilaa ja lämpösisältöä, jotta turbiinissa saadaan samasta höyrymäärästä suurempi teho. Suosiolan kattilassa on kolmevaiheinen tulistus. I ja III tulistimet ovat konvektiotulistimia, jotka sijaitsevat kattilan savukanavassa. Näiden höyryvirtaus on savukaasuihin nähden vastavirtaan. II tulistin on säteilytulistin, joka sijaitsee tulipesässä. Höyryvirtaus II tulistimella savukaasuihin nähden myötävirtaan./2/ Myötävirtakytkentää käytetään tasoittamaan höyryn lämpötilaeroja eri tulistimien kesken. Myötävirtakytkennän haittapuolena on sen tarvitsema suuri lämpöpinta-ala./4/

Suosiolassa tulistusjärjestelmä sisältää seuraavat komponentit virtaussuunnassa lueteltuna

- yhdysputket lieriön – I tulistimen välillä
- I tulistimen jakokammio
- I tulistin
- I tulistimen kokoojakammio
- yhdysputki I-II tulistimien välillä
- I höyrynjäähdytin, venttiiliryhmineen
- II tulistimen jakokammiot
- II tulistin
- II tulistimen kokoojakammiot
- yhdysputki II-III tulistimien välillä
- II höyrynjäähdytin, venttiiliryhmineen
- III tulistimen kokoojakammio
- III tulistin
- III tulistimen kokoojakammio
- päähöyryn lähtöputki
- apuohjatut varoventtiilit
- käynnistysventtiilit
- äänenvaimennin
- päähöyryventtiilit
- tulistimen ilmaukset ja vesitykset./2/

I tulistimeen johdetaan kylläinen höyry lieriöstä, jossa sen lämpötila nousee n. 424–461 °C:een lämpötilaan. Ennen, kuin höyry johdetaan II tulistimeen, jäähdytetään höyryn lämpötilaa höyryjäähdytin I:ssä, jossa lämpötila tippuu n. 0-40 °C. Jäähdytin on venturityyppinen jäähdytin, joka ruiskuttaa vettä höyryyn 1,68 kg/s. II tulistimessa höyryn lämpötila nousee n. 485–495 °C:een lämpötilaan. Höyryjäähdytin II:ssa höyryn lämpötilaa lasketaan n. 25–35 °C, jäähdytysveden virtauksen ollessa 0,72 kg/s. Ruiskutusvesi höyryjäähdyttimille otetaan syöttövesilinjasta. III tulistimessa höyry saavuttaa prosessin tarvitseman lämpötilan, joka on 535 °C./2/

Tulistimien jälkeisillä käynnistysventtiileillä säädetään kattilan käynnistyksessä virtausta tulistimissa ja paineen nostonopeutta. Normaalin käytön aikana käynnistysventtiilit ovat kiinni, mutta toimivat varoventtiilien apuna mahdollisessa prosessin häiriötilanteissa, joita ovat mm. turbiinin pikapysäytys. Höyrylinjassa olevan äänenvaimentimen tehtävänä on vaimentaa käynnistysventtiilien, pää- ja nuohoimen varoventtiilien ulospuhallusäänet. /2/

**Taulukko 2. Höyryn lämpötila muutokset tulistuksessa/2/**

<b>Kuorma</b>	%	100	75	50	40	32
Höyryteho	MW	95,8	73,6	50,9	41,0	33,2
<b>Höyryn lämpötilat</b>						
Lieriössä	°C	328	325	324	323	323
Tul. I jälkeen	°C	461	451	431	424	429
Jäähd. I jälkeen	°C	420	416	416	419	429
Tul. II jälkeen	°C	485	485	487	491	495
Jäähd. II jälkeen	°C	465	468	480	488	495
Tul. III jälkeen	°C	535	535	535	535	532

### Savukaasu

Järjestelmän tehtävänä on kattilan tulipesässä syntyvien savukaasujen poistaminen oikeassa paineessa siten, että tapahtuu suunniteltu lämmönsiirto kattilaveteen ja palamisilmaan. Lisäksi järjestelmä huolehtii, ettei savukaasujen loppulämpötila alita vesi- tai happokaste-pistettä kattilan eri kuormitusalueella millään polttoaineyhdistelmällä./2/

Järjestelmään kuuluvat seuraavat laitteet:

- tulipesä
- savukaasuluvot
- sähkösuodatin
- savukaasupuhallin
- savupiippu./2/

Tulipesässä sijaitsevalla arinalla tapahtuu polttoaineen palaminen, jolloin polttoaineen sisältämä lämpöenergia vapautuu. Osa syntyvästä lämpöenergiasta siirtyy pesän seinäputkien kautta kattilaveteen. Savukaasuihin sitoutunutta lämpöenergiaa kuljetetaan ensin tulitimille, ja tämän jälkeen savukaasuluvoihin lämmittämään kattilan tarvitsemaa palamisilmaa. Sähkösuodatin puhdistaa savukaasuista mekaaniset epäpuhtaudet sähköisesti 99,9 %:sti. Savukaasupuhallin imee tulipesästä palamisesta tulevat savukaasut. Savupiippu johtaa puhdistetut savukaasut ylempiin ilmakerroksiin./2/

Savukaasupuhaltimen kierrosnopeutta muuttamalla säädetään tulipesän painetta, siten että se pysyy vakiona. Kattilassa pidetään pientä alipainetta, jolla estetään savukaasujen pääseminen kattilahuoneeseen. Paineen säätö kattilassa on tärkeää, sillä tulipesän paine on yksi kattisuojan prosessisuureista. Tulipesän painetta pidetään -5 - +25 mbarin välillä. Maksimi tulipesän paine on 35 mbaria. Tulipesän paineen noustessa ylärajalle, estää kattilan automatiikka syöttämästä lisää polttoainetta tulipesään, jolloin kattilan painetta saadaan pienennettyä. Puhaltimella säädetään myös käynnistys tilanteissa kattilan lämmönnousunopeutta. Maksimi lämpötilan nousunopeus tulipesän muurauksille on 120 °C/h, mutta suositeltava nousu on 60 °C/h keskeytyksettä. /2/

**Taulukko 3. Savukaasujen lämpötilat jrsinturpeella ilman kalkinsyöttöä/2/**

Kuorma	%	100	75	50	40	32
Tulipesän jälkeen	°C	879	834	761	717	667
Hilan jälkeen	°C	819	769	692	649	610
Tul. III jälkeen	°C	725	681	620	519	568
Tul. I jälkeen	°C	457	428	392	379	378
Ekon jälkeen	°C	245	225	197	182	178
Luvon jälkeen	°C	130	125	125	120	120

### **Sekundääri-ilma**

Järjestelmän tehtävänä on syöttää tulipesään oikea määrä ilmaa kiinteän polttoaineen ja öljyn palamiseen. Palamisilma imetään kattilahuoneen yläosasta ja ulkoilmasta määramittausmittarin ja äänenvaimentimen kautta. Sekundääri-ilma esilämmitetään höyry- ja savukaasuluvojen läpi virtaamalla. Ilmalla säädetään kattilan happipitoisuutta ja painetta. Suuttimia kattilassa sekundääri-ilmalle on kolmessa eri tasossa. Ne ovat ala-, väli- ja ylätasolla. Sekundääri-ilman virtaus on 0-30 nm<sup>3</sup>/s, riippuen kattilakuormituksesta. Kattilan automaatiikka huolehtii sulkupeltejä säätämällä ilman virtauksesta eri tasoille./2/

### **Primääri-ilma**

Primääri-ilmapuhaltimella palamisilma imetään määramittausmittarin ja äänenvaimentimen kautta kattilahuoneen yläosasta ja puhalletaan luvon kautta tulipesään arinan alapuolelta, jolloin petimateriaali pysyy tasaistesti liikkeellä. Primääri-ilmaa käytetään myös polttoaineen sulkusyöttimillä tiivistys- ja huuhteluilmana, sekä tunkijaruuveilla ja petilansseilla jäähdytysilmana./2/

Kattilan automaatiikka huolehtii tarvittavasta kokonaispalamisilman määrästä. Jokaiselle polttoaineelle on syötetty tarvittava ilma-määrä polttoaineyksikköä kohti. Nämä ovat seuraavat:

- Jyrsin turpeella 3,125 nm<sup>3</sup>/kg polttoainetta
- Puulla 3,3 nm<sup>3</sup>/kg polttoainetta
- Hiilellä 9,0 nm<sup>3</sup>/kg polttoainetta
- Öljyllä 12,0 nm<sup>3</sup>/kg polttoainetta/2/

Lisäksi järjestelmässä on käytössä ilmakertoimet, jolla voidaan hienosäätää ilma-polttoainesuhdetta. Tarvittava primääri-ilmamäärä saadaan selville vähentämällä kokonaisilmasta sekundääri-ilmamäärä. Primääri-ilman virtaus on 0-20 nm<sup>3</sup>/s./2/

## **Polvi-ilma**

Polvi-ilmajärjestelmää käytetään compact-erottimen polvissa kiertävän petimateriaalin kuohkeuttamiseen, jotta se pysyisi liikkeellä. Järjestelmä tuottaa 0,3 barin paineista ilmaa. Compact-erottimen ja tulipesän väliseen polvi osaan täytyy muodostua savulukko, joka estää tulipesän savukaasujen virtauksen vastavirtaan palautuskanavaa pitkin ylöspäin compact-erottimeen. Polvi-ilman tarve on noin  $20 \text{ m}^3/\text{min}$ ./2/

Korkeapainepuhaltimia, joita käytetään polvi-ilman tuottamiseen Suosiolassa on kaksi kappaletta. Näistä toinen on aina varalla, jos toinen puhallin pysähtyy tai puhaltimen jälkeinen paine laskee alle minimin, käynnistyy toinen automaattisesti.

## **Kiinteä polttoaine**

Polttoaineen syöttölaitteet alkavat syöttösiilojen täyttöyhteydestä ja päättyvät kattilan tulipesän seinään. Polttoaineen syöttölaitteet yhdistävät toisiinsa polttoaineen kenttäkäsittelylaitteet ja kattilan

Järjestelmään kuuluu seuraavat laitteet:

- 2 kpl kattilasiiloja
- 2 kpl ruuvipurkaimia pyöritys-, jäähdytys- ja voitelulaitteineen
- 1 kpl siirtoruuveja
- 2 kpl kolakuljettimia
- 2 kpl sulkusyöttimiä
- 2 kpl joustopalkeita
- 2 kpl sulkuluukkuja
- 2 kpl tunkijaruuveja
- polttoaineen määrämittauslaitteet
- sammutushöyrylaitteet./2/

Polttoainejärjestelmän käynnistyksen ehtona on, että kattilan petilämpötila on  $> 620\text{ °C}$ . /6/ Tätä alhaisempi lämpötila aiheuttaa kiinteän polttoaineen (turve) epäpuhtaan palamisen ja tämän seurauksena on räjähdysvaara kattilassa korkeiden kaasupitoisuuksien vuoksi.

Järjestelmän tunkijaruuvit käynnistetään, kun petilämpötila on  $> 300\text{ °C}$ . Tällä toiminnolla estetään tunkijaruuvien akseleiden vääntyminen. /2/ Kuvassa 18 on tunkijaruuvi kuvattuna kattilasta.

Sammutushöyrylaitteiden tehtävänä on tukahduttaa höyryllä polttoainejärjestelmässä oleva tulipalo. Yleisimpiä tilanteita, jolloin järjestelmää joudutaan käyttämään on takatulitilanne, pölyräjähdys syöttölinjassa tai polttoaineen mukana tullut palopesäke. /2/



**Kuva 18. Polttoaineen tunkijaruuvi**

### **Hiekka**

Leijupetikattilassa leijutetaan petimateriaalina seulottua ja kuivattua luonnonhiekkaa. Rae-koko hiekalla on tyypillisesti 0,1-0,6 millimetriä. Hiekkasiilo on kooltaan  $50\text{ m}^3$  ja se sijaitsee kattilahuoneen sisällä, jolloin kosteus ei pääse kertymään hiekkaan. Hiekka puretaan säiliöautosta siiloon paineilman avulla. Purussa syntyvä hienojakoinen pöly ja paine

ohjataan siilon yläosasta savukaasukanavaan, ennen sähkösuodinta, jossa pöly hiukkaset saadaan kerättyä talteen./2/

Hiekan kulutus Suosiolassa on noin 5 tonnia vuorokaudessa. Hiekan purussa automatiikka aukaisee paineilmaohjatun toimilaitteen ja samalla puhalletaan paineilmaa siilon pohjalla olevaan syöttöputkeen, jolloin hiekka liikkuu eteenpäin aina kattilaan saakka.

## **Kalkki**

Suosiolassa käytetään kuivaa rikinpoistoa, jossa hienorakeista kalkkikiveä syötetään kattilan leijukerrokseen. Kalkkikivi muuttuu kattilassa kalsiumoksidiksi, joka reagoi polttoaineen rikin kanssa, muodostaen kalsiumsulfaattia. Muodostunut sulfaatti saadaan kerättyä talteen sähkösuodattimessa. Kalkin raekoko on 0,06-0,75 millimetriä. Jyrsinturpeelle kalkkia annostellaan 0,08-0,23 kg/s. Kalkkisiilon koko Suosiolassa on 100 m<sup>3</sup>. /2/, /7/

Järjestelmään kuuluu seuraavat laitteet:

- siilon täyttöputki
- siilo
- tärypohja
- käsitoiminen sulkupelti
- paineilmatoiminen sulkuventtiili
- välisäiliö
- 2 kpl paineilmatoimisia sulkuventtiilejä
- 2 kpl syöttösäiliöitä
- 2 kpl syöttöruuveja./2/

Kalkki puretaan siilosta täryttimen avulla, josta se tippuu välisäiliöön. Välisäiliöstä kalkki lähetetään putkia myöten kalkin syöttösäiliöihin paineilmalla. Syöttösäiliöstä kalkki siirretään polttoaineiden kolakuljettimille syöttöruuvien avulla.

## Pohjatuhka

Pohjatuhkajärjestelmän tarkoitus on poistaa petimateriaalin sisältämät epäpuhtaudet, jottei peti karkenisii liikaa ja täten petipaine nousisi liian suureksi. Polttoaineen sisältämiä epäpuhtauksia ovat mm. kivet, rautaromut sekä polttoaineen karkea tuhka.

Järjestelmään kuuluu seuraavat laitteet:

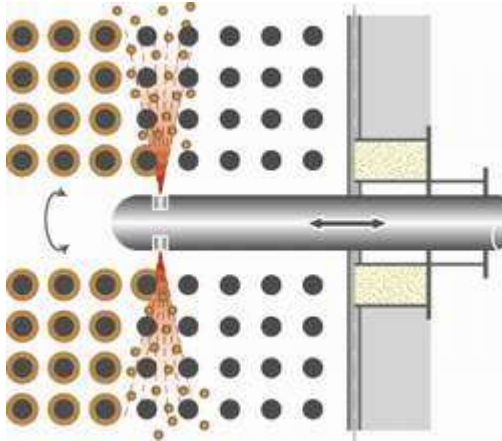
- 2 kpl sulkupeltejä
- 2 kpl jäähdytysruuveja
- kolakuljetin
- 2 kpl sulkupeltejä
- 2 kpl pohjatuhkalavoja./2/

Arinan pohjassa on kaksi kappaletta tuhkanpoistoputkia, joiden päässä sijaitsee sulkupellit. Peltien ollessa auki valuu karkeutunut petimateriaali jäähdytysruuveille, joiden tehtävänä on jäähdyttää kuuma tuhka, sekä kuljettaa se kolakuljettimelle. Ruuveissa on vesikiertoinen jäähdytys. Ruuvit ovat halkaisijaltaan 400 mm ja pituudeltaan 3500 mm. Kolakuljetin kuljettaa tuhkan tuhkalavoille, joita Suosiolassa on kaksi kappaletta. Toisen tuhkalavan yhteydessä on tuhkan seulonta, jossa on 1 mm:n verkkoseula. Seulonnan tuloksesta nähdään karkean materiaalin osuus hienoon nähden./2/

## Nuohous

Järjestelmän tehtävänä on tulistimien, ekon ja luvon lämpöpintojen puhdistus. Järjestelmä alkaa I-tulistajan kokoojakammioista ja päättyy ulospuhallussäiliöön. Höyry johdetaan kokoojakammioista paineensäätöventtiilille, jossa höyryn paine alennetaan välille 15–30 baria. Tämän jälkeen höyry johdetaan nuohoimille. Nuohoimien venttiilit ovat tässä vaiheessa vielä kiinni, koska höyrylinja pitää lämmittää ja vesittää kauttaaltaan. Vesityshöyry johdetaan ulospuhallussäiliöön. Nuohoimet sijaitsevat kattilan oikealla ja vasemmalla sivuseinällä. Yhteensä nuohoimia on Suosiolassa 22 kappaletta, jotka ovat tyypiltään pyöriviä nuohoimia kuten kuvassa 19. Nuohous tapahtuu nuohoin kerrallaan, joko käsin ohjaamalla tai askelautomaatiikan avulla. Maksimi nuohoushöyryn virtaus on 4 kg/s. /2/





**Kuva 19. Pyörivän nuohoimen toimintaperiaate /5/**

### **Lentotuhka**

Järjestelmän tehtävänä on palamisprosessissa muodostuvan lentotuhkan poistaminen ekon ja sähkösuodattimien suppiloista. Kuvasta 4 nähdään, että ensimmäinen tuhkan erotin sijaitsee savukanavassa ekonomaiserin alapuolella. Keräyssuppiloita ekon alla on kaksi kappaletta, johon painavimmat hiukkaset kerääntyvät. Sähkösuotimilla on kolme keräyssuppiloa, joista ensimmäiseen kertyy suurin osa lentotuhkasta ja se on sen vuoksi muita suppiloita isompi. Keräyssuppiloista tuhka lähetetään paineilman avulla lentotuhkasiiloon, jonka koko on 300 m<sup>3</sup>. Tuhkasiilosta tuhka puretaan kuorma-autoon, joka kuljettaa tuhkan loppusijoituspaikkaan./2/

### **Polttoöljy**

Järjestelmän tehtävänä on poltettavan polttoöljyn halutun määrän syöttäminen öljypolttimille säädetyssä paineessa. Kevyt polttoöljy pumpataan ulkona olevasta 200 m<sup>3</sup> säiliöstä polttoöljypumpun avulla. Pumppuja säiliön vieressä olevassa pumppuhuoneessa on kaksi kappaletta, joista toinen on aina varalla. Polttoöljy suodatetaan ennen pumppuja olevilla imusuodattimilla. Pumppuhuoneesta öljy pumpataan kattilahuoneeseen sijaitseville säätöventtiileille, jotka ohjaavat tarvittavan määrän öljyä polttimoille. Ylimääräinen öljy palaa takaisin öljyn varastosäiliöön. Polttoöljyä Suosiolassa käytetään tuki- ja varapolttoaineena./2/

### **Käynnistyspoltin**

Käynnistyspoltinta käytetään kattilan käynnistyksessä nostamaan petimateriaalin lämpötilan 500 °C:seen, jotta petilanssit voidaan käynnistää. Käynnistyspolttimia kattilassa on kaksi kappaletta. Polttimet on sijoitettu arinasta 2,2 metrin korkeuteen tulipesän oikealle ja vasemmalle puolelle. Öljyn virtaus polttimille on maksimissaan 1,1 kg/s paineen ollessa 25 baria. Sekundääri-ilman virtaus käynnistyspolttimille on maksimissaan 7 nm<sup>3</sup>/s. /2/

### **Petilanssi**

Järjestelmän tehtävänä on nostaa petilämpötila 500 °C:sta 620 °C:eseen, jolloin voidaan aloittaa kiinteän polttoaineen syöttö kattilaan. Petilansseja käytetään myös, jos kiinteän polttoaineen syötössä on häiriöitä, polttoaine on liian märkää tai kiinteää polttoainetta ei ole käytössä. Petilansseja on kattilassa neljä kappaletta, jotka on sijoitettu kattilan takaseinälle arinasta 0,4 metrin korkeuteen. Öljyn virtaus petilansseille on maksimissaan 0,6 kg/s paineen ollessa 5 baria. Petilanssit ovat höyryhajoitteisia polttimia, jossa höyry hajottaa öljyn pieniksi öljypisaroiksi. Käynnistyspolttimien ja petilanssien yhteiskäytöllä voidaan saavuttaa maksimissaan 12 kg/s oleva höyryvirta. /2/

### **Apuhöyry ja lauhde**

Järjestelmän tehtävänä on toimittaa apukäyttöhöyryä primääri- ja sekundääri-ilman höyryluvoille ja syntyneen lauhteen pumppaaminen lauhteen keräilysäiliöön. Lisäksi apuhöyryä käytetään petilanssien hajotushöyryinä, sekä kiinteänpolttoainelaitteiden sammutushöyryinä. /2/

### **Jäähdytysvesi**

Suljetun jäähdytysvesijärjestelmän tarkoituksena on huolehtia voimalaitoksen suljetussa kierrossa olevien jäähdytystä vaativien kohteiden jäähdyttämisestä. Jäähdytysvesi on 50:50 olevaa glykolivesiseosta. Säiliön tilavuus on 20 m<sup>3</sup>. Jäähdytettäviä kohteita Suosiolassa on pohjatuhkaruuvit ja generaattori. /2/

## **Paineilma**

Paineilmajärjestelmän tehtävänä on tuottaa voimalaitoksen instrumentti- ja työpaineilma. Paineilmakompressoreita Suosiolassa on kolme kappaletta, jotka ovat rinnankytkettyjä. Kummallekin ilmalle on oma 2 m<sup>3</sup> painesäiliö, jonka maksimipaine on 10 baria. Instrumentti-ilma on suoraan kompressorien tuottamaa ilmaa. Työilma kiertää ilmakeivaimen kautta, ennen kuin se päättyy kulutuskohteisiin.

## 4. HÖYRYTEKNIIKAN TEORIA

Tämän opinnäytetyön kannalta on keskeistä tuntee höyryn eri olomuotoja, jonka takia on perehdyttävä höyrytekniikan teoriaan. Höyryyn pystytään sitomaan suuri määrä energiaa, kun höyryyn tuodaan lämpöenergiaa. Höyryn on aineena myrkytön, halpa ja helposti saatavilla, jonka takia se on suosittu työaine prosessiteollisuudessa.

Höyry muodostuu vedestä, kun siihen tuodaan lämpöenergiaa. Vedessä huomataan selviä olomuodon muutoksia, kun siihen tuodaan tai viedään pois lämpöenergiaa. Tämän johdosta vedellä on viisi olomuotoa:

- "jäähtynyt" vesi
- kylmä vesi
- veden ja höyryn, kostea kylmä höyry
- kuiva kylmä höyry
- tulistettu höyry./4/

SI-järjestelmän Joulea (J) käytetään lämpömäärän yksikkönä, joka on sama kuin Newtonmetri (Nm). Lämpötilan perusyksikkö on Kelvin (K), mutta myös Celsius-astetta (°C) yleisesti käytetään. /4/

### 4.1. Höyryn ominaisuuksia

Työssä käsiteltävät höyryt ovat kostea kylmä höyryä. Kostea kylmä höyry on höyryn ja veden seos, jossa vesi on jakautunut höyryyn hienoiksi pisaroiksi, jotka leijailevat siinä sumuna. Höyryn ja veden kylmyydellä tarkoitetaan sitä, että tietyssä tilavuudessa on niin paljon vettä ja höyryä, kuin sitä tässä lämpötilassa voi olla. Tässä tilassa höyryn menettäessä lämpöenergiaa tiivistyy se takaisin vedeksi. Höyry on kuiva kylmä silloin, kun se on tietyssä tilavuudessa haihduttanut kaiken veden höyryksi. Kuivaan kylmään höyryyn lisättäessä lämpöenergiaa, puhutaan tulistamisesta. Kylmän höyryn tärkein ero tulistetusta on se, että kutakin lämpötilaa vastaa tietty paine ja päinvastoin. Täten tulistettu

höyry on sellaista, että se voi menettää lämpöenergiaa ilman, että se alkaa tiivistyä nesteeksi. /4/, /13/

#### 4.1.1. Ominaislämpökapasiteetti

Ominaislämpökapasiteetti kertoo, kuinka paljon tarvitaan lämpöenergiaa aineen massayksikköä kohden, jotta se lämpenee yhden asteen. Toisin sanoen mitä suurempi aineen massa, sitä enempi siihen pitää tuoda lämpöenergiaa, jotta sen lämpötila nousee yhden asteen. Tavallisimpana yksikkönä käytetään  $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$  ja tunnuksena  $c$ . Veden ominaislämpökapasiteetti on  $4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ , mikä on riittävän tarkka käytettäväksi käytännön laskuissa. Höyryn keskimääräinen ominaislämpökapasiteetti on  $2,1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ , mutta höyryllä se vaihtelee suuresti, riippuen paineesta ja lämpötilasta. Suuresta vaihtelusta johtuen käytetään höyrystä käytännön laskuissa energiamäärää ilmaisevaa ominaisentalpiaa. Energiatekniikassa vettä käsitellään lähes aina nestemäisessä tai höyrymäisessä olomuodossa. /13/

#### 4.1.2. Ominaisentalpia

Ominaisentalpia kertoo aineen sisältämän energian  $\text{kg}$ :aa kohti jossakin lämpötilassa  $T$ , paineessa  $p$  ja jollakin ominaistilavuudella  $v$  arvolla verrattuna sovittuun referenssitason. Ominaisentalpian tunnus on  $h$  ja yksikkö  $\text{kJ/kg}$ . Höyrytekniikassa energiamäärät ilmaistaan lähes aina ominaisentalpian avulla. Höyryn energiasisällön selvittämiseksi on olemassa taulukoita, joista voi lukea kylläisen vesihöyryn arvoja, joko lämpötilan tai paineen funktiona. Liitteenä 1 on kylläisen vesihöyryn arvoja. Taulukossa esiintyvät seuraavat arvot:

- $t$  = lämpötila ( $^\circ\text{C}$ )
- $p$  = paine (bar)
- $v'$  = veden ominaistilavuus ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )
- $v''$  = höyryn ominaistilavuus ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )
- $\rho''$  = seoksen ominaistiheys ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $h'$  = veden ominaisentalpia ( $\text{kJ/kg}$ )
- $h''$  = höyryn ominaisentalpia ( $\text{kJ/kg}$ )
- $r$  = höyrystyslämpö ( $\text{kJ/kg}$ ). /13/

### 4.1.3. Tilavuusvirta ja massavirta

Tilavuusvirta on virtausmäärää kuvaava suure, jonka tunnus on  $q_v$ . Tilavuusvirta tarkoittaa putken poikkileikkauksen läpi aikayksikössä virrannutta tilavuusmäärää. Tilavuusvirtauksesta yleisimmin käytetään yksikköä  $\text{m}^3/\text{s}$ . Tilavuusvirran kaava on seuraava:

$$q_v = vA \quad (1)$$

missä,

$q_v$  = tilavuusvirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$v$  = virtausnopeus ( $\text{m}/\text{s}$ )

$A$  = putken poikkipinta-ala ( $\text{m}^2$ )

Massavirta on massamäärää kuvaava suure, jonka tunnus on  $q_m$ . Massavirralla tarkoitetaan tietyn massan siirtymistä tarkastelupinnan läpi tietyssä aikayksikössä. Massavirtauksesta yleisimmin käytetään yksikköä  $\text{kg}/\text{s}$ . Massavirran kaava on seuraava:

$$q_m = q_v \rho \quad (2)$$

missä,

$q_m$  = massavirta ( $\text{kg}/\text{s}$ )

$q_v$  = tilavuusvirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\rho$  = aineen tiheys ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Tilavuus- ja massavirta laskuissa täytyy ottaa huomioon, että höyrystyminen tai lauhtuminen tapahtuu vakio paineen lisäksi myös vakio lämpötilassa. Tilavuus- ja massavirtaa tarvitaan höyryn energiasisällön selvittämiseen. Tästä johtuen täytyy olla tiedossa höyrypitoisuus, eli kylläisen höyryn massan osuus koko seoksesta. Höyryn loppulämpötilan ja paineen tunteminen ei yksin riitä ratkaisemaan höyryn energiamäärää, vaan tähän tarvitaan tilavuus- ja massavirtaa.

## 5. LÄMMÖN TALTEENOTTO

Lämmöntalteenotolla tarkoitetaan tilannetta, jossa lämpöenergiaa pystytään ottamaan talteen erilaisten lämmönsiirtimien avulla. Seuraavissa kappaleissa tutustutaan lämmönsiirron teoriaan ja erilaisiin lämmönsiirtolaitteisiin, joita on yleisesti teollisuudessa käytössä.

### 5.1. Lämmönsiirto

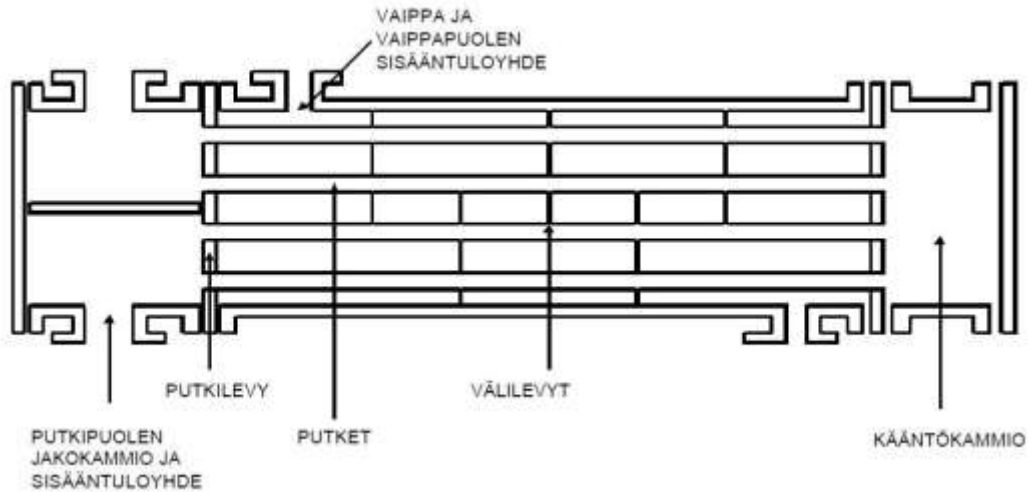
Lämpö on yksi energian muoto. Lämpöenergiaa siirtyy säteilemällä, johtumalla tai kulkeutumalla. Lämpösäteily on sähkömagneettisia aaltoliikkeitä, ja kun säteet kohtaavat kappaleen pinnan osa heijastuu takaisin, osa imeytyy kappaleeseen ja muuttuu aineeseen sidotuksi lämmöksi ja osa kulkeutuu kappaleen läpi. Lämmön johtuminen on lämmön siirtymistä aineen sisällä tai kappaleiden välillä, jos ne ovat kosketuksissa toisiinsa, aina korkeammasta lämpötilasta alempaan. Lämmön siirtyminen kulkeutumisessa perustuu virtaavaan nesteeseen tai kaasuun mukana kuljetettavaan lämpöön, jolloin siirtyneen lämmön määrä riippuu aineen virtausnopeudesta ja sen sisältämästä lämpömäärästä./4/ Voimalaitoskattilassa lämmön siirtyminen perustuu kaikkiin kolmeen lämmönsiirtymismuotoon.

Voimalaitoskattilan toiminta perustuu tehokkaaseen lämmönsiirtoon. Kattilan lämpö pyritään mahdollisimman tehokkaasti ottamaan talteen erilaisilla lämmönsiirtimillä. Näitä ovat mm. tulistimet, ekonomaiserit, luvot ja regeneraattorit

### 5.2. Lämmönsiirtolaitteet

Lämmönsiirtimellä siirretään lämpöenergiaa aineesta toiseen, ilman aineiden fyysistä koskemista. Lämmönsiirtimiä on olemassa useita erilaisia mm. levylämmönsiirrin, sekä putki ja vaippa-lämmönsiirrin. Levylämmönsiirtimet on valmistettu sarjasta koottuja aaltolevyjä. Levyjen välissä on kaksi erillistä kanavaa, kylmälle ja lämpimälle materiaalille. Materiaalit virtaavat siirtimessä vastakkaisiin suuntiin./3/ Putki ja vaippa-lämmönsiirrin koostuvat lieriömäisen vaipan sisään sijoitetusta putkiryhmästä. Putket on kiinnitetty tiiviisti putkile-

vyyn, joka erottaa putki ja vaippapuolen toisistaan. Kuvasta 20 käy ilmi putki ja vaippalämmönsiirtimen toimintaperiaate. Prosessiteollisuudessa tämä lämmönsiirrin on yleisimmin käytössä, perustuen pitkälti sen luotettavuuteen, kestävyYTEEN ja rakenteiden monipuolisuuteen. /18/



**Kuva 20. Putki ja vaippalämmönsiirtimen toimintaperiaate/18/**



## 6. HUKKALÄMPÖ

Suosiolan hukkalämmön kohteilla tarkoitetaan tilannetta, jossa lämpöenergiaa päästetään hukkaan, joko höyrynä tai vetenä. Hönkähöyryjen mittaukseen piti käyttää kannettavaa virtausmittaria, mutta höyry ei ole homogeeninen kaasu, joten kannettavan mittarin käyttö ei onnistunut. Virtausmäärät niiltä osin kun se on mahdollista, ilmoitetaan arvioidulta pohjalta. Muuten ilmoitetaan pelkästään hukkalämpökohteen lämpötila ja paine.

### 6.1. Hukkalämmön kohteet

Hukkalämmön kohteita Suosiolan prosessissa on kolme kappaletta. Nämä kohteet on esitetty seuraavissa otsikoissa.

#### 6.1.1. Ulospuhallussäiliön hönkähöyry

Ulospuhallussäiliöön ohjataan useista prosessin kohteista kylläistä kosteaa höyryä. Säiliöön ohjatut höyryt ovat vesikemialtaan likaisia, joten niitä ei voi käyttää enää prosessin käyttökohteisiin. Säiliöön johdetaan prosessin käydessä höyryä jatkuva ulospuhallussäiliöstä, omalauhdesäiliön vesilukolta ja nuohouksen alussa tapahtuvan nuohouslinjojen vesityksen aikana.

#### 6.1.2. Virtausmäärä

Taulukossa 4 on ilmoitettu kattilan ulospuhallussäiliöön johdettavan höyryn paine ja lämpötila prosessin eri vaiheissa.

**Taulukko 4. Kattilan ulostulosäiliöön johtavan höyryn paine ja lämpötila**

	Lieriö	JUP	UPS
Paine [bar]	113	2,5	1
Lämpötila [°C]	321	130,3	100

### 6.1.3. Syöttövesisäiliön hönkähöyry

Syöttövesisäiliöstä johdetaan DN 20 kokoisesta putkesta höyryä ulos, joka näkyy kuvassa 21. Höyryn virtausta säädetään kuvassa 22 näkyvällä neulaventtiilillä. Syöttövesisäiliöstä poistetaan höyryä, koska kattivedestä halutaan poistaa syöpymistä aiheuttavaa happea.



**Kuva 21. Syöttövesisäiliön hönkähöyry**



**Kuva 22. Hönkähöyryn säätöventtiili**

### 6.1.4. Virtausmäärä

Syöttövesisäiliön höyryn säätö tapahtuu manuaalisesti ruuvaamalla kuvassa 22 näkyvää neulaventtiiliä. Höyryn virtauksesta ei voi sanoa mitään, koska virtausmittaria ei ole käytettävissä. Hönkähöyryn ulospuhalluslämpötila on noin 100 °C.

### 6.1.5. Turbiinin vuotohöyry ja vaihtimien tyhjiöpumput

Turbiinin vuotohöyrynlauhduttimen alipainepuhaltimella ja kaukolämmönvaihtimien tyhjiöpumpuilla on yhdistetty ulospuhallus, turbiinisalin ulkoseinässä, joka näkyy kuvassa 23. Kuvassa 24 on vuotohöyryn alipainepuhallin ja kuvassa 25 ovat kaukolämpövaihtimien tyhjiöpumput.



**Kuva 23. Vuotohöyryn ja tyhjiöpumppujen ulospuhallus**



**Kuva 24. Vuotohöyryn alipainepuhallin**



**Kuva 25. Kaukolämpövaihtimien tyhjiöpumput**

### **6.1.6. Virtausmäärä**

Ulospuhalluksen virtauksesta ei pysty sanomaan mitään ilman virtausmittaria. Ulospuhalluslämpötila höyryllä on noin 45 °C.

## 7. ULOSTULOHÖYRY

Kattilan ulospuhallussäiliöön kerätään höyryä useammasta kohteesta. Jatkuvana virtauksena säiliöön johdetaan jatkuva ulospuhallussäiliön hönkähöyry, sekä omalauhdesäiliön jälkeä olevan vesilukon hönkähöyry. Säiliöön ohjataan myös nuohouksen aluksi suoritettavan nuohouslinjojen vesityksen aikainen vesityshöyry. Lisäksi säiliöön ohjataan useita tyhjennys- ja vesityslinjoja, joita käytetään prosessin alas- ja ylösajossa.



**Kuva 26. Kattilan ulospuhallussäiliö**

Kuvassa 26 on kattilan ulospuhallussäiliö, johon prosessin hönkähöyryt kerätään. Säiliön koko on  $5 \text{ m}^3$ . Kuvassa säiliön vasemmalla puolella on lauhteenkeräyskaivo. Kaivoon kertynyt lauhde pumpataan kaukolämpöveden paisuntasäiliöön. Mikäli kaukolämpöpaisuntasäiliössä ei ole tarvetta lisävedelle, pumpataan syntynyt lauhde viemäriin.

### 7.1. Ulostulohöyryn mittaaminen

Kattilan ulospuhallussäiliön höyryn virtaus joudutaan arvioimaan virtausmittarin puutteen takia. Jatkuva ulospuhallussäiliöön johdetaan paineistettua vettä kattilan lieriöltä. Tätä virtausmäärää pystytään seuraamaan valvomosta. Prosessin ollessa täydellä teholla on paineistetun veden virtaus noin  $0,6 \text{ kg/s}$ . Lieriössä on noin 120 barin paine ja jatkuva ulospu-

hallussäiliössä noin 2,5 barin paine, jolloin suurin osa vedestä höyrystyy, mutta osa jää vielä vedeksi ja tämä jäljelle jäänyt vesi ohjataan ulospuhallussäiliöön. UPS:ssä veden paine laskee ilmakehäpainetta vastaavaksi, jolloin suurin osa vedestä muuttuu höyryksi.

Omalauhdesäiliön jälkeisen vesilukon hönkähöyryn virtauksesta ei ole saatavilla tietoa. Molempien hönkähöyryjen lämpötila ulospuhallussäiliössä on noin 100 °C. Nuohouksen aikaisen vesityshöyryn virtaus nähdään liitteestä 2. Vesityksenaikainen keskimääräinen höyryvirtaus on noin 0,3 kg/s.

## 7.2. Ulostulohöyryn energiasisältö

Hönkähöyryn energiasisältö nähdään liitteenä 1 olevasta vesihöyrytaulukosta. Höyryn paineen ollessa 1 bar, on kylläisen höyryn energiasisältö 2673,8 kJ/kg. Energiasisällön laskuissa joudutaan käyttämään arvioitua massavirtaus määrää. Laskussa energiasisältö kerrotaan höyryn massavirralla. Tällä laskutuloksella saadaan selville energiamäärä mikä vapautuu voimalaitoksen hönkähöyryjen mukana sekunnin aikana. Energiasisältö lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$X = h'' q_m \quad (3)$$

missä,

$X$  = energian sisältö sekunnin aikana (kJ/s)

$h''$  = kylläisen vesihöyryn energiasisältö (kJ/kg)

$q_m$  = höyryn massavirta (kg/s)

Jos arvioidaan hönkähöyryn massavirraksi ulospuhallussäiliöltä 0,01 kg/s, joka on tilavuusvirralta noin 16,7 l/s. Saadaan kaavan 3 avulla hönkähöyryn energian sisällöksi seuraava arvo

$$X = 2673,8 \text{ kJ/kg} * 0,01 \text{ kg/s}$$

$$X = 26,738 \text{ kJ/s} \Rightarrow 26738 \text{ J/s}$$

J/s on SI-järjestelmän tehon yksikkö, joka on sama asia kuin watti, jota käytetään yleisesti energian yksikkönä. Tehon yksikkö tunnetaan myös muodossa wattisekunti, ja tämä kun kerrotaan 3600 sekunnilla, saadaan tulokseksi wattitunti Wh. Wattitunti ilmoittaa kuinka paljon energiaa käytetään tunnin aikana. /12/

Suosiolan voimalaitoksella energian mittauksessa käytetään MWh:a. Yhden MWh:n tuottaminen Suosiolassa maksaa noin 25 €, riippuen polttoainesuhteesta ja polttoaineen hinnasta. Käyttämällä kaavan 3 tulosta, voidaan laskea hukkaan menevän energian hinta seuraavasti

$$1 \text{ MWh} = 10^6 \text{ Wh}$$

$$26738 \text{ Wh} = 0,026738 \text{ MWh}$$

Tunnissa

$$0,026738 \text{ MWh} * 25 \text{ €/MWh} = 0,67 \text{ €}$$

Vuorokaudessa

$$0,67 \text{ €} * 24 \text{ h} = 16,08 \text{ €}$$

Kuukaudessa

$$16,08 \text{ €} * 30 \text{ vrk} = 482,40 \text{ €}$$

Voimalaitoksen käyntiajassa

$$482,40 \text{ €} * 10 \text{ kk} = 4824 \text{ €}$$

Näin ollen voimalaitoksen käyntiaikana hönkähöyryjen mukana menetetty energiamäärä on noin 193 MWh:a.

## 8. ENERGIAN TALTEENOTTO

Energian talteenoton oleellisimmista tekijöistä on tehostaa prosessin energiatehokkuutta, eli minimoida energiankulutusta ja häviöitä. Lämmön talteenotolla pystytään hyödyntämään energiahäviöitä uudelleen prosessissa tai sen ulkopuolella. Talteen otettu lämpöenergia pienentää laitoksen polttoainekustannuksia ja tätä kautta tuottaa vähemmän päästöjä ympäristöön./11/ Turbiinisalin seinällä olevan hönkälähteen energian hyödyntäminen ei ole taloudellisesti kannattavaa, koska sen lämpötila on hyvin alhainen verrattuna muihin hönkälähteisiin. Täten ratkaisussa keskitytään kolmeen muuhun hönkälähteisiin, joissa lämpötila on noin 100 °C.

### 8.1. Talteen otetun energian käyttökohteet

Suosiolan voimalaitoksella järkevin muoto hyödyntää hönkähöyryjen lämpöenergiaa on kattilaveden lisävesisäiliön esilämmittäminen. Nykyään kattilan lisävesisäiliötä esilämmitetään kaukolämpövedellä. Lisävettä lisätään kattilaveteen ennen syöttövesisäiliötä, jolloin mitä lämpimämpää vesi on, sitä vähemmän se kuluttaa kattilan lämpöenergiaa.

#### 8.1.1. Ratkaisu

Järkevin tapa hyödyntää hönkähöyryjen lämpöenergiaa on asentaa LTO-järjestelmä kattilan ulospuhallussäiliön yhteyteen, kun kaikki hönkähöyryt on yhdistetty yhteen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että ulospuhallussäiliöön joudutaan putkittamaan lisäksi syöttövesisäiliön hönkähöyry, jolloin kaikki hönkälähteet ovat samassa keräyspisteessä. Hönkähöyryt voidaan yhdistää yhteen, koska kaikki kolme hönkälähdettä ovat paineettomia. Tällöin lämpöenergian hyödyntämiseen riittää yksi LTO-järjestelmä.

Hönkähöyry tiivistyy nesteeksi LTO-järjestelmässä ja samalla se luovuttaa lämpöä siirtonesteenä toimivaan veteen, jolla lisävettä lämmitetään. Ulospuhallussäiliön yhteydessä on lauhteenkeräyskaivo, johon syntynyt lauhde ohjataan LTO-järjestelmästä. Tämä järjestelmä tukee myös LTO-järjestelmän sijoittamista ulospuhallussäiliön läheisyyteen, jolloin



ei tarvitse alkaa rakentamaan erillistä lauhteenkeräys järjestelmää. Koska lauhdetta syntyy LTO-laitteella enempi kuin nykyään, on myös mietittävä lauhteelle sopivaa käyttökohdetta. Yksi vaihtoehto on syöttää lauhdevettä 1NP-syöttövesisäiliöön. 1 NP:ssä pystytään käyttämään vesikemialtaan hieman likaisempaa syöttövetä, kuin 2 NP:ssä. Tämä johtuu siitä, että 1NP-kattila on matalapaineinen suurvesitilainen kattila, jolloin veden sisältämät suolat eivät pääse muodostamaan kattilakiveä kattilaan.

## 8.2. Energian talteenoton kannattavuus

Kappaleessa esitetään karkea hinta arvio hönkähöyryjen hyödyntämiseen. Osiossa lasketaan putkimuutosten hinta materiaaleineen ja asennuksineen. LTO-järjestelmästä esitetään karkea arvio, koska ei ole tiedossa todellista höyryvirtausmäärää, niin ei pystytä valitsemaan oikeanlaista lämmön talteenottojärjestelmää. Materiaalien hinnat on katsottu erään tukkumyyjän kotisivuilta. Putkien asennushinnat ja aikataulu on selvitetty putkitöiden asennusta tarjoavalta yritykseltä. Putkilinjojen vetoon on arvioitu menevän kahdella asentajalla noin 40 h.

Putkien materiaalina käytetään haponkestävää terästä. Putkien määrät on laskettu niin, että ne riittävät materiaalin hankintaan. Putkien asennuksissa pystytään hyödyntämään jo olemassa olevia putkenkannatus telineitä, joten näitä ei tarvitse sisällyttää kustannusarvioon.

### Taulukko 5. Materiaalien ja asennuksen kustannusarvio

Materiaali	Hinta € (alv 0%)
<b>SYVE - UPS</b>	
DN 20 HST-PUTKI L=40 m	16,81 €/m = 672,40 €
DN 20 HST-KÄYRÄ 6 kpl	4,14 €/kpl = 24,84 €
<b>UPS - LISÄVESISÄILIÖ</b>	
DN 32 HST-PUTKI L=45+5 m	26,36 €/m = 1318,00 €
DN 32 HST-KÄYRÄ 12 kpl	5,56 €/kpl = 66,72 €
<b>ASENNUS</b>	
Putkien eristys	85 m x 40 €/m = 3400 €
Hitsaus ja asennus	80 € x 40 h = 3200 €
<b>Yhteensä</b>	<b>8 681,96 €</b>

DN 32-putkessa 45 metriä on varattu putkivetoihin ulospuhallussäiliöltä lisävesisäiliölle ja loput 5 metriä on varattu lisävesisäiliön sisällä olevaan lämmitysvastukseen. Putkivetojen asennuksien lisäksi täytyy ottaa huomioon LTO-järjestelmä. Täydellisen järjestelmän hinta arvio asennettuna paikoilleen on noin 40 000 €. Hinta sisältää teholtaan 500 kW:n LTO-laitteen, joka on varusteltu höyryvirtausmittarilla. Tämä hinta on pyydetty yhdeltä johtavalta LTO-järjestelmän tarjoajalta. Kaikissa esitetyissä hinnoissa on alv 0 %.

Takaisinmaksuaika pystytään selvittämään kaavan kolme avulla, kun on saatu selville höhkähöyryjen todellinen massavirtaus.

## 9. YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Rovaniemen Energia Oy:n omistaman Suosiolan vastapainevoimalaitoksen hukkalämmönlähteet, ja esittää näille teknillisesti toimiva hyödyntämistapa. Voimalaitoksesta löytyi kolme hukkalämmönlähdettä, jotka oli järkevästi hyödynnettävissä. Kaikki kolme lähdettä olivat hönkähöyryjä, joiden ulospuhalluslämpötila oli noin 100 °C. Alkuperäisenä tavoitteena oli saada selville hukkalämmöistä hukkaan menevän energian osuus. Tarkoituksena oli mitata hönkähöyryjen lämpöenergiämäärä kannettavalla virtausmittarilla, jonka toiminta perustuu ultraääneen. Varsin pian kuitenkin huomattiin, että kylläiselle kostealle höyrylle, ei ole saatavilla kannettavaa virtausmittaria, joten tältä osin työ jäi vajaaksi.

Työssä esitetään teknillisesti toimiva ratkaisu hukkalämpöjen hyödyntämiseen. Tämä investointi on kustannuksiltaan noin 50 000 €. Vasta hönkähöyryjen mittaustyön jälkeen pystytään selvittämään hukkalämpöjen energiasisältö, jolloin pystytään laskemaan, onko investointi taloudellisesti järkevä.

Tämän opinnäytetyön tekeminen on syventänyt minulle koulussa opittuja asioita, niin kone-tekniikan, mutta erityisesti energiatekniikan osalta, sekä auttanut ymmärtämään voimalaitosprosessin ja kaukolämpötuotannon toimintaa.

Vaikka alkuperäisestä tavoitteesta jäätiin mittauksien puuttumisen takia, toivon, että Rovaniemen Energia Oy tutkii hönkähöyryjen energian sisällön ja saa tästä taloudellista hyötyä.

## 10. LÄHDELUETTELO

/1/ ABB Ab, Turbiinigeneraattorin ohjekirja 1, 1994

/2/ Ahlström Höyrykattilat, Serviceyksikkö, Sillanpää, E., Järjestelmäkuvaukset kansio, 1994

/3/ Alfa Laval Suomi, Energiatehokkaat lämmönsiirtoratkaisut, [www-dokumentti]  
[<http://local.alfalaval.com/fi-fi/key-technologies/heat-transfer/plate-heat-exchangers/pages/default.aspx>], 18.10.2011

/4/ Arpalahti, Esko, Näretie, Veikko, Höyrytekniikka: Kattilat ja koneet, 3. Painos, Kustannusosakeyhtiö Otava, 1981

/5/ Clyde Bergemann Scandinavia Oy, Oskilloiva nuohoin, [www-dokumentti],  
[[http://www.clydebergemann.fi/content\\_manager/go/ID/37401/dbc/2cb151025dbf822576f943982d5a59111](http://www.clydebergemann.fi/content_manager/go/ID/37401/dbc/2cb151025dbf822576f943982d5a59111)], 14.10.2011

/6/ Hautala, Mikko, Peltonen, Hannu, Insinöörin (AMK) Fysiikka osa I, 8. painos, Lahden Teho-Opetus Oy, 2007

/7/ Huhtinen, Markku, Kettunen, Arto, Nurminen, Pasi, Pakkanen, Heikki, Höyrykattilatekniikka, 2.-4. painos, Oy Edita Ab, 1999

/8/ Huhtinen, Markku, Korhonen, Risto, Pimiä, Tuomo, Urpalainen, Samu, Voimalaitostekniikka, 1. painos, Opetushallitus, 2008

/9/ Jantunen, Markku, Picasa-verkkoalbumit, [www-dokumentti],  
[<http://picasaweb.google.com/113875435717215533121/Hanasaari#5245077786224332482>], 18.10.2011

/10/ Mainostoimisto Adexpert Ky, Purkausruuvi, [www-dokumentti]

[<http://www.adexpert.fi/CenterScrew.htm>], 12.10.2011

/11/ Motiva, Energiatehokas lämmitys- ja lämmöntalteenotto järjestelmä, [www-

dokumentti], [[http://www.motiva.fi/files/2418/Energiatehokas\\_l\\_mmitys\\_ja\\_LTO](http://www.motiva.fi/files/2418/Energiatehokas_l_mmitys_ja_LTO)],

11.11.2011

/12/ Mäkelä, Mikko, Soininen, Lauri, Tuomola, Seppo, Öistämö, Juhani, Tekniikan Kaa-

vasto, 4. painos, Tammertekniikka, 2002

/13/ Perttula, Jarmo, Energiatekniikka, 1. painos, WSOY, 2000.

/14/ Rovaniemen Energia Oy, Liiketoimintasuunnitelma

/15/ Rovaniemen Energia Oy, Syöttövesipumput KSB HGC 4/11, 15.11.1994

/16/ Rovaniemen Energia Oy, Vuosikertomus 2010

/17/ Sandvik Materials Handling, Suosiolan polttoaineen käsittely, 2002

/18/ Soini, Sanna, Diplomityö: Lämmönsiirtimien suunnittelu integroidussa simulointiympäristössä, 2001, [www-dokumentti],

[<http://www.simserv.com/gallery/documentation/sannanDiplomityo.pdf>] 18.10.2011

## **11. LIITELUETTELO**

- LIITE 1. Kylläisen vesihöyryn arvoja
- LIITE 2. Nuohouksen aikainen höyryvirtaus