



# **Höyrylaitoksen suunnittelu, polttoaineiden vertailu ja kustannuslaskelmat**

Mikael Ylikännö

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2015  
Talotekniikka  
LVI-talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
LVI-talotekniikka

YLIKÄNNÖ, MIKAEL:

Höyrylaitoksen suunnittelu, polttoaineiden vertailu ja kustannuslaskelmat

Opinnäytetyö 90 sivua, joista liitteitä 4 sivua  
Huhtikuu 2015

---

Opinnäytetyön aihe muodostui Korpela Oy:n tarpeesta vertailla parasta ratkaisua tehtaan höyryntuotantoon tulevaisuudessa. Opinnäytetyön pohjalla vaikutti nykyisen raskaalla polttoöljyllä toimivan höyryjärjestelmän kunto sekä 1.1.2018 kiristyvien hiukkaspäästöraja-arvojen vuoksi aiheutuva raskaan polttoöljyn käytön huomattava vaikeutuminen ja mahdollinen loppuminen.

Jatkuva ja varmatoiminen höyryntuottojärjestelmä on ensisijaisen tärkeä tehtaan prosessien, lämmityksen ja lämpimän käyttöveden saannin turvaamiseksi. Uuden höyryntuoton pääargumentteina ovat energiatehokkuus, ympäristöystävällisyys ja kustannustehokkuus. Pienen 2 MW:n höyryjärjestelmän paremman ymmärtämisen kannalta oleelliset perustiedot ja ohjeet toimintaperiaatteesta, suunnittelusta ja toteutuksesta on otettu huomioon. Työssä on lisäksi tarkasteltu tarkemmin ympäristöystävällisen kiinteän biomassaisen polttoaineen käyttöön liittyviä viranomaismääräyksiä, toimintaa ja energiatehokkuutta.

Kohteen höyryntuoton vartenotettavina vaihtoehtoina tulevaisuutta ajatellen toimivat uusi kiinteällä biomassaisella polttoaineella käytettävä höyryjärjestelmä tai ostohöyry ulkopuoliselta tuottajalta. Taloudellisen näkökulman merkittävyyden vuoksi uudelle kattilalaitokselle on laskettu takaisinmaksuaika, jota on verrattu ostohöyryn tulevaisuuden kustannuslaskelmiin.

Opinnäytetyöstä syntyi hyödyllinen ja laaja työkalu höyryjärjestelmän suunnittelusta, toteutuksesta ja viranomaismääräyksistä. Lisäksi saatiin käsitys keskeisistä polttoaineiden vertailuista ja taloudellisista laskelmista, jotka tulee aina ottaa huomioon investointipäätöksiä tehdessä. Opinnäytetyötä voidaan soveltaa muihin samankaltaisiin projekteihin tulevaisuudessa ja nopeuttaa niiden työskentelyä. Päämääränä oli antaa kattava ja yksinkertaistettu kokonaiskuva höyryjärjestelmästä.

Opinnäytetyössä salaiseksi aineistoksi on luokiteltu höyryjärjestelmästä suunniteltu ja piirretty kytkentäkaavio.

---

Asiasanat: höyryjärjestelmä, energiatehokkuus, polttoaine, ympäristöystävällisyys

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
HVAC Services

YLIKÄNNÖ, MIKAEL:  
Steam Plant's Planning, Comparison of the Fuels and Cost Calculations

Bachelor's thesis 90 pages, appendices 4 pages  
April 2015

---

The purpose of this thesis was to determine the best solution for factory's future steam production. The framework of the thesis was the state of the current bunker fuel functioning steam system, and the notable exacerbation and potential ending of the usage of bunker fuel. Reason for this is the tightening of the particle-emission limits, which will come into effect on January 1<sup>st</sup>, 2018.

Continual and reliable steam production system is primary importance to ensure factory's procedures, heating and the supply of hot water. The main arguments for the new steam production are energy efficiency, cost efficiency and environmental friendliness. The relevant basic knowledge enabling better understanding of the small 2 MW steam system, as well as instructions of policy, planning and implementation were all taken into account. Moreover, in this thesis there was closer examination of official regulations, properties and energy efficiency, which have something to do with the function of environmentally friendly solid biomass fuel.

Factory's considerable steam production options for the future are either new solid biomass fuel functioning steam system, or steam purchased from external producer. Due to the significance of the economical viewpoint, a payback time has been calculated for the new boiler plant, taking into consideration cost estimates for purchasing steam in the future.

The results were a useful and extensive tool regarding planning, implementation and official regulations of steam system. Furthermore, conclusions were drawn from comparisons of fuels and economical calculations, which are significant and always ought to be taken into consideration when making decisions regarding investments. In the future, this thesis can be applied to other similar projects, and thus expedite the work. The goal was to present a comprehensive and simplified general view regarding steam system.

In the thesis the circuit diagram, designed and drawn for the steam system, is classified as a secret source material.

---

Key words: steam system, energy efficiency, fuel, environmental friendliness

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	LIHAJALOSTE KORPELA OY .....	9
2.1	Yrityksen historia.....	9
2.2	Lähtötiedot höyrykattilalaitoksen suunnitteluun .....	9
3	VIRANOMAISMÄÄRÄYKSET .....	11
3.1	Ympäristönsuojelulaki .....	11
3.2	Painelaitelaki.....	11
3.3	Painelaiteturvallisuus .....	12
3.3.1	Sijoitussuunnitelma ja tarkastus.....	13
3.3.2	Käytön valvonta .....	13
3.4	Paloturvallisuus.....	14
4	HÖYRYJÄRJESTELMÄ.....	15
4.1	Höyrykattilan toimintaperiaate .....	15
4.2	Höyrykattilajärjestelmän vaatimat pääkomponentit .....	16
4.2.1	Syöttövesisäiliö .....	16
4.2.2	Syöttövesipumppu.....	16
4.2.3	Vedenkäsittelyjärjestelmä .....	17
4.2.4	Ulospuhallus.....	18
4.2.5	Ilma- ja savukaasukanavat .....	19
4.3	Höyryjärjestelmän edut ja haitat .....	20
4.3.1	Edut .....	20
4.3.2	Haitat .....	20
5	MAHDOLLISTEN POLTTOAINERATKAISUJEN TARKASTELU .....	21
5.1	Perusteet polttoainevaihtoehdoille .....	21
5.1.1	Nykyinen höyrykattilalaitos .....	21
5.1.2	Uusi höyrykattilalaitos .....	22
5.2	Polttoainevertailu .....	22
5.2.1	Raskas polttoöljy .....	23
5.2.2	Kevyt polttoöljy .....	24
5.2.3	Nestekaasu.....	25
5.2.4	Puupelletti .....	26
5.2.5	Turvepelletti .....	28
5.2.6	Kauran kuori.....	28
5.2.7	Ostohöyry .....	29
5.3	Energianhinnat .....	30

6	UUDEN KATTILALAITOKSEN SUUNNITTELU .....	32
6.1	Vaatimuksenmukaisuuden määrittely putkistolle ja laitteille .....	32
6.1.1	Hitsausluokka .....	32
6.1.2	Putkiluokka .....	33
6.2	Arinapolttainen höyrykattila .....	34
6.2.1	Automaatio .....	35
6.2.2	Ilmastointi ja palamisilma .....	36
6.2.3	Polttoaineen kuljetus ja varastointi .....	38
6.2.4	Tuhkanpoisto .....	38
6.3	Höyryverkosto .....	39
6.3.1	Vesitys .....	40
6.4	Lauhdeverkosto .....	41
6.4.1	Mitoitus .....	42
6.5	Lauhteenpoistimet .....	45
6.5.1	Mekaaninen lauhteenpoistin .....	46
6.5.2	Termodynaaminen lauhteenpoistin .....	47
6.5.3	Terminen lauhteenpoistin .....	48
6.5.4	Näkölasi .....	49
6.6	Mittaaminen .....	50
6.6.1	Painemittaus .....	50
6.6.2	Pinnankorkeuden mittaus .....	50
6.6.3	Lämpötilan mittaus .....	51
6.6.4	Höyryn virtausmittaus .....	51
6.7	Economizer .....	53
6.8	Suodatus .....	54
6.8.1	Savukaasujen suodatus .....	54
6.8.2	Putkiston suodatus .....	55
6.9	Höyryverkostossa käytettäviä venttiileitä .....	56
6.9.1	Varoventtiili .....	57
6.9.2	Istukkaventtiili .....	57
6.9.3	Yksisuuntaventtiili .....	58
6.9.4	Pisaranerotin .....	59
6.9.5	Säätöventtiilit .....	60
6.9.6	Paineenalennusventtiili .....	61
6.10	Kannakointi .....	62
6.11	Eristys .....	66
6.12	Turvallisuus ja riskienarviointi .....	68
7	VIRANOMAISTEN VAATIMAT SUUNNITELMAT JA LUVAT .....	69

7.1	Rakennuslupa ja toimenpideilmoitus.....	69
7.2	Ympäristölupa.....	70
7.2.1	Savupiipun mitoitus ja savukaasuvirta.....	70
7.2.2	Leviämismallilaskelma .....	71
7.3	Kytkäntäkaavio .....	74
8	UUDEN KATTILALAITOKSEN TAKAISINMAKSUAIKA.....	75
8.1	Tuet .....	75
8.1.1	Energiatuki .....	75
8.1.2	Yritystuki .....	76
8.2	Rahoitusyhtiö .....	76
8.3	Takaisinmaksuaika.....	77
8.3.1	Herkkyystarkastelu.....	78
9	PÄÄTELMÄT.....	80
	LÄHTEET.....	81
	LIITTEET .....	87

## LYHENTEET JA TERMIT

°dH	Veden kovuuden yksikkö
pH	Kuvaa veden happamuutta ja emäksisyyttä
mmol/l	p-luvun yksikkö, joka kuvaa veden emäksisyyden määrää (kun $\text{pH} \leq 8,3$ niin p-luku on 0)
mS/m	Kuvaa vedessä liuenneena olevien sähköä johtavien suolojen määrää, joka ilmoitetaan yleensä +25 °C:n lämpötilassa
ppb	Kuvaa syöttövedeen liennutta happea (1000ppb = 1 ppm, ppm = mg/l)
bar	Ylipaineen yksikkö, bar
DN	Dimension Nominale. Putken halkaisijan nimellisuuruus
V	Tilavuus ( $\text{m}^3 = 1000 \text{ l}$ )
PS	Suurin sallittu käyttöpaine, (bar(g))
MW	Tehon yksikkö (1 MW = 1000 kW)
kg/i-m <sup>3</sup>	Irtotiheys (mukana rakeiden väliset tilat ja huokokset)
kg/m <sup>3</sup>	Kiintotiheys (ei oteta huomioon huokosia ja rakeiden välitiloja)
mg/m <sup>3</sup> n	Ilman pölyn määrä tilavuusyksikköä kohti olosuhteissa 1,013 bar ja 0 °C
LAeq	Keskiäänitaso desibeleinä (desibeli = dB)
P	Kattilan teho (MW)
p	Suurin sallittu käyttöpaine (bar)
wobbe-luku	Jaetaan kaasun lämpöarvo sen suhteellisen tiheyden neliöjuurella ( $\text{MJ/m}^3$ ). Wobbe-arvoltaan samansuuruiset kaasut soveltuvat käytettäväksi yhden kaasulaitteen- tai polttimen kanssa ilman suuttimien vaihtamista.

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe syntyi Huittisissa sijaitsevan Lihajaloste Korpela Oy:n ajatuksesta uusien heidän höyryntuotantojärjestelmänsä vuonna 2016. Höyryn avulla tuotetaan lämpöä ja höyryä tehtaan tarpeisiin. Opinnäytetyö suoritettiin höyryjärjestelmiä toteuttavassa yrityksessä nimeltä Metall- ja LVI Lundgren Oy. Höyryntuotantojärjestelmän suunnittelun ja toteuttamisen tärkeimmiksi kriteereiksi muodostui energiatehokkuus, ympäristöystävällisyys ja ajankohtainen tekniikka.

Pienet 0,5 – 5 MW:n kiinteän polttoaineen höyryntuotantojärjestelmät ovat Suomessa vielä uusia ja harvinaisia. Kuitenkin nykyaikainen lainsäädäntö ja ympäristöpolitiikka ovat kannustamassa yrityksiä ja yhteisöjä miettimään ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja energian tuottamiseen tulevaisuudessa. Merkittävänä tekijänä investointipäätöksiin vaikuttaa myös polttoaineiden hintojen kehitys sekä järjestelmien takaisinmaksuajat.

Höyryjärjestelmän toimivuuden varmistamisen tärkeimpänä asiana on ammattitaitoinen ja huolellinen suunnittelu. Lisäksi uusien järjestelmien kanssa työskennellessä on tärkeää kyetä selvittämään ja korjaamaan vastaan tulevia mahdollisia ongelmatilanteita. Höyryjärjestelmissä käsitellään suuria paineita ja korkeita lämpötiloja, joiden kanssa tulee työskennellä varovaisesti. Höyryyn liittyvien riskien takia järjestelmää koskee monta erilaista lakia ja määräystä, jotka tulee ottaa huomioon.

Työn tarkoituksena on antaa mahdollisimman kattava kuva höyryjärjestelmän suunnittelusta sekä auttaa ymmärtämään järjestelmän toimintaperiaatetta. Energiatehokkaan ja kustannuksiltaan järkevän järjestelmän rakentamiseksi vertaillaan myös eri polttoaineita sekä järjestelmän takaisinmaksuaikaa. Tärkeimpänä tavoitteena on saavuttaa jatkuva höyryntuotanto tehtaan tarpeisiin joko primäärisellä tai sekundäärisellä höyryjärjestelmällä.



## **2 LIHAJALOSTE KORPELA OY**

### **2.1 Yrityksen historia**

Lihajaloste Korpela Oy on vuonna 1958 perustettu liha-alan yritys, joka tuottaa valmisruoka-, saunapalvi- ja leikkelemakkaratuotteita. Yrityksessä työskentelee yhteensä 110 henkilöä, joista Honkajoen tehtaalla työskentelee 10 henkilöä ja Huittisten tehtaalla 100 henkilöä. Yrityksen kokonaisliikevaihto oli vuonna 2014 noin 29,5 miljoonaa euroa. Yritys tuottaa lihaa kotimaan ja ulkomaan markkinoille. Vienti keskittyy Keski-Euroopan, Ruotsin ja Venäjän alueille. (Kortelainen 2015).

Huittisiin yritys siirtyi tilojen tuhouduttua palossa Honkajoella vuonna 2001, jonka jälkeen yritys osti Huittisten Lihapoikien tilat Huittisista vuonna 2002. Huittisissa toiminta alkoi saneerauksen jälkeen vuonna 2003, jonka jälkeen yritys lakkautti Jämijärven tehtaan vuonna 2004 ja keskitti toimintaansa yhä enemmän Huittisiin. Nykyään yrityksen toiminta on sijoittunut pääsääntöisesti Huittisiin lukuun ottamatta pientä valmisruokatehdasta Honkajoella. Yritys aloitti Huittisissa tehtaanlaajennuksen 2009, joka kasvatti selvästi Huittisten tehtaan arvoa.(Lihajaloste Korpela Oy, 2009). Tuotannon kasvu ja samalla energian tarpeen kasvu olivat osasyinä ajatukseen lämmitysjärjestelmän uusimisesta.

### **2.2 Lähtötiedot höyrykattilalaitoksen suunnitteluun**

Nykyisessä kattilalaitoksessa toimii tehtaan tarpeisiin kaksi raskaalla polttoöljyllä toimivaa tulitorvi-tuliputkikattilaa. Kattila 2 on 1,66 MW:n kokoinen vuonna 1990 valmistettu kattila. Polttimena toimii moduloivasäätöinen Oilonin poltin, jota käytetään ensisijaisesti laitoksen tarvitseman höyryn tuotannossa. Kattila 1 on vanhempi vuonna 1978 valmistettu 1,8 MW:n kokoinen kattila, jota pyritään käyttämään energiahuippujen aikana sekä yöajan peruslämmityksessä. Nykyinen höyryntuotantojärjestelmä on vanha ja käyttökustannuksiltaan kallis, joka tarvitsee lähivuosina saneerausta. Halutessaan yritys voi jättää nykyisen laitoksen varavoimaksi ja mahdollisesti rakentaa uusi ympäristöystävällisempi, energiatehokkaampi sekä kustannustehokkaampi järjestelmä. Lisäksi uuden laitoksen rakentamista kannustaa raskaspolttoöljyisten laitosten käytön vaikeutuminen ensimmäinen

tammikuuta 2018 voimaan tulevien rikkipitoisuuksien sekä hiukkaspitoisuuksien raja-arvojen tiukentumisen johdosta (750/2013, liite 1).

Tehtaan energiantarve kokonaisuudessaan vuositasolla on noin 4000 MWh. Energiahuippujen selvittämiseksi ja mitoituksen perustaksi suoritettiin viikon ajan höyryn energian kulutusta. Höyryn kulutuksen arvot saatiin paine-erolla toimivan virtausmittarin painelähettimen virtaviestiin kytketyn loggerin avulla, joka lähettää 4 - 20 mA:n viestiä. Mittausten avulla saatiin käytönaikaiseksi huipputehon tarpeeksi noin 1,33 t/h ulkolämpötilan ollessa noin 0 °C:tta. Uuden höyrylaitoksen kapasiteetti (2 MW) riittää tuottamaan höyryä tehtaan tuotannon tarpeisiin ympäri vuoden ulkolämpötilasta riippumatta.

### **3 VIRANOMAISMÄÄRÄYKSET**

#### **3.1 Ympäristönsuojelulaki**

Valtioneuvosto on asettanut polttoaineteholtaan alle 50 MW:n energiantuotantoyksiköille ympäristönsuojeluvaatimukset (750/2013), joka korvaa PINO-asetuksen 445/2010. Lain tarkoituksena on ehkäistä ja vähentää ympäristöön syntyvien haitallisten päästöjen määrää ja lisätä ympäristön suojelun valvontaa. Höyryjärjestelmän suunnitteluun laissa on määriteltäviä vaatimuksia ja vähimmäisarvoja, joista keskeisimpiä ovat savupiipun korkeuden mitoittaminen, päästöraja-arvojen noudattaminen ja toiminnan sijoittaminen. Päästöraja-arvot ovat asetuksen 750/2013 liitteessä 1.

Uuden höyrykattilalaitoksen 2,0 MW:n tehon myötä Lihajaloste Korpela Oy:n energiantuotantoyksiköt olisivat nykyisten kattiloiden kanssa yhteenlaskettuna 5,46 MW. Energiantuotantoyksiköiden ollessa yhteensä yli 5 MW:a sekä ympäristönluvanvaraisen toiminnan takia on järkevää soveltaa asetuksen 750/2013 §:n 1 kohtaa 2 höyryntuotantojärjestelmän suunnittelussa ja toteutuksessa.

#### **3.2 Painelaitelaki**

Kauppa ja teollisuusministeriön on asettanut painelaitelain 869/1999 nojalla painelaitteita koskevan asetuksen 938/1999, joka on annettu 30.9.1999 (938/1999). Päätökseen 938/1999 sisältyy painelaitedirektiivin 97/23/EY mukaiset menettelyt (Tukes, Painelaitteopas, 5). Asetuksen tarkoituksena on antaa vaatimuksia markkinoille tuotaville painelaitteille ja siihen liittyville laitteistokokonaisuuksille, jotta ne eivät asianmukaisesti asennettuina, huollettuina ja tarkoitukseensa käytettyinä vaaranna kenenkään turvallisuutta, terveyttä tai omaisuutta (938/1999, 1§).

Painelaitteilla ja siihen liittyvillä kokonaisuuksilla on oltava CE-merkintä ja niistä on laadittava EY-vaatimustenmukaisuustodistus, ellei laitteita luokitella hyvään konepajakäytäntöön. Turvallisuusvaatimusten johdosta painelaite voidaan luokitella kasvavan riskin mukaan neljään eri luokkaan. (Tukes, Painelaitteopas, 5). Mikäli painelaite on luokiteltu, tulee sen turvallisuusvaatimukset arvioida ennen markkinoille päästämistä. Luokitteluun

vaikuttaa putkien nimellissuuruus (DN), painelaitteen tilavuus (V) ja suurin sallittu käyttöpainne (PS) (938/1999, liitteet I-IV). Painelaitteen vaatimuksenmukaisuuden arviointimenettelyssä valitaan painelaiteluokkaa vastaava riittävä moduuli tai moduuliyhdistelmä (A-H1) turvallisuusvaatimusten täyttymiseksi. Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt on esitetty tarkemmin päätöksen 938/1999 liitteissä. (Tukes, Painelaiteopas, 7).

Painelaitteita koskevan asetuksen noudattamista valvotaan valtion turvallisuus- ja kemikaaliviraston Tukesin myöntämien tarkastuslaitosten avulla, joita ovat Dekra Industrial Oy, Inspecta Tarkastus Oy, Insteam Oy, Teollisuuden Voima Oy ja Testlink Oy (Tukes, Tarkastuslaitokset). Lisäksi painelaitteet on rekisteröitävä sekä tarkastuksista pidettävä kirjaa määräysten noudattamisen seuraamisen vuoksi (Tukes, Painelaiteopas, 11). Höyryntuotantojärjestelmän painelaitteille, putkistolle ja kattiloille suoritettavien erilaisten säännöllisten tarkastustoimenpiteiden aikavälit on eritelty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Höyryntuotantolaitoksen tarkastusten tavallinen aikaväli (Tukes, Painelaitteiden määräaikaistarkastukset, 2)

Tarkastukset	Tavallinen aikaväli	
	Painesäiliöt	Kattilat
Ensimmäinen määräaikaistarkastus	Käyttöönoton yhteydessä	Käyttöönoton yhteydessä
Käyttötarkastus	4 vuotta	2 vuotta
Sisäpuolinen tarkastus	4 vuotta	4 vuotta
Määräaikainen painekoe	8 vuotta	8 vuotta
Muutostarkistus	Tarvittaessa	Tarvittaessa

Käytön aikaisiin tarkastuksiin ilman säännöllistä määräaikaa kuuluvat asetuksen 953/1999 nojalla myös sijoitussuunnitelman tarkastus ja upotustarkastus (Tukes, Painelaiteopas, 11).

### 3.3 Painelaiteturvallisuus

Sijoitussuunnitelman pohjana toimivan standardin 3333 ohjeet ja arvot soveltavat painelaiteturvallisuuden asetusta 953/1999, jossa käydään läpi painelaitteita koskevaa käyttöä, rekisteröintiä, säännöksiä ja tarkastuksia (953/1999).

### 3.3.1 Sijoitussuunnitelma ja tarkastus

Painelaitteelle ja siihen liittyville kokonaisuuksille suunnitellaan sijoitussuunnitelma, jossa kerrotaan painesäiliön sijoitukseen, varusteluun ja käyttöön liittyviä standardoituja ohjeita. Sijoittelulla pyritään varmistamaan vaarattomuus henkilöille, omaisuudelle ja turvallisuudelle. Häiriö- tai vaaratilanteen sattuessa paineen tulee purkautua mahdollisimman rajoitetulle ja vaarattomalle alueelle, jota pyritään ohjamaan rakenteellisilla ratkaisuilla kevyin enintään  $1 \text{ kN/m}^2$  pintakuormille mitoitetun rakentein ja raskain vähintään  $5 \text{ kN/m}^2$  mitoitetuin rakentein. Kevytrakenteista materiaalia tulee olla vähintään 10 % laitoksen kokonaispinta-alasta (Koivisto 2014). Sijoittelussa tulee ottaa huomioon hoitotasojen kulkusiltojen ja portaiden tarkoituksenmukaisuus ja turvallisuus painesäiliön käytön, huollon ja tarkastusten kannalta. Käyttö, kunnossapito ja huolto-ohjeiden tulee painelaitesäädösten mukaan olla riittävän laajat, oikean kieliset ja asianmukaiset. (SFS 3333). Ilman sijoitussuunnitelmaa ja sen tarkastamista tarkastuslaitoksen toimesta, ei painelaitetta saa asentaa (Tukes, Painelaitteopas, 11).

### 3.3.2 Käytön valvonta

Käytönvalvojalla vaaditaan asiantuntemuksen lisäksi pätevyyskirjoista saatua pätevyyttä kattilalaitoksen ollessa yli 1 MW:n tai suurimman sallitun käyttöpaineen ollessa yli 10 baaria (953/1999 § 24). Käytön valvojan tulee valvoa käyttöä ja kuntoa sekä varmistua painelaitteita käyttävän henkilöstön olevan ammattitaitoisia (953/1999, § 23). Asetuksessa 891/1999 on eri pätevyyskirjoihin vaaditut koulutusmäärät, jotka poikkeavat teholumun ja suurimman sallitun käyttöpaineen mukaan, jotka on määritelty asetuksessa 953/1999 (891/1999). Uuden kattilalaitoksen rakentuessa tehdään energiatuotantoyksikön suurin käyttöpaine on 10 baaria ja tehontuotto 2,0 MW:a. Teholuvuksi muodostuu tehdään energiantuotantoyksiköille yhtälöstä 1 muodostuva määrä:

$$\Sigma(p * P) = p_{k1} * P_{k1} + p_{k2} * P_{k1} + p_{uusi} * P_{uusi} \quad (1)$$

Yhtälössä lasketaan jokaisen kattilan teholumujen summat yhteen, joka saadaan kattiloille ominaisilla suurimman sallitun käyttöpaineen ja tehon avulla. Yhtälössä  $p$  on suurin sallittu käyttöpaine ja  $P$  on kattilan teho. Teholumujen summaksi saatavalla arvolla määritetään vaadittava pätevyys. Teholumujen summa on:

$$\Sigma(p * P) = 1,8 \text{ MW} * 9,4 \text{ bar} + 1,66 \text{ MW} * 8,8 \text{ bar} + 2,0 \text{ MW} * 10 \text{ bar} = 51,5 \quad (1)$$

TAULUKKO 2. Käytönvalvojille asetetut pätevyysrajat. (953/1999, § 24)

Pätevyys	Suurin sallittu käyttöpaine	Teholuku
B-koneenhoitaja	≤16	<40
A-koneenhoitaja	≤25	<100
Alikonemestari	≤40	<500
Konemestari	-	<5000
Ylikonemestari	-	>5000

Taulukosta 2 voidaan huomata, että suurimman sallitun paineen puolesta B-koneenhoitaja pätevyys olisi riittävä. Kuitenkin teholumun suuruuden vuoksi tehtaan käytön valvojalla tulee olla A-koneenhoitajan pätevyudet.

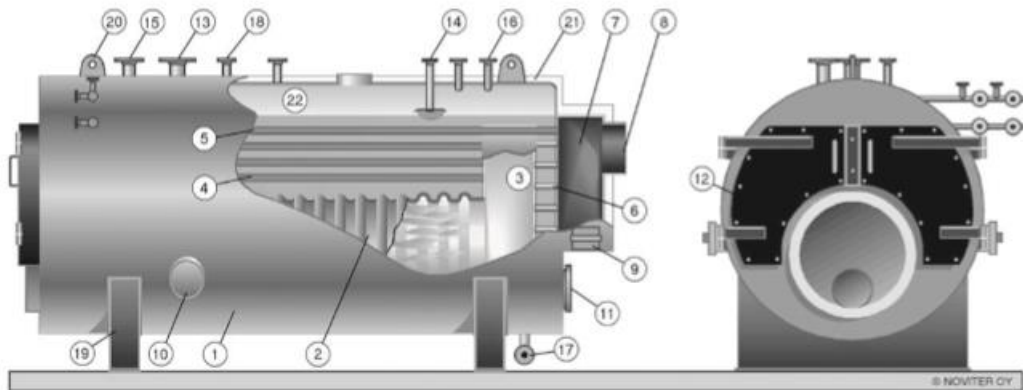
### 3.4 Paloturvallisuus

Kattilalaitosten suunnittelussa ja toteutuksessa tulee noudattaa Suomen Rakentamismääräyskokoelman ohjeita E2 ja E9 sekä kokoelmissa olevia viittauksia. Kattilalaitoksen sijoituspaikkaa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon kattilalaitoksen tarkastelu erillisenä rakennuksena, jolloin laitos on vähintään 8 metrin etäisyydellä lähimmästä toisesta rakennuksesta (SRMK E9, 6). Paikkakunnasta ja kohteesta riippuen on suositeltavaa määrittää erityisvaatimuksia paloturvallisuuteen liittyen, jotka tulee selvittää kaupungin viranomaisten ja aluepalomestarin kanssa. Edellä olevaan lauseeseen liittyen uuteen kattilalaitokseen sovelletaan erityissuunnittelua, jossa käydään läpi tarkemmin suojausta, rakennuksen korkeutta, savunpoistoa ja muita merkittäviä asioita. Savunpoiston osalta kattilalaitos määräytyy palovaarallisuusluokkaan 2, joka määrittää painovoimaisen savunpoiston olevan 2 - 5 % osaston alasta. Savunpoistoon voi käyttää erillisiä savunpoistoluokkuja tai korkealla olevia ikkunoita ja luokkuja. (SRMK E2, 7)

## 4 HÖYRYJÄRJESTELMÄ

### 4.1 Höyrykattilan toimintaperiaate

Kattilan päätarkoituksena on tuottaa kattilaan syötetystä vedestä höyryä. Pienissä matalapaineisissa höyryntuotantolaitoksissa käytetään yleisimmin suurvesitilakattiloita, joita ovat tulitorvi-tuliputkikattilat (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 111). Tulitorvi-tuliputkikattiloissa vesi höyrystyy tulitorven ja tuliputkien ulkopuolella olevassa vaipassa. Tuliputkien tulee olla veden peitossa maksimaalisen höyryntuoton tuottamiseksi ja putkien ylikuumentumisen ehkäisemiseksi. Tulitorvessa poltettavan polttoaineen avulla muodostuu lämpöenergiaa, joka siirretään säteilyn ja savukaasujen avulla kattilassa olevaan esikäsiteltyyn veteen. Kattilaan syötetty kiehumispisteessä oleva esikäsitelty vesi höyrystyy kattilassa vallitsevan paineen mukaisessa höyrystymislämpötilassa. Kääntökammioiden ja tuliputkien kautta kulkeneet jäähtyneet savukaasut poistetaan kattilan peräpäästä savukanavan ja savupiipun kautta ulos. Kattilan jälkeisten savukaasujen lämpö voidaan ottaa talteen ja hyödyntää syöttöveden lämmityksessä. Kuvassa 1 on esitetty öljyllä toimivan kolmivetoisen tulitorvi-tuliputkikattilan pääkomponentit.



#### NST-höyrykattilan osat:

- |                                 |                       |                               |                        |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|
| 1. Paineastian vaippa           | 2. Tulitorvi          | 3. Lieskakammio               | 4. II-veden tuliputket |
| 5. III-vedon tuliputket         | 6. Sidetangot         | 7. Savukaasukammio            | 8. Savukanava          |
| 9. Puhdistusluukku              | 10. Tarkastusluukku   | 11. Räjähdyshuukku/kulkuaukko | 12. Etuluukku          |
| 13. Päähöyry-yhde               | 14. Syöttövesiyhde    | 15. Pinnanmittausyhde         | 16. Varoventtiiliyhde  |
| 17. Tyhjennys/pohjapuhallusyhde | 18. Pintapuhallusyhde | 19. Jalusta                   | 20. Nostokorva         |
| 21. Eristys                     | 22. Höyrytila         |                               |                        |

KUVA 1. Perinteisen kolmivetoisen tulitorvi-tuliputkikattilan pääkomponentit (Huhtinen 2006, 72)

## **4.2 Höyrykattilajärjestelmän vaatimat pääkomponentit**

### **4.2.1 Syöttövesisäiliö**

Syöttövesisäiliön tarkoituksena on toimia kattiloiden syöttövesivarastona. Syöttövesisäiliö sijoitetaan yleensä korkeammalle kuin syöttövesipumput, jotta saadaan muodostettua hydrostaattista painetta ja estämällä syöttövesipumppujen kavitointi. Syöttövesisäiliön tilavuuden on vähintään riitettävä tuottamaan yhtäjaksoisesti vettä kattiloille tunnin ajaksi maksimi höyryntuotolla (Hellstedt 2014). Syöttövesisäiliön vesi on pehmennettävä ja kemikaalisesti puhdistettava kattilan sekä putkiston korroosion ja kerrostumien ehkäisemiseksi. Syöttövesisäiliön yläosassa olevalla höyryllä poistetaan säiliön vedenpinnalla olevaa happi- ja hiilidioksidipitoista höyryä. Kaasunpoistotornin avulla voidaan tehostaa epäpuhtauksien poistoa syöttämällä torniin käsiteltyä lisävettä. Tuotannosta talteen otettu lämmin lauhdevesi pumpataan takaisin syöttövesisäiliöön, jolla säästetään vesijohtoverkostosta tarvittavan lisäveden sekä syöttöveden lämmitykseen kuluvan höyryenergian määrää. Syöttövesisäiliön pinta pidetään raja-arvojen sisällä pinnansäätimen avulla. Säiliön lämpötilaa ja painetta pidetään optimina kattilan tuottaman höyryn avulla. Syöttövesisäiliössä vallitsevan paineen optimiarvona pidetään 0,7 bar. Syöttövesisäiliön lämpötilana pyritään pitämään 105 °C, jossa vesi ei vielä ole höyrystynyt.

### **4.2.2 Syöttövesipumppu**

Syöttövesipumpun tarkoituksena on syöttää kattilan tarvitsema vesi. Syöttövesipumput sijaitsevat syöttövesisäiliön alapuolella kavitoinnin estämiseksi. Syöttövesipumppuina käytetään monivaiheisia pumppuja, joita on kaksi kattilan syöttöveden saannin varmistamiseksi. Syöttövesipumpun on voitettava kattilassa vallitseva paine, jotta syöttöveden pumppaus kattilaan on mahdollista. Syöttövesipumpun tuotto on oltava noin 1,25 kertaa höyrykattilan maksimituotto (Pöyhönen 2014). Syöttöpumpun ylikuumeneminen estetään minimivirtausventtiilillä, jolla varmistetaan tietty minimivirtaus pumpulle. (Huhtinen ym. 2000, 226).



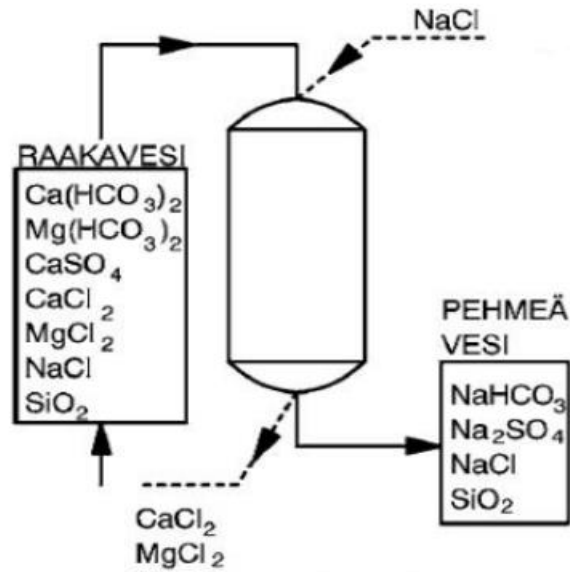
### 4.2.3 Vedenkäsittelyjärjestelmä

Höyrykattilalaitoksen komponenttien käyttöikä ja toimintaan vaikuttaa oleellisesti veden laatu. Heikon veden laadun riskitekijöinä ovat korroosion ja kerrostumien syntyminen. Korroosion aiheuttajia ovat veteen liuenneet happi, hiilidioksidi, suolat, kattilaveden liiallinen väkevyys sekä liukenemattomat kiintoaineet (Leppälä 2015). Vastaavasti kerrostumia muodostuu vedessä olevista epäpuhtauksista kuten humus, silikaatti ja korrosiotuotteet sekä lämpötilan noustessa saostuvista kovuussuolista, kalsiumista ja magnesiumista (Leppälä 2015). Tästä syystä veden laatua pyritään parantamaan lisäveden valmistamisella, lauhteen puhdistuksella, termisellä kaasunpoistolla, kemikaalien jälkiannostelulla ja kattilan ulospuhalluksilla (Huhtinen ym. 2000, 300). Kattilaveden, syöttöveden ja lauhdeveden laatua kannattaa tarkkailla säännöllisin väliajoin vesianalyysien avulla. Taulukossa 1 on ohjearvoja höyrykattilalaitoksen veden laadulle.

TAULUKKO 3. Höyrykattilalaitoksen veden laadun suositusarvot (Leppälä 2015, 3)

Mitattava asia	Suositusarvo
pH syöttövesi	9,2-9,5
pH kattilavesi	10,5-11,8
pH lauhdevesi	8,0- 9,5
p-luku kattilavesi	1,0-8,0 mmol/l
p-luku syöttövesi	>0,05 mmol/l
Syöttöveden kovuus	<0,1 °dH
Syöttöveden rautapitoisuus	<0,05 mg/l 67 baariin asti
Syöttöveden happipitoisuus	<10 ppb kaasunpoistimen jälkeen
Syöttöveden happipitoisuus	1-2 ppb kemikaalin lisäyksen jälkeen
Sähkönjohtavuus kattilavesi	noin 20-30 kertaa syöttöveden sähkönjohtavuus
Sähkönjohtavuuslauhdevesi	<1 mS/m
Suolapitoisuus syöttövesi	noin 5 kertaa syöttöveden sähkönjohtavuus mS/m

Alle 60 baarin käyttöpaineessa toimiviin kattilalaitoksiin raakaveden käsittelyyn riittää pelkästään kovuudenpoisto, jossa kokonaissuolapitoisuus ei kuitenkaan vähene. Kovuudenpoisto hoidetaan pehmennyssuodattimella. (Huhtinen ym. 2000, 303.)



KUVA 2. Pehmennyssuodattimen toimintaperiaate (Huhtinen ym. 2000, 303)

Kovuudenpoisto perustuu ionin vaihtoon, jossa pehmenyysuodattimen sisällä oleva vahvahappoinen kationinvaihtomassa elvytetään lisäämällä noin 10 % natriumkloridiliuosta (Huhtinen ym. 2000, 302). Vedenpehmenyksessä haitalliset kovuussuolat, magnesium ja kalsium vaihdetaan saostumattomaan liukoiseen natriumiin, jonka jälkeen pehmenetty vesi syötetään syöttövesisäiliöön.

#### 4.2.4 Ulospuhallus

Korroosion, kerrostumien ja liiallisen sähkönjohtavuuden ehkäisemiseksi kattilaa puhdistetaan pinta- ja pohjapuhalluksen avulla, jotka voidaan säätää jatkuviksi tai jaksottaisiksi puhalluksiksi. Ulospuhalluksessa kattilasta poistetaan höyryä ja vettä, jotka yleensä turvallisuussyistä johdetaan ulospuhallussäiliön kautta. Ulospuhallussäiliöön syötetään kylmää vettä ulospuhalletun kattilaveden ja höyryn jäädyttämiseksi sekä viemärien sulamisen estämiseksi. Säiliössä oleva höyry poistetaan hallitusti katolle johdetun putken kautta. Kattilasta ulospuhalletun veden määrä on normaalisti noin 3 – 5 % kattilaan tulevan syöttöveden määrästä (Leppälä 2015).

#### 4.2.5 Ilma- ja savukaasukanavat

Savukaasukanavien täytyy kestää kanavissa vallitsevat yli- ja alipaineet sekä olla kaasutiiviitä. Sedimentoitumisen estämiseksi savukaasukanavan nopeuden on oltava minimikuormallakin vähintään 8-10 m/s. Nopeudet ja painehäviöt eivät saa kuitenkaan nousta liian suuriksi täydellä kuormalla. Tärkeää on kanavien eristäminen ja kylmäsiltojen välttäminen, jotta rikki ei aiheuttaisi vaurioita rakenteille eikä lämpötila laskisi alle happokastepisteen. (Huhtinen ym. 2000, 241).

Puhaltimien tarve on tärkeää erityisesti savukaasujen poistamisessa ja kattilan palamisilman tuonnissa. Savukaasupuhaltimen tarkoitus on pitää tulipesän paine haluttuna. Vastaavasti ilmapuhaltimen tarkoituksena on pitää savukaasujen happipitoisuus halutulla tasolla ja mahdollistaa täydelliset olosuhteet puhtaalle palamiselle. Puhaltimien tehontarvetta pienentää savupiipusta muodostuva noste. Puhaltimen valintaan vaikuttaa haluttu tilavuusvirta ja paine-ero sekä lisäksi puhaltimen hyötysuhde, tilantarve ja ominaiskäyrän muoto. Puhaltimia voidaan säätää kuristussäädön, johtosiipisäädön, siipikulmasäädön ja pyörimisnopeussäädön avulla. (Huhtinen ym. 2000, 241–245). Tärkeää on huomioida puhaltimen sijoituksessa ylikuumenemisen estäminen. Tämä voidaan mahdollistaa puhaltimen akselin ja moottorin välille asennettavan kiilahihnavedon avulla, jolla estetään lämmön siirtyminen moottoriin akselin kautta.

Pienten ja keskisuurten laitosten savupiippu rakennetaan teräksestä, jonka tarkoituksena on tuottaa vetoa kattiloihin sekä ohjata poltossa syntyvien haitallisten päästöjen leviäminen tarpeeksi laajalle alueelle. Piipussa ulkokuori on kantava, joka on varustettu eristetyllä sisäkuorella. Sisähormin lämmöneristys tulee olla vähintään 100 mm ja materiaalina A1 luokan mineraalivilla (SRMK E3, 5). Savupiipussa kulkevien savukaasujen nopeuksien on oltava täydellä kuormalla 20 – 30 m/s. Piipun pituuteen vaikuttaa päästömäärät, rajapitoisuudet ja laitoksen lähistöllä sijaitsevat rakennukset. (Huhtinen ym. 2000, 248). Mikäli savupiipun mitoitus on hankalaa päästöarvojen ja läheisten rakennusten vuoksi, on kohteesta tehtävä erillinen selvitys leviämismallilaskelman avulla. Asiallisena työkaluna savupiipun mitoitukseen toimii Neste Oil Oyj:n Raskaan polttoöljyn käyttöopas, joka on julkistettu heinäkuussa 2006. Savupiipun korkeuden ja painon vuoksi tulee turvallisuussyistä savupiipun perustukset ja lujuuslaskelmat mitoittaa rakennesuunnittelijalla.

### **4.3 Höryjärjestelmän edut ja haitat**

#### **4.3.1 Edut**

Höyryn etuja ovat:

- Palamaton lämmönsiirtoaine
- Hyvä lämmönsiirtoteho
- Hygieeninen
- Pystytään tuottamaan energiaa suurille tehontarpeille
- Halpa lämmönsiirtoaine
- Voi toimia kostuttimena, lämmönlähteenä käyttöveten ja lämmitykseen sekä sitä voidaan hyödyntää tuotannon prosesseissa
- Korkea lämpötila

#### **4.3.2 Haitat**

Höyryn haittoja ovat:

- Jäätävä lämmönsiirtoaine
- Korroosion vaara
- Vaaditaan korkeampia paineita
- Vedenkäsittelyn tarve
- Huollon tarve ja valvonta
- Ulospuhalluksessa hukkaan menevä energia
- Lämpölaajeneminen ja kannakointi
- Korkeat paineet ja lämpötilat

## 5 MAHDOLLISTEN POLTTOAINERATKAISUJEN TARKASTELU

### 5.1 Perusteet polttoainevaihtoehdoille

Polttoaine toimii merkittävänä osana höyryntuotantojärjestelmän kannattavuutta, jonka tehokkuutta tukee polttoaineelle valittu mahdollisimman oikea tekniikka. Polttoaineiden ominaisuuksia on tarkoitus vertailla niin uuden kuin nykyisen kattilalaitoksen näkökulmasta. Vertailupohjaa omavaraiselle energiantuotannolle antaa mahdollinen kilpailutettu ostohöyryn hinta ja laskelmat.

#### 5.1.1 Nykyinen höyrykattilalaitos

Nykyinen kattilalaitos toimii raskaalla polttoöljyllä, jonka polttaminen vaikeutuu 1.1.2018 tulevien uusien rikkipäästöjen vuoksi. Nykyisen kattilalaitoksen saneeraus on ajankohtaista lähitulevaisuudessa, mikäli laitosta halutaan tuottaa primäärisenä tai sekundäärisenä höyryntuotannon vaihtoehtona.

Varavoimaksi jäävän kattilalaitoksen hukkaenergian kulutus pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi energiatehokkuuden ja kustannustehokkuuden varmistamiseksi. Nykyisen raskaan polttoöljyn esilämmitys ja siihen kuuluvan varastointisäiliön lämmitys kuluttavat paljon tehtaalle hyödyttöä energiaa. Varastoinnin helpottuminen, hukkaan menevän energian vähentäminen, päästöjen raja-arvoissa pysyminen sekä kustannuksiltaan järkevät ratkaisut ovat nykyisen kattilalaitoksen saneeraamisen pohjana. Edellä olevien argumenttien pohjalta potentiaalisiksi polttoainevaihtoehdoiksi valikoitui nestekaasu ja kevyt polttoöljy.

Varteenotettavana lähitulevaisuuden vaihtoehtona voi olla bioöljy, jonka ominaisuuksilla voidaan korvata raskas polttoöljy ja muut fossiiliset polttoaineet. Maailman ensimmäinen teollisessa mittakaavassa toimiva pyrolyysiteknologialla tuotettu bioöljyn tuotanto aloitettiin Joensuussa marraskuussa 2013. Prosessissa tuotetaan puun avulla lämpöä, sähköä ja bioöljyä. (Fortum Oy, 2014). Bioöljyn tuotanto on vielä niin minimaalista, ettei öljyä voida ostaa tehtaan nykyisen kattilalaitoksen tarpeisiin. Tulevaisuutta silmällä pitäen mahdollinen bioöljyn yleistyminen, hinta sekä saatavuus kannattaa pitää mielessä.

### **5.1.2 Uusi höyrykattilalaitos**

Uuden kattilalaitoksen rakentamiseen ja tekniikkaan vaikuttaa eniten laitoksessa käytettävä polttoaine ja mahdollisuuksien mukaan erilaisten polttoaineiden käyttö samassa kattilalaitoksen tekniikassa. Eri polttoaineiden käyttö samalla tekniikalla antaa mahdollisuuden käyttäjälle olla riippumaton pelkästään yhdestä polttoaineesta, joka parantaa kilpailua ja tehtaan kustannustehokkuutta. Nykyisten arvojen, tukien ja ympäristöpolitiikan vuoksi ympäristöystävälliset uusiutuvat polttoainevaihtoehdot ovat tulevaisuuden energiapolitiikan kannalta ensiarvoisen merkittävässä asemassa.

Tärkeimmät kriteerit polttoaineen valinnassa elintarviketehtaalla ovat varastointi, kuljetus ja polttoaineen siirto polttoon. Polttoaineen tulee olla helppokäyttöinen, turvallinen, vähän tilaa vievä ja nopea varastoida, eikä se saa tuottaa riskejä elintarvikkeiden tuotantoon ja hygieenisyyteen. Toisaalta polttoaineen varma siirto polttoon ja palamistoiminnan tehokkuus ovat arvostettavia ja vartenotettavia arvoja polttoaineen valinnassa.

Polttoaineen vaatimuksien johdosta on järkevää poistaa hakkeen, briketin ja turpeen mahdollisuudet, niiden varastoinnin tilan tarpeen, varastoinnin riskien ja hygieenisyyden vuoksi eritoten elintarviketeollisuudessa.

Järkeviksi polttoainevaihtoehdoiksi voidaan luokitella pelletti, turvepelletti sekä kauran-kuori, jotka kaikki voidaan puhaltaa kuorma-autosta vähän pinta-alaa vievään siiloon hygieenisesti ja nopeasti. Kattilalaitoksen ulkopuolella sijaitseva siilo on umpinainen, jonka tilavuuden on riitettävä varastoimaan vähintään puolentoista kuorma-auto yhdistelmän verran polttoainetta. Polttoaineiden samankaltaisuuden vuoksi niiden käyttö on mahdollista samassa arinapolttoisessa kiinteän polttoaineen kattilassa, joka antaa enemmän mahdollisuuksia tilaajalle kilpailla ja tarkkailla polttoaineiden hintoja.

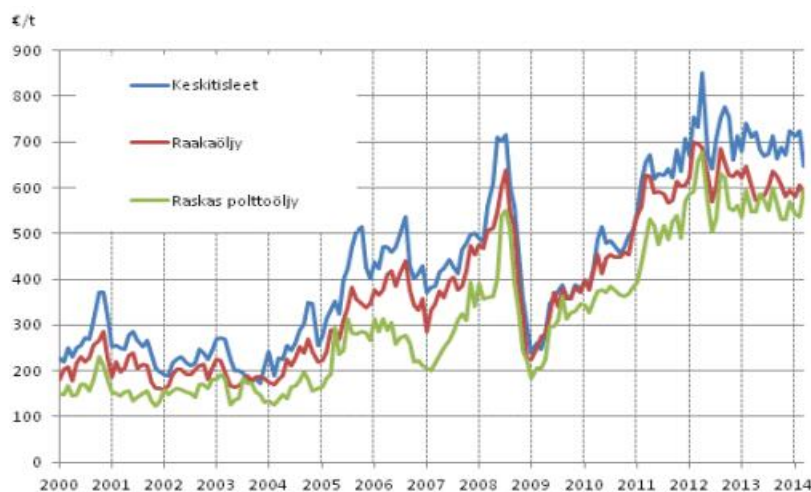
## **5.2 Polttoainevertailu**

Tarkoituksena on selvittää nykyään käytetyn sekä tulevaisuudessa mahdollisesti käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia ja vertailla polttoaineita keskenään. Polttoaineiden polttamisessa tulee noudattaa asetuksen 750/2013 liitteissä olevien päästöarvojen raja-arvoja nyt ja tulevaisuudessa.

### 5.2.1 Raskas polttoöljy

Nykyisessä laitoksessa käytetty polttoaine on raskaspolttoöljy Mastera 180 LS. Raskaan polttoöljyn ongelmana on varastosäiliössä olevan öljyn jähmettymisen estäminen lämmityksen avulla sekä ennen polttoa tarvittava esilämmitys. Helpon jalostuksen, hinnan ja hyvän lämpöarvon johdosta raskaspolttoöljy on ollut tyypillinen ratkaisu teollisuudessa. Raskaan polttoöljyn ja siinä käytettävän tekniikan suurimpana haasteena on runsas huollon tarve.

Raskaan polttoöljyn käytössä huomioitavia asioita ovat rikki- ja typpipäästöt sekä tuhkan jäännökset. Rikkipäästöjen tarkan seurannan takia on kehitetty LS (Low Sulphur) vähärikkinen polttoaine, jonka suurin sallittu pitoisuus tulee ilman erillistä suodatinta olla alle 1 %. LS- polttoaineissa typpipitoisuus on saatu laskettua 0,4 %:in ympäristön suojelemiseksi. Raskaspolttoöljyn etuna on pieni tuhkapitoisuus 0,02 – 0,03 %, joka on todella pieni verraten kiinteisiin polttoaineisiin. Tuhka poistuu kattilasta pääsääntöisesti savukaasujen mukana piipusta ulos. Kiinteisiin polttoaineisiin verrattuna raskaanpolttoöljyn lämpöarvot ovat huomattavasti paremmat noin 40 - 41 MJ/kg. (Huhtinen 2006, 11, 14, 19 ja 20). Raskaan polttoöljyn hinta seuraa raakaöljyn hintaa, jonka muutokset on havainnollistettu kuvaajalla.



Lähde: Tulli

KUVA 3. Raskaan polttoöljyn hintakehitys 2000-luvulla (Tilastokeskus 2014, 6)

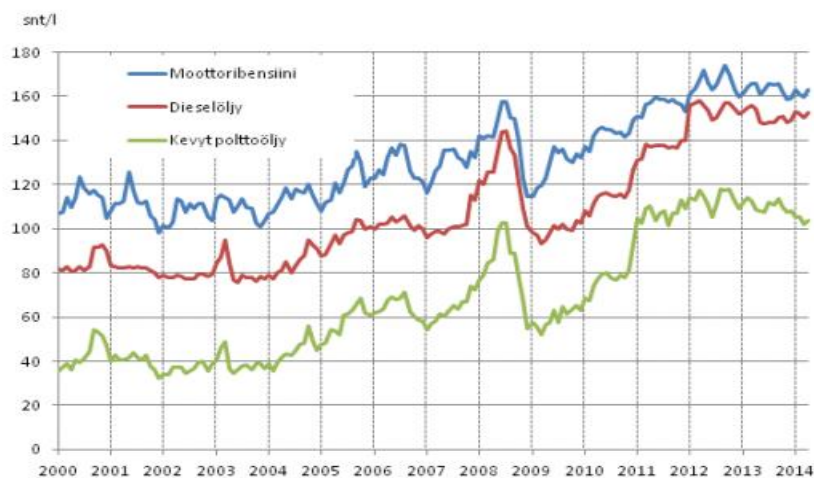
Raskaan polttoöljyn hinta on kasvanut prosentuaalisesti merkittävästi 2000-luvulla. Diagrammi osoittaa miten kaikkiin fossiilisiin polttoaineisiin vaikuttaa öljymaiden asettamat suuret raakaöljyn hinnan vaihtelut, jotka jatkuvat myös tulevaisuudessa olevien kriisien

ja luonnonvarojen ehtymisen seurauksena. Tulevaisuuden ehtyvät luonnonvarat ja päästöraja-arvot käytännössä estävät raskaan polttoöljyn käytön, jolloin tilalle tuodaan korvaava kalliimpi polttoaine kuten kevyt polttoöljy.

### 5.2.2 Kevyt polttoöljy

Tulevaisuudessa asetettavien päästöarvojen myötä raskaan polttoöljyn vähentyminen lisää kevyen polttoöljyn käyttöä samanlaisen tekniikan vuoksi. Kevyt polttoöljy on polttoaineena kalliimpaa, mutta sillä päästään vaadittuihin päästöarvoihin ja samalla käyttökustannuksiltaan edullisempaan ratkaisuun. Mahdollisen uuden laitoksen myötä varavoimaksi jäävälle nykyiselle kattilalaitokselle kevyt polttoöljy on potentiaalinen ratkaisu varman ja nopean toimivuuden kannalta, jota käytetään ongelmatilanteiden syntyessä primäärituotannossa. Samalla käyttökustannukset laskevat, kun varastosäiliön lämmitystä ja esilämmitystä sumutukseen ei tarvita.

Kevyen polttoöljyn ominaisuuksista keskeisimmät ovat rikkipitoisuuden arvo 0,08 %, typpipitoisuuden arvo 0,02 % ja tuhkapitoisuuden arvo <0,01 %. Kevyt polttoöljy höyrystyy melkein täydellisesti ja noen muodostuminen on todella vähäistä. Kevyen polttoöljyn lämpöarvot ilmoitetaan yleensä MJ/l, joka voidaan muuttaa irtotiheyden avulla yksikköön MJ/kg. Kevyen polttoöljyn lämpöarvo on noin 42,5 MJ/kg. (Huhtinen, Jalonen, Rauhala & Virta 1999, 16, 28 ja 39). Hyvän lämpöarvon lisäksi polttoöljyn hinnankehitys on havainnollistettu kuvaajan avulla.



Lähde: Öljyalan Keskusliitto ry, 15. päivän arvonlisäverolliset hinnat

KUVA 4. Kevyen polttoöljyn hinnankehitys viime vuosina (Tilastokeskus 2014, 6)

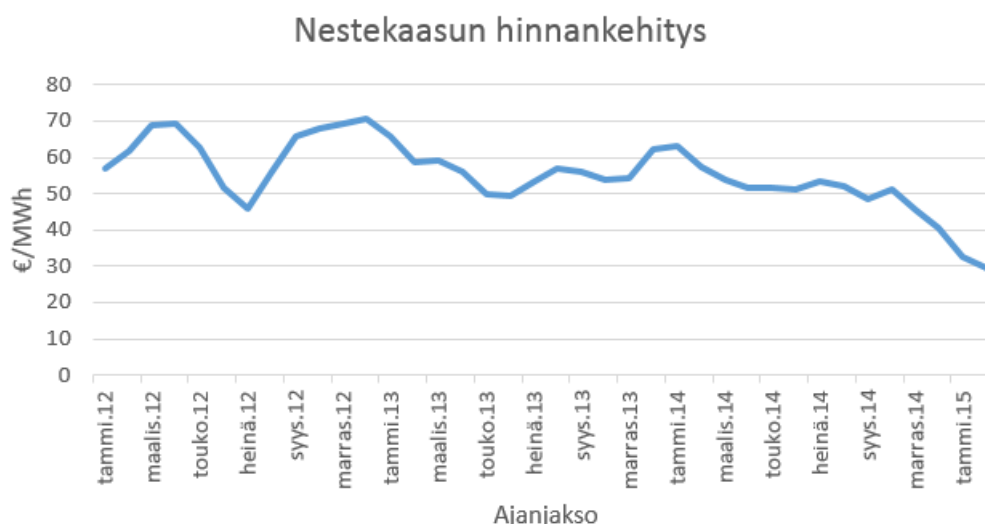


Diagrammin avulla voidaan huomata kevyen polttoöljyn hinnan kasvun olevan lähes kaksinkertaista verrattuna mittausajanjakson alkuun. Kevyen polttoöljyn etuna on sen haitallisten päästöjen vähyys verrattuna raskaaseen polttoöljyyn. Kevyellä polttoöljyllä ongelmia tuo sen hinta, suuri hinnan ailahtelevuus, pyrkiminen vähentämään sen käyttöä ehtyvien luonnonvarojen vuoksi sekä ristiriitaisuus ympäristöystävällistä politiikkaa vastaan. Varavoimana kevyt polttoöljy energiantuotantoyksiköissä on vartenotettava ratkaisu.

### 5.2.3 Nestekaasu

Nestekaasu koostuu hiilivedyistä, jotka nesteytetään kaasupulloon ylipaineella tai jäähdyttämällä. Nestekaasu on puolitoista kertaa raskaampaa kuin ilma ja höyrystyy välittömästi päästessään huoneilmaan. Huoneilmassa nestekaasu laskeutuu mataliin kohtiin ja aiheuttaa herkän syttymisvaaran. Nestekaasun kanssa tulee huomioida lainsäädännön asetukset soveltamisesta (344/1997) ja turvallisuudesta (858/2012). (Huhtinen ym. 1999, 146–149). Tiheyserojen takia nestekaasun poltossa tulee ottaa huomioon toiminta varapolttoaineen kanssa. Eri kaasuja poltettaessa samassa kattilassa ilman mitään muutoksia tulee niiden wobbe-lukujen olla samat, joka saadaan jakamalla kaasun lämpöarvo ( $\text{MJ/m}^3$ ) kaasun suhteellisella tiheydellä ja ottamalla tuloksesta neliöjuuri. (Huhtinen ym. 2000, 37)

Nestekaasun lämpöarvo on yleisesti käytetyistä polttoaineista tehokkain noin 46,35 MJ/kg (Huhtinen ym. 1999, 149). Nestekaasu sisältää pääosin butaania (95 %) ja propania (5 %), jotka palavat puhtaasti ja palaessaan muodostavat pääasiallisesti turvallista hiilidioksidia ja vettä. Nestekaasun palaessa ei muodostu kiintoainepäästöjä, joka vaikuttaa kattilanhyötysuhteen paranemiseen. Samalla myös kattilan huolto vähenee ja käyttövarmuus paranee. Nestekaasua syntyy raakaöljyn jalostuksessa ja tislauksessa sivuaineena, joka otetaan käyttöön edullisemman hinnan ja paremman lämpöarvon johdosta verraten öljyllä toimiviin järjestelmiin. (Rastas 2015). Nestekaasun käyttö olisi ympäristönsuojelua arvostavan politiikan kannalta vartenotettava vaihtoehto, jota tukee alla olevan kuvan havainnoima viimevuosien nestekaasun hinnankesitys.



KUVA 5. Nestekaasun hinnankkehitys viime vuosien aikana (Rastas 2015)

Kuvasta huomataan nestekaasun hinnankkehityksen olevan tasaisempaa kuin fossiilisten polttoaineiden ja suunta on ollut viime vuosina johdonmukaisesti alaspäin. Varsinkin vuodenvaihteen taitteessa 2014 - 2015 lasku on ollut merkittävä. Keskimääräisesti voidaan sanoa, että viimeisten 3 vuoden aikana nestekaasun hinta vuositasolla on laskenut noin 20 %, ja samalla alkuvuoden 2015 arvot antavat positiivisen kuvan hinnankkehityksen arviointiin tulevaisuudessa (Rastas 2015).

#### 5.2.4 Puupelletti

Puupelletti on kasvanut merkittäväksi tekijäksi fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen. Tasalaatuinen aine, hyvä lämpöarvo, suhteellisen vaivaton käyttö ja siisti varastointi sekä kuljetus ovat kasvattaneet pelletin käytön osuutta. Pelletin suuren kysynnän vuoksi myös polttoaineen hinta on kasvanut vuosien aikana merkittävästi.

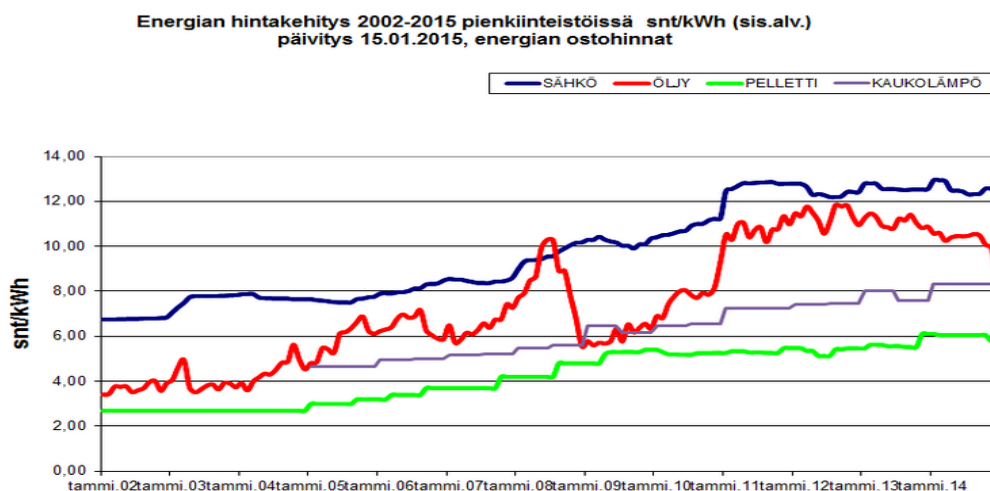
Puupelletin koko on halkaisijaltaan 8 - 12 mm ja pituudeltaan 10 - 30 mm, joka voidaan valmistaa teollisuuden puutähteistä, kuorista ja metsähakkeesta. Puupelletti soveltuu myös pölypolttoon, jossa pelletti murskataan ennen polttamista, joka mahdollistaa muiden polttoaineiden kanssa yhteisen tekniikan käytön. Suomessa tuotettujen pellettien tehollinen lämpöarvo on 4,6- 4,9 kWh/kg tai 16,56 – 17,64 MJ/kg, kosteus 8 - 10 %, irtotiheys 640 - 690 kg/i-m<sup>3</sup>, ja tuhkapitoisuus 0,3 - 0,5 %. (Alakangas 2000, 76 ja 77). Saksalaisten tekemässä Euroopan pellettistandardeihin kuuluvassa DIN 51731 asetuksessa on annettu vaatimuksia puupelletille, jotka antavat hyvää vertauskuvaa Suomen puupelletin tasosta.

TAULUKKO 4. Standardin DIN 51713 vaatimukset puupelletille (DIN 51713, 7)

Puupelletin vaatimuksia	
Halkaisija	4 - 10 mm
Pituus	< 50 mm
Kiintotiheys	1000 - 1400 kg/m <sup>3</sup>
Kosteus	< 12 %
Tuhkapitoisuus	< 1,5 %
Energiasisältö	17,5- 19,5 MJ/kg
Rikkipitoisuus	< 0,08 %
Klooripitoisuus	< 0,03 %
Typpipitoisuus	< 0,3 %

Pelletin hintakehitystä on seurattu viimeisten vuosien aikana tarkasti Bioenergia Ry:n toimesta, jonka antamalla tiedoilla saadaan arvioitua mahdollista pelletin hinnankehitystä myös tulevaisuudessa.

Lähteet: Tilastokeskus, Öljyalan keskusliitto, Energiavirasto ja Energateollisuus ry.



KUVA 6. Bioenergia Ry:n teettämä tilasto pelletin hinnankehityksestä, jossa on mukana myös vertailu lämmitysmuotoja (Bioenergia 2015)

Kuvaajasta huomataan, pelletin hintakehitys on viimeisten 14 vuoden aikana noussut yli kaksinkertaisesti hinnasta noin 2,6 snt/kWh hintaan noin 5,8 snt/kWh. Hinnanmuutos on kasvanut noin 1,23 kertaisesti vertailuajanjakson aikana. Kuvaajasta saadaan tulevaisuuden ennusteisiin hyvää osviittaa pelletin hinnan mahdollisesta kehityksestä. Viime vuosien suuren pelletin hinnankasvun vuoksi tulee muistaa myös hinnan mahdollinen tasapainottuminen tulevaisuudessa. Näin suuri jatkuva pelletin hinnan kasvu ei voi olla mah-

dollista tulevaisuudessa kilpailun sekä kuluttajien polttoaineiden vertailun vuoksi. Kuvaja antaa myös hyvää kuvaa turvepelletin hinnan kehityksestä, sillä turvepelletin ja puupelletin hinnanmuutokset toimivat samanlaisesti.

### **5.2.5 Turvepelletti**

Turvepelletin valmistustekniikka on samanlainen kuin puupelletin, mutta raaka-aineena käytetään puun sijasta jyrshinturvetta. Riittävän kuivatuksen ja puristuksen avulla turvepelletti saadaan samanlaiseen muotoon kuin puupelletti ja sitä voidaan soveltaa samoissa varastoissa ja poltossa kuin puupellettiäkin. Turvepelletti ei tarvitse lisäaineita, joten se on täysin puhdas luonnontuote. (Vapo Oy, 2007).

Tuhkapitoisuus jyrshinturpeella on suuri noin 2 – 10 %. Turvepelletin tuhka sisältää pääosin silikaatteja, rautaa ja alumiinia, jotka ovat ympäristölle vaarattomia. (Alakangas 2000, 90). Turvepelletin energiasisältö on noin 4,4 – 5,0 kWh/kg ja kosteus 13 % (Punkari 2014).

Turvepelletin uhkana on kysynnän väheneminen turvepolitiikan johdosta. Suomessa turvepellettiä valmistaa ainoastaan Vapo Oy, joten mahdollinen tuotannon lopettaminen yrityksessä lähitulevaisuudessa vaikeuttaisi polttoaineen saatavuutta. (Punkari 2014).

### **5.2.6 Kauran kuori**

Kauran kuori on polttoaineena optimaalinen energianlähde, sillä kuori on viljan kuivauksessa, rehun teossa ja viljan puhdistuksessa syntyvää biojätettä. Ennen hukkaan mennyt biojäte on mahdollista hyödyntää energiantuotannossa ja poltosta muodostuva tuhka voidaan hyödyntää edelleen lannoittamalla metsiä ja peltoja.

Kauran kuori on hyvin tasalaatuista, jota voidaan käyttää sellaisenaan tai parantaa tasalaatuisuutta jauhamalla kuori. Kaurankuoren lämpöarvo on noin 16,7 MJ/kg eli noin 4,6 kWh/kg, jolla päästään kutakuinkin samoihin arvoihin kuin pelleteilläkin. Kauran kuoren ongelmana on sen suuri tuhkapitoisuus 4 – 7 % ja pieni irtotiheys noin 30 – 40 kg/i-m<sup>3</sup> aiheuttaa haasteita varastoinnissa ja kuljetuksessa. (Alakangas 2000, 98 ja 99). Kauran

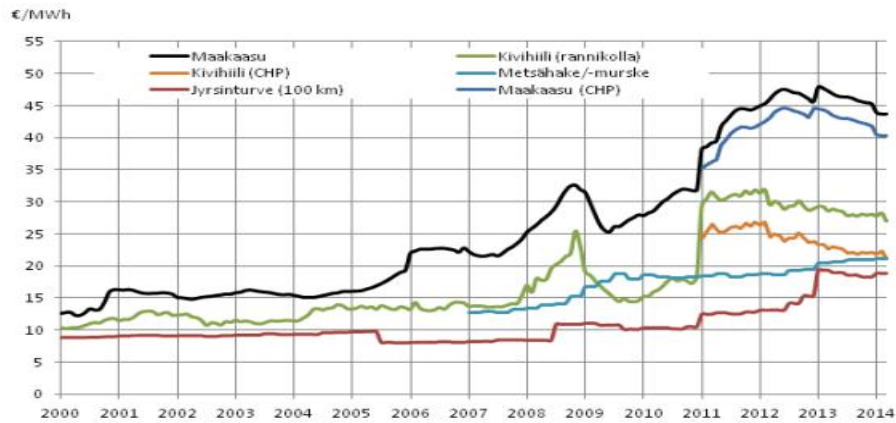
kuorta poltettaessa tulee ottaa huomioon hapen tarve sekä laavautumisen estäminen. Kauran kuoren kosteus on 5 - 10 % välissä. Lisätuna kauran kuoren polttoon on tuhkan hyötykäyttö, sillä tuhkaa on analysoitu useasti ja todettu sen olevan levityskelpoista lannoitteeksi pelloille ja metsiin. (Salmi 2015) Hinnankehitys on pysynyt viime vuosina samalla tasolla ja mahdollinen tulevaisuuden hinnannousu on epätodennäköistä raaka-aineen osalta, johon on kuitenkin varattava pientä kasvun varaa laskelmissa. (Jokinen 2014). Kuljetusten, inflaation ja muiden tekijöiden kasvu vaikuttaa tietysti omalta osin polttoaineen kokonaishintaan, joka voidaan määrittellä kustannuslaskelmia tehdessä tarkemmin.

### 5.2.7 Ostohöyry

Mahdollisena vaihtoehtona on myös olla rakentamatta uutta kattilalaitosta vaan ostaa höyry ulkopuoliselta höyryn tuottajalta. Tällöin huolto- ja ylläpidon kustannukset laskevat minimiin, omaa investointia ei tarvitse tehdä sekä yritys maksaa vain käyttämästään höyrystä. Höyryn hyötysuhteita ei tarvitse laskea suoran höyryn saannin vuoksi, jolloin periaatteen tasolla hyötykerroin on 1.

Haittapuolena ostohöyrylle on oman vaikuttamisen vaikeutuminen. Hinnan vaihtelut polttoaineelle, joilla höyry tuotetaan, on otettava huomioon. Samoin myös tulevaisuuden höyryn tuottajan hinnan nousut ylläpidolle ja höyryn tuotolle ovat todennäköisiä, jotka vaikuttavat suoraan höyryn kuluttajiin. Ostohöyryn sopimusta mietittäessä tulee huomioida ja selvittää pitkä sitoutumisaika, joka monesti voi olla liian ongelmallinen asia päätöstä tehdessä. Toisaalta myös ostohöyryn hintaa voidaan saada laskettua, mikäli samalle alueelle saadaan uusia ostohöyryn käyttäjiä.

Ostohöyryn tuottajana toimisi Lihajaloste Korpelan Oy:n tapauksessa Huittisissa sijaitseva Adven Oy, joka tuottaa suurimmaksi osaksi höyrystä jyrshinturpeella ja hakkeella sekä pienemmissä määrin raskaalla polttoöljyllä (Valkeinen 2015). Raskaan polttoöljyn kanssa on huomioitava kiristyvät päästöraja-arvot vuonna 2018 asetuksen 750/2013 mukaan. Tulevaisuutta ja hinnan nousuja ajatellen on hyvä tutkia myös jyrshinturpeen hinnan kehitystä viime vuosina, jonka avulla voidaan saada ohjeellisia arvoja tulevaisuutta silmällä pitäen.



Lähteet: Tulli/Ulkomaankauppatilasto, Energiavirasto/Gasum Oy, Bioenergia ry/Turveteollisuusliitto ry, Öljyalan Keskusliitto ry

KUVA 7. Lämmöntuotantoon käytettävien polttoaineiden hintakehitys viimeisten vuosien aikana (Tilastokeskus 2014, 7)

Diagrammista huomataan jyrsinturpeen kallistuneen kaksinkertaiseksi 2000-luvun aikana. Merkittävä nousu on tapahtunut vuonna 2013, joka johtuu varsinkin jyrsinturvetta koskevan polttoaineen verotuksen kiristymisen energiantuotannossa. Mahdollisesti pohjalla on kiistanalainen tilanne turpeen uusiutumisesta sekä soiden kuivattamisen johdosta aiheutuvasta luonnon monimuotoisuuden tuhoutumisesta. Ostohöyryn hintaa sitoo siis omalta osin raakaöljyn, turpeen ja hakkeen hinnan muutokset, jotka tulee ottaa huomioon vertailtaessa kannattavinta ratkaisua.

### 5.3 Energianhinnat

Polttoaineen valinnassa keskeisessä asemassa on lämpöarvo, hinta, hyötysuhde polttotekniikassa, päästöt ja ympäristö. Taulukossa 4 on kilpailutettu energian hintoja niin omavaraiselle laitokselle kuin ostohöyryllekin. Polttoaineen hintojen ja niiden vaatimien tekniikoiden myötä voidaan laskea takaisinmaksuaikoja vertailtaessa järjestelmiä sekä ostohöyryn vaihtoehtoa. Raskaassa polttoöljyssä on otettu huomioon esipolttoaineen varastointiin tarvitsema noin 123 MWh:n energian tarve. Tulokset on laskettu 4000 MWh:n perusteella ja hinnat on kysely haastattelujen avulla alan asiantuntijoilta.

TAULUKKO 5. Varteenotettavien polttoaineiden vertailu vuodessa (Sikiö 2014, Rastas 2015, Valkeinen 2015, Jokinen 2014, Ovaskainen 2014, Punkari 2014 & Lundgren 2003).

Polttoainemuoto	Energia-arvo		Kilpailutettu hinta			Todellinen kulutus		Todellinen hinta
Raskaspolttoöljy	41	GJ/Tn	0,603	€/kg (Alv 0%)	(täysi rekka)	393	Tn	237261 €
Kevytpolttoöljy	42,5	GJ/Tn	0,875	€/kg (Alv 0%)	(täysi rekka)	357	Tn	312049 €
Nestekaasu	12,9	MWh/Tn	40,75	€/MWh (Alv 0%)	(täysi rekka)	327	Tn	171579 €
Puupelletti	4,75	MWh/Tn	185	€/Tn (Alv 0%)	(täysi rekka)	936	Tn	173099 €
Turvepelletti	4,7	MWh/Tn	170	€/Tn (Alv 0%)	(täysi rekka)	946	Tn	160757 €
Kauran kuori/pöly	4,5	MWh/Tn	60	€/Tn (Alv 0%)	(täysi rekka)	1022	Tn	61303 €
Ostohöyry			62	€/MWh (Alv 0%)				248000 €

Ostohöyryn hinta on esitetty taulukossa vertailun vuoksi, jotta nähdään vuositasolla ero mahdollisen oman laitoksen polttoaineiden hintoihin. Polttoaineiden osalta on muistettava investointikustannuksen sekä käyttö- ja huoltokustannusten suuruus, joka tulee ottaa huomioon ostohöyryä ja muita polttoaineita verrattaessa totuudenmukaisesti. Investointikustannukset ja vertailut on esitetty myöhemmin raportissa.

## 6 UUDEN KATTILALAITOKSEN SUUNNITTELU

### 6.1 Vaatimuksenmukaisuuden määrittely putkistolle ja laitteille

Suunniteltavaan kiinteän polttoaineen höyrykattilalaitoksen vaatimuksenmukaisuuteen sovelletaan laitoksen omia suunnitteluarvoja. Vaatimuksenmukaisuuden arviointimenettelyn perusteena toimii kattilalle käyttöpaine 10 bar ja yli 1000 litran tilavuus, joiden myötä painelaite luokitellaan luokkaan neljä (IV) (938/1999, liite 2 kuva 5). Syöttövesisäiliölle arviointimenettelynä toimii 0,5 – 1 bar yli 1000 litran tilavuus, joiden myötä painelaite luokitellaan myös luokkaan neljä (IV) (938/1999 liite 2 kuva 2). Kattilalaitos määrytyy luokan neljä mukaan vaatimuksenmukaisuudeltaan moduuliin G, jonka arviointi on määritelty asetuksen 938/1999 liitteessä kolme (III). Kattila ja syöttövesisäiliö on järkevää tilata suoraan työmaalle kytkentävalmiina pakettina, jolloin komponenttien vaatimuksenmukaisuuden arvioinnista vastaa komponentin valmistaja. Ennen päähöyrysulkuventtiiliä paikan päällä hitsattaviin komponentteihin liittyviin putkistoihin sovelletaan tulitorvi-tuliputkikattiloiden standardia SFS-EN 12953-5, jonka mukaan putkistolle suoritetaan 10 %:n kuvaukset (SFS-EN 12953-5, 14). Kuvaukset suoritetaan röntgenkuvauksella.

Höyryn pääsulkuventtiilin jälkeen olevien putkistojen vaatimuksenmukaisuuden arvioinnin täyttymisestä vastaa putkiston suunnittelija ja urakoitsija. Putkistoon sovelletaan asetuksen 938/1999 § 4 kohdan 3 määritelmää, jonka mukaan putkisto määrytyy luokkaan I (yksi) ja vaatimuksenmukaisuudeltaan moduuliluokkaan A (938/1999 liitteet). Moduuliluokkaan A kuuluvien putkien tarkastuksessa tulee ottaa huomioon kuvaaminen standardin SFS-EN 13480-5 mukaan, jossa määritellään höyryputkelle kuvausten määräksi päähöyrysulkuventtiilin jälkeen 5 %:a tehdyistä hitsausliitoksista. (SFS-EN 13480-5, 28). Ylipäätänsä standardin SFS-EN 13480 merkittävyys on suuri määriteltäessä höyryputkiston suunnittelulle ja laskennalle vaatimuksia kannatuksineen, joita uudessa kattilalaitoksessa tulee noudattaa.

#### 6.1.1 Hitsausluokka

Hitsareille, jotka työskentelevät höyryputkiston asennuksessa, tulee olla vaatimusten määrittely ja riittävät luokat. Hitsaajan tulee suorittaa pätevyyskokeet standardin SFS-EN



287-1 mukaisesti hyväksytysti eri hitsausmenetelmillä ja perusaineille, jotka määritetään CEN/TR ISO 15608 mukaisesti (SFS-EN 287-1, 22). Hitsaajalla tulee olla voimassa oleva pätevyystodistus, joka on voimassa kaksi vuotta kerrallaan. Hitsauskokeista tulee olla alla olevan kuva mukainen pätevyyskokeen merkintä (SFS-EN 287-1, 46).

**Hitsaajan pätevyyskoe EN 287-1 141 T BW 8 S t3.6 D60 PH ss nb**

Selitys			Pätevyysalue
141	Hitsausprosessi	TIG-umpilankahitsaus	141, 142, 143 ja 145
T	Tuotemuoto	Putki	T, P
BW	Hitsilaji	Päittäishitsi	BW
8	Perusaineryhmä raportin CEN ISO/TR 15608 mukaan	Perusaineryhmä 8: Austeniittiset ruostumattomat teräkset	8, 9.2, 9.3, 10
S	Lisäaine	Umpilanka	Pohja: S Muut: S, M, nm
t3.6	Aineenpaksuus	Aineenpaksuus: 3,6 mm	3 mm...7,2 mm
D60	Putken ulkohalkaisija	Putken ulkohalkaisija: 60 mm	≥ 30 mm
PF	Hitsausasento	Pystyasento ylöspäin (kiinteä putki)	PA, PE, PH
ss nb	Hitsin yksityiskohdat	Hitsaus yhdeltä puolelta ilman juuritukea Monipalkokerros	ss nb, ss mb, bs

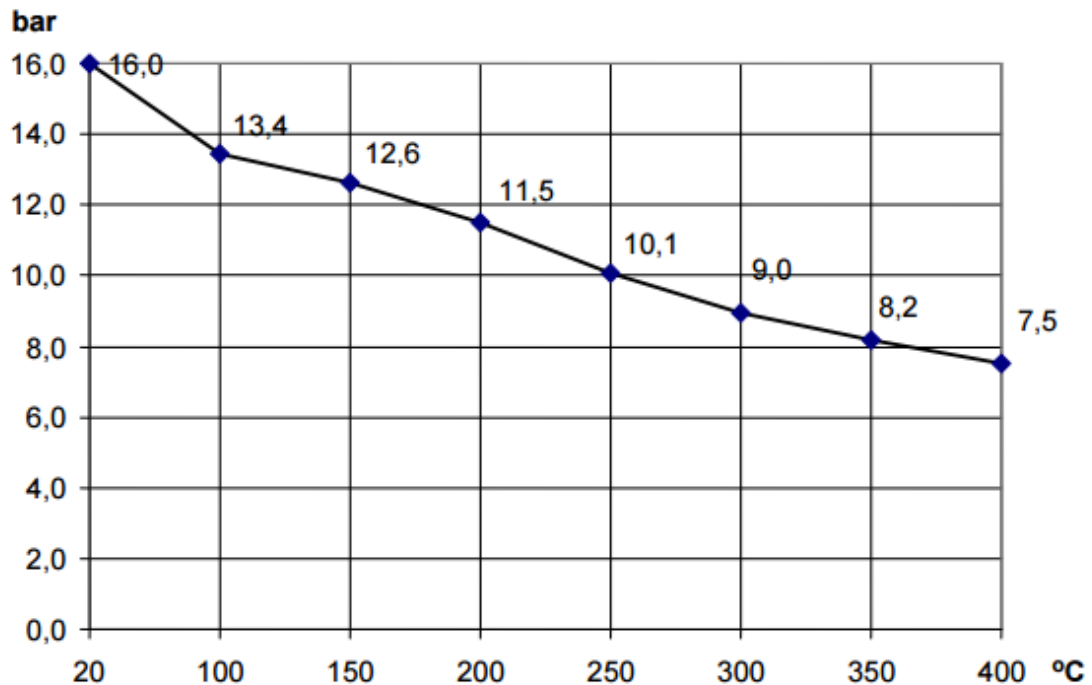
KUVA 8. Höyryjärjestelmässä yleisesti käytettynä vaihtoehtona käytetään TIG-umpilankahitsausta. Pätevyyskokeen selitykset ja tarkoitukset on selitetty tarkemmin standardissa SFS-EN 287-1 (SFS-EN 287-1, 54)

Hitsausluokat on merkitty tunnuksilla B, C ja D, jotka soveltuvat seostamattomille teräksille paineenalaiselle höyryputkistolle (SFS-EN ISO 5817, 10). Höyryputkistolle on määritelty standardissa SFS-EN 13480-4 paineenalaisille putkistoille minimivaatimukseksi hitsiluokka C (SFS-EN 13480-4, 40). Hitsarilla on oltava luokiteltuna joko paras hitsausluokka B tai toiseksi paras luokka C, jonka hitsauksen laadut on hyväksytysti suoritettu ja tarkastettu standardin SFS-EN 287-1 mukaisesti. Heikoimman luokan D hitsarit eivät standardien mukaan saa työskennellä paineenalaisten putkistojen kanssa.

### 6.1.2 Putkiluokka

Putkiluokkien määrittelyssä kattilalaitoksen suurin sallittu käyttöpaine ja käyttölämpötilat ovat merkittävien luokittelun perusta. Putkien suurin sallittu käyttöpaine pienenee lämpötilan kasvaessa. Uudelle kattilalaitokselle riittävänä kriteerinä voidaan pitää standardia 4205 (PSK 4205). Standardissa määritetään painelaitekäyttöön putkistolle ja putkistoon liittyville erilaisille osille materiaalivaatimuksia. Putkiluokkaan kuuluvat osat on esitetty standardissa 4201 (PSK 4201). Putkiston materiaalivaatimus uudelle kattilalaitokselle on seostamaton teräs P235GH nimellispaineella PN 16, jonka suurin sallittu käyttöpaine on

20 °C:n lämpötilassa 16 bar. (PSK 4205, 1). Sallittujen paineiden osoitus lämpötilan funktiona havainnollistaa putkiston vaatimukset eri paineissa ja lämpötiloissa sekä todentaa niiden riittävyyden uuteen kattilalaitokseen.



KUVA 9. Paineen ja lämpötilan vaikutus putken sallittuihin käyttöpaineisiin (PSK 4205, 12)

Lisäksi tulee muistaa säilyttää höyryjärjestelmän putken osien sekä putkiston vaatimuksemukaisuustodistukset sekä sulatusnumerot, jotta materiaaleista syntyvät mahdolliset ongelmat ovat helposti selvitettävissä. Tulitorvikattiloiden ja putkiston vaatimusten tiedot löytyvät standardeista SFS-EN 12953 ja SFS-EN 13480. Höyryputkiston materiaalina käytetään saumatonta kuumalujaa seostamatonta terästä.

## 6.2 Arinapolttainen höyrykattila

Arinat voidaan jakaa kiinteisiin ja liikkuviin sekä jäähdytettäviin ja jäähdyttämättömiin arinoihin. Mekaaniset vesijäähdytteiset arinat ovat toiminnaltaan tehokkaampia, jotka estävät laitoksen polttoaineen, esimerkiksi kauran kuoren, laavautumisen arinan pohjalle (Salmi 2015). Arinan toimintaa parannetaan automaattisella polttoaineen syötöllä sekä kattilan perälle muodostuvan tuhkan automaattisella tuhkanpoistolla. Arinassa olevat portaat liikkuvat työntötankojen vaikutuksesta, jossa polttoaine syötetään arinan portaiden yläosasta. Palava polttoaine liikkuu alaspäin portaikossa ja lopulta tuhka poistetaan arinan

alaosasta. Portaissa olevien ilmareikien avulla puhalletaan primääristä ilmaa kauran kuoren palamisen parantamiseksi. Arinapolttoisen kattilan tehoa rajoittaa joko polttoaineen laadusta johtuvat syttymisnopeudet tai palamisnopeudet (Huhtinen ym. 2000, 152). Sekundäärisellä ilmalla parannetaan palamisessa olevan liekin puhtautta, jolloin saadaan savukaasupäästöjä laskettua. Mikäli tämä ei riitä polton puhtauteen, voidaan käyttää vielä kattilan perässä tertiääristä ilmanpuhallusta savukaasujen hapettamiseen.

Kattilaan syötetty viileämpi syöttövesi kulkeutuu kattilan alaosaan ja sivuille jäädyttäen arinan seinämiä estäen ylikuumenemisen. Lämmennyt syöttövesi nousee fysiikan lakien mukaisesti kattilan yläosaan tulitorven ja tuliputkien ulkopuolella olevaan vaippaan ja lopulta höyrystyy höyrystymislämpötilassa. Arinan pohjan jäädyttäminen hoidetaan omalla vesijäähdysteisellä järjestelmällä, josta voidaan ottaa energiaa talteen esimerkiksi syöttöveden tai vesijohtoverkostosta otettavan kylmän veden esilämmittämiseen.

### **6.2.1 Automaatio**

Automaation päätarkoituksena on muodostaa mahdollisimman hyvä polttoaineen palaminen, polttoaineen optimaalinen syöttö, turvallisuuden varmistaminen sekä halutun paineinen ja lämpötilainen höyry. Automaation kolme keskeistä osaa ovat:

- Ohjaus
- Sääto
- Turvalogiikka

Höyryntuotantojärjestelmissä kattilaa ohjataan paineen avulla. Esimerkiksi kattilassa olevien paine-anturien avulla saadaan ohjausviesti säätöyksikölle, joka antaa kattilan polttimelle käskyn mennä päälle, jotta kattilan painetta ja samalla lämpötilaa saataisiin nostettua. Turvalogiikalla estetään esimerkiksi kattilan ylikuumeneminen ylikeittosuojilla. Kokonaisuutta ajatellen automaatiolla pyritään ylläpitämään, säätämään ja optimoimaan eri höyryjärjestelmän komponenttien toimivuus ja sääto parhaalle mahdolliselle tasolle. Automaatiosta on suositeltavaa pitää tarkat suunnittelupalaverit, joissa sovitaan toimittajan ja tilaajan kanssa automaation ohjauksesta, säädöstä sekä turvalogiikasta.

### 6.2.2 Ilmastointi ja palamisilma

Ilmastoinnin tarkoitus on toimia kattilahuoneen yleisilmanvaihtona sekä tuoda palamisil-  
malle korvausilmaa. Ilmastointi suoritetaan erillisellä tulo- ja poistoilmakoneella. Ilman-  
vaihtokoneella viilennetään kattilahuonetta estäen huoneen liiallinen kuumentuminen.  
Viilennyksen avulla parannetaan työolosuhteita laitoksessa, estetään kuumuudelle herkän  
teknologian rikkoutuminen sekä edistetään laitoksen pidempää ja parempaa toimintaa.  
Talvella ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin avulla muodostetaan viihtyisät olosuhteet  
laitokseen sekä estetään järjestelmän komponenttien jäätyminen esimerkiksi silloin, kun  
laitos ei ole käytössä.

Palamisilman laskentaan ja arviointiin on rakennettu todenmukaisia ja suuntaa antavia  
laskelmia. Satakunnan Ammattikorkeakoulun kehittämis- ja palvelukeskus O`Sata on  
suorittanut tutkimuksia ja mittauksia palamisilmaan ja savukaasuvirtoihin liittyen (Lund-  
gren 2003). Palamisilmalle merkittävimpiä arvoja ovat tehontarve, vallitsevat olosuhteet  
ja polttoaineen alkuaineominaisuudet. Palamisilman tulokset ja olosuhteet on havainnol-  
listettu kuvan avulla 2 MW:n laitokselle, jonka savukaasujen lämpötila on Economizer  
(ECO) -lämmöntalteenoton jälkeen 250 °C:tta. Olosuhteet on mitoitettu kesäaikaan, jol-  
loin lämmityksen tarvetta ei ole.

TAULUKKO 6. Kattilan palamisilmavirta, savukaasuvirta ja virtaama 20 °C:n lämpöti-  
lassa suhteellisen kosteuden ollessa 55 %:a.

Tulokset	
100% hyötäteho	2467 kW
hyötysuhteen mukainen	0,15 kg/s
hyötysuhteen mukainen	522,2 kg/h
savukaasuvirta	2,45 m <sup>3</sup> /s
palamisilmavirta	1,24 m <sup>3</sup> /s

Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden muutokset muuttavat palamisilman määrää muuta-  
milla prosenteilla. Laitos on miehittämätön, jolloin yleisilman vaihtuvuus tulee olla 0,5  
kertaa tunnissa. Arvioitu laitoksen tilavuus on 770 m<sup>3</sup>:a, jonka ilmanvaihtuvuus tulee olla  
385 m<sup>3</sup>/h eli noin 107 l/s. Riittäväällä ilmanvaihdon mitoituksella varmistetaan olosuhtei-

den muutosten hallinta, tilan yleisilmanvaihto sekä riittävä palamisilman määrä. Palamisilman tilavuusvirta ( $1,24 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ylimitoitetaan 20 %:lla, jolloin pyöristetyksi tuloilman mitoittavaksi tilavuusvirran arvoksi saadaan  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Talvikauden aiheuttama palamisilman ja yleisilmanvaihdon lämmityshäviöiden tehontarve muodostetaan tuloilmakoneen lämmityspatterilla sekä laitoksen komponenttien lämpösäteilyllä. Lämmityspatterin riittävä mitoitus on kompensoitu laitoksen komponenttien lämpöhäviöillä, jotka lämmittävät suoraan laitoksen sisäpuolista tilaa. Laitoksen lämpösäteilystä arvioidaan otettavan vain 0,5 %:a talteen, joka tekee 2 MW:n laitoksessa 10 kW:a (Lundgren 2003). Mitoittavan tilavuusilmavirran ( $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avulla saadaan laskettua lämmityspatterin mitoitus-teho alla olevan kaavan mukaisesti.

$$\Phi = q_v * c_p * \rho * (T_s - T_{mit}) \quad (2)$$

Kaavassa olevien symbolien merkitykset:

- $\Phi$  = Lämmitysteho
- $q_v$  = Tilavuusvirta
- $c_p$  = Ominaislämpökapasiteetti
- $\rho$  = Tiheys
- $T_s$  = Sisäilman lämpötila
- $T_{mit}$  Mitoittava ulkolämpötila (SRMK D2, 5)

Lämpöpatterin tehoksi saadaan kaavan 2 mukaisesti:

$$\begin{aligned} \Phi &= 1,5 \text{ m}^3/\text{s} * 1,01 \text{ kJ}/(\text{kgK}) * 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3 * (20^\circ\text{C} - (-26^\circ\text{C})) \\ &= 90 \text{ kW} \end{aligned} \quad (2)$$

Lämmityspatterin mitoittavaksi tehoksi tulee 80 kW, jossa on otettu huomioon komponenteista ja putkistosta muodostuva lämpösäteilyn suuruus 10 kW:a. Merkittävimmät asiat tuloilmakonetta valittaessa ovat  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ :n tilavuusvirta ja 80 kW:n lämmityspatteri.

Rakenteiden terveyden vuoksi poistoilmakoneen tulee pystyä muodostamaan noin 10 %:n alipaine eli noin  $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$ :n tilavuusvirta laitokseen. Tuloilman osuudesta palamisilmaan kuluu  $1,24 \text{ m}^3/\text{s}$ , joka poistuu omavoimaisesti savupiipun kautta ulos. Tällöin tilaa hoitavan poistoilmavaihdon ei tule olla niin suuri kuin tuloilmakoneen. Poistoilmakoneen mitoittavana tilavuusvirran arvona voidaan pitää  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , jolloin poistoilmakoneen ja

kattilan palamisessa poistuvan poistoilman tilavuusvirrat ovat riittävät eli yhteensä 1,74 m<sup>3</sup>/s.

### **6.2.3 Polttoaineen kuljetus ja varastointi**

Polttoainevarastona toimii umpinainen siilo, jonka täyttäminen tapahtuu siilon päälle kulkevasta täyttöputkesta. Täyttöputken alapää on oltava riittävän alhaalla letkujen kiinnittämisen helpottamiseksi täyttöputkeen. Letkujen avulla siirretään säiliöautosta puhallettava laitokseen määritelty polttoaine hygieenisesti ja vaivattomasti siiloon. Siilosta polttoaine siirretään umpinaisessa putkessa olevilla automaattisesti toimivilla kairoilla polttoon. Ulkopuolisesti siilon palaminen on epätodennäköistä rautaisen ulkokuoren vuoksi. Sisäisesti takapalon kulkeutuminen siiloon estetään polttoaineen kuljettimeen asennettavien vesikäyttöisten sammuttimien, mekaanisten sulkusyöttimien ja antureiden avulla. Varastoinnista ja polttoaineen kuljetuksesta on tehtävä selvitykset kunnan viranomaisille, jossa on oltava toimintaperiaate sekä visuaalisesti havainnollistettu piirros järjestelmästä ja sen paikasta.

### **6.2.4 Tuhkanpoisto**

Kauran kuorta sekä pellettiä poltettaessa muodostuu tuhkaa, joka tulee turvallisesti poistaa kattilasta, syklonista ja savukaasujen lämmöntalteenotosta. Tuhkanpoistoputkiston tarkoituksena on siirtää umpinaisessa putkistossa olevien kairojen avulla tuhka ulkona olevaan vaihtolavaan. Tuhkalavan täytyttyä kuorma-auton on helppo hakea vaihtolava ja siirtää tuhka sovittuun loppusijoituspaikkaan esimerkiksi lannoitukseen. Siirtolava on hyvin peitetty ja tiivistetty tuhkan leviämisen sekä tuhkan pöllähdyksen estämiseksi, jolla estetään lähiympäristön likaaminen ja varmistetaan asianmukainen hygieenisuus. Tuhkanpoiston takapalon vaara estetään lämpötila-antureilla, jotka avaavat vesisammutteiset suuttimet mikäli lämpötila nousee liian korkeaksi. Tuhkanpoistosta sekä tuhkan ominaisuuksista tulee tehdä selvitys kunnan ympäristöviranomaisille sekä saada siihen hyväksyntä.

### 6.3 Höyryverkosto

Höyryputkiston mitoitukselle yleisesti käytetty kriteeri on höyryn nopeus. Kylläiselle höyrylle sopivat nopeudet muodostuvat käyttöpaineen mukaan seuraavasti:

TAULUKKO 7. Höyryn sallittuja nopeuksia eri paineen arvoilla (Närhi 2014).

Paine	Höyryn nopeus
1-2 bar(g)	10 - 15 m/s
2-5 bar(g)	15 - 25 m/s
5-10 bar(g)	25 - 35 m/s
10-40 bar(g)	35 - 40 m/s

Höyryputken koko voidaan laskea kaavalla 3 ja käyttää hyödyksi sallittuja nopeuksia:

$$d = \sqrt{\frac{354 * Q}{(w * \rho)}} \quad (3)$$

Kaavassa olevien symbolien merkitykset ovat:

- $d$  = Putkihalkaisija (mm)
- $Q$  = Höyryn massavirta (kg/h)
- $w$  = Nopeus (m/s)
- $\rho$  = Höyryn tilavuuspaino (kg/m<sup>3</sup>)

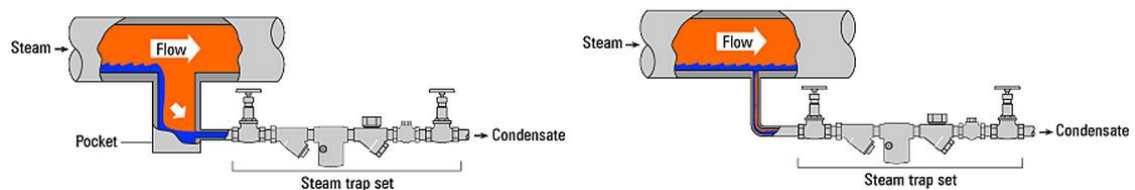
Tarkalla höyryputken mitoituksella parannetaan höyryn laatua ja energiatehokkuutta. Putken ylimitoitus aiheuttaa lauhteen määrän kasvua, joka aiheuttaa höyryn laadun ja tehokkuuden heikentymistä linjastoissa. (Närhi 2014). Toisaalta liian suuri nopeus aiheuttaa liiallista melua, kulumista ja korroosiota, jotka lyhentävät järjestelmän komponenttien käyttöikä (Air-Ix 1989, 25).

Toisena mitoitusperusteena voidaan käyttää painehäviöihin perustuvaa mitoitusta, mikäli halutaan tarkempi höyryn lämpötila, joka saadaan raportin liitteessä 1 olevan taulukon esimerkin mukaisesti. Painehäviöllä mitoittaessa tulee tietää järjestelmän kertavastusten painehäviöiden suuruus, höyryn virtausnopeus, kylläisen höyryn paine, höyryntuotto

ja höyryn lämpötila. Tässä työssä mitoitettavana tekijänä käytetään höyryn virtausnopeutta.

### 6.3.1 Vesitys

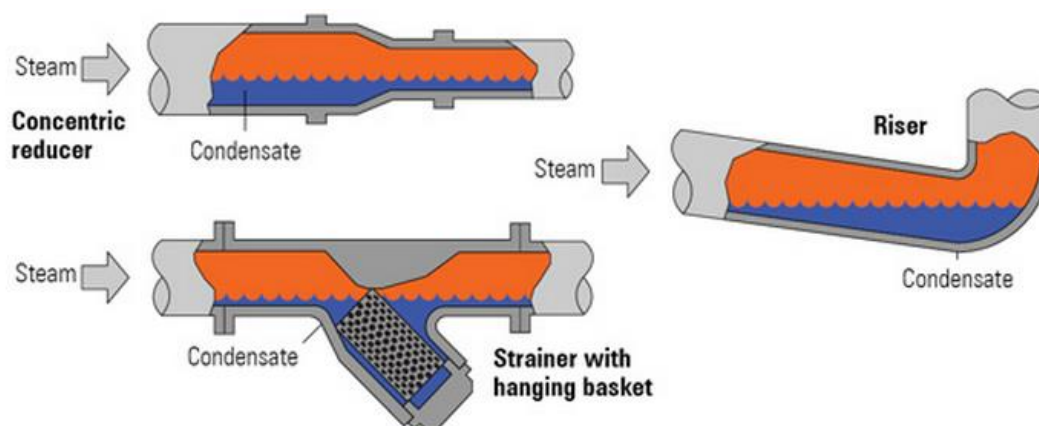
Vesitysten tarkoitus on poistaa höyryputkeen syntyvää lauhdevedettä, joka voi hajottaa vesi-iskun toimesta lauhteenpoistimia, putkistoja tai höyrylaitteita. Höyryputkiston linjoja asennettaessa tulee muistaa pieni, noin 0,5 %:n, kaato virtaussuuntaan päin, jotta lauhtunut vesi voidaan asianmukaisesti poistaa vesityksen ja lauhteenpoistimen kautta lauhdeverkostoon. Vesityksiä tulee asentaa noin 30 – 50 metrin välein, järjestelmän alimpiin vettä kertyviin kohtiin ja ennen säätöventtiiliä. Vesitaskun tulee olla riittävän suuri (höyryputken koko riittävä), jotta lauhdevesi ei ylitä vesitaskua ja jatka eteenpäin järjestelmässä. (Närhi 2014). Runkoputkesta tehtävät haaroitukset tulee tehdä yläkautta, jotta runkoputken lauhdevesi ei pääse haaralinjaan.



KUVA 10. Vesityksen oikein asennus vasemmalla ja väärin asennus oikealla (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Steam Mains and Drainage)

Vesi-iskuja muodostuu höyryn tai kuuman lauhdeveden kohdatessa kylmä lauhdevesi. Vesi-iskuja syntyy myös höyry- tai lauhdeputkistossa lauhdeveden aiheuttaman tukoksen nopeasta liikkumisesta tai pysähtymisestä. Vesi-iskujen riski tulee erityisesti huomioida tuotannon ylös- ja alasajon aikana, jolloin on muistettava riittävän hidas ylös lämmittäminen ja linjojen tyhjennys höyryntuotannon katkon aikana. (Air-Ix 1989, 34). Materiaaleissa ja niiden asennuksessa tulee ottaa huomioon vettä kertyvien paikkojen estäminen esimerkiksi epäkeskisellä supistusliittimellä. Vesi-iskun sisältämän suuren voiman vaikutuksesta putkiston saumat voivat revetä, höyrylaitteet hajota ja kannakkeet irrota, joka aiheuttaa vuodon ja mahdollisen vaaratilanteen.



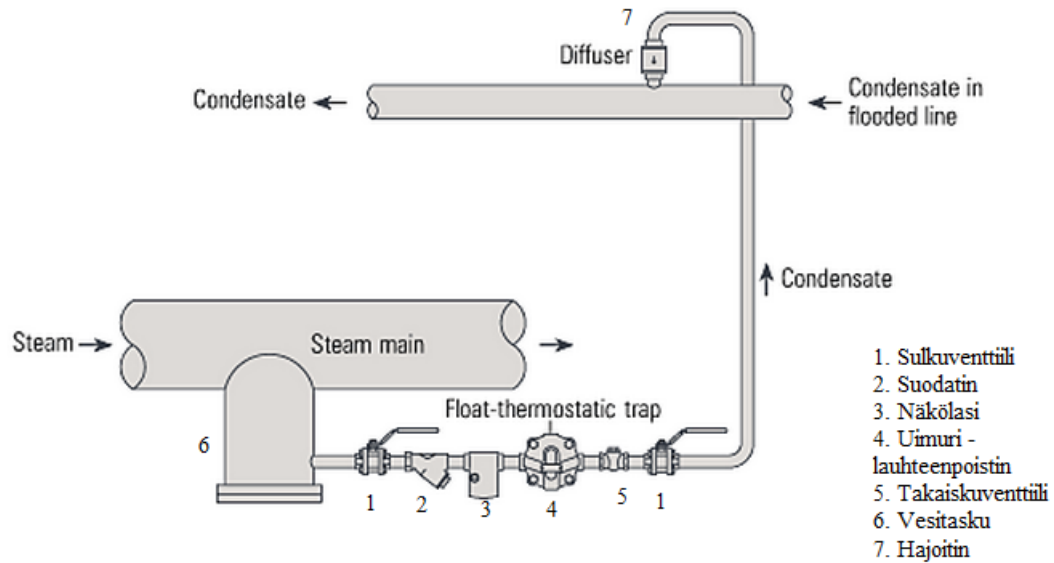


KUVA 11. Virheitä, jotka mahdollistavat vesi-iskun vaaran (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Steam Mains and Drainage)

#### 6.4 Lauhdeverkosto

Lauhteenpoistimien ja lauhdevesiputkiston avulla kerätään höyryjärjestelmästä lauhtunut vesi talteen ja palautetaan takaisin syöttövesisäiliöön lauhteenpoistimen yli vaikuttavan höyryverkoston paineen avulla. Höyryverkkoon tuotetun höyryn vesisisältö on yhtä suuri kuin siitä muodostuva lauhdevesi ja hönkähöyry, jonka lämpötila, paine ja muoto on vain muuttunut. Lauhdeveden palautuksella vähennetään syöttövesisäiliöön pumpattavan vesimittarin kautta kulkevan kylmän raakaveden määrää, joka parantaa höyryjärjestelmän energiatehokkuutta. Keruuputkisto tarvitsee myös riittävän kaltevuuden, yleensä 5-10 ‰:n kaadon, jotta kitkavastus voitetaan ja virtaus on riittävä (Air-Ix 1989, 28). Lauhdeveden lämpötilan tulee olla mahdollisimman korkea saapuessaan syöttövesisäiliölle, jotta syöttöveden lämmittäminen olisi minimaalista.

Lauhdevesiverkosto on sinällään paineeton verkosto, missä lauhdeveden liikkuminen perustuu höyryverkostosta uudelleen lauhtuvan lämpimämmän lauhdeveden työntövoimaan. Tällöin jo aikaisemmin lauhtunut viileämpi lauhdevesi työntyy eteenpäin lauhdeverkostossa lämpimämmän lauhdeveden tieltä, johon vaikuttaa lauhteenpoistimen yli höyryverkoston paine. Nyrkkisääntönä on, että yhdellä baarilla voidaan nostaa 7 metriä lauhdetta (Närhi 2014). Lauhdeverkoston avonaisuudesta johtuen putkimateriaalina käytetään ruostumatonta terästä, jolla estetään korroosion muodostuminen. Mikäli höyryverkoston paine ei riitä, on verkostoon asennettava lauhdevesisäiliö, josta pumppujen avulla pumpataan lauhdevesi takaisin syöttövesisäiliöön.



KUVA 12. Lauhteenpoistossa tarvittavat komponentit (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Layout of Condensate Return Lines).

Lauhteenpoistimien etäisyyksistä ja yhdistämisessä lauhdeverkoston runkolinjaan tulee huomioida lauhdeveden lämpötila. Mitä kauempaa lauhdevesi kulkeutuu takaisin kattilalaitokselle, sitä viileämpää se on. Vastaavasti mitä lähempänä kattilalaitosta ollaan, sitä lämpimämpää lauhdevesi on tullessaan runkolinjaan. Viilentyneen runkolinjan lauhdeveden ja lähempää tulevan lämpimämmän lauhdeveden yhdistyessä muodostuu hönkähöyryä ja samalla vesi-iskut ja putkien paukkumiset ovat mahdollisia. Ratkaisuna tähän on eristämätön pitempi kiertoinen lauhteenpoistimen keruuputki kuvan 12 mukaisesti, jolla viilennetään riittävästi lauhdevettä ja estetään mahdolliset ongelmat.

#### 6.4.1 Mitoitus

Merkittävimpinä asioina lauhdeveden mitoituksessa on lauhteenpoistimen avulla muodostetun lauhdeveden keruuputken ja lauhdelinjan runkoputken koko. Höyryputkistosta kerätyn lauhdeveden paine laskee lauhteenpoistimen jälkeen lauhdeputkistossa, jolloin lauhdevesi alkaa uudelleen höyrystyä matalammassa paineessa. Lauhdeputkistossa höyrystyvää vettä kutsutaan yleisimmin hönkähöyryksi tai paisuntahöyryksi. Tärkeintä hönkähöyrylle ja lauhdevedelle on riittävä tilavuus putkessa, jolla estetään vesi-iskujen syntyminen ja vastapaineen muodostuminen.

Alle 10 bar höyrytuotantolaitoksille voidaan käyttää yksinkertaisena mitoitusperusteena lauhteen keruuputkille ja samalla lauhteenpoistimille käynnistyskuorman määrää. Käynnistyskuorman lauhdeveden määrä saadaan laskemalla normaali käytönaikainen lauhdeveden määrä, joka kerrotaan kahdella tai kolmella. Alle kymmenen metrin linjoissa suurin sallittu painehäviö saa olla 200 Pa/m ja nopeus maksimissaan 1,5 m/s. Yli kymmenen metrin putkistoissa suurin sallittu painehäviö on 100 Pa/m ja maksiminopeus 1 m/s. Putkikoko saadaan laskettua alla olevan taulukon mukaisesti jokaiselle laitteelle niiden höyrynkulutuksen mukaan. Höyryverkoston runkolinjassa oleville lauhteenpoistimille ja putkistolle, jotka asennetaan 50 metrin välein, on annettu lauhdeveden muodostumisen määräksi 1 % höyryntuotannon määrästä. (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Sizing Condensate Return Lines).

Flowrate		Capacity kg/h								
Pipe size Ø		15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm
Pa/m	mbar/m	<0.15 m/s			0.15 m/s					0.3 m/s
90.0	0.900	173	403	745	1627	2488	4716	9612	14940	30240
92.5	0.925	176	407	756	1652	2524	4788	9756	15156	30672
95.0	0.950	176	414	767	1678	2560	4860	9900	15372	31104
97.5	0.975	180	421	778	1699	2596	4932	10044	15552	31500
100.0	1.000	184	425	788	1724	2632	5004	10152	15768	31932
120.0	1.200	202	472	871	1897	2898	5508	11196	17352	35100
140.0	1.400	220	511	943	2059	3143	5976	12132	18792	38160
160.0	1.600	234	547	1015	2210	3373	6408	12996	20160	40680
180.0	1.800	252	583	1080	2354	3589	6804	13824	21420	43200
200.0	2.000	266	619	1141	2488	3780	7200	14580	22644	45720
220.0	2.200	281	652	1202	2617	3996	7560	15336	23760	47880
240.0	2.400	288	680	1256	2740	4176	7920	16056	24876	50400
260.0	2.600	306	713	1310	2855	4356	8244	16740	25920	52200
280.0	2.800	317	742	1364	2970	4536	8568	17388	26928	54360
300.0	3.000	331	767	1415	3078	4680	8892	18000	27900	56160

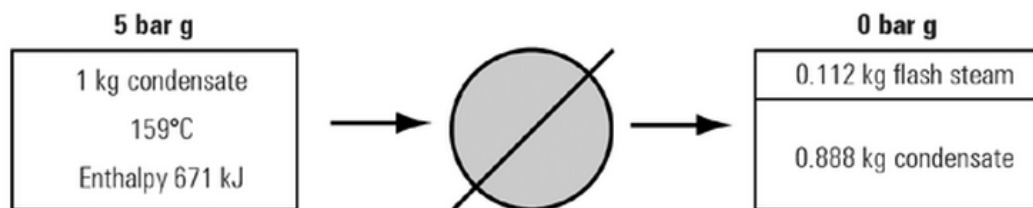
KUVA 13. Lauhdeputkien mitoitustaulukko höyrylaitteille (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Sizing Condensate Return Lines)

Toisena mitoitusvaihtoehtona käytetään korkeammissa, yli 10 bar, paineissa mitoitusta hönkähöyryn määrällä, joka saadaan raportin liitteessä 2 havainnollistetun kuvaajan avulla. Taulukon tulkitsemiseksi tulee tietää lauhdeveden määrä, höyryverkoston paine ja lauhdeputken paine poistimen jälkeen. Hönkähöyryn mitoituksessa ei lasketa lauhteen määrää, joka tulee laskea erikseen (Air-Ix 1989, 29). Lauhdeveden määrä voidaan laskea hönkähöyryn ja lauhteen suhteesta alla esitetyllä tavalla.

$$\text{Proportion of flash steam} = \frac{(h_f \text{ at } P_1) - (h_f \text{ at } P_2)}{h_{fg} \text{ at } P_2}$$

Equation 2.2.5

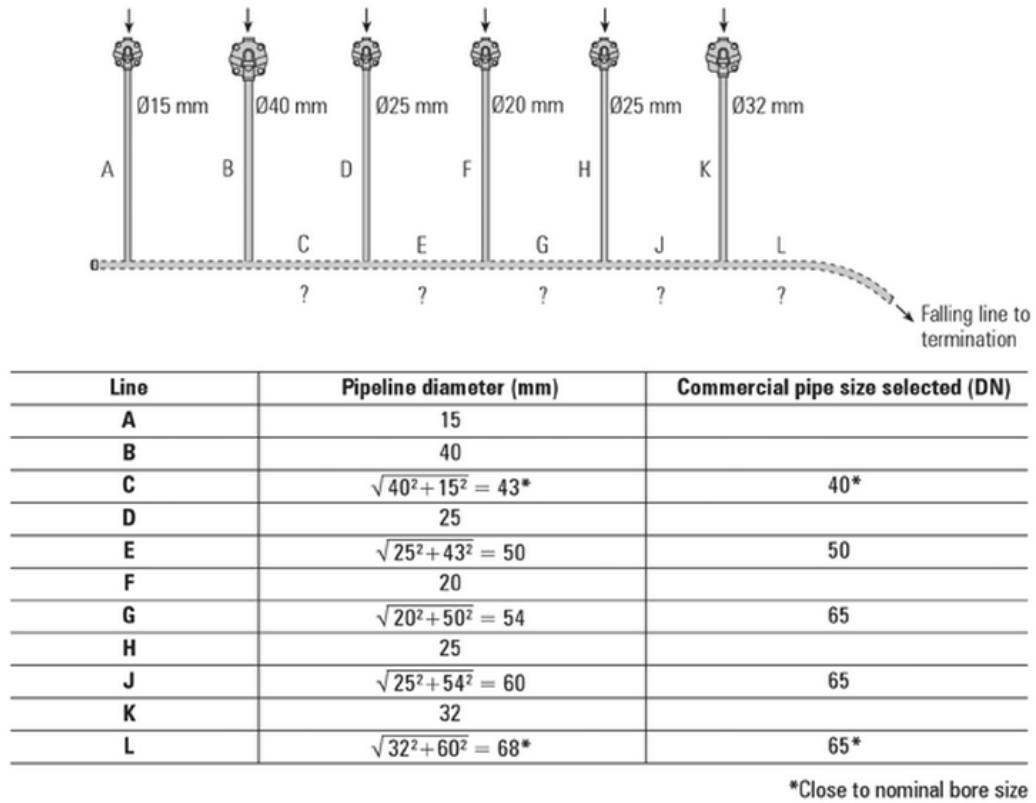
Where:

 $P_1$  = Initial pressure Höyryverkoston paine $P_2$  = Final pressure Lauhdeverkoston paine $h_f$  = Liquid enthalpy (kJ/kg) Tietyssä paineessa olevan nesteen entalpia $h_{fg}$  = Enthalpy of evaporation (kJ/kg) Höyrystymisen ominaisentalpia normaalissa ilmanpaineessa

KUVA 14. Hönkähöyryn ja lauhdeveden suhteen laskenta kilogrammaa höyryä per kilogrammaa vettä (Spirax-Sarco Ltd. 2015, What is Steam?)

Korkeapaineisen höyryn ominaisentalpia on suurempi kuin normaalissa ilmanpaineessa olevan veden ominaisentalpia. Vesi ei pysty sisältämään kuin 419 kJ/kg energiaa 100 °C:n lämpötilassa. Kuitenkin yllä olevan kuvan mukaisesti korkeamman höyrynpaineen 5 bar lauhtumisessa normaaliin ilmanpaineeseen muodostuu 671 kJ/kg energiaa. Termodynamiikan peruslakien mukaan energia ei katoa vaan se muuttuu muotoaan, joten loppuosa 252 kJ/kg lämpöenergiaa muodostaa lauhdeputkeen hönkähöyryä. Hönkähöyryn prosentuaalinen osuus on saatu kuvassa 14 olevan kaavan avulla.

Päälinjan mitoitus tapahtuu lauhteenpoistimien ja lauhteenkeruuputkien mitoituksessa saatuihin putkikokoihin. Lauhteenpoistimien keruuputkien kokojen yhteisvaikutus runkolinjaan on havainnollistettu kuvan 15 avulla, joka antaa selkeän näkökulman runkolinjan mitoituksesta.

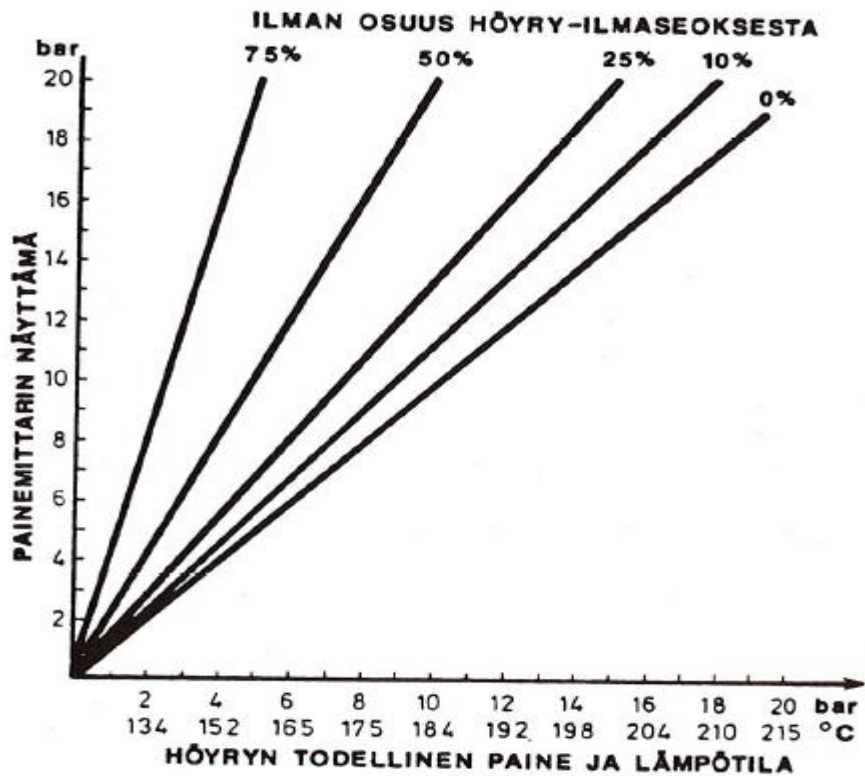


KUVA 15. Toimintaperiaate keruuputkien kokojen avulla lasketun lauhdeveden runkolinjan suuruudesta (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Sizing Condensate Return Line)

## 6.5 Lauhteenpoistimet

Lauhteenpoistimen merkitys perustuu sen kykyyn poistaa höyryjärjestelmästä lauhdevettä, ilmaa ja muita lauhtumattomia kaasuja päästämättä lävitse höyryä. Lauhteenpoistin tulee asentaa aina ennen höyrylaitteita ja mahdollisiin vettä kertyviin paikkoihin. Oikein valittu lauhteenpoistin oikeaan kohtaan estää vesi-iskuja ja pidentää putkiston ja laitteiden käyttöikä. Lauhteenpoistimet voidaan jakaa toimintaperiaatteiltaan mekaanisiin-, termisiin- ja termodynaamisiin poistimiin.

Lauhteenpoistimista puhuttaessa ajatellaan yleisesti höyryjärjestelmän lauhdeveden poistoa, jolloin estetään vesi-iskuja ja parannetaan järjestelmän tehokkuutta. Lauhteenpoistimen toinen merkittävä tarkoitus on kuitenkin ilmanpoisto. Höyryputkistossa oleva ilma laskee höyryn lämpötilaa sekä heikentää lämmönsiirtoa joutuessaan höyryn ja lämmönsiirtopinnan väliin, jolloin jo pieni kymmenesosamillin ilmakerros heikentää lämmitystekokkuutta kymmenillä prosenteilla (Air-Ix 1989, 45). Tämä tulee ottaa huomioon, mikäli paineen mukainen lämpötila ei riitä höyrylaitteen lämmöntarpeelle.



KUVA 16. Ilman todellinen vaikutus höyryputkistossa, joka aiheuttaa ongelmia höyryntehontarpeen riittävyyden kanssa (Air-IX 1989, 45)

### 6.5.1 Mekaaninen lauhteenpoistin

Mekaanisesta lauhteenpoistimesta käytetään myös nimitystä uimurilauhteenpoistin, joista erilaisia versioita ovat umpiimurilauhteenpoistimet ja avouimurilauhteenpoistimet. Yleisimmin käytettyjä ovat umpiimurilauhteenpoistimet, joiden toiminta perustuu höyryn ja lauhteen väliseen tiheyseroon. Poistimeen kerääntyvä lauhdevesi nostaa uimuria vapauttaen lauhdeveden pääsyn lauhdeverkostoon. Tavalliset uimurit eivät poista ilmaa ja lauhtumattomia kaasuja suoraan, joten niihin on varustettu käsin ohjattu ilmanpoistiventtiili tai jatkuva kaasunpoistosuutin tai termisesti ohjattu käynnistysilmanpoistin. (Air-Ix 1989, 46).

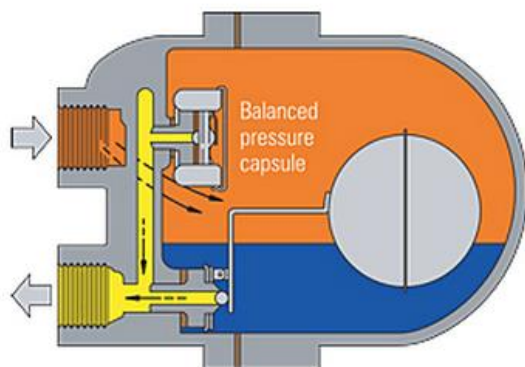


Fig. 11.3.2 Float trap with thermostatic air vent

Termisellä periaattella toimiva  
automaattinen uimurilauhteenpoistin

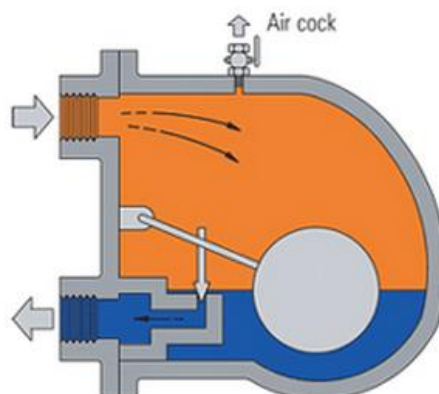


Fig. 11.3.1 Float trap with air cock

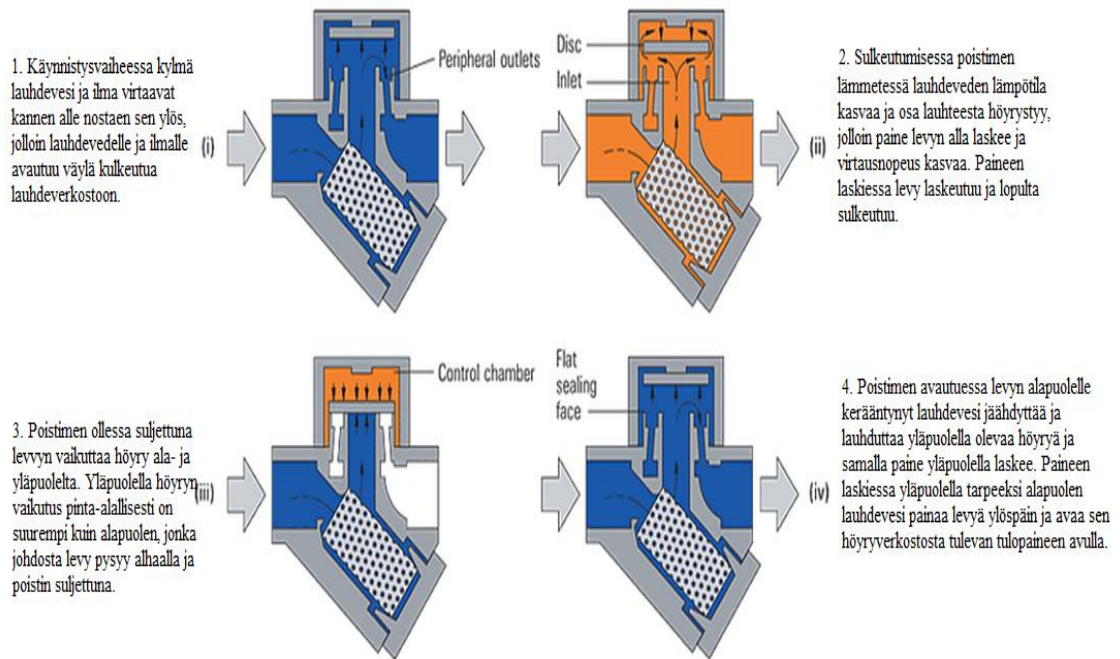
Käsiohjatulla ilmanpoistovenkillä  
toimiva uimurilauhteenpoistin

KUVA 17. Umpiuimurilauhteenpoistimen toimintamalleja (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Mechanical Steam Traps)

Nykypäivänä tuotetut modernit vesi-iskuja kestävät termisesti toimivat uimurilauhteenpoistimet ovat ihanteellinen ratkaisu toimivan ja kestävän lauhteenpoistimen valinnassa, koska ne pystyvät samalla poistamaan lauhdevettä, ilmaa ja lauhtumattomia kaasuja oma-toimisesti (Spirax-Sarco Ltd 2015, Mechanical Steam Traps). Uimurilauhteenpoistimen etuja ovat huolettomampi ylimitoittaminen, mahdollisuudet siirtää suuria ja pieniä lauhdevesikuormia sekä niiden soveltuvuus monenlaisiin erilaisiin prosesseihin (Air-Ix 1989, 46). Uimurilauhteenpoistimia käytetään erityisesti höyryputkiston alkupäässä.

### 6.5.2 Termodynaaminen lauhteenpoistin

Termodynaaminen lauhteenpoistin toimii lauhtelinjan hönkähöyryn ja veden virtauksen dynamiikan avulla, jotka voivat toimia korkeilla paineilla ja lämpötiloilla. Termodynaaminen lauhteenpoistin on vankka, sillä sen ainoa liikkuva osa on lautanen, jonka toiminta on havainnollistettu kuvan 18 avulla. Etuina termodynaamiselle lauhteenpoistimelle on sen pieni ja kevyt koko, hyvä vesi-iskujen kestävyys, hyvä korroosiokestävyys, toimiminen takaiskuventtiilinä ja tulistuksen kestäminen. Ongelmia poistimella on lauhdeveden likaisuus, poistimen ylimitoitus ja suhteellisen nopea kuluminen sekä riittävä tulopaine ja paine-ero lauhteenpoistimen yli. (Airix-Ix 1989, 50–51). Lauhteenpoistimen toimintaperiaate on havainnollistettu ja selitetty kuvan 18 avulla.



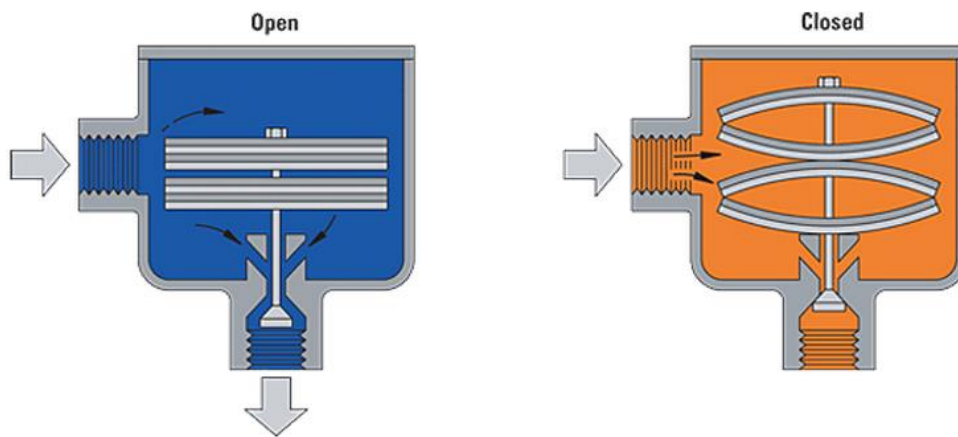
KUVA 18. Havainnollistetut kuvat ja selitykset termodynaamisen lauhteenpoistimen toiminnasta (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Thermodynamic Steam Traps)

### 6.5.3 Terminen lauhteenpoistin

Termitiset lauhteenpoistimet nimensä mukaan toimivat lämpötilan muutosten mukaan, jotka eivät sovellu jatkuvaan lauhteenpoistoon niiden jaksollisen toiminnan vuoksi. Etuina poistimille on tulistuksen kesto, korroosion kesto, vesi-iskuksen kesto, asennus eri asentoihin ja toimiminen takaiskuventtiilinä. Poistimien suurimpana ongelmana on pakollinen alijäähditys, jolloin pienellä viiveellä lauhteen lämpötilan on laskettava muutama asteen alle nesteen kyllästymislämpötilan. Tämän jälkeen lauhdevesi työntää karan auki ja poistuu lauhdeverkostoon. Alijäähdyttäminen aiheuttaa myös putkiston paukkumista sekä vesi-iskuja mikäli lauhteenpoiston määrää on jatkuvaa ja suurta. Erilaisia termisiä lauhteenpoistimia ovat, termostaattiset tasapainotetut poistimet, nesteen laajennukseen perustuvat poistimet ja bimetalliset termostaattiset poistimet. (Air-Ix 1989, 48–49).

Bimetallisen lauhteenpoistimen toiminta on yksinkertainen. Poistimessa on kaksi eri metallia, joiden lämpölaajenemiskerroin on eri. Käynnistyessä metallit ovat kylmät ja poistimen kara auki, jolloin ilma ja lauhde kulkevat lauhdeverkostoon. Höyryn ansiosta lämpiävä lauhdevesi lämmittää metalleja, jotka laajenevat ja sulkevat venttiilin karan. Lauhdeveden alijäähtyessä poistimessa metallit supistuvat ja kara lopulta aukeaa, jolloin lauhdevesi kulkeutuu lauhdeverkostoon. (Air-Ix 1989, 49–50).





KUVA 19. Bimetallisen lauhteenpoistimen toimintaperiaate (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Thermostatic Steam Traps)

Termiset ja termodynaamiset lauhteenpoistimet asennetaan yleisesti kauemmaksi verkostossa ja höyrylaitteita ennen.

#### 6.5.4 Näkölasi

Näkölasilla nähdään lauhteenpoistimen rikkoutuminen. Tällöin poistin on joko vesilasissa tai höyry läpivuotaa lauhdeverkkoon, jotka heikentävät järjestelmän energiatehokkuutta ja toimivuutta. Poistimen vioittuminen voidaan huomata myös vesi-iskuista sekä lauhdeputken ja höyryputken samasta lämpötilasta. Näkölasi voidaan asentaa ennen tai jälkeen lauhteenpoistimen. Parempana vaihtoehtona on asentaa näkölasi ennen poistinta jolloin nähdään mahdollinen höyryn läpipuhallus, poistimen sulkeutuminen ja poistimen avautuminen. Näkölasia tarvitaan erityisesti uimurilauhteenpoistimissa. Näkölasin suurimpana huolena on niiden suuri vuotoriski (Air-Ix 1989, 46 ja 57). Näkölasin tulkitseminen on havainnollistettu kuvalla 20.



KUVA 20. Visuaalisesti havaittavan näkölasin normaalitoiminta ja vikatilanteet (Pöyhönen 2015)

## 6.6 Mittaaminen

Kattilan säätämisen ja ylläpidon kannalta yleisimmin käytettyjä mittauksia ovat paineen, virtauksen, vedenpinnan korkeuden ja lämpötilan mittaaminen. Kattilan yhteydessä on havainnollistettu yleisesti vedenpinnan korkeutta näkölasin avulla sekä mekaanisten mittarien avulla höyryn painetta ja lämpötilaa. Kattilan höyryvirtaus otetaan yleensä kattilan jälkeisestä runkolinjasta. Sähköisesti saatavien mittaustietojen avulla saadaan valvomoon ja etäohjaukseen tarvittavat tiedot, jotta kattilalaitosta voidaan säätää ja nähdä mahdolliset ongelmat etäluettavana (Huhtinen ym. 2000, 277). Käytön ja ohjauksen kannalta on merkittävää tehdä vesi-, polttoaine- ja savukaasuanalyysyjä, jotta kattilan toiminta voidaan optimoida sekä asettaa mahdollisimman tehokas ja ympäristöystävällinen järjestelmä (Huhtinen ym. 2000, 277).

### 6.6.1 Painemittaus

Paineen mittaaminen havainnollistetaan sähköisesti ja mekaanisesti. Mekaanisesti käytetyillä painemittareilla nähdään paikallisesti paineen määrä, mikäli sähköisiin järjestelmiin tai automaatioon tulee käyttöongelmia. Erilaisia yleisimmin käytettyjä mekaanisia mittareita ovat paineputkinanometrit ja levyjousimittalaitteet. Sähköisesti painetta voidaan mitata paineen vaihteluista johtuvan resistanssin muutoksilla, jotka muutetaan milliampeeri- tai volttiviestiksi. Tällaisia mittareita ovat pietsoresistiiviset anturit ja siirtymämenetelmään perustuvat anturit. (Huhtinen ym. 2000, 277–278)

### 6.6.2 Pinnankorkeuden mittaus

Kattilan pinnankorkeuden lisäksi on tarkoituksenmukaista tarkastella myös syöttövesisäiliön, lauhdevesisäiliön, ulospuhalluksen paisuntasäiliön ja polttoainevaraston osalta. Pinnankorkeutta voidaan mitata uimureilla, vesilaseilla, pneumaattisesti, hydrostaattisesti ja paine-erolla, joista tarkemmin tarkastellaan vesilaseja sekä uimureita. Vesilasi näyttää yksinkertaisesti luonnonlakien mukaan pinnankorkeuden kattilasta, joita määräysten mukaan lieriökattiloissa on oltava kaksi kappaletta. Vesilasissa on oltava sulkuventtiilit, jotta vesilasit saadaan erotettua kattilasta ja puhdistettua. Uimurien pinnankorkeuden mitoitus

perustuu uimurin liikkumiseen mitattavan materiaalin pinnalla. Uimuri välittää lähettimen tai vipujen avulla mitattavan aineen korkeuden sähköisesti tai mekaanisesti (Huhtinen ym. 2000, 283).

### **6.6.3 Lämpötilan mittaus**

Lämpöä voidaan mitata fysikaalisesti, sähköisesti ja optisesti toimivien säteilypyrometrien avulla (Huhtinen ym. 2000, 285). Lämpötilaa on hyvä mitata kattilan, höyryverkon, syöttövesisäiliön, savukaasukanavan, höyrylaitteiden, lauhdeverkon, kattilahuoneen, tuhkanpoiston, syöttövesisäiliön esilämmittimen yms. kriittisissä paikoissa, jotta systeemiä voidaan ohjata ja käyttää turvallisesti. Yleisesti käytettäviä fysikaalisia mitta-reita ovat kapillaarilämpömittarit ja nestelämpömittarit (Huhtinen ym. 2000, 285). Höyryjärjestelmään asetettavien anturien avulla saadaan lämpötilojen arvoja sähköisellä viestillä automaatio-ohjelmaan, jota käytetään järjestelmän käytön valvomiseen ja ohjaukseen.

### **6.6.4 Höyryn virtausmittaus**

Höyryn virtausmittaus voi perustua paine-eroon, tilavuuteen, sähköisiin menetelmiin sekä akustisiin ja optisiin menetelmiin. Tekniikan, yleisen käytön ja toimintamenetelmien johdosta tarkastellaan paine-eroon perustuvia mittalaitteita tarkemmin. Virtausmittarien oikein asennus ja mitoitus on perusteltu standardissa ISO 5167, joka on ehdottoman tärkeää kaikkien erityyppisten mittarien optimaalisen toiminnan varmistamiseksi. (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Types of Steam Flowmeter.)

Paine-eron mitoitus perustuu putkistossa olevan kuristavan laipan aiheuttaman paine-eron vaikutuksiin laipan eri puolilla. Paine-erosta saatu arvo voidaan syöttää virtausindikaattoreihin tai virtaustietokoneisiin, josta voidaan nähdä milliampeeriviestin avulla höyryvirtauksen muutokset kiloa tunnissa (kg/h) tai yleisimmin käytettynä tonnia tunnissa (t/h). Laipassa on pienempi reikä, jonka avulla lauhdevesi pystyy virtaamaan läpi laipan eikä aiheuta ongelmia mittaukseen. (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Types of Steam Flowmeter).

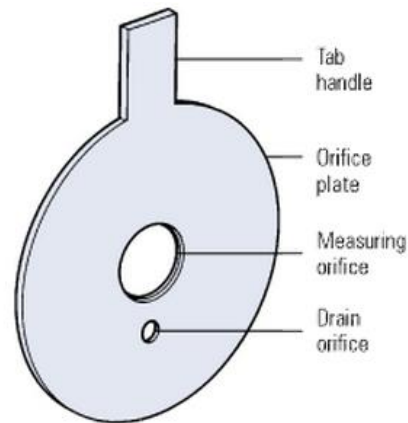
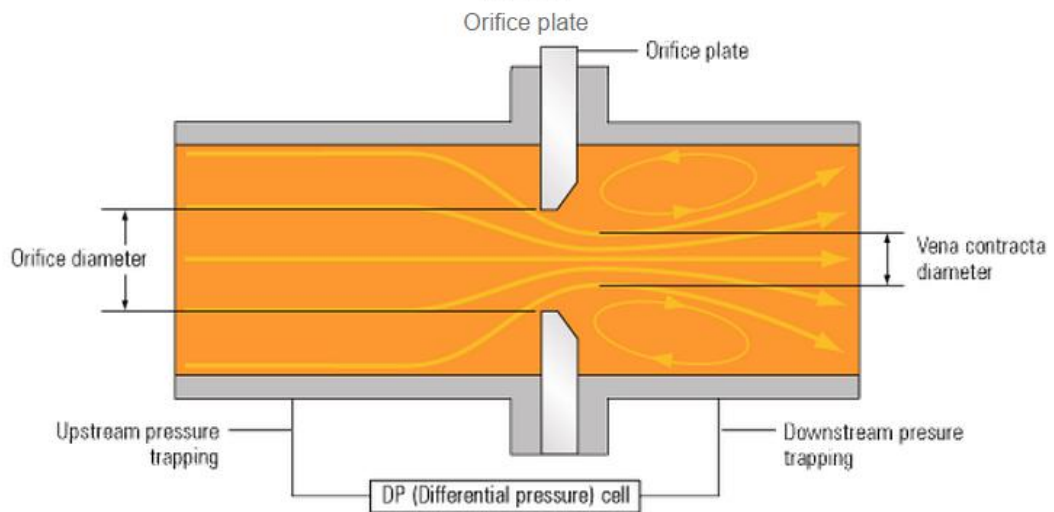
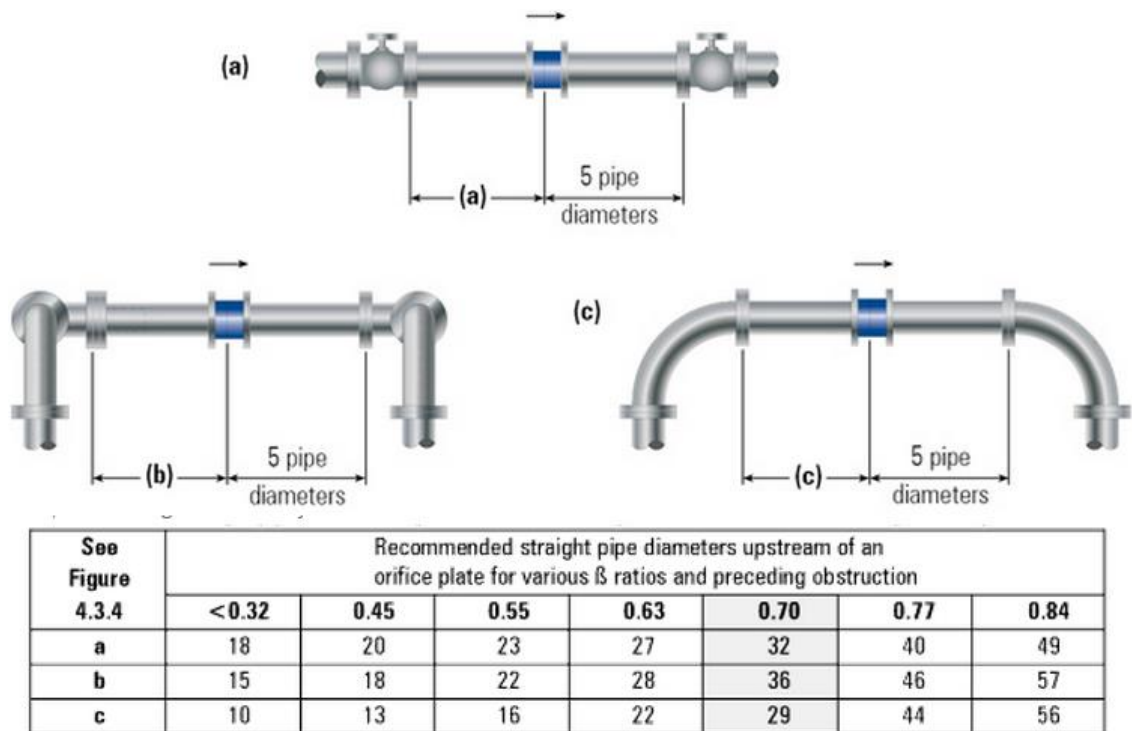


Fig. 4.3.1



KUVA 21. Laipan muoto ja toimintaperiaate höyryvirtauksen mitoituksessa paine-eron mukaan (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Types of Steam Flowmeter)

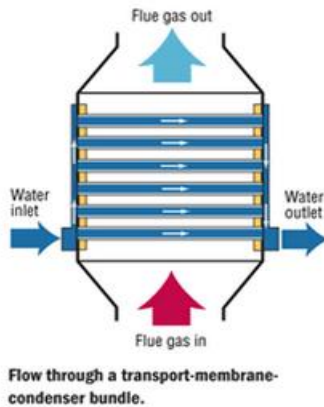
Höyryn virtausmittarin paikan määrittämisessä eri putkiston kohtiin vaikuttaa putken halkaisija sekä laipan halkaisija, jonka jakolaskusta voidaan käyttää yleisesti arvoa 0,7. Mittarin oikein sijoittaminen on havainnollistettu taulukon ja putkiston asennuspaikan avulla kuvassa 22. (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Types of Steam Flowmeter).



KUVA 22. Oikein asennettu virtausmittari on edellytys onnistuneelle mittaukselle (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Types of Steam Flowmeter).

## 6.7 Economizer

Energiatehokkuuden parantamiseksi on järkevää käyttää kattilasta poistettavien savukaasujen lämpöenergia hyödyksi. Kattilan ja savupiipun väliin asennettava syklonin muotoisen lämmöntalteenottojärjestelmän Economizerin (ECO) on vartenotettava vaihtoehto. ECO:n sisällä on ylös ja alaspäin meneviä putkia, joiden ulkopuolella olevassa vaipassa kuumat noin 300 °C:set savukaasut kulkevat. Putkien sisäpuolella virtaa syöttövesisäiliöstä pumpattu noin 105 °C:n syöttövesi, jonka lämpötila ja paine nousee savukaasujen vaikutuksesta noin 20 - 30 °C:tta. Tällöin kattilassa ei tarvitse lämmittää syöttövettä niin paljon ja samalla saadaan savukaasujen lämpötilat alhaisemmiksi noin 200 °C:n lukemiin. Osa savukaasujen seassa olevasta tuhkasta valuu ulkovaipan seinämiä pitkin ECO:n pohjalle. Turvallisuuden ja palamisen estämiseksi ECO on varustettu automaattisella tuhkanpoistolla, joka yhdistetään laitteiden yhteiseen tuhkanpoistolinjaan. Yksinkertaisesti esitetty kuva auttaa ymmärtämään ECO:n toimintaa.



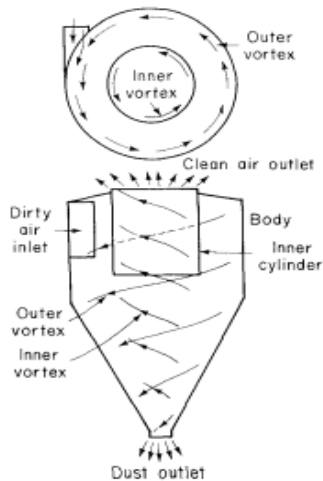
KUVA 23. Savukaasujen lämmöntalteenoton toimintaperiaate (HPAC-Engineering 2010)

## 6.8 Suodatus

### 6.8.1 Savukaasujen suodatus

Ympäristöasetuksen 750/2013 myötä kattilalaitoksen luvanvaraisen käyttämisen ensiarvoisen tärkeäksi kriteeriksi muodostuu haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien riittävä suodattaminen savukaasuista. Savukaasujen suodattamisessa tehokkaana ja toimivana ratkaisuna toimii dynaamisesti suodattava sykloni. Mikäli syklonin erotusaste ei riitä, on mahdollista harkita myös letkusuodatinta. Letkusuodattimen koon ja kalliin kustannushinnan vuoksi järjestelmää käytetään harkiten.

Sykloniin kulkeutuvien savukaasujen hiukkaset muodostavat spiraalin muotoisen liikkeen kohti syklonin pohjaa ja massavaikutuksen johdosta hiukkaset sinkoutuvat syklonin seinämiä päin. Seinämiä päin sinkoutuneet hiukkaset laskeutuvat syklonin pohjalle, jotka poistetaan systeemistä joko automaattisella tai manuaalisella tuhkanpoistolla. Puhaltimen avulla syklonista puhalletaan puhdistunut ilma savupiipun kautta ulos. Savukaasun sisääntulo nopeuden on hyvä olla 15 - 20 m/s. Savukaasuvirran ollessa liian suurta yhdelle syklonille, on järkevää käyttää multisyklonia, jossa syklonit on jaettu useaan osaan erotusasteen parantamiseksi. (Huhtinen ym. 2000, 253)

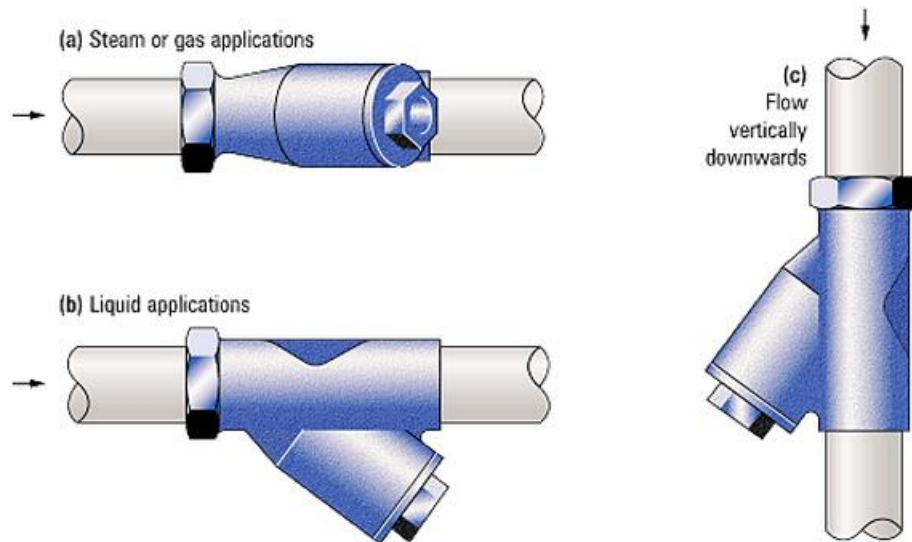


KUVA 24. Dynaamisen syklonin toimintaperiaate (Flagan & Seinfeld 1988, 403)

### 6.8.2 Putkiston suodatus

Höyryjärjestelmän komponenttien toimivuuden ja tehokkuuden ylläpitämiseksi tarvitaan epäpuhtauksien suodatusta putkistosta. Ilman suodatusta höyryjärjestelmän komponentit eivät toimi kunnolla tai vaurioituvat, jonka jälkeen järjestelmän toiminta ja tuottavuus heikkenee tai pysähtyy kokonaan. Höyryputkistoon epäpuhtaudet kertyvät pääsääntöisesti joko asennusvaiheessa tai syöttövesisäiliöön palautettavan lauhdeveden johdosta. Ennen höyryntuotannon aloittamista tulee putkisto koeponnistaa vuotojen ja toiminnan varmistamiseksi. Lisäksi putkiston puhtautta ja pidempää toimintaikää parannetaan happaman ja emäksisen aineen puhalluksilla verkostoon ja laitteisiin.

Suodattimia on Y-tyyppisiä ja korityyppisiä, joista Y-tyyppiset ovat yleisimmin käytettyjä. Höyryn kanssa työskennellessä Y-tyypin suodattimen suodattava tasku asennetaan vaakatasoon veden kertymisen estämiseksi taskuun, jolla estetään haitallisten epäpuhtauksien kulkeutuminen eteenpäin järjestelmässä. Mikäli suodatinta ei saa asennettua vaakaputkeen, tulee virtauksen olla pystyputkessa alaspäin suodattimen toiminnan mahdollistamiseksi. Suodattimen valinnassa tulee ottaa huomioon painehäviö, läpivirtausmäärä ja suodattimen sihtikoko. Kuvassa 25 osoitetaan vaakaputken höyryn ja nesteen sekä pystyputken asennusesimerkit. (Spirax-Sarco Ltd 2015, Strainers). Y-mallisista suodattimista käytetään yleisimmin myös nimitystä mutatasku.



KUVA 25. Y-suodattimen asennusesimerkkejä (Spirax-Sarco Ltd 2015, Strainers)

## 6.9 Höryverkostossa käytettäviä venttiileitä

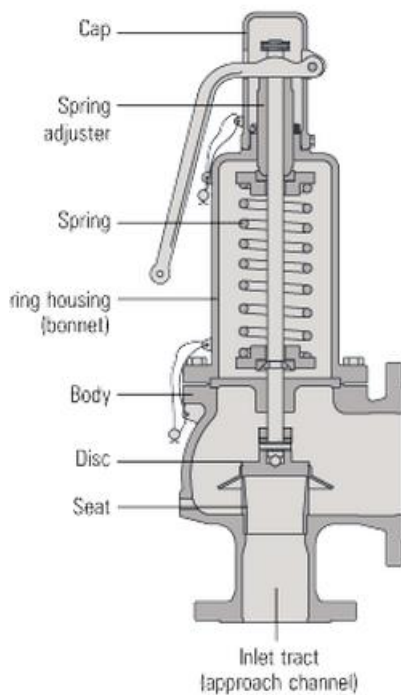
Höryjärjestelmään mitoitettavilla venttiileillä on omat tärkeät mitoituskriteerinsä, joista keskeisimpiä ovat:

- Venttiilin paineluokka
- Hörynpaine
- Lämpötila
- Virtaus
- Painehäviö
- Malli
- Koko
- Säätoluokka
- Akselin tiivisteet
- Kiinnitys
- Tiivistys



### 6.9.1 Varoventtiili

Varoventtiilit suojaavat kattilaa liian suurien paineitten muodostumiselta sekä kalliin tekniikan hajoamiselta. Höyryntuotannossa yleisesti käytetty varoventtiili on jousikuormitteinenventtiili tarkan ulospuhalluksen säädön ansiosta. Kattilan tehon ylittäessä 0,8 MW tulee varoventtiileitä asentaa kattilaan kaksi kappaletta (Air-Ix 1989, 36). Varoventtiilin mitoitusperusteena toimii kattilan maksimi höyryntuotto, jolloin höyryntuoton aikana varoventtiili huolehtii kattilan suurimman sallitun käyttöpaineen nousemisen enintään 10 %:lla (Huhtinen ym. 2000, 236). Toisin sanoen maksimi höyryntuotolla 10 bar laitoksessa varoventtiilin avautumispaine on 11 bar. Varoventtiilin ulospuhalluskapasiteetin tulee olla suurempi kuin kattilan maksimi höyryntuotto. Kattilassa olevien laippojen koko tulee tarkastaa oikean kokoisen ja riittävän kapasiteetin omaavan varoventtiilin tilaamiseksi.

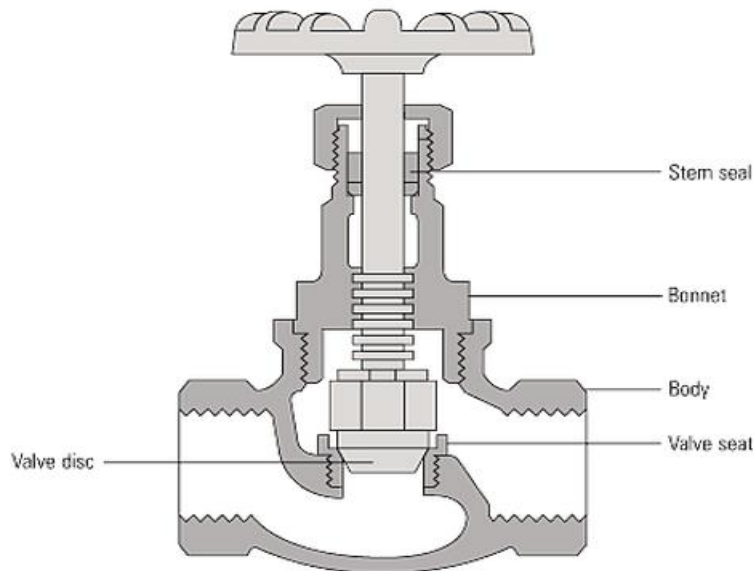


KUVA 26. Tyypillinen jousikuormitteinen varoventtiili (Spirax-Sarco Ltd 2015, Safety Valve)

### 6.9.2 Istukkaventtiili

Istukkaventtiili toimii höyryjärjestelmän sulkuventtiilinä, jonka teho perustuu venttiilin erinomaiseen tiiviyteen korkeissa paineissa ja lämpötiloissa. Höyryjärjestelmässä käytetään yleisimmin hitsattavia tai laipallisia paljettiivisteisiä istukkaventtiileitä, jotka eivät

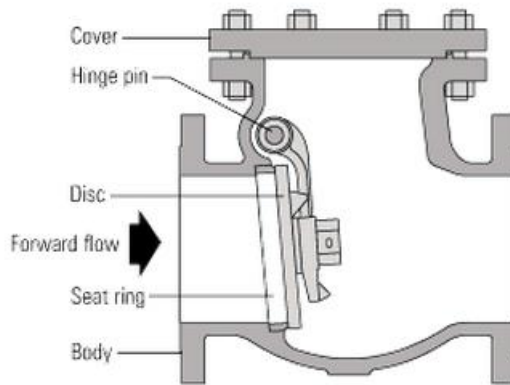
vuoda karan juuresta (Pöyhönen 2014). Sulkuventtiilien ja ohitusten tarkoituksena on mahdollistaa erilaisten putkistoon liittyvien komponenttien turvallinen vaihtaminen katkaisematta höyryntuotantoa. Asennuksessa on otettava huomioon virtaussuunta, jotta höyry tulee istukan pohjankautta venttiilin lävitse.



KUVA 27. Istukkaventtiiliin havainnekuva (Spirax-Sarco Ltd 2015, Isolation Valves)

### 6.9.3 Yksisuuntaventtiili

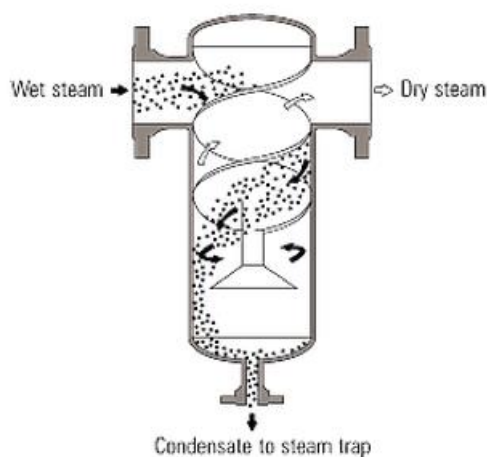
Yksisuuntaventtiilistä voidaan käyttää myös nimitystä takaiskuventtiili, jonka tarkoituksena on virtauksen kulkeutumisen estäminen väärään suuntaan. Höyryjärjestelmässä yksisuuntaventtiilillä voidaan edullisella tavalla estää kattilaveden pääsy syöttövesisäiliöön pumpun pysähtyessä tai lauhdeveden virtaus takaisin höyrylaitteisiin. Höyrykattilan paineen noustessa yli 6 bar ja tehon tarpeen ollessa enemmän kuin 700 kg/h, tulee viimeistään järjestelmään sijoittaa yksisuuntaventtiileitä (Air-Ix 1989, 37).



KUVA 28. Yksisuuntaventtiilin havainnekuva (Spirax-Sarco Ltd 2015, Check Valves)

#### 6.9.4 Pisaranerotin

Kylläisessä höyryssä on 2 - 5 % prosentti kosteutta, joista osa lauhtuu höyryputkiin muodostaen vettä. Lauhtuneet vesipisarat aiheuttavat monia ongelmia kuten korroosiota, vesiskuja ja höyrylaitteiden vahingoittumista, joka vaikuttaa höyryntuotantoon ja laitteiden toimivuuteen. Vedenerottimen avulla pystytään poistamaan vesipisarat höyryputkistosta hallitusti lauhteenpoistimen kautta lauhdeverkostoon. (Spirax-Sarco Ltd 2015, Separators). Vedenerottimen toimintaperiaate on havainnollistettu kuvassa 29, joka perustuu keskipakovoimaan, jolloin höyryä raskaammat vesipisarat sinkoilevat seinämille ja lopulta laskeutuvat erottimen pohjalle.

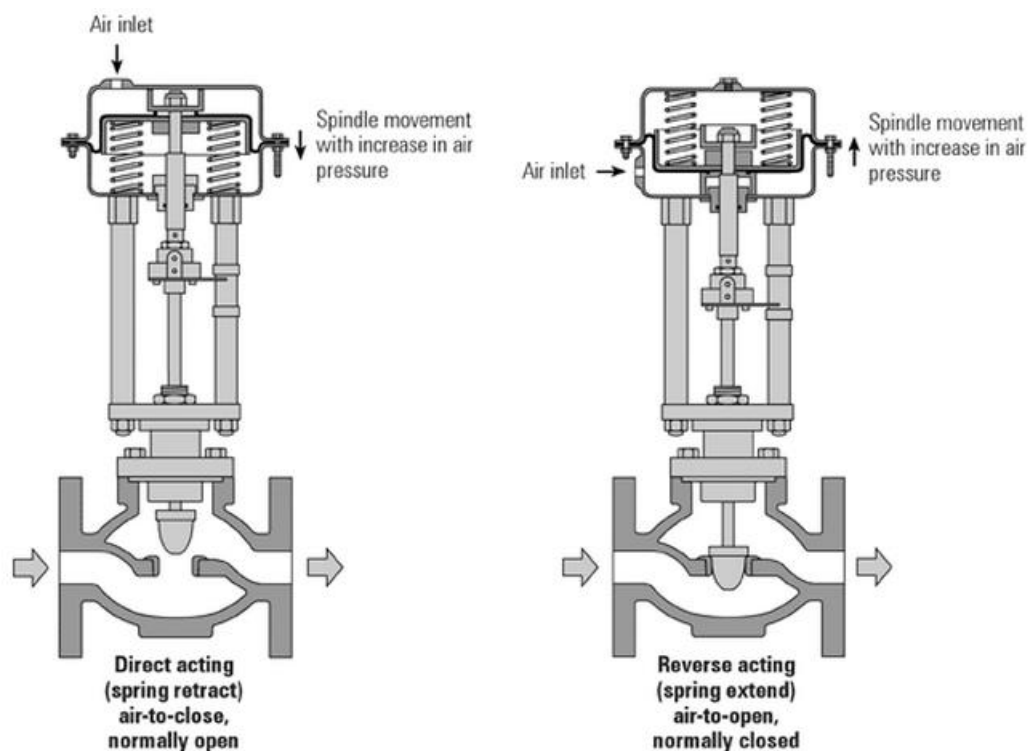


KUVA 29. Syklonisen vedenerottimen toimintaperiaate (Spirax-Sarco Ltd 2015, Separators)

### 6.9.5 Säätoventtiilit

Säätoventtiilin tarkoituksena on säätää höyryn painetta ja virtausta. Säätoventtiiliä ohjataan höyryjärjestelmissä yleisesti joko sähköisesti tai pneumaattisesti. Säätoventtiilin kunnollisen toiminnan edellytyksenä on riittävä painehäviö, joka mitoitetaan kv-arvon tai kriittisen painehäviön avulla. Kriittinen painehäviö on 57 %, jota ei säätoventtiilin kunnollisen toimimisen kannalta tule ylittää. Kv-arvon kanssa mitoitettaessa tulee valita laskettua kv-arvoa lähinnä oleva suurempi kv-arvon omaava venttiili (Air-Ix 1989, 38).

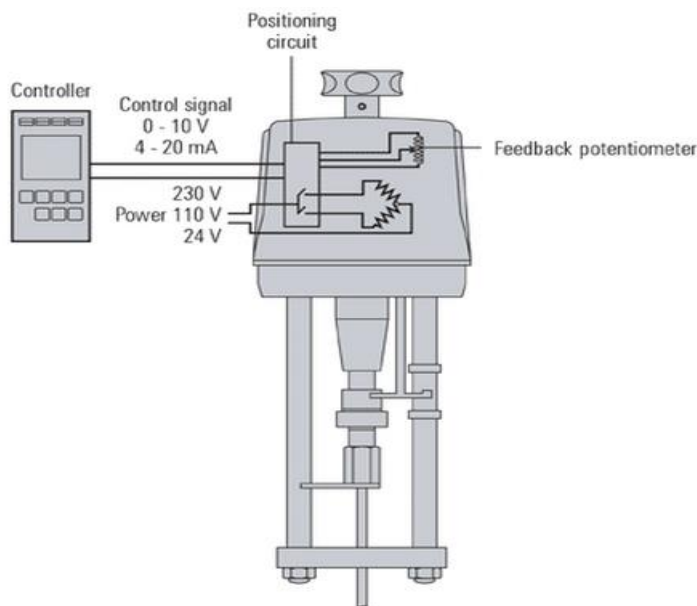
Pneumaattinen säätoventtiili perustuu käänteisesti toimivaan systeemiin, jota säädetään paineilman avulla. Paineilman painetta ja suuntaa vaihtamalla saadaan liikuteltua jousilla toimivaa kalvoa, joka säätää karan asentoa kuvan 30 mukaisesti. Paineilman toiminta-alue on 0,2 – 1 bar. (Spirax-Sarco Ltd 2015 Control Valve Actuators and Positioners).



KUVA 30. Pneumaattisesti toimivan säätoventtiilin toimintaperiaate (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Control Valve Actuators and Positioners)

Sähköisesti toimivan säätoventtiilin karan asentoa säädetään toimilaitteen avulla. Toimilaitte saa ohjausviestinsä joko milliampeeri- tai jänniteviestinä säätimeltä. Säätimen lähettämään viestiin vaikuttaa höyryjärjestelmään asennetut anturit, jotka lähettävät tietoa halutuista mittaussuureista. Yleisimmin mitattuja suureita antureilla ovat lämpötila, paine

ja virtaus. Toimilaitetta ei saa asentaa alaspäin mahdollisen vuodon vuoksi, jossa toimilaitte altistuisi kuumalla vedellä ja höyrylle.



KUVA 31. Sähköisesti toimiva säätöventtiili (Spirax-Sarco Ltd 2015, Control Valve Actuators and Positioners)

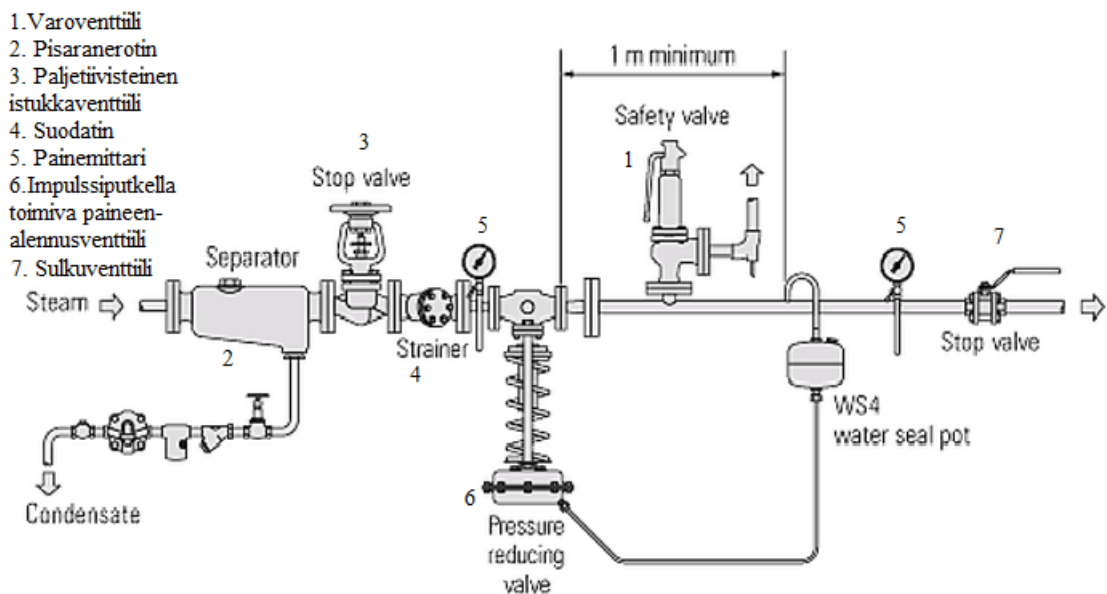
### 6.9.6 Paineenalennusventtiili

Paineenalennusventtiilin tarkoitus on alentaa höyrynpainetta osissa, joissa paineen tarve on pienempi verrattuna putkiston normaaliin höyrynpaineeseen. Paineenalennusventtiilin jälkeen höyryn energiamäärä on edelleen sama, joka aiheuttaa höyryn tulistumisen ja ominaistilavuuden kasvun. Ominaisilavuuden kasvun vuoksi paineenalennusventtiilin jälkeisen putken koko on hyvä mitoittaa suuremmaksi kuin venttiiliä ennen oleva putki. (Air-Ix 1989, 40). Ensiöpuolen paineesta riippumatta paineenalennusventtiilin toisiopuolen virtaus on sama. Toiminta perustuu tasapainotukseen, jossa venttiilin jousi pyrkii avaamaan venttiiliä ja ensiöpuolen höyrynpaine sulkemaan sitä. Höyrynpaineen kasvaessa jousi painuu höyryn johdosta kasaan ja höyrynpainetta pääsee vähemmän toisiopuolelle ja toisinpäin höyrynpaineen laskiessa.



KUVA 32. Paineenalennusventtiili (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Pressure reducing and surplussing valves, 8)

Paineenalennusventtiili tarvitsee lisäksi muita höyrykomponentteja, jotta asennus olisi ammattimainen ja toimiva kokonaisuus. Paineenalennusventtiili toimii esimerkkikytkennässä impulssiputkella, jota säätää toisiopuolen höyrynpaine.

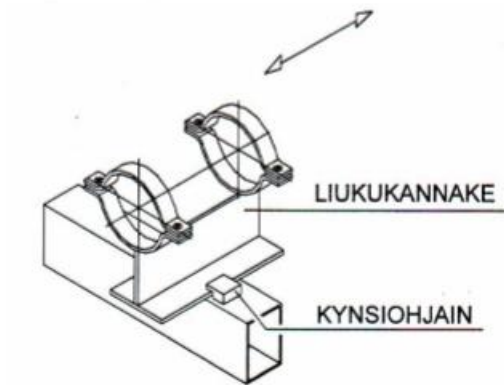


KUVA 33. Paineenalennusventtiiliin asentamiseen kuuluvat komponentit (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Pressure Control Applications)

## 6.10 Kannakointi

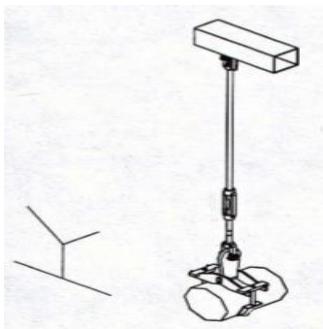
Kannakoinnin tarkoituksena on johtaa putkiston lämpöliikkeet ja kannattaa putkistoon kohdistuvat kuormat rakenteisiin hallitusti vahingoittamatta rakenteita, putkistoa ja kannakkeita. Yleisesti käytettyjä kannakkeita ovat liukukannakkeet, joita voidaan käyttää eri variaatioilla kiintopisteinä, aksiaalirajoittimina sekä ohjauskannakkeina. (Närhi 2014). Lisää erilaisia kannakkeita ja niihin liittyviä määräyksiä löytyy PSK-standardista 7302. Liukukannakkeina on järkevää käyttää korkeita liukukannattimia niiden paremman kyvyn

osalta kestää lämpötiloja, liikkeitä ja kuormia (PSK 7323, 5). Ohjauskannakkeet toimivat kynsiohjaimilla estäen liukukannakkeen irtoamisen sekundäärikannakkeelta, josta on lisää tietoa PSK-standardissa 7360. Tasokannattimia käytetään lähellä lattiaa, jossa lämpötilan muutoksen liikkeet ovat vähäisiä kuten kattilalaitoksessa PSK 7364 -standardin ohjeiden mukaisesti.



KUVA 34. Liukukannakkeen toimintaperiaate ohjauskannakkeena, jota ohjataan liukukannakkeen sivuille hitsattavien ohjauskynsien avulla. Ohjauksen tarkoitus on mahdollistaa liike putken suuntaisesti ja samalla estää sivuttainen liike putkeen nähden (Närhi 2014)

Riippukannakkeita käytetään yleensä runkolinjasta otettavissa pienemmissä linjoissa, jolla johdetaan höyryputkisto esimerkiksi tuotannon laitteiden tarpeisiin. Erilaisia riippukannakkeita ovat muun muassa jäykät riippukannakkeet, jousikannakkeet ja vakiovoimakannakkeet (Närhi 2014).



KUVA 35. Jäykkäriippukannake on yleisimmin käytetty edullinen riippukannake, joka kantaa pystysuoria kuormia hyvin (Närhi 2014).

Riippukannakkeiden käyttöä ajatellen on tärkeää vähäinen lämpölaajeneminen ja vähäiset rasitukset, joita on hyvä käyttää ahtaissa paikoissa niiden pienen tilan viennin vuoksi (PSK 7340, 1). Riippukannakkeille on omat kuormitusluokkansa, joita tulee noudattaa PSK-standardin 7340 mukaisten ohjeiden mukaisesti.

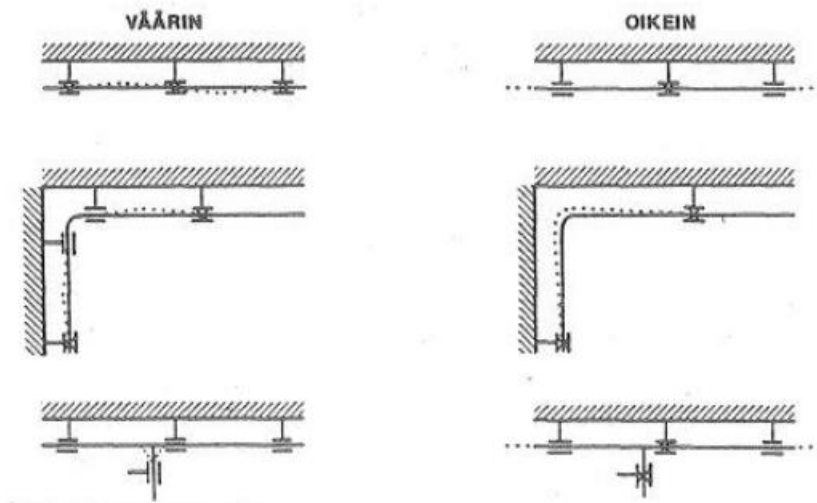
Kuormitusluokka Load class	Suurin sallittu kuormitus Max Allowable load	Rakenne Structure AK	Rakenne Structure AR	Ripustustanko Hanger rod
Nro No.	kN	Putki DN Pipe DN	Putki DN Pipe DN	M mm
1	2	10...	10...	10
2	3,5	50...	50...	12
3	8	100...	100...	16
4	15	350...	150...	20
5	22	500...	300...	24
6	40		500...	30

Taulukossa 3 annetut nimelliskoot eri kuormitusluokissa ovat vain ohjeellisia. Kuormitusluokkaa valittaessa tulee ottaa huomioon todellinen kuormitus ja osien yhteensopivuus.

The nominal sizes in various load classes presented in the table 3 are only for guidance. When selecting the load class the certain load and the compatibility of the parts shall be taken into account.

KUVA 36. Riippukannakkeiden ohjeellisia suurimpia sallittuja kuormituksia (PSK 7340, 5)

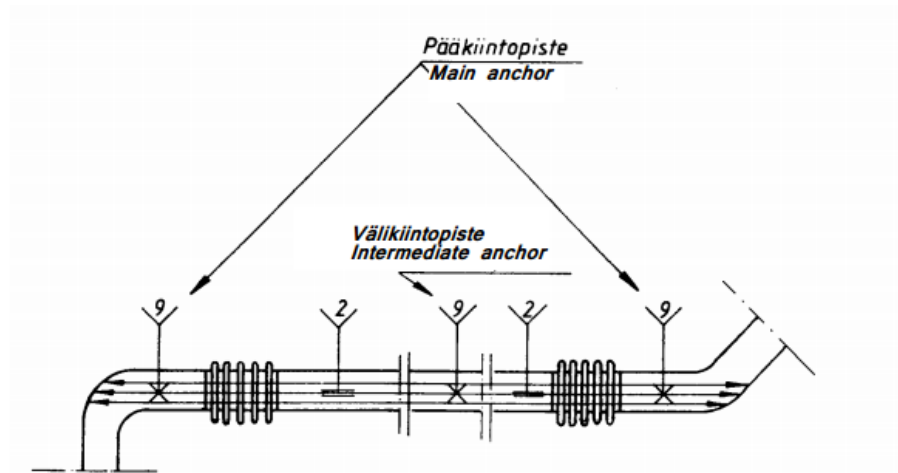
Kannakkeiden kiintopisteet ja ohjauspisteet tulee valita huolellisesti, jotta lämpölaajeneminen voidaan ohjata oikein, jolloin putkiston osat eivät rasitu ja rikkoudu. Lämpöliikkeitä voidaan ohjata oikeilla asennusohjeilla kuvan 37 mukaisesti.



KUVA 37. Kiintopisteiden oikein ja väärin asentamisen esimerkkejä lämpölaajenemisen johdosta (Air-Ix 1989, 31)

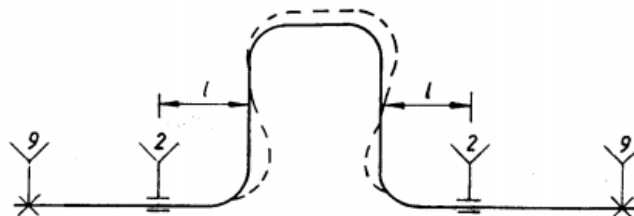
Lämpöliikkeiden muodostuminen ja vaikutukset korostuvat erityisesti pitkissä linjoissa, jolloin lämpöliikkeiden ohjaamisen apuna käytetään kiintopisteiden ja ohjauspisteiden lisäksi U-tasaimia sekä paljetasaimia.





Kuva 1 Pää- ja välikiintopisteet

Figure 1 Main and intermediate anchors



Kuva 2 U-tasaimen ohjaus

Figure 2 Guiding of a U-equalizer

KUVA 38. Lämpöliikkeiden hallittu kontrollointi haluttuun suuntaan U-tasaimen ja paljetasaimen avulla (PSK 7302, 9)

Asianmukaisilla kannakkeilla, putken suurimmalla sallitulla taipumalla ja kannakkeiden asennusväleillä vähennetään putkistoon kohdistuvia jännityksiä, jonka avulla parannetaan putkiston ja osien kestävyyttä sekä ehkäistään materiaalien väsymistä. Putken suurimmat sallitut taipumat ovat alle DN 50 nimelliskoon putkille 3mm ja yli DN 50 nimelliskoon putkille 6 mm (PSK 7304). Lähimpänä putkiston käyttölämpötilaa voidaan soveltaa kuvan 120 °C:n mukaisia kannatusvälejä, joita lyhennetään asianmukaisesti, koska kattilalaitoksen käyttölämpötilat ovat 150 - 180 °C:n välissä.

Taulukko 2 Kaasua tai nestettä sisältävien eristettyjen teräsputkien kannatusvälit L lämpötilassa 120°C.

Table 2 Support distance L for the insulated carbon steel pipes filled with liquid or gas at temperature 120°C.

Putki Pipe		Sisältö Medium			
		Kaasu t = 120 °C Gas t = 120 °C		Neste t = 120 °C Liquid t = 120 °C	
DN	Ulko­halkaisija x seinämän­paksuus Outside diameter x wall thickness de x s mm	Kannatus­tapo Type of supporting		Kannatus­tapo Type of supporting	
		Vapaa tuenta Both ends pinned	Kiinteä tuenta Both ends clamped	Vapaa tuenta Both ends pinned	Kiinteä tuenta Both ends clamped
		L m	L m	L m	L m
10	17,2 x 1,8	1,4	2,1	1,4	2,1
15	21,3 x 2	1,7	2,5	1,6	2,5
20	26,9 x 2	2,0	2,9	1,9	2,9
25	33,7 x 2	2,2	3,3	2,1	3,2
32	42,4 x 2,3	2,6	3,9	2,5	3,7
40	48,3 x 2,3	2,8	4,2	2,7	4,0
50	60,3 x 2,3	3,9	5,8	3,6	5,4
65	76,1 x 2,6	4,3	6,4	4,0	6,0
80	88,9 x 2,9	4,8	7,2	4,4	6,6
100	114,3 x 3,2	5,6	8,4	5,0	7,5
125	139,7 x 3,6	6,4	9,5	5,6	8,4
150	168,3 x 4	6,9	10,4	6,1	9,1
200	219,1 x 4,5	8,1	12,2	6,9	10,3
250	273 x 5	9,2	13,8	7,7	11,5
300	323,9 x 5,6	10,0	15,0	8,3	12,4
350	355,6 x 5,6	10,6	15,8	8,6	12,8
400	406,4 x 6,3	11,4	17,1	9,2	13,7
450	457 x 6,3	11,8	17,6	9,5	14,2
500	508 x 6,3	12,8	19,2	10,0	14,9
600	610 x 6,3	14,1	21,1	10,6	15,8
700	711 x 7,1	15,4	23,0	11,4	17,0
800	813 x 8	16,6	24,8	12,2	18,2
900	914 x 10	17,6	26,3	13,2	19,7
1000	1016 x 10	18,6	27,8	13,6	20,4
1200	1200 x 12,5	20,6	30,8	15,1	22,6

KUVA 39. Kannakkeiden asennusvälejä sekä kannatustapoja (PSK 7304, 4)

Kannakkeille tulee myös suorittaa vaatimuksenmukaisuuden arviointi laadun varmistamiseksi, josta on esitetty tarkemmin asiaa PSK-standardissa 7301. Painelaitekäytön kannakkeessa tulee olla sovelletun standardin tunnus valmistajan leima, valmistusmateriaali sekä erä- tai sulatusnumero. Huomioitavaa on myös hitsauksen laadunvarmistus sekä vastaanottotarkastuksessa vaadittavat asiakirjat. (PSK 7301, 1-3)

## 6.11 Eristys

Kattilalaitoksen turvallisen käytön ja viihtyvyyden varmistamiseksi sekä lämpöhäviöiden vähentämiseksi höyryputkistot eristetään. Höyryputkiston eristyksen mitoituksessa noudatetaan LVI-ohjekortteja 50–10344, 50–10345 ja 12–10370. Havainnollistavilla taulukoilla saadaan osoitettua höyry- ja lauhdeputkiston eristyksen mitoitukset ja vaatimukset.

Taulukko 1.  
Eristeiden käyttö, putkieristeet.

Putkisto, osa	Eriste		Päällyste LVI 50-10344	Sijainti, huomautuksia
	Tunnus LVI 50-10344	Sarja tai vähimmäis- paksuus <sup>1)</sup>		
<b>Höyryjärjestelmät</b>				
Säiliöt	Bc		–	6)
Höyryputkisto	Aa, Ab	26	10	Näkyvä
Höyryputkisto	Aa, Ab, Ac	26	–	Ei näkyvä, nousukuilussa
Höyryputkisto	Aa, Ab, Ac	26	–	Ei näkyvä
Lauhdevesiputkisto	Aa, Ab	24	10	Näkyvä
Lauhdevesiputkisto	Aa, Ab	24	–	Ei näkyvä, nousukuilussa
Lauhdevesiputkisto	Aa, Ab	24	–	Ei näkyvä

KUVA 40. Höyryjärjestelmään määrättyjen putkistojen eristeet, sarjat ja päällysteet (LVI 50–10344, 2)

Taulukko 1.  
Talotekniset eristeet ja niiden tunnuksat. Taulukossa rasteroidulla alueella olevat tekniset ominaisuudet pätevät koko pääluokan osalla, ellei jonkin tuotteen kohdalla ole toisin merkitty.

Tunnus	Tunnus SFS 3976	Tuote	Tuote- ominais- suudet	Pää- asiallinen käyttö- kohde <sup>2)</sup>	Tuoteominaisuudet Enimmäis- käyttö- lämpötila	Lämmönjohtavuus $\lambda$ W/mK keskilämpötilassa				Nimellis- tiheys kg/m <sup>3</sup>	Palo- ominais- uus	Sulamis- lämpö- tila °C	Huom! $t_1$ = eristettävän kohteen sisällön lämpötila
						0 °C	10 °C	50 °C	100 °C				
Aa	K	mineraalivillakou- kouru	päällystä- mätön	LE	500	–	0,035	0,040	0,045		A2–s1, d0		
	K 4.1 K 5.1	lasivillakou- vuori-/kivivilla- kou- kouru		PE	750					40 80		680 1100	
Ab	S	mineraalivilla- kou- kouru	alumiini- laminaatti	LE	250	–	0,035	0,040	0,045		B–s1, d0		Pääll. +80 °C
		vuori-/kivivilla- kou- kouru								80		1100	
		lasivillakou- kouru								40		680	
Ac	S	mineraalivilla- kou- kouru	alumiini- laminaatti suljin	LE KE	250	–	0,035	0,040	0,045		B–s1, d0		Pääll. +80 °C Suljin +60 °C $t_1 \geq +5$ °C
	S 2.1	vuori-/kivivilla- kou- kouru								80		1100	
	S 2.2	lasivillakou- kouru								40		680	

Taulukko 2.  
Yleisimmät taloteknisten eristeiden päällysteet.

Tunnus	Tunnus SFS 3976	Päällysteen materiaali	Tiheys kg/dm <sup>3</sup>	Lujuus $R_{eL}$ tai $R_p$ N/mm <sup>2</sup>	Pinnan emissii- visiivisyys	Vähimmäis- paksuus mm	Pinta- ala- massa kg/m <sup>2</sup>	Huom! $t$ = käyttölämpötila
10	P 1	Kuumasinkitty ohutlevyteräs SFS-EN 10142 lamellimatto	7,85	265	0,3	0,5 <sup>1)</sup> 0,6 <sup>1)</sup>	3,9 4,7	Znk 275g/m <sup>2</sup>

KUVA 41. Eristeiden materiaalin valinta ja eristeiden päällysteet (LVI 50–10344, 2 ja 4)

Taulukko 1.  
Putkien eristyspaksuus s ja asennusväli a ja b eristystilat huomioon ottaen. Mitat s, a ja b on esitetty kuvassa 1.

Putken Halkaisija $d_p$ mm	Sarja 21			Sarja 22			Sarja 23			Sarja 24			Sarja 25			Sarja 26		
	s	a	b	s	a	b	s	a	b	s	a	b	s	a	b	s	a	b
10 ... 49	20	90	60	30	110	70	40	130	80	50	150	90	60	170	100	80	210	120
50 ... 89	30	110	70	40	130	80	50	150	90	60	170	100	80	210	120	100	260	140
90 ... 169	40	130	80	50	150	90	60	170	100	80	210	120	100	260	140	120	300	170
170 ... 324	50	150	90	60	170	100	80	210	120	100	260	140	120	300	170	140	340	190
325 ... 714	60	170	100	80	210	120	100	260	140	120	300	170	140	340	190	160	380	210

s = eristyspaksuus, a = eristettävien putkien väli, b = eristettävän putken ja rakenteen väli

Kuva 1.  
Putkien asennus- ja eristysväli. Mitat a, b ja s taulukon 1 mukaan.

KUVA 42. Taulukossa sarjaan 26 kuuluvan höyryputkiston ja sarjaan 24 kuuluvan lauhdeputkiston eristyspaksuudet ja putkien kannakointiin liittyviä etäisyyksiä (LVI 12–10370, 2)

Erityisen tärkeää putkistoa asennettaessa on ottaa huomioon eristyspaksuuksien vaatimat etäisyydet, jolla mahdollistetaan toimiva eristys ja pellitys putkien ympärille. Eristeiden pintalämpötilat eivät saa ylittää 70 °C:tta (Isover Oy, 44). Paloluokaltaan putkistoihin riittää luokka B-s1,d0. Tunnus B tarkoittaa eristeen paloon osallistumisen olevan erittäin rajoitettua, tunnus s1 eristeen savuntuoton olevan erittäin vähäistä ja tunnus d0 ettei eristeestä synny palavia pisaroita tai osia. (SRMK E1, 5)

## **6.12 Turvallisuus ja riskienarviointi**

Turvallisuuden osalta on huomioitu jo asetuksen 953/1999 vaatimat asiat. Kuitenkin kiinteän polttoaineen osalta riskejä on myös polttoaineen siirrossa ja varastoinnissa. Staattisen sähköön muodostuminen, kattilan ylikuumentuminen sekä takapalon mahdollisuus polttoainevarastoon tai tuhkanpoistoon ovat mahdollisia. Tällaiset riskit tulee huomioida suunnittelussa ja selvittää miten mahdolliset ongelmat estetään ja poistetaan. Kattilan ylikuumentuminen estetään varoventtiilien ja ulkoisen lauhduttimen avulla. Takapalosuojaus estetään kuljettimiin asennettavien vesisammuttimien avulla, jotka toimivat lämpötilan mukaan. Staattisen sähköön aiheuttaman räjähdysriskin estäminen hoidetaan laitteiden ja koneiden potentiaalilla tasauksella ja maadoituksella (856/2012, § 65). Turvallisuusvaatimuksista ja määrittelyistä on kerrottu lisää ja tarkemmin valtioneuvoston asetuksessa 856/2012. Tilassa on lisäksi palohälytintä sekä sähkölaitteilla hätäseis-kytkimet turvallisuuden varmistamiseksi.

Varastoinnissa ja polttoaineen siirrossa muodostuu pölyä, jotka voivat aiheuttaa räjähdysvaaran laitoksessa. Tilaan ja varastointiin on suositeltavaa määrittää riskienarviointi ammattihenkilön kanssa, jotta tilasta voidaan tehdä mahdollisimman turvallinen ihmisille, ennalta ehkäistä vahinkoja ja minimoida mahdollisten vahinkojen suuruus. Riskien arvioinnissa määritellään riskit sekä niiden suuruus, todennäköisyys ja seuraukset, joista muodostetaan riskianalyysi ja määritetään tilalle tilaluokka. Räjähdysvaarallisista tiloista on kerrottu enemmän asiaa Tukesin oppaassa ”Räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus”.

## 7 VIRANOMAISTEN VAATIMAT SUUNNITELMAT JA LUVAT

### 7.1 Rakennuslupa ja toimenpideilmoitus

Uusi kattilalaitos on oma rakennuksensa, joka vaatii rakennusluvan Huittisten kaupungilta. Ennen asiakirjojen toimittamista kaupungille on järkevää neuvotella rakennusvalvonta- ja ympäristöviranomaisten sekä kaavoittajan kanssa mahdollisista ongelmista, poikkeuksista ja lisäselvitysten teosta. Rakennuslupa on otettava huomioon monia selvitettäviä ja dokumentoitavia asioita kuten:

- Rakennuslupahakemus (hakija)
- Selvitys rakennuspaikan hallintaoikeudesta
- Karttaotteet
- Pääpiirustukset
- Tontin rakennettavuusselvitys
- Rakennuksen energiaselvitys
- Viemäri-ilmoitus liityttäessä kunnalliseen viemäri -ja/tai vesijohtoverkoston
- Rakennushankeilmoitus (RH1)
- Hakijan toimesta suoritettavat ennakkoluvat ja -lausunnot
- Viran puolesta hankittavat lausunnot

(Rakennuslupa-asiakirjat -ohje 2013, 1-4)

Rakennusluvassa projektiin on nimettävä pääsuunnittelija ja pääpiirustukset tulee olla kolmena sarjana Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeiden mukaisesti. Pääpiirustuksissa on oltava:

- Asemapiirros
- Rakennuspiirustukset
- Nimiö

(Rakennuslupa-asiakirjat -ohje 2013, 1-3)

Toimenpideilmoituksessa tulee olla seuraavat asiakirjat:

- Ilmoitushakemus on asianmukaisesti täytetty, 1 kpl per rakennus

- Liitteinä pääpiirustukset tai kuvaus toimenpiteestä
- Asemapiirroksia 2 kpl, jossa rakennuksen sijainti, etäisyydet ja päämitat
- Lisäksi mahdolliset selvitykset kuten savupiipun leviämismallilaskelma ovat mahdollisia.

(Rakennuslupa-asiakirjat -ohje 2013, 4)

Tarkemmat vaatimukset ja erittelyt tarvittavista dokumenteista ja lausunnoista on esitetty Huittisten kaupungin rakennuslupa-asiakirjojen ohjeissa.

## 7.2 Ympäristölupa

Ympäristölupa edellyttää toiminnan rekisteröintiä asetuksen 750/2013 pykälän 3 mukaisesti, johon sovelletaan lisäksi ympäristönsuojelulain asetuksen 527/2014 pykälä 6 ja 30. Kattilalaitoksen toiminta on sijoitettava ja suunniteltava siten, että melupäästöt eivät saa ylittää päiväsaikaan (7 - 22) melutasoa LAeq 55 dB ja yöaikaan (22 - 7) melutasoa LAeq 50 dB (750/2013, § 8). Viranomaiselle tulee laatia sijoitussuunnitelma, jonka avulla pystytään osoittamaan pohjakuvaan piirtämällä poistumisreitit sekä pääkomponenttien paikat ja niiden tarvitsemat riittävät etäisyydet huollon, käytön ja tarkastuksen puolesta. Kattilalaitoksen sijoittelussa tulee muistaa vähintään kaksi poistumisreittiä. (SFS 3333, 3).

Ympäristön kannalta höyryjärjestelmä on erityisen tarkastelun kohteena päästöraja-arvojen ja kiinteän polttoaineen kannalta. Erityistä huomiota aiheuttaa tuhkanpoisto ja -siirto, polttoaineen varastointi ja käsittely sekä savukaasujen päästöt.

### 7.2.1 Savupiipun mitoitus ja savukaasuvirta

Uusissa energiantuotantoyksiköissä savupiipun korkeudeksi määritetään 2,5 kertaa energiantuotantorakennuksen korkeus (750/2013, § 7). Kohteeseen tulevan rakennuksen korkeudeksi on määritetty 8 metriä, joten asianmukainen savupiipun korkeus tulisi olla vähintään 20 metriä.

Savukaasun virtausmäärän laskemisella ja asianmukaisella virtausnopeuden määrittämisellä saadaan määritettyä savupiipun halkaisijan suuruus. Laskelmissa tulee määrittää

lämpötiloja, polttoaineen ominaisuuksia sekä lämpöarvoja. Polttoaineen palamiseen, tuhkan muodostumiseen sekä savukaasuvirtaan vaikuttaa olennaisesti polttoaineen alkuaineominaisuudet. Eija Alakangas (2000, 100) on määrittänyt yleiset viljan oljen alkuainekoostumukset, joita on sovellettu savukaasuvirtauksen ja palamisilman laskennassa.

TAULUKKO 8. Viljan keskiarvoiset alkuaineominaisuudet prosentteina, joiden avulla saadaan laskettu savukaasuvirta (Alakangas 2000).

Hiili, C	Vety, H	Typpi, N	Happi, O	Rikki, S	Tuhka	Yhteensä
47	5,9	0,5	40	0,01	6,59	100

Savukaasun tilavuusvirta määritettiin ECO:n jälkeen määritellyllä 250 °C:n lämpötilalla. Laskelmat on suoritettu samoilla arvoilla kuin palamisilman laskenta eli 20 asteen lämpötilassa ja suhteellisen kosteuden ollessa 55 %:a. Laskelmien tulos on esitetty taulukossa 7, jonka mukaan savukaasuvirran suuruudeksi on laskettu 2,45 m<sup>3</sup>/s, joka voidaan pyöristää 2,5 m<sup>3</sup>/s.

Piipun vedon sekä savukaasuvirran optimaalisen toiminnan vuoksi savupiipun halkaisija määritetään savukaasuvirtauksen ( $q_v = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) jakamisesta savukaasuvirran nopeudella ( $v = 25 \text{ m/s}$ ), josta saadaan savupiipun pinta-alaksi 0,1 m<sup>2</sup>. Savupiipun pinta-alasta muodostuu säteeksi noin 180 mm:ä eli halkaisijaksi 360 mm:ä. Savupiipun nopeuden tulee olla välillä 20 - 30 m/s, jonka muutoksilla voidaan vaikuttaa savupiipun halkaisijaan. Savupiipun halkaisijaksi on suositeltavaa käyttää standardimittoja joko 356 mm tai 408 mm (Eskola 2015).

### 7.2.2 Leviämismallilaskelma

Leviämismallilaskelman avulla tehdään selvitys hiukkasten pölypitoisuuksista ja leviämisestä lähiympäristöön, mikäli 500 metrin etäisyydellä on yli 30 metriä korkeita rakennuksia (750/2013, § 7). Ympäristöviranomaista ja läheistä asutusta ajatellen on asianmukaista suorittaa leviämismallilaskelma myös uudelle kattilalaitokselle turhien ongelmien välttämiseksi. Leviämismallilaskelmissa määritetään hiukkasten pitoisuudet ja verrataan niitä määräysten vaatimiin tasoihin, jotka ovat kiinteälle polttoaineelle 2 MW:n laitoksessa 200 mg/m<sup>3</sup>n (750/2013, liite 1). Leviämismallin mittaukset ja laskut on muodostettu soveltamalla raskaan polttoöljyn käyttöopasta käyttäen (Huhtinen, 2006). Laskelmien

mittaukset ja laskelmat on suoritettu Satakunnan ammattikorkeakoulun O`Satan kehittämis- ja palvelukeskuksessa, jonka avulla saadaan paikkansa pitäviä tuloksia sekä viranomaisten hyväksymä työkalu.

Hiukkaspäästöt ja leviämislaskelmat on taulukoitu erittäin labiilissa (huonoimmassa) tilanteessa ja erittäin stabiilissa (parhaimmassa) tilanteessa. Laskettavan pölypitoisuuden tulee olla alle raja-arvon  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  kaikissa olosuhteissa, jotta piippu on viranomaisten määrittämän toiminnan mukainen.



TAULUKKO 9. Savupiipun mitoitusarvoilla sekä sallituilla päästöraja-arvoilla lasketut ympäristölupaa varten suoritettavat pölypitoisuuden ja hiukkaspäästöjen arvot (Lundgren 2003).

<b>Lihajaloste Korpela Oy</b>							
Tuulen nopeus potenssin m arvoja							
stabiilisuusluokka	A	B	C	D	E	F	
kaupunki	0,15	0,15	0,2	0,25	0,4	0,6	
maaseutu	0,07	0,07	0,1	0,15	0,35	0,55	
<b>ERITTÄIN LABIILI TILANNE</b>							
savukaasun lämpötila		250	°C				
ilman lämpötila piipun päässä		20	°C				
piipun suun halkaisija d		0,356	m				
korjauskertoimen							
0,9 kun F ja 1,1 kun A		1,1					
tuulen nopeus mittauspisteessä u0		5	m/s	(oletus)			
mittauspisteen korkeus z0		20	m				
piipun korkeus h		20	m				
potenssi m		0,15					
hiukkaspäästö		50	mg/MJ				
ilman pölypitoisuuden raja-arvo		50	µg				
laimennuskertoimen		7,50E-01	stabiilisuusluokka 5/A, (z/h=0)				
<b>Pölypitoisuus</b>		<b>38,6</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>maksimi</b>			
hiukkaspäästö		105	mg/m <sup>3</sup> (n)				
pölypäästö		123	mg/s				
laimentumiskerroin		9,72E-01					
Nousulisä Δ <sub>h</sub>		12,442481	m				
piipun laskentakorkeus		32,442481	m				
tuulen nopeus korkeudella h		5,3762891	m/s				
savukaasun tilavuusv.		2,431	m <sup>3</sup> /s(n)				
tuulen nopeus piipun päässä up		5	m/s				
<b>Lihajaloste Korpela Oy</b>							
Tuulen nopeus potenssin m arvoja							
stabiilisuusluokka	A	B	C	D	E	F	
kaupunki	0,15	0,15	0,2	0,25	0,4	0,6	
maaseutu	0,07	0,07	0,1	0,15	0,35	0,55	
<b>ERITTÄIN STABIILITILANNE</b>							
savukaasun lämpötila		250	°C				
ilman lämpötila piipun päässä		20	°C				
piipun suun halkaisija d		0,356	m				
korjauskertoimen							
0,9 kun F ja 1,1 kun A		0,9					
tuulen nopeus mittauspisteessä u0		1,6	m/s	(oletus)			
mittauspisteen korkeus z0		20	m				
piipun korkeus h		20	m				
potenssi m		0,6					
hiukkaspäästö		50	mg/MJ				
ilman pölypitoisuuden raja-arvo		50	µg				
laimennuskertoimen		1,00E-02	stabiilisuusluokka 1/F, (z/h=0)				
<b>Pölypitoisuus</b>		<b>1,6</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>maksimi</b>			
hiukkaspäästö		105	mg/m <sup>3</sup> (n)				
pölypäästö		123	mg/s				
laimentumiskerroin, laskennallinen		3,11E-01					
Nousulisä Δ <sub>h</sub>		31,813162	m				
piipun laskentakorkeus		51,813162	m				
tuulen nopeus korkeudella h		2,8324747	m/s				
savukaasun tilavuusv.		2,431	m <sup>3</sup> /s(n)				
tuulen nopeus piipun päässä up		1,6	m/s				

Taulukon harmaat alueet on itse asetettuja arvoja, joiden avulla on laskettu taulukon vihreät arvot. Läheistä asutusta ja viranomaista ajatellen tärkeimmät arvot ovat pölypitoisuus ja hiukkaspäästö. Ulkoisista tekijöistä riippumaton kauran kuoren palamisessa muodostuva hiukkaspäästö on luonnollisesti molemmissa tilanteissa sama eli  $105 \text{ mg/m}^3\text{n}$ , joka alittaa selvästi hiukkaspäästöjen raja-arvon  $200 \text{ mg/m}^3\text{n}$ .

Pölypitoisuuksiin vaikuttaa tuulennopeudet sekä stabiilisuusluokan aiheuttamat korjauskertoimet. Erittäin stabiilissa tilanteessa pölypitoisuuksien pitoisuus ja samalla leviäminen on erittäin pieni  $1,6 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , joka ei tuota ongelmia. Erittäin labiilissa tilanteessa pölypitoisuus on luonnollisesti paljon suurempi  $38,6 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , joka aiheuttaa jo lähistölle huomattavasti enemmän pölypitoisuutta. Viranomaisen näkökulmasta molemmat arvot kuitenkin selvästi alittavat  $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  rajan, joten savupiipun ja suodattimien mitoitukset ovat todistettavasti paikkansa pitäviä ja hyväksyttäviä. Päästöraja-arvoja tulee seurata tarkkailusuunnitelman avulla asetuksen 750/2013 pykälien 6 ja 16 sekä asetuksen liitteen 3 mukaisesti.

### **7.3 Kytkäkaavio**

Kytkäkaaviolla esitetään laitoksen toiminta eri komponenttien välillä. Kaaviossa tulee esittää tarvittavat mittauspaikat, venttiilit, toimilaitteet ja muut välttämättömät materiaalit, joilla varmistetaan laitoksen turvallinen ja asianmukainen käyttö sekä säätö. Kytkäkaavio hyväksytetään ja tarkastetaan viranomaisten sekä asiantuntevan henkilöstön avulla. Kytkäkaavio on luokiteltu salaiseksi, jota ei tässä työssä näytetä.

## **8 UUDEN KATTILALAITOKSEN TAKAISINMAKSUAIKA**

### **8.1 Tuet**

Yrittäjän harkitessa uusia tekniikaltaan kalliita investointeja tulee suureen rooliin takaisinmaksuaika. Projektissa takaisinmaksuaika pyritään luomaan edullisella ja uusiutuvalla polttoaineella sekä energiatehokkailla ratkaisulla. Takaisinmaksuaikaan ja investointipäätökseen vaikuttaa myös suurelta osin valtiolta saatavat tuet. Tarkasteluun on otettu vartenotettavat tuet hankkeeseen, joka mahdollisesti aloitetaan vuoden 2016 aikana tai myöhemmin. Maksimissaan uusiutuviin energianlähteisiin ja energiatehokkuuteen liittyviin investointeihin voidaan asetuksen 1063/2012 mukaan antaa enintään 30 %:a investoinnin kustannuksista (TEM 2015). Ennen rakentamisvaiheen aloittamista on tärkeää tehdä tukihakemus ja odottaa tukeen liittyvän päätöksen ratkaisua. TEM:n myöntämän tuen saaminen vaikeutuu huomattavasti tai estyy kokonaan, mikäli tukea haetaan kesken rakentamisvaiheen.

Huomioitavaa tukia hakiessa on, että vain yhtä tukea on mahdollista käyttää yhteen projektiin. Erilaisia tukia voi hakea, joista hyväksymisten ja/tai hylkäämisten jälkeen tulee loogisesti ottaa järkevin tuki projektiin. Uudelle kattilalaitokselle potentiaalisia vaihtoehtoja ovat energiatuki ja vuoden 2015 huhtikuun aikana voimaantuleva uusi toisen asteen elintarvikejalostusketjuille tarkoitettu tuki (Ruuhela 2015).

#### **8.1.1 Energiatuki**

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) myöntää uusiutuvan energian käyttöön liittyviin investointeihin energiatukea. Alle 10 MW:n lämpökeskuksiin TEM voi myöntää energiatukea, johon myös kauran kuorella tai pölyllä toimiva 2 MW:n kattilalaitos kuuluu. Kattilalaitokselle mahdollisen tuen suuruus on 10 - 15 %. (TEM 2015). Riittävien perustelujen sekä tulevaisuuteen tähtäävien innovatiivisten ja energiatehokkaiden ratkaisujen myötä projektin energiatuen määräksi on mahdollista saada 15 %. Energiatukea haetaan TEM:n sivustoilla olevalla energiatukihakemuksella, johon on liitetty myös energiatuen maksatusselvitys.

### **8.1.2 Yritystuki**

Lihajaloste Korpela on toisen asteen elintarvikejalostusketju, jolle on mahdollista hakea myös uuden Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelman 2014 - 2020 mukaista yritystukea investointeihin. Uuden ohjelmakauden myöntämien yritystukien haku alkaa tämänhetkisten arvioiden mukaan huhtikuun lopulla 2015 (Hankaankorpi 2015). Korpela on henkilömäärän ja liikevaihdon puolesta Euroopan komission uusien määritelmien mukaan keskisuuri yritys, jonka mukaan investointituen mahdollinen osuus projektista on 20 %:a, joka tarkentuu enemmän hakujen käynnistyttyä virallisesti (Hankaankorpi 2015.) Tukea haetaan sähköisen Hyrrä verkkopalvelun kautta, josta tukea voidaan hakea yrityksen rakentamisen tai koneiden hankinnan investointeihin. Tarkempaa tietoa koko yritystukeen liittyvistä asioista tulee hakujen käynnistyttyä. (Maaseutuvirasto 2015)

### **8.2 Rahoitusyhtiö**

Nykyisen maailmantalouden heikko tilanne on ajanut pankit tilanteeseen, jossa lainaa myönnetään alhaisella korolla. Rahoitusyhtiö on tarjonnut hankkeelle 2,5 %:n kiinteän koron, jonka maksimi takaisinmaksuaika on kuusi vuotta. Lainan lyhennys on suositeltavaa suorittaa tasalyhenteisenä lainana 72 kuukauden ajan. Rahoitusyhtiön tarkoituksena on antaa 70 %:a lainaa laitoksen eriteltyjä pääkomponentteja vastaan, joiden arvo ulosmitataan lainaa hankittaessa. Loput 30 %:a rahoituksesta tulee olla yrityksen antamia vakuuksia kuten esimerkiksi raha, kiinteistöt, tuotantolaitteet tai valtion myöntämä tuki (Järvinen 2015). Investoinnin kokonaissummaksi on arvioitu 1,65 miljoonaa euroa (Eskola 2015).

Uudesta kattilalaitoksesta on tulevaisuuden kannalta mahdollista muodostaa tytäryhtiö Lihajaloste Korpela Oy:n alaisuuteen, joka myy energiaa tehtaan tarpeisiin ja on samalla itsenäinen energian myyjä. Etuna saadaan takaisinmaksuajan varmistaminen rahoitusyhtiölle kuudessa vuodessa, sillä Lihajaloste Korpela Oy voi nostaa lämmöntuotantoyksikkönsä energiahintaansa vapaasti, josta tehdas maksaa.

### 8.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaikaan sovelletaan nykyarvomenetelmää, jota on sovellettu kauran kuorelle, pelletille sekä ostohöyrylle. Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa inflaatiosta ja nimelliskorosta muodostuva reaalikorko. Inflaation arvona pidetään 2 %:a, joka on määritetty Euroopan keskuspankin (EKP) tavoitearvon mukaan. Höyryjärjestelmän investointiin on tarjottu 2,5 %:n kiinteä korko (nimelliskorko) kuuden vuoden takaisinmaksuajalla 1,65 miljoonan euron projektiin ensisijaisesti, joka voi vielä mahdollisesti muuttua pankin tarkemmassa tarkastelussa (Järvinen 2015). Laskelmissa kuitenkin käytetään ensisijaisesti 2,5 %:n korkoa. Jäännösarvoksi kuusi vuotta vanhalle höyrylaitokselle voidaan nykyarvomenetelmällä määrittää alhainen noin 100 000 euron arvio, johon on sisällytetty purun ja siirron kustannukset. Polttoaineiden vertailussa hintojen kasvuun peilataan polttoaineiden hinnankehitystä sekä tulevaisuuden mahdollisia muutoksia.

Kauran kuorelle polttoaineen hinta pysyy kolmen vuoden sopimuksella vakiona, jonka jälkeen polttoaineen hintaan vaikuttaa pääasiassa vain inflaatiosta johtuvat ulkoisten asioiden kuten kuljetusten ja töiden hinnannousu. Varmuuden vuoksi kauran kuoren hintaan on kuitenkin laskettu 1 %:n nousu vuositasolla kuuden vuoden ajaksi.

Pelletin hinnan muutoksiin käytetään apuna kuvaa 6. Pelletin tulevaisuuden hinnan kehitykseen voidaan määrittää keskimääräiseksi hinnannousuksi 3 %:n kasvu vuositasolla kuuden vuoden ajaksi.

Tulevaisuudessa ostohöyryn hintaan vaikuttaa käytettävän polttoaineen hinnanmuutokset sekä mahdolliset ylläpidon ja energiatuotannon kulujen kasvu. Ostohöyryn hintaan voidaan peilata kuvassa 7 olevan turpeen ja raskaan polttoöljyn hinnanmuutoksia, joilla energia pääsääntöisesti tuotetaan. Lisäksi kaukolämmön hinnan muutoksia lähivuosilta voidaan soveltaa mahdollisen ostohöyryn hinnan muutoksiin energiantuotannossa käytettyjen samankaltaisten polttoaineiden ja samankaltaisen toimintaperiaatteen vuoksi. Ostohöyryn hinnan muutoksiin on sovellettu energiateollisuuden teettämää diagrammia kaukolämmön hinnan kehityksestä 2000-luvulla. Ostohöyrylle on laskettu tulevaisuuden hinnan nousuksi keskimäärin 5 %:n kasvu vuositasolla kuuden vuoden ajaksi.

Sijoituksen kannattavuus on laskettu rahoitusyhtiön maksimi takaisinmaksuajalla 6 vuotta, jota voidaan pitää tämän luokan investoinnille lyhyenä vertailuajankohtana. Huoltokustannuksiksi on laskettu keskimäärin 15000 € vuodessa sisältäen tarkastukset, valvonnat, korjaukset, ylläpidot ja tuhkanpoiston kuljetukset. Takaisinmaksuajat on havainnollistettu taulukon 10 avulla.

TAULUKKO 10. Varteenotettavien vaihtoehtojen kustannuslaskelmat kuuden vuoden ajanjaksolle.

Polttoaine	Kulutus	Investointikustannus	Huoltokustannus	Tuki	Jäännösarvo	Yhteensä
Puupelletti	1056473 €	1913494 €	88476 €	247500 €	100 000 €	2710943 €
Turvepelletti	981141 €	1913494 €	88476 €	247500 €	100 000 €	2635611 €
Kauran kuori	349430 €	1913494 €	88476 €	247500 €	100 000 €	2003900 €
Ostohöyry	1620316 €	0 €	0 €	0 €	0 €	1620316 €

Laskelmissa kulutuksen, investointikustannuksen ja huoltokustannuksen summasta on vähennetty tuen ja jäännösarvon osuus. Tuen suuruutena pidetään energiatuen määrää 15 %:a investointikustannuksesta. Taulukko osoittaa investoinnin olevan kannattamattomampi verraten ostohöyryyn kuuden vuoden tarkasteluvälillä. Kauran kuorella toimiva laitos on noin 400 000 euroa kalliimpi kuin suora ostohöyry. Lihajaloste Korpela Oy:lle höyryntuotanto ja investointikustannukset maksavat kuudessa vuodessa arviolta noin kaksi miljoonaa euroa kauran kuorella.

### 8.3.1 Herkkyystarkastelu

Vertailun vuoksi on suositeltavaa suorittaa herkkyystarkastelu saaduista laskelmista. Tärkeimpänä asiana voidaan pitää investoinnin takaisinmaksuaikaa, jonka jälkeen laitos alkaa synnyttää voittoa omistajalleen. Laskelmissa takaisinmaksuajan aikajännettä pidennettiin, jotta kauran kuorella toimiva höyryntuotantojärjestelmä on kannattavampaa kuin ostohöyry. Laskelmissa tarkaksi takaisinmaksuajaksi muodostui 8,1 vuotta, joka selkeyttämisen vuoksi pyöristettiin yhdeksään vuoteen. Taulukossa 11 on sovellettu taulukon 9 laskentatapaa yhdeksän vuoden ajanjaksolle. Investoinnin takaisinmaksuaika on edelleen kuusi vuotta rahoitusyhtiön vaatiman maksimi takaisinmaksuajan vuoksi.

TAULUKKO 11. Varteenotettavien vaihtoehtojen kustannuslaskelmat yhdeksän vuoden ajanjaksolle.

Polttoaine	Kulutus	Investointikustannus	Huoltokustannus	Tuki	Jäännösarvo	Yhteensä
Puupelletti	1596391 €	1913494 €	131750 €	247500 €	80 000 €	3314135 €
Turvepelletti	1482559 €	1913494 €	131750 €	247500 €	80 000 €	3200303 €
Kauran kuori	512890 €	1913494 €	131750 €	247500 €	80 000 €	2230634 €
Ostohöyry	2522677 €	0 €	0 €	0 €	0 €	2522677 €

Taulukosta 11 huomataan tehtaan tuottavan jo noin 300 000 euroa voittoa yhdeksän vuoden aikana. Muutoksia voittoihin sekä kuluihin tuo polttoaineen hinnanmuutokset ja laitteiston toimivuus, joita on haastava ennustaa. Kuitenkin taulukot ja laskelmat antavat hyvää ja totuudenmukaista osviittaa tulevaisuuden kehityksestä, jotka tulee ottaa huomioon investointipäätöstä tehdessä.

## 9 PÄÄTELMÄT

Pienet 0,5 - 5 MW:n kiinteää biomassaa käyttävät höyryntuotantolaitokset ovat tekniikaltaan sekä toiminnaltaan vielä uusi ja tuntematon asia. Kiinteiden laitosten suuren potentiaalinen sekä tulevaisuuden näkymien kannalta työssä tehdyt selvitykset, mitoitukset ja suunnittelut ovat hyödyllisiä ja ajankohtaisia. Lisäksi työhön salaiseksi määritelty höyrylaitoksen kytkentäkaavio on merkittävä osa höyrylaitoksen toteutusta, jota voidaan soveltaa samankaltaisiin projekteihin tulevaisuudessa.

Nykyaikaisen ympäristöpolitiikan ja vihreiden arvojen myötä höyryjärjestelmän polttoaineena toimiva biojätettä oleva kauran kuori on yksi ihanteellisimmista vaihtoehdoista tulevaisuutta ajatellen. Kuoren halpa hinta verraten muihin polttoaineisiin sekä mahdollisuus käyttää palamisen jälkeistä tuhkaa lannoitukseen, tekevät siitä vieläkin optimaalisemman vaihtoehdon.

Lihajaloste Korpela Oy:n näkökulmasta työn tarkoituksena oli osoittaa merkittävimpiä seikkoja kiinteän höyryjärjestelmän investointipäätöstä mietittäessä. Taloudellisten laskelmien osuus on aina suuri, jonka vuoksi tukiasiat sekä takaisinmaksuajat ovat erittäin tärkeitä kriteerejä. Saatujen laskelmien mukaan investointi omaan höyryjärjestelmään on parempi vaihtoehto kuin ostohöyryn ostaminen yhdeksän vuoden aikajanalla viimeistään, jota voidaan pitää kohtuullisena aikaraja. Lisäksi omaan laitokseen voi vaikuttaa itse paremmin. Esimerkiksi kauran kuorella oleva alhainen energianhinta voidaan nostaa ensimmäisen kuuden vuoden ajaksi siten, että rahoitusyhtiölle saadaan maksettua laina takaisin.

Työn tarkoituksena oli antaa hyvä kuva höyryjärjestelmän toiminnan periaatteista, höyryjärjestelmässä mahdollisesti käytettävien polttoaineiden vertailusta sekä suunnittelussa ja lainsäädännössä huomioitavista tärkeistä kriteereistä. Suunnittelussa tulee olla erittäin huolellinen ja tarkka, jotta toiminta on turvallista, luvanvaraista ja toimivaa. Etsittäviä viranomaismääräyksiä ja varteenotettavia asioita on laajalti ympäriinsä, jotka työn avulla pyrittiin kokoamaan helposti löydettäväksi. Työ voidaan määrittää eräänlaiseksi muistilistaksi, jonka avulla voi tarkastaa ja löytää tietoa sekä lähteiden avulla löytää vieläkin yksityiskohtaisempaa informaatiota höyryjärjestelmiin liittyvistä asioista.



## LÄHTEET

Air-Ix Oy. 1989. Höyryopas. Helsinki: Valtion Painatuskeskus.

Alakangas, E., 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, VTT. Espoo: Otamedia Oy.

Bioenergia Ry. Päivitetty 15.1.2015. Kuluttajapelletin hintaa tilastoidaan. Luettu 8.3.2015. <http://www.pellettienergia.fi/Pelletin%20hinta-%20ja%20tilastotietoja>.

DIN 51731. 2009. Pellets Standards. European Commission. Luettu 24.2.2015. [http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/pellets\\_pellet\\_standards.pdf](http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/pellets_pellet_standards.pdf).

Eskola, J. Myynti ja markkinointi, Kyrötekniikka Oy. 2015. Haastattelu 19.3.2015. Haastattelija Ylikännö, M. Tampere.

E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten paloturvallisuus. Ohjeet 2011. 6.4.2011. Luettu 31.3.2015.

E2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus. Ohjeet 2005. 22.3.2005. Luettu 31.3.2015.

E3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Pienten savupiippujen rakenteet ja paloturvallisuus. Ohjeet 2007. 26.10.2007. Luettu 31.3.2015.

E9 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Kattilahuoneiden ja polttoainevarastojen paloturvallisuus. Ohjeet 2005. 22.3.2005. Luettu 31.3.2015.

Flagan, R., Seinfeld, J. 1988. Fundamentals of air pollution engineering. New Jersey: Prentice Hall, Inc. <http://authors.library.caltech.edu/25069/1/AirPollution88.pdf>.

Fortum Oy. Päivitetty 15.5.2014. Bioöljy. Luettu 16.2.2015. <https://www.fortum.fi/fi/energiantuotanto/polttoaineet/biooljy/Pages/default.aspx>.

Hankaankorpi, J. Yritysasiantuntija, Satakunta, Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY). 2015. Haastattelu 13.3.2015. Haastattelija Ylikännö, M. Tampere.

Hellstedt, J. LVI-suunnittelija, Ax-suunnittelu. 2014. Höyryjärjestelmät ja höyryn teoria. Luento. Erikoisputkistot ja puhdistusmenetelmät 20.11.2014. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

HPAC-Engineering. Päivitetty 1.8.2010. Special: A Closer Look at Transport-Membrane-Condenser Technology. Luettu 18.3.2015. <http://hpac.com/archive/special-closer-look-transport-membrane-condenser-technology>.

Huhtinen, M. Jalonen, O., Rauhala, H. & Virta, K. 1999. Öljylämmitystekniikka. Helsinki: Lahden Kirjapaino ja Sanomalehti Oy.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab.

Huhtinen, M. 2006. Raskaan polttoöljyn käyttöopas, Neste Oil. Kerava: Savion Kirjapaino Oy.

Isover Oy. 2010. LVI-eristäjän käsikirja. Luettu 28.2.2015. <file:///C:/Users/Mikael/Documents/KOULU/OPINN%C3%84YTETY%C3%96/LVI-erist%C3%A4j%C3%A4n%20k%C3%A4sikirja.pdf>.

Jokinen, J. Toimitusjohtaja, Satarehu Oy. 2014. Haastattelu 10.11.2014. Haastattelija Ylikännö, M. Tampere.

Järvinen, T. Yritysrahoituspäällikkö, Satakunnan Osuuspankki Huittisten konttori. 2015. Haastattelu käyty 19.3.2015. Haastattelija Ylikännö, M. Huittinen.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta 18.10.1999/953. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1999/19990953#Pidp3683424>.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista 30.9.1999/938. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1999/19990938>.

Koivisto, M. Tarkastusinsinööri, Inspecta Tarkastus Oy. 2014. Haastattelu 4.12.2014. Haastattelija Ylikännö, M. Tampere.

Kortelainen, J. Kehityspäällikkö Lihajaloste Korpela Oy. 2015. Kysymyksiä työntekijöistä ja liikevaihdosta. Sähköpostiviesti. Luettu 18.2.2015. [jari.kortelainen@lihajalostekorpela.fi](mailto:jari.kortelainen@lihajalostekorpela.fi).

Leppälä, E. Toimitusjohtaja Korves Oy. 2015. Tietoa ja ohjeita höyrylaitoksen vedenkäsittelystä. Sähköpostiviesti. [eero.leppala@korves.fi](mailto:eero.leppala@korves.fi). Luettu 4.2.2015.

Lihajaloste Korpela Oy. 2009. Historia. Luettu 18.2.2015. <http://www.lihajaloste-korpela.fi/historia.php>.

Lundgren, J. 2003. Hakekattilan vastaanottomittaukset. LVI-tekniikka. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

LVI 12–10370, Ohjekortti. 2004. Putkistojen ja kanavien kannakointi. Luettu 25.2.2015.

LVI 50–10344, Ohjekortti. 2004. Talotekniikassa yleisesti käytettävät eristysmateriaalit ja niiden asennus. Luettu 25.2.2015.

LVI 50–10345, Ohjekortti. 2002. Taloteknisten eristysten mitoitus ja käyttö. Luettu 25.2.2015.

Maaseutuvirasto (Mavi). Päivitetty 21.1.2015. Yritystuet. Luettu 13.3.2015. <http://www.mavi.fi/fi/tuet-ja-palvelut/yritystuet/Sivut/yritystuet.aspx>

Närhi, K. LVI-suunnittelija, Ax-suunnittelu. 2014. Höyryjärjestelmien putkistomitoitus ja putkisuunnittelu. Luento. Erikoisputkistot ja puhdistusmenetelmät. 4.12.2014. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Ovaskainen, J. Myyntipäällikkö, Paahtopuu Oy. 2014. Haastattelu 10.11.2014. Haastattelija Ylikännö, M. Tampere.

PSK Standardisointi, PSK 4205. Putkiluokka E16C1A painelaitekäyttöön. Kuumaluja seostamaton teräs. Hitsattu teräsputki. Vahvistettu 18.11.2010. Luettu 10.3.2015.

PSK Standardisointi, PSK 7302. Putkiston kannatus. Kannakestandardien käyttö. Vahvistettu 5.6.2014. Luettu 10.3.2015.

PSK Standardisointi, PSK 7301. Putkiston kannatus. Kannakkeiden vaatimuksenmukaisuuden varmistaminen. Vahvistettu 5.6.2014. Luettu 10.3.2015.

PSK Standardisointi, PSK 7323. Putkiston kannatus. Liukukannatin, korkea. DN 10-150. Vahvistettu 5.6.2014. Luettu 10.3.2015.

PSK Standardisointi, PSK 7340. Putkiston kannatus. Riippukannakkeet. Rakenteet. Vahvistettu 5.6.2014. Luettu 10.3.2015.

PSK Standardisointi, PSK 7304. Putkiston kannatus. Teräsputket. Suositeltavat kannatusvälit. Vahvistettu 5.6.2014. Luettu 10.3.2015.

Punkari, M. Etelä-Suomen myyntipäällikkö, Vapo Oy. 2014. Haastattelu 11.11.2014. Haastattelija Ylikännö, M. Tampere.

Pöyhönen, T. LVI-suunnittelija, Ax-suunnittelu. 2014. Höyryjärjestelmien varusteet ja laitteet. Luento. Erikoisputkistot ja puhdistusmenetelmät 27.11.2014. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Rakennuslupa-asiakirjat -ohje. Päivitetty 2.1.2013. Huittisten kaupunki rakennusvalvonta- ja ympäristöpalvelut. Luettu 11.3.2015.

Rastas, K. Aluemyyntipäällikkö, Nestekaasumyynti Teboil Oy. 2015. Nestekaasun ominaisuuksia ja hintoja. Sähköpostiviesti. [kauko.rastas@teboil.fi](mailto:kauko.rastas@teboil.fi). Luettu 2.3.2015.

Ruuhela, K. Yritysasiantuntija, Satakunta, Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY). 2015. Haastattelu 9.3.2015. Haastattelija Ylikännö, M. Tampere.

Salmi, R. Tuotantotekniikka ja kiinteistöt, Suomen Viljava Oy. 2015. Haastattelu 23.1.2015. Haastattelija Ylikännö M. Korja.

SFS-EN 13480-3 + A1. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 3: Suunnittelu ja laskenta. Vahvistettu 27.3.2006. Luettu 28.2.2015.

SFS-EN 13480-4 + A1. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 4: Valmistus ja asennus. Vahvistettu 7.10.2013. Luettu 6.3.2015.

SFS-EN 13480-5 + A1. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 5: Tarkastus ja testaus. Vahvistettu 7.10.2013. Luettu 6.3.2015.

SFS-EN 287-1. Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset. Vahvistettu 10.10.2011. Luettu 8.3.2015.

SFS-EN ISO 5817. Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat. Vahvistettu 31.3.2014. Luettu 8.3.2015.

SFS 3333. Painesäiliöt. Sijoitus, varustelu ja käyttö. Vahvistettu 17.9.2012. Luettu 15.2.2015.

SFS-EN 12953-5. Tulitorvikattilat. Osa 5: Tarkastukset valmistuksen aikana, dokumentaatio ja paineenalaisten osien tunnusmerkintä. Vahvistettu 19.8.2002. Luettu 6.3.2015.

Sikiö, A. Energiamyynnin johtaja, Teboil Oy. 2014. Haastattelu 10.11.2014. Haastattelija Ylikännö, M. Tampere.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Check Valves. Luettu 20.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/pipeline-ancillaries/check-valves.aspx>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Control Valve Actuators and Positioners. Luettu 20.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/control-hardware-el-pn-actuation/control-valve-actuators-and-positioners.aspx>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Isolation Valves. Luettu 20.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/pipeline-ancillaries/isolation-valves-linear-movement.aspx>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Layout of Condensate Return Lines. Luettu 20.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/condensate-recovery/layout-of-condensate-return-lines.aspx>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Mechanical Steam Traps. Luettu 28.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-traps-and-steam-trapping/mechanical-steam-traps.aspx>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Pressure Control Applications. Luettu 20.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/control-applications/pressure-control-applications.aspx>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Pressure reducing and surplussing valves. Luettu 20.2.2015. [http://www.spiraxsarco.com/Documents/Pressure reducing and surplussing valves for steam and industrial fluids-Sales Brochure.pdf](http://www.spiraxsarco.com/Documents/Pressure%20reducing%20and%20surplussing%20valves%20for%20steam%20and%20industrial%20fluids-Sales%20Brochure.pdf).

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Safety Valve. Luettu 20.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/safety-valves/introduction-to-safety-valves.aspx>

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Saturated Water Line -Steam Table. Luettu 28.2.2015. <http://www2.spiraxsarco.com/fi/fin/resources/steam-tables/saturated-water.asp>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Separators. Luettu 20.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/pipeline-ancillaries/separators.aspx>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Sizing Condensate Return Lines. Luettu 28.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/condensate-recovery/sizing-condensate-return-lines.aspx>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Steam Mains and Drainage. Luettu 20.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-distribution/steam-mains-and-drainage.aspx>

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Strainers. Luettu 20.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/pipeline-ancillaries/strainers.aspx>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Thermodynamic Steam Traps. Luettu 28.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-traps-and-steam-trapping/thermodynamic-steam-traps.aspx>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Thermostatic Steam Traps. Luettu 28.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-traps-and-steam-trapping/thermostatic-steam-traps.aspx>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. Types of Steam Flowmeter. Luettu 28.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/flowmetering/types-of-steam-flowmeter.aspx>.

Spirax-Sarco Ltd. 2015. What is Steam? Luettu 28.2.2015. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-engineering-principles-and-heat-transfer/what-is-steam.aspx>.

Tilastokeskus. 2014. Energian hinnat. Luettu 8.3.2015. [http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2014/01/ehi\\_2014\\_01\\_2014-06-19\\_fi.pdf](http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2014/01/ehi_2014_01_2014-06-19_fi.pdf).

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, Tukes. Päivitetty 12.5.2003. Painelaitteopas. Luettu 15.2.2015. [http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet\\_ja\\_opaat/painelaitteopas.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_opaat/painelaitteopas.pdf).

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, Tukes. Päivitetty 21.10.2010. Painelaitteiden määräaikaistarkastukset. Opas. Luettu 15.2.2015. [http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet\\_ja\\_opaat/Painelait.mraikaist.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_opaat/Painelait.mraikaist.pdf).

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, Tukes. Päivitetty 12.2.2015. Tarkastuslaitokset. Luettu 15.2.2015. <http://www.tukes.fi/fi/Rekisterit/tarkastuslaitokset/>.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). Päivitetty 3.2.2015. Tuen enimmäismäärät. Luettu 8.3.2015. [http://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen\\_maara](http://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen_maara).

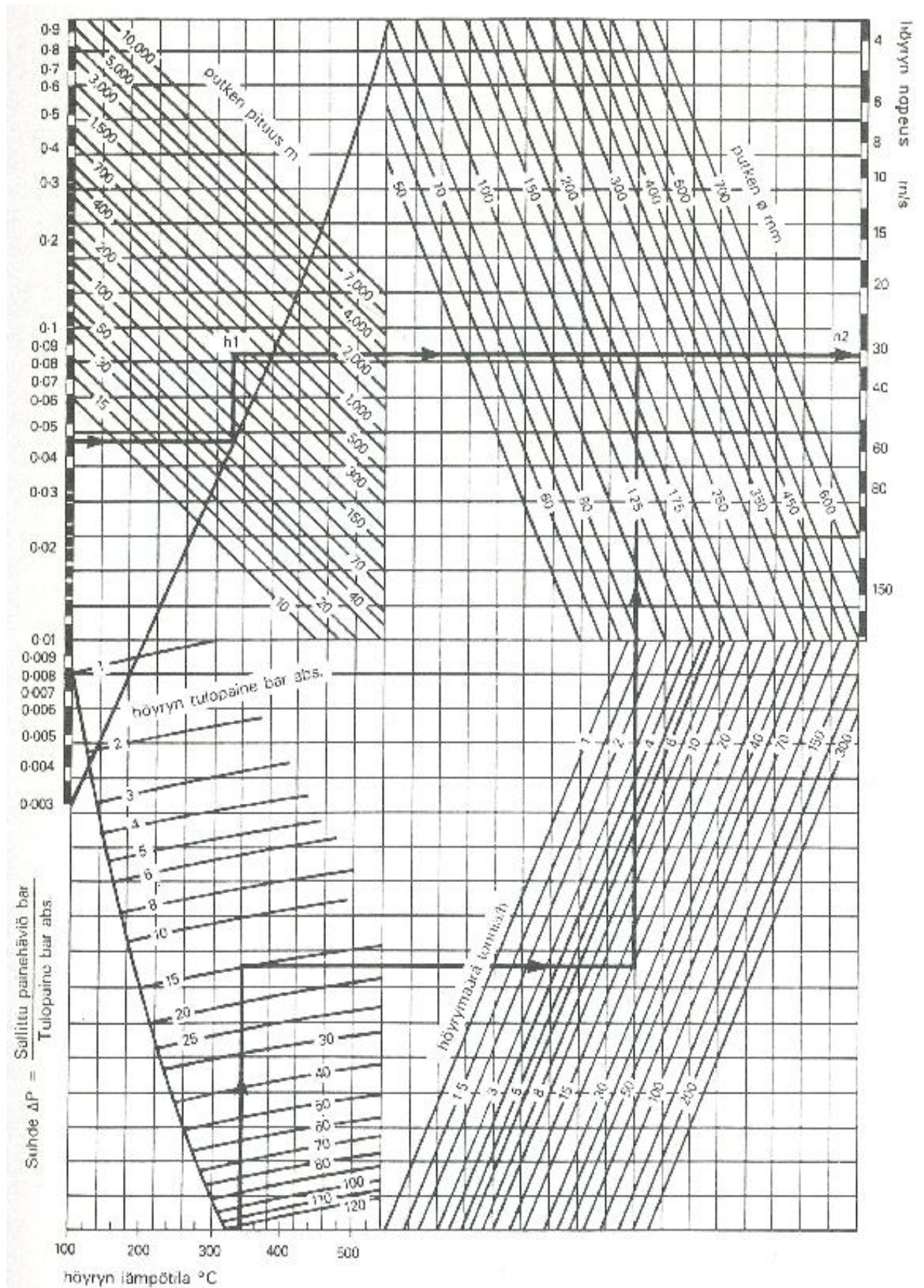
Valkeinen, T. Myyntipäällikkö, Adven Oy. 2015. Haastattelu 9.3.2015. Haastattelija Ylikännö M. Tampere.

Vapo Oy. 2007. Vapon turvepelletti – luotettava kotimainen vaihtoehto. Luettu 24.2.2015. <http://agrimarket.mederra.com/files/gallery/1239254738.pdf>.

Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiatuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista 24.10.2013/750. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130750>.

## LIITTEET

Liite 1. Painehäviöön perustuvan höyryputkiston mitoitus (Air-Ix 1989, 27).



Liite 2. Lauheputkien mitoitus hönkähöyryn avulla (Air-Ix 1989, 29).

LAUHTEN PAINNE JA LÄMPÖTILA ENNEN LAUHTENPOISTINTA		PAINNE LAUHEPUTKEN PÄÄSSÄ bar																					
°C	bar	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6	7	8	9	10	12	15	18	20			
1.0	99	357	16.0	7.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
1.2	104	379	18.0	10.0	6.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
1.5	111	401	20.6	12.9	9.5	6.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
2.0	120	442	23.5	15.8	12.6	10.3	7.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
2.5	127	468	25.5	17.7	14.5	12.3	9.2	5.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
3.0	133	488	27.1	19.2	16.0	13.9	10.7	7.3	4.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
3.5	138	504	28.4	20.4	17.1	15.0	11.9	8.5	6.0	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
4.0	143	520	29.6	21.5	18.2	16.0	12.9	9.7	7.3	5.3	3.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
4.5	147	533	30.5	22.3	19.0	16.9	13.7	10.5	8.1	6.3	4.7	3.0	—	—	—	—	—	—	—	—			
5	151	543	31.5	23.1	19.8	17.7	14.4	11.2	8.9	7.1	5.6	4.2	2.8	—	—	—	—	—	—	—			
6	155	55.7	32.3	23.9	20.5	18.4	15.2	11.9	9.6	7.9	6.5	5.1	4.0	2.7	—	—	—	—	—	—			
7	158	56.5	33.0	24.5	21.1	18.9	15.7	12.4	10.1	8.4	7.0	5.7	4.6	3.5	2.1	—	—	—	—	—			
8	170	59.9	35.5	26.7	23.1	20.9	17.6	14.2	11.9	10.2	8.9	7.7	6.7	5.8	4.8	4.0	—	—	—	—			
9	175	61.3	36.4	27.5	23.9	21.7	18.3	14.9	12.6	10.9	9.5	8.4	7.4	6.6	5.5	4.8	2.4	—	—	—			
10	179	62.3	37.2	28.2	24.6	22.3	18.9	15.5	13.1	11.4	10.0	8.9	7.9	7.1	6.0	5.3	3.3	2.1	—	—			
12	187	64.4	38.7	29.5	25.7	23.5	19.8	16.5	14.1	12.3	11.0	9.8	8.9	8.0	7.0	6.2	4.5	3.6	2.8	—			
15	197	66.9	40.5	31.0	27.2	24.8	21.5	17.7	15.2	13.4	12.0	10.8	9.9	9.1	8.0	7.2	5.6	4.8	4.2	2.9			
18	206	69.0	42.0	32.3	28.4	26.0	22.3	18.7	16.2	14.3	12.9	11.7	10.8	9.9	8.8	8.0	6.5	5.7	5.1	3.9	2.5		
20	211	70.2	42.9	33.0	29.0	26.6	22.9	19.2	16.7	14.8	13.4	12.2	11.2	10.4	9.2	8.4	7.0	6.2	5.6	4.4	3.1	1.7	
25	223	72.9	44.8	34.7	30.6	28.1	24.2	20.4	17.9	15.9	14.5	13.2	12.2	11.4	10.2	9.3	7.9	7.1	6.5	5.4	4.2	3.1	2.5
30	233	75.1	46.3	36.0	31.8	29.2	25.3	21.4	18.6	16.8	15.3	14.0	13.0	12.1	10.9	10.0	8.6	7.8	7.2	6.1	4.9	4.0	3.4
35	241	76.8	47.5	37.0	32.7	30.1	26.1	22.1	19.5	17.5	15.9	14.6	13.6	12.7	11.4	10.5	9.2	8.4	7.8	6.7	5.5	4.5	4.0
40	249	78.5	48.7	38.0	33.6	31.0	26.9	22.9	20.1	18.1	16.5	15.2	14.1	13.2	12.0	11.0	9.7	8.6	8.2	7.1	6.0	5.0	4.5
45	256	80.0	49.7	38.8	34.4	31.7	27.5	23.5	20.7	18.6	17.0	15.7	14.6	13.7	12.4	11.4	10.1	9.3	8.6	7.5	6.3	5.4	4.9
50	263	81.4	50.7	39.6	35.2	32.5	28.2	24.1	21.2	19.1	17.5	16.2	15.1	14.2	12.8	11.8	10.5	9.6	9.0	7.9	6.7	5.7	5.2

kg/h	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	3000	5000	8000	10 000	15 000	20 000
Kerroin	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.9	4.5	5.5	7.1	8.9	10.0	12.2	14.1



Liite 3. Höyryjärjestelmälle keskeisten höyryn ja veden ominaisarvot (Spirax-Sarco Ltd. 2015, Saturated Water Line -Steam Table).

Paine Bar g	Höyrystymislämpötila °C	Veden ominaisentalpia (hf) kJ/kg	Höyrystymisen ominaisentalpia (h <sub>fg</sub> ) kJ/kg	Höyryn ominaisentalpia (hf) (h <sub>g</sub> ) kJ/kg	Höyryn ominaislämpö (cp) (C <sub>p</sub> ) J/kg K
0	100.001	419.101	2256.66	2675.76	2044.03
1.00000	120.449	505.725	2201.16	2706.88	2127.65
2.00000	133.705	562.289	2163.23	2725.52	2195.96
3.00000	143.762	605.453	2133.24	2738.70	2256.68
4.00000	151.966	640.849	2107.92	2748.77	2312.70
5.00000	158.949	671.117	2085.70	2756.82	2365.49
6.00000	165.059	697.720	2065.72	2763.44	2415.90
7.00000	170.513	721.561	2047.43	2768.99	2464.46
8.00000	175.451	743.238	2030.49	2773.72	2511.57
9.00000	179.974	763.168	2014.63	2777.80	2557.49
10.00000	184.154	781.656	1999.67	2781.33	2602.43
11.00000	188.045	798.931	1985.48	2784.41	2646.55
12.00000	191.691	815.171	1971.94	2787.11	2689.97
13.00000	195.123	830.515	1958.96	2789.48	2732.80
14.00000	198.368	845.077	1946.49	2791.57	2775.13
15.00000	201.450	858.947	1934.46	2793.40	2817.01

Liite 4. Höyryjärjestelmän yleiset komponentit ja toimintaperiaate (Air-Ix 1989, 7).

