

Juhani Vaarala

# HÖYRYN TUOTANTOLAITOSTEN KÄYTTÖTALOUSVERTAILU

Merenkulun koulutusohjelma

Insinööri

2012

## HÖYRYN TUOTANTOLAITOSTEN KÄYTTÖTALOUSVERTAILU

Vaarala, Juhani  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Merenkulun insinöörin koulutusohjelma  
Toukokuu 2012  
Toimeksiantaja: Turku Energia Oy  
Valvoja: Syrjä, Joni  
Ohjaaja: Lahtinen, Jari  
Sivumäärä: 39  
Liitteitä: 4 kpl

Asiasanat: höyrykattilalaitos, höyryn tuotanto, käyttötalous

Tämän opinnäytetyön aiheena on höyryn tuotantolaitosten käyttötalousvertailu. Siinä vertaillaan Turku Energian neljän eri höyrykattilalaitoksen toimintaa ja kustannustehokkuutta vuosien 2007 – 2011 välisenä aikana. Laitokset ovat kaupunginsairaalan alueella sijaitseva Turun tekstiilihuolto, TYKS, Orionin lääketehdas / Kiilto Clean ja Jalostajan lämpökeskus. Kaikki vertailtavat laitokset ovat rakenteeltaan ja toimintaperiaatteiltaan samankaltaisia, niiden kokoluokka vain vaihtelee.

Teoreettisen viitekehysten ensimmäisessä osiossa perehdytään kyseisten kattilalaitosten rakenteisiin. Kaikki kahdeksan höyrykattilaa ovat tyypiltään tulitorvituliputkikattiloita. Osiossa kuvaillaan kattilatyypit ja niissä käytettävät polttimet. Lisäksi perehdytään höyrylaitosten toimintaperiaatteisiin, selvitetään kattiloiden kytkentöjä, varusteita ja säätöjä.

Opinnäytetyön toisessa osiossa perehdytään höyrykattilalaitosten käyttötalouteen. Siinä kerrotaan miten hyötysuhteen määrittäminen tapahtuu. Siinä kerrotaan myös höyryn tuotannon kuluista ja kustannuksista. Kustannuksia ovat mm. investointi-, käyttö-, huolto- ja polttoainekustannukset. Kustannuksia on eritelty myös viikoittain, kuukausittain ja vuosittain tapahtuviin toimenpiteisiin liittyen.

Lisäksi työssä esitellään kyseisten höyrykattilalaitosten kattiloiden tekniset tiedot. Taulukoihin on kerätty ja laskettu eri tuotantoyksiköiden mittaukset vuosien 2007 – 2011 väliseltä ajalta. Lisäksi toiseen taulukkoon on merkitty kyseisten kattilalaitosten käyntitunnit ja prosenttiosuudet vertailun helpottamiseksi samalta aikaväliltä.

Lopputuloksena esitetään laitosten käytöstä aiheutuneet kulut, sekä tuotettu energiamäärä. Näiden perusteella saadaan laskettu energian keskihinta ja kattilalaitosten, sekä kattiloiden huipunkäyttöajat. Näillä tiedoilla voidaan verrata laitosten tuotannon kehitystä ja tehokkuutta.

# COMPARISON OF OPERATIONAL ECONOMY OF STEAM PRODUCTION PLANTS

Vaarala, Juhani  
Satakunta University of Applied Sciences  
Degree Programme in Marine Engineering  
May 2012  
Supervisor: Syrjä, Joni.  
Number of pages: 39  
Appendices: 4 pieces

Keywords: steam boiler plant, steam production, operational economy

Subject of this thesis is comparison of operational economy of steam production plants. The study compares operation and cost effectivity of four distinct steam boiler plants of Turku Energia between years 2007 - 2011. Production plants are Turun tekstiilihuolto (Turku Textile Care) located at the area of Turku Civic Hospital, TYKS (Turku University Central Hospital), Orion Pharmaceutical plant / Kiilto Clean and Jalostaja heating plant. All plants under comparison are similar in structure and in operational principal, only sizes vary.

First part of the theoretical frame examines structures of boiler plants. Type of all eight steam boilers under analysis is vertical fire tube. Boiler types and burners used in these boilers are described in this section. Also functioning principals of steam plants are studied as well as connections, equipments and adjustments of steam boilers.

Operational economy of steam boiler plant is examined in the second part of thesis. This section explains how operating efficiency is defined and accounts steam production costs and expenses. Expenses include i.a. investment costs, operating costs, maintenance and fuel costs. It is also explained how the costs of produced steam can be calculated.

Technical data of steam boilers of steam plants under analysis is specified in the last section of the study. Tables summon the most important factors which affect utilisation economy of production plants. These factors are heat production, fuel consumption, quantity of steam, condensate, quantity of water and extra water, electricity and fuel energy. Measurements are from the years 2007 – 2011. A separate table shows hours of running of steam boiler plants in question during the same period of time.

As a conclusion operational costs and the amount of produced energy are presented. Based on these, average price of energy and peak load time of steam boilers and boiler plants are calculated. With this information it is possible to compare development of production and effectivity of the plants.

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	6
2 HÖYRYKATTILALAITOKSET.....	7
2.1 Kattilatyypit.....	7
2.2 Polttimet.....	8
2.2.1 Pyörivähajotteinen poltin.....	9
2.2.2 Paineöljyhajotteinen poltin.....	10
2.3 Kytkenä.....	11
2.4 Varusteet.....	13
2.4.1 Lauhdesäiliö.....	13
2.4.2 Syöttövesisäiliö.....	13
2.5 Veden käsittely.....	14
2.5.1 Epäpuhtauksien vaikutukset höyryprosessissa.....	14
2.5.2 Veden laatuvaatimukset.....	14
2.5.3 Lisävedenvalmistus.....	15
2.5.4 Ulospuhallus.....	17
2.6 Höyrylaitosten säädöt.....	18
2.6.1 Kattilan pinnankorkeuden säätö.....	18
2.6.2 Höyrykattilan tehon säätö.....	19
2.6.3 Syöttövesisäiliön säädöt.....	19
3 KÄYTTÖTALOUS.....	20
3.1 Hyötysuhteen määrittäminen suoralla menetelmällä.....	20
3.1.1 Hyödyksi saatu lämpöteho.....	23
3.2 Höyryn tuotannon kustannukset.....	25
3.2.1 Investoinnista aiheutuneet pääomakustannukset.....	25
3.2.2 Käyttökustannukset.....	26
3.2.3 Polttoainekustannukset.....	26
3.2.4 Käyttöhenkilöstön tarve.....	26
3.2.5 Huollon tarve.....	28
3.2.6 Omakäytösähkön tarve.....	30
3.3 Tuotetun höyryn hinta.....	30
3.4 Kattilalaitosten kattiloiden tekniset tiedot.....	32

3.5 Höyryn tuotantoyksiköiden mittaukset vuosina 2007–2011.....	36
3.6 Höyrykattilalaitosten tulot ja menot vuosina 2007–2011.....	37
4 YHTEENVETO.....	38
LÄHTEET.....	40
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee Turku Energia Oy:n neljää höyryn tuotantoyksikköä sekä niiden käyttötaloutta. Turku Energia on Turun kaupungin omistama osakeyhtiö. Henkilöstön määrä on 293. Liikeideana on hankkia, myydä ja siirtää sähköä ja lämpöä pääasiassa Turun seudulla. Lisäksi Turku Energia tarjoaa myös kaukojäähdytystä ja höyrylämpöä sekä niihin liittyviä palveluita.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kyseisten laitosten käyttökustannuksia ja energiataloutta eli kustannus-hyötysuhdetta. Työskentelen itse kyseisessä yrityksessä mm. näiden laitosten parissa. Aiheen työhön sain työnantajaltani, ja se tulee palvelemaan käytäntöä. Lisäksi työtä voidaan soveltuvilta osin hyödyntää työntekijöiden perehdytyksessä. Aihe on hyödyllinen ja tukee myös merenkulun opintoja, koska samankaltaisia järjestelmiä käytetään myös laivoissa apuhöyryjärjestelminä.

Kaikki neljä höyryn tuotantoyksikköä sisältävät kaksi kattilaa. Yksiköt tuottavat prosessihöyryä kuluttajalaitoksille ympäri vuoden. Näitä kuluttajia ovat Kaupunginsairaalan alueella Turun tekstiilihuolto, TYKS, Orionin lääketehdas / Kiilto Clean sekä Jalostajan lämpökeskus, josta höyryä toimitetaan Bayerin lääketehdalle, PCAS Finlandille, Eckes-Granini Finlandille, Lundenille ja Nestlelle.

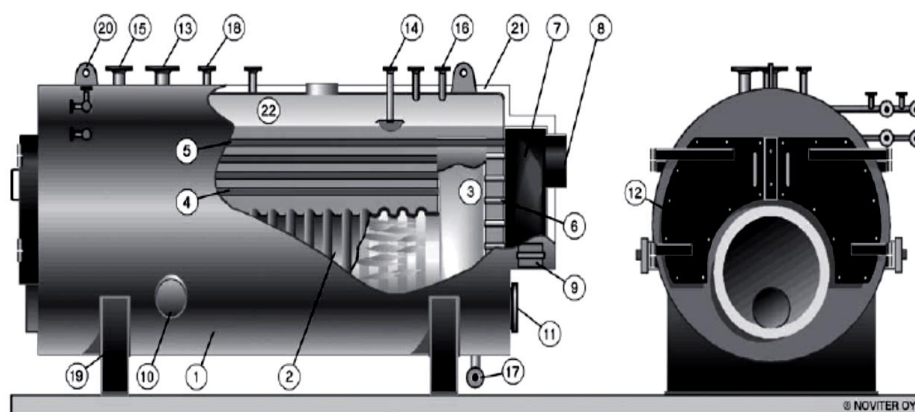
Teoreettisessa viitekehyksessä kuvaillaan kyseisiä höyrykattilalaitoksia yleisesti. Kaikki vertailtavat laitokset ovat rakenteeltaan ja toimintaperiaatteiltaan samankaltaisia, niiden kokoluokka vain vaihtelee. Työssä kerrotaan laitosten kattilatyypeistä ja erilaisista polttimista, joita niissä käytetään. Lisäksi käsitellään laitosten kytkentöjä sekä kerrotaan niiden varusteista ja säädöistä sekä veden käsittelystä.

Työn toisessa osiossa vertaillaan tuotantolaitosten kulutuksia, höyryn tuotantoa sekä myyntiä vuosien 2007 - 2011 välisenä aikana. Lisäksi vertaillaan kattiloiden huipunkäyttöaikoja. Jotta vertailu olisi mahdollisimman täsmällistä, työssä on selvitetty myös laitosten sähkön ja veden käyttöä sekä muita käyttö- ja huoltokustannuksia kyseiseltä aikaväliltä. Yhteenvedossa vertaillaan laitosten tuotettua tehoa, tuotantomääriä ja pohditaan niiden tehostamismahdollisuuksia.

## 2 HÖYRYKATTILALAITOKSET

### 2.1 Kattilatyyppit

Kaikki kahdeksan höyrykattilaa ovat tyypiltään tulitorvi-tuliputkikattiloita. Ne ovat malliltaan makaavia, eli tulitorvi on vaakatasossa. Polttimia on kussakin yksi, ja se on sijoitettu kattilan etuseinään. Kattilatyyppi on yleinen matalapainehöyrykattila tuotettaessa höyryä prosessiteollisuuden tarpeisiin. Tulitorvi-tuliputkikattilassa polttoaine palaa tulitorven muodostamassa tulipesässä, josta savukaasut virtaavat kääntö- eli lieskakammion kautta tuliputkiin. Kaikki kahdeksan kattilaa ovat kolmivetoisia, eli kattilan etuosassa on jälleen kääntökammio, missä savukaasut vaihtavat virtaus-suuntaa, ja virtaavat jälleen putkia pitkin vesitilan läpi kattilan toiseen päähän. Sieltä jäähtyneet savukaasut johdetaan savukaasukammion kautta savupiippuun. Tulitorvet ja tuliputket ovat veden peitossa, joten seinämän läpi johtuva lämpö höyrystää vettä. Tulitorvi-tuliputkikattilassa on vesiputkikattilaan verrattuna sen rakenteesta johtuen suuri vesitilavuus käytettyyn polttotehoon verrattuna. Suuri vesitila toimii varaajana ja tasaa kuorman vaihteluita. /1/



#### NST-höyrykattilan osat:

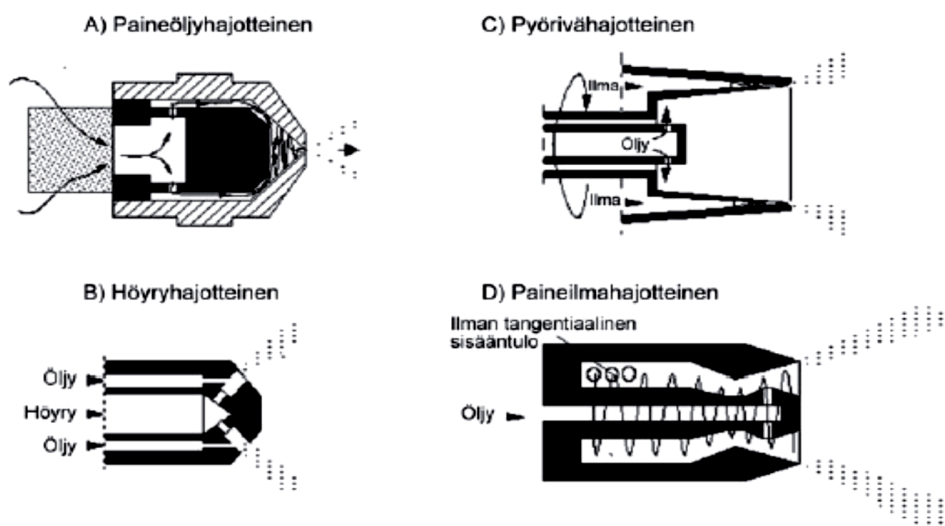
1. Paineastian vaippa	2. Tulitorvi	3. Lieskakammio	4. II-veden tuliputket
5. III-vedon tuliputket	6. Sidetangot	7. Savukaasukammio	8. Savukanava
9. Puhdistusluukku	10. Tarkastusluukku	11. Räjähdysluukku/kulkuaukko	12. Etuluukku
13. Päähöyry-yhde	14. Syöttövesiyhde	15. Pinnanmittausyhde	16. Varoventtiiliyhde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

Kuva 1. Tulitorvi-tuliputkikattilan rakenne (Noviter)

## 2.2 Polttimet

Raskasöljypolttimet jaetaan öljyn sumutukseen käytetyn hajotusperiaatteen mukaisesti:

- paineöljyhajotteisiin polttimiin
- pyöriväkuppisiin- eli pyörivähajotteisiin polttimiin
- höyry- tai paineilmahajotteisiin polttimiin

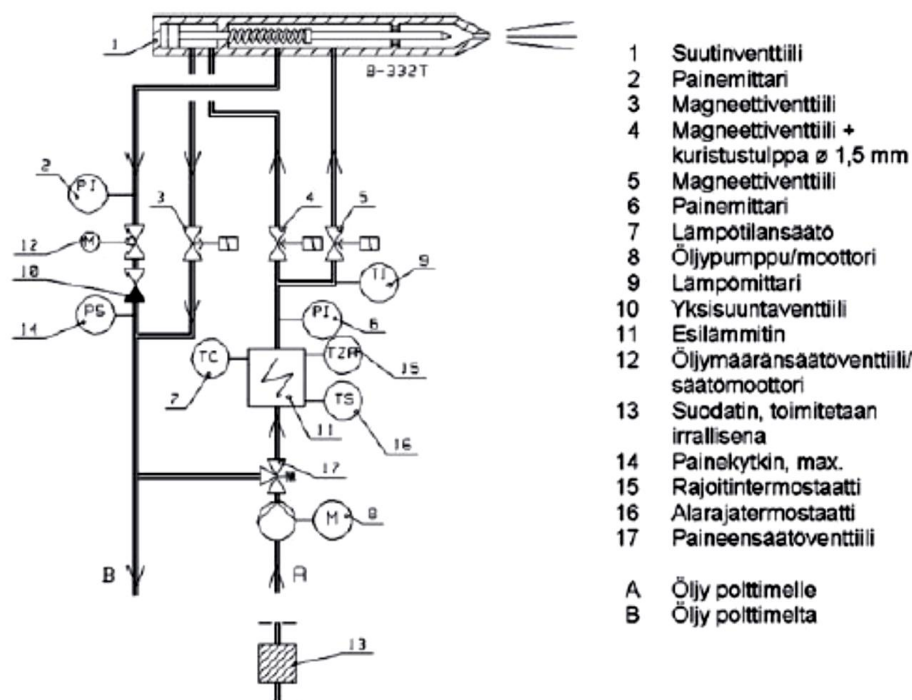


Kuva 2. Poltintyytit

Opinnäytetyössä olevien esimerkkikattiloiden polttimista vain yksi on pyörivähajotteinen, ja loput seitsemän ovat paineöljyhajotteisia polttimia. Tämän takia poltinosuus on rajattu vain niihin poltintyyppihin, joita työ käsittelee.

Kaikki polttimet ovat automaattisia portaattomasti säätäviä eli moduloivasäätöisiä polttimia. Moduloivassa polttimessa portaaton säätö saadaan aikaan paluulinjassa olevalla säätöventtiilillä. Tehon tarpeen kasvaessa venttiili sulkeutuu, ja suurempi määrä öljyä virtaa suuttimen kautta tulipesään. Tämä luonnollisesti nostaa polttotehoa.





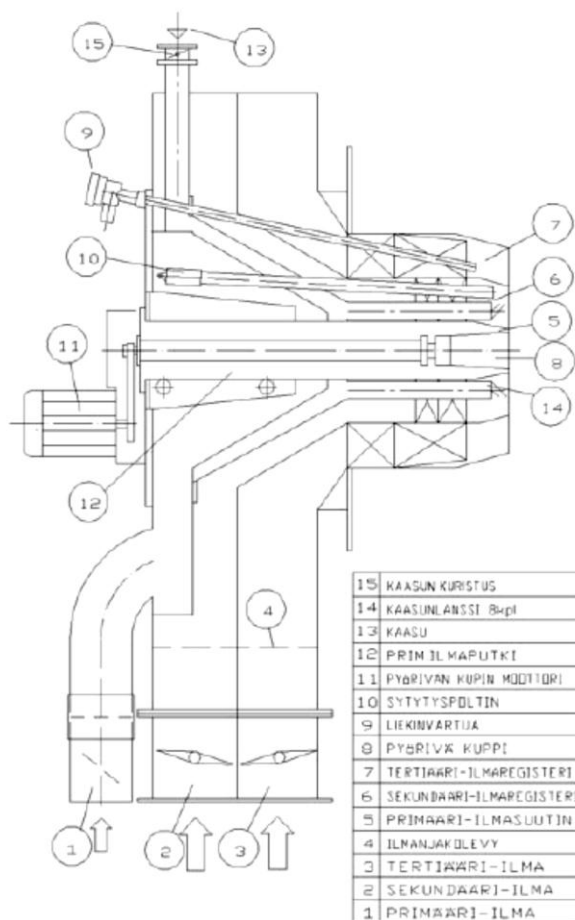
Kuva 3. Moduloivan raskasöljypolttimen öljynkiertokaavio (Oilon) /2/

### 2.2.1 Pyörivähajotteinen poltin

Pyöriväkuppisessa- eli pyörivähajotteisessa polttimessa öljy johdetaan n. 100 r/s pyörivän kupin sisälle, josta se keskipakovoiman vaikutuksesta sinkoutuu ohuena kalvona ulospäin tulipesään. Kupin ulkoreunalle johdetaan hajotusilma ( $p=15$  kPa ja nopeus n.110m/s), jonka vaikutuksesta öljy hajoaa pisaroiksi.

Pyöriväkuppisen polttimen sumutusominaisuudet riippuvat hajotusilman nopeudesta eli primääri-ilman paineesta ja öljyfilmin paksuudesta, johon vaikuttavat ennen kaikkea öljyvirta ja kupin kehänopeus.

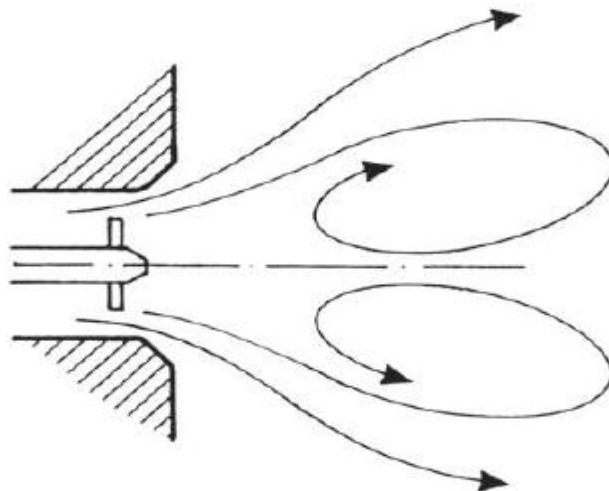
Pyöriväkuppinen poltin on hajotusominaisuuksiltaan hyvä, ja niitä käytetään nimenomaan hyvän palamisen, eli pienten kiintoainepäästöjen aikaansaamiseksi. Sumutusviskositeetti on tyypillisesti 10-30 mm<sup>2</sup>/s, mutta poltin toimii, vaikka viskositeetti olisi selvästi korkeampikin, kunhan primääri-ilman paine ja sitä kautta primääri-ilman nopeus on riittävän korkea. Työssä käsiteltävistä polttimista vain KPS 2-kattilan poltin on pyörivähajotteinen Saacke-merkinen poltin.



Kuva 4. Pyörivähajotteisen polttimen rakenne (Petro)

### 2.2.2 Paineöljyhajotteinen poltin

Muissa seitsemässä höyrykattilassa käytetään paineöljyhajotteista poltinta. Sitä käynnistettäessä polttoaine sytytetään sähkökipinän tai kaasun avulla. Syttymisen jälkeen polttoaineen ja ilman seos saa syttymiseen tarvittavan lämmitysenergian tulipesästä. Paineöljyhajotteisissa polttimissa polttoaineseos saadaan syttymislämpötilaan nopeasti asettamalla primääri-ilmavirtauksen eteen ahtolevy, mikä synnyttää eteensä alipaineen. Ahtolevyssä on siivekkeet, jotka saattavat primääri-ilman pyörreliikkeeseen tehostaen edelleen alipainevaikutusta. Tämä ilmiö tuo savukaasuja liekin loppupäästä sen alkupäähän, kuten seuraavassa kuvassa näkyy.



Kuva 5. Ahtolevyn vaikutus savukaasuihin.

Paineöljyhajotteisessa suuttimessa öljy tulee suurella paineella (20-30 bar) suuttimessa sijaitseviin tangenttiuriin, jotka laittavat öljyn voimakkaaseen pyörimisliikkeeseen. Urien jälkeisestä pyörimiskammioista öljy virtaa ulos muodostaen kartion muotoisen ohuen kalvon, joka repeytyy välittömästi pisaroiksi.

Polttimissa liekin valvontaan käytetään valokennoja, jotka muuttavat vastaanottamansa valoallot sähköiseksi varaukseksi. Vahvistettuna tämä varaus pitää auki polttoainelinjassa olevaa magneettiventtiiliä. Mikäli poltin sammuu, katkeaa myös magneettiventtiiliä auki pitävä virtapiiri, ja öljyn tulo loppuu./3/

### 2.3 KytKentä

Matalapaineista prosessihöyryä tuottavan kattilalaitoksen tärkeimmät höyry- ja lauhdejärjestelmän osat ovat.

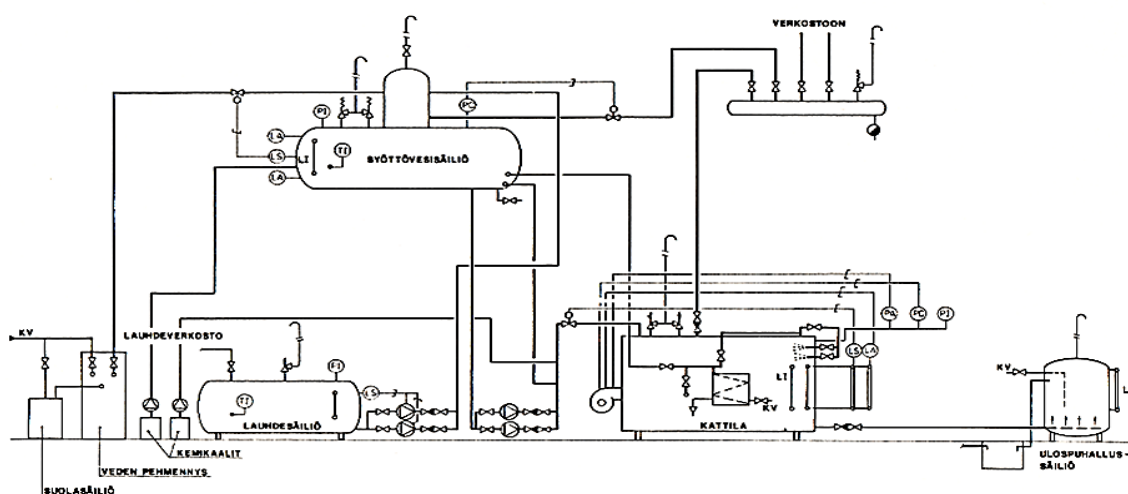
- lauhdesäiliö
- syöttövesisäiliö
- lisäveden käsittelylaitteet ja pumput (lauhde- ja syöttövesi)
- ulospuhallusjärjestelmä.

Tuotetun höyryn paine on normaalisti 3-10 bar:n välillä riippuen prosessilaitteiden tarpeesta. Osa käytetystä höyrystä palaa kattilalaitokselle takaisin lauhdeena, jota varten laitoksella on lauhdesäiliö. Sieltä lauhde pumpataan takaisin kattilan syöttövesisäiliöön, joka toimii myös kattilaan syötettävän veden varastona.

Syöttövesisäiliön päällä on kaasunpoistotorni, jossa vedestä poistetaan lauhtumattomat kaasut. Vaikka höyryprosessin toiminta onkin ns. suljetun kierron järjestelmä, häviää höyryä aina pieniä määriä erilaisiin vuotoihin, ja muihin häviöihin mm. ulospuhalluksiin.

Lisävettä tarvitaan, koska tuotetusta höyrystä vain osa (70-90 %) palautuu takaisin kattilalaitokselle. Tarvittava lisävesi pumpataan kaupungin vesijohtoverkosta syöttövesisäiliöön vedenkäsittelyn kautta. Syöttövesisäiliöstä lämmitetty vesi pumpataan kattilaan syöttövesipumpuilla, joita on käyttövarmuuden vuoksi vähintään kaksi kappaletta joka laitoksella. Pumput sijaitsevat muutamia metrejä syöttövesisäiliön alapuolella, jotta vältettäisiin pumppujen kavitoiminen.

Kattilasta höyry johdetaan höyryn jakotukkiin, josta höyryä jaetaan eri kulutuskohteisiin paineen alennusventtiilin kautta. Paineen alennusventtiilin tehtävänä on pienentää jakotukissa oleva höyryn paine kuluttajalle sopivaan paineeseen. Höyryn kuluttajia ovat varsinaisen prosessin lisäksi erilaiset omakäyttökohteet kattilalaitoksen sisällä, kuten esimerkiksi syöttövesisäiliön lämmitys ja raskaan öljyn esilämmitys./4/



Kuva 6. Prosessihöyrylaitoksen kytkenä.

## 2.4 Varusteet

### 2.4.1 Lauhdesäiliö

Kuluttajan jälkeen käytetty höyry eli lauhteet kerätään lauhdesäiliöön. Lauhteen seassa voi olla vielä useita prosentteja höyryä. Sitä muodostuu, kun höyryverkoston paineessa muodostunut lauhde siirtyy lauhteenpoistimien läpi lauhdeverkkoon. Mikäli näille ns. hönkähöyryille ei ole käyttöä, nostavat ne turhaan lauhdesäiliön painetta, ja virtaavat lopulta säiliön varoventtiilin kautta ulos. Lauhdesäiliön painetta säädetään siinä olevan varoventtiilin avulla.

Lauhdelinjoissa pidetään pientä ylipainetta, jotta sinne ei pääse ilmaa. Tarpeeton esim. lauhtumattomien höyryjen aiheuttama paineen nousu haittaa lauhteenpoistimien toimintaa kulutuskohteissa sekä lauhteen siirtymistä putkistoissa.

Lauhdesäiliöstä lauhtunut höyry pumpataan takaisin syöttövesisäiliöön lauhdepumpulla. Jotta lauhde ei höyrystyisi pumpussa, on lauhdepumpulle saatava riittävä imukorkeus. Kavitaatiovaaran välttämiseksi pumpun valmistaja ilmoittaa tarvittavan NPSH -luvun, eli tarvittavan positiivisen imukorkeuden. Tämä on kuitenkin huomattavasti pienempi, kuin syöttövesipumppujen vaatima imukorkeus. /4,5/

### 2.4.2 Syöttövesisäiliö

Syöttövesisäiliö toimii kattilan syöttövesivarastona. Syöttövesisäiliön vesimäärän tulee olla sellainen, että se riittää kattilan turvalliseen alasajoon. Kattilan höyryn tuoton ollessa enintään 15 t/h tulee vesimäärän riittää vähintään puolen tunnin ajan käytettäessä kattilaa täydellä teholla.

Säiliön veden korkeutta valvotaan pintavahdilla, joka ohjaa lisävesilinjan venttiiliä. Myös syöttövesisäiliössä, kuten lauhdesäiliössäkin on kylläistä vettä. Tämän vuoksi syöttövesisäiliö on sijoitettava kavitaatiovaaran välttämiseksi niin paljon syöttövesipumppujen yläpuolelle, että saadaan tarvittava laitevalmistajan vaatima positiivinen imukorkeus syöttövesipumpuille.

Käyttövarmuuden vuoksi syöttövesipumppuja on vähintään kaksi joka laitoksella. Ne on mitoitettu kattilan täydellä teholla tarvitseman vesimäärän mukaan. Tulitorvituliputkikattiloiden tyypillisessä kokoluokassa syöttövesipumppu on standardien mukaan mitoitettava 1.6kertaiselle höyryteholle verrattuna kattilan/kattiloiden yhteen laskettuun höyrytehoon. Kertoimessa on otettu huomioon mm. 5 %:n ulospuhallusvirta ja mahdollinen 10 %:n suuruinen hetkellinen nimellishöyrytehon ylitys./4/

## 2.5 Veden käsittely

Höyrykattilalaitoksilla veden käsittelyyn kuuluvat lisäveden valmistus, terminen kaasunpoisto, kemikaalien annostelu ja kattilan ulospuhallus.

### 2.5.1 Epäpuhtauksien vaikutukset höyryprosessissa

Pahimmat kattilakiven muodostajat ovat kalsium ja magnesium. Ne nostavat veden kovuutta ja saostuvat kattilan pinnoille kattilakiveksi. Kattilavedessä oleva rauta ja kupari aiheuttavat yhdessä hapen kanssa korroosiota. Näistä rauta palaa kiinni höyrytuspintoihin ja kupari muodostaa galvaanisen sähköparin, joka syövyttää terästä.

Kaasumaisista epäpuhtauksista happi aiheuttaa korroosiota kiihdyttävän vaikutuksen. Höyryssä oleva hiilidioksidi muodostaa lauhtuessaan hiilihappoa, joka laskee lauhteen pH-arvoa. Seurauksena on veden happamuuden aiheuttama syöpyminen.

Kiintoaineet aiheuttavat kerrostumia vesipinnoille ja tukkeumia putkistoon. Orgaaniset epäpuhtaudet aiheuttavat kerrostumien lisäksi kattilaveden kuohuntaa. /6/

### 2.5.2 Veden laatuvaatimukset

Kaikilta höyrykattilalaitoksilta otetaan kerran kuukaudessa vesinäytteet, joista mitataan pH-arvo, sähkönjohtokyky, kovuus, p-luku, sekä rauta- ja kuparipitoisuudet. Näistä pH-arvo ilmaisee veden happamuuden asteikolla 0-14, jossa 0-6 tarkoittaa,

että vesi on hapanta, 7 on neutraali ja 8-14 että vesi on emäksistä. Sähkönjohtavuus kertoo veden suolapitoisuuden, ja se ilmoitetaan yksiköllä (mikrosimens/senttimetri) uS/cm. Kovuus ilmoitetaan saksalaisella kovuusyksiköllä °dH, joka kertoo, kuinka monta 10:tä mg:aa suoloja on 1 litrassa vettä. Tämä asteikko on 0-21, jossa 0 on erittäin pehmeä, ja 21 tai suurempi on erittäin kova. P-luku eli happokapasiteetti on veden puskurikyvyn mitta. Se kertoo, kuinka paljon suolahappoa on lisättävä kattilave- teen, jotta saavutetaan haluttu pH-arvo. /6,7/

- pH -arvo 9 – 10
- sähkönjohtokyky alle 4000 uS/cm
- kovuus alle 0.1 °dH
- p-luku alle 7 mmol/l
- rautapitoisuus alle 0.1 mg/kg
- kuparipitoisuus alle 0.02 mg/kg

### 2.5.3 Lisäveden valmistus

Lisävettä valmistetaan kaupungin vesijohtovedestä. Ensin poistetaan karkeat epäpuh- taudet suodattamalla vesi perinteisellä siivilä suodattimella. Sen jälkeen poistetaan kovuus vedestä pehmennyssuodattimilla. Kovuuden veteen aiheuttavat mineraalisuo- lat, joista haitallisimpia ovat kalsium (Ca) ja magnesium (Mg). Ca- ja Mg-ionien suolat aiheuttavat saostuneina kattilakiveä lämpöpinoille, ja liukoisina eroosiota kattilaputkistoissa. Pehmennyssuodattimen tehtävä on vaihtaa haitalliset Ca- ja Mg- ionit haitattomiin natrium (Na) -ioneihin.

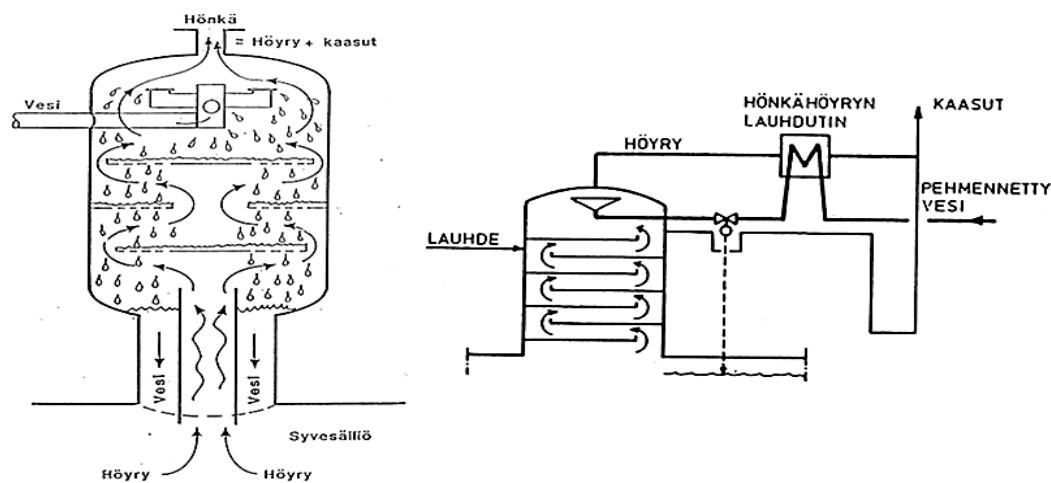
Suodattimen toiminta perustuu sen sisällä oleviin pieniin hartsipalloihin, joiden pin- nalla on Na-ioneja. Pehmennysvaiheessa pehmenettävä vesi virtaa suodattimen läpi jolloin haitalliset Ca- ja Mg-ionit vaihtuvat Na-ioneihin, eli kovuutta aiheuttavat suo- lat tarttuvat hartsiin. Kun Na-ionit ovat loppuneet, on suodatin elvytettävä johtamalla uusi annos NaCl-liuosta suodattimen läpi. Tällöin elvytysliuoksesta Na-ionit tarttuvat hartsiin ja Ca- ja Mg-ionit lähtevät liuoksen mukana, ja se johdetaan viemäriin. Jotta

pehmennys saadaan jatkuvaksi, on laitoksilla kaksi suodatinta rinnan, joista toinen on käytössä, ja toinen voi olla elvytyksessä.



Kuva 7. Eurowater veden pehmentin (Hyxo oy) /8/

Tämän jälkeen pehmentetty lisävesi ohjataan syöttövesisäiliöön kaasunpoistokuvun kautta. Kaasunpoistokuvussa on päällekkäisiä rei'itettyjä levyjä. Pehmentetty vesi johdetaan päällimmäiselle levyille, josta se alkaa valua alaspäin. Alaspäin valuvia nestepisaroihin lämmitetään kaasunpoistokuppuun johdettavalla höyryllä kylläiseksi, jolloin lauhtumattomien kaasujen liukoisuus veteen pienenee. Kaasunpoisto toimii termisesti 102–130 °C:en lämpötilassa, eli syöttövesisäiliössä vallitsee 1.2-3 bar:n paine. Lauhtumattomat kaasut poistuvat hönkähöyryn mukana kaasunpoistotornin yläosasta omalla painellaan, joko lämmön talteenoton kautta, tai suoraan ulos.



Kuva 8. Terminen kaasunpoisto.



Terminen kaasunpoisto on tarkoitettu lähinnä hapen poistoon, mutta myös muut veteen lienneet kaasut, kuten hiilidioksidi, poistuvat samassa vaiheessa. Näiden lisäksi veteen lisätään kemikaaleja, jotka auttavat termisen poiston ohella poistamaan vedestä kaasumaisia epäpuhtauksia, kuten hapen, typen ja hiilidioksidin.

Kemikaaleja käytetään myös nostamaan syöttöveden ja lauhteen pH:ta sekä saostamaan kattilaveteen liuenneita epäpuhtauksia. Suolat saadaan saostumaan kemikaaleilla hienojakoiseksi yhdisteeksi, joka voidaan poistaa kattilasta ulospuhalluksen kautta. Turku Energian höyrykattiloissa käytettävä Boilex 460-kattilavesikemikaali on elintarvikeviraston hyväksymä veden käsittelyaine. Sitä annostellaan suoraan syöttövesisäiliöön mitattujen arvojen perusteella. Näitä arvoja mitataan lauhteesta, höyrystä, lisävedestä, syöttövedestä, sekä kattilavedestä. /4, 6/

#### 2.5.4 Ulospuhallus

Vaikka lisävesi onkin käsitelty huolellisesti edellä kuvailluilla tavoilla, voi siinä vielä olla haitallisia aineita. Lisävedessä olevat pienetkin suolamäärät ja epäpuhtaudet rikastuvat kattilaveteen, jolloin vettä on päästettävä kattilasta pois. Tämä tapahtuu joko pinta- tai pohjapuhalluksena. Kattilasta ulospuhallettavan veden määrällä pidetään kattilaveden suolapitoisuus halutulla tasolla.

Ulospuhallusmäärä voidaan laskea kaavalla

$$Z = (a-b)/(A-a), \text{ jossa}$$

$z$  = ulospuhallusvirran suhde höyryvirtaan

$a$  = syöttöveden suolapitoisuus (mg/kg)

$b$  = höyryn lauhteen suolapitoisuus (mg/kg)

$A$  = kattilaveden sallittu suolapitoisuus (mg/kg)

Ulospuhalluksessa veden paine laskee kattilan paineesta ympäristön paineeseen, ja höyrystä osan vedestä. Tämä ns. hönkähöyry ja vesi voidaan erottaa toisistaan erillisessä ulospuhallussäiliössä. Tällainen järjestely on suositeltavaa, koska hönkähöyry

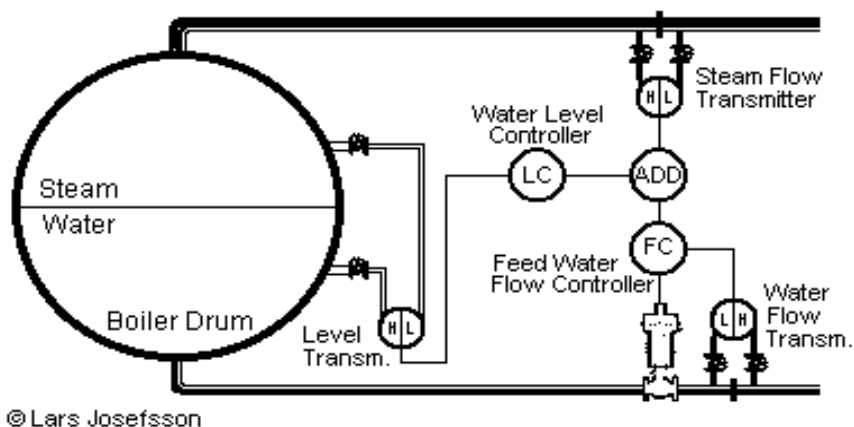
on valmiiksi suoloista puhdasta, ja sitä voidaan siten käyttää lisäveden suoraan sekoituslämmitykseen. Ulospuhallettavan höyryn määrä pyritään pitämään minimissä, koska kaikki ulospäästetty höyry on häviötä. Höyryn vaatimustaso ja epäpuhtauksien pitoisuudet määräävät, onko puhallus jatkuvaa vai jaksottaista./4/

## 2.6 Höyrylaitosten säädöt

Höyrykattilalaitoksen säädöistä tärkeimpiä ovat syöttöveden määrän säätö, kattilan tehon säätö sekä syöttövesisäiliön säädöt.

### 2.6.1 Kattilan pinnankorkeuden säätö

Tulitorvi-tuliputkirakenteisen höyrykattilan veden pinta ei saa laskea liian alas. Höyrytilassa olevat tuliputket eivät saa ylikuumentua. Liian korkea vesipinta voi aiheuttaa vesipisaroiden ja mahdollisten epäpuhtauksien joutumisen höyryverkostoon. Höyryverkostossa vesi aiheuttaa tuhoisia vesi-iskuja, jotka rikkovat putkien sisäpintaa.



Kuva 9. Kolmipisteohjaus

Veden pinta pidetään halutulla tasolla kattilan syöttövesipumpuilla. Syöttövesipumppu pumppaa vettä kattilaan veden pintaviestin perusteella. Kuormitusvaihteluiden vuoksi pelkkä pintatieto ei riitä, vaan käytetään nk. kolmipisteohjausta, jossa mita-

taan pintaviestin ohella höyryn kulutusta ja syöttöveden kulutusta. Näiden kolmen mittaviestin avulla ohjataan kattilan syöttövesipumpun käyntiä, kuten kaaviossa on kuvattu.

### 2.6.2 Höyrykattilan tehon säätö

Höyryn kulutuksen noustessa laskee höyrykattilan paine. Tämän paineen mukaan ohjataan kattilan polttimen käynnistymistä tai polttimen tehon muutosta. Käsiteltävien kattiloiden kaikki polttimet ovat portaattomasti säätyviä, eli ne pyrkivät pitämään paineen vakiona. Tällaiset polttimet vähentävät käynnistyksestä aiheutuvia häviöitä.

### 2.6.3 Syöttövesisäiliön säädöt

Syöttövesisäiliön paine pidetään halutulla tasolla johtamalla höyryverkostosta höyryä paineen alennusventtiilin kautta syöttövesisäiliön höyrytilaan, ja käynnistettäessä myös vesitilaan. Veden pinta syöttövesisäiliössä pidetään asetusarvossaan johtamalla tarpeellinen määrä lisävettä syöttövesisäiliöön. /12/

### 3 KÄYTTÖTALOUS

#### 3.1 Hyötysuhteen määrittäminen suoralla menetelmällä

Käytännössä kattilan hyötysuhteella tarkoitetaan hyödyksi saatavan energian suhdetta kattilaan vietyyn energiaan:

$$\eta = \Phi_{\text{HYÖTY}} / \Phi_{\text{TUOTU}}$$

missä:

$\eta$  = hyötysuhde

$\Phi_{\text{HYÖTY}}$  = hyödyksi saatu energia

$\Phi_{\text{TUOTU}}$  = kattilaan tuotu energia

Tällä tavoin esitettyä hyötysuhdetta, jossa määritetään suoraan hyödyksi saatu energia ja kattilaan vietyt energiavirrat nimitetään kattilan hyötysuhteen suoraksi määrittämenetelmäksi. Hyödyksi saatava energia on höyryä, joka ohjataan kuluttajille. Kattilalaitokseen energiaa tuodaan polttoaineen, palamisilman, sekä omakäyttösähkön mukana. Pääasiassa tuotu energia on polttoaineen kemiallista energiaa. Polttoaineen esilämmityksen, ja palamisilman mukana tulevan lämmön osuus on käytännössä hyvin pieni. Polttoaineen esilämmityksen vaikutus pitäisi olla alle 1 % ja palamisilman mukana tulevan lämmön osuus on myös hyvin pieni ja se määräytyy ulkolämpötilan mukaan. Yleisesti voidaankin sanoa että kattilahuoneen lämpöhäviöt ovat noin 30 % kattilan lämpöhäviöistä. Näin ollen 2/3 kattilan lämpöhäviöistä saadaan talteen palamisilman esilämmittämiseen. Energiaa tuodaan myös omakäyttösähkön muodossa. Tämän vuoksi tuotu energia voidaan jakaa polttoaineen kemialliseen energiaan ja muihin tuotuihin energioihin.

$$\Phi_{\text{TUOTU}} = \Phi_{\text{p}} + \Phi_{\text{muut}}$$

missä:

$\Phi_{\text{p}}$  = polttoaineen kemiallinen energia

$\Phi_{\text{muut}}$  = muut tuodut energiat

Polttoaineen kemiallinen energian saa laskettua kaavalla

$$\Phi_p = m_p * H_u$$

missä:

$m_p$  = polttoainevirta, kg/s

$H_u$  = polttoaineen lämpöarvo, MJ/kg. /Liite 4/

Muut tuodut energiat koostuvat polttoaineen-, ja ilman esilämmityksestä sekä sähkölaitteiden ottamasta sähkötehosta.

$$\Phi_{\text{muut}} = \Phi_f + \Phi_i + P$$

missä:

$\Phi_f$  = esilämmitetyn polttoaineen mukana tuleva lämpöteho, kW

$\Phi_i$  = lämmenneen ilman mukana tuleva lämpöteho, kW

$P$  = sähkölaitteiden ottama sähköteho, kW.

Esilämmitettyyn polttoaineeseen sitoutunut lämpöteho saadaan laskettua kaavalla

$$\Phi_f = m_p * c_p * (T - T_0)$$

missä:

$m_p$  = polttoainevirta, kg/s

$c_p$  = polttoaineen ominaislämpö esilämmittimen välillä, kJ/kgK. /Liite 3/

$T$  = polttoaineen lämpötila kattilaan tullessa, °C

$T_0$  = vertailulämpötila=25°C.

Palamisilman mukana tuleva lämpöenergia saadaan laskettua kaavalla

$$\Phi_i = \lambda * c_i * \mu_i(\text{teor}) * m_p * (T_u - T_0)$$

missä:

$\lambda$  = ilmakerroin

$c_i$  = ilman ominaislämpö=1 kJ/kg K

$\mu_i(\text{teor})$  = stökiometrisen polton ilman tarve polttoainekiloa kohti, kg/kgpa /Liite 2/

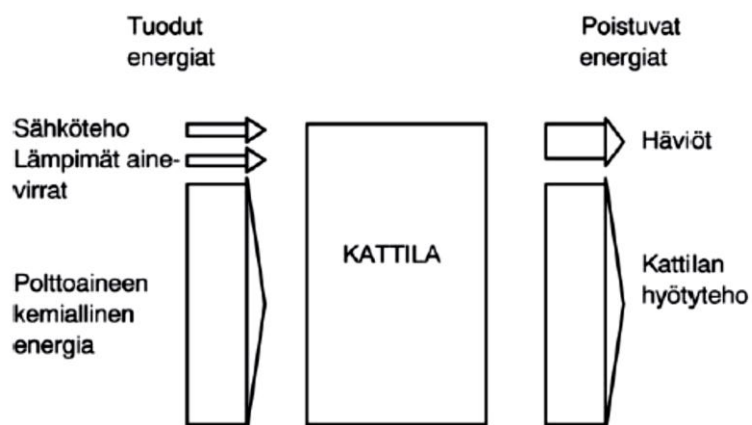
$m_p$  = polttoainevirta, kg/s

$T_u$  = ulkoilman lämpötila. (Vuoden keskilämpö Turussa on 6 °C.) /15/

$T_0$  = vertailulämpötila=25 °C.

Ilmakerroin lasketaan savukaasun happipitoisuuden mukaan. Koska ilmavirran ja teoreettisen savukaasuvirran suhde on raskasöljyn poltossa hyvin lähellä yhtä, voidaan hyvällä tarkkuudella käyttää laskuissa seuraavaa likiarvokaavaa.

$$\lambda = 21 / (21 - O_2 \text{ mitattu})$$



Kuva 10. Kattilan energiavirrat käytettäessä hyötysuhteen suoraa määrittämissä menetelmää.

Käytännössä hyötysuhteen määrittäminen suoralla menetelmällä soveltuu hyvin käytettäväksi öljykattiloille, koska polttoaineen kulutus vuositasolla voidaan määrittää riittä-

vän tarkasti. Siksi vuosihyötysuhteet on tässäkin työssä laskettu kyseisellä menetelmällä.

Haittana tässä menetelmässä on, ettei tiedetä eri häviöiden vaikutuksia mahdolliseen huonoon hyötysuhteeseen, eikä tällä menetelmällä laskettu hyötysuhde anna tietoa, mihin toimenpiteisiin tulisi ryhtyä hyötysuhteen parantamiseksi. /9/

### 3.1.1 Hyödyksi saatu lämpöteho

Hyödyksi saatu lämpöteho voidaan laskea kaavalla:

$$\Phi_{\text{HYÖTY}} = m_h * (h_2 - h_1)$$

missä:

$\Phi_{\text{HYÖTY}}$  = hyödyksi saatava lämpöteho, kW

$m_h$  = höyryn massavirta, kg/s

$h_2$  = höyryn entalpia kattilan jälkeen, kJ/kg

$h_1$  = höyryn entalpia ennen kattilaa, kJ/kg. /Liite 1/

Seuraavaan taulukkoon on laskettu tuodut energiavirrat, hyödyksi saatu energia ja niiden perusteella lasketut vuosihyötysuhteet eri vuosilta.

HÖYRY-KESKUS 2007	mp polttoaine virta, kg/s	Hu polttoaineen lämpöarvo, MJ/kg	$\Phi_P$ polttoaineen kemiallinen energia, kW	$\Phi_f$ esilämmitetyn polttoaineen mukana tuleva lämpöteho, kW	$\Phi_i$ lämmenneen ilman mukana tuleva lämpöteho, kW	P sähkölaitteiden ottama sähköteho, kW.	$\Phi_{TUOTU}$ Tuodut energiat yhteensä, kW	$\Phi_{HYÖTY}$ Hyödyksi saatu lämpöteho, kW	VUOSI- HYÖTYSUHDE 2007
KPS	0,0201	40,9	7 165 680	17 916	56 940	212023	7 452 559	5 800 000	0,78
JLS	0,1027	41,0	36 885 732	90 055	290 382	479 870	37 746 039	29 574 000	0,78
TYKS	0,0140	40,9	4 998 889	13 245	39 585	100475	5 152 194	4 019 000	0,78
ORION	0,0145	40,9	5 203 387	15 026	40 998	138039	5 397 450	4 183 000	0,77
HÖYRY-KESKUS 2008	mp polttoaine virta, kg/s	Hu polttoaineen lämpöarvo, MJ/kg	$\Phi_P$ polttoaineen kemiallinen energia, kW	$\Phi_f$ esilämmitetyn polttoaineen mukana tuleva lämpöteho, kW	$\Phi_i$ lämmenneen ilman mukana tuleva lämpöteho, kW	P sähkölaitteiden ottama sähköteho, kW.	$\Phi_{TUOTU}$ Tuodut energiat yhteensä, kW	$\Phi_{HYÖTY}$ Hyödyksi saatu lämpöteho, kW	VUOSI- HYÖTYSUHDE 2008
KPS	0,0233	40,9	8 348 017	20 768	64 438	208360	8 641 583	6 722 000	0,78
JLS	0,0994	41,0	35 700 504	87 161	281 052	475 845	36 544 562	28 642 000	0,78
TYKS	0,0094	40,9	3 374 251	8 893	26 578	67825	3 477 547	2 713 000	0,78
ORION	0,0146	40,9	5 237 471	15 130	41 281	138930	5 432 812	4 210 000	0,77
HÖYRY-KESKUS 2009	mp polttoaine virta, kg/s	Hu polttoaineen lämpöarvo, MJ/kg	$\Phi_P$ polttoaineen kemiallinen energia, kW	$\Phi_f$ esilämmitetyn polttoaineen mukana tuleva lämpöteho, kW	$\Phi_i$ lämmenneen ilman mukana tuleva lämpöteho, kW	P sähkölaitteiden ottama sähköteho, kW.	$\Phi_{TUOTU}$ Tuodut energiat yhteensä, kW	$\Phi_{HYÖTY}$ Hyödyksi saatu lämpöteho, kW	VUOSI- HYÖTYSUHDE 2009
KPS	0,0223	40,9	7 989 733	22 194	61 672	196142	8 269 741	6 420 000	0,78
JLS	0,0958	41,0	34 417 222	84 005	270 873	448 473	35 220 573	32 894 000	0,93
TYKS	0,0052	40,9	1 851 863	4 920	14 703	37225	1 908 711	1 489 000	0,78
ORION	0,0148	40,9	5 294 277	15 337	41 846	140448	5 491 908	4 256 000	0,77
HÖYRY-KESKUS 2010	mp polttoaine virta, kg/s	Hu polttoaineen lämpöarvo, MJ/kg	$\Phi_P$ polttoaineen kemiallinen energia, kW	$\Phi_f$ esilämmitetyn polttoaineen mukana tuleva lämpöteho, kW	$\Phi_i$ lämmenneen ilman mukana tuleva lämpöteho, kW	P sähkölaitteiden ottama sähköteho, kW.	$\Phi_{TUOTU}$ Tuodut energiat yhteensä, kW	$\Phi_{HYÖTY}$ Hyödyksi saatu lämpöteho, kW	VUOSI- HYÖTYSUHDE 2010
KPS	0,0249	40,9	8 929 835	22 194	70 404	200867	9 223 300	7 179 000	0,78
JLS	0,1047	41,0	37 617 499	91 809	296 037	420 084	38 425 429	33 938 000	0,88
TYKS	0,0125	40,9	4 495 590	11 826	35 343	90350	4 633 109	3 614 000	0,78
ORION	0,0163	40,9	5 850 971	16 892	46 088	155232	6 069 183	4 704 000	0,78
HÖYRY-KESKUS 2011	mp polttoaine virta, kg/s	Hu polttoaineen lämpöarvo, MJ/kg	$\Phi_P$ polttoaineen kemiallinen energia, kW	$\Phi_f$ esilämmitetyn polttoaineen mukana tuleva lämpöteho, kW	$\Phi_i$ lämmenneen ilman mukana tuleva lämpöteho, kW	P sähkölaitteiden ottama sähköteho, kW.	$\Phi_{TUOTU}$ Tuodut energiat yhteensä, kW	$\Phi_{HYÖTY}$ Hyödyksi saatu lämpöteho, kW	VUOSI- HYÖTYSUHDE 2011
KPS	0,0255	40,9	9 134 332	22 729	72 100	211973	9 441 134	7 343 200	0,78
JLS	0,0982	41,0	35 260 001	86 109	277 659	444 208	36 067 977	31 811 400	0,88
TYKS	0,0150	40,9	5 385 166	14 191	42 412	108230	5 549 999	4 329 200	0,78
ORION	0,0159	40,9	5 703 279	16 477	44 957	153900	5 918 613	4 584 900	0,77

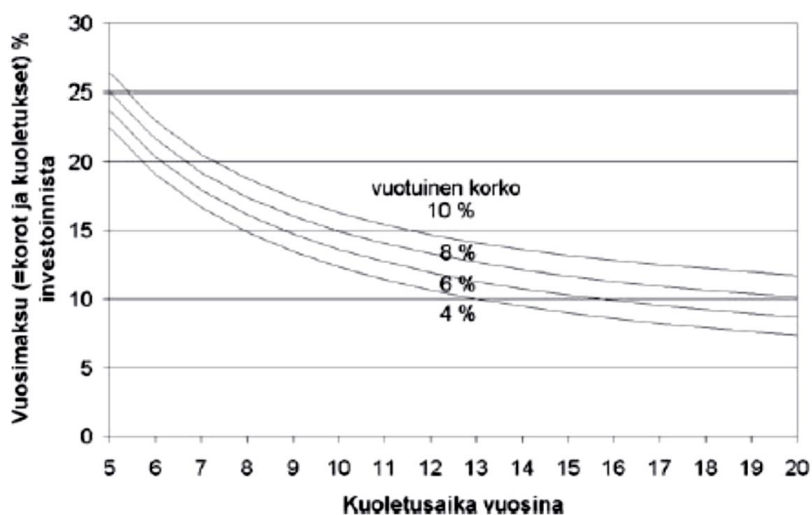


### 3.2 Höyryn tuotannon kustannukset

Höyryn hintaan vaikuttavat höyryn tuottamiseksi tehdyistä investoinneista aiheutuneet pääomakustannukset, sekä laitosten käyttökustannukset. Näitä ovat polttoainekustannukset, käyttöhenkilöstön tarve, huoltokustannukset sekä omakäyttösähkön tarve.

#### 3.2.1 Investoinnista aiheutuneet pääomakustannukset

Vuotuiset käyttökustannukset ja investointikustannukset on saatettava vertailukelpoiseen muotoon, jotta kokonaiskustannukset voidaan laskea. Tällöin tehtyyn investointiin kulunut pääoma muutetaan vuosikustannukseksi kertomalla investointiin kulunut summa korkotasosta ja laina-ajasta riippuvalla annuiteettikerroimella, joka saadaan kuvasta:



Kuva 11. Annuiteettikerroin

### 3.2.2 Käyttökustannukset

Laitosten käytöstä aiheutuvia kustannuksia ovat

- tarvittavan käyttöhenkilökunnan palkkaus
- tarvittavat huollot ja korjaukset
- käytetyn polttoaineen hankinta
- laitoksen omakäyttösähkön hankinta
- vesi- ja viemärimaksut.

Osa tuotetun höyryn hintaan vaikuttavista kustannuksista on muuttuvia ja osa kiinteitä kustannuksia. Kiinteitä kustannuksia ovat tuotetun höyryn määrästä riippumattomat kustannukset, kuten käyttöhenkilökunnan palkkaus, vuokrat ja vakuutukset. Muuttuvia kustannuksia puolestaan ovat tuotettuun höyryyn verrannolliset kustannukset, kuten polttoainekustannukset, vesi- ja viemäri kustannukset sekä sähkön kulutus. Huolto- ja käyttökustannukset jakaantuvat osin kiinteisiin ja osin muuttuviin kustannuksiin.

### 3.2.3 Polttoainekustannukset

Polttoaineen hankinta on merkittävin käyttökustannus höyryn tuotannossa. Koska hyötysuhde vaikuttaa oleellisesti polttoaineen kulutukseen, on sen parantaminen käyttäjän kannalta tärkein keino vaikuttaa höyryn tuotantokustannukseen. Muihin kustannustekijöihin, kuten polttoaineen tai sähkön hintaan ei käyttäjällä ole paljoa vaikutusvaltaa.

### 3.2.4 Käyttöhenkilöstön tarve

Nykyaikaisella automatiikalla varustettujen kattilalaitosten käyttöhenkilöstön tarve on huomattavan pieni. Automaation lisääntyminen antaa mahdollisuuden ns. kauko-

valvontaan, jossa yhdestä valvomosta voidaan seurata kaikkia laitoksia samanaikaisesti. /10/

Normaalissa käytössä kattilalaitoksilla seurataan päivittäin

- kattilan painetta ja syöttöveden lämpötilaa
- savukaasun lämpötilaa
- polttimen öljynpainetta ja lämpötilaa (viskositeetti)
- öljymäärää
- savun tummuutta.

Viikoittaiseen seurantaan / huoltoon kuuluu

- polttimien toiminta ohjearvojen mukaan
- öljynsuodattimien puhdistus
- pohjanpuhallus
- hälytyslaitteiden toiminnan tarkistus.
- savukaasun lämpötila ja nuohous tarvittaessa.

Kuukausittaiseen seurantaan / huoltoon kuuluu

- polttimien ja öljynsuodattimien puhdistus
- kattilan säätö-, varmistus ja varolaitteiden tarkistus ja testaus
- kierre- ja laippaliitännien sekä venttiilien tiivisteiden silmämääräinen tarkistus
- savukaasupuolen luukkujen tiivisteiden tarkistus ja uusinta tarvittaessa.
- Lisäksi kaikilta laitoksilta otetaan kerran kuukaudessa vesinäyte, joka lähetetään laboratorioon mittauksia varten. Vesinäytteistä mitataan pH-arvo, kovuus, sähkönjohtokyky, p-luku sekä rauta- ja kuparipitoisuudet. /11/

### 3.2.5 Huollon tarve

Höyrylaitoksilla käyttöhenkilöstön säännöllisiin huoltotehtäviin kuuluvat mm. kattiloiden säännöllinen nuohous, sekä suodattimien puhdistukset. Erilaisia korjaus toimenpiteitä tulee myös aika ajoin.

Öljykattilaan kertyy aina jonkin verran palamatonta nokea, koksia ja tuhkaa lämpöpinnoille pölymäiseksi kerrostumaksi. Kerrostumien tarttuvuus on sitä suurempi, mitä pienempiä hiukkaset ovat, ja mitä kauemmin ne saavat sintraantumalla tarttua toisiinsa, ja lämpöpintoihin kiinni. Irtonaiset pölyhiukkaset on helppo poistaa kattilasta nuohoamalla harjalla, tai höyryllä, jos se on mahdollista.

Pienissä raskasöljykattiloissa nuohous suoritetaan yleensä harjaamalla joko käsin tai koneellisesti. Jälkimmäinen on suositeltavampi vaihtoehto työn laadun takia. Harjauksen aikana pölyäminen estetään liittämällä harjaan pölynimuri, joka on varustettu ennen imurin suodatinta olevalla tuhkan erotusastialla.

Varsinkin suuremmissa tulitorvi-tuliputkikattiloissa höyryn käyttö nuohouksessa on suositeltavaa. Höyrynuohous voidaan suorittaa kattilan käydessä, ja se voidaan helposti automatisoida.

Likakerroksien vaikutuksesta lämmön siirtyminen savukaasusta lämpöpintaan huoneeseen, ja puhdistustarve näkyy savukaasujen lämpötilan kasvuna. Lämpötilan nousun vaikutuksesta hyötysuhde laskee noin 1%:n savukaasun lämpötilan noustessa 25°C. Tältä pohjalta voidaan löytää optimaalinen nuohousväli, joka johtaa pienimpiin kokonaiskustannuksiin.

Mikäli nuohous voidaan suorittaa automaattisesti ilman, että kattilaa tarvitsee pysäyttää, ei savukaasun loppulämpötila saisi nousta yli 10 °C:ta nuohousvälillä. Mikäli nuohous edellyttää kattilan pysäyttämistä, nuohouskustannukset kasvavat luonnollisesti suuremmiksi. Tällöin myös savukaasujen lämpötilan sallitaan likaantumisen vuoksi nousta huomattavasti enemmän, jopa 50–100 °C. Pienemmissä kattiloissa sallitaan suurempi lämpötilan nousu kuin isommissa.

Mikäli kattila likaantuu niin pahoin, ettei normaali harjaus johda toivottuun tulokseen, on suoritettava höyrynuohous tai vesipesu korkeapainepesurilla. Työhön tarvittava aika riippuu kattilan koosta ja kerrostumien paksuudesta. Esimerkiksi 4 MW kattilan puhdistukseen, jonka lämpöpinnoilla on 5 mm:n paksu kiinteä likakerros, kuluu aikaa noin yksi päivä. Kun tähän lisätään kattilan alasajoaika ja nuohouksen jälkeinen ylösajo eli paineen nosto, on kattila poissa tuotannosta vähintään kaksi vuorokautta.

Nuohoustyötä voidaan helpottaa käyttämällä kerrostumia pehmentäviä kemikaaleja nuohouksen yhteydessä. Mikäli kattilaa ei käynnistetä höyry- tai vesinuohouksen jälkeen, on kattila kuitenkin kuivattava joko omalla polttimella, tai kierrättämällä muissa kattiloissa lämmitettyä vettä puhdistetussa kattilassa. Näin vältetään turhalta korroosiolta.

Yleisesti kannattavuuslaskelmissa arvioidaan höyrykeskuksien huolto- ja korjauskustannuksiksi n. 1-2 % koneiden, laitteiden ja rakennuksien hankintahinnasta. Tämä luku pitää sisällään myös tarvittavat palovakuutukset, jotka ovat keskimäärin 0,1-0,2 % laitoksen jälleenhankintahinnasta. /13/

Vuosittaiseen huolto-ohjelmaan kuuluu

- kattilan tulipintojen perusteellinen puhdistus (suoritetaan ennen seisokkia)
- kattilan yleiskunnon tarkistus
- havaittujen syöpymien korjaus
- massauksien tarkistus ja mahdollisten vaurioiden korjaus
- kattilan vesipuolen tarkistus, puhdistus ja tiivisteiden vaihto
- polttimien vuosihuolto
- muiden laitteiden huolto ohjeiden mukaan
- varaosien määrän tarkistus ja varastojen täydennys
- kattilan säätö- ja varmistuslaitteiden huolto ja koestus /14/.

### 3.2.6 Omakäyttösähkön tarve

Lämpökeskuksissa tarvitaan sähköä mm. polttimien, pumppujen ja puhaltimien käyttöön sekä automaation toimintaan. Sähkön kulutus on keskimäärin 1-4 %:n välillä verrattuna laitoksen höyryn tuottoon.

### 3.3 Tuotetun lämmön hinta

Jakamalla kokonaiskustannukset vuoden aikana tuotetulla energialla saadaan selville vuodessa tuotetun energian keskihinta.

**energian hinta = kokonaiskustannukset / tuotettu energia**

Tuotetun energian määrää laskettaessa käytetään usein nk. huipunkäyttöaika, joka on tyypillisesti 2000-3000h. Sen avulla laitoksen tuottama vuotuinen energia voidaan laskea kaavalla:

**vuotuinen energia = laitoksen nimellisteho \* huipunkäyttöaika**

Kun tiedetään vuotuinen energia ja laitoksen nimellisteho, saadaan kaavasta huipunkäyttöaika, jonka avulla voidaan verrata kattiloiden tehollista käyntiaikaa.

**huipunkäyttöaika = vuotuinen energia / laitoksen nimellisteho**

Höyrykeskusten huipunkäyttöajat eri vuosilta:

Huipun käyttöaika	2007	2008	2009	2010	2011
KPS	1160	1344	1284	1456	1469
JLS	1848	1790	2056	2121	1988
TYKS	1058	714	391	951	1139
ORION	721	725	733	811	791

Höyrykattiloiden käyntitunnit eri vuosilta:

Käyntitunnit	2007	2008	2009	2010	2011
KPS 1	2048	1479	659	2065	2402
KPS 2	3875	4980	4857	4025	4330
JLS 1	7959	7634	6482	7100	7019
JLS 2	613	589	918	612	1037
TYKS 1	3718	3490	3512	3747	3624
TYKS 2	3312	3054	2866	3172	3730
Orion 1	552	633	131	1	443
Orion 2	4959	4905	6384	6378	5854

Höyrykattiloiden käyntitunnit prosentteina eri vuosilta:

Käyntitunnit prosentteina	2007	2008	2009	2010	2011
KPS 1	34,6	22,8	11,6	33,9	35,6
KPS 2	65,4	77,2	88,4	66,1	64,4
JLS 1	92,8	92,8	87,6	92,1	87,1
JLS 2	7,2	7,2	12,4	7,9	12,9
TYKS 1	52,9	53,3	55	54,1	49,3
TYKS 2	47,1	46,7	45	45,9	50,7
Orion 1	10	11,4	2	0,002	7
Orion 2	90	88,6	98	99,98	93

### 3.4 Kattilalaitosten kattiloiden tekniset tiedot

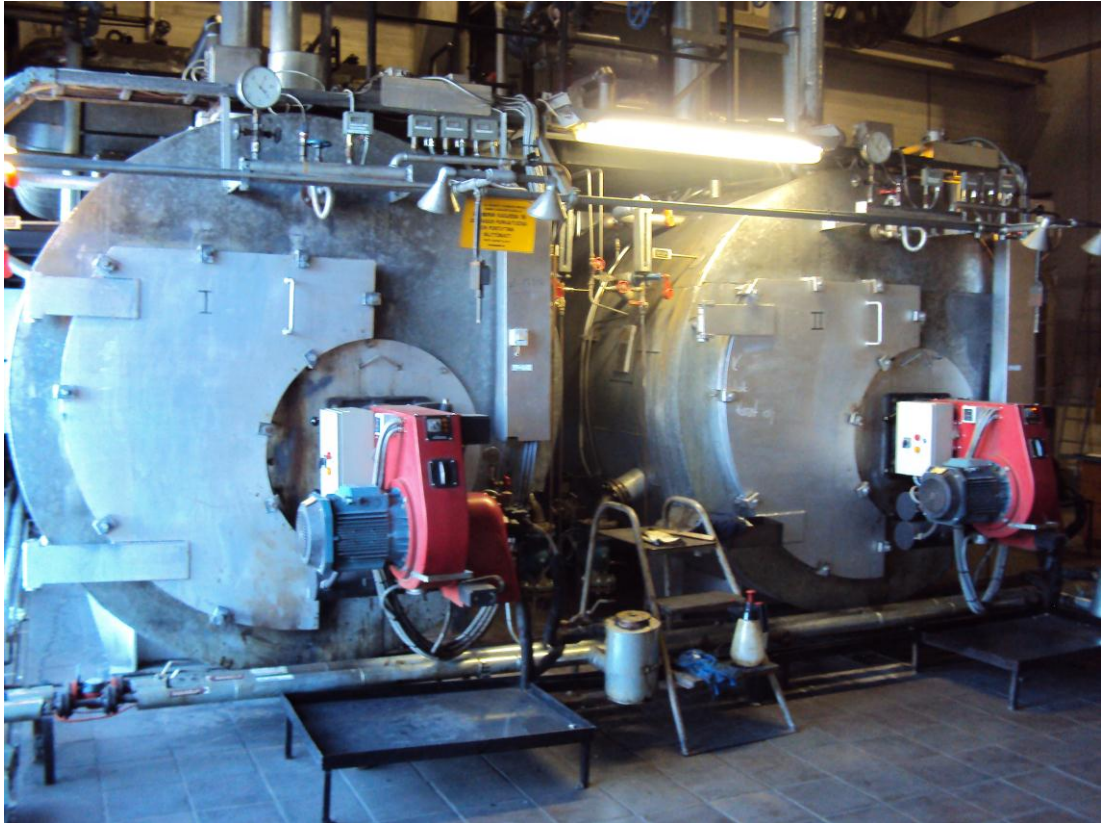


Kuva 12. Kaupunginsairaalan kattilalaitos (KPS, Turun tekstiilihuolto) sisältää kaksi prosessihöyryn tuotannossa olevaa tulitorvi-tuliputkikattilaa.

Kattiloiden tekniset tiedot:

kattila	K 1 Vapor 1989	K 2 Vapor 1989
paine	16 bar	16 bar
teho	1 MW	4 MW
tilavuus	4,5 m <sup>3</sup>	14,8 m <sup>3</sup>
höyryn tuotto	0,42 kg/s	1,67 kg/s





Kuva 13. TYKS:n kattilalaitos sisältää kaksi samanlaista prosessihöyryn tuotannossa olevaa tulitorvi-tuliputkikattilaa, joiden kummankin teho on 1,9 MW.

Kattiloiden tekniset tiedot:

kattila	Vähäsilta Oy 1985
paine	16 bar
teho	1.9 MW
tilavuus	8,4 m <sup>3</sup>
höyryn tuotto	0,78 kg/s



Kuva 14. Orionin/Kiilto Cleanin kattilalaitos sisältää kaksi prosessihöyryn tuotannossa olevaa tulitorvi-tuliputkikattilaa.

Kattiloiden tekniset tiedot:

kattila	K 1 Vapor TTK100 1995	K 2 Noviter NST 2005
paine	13 bar	16 bar
teho	2,8 MW	3 MW
tilavuus	10,5 m <sup>3</sup>	13,5 m <sup>3</sup>
höyryn tuotto	1,05 kg/s	1,29 kg/s



Kuva 15. Jalostajan (JLS) kattilalaitos sisältää kaksi samanlaista tulitorvi tuliputkikattilaa, joiden kummankin teho on 8 MW.

Kattiloiden tekniset tiedot:

valmistaja	Höyrytys Oy
tyyppi	Vapor TTK-300
paine	13 bar
teho	8,0 MW
tilavuus	29,4 m <sup>3</sup>
höyryn tuotto	3,25 kg/s

## 3.5 Höyryn tuotantoyksiköiden mittaukset vuosina 2007 – 2011

Seuraavassa taulukossa on esitetty kyseisistä höyrykeskuksista mitattuja prosessi-  
arvoja. Näitä ovat tuotetun lämmön määrä, kulutetun polttoaineen määrä, tuotetun höy-  
ryn määrä, hyödyksi saatavan lauhteen määrä, prosessissa kulutetun lisäveden määrä,  
kulutetun sähkön määrä, sekä polttoaineen sisältämä energia ja polttoaineen tehollinen  
lämpöarvo.

HOYRYKESKUSMITTAUKSET		VUOSI		2007						
Laitos	Osoite	Lämmön tuotanto [MWh]	Polttoaine [ t ]	Höyrymäärä [ t ]	Lauhde [ m³ ]	Lisävesi [ m³ ]	Kokonais vesi [ m³ ]	Sähkö [ MWh ]	Polttoaineen energia [MJ]	Tehollinen lämpöarvo MJ/kg
KPS	Kunnallissairaalan tie	5800	635	5838,0	5046,6	5176	7168	212,023	26 098 500	40,9
ORION	Tenkströminkatu 6	4183	458	4503,4	427,2	2988	5398	138,039	18 823 800	41
TYKS	Hämeentie 7	4019	440	5420,0	288,0	3534	5690	100,475	18 084 000	40,9
JLS	Pansion tie 45	29574	3238	41366,0	27682,0	7910	16193	479,870	133 081 800	40,9
HOYRYKESKUSMITTAUKSET		VUOSI		2008						
Laitos	Osoite	Lämmön tuotanto [MWh]	Polttoaine [ t ]	Höyrymäärä [ t ]	Lauhde [ m³ ]	Lisävesi [ m³ ]	Kokonais vesi [ m³ ]	Sähkö [ MWh ]	Polttoaineen energia [MJ]	Tehollinen lämpöarvo MJ/kg
KPS	Kunnallissairaalan tie	6722	736	9630,6	576,8	6036	7987	208,360	30 249 600	40,9
ORION	Tenkströminkatu 6	4210	461	6032,2	419,5	2932	5277	138,930	18 947 100	41
TYKS	Hämeentie 7	2713	297	3886,2	271,8	2114	3404	67,825	12 206 700	40,9
JLS	Pansion tie 45	28642	3136	46163,9	2957,9	15285	18310	475,845	128 889 600	40,9
HOYRYKESKUSMITTAUKSET		VUOSI		2009						
Laitos	Osoite	Lämmön tuotanto [MWh]	Polttoaine [ t ]	Höyrymäärä [ t ]	Lauhde [ m³ ]	Lisävesi [ m³ ]	Kokonais vesi [ m³ ]	Sähkö [ MWh ]	Polttoaineen energia [MJ]	Tehollinen lämpöarvo MJ/kg
KPS	Kunnallissairaalan tie	6421	703	7382	5813	1758	2183	196,142	28 893 300	40,9
ORION	Tenkströminkatu 6	4256	466	5500	752	3657	6582	140,448	19 152 600	41
TYKS	Hämeentie 7	1489	163	5336	283,9	4537	7304	37,225	6 699 300	40,9
JLS	Pansion tie 45	32894	3022	42672	28957	18363	19022	448,473	124 204 200	40,9
HOYRYKESKUSMITTAUKSET		VUOSI		2010						
Laitos	Osoite	Lämmön tuotanto [MWh]	Polttoaine [ t ]	Höyrymäärä [ t ]	Lauhde [ m³ ]	Lisävesi [ m³ ]	Kokonais vesi [ m³ ]	Sähkö [ MWh ]	Polttoaineen energia [MJ]	Tehollinen lämpöarvo MJ/kg
KPS	Kunnallissairaalan tie	7 179	786,0	8389	6481	5576	1193	200,867	32 304 600	40,9
ORION	Tenkströminkatu 6	4 704	515,0	5551	749	6730	12316	155,232	21 166 500	41
TYKS	Hämeentie 7	3 614	395,7	5692	293	3474	5593	90,35	16 264 914	40,9
JLS	Pansion tie 45	33 938	3303,0	43876	27803	15754	18905	420,084	135753300	40,9
HOYRYKESKUSMITTAUKSET		VUOSI		2011						
Laitos	Osoite	Lämmön tuotanto [MWh]	Polttoaine [ t ]	Höyrymäärä [ t ]	Lauhde [ m³ ]	Lisävesi [ m³ ]	Kokonais vesi [ m³ ]	Sähkö [ MWh ]	Polttoaineen energia [MJ]	Tehollinen lämpöarvo MJ/kg
KPS	Kunnallissairaalan tie	7343,2	804	8898	6939	2061	3380	211,973	33 044 400	40,9
ORION	Tenkströminkatu 6	4584,9	502	6069	780	5100	6956	153,900	20 632 200	41
TYKS	Hämeentie 7	4329,2	474	5639	275	3425	5520	108,230	19 481 400	40,9
JLS	Pansion tie 45	31811,4	3096	43423	30039	9345	14422	444,208	127 245 600	40,9

### 3.6 Höyrykattilalaitosten tulot ja menot vuosina 2007 – 2011

Näitä kustannustietoja ei voida osakeyhtiölain perusteella julkistaa, joten ne esitetään vain työpaikalle jäävässä versiossa.

## 4 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli käsitellä Turku Energia Oy:n neljää höyryn tuotantoyksikköä sekä vertailla niiden käyttötaloutta. Tarkoituksena oli selvittää kyseisten laitosten käyttökustannuksia ja energiataloutta eli kustannus-hyötysuhdetta vuosina 2007 - 2011. Osakeyhtiölaki kuitenkin kieltää kustannuksien julkistamisen, joten niiden esittäminen jää vain töihin jäävään versioon.

Teoreettisessa viitekehyksessä pohjatiedoksi kerrottiin kyseisten höyryn tuotantolaitosten rakenteista ja toimintaperiaatteista. Kaikki kahdeksan höyrykattilaa ovat tyypiltään tulitorvi-tuliputkikattiloita, niiden kokoluokka vain vaihtelee. Lisäksi perhdyttiin höyrykattilalaitosten käyttötalouteen. Työssä kerrottiin miten hyötysuhteen määrittäminen tapahtuu, sekä käsiteltiin höyryn tuotannon kuluja ja kustannuksia. Hyötysuhteen määrittäminen suoralla menetelmällä ei kuitenkaan anna konkreettista tietoa, mihin toimenpiteisiin tulisi ryhtyä sen parantamiseksi. Sen sijaan huipunkäyttöajat antavat tietoa laitosten tehollisista käyntiajoista. Tuntimäärien ollessa pieniä lisääntyvät luonnollisesti kattiloiden tuuletus-, läpivirtaus- ja lämmityshäviöt. Tämän vuoksi huipunkäyttöajoissa tulisi pyrkiä keskimääräisiin 2000- 3000 tunnin arvoihin.

Laadittujen taulukkojen perusteella voidaan todeta Kaupunginsairaalan höyrykeskuksen vuosihyötysuhteen jäävän tasaisesti joka vuosi 78 %:iin, joka on selvästi alle höyrykattiloiden tyypillisen 93 %:n hyötysuhteen. Laitoksen sähkön kulutus on hieman korkeampi, kuin muissa laitoksissa. Tämä osaltaan heikentää hyötysuhdetta. Laitoksen huipunkäyttöaika jää myös alle yleisen tason. Tämä kertoo pienestä höyryn kulutuksesta laitoksen tehoon nähden. Hyötysuhdetta ja huipunkäyttöaika parantaakseen täytyisi höyryn kulutus optimoida suuremman kattilan tuotolle ja jättää pienempi yhden megawatin kattila pois tuotannosta. Tämä toimenpide tuskin haittaisi käyttövarmuutta, koska pienemmän kattilan teho ei yksinään riitä tarvittavan tehon tuottamiseen.

Jalostajan höyrykeskuksen hyötysuhde lähestyy tyypillistä yli 90 %:n arvoa. Parhaimpina vuotena 2009 ollen jopa 93 %. Sähkön kulutus pysyy joka vuosi hyvällä noin 1,5 % tasolla. Laitoksen kohtuullinen huipunkäyttöaika kertoo tuotannon ja ku-

lutuksen olevan suurin piirtein tasapainossa. Näitä arvoja voisi vielä saada nostettua jakamalla laitoksen kuorman tasaisemmin molemmille kattiloille.

Tyksin höyrykeskuksen hyötysuhde jää joka vuosi 78 %:iin. Tämä on siis myös alle tyypillisen arvon. Laitoksen alhaiset huipunkäyttöajat kertovat, että höyryn tuotantoon riittäisi vain toinen kattila. Hyötysuhdetta voisi parantaa tuottamalla höyry yhdellä kattilalla ja pitämällä kattiloiden vaihtoväli riittävän pitkänä. Näin saataisiin pidempiä käyntijaksoja kattiloille ja vähennettäisiin turhia tuuletus-, läpivirtaus- ja lämmityshäviöitä.

Orionin höyrykeskuksen hyötysuhde jää vuosittain myös alle 80 %:n. Sähkön kulu- tusta nostaa kahden kattilan lyhyet käyntijaksot. Alhaiset alle 1000 tunnin huipun- käyttöajat kertovat, että höyry pitäisi tuottaa vain yhdellä kattilalla ja pitämällä katti- loiden vaihtoväli riittävän pitkänä. Näin saataisiin myös pidempiä käyntijaksoja ja vähennettäisiin turhia häviöitä. Tällä saataisiin myös kattiloiden väliset kuormitus- erot tasoitettua.

## LÄHTEET

- 1 Häkkinen, P. 2008. Laivan koneistot. Otaniemi.124 s.
- 2 Oilon Oy:n internet sivut. Viitattu 9.5.2012. Saatavissa. [www.oilon.com](http://www.oilon.com)
- 3 Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 1994. Höyrykattilatekniikka. Helsinki. Painatuskeskus Oy. 122-124 s.
- 4 Neste Oil Oyj. 2005. Raskaan polttoöljyn käyttöopas. 90 s.
- 5 Perttula. J. 2000. Energiatekniikka. Porvoo, WS Bookwell Oy. 96 s.
- 6 Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 1994. Höyrykattilatekniikka. Helsinki. Painatuskeskus Oy. 278-287 s.
- 7 Ashland Industries Finland Oy. Tuoteselostus.
- 8 Hyxo Oy. 2008. Eurowater. Automaattinen vedenpehmittin. Asennus- ja käyttöohje.
- 9 Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 1994. Höyrykattilatekniikka. Helsinki. Painatuskeskus Oy. 92 s.
- 10 Neste Oil Oyj. 2005. Raskaan polttoöljyn käyttöopas. 106 s.
- 11 Kpa Unicon Oy. 2004. Prosessitekkinen käyttöohje.
- 12 Neste Oil Oyj. 2005. Raskaan polttoöljyn käyttöopas. 93 s.
- 13 Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 1994. Höyrykattilatekniikka. Helsinki. Painatuskeskus Oy.193 s.
- 14 Noviter Oy. 2005. Höyrykattilan käyttö- ja huolto-ohje.
- 15 Saatavissa. [www.ilmatieteenlaitos.fi](http://www.ilmatieteenlaitos.fi)



# LIITE 1

Kylläisen veden ja höyryn ominaisuuksia. Tarvitaan laskettaessa hyödyksi saatua lämpötehoa.

Lite 2

## Höyrytaulukko

(Kylläisen veden ja höyryn ominaisuuksia)

Lämpötila t °C	Paine p bar	Ominaisilavuus		Entalpia		Höyrystymis- lämpö l kJ/kg
		vesi v' dm <sup>3</sup> /kg	höyry v'' m <sup>3</sup> /kg	vesi h' kJ/kg	höyry h'' kJ/kg	
0	0,006107	1,0002	206,3	0,00	2500,5	2500,5
5	0,008722	1,0000	147,1	21,05	2509,7	2488,6
10	0,012275	1,0002	106,4	42,03	2518,9	2476,9
15	0,017045	1,0008	77,96	62,96	2528,1	2465,1
20	0,02337	1,0017	57,84	83,86	2537,3	2453,4
25	0,03166	1,0029	43,41	104,74	2546,4	2441,7
30	0,04241	1,0043	32,94	125,61	2555,5	2429,9
35	0,05621	1,0059	25,26	146,47	2564,5	2418,0
40	0,07374	1,0078	19,56	167,34	2573,5	2406,2
45	0,09581	1,0099	15,28	188,22	2582,4	2394,2
50	0,12334	1,0121	12,05	209,11	2591,3	2382,2
55	0,15740	1,0146	9,583	230,00	2600,1	2370,1
60	0,1992	1,0172	7,682	250,91	2608,8	2357,9
65	0,2501	1,0200	6,205	271,84	2617,4	2345,5
70	0,3116	1,0229	5,048	292,78	2625,9	2333,1
75	0,3855	1,0260	4,135	313,74	2634,2	2320,5
80	0,4736	1,0293	3,410	334,72	2642,5	2307,8
85	0,5780	1,0327	2,829	355,72	2650,7	2295,0
90	0,7011	1,0363	2,361	376,75	2658,7	2281,9
95	0,8453	1,0400	1,982	397,80	2666,6	2268,8
100	1,0132	1,0438	1,673	418,88	2674,4	2255,5
105	1,2080	1,0479	1,419	439,99	2682,1	2242,1
110	1,4326	1,0520	1,210	461,13	2689,9	2228,5
115	1,6905	1,0563	1,036	482,31	2697,0	2214,7
120	1,9853	1,0608	0,8913	503,5	2704,2	2200,7
125	2,3208	1,0654	0,7700	524,8	2711,4	2186,6
130	2,7011	1,0702	0,6679	546,1	2718,3	2172,2
135	3,131	1,0751	0,5817	567,5	2725,1	2157,6
140	3,614	1,0802	0,5084	588,9	2731,8	2142,9
145	4,155	1,0855	0,4459	610,4	2738,3	2127,9

Lämpötila t °C	Paine p bar	Ominaisilavuus		Entalpia		Höyrystymis- lämpö l kJ/kg
		vesi v' dm <sup>3</sup> /kg	höyry v'' m <sup>3</sup> /kg	vesi h' kJ/kg	höyry h'' kJ/kg	
155	5,433	1,0966	0,3464	653,5	2750,6	2097,1
160	6,180	1,1024	0,3068	675,2	2756,5	2081,3
165	7,008	1,1085	0,2724	696,9	2762,2	2065,3
170	7,920	1,1147	0,2426	718,8	2767,6	2048,8
175	8,925	1,1211	0,2166	740,7	2772,7	2032,0
180	10,027	1,1278	0,1939	762,7	2777,6	2014,9
185	11,234	1,1347	0,1740	784,8	2782,1	1997,3
190	12,552	1,1418	0,1564	807,0	2786,3	1979,3
195	13,989	1,1491	0,1409	829,42	2790,2	1960,8
200	15,551	1,1568	0,1273	851,8	2793,7	1941,9
205	17,245	1,1647	0,1151	874,4	2796,8	1922,4
210	19,080	1,1729	0,1043	897,1	2799,4	1902,3
215	21,063	1,1814	0,09471	920,0	2801,7	1881,7
220	23,201	1,1903	0,08611	943,0	2803,4	1860,4
225	25,504	1,1994	0,07841	966,2	2804,6	1838,4
230	27,979	1,2090	0,07150	989,6	2805,4	1815,8
235	30,635	1,2190	0,06528	1013,2	2805,5	1792,4
240	33,480	1,2293	0,05967	1036,9	2805,1	1768,2
245	36,524	1,2402	0,05460	1060,9	2804,1	1743,3
250	39,78	1,2515	0,05002	1085,1	2802,5	1717,4
255	43,24	1,2633	0,04586	1109,5	2800,3	1690,7
260	46,94	1,2757	0,04209	1134,3	2797,4	1663,1
265	50,87	1,2888	0,03865	1159,3	2793,8	1634,5
270	55,05	1,3025	0,03552	1184,5	2789,5	1604,9
275	59,49	1,3169	0,03266	1210,2	2784,5	1574,3
280	64,19	1,3322	0,03005	1236,1	2778,7	1542,5
285	69,17	1,3483	0,02766	1262,5	2772,2	1509,6
290	74,45	1,3655	0,02546	1289,3	2764,9	1475,6
295	80,03	1,3837	0,02345	1316,5	2756,9	1440,2

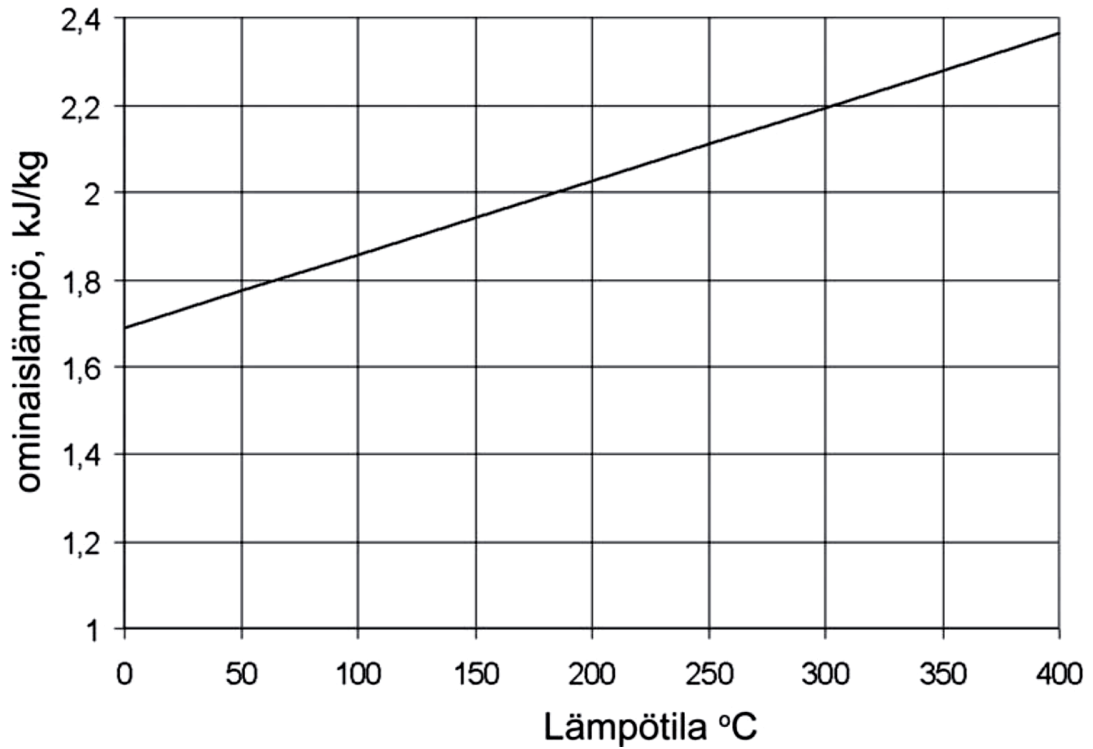
LIITE 2

Öljy- ja kaasupolttoaineiden polton kaasuvirrat ( $\lambda=1$ ). Tarvitaan laskettaessa palamisilman mukana tuleva lämpöenergia.

		Raskas polttoöljy	Kevyt polttoöljy	Maakaasu	Nestekaasu propaani
Hapentarve	kmol/kgpa	0.0984	0.106	0.124	0.113
	kg/kgpa	3.15	3.39	3.97	3.63
Ilmantarve	kmol/kgpa	0.471	0.505	0.594	0.545
	m <sup>3</sup> n/kgpa	10.6	11.3	13.3	12.2
	kg/kgpa	13.7	14.6	17.2	15.7
Kostea savukaasuvirta	kmol/kgpa	0.498	0.540	0.653	0.591
	m <sup>3</sup> n/kgpa	11.1	12.1	14.7	13.2
	kg/kgpa	14.6	15.6	18.1	16.7
Kuiva savukaasuvirta	kmol/kgpa	0.459	0.467	0.530	0.496
	m <sup>3</sup> n/kgpa	10.0	10.5	11.9	11.1
	kg/kgpa	13.7	14.3	15.9	15.0
Savukaasun molekyylipaino kg/kmol	kosteat kaasut	29.3	28.9	27.7	28.4
	kuivat kaasut	30.8	30.6	30.0	30.3
Savukaasun mooliosuudet	N <sub>2</sub>	0.751	0.741	0.716	0.724
		0.836	0.847	0.883	0.862
	H <sub>2</sub> O	0.101	0.126	0.189	0.161
		0.0	0.0	0.0	0.0
<u>kosteat</u> kuivat	CO <sub>2</sub>	0.147	0.133	0.095	0.116
		0.164	0.152	0.117	0.138
SO <sub>2</sub>	0.0006	0.0001	0.0	0.0	
	0.0007	0.0001	0.0	0.0	
Savukaasun tiheys kg/m <sup>3</sup> n	kosteat kaasut	1.31	1.29	1.23	1.26
	kuivat kaasut	1.37	1.36	1.34	1.35
X <sub>CO2maks</sub>	kosteat kaasut	0.147	0.133	0,095	0.116
mooliosuus	kuivat kaasut	0.164	0.152	0.117	0.138

### LIITE 3

Polttoöljyjen keskimääräinen ominaislämpö, kJ/kg K. Tarvitaan laskettaessa esilämmitettyyn polttoaineeseen sitoutunut lämpöteho.



Kuvasta keskimääräinen ominaislämpö välillä  $T+T_1/2$  saadaan lukemalla ominaislämmön arvo keskilämpötilan kohdalta. Esimerkiksi lämmitettäessä öljyä 0 °C:sta 100 °C:een, jolloin keskilämpötila on 50 °C, on ominaislämpö 1,77 kJ/kg K.

LIITE 4

Raskaan polttoöljyn tuotetiedote, josta löytyy laskuissa käytetty tehollinen lämpöarvo. Öljyn laatu POR 180. Käytetään KPS:n, TYKS:n ja ORION:n kattilalaitoksilla.



Päivitetty: 01.07.2008 1 (2)

TUOTETIEDOTE PRODUKTDATA PRODUCT DATA SHEET	RASKAS POLTTOÖLJY 180 VÄHÄRIKKINEN TUNG ELDNINGSOLJA 180 LÅG SVAVELHALT HEAVY FUEL OIL 180 LOW SULPHUR			LYHENNE: St1 Raskas 180 FÖRKORTNING: St1 Tung 180 ABBREVIATION: St1 Heavy 180	
Ominaisuus Egenskap Property	Yksikkö Enhet Unit	Laaturaja Kvalitetskrav Specification		Tyypillinen arvo Typvärde Typical analysis	Määrittäminen Testmetod Test method
		min.	max.		
Rikki <sup>1)</sup> Svavelhalt <sup>1)</sup> Sulphur content <sup>1)</sup>	p-% mass-% % m/m		1,0	0,9	EN ISO 8754 NM 380
Leimahduspiste <sup>2)</sup> Flampunkt <sup>2)</sup> Flash point <sup>2)</sup>	°C	65		80	EN ISO 2719
Tiheys, 15 °C Densitet vid 15 °C Density at 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	910	1020	990	EN ISO 12185
Viskositeetti, 80 °C Viskositet vid 80 °C Viscosity at 80 °C	mm <sup>2</sup> /s	35	43	41	EN ISO 3104
Viskositeetti, 50 °C (laskettu) <sup>3)</sup> Viskositet vid 50 °C (beräknad) <sup>3)</sup> Viscosity at 50 °C (calculated) <sup>3)</sup>	mm <sup>2</sup> /s	140	180	170	EN ISO 3104
Hiilijäännös, MCR Kokstal, MCR Carbon residue, MCR	p-% mass-% % m/m		15	10	EN ISO 10370
Asfalteenit Asfaltener Asphaltenes	p-% mass-% % m/m			4	DIN 51595
Jähmepiste Lågsta flyttemperatur Pour point	°C		+ 15	< + 5	ISO 3016 ASTM D 5950
Vesi Vatten Water content	p-% mass-% % m/m		0,7	0,1	ISO 3733 ISO 10336 M
Kokonaissedimentti Sediment Total sediment	p-% mass-% % m/m		0,15	0,03	ISO 10307-1
Tuhka Askhalt Ash content	p-% mass-% % m/m		0,15	0,03	EN ISO 6245
Tehollinen lämpöarvo, mitattu Effektivt värmevärde, uppmätat Specific energy, calculated, measured	MJ/kg	40,2		41	ASTM D 240
Hiilipitoisuus Kolhalt Carbon content	Wt-%	Ilmoitetaan Rapporterat reported			D5291
Tyypipitoisuus Krave Nitrogen		Ilmoitetaan Rapporterat reported			D5291
Vanadiini Vanadin Vanadium	mg/kg		200	40	NM 122 ISO 10478 M
Nikkeli Nickel Nickel	mg/kg		100	20	NM 122 ISO 10478 M
Palamiskatalyytti Förbränningskatalyt Burning catalyst		+ <sup>4)</sup>		+	

Öljyn laatu POR 420. Käytetään Jalostajan kattilalaitoksella.



Päivitetty: 01.07.2008 1 (2)

TUOTETIEDOTE PRODUKTDATA PRODUCT DATA SHEET	RASKAS POLTTOÖLJY 420 VÄHÄRIKKINEN TUNG ELDNINGSOLJA 420 LÅG SVAVELHALT HEAVY FUEL OIL 420 LOW SULPHUR			LYHENNE: St1 Raskas 420 FÖRKORTNING: St1 Tung 420 ABBREVIATION: St1 Heavy 420	
Ominaisuus Egenskap Property	Yksikkö Enhet Unit	Laaturaja Kvalitetskrav Specification		Tyypillinen arvo Typvärde Typical analysis	Määrittäminen Testmetod Test method
		min.	max.		
Rikki <sup>1)</sup> Svavelhalt <sup>1)</sup> Sulphur content <sup>1)</sup>	p-% mass-% % m/m		1,0	0,95	EN ISO 8754 NM 380
Leimahduspiste <sup>2)</sup> Flampunkt <sup>2)</sup> Flash point <sup>2)</sup>	°C	65		100	EN ISO 2719
Tiheys, 15 °C Densitet vid 15 °C Density at 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	920	1020	998	EN ISO 12185
Viskositeetti, 80 °C Viskositet vid 80 °C Viscosity at 80 °C	mm <sup>2</sup> /s	48	79	65	EN ISO 3104
Viskositeetti, 50 °C (laskettu) <sup>3)</sup> Viskositet vid 50 °C (beräknad) <sup>3)</sup> Viscosity at 50 °C (calculated) <sup>3)</sup>	mm <sup>2</sup> /s	220	420	320	EN ISO 3104
Hiilijäännös, MCR Kokstal, MCR Carbon residue, MCR	p-% mass-% % m/m		17	12	EN ISO 10370
Asfalteenit Asfaltener Asphaltenes	p-% mass-% % m/m			4	DIN 51595
Jähmepiste Lågsta flyttemperatur Pour point	°C		+ 15	+ 10	ISO 3016 ASTM D 5950
Vesi Vatten Water content	p-% mass-% % m/m		0,7	0,1	ISO 3733 ISO 10336 M
Kokonaisedimentti Sediment Total sediment	p-% mass-% % m/m		0,15	0,04	ISO 10307-1
Tuhka Askhalt Ash content	p-% mass-% % m/m		0,15	0,03	EN ISO 6245
Tehollinen lämpöarvo, mitattu Effektivt värmevärde, uppmätat Specific energy, calculated, measured	MJ/kg	40,1		40,9	ASTM D 240
Hiilipitoisuus Kolhalt Carbon content	Wt-%		Ilmoitetaan Rapporterat reported	87,6	D5291
Tyypipitoisuus Krave Nitrogen			Ilmoitetaan Rapporterat reported	0,4	D5291
Vanadiini Vanadin Vanadium	mg/kg		200	40	NM 122 ISO 10478 M
Nikkeli Nickel Nickel	mg/kg		100	20	NM 122 ISO 10478 M
Palamiskatalyyti Förbränningskatalyt Burning catalyst			+ <sup>4)</sup>	+	