

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka / Käynnissäpito

Jesse Heino

BIOPOLTTOAINEKATTILAN KÄYTTÖNOTTO

Insinööriyö 2010

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

HEINO, JESSE

Insinööriyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Huhtikuu 2010

Avainsanat

Biopolttoainekattilan käyttöönotto

52 sivua + 9 liitesivua

Tutkimusinsinööri Mikko Nykänen

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu / Päästömittaustoriorio

biopolttoainekattila, käyttöönotto, päästömittaustoriorio, lämmönsiirto

Insinööriyön tavoitteena oli luoda edellytykset Kymenlaakson ammattikorkeakoulun päästömittaustoriorioon asennettavan biopolttoainekattilan käyttöönotolle ja tehdä biopolttoainekattilalle käyttöohjeet. Biopolttoainekattilan käyttöönoton edellytyksenä oli tarkastella päästömittaustorioriossa jo olleiden lämmönsiirto- ja savukaasunpoistojärjestelmien riittävyttä tarpeellisten laskelmien avulla ja tarvittaessa luoda järjestelmiä uudelleen. Käyttöohjeen luomisen tarkoituksena päästömittaustoriorion tarpeisiin on auttaa biopolttoainekattilan käytössä niin tutkimus- kuin koulutustarkoituksessa järjestelmään ensi kertaa tutustuvia, jotta käyttö olisi helppoa, loogista ja ennen kaikkea turvallista sekä käyttäjälleen että järjestelmälle.

Lämmönsiirto- ja savukaasunpoistolaskelmien perusteella tapahtui putkistojen suunnittelu, kiertovesipumppujen valinnat sekä varmistuminen siitä, että biopolttoainekattilan mukana toimitettu savukaasupuhallin on riittävä kattilan tuottaman savukaasun poistamiseen osin uusiksi suunnitellun savukaasunpoistohormiston kautta.

Työssä on tarkasteltu asennettavan laitteiston eri pääosien muita laitevaihtoehtoja ja perehdytty samalla niiden toimintaperiaatteisiin. Erilaisten kattilan poltintyyppien sekä lämmönsiirrinratkaisujen asentaminen samanlaiseen tutkimus- ja koulutuskäyttöön on näin ollen mahdollista riippuen tutkittavista polttoaineista ja polttotavoista.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

HEINO JESSE

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

April 2010

Keywords

Commissioning of a Biofuel Boiler

52 pages + 9 pages of appendices

Mikko Nykänen, Research Engineer

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu / Emission Measurement Laboratory

biofuel boiler, commissioning, emission measurement laboratory, heat transfer

The purpose of this thesis work was to create proper conditions for commissioning a biofuel boiler in the emission measurement laboratory of Kymenlaakson ammattikorkeakoulu and to write an operating manual for the system. A prerequisite for the commissioning of the biofuel boiler was to examine the adequacy of the existing heat transfer system and the discharge flue gas duct with their necessary calculations and, if needed, re-create the system and the duct. The main target of creating the operating manual for the emission measurement laboratory was to help first-time users to use the biofuel boiler and all the systems in research and education matters so that using the boiler would be easy, logical and mostly safe to the users and especially for the boiler and its systems.

Based on the heat transfer system and the discharge flue gas channel calculations, a design for the heat transfer pipelines, and the selections of the circulation pumps was made. Those calculations were also used to make sure that the flue gas pump delivered with the boiler was sufficient to discharge all the flue gases that the boiler released. A part of the discharge channel was removed and re-designed.

The other choices of the installed parts have also been reviewed and their main principles have been studied. Installing different burner types in the boilers and other heat transfer solutions for similar research and education purposes are possible; all depends on fuels and the burner types of the boiler.

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty vuoden 2009 syyskuun ja vuoden 2010 huhtikuun välisenä aikana Kymenlaakson ammattikorkeakoulun päästömittauslaboratoriolle. Työn ohjaajana toimi päästömittauslaboratorion tutkimusinsinööri Mikko Nykänen, jonka tuki ja ohjeistus on ollut loistavaa. Suurena apuna tämän insinöörityön tekemisessä on ollut TUHKA-hankkeen projekti-insinööri Hannu Sarvelainen, jonka neuvot ja ohjeet ovat olleet tarpeen. Kattilan asennustöiden ja käytännön osaamisen neuvoista kiitos laboratoriomestari Esa Huuhtaselle.

Haluan erityisesti kiittää perhettäni ja lähimpiä ystäviäni kannustuksesta työn edistämässä ja valmiiksi saamisessa.

Kotkassa 8.4.2010

Jesse Heino

SYMBOLILUETTELO

A	pinta-ala, m ²	\dot{V}	tilavuusvirta, m ³ /s
c_p	ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK	v	virtausnopeus, m/s
d	halkaisija, m	w	kaasun virtausnopeus, m/s
E	lämpöenergia, J	Φ	teho, W
g	maan vetovoimakiihtyvyys, m/s ²	ρ	tiheys, kg/m ³
H _A	polttoaineen tehollinen lämpö- arvo, MJ/kg	λ	piipun vastuskerroin
H _{AS}	polttoaineen lämpöarvo saapu- mistilassa, MJ/kg	λ_{ik}	ilmakerroin
h	korkeus, m	φ	polttoaineen kosteus, %
k	lämmönläpäisykerroin, W/m ² K	ζ	kertavastuskerroin
k_r	pinnankarheus, m	ξ	virtausvastuskerroin
l	pituus, m	μ	viskositeetti, Pa·s
m	massa, kg	η	hyötysuhde
M	moolimassa, kg/mol	Φ_U	kattilan lämpöteho, kW
\dot{m}	massavirta, kg/s		Alaindeksit:
n	kaasun ainemäärä, mol	g	glykoli
p	ilmanpaine, Pa	i	ilma
Δp	paine-ero, Pa	pa	polttoaine
R	kaasun kaasuvakio, J/molK	s	seos
R _u	yleinen kaasuvakio, J/molK	sk	savukaasu
t	aika, s	suod	suodatin
T	lämpötila	teor	teoreettinen arvo
ΔT	lämpötilaero	tod	todellinen arvo
V	tilavuus, m ³	v	vesi

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SYMBOLILUETTELO

1	JOHDANTO	8
1.1	Työn tavoitteet ja taustat	8
1.2	TUHKKA-hankkeen taustat	8
2	LAITTEISTON PERUSTIETOJA	9
2.1	Pienet polttoainekattilat	9
2.1.1	Öljypolttimet	10
2.1.2	Kaasupolttimet	11
2.1.3	Pölypoltto	12
2.1.4	Arinapoltto	14
2.2	Lämmönsiirtimet	16
2.3	Lauhduttimet	19
2.4	Vesivaraaja	20
2.5	Savupiiput	20
3	BIOPOLTTOAINEKATTILAN SJOITUS	22
4	BIOPOLTTOAINEKATTILAN SAVUPIIPUN JA PUTKISTON UUELLEEN SUUNNITTELU	24
4.1	Savupiipun mitoitus	24
4.2	Putkiston uusimistarpeen tarkastelu	33
5	KATTILAN TUOTTAMAN LÄMPÖENERGIAN SIIRTÄMINEN	35
5.1	Järjestelmän toimintakaavio	35
5.2	Pumppujen mitoitus	36
6	BIOPOLTTOAINEKATTILAN ASENNUS SJOITUSPAIKKAANSA	47
6.1	Asennettavan biopolttoainekattilan perustietoja	47

6.2 Asennusohje ja biopolttoainekattilan asennus	47
7 BIOPOLTTOAINEKATTILAN KÄYNNISTYSKUNTOON SAATTAMINEN	49
8 KÄYTTÖOHJEEN TEKEMINEN KATTILAAN	49
9 YHTEENVETO	50
LÄHTEET	51
LIITTEET	
Liite 1. Kattilapiirin kiertovesipumpun valintakäyrästä	
Liite 2. Lämmönsiirtimien ja lauhduttimen tekniset tiedot	
Liite 3. Lauhdutinpiirin kiertovesipumpun valintakäyrästä	
Liite 4. Biopolttoainekattilan ja jäähdytysjärjestelmän putkistokaavio	
Liite 5. Biopolttoainekattilan käyttöohje	

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoitteet ja taustat

Insinööriyön tavoitteena on luoda edellytykset Kymenlaakson ammattikorkeakoulun energiatekniikanlaboratorioon asennettavan biopolttoainekattilan käyttöönotolle ja luoda biopolttoainekattilalle käyttöohjeet. Biopolttoainekattilan uusiminen on osa Kymenlaakson ammattikorkeakoulun TUHKA-hanketta, jonka tavoitteena on kehittää savukaasujen puhdistuslaitteisto ja tutkia savukaasuista poistetun tuhkan hyötykäyttämähdollisuuksia. Uusi biopolttoainekattila energiatekniikanlaboratoriossa tulee palvelemaan niin tutkimus- kuin opetuskäytössä korvaten edellisen, nykymittapuulla jo vanhentuneen kattilan. Työn tarkoituksena on kartoittaa ja suunnitella kattilan sijoituspaikka laboratoriossa, selvittää laboratorion nykyisten asennuksien, kuten putkistojen sekä savukaasun poiston yhteensopivuus ja toimivuus kattilan edellytysten mukaisesti tai luoda uudet biopolttoainekattilan edellytysten mukaiset asennukset. Insinööriyön aihe on saatu loppukesästä 2009 työskenneltyäni teknisenä harjoittelijana Kymenlaakson ammattikorkeakoulun kone- ja energialaboratorioissa yhdessä työni ohjaajan Mikko Nykäsen ja laboratorioteknikko Marko Piispan kanssa.

1.2 TUHKA-hankkeen taustat

Vuoden 2007 lopussa päättyi Kymenlaakson ammattikorkeakoulussa TEKES-hanke, missä tutkittiin ja vertailtiin eri tapoja biopolttoainekattiloiden pienhiukkaspäästöjen pienentämiseksi. Hankkeen lopputuloksena todettiin aiemmin vain kaasuturbiinien imuilman puhdistukseen käytetyn suodatintekniikan olevan erittäin edullinen ja tehokas tapa pienhiukkasten poistamiseen savukaasuista verrattuna verrattain kalliiseen mutta tehokkaaseen sähkösuodatintekniikkaan. Nykyisen TUHKA-hankkeen tavoitteena onkin rakentaa savukaasun puhdistuslaitteisto edellisessä hankkeessa hyväksi havaitulla suodatustekniikalla ja samalla tutkia savukaasuista poistetun tuhkan hyötykäyttämähdollisuuksia kehittämällä keskipakoerotuslaitteisto jaottelemaan tuhkan pienhiukkaset erikokoisiin jakeisiin. Erottelulaitteistolla on tarkoituksena saada tuhkasta eroteltua jakeita, joita voitaisiin käyttää mm. raaka-aineena rakennusaineteollisuudessa, erikokoisten jakeiden raskasmetallipitoisuuksien poiketessa toisistaan huomattavastikin. [1, s. 1]

2 LAITTEISTON PERUSTIETOJA

Insinööriyön teoriaosuudessa tarkastellaan päästömittauslaboratorion biopolttoainekattilan yhteyteen asennettavien laitteiden, kuten itse kattilan, lämmönsiirtimien, lauhduttimen sekä vesivaraajan perustietoja ja toimintatapoja. Kattilan osalta perehdyttiin ensisijaisesti erilaisiin, pienten alle 500 kW teholuokkaan kuuluvien kattiloiden polttotyyppeihin, joita on käytännössä kolme erilaista: öljy- ja kaasupoltto sekä arinapoltto.

2.1 Pienet polttoainekattilat

Erilaisten polttolaitteiden eli polttoainekattiloiden tehtävänä on saada polttoaine palaamaan, jotta kemiallinen energia, joka on sitoutunut polttoaineeseen vapautuu lämmöksi. Polttolaitteita on kehitetty erilaisissa olomuodoissa olevien polttoaineiden palamisominaisuuksien mukaan. Nestemäisille, kaasumaisille ja kiinteille polttoaineille soveltuvat erilaiset polttolaitteet ja polttotavat. Nestemäisille, kaasumaisille sekä kiinteästä polttoaineesta valmistetulle pölylle sopivat monet erityyppiset polttimet ja kattilaratkaisut, kun taas puhtaasti kiinteät polttoaineet soveltuvat poltettavaksi erityyppisten arinaratkaisuiden avulla. [2, s.119]

Kattilan tärkein osa on tulipesä, liekkiä ympäröivä kattilan osa, missä palaminen tapahtuu. Parhaan mahdollisen palamistuloksen varmistamiseksi on polttolaitteen ja tulipesän yhteensovittaminen yksi suunnittelun tehtävistä. Polttolaitteen muodostaman liekin on mahdollista hyvin tulipesään, minkä tulee olla riittävän suuri myös siksi, että savukaasujen ja tulipesään syötetyn polttoaineen viipymäaika tulipesässä on palamisaikaa pidempi. [2, s.119]

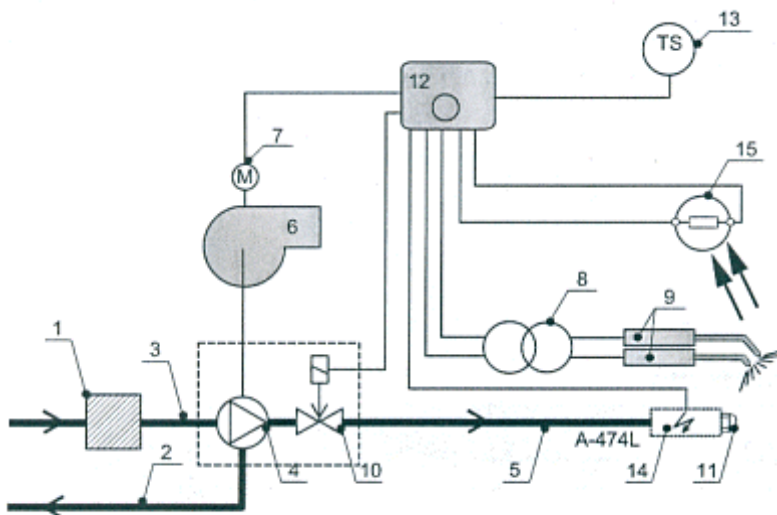
Pieniä polttoainekattiloita, joita päästömittauslaboratorioon asennettava kattila edustaa, on enimmäkseen tulipesäratkaisuiltaan kolmea eri tyyppiä: öljy- ja kaasupoltinkattilat sekä arinapolttokattilat. Raskaalla polttoöljyllä ja maakaasulla on paljon yhteisiä ominaisuuksia, joiden ansiosta niitä voidaan polttaa samoissa kattiloissa. Kummassakaan polttoaineessa ei ole käytännössä ollenkaan kosteutta. Ne palavat kaasumaisessa tilassa; kumpikaan ei palaessaan tuota paljoa tuhkaa, jolloin tulipesän puhdistustarve on vähäinen ja savukaasun muodostus on yhtä suurta. Savukaasujen erilaiset säteilyominaisuudet vaikeuttavat polttoaineiden käyttöä samassa kattilassa: öljyn savukaa-

sut säteilevät lämpöä voimakkaammin, jolloin lämpötilaero poltetun kaasun savukaasuihin voi olla jopa 100 °C. Tämä vaikuttaa kattilaa seuraavien lämmönsiirtimien mitoittamiseen lämmönsiirrossa. [2, s. 120]

Öljyn täydellinen palaminen tulipesässä edellyttää sen sumuttamista eli hajottamista tarpeeksi pieniksi alle 0,05 mm pisaroiksi. Pisan palamisaika kasvaa suhteessa pisan halkaisijan toiseen potenssiin, joten täydellisen palamisen saavuttamiseksi on sumutuksen onnistuttava.[2, s.122]

2.1.1 Öljypolttimet

Öljypolttimet voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan sumutusperiaatteen mukaan: paineöljy-, keskipakovoima- ja väliainehajotteisiin polttimiin. Väliainehajotteisia polttimia, joissa väliaineena on ilma tai höyry, käytetään yleisimmin voimalaitoksissa. Pienpolttoainekattiloissa on käytössä paineöljyhajotteiset polttimet, joilla voidaan polttaa sekä kevyttä että raskasta polttoöljyä. [2, s.122] Polttimet voidaan jakaa säätötapojensa mukaan yksitehopolttimiin tai kaksi/kolmitehopolttimiin, joissa on useampia suuttimia sumutukseen. Kolmas vaihtoehto on portaattomasti säätävät eli moduloivat polttimet. [3]



Kuva 1. Yksitehoisen kevytöljypolttimen kaavio. [3]

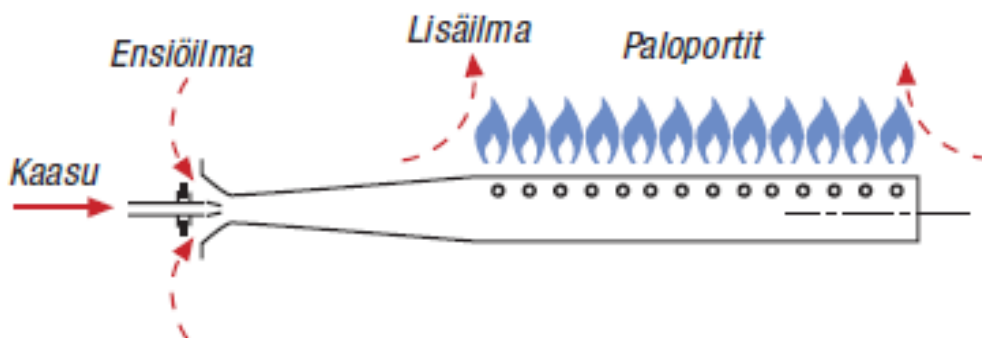
Paineöljyhajotteisessa polttimessa öljy tulee suuttimeen suurella, 10 - 40 baarin paineella. Öljy joutuu voimakkaaseen pyörimisliikkeeseen suuttimen sisällä olevissa tan-

gentiaaliurissa, josta pyörivä öljy virtaa pyörrekammioon. Pyörrekammion keskellä olevasta reiästä öljy virtaa ulos ohuena kartiomaisena kalvona ja hajoaa pisaroiksi heti suuttimen jälkeen. [3] [2, s.122]

2.1.2 Kaasupolttimet

Kaasupolttimet jaetaan sekoitusperiaatteensa mukaan kahteen eri luokkaan: esisekoituspolttimiin ja suutinsekoituspolttimiin. Esisekoituspolttimissa polttoilma ja kaasu sekoitetaan jo ennen suutinta. Esisekoituspolttimien teho on suhteellisen pieni ja niitä käytetään yleisesti kaasuturbiineissa. Suutinsekoituspolttimissa palamisilma ja polttoa-kaasu kohtaavat vasta palotilassa. Suutinsekoituspolttimet jaetaan vielä kahteen eri tyyppiin polttokaasun ja palamisilman sekoitussuhteiden perusteella: atmosfääripolttimet ja puhallinpolttimet. [2, s.125] [4, s.450]

Pienitehoisissa teollisuuskohteissa ja kotitalouksissa on yleisimmin käytössä atmosfääripolttimet, jotka ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja polttimen tehonsäätö on helppo toteuttaa. Atmosfääripolttimessa palamiseen tarvittava polttoilma imetään polttimen ympäristöstä kattilan vedon avulla. Primääri-ilma (=ensiöilma) sekoitetaan polttoaasuun venturiputkessa ja sekundaari-ilma (=lisäilma) virtaa vapaasti liekin ympärillä. Koska sekoittuminen on heikkoa atmosfääripolttimessa, täydellinen palaminen pyritään varmistamaan suurella ilmaylimäärällä, mikä heikentää hyötysuhdetta.

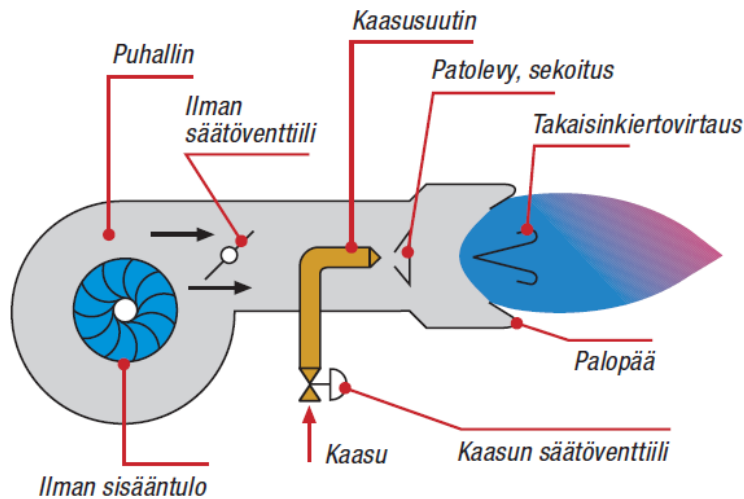


Kuva 2. Atmosfääripolttimen periaatekuva. [5]

Toinen polttimen heikkous on pieni paine-ero ympäristön ja palamistilan välillä. Atmosfääripoltin onkin näin ollen altis palamisilman ulkoisille häiriöille. [4, s. 450]

Puhallinpolttimessa palamisilma sekoitetaan polttoaasuun puhaltimen avulla. Liekissä sekoittumisen varmistamiseksi kaasu johdetaan suuttimelta ilmavirtaan lähes koh-

tisuoraan. [2, s. 125] Puhaltimen ansiosta tulipesään saadaan halutut virtausolosuhteet ja painetaso, jotta palaminen on tehokasta.



Kuva 3. Puhallinpolttimen periaatekuva.[5]

Puhallin mahdollistaa myös vakaan ja tarkan säädön ja lämmönsiirto-ominaisuudet ovat hyvät. Poltin on rakenteeltaan monimutkaisempi ja kalliimpi kuin atmosfääripoltin, mutta hyötysuhteelta parempi. Tämän vuoksi lähes kaikki teollisuuspolttimet ovat puhallinpolttimia. Isommilla tehoilla käytetään useampaa poltinta ja yhden polttimen maksimiteho on noin 70 MW. [4, s.451]

2.1.3 Pölypoltto

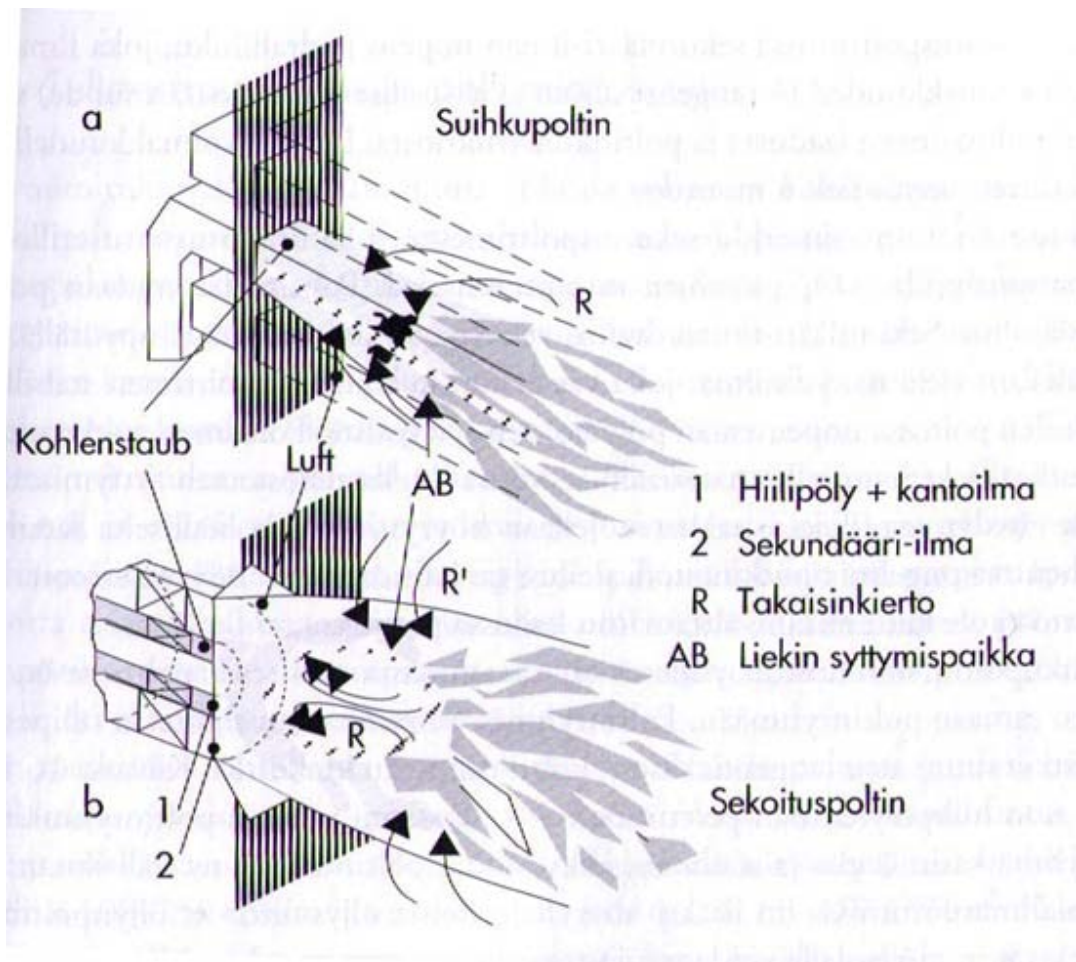
Pölypoltossa eli kiinteän polttoaineen poltinpoltossa syötetään kiinteää polttoainetta hienoksi jauhattuna polttimien kautta tulipesään, missä polttoaine palaa muutamissa sekunneissa. Nopea polttotapa mahdollistaa suurten lämpötehojen tuomisen tulipesään. Kiinteä polttoaine on jauhattava kyllin hienoksi, jotta se ehtii palaa tulipesässä viipymäänään aikana. Kosteaa polttoainetta, kuten jyrshinturvetta, on kuivattava ennen poltinta, jotta syttyminen on nopeampaa. [2, s. 127] Edellä mainittu jyrshinturvetta on yksi poltinpolttoon käytettävistä polttoaineista, muita ovat esimerkiksi turve, hienoksi jauhattu puu, sekä hiili. [4 s. 454]

Kiinteän polttoaineen poltinpoltossa on periaatteeltaan kaksi erilaista toteutustapaa: kuivapesäpoltto sekä sulapesäpoltto. Kuivapesäpoltossa kattilaan jäänyt tuhka poiste-

taan kuivana lentotuhkana, kun taas sulapesäpoltossa pyritään korkeaan palamislämpötilaan, jolloin tuhka poistettavissa kattilan pohjasta tai erityisestä poltinkammiosta sulassa muodossa. Polttotavan valintaan vaikuttaa haihtuvien aineiden määrä ja tuhkapitoisuus. Polttoaineet, jotka sisältävät vähän haihtuvia aineita ja joilla on korkea lämpöarvo, soveltuvat parhaiten sulapesäpolttoon. Muita tärkeitä polttoaineen ominaisuuksia ovat hyvä jauhautuvuus sekä tuhkan sulamisominaisuudet. [4, s. 454]

Jauhetun ja kuivatun polttoaineen polttamiseen tarvitaan poltin, jonka päätehtävänä on jauhetun pölyn hallittu ja stabiili sytyttäminen sekä polttoaineen ja palamisilman sekoittaminen. Tulipesän lämmön vaikutus sytyttää polttoaineen ja palaa kaasuvirtauksessa, mikä muodostuu tulipesään. [4, s. 454] [2, s. 127] Polttimeen kuuluu ilman sekä polttoaineen kantokanavien lisäksi yleensä sytytyspoltin ja palamisen stabiilisuuden varmistava tukipoltin. [2, s.127]

Pölypolttimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin sen perusteella, missä pölyseos sytytetään ja liekki saa alkunsa; sekoituspolttimiin (drallipolttimet) ja suihkupolttimiin (nurkkapolttimet). [4, s. 454] [2, s. 127] Sekoituspolttimissa polttoaineseos sekä palamisilma sekoitetaan polttimessa ja johdetaan tulipesään samankeskeisesti kattilan seinässä olevasta polttimesta. Palamisilmavirtaukselle annetaan kanavan kehän suuntainen nopeuskomponentti kanavaan sijoitetun joko aksiaalisen tai radiaalisen siivistön avulla. Pyörrevirtaus aikaan saa leveän ja lyhyen liekin. Tällä järjestelmällä aikaan saadaan ns. sisäinen paluuvirtaus, mikä kuljettaa kuumia savukaasuja tulipesästä takaisin keskelle kohti polttimen suuaukkoa. Paluuvirtauksen kuumat savukaasut lämmittävät tulipesään johdettua polttoaineseosta ja edistävät sen syttymistä.[2, s. 128]



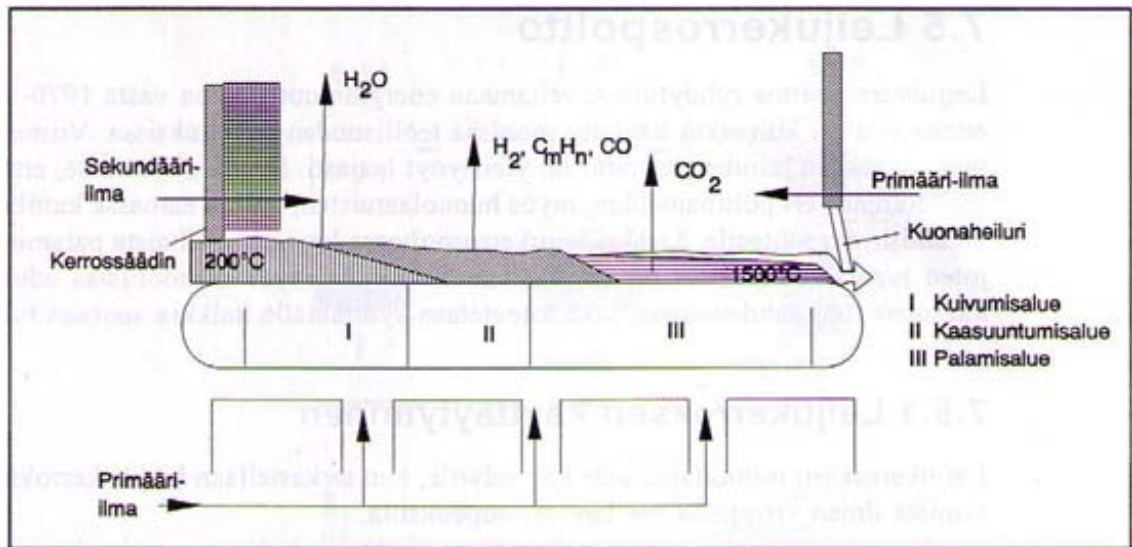
Kuva 4. Suihku- ja sekoituspolttimen toimintaperiaatteet. [4, s. 457]

Suihkupolttimissa taas polttoainepöly ja palamisilma tuodaan molemmat omia, päällekkäin kattilan seinässä sijaitsevia kantokanaviaan pitkin tulipesään, jossa ne sekoituvat. Pölyseoksen syttyminen perustuu kuumien savukaasujen tulipesästä siirtämään riittävään syttymisenergiaan. Tämä siirtymä aiheutuu suihkun aiheuttamista kiertovirtauksista. [2, s. 127] [4, s. 457]

2.1.4 Arinapoltto

Kattilan pohjalle sijoitettavaa polttolaitetta, jonka päällä poltetaan joko paikallaan pysyvänä tai hitaasti liikkuvana kerroksena polttoainetta, kutsutaan arinaksi. Arinapoltto on vanhin kiinteille polttoaineille tarkoitettu polttotapa polttokattiloissa. Kiinteistä polttoaineista hiilellä, turpeella, puulla ja puujätteellä on olemassa hyvin toimivia arinaratkaisuja. [2, s.133] Palaminen arinalla noudattaa samoja pääsääntöjä kuin muisakin polttomenetelmissä. Yksittäisessä polttokappaleessa nämä eri vaiheet tapahtuvat peräkkäin, kosteus poistuu eli polttoaine kuivuu, jonka jälkeen pyrolyysitapahtuman yhteydessä kappale ja siitä vapautuvat kaasut palavat ja lopuksi jäännöshiili palaa.

Toki arinalla on samanaikaisesti useita eri palamisvaiheessa olevia kappaleita. [4, s. 466 - 467]



Kuva 5. Arinapolton periaate. [2, s. 139]

Polttoaine pitää syöttää arinalle tasaisesti, jotta polttoilma saadaan jakaantumaan tasaisesti patjaan. Tämä asettaa vaatimuksia syöttötekniikalle, sillä arinalla polttoaineen sekoittuminen on vähäistä. Mikäli levittyminen on epätasaista, polttoilma karkailee vähiten vastusta aiheuttavasta kohdasta. Arinapoltoissa haastavaa on polttoilman tasainen jakautuminen polttoainepatjaan. Ongelmaa pyritään vähentämään mitoittamalla arinat siten, että arinan ilmanvastus on suurempi kuin polttoainepatjan. [4, s. 471]

Arinarakenteet riippuvat polttoaineesta ja kattilan koosta. Arinat jaetaan kiinteisiin ja mekaanisiin eli liikkuviin arinoihin. Mekaanisen arinan tyypillinen käyttöalue kattaa 2 - 15 MW. Kiinteä arina on käytössä pienemmissä alle 1 MW laitoksissa. Kiinteitä arinoita ovat taso-, viisto- ja porrassarina, mekaanisia taas ketjuarinat ja mekaaniset viistoarinat. [2, s. 133] [4, s. 472] Usein arinat ovat em. päätyyppien yhdistelmiä, vaikkakin arinat eroavat myös arinamateriaalin jäähdytystapojen osalta. Pienet arinat ovat yleisesti ilmajäähdytteisiä, suurten arinoiden ollessa kattilan vesikiertoon integroidun vesijäähdytyksen kanssa toimivia. [4, s. 472]

Yksinkertaisin arinaratkaisu on kiinteä tasoarina, joita käytetään pienpolttoainekattiloissa, joiden teho on korkeintaan 500 kW:n luokkaa. Kiinteä tasoarina on valmistettu joko valuraudasta tai keraamisesta materiaalista. Tasoarina koostuu vierekkäin ladotuista arinasauvoista, jotka eivät kosketa toisiaan, jolloin sauvojen väliin jäävistä raoista virtaa palamisilmaa polttoaineseoksen sekaan. Tasoarinoita voi myös olla taso-

maisina levyinä, joihin on tehty ilmareiät. Tasoarinoita käytetään kattiloissa, joihin polttoaine syötetään yleensä käsin, mutta polttoaineen syöttö voidaan toteuttaa myös esimerkiksi syöttöruuvilla. [2, s. 133] [4, s. 478] Kiinteästä tasoarinasta saadaan omavoimaisesti polttoainetta kuljettava arina asettamalla arina 30 – 50°:n kulmaan. Kulman suuruus riippuu polttoaineesta ja sen juoksevuudesta. Polttoaineen syöttö syöttösiilosta voi myös olla omavoimaista, jolloin polttoainetta valuu arinalle sitä mukaan kun arina tyhjenee. [2, s. 133 - 134]

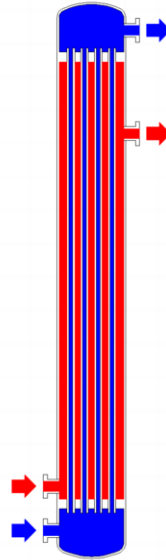
Yhdistämällä arinaraudat ketjuilla, saadaan aikaan mekaaninen liikkuva tasoarina eli ketjuarina. Palamisilmaa saadaan tuotua polttoaineseokseen arinarautojen liittymiskohdissa olevien urien kautta. Ketjupyörällä pyörittämällä saadaan ketju sekä koko arina liikkumaan. Polttoainetta syötetään arinalle toisessa reunassa sijaitsevan syöttökourun kautta ja samalla säädellään polttoainekerroksen paksuutta pystysuoraan liikkuvan säätöluukun avulla. Syöttökohdasta arina kuljettaa polttoaineen tulipesään. Palamistapahtuman tapahduttua palanut polttoaine saapuu arinan liikkeessä kääntötalalle, jossa palojäännös, tuhka ja kuona putoavat kuonasuppiloon. [2, s. 136] Ketjuarina soveltuu erityisesti kivihiilen polttoon, mutta mahdollista on myös polttaa muita kiinteitä polttoaineita, kuten palaturvetta ja puuta. [2, s. 137]

2.2 Lämmönsiirtimet

Lämmönsiirrin on energiatekniikan komponentti, jolla lämpöenergiaa siirretään aineesta toiseen. Lämmönsiirtotapoja on kolme, johtuminen, lämpösäteily ja kulkeutuminen. Erilaisia lämmönsiirtimiä on useita eri tyyppisiä muun muassa: putkilämmönsiirrin, rekuperaattori, lämpöpatteri ja levylämmönsiirrin. Höyryvoimalaitoksissa on käytössä mm. palamis- ja syöttövedenesilämmittimet, höyrystin, lauhdutin ja tulistin. Lämmönsiirtimen läpi siirrettyä lämpöenergiaa voidaan joko lämmittää tai jäähdyttää, riippuen käyttötärpeestä. [6]

Lämmönsiirtimet voidaan jakaa toimintaperiaatteiltaan kolmeen eri luokkaan: vasta-, myötä- ja ristivirtalämmönsiirtimiin. Myötävirtalämmönsiirtimissä molemmat aineet, sekä lämmin että kylmä, virtaavat sisään lämmönsiirtimeen samalta puolelta ja poistuvat toiselta. Suurin lämpötilaero myötävirtalämmönsiirtimissä on virtaavien aineiden sisääntulokohdissa. Vastavirtalämmönsiirtimissä aineet virtaavat lämmönsiirtimessä vastakkaisiin suuntiin. [2 s. 187] Tämän tyyppiset lämmönsiirtimet ovat kaikkien te-

hokkaimpia ja niiden avulla saadaan lämpö siirrettyksi pienimmällä lämmönsiirtopinta-alalla. [2 s. 187][6] Kolmas luokka, ristivirtalämmönsiirrin, on yleisin kattiloiden lämmönsiirrin. Useita ristivirtalämmönsiirtimiä peräkkäin kytkemällä voidaan niitä lämpötekniisessä mielessä tarkastella joko myötä- tai vastavirtalämmönsiirtiminä.

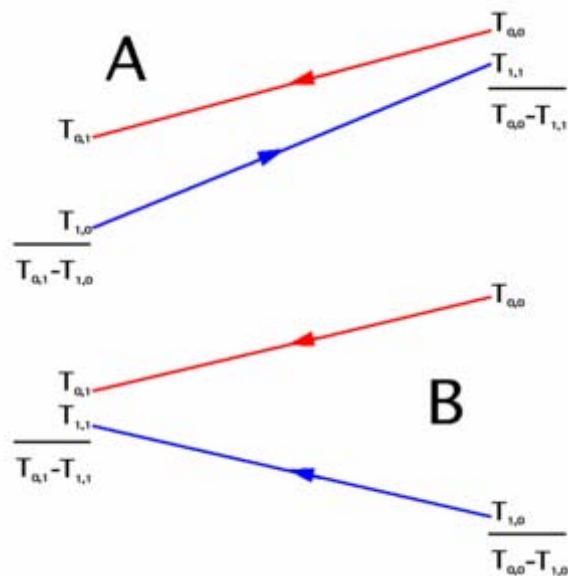


Kuva 6. Myötävirtalämmönsiirrin periaatteella oleva putkilämmönsiirrin.

Ristivirtalämmönsiirtimessä aineet liikkuvat nurkasta toiseen, jolloin tämä saattaa aiheuttaa lämmönsiirtimen materiaalit kovalla koetukselle toisten nurkkien ollessa kuumat ja toisten kylmät. [2 s.187]

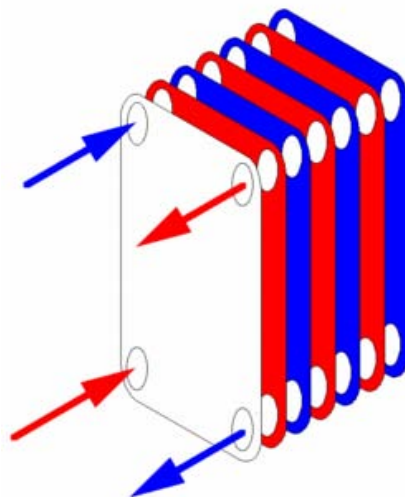
Tehokkuuden kannalta lämmönsiirtimet on suunniteltu niin, että kahden virtaavan aineen väliin jäävän seinän lämmönsiirtopinta-ala on mahdollisimman suuri, samalla pyrkien minimoimaan virtaavien aineiden resistanssin lämmönsiirtimen sisällä. [7]

Putkilämmönsiirrin on eräs lämmönsiirtimien muoto ja yleisimmin käytössä oleva lämmönsiirrin esimerkiksi öljynjalostamoilla ja muissa suurissa kemiallisissa prosesseissa. Laitte on rakennettu siten, että ulkokuori on korkeapaineastia ja sisällä on lämmönsiirtoputkia. Laitteen toimintaperiaate on yksinkertainen: lämmönsiirtoputkistossa virtaa siirrettävistä aineista toinen ja toinen aineista virtaa putkien ympärillä, ulkokuoren sisällä samalla siirtäen lämpöä näiden kahden aineen välillä. Sisällä sijaitsevia putkia kutsutaan putkikimpuksi ja yhdessä kimpussa voi olla monen erilaisia putkia, esimerkiksi ripaputkia tai täysin tasaisia putkia. [8]



Kuva 7. Vastavirta- (A) ja myötävirtalämmönsiirtimien (B) periaate. [7]

Toinen yleisesti käytössä oleva lämmönsiirtimen muoto on levylämmönsiirrin, jossa on useita metallisia levyjä siirtämässä lämpöä kahden aineen välillä. Näin ollen aineilla on paljon suurempi lämmönsiirtopinta-ala kuin perinteisissä, esimerkiksi putkilämmönsiirtimissä, koska siirrettävät aineet leviävät levyille. Tämä nopeuttaa lämpötilanvaihtumista huomattavasti. Suuresta lämmönsiirtokapasiteetista huolimatta levylämmönsiirtimet ovat hyvinkin pienikokoisia. [9]



Kuva 8. Levylämmönsiirtimen periaatekuva.[9]

Levylämmönsiirtimissä käytettävät levyt ovat yhdestä metallipalasta prässättyjä levyjä. Yleisimmin materiaalina käytetään ruostumatonta terästä sen korkean lämmönkestävyyden, lujuuden ja korroosionkestävyyden takia. Levyt ovat yleensä irti toisistaan

reunoihin asennettujen kumitiivisteiden avulla, jolloin levyjen väliin jää 1,3 – 1,5 mm. Levyt voidaan myös hitsata tai juottaa kiinni toisiinsa jättäen niiden väliin riittävän raon. Pienin mahdollinen levyjen väli varmistaa sen, että siirrettävä aine on kosketuksissa lämmönsiirrinlevyihin mahdollisimman suurelta alalta. Putkilämmönsiirtimiin verrattuna levylämmönsiirtimellä siirretään sama määrä lämpöä, mutta huomattavasti pienemmässä koossa. Levylämmönsiirtimien etuna on myös toimivuus paljon pienemmillä lämpötilaeroilla, jopa 1 °C:n ero on mahdollinen, kun putkilämmönsiirtimet vaativat vähintään 5 °C:n eron.[9]

Edellä mainittu lämmönsiirtokapasiteetti ja sen ero erilaisissa lämmönsiirtimissä on yksi syy sille, minkä takia lämmönsiirtimet on mitoitettava oikein. Lämmönsiirtimissä siirtyvä teho on verrannollinen lämmönsiirtimen pinta-alaan, lämmönläpäisykerrotimeen sekä lämpötilaeroon jäähtyvän ja lämmitettävän ainevirran välillä. Näin ollen tarvittava lämpöpinta on laskettavissa:

$$\Phi = kA\Delta T \quad (1)$$

jossa	Φ	teho, W
	k	lämmönläpäisykerroin, W/m ² K
	A	pinta-ala, m ²
	ΔT	lämpötilaero, K

josta saadaan lämmönsiirtimen pinta-alan laskemiseen kaavaksi:

$$A = \frac{\Phi}{k\Delta T} \quad (2)$$

Ainevirtojen välisen lämpötilaeron laskemiseen käytetään yleisesti joko aritmeettista tai logaritmista lämpötilaeroa. Logaritminen lämpötilaero vastaa paremmin todellista tilannetta, mutta aritmeettinen on helpompi laskea. [2, s. 186]

2.3 Lauhduttimet

Lauhdutin on lämmönsiirtolaite, jonka tarkoituksena on sisällä virtaavan höyryn tai kaasun lauhduttaminen nesteeksi siirtämällä lämpöenergiaa väliaineesta toiseen tai ympäristöön. Lauhduttimia on useita eri tyyppisiä ja kokoisia käyttötärpeen mukaan.

Myös jäähdytysveden tai ympäröivän ilman käyttäminen jäähdytyksessä on yleistä. [10]

Käytössä oleva nestejäähdytin on kohdassa 2.2. esitelty putkilämmönsiirrin, jonka väliaineina on putkistossa virtaava vesi-glykoliseos, jota jäähdyttimen päällä olevat puhaltimet jäähdyttävät puhaltaen putkistossa virtaavasta seoksesta haihtuvan lämpöenergian ulos.

2.4 Vesivaraaja

Lämmityskattilan vesimäärän lisäämiseen käytetään paineastiana toimivaa vesivaraajaa. Vesivaraajaa on syytä käyttää esimerkiksi, jos kattilan oma vesitila on hyvin pieni tai kattilassa ei ole käyttövesikierukkaa. [11]

2.5 Savupiiput

Biopolttoainekattiloiden tuottamat savukaasut ja savukaasuemission on saatava ohjattua riittävän laajalle alueelle. Tätä varten on kattiloihin asennettava savupiippu, jonka tehtävänä on tarpeeksi riittävän vedon synnyttäminen. Kattilan koko määrittää savupiipun rakennetta ja piipun kokoa. Pienten ja keskisuurien biopolttokattiloiden savupiippu rakennetaan teräksestä. Savupiippua mitoittaessa on otettava huomioon kolme eri asiaa: Piipun on kehitettävä tarpeeksi suuri veto, jotta savukaasun nopeudeksi piipussa saadaan 20 – 30 m/s, jolloin savukaasun poisto on painovoimaista. Lisäksi kaikkien poltossa syntyvien haitallisten päästöjen on levittävä laajalle alueelle, eli laimennuttava tarpeeksi piipun läheisyydessä.

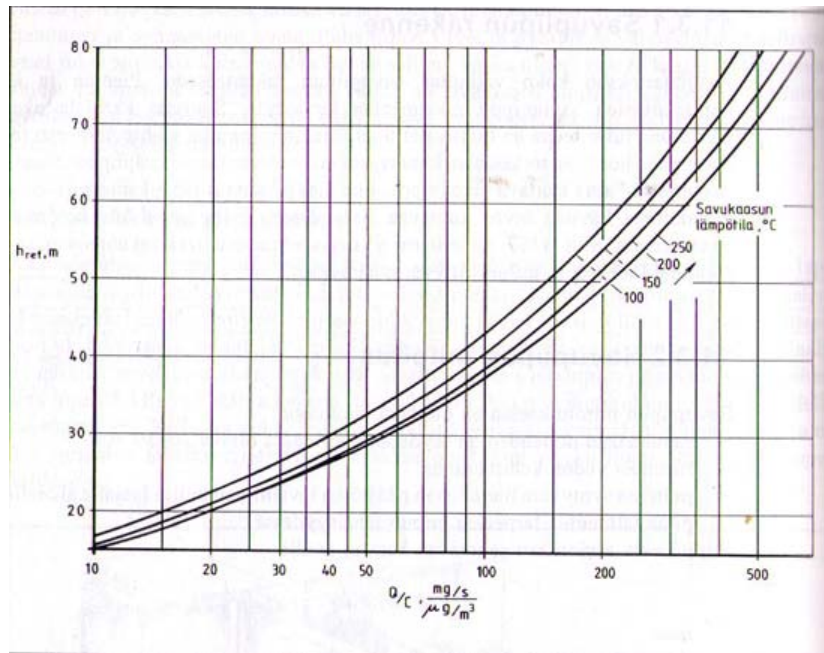
Savupiipun kehittämää alipainetta voidaan arvioida seuraavan kaavan perusteella:

$$\Delta p = (\rho_i - \rho_{SK})gl - \frac{1}{2}\rho_{SK}w_{SK}^2\left(\lambda\frac{l}{d} + 1\right) \quad (3)$$

jossa	Δp	piipun kehittämä alipaine (veto), Pa
	ρ_i	ilman tiheys, kg/m ³
	ρ_{SK}	savukaasun tiheys savukaasun lämpötilassa, kg/m ³
	g	maan vetovoiman kiihtyvyys, 9,81m/s ²
	l	piipun korkeus, m

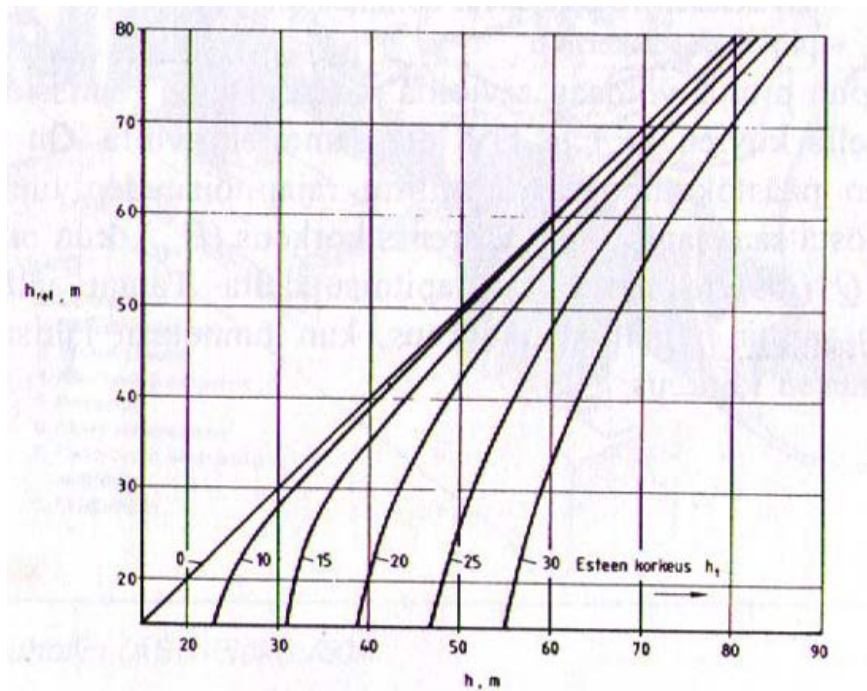
w_{SK}	savukaasun virtausnopeus hormissa, m/s
λ	piipun vastuskerroin

Emissioiden ja ympäristön pitoisuuksien avulla voidaan arvioida piipun pituutta oheisten käyrästä perusteella. Kattilan päästöt ja kyseisten päästökemppenttien sallitut rajapitoisuudet C_m on tunnettava.



Kuva 9. Piipun referenssikorkeuden määrittäminen. [2, s. 230]

Kuvan 9 käyristä saadaan referenssikorkeus H_{ref} , kun on laskettu syntyvien päästöjen määrä Q (g/s) ja jaettu se rajapitoisuudella.



Kuva 10. Piipun korkeuden määrittäminen. [2, s. 230]

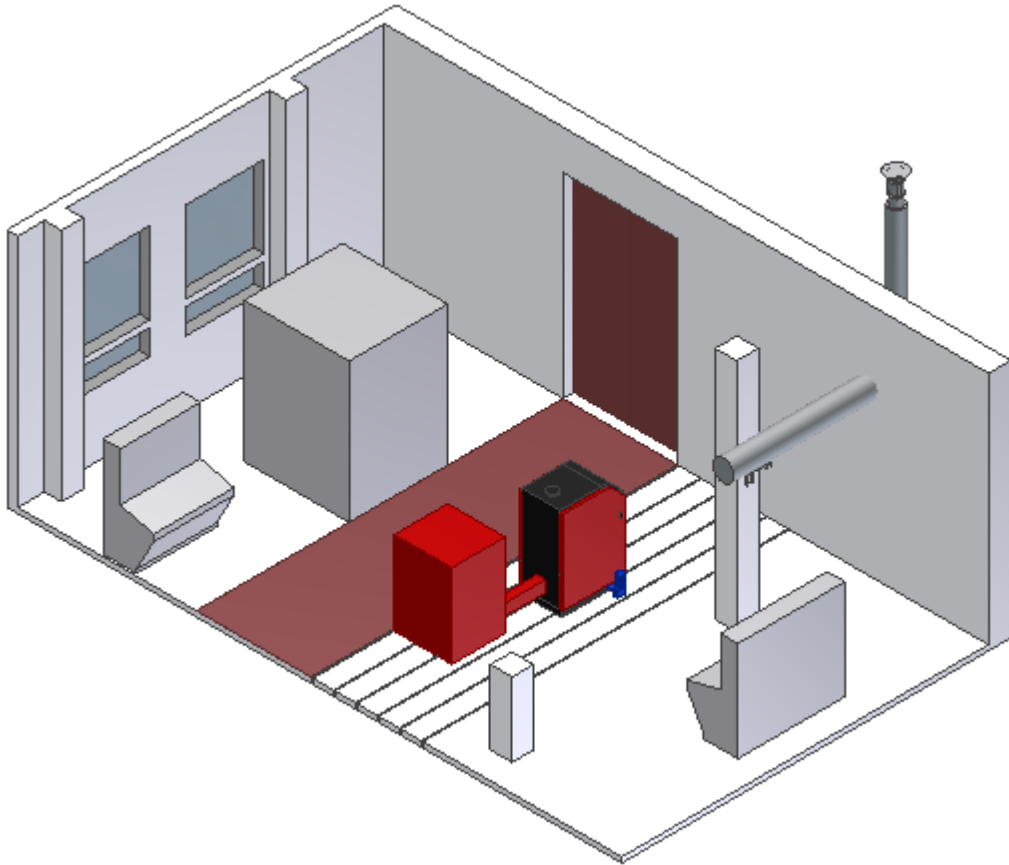
Referenssipituus auttaa määrittämään piipun todellista korkeutta kuvan 10 käyrästä, kun tiedossa on korkeimman lähistöllä sijaitsevan rakennuksen korkeus. [2, s. 228 - 230]

3 BIOPOLTTOAINEKATTILAN SIJOITUS

Kymenlaakson ammattikorkeakoulun energiatekniikan laboratorio on tutkimus- ja opetusympäristö päästömittauksen sekä energiatekniikan alalla. Laboratorion laitteisto on monipuolista ja suunniteltu palvelemaan niin yritys- kuin koulutuskäyttäjää. Laitteistojen isojen kokojen sekä laboratorion suhteellisen ahtaiden tilojen takia on uuden biopolttoainekattilan ja siihen liittyvien laitteistojen sijoituspaikat kartoitettava niin, että laitteet ovat hyvin esillä oppilasryhmiä ajatellen sekä niiden huoltamisen helpouden takia. Biopolttoainekattilan hankintavaiheessa on suunniteltu myös kattilan aiheuttaman lämpöenergian siirtämistä, jolloin itse kattilan ja sen polttoainesiilon lisäksi asennettavia laitteita on kaksi lämmönsiirintä ja laboratorion ulkopuolelle asennettava lauhdutin, laboratorion alapuolella sijaitsee noin kolmenkymmenen kuutiometrin kokoinen vesisäiliö, jota hyödynnetään lämpöenergian hävitykseen.

Biopolttoainekattilan sijoituspaikkaa pohdittaessa oli otettava huomioon käyttöpaneelin helppo käytettävyys, tulipesän helppo täytettävyys, ison polttoainesiilon sijainti,

lämmönsiirtimien sijoitus niin, etteivät kuumat vesiputket ole työturvallisuusriski, johon laboratoriossa työskentelevät polttavat itsensä sekä laitteiden huollettavuus, suurimpina polttoainesiihon sähkömoottori sekä syöttöruuvi. Kartoittaminen voitiin aloittaa tarjouskilpailusta saatujen teknisten mittojen perusteella, joista selvisi kattilan ja siilon ulkoiset mitat, joihin lisättiin laboratoriomestarin kanssa pohditut riittävät huoltilat. [12]



Kuva 11. Kattilan sijoituspaikka energialaboratoriossa. [12]

Apuna kartoituksessa pystyttiin käyttämään kesällä 2009 tehtyä laboratorion 3D-mallia, johon yhdessä projekti-insinööri Hannu Sarvelaisen kanssa on sijoitettu biopolttoainekattilan ja siilon mittojen mukaan tehtyjä apukuvia. Näin saatiin käsitys siitä, mihin kyseinen kompleksi voidaan sijoittaa. Laboratoriossa ei montaa tämän koko-
luokan tilaa ole vapaana, joista on helpot yhteydet niin putkikouruihin kuin savunpoistohormiin, ylimääräisen materiaalihankinnan pysyessä näin minimissään.

Sijoituspisteeksi muotoutui varsin nopeasti vanhan biopolttoainekattilan viereinen tila, jolloin kattila sekä siilo ovat aivan putkikourun vieressä heti savunpoistohormin ala-

puolella. Näin ollen lämpöenergian poistoon suunniteltujen vesiputkistojen asennusetaisyys on varsin lyhyt ja etäisyys ulos asennettavaan lauhduttimeen on lyhyin mahdollinen. [12] Kattilan tarkka sijoittelu pystyttiin tekemään vasta laitteen saavutua laboratorioon, jolloin havainnoitiin myös käyttöpaneelin sijainti kattilan oikealla sivustalla.

Käyttöpaneelin sijainti kattilan oikealla sivustalla määrittää sen, että kattila on sijoitettava laboratorioon siten, että käyttöpaneeli on kulkukäytävän puolella ajatellen oppilasryhmiä seuraamaan kattilan käyttämistä, joten kattilan tuhkaluukku sijaitsee kohti lastauslaiturin ovea CK0064.

4 BIOPOLTTOAINEKATTILAN SAVUPIIPUN JA PUTKISTON UUELLEEN SUUNNITTELU

4.1 Savupiipun mitoitus

Laskelmien tarkoituksena on tarkastella energiatekniikan laboratorion nykyisen savukaasun poiston riittävyyttä biopolttoainekattilan tarpeisiin. Nykyinen savukaasun poistoon tarkoitettu järjestelmä on noin 4,2 metriä korkea ja halkaisijaltaan 0,18 metriä. Kaavan 3 avulla tarkastellaan piipun kehittämän alipaineen suuruutta, minkä jälkeen otetaan huomioon olemassa olevan savukaasupuhaltimen tuottaman paineen riittävyys nykyisen savukaasunpoistojärjestelmään.

Tarvittavia kaavoja, jotta laskentakaava saadaan johdetuksi:

Savukaasun tiheys:

$$pV = nR_u T \tag{4}$$

jossa	p	ilmanpaine, Pa
	V	kaasun tilavuus, m ³
	n	kaasun ainemäärä, mol
	R _u	yleinen kaasuvakio, J/molK
	T	lämpötila, K

$$n = \frac{m}{M} \quad (5)$$

jossa	n	kaasun ainemäärä, mol
	m	kaasun massa, kg
	M	moolimassa, kg/mol

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V \quad (6)$$

jossa	ρ	kaasun tiheys, kg/m ³
	m	kaasun massa, kg
	V	kaasun tilavuus, m ³

$$n = \frac{\rho V}{M}$$

jossa	n	kaasun ainemäärä, mol
	ρ	kaasun tiheys, kg/m ³
	V	kaasun tilavuus, m ³
	M	moolimassa, kg/mol

$$R = \frac{R_u}{M} \Rightarrow R_u = RM \quad (7)$$

jossa	R	kaasun kaasuvakio, J/molK
	R_u	yleinen kaasuvakio, J/molK
	M	moolimassa, kg/mol

Sijoitetaan johdettuja kaavoja 5 – 7 kaavaan 4

$$pV = nR_u T \Rightarrow pV = \frac{\rho V}{M} R_u T \Rightarrow pV = \rho V R T$$

saadaan $\rho = \frac{pV}{VRT} \Rightarrow \rho = \frac{p}{RT}$ ja tiheys ρ , käsittää tässä tapauksessa kaasun tiheyden, joten merkitään sitä ρ .

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (8)$$

jossa	ρ	kaasun tiheys, kg/m ³
	p	ilmanpaine, Pa

R	kaasun kaasuvakio, J/kgK
T	kaasun lämpötila

Savukaasun todellinen massavirta on laskettava, jotta saadaan savukaasun tilavuusvirran yhtälön kautta johdettua savukaasun virtausnopeus.

$$H_{AS} = H_A(1 - 0,01\varphi) - 0,02443\varphi \quad [13, \text{s. } 27] \quad (9)$$

jossa	H_{AS}	polttoaineen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg
	H_A	polttoaineen tehollinen lämpöarvo, MJ/kg
	φ	polttoaineen kosteus, %

$$\dot{m}_{PA} = \frac{\Phi}{H_{AS}} \quad (10)$$

jossa	\dot{m}_{PA}	polttoaineen massavirta, kg/s
	Φ	kattilan teho, kJ/s
	H_{AS}	polttoaineen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg

$$\dot{m}_{SKteor} = f(\varphi)\dot{m}_{PA} \quad (11)$$

jossa	\dot{m}_{SKteor}	savukaasun teoreettinen massavirta, kg/s
	f	luetaan taulukosta [2, s. 81], kostea savukaasuvirta
	φ	polttoaineen kosteus, %
	\dot{m}_{PA}	polttoaineen massavirta, kg/s

$$\dot{m}_{ilmateor} = f(\varphi)\dot{m}_{PA} \quad (12)$$

jossa	$\dot{m}_{ilmateor}$	ilman teoreettinen tarve, kg/s
	f	luetaan taulukosta [2, s. 81] ilmantarve
	φ	polttoaineen kosteus, %
	\dot{m}_{PA}	polttoaineen massavirta, kg/s

$$\dot{m}_{SKtod} = \dot{m}_{SKteor} + (\lambda - 1)\dot{m}_{ilmateor} . \quad (13)$$

jossa	\dot{m}_{SKtod}	savukaasun todellinen massavirta, kg/s
	\dot{m}_{SKteor}	savukaasun teoreettinen massavirta, kg/s
	λ	ilmakerroin
	$\dot{m}_{ilmateor}$	ilman teoreettinen tarve, kg/s

Savukaasun tilavuusvirta

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_{SKtod}}{\rho_{SK}} \quad (14)$$

jossa	\dot{V}	tilavuusvirta, m ³ /s
	\dot{m}_{SKtod}	savukaasun todellinen massavirta, kg/s
	ρ_{SK}	savukaasun tiheys, kg/m ³

Savukaasun virtausnopeus lasketaan tilavuusvirran kaavasta:

$$\dot{V} = w_{SK}A \quad (15)$$

jossa	\dot{V}	tilavuusvirta, m ³ /s
	w_{SK}	virtausnopeus, m/s
	A	savukaasuputkiston ala, m ²

$$A = \pi \frac{d^2}{4} \quad (16)$$

jossa	A	putken pinta-ala, m ²
	d	putken halkaisija, m

$$\dot{V} = w_{SK} \pi \frac{d^2}{4} \Rightarrow w_{SK} = \frac{\dot{V}}{\pi \frac{d^2}{4}}$$

jossa	\dot{V}	tilavuusvirta, m ³ /s
	w_{SK}	virtausnopeus, m/s
	d	putken halkaisija, m

jolloin savukaasun virtausnopeus:

$$w_{SK} = \frac{4\dot{V}}{\pi d^2} \quad (17)$$

Kaavan 3 perusteella saadaan laskettua piipun tekemä alipaine.

$$\Delta p = (\rho_i - \rho_{SK})gh - \frac{1}{2}\rho_{SK}w_{SK}^2\left(\lambda\frac{l}{d} + 1\right)$$

jossa	Δp	piipun kehittämä alipaine (veto), Pa
	ρ_i	ilman tiheys, kg/m ³
	ρ_{SK}	savukaasun tiheys savukaasun lämpötilassa, kg/m ³
	g	maan vetovoiman kiihtyvyyys, 9,81m/s ²
	h	piipun korkeus, m
	w_{SK}	savukaasun virtausnopeus hormissa, m/s
	λ	piipun vastuskerroin
	l	piipun kokonaispituus, m
	d	piipun halkaisija, m

Kaavan 8 avulla saadaan laskettua sekä ρ_i että ρ_{SK} ja suure w_{SK} saadaan laskemalla kaavojen 9 - 16 avulla ensin tarvittavat suureet. Kaavan johtaminen suoraan painehäviön kaavaan on liian epäselvä ja sekava tulkittavaksi, joten laskeminen on fiksuinta suorittaa vaiheittain.

$$H_{AS} = H_A(1 - 0,01\varphi) - 0,02443\varphi$$

$$H_{AS} = \left(21,35 \frac{MJ}{kg} \cdot (1 - 0,01 \cdot 8 \%) - 0,02443 \cdot 8 \%\right) \cdot 1000 \frac{kW}{MW} = 19,446 \frac{MJ}{kg}$$

$$\dot{m}_{PA} = \frac{\Phi_U}{H_{AS}}$$

$$\dot{m}_{PA} = \frac{90,454 kW}{19,446 \frac{MJ}{kg}} = 0,0046514 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{SKteor} = f(\varphi)\dot{m}_{PA}$$

$$\dot{m}_{SKteor} = \left(7,65 - \left(\frac{7,65-4,32}{50} \cdot 8 \%\right)\right) \cdot 0,0046514 \frac{kg}{s} = 0,033105 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{ilmateor} = f(\varphi)\dot{m}_{PA}$$

$$\dot{m}_{ilmateor} = \left(6,66 - \left(\frac{6,66-3,33}{50} \cdot 8 \% \right) \right) \cdot 0,0046514 \frac{kg}{s} = 0,0285001 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{SKtod} = \dot{m}_{SKteor} + (\lambda - 1)\dot{m}_{ilmateor} .$$

$$\dot{m}_{SKtod} = 0,033105 \frac{kg}{s} + (1,5 - 1) \cdot 0,0285001 \frac{kg}{s} = 0,0473551 \frac{kg}{s}$$

$$\rho_I = \frac{p}{R_I T_I}$$

$$\rho_I = \frac{100000 Pa}{287 \frac{J}{kg} \cdot 20^\circ C} = 1,1892 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{SK} = \frac{p}{R_{SK} T_{SK}}$$

$$\rho_{SK} = \frac{100000 Pa}{289 \frac{J}{kg} \cdot 150^\circ C} = 0,8180 \frac{kg}{m^3}$$

$$w_{SK} = \frac{4\dot{V}}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot \frac{\dot{m}_{SKtod}}{\rho_{SK}}}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot \dot{m}_{SKtod}}{\pi d^2 \rho_{SK}}$$

$$w_{SK} = \frac{4 \cdot 0,0473551 \frac{kg}{s}}{\pi \cdot (0,18m)^2 \cdot 0,8180 \frac{kg}{m^3}} = 2,2749 \frac{m}{s}$$

Kaavan 3 suureista on johtamatta piipun vastuskerroin λ .

Vastuskerroin saadaan Blasiuksen yhtälöstä

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} \tag{18}$$

jossa λ piipun vastuskerroin

Re Reynoldsin luku

Re saadaan laskettua seuraavasti:

$$Re = \frac{\rho_{SK} w_{SK} d}{\mu_{SK}} \tag{19}$$

jossa Re Reynoldsin luku

ρ_{SK} savukaasun tiheys savukaasunlämpötilassa, kg/m^3

w_{SK} savukaasun virtausnopeus hormissa, m/s

d	piipun halkaisija, m
μ_{SK}	savukaasun dynaaminen viskositeetti, Pa·s

Savukaasun dynaaminen viskositeetti muodostuu savukaasun komponenttien suhteesta ja niiden dynaamisista viskositeeteista poistuvan savukaasun lämpötilassa, 150 °C. Poltettava polttoaine on lähes kuivaa, jolloin savukaasun osakomponenttien suhde on seuraava:

- happi 5,4 %
- hiilidioksidi 12,6 %
- typpi 72 %
- vesihöyry 10 %

Näin ollen saadaan laskettua [16, s.942, 944 - 945] lämpötilassa 150 °C näiden osakomponenttien viskositeettien keskiarvo.

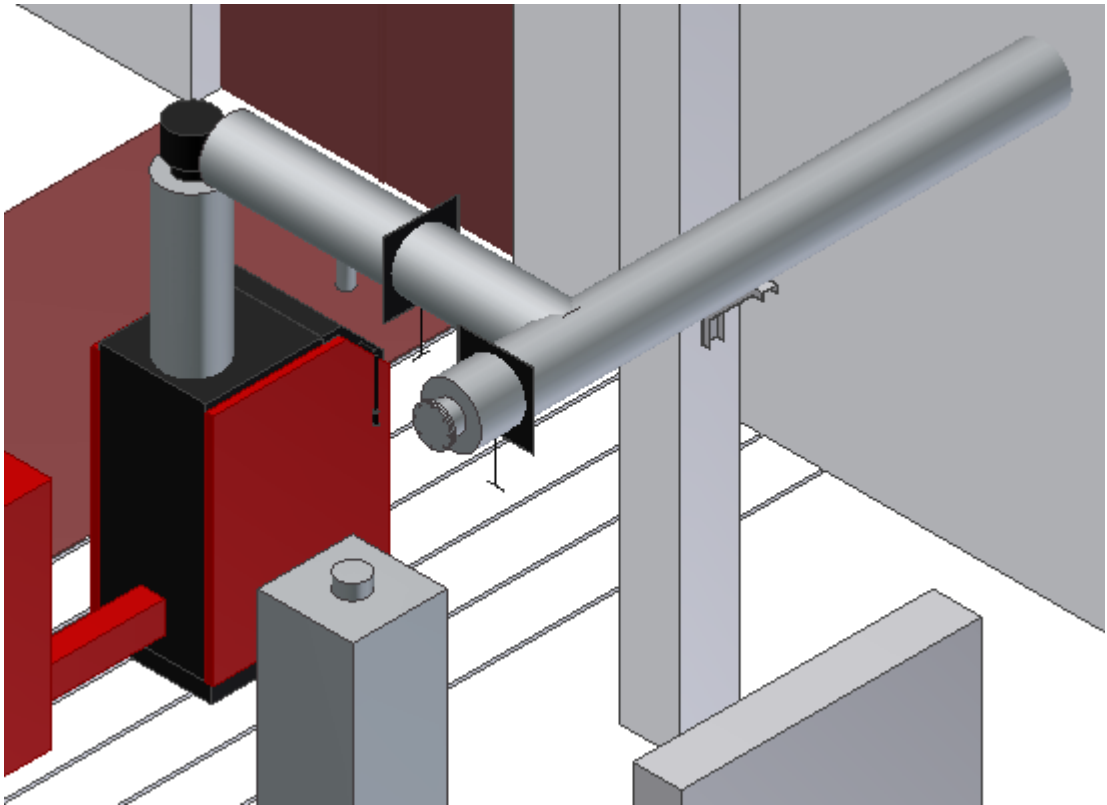
$$\begin{aligned}\mu_{SK} &= 5,4 \% \cdot 24,6 \cdot 10^{-6} + 12,6 \% \cdot 20,0 \cdot 10^{-6} + 72 \% \cdot 23,0 \cdot 10^{-6} + 10 \% \cdot 14,3 \cdot 10^{-6} \\ &= 21,8 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}\end{aligned}$$

$$Re = \frac{0,8180 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,2749 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,18 \text{ m}}{21,8 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 15335,937$$

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} = 0,3164 \cdot 15335,937^{-0,25} = 0,0284321$$

Näin ollen sijoittamalla kaikki saadut arvot kaavaan 3, saadaan laskettua savukaasunpoiston itsessään aiheuttama veto ilman suodatinta.

$$\begin{aligned}\Delta p &= \left(1,1892 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0,8180 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4,2 \text{ m} - \frac{1}{2} \cdot 0,8180 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(2,2749 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \cdot \\ &\left(0,0284321 \cdot \frac{10 \text{ m}}{0,18 \text{ m}} + 1 \right) = 9,832 \text{ Pa}\end{aligned}$$



Kuva 12. Savupiipun muutos suunnittelu suodatinlaitteiston sekä mahdollisen laajentamisen varalta. [12]

Savukaasunpoistojärjestelmässä on mukana myös suodatin, jonka aiheuttama painehäviö tulee huomioida. Tämän suodattimen linjasto on halkaisijaltaan 0,18 metriä ja kokonaispituudeltaan noin 7 metriä. Korkeus suodattimen linjastolla on laskennan kannalta 0 metriä, koska linja laskee ja nousee yhtä paljon, jolloin hyötyä tai häviötä ei ole.

Suodattimen linjan painehäviö lasketaan kaavalla:

$$\Delta p_{suod} = \frac{1}{2} \rho_{SK} w_{SK}^2 \left(\lambda \frac{l}{d} + 1 \right) \quad (20)$$

jossa	Δp_{suod}	piipun kehittämä alipaine (veto), Pa
	ρ_{SK}	savukaasun tiheys savukaasun lämpötilassa, kg/m ³
	w_{SK}	savukaasun virtausnopeus suodatinlinjassa, m/s
	λ	suodatinlinjan vastuskerroin
	l	suodatinlinjan kokonaispituus, m
	d	suodatinlinjan halkaisija, m

Savukaasun tiheys ρ_{SK} pysyy edelleen samana, mutta suodatinlinjan kaventuessa ja piteuden muuttuessa, on laskettava uudestaan savukaasun virtausnopeus w_{SK} sekä linjan vastuskerroin λ .

$$w_{SK} = \frac{4 \cdot 0,0473551 \frac{kg}{s}}{\pi \cdot (0,18m)^2 \cdot 0,8180 \frac{kg}{m^3}} = 2,275 \frac{m}{s}$$

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} = 0,3164 \cdot \frac{0,8180 \frac{kg}{m^3} \cdot 2,275 \frac{m}{s} \cdot 0,18m}{21,8 \cdot 10^{-6} Pa \cdot s} = 0,0284321$$

$$\Delta p_{suod} = \frac{1}{2} \cdot 0,8180 \frac{kg}{m^3} \cdot (2,275 \frac{m}{s})^2 \cdot \left(0,0284321 \cdot \frac{7m}{0,18m} + 1\right) = 4,457 Pa$$

Suodatinlinjan muodostama painehäviö vähennetään piipun aiheuttamasta vedosta. Näin saadaan aikaan painehäviö, joka savukaasupuhaltimen on ylitettävä, jotta kattilan tuottamat savukaasut poistuvat järjestelmää pitkin. Myös suodattimesta aiheutuu painehäviötä, josta tiedetään mittausten perusteella, että 50 kW:n teholla vastusta on 1000 Pa. Verrannosta jossa painehäviöiden suhde vastaa tehojen neliöiden suhdetta,

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \left(\frac{\phi_1}{\phi_2}\right)^2 \quad (21)$$

saadaan laskettua suodattimen aiheuttama painehäviö, kun kattilan teho on tiedossa:

$$\Delta P_1 = \Delta P_2 \left(\frac{\phi_1}{\phi_2}\right)^2 = 1000 Pa \cdot \left(\frac{90,454 kW}{50 kW}\right)^2 = 3272,77 Pa$$

Puhaltimen tuottama paine on laskettavissa savukaasupuhaltimen sähkömoottorin tehon, hyötysuhteen ja savukaasun tilavuusvirran avulla.

$$P = \dot{V} \Delta p \quad (22)$$

$$\eta = \frac{P}{P_s} \quad (23)$$

$$\Delta p = \frac{\eta P_s}{\dot{V}} \quad (24)$$

Näin ollen kun arvioidaan sähkömoottorin hyötysuhteeksi 80 % ja puhaltimen sähkömoottorin ilmoitettu teho on 370 W, saadaan laskettua:

$$\Delta p = \frac{80\% \cdot 370W}{0,0579 \frac{m^3}{s}} = 5112 Pa$$

Tästä huomataan, että puhaltimen teho riittää, koska puhaltimen tuottama paine $5112 \text{ Pa} > 3267 \text{ Pa}$ joka on koko linjaston häviö.

4.2 Putkiston uusimistarpeen tarkastelu

Energiatekniikan laboratoriossa on vanhan polttoainekattilan ja muiden laboratorion laitteiden lämpöenergian siirtämiseksi olemassa kolmenkymmenen kuutiometrin vesisäiliö ja putkistot. Vesisäiliöön menevät poisto- ja paluuputket sijaitsevat uuden biopolttoainekattilan vasemmalla puolella, keskellä energiatekniikan laboratoriota, putkistokourussa. Biopolttoainekattilan tuottaman lämpöenergian haihduttamista varten joudutaan laboratorioon asentamaan lämmönsiirtimet ja rakentamaan niille putkisto sekä ulosasennettavaa lauhdutinta varten on asennettava putkisto. Näitä suunniteltaessa on tarkasteltava nykyisen jo olemassa olevan linjaston toimivuutta lämmönsiirtoon, jotta materiaalihankinnat osataan tehdä oikein.



Kuva 13, Kattila ja lämmönsiirtimet asennettuna.

Suurimman osan lämpöenergian hävittämisestä tekee laboratorion ulkopuolelle asennettu lauhdutin, jolloin jo olemassa olevissa putkistossa ei virtaa suuria määriä jäähdy-

tettävää nestettä. Jäähdytysjärjestelmä on kuitenkin suunniteltava kokonaisvaltaisesti ja selkeästi, jotta järjestelmä on helposti ymmärrettävissä myös opetuskäytössä. Näin ollen vanhat, putkistokourussa kulkevat linjat ovat käyttökelpoisia lämmönsiirtimien ja vesisäiliön välillä, koska ne sijaitsevat asennuspaikan vieressä ja ovat edelleen toimintakuntoisia. Kyseisistä linjoista on tarpeen tehdä vain haaraumat lämmönsiirtimiin ja luoda näykyksi kolmesta jäähdytyspiiristä.



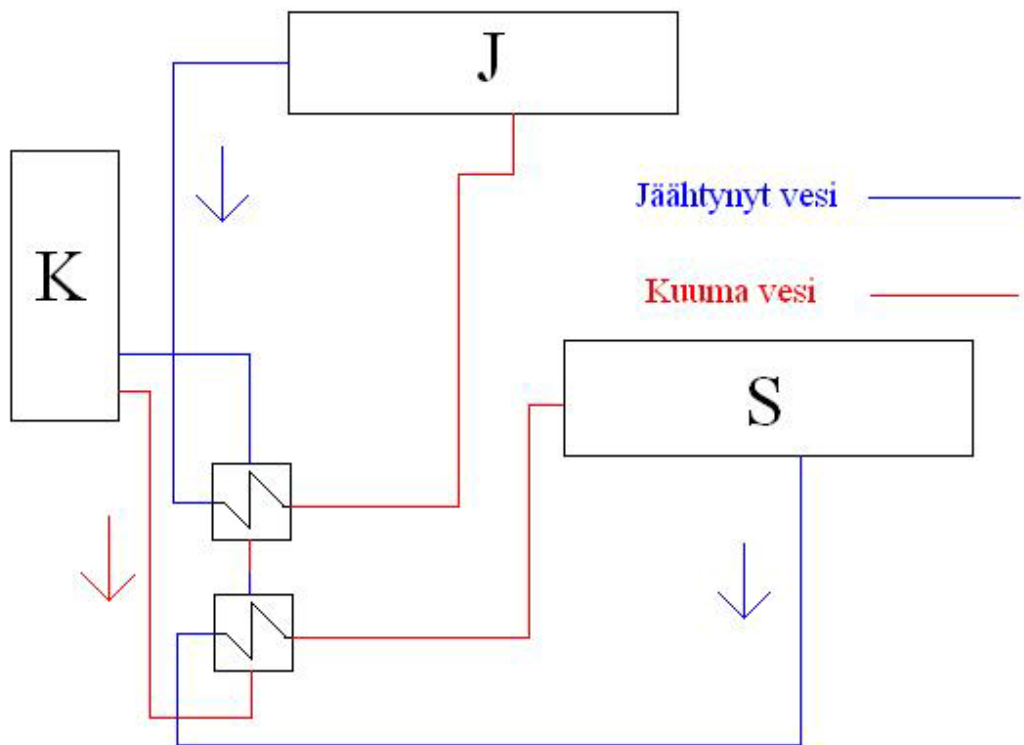
Kuva 14. Lauhdutin asennettuna sijoituspaikkaansa.

Kaksi muuta jäähdytyspiiriä luodaan lämmönsiirtimien ja lauhduttimen välille, joiden osalle on asennettava putkistot. Lämmönsiirtimen etäisyys kattilasta tulee olemaan lyhyt, jolloin kattilan ja lämmönsiirtimien väliset putket asennetaan pinta-asennuksina laboratorion lattialle ja eristetään. Lauhduttimelle menevä ja sieltä tuleva linjasto vietään lämmönsiirtimistä alas samaan putkistokouruun, jossa kulkee vesisäiliön putkilinjasto ja johdetaan laboratorion seinästä ulos lauhduttimen asennuspaikalle.

5 KATTILAN TUOTTAMAN LÄMPÖENERGIAN SIIRTÄMINEN

5.1 Järjestelmän toimintakaavio

Biopolttoainekattilan lämpöenergian siirto tapahtuu kolmen erillisen piirin avulla. Kattilan ja lämmönsiirtimet muodostavat ensimmäisen, lauhdutin toisen ja energiatekniikan laboratorion iso vesisäiliö kolmannen. Piirit on rakennettu siten, ettei niitä kaikkia kolmea tarvitse käyttää yhtä aikaa. Venttiilien avulla on hallinnoitavissa kaikkien piirien jäähtytysvesien virtaus. Lämmönsiirtimien piiri on suljettavissa kattilan paluulinjasta, lauhduttimen linja palatessaan lämmönsiirtimille ja vesisäiliön piiri lähtiessään lämmönsiirtimestä. Käytettäessä kattilaa on lämmönsiirrinpiirin oltava avoinna ja edes toisen kahdesta muusta piiristä. Muuten jäähtymistä ei pääse tapahtumaan, vaan vesi kiertää kattilan ja lämmönsiirtimien välillä koko ajan lämmenten.



Kuva 15. Lämmönsiirtokaavion periaatekuva.

Kuvasta 15 näkyy lämmönsiirtokaavion toimintaperiaate. Kattilan lähtöaukosta virtaa kuumaa, noin 90 °C, vettä ensimmäiselle lämmönsiirtimelle, josta se poistuu jäähtyneempänä toiseen lämmönsiirtimeen, edeten siitä takaisin kattilaan paluulinjaa pitkin vähintään 60 °C:n lämpöisenä.

Toisena jäähdytyspiirinä toimii ulos energiatekniikan lastausoven viereen asennettu lauhdutin. Jäähdytysvesi virtaa lauhduttimelta toiseen lämmönsiirtimeen, sitoen ensimmäisen piirin, jo yhden lämmönsiirtimen läpi tulleen lämpöenergian itseensä, virraten takaisin lauhduttimeen. Lauhduttimen ulkoasennuksen vuoksi jäähdytysveden seassa on myös glykolia jäätyminen estämiseksi. Toinen jäähdytyspiiri on suljettavissa jäähdytysveden saapumislinjasta, jolloin lämmönsiirtimeen ei tule ollenkaan jäähdytysvettä.



Kuva 16. Lauhdutin asennettuna telineeseensä.

Kolmas jäähdytyspiiri on vesisäiliö, josta virtaa kylmää vettä ensimmäiseen lämmönsiirtimeen ja joka sitoo kattilasta tulleen lämpöenergian johtaen sen paluulinjaa pitkin takaisin vesisäiliöön. Tämä vesisäiliön paluulinja on mahdollista sulkea, jos kattilaa ei ajeta täydellä teholla, jolloin jäähdytyskapasiteetin ei tarvitse olla maksimissaan.

5.2 Pumppujen mitoitus

Laskelmien tarkoituksena on tarkastella kattilan jäähdytyspiirin sekä lauhduttimen jäähdytyspiirin painehäviöitä, jotta molempiin piireihin saadaan mitoitettua pumput. Tätä varten on selvitetävä myös virtausnopeus sekä tilavuusvirta, jotta pumpun valinta käyrästöjen perusteella onnistuu.

Kaavoissa olevia lämpötilasta riippuvia suureita ovat muun muassa nesteiden dynaaminen viskositeetti μ_x ja tiheys ρ_x . Nämä arvot on saatu luomalla taulukon 1 arvojen perusteella toisen asteen käyräsovite. Viskositeetin ja tiheyden arvot saadaan laskettua käyräsovitteen antaman funktion perusteella, missä lämpötila on muuttujana.

Tarvittavia kaavoja, jotta laskentakaava saadaan johdetuksi:

$$E = mc_p \Delta T \quad (25)$$

jossa	E	lämpöenergia, kJ
	m	veden massa, kg
	c_p	nesteen ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C
	ΔT	virtaavan nesteen lämpötilaero, °C

$$\eta = \frac{\Phi_U}{\Phi_{PA}} \quad (26)$$

jossa	η	kattilan hyötysuhde
	Φ_U	kattilan lämpöteho, kW
	Φ_{PA}	kattilan polttoaineteho, kW

$$E = \Phi_U t \quad (27)$$

jossa	E	lämpöenergia, kJ
	Φ_U	kattilan lämpöteho, kW
	t	aika, s

$$\Phi_U = \frac{E}{t} \Rightarrow \frac{mc_p \Delta T}{t}$$

jossa	Φ_U	kattilan lämpöteho, kW
	E	lämpöenergia, kJ
	t	aika, s
	m	nesteen massa, kg
	c_p	nesteen ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C
	ΔT	virtaavan nesteen lämpötilaero, °C

$$\frac{m}{t} = \dot{m} \quad (28)$$

jossa	m	nesteen massa, kg
	\dot{m}	massavirta, kg/s
	t	aika, s

$$\phi_U = \dot{m} c_p \Delta T$$

jossa	\dot{m}	massavirta, kg/s
	c_p	nesteen ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C
	ΔT	virtaavan nesteen lämpötilaero, °C

$$\dot{m} = \frac{\phi_U}{c_p \Delta T}$$

jossa	\dot{m}	massavirta, kg/s
	Φ_U	kattilan lämpöteho, kW
	c_p	nesteen ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C
	ΔT	virtaavan nesteen lämpötilaero, °C

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \quad (29)$$

jossa	ρ	tiheys, kg/m ³
	m	nesteen massa, kg
	V	nesteen tilavuus, m ³
	\dot{m}	massavirta, kg/s
	\dot{V}	tilavuusvirta, m ³ /s

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{\phi_U}{\rho c_p \Delta T}$$

jossa	\dot{V}	tilavuusvirta, m ³ /s
	\dot{m}	massavirta, kg/s
	ρ	tiheys, kg/m ³
	Φ_U	kattilan lämpöteho, kW

c_p	nesteen ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C
ΔT	virtaavan nesteen lämpötilaero, °C

$$\dot{V} = \frac{\phi_U}{\rho c_p \Delta T} \quad (30)$$

jossa	\dot{V}	tilavuusvirta, m ³ /s
	Φ_U	kattilan lämpöteho, kW
	ρ	tiheys, kg/m ³
	c_p	nesteen ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C
	ΔT	virtaavan nesteen lämpötilaero, °C

$$\dot{V} = Av \quad (31)$$

jossa	\dot{V}	tilavuusvirta, m ³ /s
	A	putken pinta-ala, m ²
	v	virtausnopeus m/s

$$A = \pi \frac{d^2}{4} \quad (32)$$

jossa	A	putken pinta-ala, m ²
	d	putken halkaisija, m

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

jossa	v	virtausnopeus m/s
	\dot{V}	tilavuusvirta, m ³ /s
	A	putken pinta-ala, m ²

Johdettuna kaavojen 25 - 32 avulla virtausnopeus v (m/s) on:

$$v = \frac{\frac{\phi_U}{\rho c_p \Delta T}}{\pi \frac{d^2}{4}} \Rightarrow \frac{4\phi_U}{\pi d^2 \rho c_p \Delta T}$$

jolloin

$$v = \frac{4\phi_U}{\pi d^2 \rho c_p \Delta T} \quad (33)$$

Painehäviö lasketaan kaavalla [14, s.58]

$$\Delta p = \frac{1}{2} \sum \zeta \xi \rho \frac{lv^2}{d} \quad (34)$$

jossa	Δp	putkiston painehäviö, Pa
	ρ	virtaavan nesteen tiheys, kg/m ³
	v	nesteen virtausnopeus putkistossa, m/s
	l	putkiston pituus, m
	ζ	kertavastuskerroin
	ξ	virtausvastuskerroin

$$\xi = \frac{0,25}{\left(\frac{\ln \left(\frac{k}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right)}{\ln(10)} \right)^2} \quad [14, s.58] \quad (35)$$

jossa	ξ	virtausvastuskerroin
	k	putken pinnankarheus, m (arvioitu 0,0003m)
	d	putken halkaisija, m
	Re	Reynoldsin luku

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad [14, s.58] \quad (36)$$

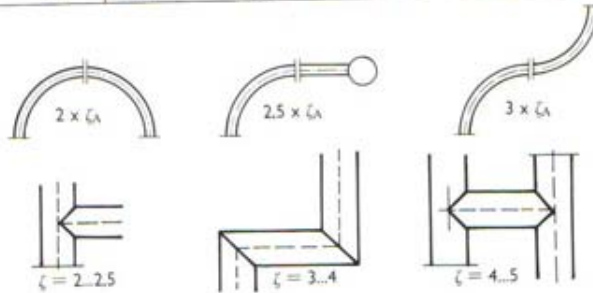
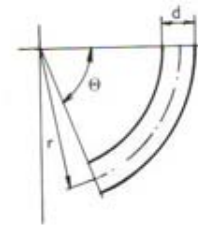
jossa	Re	Reynoldsin luku
	ρ	virtaavan nesteen tiheys, kg/m ³
	v	nesteen virtausnopeus putkistossa, m/s
	d	putken halkaisija, m
	μ	dynaaminen viskositeetti, Pa·s

Kaavan 34 kertavastuskerroin ζ on putkistossa olevien 90° mutkien ja T-haarojen aiheuttama virtausvastus, johon vaikuttaa mutkien ja T-haarojen lukumäärä linjastossa.

Oheisen kuvan taulukosta selviää putkistossa olevat kertavastuskertoimet. Putkimutkan kertavastuskerroin saadaan laskemalla mutkan säteen suhde halkaisijaan.

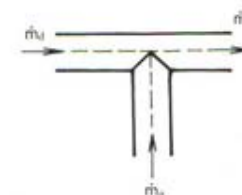
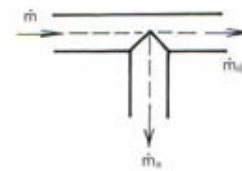
A. Putkimutka

θ	15 °	22.5 °	45 °	60 °	90 °
$r/d = 1$	0,03	0,045	0,14	0,19	0,21
2	0,03	0,045	0,09	0,12	0,14
4	0,03	0,045	0,08	0,10	0,11
6	0,03	0,045	0,075	0,09	0,09
10	0,03	0,045	0,07	0,07	0,11



B. Putkihaara

\dot{m}_2/\dot{m}	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$d_2/d_1 = 1$						
ζ_A	0,90	0,78	0,78	0,86	1,0	1,19
ζ_B	0,06	-0,09	-0,07	0,04	0,16	0,23
$d_2/d_1 = 0,58$						
ζ_A	1,2	1,2	1,7	2,8	4,2	6,0
ζ_B	0	-0,02	0	0,10	0,20	0,30
$d_2/d_1 = 1$						
ζ_A	-1,0	-0,4	0,08	0,45	0,72	0,90
ζ_B	0,05	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60



C. Mittalaippa ja -suutin, painehäviö tulovirtauksen mukaan, $m = (d_2/d_1)^2$, missä d_2 = mittalaitteen aukon halkaisija ja d_1 = putken halkaisija

$m =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Laippa, $\zeta =$	240	50	18	8	3,8
Suutin, $\zeta =$	17	3	1	0,5	0,3

D. Äkillinen putkikoon muutos.

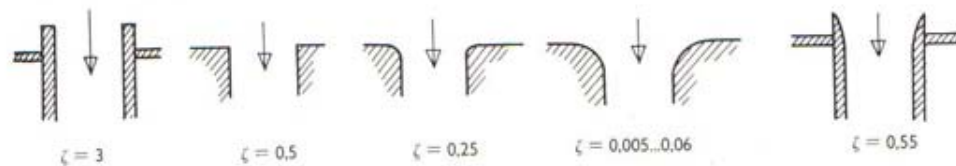
Supistus, painehäviö laskettuna lähtevän virtausnopeuden mukaan (putkikoko d_2)

$d_2/d_1 =$	0	0,2	0,4	0,6	0,8
$\zeta =$	0,5	0,45	0,4	0,28	0,1

Putken laajennus, painehäviö laskettuna tulevan virtausnopeuden (putkikoko d_1) mukaan.

$d_1/d_2 =$	0	0,2	0,4	0,6	0,8
$\zeta =$	1	0,92	0,71	0,41	0,13

E. Ulosvirtaus säiliöstä



Kuva 17. Kertavastuskertoimia [15]

Putkimutkan säde on n. 0,054 m ja putkiston halkaisija on 0,03175 m, jolloin suhde θ on n. 1,7. Näin ollen taulukon arvoja lineaarisesti tutkimalla voidaan todeta kertavastuskertoimen olevan 0,161. Kattilapiirissä putkimutkia on 9 kappaletta, jolloin $\zeta_{M1} = 0,161 \cdot 9 = 1,449$. Kattilapiirissä on T-haaroja kaikkiaan 7 kappaletta, joista kuudessa

virtaus ohittaa käännöksen, jolloin suhdeluku on 0 ja kertavastuskerroin yhtä T-haaraan kohden on 0,06. Yhdessä T-haarassa virtaus kääntyy alaspäin, jolloin suhdeluvuksi tulee 1 ja kertavastuskertoimeksi 1,19. Kattilapiirin T-haarojen kertavastuskerroin $\zeta_{T1} = 0,06 \cdot 6 + 1,19 = 1,55$. Näin ollen $\sum \zeta = \zeta_{M1} + \zeta_{T1} = 2,999$.

Kattilapiirin painehäviö saadaan näin ollen laskettua kaavan 33 avulla sijoittamalla siihen kaavat 8,10 ja 11 sekä tarvittavat arvot.

$$\Delta p = \frac{1}{2} \sum \zeta \xi \rho \frac{lv^2}{d}$$

Sijoitetaan kaavat 33, 35 ja 36 kaavaan 34.

$$\Delta p = \frac{1}{2} (\zeta_{M1} + \zeta_{T1}) \left(\frac{0,25}{\ln \left(\frac{k}{3,7d} + \frac{5,74}{0,9} \right)^2 \frac{\rho \frac{4\Phi_U}{\pi d^2 c_{p,v} \Delta T} d}{\mu_v}} \right) \rho_v \frac{l \left(\frac{4\Phi_U}{\pi d^2 c_{p,v} \Delta T} \right)^2}{d}$$

Jota sieventämällä se saadaan muotoon:

$$\Delta p = \frac{1}{2} (\zeta_{M1} + \zeta_{T1}) \left(\frac{0,25}{\ln \left(\frac{k}{3,7d} + \frac{5,74}{0,9} \right)^2 \frac{\rho \frac{4\Phi_U}{\pi d^2 c_{p,v} \Delta T} d}{\mu_v}} \right) \frac{l \left(\frac{4\Phi_U}{\pi d^2 c_{p,v} \Delta T} \right)^2}{d \rho_v} \quad (37)$$

jossa	ζ_{M1}	kattilapiirin putkimutkien kertavastuskerroin, 1,449
	ζ_{T1}	kattilapiirin T-haarojen kertavastuskerroin, 1,55
	k	putken pinnankarheus, m (arvioitu 0,0003m)
	d	putkiston halkaisija, 0,03175m
	Φ_U	kattilan lämpöteho, kW
	$c_{p,v}$	veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C
	ΔT	virtaavan veden lämpötilaero, °C
	μ_v	veden dynaaminen viskositeetti Pa·s
	l	kattilapiirin putkiston pituus, m
	ρ_v	veden tiheys, kg/m ³

Kaavan 36 mukainen dynaaminen viskositeetti μ on virtaavasta nesteestä ja sen lämpötilasta riippuvainen. Oheisen taulukon [16, s. 946 ja 949] avulla on mahdollista tutkia kattilapiirissä kiertävän veden sekä lauhdutinpiirissä kiertävään seokseen kuuluvan glykolin dynaamisia viskositeetteja.

Veden viskositeetti		Glykolin viskositeetti	
T, °C	μ , Pa·s	T, °C	μ , Pa·s
0	0,001750	0	0,06510
11,85	0,001225	7	0,04200
21,85	0,000959	17	0,02470
31,85	0,000769	27	0,01570
41,85	0,000631	37	0,01070
51,85	0,000528	47	0,00757
61,85	0,000453	57	0,00561
71,85	0,000389	67	0,00431
81,85	0,000343	77	0,00342
91,85	0,000306	87	0,00278
100	0,000279	97	0,00228
		100	0,00215

Taulukko 1. Virtaavien nesteiden viskositeetteja. [16]

Kattilan lämpöteho Φ_U saadaan laskettua kaavasta 26, kun tiedossa on kattilan polttoainetehto sekä kattilan hyötysuhde. [17, s. 27] Näin ollen kattilan lämpöteho on:

$$\eta = \frac{\phi_U}{\phi_{PA}} \Rightarrow \phi_U = \phi_{PA} \cdot \eta = 98 \text{ kW} \cdot 92,3\% = 90,454 \text{ kW}$$

$$\Phi_U = 90,454 \text{ kW}$$

Dynaaminen viskositeetti μ_v kattilapiirissä määräytyy virtaavan nesteen, eli veden lämpötilan mukaan. Kattilan paluueden tulee olla vähintään 60 °C ja lähtevä vesi on noin 90 °C, jolloin dynaamista viskositeettia tarkastellaan lämpötilan kohdasta

$$T_{\min} + \frac{\Delta T}{2}, \text{ jolloin } 60 \text{ °C} + \frac{30 \text{ °C}}{2} = 75 \text{ °C} \text{ jolloin } \mu_v = 0,00036 \text{ Pa}\cdot\text{s}.$$

Kattilapiirin putkiston pituus on asennuksen jälkeen mitattuna 7,3 metriä.

Sijoittamalla tiedossa olevat arvot kaavaan 37, saadaan laskettua kattilapiirin putkiston aiheuttama painehäviö ja näin ollen mitoitettua pumppu kattilapiiriin.

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot (1,449 + 1,55) \cdot \left(\frac{0,25}{\ln \left(\frac{0,0003 \text{ m}}{3,7 \cdot 0,03175 \text{ m}} + \frac{5,74}{\frac{4 \cdot 90,454 \text{ kW}}{\pi \cdot 0,03175 \text{ m} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{C}} \cdot 30 \text{ C} \cdot 0,00059 \text{ Pa} \cdot \text{s}} \right)} \right)^2 \cdot \frac{7,3 \text{ m} \cdot \left(\frac{4 \cdot 90,454 \text{ kW}}{\pi \cdot (0,03175 \text{ m})^2 \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{C}} \cdot 30 \text{ C}} \right)^2}{0,03175 \text{ m} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 6429,42 \text{ Pa}$$

Painehäviöksi kattilapiiriin saadaan näin ollen 0,064 baaria. Kattilapiirin virtausnopeus saadaan laskemalla kattilan tilavuusvirta kaavalla 30:

$$\dot{V} = \frac{\phi_U}{\rho c \Delta T} = \frac{90,454 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{1000 \frac{\text{kg}^3}{\text{m}} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{C}} \cdot 30 \text{ C}} \cdot 1000 \text{ l} = 0,718 \text{ l/s}$$

Näin ollen kattilapiirin painehäviö on suhteellisen olematon ja virtausnopeus jää pieneksi, alle litraan sekunnissa, jolloin pumpun valinnassa luotetaan vanhaan osaamiseen ja päädytään liitteen 1 mukaiseen pieneen ONN L 25-60-180 kiertovesipumpuun.



Kuva 18. Lauhdutinlinjan paisuntasäiliö ja pumppu.

Lauhdutinpiiriin painehäviön laskemista varten on tutkittava kyseisen piirin kertavastuskertoimet ja huomioitava ominaislämpökapasiteetin, tiheyden sekä dynaamisen

viskositeetin osalta vesi-glykoliseoksen aiheuttamat muutokset. Lauhdutinpiirissä putkimutkia on 18 kappaletta, jolloin $\zeta_{M2} = 0,161 \cdot 18 = 2,898$. Lauhdutinpiirissä on T-haaroja kaikkiaan 5 kappaletta, joista neljässä virtaus ohittaa käännöksen, jolloin suhdeluku on 0 ja kertavastuserroin yhtä T-haaraan kohden on 0,06. Yhdessä T-haarassa virtaus kääntyy alaspäin, jolloin suhdeluvuksi tulee 1 ja kertavastuserroimeksi 1,19. Lauhdutinpiirin T-haarojen kertavastuserroin $\zeta_{T2} = 0,064 + 1,19 = 1,43$. Näin ollen $\sum \zeta = \zeta_{M2} + \zeta_{T2} = 4,328$.

Lauhdutinpiirin painehäviö saadaan näin ollen laskettua kaavan 36 avulla sijoittamalla siihen tarvittavat arvot.

$$\Delta p = \frac{1}{2} (\zeta_{M2} + \zeta_{T2}) \left(\frac{0,25}{\ln \left(\frac{k}{3,7d} + \frac{5,74}{0,9} \right)^2} \frac{l \left(\frac{4\Phi_U}{\pi d^2 c_{p,s} \Delta T} \right)^2}{\frac{\pi d c_{p,s} \Delta T \mu_s}{\ln(10)}} \right) \frac{1}{d \rho_s} \quad (37)$$

jossa	ζ_{M2}	lauhdutinpiirin putkimutkien kertavastuserroin, 2,898
	ζ_{T2}	lauhdutinpiirin T-haarojen kertavastuserroin, 1,43
	k	putken pinnankarheus, m (arvioitu 0,3 mm)
	d	putkiston halkaisija, 0,03175m
	Φ_U	kattilan lämpöteho, kW
	$c_{p,s}$	seoksen ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C
	ΔT	virtaavan seoksen lämpötilaero, °C
	l	lauhdutinpiirin putkiston pituus, m
	μ_s	seoksen dynaaminen viskositeetti Pa·s
	ρ_s	seoksen tiheys, kg/m ³

Järjestelmässä käytettävän vesi-glykoliseoksen sekoitussuhteessa on päädytty 60:40 suhteeseen [18] glykolin jäätymispisteen perusteella. Näin ollen muodostetaan ominaislämpökapasiteetille, dynaamiselle viskositeetille sekä tiheydelle omat laskunsa.

$$C_{p,s} = C_{p,v} \cdot 60 \% + C_{p,g} \cdot 40 \% = 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 60 \% + 2,4 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 40 \% = 3,48 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\rho_s = \rho_v \cdot 60 \% + \rho_g \cdot 40 \% = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 60 \% + 1113 \text{ kg/m}^3 \cdot 40 \% = 1045,2 \text{ kg/m}^3$$

Dynaaminen viskositeetti μ_s lauhdutinpiirissä määräytyy vedestä ja glykolista muodostetun seoksen lämpötilan mukaan. $T_{\min} + \frac{\Delta T}{2}$, jolloin $30\text{ °C} + \frac{15\text{ °C}}{2} = 37,5\text{ °C}$ jolloin $\mu_v = 0,00073\text{ Pa}\cdot\text{s}$ ja $\mu_g = 0,01083\text{ Pa}\cdot\text{s}$ taulukon 1 perusteella käyräsoviteella sitä tutkien. Näin ollen saadaan laskettua:

$$\mu_s = \mu_v \cdot 60\% + \mu_g \cdot 40\% = 0,00073\text{ Pa}\cdot\text{s} \cdot 60\% + 0,01083\text{ Pa}\cdot\text{s} \cdot 40\% = 0,00477\text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Lauhdutinpiirin putkiston pituus on asennuksen jälkeen mitattuna 17,5 metriä.

Sijoittamalla tiedossa olevat arvot kaavaan 36, saadaan laskettua lauhdutinpiirin putkiston aiheuttama painehäviö ja näin ollen mitoitettua pumppu lauhdutinpiiriin.

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot (2,898 + 1,43) \cdot \left(\frac{0,25}{\ln \frac{0,0003\text{ m}}{3,7 \cdot 0,03175\text{ m}} + \frac{5,74}{\frac{4 \cdot 90,454\text{ kW}}{\pi \cdot 0,03175\text{ m} \cdot 3,48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{°C}} \cdot 15\text{ °C} - 0,00477\text{ Pa}\cdot\text{s}}}} \right)^2 \cdot \frac{17,5\text{ m} \cdot \left(\frac{4 \cdot 90,454\text{ kW}}{\pi \cdot (0,03175\text{ m})^2 \cdot 3,48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{°C}} \cdot 15\text{ °C}} \right)^2}{0,03175\text{ m} \cdot 1045,2\text{ kg}/\text{m}^3}$$

$$= 164\,989,0379\text{ Pa}$$

Painehäviöksi lauhdutinpiirin putkistoon saadaan näin ollen 1,650 baaria. Lauhdutinpiirin virtausnopeus saadaan laskemalla kattilan tilavuusvirta kaavalla 30:

$$\dot{V} = \frac{\phi_U}{\rho c \Delta T} = \frac{90,454 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{1045,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{°C}} \cdot 15\text{ °C}} \cdot 1000\text{ l} = 1,658\text{ l/s}$$

Liitteessä 2 on nähtävissä lämmönsiirtimien sekä lauhduttimen aiheuttamat painehäviöt. Lämmönsiirtimen painehäviö on ilmoitettu olevan 0,8 l/s virtauksella 0,13 baaria ja lauhduttimen 2,6 l/s virtauksella 0,163 baaria. Lauhdutinpiirissä nesteen virtausnopeus on noin 1,66 l/s, jolloin saadaan lämmönsiirtimen painehäviöksi tällä virtausnopeudella noin 0,559 baaria ja lauhduttimelle noin 0,0664 baaria. Näin ollen koko lauhdutinpiirin painehäviö on näiden kolmen painehäviön summa eli 2,216 baaria.

Näin ollen kun tiedetään lauhduttimen virtausnopeus ja painehäviöt, voidaan liitteen 3 käyrästä valita lauhdutinpiiriin sopiva pumppu. Painehäviön ja virtauksen osalta jäädytään kahden eri siipipyörävaihtoehdon välille, jolloin on valikoitava suurempi

pumppu riittävyyden varmistamiseksi. Näin ollen pumpuksi tulee Kolmeksin AE-33/2 1,5kW pumppu 140 mm:n siipipyörällä.

6 BIOPOLTTOAINEKATTILAN ASENNUS SIJOITUSPAIKKAANSA

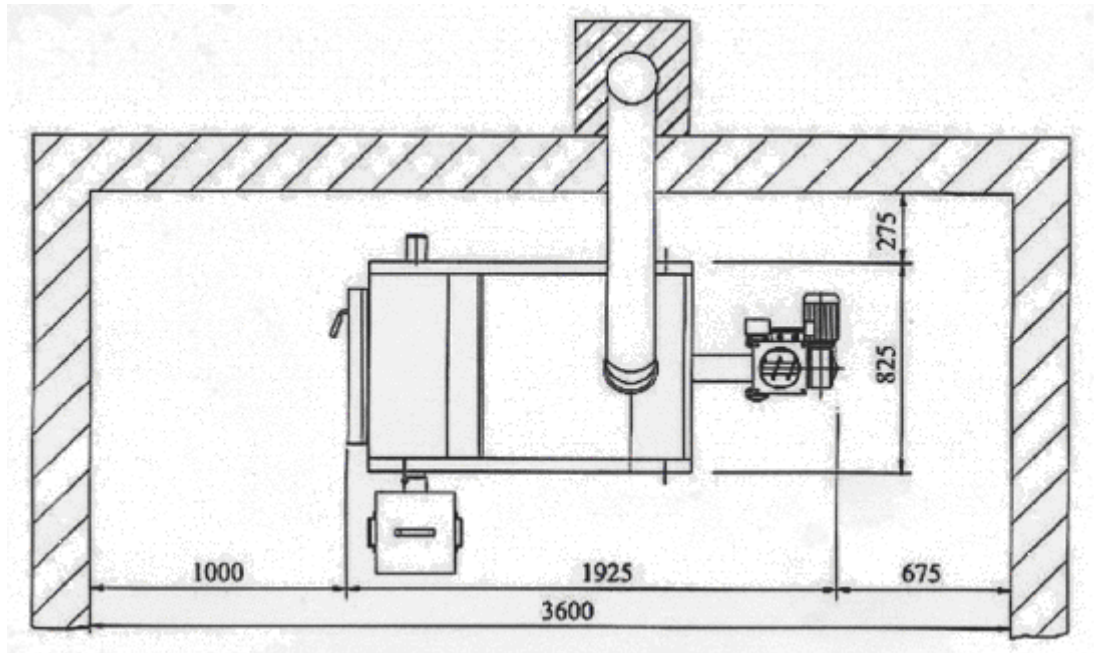
6.1 Asennettavan biopolttoainekattilan perustietoja

Energiatekniikanlaboratorioon asennettava energiayhtiö ST1:n valmistama biopolttoainekattila Multistoker 975-95-I on pieni biomassakattila, jossa voidaan käyttää monipuolisesti erilaisia kotimaisia biopolttoaineita, kuten haketta, pellettejä, energiaviljaa ja polttopuita. [17, s. 4] Päästömittauslaboratorion ja TUHKA-hankkeen tavoitteena on käyttää polttoaineena kattilan poltossa haketta sen kustannustehokkuuden, saatavuuden ja käsiteltävyyden helppouden takia. Kattilalla pyritään tekemään kokeita myös muilla mahdollisilla polttoaineilla. [12]

Multistoker 975-95-I kattilan tulipesän polttoala on $3,6 \text{ m}^2$, jolloin savukaasujen jäähtyminen on huomattavasti parempi suuremman pinta-alan ansiosta. Polttoalalla tarkoitetaan kaikkia kattilan tulipesän seinä-, lattia- ja kattopintoja. Kattilan sisäpuoli on varustettu valurautaisella arinalla ja rakennettu 6 mm paksusta levystä. Itse kattilan palotila on rakennettu tulenkestävistä tiilistä sekä eristetty eristysmateriaalilla joka kestää kattilan korkeita palamislämpötiloja, jotka voivat nousta jopa 1200 °C :seen. Kattilassa on täysin moduloiva ilman säätö, joka varmistaa laitteen käytön energiatarpeen mukaan. Automaattikka sovittaa happimäärän vastaamaan todellista kulutusta ja polttoaineen määrää säädellään happi-indikaattorin signaalin mukaan. Näin polttimen teho vastaa aina tarvetta.

6.2 Asennusohje ja biopolttoainekattilan asennus

Multistoker 975-95-I kattilaa ei asenneta perinteiseen ja ohjeiden mukaiseen kattilahuoneeseen, vaan hyvin avaraan tilaan energiatekniikan laboratoriossa. Näin ollen kuvassa 19 näkyvät asennusohjeen mukaiset vähimmäisetäisyydet sijoittamiselle ovat hyvin ohjeelliset.



Kuva 19. Asennusohjeen vähimmäismitat pannuhuoneasennuksessa. [17, s. 24]

Kattilalle ja siihen liittyvien laitteiden huoltomahdollisuudet on kuitenkin huomioitava, joten tilaa biopolttoainekattilan ja hakesiilon ympärillä on oltava riittävästi. Kattilan ja siilon lähietäisyydessä sijaitsevat vain lämmönsiirtimet tarpeeksi lyhyen putkituksen varmistamiseksi. Kattilan syöttö- ja paluueden liittynät ovat 1¼ ”:n kokoiset. Syöttövesiputkeen liitetään paisuntasäiliö eikä linjaan ole sallittua asentaa hanoja. Kattilaan tulevan paluueden lämpötilan on oltava vähintään 60 °C, mikä varmistetaan asentamalla syöttö- ja paluueden välille shunttiohitus. Kattilaan on asennettu sprinkleriventtiili, joka toimiakseen vaatii mukana toimitetun painesäiliön asennuksen mieluusti lähelle kattilaa. Painesäiliö liitetään suoraan vedenjakelujärjestelmään ja kytketään sprinkleriventtiiliin syöttökierukkaputken oikealla sivustalla, liitännään sopii 15 mm:n putki. Painesäiliö on varustettu takaiskuventtiilillä varmistamaan veden saannin sprinklerijärjestelmään, vaikka vedentulo olisi poikki.

Kattilan savukaasulämpötilat ovat laitteen käyttöohjeen mukaan erittäin alhaiset (noin 150 °C) ja savukaasuputkina käytetään halkaisijaltaan 155 mm:n teräslevyistä valmistettuja putkia, joiden seinämävahvuus on 2 mm. Pitkät, vapaasti sijoitetut savuputket tulee eristää, jotta vältettäisiin kondenssivesi ja siitä johtuvat tiiveysongelmat. Jos putkistoon joudutaan tekemään mutkia, on ne varustettava puhdistusluukulla. Liitosten tiivistämiseen on käytettävä uunikittiä tai lasinauhaa.

Polttoainesiilon ja kattilan välisen syöttökierukan pyörimissuunnan tarkistus on tärkeää. Syöttökierukan tulee pyöriä myötäpäivään kattilan edestä katsottuna. [17, s.25]

7 BIOPOLTTOAINEKATTILAN KÄYNNISTYSKUNTOON SAATTAMINEN

Biopolttoainekattilan ja sen oheislaitteiden asennuksen jälkeen ennen ensimmäistä käynnistystä on varmistuttava siitä, että kaikki asennetut laitteet ja linjastot toimivat. Ensimmäisiä asioita ennen käynnistystä on biopolttoainekattilan vesisäiliön ja kattilapiirin putkiston täyttäminen vedellä, minkä jälkeen käynnistämällä kattilapiirin pumppu testataan linjaston tiiveyttä liitos- ja venttiilikohdistaan sekä kattilapiirin lämmönsiirtimen tiiveys. Säiliöpiirin testaaminen tapahtuu täyttämällä 30 m³:n vesisäiliö ja käynnistämällä pumpppu. Näin nähdään uuden asennetun putkiston sekä säiliöpiirin sulkuventtiilin tiiveys. Lauhdutinpiirin testausta varten on ensin tutkittava lauhdutinpiirin putkiston, lauhduttimen ja lämmönsiirtimen tilavuus, jotta voidaan laskea, kuinka paljon järjestelmään laitetaan vesi-glykoliseosta.

Lauhduttimen sisätilavuus on valmistajan tietojen mukaan 66 litraa. Putkiston pituus 17,5 m ja halkaisija 0,03175 m, jolloin putkiston tilavuus $V = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot l \Rightarrow \frac{\pi}{4} \cdot 0,03175 m^2 \cdot 17,5 m = 0,01386 m^3$ eli 13,86 litraa. Lisäksi putkiston lämpömittareiden haarat ja paisuntasäiliö vievät pienen osan, jolloin voidaan pyöreästi sanoa linjaston tilavuuden olevan n. 85 litraa. Glykolin jäätymisenkestävyyden perusteella [18] riittävä määrä glykolia järjestelmään on 40 %, jolloin glykolia laitetaan järjestelmään n. 34 litraa. Lauhdutinpiirin testaamisessa järjestelmän täyttämisen jälkeen on katsottava, että lauhduttimen puhaltimet pyörivät, piirin pumpppu toimii ja nestettä virtaa riittävän suuri määrä (1,66 l/s, luetaan virtausmittareista) sekä linjasto on tiivis. Savukaasunpoiston osalta on tarkastettava, että nuohouspellit ovat auki savukaasunpoistolinjan osalta. Käynnistämisen yhteydessä nähdään niin kattilan omien kuin savukaasunpoistojärjestelmän puhaltimien käynnistyminen ja niiden toiminta. Kattilan ja polttoainesiilon välisen syöttöruuvin pyörimissuunta tulee tarkastaa ennen käynnistystä. Samoin tuhkanpoistoruuvin toiminta on tarkastettava.

8 KÄYTTÖOHJEEN TEKEMINEN KATTILAAN

Kattilan käytön helpottamiseksi on luotu käyttöohje, jonka tarkoituksena on opastaa kattilan käyttäjää pääpiirteittäin kattilan käynnistämässä, käytön aikaisissa toimissa

sekä kattilan sammuttamisessa. Kattilan eri polttoarvojen, syöttöarvojen ja muiden säätöjen tekeminen on riippuvainen siitä, mitä ainetta kattilassa poltetaan ja millaisia tuloksia halutaan saada aikaan. Käyttöohjeeseen on kirjattu asiat niin, että vaikka käyttäjä käynnistäisi kattilaa ja sen laitteita ensimmäistä kertaa, on eri asioiden huomiointi helppoa. Biopolttoainekattilan oletusarvojen muuttaminen on syytä tehdä asiansa osaavan laboratoriohenkilökunnan kanssa. Käyttöohje on insinööriyön liitteenä numero 5.

9 YHTEENVETO

Insinööriyön tavoite kattilan käyttöönotosta ja käyttöohjeen luomisesta onnistui suhteellisen hyvin, vaikka suurin osa kaikista laskuista ei ole osana oman koulutusohjelman opetusta, vaan enemmänkin energiatekniikan osa-alueita. Käyttöönoton osalta kattilan savukaasunpoistohormisto ei vielä tämän opinnäytteen valmistuessa ole täysin valmiina, joten ainuttakaan koeajoa ei ole voitu suorittaa. Savukaasunpoistojärjestelmä on näin ollen suunnitelma, jonka perusteella hormisto luodaan päästömittaustaloratorioon laboratoriomestari Esa Huuhtasen toimesta.

Kattilan käyttöohje muodostui koeajojen puutteen vuoksi ennakoivasti, mutta ohje pyrkii ottamaan huomioon eri vaiheita, joita on ennen kattilan käynnistämistä, käynnistettäessä, käytön aikana sekä sammuttamisen osalta. Kattilan käytönaikaisten säätöjen tekeminen vaatii osaamista ja kattilan toiminnan ymmärtämistä ja on riippuvainen käytettävästä polttoaineesta, joten näihin osa-alueisiin käyttöohje ei keskity. Säätäminen tapahtuu laboratoriohenkilöstön ohjeiden mukaan sekä biopolttoainekattilan oman esiasennetun ohjausautomaatiikan säätöjen perusteella.

LÄHTEET

1. Huhtinen, M. 2009 T&K –hanke: Biopolttoainekattilan savukaasujen puhdistuksen ja tuhkan käsittelyn kehittäminen, projektisuunnitelma.
2. Huhtinen M. , Kettunen A., Nurminen P. & Pakkanen H., 1994 Höyrykattilatekniikka. Painatuskeskus.
3. Paineöljypoltin. Opetushallituksen opetusmateriaali. 2006 Saatavilla: http://www.edu.fi/oppimateriaalit/pientalon_lammitys/LVI_osio_01_screen_04.htm [viitattu 13.3.2010]
4. Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen (2. painos). IFRF - Suomen kansallinen osasto. Jyväskylä.
5. Kaasulaitteet ja –polttimet. Maakaasukäsikirja. Saatavilla: <http://www.maakaasu.fi/kirjat/maakaasukasikirja/kuvakooste> [viitattu 13.3.2010]
6. Lämmönsiirrin. Wikipedian artikkeli. Saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Lämmönsiirrin> [viitattu 12.3.2010]
7. Heat exchanger. Wikipedian artikkeli. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_exchanger [viitattu 12.3.2010]
8. Shell and tube heat exchanger. Wikipedian artikkeli. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Shell_and_tube_heat_exchanger [viitattu 12.3.2010]
9. Plate heat exchanger. Wikipedian artikkeli. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Plate_heat_exchanger [viitattu 12.3.2010]
10. Condenser. Wikipedian artikkeli. Saatavilla: [http://en.wikipedia.org/wiki/Condenser_\(heat_transfer\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Condenser_(heat_transfer)) [viitattu 22.3.2010]
11. Vesivaraaja. Pellettienergia, tietoa pientalon lämmityksestä. Saatavilla: http://www.pellettienergia.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=91&Itemid=113 [viitattu 16.3.2010]

12. Sarvelainen H. Keskustelut ja kehitystyö, 2010. TUHKA-hanke.
13. Standardi CEN/TS 15400. Kierrätyspolttoaineet. Lämpöarvojen määrittäminen.
14. Sipilä, K., Kirjavainen, M., Ritola, J. ja Kivikoski, H. 2001. Liikenne- ja yleisten alueiden sulanapitojärjestelmät. Energiatalous ja tekninen totuus. VTT tiedotteita. Otamedia Oy. Espoo. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2113.pdf> [viitattu 18.3.2010]
15. Bohl, W., 1988. Teknillinen virtausoppi. 2. painos. Sonator. Tampere
16. Incropera, F. P., DeWitt D. P., Bergman, T. L. and Lavine, A. S. 2006. Fundamentals of Heat and Mass Transfer (Sixth Edition). John Wiley & Sons, Inc. the United States of America.
17. Käyttöohje ST1 Multistoker 975-95I
18. Ethylene glycol. Wikipedian artikkeli. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene_glycol [viitattu 27.3.2010]

Cirkulationspump | Wet rotor circulator | Kiertovesipumppu



Onnline kiertovesipumppu ONN L 25-40-180, ONN L 25-60-180 TUOTE

Kiertovesipumppu lämmitysjärjestelmille. Pumpussa on kolminopeusmoottori. Koko DN 25

Kuvaus

Puhtaille, ei syövyttävälle tai räjähtävälle nesteille, jotka eivät sisällä kiinteitä aineita, kuituja tai mineraaliöljyjä.

- Nesteen lämpötilat: +2 °C + 110 °C
- Viskositeetti: 10 mm²/s
- Korkein sallittu käyttöpaine: 10 bar

MOOTTORIN TIEDOT

Kolminopeusmoottori, jonka jäähtymisestä vastaa pumpattava neste.

- Taajuus: 50 Hz
- Lämpöluokka: H
- Koteloitiluokka: IP 44
- Moottorin jännite: 1 vaiheinen 230 V
- Teho 25-40: 33-44 W
- Teho 25-60: 43-80 W

ENERGIALUOKKA

- 25-40: B
- 25-60: C

MATERIAALI

- Pesä: Harmaa valurauta
- Akseli: Keraaminen
- Juokupöyrä: Komposiitti
- Laakeri: Keraaminen



Onnline cirkulationspump

ONN L 25-40-180, ONN L 25-60-180

PRODUKT

Cirkulationspump för värmesystem. Pumpen är utrustad med en motor som har 3 hastigheter. Storlek DN 25.

BESKRIVNING

Avsedd för rena, icke explosiva vätskor, som är fria från mineralolja, fasta partiklar och fiber.

- Vätskans temperatur: +2 °C + 110 °C
- Viskositet: 10 mm²/s
- Maximalt driftryck: 10 bar

MOTORDATA

3-hastighets motor med våt rotor som kyls av den pumpade vätskan.

- Frekvens: 50 Hz
- Värmeklass: H
- Kapslingsklass: IP 44
- Motorns spänning: 1-fas 230 V
- Effekt 25-40: 33-44 W
- Effekt 25-60: 43-80 W

ENERGIKLASS

- 25-40: B
- 25-60: C

MATERIAL

- Pumphus: Grått gjutjärn
- Axel: Keramik
- Pumphjul: Komposit
- Lager: Keramik



Onnline wet rotor circulator

ONN L 25-40-180, ONN L 25-60-180

PRODUCT

Wet rotor circulator for use in heating systems. The pump has a 3 speed motor. Size DN 25.

PROCESS DATA

Clean, non aggressive, non explosive, mineral oil free liquids without solids or fibres.

- Media temperature: +2 °C + 110 °C
- Viscosity: 10 mm²/s
- Max operating pressure: 10 bar

MOTOR DATA

3 speed wet rotor motor cooled by the pumped liquid.

- Frequency: 50 Hz
- Thermal class: H
- Protection rating: IP 44
- Motor voltage: 1 phase 230 V
- Power 25-40: 33-44 W
- Power 25-60: 43-80 W

ENERGY LABEL

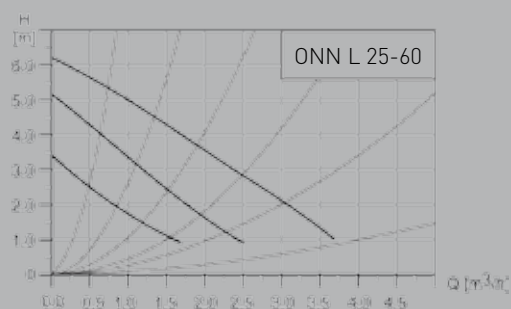
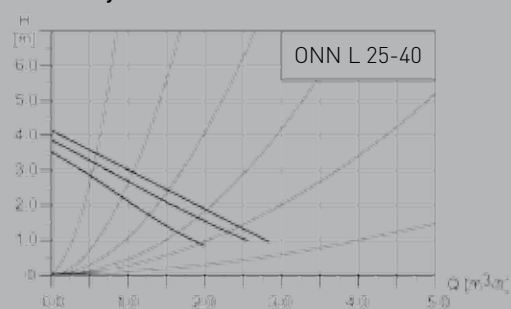
- 25-40: B
- 25-60: C

MATERIAL

- Pump housing: Grey cast iron
- Shaft: Ceramic
- Impeller: Composite
- Bearings: Ceramic

Koodi Kod Cod	14698010	14698011
Tyyppi Typ Type	ONN L 25-40-180	ONN L 25-60-180

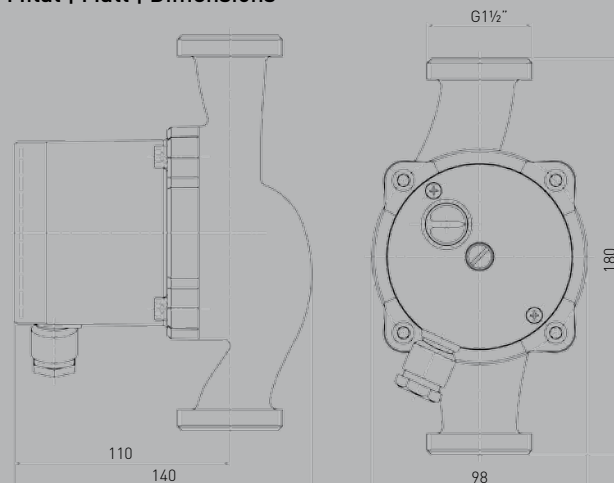
Suorituskäyrä | Prestationskurva | Performance curve



Vastaavuustaulukko | Utbytesguide | Replacement guide

Grundfos pump	Wilo pump	Onnline pump
UPS 25-40 180	Star RS 25/4-180	ONN L 25-40-180
UPS 25-60 180	Star RS 25/6-180	ONN L 25-60-180

Mitat | Mått | Dimensions



H 1	H 2	L	W	Conn.
100	140	180	97	R1

Plate Heat Exchanger

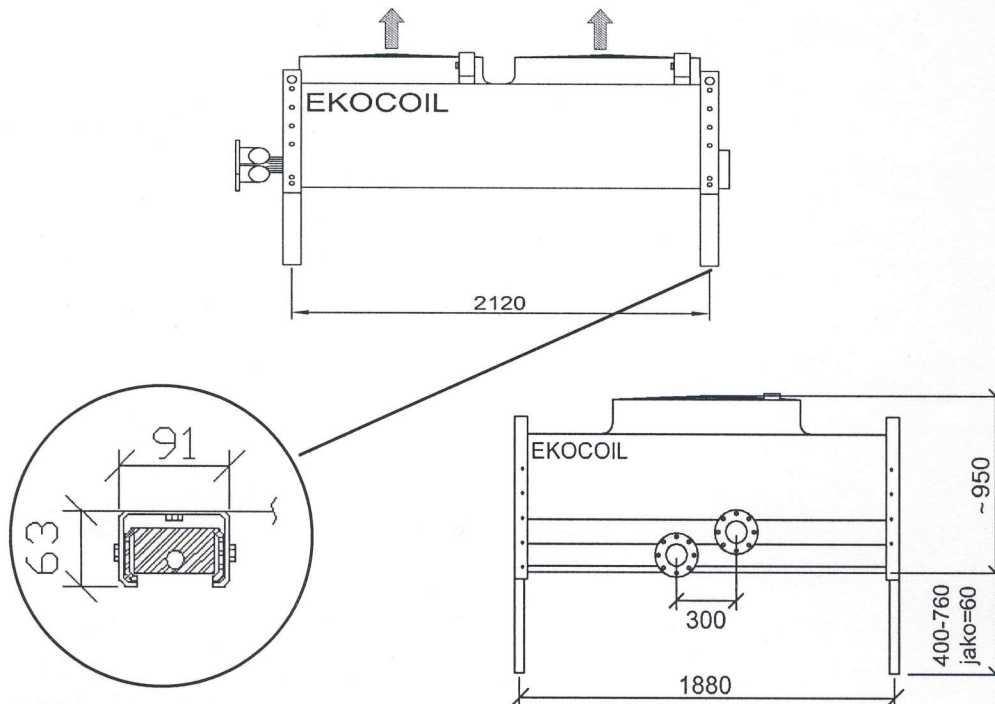
Technical Specification

Malli : CB52-40M (32870 5565 8)
 Projekti : (Untitled 1)
 ItemName : 10T91066, KYAMK Energiatekniikan laboratorio,
 KOTKA
 Päiväys : 25.11.2009



		Kuuma puoli S3S4	Kylmä puoli S1S2
Neste		Vesi	Vesi
Tiheys	kg/m ³	979.7	984.5
Ominaislämpökapasiteetti	kJ/(kg*K)	4.18	4.17
Lämmönjohtavuus	W/(m*K)	0.657	0.648
Viskositeetti sisään	cP	0.353	0.654
Viskositeetti ulos	cP	0.546	0.403
Volume flow rate	l/s	0.8	0.8
Lämpötila sisään	°C	80.0	40.0
Lämpötila ulos	°C	50.0	70.0
Painehäviö	kPa	13.4	12.3
Teho	kW	100.0	
Log. lämpötilaero	K	10.0	
Lämmönläpäisykerroin, puhdas	W/(m ² *K)	5466	
Lämmönläpäisykerroin, likainen	W/(m ² *K)	5157	
Lämpöpinta-ala	m ²	1.94	
Fouling resistance * 10000	m ² *K/W	0.000	
Likaantumislisä	%	6.00	
Nesteiden virtaussuunta		Vastavirtaan	
Vaiheiden lukumäärä		1	1
Materialplate/ brazing		Alloy 316 / Cu	
LiitäntäS1 (Kylmä-Ulos)		Threaded (External)/ 1" ISO 228/1-G (V22) Alloy 316	
LiitäntäS2 (Kylmä-Sisään)		Threaded (External)/ 1" ISO 228/1-G (V22) Alloy 316	
LiitäntäS3 (Hot-Ulos)		Threaded (External)/ 1" ISO 228/1-G (V22) Alloy 316	
LiitäntäS4 (Hot-Sisään)		Threaded (External)/ 1" ISO 228/1-G (V22) Alloy 316	
Painelaitekoodi		PED	
Rakennepaine at 150.0 Celsius	Bar	33.0	33.0
Rakennepaine at 225.0 Celsius	Bar	30.0	30.0
Rakennelämpötila	°C	-196.0/225.0	
Kokonaispit. x lev. x kork.	mm	151 x 111 x 526	
Nettopaino tyhjä/täynnä	kg	11.4 / 15.0	
Package length x width x height	mm	280 x 125 x 579	
Package weight	kg	0.000	

Performance is conditioned on the accuracy of customers data and customers ability to supply equipment


 Reiän halkaisija 17 mm
 Mitat reikien keskeltä keskelle

SUORITUSKYKY

	TOTEUTUNUT	
Teho	100	kW
Ilmavirta	11	m ³ /s
Ulkoilma	30	°C
Lähtevä ilma	37,6	°C
Tuleva neste	45,0	°C
Lähtevä neste	35,0	°C
Nestevirta	2,6	l/s
Nesteen painehäviö	16,3	kPa
Ethyl.glyc.	35	%
Äänen painetaso	53	dB(A) 10 m

TAVOITE

Teho	100	kW
Ulkoilma	30	°C
Tuleva neste	45,0	°C
Lähtevä neste	35,0-35,0	°C
Nesteen painehäviö	60,0	kPa
Äänen painetaso	80	dB(A) 10 m

LÄMMÖNSIIRTO-OSA

Lämmönsiirtopinta-ala	380	m ²
Lamellijako	2.5	mm
Sisätilavuus	66	l
Paino tyhjänä	469	kg
Kokoojan liityntä	DN 40	

PUHALTIMET

Puhaltimia	1 x 2	kpl
Kierrosluku	900	1/min
Sähköteho	1,40	kW
Puhallinvirta nim./max.	2,7/3,2	A

PUHALTIMIEN ÄÄNITASOT

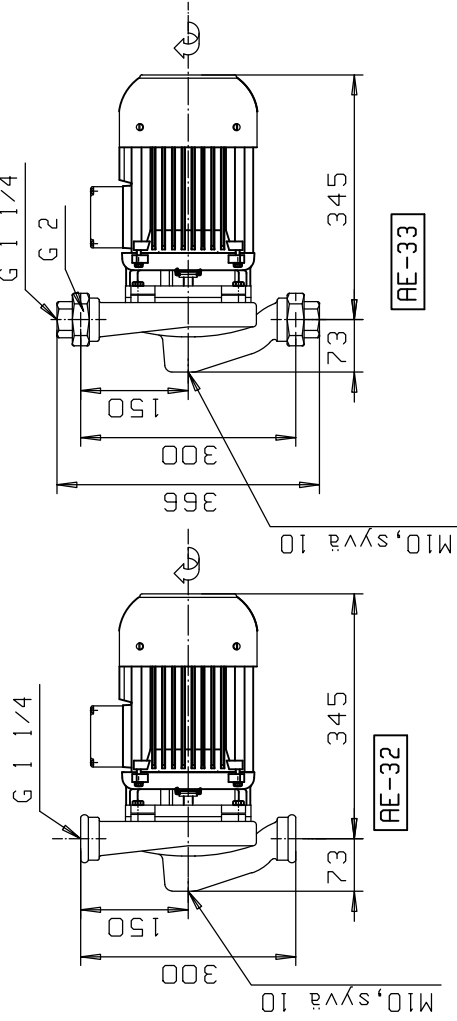
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
Tehotaso	82	82	78	79	79	75	69	dB
Painetaso	60	58	47	46	41	36	35	dB (Päädystä 10 m)

VALMISTUS

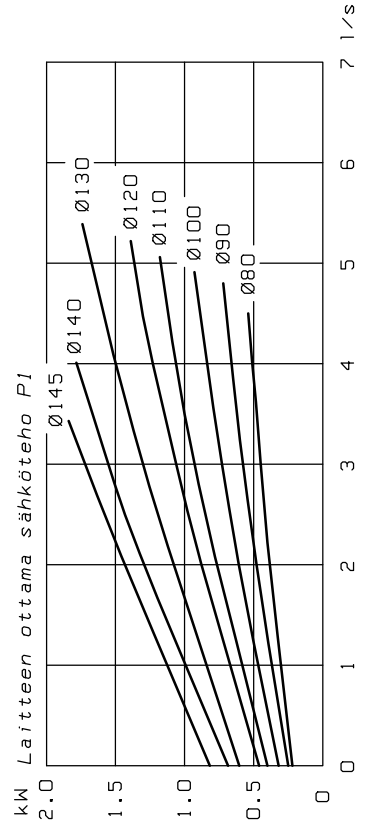
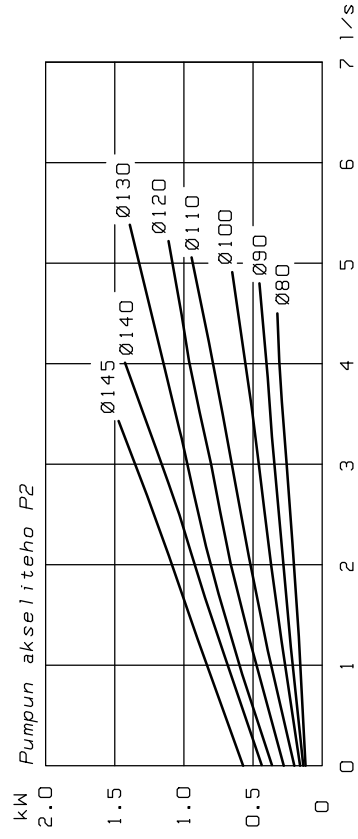
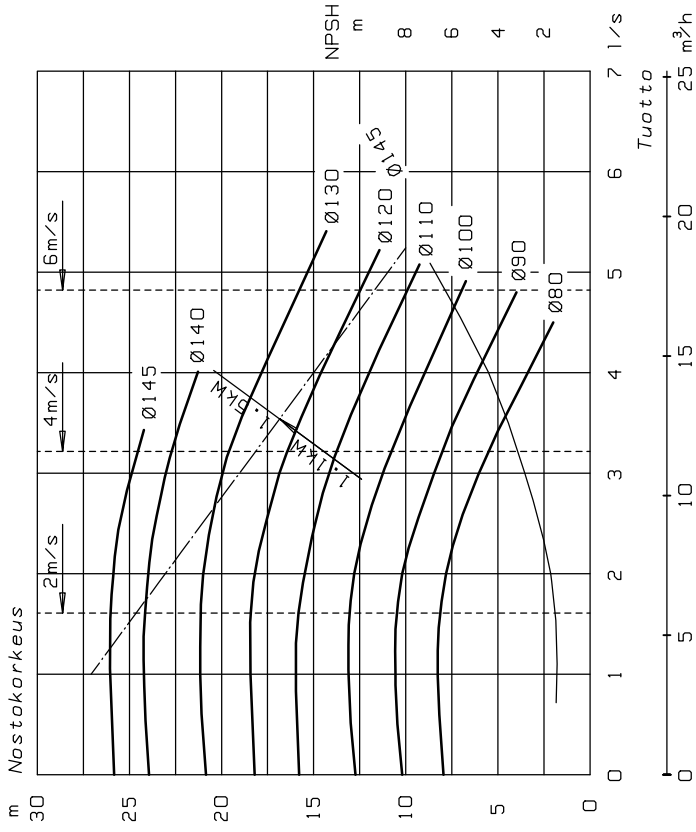
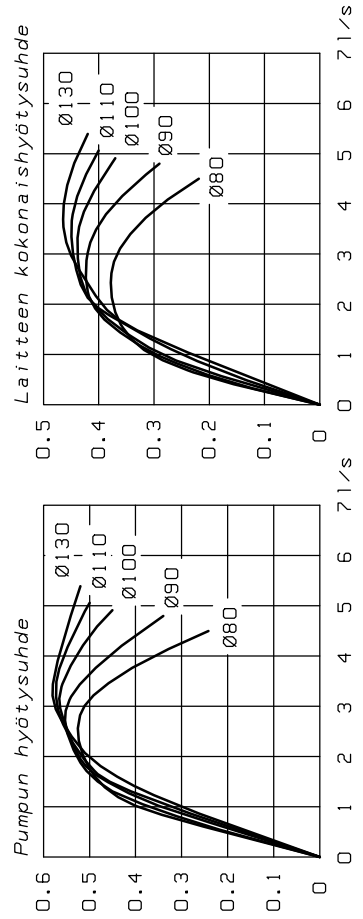
 Oy Ekocoil
 14200 Turenki
 Puh (03) 644 000
 Fax (03) 644 0055

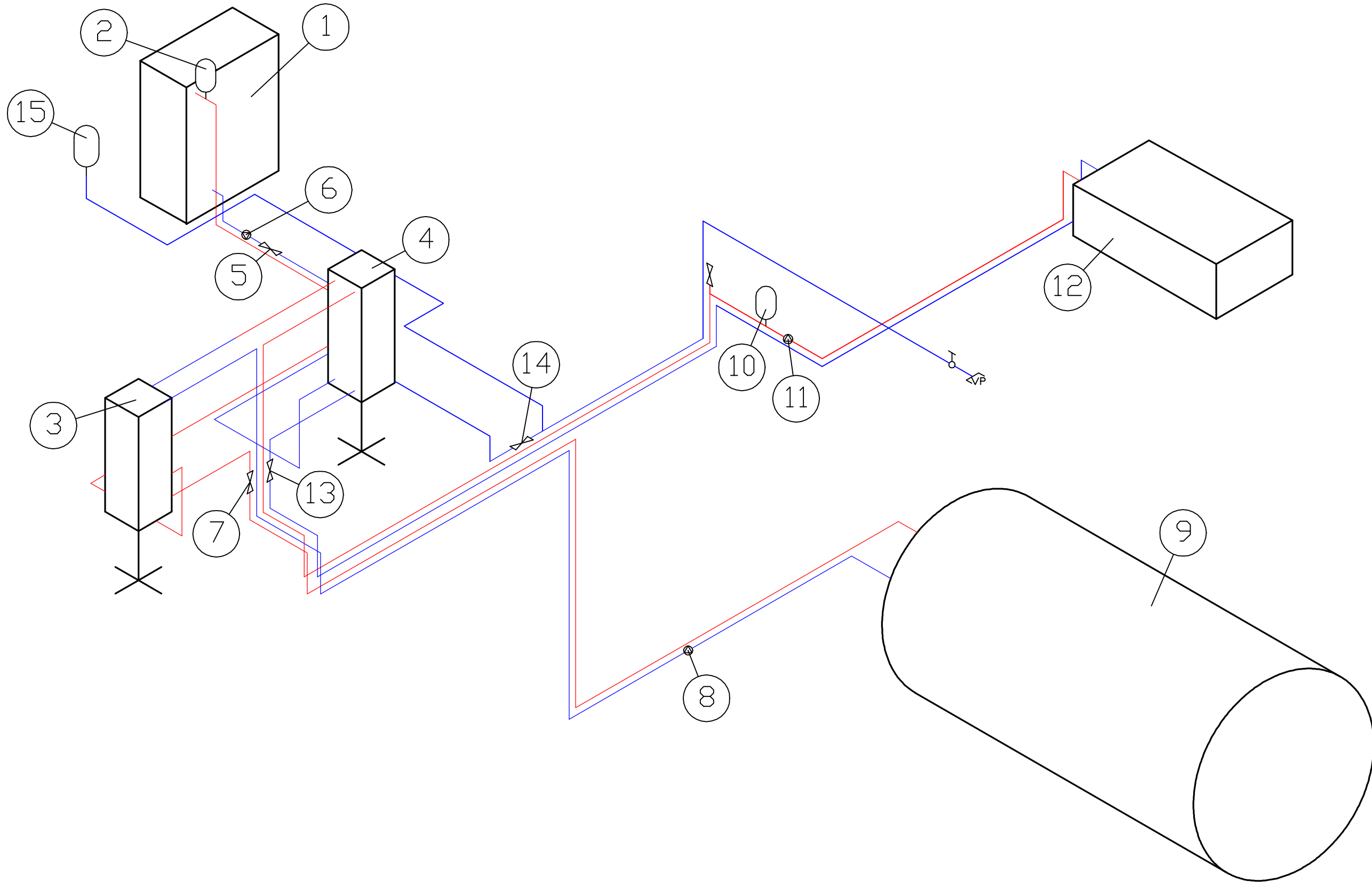
Oikeudet muutoksiin pidätetään.

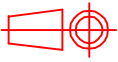
AE-32/2 G 1 1/4 3000 r/min AE-33/2



	kW	A	kg
OKN-101 CI N13	1.5	3.3	33
OKN-101 CI P N13 I~	1.5	8.8	33
OKN-871 D N13	1.1	2.8	25
OKN-871 D P N13 I~	1.1	7.0	25





Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli,määrä	Laatu	Kpl
	Yleistoleranssit	M-kaava	Tuote	Liittyy KATTILA	BIOPOLTTOAINE- KATTILAN JÄÄHDYTYSLINJAT	
Piirt.	JH		KYAMK	Ent.	Uusi	
Suunn.	JH			A3-2010		
Tark.	Massa					
Hyv.	kg					

Osaluettelo biopolttoainekattilan jäähdytysjärjestelmästä

Osanro	Osa
1	Biopolttoainekattila
2	Kattilapiirin paisuntasäiliö
3	Lämmönsiirrin 1
4	Lämmönsiirrin 2
5	Kattilapiirin sulkuventtiili
6	Kattilapiirin pumppu
7	Säiliöpiirin sulkuventtiili
8	Säiliöpiirin pumppu
9	Vesisäiliö
10	Lauhdutinpiirin paisuntasäiliö
11	Lauhdutinpiirin pumppu
12	Lauhdutin
13	Lauhdutinpiirin sulkuventtiili
14	Kattilapiirin täyttöventtiili
15	Sprinklerilinjan painesäiliö

Jesse Heino
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka

KÄYTTÖOHJE
7.4.2010

BIOPOLTTOAINEKATTILAN KÄYTTÖOHJE

Ennen käynnistämistä:

- Varmista, että **jäähdytyslinjojen sulkuventtiilit** (osanumerot 5, 7 ja 13) ovat **auki**.
- Varmista, että **tuhka-astia on tyhjä**.
- Varmista, että **kattilan palotila on tyhjä**.
- **Käynnistä lauhduttimen puhaltimet**. (Huomioi talviolosuhteissa puhaltimien määrän tarve.)
- **Käynnistä säiliöpiirin pumppu** alakerran kytkimestä.
- **Avaa tarvittavat savukaasunpoiston pellit**.
- **Tarkasta kattilapiirissä oleva vesipaine** paisuntasäiliön (osanro 2) viereisestä mittarista, oltava yli 2 baaria.
 - o Jos linjassa ei vesipainetta, täytä linja venttiilistä, osanumero 14.

Käynnistäminen

- Käynnistä kattila pääkytkimestä.
- Kattilan käynnistyttyä syötä polttimeen 2 – 3 kourallista polttoainetta.
 - o Paina **SNEGL START** – painiketta syöttääksesi polttoaineen.
 - o Paina **SNEGL STOP** – painiketta määrän ollessa ok.
- Kaada polttoaineen päälle sytytysnestettä ja sytytä polttoaine.
- Syöttökierukka **ei** saa pyöriä **ennen kuin tuli palaa** kunnolla, varmista painamalla **SNEGL STOP** – painiketta.
- Tulen sytyttyä kunnolla paina **OPSTART** – painiketta käynnistääksesi ohjausautomaatiikan.
- Paina seuraavaksi **SNEGL START** – painiketta käynnistääksesi syöttökierukan, ohjausautomaatiikka hoitaa polttoaineen syötön.

Käyttö

- Kattilalle on asetettu tiettyjä asetusarvoja ohjausautomaatiikkaan muun muassa hapen, polttoaineen ja taukoajkojen osalta. Tarkemmat tiedot löytyvät kattilan omasta ohjekirjasta s. 9 – 11.
- Ennalta asetettuja arvoja voidaan muuttaa hallintaohjelman avulla.
 - o Arvoja **saa muuttaa vain** energialaboratorion **henkilökunnan valvonnassa**, jotta se on turvallista!

Sammuttaminen

- Aseta kattilan lämpötila 20 °C alle todellisen lämpötilan.
 - o Kattila kytkeytyy taukotilaan.
- Pysäytä syöttökierukka painamalla **SNEGL STOP** – painiketta.
- Odota, jotta polttoaine on palanut loppuun palotilasta.
- Sammuta laitteisto pääkytkimestä.
- Anna kattilan vielä jäähtyä.
 - o **Jälkisammuta palotila aina vedellä!**
- **Sammuta lauhduttimen puhaltimet sekä säiliöpiirin pumppu.**
- **Poista polttoainejäänteet palotilasta.**
- **Tyhjennä tuhka-astia.**
- **Ennen poistumista** laboratoriotiloista varmista kattilan **jäähtyneen** ja tulen **sammuneen!**
- **Sulje kaikki savukaasunpoiston pellit.**