

Jarno Virtamo

Salmisaari B-voimalaitoksen ilmanvaihdon
perusparannus

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
18.5.2012

Tekijä(t) Otsikko	Jarno Virtamo Salmisaari B-voimalaitoksen ilmanvaihdon perusparannus
Sivumäärä Aika	40 sivua + 2 liitettä 18.5.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaaja(t)	projektipäällikkö Samuli Korpi yliopettaja Olli Jalonen
<p>Opinnäytetyössä on käsitelty Salmisaari B-voimalaitoksen ilmanvaihdon nykyistä toimintaa ja sen toiminnassa havaittuja ongelmia sekä ratkaisut ongelmien korjaamiseksi. Työssä on myös esitelty yleisesti voimalaitoksen suunnittelussa huomioon otettavia näkökohtia.</p> <p>Ilmanvaihdon uusimisen tarve huomattiin kattilahallin suuren alipaineen vuoksi joka havaittiin johtuvan riittämättömästä tuloilmamäärästä. Suuri alipaine kattilahallissa aiheutti jäätymisvaaran putkistoille sekä kasvatti huomattavasti pääilmapuhaltimien sähkönkulutusta.</p> <p>Alkuperäiset tuloilmakoneet oli varustettu kiertoilmakäytöllä, joka pudotti ulkoilmamäärän 30 prosenttiin tarvittavasta ilmamäärästä ulkoilman mitoituslämpötilalla. Tilanne päätettiin korjata luopumalla kiertoilmakäytöstä ja uusimalla tuloilmakoneet kokonaisuudessaan. Uudet tuloilmakoneet varustettiin lämmityspattereilla ja lämmitysverkosto täytettiin glykolivesiseoksella. Samalla työn ohessa huollettiin tilojen aksiaalipuhaltimet sekä kiertoilmakoneet. Työssä esitetyt korjaustoimenpiteet parantavat voimalaitoksen energiatehokkuutta, ilmanvaihdon toimivuutta sekä tekevät järjestelmän käytöstä käyttöystävällisemmän.</p> <p>Työstä voi olla apua muille voimalaitoksen ilmanvaihtoa suunnitteleville henkilöille. Esiteltyjä ratkaisuja ja ohjeita voidaan käyttää myös vastaavissa teollisissa tiloissa.</p>	
Avainsanat	ilmanvaihto, voimalaitos

Author(s) Title	Jarno Virtamo Renewal of the ventilation at Salmisaari B power plant
Number of Pages Date	40 pages + 2 appendices 18 May 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor(s)	Samuli Korpi, Project Manager Olli Jalonen, Principal Lecturer
<p>The goal of the project was to discuss the operation of the ventilation of a power plant, the problems with it as well as the solutions implemented to make it work more efficiently. Another goal was to present general aspects of the design of the ventilation in a power plant.</p> <p>The need for ventilation renewal became apparent when the boiler hall was noticed to have very low pressure due to an insufficient air supply. This caused a freeze risk for the piping and increased the electricity consumption of the main fans.</p> <p>The problem were the original supply air units, therefore it was decided to replace the supply air units in the boiler and turbine hall. The new air supply equipment was equipped with heating radiators and the heating network was filled with a mixture of glycol and water. It was also decided to service the axial fans and air circulation units at the same time. The aim of the renovations was to repair the pressure levels and to make the ventilation work more energy efficiently.</p> <p>This thesis can be helpful for engineers who design the ventilation of a power plant for the first time. The results and instructions of this thesis can also be used when designing the ventilation of other similar industrial facilities.</p>	
Keywords	ventilation, power plant

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kohteen esittely	2
2.1	Kohteen kuvaus ja taustaa	2
2.2	Vastapainevoimalaitoksen toimintaperiaate	3
3	Ilmanvaihdon suunnittelussa huomioon otettavia näkökohtia	5
3.1	Ilmamäärät	5
3.2	Lämpötilat	6
3.3	Painesuhteet	7
4	Nykyiset ilmanvaihtojärjestelmät ja niiden ongelmat	10
4.1	Ilmanvaihdon ohjaus ja toiminta	10
4.2	Kattilahallin ilmanvaihto	12
4.2.1	Tuloilmakoneet	12
4.2.2	Poistoilmapuhaltimet	14
4.2.3	Ilman sekoituspuhallin	15
4.2.4	Pääilmapuhaltimet	16
4.3	Turbiinisalin ilmanvaihto	17
4.3.1	Tuloilmakoneet	17
4.3.2	Poistoilmapuhaltimet	19
4.3.3	Siirtoilmapuhaltimet	20
4.4	Yhteenvedo ilmanvaihdon ongelmista	21
5	Kattilahallin ja turbiinisalin ilmanvaihdon uusiminen	22
5.1	Lähtöarvot	22
5.1.1	Reunaehdot	22
5.1.2	Korvausilmamäärä	23
5.1.3	Lämpökuormat ja -häviöt	24
5.2	Ilmanvaihdon ratkaisuvaihtoehdot	26
5.2.1	Sekoitusilman käyttö	26
5.2.2	Glykoli-vesiseoksen käyttö	29
5.3	Toteutus	30
5.3.1	Muutostöiden vaiheistus	30

5.3.2	Uusittavat ilmanvaihtokoneet	32
5.3.3	Ilmanvaihtolaitteiden huollot	35
5.3.4	Ilmanvaihdon ohjaus	37
6	Yhteenveto	39
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1. Nykyinen ilmanvaihtojärjestelmän ohjaustaulukko	
	Liite 2. Ilmanvaihdon yleiskaavio	

1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena on esitellä Helsingin Energian Salmisaaren B-voimalaitoksen kattila- ja turbiinihallin ilmanvaihtojärjestelmän nykyiset toiminnalliset ongelmat ja ratkaisut niiden korjaamiseksi.

Vuodesta 1984 alkaen Salmisaaren päätuotantoyksikkönä on toiminut Salmisaari B:ksi kutsuttu vastapainevoimalaitos, joka tuottaa 160 MW sähköä ja 300 MW lämpöä. Voimalaitoksen pääpolttoaine on kivihiili.

Voimalaitoksen ilmanvaihtojärjestelmä on alun perin suunniteltu vuonna 1981 turvaamaan riittävä palamisilmamäärä ja lämpötila alkuperäiselle kattilateholle 420 MW. Kattilan kapasiteettia kuitenkin nostettiin 1990-luvun alkupuolella 463 MW:iin ja samalla palamisilman tarve nousi noin 10 %.

Ilmanvaihto perustuu nykyisessä järjestelmässä kiertoilman käyttöön, joka on ongelmallista erityisesti lämmityskaudella, jolloin raittiinilman määrä jää noin 30 %:iin turbiinialissa ja 70 %:iin kattilahallissa tarkoituksenmukaisesta ilmamäärästä. Kattilan palamisilmamäärän tarpeen ollessa suurempi, johtaa tilanne huomattavaan alipaineeseen kattilahallissa sekä turbiinialissa.

Tilannetta lähdetään korjaamaan muuttamalla ilmanvaihdon toimintaa (tarpeenmukainen ilmanvaihto), tehostamalla energiankäyttöä ja turvaamalla kattilan tarvitsema palamisilmamäärä kaikissa eri ulkoilmanolosuhteissa ja kattilan eri tehoalueilla.

2 Kohteen esittely

2.1 Kohteen kuvaus ja taustaa

Salmisaaren voimalaitoksen toiminta alkoi vuonna 1953. Voimalaitos koostuu pää- sekä lämmöntuotantoyksiköistä. Päätuotantoyksikkönä toimii vuonna 1984 valmistunut Salmisaari B:ksi kutsuttu vastapainevoimalaitos, joka tuottaa 160 MW sähköä ja 300 MW kaukolämpöä. Lämmöntuotantoyksikkönä toimii vuonna 1953 valmistunut A-voimalaitos, joka tuotti sähköä vuosina 1953–1984 ja kaukolämpöä vuosina 1956–1984. Tämän jälkeen vanha tekniikka purettiin ja tilalle rakennettiin hiiltä polttoaineenaan käyttävä vesikattila, joka on teholtaan 180 MW. Lämmöntuotantoyksikkö otetaan mukaan tuotantoon lämmöntarpeen mukaan. (1.)

Voimalaitosten sähkön tuotantoteho on 160 MW ja sitä vastaava kaukolämmön tuotantoteho 480 MW. Voimalaitoksen tuottamaa ylimääräistä lämpöenergiaa käytetään kaukojäähdytyksen tuottamiseen. (1.)

Kuvassa 1 on Salmisaaren voimalaitokset kuvattuna ilmasta, vasemmalla A- ja oikealla B-voimalaitos.



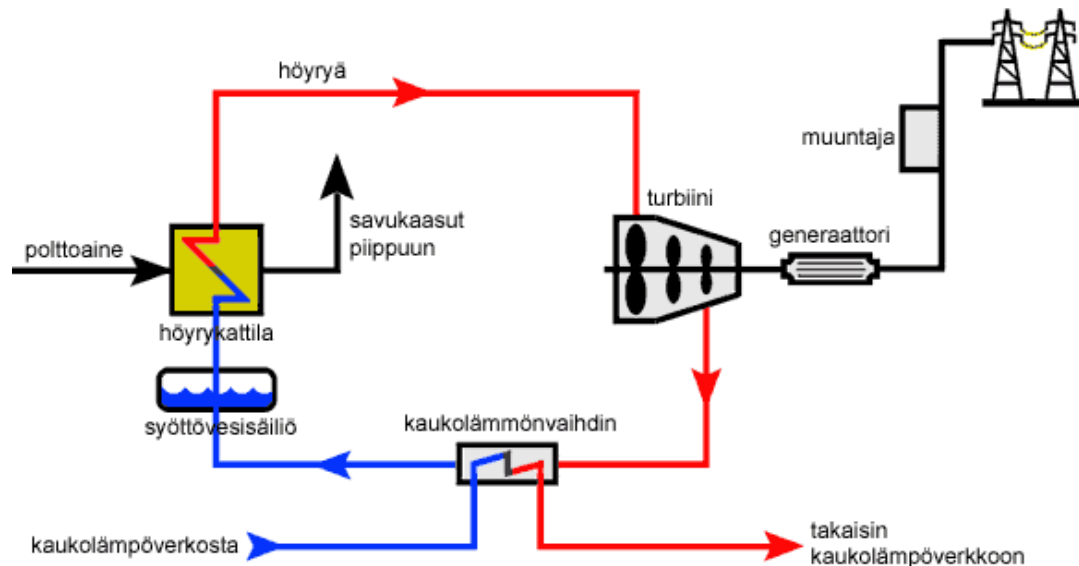
Kuva 1. Ilmakuva Salmisaaren voimalaitoksista (4).

2.2 Vastapainevoimalaitoksen toimintaperiaate

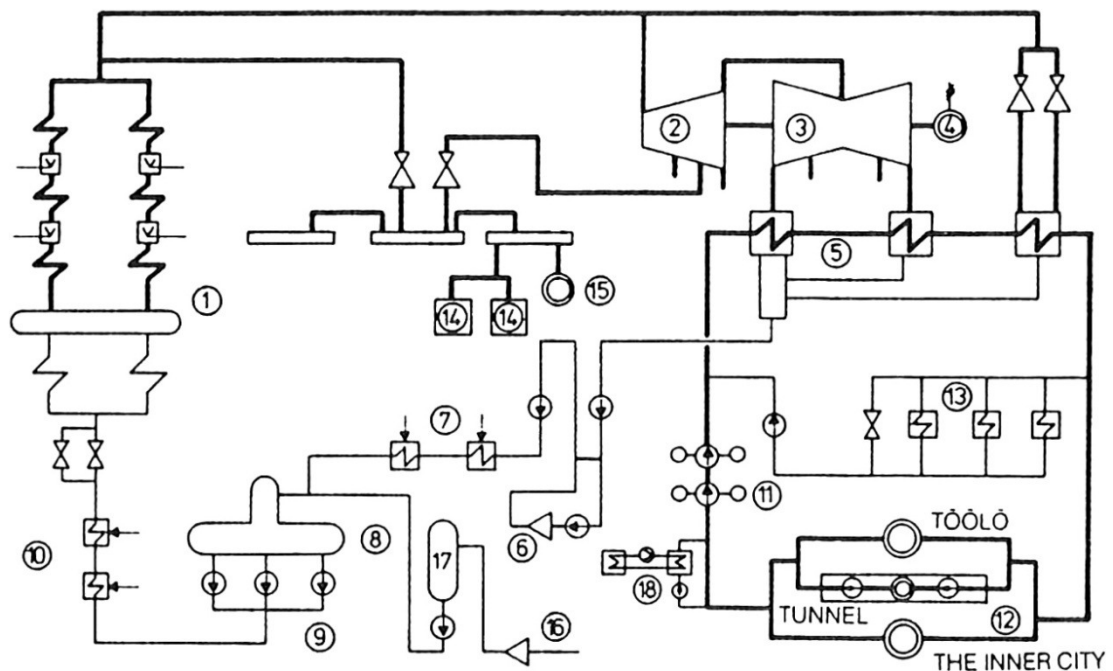
Vastapainevoimalaitos on sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos. Voimalaitosta ei optimoida maksimaaliseen sähköntuotantoon kuten lauhdevoimalaitosta. Osa kattilaan syötetystä energiasta käytetään prosessihöyrynä tai kaukolämpönä. Tämän vuoksi laitoksen kokonaishyötysuhde saadaan jopa yli 90 %:iin. Verrattuna lauhdevoimalaitosten parhaimmillaankin alle 45 %:iin on hyötysuhde yli kaksinkertainen. (2; 3; 5.)

Salmisaaren voimalaitoksessa poltetaan kivihiiltä sekä laitosten käynnistyksessä raskasta polttoöljyä. Ennen polttamista polttoaine jauhetaan hiilimylyssä erittäin hienoksi pölyksi, jotta saavutetaan mahdollisimman täydellinen palaminen. Syöttövesipumpulla paineistettu vesi höyrystetään kattilassa ja yleensä myös tulistetaan, eli lämmitetään höyrystymislämpötilaa korkeampaan lämpötilaan. Syntynyt vesihöyry saa höyryturbiinin roottorin pyörimään kulkiessaan turbiinin akselissa kiinni olevien siipien lävitse. Turbiinin kanssa samaan akseliin kytketyssä generaattorissa pyörimisliikkeen energia muutetaan sähköenergiaksi. (2; 3; 5.)

Höyryn annetaan paisua eli sen paineen laskea tiettyyn paineeseen, joka määrittää tarvittavan kaukolämpöveden lämpötilan. Esimerkiksi, jos tarvitaan 100-asteista vettä, höyry paisutetaan noin 1 baarin paineeseen. Mitä korkeampi lämpötila sitä suurempi paine tarvitaan. Vastapainevoimalaitoksen nimi tulee tästä paineesta, jossa höyry lauhdutetaan. Kaukolämmönvaihtimessa höyry lauhdutetaan eli se tiivistyy takaisin nesteeksi. Lämmitetty kaukolämpövesi johdetaan kulutuskohteisiin, joista se palaa uudelleen lämmitettäväksi. Talteen saatu lämpö nostaa voimalaitoksen hyötysuhteen jopa 92 prosenttiin. (2; 3; 5.) Kuvassa 2 on esitetty sähköntuotannon prosessi yksinkertaistettuna. Kuvassa 3 on esitetty Salmisaari B voimalaitoksen kaukolämmöntuotanto prosessi.



Kuva 2. Periaatekaavio vastapainevoimalaitoksen toiminnasta (5).



Kuva 3. Salmisaari B-voimalaitoksen kaukolämmityksen periaatekytkentä (7).

Kuvan 3 selitteet: 1. Kattila, 2. ja 3. Turbiini, 4. Generaattori, 5. Kaukolämmön lämmönsiirrin, 6. Lauhtenkäsittelylaitos, 7. Lauhteen esilämmitys, 8. Syöttövesisäiliö, 9. Syöttövesipumput, 10. Syöttöveden esilämmitys, 11. Kaukolämpöpumput, 12. Kaukolämpöverkko, 13. Merivesijäähdyttimet, 14. Apukattila, 15. Höyrykaukolämpöverkko, 16. Vedenkäsittely, 17. Lisävesisäiliö, 18. Lämpöpumppu (7).

3 Ilmanvaihdon suunnittelussa huomioon otettavia näkökohtia

Voimalaitoksen kaltaisille rakennuksille ei löydy tarkkoja ilmanvaihdon suunnitteluohjeita tai rakentamismääräyksiä. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 käsittelee ilmanvaihtoa, mutta ei juurikaan teollisuustiloja. Ohjeiden puute johtuu luultavasti laitosten erilaisuudesta ja monimutkaisista järjestelmistä, joten yhtä oikeaa ratkaisua ei ole olemassa. Tästä syystä laitosten ilmanvaihto suunnitellaan tapauskohtaisesti selvitettyjen reunaehtojen mukaisesti.

Voimalaitoksen ilmanvaihdon suunnittelun tärkeimpinä mitoittavina tekijöinä ovat prosessin ominaisuudet, kuten kattilan palamisilmantarve ja lämpökuormat. Tärkeintä on varmistaa kattilan palamisilmantarve kaikissa ulkoilman olosuhteissa. Ilmanvaihdon tulisi myös pitää lämpötilat sallituilla alueilla sekä rakennuksen painesuhteet oikeina. Puhaltimien äänen tuotolla rakennuksen sisään ei ole kovinkaan suurta merkitystä, sillä itse prosessista lähtevät äänet ovat paljon suurempia. Jos laitoksen läheisyydessä on asuinrakennuksia tai vastaavia tulisi äänen tuotto ulkoilmaan vaimentaa määräyksien mukaisesti.

3.1 Ilmamäärät

Kattilahalliin tuotava maksimi ilmamäärä saadaan suoraan kattilan palamisilmantarpeesta. Palamisilmamäärän tarpeen kasvaessa on lisättävä myös tuloilmamäärää, muuten kattilahalli muuttuu alipaineiseksi, mikä lisää vuotoilmavirtoja, vetohaittoja, saattaa muuttaa viereisten tilojen välisiä painesuhteita, häiritä kohdeilmanvaihtolaitteiden toimintaa ja vaikeuttaa oviaukkojen käyttöä. Haitallisimmin alipainetilanne vaikuttaa kuitenkin kattilan savukaasupuhaltimiin joiden tehon ja energian tarve kasvaa kattilahallin paineen laskiessa. (6.) Laskelmat alipaineen vaikutuksesta savukaasupuhaltimien sähkönkulutukseen on esitetty taulukossa 1. Taulukkoa tarkasteltaessa on syytä ottaa huomioon se, että tulokset ovat todella karkeita eivätkä vastaa todellista vuotuista kulutusta. Tarkan kulutustiedon saamiseksi tulisi puhaltimien paine-eroa mitata.

Taulukko 1. Alipaineen vaikutus savukaasupuhaltimien sähkönkulutukseen.

Osatehot	0 %	75 %	90 %	100 %
Käyntiaika [kk/a]	4	1	3	4

Max. ilmamäärä m ³ /s	Alipaineen lisäys Pa	Tehontarpeen kasvu ΔkW	Sähkönkulutus vuodessa MWh/a
200	10	4	21,75
200	20	8	43,51
200	50	20	108,77
200	100	40	217,54

Turbiinisalin ilmanvaihdon tehtävä on pitää tilan lämpötilat suunnitelluissa rajoissa sekä huolehtia tilojen välisistä painesuhteista. Tilan on oltava ylipaineinen kattilahalliin nähden, sillä kattihallissa sijaitsevat hiilimurskaimet tuottavat hiilipölyä ilmaan ja sen siirtyminen viereisiin tiloihin tulisi estää.

Poistoilmapuhaltimien käytön tarve kyseessä olevissa tiloissa on vähäistä, sillä suurin osa tuloilmasta käytetään kattilan palamisilmana. Kesäisin lämmön noustessa liian korkeaksi käytetään poistoilmapuhaltimia tilojen jäähdytykseen.

3.2 Lämpötilat

Kattilahallin lämmitys perustuu tuloilmakoneiden sekä kiertoilmapuhaltimien käyttöön ja kattilan sekä prosessi- että sähkölaitteiden lämpösäteilyyn. Tulipesä muodostaa vain noin neljäsosan koko prosessin kattilarakennukseen luovuttamasta lämmöstä. (6.) Muita suuria lämmönluovuttajaryhmiä ovat putkistot, sähkölaitteet ja prosessisäiliöt. Osa tästä lämmöstä kulkeutuu ulos rakennuksen vuotoina ja johtumishäviöinä, joiden osuus on kuitenkin hyvin pieni, maksimissaan vain noin 10 % koko lämpökuormasta. Kattilahallin vertikaaliseen lämpötilajakaumaan eli lämpötilagradientin muotoon vaikuttavat prosessin lämpöhäviöiden jakauma, puhaltimien sijoittelu sekä palamisilman oton sijaintukohta.

Korkea sisälämpötila kasvattaa rakennuksen johtumis- ja vuotohäviöitä ulkoilmaan, mutta toisaalta pienentää prosessin lämpöhäviöitä kattilahalliin. Kattilahallin sisälämpötila ja lämpöhäviöt siis vaikuttavat kummatkin toisiinsa, joten laskelmia tehtäessä on

suoritettava iterointia. Kannattavuuteen eniten vaikuttavia tekijöitä kuitenkin ovat kattilahallin maksimi- ja minimilämpötilat. (6; 9.)

Suunniteltu maksimilämpötila saavutetaan korkeimman ulkolämpötilan aikaan ja silloin, kun kattilaa ajetaan osakuormalla, jolloin sen palamisilmavirta ei riitä tuulettamaan hallia. Tilannetta vaikeuttaa myös se, etteivät kattilan lämpöhäviöt pienene juuri lainkaan kuorman laskiessa. Sisälämpötilan kasvaessa maksimiinsa pitää lämmintä ilmaa puhaltaa ulos kattilahallin yläosassa sijaitsevilla poistoilmapuhaltimilla. Mitä matalampi maksimilämpötila on, sitä enemmän jäädyttävää ilmavirtaa tarvitaan ja sitä suuremmat ovat lämpöhäviöt ulkoilmaan. Korkeille lämpötiloille herkat tekniset laitteet asettavat maksimilämpötiloille rajoituksia. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi sähkölaitteista korkea- ja matalajännitekytkimet. Näiden ylälämpötilan ohjearvot ovat usein välillä 40–45 °C. (6; 9.)

Minimilämpötilan mitoitusperusteena käytetään usein prosessilaitteiden, etenkin hallin alaosan putkistojen jäätymisen estävää lämpötilaa. Mitä suurempi tämä lämpötila on, sitä enemmän vaaditaan talvella lämmityskapasiteettia. Tällä on suuri merkitys järjestelmän käyttökustannuksiin. Minimilämpötila on noin 10–15 °C, tätä alhaisimmilla ulkoilman lämpötiloilla täytyy sisään puhallettavaa ilmaa lämmittää vähintään minimilämpötilaan asti.

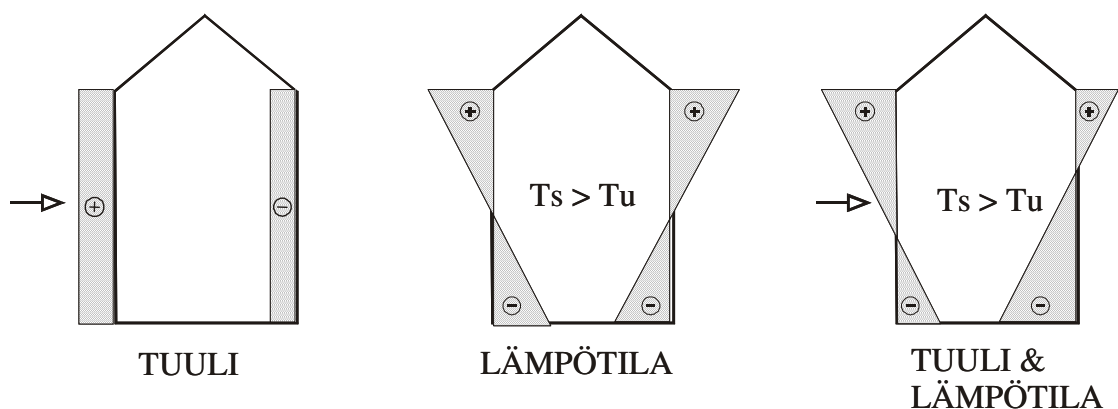
Palamisilman täytyy saavuttaa tietty minimilämpötila, noin 30 °C, ennen savukaasuluvon, jotta savukaasun happokastepiste savukaasuluvon jälkeen ei alitu. Savukaasun lämpötila savukaasuluvon jälkeen on noin 120–130 °C. Mahdollisimman suuri ilmamäärä sisältä saavutetaan silloin, kun sisäilma pidetään mahdollisimman kylmänä. Alhainen minimilämpötila merkitsee myös pienempää lämmitystehon tarvetta tuloilmapuhaltimiin kytketyiltä pattereilta sekä pienempiä rakennuksen lämpöhäviöitä. Toisaalta prosessin häviöt kattilahalliin kasvavat, mutta tämä häviö palaa prosessiin palamisilman mukana. (9.)

3.3 Painesuhteet

Kuten jo edellä mainittiin, rakennuksen painesuhteet ovat tärkeässä osassa tilojen puhtauden ja erityisesti energiatalouden kannalta. Oikein ohjatulla ilmanvaihdoilla vähenne-

tään rakennuksen ilmavuotoja huomattavasti ja näin säästetään lämmityskustannuksissa.

Kattilahallin ja ulkotilan väliseen paine-eroon vaikuttaa kerrostumaperiaate, mekaaninen ilmanvaihto ja tuuli. Taso, jossa sisällä on sama paine kuin ulkona, kutsutaan paineen neutraalitasoksi. Puhaltimilla voidaan vaikuttaa neutraalitason korkeuteen. Neutraalitason korkeuteen vaikuttavat myös kattilahallin vuotoilmareitit. Tyypillisesti neutraalitaso sijaitsee lähempänä sitä osaa rakennusta, jossa vuotoaukkoja on enemmän. Neutraalitason korkeudesta riippuen koko kattilahalli voi olla joko ali- tai yli-paineinen. (8.) Kuvassa 4 on esitetty tuulen ja lämpötilan vaikutukset rakennuksen painejakaumaan.



Kuva 4. Rakennuksen painejakauma (8).

Suuri kattilahallin alaosan alipaine aiheuttaa ongelmia talviaikana sisään virtaavan kylmän ulkoilman johdosta, kulku ovista hankaloituu ja ulkotilasta tuleva pölyn määrä lisääntyy. Lisäksi savukaasupuhaltimien ottama teho kasvaa, jotta tulipesän paine olisi alipaineinen verrattuna kattilahallin paineeseen. Savukaasupuhaltimen tehon tarpeen kasvun takia voidaan joutua laskemaan kattilatehoa ja mahdollisesti myös tilanteeseen, jossa puhallin alkaa sakata ja laitos joudutaan ajamaan alas.

Ylipaine taas merkitsee lisääntyviä lämpöhäviöitä ulos virtaavan lämpöenergian muodossa ja ylimääräistä energiankulutusta korvausilmapuhaltimien turhan käytön takia. Liian suuri ylipaine vaikeuttaa myös siirtoilmapuhallusta turbiinisalista kattilahalliin.

Kerrostumaperiaate perustuu sisäilman lämpötilan kerrostumiseen. Kerrostumisperiaatteen takia paine-ero kattilahallin ylä- ja alaosan välillä saattaa olla jopa 100 pascalia. Sisä- ja ulkolämpötilaerosta johtuen ilman tiheys rakennuksen sisäpuolella on joko suurempi tai pienempi kuin ulkopuolella. Kun rakennuksen sisälämpötila on korkeampi kuin ulkolämpötila, virtaa lämmin ilma ulos rakennuksen yläosasta korvautuen viileämmällä ilmalla ulkotilasta rakennuksen alaosasta, koska paine kattilahallin alaosassa on ulkoilman painetta alhaisemmassa paineessa. Vastaavasti kun rakennuksen sisälämpötila on ulkolämpötilaa matalampi, virtaa kylmempi ilma rakennuksen alaosasta ja ulosvirrannut ilma korvautuu ulkoa virtaavalla lämpimämmällä ilmalla.

Mikäli paine-ero rakennuksen vaipan ja ulkoilman välillä on suurempi kuin 10 Pa, on alipainetta syytä vähentää tuloilman määrää lisäämällä, koska näin suuri alipaine aiheuttaa runsaasti aiemmin mainittuja hankalia vetovaikutuksia kylmillä säillä.

4 Nykyiset ilmanvaihtojärjestelmät ja niiden ongelmat

Kattilahallin ja turbiinisalin ilmanvaihtojärjestelmät on toteutettu hajautetusti eli useita erillisiä ilmanvaihtokoneita käyttäen. Molemmat tilat koostuvat omista järjestelmistään joihin kuuluu yhteensä 61 eri puhallinta, joista 44 on tuloilma-, 5 poistoilma-, 5 siirtoilma-, 1 kiertoilma- ja 6 kahteen suuntaan puhaltavaa tulo-/poistoilmapuhallinta. Järjestelmät muodostavat yhdessä kokonaisuuden, jolla voidaan tarvittaessa hyödyntää turbiinisalin yllämpöä kattilahallin lämmittämiseen. Näin vähennetään tilanteita, jolloin pitäisi samanaikaisesti jäähdyttää turbiinisalia ja lämmittää kattilahallia erillisillä laitteilla. Järjestelmien yhteen toimivuuden ansiosta säästetään laitoksen energiankulutuksessa ja kokonaistalous paranee.

4.1 Ilmanvaihdon ohjaus ja toiminta

Ilmanvaihtojärjestelmän tarkoituksena on pitää voimalaitoksen lämpötila ja painesuhteet oikeina ja ensisijaisesti tuottaa kattilan tarvitsema palamisilmamäärä kaikilla ulkoilman lämpötiloilla. Järjestelmän tulisi myös toimia mahdollisimman energiatehokkaasti.

Voimalaitoksen ilmanvaihto on toteutettu hajautetusti eli useita ilmanvaihtokoneita käyttäen. Järjestelmän etuna keskitettyyn järjestelmään on hallitumpi ja vähäisempi tilankäyttö sekä pienemmät investointikustannukset. Keskitetyssä järjestelmässä ilmanvaihtokoneet on sijoitettu yhteen tai muutamaaan ilmanvaihtokonehuoneeseen, josta ilma tuodaan kanavoituna tilan eri alueille. Hajautetussa järjestelmässä kanavointia ei tarvita, sillä koneet on sijoitettu jo valmiiksi eripuolille tilaa.

Kattilahallin ja turbiinisalin ilmanvaihtojärjestelmät ovat omia järjestelmiään, mutta toimivat yhdessä. Tilojen välissä on viisi siirtoilmapuhallinta PK44–PK48, joilla voidaan puhalttaa turbiinisalin lämmintä ilmaa kattilahalliin. Ratkaisu vähentää samanaikaista turbiinisalin jäähdytyksen tarvetta, sekä kattilahallin lämmityksen tarvetta. Kattilahalliin tuodaan siirtoilmaa myös muista ympäröivistä tiloista, kuten sähkö- ja kompressoritiloista. Näitä ilmamääriä ei kuitenkaan ole otettu huomioon kattilahallin ilmanvaihdon mitoituksessa, sillä niiden käyntiajat eivät vastaa kattilan tarpeita.

Kattilahallin ja turbiinisalin ilmanvaihtojärjestelmien ohjaus tapahtuu erillisen ohjaustaulukon mukaisen automatiikan avulla. Ohjaustaulukko on laadittu ulkolämpötilan ja kattilatehon mukaan. Ilmamäärät on jaoteltu kattilatehon mukaan kolmeen portaaseen 0% – 50 %, 50 % – 75 % ja 75 % – 100 % sekä ulkolämpötilan mukaan viiteen portaaseen <-15 °C, -15 °C ... -5 °C, -5 °C ... +5 °C, +5 °C...+15 °C ja >+15 °C. Kuvassa 5 on ote ohjaustaulukosta, koko ohjaustaulukko on esitetty liitteessä 1. Taulukon eri väreistä nähdään, mihin tilaan ilmanvaihto vaikuttaa. Ilmamäärät on jaettu edellä mainittujen portaiden mukaisesti. Jos ruutu on tyhjä, puhallin ei ole päällä.

Tunnus	Vaik.alue	V(m ³ /s)	Ulkolämpötilat ja kattilan K1 tehoalueet														
			alle -15°C			-15°C -5°C			-5°C +5°C			+5°C +15°C			ylli +15°C		
			100-75	75-50	50-0%	100-75	75-50	50-0%	100-75	75-50	50-0%	100-75	75-50	50-0%	100-75	75-50	50-0%
1. TK-18	T +3.00	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
2. TK-19	T +3.00	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
3. TK-20	T +3.00	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
4. TK-21	T +3.00	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
5. TK-22	T +3.00	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
6. TK-23	T +3.00	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
7. TK-24	T +3.00	10															
8. TK-25	T +3.00	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
9. TK-29	T +15.60	3													3,0	3,0	3,0
10. TK-30	T +15.60	3													3,0	3,0	3,0
11. TK-31	T +15.60	3													3,0	3,0	3,0
12. TK-32	T +15.60	3													3,0	3,0	3,0
13. TK-33	T +15.60	3													3,0	3,0	3,0
14. TK-34	T +15.60	3													3,0	3,0	3,0
15. TK-35	T +15.60	3													3,0	3,0	3,0
16. TK-36	T +11.30	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
17. PK-39	T vesik.	28						28,0		28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
18. PK-40	T vesik.	28								28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
19. PK-41	T vesik.	28										28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
20. PK-42	T vesik.	28											28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
21. PK-43	T vesik.	28												28,0	28,0	28,0	28,0
22. PK-44	T/K	13	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0		13,0								
23. PK-45	T/K	13	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0		13,0								
24. PK-46	T/K	13				13,0	13,0	13,0	13,0	13,0							
25. PK-47	T/K	13							13,0	13,0							
26. PK-48	T/K	13							13,0	13,0							

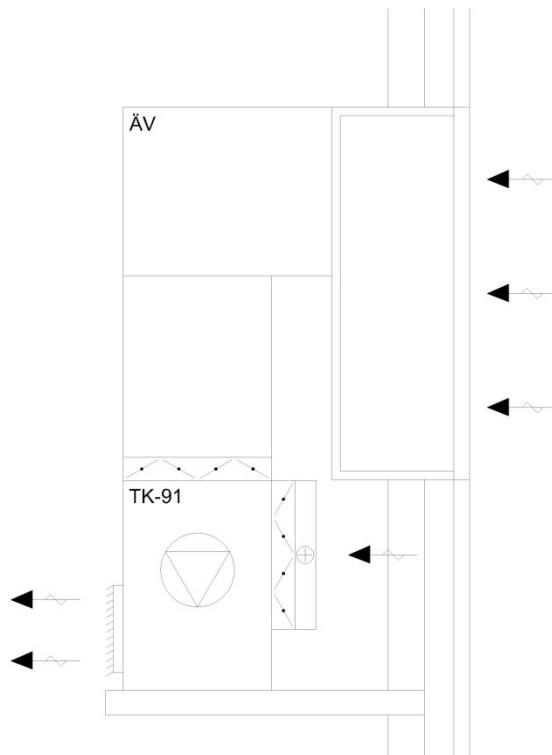
Kuva 5. Ote ilmanvaihdon ohjaustaulukosta.

4.2 Kattilahallin ilmanvaihto

4.2.1 Tuloilmakoneet

Kattilahalliin johdettava tuloilma tulee kiertoilmatoimisten tuloilmakoneiden TK90–TK98, TK100–TK105, TK108–TK113 ja TK116–TK118 sekä tuloilmapuhaltimien TK106–TK107 ja 114TK–TK115 kautta. Tuloilmapuhaltimet tuovat raakaa ulkoilmaa kattilahalliin ulkoilman lämpötilan ollessa yli +15 °C. Lisäksi tilaan puhalletaan turbiini-salissa lämmennytta ilmaa siirtoilmapuhaltimilla PK44–PK48 sekä ympäröivien sähköti-lojen poistoilmat. Kattilahallin katossa olevia poistoilmapuhaltimia PK119–PK122 voi-daan tarvittaessa käyttää toiseen suuntaan tuloilmapuhaltimina.

Kiertoilmatoimisissa tuloilmakoneissa on lämmityspatteri, joka sijaitsee kiertoilmakana-vassa (kuvat 6 ja 7). Koneiden toiminta perustuu siihen, että ulkolämpötilan laskiessa alle +15 °C:n alkaa koneen sekoitusosa sekoittaa ulko- ja sisäilmaa siten, että sisään-puhalluslämpötila +15 °C saavutetaan.



Kuva 6. Kattilahallin tuloilmakoneen tyyppikuva.



Kuva 7. Kattilahallin tuloilmakoneet TK103–TK105 ja tuloilmapuhallin TF106.

Taulukkoon 2 on kerätty laskennalliset ja taulukkoon 3 ohjaustaulukon mukaiset tuloilmamäärät eri ulkolämpötiloilla. Tilaan johdettava todellinen ulkoilmamäärä pienenee siirryttäessä kylmempään ulkolämpötilaan. Tästä johtuen kattilahalliin muodostuu pakkasjaksoina huomattava alipaine, joka lisää kattilan savukaasupuhaltimen tehontarvetta. Alipaine muodostaa myös jäätymisvaaran kattilahallin putkistoille, sillä palamisilmapuhaltimet imevät huomattavia määriä raakaa ulkoilmaa rakenteiden välistä. Ongelmana on tilaan johdettava ilmamäärä, joka ei ole riittävä missään ulkolämpötilassa, ja tämän vuoksi kattilahallin aksiaalipuhaltimia on jouduttu käyttämään käsikäytöllä ohi ohjaustaulukon. Käsikäytön vaarana on, se että puhaltimet saattavat unohtua päälle ja näin sotkea ilmanvaihdon tarkoituksenmukaista toimintaa.

Taulukko 2. Kattilahallin laskennalliset tuloilmamäärät.

kattilan teho [%]	ulkolämpötila [°C] / tuboilmapuhallin [m ³ /s]					
	-26	-15	-5	+5	+15	+25
100–75	179	168	166	145	150	150
70–50	143	138	140	94	107	107
50–0	99	98	101	50	107	107

Taulukko 3. Kattilahallin ohjaustaulukon mukaiset tuloilmamäärät.

kattilan teho [%]	ulkolämpötila [°C] / tuloilmavirta [m ³ /s]					
	-26	-15	-5	+5	+15	+25
100-75	245	222	204	161	150	150
70-50	209	192	178	109	107	107
50-0	148	152	139	65	107	107

4.2.2 Poistoilmapuhaltimet

Kattilahallin katossa sijaitsevien poistoilmapuhaltimien PK119–PK124 tehtävänä on poistaa kattilahallin kattoon noussut ylälämpöinen ilma. Puhaltimia käytetään ohjaustaulukon mukaisesti ulkoilman ollessa yli +5 °C. Puhaltimet PK119–PK122 toimivat myös toiseen suuntaan tuloilmapuhaltimina, joita käytetään ulkoilman lämpötilan ollessa alle -5 °C kattilan palamisilman saannin takaamiseksi. Kuvassa 8 on kattilahallin poistoilmapuhallin PK121.



Kuva 8. Kattilahallin poistoilmapuhallin PK121 tasolla +59.00.

4.2.3 Ilman sekoituspuhallin

Kattilahallin lämpötilaeroja tasataan sekoituspuhaltimella KoF99 (kuva 9), jonka ilmamäärä on $27 \text{ m}^3/\text{s}$. Puhaltimen kanava lähtee tasolta +50.00 ja päättyy tasolle +15.60. Puhallin puhalttaa kattilahallin kattoon noussutta lämmintä ilmaa kattilahallin alaosaan ja näin vähentää lämpötilojen kerrostumista.



Kuva 9. Kattilahallin sekoituspuhallin KoF99.

4.2.4 Pääilmapuhaltimet

Pääilmapuhaltimet tuottavat polttoaineen palamiseen tarvittavan palamisilman. Kattilalla on kaksi pääilmapuhallinta, molemmat puhaltimet on mitoitettu 60 % kattilan tehosta. Puhaltimilla on yhteinen imukanava, joka ottaa ilmaa kattilahallin yläosasta. Imukanava on sijoitettu kattilahallin katon rajaan, lämpimimmän palamisilman saannin takaamiseksi. Imukanavan pää on esitetty kuvassa 10.

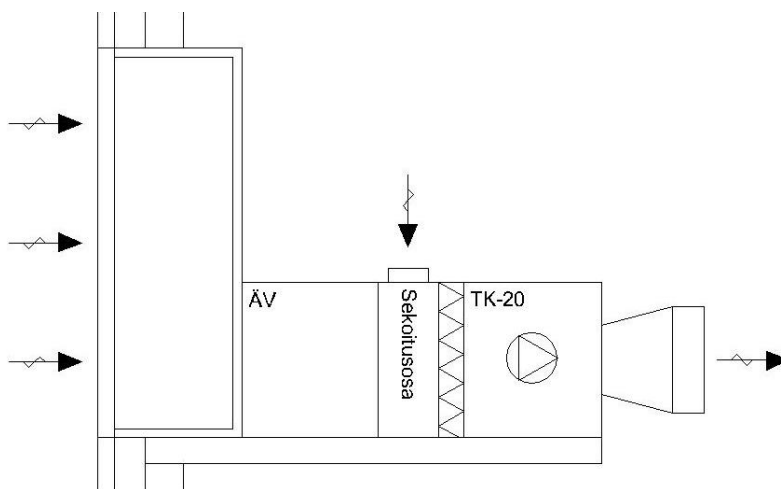


Kuva 10. Pääilmapuhaltimien imukanava.

4.3 Turbiinisalin ilmanvaihto

4.3.1 Tuloilmakoneet

Turbiinisalin tuloilma tuodaan sisään tuloilmakoneilla TK18–25 ja TK29–36, eli yhteensä 16 ilmanvaihtokoneella. Koneet sijaitsevat hajautetusti ympäri turbiinisalia eri tasoilla. Kaikki turbiinisalin koneet ovat kuvan 11 ja 12 mukaisia kiertoilmatoimisia tuloilmakoneita. Koneissa ei ole lämmityspatteria, vaan ulkoilma lämmitetään sekoittamalla sisä- ja ulkoilmaa keskenään oikeassa suhteessa.



Kuva 11. Turbiinisalin tuloilmakoneen tyypik kuva.

Ulkoilma puhalletaan raakana sisään +10 °C:seen asti. Ulkoilman laskiessa alle +10 °C:n alkaa tuloilmakoneen kiertoilmaosa sekoittaa sisä- ja ulkoilmaa keskenään suhteessa, jolla saavutetaan sisäpuhalluslämpötila +10 °C. Tuloilmakoneiden yhteinen ilmamäärä on 111 m³/s, joka siis voidaan saavuttaa vain, kun ulkoilman lämpötila on yli mitoitusarvon. Toisaalta ongelmana ei ole maksimi ilmamäärän saavuttaminen, sillä täyttä ilmamäärää tarvitaan vain yli +15 °C:n ulkoilmanlämpötilassa turbiinisalin yllilämmön poiston korvausilmaksi. Todellinen ongelma huomataan, kun ulkoilmanlämpötila laskee alle +10 °C:n, sillä mitä kylmempään ulkoilmanlämpötilaan mennään, sitä vähemmän ulkoilmaa saadaan turbiinisaliin. Turbiinisalin poisto- ja siirtoilmapuhaltimet käyvät kuitenkin ohjaustaulukon mukaisesti, jolloin turbiinisaliin muodostuu pakkasjaksoina huomattava alipaine. Taulukossa 4 on esitetty laskennalliset ja taulukossa 5 ohjaustaulukon mukaiset tuloilmamäärät. Ilmamäärät on laskettu arvioidulla sisälämpöti-

lalla +25 °C. Taulukoista huomataan, että ilmamäärä on riittävä vain yli +15 °C:n ulkoilmanlämpötilalla.

Taulukko 4. Turbiinisalin laskennalliset tuloilmamäärät.

kattilan teho [%]	ulkolämpötila [°C] / tubilmavirta [m ³ /s]					
	-26	-15	-5	+5	+15	+25
100-75	24	30	40	60	80	111
70-50	24	30	40	60	80	111
50-0	24	30	40	60	80	111

Taulukko 5. Turbiinisalin ohjaustaulukon mukaiset tuloilmamäärät.

kattilan teho [%]	ulkolämpötila [°C] / tubilmavirta [m ³ /s]					
	-26	-15	-5	+5	+15	+25
100-75	80	80	80	80	80	111
70-50	80	80	80	80	80	111
50-0	80	80	80	80	80	111



Kuva 12. Turbiinisalin tuloilmakoneet TK23-TK25 tasolla +3.00.

4.3.2 Poistoilmapuhaltimet

Turbiinisalin vesikatolla sijaitsevien viiden poistoilmapuhaltimien PK39–PK43 (kuva 13) tehtävänä on poistaa tilan kattoon noussut ylikuumeneminen, silloin kun kattilahuoneissa ei ole tarvetta siirtoilmalle. Puhaltimien yhteenlaskettu poistoilmamäärä on 140 m³/s. Ohjaustaulukon mukaan puhaltimet ovat päällä suuremmaksi osin ulkoilman lämpötilan ollessa yli +5 °C, tarkemmat ohjaustiedot selviävät liitteestä 1.



Kuva 13. Turbiinisalin poistoilmapuhaltimet PK39–PK41.

4.3.3 Siirtoilmapuhaltimet

Turbiinisalin ja kattilahallin välissä sijaitsevat viisi siirtoilmapuhallinta PK44–PK48 (kuva 14) lämmittävät kattilahallia turbiinisalissa lämmentyneellä ilmalla ja tuottavat korvausilmaa kattilalle. Puhaltimien yhteenlaskettu ilmamäärä on $65 \text{ m}^3/\text{s}$. Puhaltimet ovat päällä ulkoilman lämpötilan laskiessa alle $+5 \text{ }^\circ\text{C}$.



Kuva 14. Turbiinisalin siirtoilmapuhaltimet PK46–PK48.

4.4 Yhteenveto ilmanvaihdon ongelmista

Lähtötietoisesti kattilahallin ja turbiinisalin ilmanvaihto ei ole riittävä. Lisäksi ilmanvaihto ei toimi halutulla tavalla vaan aiheuttaa huomattavaa alipainetta kyseessä oleviin tiloihin. Ilmanvaihto perustuu nykyisessä järjestelmässä kiertoilman käyttöön, joka on ongelmallista erityisesti lämmityskaudella. Kiertoilmalämmitystä käytettäessä todellinen korvausilmamäärä kattilalle pienenee, mitä kylmempään ulkoilmaan mennään. Korvausilmamäärän ollessa liian pieni kattilan palamisilmaan nähden, kattilahalliin muodostuu alipaine, jolloin kattilan pääilmapuhaltimet imevät kylmää ulkoilmaa rakenteiden välistä. Kylmäilma taas aiheuttaa jäätymisriskin kattilahallin alaosassa oleville putkistoille. Kattilahallin ja turbiinisalin ilmanvaihtoa ohjataan myös "tunnottomasti" erillisen karkean ohjaustaulukon mukaisesti, mikä ei perustu todelliseen tarpeeseen (palamisilmaan, sisälämpötilaan ja painesuhteisiin).

5 Kattilahallin ja turbiinisalin ilmanvaihdon uusiminen

Ilmanvaihdon uusiminen lähti käyntiin, kuten jo edellä mainittiin, kattilahallin suuren alipaineen sekä laitteiden huonon kunnon takia. Kattilahalliin muodostuu suuri alipaine koska tilaan ei tuoda tarpeeksi korvausilmaa kattilalle. Alipaine vaikeuttaa ovista kulkua ja aiheuttaa jäätymisvaaran putkistoille, sillä kattilan pääilmapuhaltimet imevät lämmittämätöntä ilmaa rakenteiden välistä. Tämä taas johtaa siihen, että pääilmapuhaltimien paineentuottoa täytyy nostaa, mikä taas kasvattaa puhaltimien sähkönkulutusta.

5.1 Lähtöarvot

Lähtöarvot ilmanvaihdon suunnitteluun saatiin prosessiautomaatiosta, vanhoista suunnitelmista, käyttöhenkilökunnalta sekä paikan päällä nykyisistä laitteista. Ilmanvaihdon suunnittelussa tarvittavia lähtöarvoja on esitelty tarkemmin alla.

5.1.1 Reunaehdot

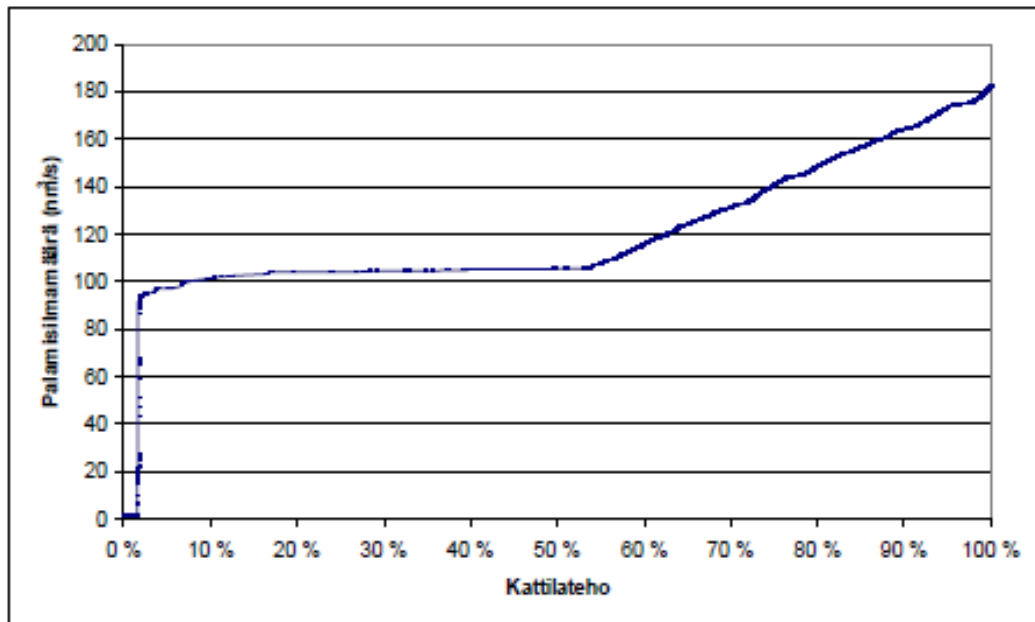
Suunniteltaessa voimalaitoksen perusparannuksen ilmanvaihtoa tulee ottaa huomioon, että laitos on käynnissä työn aikana. Osa ilmanvaihtokoneista tulee pitää toimintakunnossa, jotta tarvittava ilmamäärä saadaan sisään voimalaitokseen. Tästä syystä urakka päätettiin jakaa kolmeen vaiheeseen, jolloin laitos on kesäseisokilla ja ilmanvaihto voidaan pitää minimissään. Vaiheistuksesta on kerrottu tarkemmin toteutuksen alla.

Toinen ongelma on nykyisten ilmanvaihtokoneiden sijainti. Osa koneista on todella hankalassa paikassa, ja uudet koneet joudutaan haalaamaan osissa sekä kasaamaan paikan päällä. Nykyisillä ilmanvaihtokoneilla ei ole riittävästi huoltotilaa, ja uudet koneet joudutaan suunnittelemaan tilan sekä sijainnin perusteella niin, että suodattimet sekä patterit saadaan vedettyä helposti ulos. Uudet koneet päätettiin sijoittaa nykyisille konepedeillä, mikä on myös rajoittava tekijä koneita valittaessa.

5.1.2 Korvausilmamäärä

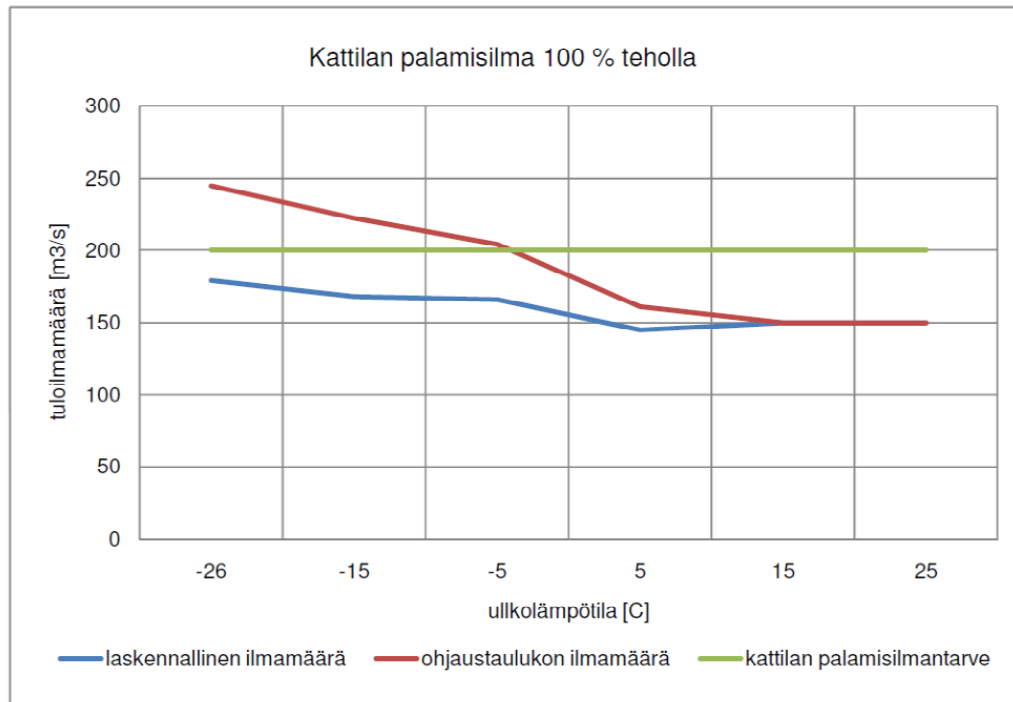
Oikealla korvausilmamäärällä varmistetaan polttoaineen täydellinen palaminen, joka johtaa parempaan hyötysuhteeseen kattilassa. Palamisilmaa syötetään kattilaan suhteessa sinne syötettyyn polttoaineeseen ja syötettyä ilmamäärää korjataan savukaasusta mitatun happipitoisuuden perusteella. Liian pieni ilmamäärä johtaa epätäydelliseen palamiseen, ja liian suuri ilmamäärä puolestaan lisää savukaasuhäviöitä.

Kuvassa 15 on esitetty kattilan tarvitsema palamisilmamäärä eri kattilatehoilla. Kuvaaja on tehty prosessinvalvontajärjestelmästä saatujen historiatietojen perusteella. Arvot ovat koko vuoden ajalta tunnin välein mitattuna. Täydellä kattilateholla palamisilman tarve on n. $185 \text{ nm}^3/\text{s}$.



Kuva 15. Kattilan palamisilmamäärä tehoalueella 0–100 % (6).

Kuvasta 15 nähdään, että kattilan palamisilman tarve ei ole yhtenevä kattilan tehoon nähden. Palamisilman tarve nousee 0–50 %:n kattilan osateholla n. 5 % ja välillä 50–100 % lähes 50 %. Uudessa järjestelmässä todellinen palamisilmatarve on yhtenä ohjausparametrina.



Kuva 16. Kattilahalliin tuotu korvausilmamäärä 100 %:n teholla.

Ohjaustaulukon mukainen (punainen) tuloilmamäärä kattilahalliin on todellisuudessa (sininen) eri, kuten kuvasta 16 on nähtävissä. Tuloilmaa johdetaan kattilahalliin tietämättä, mikä on kattilan todellinen palamisilmamäärä (vihreä) tai mikä on tilan lämpötila. Tämä aiheuttaa huomattavaa energian kulutusta sekä alipaineisuutta, koska ilmamäärät ovat huomattavat kaikilla tehoportilla ja kaikissa ulkolämpötiloissa.

5.1.3 Lämpökuormat ja -häviöt

Kattilahallin sekä turbiinisalin laitteiden lämpökuormat ovat merkittävät tilojen lämpöhäviöihin nähden, jonka vuoksi lämmityksen tarve jää suhteellisen pieneksi. Suurin osa lämmityksen tehosta kuluu ilmanvaihdon lämmitykseen, sillä ilmamäärät ovat suuria.

Määritettäessä kattilan ja siihen liittyvän laitteiston kattilahalliin luovuttamaa lämpöä on tavallisesti tukeuduttu voimakattiloiden osalta standardiin DIN 1942. Standardin DIN 1942 mukaan kivihiiltä polttoaineena käyttävän kattilan lämpöhäviöt ovat noin 1,7 MW, kun höyryteho on 460 MW. Voimakattiloiden lämpöhäviöiden tutkimusten perusteella on todettu todellisten lämpöhäviöiden olevan suuremmat kuin standardissa DIN 1942, minkä vuoksi ilmanvaihdon suunnittelun pohjana on käytetty arvoa

0,5–1,2 % kattilan lämpötehosta. Voimakattiloiden osalta lämpöhäviöiden yleistäminen ei ole mahdollista kattilalaitosten välisten suurten eroavaisuuksien takia, kuten erojen kattilaseinien pintalämpötilojen ja eristyksien välillä.

Kattilan, apulaitteiden ja putkistojen lämpöhäviöinä on laitosta alunperin suunniteltaessa käytetty arvoa 3,7 MW, noin 0,9 % silloisesta kattilatehosta. Vastaaviksi lämpöhäviöiksi nykyhetken tilannetta vastaamaan valitaan 4,1 MW (0,9 % nykyisestä kattilatehosta). Tarkemman tuloksen saamiseksi tulisi suorittaa mittauksia ja laskea jokaisen laitteen lämpöhäviöt erikseen.

Taulukossa 6 on esitetty kattilahallin ja turbiinisalin laskennalliset lämpöhäviöt. Taulukosta huomataan että lämpöhäviöt ovat pienemmät kuin lämpökuormat. Ulkoilman mitoitus lämpötilaksi on valittu -30 °C ja sisälämpötilaksi $+5\text{ °C}$. Vaikka voimalaitos sijaitseekin Helsingissä, ei laskelmissa voida käyttää Suomen rakentamismääräyskoelman D5 annettua ulkoilman mitoituslämpötilaa -26 °C , sillä voimalaitoksen toiminnassa pysyminen täytyy varmistaa myös kovimmilla pakkasilla.

Taulukko 6. Kattilahallin ja turbiinisalin laskennalliset lämpöhäviöt.

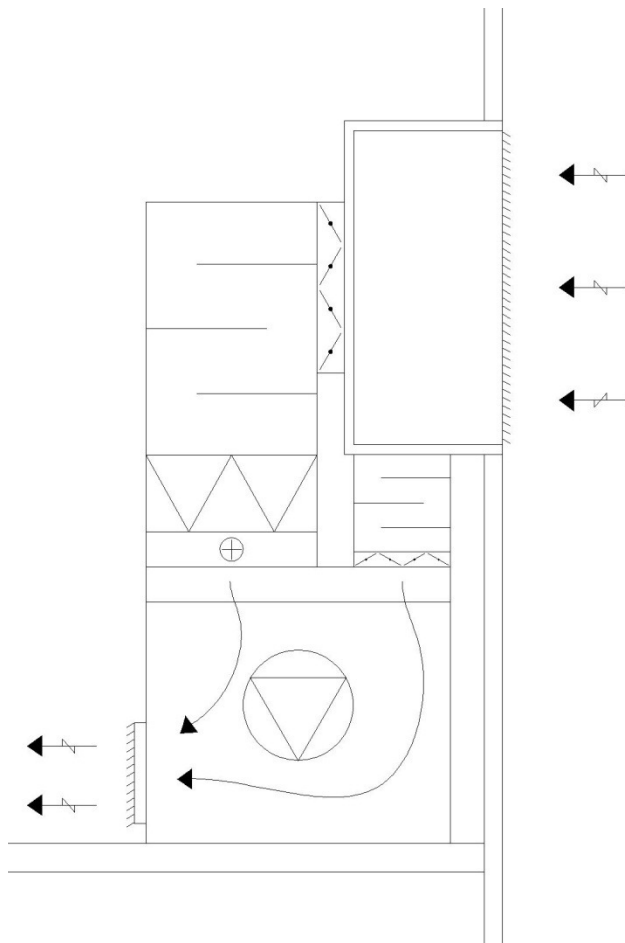
Tilan nimi	Seinä, Ilmavuodot	Sisälämpötila °C	Ulkoilma- lämpötila °C	u-arvo, vuoto W/m ² °C	Ala, Tilavuus m ² , m ³	Lämpöhäviöt kW
Kattilahalli	Seinä US	5	-30	0,50	5900	103
	Alapohja AP	5	0	0,37	1369	3
	Ikkunat	5	-30	2,00	240	17
	Ovet	5	-30	1,00	60	2
	Yläpohja YP	5	-30	0,50	1887	33
	Ilmavuodot	5	-30	1,00	82140	958
Turbiinisali	Seinä US	5	-30	0,40	3980	56
	Alapohja AP	5	0	0,37	1500	3
	Ikkunat	5	-30	2,00	400	28
	Ovet	5	-30	2,00	120	8
	Yläpohja YP	5	-30	0,40	1500	21
	Ilmavuodot	5	-30	1,00	45000	525
				Yht.		1757

5.2 Ilmanvaihdon ratkaisuvaihtoehdot

Ilmanvaihtoa suunniteltaessa tiedettiin, että tuloilma voidaan tuoda sisään kattilahalliin sekä turbiinisalin mahdollisimman kylmänä suurten lämpökuormien takia. Tämän tiedon pohjalta ilmanvaihtoa alettiin miettimään kahden ratkaisuvaihtoehdon kannalta. Ratkaisuvaihtoehtoina olivat ulkoilman sekoitus lämmitettyyn tuloilmaan sekä lämmitysverkoston täyttö glykoli-vesiseoksella.

5.2.1 Sekoitusilman käyttö

Ulkoilmansekoitus käytössä ideana on, että osa tuloilmasta lämmitetään $+15\text{ °C}$:seen asti ja loput tuloilmasta otetaan suoraan ulkoa ja sekoitetaan tuloilmakoneen puhallinosassa 0 °C :n lämpöiseksi. Ilma on lämmitettävä 15 °C :seen asti, jotta lämmityspatterissa kiertävä vesi ei jäätyisi ja hajottaisi patteria.



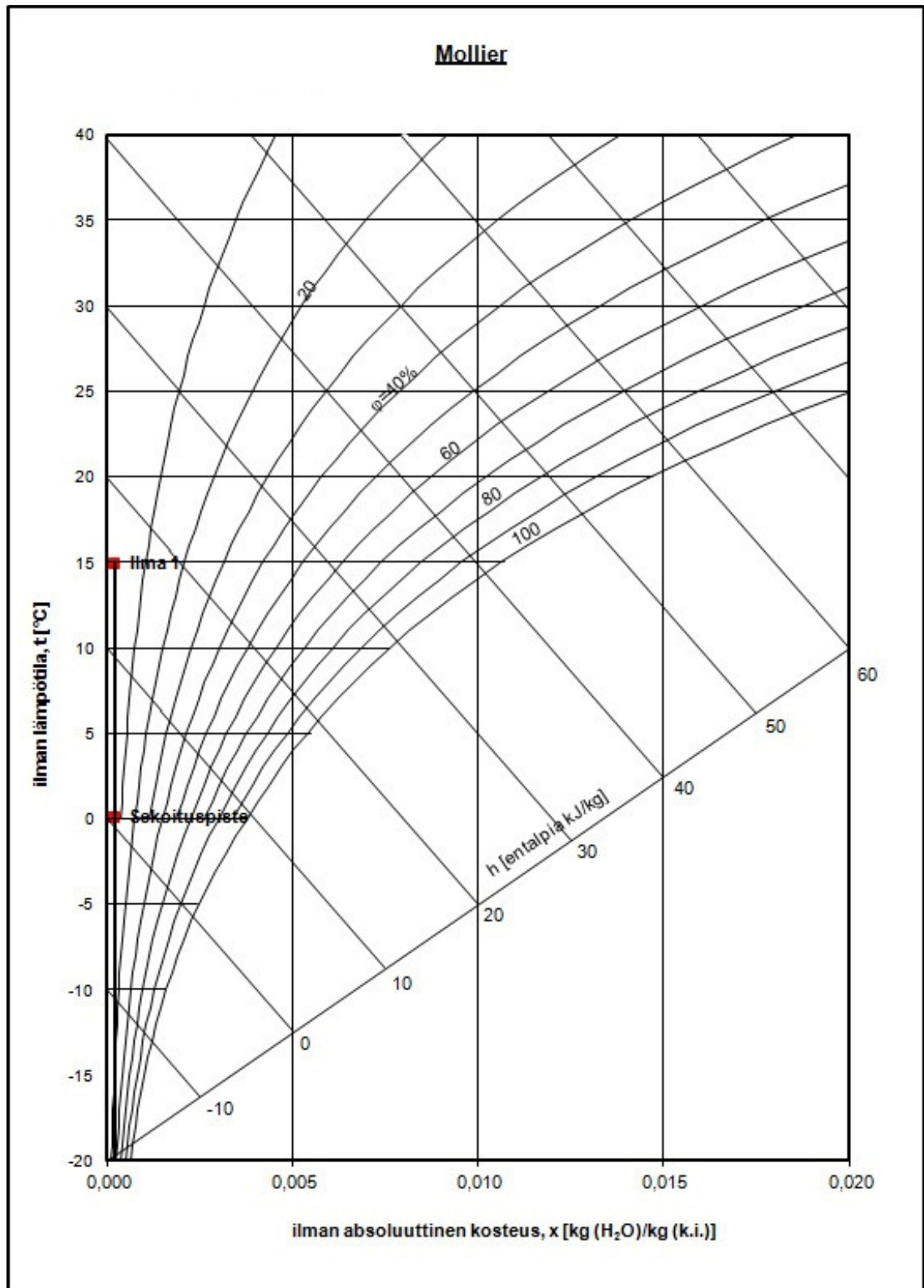
Kuva 17. Periaatekuva kattilahallin tuloilmakoneesta sekoitusilmakäytöllä.

Kuvassa 17 on kattilahallin tuloilmakoneen periaatekuva sekoitusilma käytöllä. Sekoitussilma otetaan raitisilmakammion pohjasta erillisellä kanavalla lämmityspatterin ohi puhaltimen imupuolelle. Ohituskanavassa on äänenvaimennin sekä moottoriohjattu säätöpelti jolla tarvittava ulkoilmamäärä saadaan ohjattua.

Sekoitusilma käytön haittapuolena on se, että ilmanvaihtokoneeseen tulee enemmän huollettavia osia kuin normaalisti sekä automaatio on monimutkaisempi toteuttaa. Ilmansekoituksen ohjaus on myös epävarmaa, sillä peltien asentoja ei voida tarkalleen ohjata asentoon, jolla ilma saataisiin 0 °C:seen. Toiseksi vaarana on, että kylmä ulkoilma ei sekoitu kunnolla lämmitettyyn ilmaan ja kulkee lämmityspatterin alta ja saattaisi jäädyttää patterissa kiertävän veden. Taulukossa 7 ja kuvassa 18 on esitetty sekoituksen lähtöarvot sekä lopputilanne.

Taulukko 7. Ilmansekoituksen lähtö- ja lopputilanne.

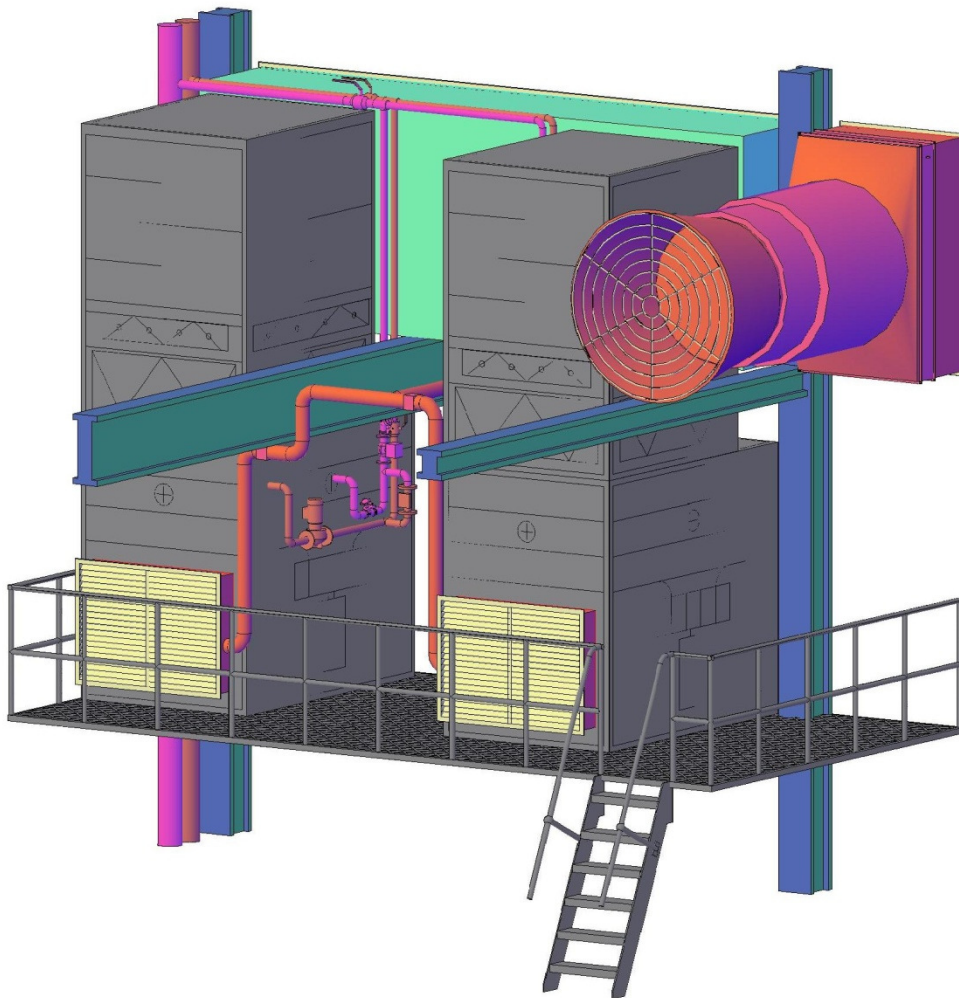
Ilman 1 olosuhteet	suure	arvo	yksikkö
Ilman lämpötila	t_1	15,0	°C
Ilman absoluuttinen kosteus	x_1	0,0002	kg(H ₂ O)/kg(k.i.)
Ilman tiheys	ρ_1	1,22	kg/m ³
Ominaistilavuus	v_1	0,82	m ³ /kg
Ilman entalpia	h_1	15,6	kJ/kg K
Ilman massavirta	m_1	7,35	kg/s
Ilman 2 olosuhteet	suure	arvo	yksikkö
Ilman lämpötila	t_2	-30,0	°C
Ilman absoluuttinen kosteus	x_2	0,0002	kg(H ₂ O)/kg(k.i.)
Ilman tiheys	ρ_2	1,45	kg/m ³
Ominaistilavuus	v_2	0,69	m ³ /kg
Ilman entalpia	h_2	-29,6	kJ/kg K
Ilman massavirta	m_2	3,63	kg/s
Sekoitusilman olosuhteet	suure	arvo	yksikkö
Ilman lämpötila	t_s	0,1	°C
Ilman absoluuttinen kosteus	x_s	0,0024	kg(H ₂ O)/kg(k.i.)
Ilman tiheys	ρ_s	1,29	kg/m ³
Ominaistilavuus	v_s	0,77	m ³ /kg
Ilman entalpia	h_s	0,7	kJ/kg K
Ilman massavirta	m_s	10,98	kg/s
Tiivistyvän veden massavirta	m_{H_2O}	0,00	kg/h
Suhteellinen kosteus	ϕ_s	5,5	% RH
Ilman tilavuusvirta	q_{v3}	8,5	m ³ /s



Kuva 18. Sekoituspiete Mollier-käyrästössä.

5.2.2 Glykoli-vesiseoksen käyttö

Glykoli-vesiseoksen etuna on sen matalampi jäätyislämpötila, jonka ansiosta ilma voidaan lämmittää suoraan 0 °C:seen ilman nesteen jäätymisvaaraa. Seoksen käytön haittapuolia ovat lämmitysverkoston painehäviön ja virtaaman kasvu sekä seoksen luokitus ongelmajätteeksi. Painehäviön kasvu johtaa suoraan suurempiin kiertopumppuihin, mikä taas tarkoittaa kasvua pumppujen sähkönkulutuksessa. Glykolin ongelmajätteilisyys ei sinänsä ole ongelma, mutta verkoston tilavuuden ollessa noin 15 m³ on sen täyttö työlästä. Kuvassa 19 on kattilahallin tuloilmakoneet TK103 ja TK105 mallinnettuna glykoli-vesikäytöllä.



Kuva 19. 3D-mallinnus tuloilmakoneista TK103 ja TK105 glykoli-vesikäytöllä.

5.3 Toteutus

Ilmanvaihtourakka kattaa turbiinialin sekä kattilahallin ilmanvaihtokoneiden uusimisen kokonaisuudessaan. Ratkaisuvaihtoehdoksi valittiin glykoli-vesiseoksen käyttö sen yksinkertaisuuden vuoksi. Urakkaan kuuluvat myös tarvittavat huoltotasojen muutostyöt sekä aksiaalipuhaltimien ja kiertoilmakoneiden huollot. Työt on jaettu kolmeen vaiheeseen, sillä muutostyöt voidaan toteuttaa vain laitoksen ollessa kesäseisokilla, jotta kaikki työt ehdittäisiin toteuttamaan kesäkauden aikana. Vaiheistuksesta on kerrottu tarkemmin alla.

5.3.1 Muutostöiden vaiheistus

Muutostyöt päädyttiin jakamaan kattilahallin ja turbiinialin osalta kolmeen eri vaiheeseen. Vaiheiden toteutusajankohtina ovat kesäkaudet, jolloin ulkolämpötila on pysyvästi yli +5 °C. Osa tuloilmakoneista on asennettu todella ahtaisiin paikkoihin ja niiden uusimiselle on varattava riittävästi aikaa. Vaiheistuksella varmistetaan myös töiden valmiiksi saaminen ennen lämmityskauden alkua, jolloin laitoksen on oltava täysin toiminta kunnossa. Ensimmäisen vaiheen jälkeen saadaan kattilahallin alipaineisuutta parannettua oleellisesti, koska turbiinialista voidaan johtaa siirtoilmana suunniteltu ilmamäärä kattilahalliin myös pakkasjaksona.

1. vaihe

Turbiinialin tuloilmakoneet uusitaan kokonaisuudessaan. Siirtoilmapuhaltimet kattilahalliin sekä vesikatolla sijaitsevat poistoilmapuhaltimet perushuolletaan. Yksi vesikaton poistoilmapuhaltimista käännetään toisinpäin tuloilmapuhaltimeksi. Turbiinin kuoreen asennetaan poistoilmapuhallin, jolla ylitämpi puhalletaan kattilahalliin.

Lämmönsiirtimet, pumput, venttiilit ja putkistot uusitaan tarvittavilta osin lopullista tehontarvetta vastaaviksi. Turbiinialin uusille ilmanvaihtokoneille asennetaan uudet lämpöjohdot ja runkojohdot varustetaan sulk- ja säätöventtiilein vaiherajalta. Lämmitysverkosto tasapainotetaan kokonaisuudessaan.

Uudet automaatiolaitteet hankitaan lopullista laajuutta vastaavaksi päävalvomoon. Nykyinen automaatiojärjestelmä PROCONTIC jatkaa toimintaansa uuden laitteiston rinnal-

la, ja siitä erotetaan ainoastaan turbiinisalin ilmanvaihdon ohjaus. Uudet ilmanvaihtokoneet liitetään uuteen automaatiojärjestelmään sekä taloautomaatiojärjestelmään. Turbiinisalin ilmanvaihdon toiminta tarkistetaan kaikilla käyttötehoilla kesä- ja talviaikana.

2. vaihe

Puolet kattilahallin tuloilmakoneista uusitaan kokonaisuudessaan. Jäävät tulo- ja poistoilmapuhaltimet sekä kiertoilmakoneet perushuolletaan. Lämpöjohtoputket uusitaan tarvittavilta osin turbiinisalin vaiherajalta 1 uusittaville tuloilmakoneille. Lämmitysverkosto tasapainotetaan kokonaisuudessaan.

Uudet tuloilmakoneet liitetään uuteen automaatiojärjestelmään sekä taloautomaatiojärjestelmään kuten vaiheessa 1. Nykyinen automaatiojärjestelmä PROCONTIC jatkaa toimintaansa uuden laitteiston rinnalla, ja siitä erotetaan ainoastaan kattilahallin uudet tuloilmakoneet. Kattilahalliin jäävien tuloilmakoneiden ohjaus tapahtuu edelleen PROCONTIC säätöohjelmiston avulla.

3. vaihe

Loput kattilahallin tuloilmakoneista uusitaan kokonaisuudessaan. Lämpöjohtoputket uusitaan tarvittavilta osin kattilahalliin uusittaville tuloilmakoneille ja lämmitysverkosto tasapainotetaan kokonaisuudessaan.

Uudet tuloilmakoneet liitetään uuteen automaatiojärjestelmään sekä taloautomaatiojärjestelmään. Vanha automaatiojärjestelmä PROCONTIC poistetaan käytöstä ja laitteistot puretaan. Uuden automaatiojärjestelmän toiminta tarkistetaan kokonaisuudessaan kaikilla käyttötehoilla kesä- ja talviaikana.

5.3.2 Uusittavat ilmanvaihtokoneet

Ensimmäisessä vaiheessa uusittavat ilmanvaihtokoneet sijaitsevat turbiinialissa. Tuloilmakoneet TK18–TK25 ja TK29–TK36 uusitaan kokonaisuudessaan. Koneet TK18–TK21 ja TK23–TK36 varustetaan suodatuksella, lämmityspatterilla ja taajuusmuuttajasäädöllä. Kone TK22 varustetaan suodatuksella ja taajuusmuuttajasäädöllä. Yksi katolle sijaitsevistä poistoilmapuhaltimista käännetään toisinpäin tuloilmapuhaltimiksi, jotta ilmamäärät olisivat tasapainossa.

Osa nykyisistä tuloilmakoneista on asennettu todella lähemmäksi toisiaan kolmen koneen ryhmiin, jotta uusille koneille saataisiin riittävästi huoltotilaa on keskimäinen kone jätettävä pois. Kuvasta 20 nähdään, kuinka lähemmäksi koneet ovat toisiaan. Kuvassa 21 on samat koneet uusittuina ilman keskimäistä.



Kuva 20. Vanhat tuloilmakoneet TK23, TK24 ja TK25.



Kuva 21. Uudet tuloilmakoneet TK23 ja TK25.

Kattilahallin tuloilmakoneet voidaan, koneita TK90–TK92 lukuun ottamatta, uusia suhteellisen helposti. Ongelmana voidaan pitää pitkiä ja korkeita haalausreittejä. Kaikki lämmityspatterilla varustetut tuloilmakoneet uusitaan kokonaisuudessaan. Koneet varustetaan suodatuksella, lämmityspatterilla ja taajuusmuuttajasäädöllä.

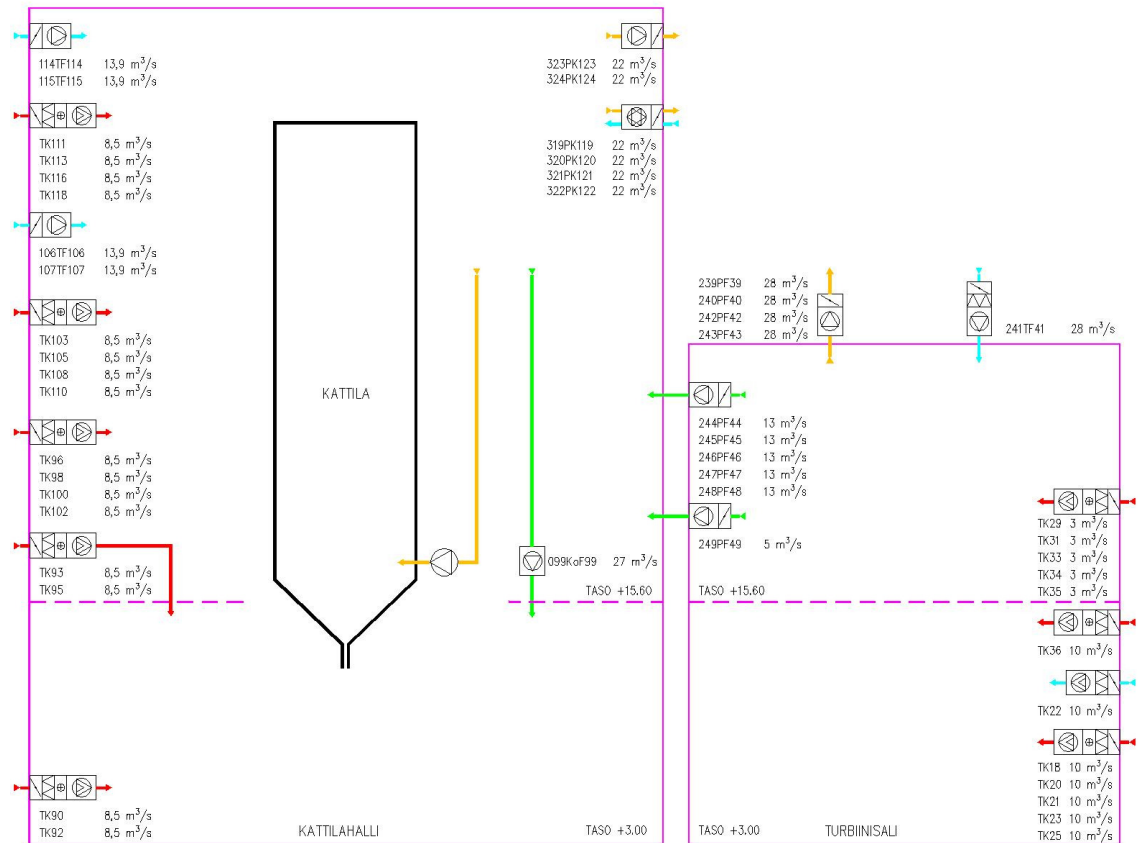
Kaikki kattilahallin tuloilmakoneet on asennettu kolmen ryhmiin, kuten kuvista 22 ja 23 voidaan nähdä. Koneet ovat niin lähellä toisiaan, että keskimmäinen on jätettävä pois riittävän huoltotilan aikaansaamiseksi.



Kuva 22. Kattilahallin nykyiset tuloilmakoneet TK100, TK101 ja TK102.



Kuva 23. Kattilahallin nykyiset tuloilmakoneet TK103, TK104 ja TK105.



Kuva 24. Ilmanvaihdon yleiskaavio.

Kuvassa 24 on esitetty kattilahallin sekä turbiinisalin uusitut ilmanvaihtojärjestelmät kokonaisuudessaan kaaviona.

5.3.3 Ilmanvaihtolaitteiden huollot

Kaikkia ilmanvaihtolaitteita ei pidetty tarpeellisena uusia kuten aksiaalipuhaltimia, kierto- ja siirtoilmakoneita. Koneet puretaan osiin ja putsataan hiilipölystä. Rikkoutuneet osat uusitaan tarpeen mukaan. Kuvissa 25 ja 26 on esitetty kattilahallin kiertoilmakoneet Kok31 ja Kok32 sekä poistoilmapuhallin PK123

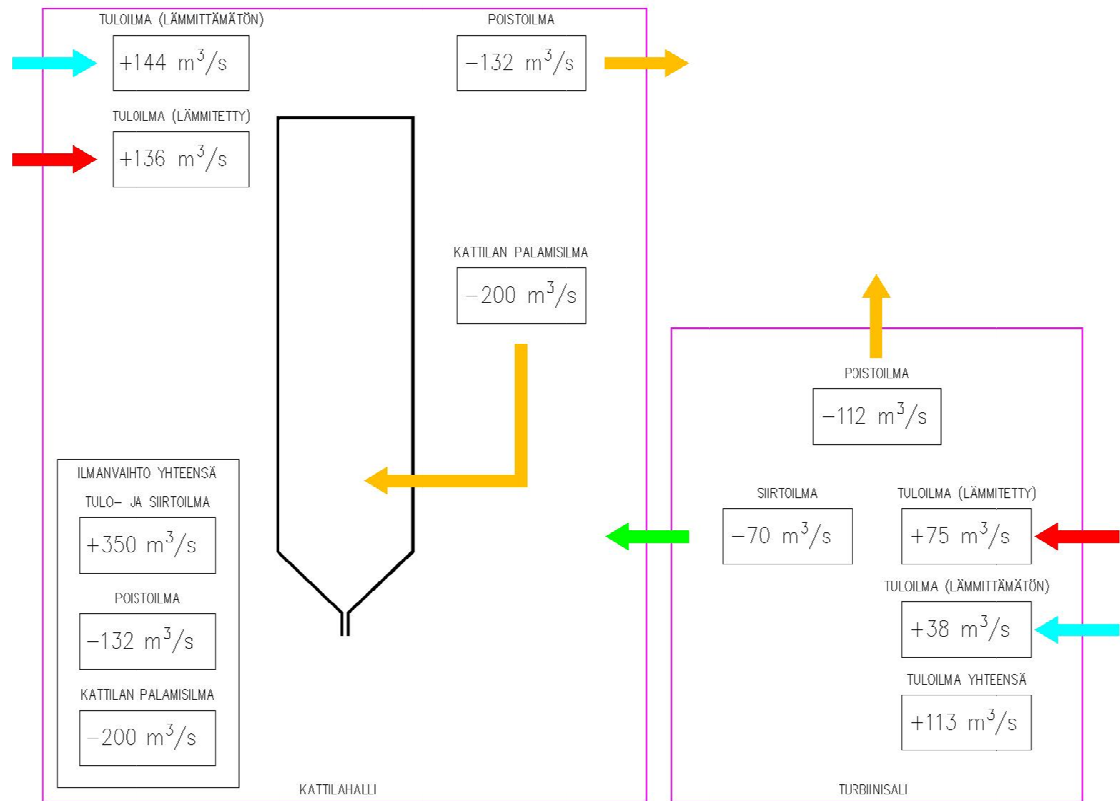


Kuva 25. Kattilahallin poistoilmapuhallin PK123.



Kuva 26. Kattilahallin kiertoilmakoneet Kok31 ja Kok32.

5.3.4 Ilmanvaihdon ohjaus



Kuva 27. Kattilahallin ja turbiinisalin ilmanvaihdon maksimi ilmamäärät.

Kuvassa 27 on esitetty uuden ilmanvaihtojärjestelmän maksimi ilmamäärät. Mitoitustilanteessa ulkoilman ollessa $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ turbiinisaliin tuodaan lämmitettyä ilmaa $75\text{ m}^3/\text{s}$ ja poistetaan siirtoilmana kattilahalliin $70\text{ m}^3/\text{s}$, näin turbiinisali pysyy ylipaineisena kattilahalliin nähden, eikä hiilipöly siirry kattilahallista turbiinisaliin. Kattilahalliin tuodaan lämmitettyä ilmaa $136\text{ m}^3/\text{s}$ ja turbiinisalin siirtoilma $70\text{ m}^3/\text{s}$ eli yhteensä $206\text{ m}^3/\text{s}$, joka on kattilan palamisilman tarve. Palamisilmamäärä on mitoitettu hieman todellisen tarpeen yli, jotta ilmamäärä olisi varmistettu vika tilanteessa tai tuloilmakoneen hajo- tessa.

Ilmanvaihto on jaettu kahteen järjestelmään, turbiinisaliin sekä kattilahalliin. Järjestel- mät toimivat yhdessä, kuten aikaisemminkin. Ilmamääriä ohjataan ensisijaisesti kattilan palamisilmamäärän mukaan, muina ohjausparametreina ovat sis- ja ulkolämpötilat sekä minimikäyttötilanne. Minimikäyttötilanteella tarkoitetaan tilannetta, jolloin kattila

ei ole käynnissä, mutta minimi-ilmamäärä (30 m³/s) on ohjattava molempiin tiloihin. Tiedot ilmanvaihdon ohjausta varten saadaan prosessiautomaatiosta sekä lämpötilantureilta.

Kuten edellä mainittiin, ilmanvaihdon ohjausautomaatio on jaettu neljään ohjausparametriin. Automaatiojärjestelmä laskee tarvittavan tuloilmamäärän jokaiselle parametrille erikseen ja valitsee tilanteesta riippuen niistä suurimman. Kaikki parametrit eivät kuitenkaan vaikuta jokaiseen puhaltimeen, vaan ne on jaettu puhaltimien tehtävän mukaan. Turbiinisalin ja kattilahallin tuloilmakoneita ohjataan kattilan palamisilmamäärän sekä sisälämpötilan mukaan, kun taas tilojen poistoilmapuhaltimia ohjataan sisä- ja ulkolämpötilan mukaan. Siirtoilmapuhaltimia tilojen välissä ohjataan palamisilmamäärän sekä ulkolämpötilan mukaan. Siirtoilmapuhaltimet ja turbiinisalin poistoilmapuhaltimet eivät voi käydä samanaikaisesti, vaan ne on rajoitettu tiettyyn ulkoilmanlämpötilaan. Siirtoilmapuhaltimet käyvät alle +10 °C:n ulkolämpötilassa ja poistoilmapuhaltimet käyvät lämpötilan ollessa yli asetusarvon. Lämmittämätöntä tuloilmaa ohjataan sisä- ja ulkolämpötilan mukaan, puhaltimet ovat myös kytköksissä poistoilman ohjaukseen, mikä pitää huolen tulo- ja poistoilmamäärien oikeasta tasapainosta.

Ensisijaisesti kattilan palamisilma tuodaan turbiinisalista siirtoilmana, kun siirtoilma 70 m³/s ei enää riitä aletaan kattilahallin tuloilmakoneita käynnistää portaittain, jotta tarvittava korvausilmamäärä kattilalle toteutuu. Samalla mitataan turbiinisalin sisälämpötilaa, jos sisälämpötila nousee liian korkeaksi, eikä 70 m³/s riitä tuulettamaan yllämpöä, käynnistyy turbiinisalin vesikatolle olevat poistoilmapuhaltimet portaittain (28 m³/s kpl). Samalla käynnistyy vastaava määrä tuloilmapuhaltimia, jotta tila ei muuttuisi alipaineiseksi. Kattilahallin yllämmön tuuletus toimii vastaavalla periaatteella.

6 Yhteenveto

Tämän työn suunnitteluohjeet koskevat vain voimalaitoksen ilmanvaihdon suunnittelua, mutta voidaan myös käyttää soveltaen muuhun vastaavaan teollisuuteen. Opinnäytetyön tavoitteena oli esitellä voimalaitoksen ilmanvaihtoa yleisesti sekä kohteen ilmanvaihtojärjestelmän ongelmat ja ratkaisut niiden korjaamiseksi. Työhön on myös koottu yleisiä voimalaitoksen ilmanvaihdon suunnittelussa huomioon otettavia näkökohtia sekä selostettu kohteen nykyisen ilmanvaihdon toimintaperiaate sekä jokaisen ilmanvaihtolaitteen tehtävä. Työn tavoitteissa onnistuttiin hyvin ja järjestelmä saatiin toimivammaksi.

Ajan puutteen vuoksi työssä ei voitu esittää lopputuloksia suunnitelmien lopullisesta toimivuudesta, sillä vaiheet 2 ja 3 toteutetaan vuosien 2012 ja 2013 kesien aikana. Teoreettisesti lopputuloksen pitäisi olla toimivampi sekä käytettävyydeltään mukavampi voimalaitoksen käyttökunnalle.

Lähteet

- 1 Salmisaaren voimalaitokset. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. www.helen.fi/energia/salmisaari.html. Luettu 19.8.2011.
- 2 Voimalaitoksen toiminta. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. www.helen.fi/energia/toiminta_kiintea.html. Luettu 23.9.2011.
- 3 Vastapainevoimalaitos. 2012. Verkkodokumentti. Wikipedia. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Vastapainevoimalaitos>. Päivitetty 17.5.2012. Luettu 23.9.2011.
- 4 Ilmakuva. 2011. Verkkosivu. Eniro. <http://www.eniro.fi/kartta/Salmisaari%2C%20Helsinki>. Luettu 5.12.2011.
- 5 Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotantoprosessi. 2003. Verkkodokumentti. Energiaverkko. http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energiaverkko/energian_tuotanto/tuotantoprosessit/yhdistetty.htm. Luettu 23.9.2011.
- 6 Saikkonen, Antti. 2004. Salmisaaren B-voimalaitoksen kattilahallin ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmä. Seminaarityö. Teknillinen korkeakoulu.
- 7 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitto ry.
- 8 Teollisuusilmastoinnin opas. 2000. TAKE F DGB REPORT 44. Suomen talotekniikan kehityskeskus Oy.
- 9 HELEN käyttöhenkilökunta. 2011. Helsingin Energia. Keskustelu.

Liite 1. Ilmanvaihtojärjestelmän ohjaustaulukko (6)

Nykyinen turbiini- ja kattilahallin ohjaustaulukko ulkolämpötilan ja kattilatehon mukaan

Tunnus	Vaik.alue	q _v (m ³ /s)	Ulkolämpötilat ja kattilan K1 tehoalueet														
			alle -15°C			-15°C -5°C			-5°C +5°C			+5°C +15°C			yli +15°C		
			100-75	75-50	50-0%	100-75	75-50	50-0%	100-75	75-50	50-0%	100-75	75-50	50-0%	100-75	75-50	50-0%
TK-18	T +3.00	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
TK-19	T +3.00	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
TK-20	T +3.00	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
TK-21	T +3.00	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
TK-22	T +3.00	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
TK-23	T +3.00	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
TK-24	T +3.00	10,0															
TK-25	T +3.00	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
TK-29	T +15.60	3,0													3,0	3,0	3,0
TK-30	T +15.60	3,0													3,0	3,0	3,0
TK-31	T +15.60	3,0													3,0	3,0	3,0
TK-32	T +15.60	3,0													3,0	3,0	3,0
TK-33	T +15.60	3,0													3,0	3,0	3,0
TK-34	T +15.60	3,0													3,0	3,0	3,0
TK-35	T +15.60	3,0													3,0	3,0	3,0
TK-36	T +11.30	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
PK-39	T vesikatko	28,0						-28,0									
PK-40	T vesikatko	28,0								-28,0							
PK-41	T vesikatko	28,0															
PK-42	T vesikatko	28,0															
PK-43	T vesikatko	28,0															
PK-44	T/K	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
PK-45	T/K	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
PK-46	T/K	13,0															
PK-47	T/K	13,0															
PK-48	T/K	13,0															
TK-90	K +3.00	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-91	K +3.00	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-92	K +3.00	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-93	K +3.00	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-94	K +3.00	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-95	K +3.00	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-96	K +15.60	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-97	K +15.60	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-98	K +15.60	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
KoF-99	K +50.00	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
	K +15.60																
TK-100	K +15.60	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-101	K +15.60	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-102	K +15.60	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-103	K +28.60	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-104	K +28.60	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-105	K +28.60	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-106	K +28.60	13,9													13,9	13,9	13,9
TK-107	K +28.60	13,9													13,9	13,9	13,9
TK-108	K +28.60	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-109	K +28.60	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-110	K +28.60	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-111	K +41.20	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-112	K +41.20	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-113	K +41.20	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-114	K +41.20	13,9	13,9												13,9	13,9	13,9
TK-115	K +41.20	13,9													13,9	13,9	13,9
TK-116	K +41.20	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-117	K +41.20	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
TK-118	K +41.20	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
PK-119	K +57.80	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
PK-120	K +57.80	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
PK-121	K +57.80	22,0															
PK-122	K +57.80	22,0															
PK-123	K +57.80	22,0															
PK-124	K +57.80	22,0															

- = turbiiniselin ilmanvaihto
- = siirtoilmapuhaltimia turbiiniselästä kattilahalliin
- = kattilahallin kiertoilmalla lämmitettyä tuloilmaa kattilahalliin
- = kattilahallin ilman sekoituspuhallus
- = lämmittämätöntä ulkoilmaa kattilahalliin
- = poistoilmapuhallus kattilahallista

Liite 2. Ilmanvaihdon yleiskaavio

