

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Esko Salminen

LAUHDETURBIININ JÄÄHDYTYKSEN OPTIMOINTI

Opinnäytetyö
Toukokuu 2021



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2021
Energia ja ympäristötekniikan
koulutusohjelma

Karjalankatu 3
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel +358 13 260 600

Tekijä
Esko Salminen

Nimeke
Lauhdeturbiinin jäähdytyksen optimointi

Toimeksiantaja
Metsä Fibre Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyö laadittiin Äänekosken biotuotetehtaan lauhdeturbiinin energiatehokkuuden parantamiseksi. Työssä keskityttiin lauhdeturbiinin jäähdytykseen ja sen automatisointiin. Jäähdytysveden virtaus oli aikaisemmin vakio ja siihen haluttiin rakentaa säätöpiiri, joka säätelee jäähdytysveden virtausta.

Biotuotetehdas on pitkälle automatisoitu tehdas. Automaation avulla voidaan parantaa tehtaan tuottavuutta ja käytettävyyttä. Automaation avulla voidaan parantaa myös energiatehokkuutta. Opinnäytetyön tavoite oli rakentaa säätöpiiri, joka osaa ottaa huomioon lauhdeturbiinin jäähdytykseen liittyvät muuttujat eli höyryvirtauksen ja jäähdytysveden lämpötilan. Työn aikana selvitettiin laitevalmistajan antamia raja-arvoja, joiden sisällä oli pysyttävä, ettei syntyisi laiterikkoja tai ongelmia prosessin käytettävyyteen. Työn tutkimusaineistona toimi laitetoimittajan käyttö- ja kunnossapitokäsikirjat, mittaushistoria ja kirja- sekä internetlähteet.

Säätöpiiri rakennettiin yhteistyössä Valmet Oyj:n edustajan kanssa ja säätöpiiri saatiin toimimaan halutulla tavalla. Säätöpiiri otettiin käyttöön ja seurasin sen toimivuutta seuraavat 30 vuorokautta. Säätöpiiri oli yhtäjaksoisesti käytössä koko seurantajakson ja se toimi kuten se on suunniteltu, eikä aiheuttanut haittaa muulle prosessille.

Kieli
suomi

Sivut 31

Asiasanat

soodakattila, höyryturbiini, prosessiautomaatio, energiatehokkuus



THESIS
May 2021
Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

Karjalankatu 3
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel +358 13 260 600

Author
Esko Salminen

Title
Condensing Turbine Cooling Optimization

Commissioned by
Metsä Fibre Oy

Abstract

The thesis was made to improve the energy efficiency of the condensing turbine at the Äänekoski bioproduct mill. The work focused on cooling of the condensing turbine and on its automation. The flow of cooling water was previously constant, and it was desired to build an automation controller that regulates the flow of cooling water.

The bioproduct mill is a highly automated factory. Automation can be used to improve plant productivity and usability. Automation can also be used to improve energy efficiency. The aim of the thesis was to build an automation controller that can consider the variables related to condensing turbine cooling, steam flow and cooling water temperature. During the work, the limit values given by the equipment manufacturer were clarified, within which it was necessary to stay, in order to avoid equipment failures or problems with the usability of the process. The research material of the work was the operation and maintenance of operation the equipment supplier manuals, measurement history, books, and internet sources.

The automation controller was built in co-operation with a Valmet Corporation representative and the automation controller was made to work as desired. The automation controller was put into operation and its operation was monitored for the next 30 days. The automation controller was in continuous use, throughout the monitoring period, and it worked as designed and did not cause problems for the rest of the process.

Language

Finnish

Pages 31

Keywords

recovery boiler, steam turbine, process automation, energy efficiency

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Metsä Group	5
2.1	Metsä Fibre	6
2.2	Äänekosken biotuotetehdas.....	6
3	Biotuotetehdas	7
3.1	Kemikaalien talteenottolinja ja voimalaitos	7
3.2	Haihduuttamo	7
3.2.1	Polttolipeän kuiva-aine.....	8
3.2.2	Prosessin sivutuotteet.....	8
3.3	Kaustisointi	9
3.3.1	Meesauuni	10
3.4	Höyrykattila	10
3.4.1	Luonnonkiertokattila.....	11
3.4.2	Syöttöveden esilämmitys	11
3.4.3	Korkeapaine-esilämmitin	12
3.4.4	Syöttövesisäiliö	13
3.5	Soodakattila	14
3.5.1	Soodakattilan toiminta	14
3.5.2	Mustalipeän palaminen.....	15
3.6	Biovoimalaitos.....	16
3.7	Höyryturbiini.....	17
3.7.1	Aktioturbiini	17
3.7.2	Reaktioturbiini	18
3.8	Lauhde- ja vastapaine turbiinit	18
3.8.1	Lauhdutin	19
3.9	Turbiinin rakenne	20
4	Prosessiautomaatio	21
4.1	PID-säädin	22
5	Äänekosken biotuotetehtaan höyryturbiini	22
5.1	Lauhdeturbiini	22
5.2	Lauhduttimet	23
5.3	Raakavesiasema	24
6	Lauhdeturbiinin jäähdytyksen kehitysehdotus.....	24
7	Säätimen käyttöönotto	26
8	Vaikutusten arviointi ja tulokset.....	28
9	Pohdinta.....	29
	Lähteet.....	31

1 Johdanto

Työ on tehty Metsä Fibren Äänekosken biotuotetehtaalle ja työn tarkoituksena oli parantaa tehtaan energiatehokkuutta kehittämällä soodakattilan höyryturbiinin lauhduttimen jäähdytystä sekä rakentaa lauhduttimelle säädin, joka säätää tarvittavan jäähdytysveden virtauksen lauhduttimelle.

Höyryturbiini on Siemensin valmistama vastapaineturbiini, jossa on poiskytkettävä lauhdeturbiini. Lauhdeturbiinissa vastapainehöyry lauhdutetaan vedeksi. Tämä toteutetaan turbiinin alla olevan lauhduttimen avulla. Lauhduttimessa kiertää jäähdytysvesi, jonka avulla höyry lauhdutetaan vedeksi. Lauhduttimeen menevän jäähdytysveden virtaus on pidetty vakiona, vaikka lauhdeturbiiniin ajettava höyryvirtaus vaihtelee.

Energiatehokkuus ja sen parantaminen on osa EU:n ja Suomen valtion ilmasto- ja energiapolitiikkaa. Päämääränä on saada kokonaisvaltaisesti energiakulutusta vähennettyä parantamalla laitteiden ja tuotteiden energiatehokkuutta. (Energia-
virasto 2021.)

Energiatehokkuutta parantamalla voidaan vähentää tuotteiden tekemiseen kuluva energiaa tai palvelujen kuluttamaa energiamäärää. Tässä tapauksessa tehdas tuottaa itse tarvitsemansa energian ja säästettävä energia voidaan myydä sähköenergiana valtakunnan verkkoon.

2 Metsä Group

Metsä Group on perustettu vuonna 1934 Metsäliitto Oy:nä. Yhtiön ilmettä uudistettiin laajasti vuonna 2012, jolloin myös Metsä Group nimi tuli käyttöön. Metsäliitto Osuuskunta toimii Metsä Groupin emoyhtiönä. Metsäliitto Osuuskunnan muodostaa noin 100 000 suomalaista metsänomistajaa. (Metsä Group 2021.)

Metsä Groupilla on tuotantolaitoksia 8 eri maassa ja toimintaa, kuten puunhankintaa, on 30 maassa. Metsä Groupin liikevaihto on noin 5,1 miljardia euroa, ja työntekijöitä on yli 9 000 henkilöä. Metsä Groupin liiketoiminta on jaettu eri alueisiin. Näitä ovat: Metsä Fibre (sellu- ja sahateollisuus), Metsä Tissue (pehmo- ja ruuanlaittopaperit), Metsä Board (kartonkiteollisuus), Metsä Forest (puunhankinta ja metsäpalvelut) ja Metsä Wood (puutuotteet). (Metsä Group 2021.)

2.1 Metsä Fibre

Metsä Fibren tuotteisiin kuuluu sellu, erilaiset biotuotteet ja sahatavara. Metsä Fibre on osa Metsä Groupia. Metsä Fibren omistaa Metsäliitto osuuskunta (50,1 %), Metsä Board (24,9 %) ja Itochu Corporation (25 %). Metsä Fibren sellutehtaat sijaitsevat Äänekoskella, Raumalla, Kemissä ja Joutsenossa. Yhtiöllä on seitsemän sahalaistosta, joista kuusi on Suomessa ja yksi Venäjällä. Yrityksellä on noin 1300 työntekijää ja se tuottaa 3,3 miljoonaa tonnia sellua ja 1,8 miljoonaa kuutiota sahatavaraa vuodessa. (Metsä Fibre 2021a.)

2.2 Äänekosken biotuotetehtas

Metsä Fibren omistama biotuotetehtas Äänekoskella on maailman suurin havupuuta jalostava tehdas. Tehdas valmistui vuonna 2017 ja se saavutti suunnitellun tuotantokapasiteetin elokuussa 2018. Biotuotetehtaan tuottamaa valkaistua havu- ja koivusellua käytetään kartongin, pehmo- ja painopaperin sekä erilaisten sellupohjaisten tuotteiden raaka-aineena. Biotuotetehtas tuottaa 1,3 miljoonaa tonnia sellua vuodessa. Sellusta valtaosa päätyy Suomen ulkopuolelle, suurin osa Aasiaan. (Metsä Fibre 2021b.)

Äänekosken tehdasintegraattiin kuuluvat Metsä Fibren biotuotetehtas, Metsä Boardin kartonkitehdas, Nouryonin CMC-tehdas, Metsä Fibren omistama biovoimalaitos, Specialty Minerals Nordicin PCC-laitos, Metsä Springin tekstiilikuituja valmistava teollinen koelaitos ja Metsä Boardin omistama vesivoimalaitos.

3 Biotuotetehdas

Biotuotetahtaan prosessi perustuu sulfaattimenetelmään. Tehdas voidaan jakaa kuitulinjaan, mikä käsittää puunkäsittelyn, keittämön, valkaisun ja kuivauksen, sekä kemikaalien talteenottolinjaan, johon kuuluu haihduttamo, soodakattila, kaustistamo ja meesauuni. Biotuotetehtaaseen kuuluu myös biovoimalaitos, jolla tuotetaan lämmityshöyryä tehdasintegraatin tarpeisiin.

Tehdasta kutsutaan sellutehtaan sijasta biotuotetehtaaksi, koska se valmistaa erilaisia biotuotteita, mäntyöljyä, tärpättiä, bioenergiaa, tuotekaasua, metanolia ja rikkihappoa. Tehdas on energian suhteen yliomavarainen eli se tuottaa sähköä enemmän kuin itse käyttää. Ylimääräinen sähkö myydään valtakunnan verkkoon. Biotuotetahtaan tavoite on käyttää puuraaka-aine ja tuotannon sivuvirrat sataprosenttisesti.

3.1 Kemikaalien talteenottolinja ja voimalaitos

Kaikki tehdasintegraatin höyry pyritään tuottamaan soodakattilalla, mutta jos se ei ole mahdollista niin höyryä tuotetaan biovoimalaitoksen leijupetikattilalla. Biovoimalaitoksella on myös 2 öljykäyttöistä varakattilaa, joita käytetään häiriötilanteissa. Soodakattilan turbiinilla tuotetaan sähköä omaan käyttöön ja ylimäärä myydään valtakunnan verkkoon.

3.2 Haihduttamo

Keittimeltä tuleva mustalipeäliuos pumpataan haihduttamolle käsiteltäväksi. Haihduttamon tärkein tehtävänä on haihduttaa mustalipeän sisältämää vettä mahdollisimman paljon ja nostaa näin mustalipeän kuiva-ainepitoisuutta. Keittimeltä haihduttamolle tulevan mustalipeäliuoksen kuiva-ainepitoisuus on noin 18

%. Haihduttamalla mustalipeästä haihdutetaan niin paljon vettä, että soodakattilalle menevän polttolipeän kuiva-ainepitoisuus on noin 70–85 %. Kuiva-ainepitoisuuden tulee olla korkea, jotta sen polttaminen on mahdollista. (Knowpulp 2020.)

Haihduttamalla on myös tärkeä rooli sivutuotteiden talteenotossa. Haihduttamalla talteen otettavia sivutuotteita ovat suopa, metanoli ja tärpätti. Näistä merkittävin on suopa, josta saadaan palstoittamalla mäntyöljyä.

3.2.1 Polttolipeän kuiva-aine

Soodakattilassa poltettavan mustalipeän kuiva-ainepitoisuutta on pyritty kasvattamaan vuosien saatossa. Kuiva-ainepitoisuuden tulisi olla vähintään noin 55 %, jotta estetään sularäjähdyksen mahdollisuus. Nykyaikaisella haihduttamalla mustalipeän kuiva-ainepitoisuus pystytään nostamaan jopa yli 85 %:iin. (Knowpulp 2020.)

Kuiva-ainepitoisuuden nostamisen on mahdollistanut kehittynyt pumppaustekniikka ja haihduttamon prosessilaitteiden ja niiden käyttötekniikan kehittyminen. Korkean kuiva-ainepitoisuuden saavuttaminen on vaatinut sen, että haihduttamalla käytetään välipainehöyryä ja polttolipeä säilytetään paineellisessa säiliössä. Polttolipeän pumppaaminen ilmakehän paineessa näin korkeassa kuiva-ainepitoisuudessa olisi todella haastavaa. (Knowpulp 2020.)

3.2.2 Prosessin sivutuotteet

Suopa saadaan erotettua haihduttamalla välilipeäsäiliöiden ylikaatona. Suovan tiheys on pienempi kuin lipeän, joten se nousee pintaan ja mahdollistaa suovan keräämisen. Suopa kerätään omaan säiliöön, josta se pumpataan mäntyöljykeitämölle jatkojalostusta varten. Suopa pyritään saamaan mahdollisimman hyvin talteen, koska suopa tarttuu haihdutin yksiköiden lämmönsiirtimiin ja aiheuttaa tukkeentumista. (Knowpulp 2020.)

Haihduttamalla lipeästä vapautuu likaislauhteina metanolia, joka otetaan talteen. Likaislauhde puhdistetaan, jonka jälkeen se poltetaan tai nesteytetään metanolilaitoksella. Nesteytettynä metanolia on mahdollista varastoida ennen polttoa. Metanoli poltetaan joko soodakattilassa, meesaunissa tai esimerkiksi erillisellä hajukaasukattilalla. (Knowpulp 2020.)

3.3 Kaustisointi

Kaustisointi on osa kalkkikiertoa, jonka kaustisointi muodostaa yhdessä meesaunun kanssa. Kalkin avulla soodakattilalta tuleva viherlipeä muutetaan valkolipeäksi. Kaustisoinnissa natriumkarbonaatti eli sooda (Na_2CO_3) muutetaan natriumhydroksidiksi (NaOH), jota tarvitaan sulfaattikeitossa. (Knowpulp 2020.)

Kaustisointireaktiot tapahtuvat useammassa eri vaiheessa. Ensin kalsiumoksidi (CaO) reagoi kalkin sammuttimessa viherlipeän kanssa, jolloin muodostuu kalsiumhydroksidia (Ca(OH)_2). Reaktion aikana viherlipeän lämpötila nousee noin $15\text{ }^\circ\text{C}$. Tämän jälkeen kalsiumhydroksidi reagoi viherlipeän sisältämän natriumkarbonaatin kanssa, jolloin muodostuu natriumhydroksidia. (Knowpulp 2020.) Kaustisointi alkaa sammuttimessa, jossa kemikaalit alkavat reagoimaan. Reaktio jatkuu kaustisointisäiliössä, Reaktio vaatii aikaa, jonka takia kaustisointisäiliöihin on järjestetty viipymäaika. Viipymäaika on noin kolme tuntia ja tämän avulla varmistetaan, ettei vapaata kalsiumhydroksia pääse eteenpäin kaustisointisäiliöstä. Vapaa kalsiumhydroksidi aiheuttaa ongelmia prosessissa. (Knowpulp 2020.)

Kaustisointiasteen avulla mitataan kaustisoinnin tehokkuutta eli mitataan kuinka suuri osa natriumkarbonaatista, on muuttunut natriumhydroksidiksi. Hyvä kaustisointiaste on 80 %. Tämän ylittyessä alkaa niin sanottu ylikalkitustilanne. Ylikalkitsemisen välttämiseksi kaustisointiastetta ei yritetä maksimoida. (Knowpulp 2020.)

Kaustisoinnissa valmistetaan sulfaattikeitossa käytettävää keittokemikaalia, valkolipeää. Valkolipeästä mitattavia arvoja ovat tehollinen alkali, aktiivialkali ja sulfiditeetti. Tehollinen alkali kertoo valkolipeän natriumhydroksidin ja puolittaisen

natriumsulfidin määrän. Aktiivialkali kertoo natriumsulfidin ja natriumhydroksidin yhteismäärän ja sulfiditeetti kertoo natriumsulfidin osuuden valkolipeästä. (Knowpulp 2020.)

3.3.1 Meesauuni

Meesauuni muodostaa kaustisoinnin kanssa suljetun kalkkikierron. Kaustisoinnissa muodostuva meesa muutetaan meesauunissa korkean lämpötilan avulla kalsiumoksidiksi, jota voidaan käyttää kaustisoinnissa uudelleen. Teoriassa näin syntyy suljettu kierto, mutta prosessissa tapahtuvien häviöiden ja ongelmien takia joskus joudutaan käyttämään ostettua kalkkia. (Knowpulp 2020.)

Meesauuni on yleensä noin satametriä pitkä ja halkaisijaltaan noin neljä metriä leveä metallinen putki, jonka sisälle on muurattu tulenkestäviä tiiliä. Meesauuni on hieman kalteva eli pyörimisliikkeen vaikutuksesta meesa valuu syöttöpäästä kohti polttopäätä. Polttopäässä lämpötila on korkea, hieman yli 1100 °C. Meesauunissa pidetään korkeaa lämpötilaa, koska meesan eli kalsiumkarbonaatin muuttuminen kalsiumoksidiksi alkaa tapahtumaan 850 °C:teen lämpötilassa. Reaktio kiihtyy lämpötilaa nostettaessa. Tarvittavan reaktionopeuden saavuttamiseksi polttopäässä lämpötila on yli 1100 °C. (Knowpulp 2020.)

Meesauunissa voidaan käyttää polttoaineena useita eri polttoaineita, kuten maakaasua, raskaspolttoöljyä, mäntypikiöljyä tai tuotekaasua, joka tuotetaan kaasuttimella. Kaasuttimen polttoaineeksi kelpaa kuori tai vaikka metsätähdehake. Kaasuttimella tuotetun polttoaineen avulla voidaan vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä.

3.4 Höyrykattila

Höyrykattilan avulla siihen syötettävä vesi muutetaan höyryksi. Höyrykattila on kuin pitkä putki, jonka toiseen päähän tulee vesi ja toisesta päästä saadaan ulos höyryä. Höyrykattilassa poltetaan jotakin polttoainetta, kuten mustalipeää, kuorta

tai turvetta. Kattilassa polttoaine saadaan reagoimaan ilman kanssa, jolloin polttoaineen sisältämä kemiallinen energia saadaan muutettua lämpöenergiaksi. Lämpöenergia pyritään siirtämään mahdollisimman hyvin höyrykattilan vesi-höyrykiertoon erilaisten lämmönsiirtimien avulla. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 7.)

3.4.1 Luonnonkiertokattila

Luonnonkiertokattila on vesiputkikattila, jossa kattilaveden kierto lieriön ja höyrystimen välillä tapahtuu höyryn ja veden tiheyseron takia. Syöttövesi pumpataan lieriöön syöttöveden esilämmittimien lävitse, jossa syöttöveden lämpötilaa nostetaan. Lieriöstä syöttövesi johdetaan laskuputkia pitkin tulipesää ympäröivän höyrystimen alaosan kokoojakammioon. Osa vedestä höyrystyy veden noustessa kohti lieriötä. Lieriössä vesi ja vesihöyry erotellaan toisistaan ja höyry lähtee lieriön yläosasta tulistimille ja vesi takaisin laskuputkiin jatkamaan kiertoaan. (Huhtinen ym. 2000, 113.)

Luonnonkiertokattiloissa ei ole veden kierrätykseen erillistä pumppua. Näin ollen omakäyttötehon tarve on pakkokiertokattilaan verrattuna alhaisempi. Luonnonkiertokattilassa käyttöpaine täytyy pitää alle 170 bar, jolloin veden ja höyryn välinen tiheysero on vielä viisinkertainen ja luonnonkierto toteutuu. Kiertoluvulla kuvataan höyrystimessä virtaavan veden suhdetta höyrystyvään vesimäärään. Luonnonkiertokattilan kiertoluku on riippuvainen käyttöpaineesta, ja normaalisti se on 5–100. Korkean käyttöpaineen kattiloilla kiertoluku on pienin. (Huhtinen ym. 2000, 113–114.)

3.4.2 Syöttöveden esilämmitys

Höyrykattiloiden sähköntuotannon hyötysuhdetta voidaan parantaa syöttöveden esilämmittimillä. Höyrykattilan sähköntuotannon ja lämmöntuotannon suhdetta kuvataan rakennusasteella. Rakennusaste kuvaa hyvin höyryvoimalaitoksen

sähköntuotannon tehokkuutta. Rakennusasteen määrittää se millaisia sähköntuotantoa nostavia parannuksia prosessiin on tehty. Tavallisesti voimalaitoksien rakennusaste vaihtelee 0,3 ja 0,6 välillä. Rakennusastetta voidaan parantaa erilaisilla syöttöveden esilämmittimillä ja varustamalla kattila välitulistimilla. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 46–48.)

Höyrykattilan syöttövedettä pyritään lämmittämään mahdollisimman paljon ennen kattilaa. Syöttöveden esilämmittimiä ovat syöttövesisäiliö, matala- ja korkeapaineiset höyryesilämmittimet ja savukaasulämmitteinen ekonomaiser. Ekonomaiser on ainut esilämmitin, joka ei käytä höyryä syöttöveden lämmittämiseen. Esilämmittimien käyttämä höyry saadaan turbiinin välitoista, jolloin höyry on jo tuottanut sähköä turbiinin läpi virratessaan ja sen sisältämää lämpöenergiaa voidaan vielä hyödyntää voimalaitosprosessissa. Tämän takia syöttöveden esilämmitys parantaa sähköntuotannon hyötysuhdetta. Väliottojen avulla saadaan lisättyä höyrymäärää korkeapaineturbiinille, parantaen sen hyötysuhdetta. (Huhtinen ym. 2013, 46–53.)

Syöttöveden esilämmittimillä parannetaan höyrykattilan hyötysuhdetta, mutta niiden määrän ratkaisee taloudelliset asiat. Esilämmittimien investoinnit saadaan takaisin vähentyneen polttoaineen kulutuksen kautta. Esilämmittimistä saatava hyöty vähenee jokaisen uuden esilämmittimen jälkeen, joten niistä saatava taloudellinen hyöty vähenee samassa suhteessa, eikä niitä ole välttämättä kannattavaa lisätä. Isoimmista lauhdevoimalaitoksissa voi olla jopa 8 syöttöveden esilämmittintä. (Huhtinen ym. 2013, 52–53.)

3.4.3 Korkeapaine-esilämmitin

Korkeapaine-esilämmitin on malliltaan suljettu esilämmitin eli syöttövesi, ja sitä lämmittävä höyry eivät ole kosketuksissa toisiinsa. Useimmat korkeapaine-esilämmittimistä on U-putkityyppisiä. U-putkien sisällä virtaa syöttövesi ja väliottohöyryllä lämmitetään U-putkia. Korkeapaine esilämmitin on yleensä ensimmäinen esilämmitin syöttövesisäiliön jälkeen. (Huhtinen ym. 2013, 49–50.)

Korkeapaine esilämmittimessä on kolme osaa: tulistuksen poistin, höyryn lauhdutin ja lauhteenjäähdytin. Kaikilla näillä on oma tehtävänsä. Korkeapaine-esilämmittimelle tulevassa höyryssä voi olla tulistusta jopa 200 °C. Tulistuksen poistin on tarpeen, jos turbiinin väliottohöyryllä on tarpeeksi tulistusta kaikissa kuormitusilanteissa. Tulistuksen poistimessa höyry jäähdytetään kylläiseksi ja tämä vähentää syöttöveden lämmittämiseksi tarvittavaa höyrymäärää parantaen höyrykattilan hyötysuhdetta. Höyryn lauhduttimessa kylläinen höyry lauhtuu ja muodostaa vesipinnan lauhduttimen pohjalle. Lauhdepinta pyritään pitämään vakiona. Lauhteenjäähdyttimen tarkoitus on parantaa esilämmittimen hyötysuhdetta. (Huhtinen ym. 2013, 48–50.)

3.4.4 Syöttövesisäiliö

Syöttövesisäiliöllä on monta tehtävää. Se toimii syöttöveden esilämmittimenä, syöttöveden varastona sekä myös kaasunpoistimena. Syöttövesisäiliö mitoiteetaan siten, että siinä riittää vettä noin 30 minuutin ajan, jos höyrykattilaa ajetaan täydellä teholla. Syöttövesisäiliöllä tasataan kattilan kuorman vaihteluita. Säiliöön palautuu prosessista lauhteet. Syöttövesisäiliön pinta pidetään vakiona syöttämällä sinne lisävettä. (Huhtinen ym. 2013, 49.)

Syöttövesisäiliö on osa voimalaitoksen vedenkäsittelyä. Syöttövesisäiliössä on kaasunpoistokupu. Kaasunpoistokuvun tehtäviin kuuluu poistaa syöttövedestä happea ja hiilidioksidia termisen kaasunpoiston avulla. Veden ylittäessä kiehumispisteen kaasut eivät pääse liukenemaan siihen. Kaasunpoiston tehokkuuteen voidaan vaikuttaa sillä, miten nopeasti syöttövesi lämpiää kiehumispisteeseensä. Kaasunpoistimessa on reikälevyistä valmistettuja välipohjia. Kaasunpoistimen yläosaan tulee lauhteet ja lisävesi. Kaasunpoistimen alaosaan johdetaan vastapainehöyryä. Vesi pisaroituu kulkiessaan alaspäin, jolloin höyry lämmittää veden ja vesi alkaa kiehumaan, jolloin siitä poistuu korroosiota aiheuttavat kaasut. Kaasunpoistimen yläosasta johdetaan korroosiota aiheuttavat kaasut pihalle hönkäputkea pitkin. (Huhtinen ym. 2013, 33.)

3.5 Soodakattila

Soodakattila on höyrykattila, jonka polttoaineena toimii mustalipeä. Soodakattilan tehtäviin kuuluu mustalipeä orgaanisen palavan materiaalin polttaminen ja keittokemikaalien talteen ottaminen. Soodakattilalla tuotetaan sellutehtaalle lämmityshöyryä ja sähköä. Soodakattilan avulla mustalipeän kemikaalit saadaan muuttettua siten, että ne voidaan käyttää uudestaan prosessissa. Soodakattilan oikea toiminta on erittäin tärkeää sellutehtaan koko toiminnan kannalta. (Huhtinen ym. 2000, 163–164.) Nykyaikaiset tehtaot pystyvät tuottamaan sähköä niin paljon, että ne ovat sähköstä yliomavaraisia.

3.5.1 Soodakattilan toiminta

Soodakattila poikkeaa normaalista höyrykattilasta siten, että sillä on useita tehtäviä. Soodakattilan ensisijainen tehtävä on polttaa mustalipeän sisältämä orgaaninen aines ja hyödyntää siitä saatava energia höyryntuotannossa. Soodakattilan toinen tehtävä on epäorgaanisten keittokemikaalien regenerointi ja talteenotto. Soodakattilan suunnittelu ja käyttö poikkeavat suuresti tavallisesta höyrykattilasta sen takia, että soodakattilalla on useita tehtäviä. (Huhtinen ym. 2000, 163–164.)

Soodakattilalla poltetaan myös tehtaalla muodostuvat hajukaasut kokonaisuudessaan tai soodakattila voi toimia hajukaasujen varapolttopaikkana. Tämä on soodakattilan kolmas tehtävä. (Vakkilainen 2005, 1–2.)

Soodakattilassa mustalipeän sisältämä rikki ja natrium otetaan talteen, jotta ne voidaan käyttää uudelleen. Soodakattilan pohjalla on pelkistävä vyöhyke, jossa mustalipeän sisältämä rikki pelkistyy natriumsulfidiksi. Kattilassa muodostuu sulaa, joka sisältää suurimmaksi osaksi natriumsulfidia ja natriumkarbonaattia. Kattilasta sulaa valuu sularännejä pitkin liuotussäiliöön, jossa se sekoitetaan heikkovalkolipeään. Kemikaalien sekoittuessa muodostuu viherliperiä, joka pumpataan kaustisointiin. (Vakkilainen 2005, 1–2.)

Soodakattila vastaa kokonaan tai pääosin sähkön- ja lämmöntuotannosta sellutehtaalla. Soodakattilan yläosa on samantyylinen kuin tavallisessa höyrykattilassa. Soodakattila jaetaan höyryntuotannon kannalta kahteen osaan, jotka ovat: konvektiivinen lämmönsiirto-osa ja tulipesä. Lämmönsiirrosta lähes 40 % tapahtuu tulipesässä, jossa savukaasut lämmittävät ja höyrystävät seinäputkissa olevaa vettä. Nykyaikaisissa soodakattiloissa on kattilan yläosassa tulistimet, osa keittoputkistosta sekä syöttöveden esilämmitin eli ekonomaiser. Savukaasujen sisältämän lämmön avulla höyry tulistetaan ja ekonomaiserissa syöttövesi esilämmitetään kylläiseen tilaan. (Huhtinen ym. 2000, 163–168.)

Kattilalta tuleva tuorehöyry on tulistettua höyryä, joka ohjataan turbiiniin. Turbiinissa höyryn paine ja lämpötila laskevat. Sellutehtaalla tarvitaan yleensä kahta eri paineessa ja lämpötilassa olevaa höyryä. Näitä ovat: välipainehöyry, jota saadaan turbiinin välitoista sekä vastapainehöyry, jota ei voida hyödyntää sähköntuotannossa ilman lauhdeturbiinia.

Soodakattilan tuorehöyryn lämpötila ja paine ovat noin 490 °C ja 92 bar. Soodakattiloiden tuorehöyryn lämpötilat ovat hieman alhaisemmat kuin tavallisen voimalaitoskattilan, koska soodakattilan savukaasut aiheuttavat voimakasta korroosiota tulistimissa. Tuorehöyryn lämpötilaa alentamalla korroosiota saadaan vähennettyä. (Vakkilainen 2005, 2–7.). Nykyään isoissa soodakattiloissa tuorehöyryn lämpötila ja paine voi olla jopa 505 °C ja 105 bar korroosioon liittyvistä ongelmista huolimatta. Tuorehöyryn lämpötilan ja paineen nostamisen avulla soodakattiloiden sähköntuotannon tehokkuutta on saatu parannettua.

3.5.2 Mustalipeän palaminen

Polttoon tuleva mustalipeä sisältää huomattavasti vettä, noin 20–40 % sekä noin 40 % mustalipeästä on palamatonta epäorgaanistamateriaalia. Näiden asioiden takia mustalipeä on suhteellisen heikkolaatuinen polttoaine verrattuna muihin voimalaitoksien käyttämiin polttoaineisiin. Mustalipeä on myös haastava polttoaine, koska siitä muodostuu paljon tuhkaa. (Huhtinen ym. 2000, 163–168.)

Mustalipeä syötetään tulipesään lipeäsuuttimilla, jotka pisaroivat mustalipeän oikean kokoiseksi. Pisarakoko on tärkeä pitää oikeanlaisena, jotta pisarat eivät lähde savukaasuvirran mukaan, vaan päätyvät tulipesän pohjalla olevaan kekkoon. Keossa jäljellä oleva orgaaninen aines palaa. Keossa myös tapahtuu rikin pelkistyminen natriumsulfidiksi. Mustalipeän palamisen vaiheet ovat kuivuminen, haihtuvien palaminen, koksen palaminen ja sulassa tapahtuvat kemialliset reaktiot. (Vakkilainen 2005, 4–1.)

Mustalipeä turpoaa voimakkaasti sen palamisen aikana. Turpoamisen syynä ovat voimakas palavien aineiden haihtuminen sekä mustalipeä pisaran muut ominaisuudet. Tämän takia mustalipeäpisanan palamisen vaiheet voivat tapahtua osittain samaan aikaan, eli pintakerroksessa voi tapahtua haihtuvien aineiden vapautuminen ja keskellä pisaraa on käynnissä vasta kuivuminen. (Vakkilainen 2005, 4–2.)

3.6 Biovoimalaitos

Voimalaitoksen on rakentanut ja toimittanut Foster Wheeler. Voimalaitos otettiin käyttöön vuonna 2002. Biovoimalaitoksella on leijupetikattila, jonka polttoainetehto on 173 MW. Kattila pystyy kehittämään 60 kg/s höyryä. Leijupetikattilan tuottaman höyryn lämpötila on 535 °C ja paine 105 bar. Biovoimalaitoksen polttoaineena toimii biotuotetehtaan kuorimolta saatava puun kuori. Kuorta käytetään noin puolet kaikesta polttoaineesta. Muita polttoaineita ovat turve, metsätähdehake ja kierrätyspuuhake.

Biovoimalaitoksella tuotetaan lämmityshöyryä tehtaiden tarpeisiin. Biovoimalaitoksella tuetaan soodakattilaa höyryntuotannossa. Biovoimalaitoksella tuotetaan siis kaikki se lämmityshöyry, mitä soodakattilalla ei pystytä tuottamaan. Biovoimalaitos toimii apukattilana, eli sitä käytetään häiriötilanteissa ja soodakattilan vuosihuoltojen aikana.

3.7 Höryturbiini

Höryturbiini on lämpövoimakone, jossa kattilalta tulevan tulistetun höyryn sisältämä energia muutetaan mekaaniseksi energiaksi eli roottorin pyörimisliikkeeksi. Turbiinin pyörimisliike muutetaan generaattorin avulla sähköenergiaksi. Höryturbiinin avulla voidaan myös pyörittää kompressoreja, puhaltimia tai pumppuja. Höryturbiineita on monen tehoisia, muutamasta megawatista jopa 1 800 MW:iin. (Kauppinen 2018, 44–45.)

Turbiinin tehoon vaikuttaa höyryn määrä ja höyryn lämpötilaputous. Höyryn paine ja lämpötila vaikuttavat mahdolliseen lämpötilaputoukseen merkittävästi. Erilaisilla höryturbiineilla tuotetaan yli puolet maailmalla tuotetusta sähköstä. (Kauppinen 2018, 45.)

3.7.1 Aktioturbiini

Aktioturbiinia kutsutaan myös impulssi- tai tasapaineturbiiniksi. Aktioturbiinin toimintaperiaate perustuu höyryn ja siiven törmäykseen ja siinä siirtyvään voimaan. Höyry kulkee johtosiiviltä kohti juoksusiipiä. Johtosiivissä höryvirtauksen nopeus kasvaa, kun johtosiipien ulostuloaukkoa supistetaan. Tämän seurauksena tapahtuu paineen aleneminen ja höyryn virtausnopeuden kasvu. Osa höyryn sisältämästä energiasta siirtyy juoksusiipiin niiden välisessä törmäyksessä. Tämä tapahtuu uudestaan aina seuraavissa siipipareissa. (Huhtinen ym. 2013, 109–116.)

Aktioturbiini on suunniteltu siten, että höryvirran aiheuttaman impulssin voiman suunta on lähes sama kuin siipien pyörimissuunta. Periaatteessa aktioturbiinin voisi suunnitella niin, että höryvirtaus tulisi suoraan kohti juoksusiipeä, mutta tällaista teknistä ratkaisua ei ole mahdollista toteuttaa. Aktioturbiinissa sen johtosiivissä ei tapahdu lainkaan paineen alenemista. Nykyaikana puhtaasti aktiotekniikalla toteutettuja turbiineja ei juurikaan valmisteta. (Huhtinen ym. 2013, 109–116.)

3.7.2 Reaktioturbiini

Reaktioturbiinia voidaan kutsua myös ylipaineturbiiniksi. Reaktioturbiini on saanut nimensä siinä tapahtuvan reaktion mukaan ja sen toiminta perustuu reaktiovoimaan. Reaktioturbiinissa höyry kulkee suuttimien läpi matalampaan paineeseen ja samalla höyryn virtausnopeus kiihtyy. Suuttimet ovat kiinni roottorissa, jolloin roottoriin vaikuttava voima on vastakkainen höyryvirtaukseen nähden ja tämän avulla saadaan roottori pyörimään. Todellisuudessa reaktioturbiinin toiminta perustuu reaktio- ja aktiovoimaan, koska reaktioturbiinia, joka toimisi 100 %:n reaktiovoimalla on mahdotonta rakentaa. Reaktioturbiinin reaktioaste on normaalisti noin 0,5. Reaktio- ja aktioturbiineiden juoksu- ja johtosiivet ovat muotoiltaan lähes samanlaiset. (Huhtinen ym. 2013, 109–119.)

3.8 Lauhde- ja vastapaine turbiinit

Lauhdeturbiinilla tuotetaan ainoastaan sähköä ja se onkin optimoitu sähköntuotantoa ajatellen. Lauhdeturbiini on yleensä käytössä suurissa lauhdevoimalaitoksissa. Lauhdevoimalaitoksia ovat ydinvoimalaitokset ja fossiilisia polttoaineita käyttävät voimalat. Lauhdevoimalaitoksen hyötysuhde voi olla korkeintaan 46 %. Lauhdeturbiinissa on lauhdutin, jonka avulla höyry voidaan paisuttaa mahdollisimman alhaiseen paineeseen ja lämpötilaan. Lauhdutin voi olla malliltaan ilmajähdytin tai vesijähdytin. Lauhdeturbiinissa höyry lauhtuu vasta alle 30 °C:teen. (Kauppinen 2018, 39–40.)

Vastapaineturbiinin höyryn lämpötila on turbiinin perässä niin korkea, että sitä voidaan käyttää lämmitykseen. Lämmityshöyryllä voidaan tuottaa lämpöä kaukolämpöverkkoon tai prosessiteollisuuden tarpeisiin. Vastapaineturbiinissa on myös höyryn väliottoja, joista voidaan ottaa korkeapaineisempaa höyryä. Tätä höyryä voidaan käyttää kattilan esilämmityksiin tai prosessiteollisuuden lämmityskohteisiin. Prosessiteollisuudessa on olemassa myös turbiiniyhdistelmiä, joissa on lauhdeperä, joka on poiskytkettävä. Tämän avulla voidaan lisätä sähköntuotan-

toa, kun sähkönhinta on korkea. Vastapainevoimalaitoksissa on yleensä apulauhdutin, jonka avulla voidaan ajaa turbiinia suuremmalla teholla kasvattamalla kaukolämpökuormaa keinotekoisesti. (Kauppinen 2018, 37–39.)

Turbiinit jaetaan kahteen eri tyyppiin niiden höyryn virtaussuunnan mukaan. Aksiaaliturbiinissa höyryvirtaus kulkee roottorin suuntaisesti. Nykyaikaiset turbiinit ovat poikkeuksetta aksiaaliturbiineita. Radiaaliturbiinissa höyryvirtaus kulkee poikittain. Radiaaliturbiinissa on molemmissa roottoreissa omat generaattorit, koska roottorit pyörivät vastakkaisiin suuntiin. Radiaaliturbiinit ovat aktioturbiineita. Aksiaaliturbiinit voivat olla aktio- tai reaktiotoimisia tai niiden yhdistelmä. (Kauppinen 2018, 45–46.)

3.8.1 Lauhdutin

Lauhdutin on putkilämmönsiirrin, jossa pidetään 0,02 bar alipaine. Lauhduttimen tarkoitus on lauhduttaa lauhdeturbiinilta tuleva paisutettu höyry takaisin vedeksi. Lauhde pumpataan takaisin kattilan vesi-höyrypiiriin. Lauhduttimen sisällä on putkinippuja, joissa kiertää jäähdytysvesi. Höyryn osuessa jäähdytysputkiin se lauhtuu ja valuu lauhduttimen pohjalle. Lauhduttimen pohjalta se pumpataan lauhdepumpuilla lauhdesäiliöön. Lauhdutin sijaitsee lauhdeturbiinin alapuolella heti lauhdeturbiinin viimeisten juoksusiipien jälkeen. Lauhdutin rakennetaan suurien kierrejosien päälle ja tuetaan rakennuksen perustuksiin. (Huhtinen ym. 2013, 100.)

Lauhduttimessa pyritään pitämään mahdollisimman alhainen paine noin 0,02 bar, jotta höyry pystyy paisumaan mahdollisimman pitkään. Tämän avulla energiaa saadaan sitoutumaan lauhdeturbiinin juoksusiipiin. Lauhduttimen alipaine muodostetaan vesirengaspumpuilla tai höyrykäyttöisellä ejektorilla. (Huhtinen ym. 2013, 100.)

3.9 Turbiinin rakenne

Tämän osion tarkoitus on kertoa turbiinin rakenteista. Kaikissa turbiineissa on omat erityispiirteensä ja kaikki turbiinit ovat yksilöitä, joten tässä kerrotaan turbiinien yleispiirteistä. Turbiinin tärkeimmät osat ovat pesät, roottori, turbiinin siivet, säätöventtiilit, öljyjärjestelmä, pikasulkuventtiilit ja akselitiivisteet.

Turbiinin pesä toimii turbiinin kuorena, se on metallinen ja valamalla valmistettu. Turbiinin pesä on eristetty, jotta lämpöhäviö olisi mahdollisimman pieni. Ulkopesän sisällä voi olla useita sisäpesiä, joiden tarkoitus on tasata painetta ja vähentää ulkopesään kohdistuvaa rasitusta. Turbiinin pesä on yleensä jaettu kahteen osaan, ylä- ja alaosaan, ja osat on kiinnitetty toisiinsa pulteilla. Osien välistä pintaa kutsutaan jakotasoksi. Pesät on toisesta päästä kiinteästi kiinnitetty ja toinen pää jätetään vapaaksi, jotta ne eivät lämpölaajenemisen takia rikkoutuisi. Höyryputket ja venttiilirungot hitsataan turbiinin pesään kiinni. (Kauppinen 2018, 85–86.)

Roottori on akseli, jossa on kiinni juoksusiivet, labyrinttitiivisteet ja mahdolliset lisälaitteet, esimerkiksi ylikerrossuojat. Akseli voidaan valmistaa usealla erilaisella tyyllillä. Pienet akselit valmistetaan yleensä kappaleesta eli ne ovat valettuja. Suuret akselit valmistetaan yleensä hitsaamalla ne useasta kappaleesta. Hitsatut akselit ovat yleensä kevyempiä, koska niiden sisäosa pystytään jättämään ontoksi. (Kauppinen 94–95.)

Höyryturbiini muodostuu yleensä useista lohkoista. Lohkot nimetään niiden sisällä olevan paineen mukaan. Lohkot nimetään normaalin käytännön mukaan korkeapaine-, välipaine- ja matalapaineosaksi. Turbiinin eri osiot voivat sijaita saman pesän tai eri pesän sisällä, ne voivat myös olla samalla tai eri akselilla. Erilaisia mahdollisia rakenteita on useita ja kaikki turbiinit rakennetaan asiakkaan tarpeiden mukaan, joten ne ovat erilaisia. Iso höyryturbiini voi olla rakenteeltaan sellainen, että siinä on korkeapaine-, välipaine- ja 3 matalapaineosaa. Pienet höyryturbiinit ovat yleensä rakenteeltaan sellaisia, että niissä on vain korkeapaineosa. Korkeapaineosasta saadaan enemmän energiaa verrattuna välipaine- ja matala-

paineosaan. Turbiini voidaan varustaa väliottoventtiileillä, jolloin siipivyöhykkeiden väleistä voidaan ottaa korkeapaineisempaa höyryä kattilan omakäyttöön tai tehtaille lämmityshöyryksi. (Huhtinen ym. 2013, 109–111.)

4 Prosessiautomaatio

Biotuotetehdas on hyvä esimerkki tehtaasta, jonka prosesseja hallitaan automaatiikan avulla ohjaamalla ja säätämällä. Tehtaan prosessit tulee jakaa yksikköprosesseihin, jotta automaatiikkaa voidaan käyttää hyödyksi (Kippo & Tikka 2008,20). Yksikköprosessille voidaan rakentaa säätöpiirejä. Säätämisen toteuttavia toimilaitteita ja mittalaitteita kutsutaan yleisesti instrumenteiksi. Eri valmistajien instrumentit ja säätöpiirit poikkeavat toisistaan. Teollisuudessa käytetään erilaisia säätimiä, mutta yleisin käytetty säädin on PID-säädin (Proportional-Integral-Derivative) (Harju & Marttinen 2000, 44). Höyryturbiini on hyvä esimerkki yksikköprosessista, jolla on erilaisia säätöpiirejä.

Prosessin säätämiseksi luetaan operaattorin tekemät manuaaliset säätötoimenpiteet ja säätöpiirin automaattisesti tekemiä säätöliikkeitä. Operaattorin toimesta annettua ohjaussignaalia kutsutaan käsiohjaukseksi. Säätöpiirien automaattinen säätö perustuu instrumenttien antamaan mittaustietoon. (Harju & Marttinen 2000, 9.)

Säätöpiirillä tarkoitetaan valittua yksikköprosessia, prosessin toimilaitteita, lähentintä, mittausanturia ja säädintä. Säädin toimii siten, että säätimeltä lähtee ohjausviesti analogisena virtaviestinä tai vaihtoehtoisesti kenttäväylää pitkin 12 digitaalisena viestinä. Toimilaite tekee tarvittavat muutokset viestien perusteella. Takaisinkytkennällä tarkoitetaan sitä, että säätimelle annettu arvo, jota kutsutaan oloarvoksi, mitataan ja lähetetään takaisin säätimelle. Automaatilla ollessaan säädin laskee uuden ohjausarvon toimilaitteelle instrumenttien avulla. Säädin siis laskee asetuseron ja oloarvon välisen erotuksen ja antaa sen avulla uuden ohjausarvon. (Harju & Marttinen 2000, 16–23.)

4.1 PID-säädin

PID-säädin toimii itsenäisesti A- eli automaattitilassa tai M- eli manual-tilassa, jolloin operaattori määrittää säätimelle halutun asetusarvon. Takaisinkytkentää käytettäessä säädintä voidaan käyttää kolmessa eri tilassa A/L-, A/R- tai A/C-tilassa. L on local eli operaattori on antanut säätimelle halutun asetusarvon. R tarkoittaa remote, silloin ohjausarvo tulee ylemmän tason säätimeltä. C tarkoittaa computer, silloin ohjausarvo saadaan alasäädintä ohjaavan järjestelmän ulkopuolelta tulevalta yläsäätimeltä. Kaskadikytkennällä rakennettu säätöpiirin toiminta perustuu siihen, että yläsäädin määrää alasäätimen ohjausarvon. Yläsäädin on ulommainen säädin ja alasäätimet toimivat apusäätiminä. (Harju & Marttinen 2000, 23–24.)

5 Äänekosken biotuotetehtaan höyryturbiini

Äänekosken biotuotetehtaan turbiini on Siemensin valmistama ja sen sähköteho on 278 MW. Turbiini on väliotto-vastapaineturbiini, jossa on sss-kytkin, eli lauhdeturbiini on poiskytkettävä. Turbiini on kolme pesäinen eli siinä on korkeapaine-, välipaine- ja matalapainepesät. Turbiinin välipainepesässä on 3 säätyvää väliottoa. Väliotoista otetaan 12 bar lämmityshöyryä tehtaalle. Vastapainehöyryn paine on 3,5 bar ja se käytetään ensisijaisesti tehtailla lämmityshöyrynä ja ylimääräinen vastapainehöyry lauhdutetaan lauhdeturbiinissa takaisin vedeksi. Lauhde pumpataan soodakattilan syöttövesisäiliöön takaisin soodakattilan vesi-höyrykiertoon. Äänekosken biotuotetehtas on sähkö omavarainen eli tehdas tuottaa enemmän sähköä kuin itse käyttää. Ylimääräinen sähkö myydään valtakunnan verkkoon.

5.1 Lauhdeturbiini

Lauhdeturbiini koostuu matalapaineturbiinista ja lauhduttimesta. Lauhdeturbiinissa on alipaine suuruudeltaan 0,02 bar, jotta höyryä voidaan paisuttaa mahdollisimman pitkälle. Lauhduttimen alipaine saadaan aikaiseksi höyryejektorin

avulla. Höyry on tarkoitus paisuttaa aina 29 °C:seen asti, jolloin se lauhtuu vedeksi.

Lauhdeturbiinissa ylimääräinen vastapainehöyry lauhdutetaan takaisin vedeksi. Lauhdeturbiinin avulla säädellään vastapainehöyryn jakotukin painetta. Jakotukin paine pidetään 3,4 bar, joten vastapainehöyryn jakotukin paine määrittää lauhdeturbiiniin ajettavan höyryn määrän.

Lauhdeturbiini on suunniteltu siten, että sen toiminta-alue on 5,8–90 kg/s vastapainehöyryä. Turbiinin suoja-automatiikka suojelee turbiinia ja pitää höyryvirtauksen tällä alueella. Lauhduttimeen tulevan jäähdytysveden virtausta säädellään kahdella automaattiventtiilillä. Laitetoimittaja on antanut jäähdytysveden virtaukselle raja-arvot 1 000–3 500 l/s.

5.2 Lauhduttimet

Lauhdeturbiinissa höyry jäähdytetään takaisin vedeksi. Tämä tapahtuu lauhduttimen avulla. Lauhdutin on putkilämmönsiirrin, ja se sijaitsee lauhdeturbiinin alapuolella. Lauhduttimen sisällä olevissa putkissa kiertää jäähdytysvesi. Jäähdytysvesi tulee lauhduttimeen kahta erillistä putkea pitkin ja molemmissa putkissa on automaattiventtiilit, joiden avulla jäähdytysveden virtausta voidaan säädellä.

Turbiinin yhteydessä on myös kaksi apulauhdutinta. Apulauhduttimet ovat lämmönsiirtimiä, joiden avulla säädellään vastapainehöyryn jakotukin painetta eli ylimääräinen höyry lauhdutetaan takaisin vedeksi. Apulauhduttimia käytetään silloin, kun lauhdeturbiini ei ole käytössä. Apulauhduttimissa kiertää sama jäähdytysvesi kuin lauhdeturbiinissa, eli niille tulevaa jäähdytysvesivirtausta säädellään samoilla automaattiventtiileillä kuin lauhdeturbiinissa.

5.3 Raakavesiasema

Raakavesiasemalta tulee kaikki tehtaan tarvitsema vesi. Biotuotetehdas tarvitsee paljon vettä eri tarkoituksiin, kuten jäähdytyksiin ja pesuihin. Raakavesiasemalla vesi puhdistetaan rumpusuotimilla, jotka poistavat vedestä isoimmat partikkelit, kuten oksat ja kaislat. Rumpusuotimilta vesi tulee raakavesikanavaan, josta se pumpataan tehtaalle. Lauhduttimen jäähdytysvetenä käytetään tätä raakavettä. Lauhduttimen jäähdytykseen ei käytetä erillisiä pumppuja vaan jäähdytysvesi pumpataan raakavesipumppuilla lauhduttimeen.

Raakavesipumppuja on 6 kappaletta. 1. ja 2. pumppu ovat taajuusmuuttajakäyttöisiä eli ne säätelevät raakavesiputken painetta. Pumput 3.–6. ovat suorakäyttöisiä eli niiden pyörimisnopeutta ei voida muuttaa. Raakavesipumppuja ohjaa raakavesiputken paine, eli pumppuilla pyritään pitämään raakavesiputkessa vakio-paine.

6 Lauhdeturbiinin jäähdytyksen kehitysehdotus

Alkutilanne oli sellainen, että lauhduttimeen ajettiin jäähdytysvettä 3000 l/s. Jäähdytysveden määrää ohjaavat automaattiventtiilit olivat käsiohjauksella ja niitä ei säädetty. Jäähdytysvesi virtaus oli säädetty sellaiseksi, että se riittää kaikissa tilanteissa. Lauhduttimelle tuleva höyryvirtaus vaihtelee 5,8–90 kg välillä. Höyryvirtaus muuttuu koko ajan, johtuen soodakattilan höyrykehityksestä ja tehtailla tarvittavasta höyrymäärästä.

Lauhdeturbiiniin ajettava höyryn määrä vaihtelee koko ajan. Höyryn määrä on ainut asia, mikä määrittää tarvittavan lauhdutustehon. Lauhduttimelle tulevan höyryn sisältämä lämpöenergia siirtyy lauhduttimen jäähdytysveteen nostaen sen lämpötilaa. Turbiiniin ajettava höyrymäärä määrittää kuinka paljon jäähdytysvesi lämpiää. Jäähdytysveden lämpötilaeroon perustuvan säätimen avulla voidaan vähentää pumpattavan jäähdytysveden määrää, koska sen avulla voidaan nostaa lauhduttimelta poistuvan jäähdytysveden lämpötilaa.

Säätimen pitää huomioida se, että jäähdytysvesi otetaan joesta ja veden lämpötila vaihtelee 0,1–23 °C:teen välillä. Lauhduttimelta palaavan jäähdytysveden lämpötila ei saa nousta yli 29 °C:teen. Talvella jäähdytysveden lämpötilaa voidaan nostaa siis enemmän aiheuttamatta prosessille ongelmia.

Työni kannalta erittäin tärkeä asia oli suunnitella säädin sellaiseksi, että prosessille ei muodostuisi ongelmia missään tilanteissa. Säätimen tulee olla sellainen, ettei lauhdeturbiinille tule suunnittelematonta alasajoa säätimen toiminnan takia. Tämä asia täytyi huomioida säädintä suunnitellessa.

Kehitysideani oli rakentaa sellainen säädin, joka osaa ottaa edellä mainitut muutujat huomioon. Säätimen avulla saadaan vähennettyä ylimääräisen jäähdytysveden pumppausta lauhduttimelle ja tämän avulla parannettua prosessin energiatehokkuutta. Säätimen tulee ottaa huomioon myös prosessin poikkeustilanteet.

Kehitysideani oli rakentaa sellainen säädin, jolle operaattori määrittää halutun asetusarvon, joka on jäähdytysveden lämpötilaero sisäänmeno- ja ulostuloputkissa. Asetusarvon ollessa esimerkiksi 5 °C ja sisään menevän jäähdytysveden lämpötila 10 °C, niin säädin pyrkii pitämään jäähdytysveden ulostulo lämpötilan 15 °C:ssa muuttamalla jäähdytysveden virtausta jäähdytystehon tarpeen mukaan.

Ideani oli, että säädin toimisi siten, että operaattori määrittää säätimelle A/L arvon, joka on lämpötilaero jäähdytysveden sisään ja ulostulon välillä tai operaattori voi pitää säädintä M-tilassa, jolloin operaattori määrittää säätimelle halutun venttiilikulman prosentteina. A/L-tilassa säädin pyrkii pitämään jäähdytysveden meno- ja tuloveden välillä asetetun lämpötilaeron, säätämällä säätöventtiilien venttiilikulmaa. Säädin ohjailee kahta säätöventtiiliä, jotka säätävät jäähdytysvesivirtauksen lauhduttimeen. Säätimen toiminta alue on 1500–2800 l/s eli säädin pitää jäähdytysveden virtauksen sillä alueella. Säätönopeus tulee jättää varsin rauhalliseksi sen takia, ettei laiterikkoja syntyisi äkillisistä paineen muutoksista, sekä haluttiin varmistua, että raakavesipumput pystyvät varmasti pitämään määrätyn paineen raakavesiputkessa, ettei vedenjakeluun muodostu häiriöitä.

Säätimen toiminta-alueena ei käytetty laitetoimittajan antamia maksimi- ja minivirtauksia, koska säätöalue olisi ollut liian suuri ja säätimen toiminta ei olisi ollut halutunlainen. On muutamia erikoistilanteita, joiden aikana säädin ei pystyisi säätämään jäähdytysveden virtausta tarpeeksi nopeasti. Siksi säätimeen tulisi rakentaa pakko-ohjauspiiri, joka aktivoituessaan nostaa jäähdytysveden virtauksen 3300 l/s, ja vasta, kun tilanne on palautunut normaaliksi, pakko-ohjaus poistuu ja säädin alkaa taas ajamaan jäähdytysvettä asetusarvon mukaisesti lauhduttimeen.

Säätimeen tulee rakentaa pakko-ohjauspiiri, joka kytkeytyy päälle silloin, kun: lauhdeturbiini otetaan pois käytöstä ja apulauhduktimet otetaan käyttöön tai lauhdeturbiini on käytössä, mutta vastapaine höyryä on niin paljon, ettei kaikkea voida ajaa lauhdeturbiiniin ja sen takia joudutaan käyttämään samanaikaisesti myös apulauhduktimia.

Pakko-ohjaus menee päälle, jos jäähdytysveden paluulämpötila nousee 28 °C:seen. Jos lämpötila nousee yli 29 °C:een alkaa lauhduktimen paine kasvamään. Se heikentää turbiinin hyötysuhdetta. Lauhduktimen paine ei saa nousta yli 0,12 bar:ia tai turbiini menee pikasulkuun. Pakko-ohjauspiirin avulla varmistetaan, että prosessiin ei synny häiriöitä.

7 Säätimen käyttöönotto

Kehitysehdotus päätettiin toteuttaa ja Valmet Oyj:n edustaja rakensi kuvailemani säätimen. Käyttöönottoa ennen tulostettiin ohjeet valvomoon, miten tulee toimia, jos säädin ei toimisi halutulla tavalla ja aiheuttaisi ongelmia prosessiin. Päätettiin testata säätimen toimintaa kahtena päivänä, jotta ehdittiin testaamaan, miten säädin toimii erilaisissa tilanteissa. Päätettiin testata seuraavat asiat: pakko-ohjauspiirin toiminnan, säätimen säätönopeuden, säätimen toiminnan nopeissa lauhdeturbiinin kuorman muutoksissa ja säätimen yleisen toiminnan.

Ennen käyttöönottoa säädintä testailtiin kahtena päivänä. Ensimmäisenä päivänä aloitettiin siitä, että säädin laitettiin A/L tilaan, ja sille annettiin asetusarvoksi 4 °C.

Seurattiin säätimen toimintaa ja todettiin sen osaavan muuttaa jäähdytysveden virtausta. Säädin pystyi pääsemään sille määrättyyn asetusarvoon. Seuraavaksi vaihdettiin asetusarvoksi 5 °C ja seurattiin, miten säädin selviytyy siitä. Säädin kykeni toimimaan asetusarvon muutoksissa ja todettiin säätimen siltä osin toimivaksi. Teimme kuitenkin havainnon, että säätimen säätönopeus on liian nopea ja se ei rauhoitu paikoilleen, vaan värisee asetusarvon molemmilla puolilla.

Seuraavaksi perehdyttiin säätimen säätönopeuteen. Säätimen toiminta ei tältä osin miellyttänyt ja halusin saada sen toiminnan rauhallisemmaksi siten, että se pysyisi vakaammin asetusarvossa eikä värisisi. Lähdettiin pudottamaan säätönopeutta. Lähtötilanteessa säätönopeus oli 0,75 %/s ja pudotettiin se aluksi 0,5 %/s ja seurattiin tunnin ajan säätimen toimintaa. Säätimen toiminta parani, mutta ei ollut vielä kukaan tarpeeksi hyvällä tasolla, joten päädyttiin laskemaan säätönopeutta lisää arvoon 0,3 %/s ja seurattiin sen toimintaa taas tunnin. Tämän jälkeen säätimen toiminta oli hyvällä tasolla. Päätettiin vielä kokeilla, miten säätimen toiminta muuttuu, jos laskemme säätönopeuden 0,25 %/s. Tunnin seurantajakson jälkeen havaittiin säätimen muuttuneen vielä rauhallisemmaksi ja väriseminen poistui. Totesin, että säädin toimii tältä osin halutulla tavalla, ja päätettiin jatkaa testauksia.

Seuraavana testattiin, miten säädin kykenee pysymään asetusarvossa, jos lauhdeturbiinin kuorma nousee nopeasti. Lauhdeturbiinin kuormaa nostettiin hetkellisesti 10 kg/s. Havaittiin säätimen nopeuden olevan hyvä, koska säädin pääsi nopeasti haluttuun asetusarvoon, eikä prosessille aiheutunut ongelmia. Todettiin säätimen toimivan näiltä osin halutulla tavalla.

Toisena testauspäivänä keskityttiin testaamaan, miten säätimen pakko-ohjauspiiri toimii. Aloitettiin testit kokeilemalla, miten säädin osaa toimia, jos apulauhduttimille aletaan ajamaan höyryä. Säädin toimi kuten se oli suunniteltu. Apulauhduttimien höyryventtiilien ollessa auki säädin piti jäähdytysvesi virtauksen 3300 l/s. Laitettuamme höyryventtiilit kiinni säädin tiputti jäähdytysveden virtausta, kunnes se saavutti asetusarvon 4 °C.

Seuraavaksi testattiin pakko-ohjauksen toimintaa, jos jäähdytysveden paluulämpötila nousee yli 28 °C:een. Testi suoritettiin siten, että paluuv veden lämpötilaa ei lähdetty nostamaan oikeasti yli 28 °C:een, koska se olisi voinut aiheuttaa prosessille ongelmia, vaan lämpötilamittaus simuloitiin näyttämään 28,1 °C. Pakko-ohjaus kytketty päälle. Poistettuamme lämpötilamittauksen simuloinnin pakko-ohjaus poistui ja havaittiin sen toimivan.

Viimeisenä testattiin, miten säädin toimii, jos lauhdeturbiini menee pikasulkuun. Tämäkin testi suoritettiin simuloimalla, jotta välttyttiin turbiinin turhalta alas ajolta ja siitä syntyviltä tuotannon menetyksiltä. Säädin toimi myös tässä testissä halutulla tavalla.

Testauksien jälkeen varmistuttiin säätimen toimivuudesta ja päätettiin jättää säätimen käyttöön. Säätimelle annettiin asetusarvoksi 4 °C. Valvomoon tehtiin toimintaohjeet, kuinka toimia, jos säätimen toiminta aiheuttaa prosessille ongelmia.

8 Vaikutusten arviointi ja tulokset

Säätimen käyttöönoton jälkeen ensimmäisen 30 päivän aikana säädin oli ollut päällä lähes yhtäjaksoisesti. Tämä kuvastaa, että säädin on toiminut halutulla tavalla ja operaattorit ovat hyväksyneet säätimen toiminnan tason. Säätimen toiminnan ei ole havaittu aiheuttavan prosessiin häiriöitä, joten sen toiminta on silloin hyvällä tasolla. Jos säätimen asetusarvoa nostetaan, tulee turbiinin lauhduttimen painetta seurata mahdollisen paineen nousun varalta, jotta vältetään turbiinin alasajolta.

Laskelmissa käytetyt arvot ovat peräisin Valmet DNA prosessinohjausjärjestelmän mittaushistoria tiedoista. Lauhduttimen jäähdytysveden virtauksen keskiarvo vuoden ajalta oli 2 963 l/s, ja seurantajaksolla jäähdytysveden virtauksen keskiarvo oli 1 909 l/s, joten jäähdytysveden virtaus on ollut seurantajaksolla 1 054 l/s pienempi verrattuna vuoden keskiarvoon. Prosentteina jäähdytysveden kulutus vähentyi 35,5 %. Sähkönkulutus pieneni samassa suhteessa. Koko tehtaan

raakaveden kulutus väheni 22,42 %. Säästyvä sähköenergian määrä on huomattava.

Seurantajakson aikana tapahtui lauhdeturbiinin suunnittelematon alasajo. Säädin toimi tilanteissa oikein. Pakko-ohjaus aktivoitui ja poistui vasta, kun lauhdeturbiini oli otettu takaisin tuotantoon. Seurantajakson aikana säätimen asetusarvoa vaihdeltiin välillä 4–8 °C. Asetusarvoa nostettaessa 4 °C:sta aina 8 °C:seen asti havaittiin hyvin, kuinka paljon vähemmällä jäähdytysveden määrällä lauhdutin vielä toimi oikealla tavalla. Talvella, kun jäähdytysvesi on kylmää, voidaan säätimen asetusarvoa nostaa korkeammaksi kuin kesällä lämpimän veden aikaan. Säätimen on havaittu toimivan halutulla tavalla.

Seurantajakson aikana havaittiin, että raakaveden pumppauksen tarve väheni säätimen ansiosta niin paljon, että yksi suorakäyttöinen raakavesipumppu voitiin sammuttaa. Tästä muodostuu taloudellista hyötyä, kun pumppua ei tarvitse pyörittää, ja tämän ansiosta sen kunnossapitokustannukset laskevat.

Raakavesiasema sijaitsee joenrannalla vesivoimalaitoksesta ylävirtaan. Vesi, jota ei pumpata raakavesiasemalta tehtaalle, voidaan ajaa vesivoimalaitoksen lävitse. Tämä nostaa vesivoimalaitoksella tuotettavan sähköenergian määrää. Seurantajaksolla jäähdytysveden määrä väheni 1054 l/s, joten vesivoimalaitoksen lävitse voitiin ajaa tämä 1054 l/s enemmän vettä verrattuna lähtötilanteeseen.

9 Pohdinta

Vuodessa säästettävään sähköenergian määrään vaikuttaa usea asia, kuten lauhdeturbiiniin ajettava höyryn määrä, jäähdytysveden lämpötila ja säätimelle annettu asetusarvo. Näiden vaikutus muodostuvaan säästöön on suuri, joten vuodessa säästetty sähköenergian määrä poikkeaa lasketusta.

Säätimen toiminta suunniteltiin huolellisesti ja otin selvää, mitä pitää huomioida. Tehtyjen testauksien avulla todettiin, että säädin toimii, kuten oli suunniteltu. Testaukset tehtiin huolellisesti ja kaikki poikkeustilanteet testattiin käytännössä, jotta varmistuttiin säätimen oikeasta toiminnasta.

Seurantajaksolla jäähdytysveden tarve lauhduttimelle väheni 35,5 %. Jos säästö on tulevaisuudessa aina samansuuruinen, säätimen avulla muodostunut energiänsäästö on merkittävä. Todellisuudessa asiassa on niin paljon muuttujia, että muodostuva säästö vaihtelee kuukausittain ja vuosittain merkittävästi.

Työn avulla saatiin parannettua tehtaan energiatehokkuutta, joten työ koettiin onnistuneen. Säätimen ollessa käytössä ei sen havaittu aiheuttavan prosessiin ongelmia. Työssä onnistuttiin toteuttamaan sille annetut tavoitteet, kun energiatehokkuus parani ja säädin on toiminut aiheuttamatta ongelmia.

Tehdyn työn aikana opinnäytetyön tekijä oppi paljon uutta höyryturbiinista, lauhduttimesta, automaatiosta ja automaatisäätimen rakentamisesta. Työn aikana selvitettiin asioita, jotka tulee ottaa huomioon säädintä rakentaessa. Työtä tehdessä koettiin todella paljon uutta ja hyödyn siitä tulevaisuudessa.

Säätimelle ei tehty testejä siitä, kuinka korkeaksi säätimelle annetun lämpötilan pystyy nostamaan, ettei lauhduttimessa alkaisi paine nousemaan. Tätä ei alettu testaamaan, koska lauhduttimen paine ei pysy vakiona vaan muuttuu hienan koko ajan. Tämän takia kunnollisten tulosten saaminen olisi ollut haastavaa. Vaarana oli, että turbiinille olisi tapahtunut suunnittelemattomia alasajoja, jos lähdemme sitä testaamaan. Tämä olisi hyvä kuitenkin testata tulevaisuudessa, jotta energiatehokkuutta voitaisiin parantaa vielä enemmän.

Lähteet

- Energiavirasto. 2021. Energiatehokkuus. <https://energiavirasto.fi/energiatehokkuus>. 5.5.2021.
- Harju, T. & Marttinen, A. 2000. Säättöpiirin virityksen perusteet. Espoo: Otamedia.
- Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Opetushallitus.
- Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus.
- Kauppinen, J. 2018. Turbiinitekniikka. Tampere: Tammertekniikka.
- Kippo, A. & Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima.
- KnowPulp-oppimisympäristö. 2020. Sulfaattisellun valmistus. <https://www.knowpulp.com/>. 29.9.2020.
- Metsä Fibre. 2021. Metsä Fibre lyhyesti. <https://www.metsafibre.com/fi/yhtio/Pages/default.aspx>. 5.5.2021a.
- Metsä Fibre. 2021. Äänekosken biotuotetehdas. <https://www.metsafibre.com/fi/yhtio/Tuotantolaitokset/Biotuotetehdas/Pages/default.aspx>. 5.5.2021b.
- Metsä Group. 2021. Metsästä maailmalle. <https://www.metsagroup.com/fi/Pages/default.aspx>. 5.5.2021.
- Vakkilainen, E. 2005. Kraft recovery boilers – Principles and practice. Helsinki: Valopaino Oy.