

Rene Eskola

**APUJÄÄHDYTYKSEN KANNATTAVUUS
SÄHKÖNTUOTANNOSSA**

APUJÄÄHDYTYKSEN KANNATTAVUUS SÄHKÖNTUOTANNOSSA

Rene Eskola
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, energiatekniikka

Tekijä: Rene Eskola

Opinnäytetyön nimi: Apujäähdytyksen kannattavuus sähköntuotannossa

Työn ohjaajat: Niilo Kiiskilä, Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2016 Sivumäärä: 20 + 0 liitettä

Työssä selvitettiin apujäähdytyksen käytön kannattavuutta sähköntuotannossa. Vapo Oy Haapaveden voimalaitoksella on mahdollista tuottaa apujäähdytyksen avulla sähköä aina, kun se on hinnaltaan kilpailukyistä. Apujäähdytyksen tarkkoja kustannuksia ja raja-arvoja ei kuitenkaan ole laskettu, joten apujäähdytyksen käyttö on perustunut karkeisiin arvioihin, eikä sitä ole pystytty hyödyntämään parhaalla mahdollisella tavalla.

Työssä keskityttiin kesäkuukausien ajotilanteisiin, koska apujäähdytystä käytetään pääasiassa kesällä. Erilaisten ajotilanteiden laskentaa varten tehtiin Excelliin laskentaohjelma, jolla voidaan laskea höyrytehojen ja höyryn ominaisentalpioiden avulla voimalaitoksen tuottama sähköteho ja apujäähdytyksen kustannukset.

Laskentaohjelman avulla tehtiin kuvaaja, jossa verrataan ostosähkön kustannuksia apujäähdytyksen kustannuksiin. Kuvaajan avulla operaattori voi helposti tarkistaa, kannattaako oma käyttösähköä tuottaa apujäähdytyksen avulla. Tarkemmat laskelmat voi tehdä laskentaohjelmalla. Apujäähdytyksen avulla tuotettua sähköä ei kannata myydä, koska viime kesinä sähkön myyntihinta on ollut erittäin alhainen edullisen vesivoiman takia. Sähköä kannattaa kuitenkin tuottaa aina, kun apujäähdytystä joudutaan käyttämään muista syistä.

Asiasanat: apujäähdytys, sähköntuotanto, voimalaitos, kaukolämpö

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 VAPO OY HAAPAVEDEN VOIMALAITOS	6
2.1 Kattila	6
2.2 Leijukerrosoltto	7
2.3 Luonnonkiertokattila	9
2.4 Turbogeneraattori	12
2.5 Kaukolämpöveden apujäähdytin	13
3 APUJÄÄHDYTYKSEN KÄYTÖN KUSTANNUKSET SÄHKÖNTUOTANNOSSA	15
3.1 Laskentaohjelma	15
3.2 apujäähdytyksen käytön kannattavuus	17
4 YHTEENVETO	19
LÄHTEET	20

1 JOHDANTO

Työssä selvitetään apujäähdytyksen käytön kannattavuutta sähköntuotannossa. Haapaveden voimalaitoksella apujäähdytyksen käyttö on aikaisemmin perustunut karkeisiin arvioihin, eikä apujäähdytyksen käytöstä ole ollut tarkkoja ohjeita. Apujäähdytyksen avulla tuotetun sähkön on arveltu olevan liian kallista myytäväksi, mutta omakäyttösähkön tuottaminen apujäähdytyksen avulla voisi olla kannattavaa, jos apujäähdytyskuorma ei kasva liian korkeaksi.

Apujäähdytyksen käyttö keskittyy keväälle ja kesälle, kun kaukolämpökuorma laskee alle 3 MW:n. Kaukolämpökuorman laskiessa alle 3 MW:n turbiinia ei voida käyttää. Tilanne on ongelmallinen, koska liian pieni kaukolämpökuorma seisauttaa sähköntuotannon kokonaan, jolloin omakäyttösähkö pitää ostaa. Muiden asiakkaiden höyrynkulutus saattaa pysyä ennallaan ja sähköntuotanto riittäisi kattamaan helposti omakäyttösähkön. Apujäähdytystä käyttämällä sähköä voidaan tuottaa itse, mutta tuotetun sähkön hinta nousee nopeasti apujäähdytystehon lisääntyessä.

2 VAPO OY HAAPAVEDEN VOIMALAITOS

Haapaveden voimalaitos on vastapainevoimalaitos, joka tuottaa prosessihöyryä, kaukolämpöä ja sähköä. Prosessihöyryä tuotetaan noin 100 GWh/a. Höyryä toimitetaan Valio Oy Haapaveden tehtaalle, Haapaveden Ympäristöpalvelut Oy:n termiselle jätevesilietteenkuivainlaitokselle ja HASA Oy:n Haapaveden sahalle. Kaukolämpöä tuotetaan Haapaveden Energia Oy:n kaukolämpöverkkoon 27 GWh/a ja sähköä valtakunnanverkkoon 15 GWh/a. (1, s. 2.)

Haapaveden voimalaitos on otettu käyttöön vuonna 2006. Voimalaitoksen kattilan on toimittanut suomalainen Noviter Oy, ja sen polttoaineteho on 31 MW, höyrymäärä 9,8 kg/s ja höyryarvot 63 bar ja 510 °C. Voimalaitos käyttää polttoaineena jyrshinturvetta 75–80 %, kuorta 5–10 %, puusivutuotteita 2–10% ja lietettä 1–3 %. (1, s. 2.)

Sähköä tuotetaan turbogeneraattorilla. Turbiini on Dresser-Rand Nadrowski GmbH:n valmistama kolmipesäinen vastapaineturbiini. Generaattori on espanjalaisen Indarin valmistama. Generaattorin pääarvot ovat 3,2 MWe, 15 000 rpm ja 20 kV. Tehdasalueella sijaitsee myös varakattilana toimiva 8 MW:n raskasöljykattila. (1, s. 2.)

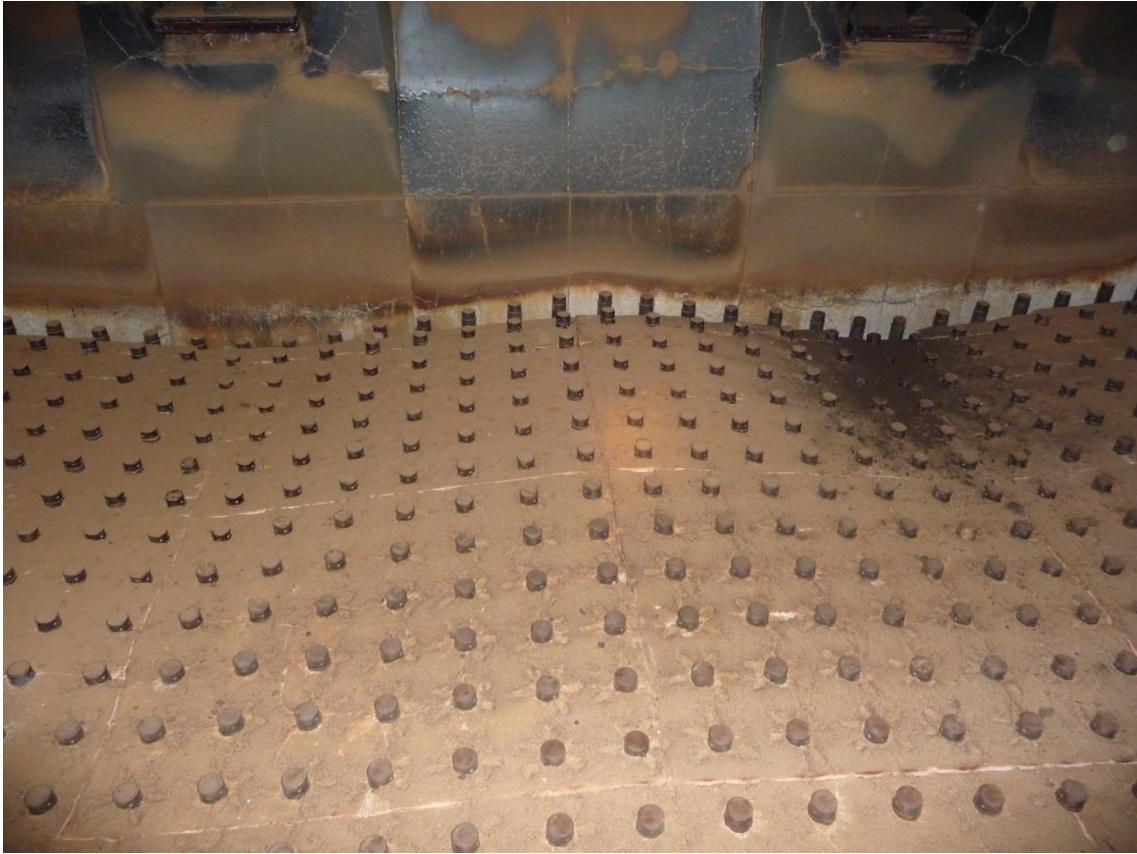
2.1 Kattila

Höyrykattilan tehtävä on tuottaa sinne syötetystä vedestä tulistettua höyryä. Veden muuttaminen tulistetuksi höyryksi vaatii paljon energiaa, ja yleensä tämä energia saadaan polttamalla fossiilisia polttoaineita. Polttoaineen palaessa sen sisältämää kemiallinen energia muuttuu savukaasujen lämpöenergiaksi. Savukaasuihin sitoutunut lämpöenergia pyritään siirtämään mahdollisimman tehokkaasti erilaisten lämmönsiirtimien avulla kattilaan syötettyyn veteen. Höyrykattilan tuottamaa tulistettua höyryä käytetään lämmitykseen ja sähköntuotantoon. Haapaveden voimalaitoksen kattila on luonnonkiertokattila, jonka polttotekniikkana käytetään leijukerrospoltoa. (2, s. 21.)

2.2 Leijukerros poltto

Leijukerros poltossa polttoaine palaa tulipesässä leijuva hiekan seassa. Hiekka saadaan leijumaan alaspäin puhallettavalla primääri-ilmalla eli leijutusilmalla. Leijukerroskattilat voidaan jakaa kerrosleijuskattiloihin ja kiertopetikattiloihin. Kattiloiden suurin eroavaisuus on leijutusilman nopeus. Kerrosleijuskattilassa petihiekka muodostaa noin 40–80 cm paksuisen kuplivan patjan, jonka pinta on selvästi havaittavissa. Kiertopetikattilassa käytetään hienompaa petihiekkaa ja suurempaa leijutusilman nopeutta, jolloin hiekka poistuu tulipesästä. Hiekka erotetaan savukaasuista syklonilla ja palautetaan takaisin tulipesään. (2, s. 36–37.)

Leijukerroskattilan tulipesän alaosa, ja arina on vuorattu tulenkestävällä massalla. Massalla estetään kattilaputkien kulumisen ja ylikuumentumisen. Tulipesän pohjalla olevalla ilmanjakoarinalla varmistetaan leijutusilman tasainen jakautuminen hiekkapetiin. Leijukerroskattilalla on tulipesän rakenteen takia suuri lämpökapasiteetti, joten se sopii erityisen hyvin kosteiden polttoaineiden polttoon. Kuumaan petiin sekoittuva kostea polttoaine kuivaa nopeasti, eikä erillistä polttoaineen kuivatusta tarvita. Ylösajossa tulipesä ja hiekkapeti lämmitetään käynnistyspolttimien avulla noin 600 celsiusasteeseen, millä varmistetaan kiinteän polttoaineen turvallinen syttyminen. (Kuva 1.) (2, s. 36–37; 3, s. 154–159.)

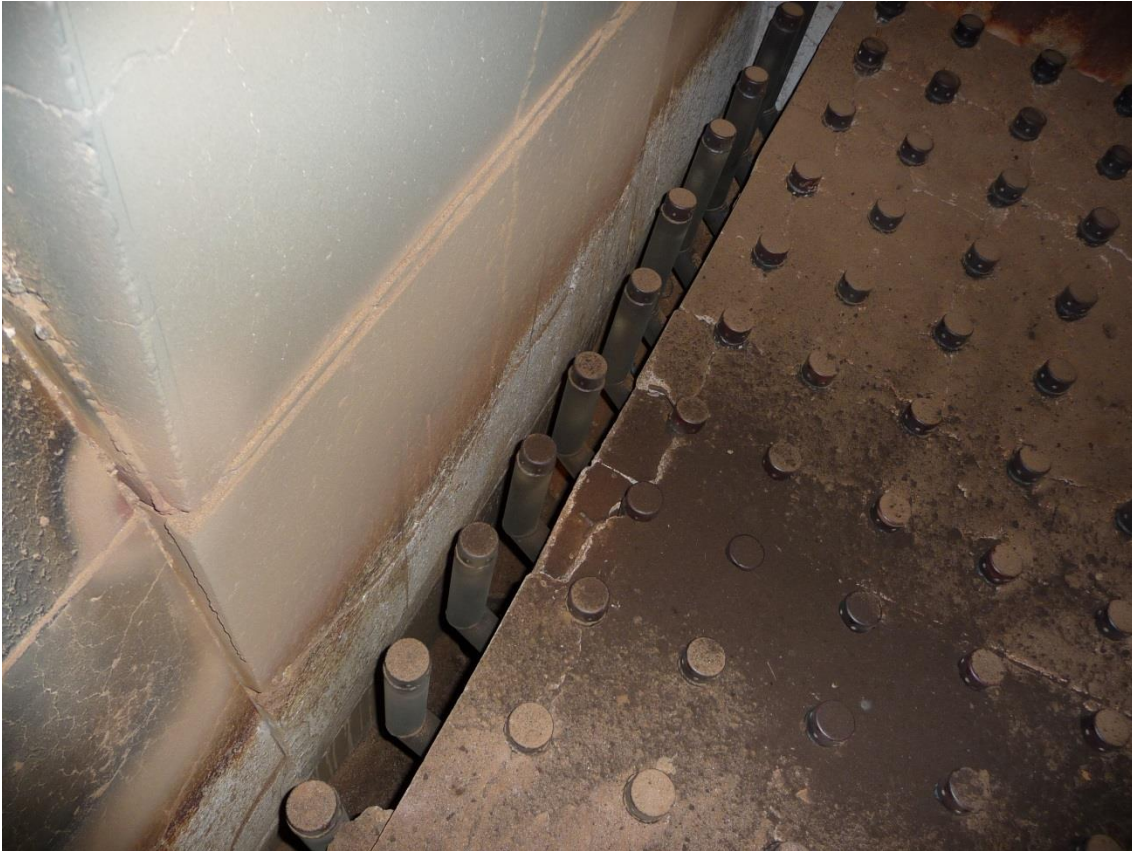


KUVA 1. Ilmanjakoarina (4)

Polttoaineen syöttö kattilaan on yleensä mekaaninen. Polttoainetta syötetään kattilaan yhtä tai useampaa pudotustorvea pitkin. Pudotustorvien avulla polttoaine saadaan jakautumaan tasaisesti koko pedin alueelle. Pudotustorviin ohjataan heittoilmaa, jolla pyritään suojelemaan pudotustorvia kulumiselta sekä edistämään polttoaineen tasaista leviämistä. (2, s. 36–37; 3, s. 154–159.)

Tuhka, kivet ja karkea kuona poistetaan tulipesästä päästämällä hiekkaa arinan pudotusaukosta. Joillakin voimalaitoksilla poistettu petihiekka puhdistetaan seulomalla ja palautetaan takaisin kattilaan. Petihiekka jauhautuu kattilassa leijutuksen takia, joten uutta hiekkaa joudutaan lisäämään jauhautuneen hiekan tilalle. Petihiekkaa voidaan joutua vaihtamaan myös polttoaineen epäpuhtauksien takia. Varsinkin turvetta poltettaessa petiin voi päästä paljon soraa ja kiviä, jotka haittaavat hiekkapedin tasaista leijumista. Ajon aikana poistetun peti-

hiekan epäpuhtauksia seurataan, ja tarvittaessa hiekkaa vaihdetaan tavallista enemmän. (Kuva 2.) (2, s. 36–37; 3, s. 154–159.)

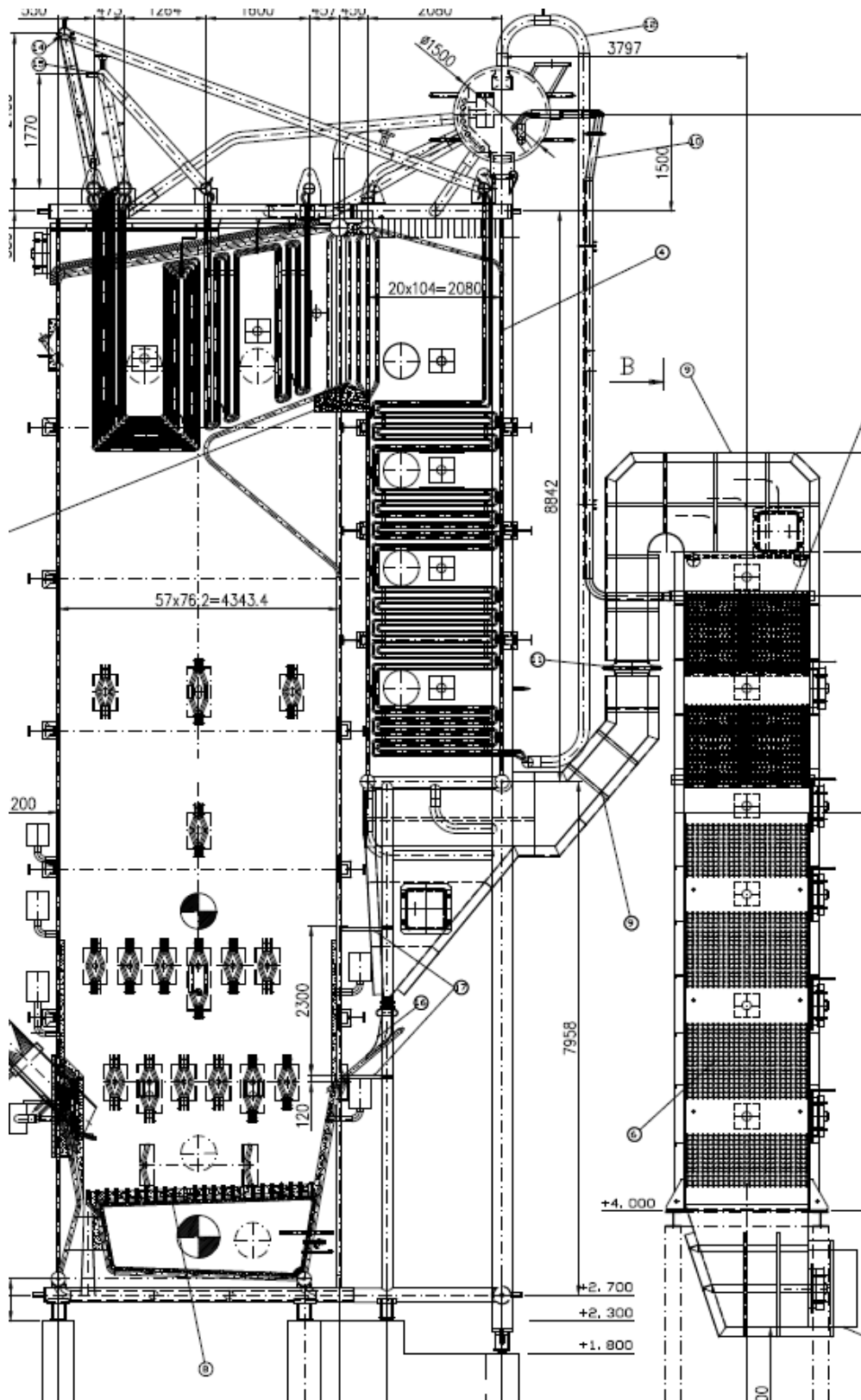


KUVA 2. Arinan pudotusaukko (4)

2.3 Luonnonkiertokattila

Luonnonkiertokattila on vesiputkikattila, jossa veden ja vesihöyryn kierto perustuu tiheuseroon. Kattilaan tuodaan vettä syöttövesipumpulla syöttövesisäiliöstä. Syöttövesi kulkee ensin ekonomaiserin läpi ja lämpenee lähelle kylläistä lämpötilaa. Esilämmitetty syöttövesi johdetaan lieriöön. Lieriöstä syöttövesi virtaa maan vetovoiman ansiosta laskuputkia pitkin tulipesän ympärillä oleviin höyrystinputkiin. Höyrystinputkissa osa vedestä höyrystyy, ja tämä kylläisen veden ja vesihöyryn seos palaa takaisin lieriöön, jossa ne erottuvat toisistaan. Höyry nousee lieriön yläosaan ja virtaa siitä edelleen tulistimiin. Höyrystymätön vesi sekoittuu uuteen syöttövedeen ja virtaa laskuputkien kautta takaisin höyrystimeen. (3, s. 113–116.)

Lieriö, laskuputket ja höyrystin muodostavat katkeamattoman putkiston, jolloin sinne syötetty vesi pääsee virtaamaan esteettä. Höyrystimessä osa syöttövedestä höyrystyy. Tällöin syntyvä veden ja vesihöyryn seos on tiheydeltään pienempi kuin laskuputkessa olevan syöttöveden. Tiheyseron takia kevyempi veden ja vesihöyryn seos nousee höyrystinputkia pitkin lieriöön ja lieriöstä virtaa uutta vettä laskuputkia pitkin höyrystyneen veden tilalle. Kuvassa 3 näkyy Haapaveden kattilan rakenne. (3, s. 113–116.)



KUVA 3. Haapaveden kattilan kokoonpano (4)

Luonnonkiertokattilan omakäyttötehon tarve on pienempi kuin pakkokiertokattilan, koska veden kierrättämiseen ei tarvita erillistä pumppua. Luonnonkiertokattilat eivät sovi kovin korkeille höyrynpaineille, koska veden ja höyryn tiheys pienenee paineen noustessa. Käytännössä tulistimesta tulevan höyrynpaineen tulee olla alle 170 bar, jotta luonnonkierto toimii. (3, s. 113–116.)

Luonnonkiertokattilat pyritään rakentamaan mahdollisimman korkeiksi, jotta lasakuputkien hydrostaattinen paine saataisiin mahdollisimman korkeaksi. Höyrytinputkien aiheuttamia painehäviöitä pyritään pienentämään käyttämällä sisähalkaisijaltaan suuria putkia ja asentamalla ne pystysuoraan. (2, s. 38; 3, s. 113–116.)

2.4 Turbogeneraattori

Turbogeneraattorin tehtävä on muuttaa höyryn sisältämä paine- ja lämpöenergia sähköenergiaksi. Turbiini on lämpövoimakone, jolla muutetaan höyryn sisältämä energia mekaaniseksi energiaksi. Turbiini koostuu staattorista ja roottorista. Staattori on turbiinin runko, johon on kiinnitetty johtosiivet. Roottorin muodostaa turbiinin akseli ja siihen kiinnitetyt juoksusiivet. Staattori-roottoriparia kutsutaan turbiiniasteeksi. (2, s. 109; 5, linkit Höyryturbiinin perusteet → Yleistä.)

Turbiinit voidaan erottaa toimintatavan mukaan aktio- ja reaktioturbiineihin. Aktioturbiinissa höyry virtaa staattorin läpi, jolloin höyryn paine ja lämpötila laskee ja muuttuu virtausnopeudeksi. Staattorin jälkeen höyry virtaa vakioaineessa roottorin läpi. Roottorissa höyryn virtauksen suuntaa muutetaan juoksusiipien avulla, jolloin virtaus kohdistaa juoksusiipiin voiman saaden roottorin pyörimään. Reaktioturbiinissa lämpötilan- ja paineenpudotus on sama staattorissa ja roottorissa, tämä johtuu siitä että reaktioturbiinissa juoksusiivistö on muotoiltu suuttimen muotoiseksi. (2, s. 109; 5, linkit Höyryturbiinin perusteet → Tasapaine- ja reaktioturbiini.)

Turbiinit voivat olla suorakäyttöisiä tai vaihteellisia. Suorakäyttöisen turbiinin akseli on kytketty suoraan generaattoriin. Vaihteellisessa turbiinissa turbiiniakselin ja generaattorin välissä on alennusvaihde, jolloin turbiinin kierroslukua voi-

daan nostaa. (2, s. 109; 5, linkit Höyryturbiinin perusteet → Vaihteellinen ja suorakäyttöinen turbiini.)

Turbiinin kierroslukua nostettaessa voidaan turbiinin halkaisijaa pienentää, jolloin vuotohäviöt pienenevät. Korkealla kierrosluvulla on merkitystä pienille ja keskisuurille turbiineille. Suuremmissa turbiineissa kierrosluvun nostaminen ei ole hyödyllistä vaihteiston aiheuttamien häviöiden takia. (5, linkit Höyryturbiinin perusteet → Vaihteellinen ja suorakäyttöinen turbiini.)

Käytännössä voimalaitoksen turbiini koostuu useasta turbiinista, jotka sijaitsevat samalla akselilla ja pyörittävät yhteistä generaattoria. Yksittäisistä turbiineista käytetään nimitystä pesä. Turbiinit voidaan jakaa korkeapaine-, välipaine- ja matalapaineturbiineihin niihin syötettävän höyrynpaineen perusteella. (5, linkit Höyryturbiinin perusteet → Käytännön turbiinit.)

Turbiini voidaan varustaa väliotolla. Väliotto tarkoittaa sitä, että osa turbiinissa olevasta höyrystä johdetaan turbiinasteiden välistä, tai turbiinin pesän jälkeen pois turbiinista. Väliottohöyryä voidaan käyttää esimerkiksi palamisilman lämmitykseen, prosessihöyrynä tai kaukolämmitykseen. (5, linkit Höyryturbiinin perusteet → Väliotot.)

Paisunut höyry muutetaan takaisin vedeksi turbiinin jälkeisessä lauhduttimessa. Lauhduttimen jäädytykseen käytetään voimalaitostyyppistä riippuen joko vesistöistä saatavaa vettä tai kaukolämpöverkon vettä. (5, linkit Höyryturbiinin perusteet → Lauhdutin.)

2.5 Kaukolämpöveden apujäädytin

Kaukolämpöverkkoon voidaan kytkeä apujäädytin, jonka avulla voidaan nostaa kaukolämpökuormaa ja täten tuottaa enemmän sähköä. Ylimääräinen lämpö johdetaan lämmönsiirtimellä järvi- tai meriveteen tai ilmaan. (2, s. 56.)

Apujäädyttimen investointikustannukset ovat edulliset, mutta tuotetun sähkön hinta on korkea, koska lämpöä ei saada talteen. Sähköntuotannon hyötysuhde on huono vastapaineturbiinin takia. Apujäädyttimen avulla on mahdollista tuot-

taa sähköä aina, kun tuotettu sähkö on hinnaltaan kilpailukykyistä. Apujäähdytystä käytetään normaalisti kaukolämmön kulutushuippujen ulkopuolella. (2, s. 56.)

3 APUJÄÄHDYTYKSEN KÄYTÖN KUSTANNUKSET SÄHKÖNTUOTANNOSSA

Työtä varten tehtiin laskentaohjelma Exceliin, jolla voidaan helposti tarkastella erilaisten ajotilanteiden sähköntuotantoa ja käytetyn apujäähdetyksen kustannuksia. Ohjelma laskee annettujen höyrytehojen ja ominaisentalpioiden avulla turbiinin läpi kulkevan höyryn massavirran, turbogeneraattorin tuottaman sähkötehon ja käytetyn apujäähdetyksen kustannukset.

3.1 Laskentaohjelma

Ohjelmassa käytetään kaavoja 1 ja 2 tehon ja massavirran laskemiseen. (2, s.24.)

$$\Phi = \dot{m} \times \Delta h \quad \text{KAAVA 1}$$

$$\dot{m} = \frac{\Phi}{\Delta h} \quad \text{KAAVA 2}$$

\dot{m} = massavirta (kg/s)

Φ = teho (W)

Δh = ominaisentalpiaero (kJ/kg)

Kuvassa 4 on laskenta taulukko, johon käyttäjä määrittää asiakkaille ja voimalaitoksen omakäyttöhöyrytehot. Taulukkoon syötettyjen höyrytehojen ja ominaisentalpia-arvojen avulla lasketaan höyryn massavirta käyttäen kaavaa 2. Turbiinille menevän höyryn, ja turbiinilta lähtevien höyryjen lämpötila- ja painearvoina käytetään voimalaitoksen automaation arvoja. Höyryjen ominaisentalpiat on ratkaistu käyttämällä ominaisentalpia-laskuria (6).

	Ominaisentalpia (kJ/kg)	
Ennen KP-pesää (59 bar, 500 °C)	3424,10964	
VP (21,5 bar, 400-375 °C)	3218,051795	
MP (5,5 bar, 300-330 °C)	3094,43	
Lauhduttimelle (1,1 bar, 230 °C)	2934,46	
	Teho kW	Massavirta kg/s
HYP	0	0
Valio	0	0
Prim. LUVO	0	0
Hasa	0	0
Sek. LUVO	0	0
KL (6MW)	1000	0,340778201
Syve lämmitys	0	0
Reduktio lämmönvaihdin (9,5 MW)	0	0
Apujäähdytys (Max 5MW)	0	0
Yhteensä	1000	0,340778201
Kattilan höyryteho	1166,861923	
Apujäähdytyksen höyryteho	0	

KUVA 4. Höyrytehojen muuttaminen massavirraksi

Turbogeneraattorin teho lasketaan käyttämällä kuvassa 4 laskettuja massavirtoja ja kaavaa 1. Turbiinin pesät on eritelty, koska ajotilanteesta riippuen turbiinin pesien läpi kulkee eri massavirta. Turbiinin pesien tuottama teho lasketaan yhteen ja kerrotaan generaattorin hyötysuhteella. (Kuva 5.)

	Teho kW
KP	70,22002174
VP	42,12761292
MP	54,51428883
Apujäähdytyksen osuus	0
Teho yht.	166,8619235
Prosessihöyryistä saatava sähköteho η 95%	158,5188273
Apujäähdytyksen sähköteho η 95%	0
Sähköteho yht.	158,5188273

KUVA 5. Turbogeneraattorin tehon laskenta

Apujäähdytyksen hinta saadaan kertomalla apujäähdytyksen vaatima höyryteho tuotantokustannuksilla. Apujäähdytyksen höyryteho on kuvassa 4. Apujäähdytyksen kustannuksia voi verrata ostosähkön kustannuksiin, jolloin nähdään kan-

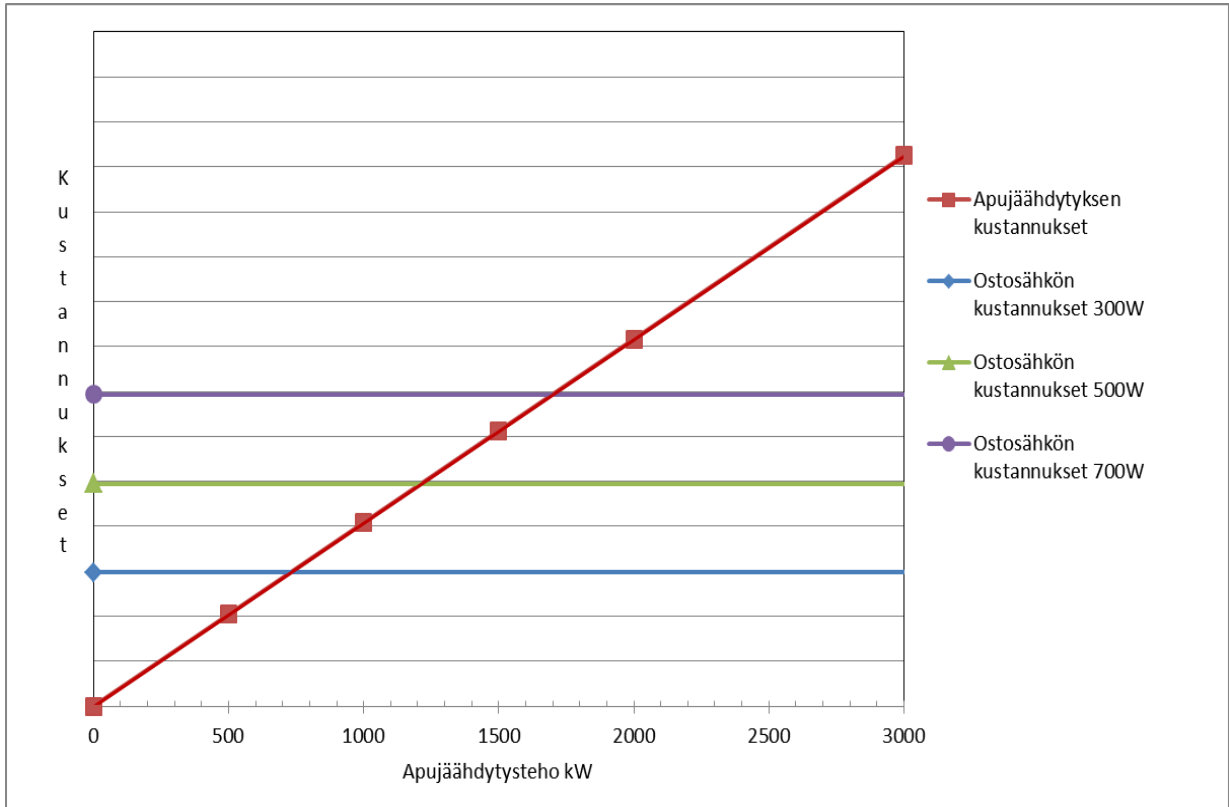
nattaako apujäähdytystä käyttää omakäytösähkön tuotantoon. Ohjelmassa on myös solu apujäähdytetyn sähkön hinnalle. Apujäähdytyksen avulla tuotetun sähkön hinta lasketaan, jolloin sitä voi verrata esimerkiksi pörssisähkön hintaan. (Kuva 6.)

Apujäähdytyksen kustannukset	0,000 €
Apujäähd. avulla tuotetun sähkön hinta €/MW	0,000 €
Ostosähkön määrä kW	0
Ostosähkön kustannukset	0,000 €

KUVA 6. Apujäähdytyksen ja ostosähkön kustannukset

3.2 apujäähdytyksen käytön kannattavuus

Haapaveden voimalaitoksen sähkönkulutus on noin 450–550 kW. Kuvasta 7 nähdään, että esimerkiksi 500 kW:n omakäytösähkö kannattaa tuottaa, jos apujäähdytysteho pysyy alle 1250 kW:n. Kuumimpina kesäkuukausina kauko-
lämpökuorma laskee noin 1,1 MW:iin, jolloin tarvittavan apujäähdytystehon kustannukset ovat kalliimmat kuin ostosähkön.



KUVA 7. Apujäähdytyksen kustannukset verrattuna ostosähkön kustannuksiin

Kesällä kattilakuorma saattaa laskea niin alas, että apujäähdytystä joudutaan käyttämään kuorman nostamiseen, jotta vältytään alasajolta. Jos kaukolämpökuorma nousee apujäähdytyksen takia 3 megawattiin tai yli kannattaa sähköä ruveta tuottamaan. Tuottamalla sähköä saadaan apujäähdytyksen kustannuksia laskettua.

Apujäähdytyksen avulla tuotetun sähkön hintaa laskettaessa huomattiin, ettei verkkoon tuotettu sähkö ole kilpailukykyistä nykyisillä sähkön hinnoilla. Sähkön tuotannon hyötysuhde on huono vastapaineturbiinin takia, ja ongelmaksi muodostuvat myös vuodenaajat, jolloin sähkön hinta on korkealla. Kovilla pakkasilla apujäähdytystä ei kannata käyttää, koska kattilan kuorma on jo valmiiksi korkea. Kesällä apujäähdytyksen avulla ei kannata tuottaa sähköä verkkoon, koska viime vuosina sähkön hinta on ollut erittäin matala edullisen vesivoiman takia.

4 YHTEENVETO

Työssä selvitettiin apujäähdytyksen käytön kannattavuutta sähköntuotannossa. Apujäähdytyksen avulla voidaan tuottaa sähköä aina, kun sähkö on hinnaltaan kilpailukykyistä. Tuottamalla voimalaitoksen omakäytösähkö itse saadaan säästöjä, koska sähköä ei tarvitse ostaa.

Työtä varten tehtiin laskentaohjelma Excelliin, jolla voidaan helposti laskea erilaisten ajotilanteiden sähköteho ja apujäähdytyksen kustannukset. Ohjelmaan syötetään eri asiakkaiden höyrytehot, joiden perusteella lasketaan turbiinin läpi virtaava massavirta ja turbogeneraattorin tuottama sähköteho. Apujäähdytyksen kustannukset lasketaan käytetyn höyrytehon perusteella. Apujäähdytyksen kustannuksia voidaan verrata esimerkiksi ostosähkön hintaan jolloin nähdään, kannattaako omakäytösähkö ostaa vai tuottaa itse.

Laskennan tulokset vahvistivat käsityksen siitä, ettei apujäähdytyksen avulla myyntiin tehty sähkö ole kilpailukykyistä nykyisillä sähkön hinnoilla. Omakäytösähköä kannattaa kuitenkin tuottaa apujäähdytyksen avulla aina, kun apujäähdytyksen kustannukset alittavat ostosähkön kustannukset. Voimalaitoksen sähkönkulutusta kannattaa vähentää aina, kun omakäytösähkö joudutaan ostamaan.

Apujäähdytystä voidaan joutua käyttämään myös muista syistä, esimerkiksi kattilankuorman nostamiseen. Tällöin sähköä kannattaa tuottaa aina, kun kaukolämpökuorma ylittää turbiinin vaatiman 3 MW:n rajan. Tuottamalla sähköä saadaan apujäähdytyksestä koituvia kuluja vähennettyä.

LÄHTEET

1. Vapo Haapaveden voimalaitos ja pellettitehdas. Esite. Vapo Oy.
2. Huhtinen, Markku – Korhonen, Risto – Pimiä, Tuomo – Urpalainen, Samu 2011. Voimalaitostekniikka. Tampere: Juvenes Print.
3. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki 2000. Hörykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab.
4. Kuvatiedostot. Revisiokuvat. Vapo Oy Haapaveden voimalaitos. Vapo Oy.
5. Know Energy – Demo. Saatavissa:
http://www.knowenergy.net/suomi/knowpap_system/user_interfaces/prod_environment/0_monipoltt_kattilat/ui.htm . Hakupäivä 26.11.2015.
6. Zittau´s Fluid Property Calculator, Entalpialaskuri Saatavissa:
<http://thermodynamik.hszg.de/fpc/index.php>. Hakupäivä 9.2.2015.