

Äänevoiman varakattiloiden suorituskyky Äänekosken teollisuus- integraatissa

Manu Kalliokoski

Opinnäytetyö

Toukokuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Kalliokoski, Manu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 45	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Äänevoiman varakattiloiden suorituskyky Äänekosken teollisuusintegraatissa		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kari Hytönen, Harri Tuukkanen		
Toimeksiantaja(t) Metsä Fibre		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Äänekosken teollisuusintegraatissa toimivien tehtaiden höyry tuotetaan tällä hetkellä Metsä Fibren soodakattilalla ja Äänevoima Oy:n leijupetikattilalla. Metsä Fibrellä on rakenteilla uusi biotuotetehdas, jonka ylijäämähöyryllä on mahdollista tuottaa tulevaisuudessa koko integraatin tarvitsema höyry. Uusi biotuotetehdas valmistuu vuoden 2017 aikana. Äänevoiman leijupetikattilan yhteydessä on kaksi raskasöljykäyttöistä höyrykattilaa, joilla tuotetaan häiriöiden aikana höyryä Metsä Boardin, CP Kelcon, Äänekosken kaupungin ja tulevan Metsä Woodin tehtaan tarpeisiin. Öljykattilat ovat jatkuvassa käynnistysvalmiudessa täydessä vesilastissa ja tehdasverkon paineessa. Kun häiriö tapahtuu tulevilla soodakattilalla, aloitetaan öljykattiloiden käynnistäminen, jonka aikana tehtaille on saatava höyryä alasajon välttämiseksi. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää käynnistämishetkestä öljykattiloiden riittävään tuotantoon asti soodakattilalta tarvittava höyryvirtaus.</p> <p>Työ oli kvalitatiivinen tutkimus ja sen tarvitsemien tietojen saamiseksi tutkittiin öljykattiloiden käynnistymisnopeutta aiemmissa tilanteissa. Lisäksi tehtiin leijupetikattilan alasajon yhteydessä mahdollisimman paljon häiriötilannetta jäljittelevä käynnistyminen öljykattiloilla.</p> <p>Tuloksena saatiin kuvaaja, joka kertoo häiriöhetkestä öljykattiloiden tuotantoon asti tarvittavan höyrymäärän käynnistymisajan funktiona. Kuvaajan perusteella soodakattilalla tiedetään, kuinka pitkään muille tehtaille tarvitaan höyryä ennen tehdasverkkojen erottavien venttiileiden sulkemista.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Suorituskyky, öljykattila, öljypoltin, höyryverkko, käynnistymisnopeus		
Muut tiedot		

Author(s) Kalliokoski, Manu	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 45	Permission for web publication: x
Title of publication Performance of Äänevoima backup boilers in the industry integrate in Äänekoski		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Hytönen, Kari; Tuukkanen, Harri		
Assigned by Metsä Fibre		
Abstract <p>The steam used in the industry integrate in Äänekoski is currently produced in a recovery boiler owned by Metsä Fibre and in a bubbling fluidized bed (BFB) boiler owned by Äänevoima Oy. In the future, the steam could be produced by a new recovery boiler of the bi-product mill that is scheduled to be completed in 2017. There are two heavy fuel oil (HFO) fired steam boilers in addition to the BFB boiler of Äänevoima. In case of failure at the future recovery boiler, the steam for Metsä Board, CP Kelco, the city of Ääneskoski and the new mill of Metsä Wood will be produced by these two HFO boilers. The HFO boilers are in a standby mode, ready to be started whenever needed. When a failure occurs in the future recovery boiler, the HFO boilers are started. It is critical to secure the steam flow to the mills to avoid the shutdown of the processes. The goal of the thesis work was to determine the needed steam flow from the future recovery boiler to the steam net from the moment of startup to the moment the HFO boilers are operating on a sufficient level.</p> <p>The used method was qualitative research. To gather knowledge on this subject the startup times of the HFO boilers in the previous, real cases were investigated. Additionally, while shutting down the BFB, the HFO boilers were started in, the conditions set to be as close to real failure case as possible.</p> <p>As result, a graph showing the steam amount needed from the occurrence of the failure until the moment the HFO boilers are operating on a sufficient level was created. The amount of steam is presented as a function of the time from starting up. The figure shows how long steam should be delivered from the recovery boiler to the other mills before closing the valves to separate the steam net into two parts.</p>		
Keywords/tags (subjects) Performance, oil boiler, oil burner, steam net, start-up speed		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto	3
2	Teollisuusintegraatti	3
	2.1 Äänevoima Oy.....	3
	2.1.1 S-40-kattila.....	4
	2.1.2 Högfors-kattila.....	5
	2.1.3 Leijupetikattila.....	6
	2.1.4 Höryakku.....	8
	2.2 Metsä Fibre.....	9
	2.3 Metsä Board.....	9
	2.4 CP Kelco.....	10
	2.5 Metsä Wood.....	10
3	Höyrykattilan toimintaperiaate	10
	3.1 Vesi- ja höyrypiiri.....	10
	3.2 Palamisilma ja savukaasut.....	14
	3.2.1 Palamisilma.....	14
	3.2.2 Savukaasut.....	15
	3.3 Polttoaine.....	17
4	Höyryverkko	19
	4.1 Välipaine.....	19
	4.2 Matalapaine.....	20
	4.3 Höyryverkon kapasiteetti.....	20
	4.3.1 Matalapaine.....	21
	4.3.2 Välipaine.....	22
5	Käynnistyminen	22
	5.1 S-40-kattila.....	22
	5.2 Högfors-kattila.....	25

	2
5.3 Häiriötilanne	27
5.4 Höryakku.....	30
6 Testaus.....	31
7 Tulokset	34
8 Johtopäätökset	35
9 Pohdinta	37
Lähteet	39
Liitteet	41
Liite 1. S-40-kattilan kuormanmuutoskäyrä	41
Liite 2. Hörytasapaino.....	42

Kuviot

Kuvio 1. S-40-kattila	4
Kuvio 2. Raskaspolttoöljysäiliö ja pumppaamohuoneet	5
Kuvio 3. Högfors-kattila	6
Kuvio 4. Leijupetikattila	7
Kuvio 5. Höryakku.....	9
Kuvio 6. Luonnonkiertokattilan vesi-höyrypiiri (Huhtinen ym. 2000)	11
Kuvio 7. S-40-kattilan polttimen 1 sekvenssi.....	23
Kuvio 8. S-40-kattilan polttimet ja lieriö	24
Kuvio 9. S-40-kattilan puhallin 1 tuuletussekvenssi.....	24
Kuvio 10. Högfors-kattilan polttimen 2 sekvenssi	25
Kuvio 11. Högfors-kattilan poltin 2	26
Kuvio 12. S-40-kattilan käynnistys 31.10.2016	27
Kuvio 13. Högfors-kattilan käynnistys 31.10.2016	28
Kuvio 14. Högfors-kattilan käynnistys 17.2.2017	29
Kuvio 15. Högfors-kattilan höyrynkehitys 1 vuosi	30
Kuvio 16. S-40-kattilan koekäyttö.....	32
Kuvio 17. Högfors-kattilan koekäyttö	33
Kuvio 18. Hörytasapaino.....	35

1 Johdanto

Tässä raportissa tarkastellaan Äänekoskella sijaitsevan teollisuusintegraatin tarvitseman höyryn tuottamista varakattiloilla päätoimisen höyryntuotannon häiriintyessä. Tällä hetkellä höyry tuotetaan Metsä Fibre Äänekosken sellutehtaan soodakattilalla ja Äänevoima Oy:n kuplivalla leijupetikattilalla. Soodakattilan suurin höyrynkehitys on 100 kg/s ja leijupetikattilan 60 kg/s. Soodakattila tuottaa höyryn sellutehtaan tarpeisiin ja leijupetikattila Metsä Boardin kartonkitehtaalle, CP Kelcon karboksimeetylliselluloosatehtaalle ja kaukolämpöön Äänekosken kaupungille. Tulevaisuudessa Äänekoskelle valmistuvan biotuotetehtaan soodakattilan tuotanto riittää kattamaan koko integraatin höyrynkulutuksen. Tehdasalueelle on tulossa myös Metsä Woodin viilun-sorvaus- ja -kuivauslinja, jonka ottama höyry on myös huomioitu työssä. Varakattiloina toimivat öljykattilat S-40 ja Högfors tuottavat yhteensä noin 55 kg/s höyryä, joka riittää kattamaan leijupetikattilan tuottaman höyryn osuuden häiriön sattuessa. Opinnäytetyössä selvitettiin biotuotetehtaan soodakattilalla tapahtuvan häiriön jälkeen tarvittava höyryvirtaus muille tehtaille varakattiloiden käynnistymisen aikana. Äänevoiman kattiloiden yhteydessä on myös höyryakku, jolla pystytään tasaamaan kuorman muutoksien aikaisia heilahduksia purkamalla tai varastoimalla höyryä. Tarvittavan aineiston saamiseksi tutkittiin mittaushistorian keräämää tietoa sekä tehtiin koekäynnistykset molemmille öljykattiloille.

2 Teollisuusintegraatti

2.1 Äänevoima Oy

Äänevoima Oy on teollisuusintegraatin osapuolien sekä Äänekosken kaupungin energiayhtiön, Ääneseudun Energia Oy:n, vuonna 2000 perustama yhtiö. Äänevoiman omistamiin kattiloihin kuuluvat Foster Wheeleriltä vuonna 2000 tilattu ja 2003 helmikuussa käyttöön otettu leijupetikattila sekä kaksi pienempää raskaspolttoöljykäyttöistä varakattilaa. Leijupetikattilan ollessa käynnissä pidetään öljykattiloita kuu-

masäilönnässä, eli ne ovat normaalissa vesilastissa, ja välipainehöyrylinjasta otettavalla höyryllä kattilat pidetään noin 11 bar:n paineessa. Öljykattiloita käytetään apuna höyrykehityksessä leijupetikattilan kuorman noustessa yli 55 kg:n/s, koska leijupetikattilan hallittavuus on heikko kuorman ollessa lähellä maksimia. Öljykattiloita käytetään myös ongelmien ja huoltojen aikana, kun kuorma vähenee.

2.1.1 S-40-kattila

S-40 on Oy Steamservice Ab:n vuonna 1996 valmistama pakettikattila (ks. kuvio 1), jonka suurin höyrykehitys on 40 kg/s ja pienin jatkuvassa ajossa 2,7 kg/s. Valvomokeskusteluissa on tullut kuitenkin ilmi, että nykyisin kattilan maksimituotto on heikentynyt merkittävästi. S-40 käyttää polttoaineenaan raskasta polttoöljyä, jota syötetään kolmella Low-NOx-polttimella tulipesän katosta. Jokaiselle öljypolttimelle on oma ilmapuhaltimensa, ja tulipesä tehdään näillä ylipaineiseksi, jolloin savukaasupuhaltimia ei tarvita. Savukaasut johdetaan ekonomaiseriin, jossa syöttövesi lämmitetään noin 125 °C:n lämpöiseksi ja sen jälkeen kaasut johdetaan multisyklonityyppisen savukaasun puhdistajan läpi savupiippuun. (S-40-öljykattila 1995.) Leijupetikattilan ja öljykattiloiden käyttämä öljy varastoidaan samassa säiliössä, josta ne pumpataan erillisistä pumppaamohuoneista kuhunkin kattilaan (ks. kuvio 2).



Kuvio 1. S-40-kattila



Kuvio 2. Raskaspolttoöljysäiliö ja pumppaamohuoneet

2.1.2 Högfors-kattila

Högfors-kattila (ks. kuvio 3) on rakennettu vuonna 1972, ja se on itsekantava kaksilieriöinen vesiputkikattila. Polttimina siinä toimii kaksi Oilonin Petro-paineilmapoltinta. Petro-paineilmapoltin ei tarvitse öljyn hajottamiseen höyryä vaan se hajotetaan paineilmalla. Högforsin alkuperäinen höyryntuottomaksimi on suunnitellusti 60 t/h, joka vastaa hieman alle 17 kg:aa/s. Valvomokeskustelujen mukaan nykyisin laitoksella ei kuitenkaan päästä aivan näin suureen tuottoon vuotojen takia tulpattujen kattilaputkien sekä likaantumisen johdosta. Pienimmillään kattilan höyrynkehitys on luokkaa alle 2 kg/s jatkuvalla käytöllä. Polttoilmaa syötetään tulipesään kahdella puhaltimella, primääri- ja sekundääri-ilmapuhaltimilla. Savukaasukanavassa käytetään ekonomaiseria lämmittämään syöttövettä ennen sen syöttämäistä lieriöön. (Högfors-kattila 1972.)



Kuvio 3. Högfors-kattila

2.1.3 Leijupetikattila

Äänevoima Oy:n ensisijainen höyryntuottolaitos on Foster Wheeler Energia Oy:n vuonna 2003 toimittama leijupetikattila (ks. kuvio 4). Tästä leijupetikattilasta käytetään tehdasalueella nimitystä biovoimalaitos tai biokattila. Leijupetikattilan toiminta perustuu tulipesän pohjalla olevaan hiekkakerrokseen, jota leijutetaan ilmassa tulipesän pohjassa olevien leijutusilmasuuttimien avulla. Hiekkapatja on noin 840 °C:n lämpötilassa, jolloin siihen on varastoitunut suuri määrä lämpöenergiaa. Biokattilalla käytetään pääasiallisena polttoaineena Metsä Fibren sellutehtaan kuorimolta tulevaa havupuun ja koivun kuorta. Tukipolttoaineina toimivat turve, kantomurska, sahanpuru ja muualta ostettu kuori. Metsä Boardin jätevedenpuhdistamon kuitupitoinen liete hävitetään myös biokattilassa. Polttoaine jaotellaan kuudella sulkusyöttimellä hiekkapedille, jossa se kuivuu ja palaa nopeasti. Hiekan sisältämän suuren lämpöenergian johdosta leijupetikattilat kestävät monipuolisia ja laadultaan vaihtelevia polttoaineita. (Leijupetikattila 2002.)

Tulipesään puhalletaan leijutusilman lisäksi sekundääri-ilmapuhaltimella ilmaa eri tasoille tulipesää jakamaan palamisreaktiota myös tulipesän ylempään osaan. Tulipesän yläosassa on höyryn tulistimet, joissa tulipesän säteilyenergialla ja savukaasujen

virtauksessa siirtyvällä energialla tulistetaan höyry noin 535 °C:n lämpötilaan. Savukaasujen lämpötila tulistimien jälkeen on vielä yli 500 °C, ja ne johdetaan seuraavaksi syöttöveden esilämmittimeen eli ekonomaiseriin. Ekonomaiseriissa syöttöveden lämpötila nostetaan 150 °C:sta 315 °C:seen ja savukaasujen lämpötila on ekonomaiserin jälkeen noin 300 °C. Savukaasuilla lämmitetään vielä tulipesään menevää palamisilmaa, jossa säädetään myös savukaasujen loppulämpötila, joka pyritään pitämään noin 165 °C:ssa. (Leijupetikattila 2002.)



Kuvio 4. Leijupetikattila

2.1.4 Höryakku

Äänevoiman yhteydessä on lämpöenergiaa varastoiva höryakku Vapor 2500 (ks. kuvio 5), jonka on toimittanut Höyrytys Oy. Sen toiminta perustuu välipainehöyrystä otettavaan energiaan, joka varastoituu höryakussa olevaan veteen sekä sen teräsrakenteisiin. Höryakun tilavuus on 250 m³, ja siihen mahdollinen ladattava energiamäärä on valmistajan mukaan 12,5 MWh, jota voidaan purkaa matalapainelinjaan. Höryakku toimii prosessissa häiriöiden tasaajana, jolloin äkillisen kuorman pudotuksen seurauksena se lataa itseään välipainelinjasta seuraten Äänevoiman välipainetukin painetta. Näin vältetään kattilassa olevan paineen nouseminen liian suureksi. Vastaavasti äkillisessä kuorman nousussa höryakku purkaa lataamaansa energiaa matalapainelinjaan. Sekä latauksen että purkauksen suurin mahdollinen virtaus on 15 kg/s. (Höryakku 2001.)

Äänevoimalla höryakun vesipintaa pidetään noin 80 – 85 %:ssa maksimista, jolloin latauskapasiteettia on vielä jäljellä. Pinnan ollessa vajaa muodostuu yläosaan hörypatja, josta höyry lauhtuu ajan kuluessa ja tästä syystä vesipintaa täytyy vajauttaa sen noustessa liian suureksi. Höryakku on ohjelmoitu lataamaan vain niissä tilanteissa, jolloin biokattila on käytössä. Purkaus on käytettävissä myös öljykattiloiden ollessa käynnissä, mutta silloin akkua ei voida ladata. Normaalisessa ajotilanteessa höryakun paine on noin 9,5 bar ylipainetta ja pinta 85 %:ssa, jolloin akussa ei ole valmistajan ilmoittamaa täyttä kapasiteettia käytössä. Valmistajan ilmoittama 12,5 MWh:n purkausenergia on laskettu täyden akun ja ilmoitettujen purkamisen lopetusrajojen mukaan. Purkaus on suunniteltu lopetettavaksi, jos veden pinta laskee alle 770 mm keskirajan yläpuolelle (4000 mm:n halkaisija) ja paine on 4,3 bar ylipaineista. Äänevoimalla on kuitenkin käytössä purkamisen lopettavina rajoina 50 %:n vesipinta tai paineen ollessa 0,1 baria matalapainetukia enemmän eli 3,6 bar ylipainetta. (Höryakku 2001.)



Kuvio 5. Höryakku

2.2 Metsä Fibre

Metsä Fibre on osa Metsä Group -konsernia. Metsä Fibre on maailman johtavia havu-sellun tuottajia ja sen tuotteista 25 % viedään Aasiaan. Tehtaita Metsä Fibrellä on Suomessa neljä, ne sijaitsevat Äänekoskella, Kemissä, Joutsenossa ja Raumalla. (Metsä Group - liiketoiminta-alueet n.d.) Äänekosken tehdas aloitti toimintansa 1985 ja nykyinen tehdas pysäytetään elokuussa 2017 uuden biotuotetehtaan aloittaessa toimintansa. Biotuotetehdas on Suomen metsäteollisuushistorian suurin investointi 1,2 miljardilla eurolla ja tehtaan tuleva tuotantokapasiteetti on 1,3 miljoonaa sellu-tonnia vuodessa. Sellun lisäksi biotuotetehtaalla otetaan prosessista talteen muita hyödykkeitä, kuten mäntyöljyä ja tärpättiä. Sähköä tehdas tulee tuottamaan noin 1800 GWh vuodessa, josta myyntiin menee suuri osa, sillä sähköomavaraisuusaste on 240 %. (Uudet biotuotteet n.d.)

2.3 Metsä Board

Metsä Board on osa Metsä Group –konsernia, ja se on Euroopan johtava taivekarton-gin ja valkoisen ensikuitulainerin valmistaja. Metsä Boardilla on kartonkitehtaita Ää-nekoskella, Kemissä, Kyröskoskella, Simpeleellä, Tampereella, Joutsenossa, Kaskisissa

sekä Ruotsin Husumissa. Metsä Boardin kokonaistuotantokapasiteetti taivekartongille on 2 miljoonaa tonnia vuodessa, ja se työllistää 2500 henkilöä. (Metsä Board - facts and figures n.d.) Toiminta Äänekosken kartonkitehtaalla alkoi vuonna 1899 ja se työllistää nykyisin 170 työntekijää. Kartonkia tehdas tuottaa 240 000 tonnia vuodessa. (Metsä Board - Äänekoski board mill n.d.)

2.4 CP Kelco

CP Kelco on yhdysvaltalainen yritys, joka on perustettu vuonna 1929. Se on hydrokoloidien kehittämisen ja kaupallisen soveltamisen edelläkävijä. CP Kelco työllistää maailmanlaajuisesti 2200 henkilöä, joista Äänekosken tehtaalla työskentelee noin 240. Äänekosken tehdas on aloittanut toimintansa 1944, ja se on maailman suurin karboksyyylimetyyliselluloosan eli CMC-sellun valmistaja. CMC:tä käytetään monissa tuotteissa, esimerkiksi jäätelössä ja pyykinpesuaineessa. (CP Kelco – Our history of innovation n.d.)

2.5 Metsä Wood

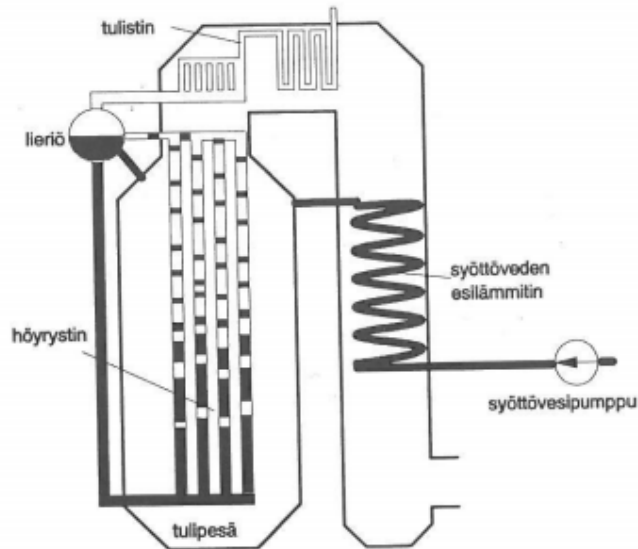
Metsä Wood on osa Metsä Group –konsernia, ja se valmistaa sahatavaraa, vaneria ja kertopuuta. Yhtiö työllistää noin 1500 henkilöä useassa Suomen ja ulkomaiden tehtaissa. (Metsä Wood lyhyesti n.d.) Äänekoskelle suunnitteilla oleva viilun sorvaus- ja kuivauslinja rakentuu vuonna 2011 lopettaneen paperitehtaan tiloihin.

3 Höyrykattilan toimintaperiaate

3.1 Vesi- ja höyrypiiri

Höyrykattilan voidaan ajatella toimivan pitkänä putkena, jonka toiseen päähän syötetään vettä ja toisesta päästä poistuu höyryä (ks. kuvio 1). Höyrykattilalaitoksessa, jossa on myös turbiini, veden paine nostetaan yleensä 100–220 barin suuruiseksi mahdollisimman suuren sähkötehon vuoksi. Kattilat, joiden tarkoitus on tuottaa pieni määrä höyryä prosessiin tai muuhun kohteeseen, toimivat sillä painealueella, jota kohde tarvitsee, koska pieniin kattiloihin ei ole taloudellisesti järkevää rakentaa tur-

biinia. Alle 170 barin paineessa veden laskeutuminen lieriöstä tapahtuu painovoimaisesti. Sellaisia kattiloita kutsutaan luonnonkiertokattiloiksi. Tätä suuremmissa paineissa vesi pakotetaan pumpulla lieriöstä alaspäin, ja näitä kattiloita kutsutaan pakokierto-kattiloiksi. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 7.)



Kuvio 6. Luonnonkiertokattilan vesi-höyrypiiri (Huhtinen ym. 2000)

Syöttövesi

Syöttövesi säilytetään syöttövesisäiliössä muutaman barin paineessa, jotta veden lämpötilaa voidaan nostaa sen höyrystymättä. Syöttövesisäiliöstä vesi pumpataan syöttövesipumpuilla kattilan putkistoa suurempaan paineeseen, jotta vesi saadaan siirrettyä lieriöön. Ennen lieriötä syöttövesi kuumennetaan lähelle sen kiehumispistettä syöttöveden esilämmittimellä eli ekonomaiserilla. Ekonomaiserissa syöttövesi kuumenee savukaasujen avulla ja se syötetään tämän jälkeen lieriöön. Suurissa voimalaitoksissa syöttövettä lämmitetään myös turbiinin väliottohöyrystä otettavalla höyryllä. Tätä lämmönvaihdingta kutsutaan korkeapaine-esilämmittimeksi. (Huhtinen ym. 2000, 195.)

Lieriö

Lieriön tehtävänä on erottaa vesi ja höyry toisistaan. Kattilaveteen liukenee suoloja, jotka aiheuttavat haitallisia kerrostumia turbiinissa sekä tulistimissa, joten lieriön erotuskyvyyn täytyy olla mahdollisimman suuri. Höyry-vesiseos nousee kattilaputkis-

tosta lieriöön, jossa höyry ja vesi erottuvat painovoimaan perustuen toisistaan kevyemmän höyryn noustessa ylös tulistinputkistoon. Lieriön sisään on rakennettu pisaronerottimia, jotka voivat olla muodoltaan aaltomaisia kennostoja. Höyryn seassa olevat vesipisarat törmäävät tähän kennostoon. Lieriössä voi olla myös syklonierotin, jossa keskipakovoima saa aikaan raskaamman vesipisaran törmäämisen ja erottumisen höyrystä. Mitä suurempi lieriön halkaisija on, sitä suurempi on myös lieriön kyky erotella vesi ja höyry toisistaan pitemmän viipymäajan ansiosta. (Huhtinen ym. 2000, 117.)

Höyrystinputkisto

Höyrystinputkistolla tarkoitetaan tulipesän ympärillä olevaa höyrystintä. Höyrystin koostuu yhteen hitsatuista putkista, jotka muodostavat tulipesän ympärille kiinteän seinämän. Lieriön pohjasta lähteviä laskuputkia pitkin vesi laskeutuu tiheyseron takia höyrystimen alaosaan. Laskuputkien pohjalla veden paine kasvaa hydrostaattisen paineen vaikutuksesta, ja kylläisessä pisteessä lieriöstä lähtenyt vesi on kylläisen pisteen alapuolella. Tällä hydrostaattisella paineella tulee voittaa höyrystinputkistossa tapahtuva painehäviö, jotta luonnonkierto toimisi. Mahdollisimman suuren hydrostaattisen paineen saavuttamiseksi luonnonkiertokattilat rakennetaan korkeiksi ja kaapeiksi. Höyrystimessä luonnonkiertona virtaava höyry-vesiseos on suhteessa tuotettuun höyryyn nähden 5-100ertainen painetasosta riippuen. Mitä matalapaineisempaa höyryä kattila tuottaa, sen suurempi on kiertoluku. Höyrystimen alaosassa vesi ei vielä ala höyrystymään hydrostaattisen paineen takia, vaan veden täytyy ensin lämmitä kylläiseen pisteeseen tulipesästä siirtyvän lämpöenergian avulla. Kun vesi alkaa höyrystymään, se kohoaa kohti lieriötä. Siellä puhdas höyry erottuu tulistimiin, ja vesi laskeutuu laskuputkia pitkin uudestaan höyrystimeen. Höyrystimessä kiertävä vesi toimii putkistoa jäähdyttävänä osana estäen putkiston ylikuumentumisen ja mahdollisen sulamisen. (Huhtinen ym. 2000, 114–115.)

Tulistin

Lieriöstä höyry erottuu vedestä ja kulkeutuu tulistimiin. Tulistimissa höyryn lämpötila nostetaan maksimissaan n. 550 °C:seen suuremman sähkötehon saamiseksi. Höyry on pari sataa astetta tulistuneena, jolloin sen entalpia on suurempi ja se saa turbii-

nissa suuremman liike-energian aikaan. Suurissa voimalaitoksissa käytetään myös välitulistusta eli korkeapaineinen höyry syötetään turbiiniin, minkä jälkeen se palaa uudestaan matalammassa paineessa kattilaan ja tulistuu samaan lämpötilaan kuin korkeapaineinen höyry. Välitulistuksen investoinnit ovat niin suuret, että pienillä höyrymäärillä sitä ei ole kannattavaa rakentaa. (Huhtinen ym. 2000, 188.)

Fyysisesti tulistimet sijaitsevat tulipesän yläosassa, ja ne voidaan jakaa neljään eritulistintyyppiin. Säteilytulistin sijaitsee suoraan tulipesän yläpuolella ja siihen siirtyy tulipesän liekistä säteilemällä lämpöenergiaa, joten virtauksen täytyy olla tulistimessa nopeaa ylikuumenemisen välttämiseksi. Verhotulistin toimii säteilytulistimen tapaan, mutta se on sijoitettu verhomaisesti suojaamaan takana olevia tulistimia. Verhotulistin kestää paremmin likaavien polttoaineiden muodostamat epäpuhtaudet ja estää niiden kulkeutumisen savukaasujen mukana. Konvektiotulistin on suojassa tulipesän säteilyltä. Siinä lämmönsiirto tapahtuu virtaavan aineen eli kuumien savukaasujen avulla. Konvektiotulistimia on vaakaputki- ja pystyputkimallisia. Vaakaputkitulistimissa on mahdollisuus vesitykselle, ja vanhoissa kattiloissa ylösajon aikana se täytetään vedellä ylikuumenemissuojaksi. Yhdistelmätulistimissa käytetään tiheää putkiseinämää, jossa ulko-osa toimii säteilytulistimena ja sisäosa konvektiotulistimena. (Huhtinen ym. 2000, 189–190.)

Tulistimet jaetaan eri vaiheiden mukaan ja näiden välissä on yleensä jäähdytin. Jäähdyttimessä syöttövettä ruiskutetaan höyryn sekaan mahdollisimman stabiilin lämpötilan saavuttamiseksi. Jos lämpötila nousee liian suureksi, voi tapahtua tulistinputken ylikuumenemistä, ja vastaavasti lämpötilan laskiessa sähkötehoa häviää, jolloin veden ruiskutusta vähennetään. Tavallisesti höyryn loppulämpötilan vaihtelu pyritään pitämään ± 5 °C:n sisällä. (Huhtinen ym. 2000, 188.)

Turbiini

Höyryturbiinissa korkeapaineinen tulistettu höyry paisutetaan matalapaineisemmaksi höyryksi. Höyryn lämpöenergia muuttuu turbiinin siivistössä liike-energiasta, ja generaattorissa tämä muuttuu sähköenergiaksi. Höyryturbiinien teholuokka vaihtelee pienistä, alle 1 MW:n turbiineista suuriin ydinvoimalaitosturbiineihin. Esimerkiksi Olkiluoto 3:een valmistuvan turbiinin teho on 1600 MW. Turbiinin mahdollisimman suu-

ren sähkötehon saavuttamiseksi tulisi ulostulevan höyryn olla mahdollisimman matalapaineista ja viileää. Prosessiteollisuudessa ja kaukolämpövoimalaitoksissa ulostullevalle höyrylle on kuitenkin vaatimuksia loppukäytön suhteen, joten niissä ei saada niin suurta sähkötehoa tuotettua kuin lauhdevoimalaitoksissa. Lauhdevoimalaitokset ovatkin suunniteltu pelkästään sähköntuottoa varten. Turbiinissa voi olla eri tarkoituksiin soveltuvia väliottoja, joista saatavaa höyryä voidaan käyttää syöttöveden lämmitykseen tai muuhun prosessissa tarvittavaan kohteeseen. Väliottohöyry saadaan nimensä mukaan turbiinin sisäänmenon ja ulostulon välistä höyryn paisuessa haluttuun paineeseen. (Heinonen 2010.)

3.2 Palamisilma ja savukaasut

3.2.1 Palamisilma

Tulipesään johdetaan ilmaa polttoaineen palamiseen vaadittava määrä erilaisilla puhaltimilla. Palamisen tarvitseman ilman lisäksi tulipesään syötetään ylimääräistä ilmaa sen verran, että savukaasujen jäännöshappi palamisprosessin jälkeen on polttoaineesta riippuen 1-4 %. Jäännöshapen avulla ehkäistään tulipesäräjähdyttä, joka tarkoittaa polttoaineen kaasuuntumista johtuen suuresta lämpötilasta, mutta riittämättömästä hapen määrästä palamisreaktion tapahtumiseksi. Tulipesäräjähdyttä tapahtuu, kun kaasua sisältävään tulipesään syötetään ilmaa, ja se voi aiheuttaa vakavia henkilö- ja materiaalivahinkoja. (Huhtinen ym. 2000, 267.)

Yleensä ilmaa puhalletaan kattilaan kahdella puhaltimella; primääri- ja sekundääri-ilmapuhaltimella. Leijupetikattiloissa primääri-ilmalla leijutetaan hiekkapatjaa tulipesän pohjalla, ja sekundääri-ilmalla hallitaan palamisen tapahtumista tulipesän eri korkeuksilla. Sekundääri-ilman vaiheistuksista käytetään fyysisten korkeuserojen mukaan nimityksiä ala- ja yläsekundääri-ilma sekä tertiääri-ilma. Öljypolttimille ohjataan sekundääri-ilmasta oma ilmakanava, mutta öljykattiloissa voi olla myös poltinkohtaiset ilmapuhaltimet. (Huhtinen ym. 2000, 241.)

Puhaltimien säätötavat voi jakaa neljään yleisimpään tapaan. Näistä tavoista käyttökustannuksiltaan paras on pyörimisnopeussäätö, jossa puhaltimen siipipyörän nopeutta säädetään. Siipikulmasäädöllä päästään lähelle pyörimisnopeussäädön hyöty-

suhdetta, mutta se soveltuu ainoastaan aksiaalipuhaltimille. Kuristussäädössä puhaltimen jälkeiseen ilmanavaan asetetaan pelti, jolla säädetään läpimenevää ilmavirtaa. Se on halpa investointi ja sopii kaikille puhallintyypeille, mutta se on myös huono energiatehokkuudeltaan. Johtosiipisäätö on yleinen keskipakopuhaltimelle halvan investoinnin ja kuristussäätöä paremman hyötysuhteen ansiosta. Siinä imuaukossa kaasulle annetaan siipipyörän suuntainen pyörimisliike. (Huhtinen ym. 2000, 244–245.)

3.2.2 Savukaasut

Savukaasuilla tarkoitetaan palamisilman ja polttoaineesta haihtuvien aineiden sekä epäpuhtauksien yhdistelmää, jotka ohjataan tulipesästä kohti savupiippua. Suurimassa osassa kattiloita tulipesässä pyritään pitämään pientä alipainetta, jotta savukaasut eivät pääse vuotamaan kattilahuoneeseen. Savukaasupuhallin säätää tulipesästä imettävän ilman määrää ja pitää näin tulipesän alipaineisena. (Huhtinen ym. 2000, 269.)

Tulistimien jälkeen savukaasujen lämpötila voi olla vielä 600–800 °C, ja ne ohjautuvat kattilan takavetoon. Takavedon yläosassa lämmitetään syöttövettä ekonomaiserilla, joka voidaan jakaa toimintatavan mukaisesti kahteen eri tyyppiin; höyrystäviin ja höyrystämättömiin. Höyrystävän ekonomaiserin loppuvaiheessa veden lämpötila on kiehumispisteessä, ja osa syöttövedestä höyrystyy. Höyrystämättömässä ekonomaiserissa taas pyritään pitämään loppulämpötila noin 20 °C kiehumispisteen alapuolella kuormitusvaihtelujen estämiseksi. Ekonomaiserin lämmönsiirtimissä käytetään yleensä rivoitusta savukaasupuolella, koska ilman lämmönsiirto-ominaisuudet ovat huonommat kuin vedellä. Tällä ratkaisulla saadaan lämmönsiirtoalaa suuremmaksi ja lämmönsiirtoa tehokkaaksi. Paljon liikaavien polttoaineiden kanssa rivoitusta ei ole järkevää käyttää, sillä se kerää lian ympärilleen, ja näin lämmönsiirtokyky heikkenee entisestään. (Huhtinen ym. 2000, 195–196.)

Ekonomaiserin jälkeen takavedossa on ilmanesilämmitin eli luvo (Luftvormwärmer). Luvossa lämmitetään tulipesään syötettävä ilma palamisprosessin stabiilimman ja te-

hokkaamman toiminnan vuoksi. Savukaasujen lämpötilan täytyy kuitenkin olla savupiipussa yli happokastepisteen. Tällä tarkoitetaan lämpötilaa, jossa happoyhdisteet tiivistyvät nestemäiseen muotoon. Happokastepisteen alittamisen ollessa mahdollista rakennetaan luvoa edeltävään ilmakanavaan myös höyrykäyttöinen ilman esilämmitin, jotta savukaasujen loppulämpötilaa saadaan hallittua. Luvo voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan rekuperatiivisiin ja regeneratiivisiin esilämmittimiin. Rekuperatiivisessa esilämmittimessä lämmönsiirto tapahtuu suoraan lämmönsiirtopin- nan läpi, kun taas regeneratiivisessa esilämmittimessä kuuma ja kylmä virtaus koskettavat lämpöä varaavaa massaa vuorotellen. (Huhtinen ym. 2000, 196–197.)

Ilmansuojelulaki ja -asetukset tulivat voimaan 1982 ja niiden mukaan savukaasujen mukana tulevia epäpuhtauksia täytyy poistaa voimalaitoksen teholuokan ja käytetyn polttoaineen mukaisiin arvoihin. Kiinteitä epäpuhtauksia poistetaan sähkösuodattimella, dynaamisilla erottimilla, kangassuodattimella tai savukaasupesurilla. Yksinker- taistettuna sähkösuodattimen toiminta perustuu suuren jännitteen muodostamaan sähkökenttään, jossa hiukkaset erotetaan negatiivisilla ja positiivisilla varauksilla. Sähkösuodatin on käyttökustannuksiltaan edullinen ja se sopii suurille savukaasu- määrille. Dynaamisessa erottimessa savukaasu ohjataan pyörivään liikkeeseen, jol- loin painovoiman vaikutuksesta hiukkaset törmäävät erottimen seinään, ja valuvat poistoaukkoon. Kangassuodattimessa savukaasut ajautuvat kankaan läpi epäpuh- tauksien jäädessä kankaaseen kiinni. Savukaasupesurissa savukaasujen sekaan syöte- tään vettä, joka hajoaa pieniksi pisaroiksi ja rakeistuu pölyhiukkasten kanssa. Pisara- nerottimessa erotetaan savukaasuista veden ja pölyn seos. Savukaasupesurin on- gelma on suuret jätevesimäärät, jotka lisäävät veden puhdistamisen kustannuksia. Savukaasujen puhdistuksen jälkeen savukaasut ohjataan savupiippuun. Savupiipun tehtävänä on levittää savukaasut riittävän laajalle alueelle sekä synnyttää paine-ero tulipesän ja piipun yläosan välille. (Huhtinen ym. 2000, 251–255.)

3.3 Polttoaine

Höyrykattiloissa tarvittava energia veden höyrystämiseksi saadaan polttamalla kyseiselle kattilalle suunniteltua polttoaineita. Polttoaine reagoi tulipesässä suuressa lämpötilassa hapen kanssa muodostaen lämpöenergiaa. Polttoaineet voi jakaa kiinteisiin, nestemäisiin ja kaasumaisiin sekä uusiutuviin ja uusiutumattomiin.

Puupolttoaineet

Puupolttoaineet lukeutuvat kiinteisiin ja uusiutuviin polttoaineisiin. Ne ovat Suomen merkittävin energianlähde ja sen osuus koko energiantuotannosta on noin neljännes (Puu on merkittävin energialähde 2016). Tärkeimmät puupolttoaineet ovat metsähakkuiden ylijäämästä syntyvä metsähake, kannot, pelletit, brikitit ja teollisuuden ylijäämäpuu. Puupolttoaineiden sisältämä kosteus vaihtelee pelletin alle 10 %:sta kuoren yli 60 %:iin. Puuhun on sitoutunut hiiltä, joka vapautuu palaessa, mutta puun poltossa näitä hiiliyhdisteitä ei lasketa päästöiksi, sillä hiili pääsisi vapaaksi puun lahoamisessa tai metsäpalossa myös luonnossa. (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama & Korhonen 2016, 55–56.)

Turve

Turpeen luokittelu uusiutuvan ja uusiutumattoman energiamuodon välille on häilyvää, ja turvetta pidetäänkin hitaasti uusiutuvana polttoaineena. Turve on kiinteää ja riippuen korjuutavasta, se toimitetaan voimalaitoksille palaturpeena tai hienojakoisena jyrshinturpeena. Jyrshinturpeen sadonkorjuu tapahtuu kääntämällä ohut kerros turvetta kuivumaan aurinkoon. Kuivumisajan jälkeen turve tuodaan aumoihin ja suojataan muovilla odottamaan voimalaitoksille siirtymistä. Palaturve kaivetaan noin puolen metrin syvyydestä ja puristetaan haluttuun kokoon ja muotoon kuivumaan aurinkoon. Palaturve kootaan myös aumoihin suojan alle odottamaan jatkokäyttöä. Satokausia vuodessa tulee sademääristä riippuen 1-3. Suomessa on suopinta-alaa noin 9 miljoonaa hehtaaria, joista 0,06 miljoonaa hehtaaria on turvetuotannossa. Energiantuotannossa turpeen käyttötavoite on noin 20 TWh vuodessa ja 2010- luvulla onkin käytetty turvetta keskimäärin 14,4–26,3 TWh:a. Turve sisältää rikkiä (S) 0,1-0,2 %:a ja se aiheuttaa voimalaitoksissa rikkihapon (H_2SO_4) syntymisen vaaraa yhdistyessään vesihöyryn vedyn (H) ja hapen (O) kanssa. Savukaasujen loppulämpötilan

pitäminen tarpeeksi korkealla on turvetta käyttävillä laitoksilla erityisen tärkeää, että happokastepisteen alittumiselta vältytään. (Alakangas ym. 2016, 116–119.)

Öljy

Öljy on nestemäinen uusiutumaton polttoaine, joka voidaan luokitella tiheydensä perusteella raskaaseen ja kevyeen polttoöljyyn, sekä rikkipitoisuuden perusteella vähärikkiseen ja runsasrikkiseen. Öljy kehittyy miljoonien vuosien kuluessa muinaisten kasvien ja eliöiden hautauduttua sedimentin alle kuumuuteen ja paineeseen. Öljyn jalostus tapahtuu raakaöljystä tislaamalla kymmenien metrien korkuisissa kolonneissa kuumentamalla. Kuumuudessa bensiini ja sitä kevyemmät jakeet höyrystyvät ja poistuvat kolonnin yläosasta, kun taas raskaat öljyjakeet (raskas polttoöljy, bitumi ja pohjaöljy) poistuvat kolonnin alaosasta. Kolonnin sivu-ulosotoilta poistuu lauhtuneet kevytpolttoöljy sekä dieselöljy. (Alakangas ym. 2016, 180.)

Hiili

Kivahiili kehittyy satojen miljoonien vuosien kuluessa paineen ja lämpötilan vaikutuksesta ja se luokitellaan uusiutumattomaksi polttoaineeksi. Kivahiili koostuu osittain hajonneista orgaanisista aineista ja se muuttuu alussa turvesuoksi, joka vajoaa vuosien kuluessa maakerrosten alle. Hiilen laatuluokka määrittyy hiilen kehitysvaiheen kautta. Ensimmäisessä vaiheessa syntyy ruskohiiltä, joka on vielä melko pehmeää, mutta ajan myötä muuttuu kovemmaksi, kuivemmaksi ja lämpöarvoltaan paremmaksi. Hiilen seuraavat kehitysvaiheet ruskohiilen jälkeen ovat bituminen hiili ja lopulta antrasiitti. Hiili polttoaineena jaetaan yleensä ruskohiiliin ja kivihiihiin. Ruskohiiliin luokitellaan puolibituminen hiili ja ligniitti. Kivihiihiin kuuluvat bituminen hiili ja antrasiitti. Maailman hiilivarannot jakautuvat rusko- ja kivihiihen välillä suhteellisen tasaisesti puoliksi. Suomessa valtaosa voimalaitoksien käyttämästä hiilestä on bitumista hiiltä, joka tuodaan pääasiassa Venäjältä. Hiiltä käytetään Suomessa energiantuotannossa vuosittain 2,8–5,9 miljoonaa tonnia vuodessa, mutta hallituksen tavoitteena on luopua kivihiilestä kokonaan 2020-luvulla. (Alakangas ym. 2016, 169–171.)

Mustalipeä

Energiantuotannossa käytettävistä polttoaineista mustalipeää käytetään sellutehtaiden soodakattiloissa. Soodakattilan tärkein tehtävä on muuttaa mustalipeä uudelleen prosessiin kelpaavaksi viherlipeäksi. Mustalipeään on liennut sellutehtaan prosessissa orgaanisia aineita, jotka palaessaan tuottavat sellutehtaan tarvitseman lämpö- ja sähköenergian. Yleensä sähköä pystytään myymään myös tehtaan ulkopuolelle. (Alakangas ym. 2016, 109.)

Kaasumaiset polttoaineet

Kaasumaisia polttoaineita ovat esimerkiksi maa-, neste-, bio-, jalostamo-, koksamo- ja masuunikaasu. Öljyä polttavissa laitoksissa öljypolttimen sytytys tehdään yleensä käyttäen apuna herkästi syttyvää kaasua. Kaasuliekin palaessa öljy saadaan hajottamalla syttymään helpommin. (Alakangas ym. 2016, 186–189.)

Kierrätyspolttoaineet

Kierrätyspolttoaineita käytetään jätteenpolttolaitoksilla, joihin kerätään lähialueen yhdyskuntajätteet hävitettäväksi ja niistä saatavalla energialla tuotetaan kaukolämpöä ja sähköä. Teollisuusalueella yleensä polttokelpoinen jäte ja liete hävitetään alueen voimalaitoksella. (Alakangas ym. 2016, 148–149, 165.)

4 Höyryverkko

Integraattialueella toimijoiden höyryntarpeet vaihtelevat paljon tehtaiden hetkittäisen tuotantotilanteen, ulkoilman lämpötilan ja häiriöiden johdosta. Höyryverkko jakaantuu kahteen eri paineeseen, jotka ovat 11,5 barin välipainehöyry ja 3,5 barin matalapainehöyry.

4.1 Välipaine

Välipainehöyryn keskimääräinen kulutus aikavälillä 1.10.2015 - 1.10.2016 oli CP Kelcon osalta 5,7 kg/s ja Metsä Boardin 4,4 kg/s. Tulevaisuudessa Metsä Wood tulee ottamaan välipainehöyryä arvion mukaan 3 kg/s. Höyrynkulutuksesta on mittaushistoriassa mahdollista ottaa virtaus yhden tunnin keskiarvolla. 20.4.2016–20.4.2017 välisenä aikana välipaineen osalta suurimmat arvot CP Kelcolla oli 7,5 kg/s ja Metsä

Boardilla 4,5 kg/s. Tunnin keskiarvolla pystytään välttämään tehtaiden ylösajon ja tuotannossa tapahtuvien muutoksien tuomien suurien kulutuspiikkien vaikutus maksimikulutusta tarkkailtaessa. Suurimmillaan siis välipainehöyryn kulutus voi olla Metsä Woodin tuoma 3 kg:n/s lisäkuorma huomioon otettuna 15 kg/s.

Välipainehöyryn vaatimukset CP Kelcolla ovat 190 °C, 10,5 bar ja Metsä Boardilla sekä Metsä Woodilla 190 °C, 11 bar. Käytännössä paineen alituksia tapahtuu jatkuvasti kattilan kuorman muutoksissa ja putkistohäviöissä, mutta tehtaiden ajettavuuteen hetkittäinen paineen muutos ei vaikuta merkittävästi. Hetkellisesti CP Kelcon ja Metsä Boardin tuotannot kestävät välipaineen tippumisen 10 bariin. Tätä pienemmissä paineissa höyryssä alkaa esiintyä CP Kelcolla kosteutta, joka haittaa merkittävästi tuotantoa.

4.2 Matalapaine

Matalapaineista höyryä aikavälillä 1.10.2015 - 1.10.2016 kulutti keskimäärin CP Kelco 5,1 kg/s ja Metsä Board 8,5 kg/s. Metsä Wood ei tule kuluttamaan matalapainehöyryä tuotannossaan ollenkaan. Kaukolämmön kulutus vaihtelee ulkolämpötilan mukaisesti, mutta maksimissaan lämmönvaihtimille voi mennä 10 kg/s. Mittaushistorian mukaan 20.4.2016–20.4.2017 välisenä aikana matalapaineen osalta suurimmat arvot CP Kelcolla oli 9,5 kg/s, Metsä Boardilla 12,5 kg/s ja kaukolämmöllä 10 kg/s. Suurimmillaan siis matalapainehöyryn kulutus voi olla 32 kg/s.

Matalapainehöyryn vaatimukset CP Kelcolla ja kaukolämmöllä ovat 150 °C, 3,2 bar sekä Metsä Boardilla 165 °C, 3,5 bar. Kartonkitehtaan vaatimukseen ei leijupetikattilalla päästä suuren kuorman aikana, vaan turbiinin jälkeisen höyryn lämpötila on jo niin matala, että kartonkitehtaalle päästessään se voi olla alle 160 °C:ta. CP Kelcolla ja Metsä Boardilla matalapainelinjan paine voi tippua hetkellisesti noin 3 bariin tuotannon keskeytymättä.

4.3 Höyryverkon kapasiteetti

Äänevoiman höyryverkko rajoittuu fyysisesti öljykattiloiden vieressä oleviin venttiileihin, joilla voi erottaa Metsä Fibren tehtaan omaan höyryverkkoonsa. Näitä venttiilejä

kutsutaan tehtaalla HMP- väliventtiliksi ja HVP- väliventtiiliksi. Höyryverkojen paineen laskun nopeus on mahdollista selvittää, kun tiedetään putkien DN koko ja linjojen pituus. Näiden tietojen ja yhtälön 1 avulla lasketaan höyryverkon tilavuus.

$$V = \frac{\pi}{4} * d^2 * h \quad (1)$$

missä V = Tilavuus

d = halkaisija

h = pituus

Yhtälöllä 2 saadaan selvitettyä höyrylinjoissa olevan höyryn massa tilavuuden ja höyryn ominaistilavuuden avulla.

$$m = \frac{V}{v} \quad (2)$$

missä m = massa

V = tilavuus

v = ominaistilavuus

4.3.1 Matalapaine

Matalapainelinja jatkuu HMP-väliventtiililtä 240 metrin päässä olevalle höyrynjakotukille, josta höyrylinja jakautuu Metsä Boardille, CP Kelcolle ja kaukolämmölle. HMP-väliventtiililtä höyrynjakotukille menevä linja on DN900 putkea ja sen pituus 240 metriä. Höyrynjakotukilta haarautuvista linjoista Metsä Boardille menee 140 metriä DN500, CP Kelcolle 140 metriä DN600 ja kaukolämpöön 350 metrin pituinen DN500 linja. Yhtälön 1 mukaan matalapaineverkon kokonaistilavuudeksi saadaan siis noin 428 m³. Matalapainelinjan höyryn ollessa 3,5 barin paineessa ja 165 °C lämpötilassa on sen ominaistilavuus 0,43274 m³/kg. Jos häiriötilanteessa matalapainelinjan paine tippuu hetkellisesti 3 bariin ja lämpötila 160 °C:seen, on höyryn ominaistilavuus 0,482281 m³/kg. Normaali-tilanteessa on siis yhtälön 2 mukaan linjassa 989 kg höyryä, ja 3 barin ja 160 °C lämpötilassa 888 kg. Höyryä voi siis poistua 101 kg tehtaiden tuotannon häiriintymättä.

4.3.2 Välipaine

Välipainelinjassa ei ole jakotukkia, vaan höyryputki jatkuu suoraan Metsä Fibren erot-tavan venttiilin jälkeen CP Kelcolle haarautuen välissä Metsä Boardille. Vanhan pape-ritehtaan tiloihin tulevalle Metsä Woodille menee oma putki, joka haarautuu heti HVP- väliventtiilin jälkeen omaksi linjakseen. Metsä Boardille ja CP Kelcolle menevä linja on DN500 putkea 440 metrin matkalta ja Metsä Boardille menevä haara 140 metriä DN200 putkea. CP Kelcolle jatkuva linja on 110 metriä pitkä ja siinä on käy-tetty DN350 putkea. Vanhalle paperitehtaalle jatkuva Metsä Woodin linja on DN250 putkea ja sen kokonaispituus on 510 metriä. Yhtälön 1 mukaan välipaineverkon koko-naistilavuudeksi saadaan siis noin 325 m^3 . Välipainelinjassa höyry on noin 11,5 barin paineessa ja $200 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa. Höyryn ominaistilavuus on siinä tilassa $0,16178 \text{ m}^3/\text{kg}$, jolloin välipainelinjassa on yhtälön 2 mukaan 2009 kg höyryä. Jos välipainelin-jan paine tipahtaa 10 bariin ja $190 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilaan, on höyryn ominaistilavuus $0,180462 \text{ m}^3/\text{kg}$. Tässä tapauksessa linjassa on höyryä 1801 kg eli välipainelinjasta voi poistua höyryä 208 kg tehtaiden toiminnan häiriintymättä.

5 Käynnistyminen

5.1 S-40-kattila

S-40-kattila käynnistetään poltinkohtaisella sekvenssillä. Käynnistymisessä eniten ai-kaa vievä osuus on kattilan tuuletus, joka tehdään ensimmäisen polttimen käynnis-tyksen yhteydessä. Tuuletus poistaa kattilan tulipesästä palamattomat aineet puhal-tamalla valitun polttimen ilmapuhaltimella ilmaa kattilaan kahden minuutin ajan. Tä-män jälkeen poltin on turvallista sytyttää ilman pelkoa tulipesäräjähdyksestä. Kuvi-ossa 7 on esitelty S-40-kattilan polttimen 1 käynnistyssekvenssi. Kuviossa 8 on ku-vattu S-40-kattilan yläosassa sijaitsevat polttimet ja lieriö.



Kuvio 7. S-40-kattilan polttimen 1 sekvenssi

Kohta 1 ALOITUS antaa käskyn sekvenssille edetä. Kohta 2 AUTOMAATILLE asettaa ilmapuhaltimen, hajotushöyryn paineen, palamisilmapellin, poltinputken, multisyklonin kiertopuhaltimen ja sulkusyöttimet sekä öljypaineen, -määrän ja -lämpötilan automaatile. Kohta 3 PUHALLIN käynnistää P1:n ja multisyklonin puhaltimet sekä antaa poltinputkelle käskyn mennä sisään. Kohta 4 TUULETUS antaa käskyn tuuletussekvenssin käynnistymiselle, ellei puhallin P2 tai P3 ole päällä. Kohta 5 POLTTOILMA avaa palamisilmapellin ja laittaa P1-puhaltimen ilmasäädön automaatile sekä asettaa ilman ja öljyn sytytysasentoon. Kohta 6 SYTYTYSPOLTIN käynnistää sytytyspolttimen. Kohta 7 HAJOTUSHÖYRY avaa hajotus- ja puhallushöyryn pikasulkuventtiilit. Kohta 8 PSV avaa öljyn pikasulkuventtiilit sekä laittaa öljyn paluukierron sekä puhallushöyryn venttiilit kiinni. Tässä vaiheessa poltin on käynnistynyt. Kohta 9 VAPAUTUS ottaa öljyn ja ilman sytytysasennot pois. Kohta 10 SYTKÄ sulkee sytytyskaasun pikasulkuventtiilin ja sekvenssi jää tähän kohtaan polttimen ollessa päällä. Kohtaan 11 HÄIRIO sekvenssi etenee, jos liekinvirta ei tunnista polttimen olevan päällä. Tässä kohtaa pikasulkuventtiilit sulkeutuvat ja öljyn paluukiertoventtiili aukeaa. Kohta 12 LOPETUS siirtää sekvenssin takaisin kohtaan 1 ALOITUS, josta operaattorin täytyy käynnistää se uudestaan antamalla aloituskäsky.



Kuvio 8. S-40-kattilan polttimet ja lieriö



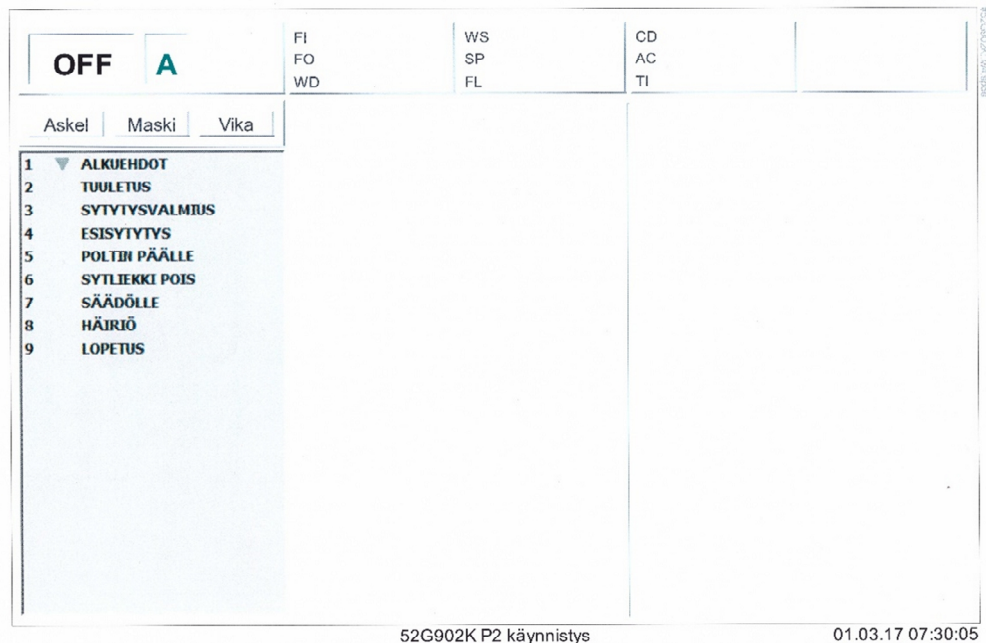
Kuvio 9. S-40-kattilan puhallin 1 tuuletussekvenssi

Poltinkohtainen tuuletussekvenssi (ks. kuvio 9) käynnistyy polttimen sekvenssin kautta. Jos polttimen sekvenssin kohta 4 TUULETUS ei tunnista puhaltimen P2 tai P3

olevan päällä, se antaa tuuletussekvenssille käskyn aloittaa tuuletus. Puhaltimen P2 tai P3 päällä olo tarkoittaa sitä, että toinen polttimista on päällä tai toisen polttimen sekvenssi on antanut tuuletukselle jo käskyn. On myös mahdollista, että tuuletus on jo tehty, mutta poltin ei ole syttynyt yrityksestä huolimatta. Tulipesä vaatii uuden tuuletuksen, jos edellisestä on kulunut 10 minuuttia eikä poltinta ole sytytetty tai poltin ei ole syttynyt kolmella yrityksellä. Kohta 1 ALOITUS laittaa puhaltimen ja ilmapellin automaatile. Kohta 2 TUULETUS käynnistää puhaltimen, avaa ilmapellin sekä laittaa ilmasäädön automaatile ja tuuletusasettoon. Kohtaan 3 PUHALLIN sekvenssi etenee, kun tuuletuksen vaatima kahden minuutin aika on kulunut. Silloin puhallin pysähtyy ja ilmapelti menee kiinni. Kohta 4 LOPETUS ottaa tuuletusasetuksen pois ja siirtää sekvenssin alkuun.

5.2 Högfors-kattila

Högforsin polttimen sytytys on pääpiirteittäin samanlainen kuin S-40 polttimen sytytys. Högforsilla ei ole poltinkohtaisia puhaltimia, joten tuuletus tapahtuu polttimen sekvenssin kautta.



Kuvio 10. Högfors-kattilan polttimen 2 sekvenssi

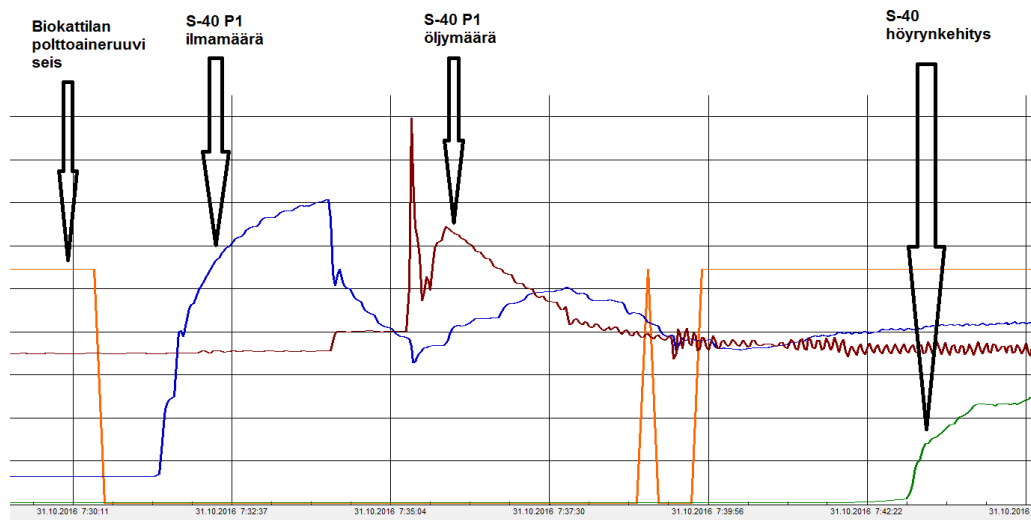
Kuviossa 10 on esitelty Högforsin polttimen 2 sytytyssekvenssi. Kohdassa 1 ALKUEHDOT laitetaan primääri- ja sekundääri-ilmapuhaltimet automaatile ja annetaan käynnistyshälytys. Kohdassa 2 TUULETUS käynnistyvät molemmat edellä mainitut puhaltimet ja kattila tuuletetaan. Kohdassa 3 SYTYTYSVALMIUS tehosäätö asetetaan sytytysvalmiuteen ja kohdan 4 ESISYTYTYS avaa sytytyskaasuventtiilin. Kohta 5 POLTIN PÄÄLLE avaa öljyn pikasulkuventtiilit. Kohta 6 SYTYTYSLIEKKI POIS sulkee sytytyskaasuventtiilin ja asettaa tehosäädön käynnistysasentoon. Kohdassa 7 SÄÄDÖLLE tehosäätö asetetaan R asentoon sekä öljyn- että kuormansäädöt automaatile. Sekvenssi jää tähän kohtaan polttimen ollessa käynnissä ja etenee kohtaan 8 HÄIRIÖ, jos liekinvartija ei tunnista polttimen liekkiä. Tämä sulkee öljyn pikasulkuventtiilit ja sekvenssi siirtyy kohtaan 9 LOPETUS, josta se siirtyy takaisin kohtaan 1 ALKUEHDOT.



Kuvio 11. Högfors-kattilan poltin 2

5.3 Häiriötilanne

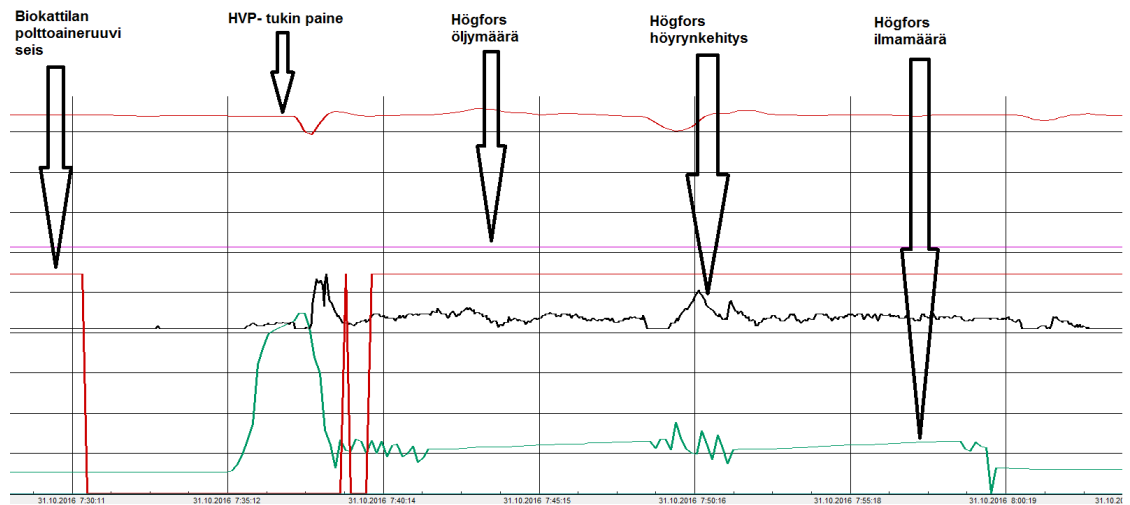
Biovoimalaitoksen instrumentti-ilman painemittauksessa tapahtui 31.10.2016 aamu-
vuoron aikana häiriö, jonka johdosta biokattilan polttoaineen syöttö keskeytyi. Instru-
mentti-ilma on paineilmaventtiileiden käyttämän ohjausilman nimitys. Instru-
mentti-ilman paineenmittaus on toteutettu kahdella eri paineanturilla, joiden mo-
lempien täytyy olla toiminnassa voimalaitoksen turvallisen käynnin takaamiseksi. Toi-
nen mittareista alkoi näyttää liian suurta lukemaa, mistä seurasi biokattilan TLJ-
laukaisu (turvallisuuteen liittyvä järjestelmä). Polttoaineen syöttö tulipesään pysähtyi
ja öljykattilat jouduttiin ottamaan käyttöön. Painemittauksen palattua takaisin toi-
minta-alueelle, saatiin biokattilan polttoaineen syöttö nopeasti käyntiin eikä öljykatti-
laiden kuormaa tarvinnut nostaa vastamaan biokattilan häiriötä edeltävää kuormaa.



Kuvio 12. S-40-kattilan käynnistys 31.10.2016

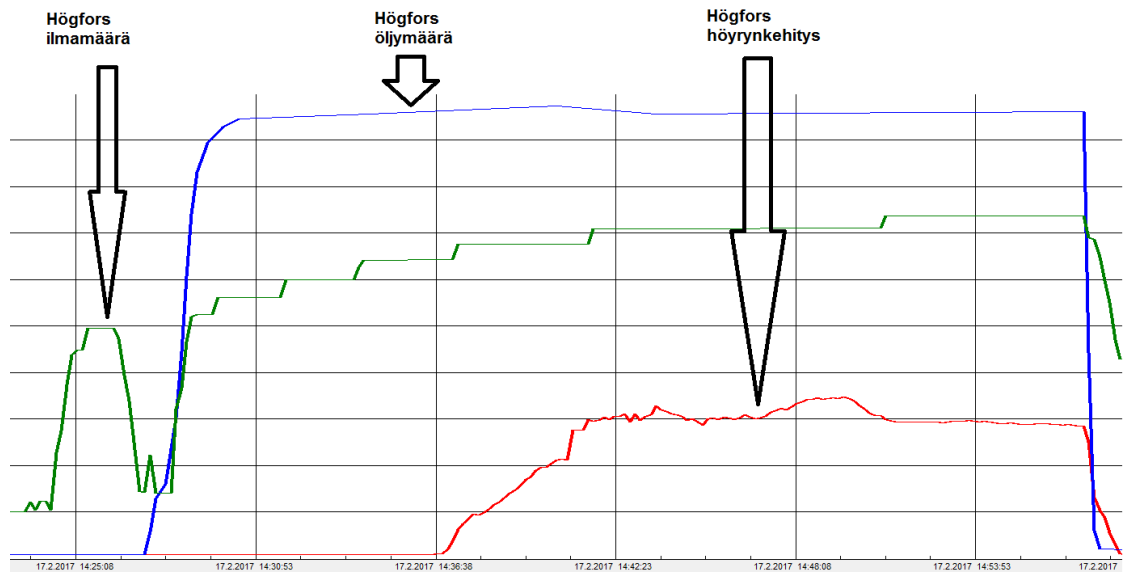
Kuviossa 12 näkyy biokattilan polttoaineruuvien pysähtyminen TLJ-laukaisusta klo 07:30:41. S-40-kattilan käynnistäminen on tapahtunut hieman ennen tuuletusta, joka ilmamäärästä päätellen alkoi klo 07:31:30. S-40-kattilan poltin 1 on käynnistynyt öljymäärän perusteella klo 07:35:18 ja höyrykehitys alkanut mittauksen mukaan klo 07:43:02. Päähöyryn virtausmittaus ei kuitenkaan näytä pienillä virtauksilla oikein, joten on oletettavaa, että höyry kehitys on alkanut aikaisemmin ja noussut kuormanmuutoskäyrän (ks. liite 1) mukaisesti. Klo 07:44:00 päähöyryn virtausmittaus on n. 10

kg/s, johon kuormanmuutoskäyrän perusteella päästään hieman alle yhdeksässä minuutissa.



Kuvio 13. Högfors-kattilan käynnistys 31.10.2016

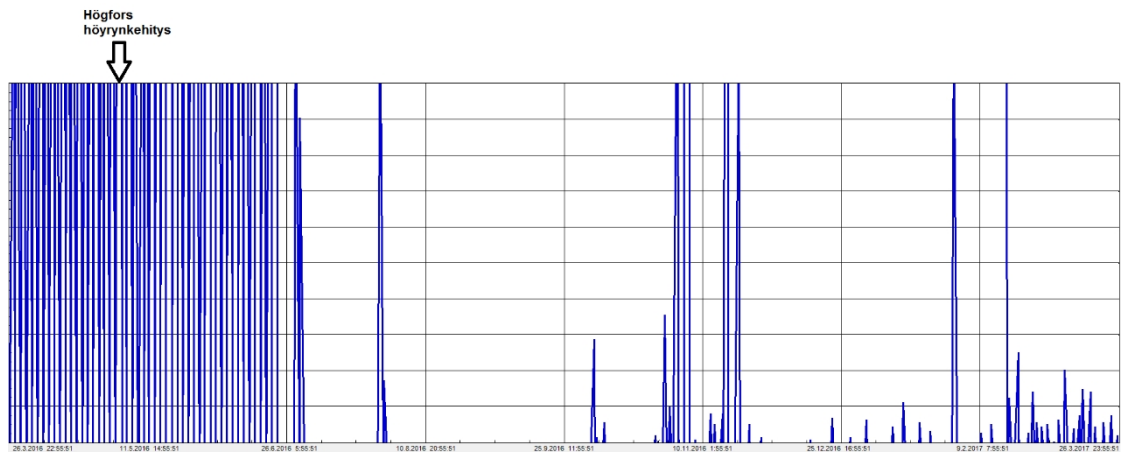
Kuviossa 13 näkyy Högfors-kattilan käynnistäminen instrumentti-ilman painemittaushäiriön jälkeen. Biokattilan polttoaineruuvien pysähtymisen jälkeen Högforsin tuuletus on aloitettu klo 07:35:22, mutta poltinta ei ole sytytetty. Öljyn virtausmittaus näkyy kuvion keskellä ja se on piirtänyt nollaa koko häiriön ajan. Högforsin päänhöyryn virtausmittaus on kuitenkin näyttänyt olevan suurimmillaan noin 0,2 kg/s. Tämä johtuu välipainehöyrylinjan paineen laskusta, jolloin Högforsin paine on ollut suurempi kuin välipainehöyrylinjan. Välipainehöyrylinjan paineen mittaus on otettu biokattilan välipainehöyrytukista (HVP- tukin paine).



Kuvio 14. Högfors-kattilan käynnistys 17.2.2017

17.2.2017 koko Äänekosken teollisuusintegraatti jouduttiin ajamaan alas Äänevoiman muuntajan vikatilanteen takia. Raakavesipumput pysähtyivät sähkökatkon johdosta ja tehtailta loppui raakaveden saaminen. Raakavesi on välttämätöntä tuotannon kannalta. Höyryverkkojen paine laski niin alas, että öljykattiloiden käynnistäminen ei onnistunut hajotushöyryä käyttämällä. S-40-kattilassa on yhdessä polttimessa mahdollisuus käyttää paineilmaa öljyn hajottamiseen, joten tehtaan höyryverkon paineistus piti aloittaa sillä. Högfors-kattilan öljyputkien sähköisissä saattolämmityksissä havaittiin ongelmia, jotka ilmenivät polttimien syttymättömyytenä, koska öljy oli liian jähmeää. S-40-kattilan nostettua höyryverkon painetta tarpeeksi suureksi, voitiin Högfors-kattila käynnistää höyrykäyttöisen öljynlämmityksen avulla. Kuviossa 14 Högforsin tuuletus on alkanut klo 14:24:20 ja öljy on sytytetty klo 14:27:25. Höyrykehitys on trendin mukaan alkanut näyttämään klo 14:37:00 ja n. 2,5 kg:n/s höyrykehitykseen on päästy klo 14:41:30.

Trendiseurannalla pystytään katsomaan vuoden ajalta historiatietoja mittausten positioiden avulla. Högforsin höyryvirtausmittauksessa on ollut vika, joka on korjattu 27.6.2016. Tätä edeltävänä aikana Högfors on ollut käynnissä biokattilan seisokin ajan toukokuussa 2016, mutta kerätty tieto ei ole luotettavaa, koska virtausmittauksessa oli vikaa (ks. kuvio 15).



Kuvio 15. Högfors-kattilan höryrkehitys 1 vuosi

Kuviossa 15 näkyy Högforsin höryvirtausmittaus aikavälillä 26.3.2016-26.3.2017. Trendin alussa näkyy virtausmittauksen häiriö ja sen jälkeen suurin höryrkehitys on ollut edellä mainittu 17.2.2017.

5.4 Höryakku

Kylmän höryakun ylösajo tapahtuu täyttämällä säiliö alarajalle asti vähintään 20-celsiusasteisella vedellä. Tämän jälkeen akkuun johdetaan välipainelinjasta 11,5 barin höyryä pohjan kautta, jolloin se lauhtuu vedessä lämmittäen samalla säiliössä jo olevaa vettä sekä akun rakenteita. Samalla tarkkaillaan, että lämpötilaerot säiliön ylä- ja alaosassa ei pääse nousemaan yli 10 °C:n. Täytön aikana tulee myös päästää säiliön päältä ilmaa pois ja vedenpinnan noustessa ylärajalle, pintaa tulee vajauttaa laskeamalla vettä pois säiliön pohjasta.

Höryakun vesipintaa pyritään pitämään 85 % säiliön tilavuudesta. Säiliön tilavuuden ollessa 250 m³, tarkoittaa 85 % tästä 212,5 m³. Loput 15 % säiliöstä eli 37,5 m³ on samassa paineessa olevaa höyryä. Normaalitilanteessa säiliössä on 9,5 bar ylipainetta ja säiliössä oleva höyry ja vesi ovat molemmat kylläisessä pisteessä. Kylläisen pisteen lämpötila kyseisessä paineessa on 182,076 °C:ta. Höryyn ominaistilavuus on 0,185281 m³/kg, jolloin höryyn massa saadaan ratkaistua yhtälöllä 2. Yhtälöllä 2 saadaan myös selville säiliössä olevan veden massa ominaistilavuuden 0,00113022 m³/kg avulla.

Säiliössä olevan höyryn massaksi saadaan siis 202,40 kg ja veden massa n. 188 016,50 kg. Höyryn entalpia kylläisenä 9,5 barin ylipaineessa on 2779 kJ/kg ja veden 772,35 kJ/kg. Entalpien ja massan ollessa tiedossa saadaan yhtälön 3 avulla tietää säiliössä oleva lämpöenergiämäärä.

$$Q = h * m \quad (3)$$

missä Q = lämpöenergia

h = entalpia

m = massa

Näin ollen säiliössä olevan veden ja höyryn yhteenlaskettu lämpöenergiämäärä on 145 777 013,375 kJ. Wattitunneiksi muutettuna tämä on 40,49 MWh.

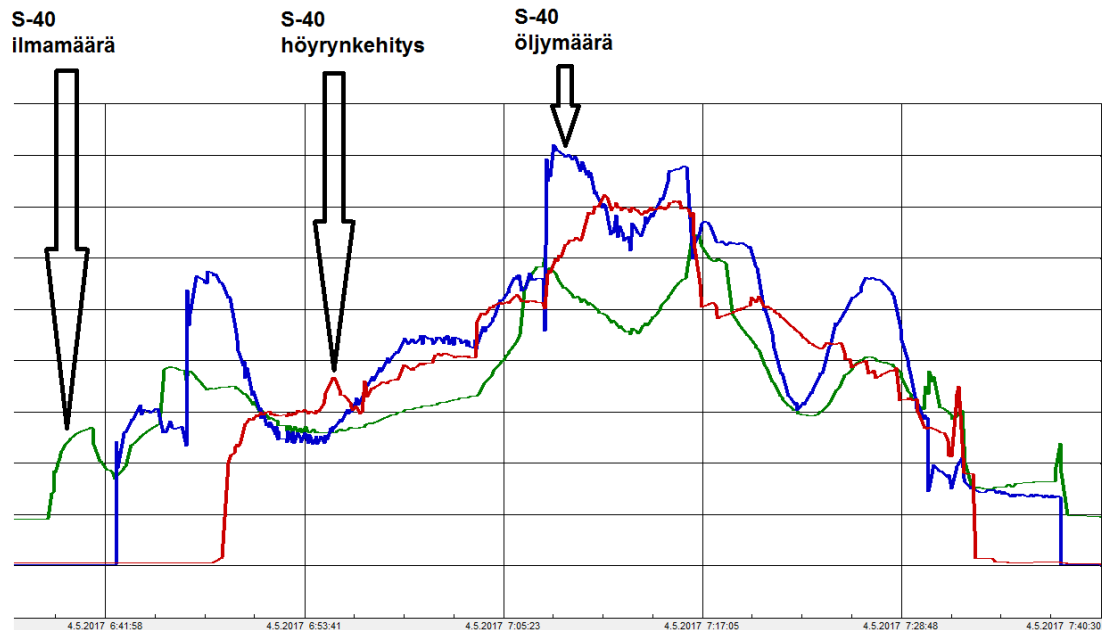
Höyryakun varauksen purkaminen tapahtuu syöttämällä höyryä 3,5 barin matalapainelinjaan. Suurin mahdollinen purkausmäärä on 15 kg/s ja akku lopettaa purkamisen paineen laskiessa 3,6 bariin sekä vesipinnan ollessa 50 %. Tämä tarkoittaa, että normaalitilanteessa purkausenergiaa on käytettävissä siihen asti, kunnes akussa on 125 m³ vettä ja 125 m³ höyryä 3,6 barin ylipaineessa. Veden entalpia on silloin 627,19 kJ/kg ja ominaistilavuus 0,00108921 m³/kg. Höyryllä vastaavat ominaisuudet ovat 2744,5 kJ/kg ja 0,404329 m³/kg. Yhtälön 2 perusteella säiliössä olevan veden massa on 114 762,08 kg ja höyryn 309,15 kg. Yhtälöllä 3 saadaan säiliössä oleva lämpöenergiämäärä purkauksen jälkeen, joka on 72 826 091,13 kJ eli 20,23 MWh.

Höyryakusta purkautuu siis yhteensä 20,26 MWh varastoitunutta lämpöenergiaa. Purkautuessaan reduktion läpi höyryn entalpia säilyy samana paineen pudotessa ja lämpötilan noustessa. Keskimääräinen entalpia purun aikana on noin 2760 kJ/kg, jolloin 15 kg:n/s purkunopeudella kapasiteetti riittää hieman yli 29 minuutin ajan.

6 Testaus

Äänevoiman leijupetikattilan vuosihuolto aloitettiin 4.5.2017, jolloin öljykattiloilla voitiin tehdä koekäytöt. Testi aloitettiin ajamalla S-40-kattila mahdollisimman nopeasti maksimikuormaan. Leijupetikattilaa ei haluttu ajaa alas, ennen kuin öljykattilat

olivat luotettavasti käynnissä, jotta tehtaiden tuotannossa ei tapahtuisi häiriöitä. Kyseisenä ajankohtana höyryvirtaus tehtaille oli pientä, joten jouduttiin käyttämään apulauhduttajaa höyryn kuluttajana. Leijupetikattilalla pidettiin myös turbiini päällä testin ajan, sillä reduktioventtiilin ajettavuus oli heikkoa, joten höyrynkehitystä ei saatu yhtä matalalle kuin ilman turbiinia. Näiden asioiden yhteissummana S-40-kattilan käynnistymisnopeus ei vastannut todellista häiriötilannetta.

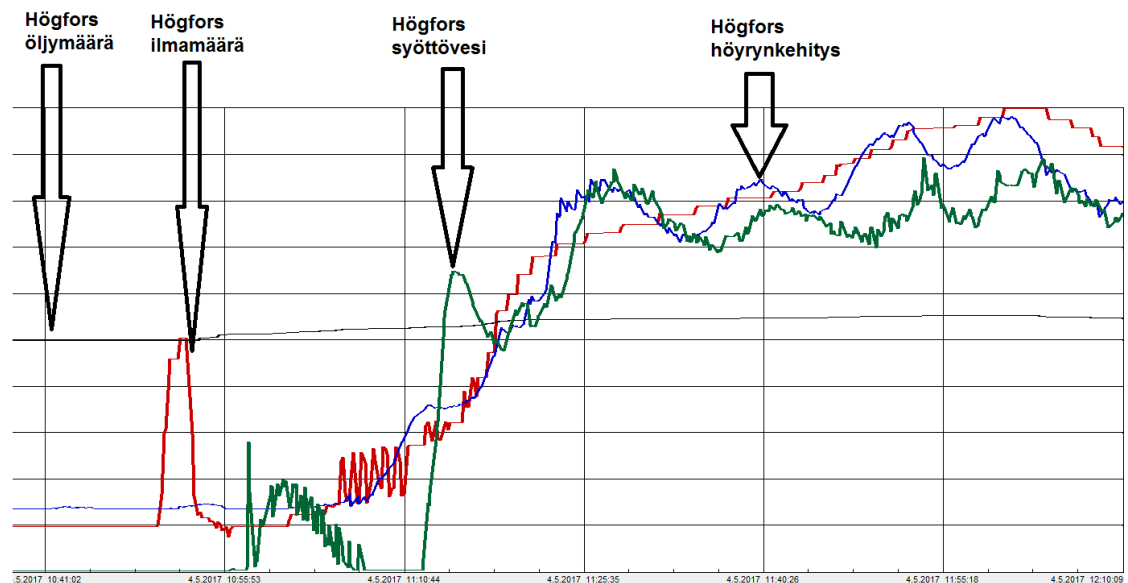


Kuvio 16. S-40-kattilan koekäyttö

Kuviossa 16 on esitelty S-40-kattilan käynnistys koekäytössä. S-40-kattilan tuuletus on alkanut historiatietojen mukaan klo 06:38:35 ja öljypoltin on syttynyt klo 06:42:36. Höyryn virtausmittaus on alkanut näyttämään virtausta 9 kg/s klo 06:50:10, mutta tämän jälkeen höyrynkehitys on noussut hyvin hitaasti, koska molempien höyrylinjojen paineen suuruudesta kulutuksen ollessa vähäistä. Öljyn virtauksesta on pääteltävissä, että kuormaa ei ole pystytty nostamaan tasaisesti, vaan se on noussut askelittain höyrylinjojen paineen laskiessa. Höyrynkehityksessä näkyy apulauhduttimen venttiilin aukaisu äkillisinä heilahteluina. Testin suurimpaan höyrynkehitykseen, 23,5 kg:n/s, päästiin klo 07:11:21, jolloin höyryä ei saatu enää virtaamaan mihinkään. Tähän olisi kuormanmuutoskäyrän mukaan pitänyt päästä jo noin 13,5 minuutin ku-

luttua öljypolttimen syttymisestä. Tässä vaiheessa höyryä olisi pitänyt ajaa käynnistyshöyryventtiilin kautta ulos, mutta testin todettiin olevan jo epäonnistunut nousunopeuden suhteen, joten kuormaa päätettiin alkaa pienentämään.

Myöhemmin, tehtaiden kulutuksen lisääntyessä, päätettiin S-40-kattilan maksimituottoa kokeilla leijupetikattilan ollessa jo sammunut. Valvomokeskusteluissa jo aiemmin ilmi tullut maksimituoton aleneminen haluttiin selvittää tarkemmin. Kattilan valmistuessa vuonna 1996 se on nimensä mukaan tuottanut 40 kg/s höyryä, mutta nyt, 21 vuotta myöhemmin, maksimituotto on enää noin 30 kg/s.



Kuvio 17. Högfors-kattilan koekäyttö

Kuvion 17 mukaan Högforsin tuuletus on alkanut klo 10:50:30 ja öljypoltin on syttynyt klo 10:53:43. Höyryvirtaus on alkanut näyttämään klo 11:08:16 noin 0,5 kg/s ja noussut 2 kg/aan/s klo 11:11:23. Noin 7 kg:n/s virtaukseen on päästy klo 11:23:40, jonka tuntumassa kuorma pysyi parinkymmenen minuutin ajan. Suurimmillaan höyrynkehitys on ollut 8,8 kg/s öljyn säätöventtileiden ollessa täysin auki. Suurella kuormalla ajaessa kuitenkin syöttöveden virtaus kattilaan on ollut noin 5 kg/s suurempi kuin höyrynkehitys. Tästä pääteltiin yhdessä operaattoreiden kanssa todellisen maksimituoton olevan noin 12–13 kg/s, kun on vähennetty ulospuhalluksen kautta poistuva höyry.

7 Tulokset

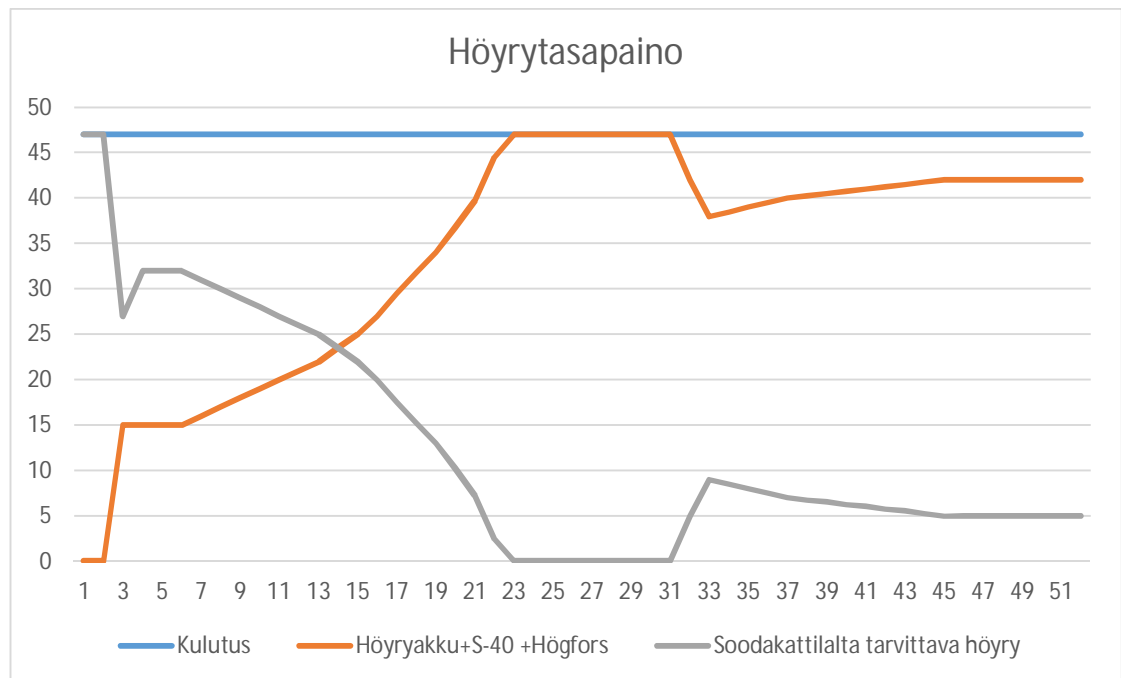
Kuvitteellisen häiriön tapahtuessa pahimmalla mahdollisella hetkellä, eli suurimmalla kuormalla, on tehtaiden ja kaukolämmön yhteishöyrymäärä 47 kg/s. Höyryakku alkaa purkaa varaustaan matalapainelinjaan, jolloin höyryntarve vähenee matalapaineen puolelta 15 kg/s. Biotuotetehtaan soodakattilalta tarvitaan siis tässä vaiheessa välipainehöyryä 15 kg/s ja matalapaineista 17 kg/s.

Matalapainelinjan salliman paineen alenemisen johdosta linjasta voi poistua höyryä 101 kg tehtaiden siitä kärsimättä, mutta tämä apu on ennen höyryakun purkua kestoltaan vain noin kolme sekuntia ja höyryakun purkaessakin vain viisi sekuntia. Välipainelinjasta voi poistua 208 kg höyryä ja tämä apu riittää noin 14 sekunnin ajaksi. Jos linjan paineen lasku jakaantuu minuutin ajalle, voi häiriötilanteessa ensimmäisen minuutin aikana soodakattilalta tuleva höyrymäärä olla matalapaineessa 1,5 kg/s ja välipaineessa 3,5 kg/s pienempi.

S-40-kattilan testauksen aikana kuormaa ei onnistuttu nostamaan realistisesti, mutta edellisten käynnistysten perusteella kuorma on noussut suhteellisen lähellä kuormanmuutoskäyrän mukaisesti. S-40:n maksimituotto on kuitenkin nykyisin 30 kg/s, joten on oletettavaa, että kattilan likaantumisen johdosta siihen ei päästä kuormanmuutoskäyrän mukaan. Kuormanmuutoskäyrä suhteutettuna nykyiseen maksimituottoon on todennäköisesti lähimpänä totuutta.

Öljykattiloiden käynnistämisen alussa ensimmäiset minuutit menevät molemmissa kattiloissa tuuletukseen ja sytytykseen. Kun häiriöhetkestä on kulunut viisi minuuttia, tuottaa S-40 höyryä 1 kg/s, jota voidaan ajaa joko matala- tai välipainehöyrylinjaan. S-40:n kuormannousunopeus on noin 1 kg/s minuutissa öljypolttimen syttymisestä seitsemään minuuttiin asti, jolloin höyrykehitys on 7 kg/s. Tämän jälkeen kuormanmuutosnopeus on hieman suurempaa ja häiriöhetkestä 15 minuutin kuluttua, öljykattiloiden oltua päällä 11 minuuttia, on S-40:n höyrykehitys 14 kg/s. 15 minuutin kohdalla myös Högforsin höyrykehitys on alkanut ja se on noin 0,5 kg/s, jolloin soodakattilalta tarvittava höyrymäärä on enää 17,5 kg/s. 21 minuuttia häiriöstä on S-40:n tuotto 30 kg/s ja Högforsin 2 kg/s. Tässä vaiheessa S-40 on maksimikuormaan ja höyryakussa on vielä purkukapasiteettia jäljellä, joten yhteistuotanto on 47

kg/s, joka riittää tehtaille. Höryyakun purkua voidaan tässä vaiheessa rajoittaa Högforsin kuormannousun mukaan. 30 minuuttia häiriöstä höryyakun purkukapasiteettia voidaan käyttää enää 4,5 kg/s ja soodakattilalta tarvitaan taas 5 kg/s höyryä. 31 minuutin kohdalla höryyakun purkuventtiili ajaa itsensä kiinni ja öljykattiloiden yhteistuotto on 38 kg/s, joten soodakattilalta tarvitaan 9 kg/s höyryä. 43 minuuttia käynnistymisen jälkeen Högfors on maksimituotossaan, jolloin tilanne stabiloituu öljykattiloiden tuottaessa 42 kg/s ja soodakattilan tuottaessa 5 kg/s.



Kuvio 18. Hörytasapaino

Kuviossa 18 näkyy normaalitilanteesta alkava höyryntarve soodakattilalta öljykattiloiden käynnistymisen aikana. Liitteessä 2 on kuvattu tarkemmin käyrien arvot. Piikitetyt kuviossa selittyvät höyrylinjojen paineen laskulla ja höryyakun purkamisella.

8 Johtopäätökset

Maksimituoton testauksessa todettiin, että öljykattiloiden yhteenlaskettu tuotto ei riitä suurimman höyrynkulutuksen aikana. Suurimmillaan kattiloilla voidaan tuottaa noin 42 kg/s höyryä, joka on 5 kg/s vähemmän kuin kuluttajien maksimitarve. Tämä tilanne on siis talvella ulkoilman lämpötilan ollessa alimmillaan, joten suurimman

osan vuodesta öljykattilat pystyvät tuottamaan kuluttajien tarvitseman höyryn. Äänecosken kaupungilla on omia lämpölaitoksia kytketty samaan kaukolämpöverkkoon, joita käyttämällä pystytään vähentämään Äänevoiman kaukolämmönvaihtimille menevää höyryvirtausta. Näitä lämpölaitoksia käyttämällä pystytään takamaan myös tehtaiden toiminta öljykattiloiden tuottaessa höyryä.

Testauksessa tuli myös ilmi konkreettisesti käynnistymiseen liittyviä häiriötekijöitä. S-40 sammutettiin kertaalleen testauksen jälkeen, koska leijupetikattilan polttoainesiihot haluttiin tyhjentää nopeammin. Kun S-40 käynnistettiin uudelleen, sen sytytyskaasupullo tyhjeni ja päälle saatiin vain yksi poltin. Sytytyskaasun paineen mittauksessa oli aiemmin todettu ongelmia ja tämän takia ei heti ymmärretty kaasupullon olevan tyhjä. Häiriötilanteessa on operaattorilla kiire eikä kaikkea pystytä miettimään yhtä tehokkaasti, kuin testaustilanteessa, jolloin miehitystä on myös laitoksella enemmän. Högforsin käynnistyksessä tuhkaruuvi pysähtyi useaan kertaan ja siellä epäiltiin olevan rautaa välissä. Tuhkaruuvi jäi kuitenkin lopulta päälle, mutta jos se ei olisi jäänyt päälle, olisi kattila jouduttu ajamaan alas ja tutkimaan asiaa tarkemmin. Vastaavanlaisia mahdollisia käynnistymiseen liittyviä ongelmakohtia on useita ja niihin ennalta varautuminen on haastavaa.

Soodakattilan häiriön laajuudesta ja Metsä Fibren sen hetkisen kulutuksen tilanteesta riippuen voi toisille tehtaille olla tarjolla höyryä öljykattiloiden käynnistymisen ajaksi. Jos soodakattilan tuottamasta höyrystä kaikki menevät kulutuskohteisiin, on todennäköistä, että Metsä Fibren pääasiallinen tavoite häiriötilanteesta on turvata oman tuotannon hallittu alasajaminen. Tässä tapauksessa öljykattiloiden käynnistymisaika on auttamatta liian pitkä. Jos taas Metsä Fibren oma kulutus on niin pientä, että höyryä ajetaan runsaasti lauhdeturbiiniin tai apulauhduuttimeen, öljykattiloiden käynnistymisnopeuden tulisi riittää.

Soodakattilan häiriön laadusta riippuen kattilan höyryntuotto voi laskea hiljalleen tai nopeasti. Lipeän syötön keskeytyessä on mahdollista polttaa pikiöljyä, ja näin saadaan höyryä tehtyä vähintään öljykattiloiden käynnistymisen ajan. Jos soodakattilan ongelma on suurempi ja esimerkiksi TLJ-laukaisun kautta joudutaan kattila ajamaan alas, on höyrynsaanti muille tehtaille jo runsaasti haastavampaa.

Öljykattiloiden käynnistymisessä alussa noin neljä minuuttia aikaa vievä osuus on polttimen sytytys. Tuon neljän minuutin aikana höyryntarve on suurimmillaan soodakattilalta, eikä tehtaita ole välttämättä ehditty vielä varoittamaan mahdollisista tuotannon häiriöistä. S-40-kattilalla poltinta sytyttäessä tuuletus tapahtuu pelkästään kyseisen polttimen ilmapuhaltimella, vaikka puhaltimia olisi käytettävissä kolme. Tuuletuksen suositeltu määrä on kierrättää 2,5 kertaa tulipesän tilavuuden verran ilmaa tulipesän läpi. Tällä hetkellä yhden puhaltimen tuuletusaika on kaksi minuuttia, joten kolme puhallinta käyttämällä sama ilmamäärä saataisiin tulipesään 40 sekunnin aikana. Kolmen puhaltimen käydessä kuitenkin tulipesän paine kasvaa ja huoneen, josta ilma imetään, paine laskee, joten varmuuden vuoksi saman ilmamäärän saamiseksi tuuletusajan voisi nostaa yhteen minuuttiin. Tämä ratkaisu lyhentäisi S-40:n käynnistymisaikaa suurimman höyryntarpeen aikana minuutilla, joka voi olla hyvinkin kriittinen aika, jos soodakattilalla ei ole ylimääräistä höyryä tarpeeksi.

Yksi vaihtoehto käynnistymisajan pienentämiselle voisi olla sen poistaminen kokonaan. Tämä tarkoittaisi vähintään toisen kattilan jatkuvaa käyntiä, jolloin yhdessä polttimessa olisi minimikuorman mukainen öljyvirtaus. Högforsin minimikuorma on noin 2 kg:n/s luokkaa, mutta sen kuormanmuutosnopeus ja maksimikuorma ovat pienempiä kuin S-40:n. Lisäksi Högfors on jo 45 vuotta vanha laitos, joten sen luotettavuuskaan ei ole yhtä suuri kuin S-40:n. S-40-kattilan minimikuorma on 2,7 kg/s, mutta edellä mainittujen syiden kannalta se olisi järkevämpää pitää minimikuormassa, jos sellainen päätös tehtäisiin.

Jatkuva öljyn polttaminen on kuitenkin kallista, eikä se myöskään ole ympäristöystävällistä, joten sellaisenaan minimikuormalla ajaminen ei ole järkevää. Jos toiseen kattilaan rakennettaisiin uusi poltin, jolla pystytään ajamaan huomattavasti pienempää kuormaa, olisi ratkaisu järkevämpää. Polttoaineena voisi olla myös tulevilla biotuotetehtaalla käytettävä pikiöljy, joka sopisi tehdasalueen imagoon. Tämä tosin vaatisi erilliset varastointi ja lämmitysjärjestelmät, mutta käynnistämisenopeus paranisi huomattavasti öljypoltinten ollessa heti käynnistettävissä.

9 Pohdinta

Ajatuksia kokonaisuudesta

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää soodakattilalta tarvittava höryvirtaus öljykattiloiden käynnistymisen ajan. Tämä tavoite saavutettiin ja lopputuloksena tulikin kuvaaja, josta näkee hetkittäiset höyryntarpeet. Kuvaaja tehtiin suhteuttamalla kuormanmuutoskäyrän ja koekäytön aikainen toiminta keskenään. Raportista saatiin johdonmukainen teollisuusintegraatin esittelyn ja höyrykattilan toimintaperiaatteen kautta itse työhön.

Luotettavuuden arviointi

Häiriötä vastaavasta tilanteesta ei saatu riittävän hyvää vertailukohtaa käynnistymisnopeuksille, vaan tuloksia jouduttiin osittain arvioimaan. Vanhoista mittaushistorian tiedoista ei löytynyt riittävän suuriksi nousevia höyryvirtauksia, ja koekäytön aikainen kuormannousunopeus oli hidas. Koekäytön suunnitteluun olisi tullut käyttää enemmän aikaa, jotta S-40:n kuormaa olisi saatu nostettua lähemmäs maksimia. Luotettavuus kärsi hieman näistä häiriötekijöistä, mutta uskoisin saatujen tulosten olevan lähellä todellista tilannetta.

Jatkotutkimus

Etenkin öljykattiloiden laskeneeseen maksimituottoon tulisi kiinnittää huomiota jatkossa. S-40-kattilan 25 %:n tehon aleneminen tuskin on pelkästään kattilan likaantumisesta johtuvaa. S-40-kattilan öljyn syöttöön ja lämmönsiirtoon tulisi kiinnittää huomiota seuraavan huoltoseisokin aikana. Högforsin tehon aleneminen on osittain ymmärrettävissä tulpatuilla kattilaputkilla. Lisäksi molempien öljykattiloiden höyry- ja vesimittaukset tulisi kalibroida, jotta tulokset olisivat luotettavia. Myös molempien kattiloiden pitkän tähtäimen suunnitelma olisi hyvä tehdä kattiloiden ikääntyessä, mutta niiden ollessa vielä olennainen osa teollisuusintegraatin höyryntuottoa. Tässä olisi lähes kokonaisen opinnäytetyön verran selvitettäviä asioita maksimituoton ja pitkän tähtäimen suunnitelman parissa.

Lähteet

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT:n julkaisu. Viitattu 4.4.2017. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>

CP Kelco – Our history of innovation. N.d. Artikkelel CP Kelcon sivuilla. Viitattu 12.4.2017. <https://www.cpkelco.com/about-cp-kelco/our-history/>

Heinonen, M. 2010. 2000-luvun höyryturbiinit. Kandidaatin työ. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, LUT energia. Viitattu 6.4.2017. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69180/nbnfi-fe201103301396.pdf?sequence=3>

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Opetushallitus. Helsinki: Edita.

Högfors-kattila. 1972. Käyttöohjekirja. Högfors.

Höyryakku. 2001. Käyttöohjekirja. Höyrytys Oy.

Leijupetikattila. 2002. Käyttöohjekirja. Foster Wheeler Energia Oy.

Metsä Board - facts and figures. N.d. Artikkelel Metsä Groupin sivuilla. Viitattu 11.4.2017. <http://www.metsaboard.com/About-Us/Pages/default.aspx#Facts-and-figures>

Metsä Board - Äänekoski board mill. N.d. Artikkelel Metsä Boardin sivuilla. Viitattu 11.4.2017. <http://www.metsaboard.com/About-Us/Aanekoski-board-mill/Pages/default.aspx>

Metsä Group - liiketoiminta-alueet. N.d. Artikkelel Metsä Groupin sivuilla. Viitattu 11.4.2017. <http://www.metsagroup.com/fi/liiketoiminta-alueet/Pages/default.aspx>

Metsähakkeen käyttö supistui. 2016. Artikkelel Luonnonvarakeskuksen sivuilla. Viitattu 2.4.2017. <https://www.luke.fi/uutiset/metsahakkeen-kaytto-supistui-2015/>

Metsä Wood lyhyesti. N.d. Artikkelel Metsä Woodin sivuilla. Viitattu 12.4.2017. <http://www.metsawood.com/fi/yritys/Pages/Yritys.aspx>

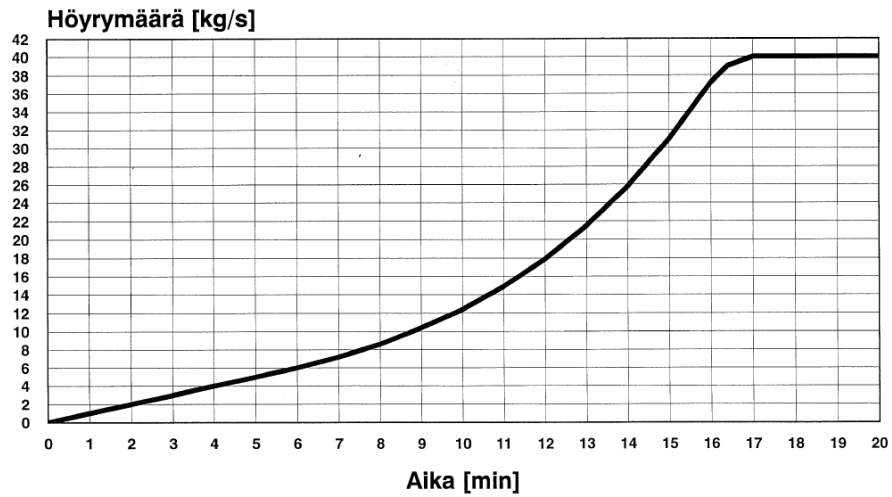
S-40-öljykattila. 1995. Käyttöohjekirja. Oy Steamservice Ab

Uudet biotuotteet. N.d. Artikkelin Metsä Fibren biotuotetehtaan sivuilla. Viitattu
11.4.2017. <http://biotuotetehdas.fi/biotuotteet>

Liitteet

Liite 1. S-40-kattilan kuormanmuutoskäyrä

METSÄ-SELLU OY, ÄÄNEKOSKI
Kattilan S40 kuormanmuutoskäyrä



10.9.1996 J. Koskinen

Liite 2. Höyrytasapaino

Aika	VP	MP	Kulutus	Linjojen paineen lasku	Högfors	S-40	Höyryakku	Höyryakku+S-40 +Högfors	Soodakattilalta tarvittava höyry
lähtötilanne	15	32	47	0	0	0	0	0	47
häiriö/käynnistys	15	32	47	0	0	0	0	0	47
1. minuutti	15	32	47	5	0	0	15	15	27
2. minuutti	15	32	47	0	0	0	15	15	32
3. minuutti	15	32	47	0	0	0	15	15	32
4. minuutti	15	32	47	0	0	0	15	15	32
5. minuutti	15	32	47	0	0	1	15	16	31
6. minuutti	15	32	47	0	0	2	15	17	30
7. minuutti	15	32	47	0	0	3	15	18	29
8. minuutti	15	32	47	0	0	4	15	19	28
9. minuutti	15	32	47	0	0	5	15	20	27
10. minuutti	15	32	47	0	0	6	15	21	26
11. minuutti	15	32	47	0	0	7	15	22	25
12. minuutti	15	32	47	0	0	8,5	15	23,5	23,5
13. minuutti	15	32	47	0	0	10	15	25	22
14. minuutti	15	32	47	0	0	12	15	27	20
15. minuutti	15	32	47	0	0,5	14	15	29,5	17,5
16. minuutti	15	32	47	0	0,75	16	15	31,75	15,25
17. minuutti	15	32	47	0	1	18	15	34	13
18. minuutti	15	32	47	0	1,25	20,5	15	36,75	10,25
19. minuutti	15	32	47	0	1,5	23,25	15	39,75	7,25
20. minuutti	15	32	47	0	1,75	27,75	15	44,5	2,5
21. minuutti	15	32	47	0	2	30	15	47	0
22. minuutti	15	32	47	0	2,5	30	14,5	47	0
23. minuutti	15	32	47	0	3	30	14	47	0
24. minuutti	15	32	47	0	3,5	30	13,5	47	0
25. minuutti	15	32	47	0	4	30	13	47	0
26. minuutti	15	32	47	0	4,5	30	12,5	47	0
27. minuutti	15	32	47	0	5	30	12	47	0
28. minuutti	15	32	47	0	6	30	11	47	0
29. minuutti	15	32	47	0	7	30	10	47	0
30. minuutti	15	32	47	0	7,5	30	4,5	42	5
31. minuutti	15	32	47	0	8	30	0	38	9
32. minuutti	15	32	47	0	8,5	30	0	38,5	8,5
33. minuutti	15	32	47	0	9	30	0	39	8
34. minuutti	15	32	47	0	9,5	30	0	39,5	7,5
35. minuutti	15	32	47	0	10	30	0	40	7
36. minuutti	15	32	47	0	10,25	30	0	40,25	6,75
37. minuutti	15	32	47	0	10,5	30	0	40,5	6,5
38. minuutti	15	32	47	0	10,75	30	0	40,75	6,25
39. minuutti	15	32	47	0	11	30	0	41	6
40. minuutti	15	32	47	0	11,25	30	0	41,25	5,75
41. minuutti	15	32	47	0	11,5	30	0	41,5	5,5
42. minuutti	15	32	47	0	11,75	30	0	41,75	5,25
43. minuutti	15	32	47	0	12	30	0	42	5
44. minuutti	15	32	47	0	12	30	0	42	5
45. minuutti	15	32	47	0	12	30	0	42	5
46. minuutti	15	32	47	0	12	30	0	42	5
47. minuutti	15	32	47	0	12	30	0	42	5
48. minuutti	15	32	47	0	12	30	0	42	5
49. minuutti	15	32	47	0	12	30	0	42	5
50. minuutti	15	32	47	0	12	30	0	42	5