

Sähkökattilan investoinnin esiselvitys

Tuomas Ahonen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Ahonen, Tuomas	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2018
	Sivumäärä 106	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Sähkökattilan investoinnin esiselvitys		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kari Hytönen, Harri Peuranen		
Toimeksiantaja(t) UPM Specialty Papers Jämsänkoski Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi UPM Specialty Papers Jämsänkoski Oy. Toimeksiantajalla oli tarve kehittää paperitehtaan energiantuotantoa vähäpäästöisemmäksi ja tukea uusiutuvan energiantuotannon lisääntyessä kantaverkon säätömahdollisuutta. Tähän liittyen toimeksiantajalle tuli ajankohtaiseksi teettää esiselvitys potentiaalisesta ratkaisusta.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia sähkökattilan investoinnista esiselvitys, jossa tarkastellaan mahdollisuutta investoida sähkökattila paperitehtaan apukattilaksi. Esiselvityksen tavoitteena oli kartoittaa toimeksiantajalle potentiaalisia sähkökattilavalmistajia ja suunnitella, kuinka sähkökattila saataisiin liitettyä paperitehtaan sähkö- ja höyryverkkoon. Tavoitteena oli myös pohtia, miten sähkökattilalla osallistuttaisiin säätösähkömarkkinoilla. Näiden kaikkien tavoitteiden pohjalta oli tarkoitus luoda laajamittainen selvitys, jonka myötä toimeksiantajalla olisi kokonaiskuva investoinnin mahdollisuudesta ja laajuudesta.</p> <p>Sähkökattilaan ja paperitehtaan energiajärjestelmiin liittyvää tietoperustaa hankittiin niin kirjallisuudesta kuin sähköisistä lähteistä. Paperitehtaan energiajärjestelmiä selvitettiin tarvittavien dokumenttien ja havaintojen perusteella. Sähkökattilavalmistajilta ja laitetoimittajilta kerättiin kustannustietoja sähkökattilasta ja siihen liittyvistä toiminnosta tarjouskyselyiden avulla.</p> <p>Tuloksena esiselvityksestä saatiin, että sähkökattila tehtaan apukattilaksi olisi kustannuksineen täysin realistinen. Opinnäytetyössä saatiin kartoitettua potentiaalisia sähkökattilan toimittajia ja selvitettyä kattilalle mahdollinen paikka, josta olisi optimaalinen liityntä sähkö- ja höyryverkkoon. Säätösähkömarkkinoiden osalta työn tuloksena oli sähkökattilan ja kuormituslaitteen yhteistyö.</p> <p>Esiselvitys antaa perusteelliset lähtökohdat investoinnin eteenpäin viennille sekä luo riittävän pohjan investointiesitykselle.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Sähkökattila, säätösähkö, paperitehdas, UPM		
Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet) Liitteet 4 - 7 ja kappaleet 9.4, 10.3 ja 10.4 ovat salassa pidettäviä ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohdat 17, 20 ja 21, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus ja yrityksen teknologiaan liittyvä kehitystyö. Salassapitoaika viisi (5) vuotta, salassapito päättyy 07.12.2022		

Author(s) Ahonen, Tuomas	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2018 Language of publication: Finnish
	Number of pages 106	Permission for web publication: x
Title of publication Preliminary report of the electric boiler investment		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Kari Hytönen, Harri Peuranen		
Assigned by UPM Specialty Papers Jämsänkoski Oy		
<p>Abstract</p> <p>The bachelor's thesis was assigned by UPM Specialty Papers Jämsänkoski Oy. The assignor had a needed to develop the paper mill's energy production to lower the emissions and support the increasing use of renewable energy generation to control the electricity grid. In this context, the assignor became timely to conduct a preliminary report investigation of the potential solution.</p> <p>The aim of the thesis was to prepare a preliminary report of the electric boiler investment, which examines the possibility of investing on an electric boiler as an auxiliary boiler in a paper mill. The aim of the preliminary report was to survey the potential electric boiler manufacturers and to study how the electric boiler could be connected to the electric and steam network of the paper mill. The aim was also to consider how the electric boiler would participate in the balancing power market. Based on these objectives, a large-scale survey was planned to provide an overall picture of the potential and the scale of the investment for the assignor.</p> <p>The theoretical framework related to the electric boiler and paper mill energy systems was acquired both from literature and from electronic sources. The paper mill's energy systems were investigated based on the required documents and observations. Cost information about the electric boiler and its related activities was collected through bid inquiries, from electric boiler manufacturers as equipment vendors.</p> <p>As a result of the preliminary report, it was found that the electric boiler as an auxiliary boiler would be cost-effective. In the thesis, potential boiler suppliers were surveyed and a potential location for the boiler was found, with an optimal connection for the electrical and steam network. Regarding the balancing power market, the result of the preliminary report suggested co-operation between the electric boiler and a loading device.</p> <p>The preliminary report provides a thorough ground for proceeding with the investment and a sufficient basis for the investment proposal.</p>		
Keywords/tags (subjects) Electric boiler, balancing power, paper mill, UPM		
Miscellaneous (Confidential information) Appendixes 4 - 7 and chapters 9.4, 10.3 and 10.4 are confidential which have been removed from the public thesis. Grounds for secrecy: Act on the Openness of Government Activities 621/1999, Section 24, 17, 20 and 21, business or professional secret and the company's technology-related development work. Period of secrecy is five years and it ends 07.12.2022.		

Sisältö

1	Opinnäytetyön lähtökohdat.....	5
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	5
1.2	Hyödynnettävät tutkimukset	5
1.3	Nykytilanne.....	6
1.4	Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus	6
1.5	Tutkimusasetelma	7
2	UPM Kymmene Oyj	9
2.1	UPM Specialty Papers Oy	9
2.2	UPM Jämsänkoski.....	10
2.2.1	Jämsänkosken voimalaitos	11
3	Sähkökattila	13
3.1	Elektrodikattila	13
3.2	Vastuskattila	15
4	Paperiteollisuuden energiankäyttö	16
5	Sähköjärjestelmä.....	20
5.1	Sähköverkko	20
5.2	Sähkökäytöt ja syöttö.....	23
5.3	Ohjausjärjestelmä.....	24
5.4	Säätöreservi ja varavoima	25
5.5	Sähkömarkkinat ja hinnoittelu	26
6	Höyryjärjestelmä	29
6.1	Höyryn ominaispiirteet.....	29
6.2	Höyryverkko	30
6.3	Höyryn siirto	34

	2
6.4 Lauhde	36
7 Valtioneuvoston asettamat ympäristö- ja päästörajoitukset	37
7.1 PIPO-asetus.....	37
7.2 SUPO-asetus	38
8 Investoinnin määritelmä.....	40
9 Selvitysosuus.....	42
9.1 Tehtaan sähkö- ja höyryjärjestelmä	42
9.1.1 Sähköverkko.....	42
9.1.2 Höyryverkko.....	47
9.2 Sähkökattilamarkkinat.....	54
9.2.1 Tarjouskysely	55
9.3 Paikkakartoitus sähkökattilalle.....	55
9.3.1 Hiertämön konesali.....	56
9.3.2 Hiertämön jauhinsali	58
9.4 Salassa pidettävä	61
10 Tulokset	61
10.1 Paikan valinta	61
10.2 Liityntä sähkö- ja höyryverkkoon	62
10.2.1 Sähköverkko.....	63
10.2.2 Höyryverkko.....	68
10.3 Salassa pidettävä	74
10.4 Salassa pidettävä	74
11 Johtopäätökset ja pohdinta	74
11.1 Tavoitteet ja tulokset	75
11.2 Luotettavuuden arviointi.....	76
11.3 Jatkotoimenpiteet ja kehitysehdotus.....	77

11.4 Lopuksi.....	78
-------------------	----

Lähteet	79
----------------------	-----------

Liitteet.....	83
----------------------	-----------

Liite 1. Höyryputken mitoitus.....	83
Liite 2. Höyry- ja lauhdeputkistojen virtausnopeudet	84
Liite 3. Tehtaan sähköverkko.....	85
Liite 4. Salassa pidettävä	86
Liite 5. Salassa pidettävä	87
Liite 6. Salassa pidettävä	88
Liite 7. Salassa pidettävä	89
Liite 8. Paperitehtaan päivitetty höyrykaavio	90
Liite 9. Kaavio sähkökattilan liitynnästä	91

Kuviot

Kuvio 1. UPM Jämsänkoski	10
Kuvio 2. K5, BFB-kattila	11
Kuvio 3. Jämsänkosken voimalaitokset	12
Kuvio 4. Elektrodikattila	14
Kuvio 5. Vastuskattila manuaaliohjauksella	15
Kuvio 6. Vastuskattila automaattiohjauksella	16
Kuvio 7. Tuotannon kehittyminen paperin ja kartongin valmistuksessa	17
Kuvio 8. Sähkönkulutus paperitehtaassa	18
Kuvio 9. Höyrynkulutus paperitehtaassa	19
Kuvio 10. Sähköverkon rakenne.....	21
Kuvio 11. Säätosähkön tarjousmenettely	27
Kuvio 12. Eri kuluttajien sähkön hinnoittelu	28
Kuvio 13. Höyryverkon rakenne komponentteineen.....	30
Kuvio 14. Höyrykattilan toimintaperiaate.....	31

Kuvio 15. Lauhteenpalautus.....	36
Kuvio 16. Päästöraja-arvot, PIPO-asetus.....	38
Kuvio 17. Laskemissääntö suurille polttolaitoksille	40
Kuvio 18. Päästöraja-arvot olemassa olevalle laitokselle	40
Kuvio 19. 110 kV:n verkkoa ja muuntajat	43
Kuvio 20. Voimalaitoksen kojeistot ja muuntajat	44
Kuvio 21. 10 kV:n kojeistot.....	45
Kuvio 22. 6 kV:n kojeistot.....	46
Kuvio 23. Höyrykaavio, UPM Jämsänkoski.....	48
Kuvio 24. Putkisilta	49
Kuvio 25. Korkeapainehöyryn virtaustrendi 2017.....	50
Kuvio 26. Matalapainehöyryn trendi 2017	53
Kuvio 27. PK5:n telapukit, hiertämön konesali	56
Kuvio 28. Hiertämön jauhinsali	56
Kuvio 29. Paperikonetaso, TMP1	57
Kuvio 30. Telojen säilytyspaikka, TMP1	57
Kuvio 31. Telojen säilytyspaikan alakerta, TMP1	58
Kuvio 32. TMP1, jauhinsali	59
Kuvio 33. TMP1, jauhinsalin ulkoseinä ja matalapainehöyrylinja.....	60
Kuvio 34. TMP1, jauhinsalin alakerta	60
Kuvio 35. TC2-päämuuntaja	64
Kuvio 36. C3-kojeisto.....	65
Kuvio 37. Prosessisähkökeskus, 12ST52-sähkötila.....	66
Kuvio 38. Jakelumuuntajakoppi	67
Kuvio 39. 25TH15-jakelumuuntajan syöttö.....	68
Kuvio 40. Välipainehöyrylinjaan liityntä.....	70
Kuvio 41. Matalapainehöyrylinjan läpivienti jauhinsalista	72
Kuvio 42. Liityntä putkisillan matalapainehöyrylinjaan	73

1 Opinnäytetyön lähtökohdat

1.1 Opinnäytetyön tausta

Suomessa on tavoitteena vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä energiantuotannossa valtioneuvoston asettamien ympäristö- ja päästörajoitusten 750/2013 ja 936/2014 mukaisesti. Tämän lisäksi uusiutuvan energiantuotannon lisääntyessä Suomen kantaverkon säätösähkön tarve kasvaa merkittävästi. Tiukentuvien ympäristö- ja päästörajoitusten sekä säätösähkön vaikutus heijastuu suoraan siihen, että monet polttolaitokset tai energiantuotantolaitokset joutuvat tekemään muutoksia laitteistoihin tai harkitsemaan täysin uutta energiantuotantomenetelmää. Yhtenä merkittävänä vaihtoehtona tähän ongelmanratkaisuun nähdään varmatoiminen, investointikustannuksiltaan edullinen ja päästötön sähkökattila.

Sähkökattilainvestointeja on tehty vuosien saatossa paljon pientaloympäristöön, mutta harvemmin teollisuuteen. Tähän todennäköisin syy on ollut korkea sähkön hinta. Nyt muutamien viimevuosien aikana sähkön hinta on laskenut ja on tällä hetkellä melkein samoissa öljyn hinnan kanssa, joten kustannusten kannalta sähköllä tuotetun energian kannattavuus on hyvä (Energian hinnat 2017).

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi UPM Specialty Papers, joka on yksi markkinoiden johtavista tarra- ja pakkauspaperinvalmistajista niin Euroopassa kuin Aasiassa. Opinnäytetyön tutkimus suoritettiin Jämsänkosken paperitehtaalle. UPM Specialty Papers Oy:llä oli selkeä tarve öljykäyttöisten varakattiloiden myötä selvittää sähkökattilan investoinnin mahdollisuutta ja kustannuksia tehdasintegraatin vara- ja apukattilaksi.

1.2 Hyödynnettävät tutkimukset

Aiheena sähkökattilainvestointi on melko uusi teollisuuden mittakaavassa, joten aiempaa tutkimusta tai selvitystä ei ole. Pientaloihin tehdyt sähkökattilaninvestoinnin tutkimus- ja selvitystulokset eivät päde teollisuudessa, joten ne eivät ole hyödynnettävissä. Kuitenkin selvityksen tekoon tärkeitä ja hyödyllisiä kirjallisuuksia sekä tut-

kimustöitä löytyi. Hyödynnettäviä tutkimuksia mm: sähkökattiloiden toimintaperiaate ja tyypit (Meritt 2016; Petrecca 1993). Sähköverkon rakenne ja sen eri toiminnot kuten, sähköverkon liityntä ja sähkönsyöttö selvisivät kirjallisuuden ja AMK-opinnäytetyön pohjalta (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013; Holpainen 2014). Säätosähkön osalta, säätöreservien lajit ja periaatteet selvisivät kirjallisuudesta (Elovaara & Haarla 2011). Höyryverkon komponenttien toiminnot ja niiden vaikutukset höyryntuotantoon oli tutkittu kahdessa eri diplomityössä (Mönkkönen 2014; Tapalinen 2017).

1.3 Nykytilanne

Tällä hetkellä normaalissa ajotilanteessa UPM Jämsänkosken paperitehtaan tarvitsema höyry ja Jämsän kaupungin tarvitsema kaukolämpö tuotetaan voimalaitoksen pääkattilalla, joka on tyypiltään kupliva leijupetikattila. Sähköä tuotetaan pienissä määrin vastapaineturbiinilla. Pääkattilan rinnalla häiriö- tai seisokkitilanteissa toimivat raskaspolttoöljykäyttöiset varakattilat, joihin tulevaisuudessa tarvitsisi tehdä investointeja, jotta niiden käyttö olisi edes mahdollista, saati sitten kannattavaa. Tulevaisuudessa nämä öljykäyttöiset apukattilat voisi mahdollisesti korvata sähkökattilalla tai sähkökattiloilla, jolloin raskaanpolttoöljyn käyttö vähenisi nykyisestä ja valtioneuvoston asettamat päästörajoitukset eivät vaikuttaisi varakattiloihin.

1.4 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyössä päätavoitteena oli tehdä esiselvitys sähkökattilan investoinnista. Esiselvityksen myötä toimeksiantaja saisi konkreettisia ja luotettavia tuloksia, joiden perusteella Jämsänkosken paperitehtaalle investoitaisiin kustannuksiltaan ja toiminnaltaan optimaalinen sähköhöyrykattila varakattilaksi. Investoinnin kannalta paperitehtaalla pystyttäisiin jatkossakin tuottamaan energiaa energiatehokkaasti tiukentuvien ympäristö- ja päästörajoitusten mukaisesti ja osallistuminen säätosähkötallemarkkinoille olisi helpompaa.

Opinnäytetyössä etsittiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin: minkälaisia laite- ja toimittajamarkkinoita teholuokaltaan noin 50 MW:n säädettävälle sähkökattilavaihtoehdoille löytyy, kuinka sähkökattila saataisiin optimaalisesti kytkettyä Jämsänkosken

paperitehtaan sähkö- ja höyryverkkoon ja miten sähkökattilalla tehtävä säätösähkö toteutettaisiin. Työ rajattiin näin, koska toimeksiantajan puolesta investointi on vasta alkutekijöissä, mutta toimeksiantaja haluaa jo hyvissä ajoin selvittää tämäntapaisen vaihtoehdon sopivuuden tehdasintegraattiin. Tässä vaiheessa opinnäytetyön ulkopuolelle jätettiin investoinnin muut tarkastelut, työn varsinainen toteutus sekä laitteiden kunnossapito.

1.5 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyö on luonteeltaan kehittämistutkimus, koska ensinnäkin sen päämääränä ja tavoitteena oli kehittää energiantuotantoprosessia paperitehdasintegraatissa sekä toisekseen toimeksiantajalla oli tarve prosessin muutokselle. Tätä mahdollista muutosta tutkittiin opinnäytetyön avulla, ja tavoitteena oli saada toimeksiantajalle tarvittava tulos muutoksen mahdollisuudesta.

Kehittämistutkimuksessa sekä kaikissa muissakin tutkimuksissa on loppujen lopuksi samanlainen kaava, jota noudatetaan. Kehittämistutkimuksen päämääränä on kuitenkin saavuttaa tulos, joka juontaa juurensa muutoksesta. Muutos taas syntyy siitä, että tarkasteltava ongelma poistuu tai ongelmantila paranee. Kehittämistutkimus on tyypillisesti joko kompleksi kokonaisuus kvalitatiivisesta- ja kvantitatiivisesta tutkimuksesta tai pelkästään kvalitatiivisesta. (Kananen 2015, 11, 39.)

Kvalitatiivisen eli laadullisen tutkimusmenetelmän tavoitteena on sisäistää kohteen ilmiö tai ongelma sekä vastata sellaisiin kysymyksiin kuin miksi ja miten. Havainnointi on yksi laadullisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmistä ja sen tarkoituksena on sisäistää ilmiö ymmärtämisen kautta. Laadullisen tutkimuksen osalta tarkasteltavaa ongelmaa varten kerätyt aineistot jaetaan primääri- ja sekundääriaineistoihin. (Kananen 2015, 76-78; Kustula 2015).

Kvantitatiivisessa eli määrällisessä menetelmässä tavoitteena on saada vastaus sellaisiin kysymyksiin kuin kuinka paljon ja kuinka usein yms. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa tietoa tarkastellaan hyvin usein numeraalisesti. Määrällisen tutkimuksen myötä, on järkevää kerätä aineistoja kyselyiden avulla, jolloin saadaan tehokkaasti

kerättyä tietoa. Kysyjän täytyy olla kuitenkin perillä kysyttävästä aiheesta tai asiasta. (Kananen 2015, 95; Kustula 2015.)

Opinnäytetyön tutkimusote on suunnittelun osalta kvalitatiivinen eli laadullinen, siinä tutkittiin teoria-ainestoa sekä toteutuksen mahdollisuutta. Näin löydettiin mahdollisimman syvällistä ja kokonaisvaltaista tietoa tutkittavasta ilmiöstä. Ongelman ratkaisemiseksi tämän tutkimuksen aineistokeruussa tukeuduttiin tarvittaviin dokumentaatioihin ja piirustuksiin. Myös havainnointi oli oleellinen osa ilmiön ymmärtämisessä, koska toteutuksen mahdollisuudesta ei ollut aikaisempaa tietoa. Havainnoinnin tukena käytettiin valokuvausta ja muistiinpanoja. Tutkimuksen analyysimenetelmänä käytettiin tutkivaa lähestymistapaa, joka sopi mainiosti tämäntapaisen esiselvityksen tekoon. Ilmiön kannalta tärkeitä dokumentteja ja piirustuksia tarkasteltiin, minkä perusteella saatiin sisäistettyä tutkittava asia.

Sähkökattilavaihtoehtojen ja mitoituksen selvittämiseksi käytettiin kvantitatiivista eli määrällistä tutkimusmenetelmää. Sen avulla pyrittiin keräämään laitteiston toimittajilta raportteja heidän tarjoamistaan malleistaan ja analysoitiin voimalaitokselta lähteviä höyryverkkoja sekä tutkittiin tehtaan sähköverkon kapasiteettia mitoituksen pohjaksi. Tarvittavat tiedot ja kustannukset kerättiin toimittajilta tai valmistajilta kyselylomakkeella. Lisäksi käytettiin hyödyksi tehtaan tietojärjestelmiä. Laitetoimittajille lähetettyjen kyselyjen vastauksia analysoitiin Excel-laskentatyökalun avulla, minkä avulla pystyttiin vertaamaan laitetoimittajien välisiä eroja.

Selvitystyön aihe on erittäin monivaiheinen ja vielä melko uusi monelle. Esiselvityksen toteuttamisen ja luotettavuuden todentamisen suhteen tarvittavaa tietoperustaa kerättiin useista lähdemateriaaleista, kuten kotimaisesta ja ulkomaisesta kirjallisuudesta sekä internetistä. Opinnäytetyön aineistoa pyrittiin keräämään laajalta rintamalta, koska se teki selvityksestä yksityiskohtaisemman ja luotettavamman. Lähdemateriaalina käytettiin lisäksi toimeksiantajan sisäisiä dokumentteja, henkilöstön tieto- ja ammattitaitoa sekä laitevalmistajien ja laitetoimittajien tietämystä. Kokonaisuudessaan selvitys rakennettiin yhteistyössä niin toimeksiantajan kuin opinnäytetyön ohjaajan kanssa.

2 UPM Kymmene Oyj

UPM Kymmene Oyj:n synty tapahtui vuonna 1995, kun yhtiöt Repola ja Kymmene Oyj fuusioituivat. Fuusion myötä yhtiön nimeksi tuli UPM Kymmene Oyj ja fuusioitunut suuryhtiö oli sillä hetkellä yksi maailman suurimpia metsäteollisuusyrityksiä liikevaihdoin näkökulmasta katsottuna. (Tuuri 1999, 483.)

Nykyään UPM on pyrkinyt vastaamaan markkinoilla syntyviin kilpailukysyntöihin ja sitä kautta uudistanut liiketoimintaansa. Tänä päivänä UPM:n liiketoiminta-alueet koostuvat kuudesta eri osa-alueesta: UPM Bioforefining, UPM Energy, UPM Raflatac, UPM Specialty Papers, UPM Paper ENA ja UPM Plywood. Tämän lisäksi UPM:llä on muuta toimintaa, joka liittyy puuhankintaan ja metsätalouteen sekä konsernipalveluihin. UPM:n kaikki tuotteet pohjautuvat uusiutuviin raaka-aineisiin ja ne ovat täysin kierrätettävissä. Liikevaihto vuonna 2016 oli noin 9 812 milj. € ja henkilöstöä oli 19 300, 45 eri maassa. (UPM Vuosikertomus 2016 2017, 3-4.)

2.1 UPM Specialty Papers Oy

UPM Specialty Papers on Euroopan tasolla yksi merkittävimmistä tarra-, pakkaus- ja hienopaperin valmistajista. Myös Aasian ja Tyynenmeren alueella UPM Specialty Papers on kasvattanut asemaansa erikoispaperimateriaalien markkinoilla. Tähän syynä on ollut Kiinan Changshuniin vuonna 2016 valmistunut uusi erikoispaperia valmistava paperikone. Erityisesti toimistopaperin valmistuksessa UPM Specialty Papers on Aasian markkinoilla erittäin suuri toimija. Suomen UPM:n tehtaiden paperikoneista Jämsänkosken PK3 ja PK4 sekä Valkeakoskella sijaitseva Tervasaaren paperitehdas kuuluvat Specialty Papers-liiketoiminta-alueeseen. Yhtiön tulevaisuuden visiona on olla maailman johtava tarramateriaalin valmistaja ja kehittää uusia tuotteita sekä laajentaa nykyistä tuotevalikoimaa. Henkilöstöä Specialty Papers työllisti maailmanlaajuisesti vuonna 2016 noin vajaat 2000, ja liikevaihto kyseisenä vuonna oli 1 273 milj. €. (UPM Vuosikertomus 2016 2017, 31.)

2.2 UPM Jämsänkoski

UPM Jämsänkoski sijaitsee Keski-Suomessa, Jämsän kunnassa. Noin 16 km:n päässä Jämsänkosken tehtaasta on myös toinen paperitehdas, UPM Kaipola. Nämä kaksi tehdasta muodostavat tehdaskokonaisuuden nimeltään Jokilaakson tehtaat.

Jämsänkosken tehtaalla on pitkät perinteet sellun- ja paperinvalmistuksesta. Ensimmäinen sulfaattisellutehdas käynnistyi jo vuonna 1888 ja ensimmäinen paperikone käynnistyi tästä 10 vuotta myöhemmin. (Jokilaakson tehtaiden esittelymateriaali 2017, 48.)

Tällä hetkellä Jämsänkosken paperitehtaalla on kolme paperikonetta, kaksi niistä PK3 ja PK4, valmistaa erikoispaperia tarra- ja pakkaus käyttöön sekä yksi paperikone, PK6, valmistaa päällystämätöntä superkalanteroitua aikakauslehtipaperia eli SC-paperia (ks. kuvio 1). (Mts. 26-28.)



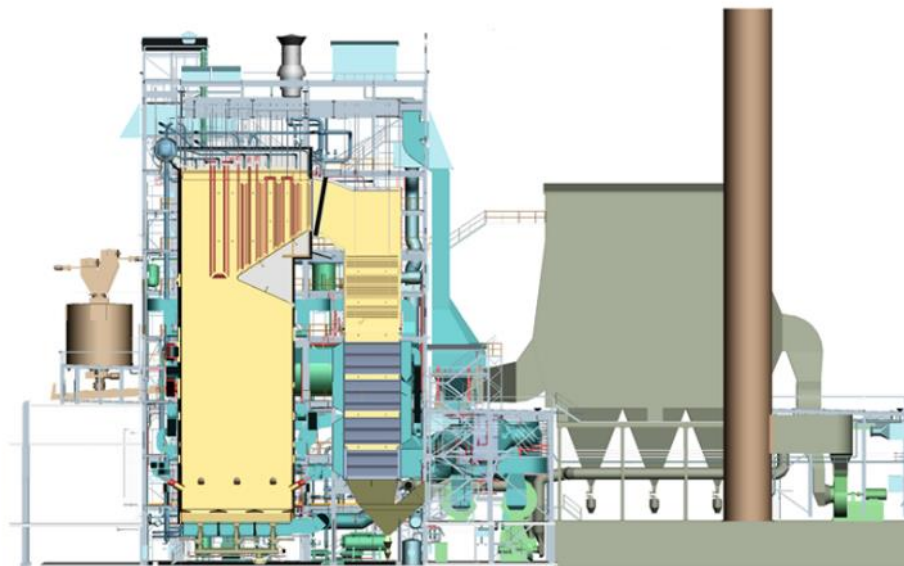
Kuvio 1. UPM Jämsänkoski (Jokilaakson tehtaiden esittelymateriaali 2017, 24)

Paperin valmistuksen raaka-aineina mm. käytetään kuusipuuta, sahaketta ja sellua. Kolmen paperikoneen yhteistuotantokapasiteetti on hieman vajaa 556 000 tn/a ja ne työllistävät noin 500 henkilöä. Jämsänkoskella on myös oma biovoimalaitos, joka tuottaa höyryä paperitehtaan tarpeisiin ja tämän lisäksi sähköä sekä kaukolämpöä. (Jokilaakson tehtaiden esittelymateriaali 2017, 22.)

UPM Jämsänkosken tehtaan liiketoiminta-alue on jaettu kahteen osaan. Tarra- ja pakkauspapereita valmistavat paperikoneet PK3 ja PK4 sekä voimalaitos kuuluvat UPM Specialty Papers-liiketoiminta-alueeseen ja SC-paperia valmistava PK6 kuuluu UPM Paper ENA-liiketoiminta-alueeseen. (Jokilaakson tehtaiden esittelymateriaali 2017, 23.)

2.2.1 Jämsänkosken voimalaitos

Jämsänkosken paperitehtaalle höyryä ja sähköä tuotetaan vuonna 2002 valmistuneella biovoimalaitoksella eli voimalaitos 2:lla. Tämän lisäksi voimalaitos toimittaa höyryä tehdasintegraatin viereiselle Dupontin entsyymitehtaalle sekä kaukolämpöä Jämsän Aluelämpö Oy:lle. Sähköntuotannon osuus on reilu 10 % ja loput ostetaan verkosta. Suurin osa tuotetusta lämmöstä tehdään voimalaitoksella, mutta myös TMP:itä eli mekaanisen massan valmistuksesta saadaan lämpöä. Jämsänkosken biovoimalaitoksen pääkattilana (K5) toimii Foster Wheeler Oy:n toimittama kupliva leijukerroskattila (BFB), joka on varustettu porraskattilalla (ks. kuvio 2). (Jämsänkosken voimalaitoksen esittelymateriaali 2017, 7-10.)



Kuvio 2. K5, BFB-kattila (Jämsänkosken voimalaitoksen esittelymateriaali 2017, muokattu)

Pääkattilan maksimi lämpöteho on 185 MWth ja höyryteho on parhaimmillaan jopa 70 kg/s ja 107 bar sekä +533 °C. Kattilan turbiini on Alstomin valmistama väliottovas-
tapaineturbiini, jonka nimellinen teho on 46 MWe. Turbiinin väliottopaineet ovat 10 ja 20 bar sekä 3,5 bar:n vastapainehöyry. Sähköä tuotetaan Brushin valmistamalla 54,2 MVA:n tehoisella generaattorilla. (Jämsänkosken voimalaitoksen esittelymateriaali 2017, 10-12.)

Vuonna 2002 valmistuneen laitoksen vieressä on vanha voimalaitos (ks. kuvio 3), joka toimii varakattilalaitoksena. Varakattilaitoksessa on kaiken kaikkiaan kaksi varakattilaa. Varakattiloiden tehot ovat K3 (62 MWth) ja K4 (25 MWth). Kumpikin varakattila on raskas polttoöljykäyttöisiä. (Mts. 6-17.)



Kuvio 3. Jämsänkosken voimalaitokset (Jämsänkosken voimalaitoksen esittelymateriaali 2017, 5)

Pääkattilan polttoaineina on kuorimolta tuleva kuori, paperiprosessista syntyvä liete, metsätähdehake, ostobio ja jyrshinturve. Käynnistys- ja varapolttoaineena Jämsänkosken voimalaitoksella käytetään raskastapolttoöljyä. (Mts. 14.)

3 Sähkökattila

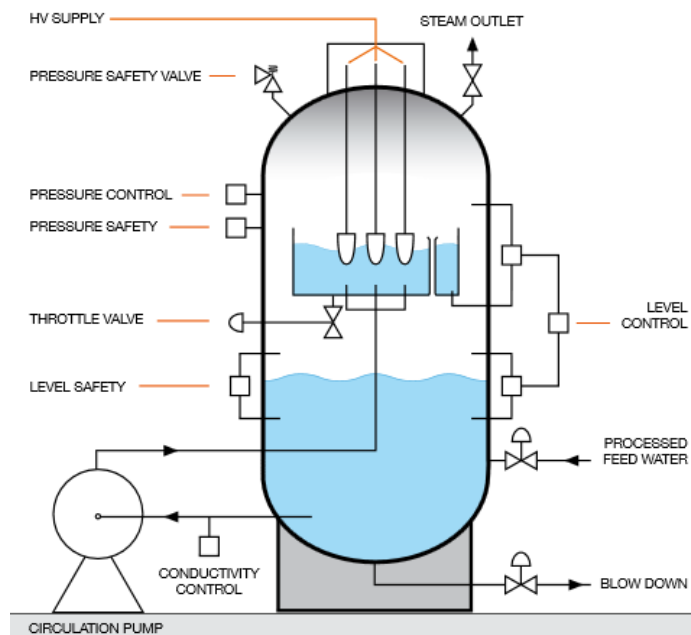
Sähkökattila tunnetaan yhtenä lämmitysjärjestelmän ratkaisuna. Varsinkin kotitalouksissa sähkökattilaa käytetään hyvinkin yleisesti käyttöveden lämmittämiseen sen edullisuuden ja toimintavarmuuden takia. Teollisuudessa sähkökattiloita on ollut vähäisissä määrin jo 1900-luvun alkupuolilta saakka, mutta pääsääntöisesti niitä on käytetty varalämpölaitoksien ja pienteollisuuden apu- tai varakattiloina. Teollisuuden kokuokan sähkökattiloiden käyttötarkoitus on ollut joko höyryn tai kuumaveden tuottaminen sekä tuotannon tukeminen esim. pääkattilan alas- ja ylösajoissa. Sähkökattilatyyppejä on kahdenlaisia: elektrodikattila, höyryn tuottamiseen, ja vastuskattila kuumaveden tuottamiseen. Syy siihen miksi, sähkökattiloiden käyttö on ollut varsin minimaalista viime vuosina teollisuudessa, on sähkön hinta.

Sähkökattilalla tuotetun energian etuna on se, että sillä pystytään tarvittaessa säätämään sähköverkon kuormitusta. Varsinkin nykyään tuuli- ja aurinkovoimatuotannon lisääntyessä välillä voi olla tilanteita, jolloin sähköä on tuotettu ns. liikaa kantaverkon tarpeisiin. Tämänlaisessa tilanteessa sähköverkkoon täytyisi löytyä kuormitusta ja mahdollisimman nopeasti. Varteenotettava ratkaisu on sähkökattila, koska sen saa kuormitukselle hyvinkin lyhyessä ajassa. Muina etuina on kattilan kompakti koko, säädettävyyden sekä päästöttömyys ja korkea hyötysuhde. Haittapuolena on se, että yleensä laitoksien sähkötuotanto suuntautuu muuhun käyttötarkoituksiin. (Anteroinen 2016, 24-29; Garcia, Krook-Riekkola, Lopez, Olsen & Vatopoulos 2012, 14.)

3.1 Elektrodikattila

Elektrodikattila on höyryn tuottamista varten kehitetty kattilatyyppejä. Elektrodikattilassa varsinaiset elektrodit on ripustettu roikkumaan ja ne upotetaan kattilaveteen, jossa vaihtovirtainen sähkö kulkee. Tästä seuraa se, että virran kulku minkä tahansa vastuksen kautta aiheuttaa lämpötilan nousun vastusmateriaalissa. Elektrodikattilassa varsinainen kattilavesi on itsessään vastus. Höyry syntyy siitä, kun vettä pumpataan kattilan yläosaan, jossa se kulkeutuu suuttimien läpi. Suuttimien läpi kulkeva vesi vaikuttaa elektrodien vesivirtana, joka toimii johtavana aineena. Veden läpi kulkeva sähkövirta höyrystää veden. Lämpö siis syntyy elektrodien ja kattilaveden välillä. Jotta kattilalla tuotetun höyryn tarjonta kattaa höyryn kuluttajien määrän ja

kattilassa pysyy riittävä käyttöpaine, täytyy sitä ohjata ja säätää näiden mukaisesti. Kattilalla tuotetun höyryn määrä on suoraan verrannollinen elektrodeihin vaikuttavan kattilaveden virtausnopeuteen ja kattilaveden johtokykyyn sekä elektrodeissa vallitsevaan jännitteeseen. (For the Safe Operation of Electric Steam Boilers 2013, 12; Merritt 2016, 117.) Kuviossa 4 on esitetty elektrodikattilan rakenne komponentteineen.



Kuvio 4. Elektrodikattila (High voltage Electrode boiler n.d)

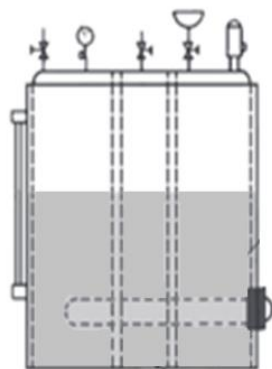
Elektrodikattilat voidaan jakaa kahteen ryhmään, matalajännitteisiin sekä keskijännitteisiin. Matalajännitteisten elektrodikattiloiden teho on muutamia megawatteja ja niiden pääsääntöinen käyttöjännite on 600 V. Keskijännitteisten kattiloiden jännite on useita kilovoltteja ja tehot ovat useissa kymmenissä megawateissa. Elektrodikattilan tehoa säädellään joko, säätämällä eristeiden suojauksia tai säätämällä kattilaan upotettujen elektrodien korkeusastetta. Keskijännitteisten kattiloiden tehon säätöön on myös keksitty keino, jossa elektrodien päälle ruiskutettavan veden määrää vaihdellaan. (Petrecca 1993, 85.)

Elektrodikattiloiden huonona puolena on se, että kattilan syöttövesi itsessään vaatii kemiallista työtä. Kattilaveden pitäminen johtokykyisenä perustuu syöttöveden pH:n

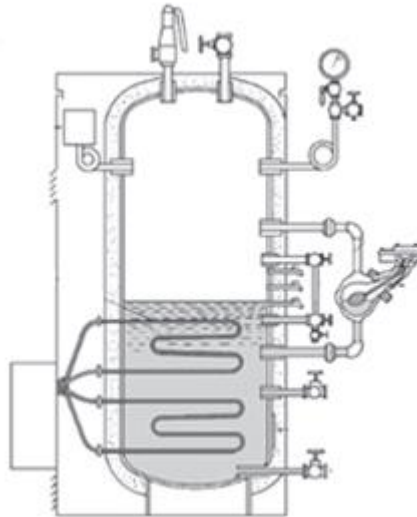
ylläpitämiseen ja säätelyyn sekä hapen ”hapottamiseen”. Elektrodit vaativat vain huomattavasti korkeimpia pitoisuuksia, jotta vedessä pysyy korkea johtokyky. Korkea johtokyky takaa sen, että vedestä saadaan tuotettua höyryä riittäväällä lämpöenergialla. Vedenkäsittelyn yhteydessä syötettyjen kemikaalien ansiosta veden pH:ta voidaan säädellä. (Merritt 2016, 118.)

3.2 Vastuskattila

Vastuskattilamenetelmässä kuuma vesi tai höyry muodostuu kattilaveden lämmittämisestä. Kattilassa on lämmityselementti eli metallinen vastus, jonka sähköenergia pyritään muuttamaan lämpöenergiaksi. Metallinen vastus siirtää sähköstä saamansa energian kattilaveteen. Vastuskattilan tehoa pystytään säätämään vastuksille syötetävän sähkövirran avulla. Muita keinoja ovat paine- ja lämpötilamittaukseen perustuva tehonsäätö. Sähkövirta kulkee suojausputken sisällä veteen upotettujen vastusten kautta vastusyksiköille, missä jännite saa metallisen vastuksen kuumenemaan. Suomessa vastuskattilat toimivat tyypillisesti matalajännitteellä ja syöttö niille saadaan prosessisähkökeskukselta tai kojeistolta. Vastuksen ja sitä kautta lämmityksen ohjaus sekä säätö voidaan toteuttaa joko manuaalisesti tai automaattisesti. Vastuskattiloiden painetasot voivat vaihdella yllättävän paljon ja ne määritellään tapauskohtaisesti. (For the Safe Operation of Electric Steam Boilers 2013, 13; Laukkanen 2008, 11; Petrecca 1993, 85.) Kuviossa 5 ja 6 on esitetty kahden vastuskattilan poikkileikkauskuva, missä ohjaus on toteutettu manuaalisesti sekä automaattisesti.



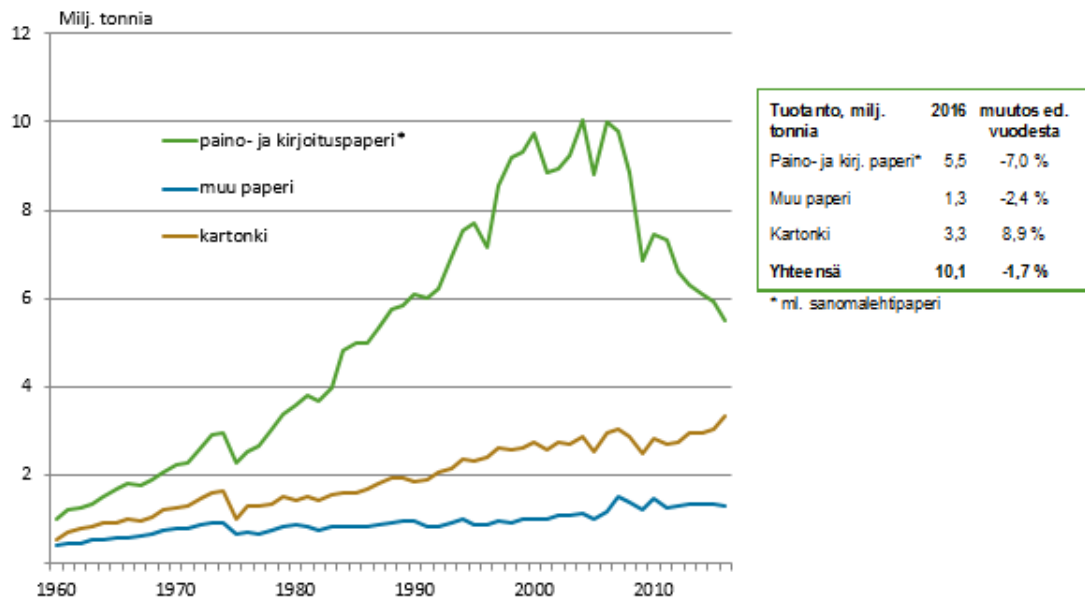
Kuvio 5. Vastuskattila manuaaliohjauksella (For the Safe Operation of Electric Steam Boilers 2013, muokattu)



Kuvio 6. Vastuskattila automaattiohjauksella (For the Safe Operation of Electric Steam Boilers 2013, muokattu)

4 Paperiteollisuuden energiankäyttö

Vielä vuosituhannen vaihteessa metsäteollisuuden näkymät kukoistivat ja sitä myöten myös paperiteollisuus jatkoi kasvuaan. Tuolloin paperia tuotettiin ennätysmääriä niin Suomessa kuin ulkomailla. Kuitenkin vuoden 2005 jälkeen paperiteollisuudessa alkoi ilmetä taantumisen merkkejä, jotka näkyivät sekä tuotantomäärissä että paperin kysynnässä. Vuosien saatossa paperin kysynnän hiipuminen ja paperimarkkinoiden muutokset ovat vaikuttaneet siihen, että myös Suomesta on jouduttu sulkemaan tuotantolinjoja. Kuten kuviosta 7 nähdään, tuotannossa on ollut jyrkkä alamäki paino- ja kirjoituspaperien osalta. Kartongin tarve ja tuotanto on viime aikoina lisääntynyt mm. yleistyneen nettikaupan ansiosta. Pakkausmateriaalia tarvitaan nykypäivänä isommissa määrin. Muiden paperilajien eli mm. pehmopapereiden tuotanto on ollut hyvin tasaista.



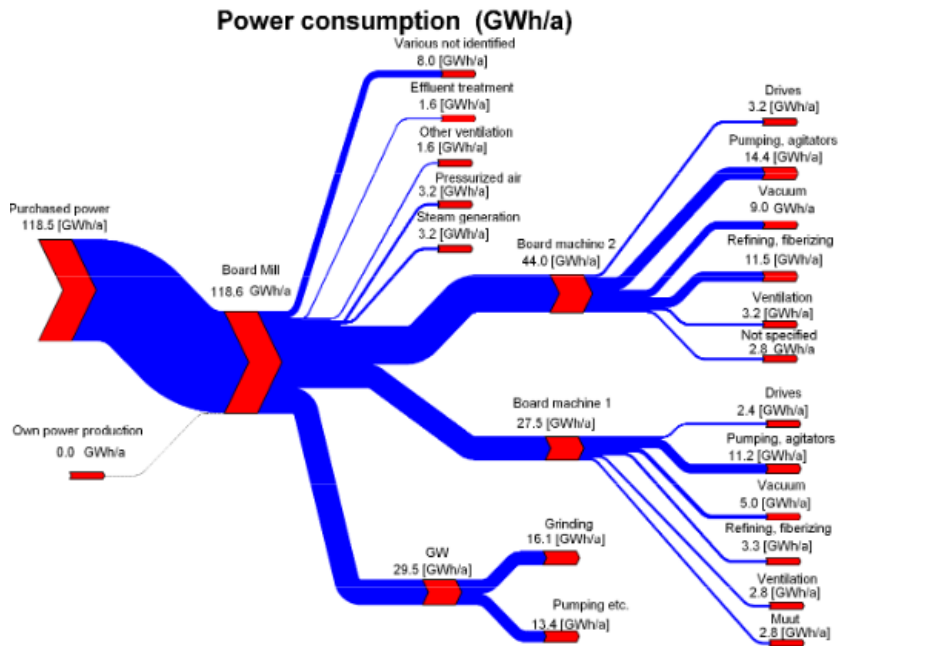
Kuvio 7. Tuotannon kehittyminen paperin ja kartongin valmistuksessa (Massa- ja paperiteollisuus 2017)

Vaikka viime vuosina paperiteollisuudessa on ollut hiljaisempi ajanjakso, silti paperinvalmistus on suurin yksittäinen toimiala energiankäytössä. Paperiteollisuus ja massa-teollisuus yhdessä muodostavat 2/3-osan metsäteollisuudesta. Vaikka paperiteollisuus kuluttaa paljon energiaa, niin yhtä lailla se on suuri tekijä energiantuotannossa omavaraisuutensa vuoksi. Vuonna 2016 paperiteollisuuden energiankäyttö oli reilut 272 000 TJ, josta sähkönosuus oli noin 40 TJ ja lämmönosuus noin 13 TJ. Vuonna 2016 Suomen koko energiankäytöstä paperiteollisuuden energiakäytön osuus oli noin 54 %. (Teollisuuden energiankäyttö toimialoittain vuonna 2016 2017)

Sähkönkäyttö

Paperinvalmistuksessa joudutaan käyttämään paljon sähköä erilaisiin osaprosesseihin tai laitteisiin. Eniten sähköä kuluu laitteissa ja prosesseissa kuten, linjakäytöissä, pumpuissa ja pumppausprosesseissa, jauhatusprosesseissa (mekaaninen massa yms.), paineilmajärjestelmässä, puhaltimissa sekä jäähdytysprosesseissa. Sähkönkulutus riippuu myös pitkälti eri tuotantolinjoista eli siitä, minkälaista paperia valmistetaan milläkin paperikoneella: valmistetaanko paperia sellusta vai mekaanisesta mas-

sasta, kuinka paljon joudutaan käyttämään täyteaineita sekä mahdollisia kalanterointeja ja minkälaisista paperiradan ajonopeuksista on kyse. Kuviosta 8 pystytään Sankey-diagrammin avulla havaitsemaan erään paperitehtaan sähkönkulutusta ja sähkönkulutuksen kohteita. Diagrammista havaitaan, että sähkökäytölle on monta eri-alaista kohdetta riippuen paperikonelinjasta. (Kuusisto 2014, 13.)



Kuvio 8. Sähkönkulutus paperitehtaassa (Kuusisto 2014, 13)

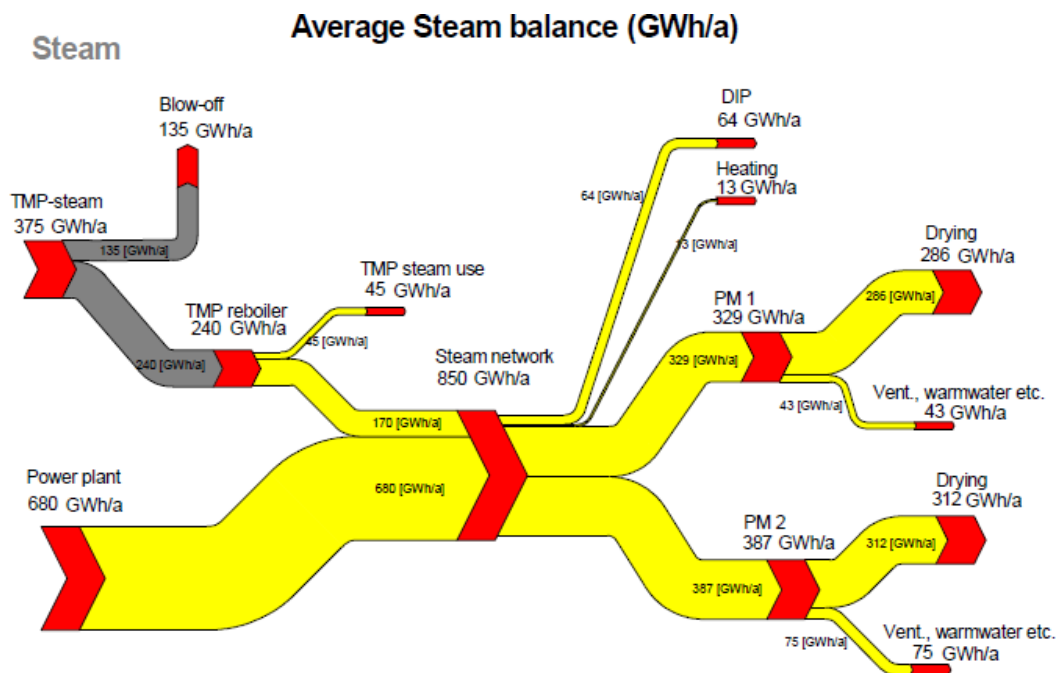
Sähkönkulutusta voidaan myös tarkastella sen todellisen kulutuksen mukaisesti, tuotettua paperitonnia kohden (ks. kaava 1).

$$\text{Sähkönkulutus} \left(\frac{kWh}{tn} \right) = \frac{\text{Sähköteho (kW)}}{\text{Tuotettu paperitonni per tunti} \left(\frac{tn}{h} \right)} \quad (1)$$

Lämmönkäyttö

Höyry on erittäin tärkeä energianmuoto paperinvalmistuksessa. Ilman höyryä tai lämpöenergiaa ei paperitehtaassa pystyttäisi valmistamaan paperia. Suurin osa tästä lämmöstä käytetään itse paperin kuivatusprosessiin. Paperikoneen tai paperitehtaan

suurimmat osaprosessit ja toiminnot, jotka vaativat höyryä, ovat kuivatussylinterit, höyrylaatikko, lämmitykset ja ilmastoinnit. Tässä tapauksessa huomionarvoista on se, että lämpöenergian määrä riippuu useammasta osatekijästä niin kuin sähkönkäytös- säkin. Erityisesti eri vuodenaajat sekä tuotannon yhteydessä tehtävät seisokit niin suunnitellut kuin suunnittelemattomat nostavat tai laskevat lämmitysenergian käyt- töä (Kuusisto 2014, 13.) Kuviossa 9 on esitetty yhden paperitehtaan lämmitysenergi- ankäytön jakaantuminen.



Kuvio 9. Höyrynkulutus paperitehtaassa (Kuusisto 2014, 14)

Kuten sähkölle, niin myös lämmitysenergialle voidaan laskea tietty kulutus tuotettua paperitonnia kohden. Tämä on esitettyä kaavassa 2.

$$\text{Höyrynkulutus} \left(\frac{kWh}{tn} \right) = \frac{Q_{\text{höyry}} (kW)}{\text{Tuotanto} \left(\frac{tn}{h} \right)} \quad (2)$$

missä $Q_{\text{höyry}}$ = höyryn massavirta (kg/s) * ominaisentalpia (kJ/kg)

Muu käyttö

Edellä mainittujen energiamuotojen lisäksi paperinvalmistuksen yhteydessä käytetään vettä sekä tietyssä määrin kaasua.

Vettä hyödynnetään pääsääntöisesti paperikoneen suihkuissa, jäähdytyksissä sekä kemikaalien valmistuksessa. Näiden lisäksi vettä käytetään myös erilaisten pumppujen tiivistevesinä sekä paperikoneen pesuvesinä. Veden käyttö paperinvalmistuksessa on yhteydessä lämmönkäyttöön, mitä enemmän vettä joudutaan itse prosessiin käyttämään, sitä enemmän se lisää höyrynkäyttöä. Tässäkin vesimäärän määrittelee valmistettava paperilaji ja paperikone.

Kaasua tyypillisesti käytetään paperinvalmistuksen loppuvaiheessa, yleisemmin infoissa eli paperinkuivatusmenetelmässä sekä kalentereissa. Myös tämän prosessin tarvitsemaan kaasuenergiaan vaikuttavat mm. ajonopeudet, paperilaji ja sitä kautta täyteaineiden määrä. (Kuusisto 2014, 15; Hytönen 2017, 21.)

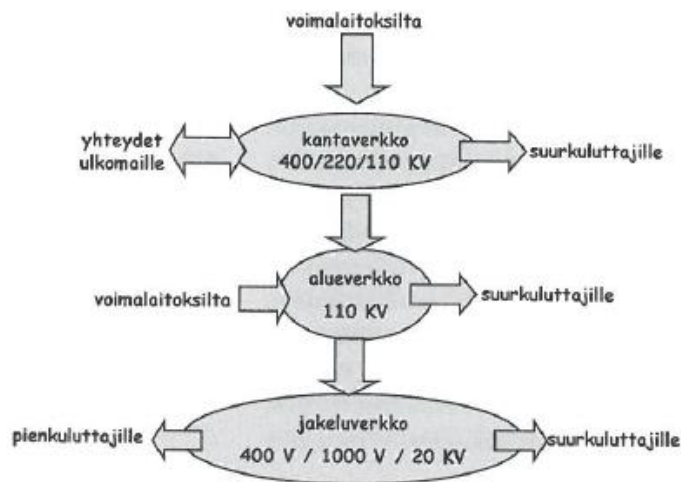
5 Sähköjärjestelmä

5.1 Sähköverkko

Suomessa sähköverkko koostuu aina kanta-, alue- ja jakeluverkoista (ks. kuvio 10). Näiden kolmen eri kokonaisuuden johdosta, jokainen sähkönkuluttaja saa tarvitsemansa sähkön.

Kantaverkossa jännite on tyypillisesti joko 400, 220 tai 110 kV. Kantaverkon tehtävänä on toimia sähkönsiirron ylläpitäjänä, jonka avustuksella saadaan siirrettyä suuriakin määriä sähköenergiaa mm. teollisuuteen ja muihin jännite- ja jakeluverkkoihin. Siirrettävän sähkön kantaverkko saa sähkötuotantolaitoksilta. Alueverkkoihin siirrettävä kantaverkon suurjännitteinen sähkö muunnetaan muuntajilla alueverkoille sopivaksi jännitteeksi. Tämän jälkeen alueverkosta sähkö kulkeutuu eteenpäin suurille kulutuskohteille ja jakeluverkkoihin. Jännite alueverkossa on tyypillisesti 110 kV. Viimeisenä osana koko sähköverkon kokonaisuutta on jakeluverkko. Jakeluverkon tehtävänä on siirtää sähköä sekä pienkuluttajille että suurkuluttajille teollisuuteen. Jake-

luverkon jännitetasot ovat 20 kV, 1000 V tai 400 V. Pienkuluttajille sähkö muunnetaan muuntajilla tarvittaessa 20 kV:sta aina 230/400 V:iin asti. Tänä päivänä myös 1000 V toimii yhtenä sähköverkon jännitetasona ja sillä on pyritty korvaamaan verkon 20 kV:n jännitettä. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 306.)



Kuvio 10. Sähköverkon rakenne (Huhtinen ym. 2013, 305)

Teollisuuden sähköverkot

Puhuttaessa teollisuuden sähköverkoista tarkoitetaan niillä joko 110, 20, 10 ja 6 kV:n sekä 690 V:n tai 400 V:n jännitteellä toimivaa verkkoa, johon on liitetty teollisuuslaitos. Käytettävä jännite määräytyy sen mukaisesti, kuinka paljon kyseinen teollisuuskohte tarvitsee sähkötehoa käytettäväkseen. Teollisuuden sähköverkko koostuu kolmesta eri osasta: yleisestä sähköverkosta, keskijännite- ja käyttäjajakeluverkoista.

Nykyään keskijännite on yleisesti käytetty jännitetaso teollisuudessa, koska sen käyttö ei rajoitu vain yhteen jännitetasoon. Verrattuna pienteollisuuteen, missä jännite on 400 V, on suurteollisuuden pääjakelujännite tyypillisesti 6, 10 tai 20 kV. Teollisuudessa sähköverkon pääjakelujännite määräytyy sen mukaisesti, mikä on laitteiden ja kuluttajien pääasiallinen tarve ja käyttöjännite. (Korpinen n.d.)

Teollisuudessa jakeluverkon jännitteen määrittelevät hyvin pitkälti moottorit, jotka kuuluvat prosessin sähköjakeluun ja ovat sitä kautta suurin yksittäinen sähköä kulluttava laiteryhmä. Muita käyttöjakeluverkkoon kuuluvia asioita ovat: apusähköjärjestelmät sekä valaistus- ja huoltojärjestelmät. Teollisuudessa jakeluverkko on luonteeltaan hyvin usein säteinen. Säteisverkon tehtävänä on estää syntymästä liian suuria oikosulkuvirtoja. Teollisuuslaitoksen yksittäisenä etuna on se, että kaikkea käytettävää sähköä ei tarvitse välttämättä ostaa valtakunnallisesta verkosta, vaan se voidaan osaksi itse tuottaa voimalaitoksien generaattoreiden avulla. (Hietalahti 2013b, 6; Korpinen n.d.)

Teollisuudessa toimivalla pienjänniteverkolla on kolme erilaista toiminta mahdollisuutta. Jakelu voidaan jakaa keskitettyihin, porrastettuihin sekä hajautettuihin verkoihin. Keskitetyssä ratkaisussa on nimensä mukaisesti kaikki laitelähdöt suoraan pääkeskuksien yhteydessä. Porrastetussa on taas tyypillisesti sekä pääkeskuksia että alakeskuksia. Hajautettu eroaa edellisistä rakenteista siten, että sähköjakelu toteutetaan laitteille tai komponenteille tehdasmuuntamoiden avustuksella. (Hietalahti 2013b, 11-13.)

Sähköverkkoon liityntä

Fingridin valvovaan ja hallinnoimaan kantaverkkoon yhdistyttäessä, täytyy teollisuuden tai prosessiteollisuuden toiminnallinen nimellisjännite olla vaadittu 110 kV. Tämä vaatimus koskee ainoastaan raskasta teollisuutta. Hyvin tyypillisesti myös 110 kV:n jännitettä hyödynnetään laitoksen sekä mahdollisen tehtaan omassa sähköverkossa. Jännitteet, joita pääsääntöisesti käytetään laitoksen tai tehtaiden sisäisessä sähköverkko liitynnöissä ja jakeluissa ovat: 10 kV, 20 kV, 6 kV ja 690 V sekä 400 V. Näistä 10 ja 20 kV:n jännitteitä käytetään pienteollisuuden liittyessä verkkoon.

Sähköverkkoon liittyminen tapahtuu esim. laitoksilla siten, että mahdollinen generaattori kytketään ensin 10 tai 20 kV:n keskijännitteeseen ja vasta tämän jälkeen se muunnetaan sähköaseman avulla kantaverkon suurjännitteeksi. Yksittäisen laitteen kytkeminen laitoksen sisäiseen pienjännitesähköverkkoon tapahtuu sähköä syöttävän kaapelin ja sähkökeskuksen kautta. Erilaisia sähkökeskuksia ovat mm. pääkeskus,

ryhmäkeskus, työmaakeskus ja moottorilähtökeskus. Keskukselle jännite tulee tyypillisesti jakelumuuntajan kautta, joka puolestaan saa syöttönsä sähkökojeistolta. (Holpainen 2014, 10-11.)

5.2 Sähkökäytöt ja syöttö

Sähkökäyttöjen tarkoituksena on saada aikaan energianmuutos. Sähkökäytössä energia muuttaa muotoa sähköisestä olomuodosta työksi, joka on mekaanista. Energianmuunnoksen apuna käytetään hyvin usein sähkökoneita, taajuusmuuttajia ja mekaanisia komponentteja, millä sähköenergia saadaan muutettua prosessin kannalta oikeanlaiseksi mekaaniseksi työksi. Sähkökäytön perusideana on kuitenkin, että se liittyy aina jotenkin aineen tai materiaalin siirtämiseen. (Niiranen 1999, 13-14.)

Teollisuudessa sähkökäytöt ovat tyypillisesti sähkömoottori-, puhallin- ja pumppukäyttöjä, mutta esim. paperiteollisuudessa on myös paperikonekäyttöjä, jotka koostuvat monimoottori-, erillismoottori- ja linjamoottorikäytöistä. Sähkökäytöt voivat olla myös joko säädettyjä tai säätämättömiä, riippuen prosessista. Sähkökäytön mitoitus ja suunnittelu vaativat erittäin hyvää prosessituntemusta. Prosessituntemus luo pohjan sille, että prosessin tarpeen pystyy siirtämään tarvittavaksi informaatioksi. (Mts. 61-63.)

Sähkönsyöttö

Sähkönsyöttö eli toiselta nimeltään sähkönjakelu tapahtuu teollisuudessa sähköä tarvitsevalle laitteelle pääsääntöisesti syöttökaapelia myöten kolmivaiheisena. Toki yksivaiheisia sähkönsyöttöjä käytetään, mutta tällöin kyseessä on tyypillisesti valaistusta, pistorasioita ja yksivaiheisia sähkömoottoreita. Kolmivaiheisen sähkönsyötön etuna on se, että suurien sähkötehojen siirto on helpompaa ja se vähentää kaapelointikustannuksia.

Sähkönsyötön syöttökaapelin poikkipinnan eli koon määrittää käyttöjännite, teho ja sähkövirta. Syöttökaapelit koostuvat vaihejohtimista, johtimen ympärillä olevista

suojauksista sekä eristyksistä ja ulkoisista suojamateriaaleista. Syöttökaapelin johdinmateriaalina käytetään alumiinia tai kuparia. (Holpainen 2014, 14; Hietalahti 2013a, 9.)

Sähkönsyötön mitoitus riippuu myös kuormalaitteesta, johon sähköä halutaan syöttökaapelia pitkin siirtää. Kuormalaite määrää sähkönsyötön jännitteen suuruuden ja vaihemäärän kaapelissa. Sähkönsyöttö voi olla joko suur-, keski- tai pienjännitteistä. Yleisesti ottaen teollisuudessa esim. suuremman kokoluokan moottoreille sähkönsyöttö tapahtuu keskijännitekojeiston ja moottorikeskuksien kautta. Kojeisto toimii sähkönsyöttönä moottorikeskukselle ja moottorikeskus toimii sähkönsyöttönä pyörittävälle sähkömoottorille. Kojeistoille sähkönsyöttö tulee päämuuntajilta. Jännitteinä toimivat 20, 10 ja 6 kV. (Holpainen 2014, 14.)

Teollisuudessa pienjännitepuolella sähkönsyöttö toteutetaan 690/400 V:n jännitteellä ja pistorasiat sekä valaistus 400/230 V:n jännitteellä. Näin tehdään, koska pienjännitteessä tehot eivät kasva niin suuriksi kuin keskijännitteessä. Myös jännite ja virta ovat pienempiä pienjännitepuolella. Teollisuudessa pienjännitteessä käytetään joko TNS- tai IT-järjestelmää. TNS-järjestelmän jännitteenä käytetään 400 V ja se on maadoitettu kiinteästi maadoitusjohtimen PE:n avulla. IT-järjestelmän jännitteenä on 690 V ja sen on yhteydessä maahan erillisen vastuksen kautta. (Holpainen 2014, 14; Hietalahti 2013, 9.)

5.3 Ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmä on teknisesti ottaen prosessin tai prosessilaitteen ja prosessia ohjaavan käyttäjän välinen yhteys. Ohjausjärjestelmän tehtävänä on viestiä käyttäjälle prosessin tai laitteen sen hetkinen tila ja pitää ne toimintakäykyisenä. Ohjausjärjestelmä kattaa tyypillisesti logiikan, käyttöliittymän, tiedonkeruun ja se voi sisältää monta erilaista ohjaustasoa. Ohjausjärjestelmä ja prosessi ovat tietynlainen suljettu kierto, missä tieto kulkee aina eteenpäin.

Ohjausjärjestelmän ja prosessin välillä olevat ohjattavat laitteet ovat joko, pneumaattisia, sähkömekaanisia tai elektronisia. Näihin kuuluvat mm. releet, laskurit ja kytkin-kellot. Nykyään kuitenkin yleisempänä menetelmänä käytetään laitteiden ohjauksessa ohjelmoitavia logiikoita. (Ohjaussuunnittelun perusteet 2016, 2-12.)

Ohjelmoitavan logiikan tehtävänä on siirtää mittaustietoa antureilta järjestelmään ja käsitellä kerättyä tietoa. Prosessin toimilaitteiden ja venttiileiden asennot sekä toiminnot ovat riippuvaisia siitä, kuinka logiikka on ohjelmoitu käsittelemään antureilta saatua tietoa tai käskyä. Logiikalla pystytään joko ehto- tai askelohjaukseen. Ehdossa logiikka toimii ainoastaan antureilta saadun tiedon mukaisesti, kun taas askelmene- telmässä tarvitaan mittaustiedon lisäksi tietää, missä askeleessa ollaan. Logiikka-oh- jaus voidaan toteuttaa aina pienestä mittakaavasta suurlogiikoihin saakka. (Ohjau- suunnittelun perusteet 2016, 2-12.)

5.4 Säätöreservi ja varavoima

Elovaaran ja Haarlan (2011, 356) mukaan sähköverkon reserveillä on kaksi merkittä- vää tehtävää, säätö normaali- ja häiriötilassa. Tämän lisäksi Haarla ja Elovaara (2011, 356) toteavat, että normaalintilan säädönohjaus tehdään joko taajuusohjattuna käyt- tönä tai käsiohjattuna käynnistyksenä.

Taajuusohjatuilla käyttöreserveillä tarkoitetaan voimalaitoksia tai tehoresursseja, jotka seuraavat verkon taajuuden heittelyä ja sen perusteella säätävät kuormitusta. Tämän säädön piirin kuuluvat mm. sähköntuonti ulkomailta kuin vesivoima- ja lauh- devoimalaitokset. Tehonsäätö tapahtuu siinä vaiheessa, kun sähköverkon taajuus ru- peaa heittelehtimään normaalista sähköverkon taajuudesta eli 50 Hz:tä. Säätö tapah- tuu laitoksien kuormituksia ja tuontisähköä säätämällä. (Elovaara & Haarla 2011, 356.)

Häiriöreservin taajuudenohjaus otetaan käyttöön siinä vaiheessa, kun sähköverkon taajuus pääsee putoamaan 49,9 Hz:iin. Kaikki tarvittava reservi pyritään ottamaan käyttöön siinä yhteydessä, jos verkon taajuus putoaa suuren häiriön esim. sähköä tuottavan laitoksen notkahduksen johdosta. Reservit pitää olla siten mitoitettu ja suunniteltu, että missään kohdassa taajuus ei pääse putoamaan alle 49,5 Hz:n.

Käsin käynnistettäviä reservejä kutsutaan joko nopeiksi tai hitaiksi. Riippuen reservin tyyppistä niiden täytyy olla joko 15 minuutissa tai sen jälkeen tukemassa verkon taa- juuden heittelyä. Yleensä käsin käynnistettäviin reserveihin kuuluvat kaasuturpiinit ja kuormat, jotka ovat mahdollista irti kytkeä verkosta. (Elovaara ym. 2011, 357.)

Suomessa varatuotannolla varmistetaan, että kuluttaja saa aina tarvitsemansa sähkön, höyryn tai kaukolämmön. Varatuotannon tehtävänä on siis varmistaa, että energianjakelussa ei tule merkittäviä katkoksia. Tyypillisiä varatuontolaitteita ovat mm. dieselgeneraattorit (sähkönsyöttö), kaasuturpiinit, kahdennetut pumput (syötövesi), sekä akustot ja UPS-laitteet (instrumentaatio, prosessinohjauslaitteet). (Huh-tinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 312-313.)

5.5 Sähkömarkkinat ja hinnoittelu

Suomessa sähkömarkkinoiden vapautuminen tapahtui vuonna 1995. Tästä seurasi se, että pari vuotta myöhemmin markkinoiden vapautuminen näkyi myös pienkuluttajilla. Markkinoiden vapautumisen myötä pienkuluttajille tuli mahdollisuus kilpailuttaa sähkönsopimuksensa. Markkinoiden vapautuminen on sittemmin myös mahdollistanut pientuotannon ja siitä syntyvän ylijäämänsähkön myymisen sähkömarkkinoille. Pohjoismaat, mukaan lukien myös Baltian maat kuuluvat pohjoismaisiin tukkusähkömarkkinoihin. Sähkömarkkinoiden vapautumisen yhtenä etuna on ollut se, että aktiivisemmin pyritään etsimään tehokkaampia ja ympäristöystävällisempiä keinoja tuottaa sähköä. (Sähkömarkkinat n.d.)

Säätösähkömarkkinat

Säätösähkömarkkinoilla tarkoitetaan sitä, että tehokuormien ja ylimäärätuotannon omistajat jättävät hintatarjoukset säätökapasiteetistaan. Markkinoiden perimmäisenä tarkoituksena on kuitenkin varmistaa sähköverkon tehotasapaino tuotannon sekä kulutuksen kesken ja turvata häiriö- tai vikatilanteessa riittävä reservi. Suomessa säätösähkömarkkinoita hallinnoi Fingrid, joka prosessoi ja kehittää sitä yhdessä Pohjoismaisten verkkoyhtiöiden kanssa. Sähkömarkkinoille pääsemisen edellytyksenä on sopimuksen teko. Sopimus tehdään Fingridille. Korvauksen reservinkapasiteetistä myyjä saa siinä vaiheessa, kun sen ehdottama tai tarjoama ylös- tai alassäätöehdotus tulee hyväksytyksi kyseisillä säätökapasiteettimarkkinoilla. Joissain tapauksissa myös reservin ylläpidosta maksetaan korvausta.

Jo 10 MW:n resursseista pystytään antamaan säätösähkötarjouksia Fingridille. Ehtona on se, että resurssit pystyvät toteuttamaan kuormamuutoksia nopean häiriöreservin sallimassa ajassa. Tarjottuun säätöön on sisällytettävät ainakin reservin teho, hinta, tuotanto ja siirtoalue sekä säädettävän resurssin nimike. Kuviossa 11 on havainnollistettu säätötarjouksen periaate. (Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat n.d.)



Kuvio 11. Säätösähkön tarjousmenettely (Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat n.d)

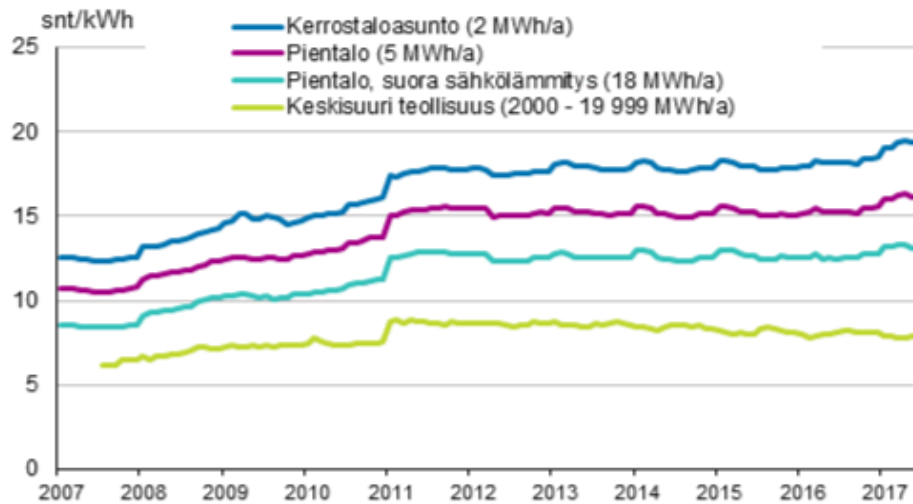
Kysyntäjousto

Sähkönkäytön kysyntäjouston hallinnalla tarkoitetaan joko sähkönkulutuksen siirtämistä korkeasta hinnasta ja kuormituksesta ajankohdaltaan edullisemmalle tunnille tai sähkönkulutuksen säätämistä tehontarpeen mukaisesti. Tehokkuuden ja kustannuksien kannalta on erittäin suotavaa seurata sähköhinnoittelu- ja kuormamarkkinoita. Tulevaisuudessa kysyntäjoustoille on erityisesti tarvetta, koska ydinvoiman ja uusituvan energiantuotannon osuus kantaverkossa kasvaa. Kysyntäjouston kasvu takaa sen, että nykyinen tapa toimia markkinoilla voidaan säilyttää. Tällä hetkellä Suomessa kauppaa markkinoilla tehdään vain energiasta. (Kysyntäjousto n.d.)

Hinnoittelu

Sähkön hinta koostuu kahdesta asiasta, energianhinnasta ja sähkönsiirto hinnasta. Hintojen kilpailutus onnistuu vain energian myynnin osalle. Suomessa esimerkiksi

sähkösiirtohinnoitteluun vaikuttaa moni asia, kuten paikkakunta ja olosuhteet. Paikkakunta vaikuttaa hinnoitteluun sen perusteella, mikä sähkösiirtoyhtiö tarkasteltavalla alueella toimii ja millaiset olosuhteet vallitsevat milläkin hetkellä. Kuviossa 12 on esitetty eri kuluttajien väliset erot sähkön hinnoittelussa. (Elovaara & Haarla 2011, 52.)



Kuvio 12. Eri kuluttajien sähkön hinnoittelu (Energian hinnat 2017, 8)

Säätösähkön hinta koostuu puolestaan kahdesta eri hinnasta, ylös- ja alasäätöhinnasta. Ylösäätöhinta muodostuu siitä, miten säätösähkömarkkinoilla sähkönkäytöstä on korkeimmin tarjottu kyseiselle ylösäätötunnille. Päinvastaisesti kuin ylösäädölle, alassäädönhinta muodostuu alhaisimmasta sähköhintatarjouksesta. Säätösähkön hinnassa on kuitenkin se, että alas- ja ylösäätöhinnat voivat olla vähintään ja enintään sähköpörssin määrittelemät vuorokausikohtaiset hinnat. (Säätösähkön hinta n.d.)

6 Höyryjärjestelmä

6.1 Höyryn ominaispiirteet

Höyry on yleisesti käytetty energianmuoto teollisuudessa. Höyryllä lämmitetään erilaisia prosesseja tai prosessin osakokonaisuuksia, kuten esim. paperikoneen kuivatusosaa. Yleistynyt höyryn käyttö teollisuudessa johtuu siitä, että se on energiamuotona turvallinen eikä se sisällä ominaisuuksiltaan vaarallisia aineita. Sen suurena etuna sekä tehokkuutena on siirtämisen ja kuljettamisen vaivattomuus sekä suuri lämpökapasiteetti ja helppo säädettävyys. Eritoten paineen avustuksella pystytään säätämään tai hallitsemaan höyryn lämpötilaa. Höyryn yksi hyvä puoli on myös se, että siihen voi sitoutua moninkertainen määrä energiaa verrattuna samansuuruiseen vesimassaan. Myös yhtiöiden ja kuluttajien näkökulmasta höyry on edullinen ratkaisu muihin menetelmiin verrattuna. (Federley 2009, 2.)

Muita merkittäviä etuja höyryn käyttämiselle on se, että höyryn avulla pidetään yksittäisiä kohteita lämpöisenä. Tämän lisäksi höyryä käytetään paljon teollisuudessa niin ilman kosteuttajana kuin tuotteen steriloijanakin. Onnistuneen höyryn käytön edellytyksenä on perusteellinen höyryjärjestelmän suunnittelutyö ja kunnossapito. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 80.)

Lämmön siirtyminen

Höyryn ominaispiirteiden kannalta myös lämpöenergian siirtyminen on oleellinen asia yleisellä tasolla. Lämmönsiirtoa voi tapahtua kolmella erilaisella menetelmällä ja sen pitää perustua aina johonkin tapahtumaketjuun. Lämmönsiirron ominaispiirteet on täytyttävä ennen kuin lämmönsiirtoprosessin on mahdollista toteutua. Yleisesti helpointa on kuitenkin muistaa seuraava toteama: ”Lämpö siirtyy aina kylmempään”. Menetelmät, joilla lämpöenergia voi siirtyä ovat: johtumalla, konvektiolla eli kulkeutumalla ja säteilyinä.

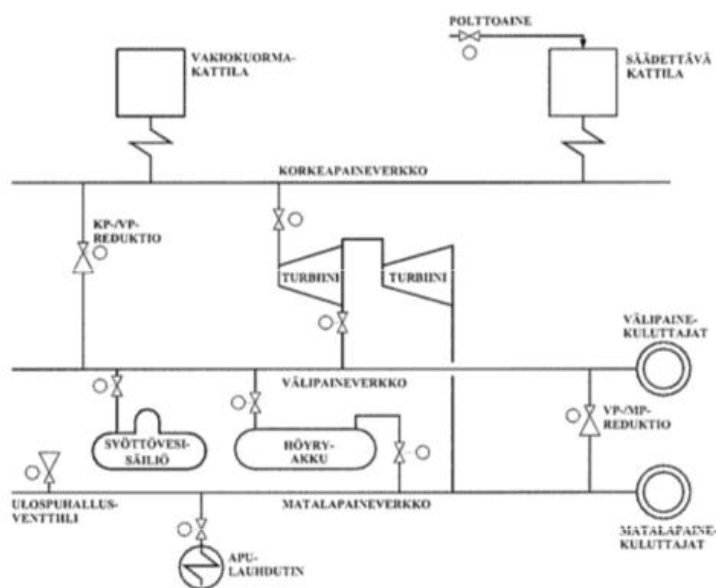
Johtuessa, lämpöenergia on kosketuksissa kylmemmän materiaalin tai pinnan kanssa, jolloin se luovuttaa sisäistä lämpöenergiaa siihen. Konvektiolle ominaista on se, että

reaktio tapahtuu ainoastaan virtaavien aineiden kesken. Näin lämpöenergian siirtyminen on riippuvainen virtaavasta aineesta. Kahdesta edellisestä menetelmästä poiketen säteilyssä lämpöenergia syntyy, kun kaksi erilämpöistä kappaletta kohtaavat. (Pihkala 2011, 102.)

6.2 Höyryverkko

Höyryverkolla on erittäin tärkeä tehtävä: se toimii yhteytenä höyryä tuottavan ja höyryä tarvitsevien laitteiden välillä. Höyryverkko on erittäin kriittinen ja prioriteetiltaan tärkeä järjestelmä. Varsinkin silloin, jos halutaan siirtää lämpötilaltaan ja paineeltaan optimaalista höyryä laitteiston tarvitsema määrä kulutuskohteeseen höyryverkkoa pitkin. Tärkeäksi asiaksi muodostuu suunnittelu rakentamisvaiheessa sekä höyryverkon kunnossapito. Höyryverkkoon kuuluvia komponentteja ovat kattila, höyrytukki, syöttövesisäiliö, apulauhdutin, höyryakku ja erilaiset venttiilit kuten reduktio- ja varoventtiili. (Merritt 2016, 145.)

Hyvin yleisesti myös turbiini on yksi höyryverkkoon kuuluvista komponenteista, mutta tässä yhteydessä ei keskitytä siihen. Kuviossa 13 on esitetty yhden teollisuuskohteen höyryverkon rakenne eri painetasoineen ja komponentteineen.

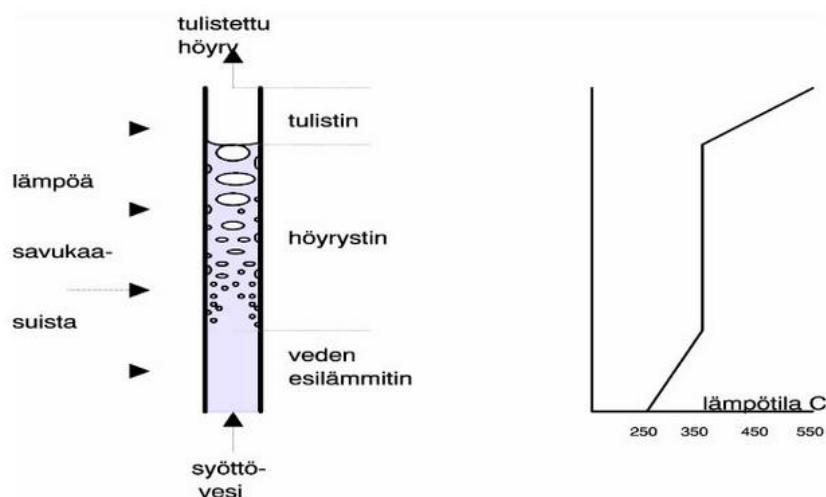


Kuvio 13. Höyryverkon rakenne komponentteineen (Alhanko 2011, 60)

Höyrykattila

Höyrykattila on rakenteeltaan suuri metallinen säiliö, jossa vedestä tehdään höyryä ja mahdollisesti siitä edelleen tulistettua höyryä. Höyrykattilan toimintaperiaatteen mukaisesti kattilan sisään syötettävän esilämmitetyn veden lämpötilaa nostetaan niin, että vesi saavuttaa ensin kiehumispisteensä ja tämän jälkeen höyrystymispisteensä. Kattilan sisällä vallitsevan paineen höyrystymislämpötilassa tapahtuu tämän seurauksena veden höyrystyminen. Höyrystymisen jälkeen sitä edelleen lämmitetään. Tästä seuraa se, että höyrystynyt vesihöyryseos lämpiää korkeampaan lämpötilaan kuin höyrystymislämpötilassa olleessaan, minkä seurauksena vesihöyry tulistuu. Kattilasta ulostuleva höyry on korkeapaineista ns. tuorehöyryä.

Veden muuttaminen höyryksi on energiankulutuksen kannalta merkittävä prosessi. Kyseiseen prosessiin kuluu paljon energiaa, minkä seurauksena höyrykattiloiden polttoaineena on hyödynnetty fossiilisia polttoaineita. Paperiteollisuuden prosesseista sivutuotteina syntyviä jätteitä käytetään myös polttoaineina. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 1994, 7.) Kuviossa 14 on havainnollistettu se, miten vesi muuttuu höyrystysprosessin yhteydessä tulistetuksi höyryksi ja kuinka lämpötila muuttuu samassa suhteessa.



Kuvio 14. Höyrykattilan toimintaperiaate (Höyrykattilan toimintaperiaate n.d)

Syöttövesisäiliö

Syöttövesisäiliö on tietynlainen kattilalle syötettävän veden välivarasto, missä lauhde, käsitelty kylmä vesi ja höyry kohtaavat. Pääsääntöisesti turbiinilta saatavan väliottohöyryn tehtävänä on mm. lämmittää syöttövesisäiliön vesi. Vettä lämmitetään siten, että se muuttuu kylläiseksi vedeksi. Tällä pyritään siihen, että kylläinen vesi olisi höyrystymislämpötilaltaan samaa luokkaa kuin säiliössä olevan höyryn paine, jolloin mahdollisten korroosiota aiheuttavien kaasujen osuus olisi minimaalinen. Samassa yhteydessä tapahtuu veden esilämmitys, mikä taas vaikuttaa suoraan laitoksen rakennusasteeseen. Näin ollen syöttövesisäiliö voidaan kuvitella tietynlaiseksi isoksi sekoituskammiksi, jossa erilämpöisiä vesiä ja eripaineisia höyryjä sekoitellaan keskenään. (Huhtinen ym. 2013, 23; Mönkkönen 2014, 7-8.)

Yhtä tärkeässä roolissa kuin syöttövesisäiliö on syöttövesipumppu. Syöttövesipumpun tärkeimpänä tehtävänä on siirtää esilämmitettyä syöttövettä syöttövesisäiliöstä aina kattilalle asti. Pumpun tarkoituksena on nostaa painetta, jotta kattilasta lähtevän höyryn paine on tarvittavan suuri kulutuskohteille mennessä. Paineennostossa on toki otettava huomioon kattilassa esiintyvät painehäviöt. Näin ollen syöttöveden paine täytyy nostaa sen verran suureksi, että se ns. ”voittaa” kattilassa esiintyvät painehäviöt. (Huhtinen ym. 2013, 23.)

Höyrytukki

Höyrytukki toimii höyryverkossa tietynlaisena höyryn jakelijana eri painetasoilla. Höyrytukki koostuu useista eri höyryputkista, missä höyry virtaa voimalaitokselta tukille ja jatkaa matkaansa höyrytukin jälkeen varsinaisille höyryn käyttökohteille. Isossa teollisuudessa höyrytukkeja voi olla monia ja höyrytukkien nimelliset painetasot voivat vaihdella höyryn kuluttajien mukaan. Pääsääntöisesti höyrytukit on jaettu kolmeen eri painetasoon: matala-, väli- ja korkeapainetasoon. Höyrytukin suunnittelussa ja mitoituksessa huomioon on otettava virtausnopeuksien kasvaessa mahdolliset painehäviöt ja vastukset. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 81; Mönkkönen 2014, 6.)

Apulauhdutin

Apulauhduttimen perimmäisenä tarkoituksena on kompensoida kulutetun ja tuotetun höyryn suhdetta. Kompensoinnilla pystytään vaikuttamaan esim. siihen, että paine ei pääse nousemaan höyryverkossa liian korkeaksi. Apulauhduttimen käyttö on todella yleistä mm. paperiteollisuuden yhteydessä, missä esiintyy paljon yllättäviä ja ajallisesti vaihtelevia tuotannon katkoksia. Tuotannonkatkoksien myötä lämpötilojen ja höyrykuormien määrissä voi esiintyä suuriakin vaihteluja.

Näiden lisäksi apulauhdutinta hyödynnetään sähkötehon maksimoinnissa. Sähkötehon maksimointi tilanteita esiintyy silloin, kun sähkön hinta on normaalia korkeampi. Tämä tarkoittaa sitä, että tässä yhteydessä turbiinin läpi pyritään ajamaan mahdollisimman paljon höyryä. Edellinen tilanne onnistuu vain, jos samassa yhteydessä apulauhduttimelle ajetaan matalapaineistahöyryä. Apulauhdutin ja lauhdutin toimivat tismalleen samalla tavalla, höyry jäähtyy prosessin aikana vedeksi. (Mönkkönen 2014, 9.)

Höyryakku

Höyryakku on höyryn varastointimenetelmä. Akun tarkoituksena on ladata sisäänsä höyryä ja tarvittaessa purkaa sitä kulutuskohteisiin. Hyvin yleisesti höyryakku on asennettu esim. kahden eri painetason välille. Höyryakulle ominaista on se, että yhtä-aikaisesti ei voida ladata ja purkaa.

Itse latauksen yhteydessä korkeapainehöyry johdetaan akkuun, jossa on matalapaineista vettä. Sekä höyry että vesi ovat kylläisiä, minkä ansiosta tapahtuu lämmönsiirtyminen. Akussa olevan veden lämpötilaan ja paineeseen vaikuttavat latauksen yhteydessä latautuneet höyrykondensaattit ja lauhduttimesta vapautunut lämpö. Lataus voi jatkua niin kauan, kunnes paine vastaa korkeampaa painetasoa. Lataus kestää yleensä sen aikaa, että akun painetaso vastaa ylemmän painetason painetta. (Turunen 2017, 13.)

Höyryakun purun johdosta laskee myös samalla akun painetaso. Tämä tapahtuu siten, että akun poistiventtiili avataan, jolloin höyry pääsee virtaamaan höyryverkkoon, joka on matalapaineinen. Paineen pudotuksen myötä kylläinen höyry pyrkii

haihtumaan ja tämän seurauksena syntyy enemmän purettavaa höyryä. Tässä yhteydessä myös akun lämpötila laskee. Höyryn purkaminen loppuu siinä vaiheessa, kun akku saavuttaa alemman painetason. (Turunen 2017, 13.)

Venttiilit

Höyryverkon venttiilit koostuvat reduktio-, varo- ja ulospuhallusventtiileistä. Nämä venttiilit ovat erittäin oleellinen osa koko höyryjärjestelmää ja sitä kautta myös höyryverkkoa.

Reduktioventtiilin tehtävä on hyvin yksinkertainen. Sen avulla tietyn paineisen höyryn painetasoa tiputetaan alemmaksi eli ”maalaiskielellä” reduktioventtiili toimii paineenalennusventtiilinä. Tämän lisäksi reduktioventtiili toimii myös apulaitteena turbiini vikatilanteissa. Turbiinin vikatilanteen esiintyessä voidaan turbiini tarvittaessa ohittaa ja ajaa höyryä reduktioiden kautta suoraan kulutusasteille. Reduktioprosessissa tehdään lämpötilan lasku höyrylle, että saavutetaan sama lämpötila kuin alhaisemmassa painetasossa. Höyry pystytään jäädyttämään alemmalle lämpötilatasolle ruiskutusveden ansiosta. Ruiskutuksen hyötynä on se, että tukin lämpötila ei pääse nousemaan. Ruiskutusveden ansiosta myös kattilalta otetun höyryn määrä laskee. (Mönkkönen 2014, 9; Tapalinen 2017, 18-19.)

Ulospuhallus- ja varoventtiilit ovat suunniteltu toimimaan höyryverkon suoja- tai turvalaitteena joko poistamaan matala- tai korkeapaineistahöyryä. Tämän menetelmän huonona puolena on se, että tässä yhteydessä menetetään valtavasti potentiaalista ja käyttökelpoista energiaa. Venttiilien tehtävänä on hallita höyryverkon painetta, että se ei pääse kohoamaan yli sallitun arvon. Tämän lisäksi ulospuhallusventtiiliä pystytään myös käyttämään hyödyksi kattilan ylösajossa. (Tapalinen 2017, 19; Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 1994, 217-219.)

6.3 Höyryn siirto

Höyryn siirto höyryä tarvitsevalle kuluttajalle tapahtuu kattilan päähöyryventtiilin kautta. Höyryn siirtyminen höyryverkkoon tapahtuu välittömästi kattilan höyryventtiili auetessa. Tapahtumaketjun alkuvaiheessa tapahtuu tiivistymistä, kun höyry on

kosketuksissa viileisiin höyryverkkoputkistoihin. Tällöin lauhtuminen on mahdollisesti suurta ja voi aiheuttaa pienen alipaineen päähöyryputkistoissa. Tässä yhteydessä höyryvirtauksen määrittää kylmien höyryputkistojen kondensoituminen, joka voi aiheuttaa hetkellisesti suuria muutoksia höyryn tarpeissa. Höyryputkistoissa syntyvä lauhde putoaa tyypillisesti putkiston pohjalle ja kulkeutuu höyryvirtauksen mukana. Lauhteita varten höyryputkiston kaltevuus on tietynlainen, ja lauhde pyritään keräämään putkiston kannalta tärkeistä kohdista. Lauhteen määrä on enää minimaalista siinä vaiheessa, kun höyryputkisto on lämmennyt riittävästi.

Höyryputkiston lämmennettyä höyryn sisältämä energia siirtyy laitteille ja tarvittavaan kohteeseen, kunnes höyryn lämpötila on riittävä. Siirron yhteydessä tehtävät paine- ja virtausmuutokset toteutetaan säätöventtiilien avulla. Laitteiden sekä kohteiden lämmitysvaatimukset määrittelevät loppuvaiheessa höyryn siirrossa tapahtuvan virtauksen. (Merritt 2016, 145.)

Höyryn siirrossa sekä jakelussa on otettava huomioon myös muutamia tärkeitä asioita, jotka vaikuttavat suoralta kädeltä esim. höyryputken mitoitukseen ja suunnitteluun. Tällaisia ovat mm. höyryverkon paine, höyryn kulutus, höyryn virtausnopeus ja sen ominaistilavuus. Myös painehäviöt ja putkien pituudet ovat tärkeitä asioita, jotka vaikuttavat höyryn siirtoon. Höyryputken koko voidaan laskea kaavan 3 mukaisesti tai vaihtoehtoisesti arvioida paineen, massavirran sekä virtausnopeuden perusteella (ks. liitteet 1 ja 2) (Pipes and Pipe sizing 2018.)

$$d = \sqrt{q_m * \frac{V}{v} * \frac{4}{\pi}} \quad (3)$$

missä d_{in} = höyryputken sisähalkaisija (m)

q_m = massavirta höyrylle (kg/s)

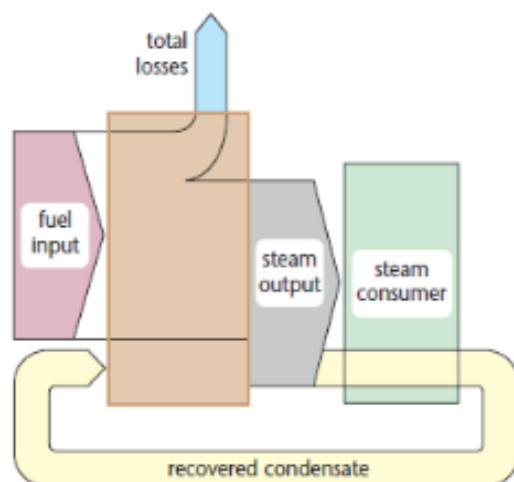
V = Ominaistilavuus höyrylle (m³/kg)

v = höyryn virtausnopeus (m/s) (Liite 2.)

6.4 Lauhde

Lauhteella tarkoitetaan höyryä, joka on lauhtunut nesteeksi. Lauhdetta syntyy hyvin tyypillisesti höyryprosesseissa ja sitä esiintyy lähes kaikkialla teollisuudessa. Toteutukseen lauhtumisprosessi vaatii sen, että lämpötilaltaan korkeampi höyry joutuu kosketuksiin lämpötilaltaan kylmemmän pinnan kanssa. Tässä yhteydessä höyry on olemuodoltaan kylläistä ja sen sisältämä lämpöenergia siirtyy johtamalla kylmempään pintaan. Lauhtumisprosessia varten on kehitetty täysin oma laite, jolla höyry pyritään muuttamaan nesteeksi. Tätä laitetta kutsutaan lauhduttimeksi. (Pihkala 2011, 108.)

Nykyään lauhdeita ei lasketa vesiverkostoihin, vaan teollisuudessa palautetaan lauhdeet takaisin kiertoon (ks. kuvio 15). Lauhteet kerätään höyryjärjestelmästä lauhdepoistimien avulla. Tällä toimenpiteellä saavutetaan useita etuja, jotka näkyvät myös yhtiön tai teollisuusyrityksen kustannuksissa sekä parantuneissa energiatehokkuuslukeissa. Lauhteen palauttaminen on kannattavaa, koska lauhtuneen höyryn sisäinen lämpöenergia on vielä tässä vaiheessa merkittävä. Lauhteenpalautuksen etuna ovat: polttoaineen kulutus ei kasva, tarvitaan vähemmän lisävettä prosessiin ja lisäveden puhdistaminen vähentyy. Lauhteiden talteen keräämisellä ja uudelleen hyödyntämisellä on suora vaikutus myös teollisuusyritysten prosessin toiminnan tehostumiseen. (Federley 2009, 2.)



Kuvio 15. Lauhteenpalautus (Federley 2009, 2)

7 Valtioneuvoston asettamat ympäristö- ja päästörajoitukset

7.1 PIPO-asetus

PIPO-asetus eli valtioneuvoston määrittelemä asetus (750/ 2013), joka astui voimaan marraskuussa 2013 ja sitä hallinnoi Ympäristöministeriö. Asetus koskee energiantuotantoyksiköitä, joiden polttoaineteho on alle 50 MW. Neuvoston antaman lausunnon perusteella tullaan sitä säätämään ympäristösuojelulain (86/ 2000) 12 ja 65 pykälien mukaisesti. Varsinaisesti itse asetusta käytetään uusille laitoksille välittömästi, mutta vanhoille alle 50 MW:n tuotantoyksiköille vasta 1.1.2018 alkaen. (A 750/ 2013, 1 §.)

Kyseistä asetusta mukautetaan niihin energiantuotantoyksiköihin, mitkä käyttävät polttoaineenaan joko kiinteää, nestemäistä tai kaasumaista polttoainetta sekä ovat teholtaan 5 MW:n ja 50 MW:n välillä. Tämän lisäksi valtioneuvoston asettamasta päätöksestä ilmenee, että asetusta sovelletaan myös samalla laitosalueella sijaitseviin 1-5 MW:n polttoaineteholuokan energiantuotantoyksiköihin, jos näiden yhteenlaskettu polttoaineteho ylittää 5 MW:n. Asetusta tullaan soveltamaan myös niihin energiantuotantoyksiköihin, joiden toiminta tai osa-toiminta on luvanvaraista tai sen tapaiseen toimintaan, joka vaatii ympäristösuojelulain (86/ 2000) 28 §:n määrittelemän luvan. Asetusta ei sovelleta mm. niihin kohteisiin, joissa on esim. jätteenpoltosta annettu oma asetus tai, jos energiantuotantoyksikön polttoaineteho on enemmän kuin 50 MW. (A 750/ 2013, 1 §.)

PIPO-asetuksessa määritellään tarkasti kuin uusille että olemassa oleville energiantuotantoyksiköille tiukat raja-arvot päästöille, ja kuinka esimerkiksi nestemäisiä polttoaineita tulisi käsitellä sekä varastoida. Tällaisia ilmaan johdettuja päästöjä ovat mm. hiukkaset, rikkidioksidi ja typenoksidit. Kuviossa 16 on esitetty päästöraja-arvot pienpolttolaitokselle. Päästöraja-arvoja tulee noudattaa erityisellä tarkkuudella laitoksen normaalissa käyntitilanteessa. Tämän tarkastelun ulkopuolelle jäävät energiantuotantoyksikön alas- ja käynnistysajot. (A 750/ 2013, 2 §.)

Nestemäisten polttoaineiden hallinnassa erityisen tarkkaa on niiden varastointi. Asetus määrittää reunaehdot sille, kuinka ja minkälaisissa astioissa tai säiliössä nestemäistä polttoainetta tulee varastoida. Seuraavassa on lueteltuna muutamia ehtoja:

1. Säiliöt, joissa nestemäistä polttoainetta varastoidaan, tulee olla joko kaksois-vaippapäällysteisiä tai sitten säiliöt pitää olla sijoitettuna suoja-altaaseen
2. Suoja-allas oltava vähintään 1,1-kertainen säiliön nestetilaavuuteen
3. Ne alueet, missä nestemäisiä polttoaineita käsitellään ja säilytetään, tulee olla maaperältään tiiviitä sekä mahdollisilta reuna-alueiltaan korotettuja. (A 750/2013, 13 §.)

Kattilan polttoaineteho (P)	Hiukkaset mg/m ³ n	NOx (laskettuna NO ₂) mg/m ³ n	SO ₂ mg/m ³ n
Nestemäiset polttoaineet¹	O ₂ = 3 %	O ₂ = 3 %	O ₂ = 3 %
1≤P≤15 MW	50 ²	800	350 ⁴
15<P<50 MW	50 ³	500	350 ⁴
Kaasumaiset polttoaineet		O ₂ = 3 %	
1≤P≤15 MW		340	
15<P<50 MW		200	
Puu ja muut kiinteät biopolttoaineet⁴	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %	
1≤P≤5 MW	200	375	200
5<P≤10 MW	50	375	200
10<P<50 MW	40	375	200
Turve	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %
1≤P≤5 MW	200	500	500
5<P≤10 MW	50	500	500
10<P<50 MW	40	500	500
Hiili	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %	O ₂ = 6 %
1≤P≤10 MW	50	270	850
10<P<50 MW	40	270	850

Kuvio 16. Päästöraja-arvot, PIPO-asetus (A 750/ 2013, Liite 1)

7.2 SUPO-asetus

SUPU-asetus eli valtioneuvoston määrittelemä asetus (936/ 2014), joka käsittelee ilmaan syntyvien päästöjen rajoittamista suurilla polttolaitoksilla. Asetuksen määritti valtioneuvosto marraskuussa 2014. Se hyödyntää ilmaan syntyvien päästöjen lakia (98- 106 §), joka määrittelee asetuksen säädettävyyden ympäristösuojelulain (527/ 2014) 97 §:n näkökulmasta. Eli se määrittelee mitä ja minkälaisia päästöjä ilmaan saa muodostua suurilla polttolaitoksilla. Päästöillä tässä yhteydessä tarkoitetaan rikki- ja typpioksideja ja hiukkaspäästöjä. Asetus koskee olemassa olevia laitoksia vuoden 2016 alusta saakka ja uusia suurpolttolaitoksia välittömästi. (A 936/ 2014, 1 §.)

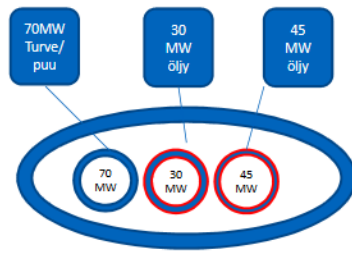
Suurpolttolaitoksia koskevassa asetuksessa on todella monta määritelmää ja niiden tarkoitusta. Oleellisimpia määritelmiä, jotka vaikuttavat vähäpäästöisemmän energiantuotannon kehitykseen ovat: energiantuotantoyksikkö, piippu, polttoaine, polttolaitos, olemassa olevat energiantuotantoyksikkö tai polttolaitos sekä vanhat polttolaitokset ja energiantuotantoyksiköt. Seuraavassa on kerrottuna muutamia määritelmiä ja niiden tarkoituksia:

- 1. Energiantuotantoyksikkö:** Käytettävä polttoaine hapetetaan joko kattilassa, kaasuturbiinissa tai polttomootorissa. Hapetuksen yhteydessä syntyvää lämpöä käytetään hyödyksi.
- 2. Polttolaitos:** Koostuu useammasta energiantuotantoyksiköstä. Yksiköillä yhteinen savupiippu, mihin savukaasut johdetaan.
- 3. Olemassa oleva polttolaitos tai energiantuotantoyksikkö:** Tässä tapauksessa puhutaan laitoksesta tai energiantuotantoyksiköstä, joka saanut luvan jo ennen SUPO 936/2014-asetusta. Laitos tai energiantuotantoyksikkö on sitoutunut sille määriteltyyn jäljellä olevaan käyntiaikaan.
- 4. Polttoaine:** Mahdollisesti joko kiinteätä, nestemäistä tai jopa kaasumaista ainetta, minkä avulla tehdään palamisreaktio polttolaitoksella tai energiantuotantoyksikössä. (Karjalainen 2013, 3-5.)

Verrattuna pienpolttolaitoksia koskevaan asetukseen on suurpolttolaitoksia koskevassa asetuksessa se, että jos savukaasut tullaan johtamaan tai johdetaan yhteiseen savupiippuun (polttolaitos määritelmä), niin silloin joudutaan laskemaan jokaisen erillisen energiaa tuottavan yksikön tehot yhteen. Tästä yhteenlaskusta tuloksena on polttoaineteho laitokselle. Laskuissa ei huomioida sellaisia yksiköitä, joiden teho ei ylitä 15 MW. Eli yksiköiden yhteenlasketun tehon perusteella asetus määrittelee kussakin tapauksessa tarkat päästöraja-arvot jokaiselle päästölle. Raja-arvoihin vaikuttavat tietenkin myös käytettävä polttoaine, ja onko kyseessä uusi laitos, olemassa oleva vai vanha laitos. (Karjalainen 2013, 3-5) Kuviossa 17 on yksi laskentamalli, siitä kuinka eri yksiköiden tehot tulee laskea yhteen.

Suuret polttolaitokset ja yhteenlaskemissäännöt

- Yhteenlaskusääntö (ei lasketa alle 15 MW:n energiantuotantoyksiköitä)



- Olemissa olevilla yksiköillä erilliset sisäpiiput yhteisessä ulkopiipussa
- Polttolaitos = kolmen erillisen yksikön tehot lasketaan yhteen = (70+30+ 45) MW = 145 MW
- Sovelletaan SuPo-asetuksen vaatimuksia
- Päästöraja-arvot 145 MW:n mukaan kullekin yksikölle 1.1.2016 lukien
- Jatkuvaa päästöjen mittausta ei vaadita – yksikään et-yksikkö ei ole 100 MW

Kuvio 17. Laskemissääntö suurille polttolaitoksille (Karjalainen 2013, 7)

Polttoainetehtojen perusteella luokitellaan päästöraja-arvot rikkidioksidi määrille olemassa olevalle energiantuotantoyksikölle. Raja-arvot on huomioitu polttoaineiden mukaisesti. Näin raja-arvot ovat voimassa niissä yksiköissä, joissa käytetään sekä kiinteää että nestemäistä polttoainetta (ks. kuvio 18). (A 936/ 2014, liite 2.)

Polttoainetehto (P) MW	Päästöraja-arvo mg			
	Biomassa	Turve	Kivihili ja muut kiinteät polttoaineet	Nestemäiset polttoaineet
$50 \leq P \leq 100$	200	300	400	350
$100 < P \leq 300$	200	300	250	250
$P > 300$	200	200	200	200

Kuvio 18. Päästöraja-arvot olemassa olevalle laitokselle (A 936/ 2014, liite 2)

8 Investoinnin määritelmä

Investoinnista puhuttaessa tarkoitetaan, sillä rahan tai pääoman sijoittamista sellaiseen paikkaan tai kohteeseen, josta investointiin sijoittava voisi vuosien saatossa

saada tuottoa. Investoitavat kohteet voivat olla monennäköisiä ja hyvinkin erilaisia, sen myötä investointien laajuus vaihtelee laidasta laitaan. Itse investointiin liittyvä sijoittaminen riippuu todella paljon siitä, mikä on investoinnin tarkoitus, laajuus ja kohde. (Saaranen, Kolttola & Pösö 2016, 323.)

Investoinnin kannattavuutta tutkittaessa täytyy aina valita kyseiseen tilanteeseen ja kohteeseen oikeanlainen laskentamenetelmä. Erilaisia laskentamenetelmiä, joilla investointien kannattavuutta voidaan tutkia ovat esimerkiksi takaisinmaksuaika, nykyarvoindeksi, nykyarvomenetelmä, sisäinen korkokanta sekä annuiteetti. (Mts. 324).

Investointiin liitettävät pääomat, riskit ja kertyvät tulot sekä itse investoinnin tulevaisuuden merkitys toiminnan kannalta ovat erityisiä ja hyväksi havaittuja investoinnin ominaispiirteitä. Mitä tulee itse investoinnin arvoon tai tärkeyteen, niin yleensä ne voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan: strategisiin tai operatiivisiin. (Puolamäki & Ruusunen 2009, 23.)

Operatiivisen investoinnin päämääränä on se, että liiketoimintamalli säilyisi entisellään. Tämäntapaisen investointien ratkaisut ja tarkastelut tehdään kvantitatiivisin eli määrällisin perustein. Tyypillisiä operatiivisia investointeja ovat esim. kunnossapito investoinnit, mahdolliset laajennusinvestoinnit ja korvausinvestoinnit. Nykyään myös työ- ja ympäristösuojeluun liittyvät asetukset sekä lait määrittävät investointeja. Työ- ja ympäristösuojeluun perustuvia investointeja kutsutaan välttämättömyysinvestoinniksi. Tänä päivänä varsinkin teollisuuden osalta näiden välttämättömyysinvestointien lukumäärä on kasvanut. Kasvu on johtunut tiukentuneista ympäristö- ja työsuojeluasetuksista. (Puolamäki & Ruusunen 2009, 23.)

Strategisen investoinnin peruspiirre on taas aivan päinvastainen kuin operatiivisella. Strategisessa investoinnissa liiketoiminnan luonne muuttuu tai ajan kanssa tulee muuttumaan. Tässä tapauksessa sen kannattavuutta pyritään tarkastelemaan tapauskohtaisesti. Investoinnin lopputuloksen kannalta tärkeässä roolissa on investoinnin laaja sekä hyvin perusteellinen suunnittelu ja toteutus. Strategiseksi investoinniksi luokitellaan kaikki hyvin merkittävät investoinnit, kuten esim. liiketoiminnan laajennus tai uudistus. (Mts. 23.)

9 Selvitysosuus

Tämän kokoluokan selvitystä sähköhöyrykattilan investoinnista paperitehtaan apu- ja säätösähkökattilaksi ei ole aikaisemmin tehty tai selvityksiä ei ole saatavilla. Tämän myötä selvitettäviä asioita kattilaan ja sen toimintoihin liittyen oli monia. Myös paperitehtaan vaatimusten huomioiminen oli monien asioiden summa, missä selvitettävää ja tutkittavaa riitti.

9.1 Tehtaan sähkö- ja höyryjärjestelmä

9.1.1 Sähköverkko

Jämsänkosken paperitehtaalle sähköä toimitetaan valtakunnallisesti kantaverkon kautta, mutta yhtälaillla siellä myös tehdään sähköä generaattoreiden avulla. Tehdasintegraatin sisällä syntyvä sähkö tehdään pääosin voimalaitoksen generaattorilla ja pienissä määrin vesivoimalaitoksen generaattoreilla. Sähköverkko tämän kokoluokan tehdasintegraatissa on todella laaja, johtuen eri jännitetasoista ja lukuisista kulu- ja käyttökohteista. Tämän takia näin laajan sähköverkon sisäistäminen ei ole yksiselitteistä.

Jännitetasot Jämsänkosken paperitehtaan sähköverkossa on jaoteltu 110 kV:n pääjännitteeseen sekä 11/10,5/10/6 kV:n sekä 690 ja 230/400V:n keski- ja käyttöjakelujännitteisiin. Tehtaan sisäisessä sähköverkossa on seitsemän päätehomuuntajaa ja kaksi pienempää tehomuuntajaa vesivoimalle sekä puhdistamolalle. Kaikki muuntajat ovat yhteydessä paperitehtaan sähkökojeistoihin, mikä on esitetty liitteessä 3. Päätehomuuntajilla 110 kV:n jännite muunnetaan kojeistolle oikeaksi jännitteeksi. Sähkökojeistot toimivat puolestaan sähkönsyöttönä lukuisille pienemmille jakelumuuntajille, joista prosessi- ja apusähkölaitteiden sähkökeskukset saavat syöttönsä. Sähkön kulutustehojen vaihtelut tehtaan eri osastojen välillä on vaikuttanut siihen, miksi kojeistoja on jaettu useampaan jännitetasoon paperitehtaan sähköverkossa, eikä esim. kaikkia ole toteutettu yhdellä 10 kV:n nimellisjännitteellä (ks. Liite 3).

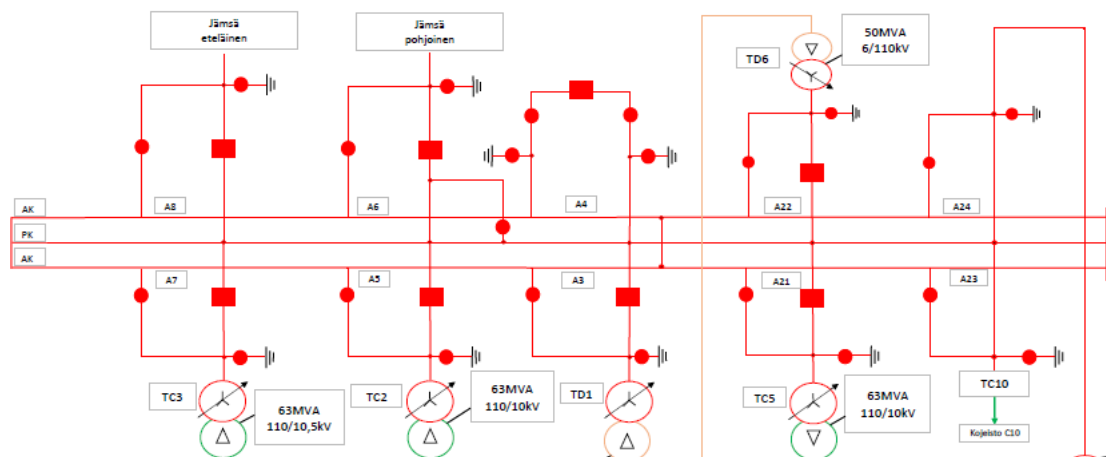
Tehtaan sähköverkon sähkökojeistoista otetaan myös suoria sähkönsyöttöjä isomille kolmivaiheisille sähkökäyttöille. Jämsänkosken paperitehtaalla tällaisia sähkö-

moottorikäyttöjä ovat mm. kattilalaitoksen syöttövesipumput ja kattilan leijutusilmapuhaltimet. Näiden lisäksi suurimmat suorasyötöllä toteutetut sähkömoottorikäytöt ovat hierteen valmistuksen yhteydessä käytetyt jauhinmoottorit.

Suurimmaksi osaksi kuitenkin Jämsänkosken paperitehtaan sähköverkon kojeistoilta lähtee syöttö jakelumuuntajille, mistä on syöttö pienemmille sähkökeskuksille. Jakelumuuntajien ja sähkökeskusten välinen syöttö on toteutettu kiskostolla tai kaapelilla. Prosessi- tai apulaitteille sähkönsyöttö sähkökeskuksesta tapahtuu sähkökaapelilla. Jakelumuuntajien tehot ovat Jämsänkosken sähköverkossa muutamia megavoltiampeereita (MVA) ja syötettävien sähkökeskusten jännitteet 400/525 tai 690 V.

110 kV

Suurjännitteinen sähkö tulee paperitehtaan sähköaseman kiskostoihin eteläistä ja pohjoista voimajohtoja myöten 110 kV:n jännitteellä. Suurjännitekatkaisijoiden kautta sähkö siirtyy päämuuntajille, joiden tarkoituksena on muuntaa 110 kV:n jännite paperitehtaan kojeistoille sopiviksi jännitteiksi. Päämuuntajien tehot vaihtelevat 25 MVA:sta aina 100 MVA:iin asti. Sähköasemalta lähtevien muuntajien syöttökaapleiden siirtomatkat vaihtelevat kymmenistä metreistä aina useisiin satoihin metreihin. Kuviossa 19 on tehtaan 110 kV:n sähköverkkoa.

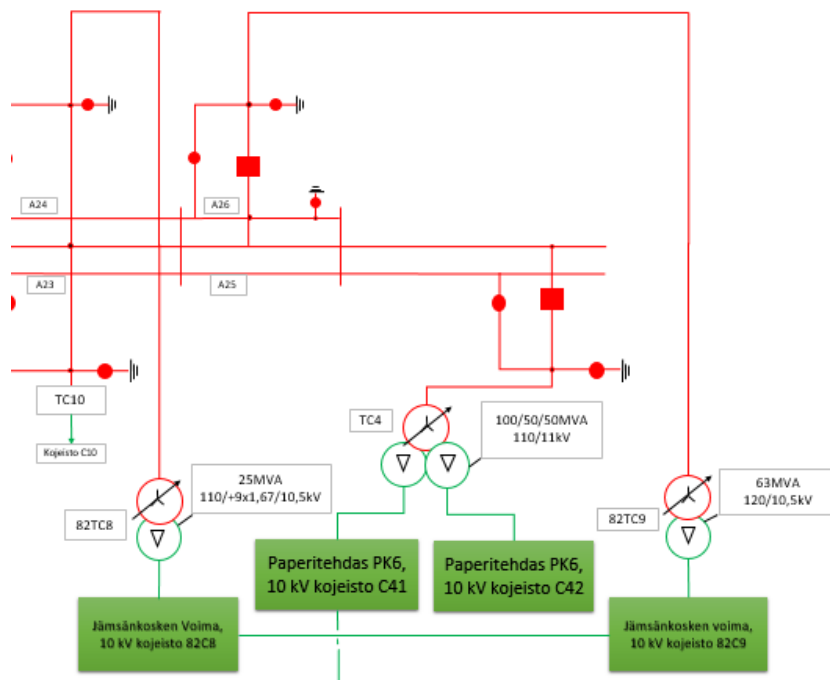


Kuvio 19. 110 kV:n verkkoa ja muuntajat

TC3 ja TC2-päätehomuuntajat ovat toimineet puretun paperikone PK5:n ja TMP1 eli hiertämön 1:n, 10 kV:n kojeistojen C3 ja C2 syöttönä. Kojeistojen perässä on ollut aikoinaan mm. isoja kuormia kuumahierteen valmistuksen takia. Tällä hetkellä TC3-tehomuuntaja on erotettuna 110 kV:n päästä, koska kuormien vähentyessä PK5:n pu-
run myötä, TC2-muuntajan tehot riittävät kattamaan C2 ja C3 kojeistoissa jäljellä ole-
vien sähkölähtöjen kulutukset.

TD6-tehomuuntaja toimii varasyöttönä kytkinlaitoksen 6 kV:n 1D-kojeistolle. TC4/5 ja TC10-tehomuuntajat toimivat paperikoneen PK6 ja TMP2 eli hiertämö 2:n sähköko-
jeistojen syöttönä. Kojeistojen perässä on TMP2-hiertämön jauhimia sekä paperiko-
neiden linjakäyttöjä, mutta yhtäläillä myös prosessilaitteiden sähkökeskuksia.

Voimalaitoksen generaattorilla tuotetulle sähkölle käy päinvastaisesti kuin kantaver-
kosta syötetylle sähkölle. Generaattorilla tuotettu sähkö siirretään 10 kV:n 82C9-ko-
jeiston kautta 82TC9-päätehomuuntajalle, missä jännite nostetaan 110 kV:n suurjän-
nitteeksi. 82C9-kojeistolta menee yhteys myös voimalaitoksen 82C8-kojeistolle. (ks.
kuvio 20).



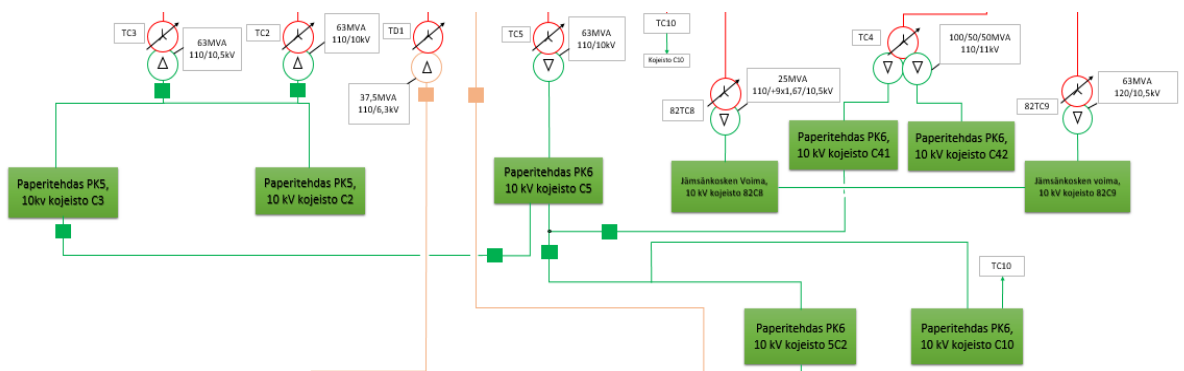
Kuvio 20. Voimalaitoksen kojeistot ja muuntajat

10 kV

Paperitehtaan sähköverkosta löytyy useista sähkökojeistoja, joiden nimellinen jännite on 10 kV. Ne toimivat suurimpien paperikoneiden ja voimalaitoksen jakelumuuntajien ja sähkökäyttäjien sähkönsyöttönä.

Vuonna 2015 puretun PK5 paperikoneen sähkökäyttäjien syöttönä toimi kaksi 10 kV:n kojeistoa, C2 ja C3. Näistä kojeistoista on edelleen muutamia sähkölähtökennoja käytössä, mutta suurin osa kenoista on erotettu kojeiston pääjännitteestä. Erotetut kennonot toimivat varalähtöinä. Kojeistoilta C2 menee kiskostoliityntä kojeistoon C3, joka on tällä hetkellä käytössä TC3-muuntajan 110 kV:n erotuksen takia. Suurin osa käytössä olevista 10 kV:n kojeistoista kuuluu paperikone PK6:lle. Tämän jännitetason kojeistojen suhteellisen suuri määrä PK6:lla johtuu paperinvalmistuksen tavasta ja paperikoneen fyysisistä ominaisuuksista eli kapasiteetista valmistaa paperia.

PK6:n 10 kV:n kojeistoista C5, C41 ja C42 ovat pelkästään jauhimien ja C3-kojeistolle menevän varasyötön käytössä. Kojeistolta C5 menee myös yhteys kojeistolle C41. Kojeistot 5C2 sekä C10 toimivat sähkönsyöttönä jakelumuuntajille ja sen myötä sähkökeskuksille. Kuviossa 21 on havainnollistava kuva 10 kV:n kojeistoista ja niitä syöttävistä muuntajista.



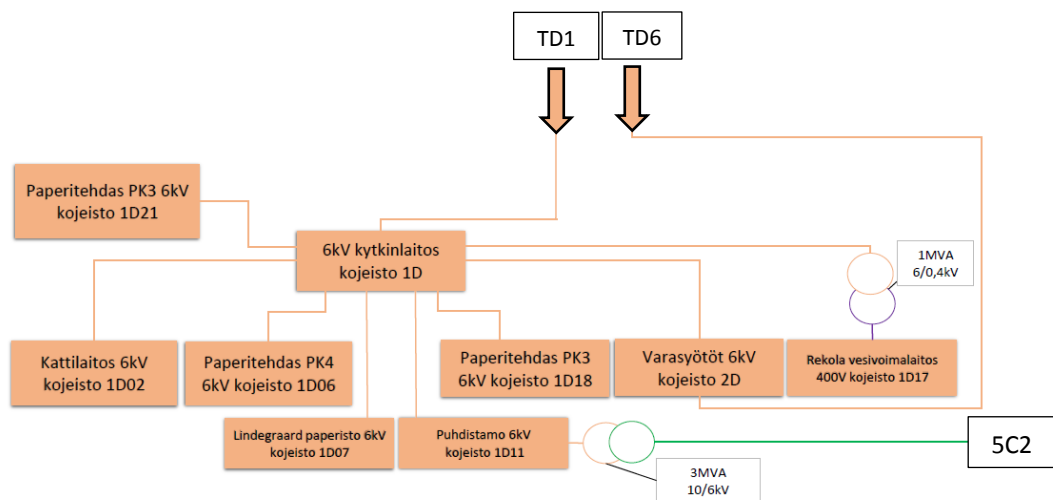
Kuvio 21. 10 kV:n kojeistot

Voimalaitoksella 10 kV:n kojeistoja on kaksi, 82C9 ja 82C8. Kojeisto 82C9 on 54 MVA:n generaattorin käytössä, mistä menee sähköyhteys sekä 82TC9-tehomuuntajalle että 10 kV:n 82C8-kojeistolle. Kojeiston 82C8:n perässä yksi 400 V:n

sähkökeskus ja neljä 690 V:n sähkökeskusta. Voimalaitoksen 82C8-kojeistolta on yhteys myös tehomuuntajalle 82TC8, missä jännite muunnetaan kojeistolle sopivaksi. Voimalaitoksen 82C9-kojeiston perässä ei ole muuta sähkökäyttöä kuin generaattori.

6 kV

Tarrapaperia valmistavien paperikoneiden PK3:n ja PK4:n sekä mm. vanhan voimalaitoksen sähkökojeistojen nimellinen jännite on 6 kV. Ne saavat syöttönsä kytkinlaitoksen 6 kV:n 1D-kojeistolta (ks. kuvio 22). Kytkinlaitoksen 6 kV:n 1D-kojeisto saa sähkönsyöttönsä puolestaan tehomuuntajalta TD1:ltä, missä 110 kV:n jännite muunnetaan 6,3 kV:n jännitteeksi. Kuvioista 22 on havaittavissa näiden lisäksi myös Rekolan vesivoimalaitoksella tuotetun sähkömuunto 400 V:sta 6 kV:iin.



Kuvio 22. 6 kV:n kojeistot

10 kV:n kojeistolta on yhteys 6 kV:n jännitetasoon. PK6:n 10 kV:n 5C2-kojeiston jakeluununtajalta on varayhteys Jämsänkosken tehtaan jäteveden puhdistamon tehomuuntajalle, missä 10 kV muunnetaan 6 kV:ksi. Tämän lisäksi 6 kV:n jännitetasosta on varayhteys 2D-kojeiston kautta sekä kytkinlaitoksen 6 kV:n 1D-kojeistolle että 110 kV:n verkkoon. Tämä onnistuu TD6-tehomuuntajan avulla. Kytkinlaitoksen kojeistolta 1D on liityntä myös vanhalle paperinjalostustehtaan 6 kV:n kojeistolle sekä varayhteys paperitehtaan viereiselle Dupontin entsyymitehtaalle.

6 kV:n kojeistojen perässä on suurimmaksi osaksi 400 V:n ja 690 V:n sähkökeskuksia, mutta toki löytyy muutamia pienemmän kokoluokan sähkökäyttöjä. Sähkökäytöt kuten PK3:n koivujauhin, Patalan vesivoimalaitoksen generaattori ja vedenpuhdistamon ilmastuskompressorit on otettu 6 kV:n kojeistolta suoralla sähkösyötöllä.

Sähkösyötön toteutus

Sähköverkossa sähkösyöttökaapeleiden koot ja tyyppi vaihtelevat sen mukaisesti, mikä jännite on kyseessä. Suurjännite eli 110 kV:n puolella on käytetty kolminkertaista yksivaiheista AHXLMK-suurjännitekaapelia. Johdin on materiaaliltaan alumiinia ja johdinhalkaisijat vaihtelevat 300 mm²:stä tuonne 1200 mm²:iin asti. Suurjännitekaapeli kytkeytyy tehomuuntajan ensiöpuolelle eli korkeamman jännitteen puolelle.

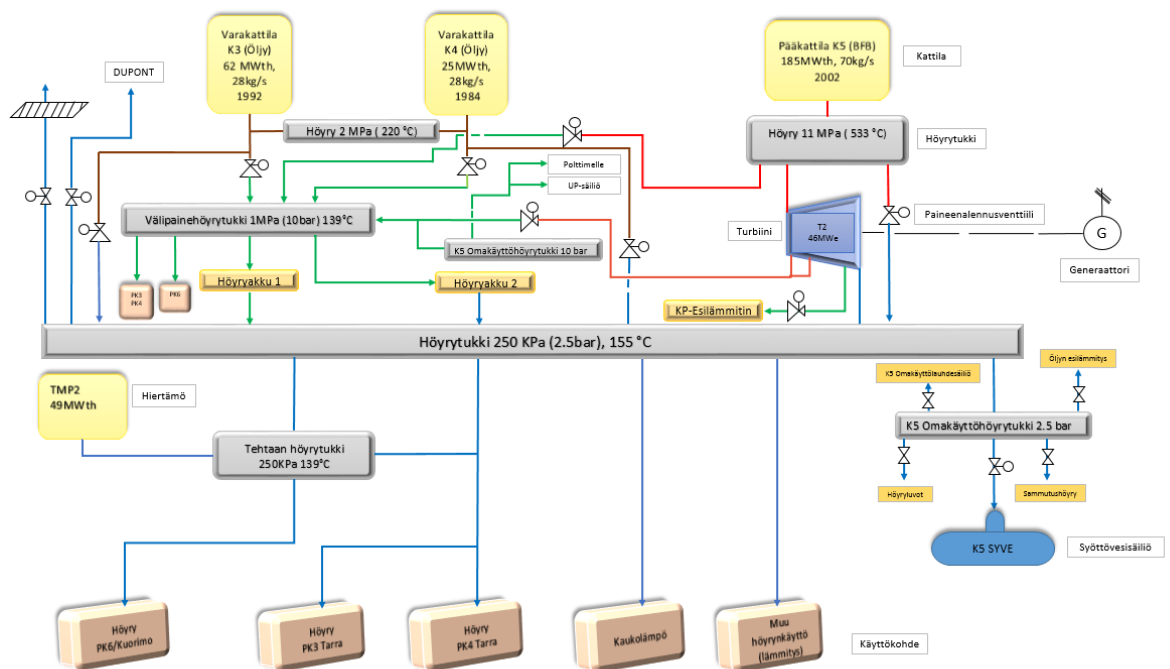
Keskijännitepuolella kaapelit ovat tehtaan sähköverkossa 10 kV:n AHXCMK ja AHXCMK-WTC keskijännitekaapeleita, jotka ovat joko yksi- tai kolmivaiheisia riippuen kohteesta. Tähän vaikuttaa myös se, että viedäänkö syöttö suoraan sähkökäytölle vai jakelumuuntajalle. Johdinmateriaalina on alumiini ja johdinpoikkipinnat vaihtelevat 185 mm²:n ja 500 mm²:n välillä. Keskijännitekaapelit lähtevät tehomuuntajien toisio- puolelta ja menevät kojeistolle. Syöttö riippuu tietenkin siitä, onko muuntajien sähkösyöttö toteutettu kaapelein vai kiskostoiden avulla.

Matalajännitepuolella Jämsänkosken paperitehtaan sähköverkossa käytetään samaa kaapelia kuin keskijännitepuolella, mutta 6 kV:n jännitteellä. Tämän lisäksi sähköverkossa on käytössä AHXCMK-W ja AHXAMK keskijännitekaapeleita, joiden erona on se, että maadoitus on toteutettu kupariköyden avulla. AHXCMK ja AHXCMK-WTC keskijännitekaapeleissa maadoitus kuparilankojen ja kuparinahasidoksien avulla. Matalajännitepuolella suurimmaksi osaksi kaapelit ovat kolmivaiheisia ja niiden poikkipinnat 185 mm², 240 mm² tai 300 mm². Kaikkien jännitetasojen pääjohdinmateriaalit ovat alumiinia ja maadoitusköydet kuparia.

9.1.2 Höryverkko

Jämsänkosken paperitehtaan höryverkko ja koko höryjärjestelmä on hyvin laaja ja monitasoinen. Paperitehdasintegraatin höryverkko koostuu höryverkolle tyypillisistä komponenteista kuten mm. kattiloista, turbiinista, höyrytukeista, höyryakuista,

syöttövesisäiliöstä, reduktio- ja ulospuhallusventtiileistä sekä kulutuskohteista. Eri painetasoja höyryverkossa on neljä, korkeapaineinen 110 bar:n höyry, 20 ja 10 bar:n välipainehöyry sekä 2,5 bar:n matalapainehöyry. Painetasojen määrään vaikuttavat paperikoneilla valmistettavat paperilaadut ja niiden valmistusmenetelmät. Pääkattilan lämmöntuotantoa tukee hiertämö, joka tuottaa höyryä lämmöntalteenoton avulla paperitehtaan höyryverkon tarpeisiin. Pääkattilan ollessa pois tuotannosta, höyryä ovat tuottamassa öljykäyttöiset varakattilat. Kuviossa 23 on esitetty tiivistetty versio paperitehtaan tämän hetkisestä höyryverkosta.



Kuvio 23. Höyrykaavio, UPM Jämsänkoski

Höyrykaaviossa punaisella viivalla piirretyt linjat havainnollistavat höyryverkon korkeaa painetta, ruskeat sekä vihreät linjat 10 ja 20 bar:n välipainetta ja sininen 2,5 bar:n matalapainetta. Höyryä tarvitsevat kulutuskohteet ovat kaavion alimmaisena sekä höyrytukien jälkeen ja höyryä tuottavat kattilat ylimmäisenä. Kaaviossa eri painetasojen höyrytutit ovat esitetty harmaalla. Todellisuudessa eri painetasojen höyrytutit sijaitsevat konkreettisesti voimalaitoksella ja niistä lähtevät höyrylinjat kulkevat voimalaitokselta putkisiltoja pitkin kohti kulutuskohteita (ks. kuvio 24).



Kuvio 24. Putkisilta

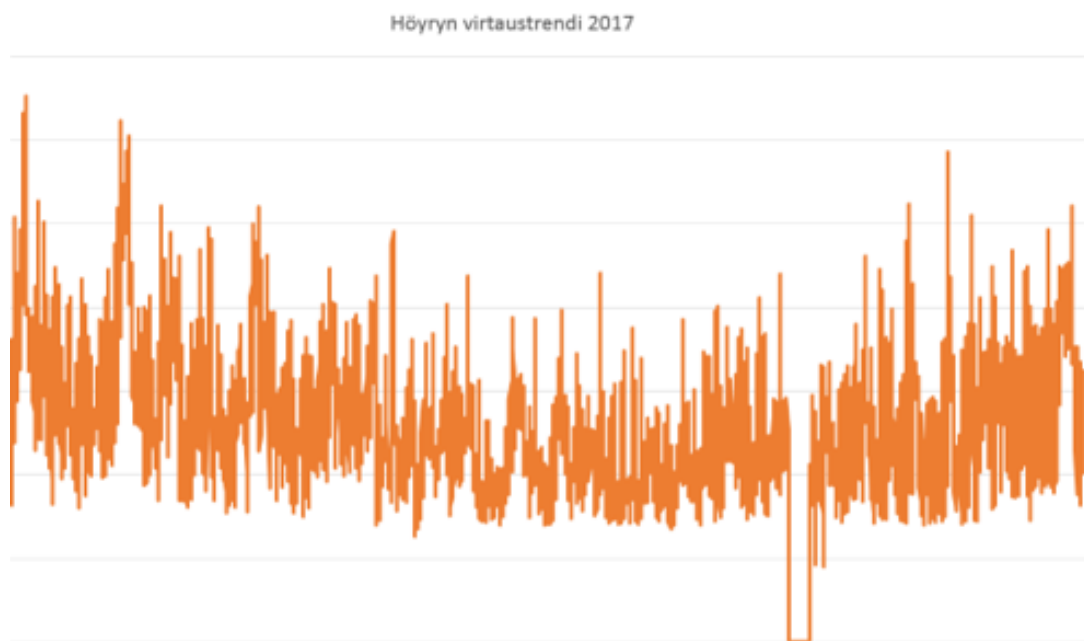
Korkeapaine

Korkeapainehöyry eli tuorehöyry tuotetaan paperitehtaan voimalaitoksen pääkattilalla. Tuorehöyry on paineeltaan noin 110 bar ja sen lämpötila on noin +530 °C. Höyry lähtee kattilalta päähöyryventtiilin kautta DN 300-höyrylinjaa pitkin. Höyrylinja kulkee aina turbiinille sekä korkeapainehöyrylinjassa oleville paineenalennusventtiileille asti. Itse kattilan jälkeen ei varsinaisesti ole ns. ”höyrytukkia”, vaan höyryä ohjataan venttiileiden avulla T2-turbiinille ja tarvittaessa kahdelle ensimmäiselle RHC1 ja RHC2-reduktiolle. Kaaviossa tämä kokonaisuus oli helpompi ja tiivistetympi esittää ”tukkina”.

RHC1 ja RHC2-reduktioita käytetään vain niissä tilanteissa, kun turbiini halutaan ohittaa esim. sen ollessa pois tuotannosta tai pääkattilan ylösajossa. Reduktioiden avulla höyryverkko voidaan esilämmittää ennen kuin turbiinin kautta ruvetaan ajamaan. Reduktioventtiileiden ja ruiskutusveden avulla korkeapaineinen höyry saadaan muutettua kulutuskohteille tarpeelliseksi 10 bar:n välipaine- tai 2,5 bar:n matalapainehöyryksi. Kattilan paineen laskiessa reduktioiden kautta ajettu korkeapainehöyry tasapainottaa tilannetta, koska kattilalta otetun höyryn määrä on pienempi ruiskutusveden ansiosta, mikä taas vaikuttaa suoraan kattilan paineeseen. Turbiinille menevän

korkeapainehöyryn sisältämää energiaa käytetään hyödyksi turbiinin välitoissa ja turbiiniin kytketyssä generaattorissa.

Kattilalla tuotetun korkeapainehöyryn virtausmäärät ovat hyvin riippuvaisia siitä, kuinka paperikoneet käyvät ja miten hiertämöllä olevat hierrelinjat ovat tuotannolla. Esimerkiksi yhden suuren konelinjan seisokki saattaa lisätä pääkattilan kuormia huomattavasti, kun taas yhden hierrelinjan pudotus lisää kattilan höyrykuormia arvioilta noin muutamia kiloja sekunnissa. Kuormamuutokset saattavat olla joskus hyvinkin äkkinäisinä, mutta pääsääntöisesti ennakoitavissa. Korkeapainehöyryn virtausmäärät voivat kuitenkin vaihdella tilanteiden mukaan aina reilusta XX kg/s tuonne XX kg/s asti (ks. kuvio 25).



Kuvio 25. Korkeapainehöyryn virtaustrendi 2017

Trendistä on hyvin havaittavissa pääkattilalla tuotetun höyryvirtauksen sahaus ylös ja alas sekä vuosihuoltoseisokki kattilalle, mikä oli edellisvuoden syys-lokakuun taitteessa. Vuosihuoltoseisokki näkyy trendissä piikkinä alas, minkä aikana korkeapainehöyryä ei ole tuotettu.

Välipaine

Välipainehöyryä tuotetaan voimalaitoksella pääsääntöisesti turbiinin väliottoa hyödyntäen sekä korkeapainehöyryn paineenalennusventtiileiden avustuksella. Välipainehöyryä on höyryverkossa kahta eri painetasoa, 10 ja 20 bar:n. Näistä jälkimmäinen höyrynpainetaso tuotetaan öljykäyttöisillä varakattiloilla, jotka ovat harvakseltaan käytössä. Nykytilanteessa 20 bar:n välipainehöyrylle ei ole kulutuskohteita.

10 bar:n välipainehöyry on lämpötilaltaan noin +180 °C ja 20 bar:n höyry noin +220 °C. Ominaisuuksiltaan välipainehöyryt ovat lähes kylläisiä. Välipainehöyryputkien koot vaihtelevat DN 50:sta DN 350:een.

Tehtaalla 10 bar:n välipainehöyryä käytetään paperikoneiden jälkikäsittelyssä mm. superkalantereilla paperin kiillostusprosessiin ja tämän lisäksi paperikoneiden, PK3 ja PK4:n massatärkkilaitteistoissa ja kemikaalikeittimissä. Paperikoneille menevät välipainehöyrylinjat on otettu 10 bar:n välipainehöyrytukista. Tarra- ja pakkauspaperia valmistavat paperikoneet, PK3 ja PK4 käyttävät välipainehöyryä vähäisissä määrin, mutta on silti tärkeä osa paperikoneiden höyrynkulutusta. PK6:lla välipainehöyryn kulutus on vielä vähäisempää kuin tarrapaperikoneilla ja kulutuksen määrästä ei ole mittausdataa saatavilla.

Välipainehöyryä hyödynnetään myös korkeapaine-esilämmittimille, johon höyry otetaan suoraan turbiinin väliotosta. Energian varastointiin liittyen välipainehöyryä käytetään kahden eri höyryakun lataukseen sekä pääkattilan omakäyttöhöyrytukille, mistä 10 bar:n höyryä voidaan syöttää polttimille ja ulospuhallussäiliöön. Höyryakuille ladattava höyry otetaan 10 bar:n välipainehöyrytukista. Höyryakkujen tilavuudet ovat 250 m³ ja 300 m³.

Matalapaine

Jämsänkosken paperitehtaan käytetyin höyry on 2,5 bar:n matalapainehöyry. Sitä käytetään mm. kaikkien paperikoneiden höyry- ja kuivatusryhmillä, jälkikäsittelyissä ja hiertämöllä sekä yhtälaila puunkäsittelyssä kuin puhdistamolla. Matalapaineista höyryä siirretään edelleen myös puretun PK5:n tilojen lämmitystarpeisiin ja käytössä

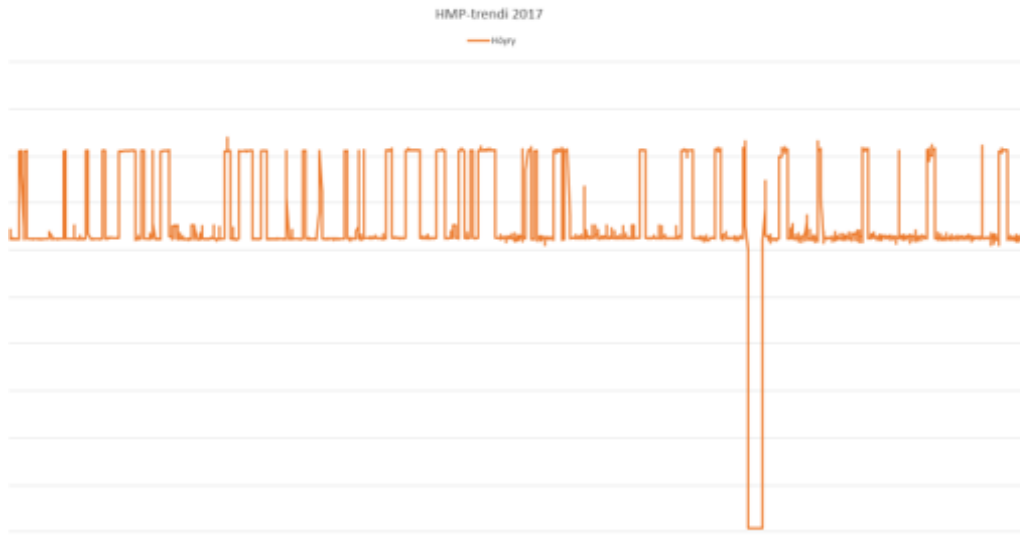
olevalla jälkikäsitteilylle. Lisäksi Jämsänkosken voimalaitos toimittaa matalapaine-höyryä viereiselle Dupontin entsyymitehtaalle. Höyryllä voidaan lämmittää myös Jämsän kaupungin kaukolämpöverkkoa. Matalapainehöyryä käytetään myös pienissä määrin muihin lämmityksiin.

Putkikoot matalapainehöyrylinjoissa ovat suuria, koska paineen ollessa alempi kasvaa höyryn vaatima ominaistilavuus. Putkikoot vaihtelevat voimalaitokselta kulutuspi- teille DN 200:sta aina DN 1000:een asti.

Matalapainehöyryä kulutuskohteille saadaan siirrettyä matalapainepäähöyrytukista, jonka paine on 2,5 bar ja höyryn keskimääräinen lämpötila on +155 °C. Tämän lisäksi matalapaineinenhöyry saadaan kulutuskohteille tehtaan höyrytukista. Tehtaan höy- rytukissa paine on myös 2,5 bar ja lämpötila noin +140 °C.

Tehtaan höyryverkkoon matalapainehöyryä toimitetaan hiertämön lämmöntalteen- otosta merkittävässä määrin. Samaiseen höyryverkkoon toimitetaan höyryä turbii- nilta, korkeapainehöyryä RHC1-reduktiolta tai höyryakuilta 1 ja 2. Lisäksi molemmilta varakattilalta on 20 bar:n välipainehöyrylinjat reduktiolle, joiden avulla painetaso las- ketaan 2,5 bar:n höyrytukin mukaiseksi. Matalapainehöyrytukista menee vielä 2,5 bar:n höyrylinja myös 2,5 bar:n omakäyttöhöyrytukkiin, mistä höyryä otetaan taas mm. pääkattilan syöttövesisäiliölle, öljyn esilämmitykseen ja höyrykäyttöisille il- manesilämmittimille.

Välillä matalapainepuolella on tilanteita, jolloin voimalaitoksen päässä joudutaan vas- tapaine nostamaan 2,5 bar:sta aina 3,25 bar:iin asti. Paineen nostoa joudutaan teke- mään sen takia, koska PK4:lla ajetaan myös raskaita paperilajeja. Raskaiden paperila- jien seurauksena paperikone tarvitsee korkeampi paineista höyryä paperinkuivatus- osalle. Tämäntapainen vastapaineennosto tapahtuu yleensä muutaman kerran kuu- kaudessa riippuen täysin paperilajien valmistuksesta ja tilauskannasta (ks. kuvio 26).



Kuvio 26. Matalapainehöyryn trendi 2017

Kuten matalapainehöyryn trendi-kaaviosta havaitaan, vastapaineen nostoa tapahtui alkuvuodesta 2017 huomattavasti useammin kuin loppuvuodesta 2017. Vuoden 2017 keskiarvo matalapainehöyryn paineelle oli noin reilu 260 kPa eli 2,6 bar.

Matalapainehöyryn virtausmäärät ovat huomattavasti korkeampia kuin välipaineissa, mikä tukee sitä määritelmää, että 2,5 bar:n matalapainehöyry on tehtaan ja sen kulutuskohteiden ns. ”päähöyry”. Keskimääräinen matalapainehöyryn kulutus on ollut PK3:lla useita kiloja sekunnissa ja PK4:lle hieman tätä enemmän. Superkalanteroituapaperia valmistava paperikone PK6 kuluttaa 2,5 bar:n matalapainehöyryä huomattavasti enemmän kuin pienemmät koneet.

Paperikoneiden lisäksi Jämsän Aluelämpö Oy:n kolme kaukolämpövaihdinta ja Dupontin entsyymitehdas kuluttavat matalapaineistahöyryä. Edellä mainittujen kulutusten lisäksi on vielä pääkattilan (K5) 2,5 bar:n matalapainehöyryn omakäyttö.

Huomioitavaa näissä kulutuksissa on se, että matalapainehöyrymäärien vertaaminen paperikoneiden kesken on mahdotonta, koska koneet ovat kussakin tapauksessa erilaisia ja tämän lisäksi vielä valmistettavat paperilajit ovat erilaisia. Kaksi paperikonetta PK3 ja PK4 kuluttavat kokojensa puolesta melko saman verran matalapaineistahöyryä. Rataleveyden kasvaessa ja paperilaadun muuttuessa, kuten paperikone PK6:lla, höyryn määrään tulee merkittävä kasvu.

9.2 Sähkökattilamarkkinat

Sähkökattilamarkkinoilta potentiaalisia sähkökattilakokonaisuuksien toimittajia tai valmistajia löytyi kolme: norjalainen PARAT IEH, sveitsiläinen Vapac AG ja suomalainen Höyrytys Oy. Toki toimittajia tai valmistajia on varmasti muitakin, mutta nämä nousivat esiin heidän referenssien perusteella. Näistä kaksi ensimmäistä eli PARAT ja Vapac ovat sähkökattiloiden valmistajia, joilla on myös laitekokonaisuuksien toimitus. Höyrytys Oy, maahantuo ja toimittaa Ruotsalaisen Zander & Ingeström AB:n sähkökattila- ja laitoskokonaisuuksia.

Kolmesta yrityksestä ainoastaan Keravalainen Höyrytys Oy on toimittanut elektrodikattiloita Suomeen. Suurin tämän yrityksen Suomeen toimittama höyryntuotantoon tarkoitettu Zander & Ingeström AB:n sähkökattila on Jyväskylän Keljonlahden voimalaitokselle starttikattilaksi tullut 10 MW:n elektrodikattila. Kuuman veden tuotantoon löytyy suurempi tehoisia sähkökattiloita Suomesta, mutta ne eivät ole olleet elektrodikattiloita. Itse kattilavalmistaja Zander & Ingeström AB on toimittanut isoja sähkökattilakokonaisuuksia sekä Euroopan että Aasian mittapuulla. Ruotsissa kyseinen valmistaja on toimittanut elektrodikattiloita myös paperiteollisuuteen.

Sveitsiläinen Vapac AG on keskittänyt elektrodikattilakokonaisuuksien toimittamiset Keski-Eurooppaan, Afrikkaan ja Aasiaan. Yrityksen referensseistä löytyy viisi kohdetta elektrodikattilan toimitukselle. Laitekokonaisuuksien toimitukset on kohdistunut pääsääntöisesti ruoka- ja ydinvoimateollisuuteen. Toimitettujen kattiloiden tehot ovat vaihdelleen 15 MW:sta aina 100 MW:iin asti.

Viimeisenä potentiaalisena elektrodikattilatoimittajana on norjalainen sähkökattilavalmistaja Parat IEH. Parat IEH:n referensseistä löytyy todella monta elektrodikattilatoimitusta niin höyryn kuin kuuman veden tuottamiseen. Yrityksen laitetuotusmarkkinat ovat pääsääntöisesti olleet Norja, Ruotsi ja Tanska akselilla, mutta myös Keski-Eurooppaan on toimitettu useampia kattiloita. Toimitettujen sähkökattiloiden teknisten tietojen perusteella sähkökattiloiden kirjo on ollut todella laaja.

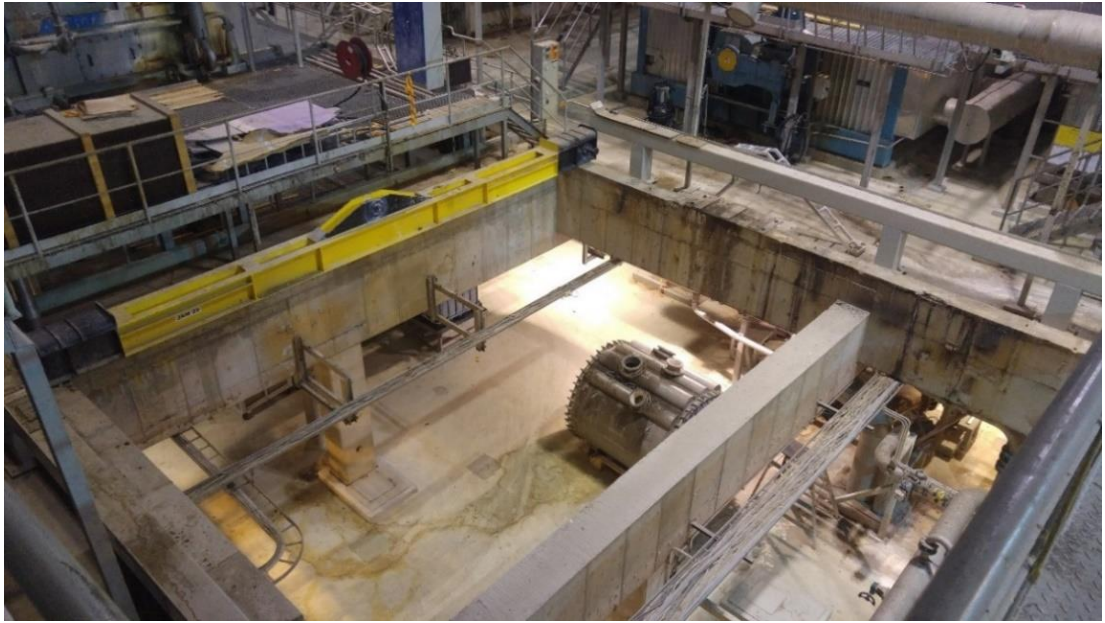
9.2.1 Tarjouskysely

Yhdessä toimeksiantajan edustajien kanssa suunniteltiin tarjouskyselyn sisältö, joka lähetettiin toimeksiantajan puolesta potentiaalisille sähkökattilavalmistajille ja toimittajille. Tarjouskysely lähetettiin kolmelle laitetoimittajalle: Höyrytys Oy:lle ja Parat IEH:lle sekä Vapac AG:lle. Kyselyn sisällön rakenteeseen otettiin mallia Jämsänkosken voimalaitoksen automaatiojärjestelmän hankinnan tarjouskyselystä, joka oli luotu paikallisen suunnittelutoimiston toimesta. Tarjouskyselyssä pyrittiin ottamaan huomioon paperitehtaan ja toimeksiantajan vaatimukset sekä mahdolliset rajoitteet sähkökattilan valmistajien puolelta.

Tarjouskyselyssä eriteltiin paperitehtaan prosessin kannalta tulleet kriteerit sähkökattilalle ja pyrittiin tekemään investoinnille selkeät rajat, jotka helpottaisivat kattilavalmistajia sekä toimittajia tekemään tarkemman ja sisällöltään kattavamman tarjouksen. Tässä vaiheessa tarjouskyselyssä pyydettiin vastapuolta tekemään tarjous vain budjetti hintana eli antamaan investoinnista jonkinlainen kiinteä summa, missä ei ole tarkkoja erittelyjä. Tämä tehtiin sen takia, koska näin on helpompi saada tarjouksia laitetoimittajilta ja toimeksiantaja pystyy myöhemmässä vaiheessa tekemään päätöksen siitä, keneltä laitetoimittajalta pyytää tarkemman tarjouksen tai hinnoittelun. Tarjouskyselylle luotiin tarkat ohjeet siitä, miten laitetoimittajan tulee tarjous toimittaa ja missä ajassa UPM:n suuntaan (ks. Liitteet 4-7).

9.3 Paikkakartoitus sähkökattilalle

Jämsänkosken paperitehtaalla oli tehtävä paikkakartoitusta sähkökattilan fyysiselle sijoittamiselle. Yksittäistä tarkkaa kohdetta ei ollut etukäteen tiedossa, vaan ainoastaan toimeksiantajan edustajien näkemys parista vaihtoehdosta. Kohdekartoitukseen vaikutti tämän lisäksi myös toimeksiantajan vaatimukset sähkökattilalle (ks. Liite 5). Tarkasteltavaksi kohteiksi sähkökattilalle valikoitui puretun paperikone PK5:n ja TMP1 eli hiertämön 1:n tilat. Tarkemmin ottaen potentiaalisiksi kohteiksi valittiin hiertämö 1:n konesalin puoleinen tyhjä telojensäilytyspaikka ja hiertämö 1:n jauhinsali (ks. kuviot 27 ja 28).



Kuvio 27. PK5:n telapukit, hiertämön konesali



Kuvio 28. Hiertämön jauhinsali

9.3.1 Hiertämön konesali

Tyhjillään oleva vanha PK5 paperikoneen telojen säilytyspaikka hiertämön konesalin perällä tuli yhdeksi potentiaaliseksi vaihtoehdoksi sähkökattilan sijoittamiselle, sen

sopivan tilakorkeuden ja leveyden suhteen sekä läheisen DN 600-matalapainehöyrylinjan takia. Myös telojen säilytystä varten rakennetut vankat tukipilarit puolsivat tämän paikan tarkastelua yhdeksi vaihtoehdoksi (ks. kuviot 29 ja 30).



Kuvio 29. Paperikonetaso, TMP1



Kuvio 30. Telojen säilytyspaikka, TMP1

Kohteessa oli myös laajat tilat lattiatason alapuolella sähkökattilan pumppuja ja moottoreita varten (ks. kuvio 31). Kohteessa olisi mahdollisuus myös hyödyntää koneetasolla siltanosturia, joka ei tekisi rajoituksia sähkökattilan korkeudelle. Sähkökaapeloinnin näkökulmasta tämä kohde sijaitsee etäämmällä. Mietittäviä asioita kohteen kannalta ovat 10 bar:n välipainehöyrylinjan yhdistäminen, rakenteelliset muutosten määrä ja syöttövesijärjestelmän sijoittaminen.



Kuvio 31. Telojen säilytyspaikan alakerta, TMP1

9.3.2 Hiertämön jauhinsali

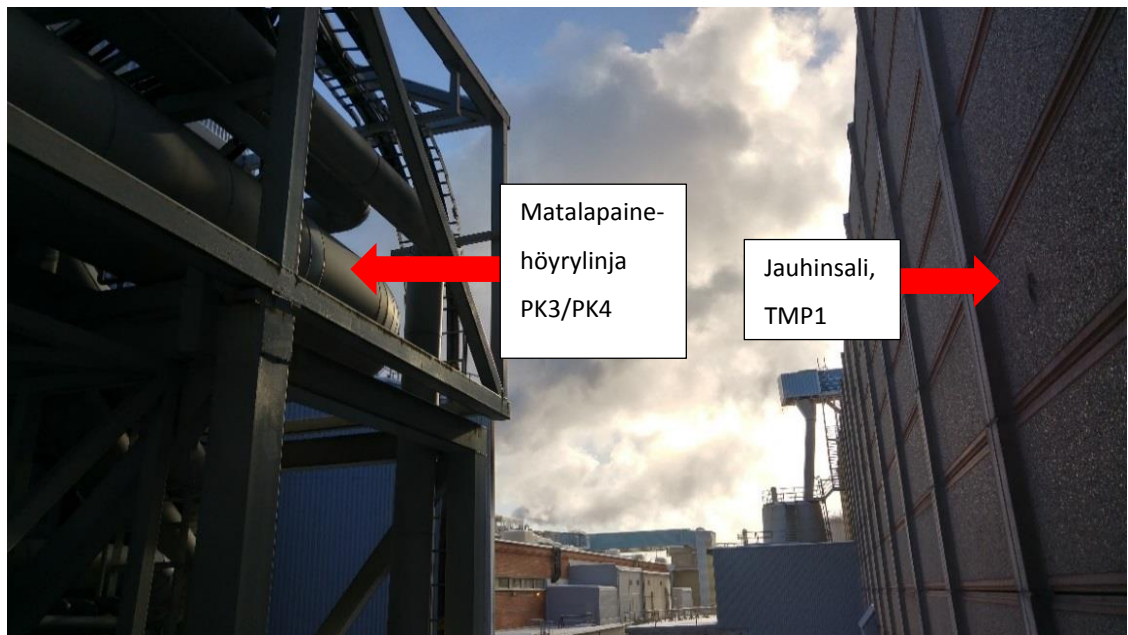
Hiertämön jauhinsalin nurkkaus valikoitui konesalin ohella toiseksi potentiaaliseksi sähkökattilan sijoituskohteeksi. Tämä valikoitui sen takia, koska sali on todella suuri ja avara. Lisäksi jauhinsalista oli hyvät ja lyhyet yhteydet tehtaan sähkö- ja höyryverkkoon. Lattiarakenteiden puolesta ei ongelmia jauhinsalissa olisi, koska lattiarakenteet oli mitoitettu kestäämään usean jauhimen painon. Jauhinsalissa on myös mahdollista sijoittaa syöttövesisäiliö ns. ”piippuhyllylle” eli lämmöntalteenoton kerrokseen, kantavien rakenteiden ansiosta. Nurkkauksessa on vielä tällä hetkellä kaksi käyttämättä rejektijauhinta, mutta ne tullaan purkamaan pois.

Jauhinsalin seinämällä menee valmiiksi 10 bar:n DN 250-välipainehöyrylinja, joka ennen meni PK5 paperikoneelle. Höyrylinja on tällä hetkellä erotettu pois käytöstä. Kyseinen välipainehöyrylinja on aikoinaan otettu yhdistyksalla putkisillalta PK3 ja PK4 paperikoneille menevästä 10 bar:n välipainehöyrylinjasta (ks. kuvio 32).



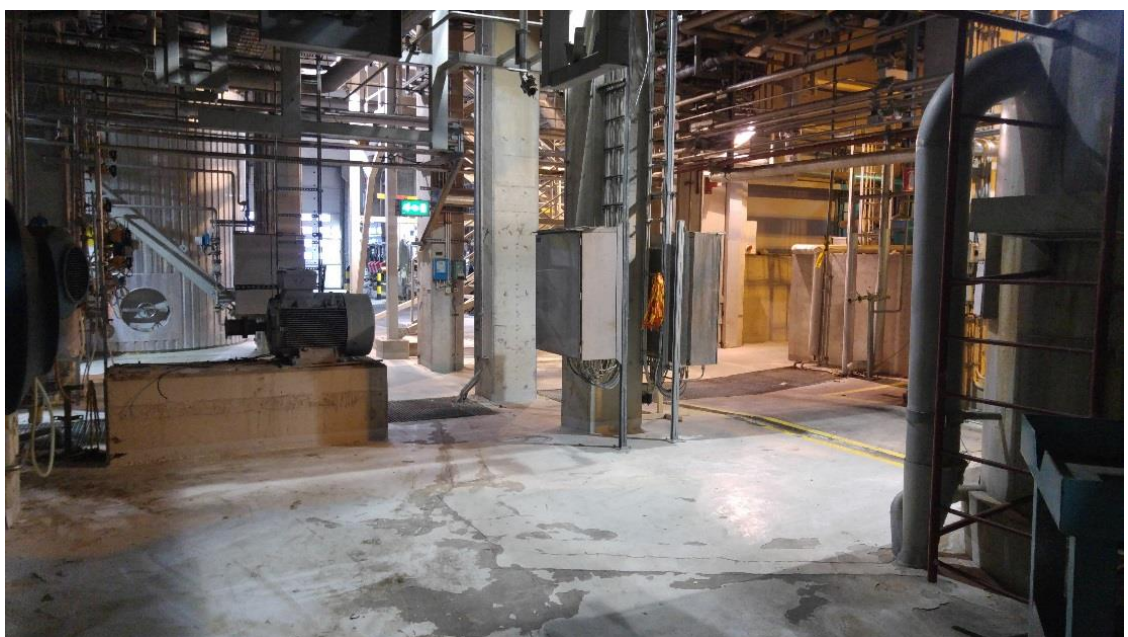
Kuvio 32. TMP1, jauhinsali

Matalapainehöyrylle löytyy jauhinsalin kohteesta myös yhteys. Jauhinsalin ulkoseinän toisella puolella hyvin lähellä kulkee putkisilta kohti PK3 ja PK4 paperikoneita. Putkisillalla kulkee myös tarvittava DN 700-matalapainehöyrylinja (ks. kuvio 33). Kyseinen putkisilta on sama, mikä tulee voimalaitokselta asti ja haarautuu sekä PK6 että PK5 paperikoneiden suuntaan. Matalapainehöyrylinjan liittynnän rakentaminen sähkökattilan ja tehtaan höyryverkkoon välillä olisi todella yksinkertaista sekä helposti toteuttavissa, kun jauhinsalin ulkoseinään tehtäisiin läpivienti.



Kuvio 33. TMP1, jauhinsalin ulkoseinä ja matalapainehöyrylinja

Hiertämön jauhinsalin alakerran suhteen ei ole samanlaisia tiloja käytettävissä kuten toisessa tarkastelukohteessa. Pienemmät tilat eivät tuota varsinaista ongelmaa, mutta se tuo prosessilaitteiden sijoitussuunnitteluun oman haasteensa. Paikat tämän kokoluokan sähkökattilan prosessilaitteille löytyy kyllä, mutta toteutuksessa on huomioitava muut toiminnassa olevat prosessit. (ks. kuvio 34).



Kuvio 34. TMP1, jauhinsalin alakerta

Jauhinsalin alapuolelta löytyy prosessisähköistykselle tarkoitettu 12ST52-sähkötila, joten sähkökaapelointien pituudet olisivat hyvin lyhkäisiä verrattuna toiseen tarkastettavaan kohteeseen. Sähkökattilalle otettavan keskijännitesyötön kojeistot ovat aivan myös tämän kohteen lähettyvillä, 12ST51-sähkötilassa. Kuten toisessa kohteessa, myös tässä pystyttäisiin hyödyntämään siltanosturia jauhinsalissa.

Pohdittavia asioita tässä kohteessa on mm. alakerran tilojen hyödyntäminen ilman isoja muutoksia, liittynnästä syntyvät putkikustannukset ja jauhinsalin seinämän läpivientiin tehtävät rakenteelliset muutokset. Tämän lisäksi täytyisi pohtia täytyisikö putkisiltaan tehdä rakenteellisia muutoksia, jos liittyntä tehdään sinne.

9.4 Salassa pidettävä

10 Tulokset

10.1 Paikan valinta

Sähkökattilan paikkakartoituksen ja paperitehtaan sähkö- ja höyryverkon rakenteen selvityksen perusteella sähkökattilalle optimaaliseksi sijoituspaikaksi valittiin TMP1 eli hiertämö 1:n jauhinsali.

Investoinnin kannalta jauhinsalista oli erittäin lyhyet yhteydet niin sähkö- ja höyryverkkoon. Tällöin liittynnöistä syntyvät kustannukset olisivat tottakai pienemmät. Siitäkin huolimatta, vaikka jauhinsalin ulkoseinään jouduttaisiin tekemään matalapainehöyrylinjalle läpivienti. Myös valmiiksi vankat rakenteet ja todella avarat tilat puolsivat enemmän sitä, että jauhinsali olisi paras paikka sähkökattilan sijoittamiselle. Avaran tilan puolesta myös syöttövesijärjestelmän laitteiden sijoittaminen tässä kohteessa olisi huomattavasti helpompaa ja niille oli useampi vaihtoehto, kuten lämmöntalteenoton kerros tai jauhinsalin lattiataso. Itse sähkökattilan toimitus kyseiseen paikkaan ja sen pystytys jauhinsaliin onnistuisi huomattavasti helpommin, mikä vaikuttaa siitä syntyviin ns. epäsuoriin kustannuksiin.

TMP1:n jauhinsalin etuna oli se, että vanhoja jauhinatejää pystytään käyttämään hyödyksi salin ja alakerran välisissä läpivienneissä, mikä taas vaikuttaa kustannuksiin

rakenteellisia muutoksia tehdessä. Jauhinsalin etuna oli myös se, että lähettyvillä ei ole muuta operatiivista toimintaa meneillään.

Niin kuin paikkakartoituksessa mainittiin, kohteen alakerran suhteen ei ole samanlaisia tiloja käytettävissä kuin konesalin puolella, mutta järkevällä prosessisuunnittelulla pieni tila saadaan hyvin käytettyä hyödyksi. Prosessilaitteista isoimpia olisivat syöttö- ja kierovesipumput, jotka vaativat tietenkin sähkökäytön eli sähkömoottorin, moottorien tarvitsemat moottoripedit ja tarvittavat putkistot kattilalle.

TMP1:n eli hiertämö 1:n konesali oli myös erittäin varteenotettava vaihtoehto kattilan sijoittamiselle, mutta ehkä hieman sumppuinen ympäröivineen laitteineen ja putkineen. Paikassa oli vielä paljon laitteita, joita käytetään edelleen päivittäin. Siellä olisi jouduttu tekemään huomattavasti enemmän rakenteellisia muutoksia, jotta sähkökattila olisi voitu siihen järkevästi sijoittaa. Tämän lisäksi sähkökattila olisi jouduttu toimittamaan sinne osissa.

TMP1:n konesalin näkökulmasta liityntä sähkö- ja höyryverkkoon olisi kustantanut ja teettänyt muutoksia huomattavasti enemmän kuin jauhinsalin puolella. Konesalissa oli ainoastaan matalapainehöyrylinja lähettyvillä, joten kustannuksia olisi syntynyt huomattavasti enemmän välipainehöyrylinjan yhdistämisestä kattilan päähöyrylinjaan. Myös sähkökaapeleiden pituudet olisivat olleet tämän paikan myötä kymmeniä metrejä pidempiä kuin TMP1:n jauhinsali paikassa, mikä nostaa kustannuksia välittömästi. Syöttövesijärjestelmän sijoittamisen kannalta vaihtoehdot olivat aika vähissä, joten myös tämä tuki paikan valintaa. Erittäin positiivisena asiana kuitenkin tämän paikan puolesta puhui todella laajat tilat alakerrassa, johon suurin osa sähkökattilan prosessilaitteista olisi sijoitettu.

10.2 Liityntä sähkö- ja höyryverkkoon

Selvitettyjen energiajärjestelmien ja sähkökattilan paikan valinnan sekä sähkökattilaan kohdistuneiden vaatimuksien perusteella, sähkökattilan liityntä Jämsänkosken paperitehtaan sähkö- ja höyryverkkoon olisi sen toimintojen sekä kustannusten kannalta optimaalisin toteuttaa seuraavanlaisesti.

10.2.1 Sähköverkko

Paperikone PK5:n purkamisen myötä vapautui paperitehtaan sähköverkon käyttökapasiteettiä paljon. Järkevintä ja edullisinta olisi kustannuksien kannalta hyödyntää näitä ns. "valmiina" olevia yhteyksiä sähkökattilan sähköliitynnöissä. Tietenkin vanhojen tehomuuntajien ja sähkölähtöjen hyödyntäminen kattilan liitynnässä ei onnistu ilman tarpeellisia muutoksia. Muutoksia jouduttaisiin jokatapauksessa tekemään niin kojeiston kuin prosessisähköistyksen osalta.

Tehdasjärjestelmän selvityksen perusteella sähkökattilan liityntä paperitehtaan sähköverkkoon tapahtuisi 63 MVA:n TC2-päätehomuuntajan ja 10 kV:n C3-kojeiston varalähtöjen avulla (ks. kuviot 35 ja 36). Liityntä tapahtuisi näiden kautta, koska ensinnäkin TC2-päätehomuuntaja on tällä hetkellä käytössä ja se toimii nykyisin molempien 10 kV:n C2 ja C3-kojeistojen sähkönsyöttönä. TC2-tehomuuntajan perässä on nykyisin vähän kuormitusta, vain muutamia megawatteja. Tämä kertoo siitä, että tehokapasiteettia muuntajan puolesta löytyy. Puolestaan C3-kojeistossa on tällä hetkellä tarpeeksi varalla olevia lähtöjä, joita voisi hyödyntää. Lisäksi TC5-tehomuuntajalta ja kojeistolta-C5 on olemassa varayhteys C3-kojeistolle, jos ongelmia ilmenee TC2-tehomuuntajalle.

Sähkökattilan teho on noin 50 MW ja sen perusteella sähkökuormat tulisivat kasvaamaan jonkin verran. Sähkökattilan maksimitehosta syntyvät vaihekohtaiset virrat olisivat noin 2,8 kA. Vaikka sähkökuormat ja sähkövirrat kasvavat, ei ole kuitenkaan järkevää ottaa toista TC3-päätehomuuntajaa käyttöön. Tämän hetkinen TC2-tehomuuntajan kautta tapahtuva sähkönsyöttö C3-kojeistolle on sähkökulutuksen puolesta aivan riittävä. Sen lisäksi tämä ratkaisu on kustannusten ja kunnossapidon kannalta kannattavampaa. Tällä tavoin saadaan myös toinen päämuuntaja eli TC3 pidettyä varamuuntajana.



Kuvio 35. TC2-päämuuntaja

Nykytilanteessa TC3-päätehomuuntaja on myös erotettu 110 kV:n päästä. Sähkökattilan liittymän myötä tämä erotus olisi purettava ja kojeistolle menevä syöttökaapeli uusittava. Tämän lisäksi kytkinkentän päässä olisi TC3:n suhteen tehtävä kuristimien poisto. Muuntajan syöttökatkaisijat tulisi myös huoltaa ennen uudelleen käyttöönottoa. Näin kunnostettavia asioita olisi jonkin verran ennen kuin muuntaja voitaisiin ottaa käyttöön.

TC2-päätehomuuntajan kautta syötettävälle C3-kojeistolle täytyisi sähkökattilan liittymän myötä tehdä muutamia parannuksia nykyisestä tilanteesta. Kojeston lähtöihin pitäisi tehdä katkaisijoiden huollot, mutta katkaisijoita ei tarvitsisi uusia. Käyttöön otettaviin kennoihin olisi uusittava myös releet. Lisäksi sähkökattilan käyttöönottoa varten kojeistoon täytyisi rakentaa täysin oma mittauskenttä, joka mittaisi kattilan energiankulutusta sekä erottelisi muiden kulutuskohteiden osalta sähkön kulutuksen (ks. kuvio 36).



Kuvio 36. C3-kojeisto

Kojeistossa C3 on tällä hetkellä yhteensä kymmenen lähtökennoa vapaana. Vapaista kenoista puolet on vanhoja jauhinkenoja ja loput viisi muuntajakenoja. Jauhinten takia kojeistoissa oli ennen kymmenien megawattien edestä sähkökuormistusta. Vapaana tai varalla olevista lähdöistä saadaan otettua keskijännitteinen sähkönsyöttö sähkökattilalle. 50 MW:n sähkökattilassa on 12 elektrodia, missä jokaista elektrodia kohden on yksi kaapeli eli 4x3. Sähkönsyöttö toteutettaisiin siis neljästä kennolähdöstä ja jokaisesta lähdöstä lähtisi kolme keskijännitekaapelia. Yhtä lähtöä kohden olisi kuormaa 12,5 MW, joka tarkoittaisi sitä, että kuormat eivät kasvaisi liian suuriksi yhtä lähtökennoa kohden. Sähkönsyöttö vietäisiin kojeistolta sähkökattilalle suorinta reittiä pitkin niin, että olemassa olevia kaapelihyllyjä käytettäisiin hyödyksi. Sähkökattilan ja kojeiston välinen sähkönsyöttö toteutettaisiin kolmivaiheisena 4x3x1x800 AHXCMK-WTC keskijännitekaapeleilla. Kaapelin poikkipinta perustuu siirrettävään tehoon, virtaan ja arvioituun pituuteen.

C3-kojeistolta saadaan myös tarvittava sähkönsyöttö jakelumuuntajalle. Jakelumuuntaja toimii sähkönsyöttönä sähkökattilan prosessilaitteiden sähkökeskukselle. Tässä yhteydessä liityntä C2-kojeistolle olisi vaatinut sen, että katkaistut virtakiskot olisi pitänyt uudelleen kytkeä ja jakelumuuntajalle menevä syöttökaapeli olisi pitänyt kääntää C3-kojeistolle, koska C2-kojeistolta ei ole sähkönsyöttöä jakelumuuntajalle.

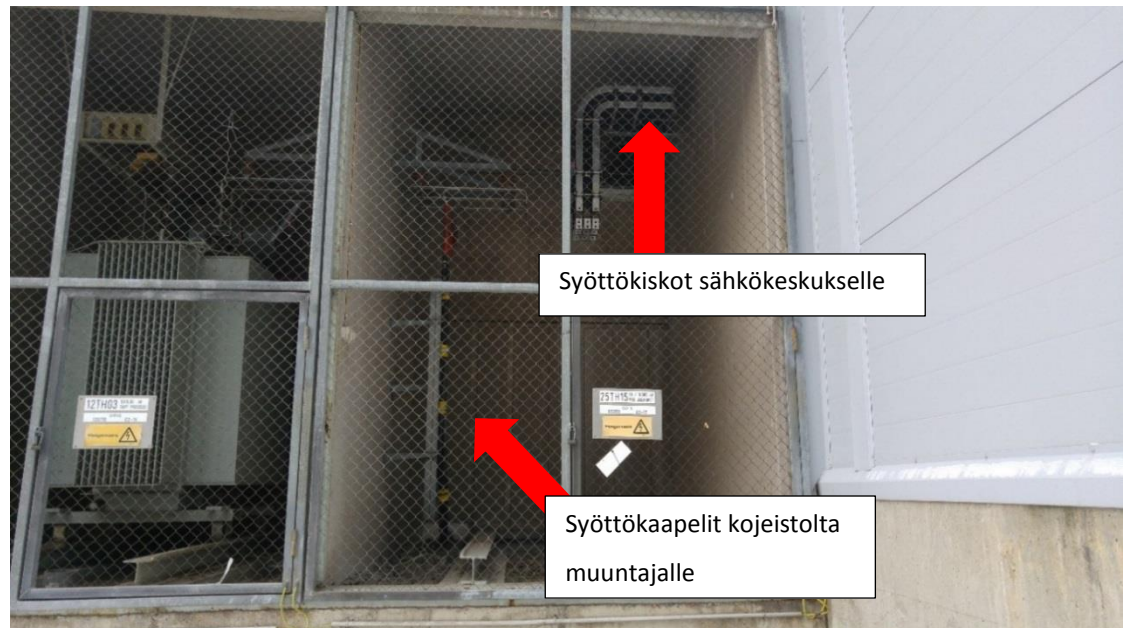
Sähkökattilan prosessilaitteet saivat syötön 400/690 V:n sähkökeskukselta, joka sijoitettaisiin 12ST52-sähkötilaan (ks. kuvio 37). Prosessilaitteiden sähkönkulutus olisi noin reilu 50 kW, mikä tarkoittaa sitä, että valtavan isolle sähkökeskukselle ei ole tarvetta. 50 kW:n sähkönkulutus perustuu sähkökattilan toimittajan ilmoittamaan määrään. Prosessilaitteista pumput, sähkökattilan ohjauskaappi ja muut ns. isommat laitteet tarvitsisi syötön sähkökeskukselta. Instrumentointilaitteiden osalta sähkökaapelointi toteutettaisiin kentälle asennetun jakokotelon kautta, mihin 12- tai 24-parinen runkokaapeli kytkettäisiin.

Prosessilaitteiden kannalta 12ST52-sähkötilassa oli mainio paikka sähkökeskuksen sijoittamiselle. Sähkötilasta oli purettu vanha sähkökeskus pois, mikä toimi ennen paperikone PK5:n prosessilaitteiden sähkökeskuksena (ks. kuvio 37). Sähkötilasta päinvastoin ei ollut purettu jakelumuuntajalta tulevaa syöttökiskoa. Kaapeloinnin kannalta sähkötilasta oli myös valmiit läpivientiyhteydet sähkötilan alapuoliseen kaapeliteilaan, joka on sähkökeskuksen sijoituksen ja kaapelointien kannalta erinomainen juttu. Investoinnin kokonaiskustannuksia laskiessa, täytyy sähkökeskuksen ja jakokotelon hankinta huomioida, vaikka yhtiön sisältä mahdollisesti löytyy käyttökelpoisia sähkökeskuksia kuin jakokoteloitakin.



Kuvio 37. Prosessisähkökeskus, 12ST52-sähkötila

Sähkötilan seinän läpi tulevat sähkökeskuksen syöttökiskot ovat siis vanhalta 25TH15-jakelumuuntajalta, joka on kuitenkin poistettu käytössä (ks. kuvio 38). Sähkökiskoja käytettäisiin uudelleen hyödyksi uuden sähkökeskuksen syötössä. Kiskot täytyy kytkeä uudelleen sekä sähkökeskuksen että muuntajan päässä.



Kuvio 38. Jakelumuuntajakoppi

Muuntajan purun myötä tullaan siihen tilanteeseen, että uuden öljykäyttöisen jakelumuuntajan osto täytyy huomioida sähköverkkoon liittyvissä kustannuksissa. Muuntajan näennäisteho täytyisi olla noin 1,6-2 MVA:n luokkaa, mikä perustuu täysin siihen, että mitä sähkökattilan prosessilaitteet kuluttavat sähköä ja kuinka paljon niitä on.

Entinen 25TH15-jakelumuuntaja sai sähkönsyöttönsä samaisesta 10 kV:n kojeistosta C3, jota päämuuntaja TC2 tällä hetkellä syöttää (ks. kuvio 39). Kojeston C3, lähtökkeno 12 toimi jakelumuuntajan syöttökennona. Tällä hetkellä kenno toimii varalähtönä, kun muuntaja on purettu pois. Syöttökaapelia kojeiston eli sähkötilan 12ST51:n ja jakelumuuntajan väliltä ei ollut purettu pois, mikä vähentää hieman sähkökaapelointia. Kenno olisi myös releiden uusinnan jälkeen täysin käyttökelpoinen, joten muuntajan ja sähkökeskuksen hankinnan myötä sähkökattilan prosessisähköistyksele on täydet valmiudet.

Sähkökaapelointien pituudet vaihtelevat sen mukaisesti mistä jännitetasosta on kyse. Prosessisähköistyksessä kaapelointien pituudet olisivat noin 20-40 m, kun taas keski-jännitesyötön kaapelipituudet olisivat noin 60-80 m. Nämä mitat ovat ns. ”jalkamittoja” ja ne ovat vain arvioita. Kaapelointi pituuksien ja arvioitujen kaapeleiden määrän perusteella pystyttiin kysymään kaapelointikustannuksia sähköaliurakointi yritykseltä.

Sähkökattilan logiikka eli ohjausjärjestelmä voitaisiin kokonaisuudessa integroida ylemmän tason kanssa, mikä perustuu laitetoimittajan tietoihin. Tässä tapauksessa ylemmällä tasolla tarkoitettaisiin voimalaitoksen ohjausjärjestelmää. Näin sähkökatila hallinnointi voitaisiin toteuttaa täysin voimalaitoksen valvomosta käsin.



Kuvio 39. 25TH15-jakelumuuntajan syöttö

10.2.2 Höyryverkko

Paperitehtaan höyryverkosta löytyi sähkökattilalle lyhyet sekä optimaaliset liityntäkohdat, joiden kautta sähkökatila kannattaa kytkeä tehtaan höyryverkkoon. Niin kuin sähkökytkennöissä myös höyrypuolella olisi hyvä käyttää hyödyksi mm. paperikone PK5:n vanhoja höyrylinjoja. Uusien höyryputkikytkentöjen puolesta ei paperitehtaan höyryverkkoon jouduta tekemään suuria muutoksia.

Ensinnäkin sähkökattilan päähöyryn painetaso tulisi olemaan välipaineinen 10 bar. Sähkökattilan välipainehöyrytysin jälkeen höyry muunnetaan reduktioventtiilin avulla matalapainiseksi 2,5 bar:n matalapainehöyryksi. Toisin sanoen kattilalla tuotetulla höyryllä on kaksi painetasoa. Höyryntuotanto sähkökattilalla olisi kokonaisuudessaan noin XX kg/s ja höyryntuoton suhteet olisivat alustavasti, että matalapainehöyryä tuotettaisiin noin XX kg/s ja välipainehöyryä X kg/s (ks. liitteet 8 ja 9). Tällä varmistetaan se, että tarvittaessa höyryä pystytään toimittamaan tehtaan väli- ja matalapainetason höyryverkkoon. Tämä tietenkin vaikuttaa sähkökattilaan ja höyryputkien mitoittamiseen ja sen lisäksi kustannuksiin, mitä syntyy putkitöistä.

Sähkökattilalta lähtisi siis päähöyrylinja, jossa olisi päähöyryventtiili. Linjassa kulkisi 10 bar:n välipainehöyry, joka menisi sähkökattilaa varten rakennetulle välipainehöyrytukille. Höyrytuki toimisi tässä yhteydessä tuorehöyryn ns. jakelijana ja sitä voisi tulevaisuudessa hyödyntää, jos sähkökattiloita päätetään investoida useampia.

Välipaineisen päähöyrylinjan pituus ennen höyrytukia olisi noin 15 m. Putkikoko sille määritettiin paineen (p), massavirran (qm), virtausnopeuden (v) suhteen liitteiden 1 ja 2 mukaisesti. Mitoituksen pohjaksi höyryn virtausnopeuksissa käytettiin liitteen 2 suositusalueen maksimiarvoja, jolloin putken mitoitus voidaan pitää luotettavana.

missä $p = 10 \text{ bar}$

$q_m = XX \text{ kg/s} = XX \text{ XXX kg/h}$

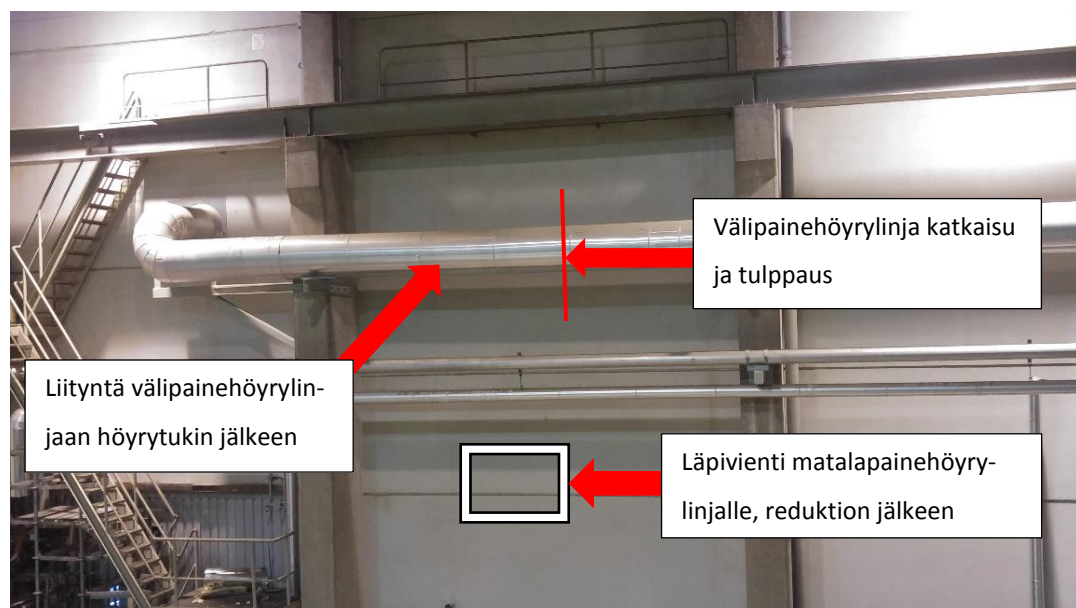
$v = 25 \text{ m/s}$

Näiden perusteella putken kooksi tuli DN 500. Tarkastus voitiin tehdä laskemalla kaavan 3 mukaan, jolloin saatiin vastaus siitä, onko taulukko yhtä luotettava. Ominaislavuus välipaineiselle 10 bar:n höyrylle on $0,17 \text{ kg/m}^3$, jolloin höyryputken halkaisijaksi tulee:

$$d = \sqrt{XX \text{ kg/s} * \frac{0,17 \text{ kg/m}^3}{30 \text{ m/s}} * \frac{4}{\pi}} = 0,416125 \text{ m} = 416,125 \text{ mm}$$

Laskelman tuloksen mukaista putkikokoa ei ole olemassakaan, vaan putkikooksi valitaan aina seuraava saatavilla oleva putkikoko. Laskelman tuloksesta seuraava saatavilla oleva putkikoko on DN 500. Näin mitoitusaulukon perusteella tehtyjä putkikovalintoja voitiin myös pitää luotettavana niiden määrittämisessä. Taulukon ja laskennan perusteella mitoitettut putkikoot ovat tässä vaiheessa esiselvitystä aivan riittäviä.

Höyrytukki sijoitettaisiin tässä kohteessa jauhinsalin lattiataason tuntumaan yhdessä reduktion kanssa. Höyrytukilta lähtisi mitoitusaulukon eli liitteen 1 mukaisesti DN 500-välipainehöyrylinja, koska paine ja massavirta eivät ole muuttunut. Välipainehöyrylinja menisi reduktioventtiilille asti (ks. liitteet 8 ja 9). Reduktiota ennen välipainehöyrylinjaan on tehtävä haaraoksa, mistä otettaisiin liityntä jauhinsalin seinällä olemassa olevaan välipainehöyrylinjaan (ks. kuvio 40). Välipainehöyrylinjasta otettava oksa toteutettaisiin DN 250 teräsputkella. Se ”istutettaisiin” eli yhdistettäisiin suoraan olemassa olevaan linjaan. Höyryputken pituus tulisi olemaan noin 10 m. Haaraoksassa teräsputkelle täytyisi tehdä pienennös DN 500:sta DN 250:een. Massavirta ei enää tässä kohtaa linjaa olisi XX kg/s vaan noin XX kg/s. Tämä pienentää putken kokoa jo huomattavasti. Höyryn virtaussuunta on linjasta kohti putkisiltaa. Välipainehöyrylinja pitää katkaista ja tulpata yhdistysoksan jälkeen, koska höyrylinja perässä ei ole kulutuskohteita.



Kuvio 40. Välipainehöyrylinjaan liityntä

Välipaineisen höyrylinjan haaraoksassa täytyy olla myös sulkuventtiili, mahdollisia erotuksia varten (ks. Liite 9). Välipainehöyrylinja, joka tulee jauhinsalin ulkoseinän toisella puolelta, on tällä hetkellä katkaistu sulkuventtiilien molemmin puolin ja juuri ennen putkisiltaa, missä se yhdistyi ennen välipainehöyrylinjaan. Linja olisi heti käytettävissä uudelleen, kun hitsattaisiin katkaistu putki yhtenäiseksi.

Höyrytukista reduktiolle tuleva höyrylinja olisi DN 500 kokoa ja vajaa 10 m pitkä. Reduktion yhteydessä tapahtuu painetason lasku, jonka myötä putkikoko kasvaisi. Putkikoon kasvu johtuu paineenlaskusta, jossa höyryn ominaistilavuus kasvaa paineen laskiessa. Vaikka höyryntuoton suhteet olisivat XX kg/s ja X kg/s, niin putkikoon mitoitus matalapainepuolella tehtäisiin myös kattilan täyden kapasiteetin mukaan eli XX kg/s, koska välipainehöyryn kulutus on useasti hyvin pieni. Näin varmistetaan se, että kattilan käyttö olisi kaikissa tilanteissa mahdollista. Virtausnopeus matalapainehöyrylle olisi 30 m/s, liitteen 2 perusteella.

missä $p = 2,5 \text{ bar}$

$q_m = XX \text{ kg/s} = XX \text{ XXX kg/h}$

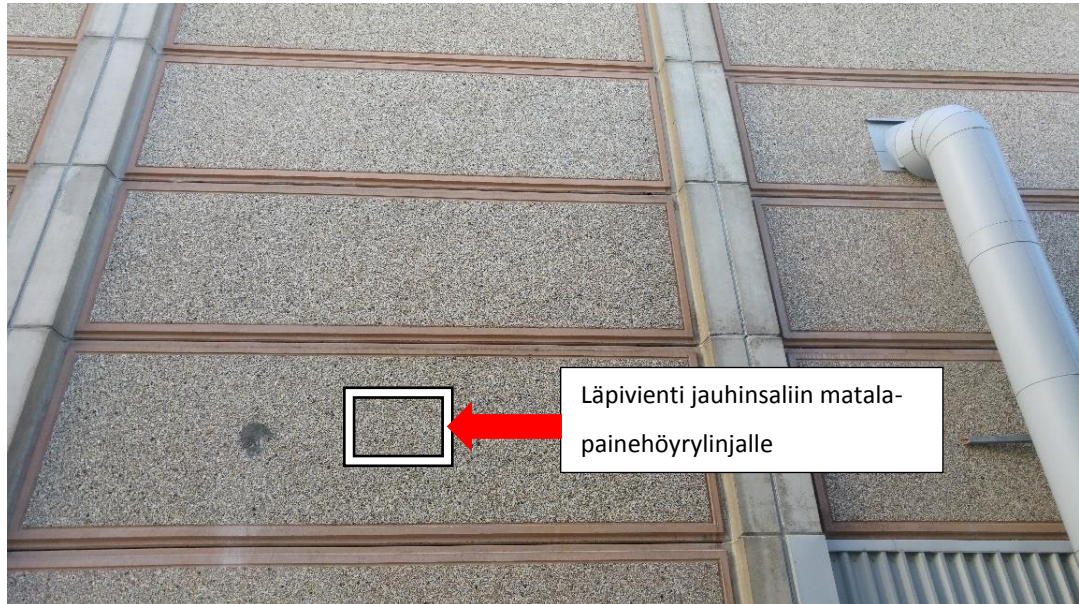
$v = 30 \text{ m/s}$

Mitoituksessa käytettyjen arvojen perusteella arvioitiin matalapainehöyrylinjan kooksi liitteen 1 mukaan DN 700. Liitteen 1 putkikoot loppuivat kuitenkin DN 600:een, mikä tarkoittaa sitä, että putkikoolle täytyi tehdä tarkastuslaskenta kaavan 3 mukaisesti. Ominaisilavuus matalapaineiselle 2,5 bar:n höyrylle on $0,52 \text{ kg/m}^3$, jolloin höyryputken halkaisijaksi tulee:

$$d = \sqrt{XX \text{ kg/s} * \frac{0,52 \text{ kg/m}^3}{30 \text{ m/s}} * \frac{4}{\pi}} = 0,664371 \text{ m} = 664,371 \text{ mm}$$

Laskelman tuloksesta seuraava mahdollinen putkikoko on DN 700. Joten jauhinsalin seinään tehtäisiin läpivienti DN 700 matalapainehöyrylinjaa varten. Reduktiolta lähtiessään ja seinän läpi tultuaan matalapainehöyrylinjassa olisi kaksi sulkuventtiiliä,

jolloin matalapainehöyrylinja saadaan varmasti turvallisesti erotettua esim. kunnossapitotöitä varten. Kuviossa 41 on esitetty kuva siitä, mistä 2,5 bar:n DN 700-matalapainehöyrylinja tuotaisiin jauhinsalista ulos. Vieressä näkyy 10 bar:n välipainehöyrylinja.



Kuvio 41. Matalapainehöyrylinjan läpivienti jauhinsalista

Läpiviennin jälkeen DN 700-matalapainehöyrylinja vietäisiin jauhinsalin seinämältä kattotasanteelle, joka sijaitsee muutaman metrin alempana. Kattotasanteella höyryputkeen sijoitettaisiin aikaisemmin mainitut matalapainehöyrylinjan sulkuventtiilit. Kattotasanteen etuna on se, että sinne on valmiit kulkuyhteydet, ja sen lisäksi venttiileiden sijoittaminen sinne helpottaa niiden käyttöä sekä kunnossapitoa. Putkisillalle matalapainehöyrylinja menisi sulkuventtiileiden jälkeen. Matalapainehöyrylinja yhdistettäisiin putkisillalla kulkevaan olemassa olevaan höyrylinjaan, kuviossa 42 näkyvän putkimutkan jälkeen. Uuden höyrylinjan liityntä tapahtuisi PK3 ja PK4 paperikoneille menevän linjan yläpuolelta. Näin saataisiin uusi höyrylinjaputki vietyä putkisillan päällä, mikä minimoi putkisiltaan tehtäviä muutoksia. Putkisillalla olemassa olevaan höyryputkeen liityttäessä ei jouduta tekemään yhdistämisen kannalta suurennusta tai pienennystä, koska sekä uusi että vanha putki ovat DN 700 kokoa.



Kuvio 42. Liityntä putkisillan matalapainehöyrylinjaan

Syöttövesijärjestelmä

Myös syöttövesijärjestelmän osalta liityntöjä tehtäisiin olemassa oleviin linjoihin. Hankittavalle syöttövesisäiliölle täytyisi viedä sen toiminnan kannalta lauhde-, lisävesi- ja matalapainehöyrylinjat. Lauhdelinjasta oksa syöttövesisäiliön kaasunpoistoyksikölle otettaisiin PK5:lta kohti voimalaitosta lähtevästä linjasta, joka kulkee konosalin DN 600-matalapainehöyrylinjan yläpuolella. Lauhdelinja tulee PK5:lle aina paperikone PK6:lta asti, minkä mukana kulkeutuu myös sen lauhteita. Syöttövesisäiliö tarvitsisi myös linjan lisävedelle. Tällainen linja löytyy konosalin puolelta läheltä jauhinsalia. Lisävedelle linja otettaisiin voimalaitokselle palaavasta suolattoman veden linjasta, joka kulkee AHR-lämmittimen kautta. Myös lisävesilinja vietäisiin syöttövesisäiliön kaasunpoistoyksikölle, jotta välttyttäisiin mahdollisilta korroosiota aiheuttavilta happipartikkeileilta. Näillä toimenpiteillä on se vaikutus, että syöttövesisäiliölle tarpeellisen lisäveden saanti on taattu ja syöttövesi pysyy puhtaana.

Syöttöveden esilämmitystä varten tarvittava matalapainehöyrylinja otettaisiin yhdistyksoksalla DN 300-matalapainehöyrylinjasta, joka menee puretun paperikoneen superkalantereille. Linjaan olisi asennettava säätöventtiili, jota ohjataan säiliön paineenmittauksen perusteella. Näin vältetään siltä, että paine ei pääse säiliössä nouse-

maan liian suureksi ja höyryn virtaus olisi optimaalista. Tässä työssä ei kuitenkaan ollut tarkoitus hirveän syvällisesti tutkia syöttövesijärjestelmää, joten sen osalta tarkastelu oli tässä.

10.3 Salassa pidettävä

10.4 Salassa pidettävä

11 Johtopäätökset ja pohdinta

Esiselvityksen yhteydessä tehtyjen pohdintojen ja kustannusten perusteella sähkökattilan investointi paperitehtaan apukattilaksi on täysin mahdollinen ja varteenotettava vaihtoehto, varsinkin tiukentuvien ympäristö- ja päästöasetusten perspektiiveistä. Vedoten ympäristönäkökulmiin, investointia voidaan pitää operatiivisena välttämättömyysinvestointina. Sähkökattilan toiminta ei vaadi ympäristölupia eikä muita päästörajoituksiin liittyviä viranomaislupia, jotka rajoittaisivat sitä. Sähkökattilan investointia tukee myös se, että vanhoihin öljykattiloihin täytyisi tehdä todennäköisesti mittavia investointeja, mikäli niillä halutaan tulevaisuudessa energiaa tuottaa ja pystyttäisiin koko paperitehtaan höyryntarve kattamaan. Tosin sitä ei vielä kukaan osaa sanoa, kuinka paljon ympäristötekijöihin liittyvät asetukset jatkossa tiukentuvat, mutta olettaa sopii niiden tiukentuvan. Sähkökattilan investoinnin kannattavuutta on hankala lähteä tulkitsemaan eri polttoaineiden väliltä. Tähän syy on se, että sähkön, öljyn ja jopa kiinteän polttoaineen hinnan ennustaminen pitkällä aikavälillä on vaikeaa, mikä perustuu vain tulevaisuuden arvioihin sekä ennusteisiin.

Investoinnin tärkeyden voi kustannuksien ja takaisinmaksuajan lisäksi perustella täysin säätösähkötekijöihin nojaten ja mahdollisilla tuotannon menetyksillä. Varakattiloiden höyryntoimituksen riittävyys ja toiminnan epävarmuus heijastuvat suoraan tuotantoon. Menetetystä tuotannosta koituu isot tappiot ja voi pahimmillaan koitua asiakassuhteiden kariutumiseen. Merkittävä hyöty sähkökattilan investoinnista tulee kantaverkon säätötarpeesta, jonka tarve kasvaa Suomessa vuosi

vuodelta. Hyödyt eivät koske pelkästään kantaverkkoa ja kantaverkon ylläpitäjää, vaan myös säätökapasiteetin omistajaa ja sitä kautta jokaista kuluttajaa.

Esiselvityksessä esitetyin keinoin sähkökattilan liittäminen olemassa oleviin sähkö- ja höyryverkkoihin olisi melko yksinkertaisilla toimenpiteillä toteuttavissa myös muualla teollisuudessa. Näin esiselvityksen tuloksia voidaan yleisellä tasolla käyttää hyödyksi esim. myös muilla samankaltaisilla paperitehtailla. Näiden kaikkien perusteluiden vuoksi öljykäyttöisten vara- tai apukattiloiden korvaaminen sähkökattilalla tai sähkökattiloilla on täysin potentiaalinen vaihtoehto harkittavaksi.

11.1 Tavoitteet ja tulokset

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia esiselvitys, jossa selvitettäisiin sähkökattilan investoinnin mahdollisuutta Jämsänkosken UPM:n paperitehtaalle. Esiselvityksessä oli tarkoitus kartoittaa potentiaalisia sähkökattilan laitetoimittajia ja laitevalmistajia sekä selvittää sähkökattilalle fyysinen sijainti, josta olisi kustannusten ja sähkökattilan toimintojen kannalta optimaalisin liityntä paperitehdasintegraatin sähkö- ja höyryverkkoon. Esiselvityksen tavoitteena oli myös pohtia, kuinka sähkökattilalla osallistuminen säätösähkömarkkinoihin käytännössä toteutettaisiin.

Esiselvityksen tuloksena saatiin tarjouskyselyn perusteella kaksi potentiaalista sähkökattilantoimittajaa, joista toisen sähkökattilantoimittajan tekemä vastatarjous oli täysin varteenotettava. Tarjouksille tehtiin vertailua sekä karkeaa kustannustenarviointia, johon sisällytettiin investoinnin kannalta muita merkittäviä asioita kuten aliurakoinnit ja laitehankinnat. Tarjousvertailu ja karkeiden kustannusten arviointi helpottavat tarkemman tarjouskierroksen tekoa ja valmiit kustannustaulukot Excel-tiedostossa sujuvoittavat kustannusten tarkastelua. Tulokset tästä antavat hyvät lähtökohdat lisäkysymyksille ja laajemman tarjousaineiston tekemiselle. Kuitenkaan tarjousten vertailua ei voida kaikilta osin pitää virheettömänä, koska toisen laitevalmistajan tekemä tarjous oli tässä vaiheessa puutteellinen. Kustannusarviot ovat siltä osin todellisia ja hyödynnettävissä kuin budjettihinnoittelulta sopii odottaa.

Esiselvityksen toisena tuloksena saatiin sähkökattilalle myös todella realistinen sijoituspaikka, josta olisi erittäin lyhyet ja optimaaliset liitynnät paperitehtaan sähkö- ja

höyryverkkoon. Sähkökattilan prosessilaitteiden sekä liitynnöistä syntyvien kustannusten kannalta myös tulos oli realistinen. Paikanvalinnan suhteen tehtiin tarkastelua kahden paikan väliltä, missä huomioon otettiin paperitehtaan rakenteita, sähkö- ja höyryverkon rakennetta ja komponentteja. Paikan valinnan ja energiajärjestelmän liitynnöiden tarkastelun tueksi tehtiin yksinkertaistetut PI-kaaviot niin sähköverkosta kuin höyryverkosta, mikä helpottaa jatkossa paperitehtaan sähkö- ja höyryverkon rakenteen sisäistämistä ja ymmärtämistä. Paikan valinnan perustelut ja vertailut ovat täysin riittäviä siihen, että sähkökattila voidaan kyseiseen paikkaan sijoittaa. Sähkö- ja höyryjärjestelmien liitynnät antavat teoreettisen yleiskuvan siitä, miten se olisi järkevä mahdollisesti toteuttaa. Liityntää varten tehdyt mitoitus- ja sähkö- ja höyryverkolle ovat todella karkeita ja virhemarginaali on tässä kohdin suurin, koska laskelmien seassa on myös ns. näkemyksiä ja määrityksiä, jotka voivat vaihdella henkilöstä riippuen.

Esiselvityksen viimeisenä tuloksena oli sähkökattilan ja kuormituslaitteen yhteistyö säätösähkömarkkinoilla. Säätösähkön toteutuksessa pohdittiin mihin reservilajin toimintatasoon ja markkinapaikkaan sähkökattilalla voitaisiin osallistua sekä miten tämä tapahtuisi käytännössä. Ratkaisun perustelut ovat siltä osin riittäviä, että ne antavat lähtökohdat ja käsityksen vaihtoehtoista, miten säätösähkön toteutus voitaisiin toteuttaa. Tämä on kuitenkin vain pintaraapaisu säätösähköstä, joten syvällisemmällä tutkinnalla pohdintaa olisi saanut jalostettua pidemmälle.

11.2 Luotettavuuden arviointi

Esiselvityksen aineiston ja tarvittavien tietojen kerääminen oli laajan aiheen puolesta aikaa vievää ja vaativaa. Tämä johtui siitä, että työssä oli monta eri kohtaa ja muuttujaa, mitkä tukeutuisivat dokumenttien ja havainnointien sisäistämiseen. Työssä jouduttiin jonkun verran tekemään olettamuksia sellaisista asioista, mistä ei tietoa vielä ollut saatavilla. Olettamukset kuitenkin pyrittiin minimoimaan ja rajaamaan vähäiseksi, jotta ne eivät vaikuttaisi työn luotettavuuteen. Opinnäytetyön tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin pidettävä mielessä kriittisyys niitä kohtaan. Tulokset eivät ole kaikilta osin niin yksiselitteisiä kuin voisi olettaa, esim. kustannusarviot. Kustannusarvioissa olisi tarkoilla yksikköhinnoilla saatu todellisempi kustannusarvio ja sitä

kautta oikeellisempi takaisinmaksuaika, mutta tämä olisi vaatinut kattavampaa suunnittelutyötä ja enemmän aikaa. Karkea kustannusarvio luo tässä vaiheessa riittävän tarkan informaation investoinnin lähtökohdista. Tarkoilla yksikköhinnoina kustannukset tulisivat laskemaan. Kustannusten mahdollinen lasku johtuu budjettihinnoista, tällöin kustannukset pääsääntöisesti arvioidaan hieman yläkanttiin.

Opinnäytetyön teoriapohja pyrittiin keräämään laajalta rintamalta, missä käytettiin mahdollisimman luotettavia ja relevantteja lähdetietoja. Monilähteisyys antoi kokonaisvaltaisemman ymmärryksen aihealueesta ja toi työhön luotettavuutta. Työn lähteinä käytettiin niin kotimaista kuin ulkomaalaista kirjallisuutta sekä mm. Motivan ja Fingridin sähköisiä oppaita. Näiden lisäksi ympäristö- ja päästöasioissa käytettiin valtioneuvoston hyväksymiä asetuksia. Toki jossain lähteissä, kuten sähkökattilan teknisissä asioissa jouduttiin turvautumaan hieman vanhempiin lähdemateriaaleihin, koska nykyaikaisempia lähteitä ei ollut saatavilla.

11.3 Jatkotoimenpiteet ja kehitysehdotus

Opinnäytetyön laajuuden vuoksi ei esiselvityksessä ollut tarkoitus tehdä syvällisempää tutkimusta kustannuksista saati sitten tarjouksista. Tarkemman ja laajemman tarjouskyselyn kokoaminen vastatarjouksien perusteella voisi olla yksi jatkotoimenpide, missä analysoitaisiin vielä tarkemmin jo tulleita tarjouksia ja viettäisiin investoinnin suunnittelutyö jo hieman pidemmälle. Tarkempia kustannuksia varten pitäisi tehdä laajempia sähkö- ja höyryjärjestelmien mitoituksia, jossa käytettäisiin todellisia arvoja ja mittoja. Tämän lisäksi laitetoimittajilta pitäisi pyytää yksiköhintaiset tarjoukset budjettihintaisten sijaan.

(Salassa pidettävä jatkotoimenpide)

Kehitysehdotuksena sähkökattilan käytön yhteydessä tuotettua höyryä voitaisiin hyödyntää sähkökattilan syöttöveden esilämmittämisessä ja biokattilan polttoaineen kuivatuksessa. Varsinkin niissä tilanteissa, kun höyrylle ei olisi kulutuskohdetta ja käyttö perustuisi ainoastaan säätösähköön. Muuten tuotettu höyry jouduttaisiin puhaltamaan taivaalle. Esimerkiksi talvisin biopolttoaineen kosteupitoisuus on suurempi, mikä vaikuttaa biokattilan palamisprosessiin. Höyryn avulla toteutettu polttoaineen kuivatus edesauttaisi tasaista palamisprosessia ja vaikuttaisi kattilan

hyötysuhteeseen. Näin saataisiin höydynnettyä edes vähän energiaa, joka muuten menisi hukkaan ja toiminta olisi energiatehokkaampaa.

11.4 Lopuksi

Aiheena sähkökattilan investointi oli todella mielenkiintoinen ja haastava, koska aihe on vielä todella uusi, mutta samalla erittäin ajankohtainen. Tutkittavaan aiheeseen mielenkiintoa toi myös se, että aiheesta ei ole aiempaa tutkimusta tehty. Samantapaisten investointien ja sitä myötä tutkimusten määrä tulee aivan varmasti yleistymään Suomessa, jos sähkön hinta pysyy alhaisena.

Aiheena esiselvitys oli todella laaja, mitä osattiin hieman odottaa, vaikka opinnäytetyö rajattiin hyvin ja täsmällisesti. Aihealueen täsmällinen rajaus helpotti kuitenkin käsitteiden määrittämistä. Käsitteiden määrittelemisen avulla saatiin opinnäytetyöhön kattava ja perinpohjainen teorioisuus, joka tuki opinnäytetyön selvitysosuutta. Toki opinnäytetyön aiheen vielä tarkempi rajaus tai aiheen jakaminen useampaan osaan olisi johtanut siihen, että yksittäisestä aihealueesta olisi saatu nykyistä tarkempia selvityksiä ja tuloksia. Kuitenkin laajemman esiselvityksen perusteella investoinnin toteutuksen mahdollisuudesta ja kustannuksista sai kattavan kokonaiskuvan, jonka myötä investoinnin eteenpäin viemiselle ja investointiesitykselle on täydet perusteet. Opinnäytetyö siis täytti sille asetetut tavoitteet ja tulokset.

Opinnäytetyön yhteydessä opittiin paljon sähkökattiloiden tekniikasta, sähkö- ja höyryverkon rakenteista ja tarjouskyselyn laatimisesta sekä yleisestä prosessituntemuksesta. Myös säätösähkön osalta tuli opittuja uusia ja mielenkiintoisia asioita, joista ei ennen tiennyt mitään. Työn asettamat tavoitteet ja vaatimukset täyttyivät ja toimeksiantaja pystyy esiselvitystä hyödyntämään jatkossa. Opinnäytetyöstä tuli erittäin onnistunut kokonaisuus.

Lopuksi haluan antaa kiitokset UPM Specialty Papers Oy:lle mielenkiintoisesta aiheesta ja tilaisuudesta kehittää omaa osaamista. Lisäksi kiitän UPM Jämsänkosken ja UPM Energy Oy:n henkilökuntaa, niiltä osin ketkä työni suhteen neuvoivat ja kannustivat minua. Erityiset kiitokset kuuluvat myös opinnäytetyön ohjaajille, perheenjäsenille ja ystäville.

Lähteet

A 24.10.2013/750. Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista. Finlex. Viitattu 28.12.2017. Ajantasainen lainsäädäntö.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130750>.

A 13.11.2014/936. Valtioneuvoston asetus suurten polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta. Finlex. Viitattu 28.12.2017. Ajantasainen lainsäädäntö.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140936>.

Alhanko, A. 2011. Energiaraportoinnin kehittäminen voima- ja lämpölaitoksille. Aalto yliopisto, Teknillinen korkeakoulu. Kemian tekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 4.1.2017.

<http://mmeafinalreport.fi/files/WP1.2%20Development%20of%20energy%20reporting%20for%20CHP%20power%20plants.pdf>.

Anteroinen, S. 2016. Raskas polttoöljy väistyy kattiloista- mitä tilalle? Enertec, 2016, 2, 24-29. Viitattu 8.1.2018. <http://www.publico.com/magazine/pdf/815.pdf>

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 1. Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press/Otatieto

Energian hinnat. 2017. Tilastokeskus. 2. neljännes. Viitattu 9.1.2018.

http://www.stat.fi/til/ehi/2017/02/ehi_2017_02_2017-09-07_fi.pdf.

Federley, J. 2009. Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä. Motiva. Koulutusmateriaali. Viitattu 3.1.2018.

https://www.motiva.fi/files/10350/Energiatehokas_hoyry-ja_lauhdejarjestelma_VERKKOKOULUTUSAINEISTO_2015.pdf.

For the Safe Operation of Electric Steam Boilers, 2013. Code of Practice. Published: Labour Department. Viitattu 8.1.2018.

<http://www.labour.gov.hk/eng/public/bpvd/boiler.pdf>.

Garcia, N., Krook-Riekkola, A., Lopez, A., Olsen, L. & Vatopoulos, K. 2012. Best available technologies for the heat and cooling market in the European Union. European Commission. Viitattu 8.1.2018.

<https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Best-available-technologies-for-the-heat-and-cooling-market-in-the-European-Union.pdf>.

Hietalahti, L. 2013a. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: Amk-kustannus Oy. Tammertekniikka.

Hietalahti, L. 2013b. Teollisuuden sähkökäytöt. Tampere: Amk-kustannus Oy. Tammertekniikka.

High voltage Electrode boiler. N.d. PARAT IEH. Viitattu 8.1.2018.

<http://www.parat.no/media/201154/Electrode-Boiler-web.pdf>.

Holpainen, J. 2014. Voimakattilan sähköjärjestelmän optimointi. Opinnäytetyö. Lapin ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 22.2.2018.

http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76001/Holpainen_Juri.pdf;jsessionid=A2C688F6240397C5C7D464C60D8C8BDC?sequence=1.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 1994. Höyrykattilatekniikka. 2-3. painos. Helsinki: Edita Ab. 1998.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka. 2. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Hytönen, K. 2017. Teollisprosessien energiatehokkuus. Opetusmateriaali. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Optima- oppimisympäristö. Viitattu 16.1.2018

Höyrykattilan toimintaperiaate. N.d. Monipolttoainekattilat. KnowPap-paperitekniikan ja tehtaan automaation oppimisympäristö. Viitattu 10.1.2018. http://www.knowpap.com.ezproxy.jamk.fi:2048/extranet/suomi/monipoltt_kattilat/5_0_hoyrykatt_periaate/frame.htm.

Höyryn ja lauhteen siirtojärjestelmä. 2011. Energia- analyysi. Motiva. Viitattu 1.3.2018. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-distribution/pipes-and-pipe-sizing.aspx>.

Jokilaakson tehtainen esittelymateriaali. 2017. UPM. Viitattu 21.12.2017. Sisäinen esittelymateriaali.

Jämsänkosken voimalaitoksen esittelymateriaali. 2017. UPM. Viitattu 15.01.2018. Sisäinen esittelymateriaali.

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas: miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Julkaisuvuosi- ja numero 2015, 212.

Karjalainen, A. 2013. Suurten ja pienten polttolaitosten asetusten muutokset. Ympäristöministeriö. Viitattu 28.12.2017. http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/58570/Karjalainen_suurten+ja+pienien+polttolaitosten+asetusten+muutokset/eca2bee1-286b-46f4-9159-4a4b26456659.

Korpinen, L. N.d. Sähkön siirto ja jakeluverkot. Opetusmateriaali. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Viitattu 15.01.2018. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf

Kustula, S. 2015. Laadullinen ja määrällinen tutkimus opinnäytetyössä. Essee. Proakatemia. Viitattu 20.12.2017. <http://essee pankki.proakatemia.fi/laadullinen-ja-maarallinen-tutkimus-opinnaytetyossa/>.

Kuusisto, M. 2014. Energiatehokkaan suunnittelun esimerkkejä teollisuuskohteissa. Pöyry. Viitattu 16.1.2018. https://www.lut.fi/documents/10633/333534/Kuusisto_Energiatehokas+suunnittelu_P%C3%B6yry.pdf/bcbfd417-6b42-4e95-b2ca-4beea0cf3052;jsessionid=6402316892BBDEABAAD7806F7C8936A2.wwwlut2?version=1.0.

Kysyntäjousto. N.d. Fingrid. Viitattu 5.2.2018. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/>.

- Laukkanen, N. 2008. Keski-Pohjanmaan keskussairaalan höyryntuotannon kustannuslaskenta. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 9.1.2018.
http://www.cou.fi/opinnaytetyot/julkaistut/Laukkanen_Nils.pdf.
- Massa- ja paperiteollisuus. 2017. Tilastot. Metsäteollisuus. Viitattu 11.1.2018.
<https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/massa-ja-paperiteollisuus/>.
- Merrit, C. 2016. Process Steam Systems. A Practical Guide for Operators, Maintainers and Designers. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Mönkkönen, T. 2014. Tase-konsepti prosessihöyryverkon hallinnassa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, automaatiotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 4.1.2018.
<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22634/monkkonen.pdf?sequence=1>.
- Niiranen, J. 1999. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: Otatieto.
- Ohjaussuunnittelun perusteet 2016. Opetusmateriaali. Lahden ammattikorkeakoulu. Viitattu 19.1.2018.
http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/OhjausSuunnittelunPerusteet.pdf.
- Petrecca, G. 1993. Industrial energy management: principles and applications. New York: Springer Science+ Business Media, LLC.
- Pihkala, J. 2011. Prosessitekniikka. Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Helsinki: Opetushallitus.
- Pipes and Pipe sizing. 2018. Spirax Sarco. Viitattu 1.3.2018.
<http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-distribution/pipes-and-pipe-sizing.aspx>.
- Puolamäki, E. & Ruusunen, P. 2009. Strategiset investoinnit: johtaminen, prosessit ja talouden ohjaus. Helsinki: Tietosanoma.
- Saaranen, P., Kolttola, E. & Pösö, J. 2016. Liike-elämän matematiikka. Otava. Helsinki: Edita.
- Sähkömarkkinat. N.d. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 9.1.2018.
<http://tem.fi/sahkomarkkinat>.
- Säätösähkö- ja sähkökapasiteettimarkkinat. N.d. Fingrid. Viitattu 10.1.2018.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko-ja-saato-kapasiteettimarkkinat/#saatotarjoukset>.
- Säätösähkön hinta. N.d. Fingrid. Viitattu 10.1.2018. <https://www.fingrid.fi/sahko-markkinat/reservit-ja-saatosahko/reservimarkkinainformaatio/saatosahkon-hinta/>.
- Tapalinen, V. 2017. Sellutehtaan höyrytase ja vastapaineturbiinin tuotannon kasvaessa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energianteeniikan koulutusohjelma. Viitattu 4.1.2018.
http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/143974/Tapalinen_Ville_Diplomity%C3%B6.pdf?sequence=1.

Teollisuuden energiankäyttö toimialoittan vuonna 2016. 2017. Tilastokeskus. Viitattu 11.1.2018. https://www.stat.fi/til/tene/2016/tene_2016_2017-11-03_tau_002_fi.html.

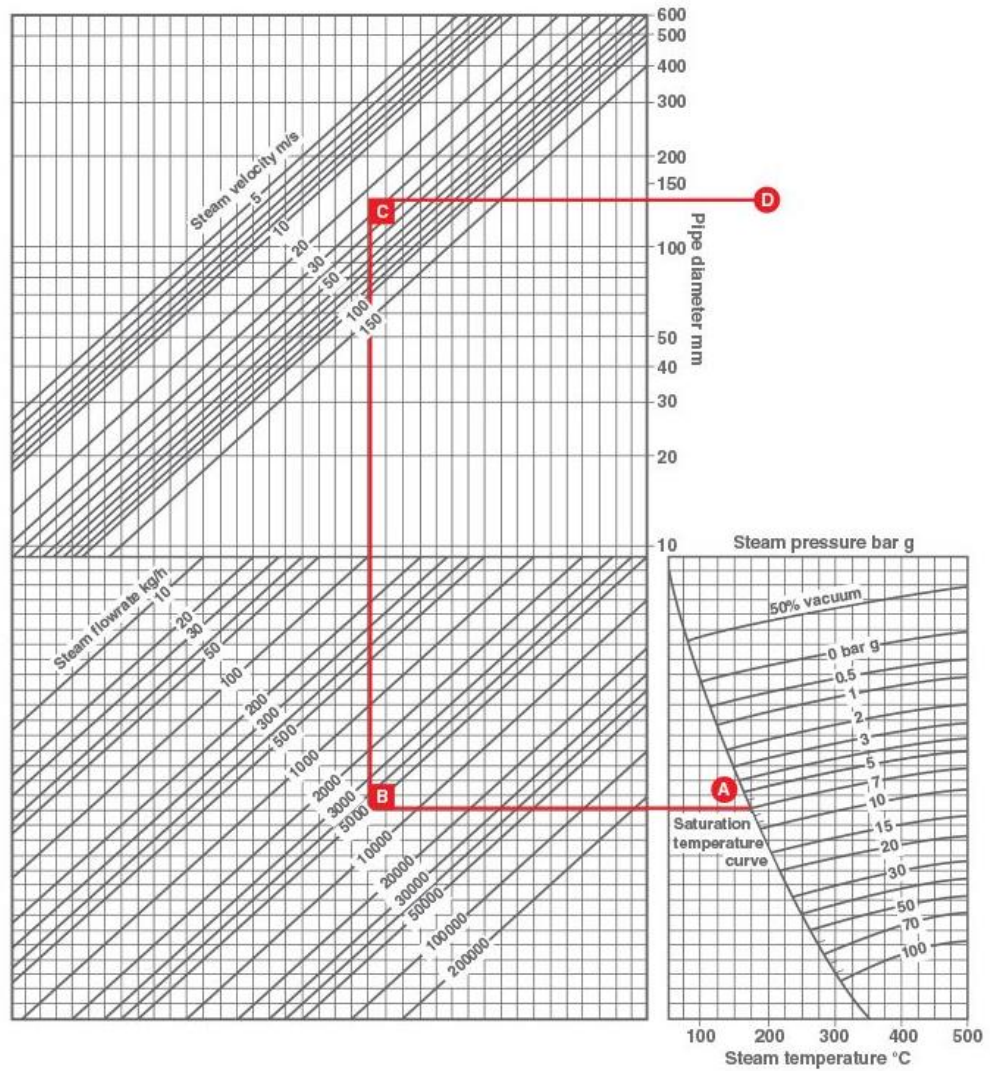
Turunen, K. 2017. Energy efficiency improvement potential in a paper mill by means of heat load balancing. Master's thesis. Aalto University. Energy Engineering and HVAC. Viitattu 8.1.2018. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/24458/master_Turunen_Konsta_2017.pdf?sequence=1.

Tuuri, A. 1999. UPM Kymmene. Metsän jättiläisen synty. Helsinki: Otava.

UPM Vuosikertomus 2016. 2017. UPM:n toimintakertomus ja tilinpäätös tilikaudelta 1.1.-31.12.2016. Viitattu 20.12.2017. <http://hugin.info/165629/R/2081402/784900.pdf>.

Liitteet

Liite 1. Höyryputken mitoitus (Pipes and Pipe sizing 2018)



Liite 2. Höyry- ja lauhdeputkistojen virtausnopeudet (Höyryn ja lauhteen siirtojärjestelmä 2011, 20)

VIRTAAVA	KÄYTTÖKOHDE	NOPEUS [m/s]
AINE		Suositusalue
HÖYRY	HKP-päähöyryputket	30...40
	HVP-jakeluöyryputket	15...25
	HMP-jakeluhöyryputket	20...30
	Paisuntahöyryputket	15...20
	Tulistettu höyry 0-10 bar	
	- DN10-DN32	20...30
	- DN40-DN200	25...35
	- DN250-DN500	30...40
	- DN600>	30...40
	Tulistettu höyry 10-50 bar	
	- DN10-DN32	20...35
	- DN40-DN200	25...40
	- DN250-DN500	30...45
	- DN600<	30...50
	Tulistettu höyry >50 bar	
	- DN10-DN32	20...35
	- DN40-DN200	25...40
	- DN250-DN500	30...50
	- DN600<	40...60
	Kylläinen höyry 0-100 bar	
- DN10-DN32	15...25	
- DN40-DN200	15...25	
- DN250-DN500	20...30	
- DN600>	20...30	
2-FAASI	Lauhdeputket (hönkä)	5...15
	Lauhdeputket (vesi)	0,3...0,7
	Sylinteriputket (hönkä)	5,0...10
LAUHDE	Lauhdevesi-imuputket	0,4...0,8
	Lauhdevesi-paineputket	1,0...2,0

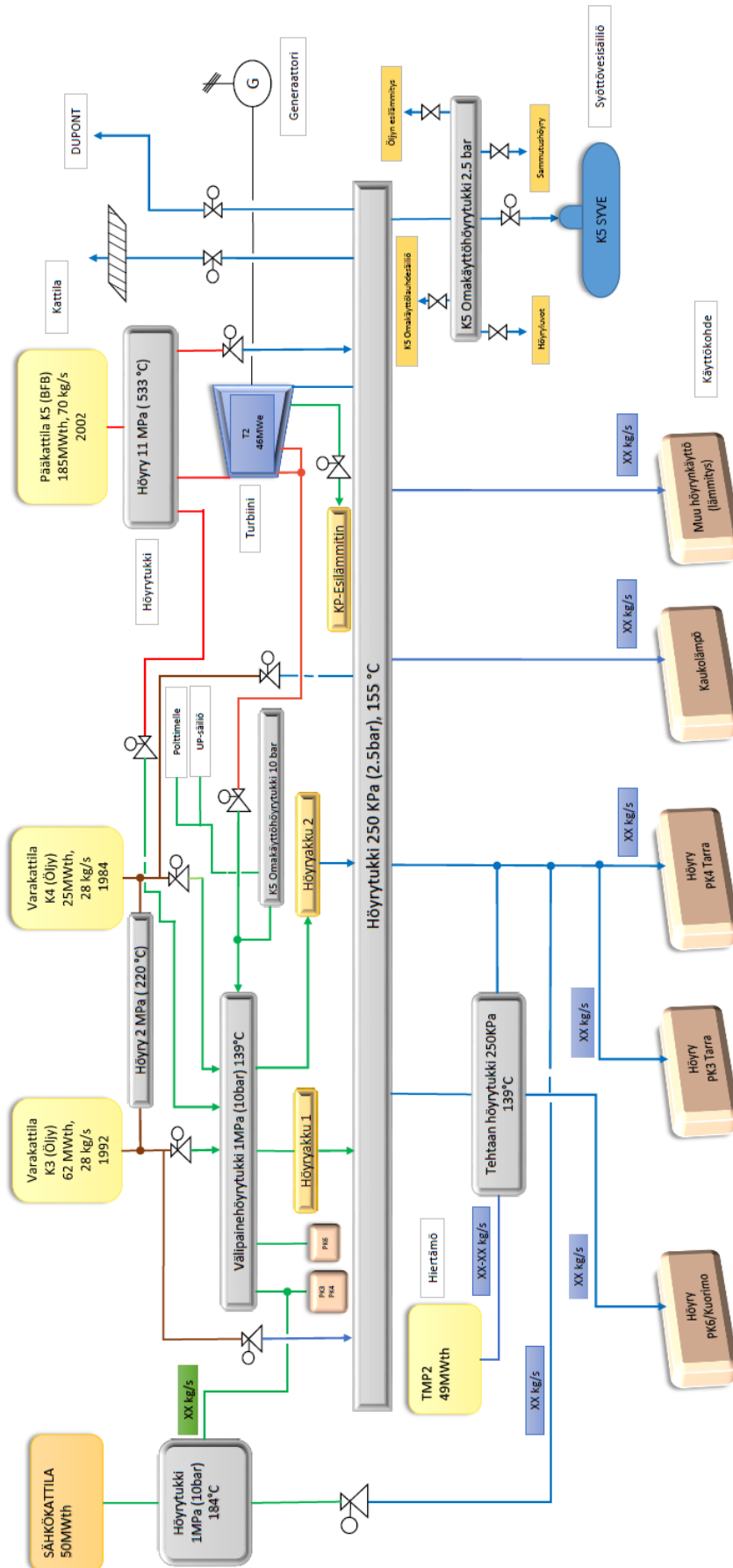
Liite 4. Salassa pidettävä

Liite 5. Salassa pidettävä

Liite 6. Salassa pidettävä

Liite 7. Salassa pidettävä

Liite 8. Paperitehtaan päivitetty höyrykaavio



Liite 9. Kaavio sähkökattilan liitynnästä

