LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknistaloudellinen tiedekunta
Tuotantotalouden osasto

LÄMMÖNTALTEENOTON TUOTTEISTUS, KANNATTAVUUS JA RISKIT VANERITEOLLISUUDESSA

Työn tarkastajat: professori Tuomo Kässi ja dosentti Juha Kaikko
Työn ohjaaja: suunnittelupäällikkö Juhani Suihkonen

Lahdessa 25.03.2011

Marko Pulkkinen

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Marko Pulkkinen

Työn nimi: Lämmöntalteenoton tuotteistus, kannattavuus ja riskit vaneriteollisuudessa

Vuosi: 2011 **Paikka:** Lahti

Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, tuotantotalous.

85 sivua, 27 kuvaa, 8 taulukkoa ja 2 liitettä

Tarkastaja(t): professori Tuomo Kässi ja dosentti Juha Kaikko

Hakusanat: Lämmöntalteenotto, vaneriteollisuus, modulaarisuus, tuotteistus, takaisinmaksuaika, riskianalyysi.

Keywords: Heat recovery, plywood industry, modularity, productization, repayment period, risk analysis.

Viilunkuivaus vaneriteollisuudessa on energiaintensiivinen prosessi, josta syntyvä hukkalämpö kannattaa ottaa talteen ja hyödyntää. Työ käsittelee erilaisten lämmöntalteenottovariaatioiden tuotteistusta ja kannattavuutta, sekä sisältää laitteiston riskianalyysin.

Aiemman asiakaskohtaisen räätälöinnin sijaan, laitteiston modulaarinen tuoterakenne on otettava tuotteistuksen lähtökohdaksi. Modulaarisen tuoterakenteen ansiosta erilaisiin asiakastarpeisiin pystytään vastaamaan aiempaa tehokkaammin, kiitos erilaisten variaatioiden. Standardien ja yhtenäisten rajapintojen myötä muun muassa suunnittelua, projektinhoito ja myyntiä saadaan tehostettua. Lämmöntalteenottoratkaisuille luodaan kolme eri varustelutasoa: perus, korkea ja luksus. Näillä eri varianteilla pystytään vastamaan entistä kattavammin eri markkina-alueiden asiakastarpeisiin.

Kannattavuuslaskelmat todistavat, että lämmöntalteenoton avulla saadaan merkittäviä energiasäästöjä ja eri laitteistovariaatiot maksavat itsensä erittäin nopeasti takaisin, vaikka esimerkiksi sähköenergian hinta nousisi radikaalisti. Lämmöntalteenoton voidaankin katsoa olevan aina erittäin kannattavaa.

Laitteistosta on tunnistettu myös tekniset riskit, joihin on puututtava välittömästi sekä lukuisia toimenpide-ehdotuksia, joiden avulla laitteiston tuomintaa voidaan tehostaa ja muuttaa turvallisemmaksi. Riskianalyysi antaa myös suuntaviivoja tuotteistukselle sekä laitteiston huolto- ja käyttöohjeistolle.

ABSTRACT

Author: Marko Pulkkinen

Name of the Thesis: Productization, profitability and risks of heat recovery in veneer industry

Year: 2011 **Location:** Lahti

Master's thesis. Lappeenranta University of Technology, Industrial Engineering and Management.

85 pages, 27 figures, 8 tables and 2 appendices

Examiners: Professor Tuomo Kässi and Adjunct Professor Juha Kaikko

Keywords: Heat recovery, plywood industry, modularity, productization, repayment period, risk analysis.

Veneer drying in plywood industry is an energy intensive process. Waste heat, which is generated in the process is profitable to utilize. This thesis studies productization and profitability of different heat recovery system variations and includes equipment risk analysis of systems.

Instead of previous customer-oriented customizing, a modular product design must be chosen as a starting point for the packaging of services. Thanks to modular product design customers' needs can be met more efficiently than earlier with different variations. With standardization and common interfaces, the efficiency of design, project management and sales work e.g. may be improved. For heat recovery solutions, three different delivery scopes: basic, premium and luxury are developed. These three different variants allow the company to more comprehensively responds the customer needs in various market areas.

Profitability calculations prove that heat recovery generates significant energy savings. Different heat recovery variations have short repayment period, even if cost of electric energy increases radically. In general, the heat recovery may always be considered as very profitable to use in veneer industry.

In risk analysis the main technical risks which need immediate actions, were identified and furthermore several suggestions to optimize heat recovery equipment operation and make it more safe. Risk analysis also gives guidelines for packaging of services and equipment maintenance and operating instructions.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty syksyn 2010 ja kevään 2011 aikana Lahdessa YIT Teollisuus Oy:lle. Haluan kiittää seuraavia diplomityöni valmistumista edesauttaneita tahoja.

Ennen kaikkea haluan kiittää YIT Teollisuuden, Teollisuuden IV-ratkaisujen suunnittelupäällikkö Juhani Suihkosta mielenkiintoisesta ja haastavasta diplomityön aiheesta, sekä hyödyllisistä neuvoista ja ohjauksesta. Kiitokset myös koko Teollisuuden IV-ratkaisujen työyhteisölle saamastani tuesta sekä hyvästä työskentelyilmapiiristä. Lisäksi haluan lausua kiitokseni diplomityöni tarkastajalle professori Tuomo Kässille kiinnostuksesta työtäni kohtaan sekä lukuisista hyvistä kursseista opiskelujeni aikana.

Lopuksi vielä haluan kiittää opiskelukavereita ikimuistoisista ja vaiherikkaista opiskeluvuosista sekä perhettäni kaikesta saamastani tuesta. Leuka rintaan ja kohti uusia nöyryytyksiä.

SISÄLLYSLUETTELO

KUVALUETTELO
TAULUKKOLUETTELO
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1 JOHDANTO 11

1.1 Työn tausta 11

1.2 Työn tarkastelualueen rajaus ja tavoitteet 11

1.3 Tutkimusmetodologia 13

1.4 Raportin rakenne 15

2 YRITYSESITTELY 17

2.1 YIT Oy 17

2.2 YIT Kiinteistö- ja teollisuuspalvelut 19
2.2.1 YIT Teollisuuden palvelut 19
2.2.2 YIT Energiatehokkuuspalvelut ja Teollisuus IV 20

3 VANERIN VALMISTUS JA LÄMMÖN TALTEENOTTO VANERITEOLLISUUDESSA 22

3.1 Vanerin valmistus 22
3.1.1 Tukkien käsittely 24
3.1.2 Viilun valmistus ja jalostus 24
3.1.3 Levyn valmistus, viimeistely ja pakkaus 25

3.2 Lämmöntalteenottolaitteistot 26
3.2.1 Ilmanvaihdon lämmönsiirrin 28
3.2.2 Lämmöntalteenottopesuri 29

4 MODULAARINEN TUOTERAKENNE JA LÄMMÖNTALTEENOTTORATKAISUJEN TUOTTEISTUS 32

4.1 Modulaarinen tuoterakenne 32

4.2 Eri lämmöntalteenottovariaatiot 35

4.3 Tuotteistaminen 38

4.3.1 Lämmöntalteenottoratkaisujen tuotteistus 39

4.3.2 Tuotteistuksen toteuttaminen 42

5 LÄMMÖNTALTEENOTTOINVESTOINNIN KANNATTAVUUS 45

5.1 Kannattavuuslaskelmien perusteet 45

5.1.1 Investointikustannukset 46

5.1.2 Lämmöntalteenottolaitteiston vuotuiset huolto- ja käyttökustannukset 49

5.1.3 Vuotuiset säästöt 50

5.1.4 Käytettävät investointilaskentamenetelmät 51

5.2 Eri variaatioiden kannattavuus 53

5.3 Herkkyysanalyysi 56

6 LÄMMÖNTALTEENOTON RISKIT 60

6.1 Riskianalyysin perusteet 60

6.1.1 Hyvän riskianalyysin kriteereitä 62

6.1.2 Riskianalyysimenetelmä 64

6.2 Lämmöntalteenottolaitteiston riskianalyysi 65

6.2.1 Tavoite 65

6.2.2 Prosessi 66

6.2.3 Keskeiset tulokset 69

6.2.4 Tulosten tulkinta 71

6.2.5 Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet 74

7 TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI 76

7.1 Työn keskeiset tulokset 76

7.2 Tulosten arviointi 78

7.3 Jatkotoimenpiteet ja suositukset 78

8 YHTEENVETO **80**

8.1 Tuotteistus **80**

8.2 Kannattavuus **81**

8.3 Riskianalyysi **82**

LÄHTEET **83**

LIITTEET:

Liite 1. Kannattavuuslaskelmat

Liite 2. Lämmöntalteenottolaitteiston riskianalyysilomake

KUVALUETTELO

Kuva 1. Työn tarkastelualue 12

Kuva 2. Konstruktiivisen tutkimuksen suhde muihin tutkimusotteisiin 14

Kuva 3. Konstruktiivisen tutkimuksen rakenne 15

Kuva 4. Raportin rakenne 16

Kuva 5. YIT-konsernin liiketoiminnan jako 18

Kuva 6. YIT Teollisuuden palveluiden liiketoiminnan jako 20

Kuva 7. Vanerin valmistuksen päävaiheet 23

Kuva 8. Lämmöntalteenottolaitteiston perustuotemalli 26

Kuva 9. Rekuperatiivinen ristivirtalämmönvaihdin 29

Kuva 10. Lämmöntalteenottopesuri 31

Kuva 11. LTO-laitteiston modulaarinen tuoterakenne 32

Kuva 12. Moduuli 1, kuivaimen korvausilman LTO 34

Kuva 13. Moduuli 2, lämmöntalteenottopesuri 34

Kuva 14. Moduuli 3, sali-ilman LTO 34

Kuva 15. Esimerkki eri LTO-variaatioiden muodostumisesta 35

Kuva 16. Eri LTO-variaatiot 36

Kuva 17. Eri lämmöntalteenottovariaatioiden variantit 37

Kuva 18. Tuotteistusprosessi 39

Kuva 19. Lämmöntalteenottovariaatioiden tuotteistuksen tasot 43

Kuva 20. Lämmöntalteenottoratkaisun määrittyminen 44

Kuva 21. Vuosikustannusten muodostuminen LTO-investoinnissa 45
Kuva 22. Takaisinmaksuajan laskemisen lähtökohta 51
Kuva 23. Variaatio I:n kannattavuus ”huonoimmassa tapauksessa”, 4 kg /s virtaamalla ja vuotuisten kustannusten tuplaannuttua 58
Kuva 24. Riskianalyysin rakenne 61
Kuva 25. Malli riskianalyysin laadukkaasta toteutuksesta 64
Kuva 26. Riskianalyysipalaverit 69
Kuva 27. Riskianalyysilomakkeen suurimman riskin vaarat tiivistetysti 70

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Projektin hinnanmääritys 47
Taulukko 2. Moduulin x kuvitteellinen hinnan muodostuminen 49
Taulukko 3. Variaatio I:n energiasäästöt sekä takaisinmaksuaika 53
Taulukko 4. Eri lämmöntalteenottovariaatioiden vuotuiset energiasäästöt ja takaisinmaksuajat 54
Taulukko 5. Erilaisten lähtöoletusten vaikutus takaisinmaksuaikaan 57
Taulukko 6. Hyvän riskianalyysin kriteereitä 62
Taulukko 7. Todennäköisyyden ja eri vahinkotyyppien tunnusluvut 67
Taulukko 8. Riskiluku yli 10, toimenpide-ehdotukset toteutettava 72

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Symboli	Suure	Yksikkö
E_l	Lämpöenergian hinta	€ / kWh
E_s	Sähköenergian hinta	€ / kWh
H_h	Huollon yksikköhinta	€ / h
i	Laskentakorkokanta	%
K_h	Huoltokustannus	€
K_k	Käyttökustannus	€
K_m	Muut kustannukset	€
K_{tot}	Kokonaiskustannukset	€
I	Investoinnin suuruus	€
n	Pitoaika	a
P	Teho	W
S	Säästö	€
S_e	Energiansäästö	kWh
T_k	Käyttöaika	h
T_h	Huoltoaika	h
T_t	Takaisinmaksuaika	a
T_{tk}	Korollinen takaisinmaksuaika	a

ALAINDEKSIT

1	Moduuli 1, kuivaimen korvausilman lämmöntalteenotto
2	Moduuli 2, lämmöntalteenottopesuri
3	Moduuli 3, sali-ilman lämmöntalteenotto
ph	Puhallin
pp	Pumppu

LYHENTEET

H	Henkilövahingot
HAZOP	Hazard and operability study, poikkeamatarkastelu
HS	Säätöpelti
K	Keskeytysvahingot
LTO	Lämmöntalteenotto
M	Materiaalivahingot
POA	Potentiaalisten ongelmien analyysi, riskianalyysimenetelmä
R	Riskiluku
T	Todennäköisyys

TERMIT

Lämmön talteenotto	Prosessi
Lämmöntalteenotto	Laitteisto
Skrubberi	Lämmöntalteenottopesuri

1 JOHDANTO

Vanerin valmistuksessa viilunkuivaus on erittäin energiaintensiivinen prosessi. Viilunkuivaajan poistoilma on lämmintä sekä omaa erittäin suuren kosteuspitoisuuden, ja näin olleen sisältää runsaasti energiaa. (Krokida & Bisharat 2004, s.1662) Tyypillisellä viilunkuivaajalla ilmaan sitoutunut lämpöteho vaihteleekin 2,7–5,7 MW välillä. (Kauppi 2006, s.58) Tästä syystä kuivausprosessista syntyvä hukkalämpö kannattaa ottaa talteen ja hyödyntää lämmöntalteenoton avulla. Tämä diplomityö käsittelee eri lämmöntalteenottoratkaisujen tuotteistamista ja kannattavuutta vaneriteollisuudessa, sekä sisältää lämmöntalteenottolaitteiston teknisen riskianalyysin

1.1 Työn tausta

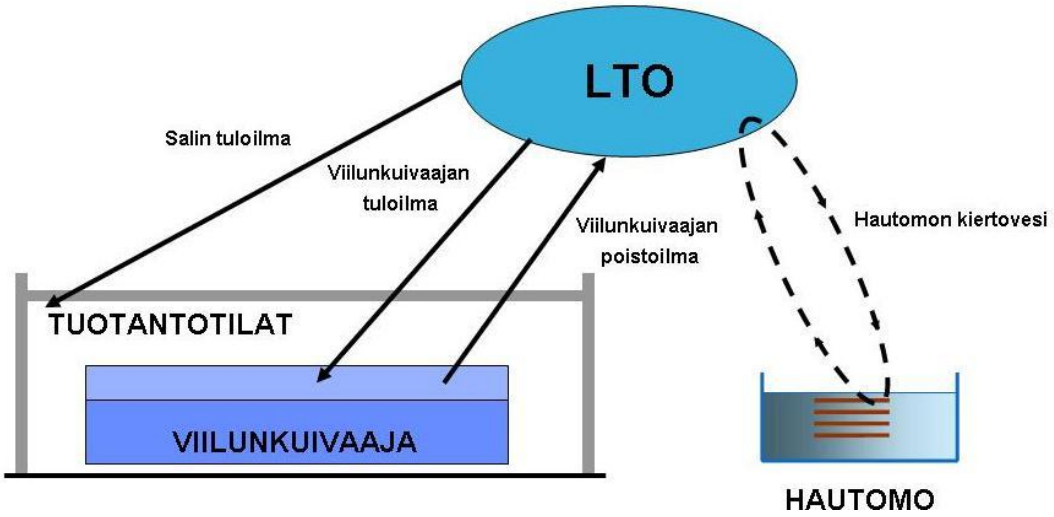
YIT Teollisuuden, Projektipalveluiden, Energiatehokkuuspalveluiden, Teollisuus IV on Suomen johtava puulevyteollisuuden lämmöntalteenottolaitteiden toimittaja ja suunnittelija. Johtava markkina-asema perustuu vuosikymmenien kokemukseen, tutkimus- ja testaustyöhön, tuotekehitykseen sekä läheiseen yhteistyöhön sidosryhmien kanssa. Dynaaminen kyvykkyys ja jatkuva oppiminen ovat myös yhdet johtavan markkina-aseman kulmakivet. Tästä oivana esimerkkinä ovat muun muassa uudet innovatiiviset ja alalla ainutlaatuiset vaneriteollisuuden lämmöntalteenottoratkaisut, joita tässäkin työssä tutkitaan. Tämä diplomityö on osa lämmöntalteenottolaitteiden tutkimus- ja kehitystyötä, ja se tehdään yhteistyössä sidosryhmien kanssa.

1.2 Työn tarkastelualueen rajaus ja tavoitteet

Tässä diplomityössä vanerin valmistusprosessin tarkastelu tapahtuu pääpiirteittäin vain viilunkuivaimen lämpimän poistoilman hyödyntämiseen. Kannattavuuslaskelmissa tutkimus rajataan tehtäväksi kahdella eri tehoisella

viilunkuivaajalla. Lisäksi riskianalyysissä sekä kannattavuuslaskelmissa vaneritehtaiden oletetaan käyttävän vanerin valmistukseen koivua tai havupuita, ja näin ollen edellä mainittuja eksoottisimmat puulajit rajataan tarkastelun ulkopuolelle.

Lämmöntalteenoton kannattavuuden tarkastelu rajataan maantieteellisesti tapahtumaan pohjoisella pallonpuoliskolla, alueilla joissa ilmasto-olot ovat hyvin lähellä Suomen vastaavia. Syynä tähän on, että valtaosa maailman vaneritehtaista sijaitsee alueilla, joissa tuotantotilat tarvitsevat talvella lämmitystä. Tuotteistusta ja sen sisältöä käsitellään kuitenkin koko maailman mittakaavassa. Lämmöntalteenottoratkaisujen mitoitus ja suunnittelu rajataan myös työn ulkopuolelle, koska näistä aiheista on tehty aiemmin jo paljon tutkimusta. Työn tekninen tarkastelualue on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Työn tarkastelualue

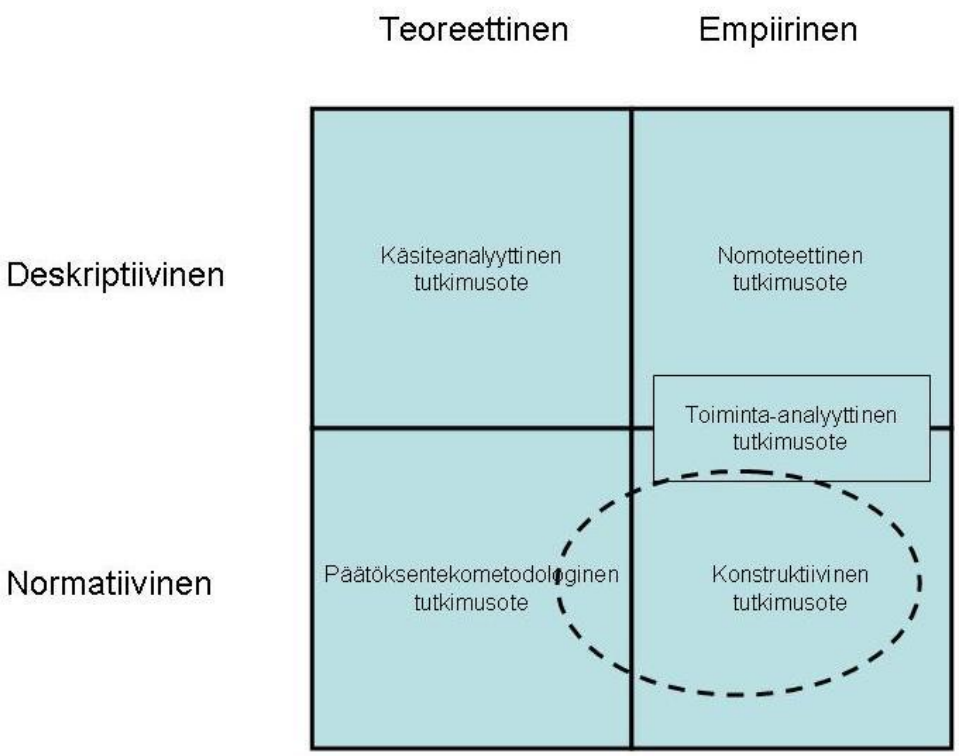
Työssä pohditaan lämmöntalteenottoatkaisujen tuoterakennetta sekä tuotteistuksen järkevyyttä. Näiden pohjalta tutkitaan tulisiko lämmöntalteenottoratkaisuille pyrkiä muodostamaan erilaisia tuoteperheitä eri markkina-alueiden erilaisille asiakastarpeille, nykyisten täysin yksilöityjen ratkaisujen tilalle. Työn tavoitteena on myös näyttää eri lämmöntalteenottoratkaisujen energiansäästöt, kannattavuus sekä laitteistosta syntyvät riskit. Lisäksi riskien pienentämiseksi pyritään

löytämään toimenpide-ehdotuksia, joita voidaan hyödyntää tulevissa laitteistoissa sekä tuotteistuksen yhteydessä. Tiivistetysti voidaan sanoa, että diplomityössä pyritään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- Mikä on lämmöntalteenottojärjestelmälle järkevä tuotearkkitehtuuri?
- Onko lämmöntalteenottoratkaisujen tuotteistaminen järkevää?
- Mitkä ovat energiansäästömahdollisuudet sekä takaisinmaksuajat eri lämmöntalteenottoratkaisuilla?
- Missä tilanteessa eri lämmöntalteenottoratkaisut ovat asiakkaalle kannattavia?
- Mikä on toimiva riskianalyysimenetelmä lämmöntalteenottolaitteiston teknisten riskien kartoittamiseen?
- Mitkä ovat lämmöntalteenottolaitteistojen tekniset riskit ja mitenkä niitä voidaan pienentää?

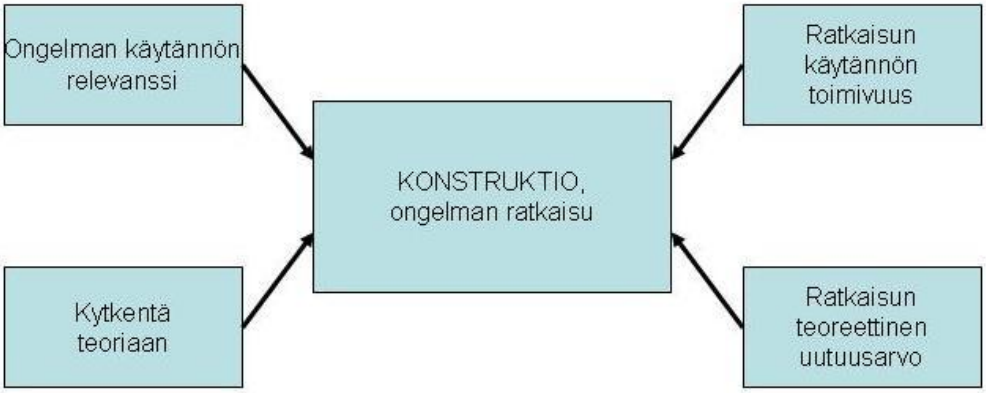
1.3 **Tutkimusmetodologia**

Tämä diplomityö toteutetaan pääsääntöisesti konstruktiivisena tutkimuksena. Tutkimuksen tavoitteena on luoda konstruktioita, jotka vastaavat aiemmin esitettyihin kysymyksiin ja ongelmiin. Tutkimukselle ominaista on asioiden tarkastelu uudesta näkökulmasta, kuten tässä tapauksessa uuden tuotearkkitehtuurin kautta. Konstruktiivinen tutkimusote sijoittuu liiketaloustieteen metodisessa kentässä normatiiviselle alueelle sisältäen teoreettisen sekä empiirisen elementin. Kuvassa 2 konstruktiivisen tutkimuksen suhde eri tutkimusotteisiin on esitetty katkoviivalla. (Kasanen et al 1991, s. 305-323)



Kuva 2. Konstruktiivisen tutkimuksen suhde muihin tutkimusotteisiin (Kasanen et al 1991, s.317)

Konstruktiivinen tutkimus aloitetaan tutkimusongelmien määritellyllä, jonka jälkeen tutustutaan ongelmiin teoriatasolla. Tämän jälkeen asetetut ongelmat pyritään ratkaisemaan teoriaan perustuen. Tarkoitus on saada innovatiivinen ja teoreettisesti perusteltu ratkaisu käytännön kannalta relevanttiin ongelmaan. Lisäksi tulosten voidaan osoittaa toimivan myös käytännössä. Konstruktiivisen tutkimuksen osat on esitetty kuvassa 3. (Kasanen et al 1991, s. 305-307)



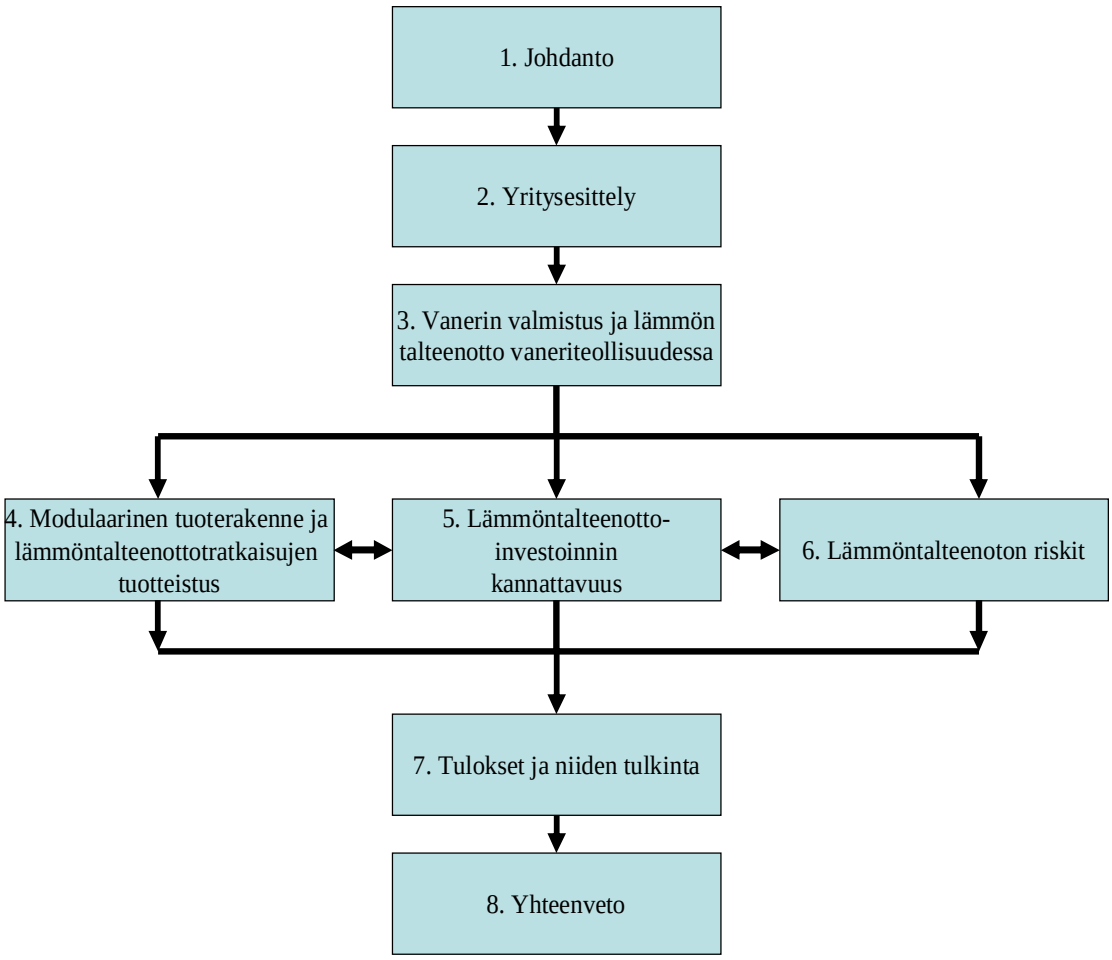
Kuva 3. Konstruktiivisen tutkimuksen rakenne (Kasanen et al 1991, s. 306)

1.4 Raportin rakenne

Työn johdannossa käydään lävitse diplomityön tausta, tavoitteet ja rajaukset. Lisäksi kappaleessa esitellään työssä käytettävä tutkimusmetodologia, sekä työn rakenne ja lukujen linkittymien toisiinsa. Johdannon jälkeen toisessa kappaleessa esitellään työn teettäjä YIT yrityksenä, ja erityisesti YIT Teollisuuden Energiatehokkuuspalvelut. Kolmannessa luvussa käydään lävitse lyhyesti ja pääpiirteittäin vanerin valmistusprosessi, sekä lämmön talteenoton toiminta vaneriteollisuudessa. Lisäksi kolmannessa luvussa esitellään lämmöntalteenottolaitteiston pääkomponentit.

Neljäs luku käsittelee lämmöntalteenoton tuotearkkitehtuuria sekä lämmöntalteenottoratkaisujen tuotteistamista. Erityisesti luvussa pohditaan tuotteistuksen järkevyyttä sekä sen mahdollista sisältöä. Luvussa esitellään lisäksi työssä keskeisessä roolissa oleva lämmöntalteenoton modulaarinen tuoterakenne ja eri lämmöntalteenottovariaatiot. Viides luku käsittelee eri lämmöntalteenottoratkaisuilla saavutettavia energiasäästöjä sekä eri variaatioiden kannattavuutta, eritoten takaisinmaksuaikoja. Kuudennessa luvussa esitellään työssä käsiteltävään riskianalyysin käytetty riskianalyysimenetelmä sekä itse lämmöntalteenottolaitteiston tekninen riskianalyysi, erityisesti sen toteutus sekä keskeisimmät tulokset.

Neljäs, viides ja kuudes luku ovat työn keskeisintä osiota. Luvut linkittyvät läheisesti toisiinsa ja niiden rajapinta on häilyvä. Lukujen alussa esitellään käytettävät teoriat, ja tämän jälkeen on synteesiosiot, joissa esitellään teoriaan pohjautuvia tuloksia. Seitsemäs luku sisältää äskeisissä luvuissa saavutetut keskeiset tulokset sekä niiden tulkintaa. Lisäksi luvussa esitellään työn aikana esiin nousseita jatkotoimenpide-ehdotuksia sekä suosituksia niin myynnin, suunnittelun kuin projektinhoidon näkökulmasta. Viimeinen luku on yhteenveto, jossa käydään lävitse lyhyesti diplomityön lähtökohdat, pääsisältö, tulokset sekä päätelmät. Työn rakenne on esitetty kuvassa 4.



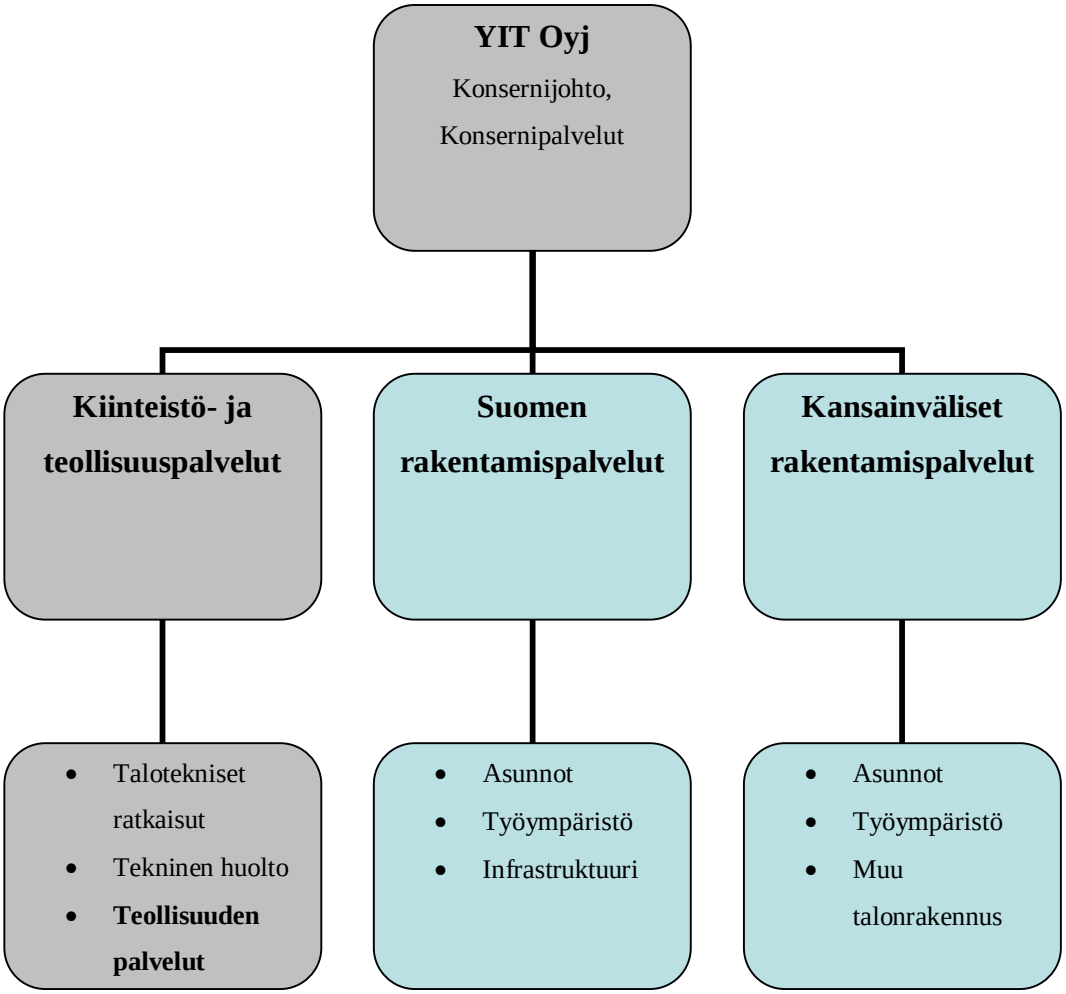
Kuva 4. Raportin rakenne

2 YRITYSESITTELY

2.1 YIT Oy

YIT:n missio on rakentaa, kehittää ja ylläpitää hyvää elinympäristöä ihmiselle. Konsernin tarjontaan kuuluu teknisiä kiinteistö, rakennus ja teollisuuden palveluita yksityis-, yritys- ja julkisyhteisöasiakkaille. Palvelut kattavat kaikilla sektoreilla hankkeiden koko elinkaaren. (YIT 2011)

YIT-konsernin liiketoiminta on jaettu kolmeen toimialaan vuoden 2009 alusta. Toimialat ovat: Kiinteistö- ja teollisuuspalvelut, Suomen rakentamispalvelut ja Kansainväliset rakentamispalvelut. YIT tarjoaa palveluitaan Pohjoismaiden, Baltian maiden ja Venäjän lisäksi myös Saksassa, Itävallassa, Puolassa, Tshekissä, Unkarissa, Slovakiassa sekä Romaniassa. Konsernin kokonaishenkilöstömäärä oli vuoden 2010 lopussa hieman yli 25 900. Kuvassa 5 on esitetty tarkemmin YIT-konsernin liiketoiminnan jako. Harmaalla taustalla kuvassa on ne osat konsernista, jotka liittyvät diplomityön teettäjään. (YIT 2011)



Kuva 5. YIT-konsernin liiketoiminnan jako

Vuonna 2010 YIT:n liikevaihto oli toimialaraportoinnin mukaan 3847 miljoonaa euroa ja liikevoitto 229 miljoonaa euroa. Osake on listattu OMX Pohjoismainen Pörssi Helsingissä, ryhmässä Suuret yhtiöt, toimialaryhmässä Teollisuustuotteet ja -palvelut. Konsernin strategian päätavoitteena on kannattava kasvu. Taloudellisiksi tavoitetasoiksi vuosilla 2011–2013 on asetettu seuraavat:

- Liikevaihdon kasvu keskimäärin yli 10 prosenttia vuodessa
- Sijoitetun pääoman tuotto on 20 prosenttia
- Operatiivinen kassavirta investointien jälkeen riittävä osingonmaksuun ja velkojen vähentämiseen
- Omavaraisuusaste 35 prosenttia
- Osingonjako 40–60 prosenttia tilikauden tuloksesta

(YIT 2011)

2.2 YIT Kiinteistö- ja teollisuuspalvelut

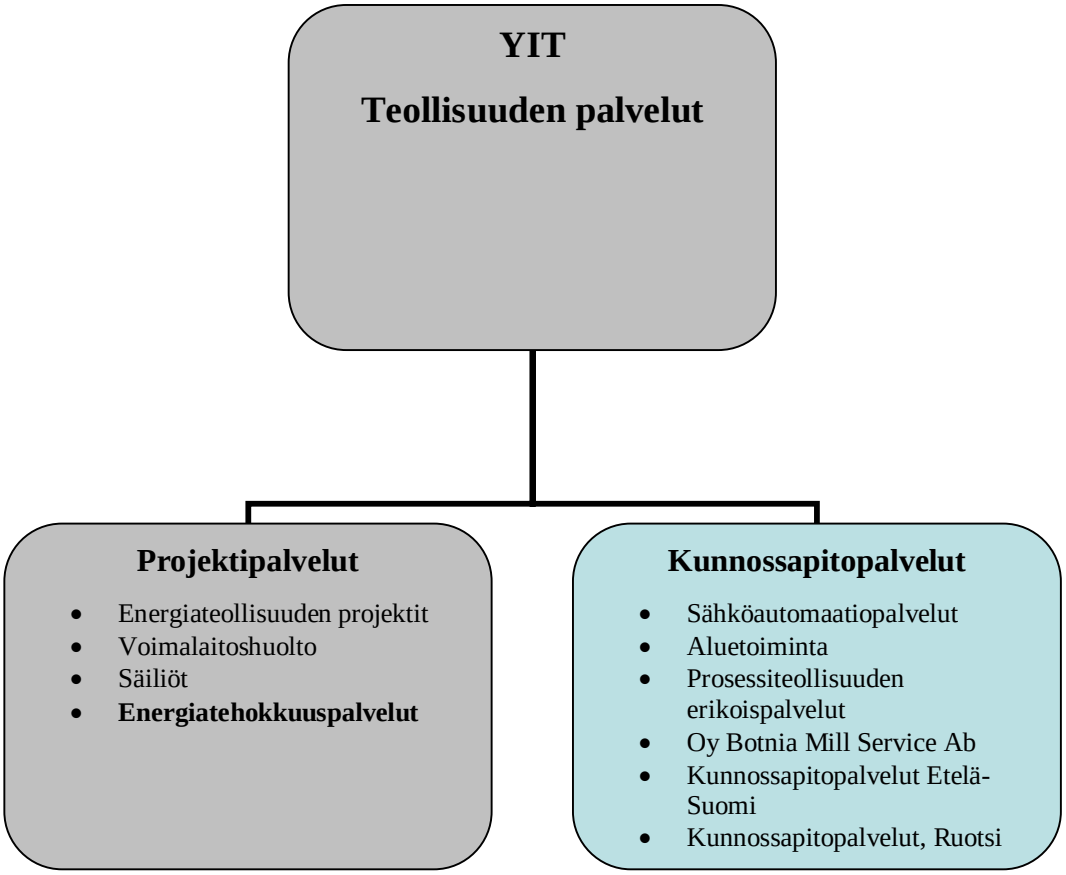
YIT Kiinteistö- ja teollisuudenpalveluihin kuuluvat: Talotekniset ratkaisut, Tekninen huolto sekä Teollisuuden palvelut. Kiinteistö- ja teollisuuspalveluiden liikevaihto oli vuonna 2009 noin 2125 miljoonaa euroa. Henkilöstöä Kiinteistö- ja teollisuuspalveluilla oli vuoden 2010 lopussa 19 694, joka on yli 75 % koko konsernin henkilöstöstä. Kiinteistö- ja teollisuuspalveluiden tärkein strateginen painopiste on olla johtava tekninen huoltaja Pohjoismaissa sekä Keski-Euroopassa. Muita painopistealueita ovat:

- Markkinaosuuden lisääminen
- Huollon ja korjausrakentamisen lisääminen
- Edelläkävijyys energiansäästöpalveluissa

(YIT 2011)

2.2.1 YIT Teollisuuden palvelut

YIT Teollisuuden palvelut on Suomen johtava teollisuuden palveluyritys. Yritys tarjoaa palveluita teollisuuden investointeihin sekä kunnossapitoon. Teollisuuden palveluiden liiketoiminnan jako on esitetty kuvassa 6. YIT Teollisuuden palvelut toimivat paikallisesti Suomessa, Ruotsissa ja Venäjällä. Lisäksi yritys toteuttaa projekteja kaikkialle Eurooppaan ja toimittaa esivalmisteita globaalisti. (YIT 2011)



Kuva 6. YIT Teollisuuden palveluiden liiketoiminnan jako

YIT Teollisuuden palveluiden palveluksessa on noin 3800 työntekijää ja yrityksen liikevaihto oli vuonna 2008 430 miljoonaa euroa. Teollisuuden palveluiden strategian päätavoitteet vuosille 2010–2012 ovat lamasta selviytyminen, kasvu sekä kansainvälistyminen. (YIT 2011)

2.2.2 YIT Energiatehokkuuspalvelut ja Teollisuus IV

Energiatehokkuuspalvelut ovat erikoistuneet energiatehokkuuspalveluihin, joilla vähennetään päästöjä sekä saavutetaan merkittäviä säästöjä energia- ja materiaalikustannuksissa. Energian hinnan noustessa ja päästörajoitusten tiukentuessa energiatehokkuuden parantaminen, käyttökustannusten ja päästöjen vähentäminen ovat nousseet yhä tärkeämmiksi kilpailutekijöiksi teollisuudessa. Energiatehokkuusinvestoinnin merkittävin hyöty on saavutettava kustannussäästö,

joka syntyy päästöoikeuksista, tehostuneesta energian- ja materiaalinkäytöstä sekä pienentyneistä jätehuoltokustannuksista. Lisäksi hanke vaikuttaa nopeasti myös yrityksen arvoon ja tunnuslukuihin. Energiatehokkuuspalvelu maksetaan syntyvillä kustannussäästöillä. Yritys takaa palvelukauden aikana sovitun säästön ja kauden päätyttyä asiakas saa säästöhyödyn kokonaisuudessaan. (YIT 2011)

Teollisuuden IV-ratkaisujen erityisosaamista on tuotantotilojen ilmanvaihto erityisesti paperi- ja massateollisuudessa, kaivosteollisuudessa ja voimalaitoksissa sekä erityistilojen, kuten sähkötilojen ja valvomoiden ilmanvaihto. Tämän lisäksi Teollisuuden IV-ratkaisut toimittaa sekä asentaa erilaiset lämmöntalteenottojärjestelmät, materiaalinkuljetus- ja erotinjärjestelmät sekä kemialliset ilman puhdistusjärjestelmät. Teollisuus ilmanvaihdon kiistatonta osaamista on ymmärtää asiakkaan prosessin ja liiketoiminnan tarpeet ja löytää niihin toimivimmat ja kustannustehokkaimmat ratkaisut. Teollisuus ilmanvaihdon päätoimipaikka sijaitsee Lahdessa, mutta projekteja toteutetaan kaikkialle Eurooppaan. (YIT 2011)

Energiatehokkuuspalveluissa ja Teollisuuden IV-ratkaisuissa työskentelee tällä hetkellä noin 30 toimihenkilöä ja kuusi asentajaa. Sen liikevaihto oli vuonna 2010 noin 8 miljoonaa euroa. Tämä diplomityö tehdään YIT Teollisuuden, Projektipalveluiden, Energiatehokkuuspalveluiden, Teollisuus IV-ratkaisujen Lahden yksikköön.

3 VANERIN VALMISTUS JA LÄMMÖN TALTEENOTTO VANERITEOLLISUUDESSA

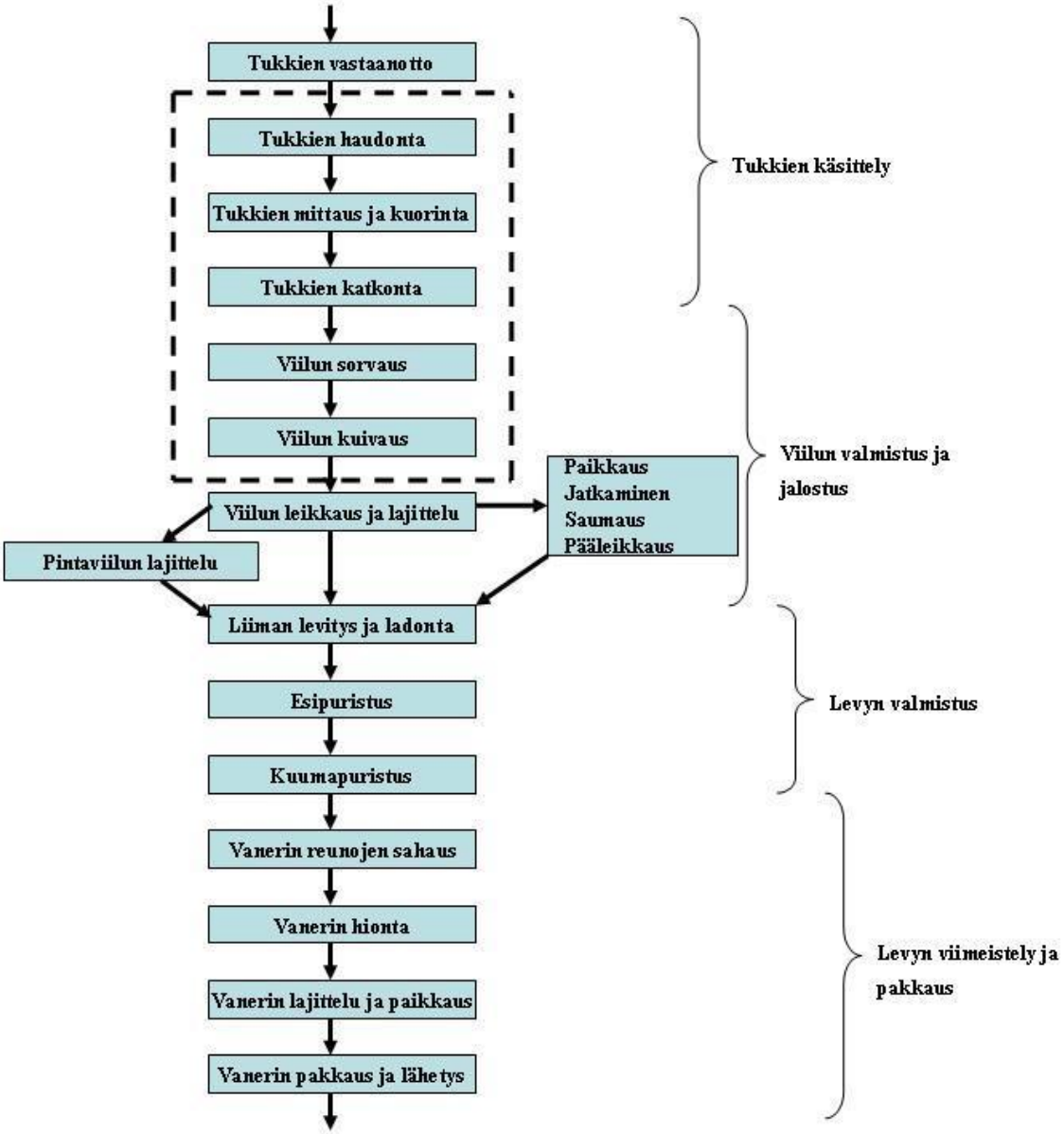
3.1 Vanerin valmistus

Maailman vanerituotanto vuonna 2008 oli yhteensä 77 miljoonaa kuutiota. Kiinan osuus tästä oli noin 35 miljoonaa kuutiota, Yhdysvaltojen noin 10 miljoonaa kuutiota ja Suomen 1,7 miljoonaa kuutiota. Yleisesti ottaen maanosista Aasia on noussut viimeisen kymmenen vuoden aikana suurimmaksi puulevyjen tuottajaksi ohi Euroopan ja Pohjois-Amerikan. Koko maailman puulevytuotannosta vuonna 2008 jo 44 % tapahtui Aasiassa, kun vastaava luku Euroopan osalta oli 30 %. Tämä kuvastaakin hyvin minne uusia vaneritehtaita on rakennettu selkeästi eniten viime vuosina, ja missä päin maailmaa on suurin kasvupotentiaali. Vaneriteollisuuden lämmöntalteenottoratkaisujen tarve ja kysyntä kulkevat käsi kädessä tämän kehityksen kanssa. Suurin potentiaali lämmöntalteenottoratkaisuille sijaitsee siis Aasian kasvavilla markkinoilla, kun taas Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa kysyntää on lähinnä laitteistojen modernisointiin. (Metsäteollisuuden Tilastopalvelu Tilda 2010)

Perinteisessä vanerin valmistuksessa on useita vaiheita, jotka alkavat tukkien vastaanotosta ja päättyvät vanerin pakkaukseen sekä lähetykseen. Ensimmäinen isompi vaihe vanerin valmistuksessa voidaan katsoa olevan tukkien käsittely, joka sisältää tukkien vastaanoton, haudonnan sekä mittauksen, kuorinnan ja katkonnan. Tämän jälkeen seuraa viilun valmistus joko sorvaamalla tai leikkaamalla tukista. Tähteeksi jäävä puun keskiosa eli purilas haketetaan, ja toimitetaan sellun tai lastulevyn raaka-aineeksi. Sorvauksen tai leikkauksen jälkeen viilut kuivataan, ja leikataan arkeiksi ennen tai jälkeen kuivauksen.

Viilujen jalostukseen kuuluvat pintaviilujen lajittelu, viilujen jatkaminen, saumaus ja paikkaus. Itse vanerilevyjen valmistaminen aloitetaan viilujen liimauksella ja ladonnalla, jonka jälkeen seuraa puristus. Viimeisenä levyt viimeistellään, pakataan ja lähetetään asiakkaalle. Kuvassa 7 on esitetty lyhyesti vanerin

valmistuksen keskeisimmät työvaiheet. Katkoviivalla on erotettu vanerinvalmistuksesta vaiheet, jotka ovat kiinteimmin sidoksissa lämmön talteenottoon. Lämmön talteenoton vaikuttaa kuitenkin koko vanerinvalmistukseen välillisesti lämmittämällä tuotantotilojen sisäilmaa talvisin. (Koponen 1995, s. 27; Metsäteollisuus ry 2000, s.46)



Kuva 7. Vanerin valmistuksen päävaiheet (mukaillen Koponen 1995, s. 28)

3.1.1 Tukkien käsittely

Tukkien vastaanotto, varastointi, haudonta, kuorinta sekä katkaisu muodostavat vanerinvalmistuksessa yhtenäisen prosessin, joka vaikuttaa poikkeuksellisen paljon vanerin laatuun ja sen valmistuksen kannattavuuteen. Tehtaalle tulevat tukkikuormat pudotetaan suoraan haudonta-altaaseen tai varastoidaan nippulauttoina vedessä, varastointia maalla vältetään suuren pilaantumisvaaran vuoksi. Varastoinnin tarkoituksena on toimia tehtaan ensimmäisenä välivarastona, jolla turvataan tehtaan häiriötön käyttö. (Koponen 1995, s.29-37)

Haudonnan tarkoituksena on puun lämmittäminen tilaan, jossa tukista saadaan sorvattua tai leikattua käyttökelpoista viilua. Lisäksi tarkoitus on, että puun kosteus saadaan nostettua tasolle, jossa viilu leikkautuu pinnaltaan tasaisena, sileänä ja lujana. Esimerkiksi Suomessa haudonta suoritetaan tukkeina 15–40 °C vedessä 1-2 vuorokautta, mutta yleisesti ottaen haudontalämpötila ja -aika riippuvat suuresti puulajista. Haudonnan vaatima lämpöenergia on noin 15 % tehtaan kokonaisenergiankulutuksesta. Tämä tukkien haudontaan tarvittava lämpöenergia saadaan pääsääntöisesti lämmöntalteenottolaitteiston avulla viilunkuivaajien poistoilmasta. (Koponen 1995, s.30-33) Suomessa huippulämmöntarve esiintyy tammi-helmikuun aikana vähentyen tasaisesti sekä kevättä, että syksyä kohden (Karjalainen 1986, s.15).

Tukit kuoritaan heti haudonnan jälkeen, koska esimerkiksi Suomessa talvella jäätyneen puun kuorinta ei onnistuisi. Kuorimalla tukit ennen sorvausta saadaan katkaisusta ja sorvauksesta tullet sivutuotteet hakattua selluloosan valmistuksen soveltuvaksi hakkeeksi. (Koponen 1995, s.34-36)

3.1.2 Viilun valmistus ja jalostus

Vaneri tehdään liimaamalla levyn tason suuntaisista ohuista ristikkäisistä viiluista. Yleisin viilun valmistusmenetelmä on sorvaus, jossa viilu irrotetaan pyörivästä pöllistä spiraalimaisesti. Vaihtoehtoinen menetelmä on leikkaus, jossa viilu irrotetaan leikkaamalla edestakaisin liikkuvalla terällä. Viilun sorvaus tai leikkaus

onkin yksi vanerinvalmistuksen keskeisempiä työvaiheita. Se vaikuttaa suuresti muun muassa valmiin tuotteen käyttökelpoisuuteen, tuotannon taloudellisuuteen sekä kannattavuuteen. Huomioitavaa on myös se, että sorvausta ja leikkausta vaikeuttavat eri puulajien väliset erot kuin puiden lämpötila ja kosteus vaihtelut kesä- ja talviaikana. (Koponen 1995, s.38-50)

Sorvauksesta tai leikkauksesta tullut viilu on erittäin kosteaa eikä sitä voida sellaisenaan liimata. Viilun kosteus onkin saatava laskettua kuivauksen avulla tasolle, jossa se soveltuu vanerin liimaukseen. Kosteuspitoisuus, johon viilut kuivataan, riippuu liimausmenetelmästä sekä levyjen käyttötarkoituksesta. Kuivaus voi tapahtua välittömästi sorvauksen jälkeen, jolloin viilu kuivataan sorvauksesta tulleena yhtenäisenä mattona niin sanotulla verkkokuivauskoneella. Leikkaus arkeiksi ja lajittelu tapahtuvat tämän jälkeen. Toisessa menetelmässä viilu leikataan ensin arkeiksi, lajitellaan koon sekä laadun perusteella ja kuivataan niin sanotulla telakuivauskoneella. Tämän jälkeen viilut vielä lajitellaan uudelleen. (Koponen 1995, s.51)

Baldwinin (1995, s.205-210) mukaan viilunkuivaimet voidaan jaotella viilun kuljetusmenetelmän lisäksi myös lämmitysmenetelmän sekä ilmavirran mukaan. Höyry, kaasun suorapoltto sekä puujätteen polttaminen ovat kolme yleisimmin käytettyä lämmitysmenetelmää. Höyry on näistä vanhin ja kaikkein yleisimmin käytetty. Nousseet energiakustannukset ja fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen ovat lisänneet puujätteen polttamisen hyödyntämistä.

Viilunkuivaus on erittäin energiaintensiivinen prosessi, ja siitä syntyvän hukkalämmön hyödyntäminen on tämän diplomityön tarkastelun tärkein kohta vanerinvalmistusprosessia.

3.1.3 Levyn valmistus, viimeistely ja pakkaus

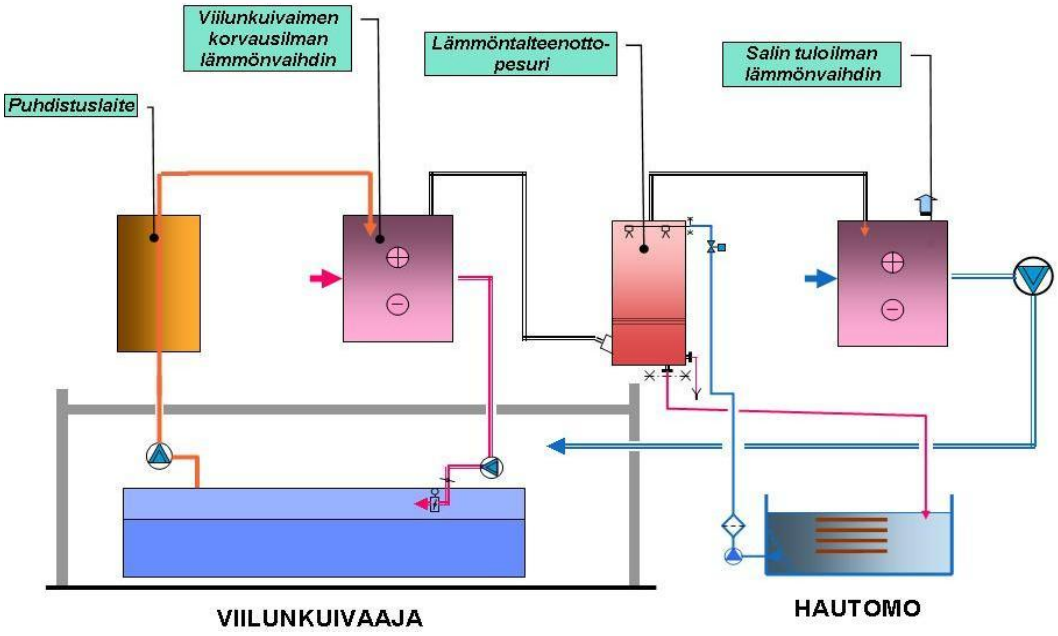
Itse levyn valmistukseen kuuluu vanerin liimaus sekä esi- että kuivapuristus. Näistä liimaus on tärkeä työvaihe, koska ominaisuudet kuten lujuus sekä

kestävyys ovat erilaisissa käyttöolosuhteissa ratkaisevia tekijöitä arvosteltaessa vanerin käyttökelpoisuutta. Liimauksessa vaneri saakin lopullisen lujuutensa ja käyttökelpoisuutensa. (Koponen 1995, s.69-79)

Vanerin viimeistelyssä levyt työstetään lopulliseen muotoonsa ja pakataan. Viimeistelyyn sisältyy muun muassa reunojen sahausta, hiontaa ja mahdollisten vikojen korjausta. Tämän jälkeen vanerit on pakattava kuljetusta varten. Pakkausten koot ja painot määräytyvät maantie-, rautatie- ja merikuljetusten määräysten mukaisesti. (Koponen 1995, s.81-85)

3.2 Lämmöntalteenottolaitteistot

Vanerin valmistusprosessissa viilun kuivaukseen käytetään valtaosa koko valmistusprosessin primäärienergiasta. Viilunkuivausprosessin hukkalämpö onkin kiistattoman kannattavaa ottaa talteen ja hyödyntää lämmöntalteenottolaitteiston avulla. Viilunkuivaajan poistoilman lämmöntalteenottolaitteistoon kuuluu 0-2 rekuperatiivista ristivirtalämmönvaihdinta sekä lämmöntalteenottopesuri. Lämmöntalteenottolaitteiston perustuotemalli on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Lämmöntalteenottolaitteiston perustuotemalli

Viilunkuivaajassa kuivattavan viilun vesi siirretään tavallisesti lämmitettyyn kiertoilmaan höyrystämällä, ja poistetaan viilunkuivaajasta poistoilman mukana. Kuivaimelta lähtevä poistoilma on tavallisesti lämpötilaltaan yli 150 asteista, ja siihen sitoutunut lämpöteho voi prosessiolosuhteista riippuen nousta aina lähes kahdeksaan MW:in asti. Tästä poistoilma menee puhdistuslaitteelle, jossa ilmasta poistetaan haihtuvat hiiliyhdisteet polttamalla, ja samalla ilman lämpötila nousee jonkin verran, riippuen eri ainesosien pitoisuuksista.

Puhdistuslaitteelta ilma menee viilunkuivaimen korvausilman lämmönvaihtimelle. Lämmönvaihdin lämmittää takaisin viilunkuivaimelle menevää tehdashallin korvausilmaa noin 100 astetta vuoden ympäri, jokaisena laitoksen käynnissä olo päivänä. Kuivaimen korvausilma lämmönvaihtimien tehot ovat satoja kilowatteja.

Kuivaimen korvausilman lämmönvaihtimelta yhä erittäin kuuma ja kostea poistoilma puhalletaan lämmöntalteenottopesuriin. Ylhäältä pesurista ruiskutetaan 20…50 asteista puhdistettua hautomon kiertovettä poistoilmaan. Pesurissa vesi lämpenee noin 30 astetta, jonka jälkeen se kulkeutuu painovoimalla tai pumpataan lämmöntalteenottopesurin pohjalta takaisin hautomon vesikiertoon, tukkien haudonnan hyödennettäväksi. Pesurien tehot ovat muutamia megawatteja. Lämmöntalteenottopesuria käytetään aina tehtaan käydessä.

Lämmöntalteenottopesurilta poistuva ilma sisältää yhä runsaasti lämpöä sekä kosteutta, ja näin ollen siitä on yhä kannattavaa ottaa lämpöä talteen lämmönvaihtimen avulla. Salin tuloilman lämmönvaihtimella lämmitetään tehdashallin tuloilmaa lämmityskauden aikana. Tehoiltaan sali-ilman lämmittämiseen tarkoitetut lämmönvaihtimet ovat yhdestä kahteen megawattia. Lämmityskauden ulkopuolella voidaan tuloilman lämmöntalteenotto ohittaa.

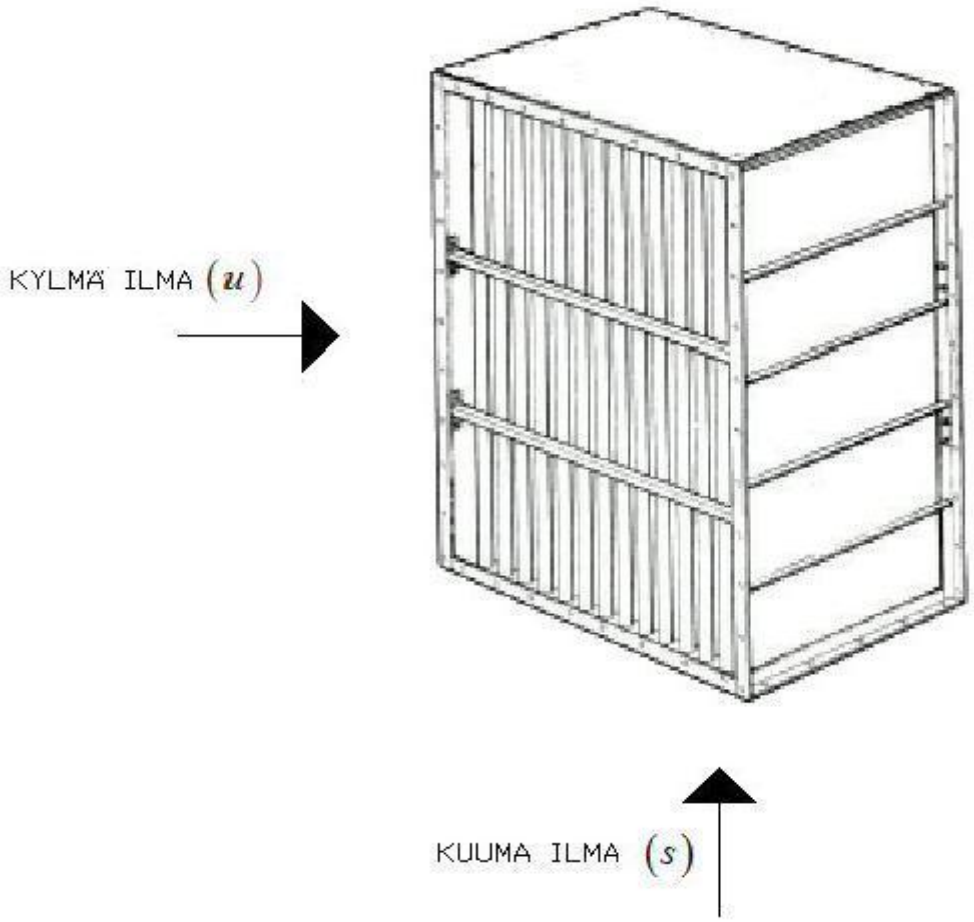
Yllä on esitetty lämmöntalteenotto prosessin toiminta niin sanotulla perustuotemallilla. Lämmöntalteenottolaitteisto ei kuitenkaan ole aina perustuotemallin mukainen. Käytännössä lämmöntalteenottolaitteistoista voidaan

jaotella viiteen erilaiseen variaatioon, jotka ovat käsitelty tarkemmin luvussa 4.2. Lämmöntalteenottoprosessin perusajatus ei kuitenkaan muutu eri variaatioiden mukaan, vaan se säilyy samana vaikka laitteistossa ei olisi kaikkia edellä esitettyjä moduuleja.

3.2.1 Ilmanvaihdon lämmönsiirrin

Tässä työssä esiteltäviin eri lämmöntalteenottovariaatioihin sisältyy nolla, yksi tai kaksi kappaletta ilma-ilma-lämmönsiirtimiä. Niiden käyttötarkoitukset prosessissa ovat joko viilunkuivaimelle menevän korvausilman lämmittäminen, tai hallin tuloilman lämmittäminen. Ilma-ilma-lämmönsiirtimet ovat aiemmin perinteisesti sijoitettu lämmöntalteenottojärjestelmissä vain lämmöntalteenottopesurin jälkeen. Uusimmissa lämmöntalteenottojärjestelmissä ja tässä työssä esiintyvässä lämmöntalteenotto-laitteiston perustuotemallissa ilma-ilma-lämmönsiirtimet ovat sijoitettu sekä ennen että jälkeen pesurin, ja näin ollen myös viilunkuivaajaan saadaan tuotua korvausilmaa. Tämän avulla saadaan prosessin hyötysuhde mahdollisimman hyväksi.

Suositeltavin lämmöntalteenottoratkaisuissa käytettävä lämmönsiirrin on putkilämminvaihdin. Se koostuu pystysuorista putkista, joissa lämmin ja kostea ilma virtaa putkien sisäpuolella ja kylmä kuiva ilma virtaa vaippapuolella vaakasuoraan. Myös levylämmönvaihtimia voidaan käyttää lämmöntalteenottoratkaisuissa. Vaihtimien materiaalina on perinteisesti käytettyä ruostumatonta AISI 304- tai haponkestävää AISI 316 terästä. Kuvassa 9 on esitetty rekuperatiivinen ristivirtalämmönvaihdin.



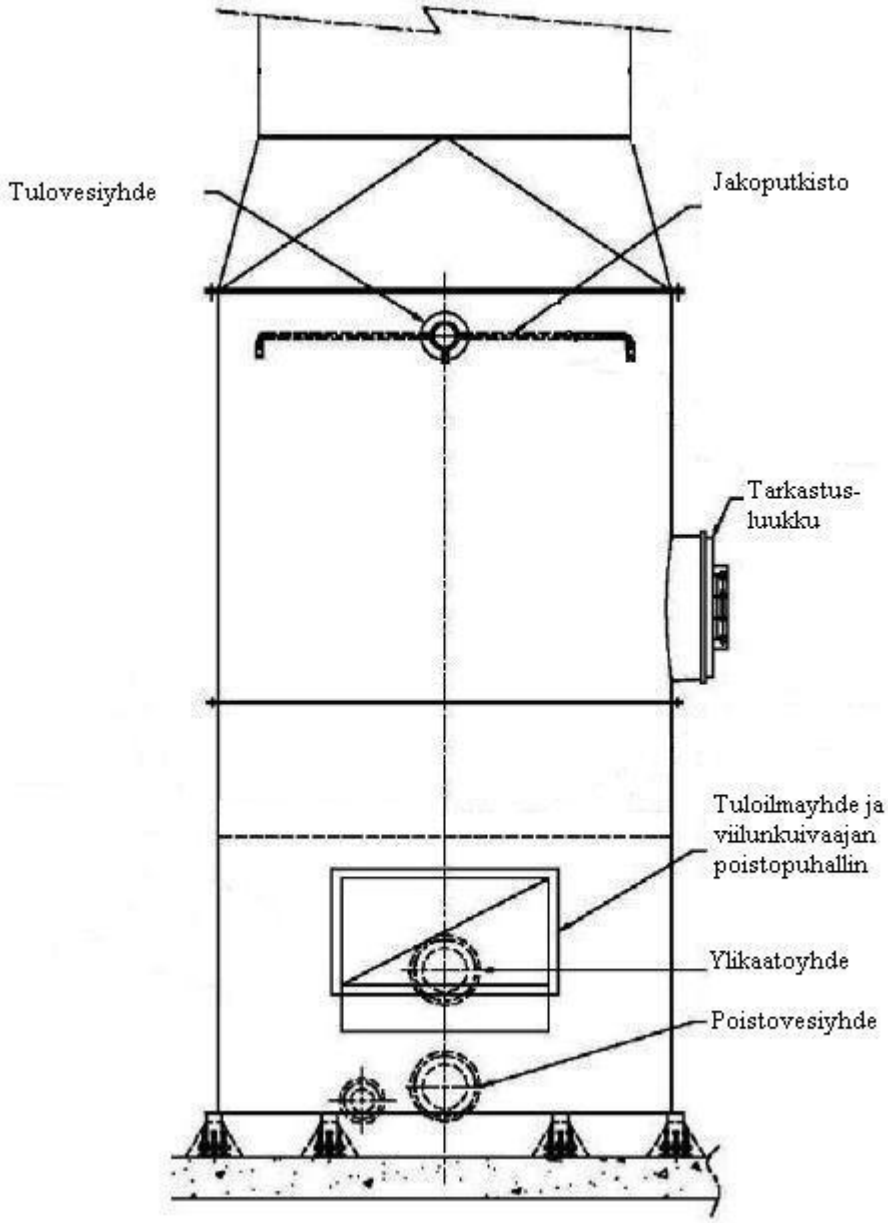
Kuva 9. Rekuperatiivinen ristivirtalämmönvaihdin (YIT Teollisuus 2011)

3.2.2 Lämmöntalteenottopesuri

Lämmöntalteenottojärjestelmässä eniten lämpöä saadaan talteen pesurilla eli veden suihkutustornilla. Sen käyttö vaneritehtaiden lämmöntalteenottojärjestelmissä voidaan katsoa olevan aina kannattavaa, mikäli tuotantolaitoksessa on haudonta-allas. Pesurien tehtävänä lämmöntalteenottojärjestelmissä on hautomoaltaan kiertoveden lämmittäminen viilunkuivaajan poistokaasuilla. Poistokaasujen kosteus sisältää pääosan talteen otettavasta energiasta. Tukkien haudontaan tarvittava lämpöenergia saadaan pesurin avulla viilunkuivaajan poistoilmasta. Esimerkiksi Suomessa tukkien haudontaan tarvittava huippulämmöntarve esiintyy tammi-helmikuussa vähentyen

tasaisesti sekä kevättä, että syksyä kohden. Huippulämmöntarve vaihtelee luonnollisesti ilmasto-olojen mukaan (Karjalainen 1986, s.12-20).

YIT:n toimittavat lämmöntalteenottopesurit ovat haponkestävästä tai ruostumattomasta teräslevystä valmistettuja suoria ympyrälieriöitä. Ne ovat perinteisesti valmistettu tilaustyönä kuhunkin kohteeseen yksilöitynä ja mitoitettuna. Lämmöntalteenottopesurit laitteineen ovat tyypillisesti sijoitettu tehdasrakennuksien katolle, yleensä useita metrejä hautomoaltaiden yläpuolelle, lähelle viilunkuivaajaa. Kuvassa 10 on esitetty lämmöntalteenottopesuri ja sen pääosat.

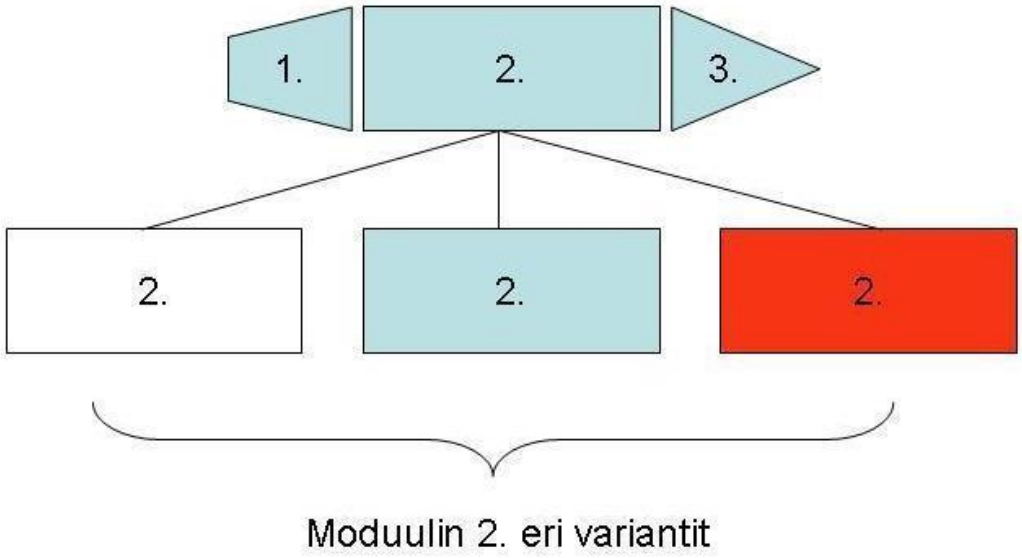


Kuva 10. Lämmöntalteenottopesuri (YIT Teollisuus 2011)

4 MODULAARINEN TUOTERAKENNE JA LÄMMÖNTALTEENOTTORATKAISUJEN TUOTTEISTUS

4.1 Modulaarinen tuoterakenne

Perinteisesti lämmöntalteenottojärjestelmät on toimitettu täysin asiakkaille räätälöityinä yksittäisenä kokonaistoimituksena, asiakkaan toivomusten mukaisesti. Tässä diplomityössä lämmöntalteenottolaitteisto tulkitaan modulaarisena tuotekokonaisuutena, joka muodostuu kolmesta komponentista eli moduulista. Lämmöntalteenottolaitteiston modulaarinen tuoterakenne on esitetty kuvassa 11. Moduulilla 1 tarkoitetaan kuivaimen korvausilman LTO:ta, moduulilla 2 lämmöntalteenottopesuria ja moduulilla 3 salin tuloilman LTO:ta.



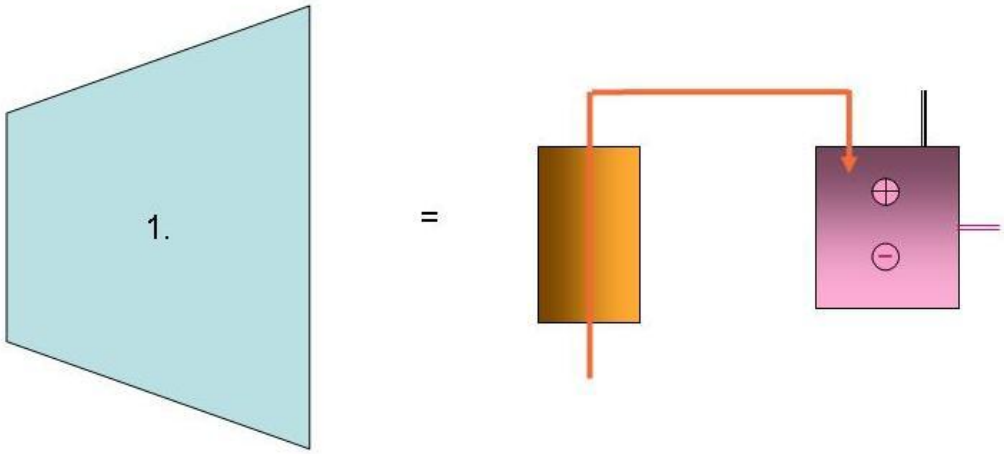
Kuva 11. LTO-laitteiston modulaarinen tuoterakenne

Modulaarisuudella on perinteisesti tarkoitettu fyysisten tuotteiden rakentumista toisiinsa liitettävistä moduuleista. Kyseisten moduulien rajapinnat ovat suunniteltu yhteensopiviksi ennalta, ja näin ollen mahdollistaa sen, että yritys pystyy tarjoamaan vaihtoehtoisia tuoteratkaisuja asiakkaalle ilman erillisiä suunnitteluprosesseja. (Apilo et al, 2008, s.29) Modulaarisuuden ansiosta

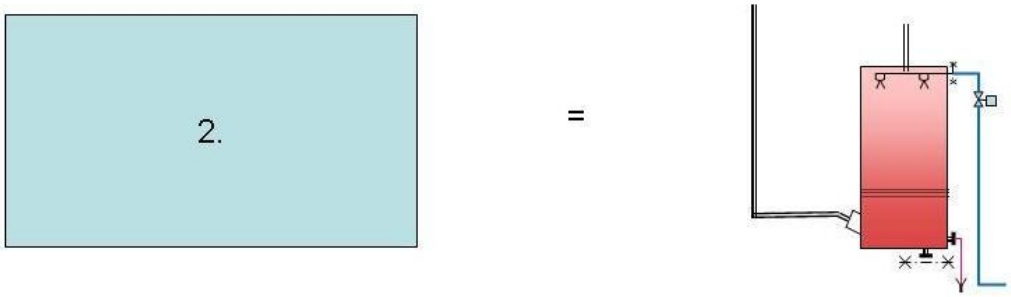
tavanomaisista osista pystytään rakentamaan useita erilaisia tuotteita yhdistelemällä komponentteja, ilman että syntyy mittavia riippuvuussuhteita eri moduulien välille. Moduulit takaavat sen, että yritys pystyy rakentamaan eri moduulikombinaatioita hyödyntämällä itselleen laajan tuotevalikoiman. (Huang 2000, s.150-153)

Modulaarisen tuoterakenteen ansiosta tuotteen eri osia voidaan vaihtaa yksitellen, mikäli jokin osa tulee uusia. Lisäksi tuotekehitystyö helpottuu, kun se viedään komponenttitasolle, ja voidaan kehittää esimerkiksi ainoastaan heikoiten toimivaa moduulia. (Huang 2000, s. 150-153) Ericsson & Erixon (1999, s.17-18) nostaakin vielä yhdeksi modulaarisuuden kiistattomaksi eduksi korkean joustavuuden. Tuotteen vaatimukset muuttuvat markkinoiden sekä uuden teknologian vuoksi, ja tähän on helpompi vastata, kun tuotteeseen vaadittavat muutokset voidaan kohdistaa vain tiettyihin moduuleihin. Lisäksi modulaarisuuden avulla voidaan pienentää tuotteen kompleksisuuta, ja se mahdollistaa tuotteen käsittelemisen pienemmissä toiminnallisissa kokonaisuuksissa, jotka voidaan esimerkiksi suunnitella ja valmistaa erillisinä.

Modulaarisen tuotekokonaisuuden avulla niin sanottua lämmöntalteenoton perustuotemallia voidaan siis helposti varioida lisäämällä tai poistamalla moduuleita. Tässä tapauksessa perustuotemallilla tarkoitetaan tuotekokonaisuutta, missä ovat kaikki kolme moduulia. Ensimmäisen moduulin katsotaan olevan kuivaimen korvausilman lämmöntalteenotto, toisen moduulin lämmöntalteenottopesuri ja kolmannen sali-ilman lämmöntalteenotto. Seuraavissa kuvissa 12, 13 ja 14 on esitetty LTO-laitteiston jakautuminen eri moduuleihin. Moduuliin yksi kuuluu myös puhdistuslaite, jota ilman moduulin käyttäminen ei ole suositeltavaa. Syynä tähän on lämmönvaihtimen likaantuminen ja tukkeutumisvaara tietyillä puulajeilla. Puhdistuslaitetta ei käsitellä työssä.



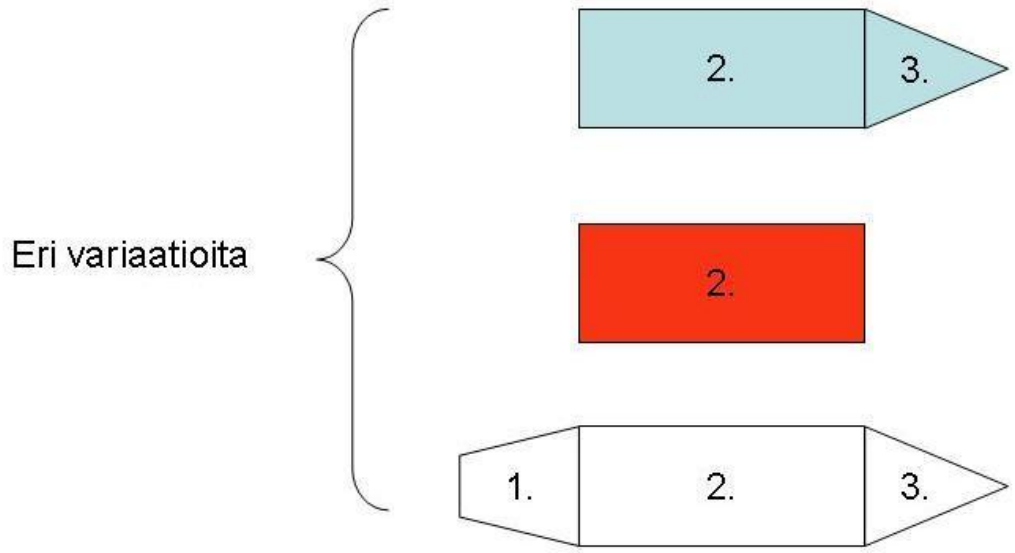
Kuva 12. Moduuli 1, kuivaimen korvausilman LTO



Kuva 13 Moduuli 2, lämmöntalteenottopesuri

Kuva 14. Moduuli 3, sali-ilman LTO

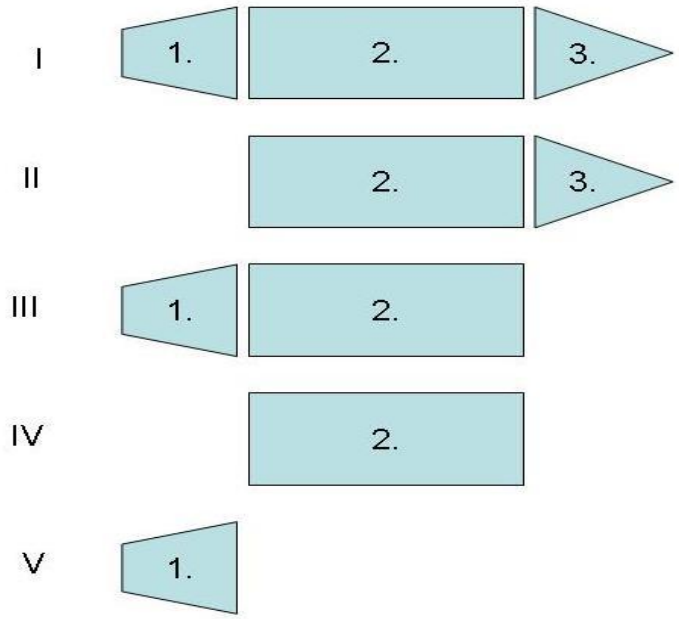
Laitteiston modulaarisuuden ansiosta perustuotemallista voidaan johtaa erilaisia laitteistovariaatioita ilman, että kaikki suunnittelu olisi aloitettava alusta. Toisin sanoen perustana olevat moduulit ovat suunniteltu käytännössä valmiiksi, ja näiden moduulien perusteella voidaan luoda erilaisia laitteisto vaihtoehtoja. Sorosen (1999, s. 19) mukaan modulointi on strateginen valinta ja sen suunnittelussa on otettava huomioon asiakkaan, suunnittelun, valmistuksen ja logistiikan tarpeet. Esimerkki erilaisten LTO-variaatioiden muodostumisesta on esitetty kuvassa 15. Moduulien eri värit kuvaavat niiden varustelutasoa. Tiettyä LTO-variaatiota voidaan siis yksilöidä vielä moduulien erilaisilla varustelutasoilla, eli moduulien eri varianttien avulla.



Kuva 15. Esimerkki eri LTO-variaatioiden muodostumisesta.

4.2 Eri lämmöntalteenottovariaatiot

Tässä diplomityössä käsitellään viittä erilaista lämmöntalteenottovariaatiota, jotka pystytään muodostamaan moduulien avulla. Näissä variaatioissa moduulien määrä vaihtelee yhdestä kolmeen. Modulaarinen tuoterakenne ja sen myötä standardoidut rajapinnat mahdollistavat moduulien lisäämisen jälkikäteen, mutta silti on löydettävissä tietyt valmiit ratkaisut. Eri variaatiot on esitetty kuvassa 16.



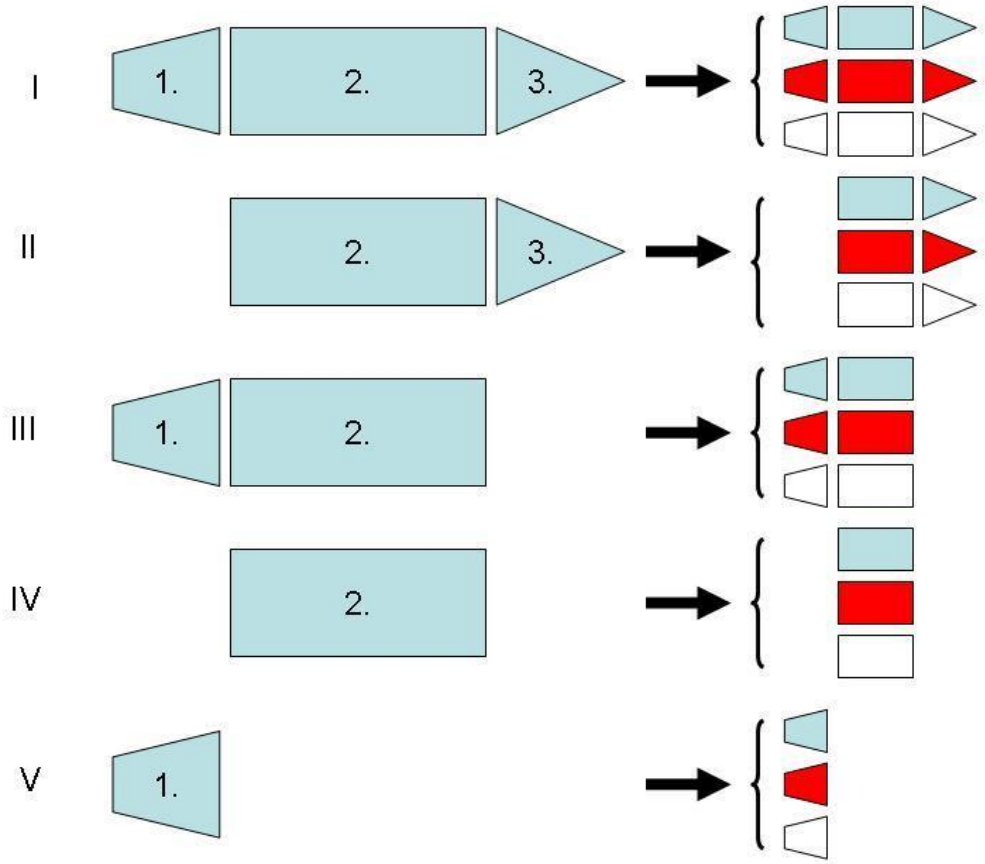
Kuva 16. Eri LTO-variaatiot

Variaatiot I, II ja V sisältävät uuden innovaation eli moduulin numero 1, kuivaimen korvausilman lämmöntalteenoton. Moduuli yksi parantaa kokonaisuuden hyötysuhdetta, ja vähentää huollon tarvetta lämmöntalteenottolaitteistossa. Lisäksi moduulin numero 1 käyttäminen vähentää vanerin valmistuksessa syntyvien hiiliyhdisteiden pääsyä ilmastoon. Variaatio I on perustuotemalli, jota pyritään saada penetroitumaan markkinoille tulevaisuudessa.

Variaatiot II ja IV ovat olleet perinteisiä toimituksia vaneritehtaisiin jo vuosien ajan, varsinkin Pohjois-Euroopassa. Näiden aiemmin toimitettujen laitteistojen modernisointi moduulin numero 1 lisäämisellä tulee näyttelemään tulevaisuudessa isoa roolia. Variaatio V:n voidaankin katsoa olevan lähinnä laitteiston modernisointiin tarkoitettu ratkaisu

Lisäksi työssä tulkitaan, että jokaiselle viidelle eri variaatiolle on kolme eri varustelutasoa, eli jokaisella tietyn variaation moduulilla on siis kolme eri

varianttia. Ensimmäinen on niin sanottu perusvarustelutaso, jossa on vain laitteiston turvallisuuden kannalta välttämättömät ratkaisut. Toinen varustelutaso on niin sanottu korkeavarustelutaso, joka sisältää perusvarustelutasoa enemmän automaatio- sekä mittausratkaisuja. Kolmas varustelutaso vastaavasti on niin sanottu luksusvarustelutaso, joka sisältää edelliseen lisättynä muun muassa erilaisia varajärjestelmiä, jotta lämmöntalteenoton häiriötön toiminta pystytään takaamaan myös erilaisissa häiriötilanteissa. Näiden kolmen eri varustelutason avulla käytännössä esimerkiksi variaatiosta I saadaan 3*3*3 = 27 erilaista yhdistelmää. Varustelutaso on kuitenkin järkevämpää pitää jokaisessa tietyn variaation moduuleissa samana, jolloin esimerkiksi variaatio I:stä saadaan kolme erilaista yhdistelmää. Käytännössä katsoen asiakkaalla onkin valittavana viisi eri variaatiota, joissa jokaisessa on kolme eri varustelutasoa eli yhteensä 15 erilaista vaihtoehtoa (3+3+3+3+3). Tämä on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Eri lämmöntalteenottovariaatioiden variantit

Kuvassa sininen väri tarkoittaa perusvarustelutason tuotetta, punainen korkeanvarustelutason tuotetta ja valkoinen vastaavasti luksusvarustelutason tuotetta.

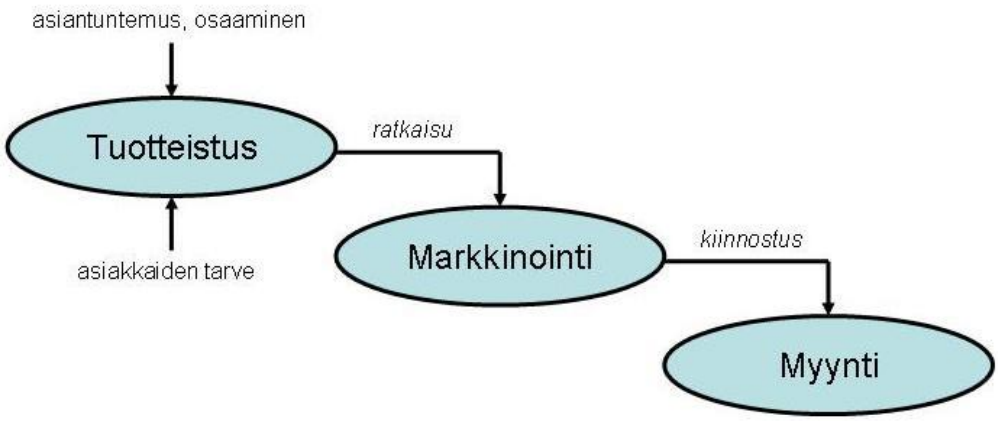
Jotta modulaarinen tuoterakenne toimisi käytännössä, tulisi moduuleille löytää tiettyjä standardiratkaisuja, joita voidaan käyttää usean tehoisille viilunkuivaajille. Näin ollen jokaista eri projektia varten ei tarvitsisi mitoittaa uutta moduulia. Viilunkuivaimen teho on määritellyt perinteisesti moduulin strategiset mitat täysin yksilöidysti, mutta modulaarista tuoterakennetta hyödyntäessä tulisi löytää standardiratkaisuja, joita voitaisiin käyttää useiden eri tehoisten viilunkuivaajien kanssa.

4.3 **Tuotteistaminen**

On kiistattoman tärkeää, että yritys ei ole riippuvainen vain pelkästään yhdestä avaintuotteestaan. Tästä syystä yrityksellä tulisi olla tuoteperheitä, joissa on hyödynnetty yhteistä ydinteknologiaa ja niillä on läheiset käyttökohteet markkinoilla. Tuoteperheiden avulla yritys pystyy tavoittelemaan pidemmän tähtäimen menestymistä, yhden avaintuotteen sijaan. Tuoteperheistä ei tarvitse nousta pelkästään yhtä tuotetta ylitse muiden, vaan pikemminkin sen etu on useiden samankaltaisten tuotteiden kehittäminen ja myyminen samanaikaisesti. Yhtenä tapana laajentaa tuoteportfoliota, ja palvella eri asiakassegmenttejä paremmin on esimerkiksi hyödyntää tuotteen modulaarisuutta ja tuoteperheajattelua. Näiden ansiosta yritys pystyy vähentämään muun muassa suunnittelu- ja valmistuskustannuksiaan. Lisäksi modulaarisuus mahdollistaa eri komponenttien hyödyntämisen useissa tuotteissa, tuotteiden samankaltaisen teknologian vuoksi. (Meyer, 1997, s. 17)

Terminä tuotteistamiselle ei ole yhtä eksaktia määritelmää. Parantainen (2007, s.11) tulkitsee tuotteistamisen tarkoittavan sitä työtä, jonka tuloksena asiantuntemus tai osaaminen jalostuu myynti-, markkinointi- ja toimituskelpoiseksi tuotteeksi. Tässä diplomityössä tuotteistamisen katsotaan

tarkoittavan juuri lämmöntalteenottoratkaisujen muuttamista myynti-, markkinointi- ja toimituskelpoiseksi tuotteiksi tietyille segmenteille hyödyntäen LTO-variaatioiden modulaarista tuoterakennetta ja kolmea eri varustelutasoa. Prosessi on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Tuotteistusprosessi

4.3.1 Lämmöntalteenottoratkaisujen tuotteistus

Miksi sitten tuotteistaa? Perinteisesti lämmöntalteenottoratkaisut ovat YIT:llä mitoitettu ja räätälöity yksilöllisesti jokaiselle asiakkaalle tapauskohtaisesti, eikä lopputulosta ole voitu nähdä yhtenäisenä tuotteena. Aloitettu yhteistyö asiakasyritysten kanssa, ja tätä kautta kasvava markkinapotentiaali, uusien markkinoiden ja markkina-alueiden kautta tekevät yksilöityjen ratkaisujen tekemisen raskaaksi, hitaaksi sekä kalliiksi. Tästä syystä asiakkaan vaatimuksiin ei pystytä nykyisellä yksilöllisellä räätälöinnillä vastaamaan riittävän tehokkaasti. Tässä työssä lämmöntalteenottoratkaisujen suunnittelun, toteutuksen ja myynnin lähtökohdaksi onkin otettu modulaarinen tuoterakenne, ja ratkaisujen tuotteistus eri markkina-alueiden asiakastarpeille sopivaksi.

Tuotteistuksen ja modulaarisen tuoterakenteen kiistattomia etuja voidaan myös perustella ilmastomääräysten kiristymisellä. Ilmastomääräykset ovat Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa huomattavasti tiukemmat kuin esimerkiksi Aasiassa.

Tämän vuoksi lämmöntalteenottolaitteiston vaatimukset eri maanosissa vaihtelevat, ja näin ollen eri tuoteperheille on kysyntää. Toisaalta on huomioitava, että myös Aasiassa ilmastomääräykset tulevat kiristymään tulevaisuudessa, mutta näihin vaatimuksiin pystytään vastaamaan modulaarisen tuoterakenteen ansiosta lisäämällä moduuli numero 1 ja puhdistuslaite tarvittaessa jälkikäteen jo aiemmin toimitettuihin ratkaisuihin. Eri maiden turvallisuusstandardit myös vaikuttavat suuresti sammutus, mittaus- ja automaatioratkaisujen, ja sitä kautta moduulien varianttien valintaan. Eri tuotteistuksen tasojen ja modulaarisen tuoterakenteen ansiosta asiakkaille pystytään tarjoamaan erilaisia ratkaisuja, jotka täyttävät juuri heidän tarpeensa.

Tuotteistusta tukee myös se, että uuden teknologian (moduulin numero 1) omaksuminen tapahtuu eri aikaan eri markkinoilla. Tärkeää on havainnoida, että päämarkkinoilta saadaan kaikkein suurimmat tulot. Tästä syystä näille markkinoille onkin tarjottava pääsääntöisesti LTO-ratkaisua, joka on jo penetroitunut markkinoille. Päämarkkinoilla tarkoitetaan Aasian kasvavia markkinoita, joissa lämmöntalteenottoa ei ole vielä hyödynnetty juuri lainkaan, mutta markkinapotentiaali on hyvin suuri. Toisaalta on muistettava, että Aasiassa lämmöntalteenottoratkaisujen kysyntä kohdistuu lähinnä perusvarustelutason tuotteille, koska vanerinvalmistus esimerkiksi Kiinassa on vielä hyvin pitkälle käsityötä. Näin ollen esimerkiksi automaatio- ja mittausratkaisujen tarve päämarkkinoilla ei ole kovinkaan suurta.

Niin sanottujen aikaisten markkinoiden visionääreille eli Euroopan ja Pohjois-Amerikan markkinoille vastaavasti tulee tarjota ja myydä pääsääntöisesti uutta perustuotemallia eli variaatiota I, jossa on kaikki kolme moduulia sisältäen puhdistuslaitteen. Vaihtoehtoisesti vanhoihin laitteistoihin on tarjottava modernisointiratkaisua, eli moduulin numero 1 lisäämistä. Samoilla markkinoilla on myös mahdollinen jalansija pitkälle kehittyneille automatiikka- ja mittausratkaisuille sekä erilaisille varajärjestelmille. Korkealla- ja luksusvarustelutasolla onkin kysyntää juuri näiden esimerkiksi Euroopan ja Pohjois-Amerikan markkinoilla, joissa asiakkaiden laatuvaatimukset ovat

huomattavasti Aasian vastaavia tiukemmat. Moduulin numero 1 lyödessä läpi aikaisilla markkinoilla, saavat päämarkkinat tästä arvokkaita käyttökokemuksia aikaisien markkinoiden visionääreiltä ja tätä pystytään käyttämään referenssinä päämarkkinoilla. Tuotteen modulaarisen tuoterakenteen ansiosta päämarkkinoiden perusvarustelutason LTO-ratkaisuja voidaan päivittää huomattavasti aiempaa helpommin ”kolmen moduulin”-tuotteiksi, ja näin uutta teknologiaa saadaan myytyä myös suuremmalle asiakaskunnalle.

Lämmöntalteenottoratkaisujen tuotteistus hyödyttää myös YIT:tä ja sen yhteistyökumppaneita. Tuotteistuksen avulla työprosessit systematisoituvat, suunnittelun työmäärä vähenee, tehokkuus paranee ja koko projektin läpimenoaika pienenee. Tuotteistumisen myötä vakiintuneet toimitavat helpottavat muun muassa myös uusien työntekijöiden perehdyttämistä niin suunnitteluun, projektinhoitoon kuin asennukseen. Lisäksi vakiintuneet toimitavat lisäävät työturvallisuutta, ja vähentävät asennuksen aikaisten tapaturmien todennäköisyyttä, kun esimerkiksi painavien komponenttien nostot saadaan vakioitua.

Jokainen lämmöntalteenottoprojekti on kuitenkin yksilöllinen, koska jokainen vaneritehdas on erilainen ja esimerkiksi mahdolliset kanava-asennukset voivat poiketa kohteesta riippuen huomattavasti. Tämän lisäksi muun muassa toimitusrajat voivat vaihdella kahden eri projektin välillä huomattavasti. Modulaarisen tuoterakenteen ansiosta voidaan kuitenkin löytää LTO-projektin projektinhoidolle tietyt jokaisessa projektissa toistuvat suuntaviivat.

Lisäksi tuotteiden hinnoittelu helpottuu huomattavasti verrattaessa aikaisempiin yksilöityihin ratkaisuihin. Hinnoittelun ohessa myös LTO-ratkaisujen myynti ja markkinointi helpottuvat huomattavasti aiempaan, kun asiakkaalle voidaan tarjota suoraan valmiita ratkaisuja. Tämä myös edesauttaa asiakkaan ostopäätöstä, kun asiakkaalle voidaan tarjota suoraan jotain konkreettista tuotetta.

Tuotteistuksen negatiiviseksi puoleksi voidaan mainita, että se voi vähentää YIT:n luovuutta toteuttaa erilaisia projekteja, eivätkä projektit ole enää yhtä ainutlaatuisia kuin ennen. Toisaalta moduloinnin ansiosta projektit harvoin ovat täysin identtisiä, ja tuotteistuksella saavutettavat edut ovat huomattavasti negatiivia puolia suuremmat.

4.3.2 Tuotteistuksen toteuttaminen

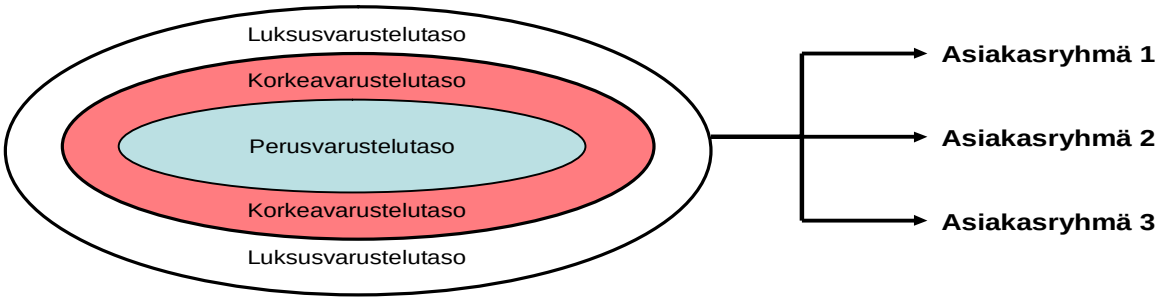
Kuinka tuotteistus sitten pitäisi toteuttaa? Tuotteistuksen selkeäksi lähtökohdaksi on otettava lämmöntalteenottolaistteiston modulaarinen tuoterakenne ja eri markkina-alueiden erilaiset asiakastarpeet. Lämmönvaihtimille sekä pesureille on luotava tietyt standardit, jotka määräytyvät viilunkuivaajan tehon ja virtaaman mukaan. Näin suunnitteluosaston ei tarvitse tehdä jokaisessa projektissa suunnittelua ja mitoitusta kokonaan uusiksi, vaan eri tehoisille viilunkuivaajille olisi olemassa valmiita standardiratkaisuja. Standardiratkaisut tarkoittaisivat esimerkiksi, että lämmöntalteenottopesurien halkaisijat olisivat vain tietyin välein tai vastaavasti lämmönvaihtimien lämpöpinnat

Tämän lisäksi eri moduuleille tulee luoda vakioidut rajapinnat. Tämä luo kiistatonta kilpailuetua kilpailijoihin, kun mahdollisen modernisoinnin yhteydessä tietty moduuli voidaan vaihtaa uuteen helposti ja kustannustehokkaasti, tai vastaavasti lisätä kokonaan uusi moduuli ilman mittavia muutoksia koko lämmöntalteenottojärjestelmään. Moduulien ja rajapintojen standardoiminen sitoo aluksi paljon suorituskykyä, mutta pitkässä juoksussa se vähentää huomattavasti suunnittelun työmäärää ja myöhemmässä vaiheessa helpottaa asennustoimintaa sekä projektinhoitoa.

Ensimmäisen moduulin toteutukseen tulisi myös löytää standardiratkaisu asiakasyrityksen kanssa, jotta puhdituslaite-lämmönvaihdin-yhdistelmää voitaisiin markkinoida yhtenä pakettina. Ratkaisun tulisi olla mahdollisimman helppo integroida jo olemassa oleviin lämmöntalteenottojärjestelmiin, jolloin niin sanottujen modernisointiratkaisujen myyminen ja markkinointi jo valmiisiin

järjestelmiin helpottuisi huomattavasti. Valmiita ja toimivia ratkaisuja pystytään hyödyntämään referensseinä uusille asiakkaille. Asiakasyhteistyön kautta syntyviä synergiaetuja olisi hyödynnettävä erityisesti myynnin ja markkinoinnin saralla, varsinkin uusilla markkina-alueilla.

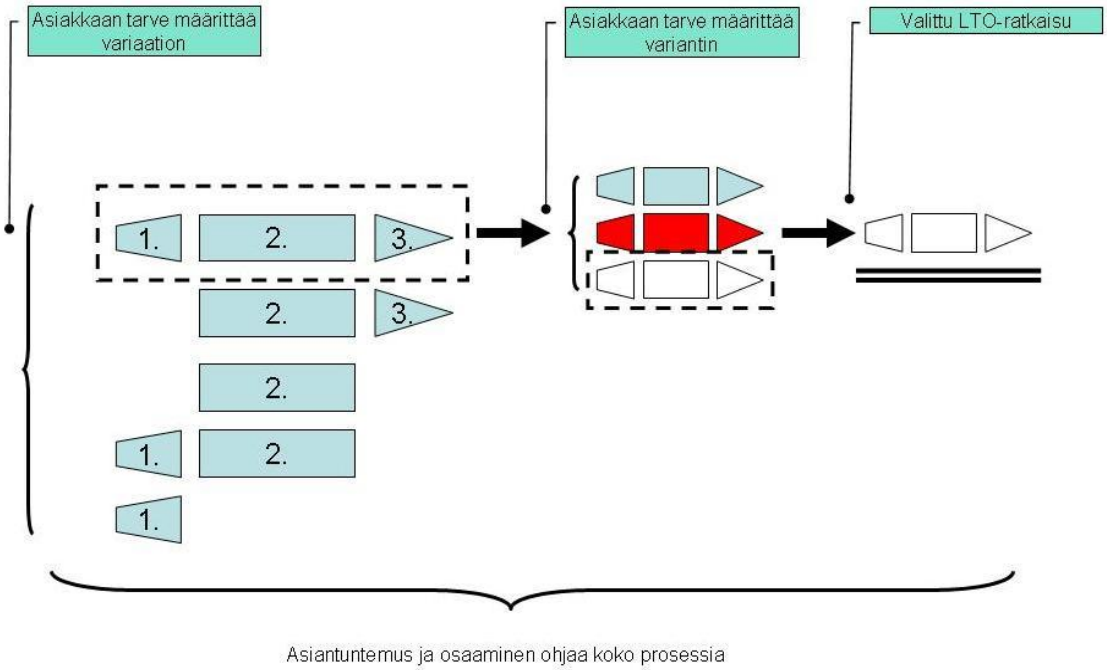
Kun moduuleille on löydetty selkeät ja riittävän yksityiskohtaiset standardiratkaisut ja rajapinnat, niin viidelle erilaiselle variaatiolle voidaan ruveta pohtimaan erilaisia variantteja sekä niiden sisältöä. Yksinkertaisin variantti jokaisella variaatiolle on perusvarustelutaso, joka sisältää vain lämmöntalteenottolaitteiston turvallisuuden kannalta välttämättömät tekniset ratkaisut. Näiden ratkaisujen suurin kohderyhmä löytynee Aasian kasvavilta markkinoilta. Toisessa tuotteistuksen tasossa on automaatio- ja mittausratkaisuja lisätty eri variaatioihin. Näiden avulla muun muassa lämmöntalteenoton tehokkuutta ja turvallisuustasoa saadaan nostettua. Näitä niin sanottuja korkeavarustelunratkaisuja voidaan myös myydä myös aiemmin toimitettuihin laitteistoihin mahdollisuuksien mukaan. Riskianalyysiraportin pohjalta voidaan löytää ja perustella ne automaatio- ja toimintaratkaisut, joilla laitteiston tehokkuutta ja turvallisuutta saadaan parannettua, ja näin ollen osoittaa tietyn varustelutason tarpeellisuus. Kolmas tuotteistuksen taso, eli niin sanottu luksusvarustelutaso sisältää erilaisia varajärjestelmiä ja mittauksia aiempia enemmän, ja tekevät tuotteesta todella toimintavarman. Tällä varustelutasolla pystytään vastaamaan kaikkein vaativimpienkin asiakkaiden vaatimuksiin. Esimerkiksi erilaisten erikoisvanerienvalmistajat saavat tämän varustelutason ansiosta paljon tietoa prosessista, kiitos mittausten. Kuvassa 19 on esitetty lämmöntalteenottovariaatioiden tuotteistuksen tasot.



Kuva 19. Lämmöntalteenottovariaatioiden tuotteistuksen tasot

Tuotteistuksessa kiistatta tärkein huomioon otettava näkökulma on eri markkina-alueiden erilaiset asiakastarpeet. Aasian kehittyvillä markkinoilla tai vastaavasti Pohjois-Amerikan sekä Euroopan markkinoilla on hyvin erilaiset asiakastarpeet ja erilainen markkinapotentiaali. Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa lämmöntalteenotto on hyvin laajalti jo käytössä vaneriteollisuudessa, kun taas Aasiassa vastaavasti ei. Varustelutasojen lisäksi Aasian markkinoilla tulee harkita vakavasti halvempien materiaalien käyttämistä lämmöntalteenottoratkaisuissa. Esimerkiksi lämmöntalteenottopesurin tekemistä mustasta raudasta ruostumattoman teräksen sijaan.

Lähtökohta on, että asiakkaille olisi tarjottavana valmiita erilaisia ratkaisuja, joista asiakas pystyisi itse valitsemaan haluamansa ratkaisun omien tarpeidensa mukaan. YIT:n asiantuntemus ja osaaminen ohjaisivat asiakkaan päätöksentekoa. Kuvassa 20 on esitetty kuinka lämmöntalteenottoratkaisun määrittyy asiakkaan tarpeiden mukaisesti.



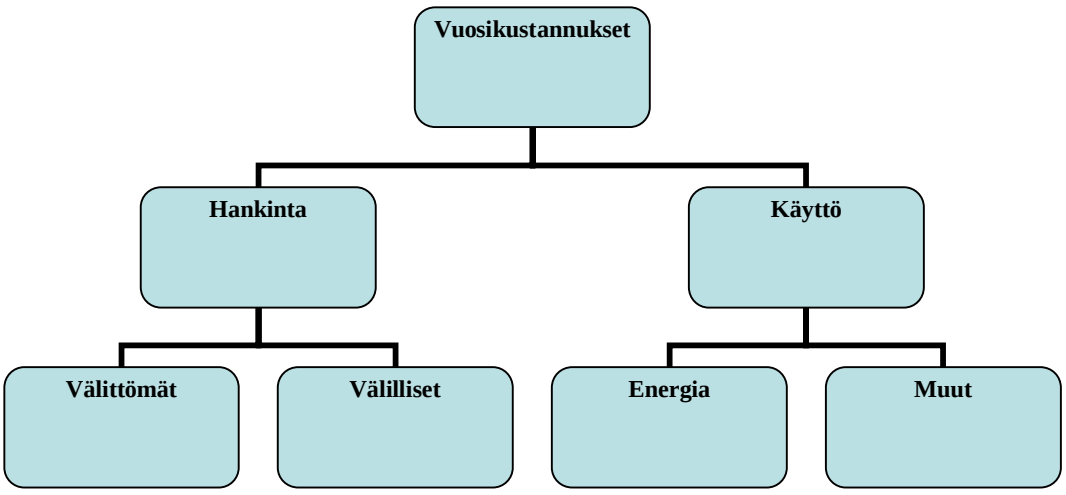
Kuva 20. Lämmöntalteenottoratkaisun määrittyminen

5 LÄMMÖNTALTEENOTTOINVESTOINNIN KANNATTAVUUS

5.1 Kannattavuuslaskelmien perusteet

Eri lämmöntalteenottoratkaisujen kannattavuus on pystyttävä näyttämään asiakkaille kiistattomasti. Jotta asiakas toteuttaisi kyseisen investoinnin laitokseensa, on investoinnista aiheutuvat kustannukset sekä säästöt saatava esitettyä asiakkaalle tarpeeksi yksityiskohtaisesti ja selkeästi. Perinteisen investointiteorian mukaan nettokassavirta ja sen ajallinen jaksottuminen määrittelevät investoinnin kannattavuuden. Nettokassavirran komponentteja ovat perusinvestointi, investoinnin aikaansaamat tuotot sekä kustannukset ja mahdollinen jäännösarvo. Investoinnin kannattavuutta tarkastellaan yleisesti nettokassavirrasta lasketuilla takaisinmaksuajan, nykyarvon tai sisäisen koron kriteerien valossa. (Kärri & Uusi-Rauva 2003, s.13)

Lämmön talteenoton kannattavuuden tarkastelussa on pyrittävä ottamaan huomioon kaikki sen aiheuttamat muutokset vertailtavaan järjestelmään nähden. Perinteinen ryhmittely lämmöntalteenoton vuosikustannuksille on esitetty kuvassa 21. (Seppänen 1988, s. 300)



Kuva 21. Vuosikustannusten muodostuminen LTO-investoinnissa. (Seppänen 1988, s. 300)

Yksinkertaisin tapa on kuitenkin jakaa lämmöntalteenoton elinkaarikustannukset kolmeen:

1. Investointikustannuksiin (laitehankinnat, asennukset)
2. Käyttökustannuksiin (energiakustannukset)
3. Huoltokustannukset (määräaikaishuollot, suodattimien ja hihnojen vaihdot ja niin edelleen)

Tätä jakotapaa käytetään tässä diplomityössä käsiteltävissä kannattavuuslaskelmissa. Kaikkien investoinnin aiheuttavien muutosten huomioon ottaminen ja niiden euromääräinen arviointi on kuitenkin käytännössä mahdotonta. Tavoitteena onkin löytää yksinkertainen ja helppokäyttöinen laskentatapa, jolla voidaan näyttää asiakkaalle nopeasti eri lämmöntalteenottoratkaisujen energiasäästöt sekä suuntaa-antavat takaisinmaksuajat. Huomioitavaa on, että oletuksia on tehtävä muun muassa huoltokustannusten ja energianhinnan suhteen. Myöhemmässä vaiheessa laskentatavasta voidaan kehittää laskentamalli, joka laskee esimerkiksi takaisinmaksuajan asiakkaan haluamalle LTO-variaatiolle tietyllä varustelutasolla, ja tätä voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi myynnin konfiguraattorissa.

5.1.1 Investointikustannukset

Lämmöntalteenottoprojekti hinnoitellaan moduuli kerrallaan. Moduulit lasketaan yhteen ja lisätään S&A-kulut (myynti- ja hallintokulut), asennuksen yleiskustannukset sekä kate niin saadaan projektin laskutushinta eli asiakkaalle muodostuva investointikustannus *I*. Projektin hinnanmääritys on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Projektin hinnanmääritys

Materiaalikäyttö
+ Alaurakat
+ Asentajien palkat + sotu
+ Asentajien matka- ja päivärahat
+ Rahti
+ Muut muuttuvat kulut
+ Toimihenkilöaika
+ Toimihenkilöiden matka- ja päivärahat
= PROJEKTIN KUSTANNUKSET
+ S&A-kulut (X %)
+ Asennuksen yleiskustannuksen (Y %)
+ Laskennalliset korot
+ Kate (Z %)
= LASKUTUSHINTA (I)

Jokaisesta moduulista arvioidaan materiaalikäyttö. Materiaalikäyttöön kuuluvat kaikki moduulin komponentit, laitteet sekä kanavat. Lämmönvaihtimien ja pesurin massojen laskentaan on kehitetty ohjelmia, joidenka avulla saadaan ratkaistua hinta-arviot teräksen kilohinnan avulla sekä asennustunnit eri komponenteille. Tarkemmat hinnat saadaan suoraan toimittajilta. Laitteet ja kanavat hinnoitellaan materiaalikäyttöön erikseen.

Tämän jälkeen arvioidaan materiaalikäytön komponenttien asentamiseen tarvittavat tunnit, ja kerrotaan tunnit asennuksen tuntihinnalla, joka sisältää sotu-maksut. Lisäksi on huomioitava asentajien matka- ja päivärahat kohteen sijainnista riippuen. Tämän jälkeen arvioidaan toimihenkilöaika, joka eritellään suunnitteluun, projektinhoitoon ja dokumentointiin käytettävään aikaan. Toimihenkilöajat kerrotaan taas määritetyillä tuntihinnoilla. Myös toimihenkilöiden matka- ja päivärahat on huomioitava kohteen sijainnin ja paikan päällä oltavan miehityksen mukaan.

Projektista riippuen myös alaurakat on huomioitava hinnoittelussa. Esimerkiksi lämmöntalteenottoprojekteissa huomioitavia alaurakoita ovat kanavien eristyksestä ja nostoista aiheutuvat kulut. Lisäksi rahdin aiheuttavat kulut on huomioitava hinnoittelussa. Muihin muuttuviin kustannuksiin on huomioitava esimerkiksi autoleasing projektissa, mahdolliset data- ja GSM-kulut sekä erilaisten nostimien käyttö projektissa. Projektin kustannukset eli kustannukset, joita itselle muodostuvat lasketaan muodostuvan näistä.

Projektin kustannukset eivät kuitenkaan ole asiakkaalle esitettävä laskutushinta. Projekti kustannuksiin lisätään ensin myynti- ja hallintokulut, jotka ovat tietty prosenttimäärä projektin kustannuksista. Lisäksi on lisättävä asennuksen yleiskustannukset, jotka vastaavasti ovat tietty prosenttimäärä asentajien palkoista. Näiden lisäksi projektin kustannuksiin on lisättävä jokaiselle projektille yksilölliset laskennalliset korot sekä projektista haluttava kate. Rahamäärällisesti isoissa tai pitkälle tulevaisuuteen sijoittuvissa projekteissa on lisäksi huomioitava kustannusten nousuvaraukset.

Taulukossa 2 on kuvitteellinen esimerkki yhden moduulin laskutushinnan muodostumisesta. Hinnat ja prosenttiluvut ovat täysin sattumanvaraisia eivätkä vastaa todellisuutta.

Taulukko 2. Moduulin x kuvitteellinen hinnan muodostuminen

Materiaalikäyttö	75 000 €
+ Alaurakat	2500 €
+ Asentajien palkat+sotu	7000 €
+ Asentajien matka- ja päivärahat	2500 €
+ Rahti	2500 €
+ Muut muuttuvat	1500 €
+ Toimihenkilöaika	12 500 €
+ Toimihenkilöiden matka- ja päivärahat	1500 €
PROJEKTIN KUSTANNUKSET	**105 000 €**
+ S&A-kustannukset X %	€
+ Asennuksen yleiskustannukset Y %	€
+ Laskennalliset korot	€
+ Kate Z %	€
LASKUTUSHINTA (I)	**130 500 €**

5.1.2 Lämmöntalteenottolaitteiston vuotuiset huolto- ja käyttökustannukset

Jotta lämmöntalteenotto toimisi tehokkaasti ja turvallisesti, sitä on huollettava laitteiston huolto- ja käyttöohjeistuksen mukaisesti. LTO-laitteiston vuosittaiset huoltokustannukset K_h koostuvat määräaikaishuolloista, kuten laakereiden voitelusta, säästöpeltien ja pisaranerottimien säännöllisistä tarkastuksista, suodattimien sekä hihnojen vaihdoista ja niin edelleen. Kokemuksen perusteella voidaan arvioida huoltoihin tarvittava vuotuinen tuntimäärä H_h, ja kun huoltotyölle on määritetty tuntihinta T_h, saadaan näiden tulona huoltotöihin vuosittain tarvittava rahamäärä. Tähän rahamäärään, kun lisätään muut kustannukset K_m kuten vuosittain uusittavat suodattimet, saadaan vuosittaiset LTO-laitteiston huoltokustannukset.

$$K_h = T_h \times H_h + K_m \quad (1)$$

Sarkomaan (1994, s. 15) mukaan huoltokustannuksiin vaikuttavat toimintaympäristö, prosessin ikä, ennakkohuollon järjestelyt ja suunnitteluinsinöörin ratkaisut. Tämän diplomityön kannattavuuslaskelmissa vuotuiset huoltokustannukset oletetaan vakioksi joka vuosi. Kannattavuuslaskelmien herkkyysanalyysissä tutkitaan kuinka huoltokustannusten mahdollinen nousu laitteiston käyttöiän myötä vaikuttaa takaisinmaksuaikoihin.

Käyttökustannukset K_k muodostuvat LTO-laitteistoon kuuluvien puhaltimien sähkökustannuksista. Nämä saadaan laskettua, kun tiedetään puhaltimien vuotuinen sähköntarve $T_{k,ph}$ ja oletetaan ostettavalle sähköenergialle E_s tietty hinta. Hautomoaltaan pumpun sähköntarve jätetään huomioimatta laskelmissa.

$$K_k = T_{k,ph} \times E_s \quad (2)$$

Edellisten pohjalta lämmöntalteenottoinvestoinnin myötä aiheuttavat vuosittaiset kokonaiskustannukset K_{tot} saadaan kaavasta:

$$K_{tot} = K_h + K_k \quad (3)$$

5.1.3 Vuotuiset säästöt

Lämmöntalteenottolaitteistolla saavutetaan vuosittain merkittäviä energiasäästöjä. Jokaiselle moduulille saadaan laskentaohjelmien tai laskelmien avulla laskettua keskimääräinen teho P. Lisäksi, kun tiedetään eri moduulien vuosittainen käyttöaika $T_{k,}$ ja sillä kerrotaan teho, niin saadaan moduulin vuotuinen energiansäästö S_e.

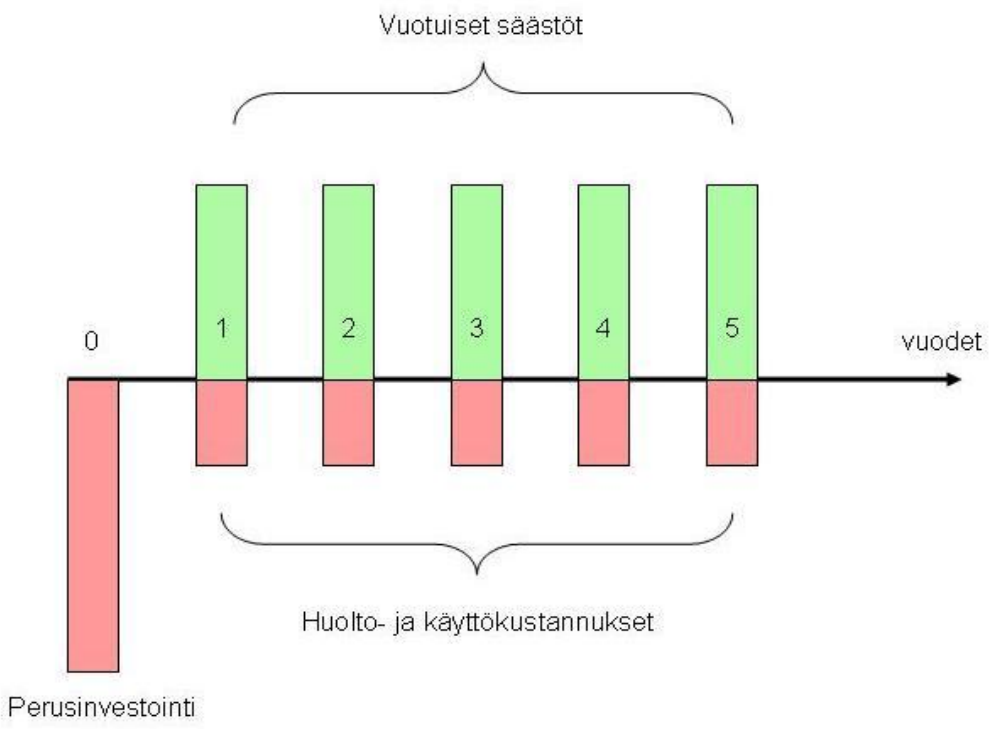
$$S_e = P \times T_k \quad (4)$$

Vuotuinen energiansäästö saadaan muutettua euromääräiseksi energian säästöksi *S*, kun energian säästö S_e kerrotaan prosessiteollisuuden säästetyn energian hinnalla E_l. Lämpöenergialle E_l on oletettava hinta, jota käytettään laskelmissa.

$$S = S_e \times E_l \tag{5}$$

5.1.4 Käytettävät investointilaskentamenetelmät

Työssä käytettävässä takaisinmaksuajan menetelmässä selvitetään, minkä ajan kuluessa investoinnin nettotuotot ylittävät perushankintakustannukset. Takaisinmaksuajan menetelmän mukaan ne investoinnit kannattaa suorittaa, joista pääoma kertyy nopeasti takaisin. Investoinnin vaikutus rahoitukseen onkin tällöin keskeinen kriteeri, mikä heikon taloudellisentilanteen aikana voi olla kiistattoman olennainen tekijä. Toisaalta menetelmä ei näytä asiakkaalle investoinnin kannattavuutta, vaan oikeastaan rahoitusvaikutuksia. Se ei ota huomioon ollenkaan sitä, mitä vaikutuksia investointivaihtoehdolla on takaisinmaksuajan jälkeen. (Haverila et al 2005, s.205-206) Moni asiakas kuitenkin käyttää menetelmää yhtenä olennaisena valintakriteerinä ja näin ollen sitä käytetään myös tässä työssä. Kuvassa 22 on esitetty takaisinmaksuajan laskemisen lähtökohdat.



Kuva 22. Takaisinmaksuajan laskemisen lähtökohta

Kuvassa investoinnin perushankintameno sekä vuotuiset energiasäästöt sekä huolto- ja käyttökustannukset on havainnollistettu yksinkertaisella aikajanalla. Mikäli laskentakorkoa ei huomioida saadaan takaisinmaksuaika edellisen kuvan valossa kaavasta:

$$Tt = \frac{I}{S - Ktot} \tag{6}$$

Lisäksi kannattavuuslaskelmissa on laskettu myös investoinnin korollinen takaisinmaksuaika T_{tk},. Kaavassa oleva *i* tarkoittaa laskentakorkokanta. Korollisen takaisinmaksuajan kaava on esitetty alla.

$$Ttk = \frac{-\ln(1\frac{1}{i} - \frac{I}{(S - Ktot)}) - \ln(i)}{\ln(1+i)} \tag{7}$$

5.2 Eri variaatioiden kannattavuus

Energiansäästöt ja takaisinmaksuajat määritellään moduuli kerrallaan, sekä 2 kg /s että 4 kg / s ilmamäärille laitteistoissa. Eri moduulien energiansäästöt ja takaisinmaksuajat laskemalla yhteen saadaan jokaisen eri LTO-variaation energiansäästöt sekä takaisinmaksuajat. Laskelmat kokonaisuudessaan on esitetty liitteessä 1.

Eri variaatioiden takaisinmaksuaikojen ja vuosittaisten energiansäästöjen laskemiseksi tehtiin seuraavanlaiset oletukset, numero alaindeksit kuvaavat moduulia:

- Sähköenergian hinta E_s 0,1 € / kWh
- Lämpöenergian hinta E_l
  - E_{l1} 0,04 € / kWh
  - E_{l2} 0,02 € / kWh
  - E_{l3} 0,03 € / kWh
- Huolto K_h 32 € / h
- Laskentakorkokanta i 7 %
- Pitoaika n 20 a

Lisäksi laskelmissa oletettiin, että kolmen moduulin variaatiosta saa 7 % alennuksen investointikustannuksiin ja kahden moduulin 5 %. Laskelmissa variaatioiden varustelutasoksi on oletettu perusvarustelutaso, joten erilaisia mittaus-, automaatio- tai varajärjestelmäratkaisuja laskelmat eivät huomioi. Edellä mainitut ratkaisut nostaisivat luonnollisesti investointikustannusta ja tätä kautta lisäisi takaisinmaksuaikoja. Taulukossa 3 on esitetty perustuotemallin eli variaation I laskelmat edellä mainituilla lähtöoletuksilla.

Taulukko 3. Variaatio I:n energiasäästöt sekä takaisinmaksuaika

Variaatio I	Kuivain	2 kg /s		4 kg/s	
Teho, P_{123}		2500	kW	4350	kW
Energiansäästö, Se_{123}		**12816000**	**kWh / a**	**22104000**	**kWh / a**
Vuotuinen säästö, S_{123}		**324720**	€ / a	**553680**	€ / a
Kokonaiskustannukset, K_{tot123}		**100608**	€ / a	**101118**	€ / a
Investointikustannus, I_{123}			€		€
Takaisinmaksuaika, T_{t123}		**1,3-1,7**	**a**	**0,8-1,2**	**a**
Korollinen takaisinmaksuaika, T_{tk123}		**1,4-1,8**	**a**	**0,8-1,2**	**a**

Taulukossa 4 on esitetty vastaavasti muidenkin variaatioiden vuotuinen energiasäästö sekä takaisinmaksuajat. Lähtöoletukset ja laskentatapa ovat kaikille variaatioille samat kuin taulukon 3 tapauksessa.

Taulukko 4. Eri lämmöntalteenottovariaatioiden vuotuiset energiasäästöt ja takaisinmaksuajat

Viilunkuivain	2 kg/s	4 kg/s
Variaatio I (mod 1,2,3)		
Energiansäästö S_{e123}	**12816 MWh**	**22104 MWh**
Takaisinmaksuaika T_{t123}	**1,3-1,7 a**	**0,8-1,2 a**
Korol. tak. maks. T_{tk123}	**1,4-1,8 a**	**0,8-1,2 a**
Variaatio II (mod 2,3)		
Energiansäästö S_{e23}	**11016 MWh**	**19224 MWh**
Takaisinmaksuaika T_{t23}	**1,2-1,6 a**	**0,7-1,1 a**
Korol. tak. maks. T_{tk23}	**1,4-1,8 a**	**0,8-1,2 a**
Variaatio III (mod 1,2)		
Energiansäästö S_{e12}	**9576 MWh**	**16704 MWh**
Takaisinmaksuaika T_{t12}	**0,8-1,2 a**	**0,5-0,9 a**
Korol. tak. maks. T_{tk12}	**0,9-1,3 a**	**0,5-0,9 a**

Variaatio IV (mod 2)		
Energiansäästö S_{e2}	**7776 MWh**	**13824 MWh**
Takaisinmaksuaika T_{t2}	**0,6-1,0 a**	**0,3-0,7 a**
Korol. tak. maks. T_{tk2}	**0, 8-1,2 a**	**0,3-0,7 a**
Variaatio V (mod 1)		
Energiansäästö S_{e1}	**1800 MWh**	**2880 MWh**
Takaisinmaksuaika T_{t1}	**1,9-2,3 a**	**1,2-1,6 a**
Korol. tak. maks. T_{tk1}	**2,1-2,5 a**	**1,3-1,7 a**

Tuloksista nähdään, että kaikki lämmöntalteenottovariaatiot ovat takaisinmaksuaikojen perusteella todella kannattavia, kun peilataan laitteiston 20 vuoden pitoaikaan. Pääomantuottoaste nousee tietyillä variaatioilla yli 100 prosenttiin. On tärkeä huomioida, että laskelmat osoittavat kuitenkin vain lämmöntalteenottolaitteiston moduulien kannattavuutta ja takaisinmaksuaikaa. Todellinen investointikustannus on laskelmissa esitettyä suurempi, johtuen kanava-asennuksista, erilaisista rakennustöistä, vesijärjestelmistä, vedensuodattimista, puhdistuslaitteista ja pumpuista joita investointikustannukseen ei ole huomioitu. Edellä mainittujen kustannusten kokonaishintaa on kuitenkin mahdotonta arvioida johtuen siitä, että jokainen vaneritehdas vaatii lämmöntalteenottoinvestointitilanteessa erilaiset rakennustyöt, ja toimitusrajat esimerkiksi vesijärjestelmien suhteen vaihtelevat suuresti. Esitetyt laskelmat kuvaavat siis pelkästään eri moduulien energiasäästöjä ja niiden takaisinmaksuaikaa. Todellisuudessa takaisinmaksuajat ovat siis hivenen suuremmat johtuen suuremmista investointikustannuksista, mutta laitteistolla saavutettavat energiansäästöt ovat taulukon neljä mukaiset.

Tuloksista voidaan lisäksi havaita, että mikään eri lämmöntalteenottovariaatioista ei nouse kiistattomasti toista kannattavammaksi. Toisaalta yksittäisistä moduuleista lämmöntalteenottopesurilla saadaan huomattavasti muita moduuleita suuremmat energiansäästöt, varsinkin alueilla, joissa ilmasto on talvisin kylmä ja tukkien haudontaan tarvitaan paljon lämpöenergiaa. Uusiin laitteistoihin

lämmöntalteenottopesurin asennuksen voidaan katsoa olevan aina erittäin kannattavaa, mikäli tuotantolaitoksella tukkien haudontaan tarvitaan lämpöenergiaa.

Modernisointiprojektien kannalta olennaista on huomioida myös, että pelkän moduulin numero 1 lisääminen (variaatio V) vanhoihin laitteistoihin on takaisinmaksuajaltaan melko kannattavaa. Varsinkin mikäli puhdistuslaite tulee pakolliseksi viilunkuivaajien yhteyteen globaalisti, on tälle ratkaisuille kiistatta kysyntää..

Investoinnin kannattavuutta arvioidessa tulee huomioida myös, että mikäli talteenottoa ei ole, vaneritehdas tarvitsee esimerkiksi kattilan energiantuotantoon. Tämän rakentamisesta koituu myös investointikustannuksia, ja esimerkiksi kattilan käyttö on monin verroin lämmön talteenoton hyödyntämistä kalliimpaa. Lisäksi moduulin yksi lisääminen laitteistoon parantaa prosessin hyötysuhdetta sekä vähentää vanerinvalmistusprosessissa syntyviä hiiliyhdisteiden määrä, puhdistuslaitteen ansiosta. Tämä on yksi tärkeä investoinnin puolestapuhuja varsinkin tulevaisuudessa ilmastomääräysten kiristyessä.

5.3 **Herkkyysanalyysi**

Lämmöntalteenoton kannattavuuden laskenta pohjautuu aina epävarmoihin laskentatietoihin. Hankkeisiin liittyy aina riskejä eikä tulevaisuutta voida ennustaa tarkkaan. Tämän vuoksi onkin syytä suorittaa saaduille tuloksille herkkyysanalyysi. Tarkoituksena on tutkia investoinnin lähtöoletusten arviointivirheiden vaikutusta investoinnin kannattavuuteen. Herkkyysanalyysissä selvitetään kuinka investoinnin kannattavuus muuttuu, jos useamman kannattavuuskomponentin toteutuva arvo poikkeaa lähtöoletusarvosta.

Herkkyysanalyysi menetelmänä käytetään niin sanottua parhaan ja huonoimman tapauksen analyysia (best and worst-case analyse). Menetelmässä lähtöoletukset muutetaan vastaamaan järkevinä pidettyjen parametriarvojen ääripäitä. Kaikki

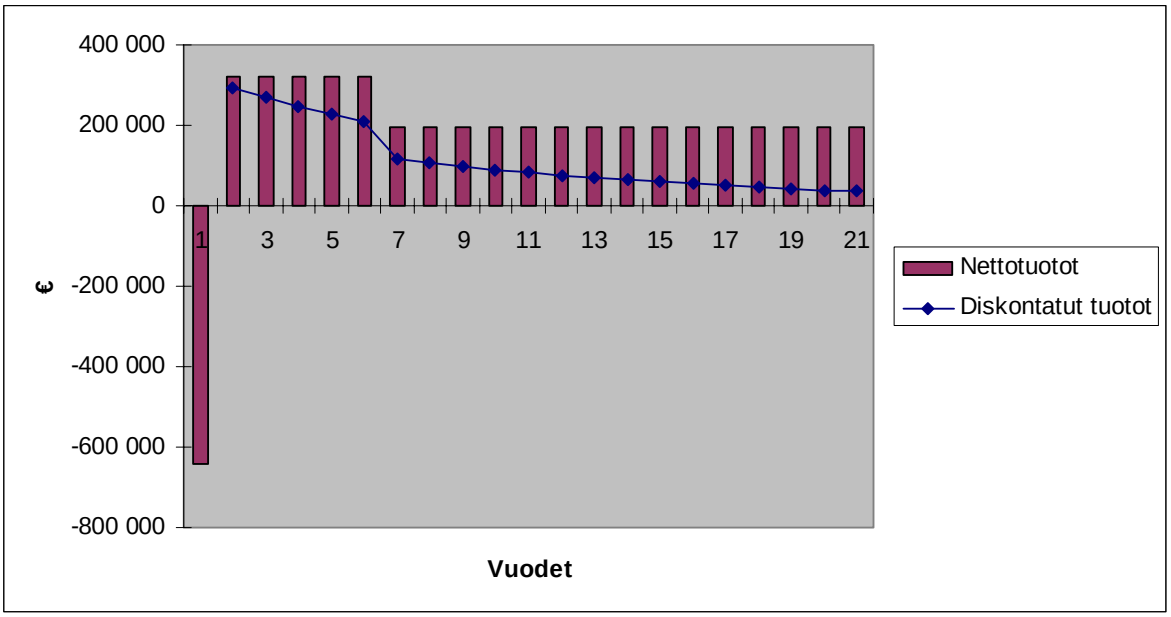
lähtöoletukset muutetaan kerrallaan, ja tavoitteena on kokeilla miten radikaalisti tulokset muuttuvat ääritapauksissa. Parhaassa tapauksessa valitaan investoinnin kannalta myönteisimmät lähtöoletukset oletuksina pidettyjen parametriarvojen tilalle ja pahimmassa päinvastoin. Tavoitteena on vastata kysymyksiin, että kuinka pitkä takaisinmaksuaika investoinnilla on pahimmillaan, tai vastaavasti kuinka lyhyt se on parhaimmillaan.

Herkkyysanalyysitarkastelu tehdään pelkästään perustuotemallille eli variaatiolle I ja vain 4 kg/s virtaamalla. Se on riittävä, koska se antaa suuntaa myös muiden lämmöntalteenottovariaatioiden takaisinmaksuaikojen muuttumiselle eri lähtöoletuksilla. Taulukossa 5 on perustuotemallille 4 kg / s virtaamilla annettu seuraavat lähtöoletukset ja verrattu oletusarvoon.

Taulukko 5. Erilaisten lähtöoletusten vaikutus takaisinmaksuaikaan

Var I, 4 kg / s	**Paras tapaus**	**Oletus**	**Huonoin tapaus**
Huolto, K_{h123}	30 € / h	32 € / h	46 € / h
Sähköenergian hinta, E_{s123}	0,07 € / kWh	0,10 € / kWh	0,12 € / kWh
Lämpöenergian hinta, E_{l123}	0,05 € /kWh	0,02…0,04 € / kWh	0,02 € / kWh
Investointikustannusten muutos	- 10 %	-	+ 50 %
Laskentakorkokanta, i	4 %	7 %	9 %
Takaisinmaksuaika, T_{t123}	**0,3-0,5 a**	**0,9-1,1 a**	**1,9-2,1 a**
Korollinen takaisinmaksuaika, T_{tk123}	**0,3-0,5 a**	**0,9-1,1 a**	**2,2-2,4 a**

Lisäksi niin sanottua huonointa tapausta voidaan tarkastella vielä näkökulmasta, että variaation vuotuiset kustannukset kaksinkertaistuisivat esimerkiksi viidennen vuoden jälkeen, huolto- ja käyttökustannusten nousun takia. Mikäli laitteiston huolto- ja käyttöohjeistusta noudatetaan, näin ei tule todellisuudessa käymään. Vaikka oletetaan huolto- ja käyttökustannusten nousevan edellä mainitulla tavalla, jäännösarvon oletetaan nollaksi ja laskentakorkokannan yhdeksään prosenttiin, niin silti investointi pysyisi kiistattoman kannattavana koko 20 vuoden pitoajan ajan. Edellinen on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23. Variaatio I:n kannattavuus ”huonoimmassa tapauksessa”, 4 kg /s virtaamalla ja vuotuisten kustannusten tuplaannuttua

Herkkyysanalyysin ”huonoin tapaus” skenaarion toteutuminen on todellisuudessa erittäin epätodennäköistä. Vaikka kyseenomainen skenaario tapahtuisi, olisi investointi silti takaisinmaksuajalla mitattuna kannattava, ja niin sanottu perustuotemalli 4 kg / s virtaamalla maksaisi itsensä takaisin silti alle kahdessa ja puolessa vuodessa. Tämän perusteella voidaan todeta, että lämmöntalteenottoinvestointi on aina kannattava vaneritehtaisiin, erityisesti mikäli ilmasto-olot ovat lähellä Suomen vastaavia.

Huonoimmassa tapauksessa on investointikustannukset arvioitu 1,5 kertaa suuremmaksi kuin oletuksessa. Huonoin tapaus todistaa siis myös sen, että vaikka investointikustannukset nousisivat merkittävästi esimerkiksi rakennusteknisistä syistä, säilyy investointi silti kiistattoman kannattavana.

Parhaassa tapauksessa taas takaisinmaksuajaksi tulee alle puolivuotta. Se on peilatessa 20 vuoden pitoaikaan erittäin lyhyt aika. Toisaalta on huomioitava, että laskennassa olevat moduulit ovat perustuotemalleja, eikä niihin ole hinnoiteltu mitään automatiikka-, mittaus- tai varajärjestelmäratkaisuja. Lisäksi laskelmat eivät huomioi kanava-asennuksia, tarvittavia rakennusteknisiä töitä, hautomoaltaalle tulevan pumpun kustannuksia tai kiertoveden suodattamisesta koituvia kustannuksia.

6 LÄMMÖNTALTEENOTON RISKIT

6.1 Riskianalyysin perusteet

Eri LTO-ratkaisujen laitteiston tekniset riskit on tunnistettava ja tiedettävä aiempaa huomattavasti tarkemmin. Ratkaisujen tuotteistus, yhteistyö asiakasyritysten kanssa sekä jatkuvasti kiristyvät turvallisuusmääräykset myös vaativat lämmöntalteenottolaitteiston riskianalyysin tekoa. Riskianalyysin avulla pystytään tarkastelemaan erilaisten mittaus-, automatiikka- ja varajärjestelmäratkaisujen järkevyyttä tuotteistamisen yhteydessä sekä osoittamaan niiden hyödyllisyys asiakkaalle. Lisäksi analyysin pohjalta pystytään myös luomaan yhteinen huolto- ja käyttöohjeistus LTO-laitteistolle.

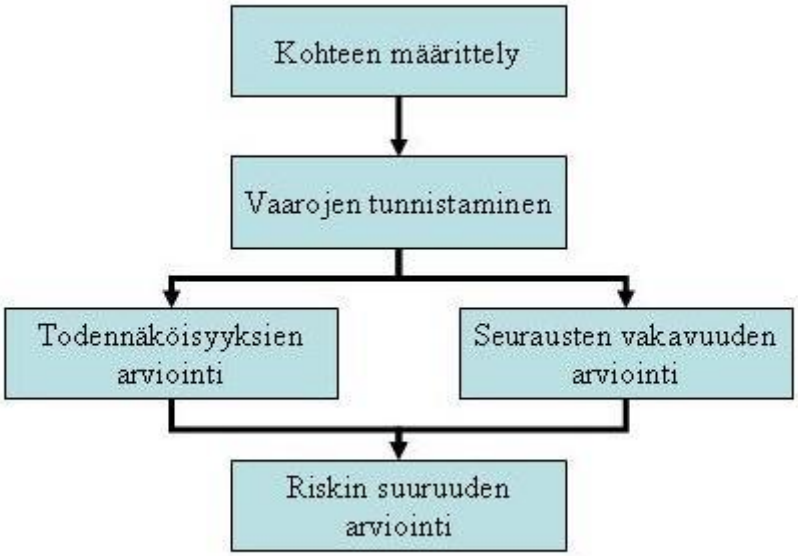
Yleisesti riskin katsotaan tarkoittavan vaarallisen tapahtuman esiintymistodennäköisyyden ja seurauksen yhdistelmää. Käsitteenä riskiin liittyy aina kaksi osatekijää: todennäköisyys, jolla vaarallinen tapahtuma esiintyy, ja vaarallisen tapahtuman seuraus. (Ilmonen et al 2010, s. 207) Juvonen et al (2005, s.8) mukaan riski määritellään myös usein todennäköisyyden ja riskin vakavuuden tulona.

Tässä työssä riski tarkoittaa haitallisen tapahtuman todennäköisyyttä ja vakavuutta, vahinkotapahtuman uhkaa. Riski on vaaran todennäköisyyden ja sen aiheuttaminen haittojen tulo. Tämä riskiluku *R*, joka esiintyy myöhemmin riskianalyysissä, saadaan kaavasta:

$$R = T \times (H + M + K) \qquad (8)$$

R = Riskiluku
T = Todennäköisyys
H = Henkilövahingot
M = Materiaalivahingot
K = Keskeytysvahingot

Riskianalyysi vastaavasti on jäsennelty prosessi, joka tunnistaa tarkasteltavasta toiminnasta, laitteistosta tai järjestelmästä johtuvien haitallisten seurausten todennäköisyyden sekä laajuuden. Se on osa riskienhallinnan kokonaisuutta. Riskianalyysin voidaan katsoa tarkoittavan saatavissa olevan tiedon järjestelmällistä käyttämistä vaarojen tunnistamiseksi sekä ihmisiin, omaisuuteen tai ympäristöön kohdistuvan riskin suuruuden arvioimiseksi. Riskin suuruuteen vaikuttaa tapahtuman todennäköisyys sekä seurausten vakavuus. Työssä käsiteltävät riskianalyysimenetelmät ovat pääosin kvalitatiivisia, mutta riskianalyysissä oleva riskiluku määritellään numeerisesti. Kuvassa 24 on esitetty riskianalyysin rakenne lyhyesti. (Heikkilä et al 2007, s.7)



Kuva 24. Riskianalyysin rakenne (mukaillen, Heikkilä et al 2007, s.7)

Entä mihin kysymyksiin riskianalyysi vastaa? Pääsääntöisesti riskianalyysillä etsitään vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Millaiset tapaukset kohteessa voivat johtaa ei-toivottuihin seurauksiin?
- Mitkä ovat seuraukset?
- Mikä on näiden todennäköisyys?

Riskianalyysin voidaan katsoa olevan laadultaan tasokas, kun se vastaa edellä mainittuihin kysymyksiin totuudenmukaisesti sekä kattavasti tilannetta tarkasteltavassa kohteessa. Tämä vaatii, että riskianalyysi on suunniteltava, toteutettava ja dokumentoitava poikkeuksellisen laadukkaasti. (Heikkilä et al 2007, s.7-8)

6.1.1 Hyvän riskianalyysin kriteereitä

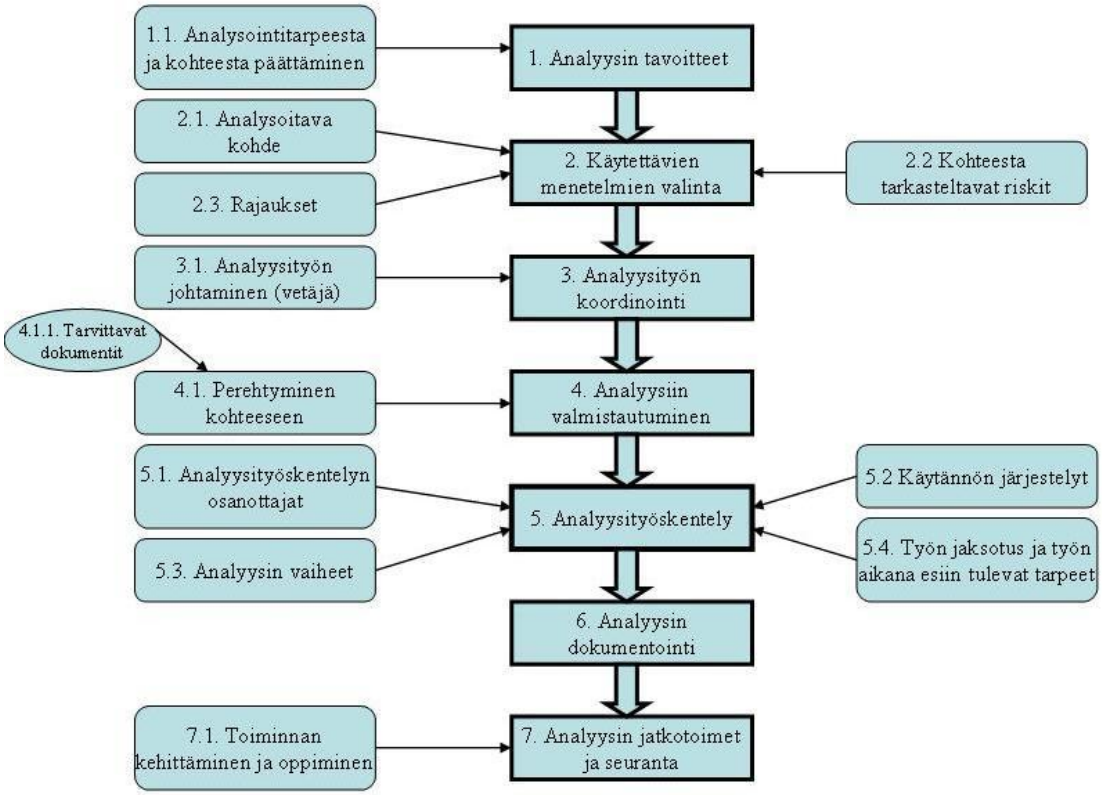
Perusta hyvälle riskianalyysille luodaan riskianalyysin suunnittelu- ja valmisteluvaiheessa eli tavoitteen asettelussa, rajauksien tekemissä ja soveltuvimman analyysimenetelmän valinnassa. Ongelmana voi olla, että esimerkiksi huonosti kohteeseen sopivan analyysimenetelmän valinta johtaa siihen, että kaikkia tavoitteen mukaisia asioita ei saada riskianalyysissä esille. Riskianalyysejä tehdään hyvin erilaisista lähtökohdista, ja niillä on usein hyvin erilaiset tavoitteet. Tästä syystä onkin vaikea löytää tiukkoja kriteerejä laadukkaalle riskianalyysille. Taulukossa 6 on kuitenkin esitetty kuitenkin asioita, jotka näyttelevät suurta roolia jokaisessa hyvässä riskianalyysissä.

Taulukko 6. Hyvän riskianalyysin kriteereitä

Tavoitteen määrittely	• Analyysillä selkeä tavoite ja tulosten käyttötarkoitus
Kohteen rajaus	• Analyysi rajattava asetettujen tavoitteiden mukaisesti
Oikea menetelmä kohteen ja tavoitteen mukaisesti	• Käytettävä riskianalyysimenetelmä valittava tavoitteiden, käytettävissä olevan tiedon sekä asiantuntemuksen perusteella
Lähtötietojen laatu	• Lähtötietoinen kohde ja sen toimintaa kuvaavat dokumentit, piirustukset ja niin edelleen

Vetäjän pätevyys	• Ammattitaitoa vaaditaan tavoitteiden ja rajausten asettamiseen, analyysimenetelmän valintaan kuin toteutuksen hallintaan. Lisäksi on hallittava käytettävä riskianalyysimenetelmä sekä ymmärrettävä tarkasteltavan kohteen toiminta.
Resurssien varaus	• Riskianalyysi perustuu ryhmätyöskentelyyn, vaatii tarvittavien henkilöiden työpanoksen varaamisen tähän työhön
Dokumentointi	• Selkeä ja yksityiskohtainen dokumentointi edellytys analyysin hyödyntämiselle, tulosten arvioimiselle ja niiden myöhemmälle käytölle. Riskianalyysiraportista nähtävä mitä on tehty, miten on tehty, ketkä ovat tehneet ja mitkä ovat keskeiset tulokset ja suositukset.
Tulosten ja toteutuksen tavoitteen mukaisuus	• Riskianalyysi on asetettujen tavoitteiden mukainen ja toteutettu johdonmukaisesti
Tulosten viestintä	• Analyysistä saatavat tulokset on saatava kaikkien kohteeseen jotenkin liittyvien intressiryhmien tietoon.

Näiden yhdeksän hyvän riskianalyysin kriteerin lisäksi laadukkaan riskianalyysin toteutukseen voidaan löytää seitsemän kohdan malli, joka on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Malli riskianalyysin laadukkaasta toteutuksesta (mukaillen Heikkilä et al 2007, s. 13)

6.1.2 Riskianalyysimenetelmä

Tässä työssä riskianalyysi menetelmäksi on valittu potentiaalisten ongelmien analyysi (POA). Tärkeimmät syyt valinnalle voidaan pitää, että menetelmällä saadaan luettelo tunnistetuista vaaroista sekä keskeisimpiin vaaroihin liittyvät onnettomuustekijät. Lisäksi löydetään turvallisuuden kannalta keskeiset järjestelmän osat ja saadaan lähtökohta jatkoanalyysille. (Peltonen et al 2001, s.11) Riskianalyysiä pystytään myös hyödyntämään suunniteltaessa tuotteistusta. Erityisesti analyysistä on hyötyä tuotteistuksen kannalta suunniteltaessa

automaatio- ja mittausratkaisujen sisältöä. Samalla se toimii myös lähtökohtana yhteiselle huolto- ja käyttöohjeistukselle eri lämmöntalteenottoratkaisuille.

Tässä potentiaalisen ongelman analyysissä voidaan katsoa olevan kaksi selkeää vaihetta. Ensimmäinen on häiriöiden ja vaarojen tunnistaminen, ja toinen häiriöiden sekä vaarojen arviointi. Tunnistusvaiheessa on tarkoituksena saada selville kaikki järjestelmän häiriöt ja vaarat, eli ensimmäisen vaiheen tulosteeksi tulee vaaraluettelo. Arviointivaiheessa valitaan jatkokäsiteltävät vaarat ja selvitetään niiden syitä, seurauksia sekä riskin suuruutta.

Potentiaalisten ongelmien analyysillä saadaan tulokseksi luettelo tunnistetuista kohteen vaaroista ja vaaroihin liittyvät onnettomuustekijät sekä mahdolliset seuraukset. Lisäksi selvitetään toimenpide-ehdotuksia vaarallisten tilanteiden minimoimiseksi. Mikäli analyysistä halutaan tehdä kokonaisvaltaisempi, tulisi POA:n rinnalla käyttää myös jotain toista analyysimenetelmää. Potentiaalisten ongelmien menetelmän kiistaton heikkous onkin, että vaarojen etsintä menetelmä ei ole systemaattinen. Toisaalta sillä pystytään tutkimaan nopeasti järjestelmään liittyviä onnettomuusvaaroja ja menetelmä antaa loistavat lähtökohdan jatkoanalyyseille, kuten esimerkiksi laitteistojen huolto- ja käyttöohjeistukselle.

6.2 **Lämmöntalteenottolaitteiston riskianalyysi**

6.2.1 Tavoite

Lämmöntalteenottolaitteiston riskianalyysin tärkein tavoite on etsiä LTO-prosessista järjestelmällisesti vaaraa aiheuttavat tilanteet sekä niiden seuraukset ja todennäköisyys. Tarkoitus on löytää turvallisuuden kannalta keskeiset järjestelmän osat. Riskianalyysi tehdään sellaiseen muotoon, että sitä voidaan tulevaisuudessa täydentää ja monipuolistaa esimerkiksi käyttämällä toista analyysimenetelmää. Lisäksi tämän laitteiston riskianalyysin pohjalta pystytään laatimaan yhteinen huolto- ja käyttöohjeistus uusille ja jo käytössä oleville LTO-

laitteistoille. Lisäksi tulosten pohjalta voidaan pohtia laitteiston tuotteistuksen sisältöä eritoten automaatio- ja mittausratkaisujen osalta.

Analyysin tarkastelu on rajattu tapahtumaan komponentteihin, jotka liittyvät suoraan tai välillisesti lämmön talteenottoprosessiin. Lisäksi analyysin oletuksena on, että riskianalyysin lukijalla on perustiedot vaneritehtaan lämmön talteenoton toiminnasta, eikä itse LTO-prosessia esitellä riskianalyysissä erikseen.

6.2.2 Prosessi

Analyysi laaditaan tässä tapauksessa ryhmätyönä kuuden hengen ryhmässä. Ryhmään kuuluu vetäjän lisäksi asiantuntijoita YIT:n sisältä niin suunnittelu- kuin projektinhoitopuolelta. Asiantuntijoille lämmön talteenotto vaneriteollisuudessa on tuttua, eikä kohteeseen tarvitse sen kummempia perehtyä. Laitteiston riskianalyysin tiimoilta on järjestetty kolme erillistä palaveria 10.11. – 1.12.2010 välisenä aikana. Analyysiryhmän kokoonpano vaihteli eri palavereissa.

Ensimmäisessä palaverissa määritetään analyysityön vetäjän johdolla riskianalyysin tavoite, rajataan kohde sekä käydään lävitse käytettävä riskianalyysimenetelmä. Palaverin jälkeen jokainen ryhmän jäsen pohtii itsenäisesti vähintään viisi vaaraa aiheuttavaa tilannetta LTO-laitteistossa, ja toimittaa ne analyysityön vetäjälle, joka kerää näistä vaaraluettelon.

Toisessa palaverissa valitaan edellisen palaverin tuloksena saadusta vaaraluettelosta ne vaarat, jotka tarvitsevat jatkokäsittelyä. Jatkokäsiteltävistä vaaroista kartoitetaan niiden mahdollisia syitä sekä seurauksia. Lisäksi pohditaan nykyistä varautumista vaaroihin sekä mahdollisia toimenpide-ehdotuksia riskin pienentämiseksi. Kaikki analyysityössä aikaan saadut tiedot täytetään riskianalyysilomakkeelle. Kun kaikki syyt, seuraukset, nykyinen varautuminen ja toimenpide-ehdotukset on selvitetty, määritetään vielä jokaiselle vaaralle riskiluku. Taulukossa 7 on esimerkki kuinka todennäköisyyden ja eri vahinkotyyppien tunnusluvut ovat määritelty tässä vaneritehtaiden

lämmöntalteenottolaitteiston riskianalyysissä. Tunnusluvut ovat arvostettu nollasta kolmeen ja riskiluvun määritykseen käytetään vain kokonaislukuja, jotta riskiluvun muodostuminen saadaan pidettyä riittävän yksinkertaisena, mutta riskit saadaan kuitenkin arvotettua riittävällä tarkkuudella. Riskianalyysilomakkeella esiintyvä riskiluku *R* on määritelty tässä seuraavan kaavan mukaan:

$$R = T \times (H+M+K) \tag{9}$$

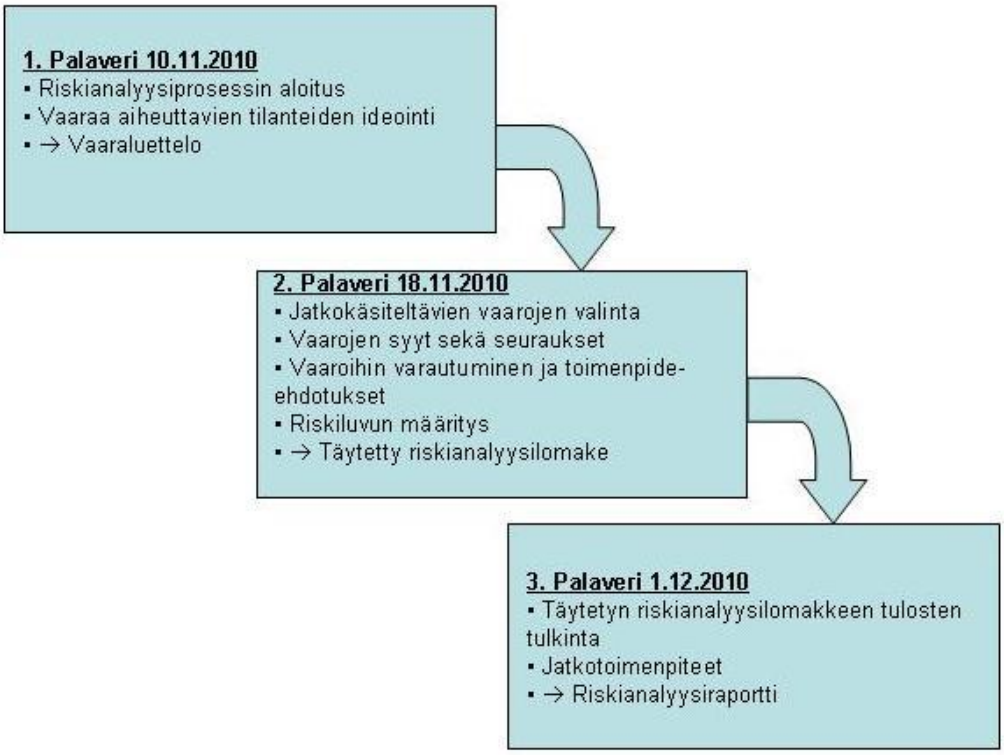
Taulukko 7. Todennäköisyyden ja eri vahinkotyyppien tunnusluvut

Todennäköisyys (T)	
T = 0	Ei mahdollinen
T = 1	Hyvin epätodennäköinen (teoriassa mahdollinen)
T = 2	Lievästi todennäköinen (sattunut joskus)
T = 3	Todennäköinen (sattunut useasti)
Henkilövahingot (H)	
H = 0	Ei henkilövahinkoja
H = 1	Lievä loukkaantuminen mahdollinen
H = 2	Vakava loukkaantuminen mahdollinen
H = 3	Henkilön kuolema mahdollinen
Materiaalivahingot (M)	
M = 0	Ei materiaalivahinkoja
M = 1	Vähäisiä vahinkoja (tuhansia euroja)
M = 2	Merkittäviä vahinkoja (kymmeniätuhansia euroja)
M = 3	Todella merkittäviä vahinkoja (satojatuhansia euroja tai enemmän)

Keskeytysvahingot (K)	
K = 0	Ei keskeytysvahinkoja
K = 1	Ei keskeytysvahinkoja, mutta prosessi häiriintyy
K = 2	Ei keskeytysvahinkoja, mutta prosessi häiriintyy merkittävästi
K = 3	Toiminta keskeytyy

Huomioitavaa on kuitenkin, että riskin suuruuden vertailuluvun määritteleminen tällä tavalla on hyvin subjektiivista. Tärkeää onkin havainnoida, että riskiluvun määrittäminen ei vähennä eikä lisää riskiä, vaan sen avulla voidaan asettaa tunnistetut riskit keskenään järjestykseen.

Kolmannessa riskianalyysipalaverissa riskianalyysilomake on täytetty, ja siinä on tiivistetysti kaikki riskianalyysistä saadut tulokset. Kolmannen palaverin tavoitteena on pohtia saavutettuja tuloksia ja niiden linkittymistä käytäntöön. Lisäksi pohditaan mahdollisia jatkotoimenpiteitä. Sen pohjalta kirjoitetaan myös lopullinen riskianalyysiraportti, josta voidaan myöhemmin havaita mitä on tehty, miten on tehty, ketkä analyysin tekemiseen ovat osallistuneet ja mitä ovat analyysin keskeiset tulokset. Riskikuva ja riskianalyysilomake kokonaisuudessaan ovat esiteltynä liitteessä 2. Kuvassa 26 on esitetty riskianalyysipalaverit sekä niiden sisältö lyhyesti.



Kuva 26. Riskianalyysipalaverit

6.2.3 Keskeiset tulokset

Riskianalyysin ensimmäisen vaiheen tuloksena saatiin kartoitettua 45 eri vaaraa aiheuttavaa tilannetta LTO-prosessissa, ja ne kaikki otettiin jatkokäsittelyyn. Moduulille 1 eli viilunkuivaajan korvausilman LTO:lle sijoittuvia vaaraa aiheuttavia tilanteita tunnistettiin 21, moduulille 2 eli suihkutornille 16 ja sali-ilman LTO:lle eli moduulille 3 sijoittuvia kahdeksan kappaletta. Kuvassa 27 on esitetty tiivistelmä riskianalyysilomakkeen yhdeksästä suurimman riskiluvun riskistä. Liitteessä 2 on esitelty täytetty riskianalyysilomake kokonaisuudessaan.

RISKIANALYYSILOMAKE

Kohde: Vaneritehtaan LTO

Laatijat: JSu, MUS, JML, JTP, IKa, MPu

Pos	Vaaraa aiheuttava tilanne	Syyt	Seuraukset	Toimenpide-ehdotukset	Riski
1	**Tulipalo kuivauskoneessa**	Virhe vanerivalmistus prosessissa	Kuumaa savukaasua LTO-laitteistoon. -> Palon eteneminen talteenottoon.	LTO-laitteisto pysäytetään, pellit ajetaan kiinni, spinklaus	18
6	**Pellit nro HS1 ja HS2 molemmat kiinni ja prosessi käynnissä**	Toimilaitteet / vivustot rikki, virhe ohjauksessa	Ilma ei pääse poistumaan kuivaajalta -> kuivausprosessi keskeytyy -> tulipalovaara	~~Pelti nro 1 poistetaan~~ tai korvataan itsestään sulkeutuvalla pellillä, rajakytkin indikoi kiinni asentoa	14
28	**Tuloveden venttiilin toimintahäiriö, ei avaudu**	Jumissa / toimilaite rikki	Skrubberi on kuiva, kuumenee -> tulipalovaara ja kuivausprosessi keskeytyy.	Poistolämpötilan mittaus skrubberin jälkeen / hälytys. Ohituspelti HS6 aukeaa ja HS5 sulkeutuu	14
34	**Skrubberin tulovesipumppu ei toimi**	Tekninen vika / vika ohjauksessa	Skrubberille ei tule vettä. -> Tulipaloriski.	Poistolämpötilan mittaus skrubberin jälkeen / hälytys. Ohitus. Moottorin virran indikointi / hälytys. Paine-eromittaus	14
27	**Ylivuoto tukossa ja paluuputki tukossa**	Tukkeutunut / mahdollinen sulkuventtiili kiinni. Ylivuoto tukossa / jäässä	Ajaa skrubberin vesikuormaan kokonaisuudessaan. -> Skrubberin kannakkeisiin 11-15 tonnin lisäkuorma. Talteenotto ei toimi, puhallin ja kanavisto vesilastiin.	Ylivuotoputken eristys/saattolämmitys. Rajakytkin pellille.	12
31	**Skrubberin suuttimet tukkeutuneet**	Tulovedessä liikaa liian suuria partikkeleita / väärät suuttimet	Vedensyöttö poikki -> tulipaloriski skrubberissa.	Poistoilmaohitus oltava käytössä. Poistolämpötilanmittaus skrubberin jälkeen. Hälytys + ohitus käyttöön	12
42	**Tulipalo katolla**		Mikäli korvausilmapuhallin päällä tulipalo leviää.	Korvausilmapuhaltimen pitää sulkeutua.	9
33	**Karkea erotin hautomoaltaalla tukkeessa**	Huolto lyöty laimin	Skrubberille ei tule vettä tarpeeksi. Teho laskee. Skrubberille ei tule vettä ollenkaan. -> Tulipaloriski.	Poistolämpötilamittaus, ohitus	7
35	**Puhdistuslaite tulovedessä ei toimi / kiertoveden suodattimet tukossa**	Huollon puute, ei hälyttävää indikointia.	Skrubberille ei tule vettä.-> Tulipaloriski.	Poistolämpötilan mittaus skrubberin jälkeen / hälytys. Ohitus. Moottorin virran indikointi / hälytys. Tai erillinen hälyttävä indikointi suodattimelle (Paine-eromittaus)	7

Kuva 27. Riskianalyysilomakkeen suurimman riskin vaarat tiivistetysti

Vaaraa aiheuttavat tilanteet syntyvät suurimmilta osin mekaanisten toimimattomuuksien tuloksena. Esimerkkeinä tällaisista ovat muun muassa vikatilanteet puhaltimissa ja pelleissä, vuodot sekä tukkeumat vesijärjestelmässä tai vikatilanteet automatiikassa. Riskianalyysin pohjalta havaittiin myös, että mekaanisten toimimattomuuksien lisäksi yksi selkeä tekijä riskien aiheuttajaksi on LTO-laitteiston ohjeistuksen mukaisen huollon laiminlyönti.

Pahimpia seurauksia näille vaaratilanteille ovat laitteistossa syttyvät tulipalot, jotka voivat pahimmassa tapauksessa aiheuttaa mittavia henkilö-, materiaali- sekä keskeytysvahinkoja. Toisaalta on kuitenkin huomioitava, että pienetkin ongelmat

eri vaiheissa LTO-prosessia nostavat vanerin tuotantokustannuksia. Riskilukujen perusteella pystytään havainnoimaan, että LTO-prosessin alkupään vikatilanteet viilunkuivaajassa, viilunkuivaimen korvausilman lämmönvaihtimessa sekä lämmöntalteenottopesurissa aiheuttavat huomattavasti suuremman riskin verrattuna loppuosan ongelmiin. Alkupään ongelmat järjestelmässä aiheuttavat myös huomattavasti suuremman keskeytymisriskin kuin loppupään ongelmat.

6.2.4 Tulosten tulkinta

Täytetyn riskianalyysilomakkeen pohjalta tulkitaan, että lomakkeella esiintyvän riskiluvun noustessa yli kymmenen tulisi lomakkeella esitetyt toimenpide-ehdotukset toteuttaa laitteiston turvallisen ja toimintavarman käytön turvaamiseksi. Nämä toimenpide-ehdotukset tulisi sisällyttää myös perusvarustelutason LTO-ratkaisuihin aina. Riskiluvun ollessa 7…9 lomakkeella olevien toimenpide-ehdotusten toteuttamista pidetään erittäin suositeltavana. Näitä toimenpide-ehdotuksia tulisi sisällyttää korkeamman varustelutason LTO-variaatioissa automaatio- ja mittausratkaisuihin. Vaaratilanteiden joiden riskiluku jää alle seitsemän, toimenpide-ehdotusten toteuttamista ei pidetä pakollisena vaan enemmänkin asioina, joilla järjestelmän käyttövarmuutta ja tehokkuutta saataisiin parannettua. Näiden pienen riskiluvun toimenpide-ehdotusten sisällyttämistä luksusvarustelutason ratkaisuihin tulee harkita tuotteistuksen yhteydessä.

Taulukossa 8 on esitetty vaaraa aiheuttavat tilanteet, joiden riskiluku on yli 10 sekä toteutettava toimenpide-ehdotus. Nämä toimenpide-ehdotukset sisällytettäisiin kaikkiin eri LTO-variaatioiden variantteihin. Ensisijainen toimenpide-ehdotus on lihavoituna taulukossa ja vaaraa aiheuttavat tilanteet on järjestetty suurimmasta riskiluvusta alkaen laskevasti.

Taulukko 8. Riskiluku yli 10, toimenpide-ehdotukset toteutettava

Vaaraa aiheuttava tilanne	**Toteutettava toimenpide**
Pos 1. Tulipalo kuivauskoneessa (R=18)	• **LTO-laitteisto saatava seis!** • **Pellit saatava kiinni!** • Sprinklaus
Pos 6. Pellit HS1 ja HS2 molemmat kiinni ja prosessi käynnissä (R=14)	• **Pelti HS1 korvataan itsestään sulkeutuvalla pellillä** • Rajakytkin indikoimaan kiinni asentoa
Pos 28. Pesurin tuloveden venttiilin toimintahäiriö, ei avaudu (R=14)	• **Poistolämpötilan mittaus** pesurin jälkeen / hälytys • **Ohituspelti HS6 aukeaa ja HS5 sulkeutuu**
Pos 34. Pesurin tulovesipumppu ei toimi (R=14)	• **Poistolämpötilan mittaus** pesurin jälkeen / hälytys • **Ohitus** • Moottorin virran indikointi / hälytys • Paine-eromittaus
Pos 27. Pesurin ylivuoto tukossa ja paluuputki tukossa (R=12)	• **Ylivuotoputken eristys** / saattolämmitys • Rajakytkin pellille
Pos 31. Pesurin suuttimet tukkeutuneet (R=12)	• Poistoilmaohitus oltava käytössä • **Poistolämpötilan mittaus** pesurin jälkeen / hälytys → **ohitus käyttöön**

Taulukosta 8 havaitaan, että kaikkein suurimman riskin koko prosessissa aiheuttaa tulipalo viilunkuivaajassa. Sen seurauksena tulipalo voi edetä talteenottoon, ja vahingot voivat kasvaa todella mittaviksi ellei LTO-laitteistoa saada pysäytettyä ajamalla peltejä kiinni ja sulkemalla LTO-laitteisto. Vaihtoehtoisena

toimenpiteenä tulipalon leviämisen estämiseksi on sprinklaus. Toinen erittäin tärkeä muutos järjestelmään on HS1 pellin korvaaminen itsestään sulkeutuvalla pellillä. Tällöin suljetaan virhetilanteen mahdollisuus, jossa sekä HS1 että HS2 pellit ovat samanaikaisesti kiinni. Näin saadaan estettyä tilanne, jossa ilma ei pääsisi poistumaan viilunkuivaajalta.

Analyysin pohjalta havaittiin myös, että LTO-järjestelmän lämmöntalteenottopesurin tulipaloriskiä saadaan pienennettyä todella merkittävästi pesurin poistolämpötilan mittauksella sekä hälytyksellä liian korkeasta lämpötilasta. Hälytyksen pitää ajaa HS5 pelti kiinni ja HS6 auki, jolloin ohituksen avulla pesurin liiallinen kuumeneminen sekä mahdollinen tulipalo saadaan estettyä. Pesurin ylivuotoputki tulee eristää, jotta se ei pääse jäätymään talvella. Näin saadaan estettyä tilanne, jossa pesuri täyttyisi vesikuormaan kokonaisuudessaan ja aiheuttaisi kymmenientuhansien lisäkuorman kannakkeisiin. Lisäksi on erittäin suositeltavaa, että katolla oleva korvausilmapuhallin saadaan suljettua välittömästi, mikäli katolla syttyy tulipalo. Tällä saadaan mahdollisen tulipalon leviämistä estettyä.

Tärkeää on huomioida, että eri komponenttien säännöllisellä ja oikeanoppisella huollolla voidaan vähentää huomattavasti erityisesti pienemmän riskiluvun ($R \leq 6$) tilanteiden keskeytysvahingon määrää sekä vaikutusta prosessiin. Lisäksi lisäämällä automaatiota eri kohtiin LTO-prosessia, voidaan sen turvallisuutta ja käyttö varmuutta parantaa huomattavasti. Varsinkin vaaraa aiheuttavien tilanteiden seurauksia saataisiin automaation avulla pienennettyä hyvin minimiin. Riskianalyysin yhteydessä havaittiin lisäksi myös, että moduulin yksi eli korvausilman LTO:n pisaranerotin voidaan poistaa kokonaan laitteistosta tarpeettomana, kondenssin ollessa tässä kohtaa prosessia hyvin minimaalista.

6.2.5 Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

Lämmöntalteenottolaitteiston riskianalyysin avulla on tunnistettu suurimmat riskit LTO-prosessista. Erityistä huomiota tulisi kiinnittää suurimman riskiluvun saaneisiin vaaroihin, mutta taustalla on myös syytä muistaa pienempien riskiluvun vaarojen riskienhallinta. Lisäksi täytyy muistaa, että riskianalyysissä ei ole tunnistettu kaikkia riskejä, vaan riskianalyysilomaketta tulee päivittää dynaamisesti. Jatkuva oppiminen niin YIT:n sisällä kuin myös asiakkailta, ja muilta sidosryhmiltä saatava informaatio lisäävät tietoa prosessin vaaroista sekä ongelmista. Tietoja pitääkin päivittää säännöllisesti, jotta riskianalyysi pysyy ajan tasalla. Lisäksi toisen riskianalyysimenetelmän käyttöä LTO-laitteiston riskien kartoittamiseen tulevaisuudessa tulee harkita erittäin vakavasti. Tämän avulla riskianalyysin saataisiin uusia ulottuvuuksia eri lähestymisnäkökulman ansiosta. Esimerkiksi HAZOP-poikkeamatarkastelun avulla havaittaisiin mahdollisesti kokonaan uusia riskejä LTO-prosesissa.

Poikkeuksellisen tärkeää on muistaa, että pelkkä riskianalyysin tekeminen ja vaarojen tunnistaminen ei pienennä vielä riskiä ollenkaan. Riskiä pystytään pienentämään riskianalyysilomakkeella esiintyvien toimenpide-ehdotusten toteuttamisella huomattavasti. Ongelmaksi nousee kuitenkin se, että mitenkä nämä toimenpide-ehdotukset saadaan näyttämään tarpeeksi kannattavilta asiakkaan kannalta ja myytyä ne. Onnistunut tuotteistuksen toteutus auttaa tässä kuitenkin suuresti. Suurin ongelma lienee erilaisten automatiikka- ja mitoitusratkaisujen myyminen ja asentaminen vanhoihin jo käytössä oleviin vaneritehtaisiin.

Olennainen tulos riskianalyysissä on, että lämmöntalteenottoratkaisujen tuotteistuksen yhteydessä suurten riskilukujen vaaroihin ehdotetut toimenpide-ehdotukset tulee upottaa automaattisesti jokaiseen eri varianttiin riittävän turvallisen laitteiston käytön takaamiseksi. Korkeamman varustelutason variantteihin pienempien riskilukujen positioihin ehdotetut toimenpiteet tulee sisällyttää harkinnan mukaan. Tuotteistuksen yhteydessä on kuitenkin tarkkaan mietittävä mitä sammutus-, automaatio- ja mittausratkaisuja tuotteisiin kannattaa sisällyttää, jotta ne tuottavat asiakkaiden laitoksilla oikeasti lisäarvoa. Oikeilla

ratkaisuilla voidaan saada markkinoille erittäin toimintavarma ja tehokas luksusvarustelutason lämmöntalteenoton lippulaivatuote.

Riskianalyysin tuloksia pystytään myös hyödyntämään tehdessä yhteisiä huolto- ja käyttöohjeita uusille sekä jo käytössä oleville lämmöntalteenottolaitteistoille. Tärkeää on kuitenkin huomioida, että riskianalyysi ei ota kantaa ollenkaan huoltotöiden aikana syntyviin riskeihin, vaan huomioi ainoastaan laitteiston käytön teknisiä riskejä. Laitteiston yhteisiä huolto- ja käyttöohjeita luodessa onkin tärkeää huomioida huoltotoimenpiteissä mahdollisesti syntyvät vaarat.

7 TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI

7.1 Työn keskeiset tulokset

Työn keskeisin tulos on lämmöntalteenoton tuotearkkitehtuurin muuttaminen modulaariseksi. Lämmöntalteenottovariaatioille ja varsinkin niiden eri komponenteille on löydettävä tietyt standardiratkaisut sekä yhteiset rajapinnat. Työssä esitellyistä viidestä eri lämmöntalteenottovariaatiosta saadaan kolmen eri varustelutason eli variantin avulla yhteensä 15 (3+3+3+3+3) erilaista ratkaisua. Näillä pystytään korvaamaan aiemmin asiakkaille tarjotut täysin yksilöllisesti räätälöidyt ratkaisut.

Tuotteistuksen perustaksi on siis otettava modulaarinen tuoterakenne, jonka avulla pystytään vastaamaan huomattavasti aiempaa tehokkaammin, kattavammin ja nopeammin eri markkina-alueiden dynaamisesti muuttuviin asiakastarpeisiin. Modulaarinen tuoterakenteen kiistaton vahvuus on myös se, että erilaisia lämmöntalteenottoratkaisuja voidaan päivittää ja modernisoida huomattavasti aiempaa helpommin kiitos yhtenäisten rajapintojen. Tämän ansiosta pystytään vastaamaan eri markkina-alueiden erilaisiin asiakastarpeisiin aiempaa huomattavasti tehokkaammin. Euroopan ja Pohjois-Amerikan kehittyneille markkinoille voidaan tarjota valmiisiin laitteistoihin modernisointiratkaisuja. Vastaavasti taas Aasian kehittyville markkinoille voidaan tarjota kokonaan uusia lämmöntalteenottolaitteistoja. Viiden eri lämmöntalteenottovariaation ja jokaiselle variaatiolle tarjottavien kolmen eri variantin eli varustelutason avulla pystytään vastaamaan eri markkina-alueiden erilaisiin vaatimuksiin.

Standardoidut ratkaisut edesauttavat myös yhteistyön kehittämistä eri sidosryhmien ja yhteistyökumppaneiden kanssa. Yhteistyökumppaneiden kanssa luodut standardoidut ratkaisut luovat synergiaetuja, jotka mahdollistavat kilpailuedun saavuttamisen kilpailijoihin nähden. Tuotteistuksen myötä luotavat standardit vakiinnuttavat lisäksi yrityksen omia toimintatapoja. Tämän ansiosta työprosessit systematisoituvat, suunnittelun työmäärä vähenee huomattavasti,

asennuksen aikainen työturvallisuus paranee merkittävästi ja esimerkiksi uusien työntekijöiden perehdytys helpottuu aiemmasta. Aluksi tuotteistuksen luominen ja varsinkin standardointi sitoo resursseja, mutta sillä saavutettavat hyödyt ovat niin suuret, että se kannattaa. Lisäksi lämmöntalteenottolaitteiston tuotteistuksen yksi kiistaton puolestapuhuja on se, että tuotteistus helpottaa laitteistojen myyntiä ja markkinointia varsinkin kokonaan uusilla markkina-alueilla.

Kannattavuus laskelmien keskeisenä tuloksena on saatu eri moduulien suuntaa-antavat energiasäästöt, joista huomion arvoisena lämmöntalteenottopesurilla talteen saatavien vuotuisten energiansäästöjen suuruus. Lisäksi kaikkien eri variaatioiden takaisinmaksuajat pysyvät todella alhaisina peilatessa laitteiston 20 vuoden pitoaikaan. Esimerkiksi pelkkä lämmöntalteenottopesuri maksaa itsensä takaisin alle vuodessa, ja näin ollen pääomantuottoaste on yli 100 %. Tärkeä on kuitenkin tiedostaa, että takaisinmaksuajat ovat vain suuntaa-antavia. Laskelmat huomioivat vain moduulien asentamiseen tarvittavat kustannukset. Huomioimatta jäävät eri projekteissa paljon vaihtelevat kanava-asennukset, vesijärjestelmät ja muut vaadittavat rakennustekniset työt.

Potentiaalisten ongelmien analyysillä on löydetty suurimmat tekniset riskit lämmöntalteenottoprosessista. Suurin huomio on kiinnitettävä suuren riskiluvun saaneisiin vaaroihin, ja niiden toimenpide-ehdotusten toteuttamiseen niin tulevissa kuin nykyisissä laitteistoissa. Riskianalyysin tuloksia tulee myös hyödyntää tuotteistuksen yhteydessä, varsinkin kun pohditaan eri varustelutasojen sisältöä. Taustalla on myös muistettava pienempien riskiluvun vaarojen riskienhallinta. Jatkuva oppiminen niin YIT:n sisällä kuin asiakkailta näyttelee suurta roolia riskienhallinnassa. Riskianalyysilomaketta on päivitettävä tulevaisuudessa dynaamisesti, jotta siitä on oikeasti hyötyä ja se pysyy ajan tasalla. Tärkeä on myös muistaa, että pelkkä riskianalyysin tekeminen ja vaarojen tunnistaminen ei pienennä vielä laitteiston riskiä ollenkaan. Turvallisuutta saadaan parannettua vasta, kun analyysissä esitettyjä toimenpide-ehdotuksia toteutetaan todellisuudessa.

7.2 Tulosten arviointi

Huomioitavaa on, että kaikki työssä esitetyt kehitysehdotukset ovat vain ehdotelmia. Muun muassa tuotteistuksen ja standardien tekniseen sisältöön ei tässä diplomityössä ole otettu tarkemmin kantaa, vaan pohdittu niille lähinnä tulevaisuuden suuntaviivoja.

Kannattavuuslaskelmien ja lämmöntalteenottolaitteiston teknisen riskianalyysin tuloksia arvioitaessa on huomioitava, että tulokset ovat Suomen olosuhteissa saatuja. Esimerkiksi eri puulajien ominaisuudet saattaisivat vaikuttaa laitteiston riskianalyysissä huomioitaviin vaaratilanteiden syntyyn. Vastaavasti erilaiset ilmasto-olot vaikuttaisivat laitteistoilla saavutettaviin energiasäästöihin ja sitä kautta niiden kannattavuuteen. Toisaalta kannattavuuslaskelmien tuloksia arvioitaessa tulee muistaa, että suurin osa maailman vaneritehtaista sijaitsee alueilla, joissa ilmasto-olot ovat melko lähellä Suomen vastaavia. Tärkeää on kuitenkin huomioida, että esimerkiksi Siperiassa lämmöntalteenoton hyödyntäminen on varmasti erittäin kannattavaa, mutta alueen ilmasto saattaa luoda laitteistoille riskejä, joita ei esimerkiksi Suomen oloissa tarvitse huomioida. Riskit olisikin kartoitettava kyseen omaisessa tapauksessa erittäin tarkasti.

7.3 Jatkotoimenpiteet ja suositukset

Jotta tuotteistuksesta olisi kiistatonta hyötyä, tulisi ensimmäisenä määrittää lämmöntalteenottolaitteiston moduuleille selkeät sekä yksiselitteiset standardit ja rajapinnat. Näin ollen modulaarisesti tuoterakenteesta saataisiin kaikki hyöty irti. Standardit ja rajapinnat tulisi määrittää yhteistyössä sidosryhmien kanssa ja ne tulisi vakioida. Tämä sitoisi resursseja aluksi paljonkin eritoten suunnittelun saralla, mutta myöhemmässä vaiheessa saavutettavat edut ovat kiistattomat. Yksi olennainen kysymys on myös, että pitäisikö neljänneksi moduuliksi valita LTO-järjestelmän vesijärjestelmä. Näin pystyttäisiin asiakkaalle toimittamaan aiempaa parempi kokonaisuus, mutta toisaalta tämä vaatisi YIT:ltä lisää asiantuntemusta. Standardien ja rajapintojen yhtenäistämisen jälkeen voidaan määritellä varianttien

varustelutason tarkka sisältö. Tämä tulisi tehdä tiiviissä yhteistyössä sidosryhmien kanssa.

Jotta tuotteistuksesta ja modulaarisesta tuoterakenteesta saataisiin maksimaalinen hyöty, tulisi myynnin ja markkinoinnin tueksi harkita myynnin konfiguraattorin lanseeraamista. Myynnin konfiguraattori sisältäisi rajoitukset sallituille tuoterakenne kombinaatioille sekä asiakas- ja markkinakohtaiset hinnastot. Sen avulla pystytään tarjoamaan asiakkaille laajaa tuotevalikoimaa tehokkaasti, sekä näyttämään tietyn variaation hinta nopeasti. Myynnin konfiguraattorin ansiosta myyjällä ei tarvitsisi olla niin paljoa teknistä tietoa itse tuotteesta, ja konfiguraattorin avulla lämmöntalteenoton erilaisia tuotevariaatioita voitaisiin selailla tehokkaasti. Tämä auttaisi lämmöntalteenoton myyntiä ja markkinointia varsinkin täysin uusilla markkina-alueilla. Lisäksi nopeasti ja kerralla oikein laadittu tarjous olisi kiistaton kilpailuetu. Ennen konfiguraattorin suunnittelu tulisi kuitenkin eri lämmöntalteenoton moduuleille löytää yhteiset standardit ja rajapinnat, sekä eri variaatioiden varianteille eksaktit ratkaisut.

Lisäksi ilmastomääräysten jatkuva kiristyminen tuo mahdollisesti tulevaisuudessa paineita tuoda markkinoille ekologisen varustelutason kolmen aiemmin työssä esitellyn seuraksi. Ekologisen varustelutason avulla asiakas pystyisi vähentämään vanerinvalmistuksessa syntyviä päästöjä. Tämän varustelutason lähtökohdaksi tulisi saada moduuliin yksi toimiva standardiratkaisuja lämmönvaihtimen ja puhdistuslaitteen välille.

8 YHTEENVETO

Diplomityö on tehty YIT Teollisuuden IV-ratkaisuille osana vaneriteollisuuden lämmöntalteenottoon liittyvää tutkimus- ja kehitysprojektia. Tavoitteena on ollut tutkia lämmöntalteenoton tuotearkkitehtuuria sekä tuotteistuksen järkevyyttä erilaisille asiakastarpeille. Työssä on lisäksi analysoitu erilaisten lämmöntalteenottovariaatioiden takaisinmaksuaikoja, ja tätä kautta eri variaatioiden kannattavuutta. Lämmöntalteenottolaitteistolle on tehty työssä riskianalyysi, jossa on kartoitettu laitteiston keskeisimmät tekniset riskit, sekä luotu toimenpide-ehdotuksia laitteiston tehokkaamman ja turvallisemman käytön takaamiseksi. Seuraavissa kolmessa kappaleessa on esitelty työssä keskeisessä osassa olevien tuotteistuksen, kannattavuuden sekä riskianalyysin lähtökohdat, pääsisältö, tulokset sekä päätelmät.

8.1 Tuotteistus

Tuotteistuksen lähtökohdaksi on otettu eri markkina-alueiden erilainen asiakastarve sekä modulaarinen tuoterakenne, jonka avulla erilaisiin asiakastarpeisiin pystytään vastaamaan huomattavasti aiempaa tehokkaammin ja paremmin. Kiristyvät ilmastomääräykset ja asiakasyhteistyön kautta avautuvat täysin uudet markkinat vaativat niin suunnittelulta, projektinhoidolta kuin myynniltä uutta lähtökohtaa lämmöntalteenottoprojekteihin. Vanhoja asiakkaita tulisi pystyä palvelemaan aiemmin toimitettuja laitteistoja modernisoimalla, kun taas vastaavasti uusien markkina-alueiden uusille asiakkaille pitäisi pystyä toimittamaan kokonaan uusia lämmöntalteenottolaitteistoja.

Modulaarisen tuoterakenteen avulla pystytään asiakkaille tarjoamaan viittä eri lämmöntalteenottovariaatiota, joihin jokaiseen on saatavilla kolme erilaista varustelutasoa. Tuotteistuksen eri varustelutasot sisältävät perusvarustelutason lisäksi korkeavarustelutason sekä luksusvarustelutason. Perusvarustelutaso sisältää vain laitteiston turvallisuuden kannalta välttämättömät ratkaisut.

Korkeavarustelutaso, sisältää perusvarustelutasoa enemmän automaatio- sekä mittausratkaisuja. Kolmas varustelutaso eli luksusvarustelutaso sisältää vastaavasti edelliseen varustelutasoon lisättynä muun muassa erilaisia varajärjestelmiä, jotta lämmöntalteenoton häiriötön toiminta pystytään takaamaan. Näillä viidellä eri variaatiolla ja niiden kolmella eri varustelutasolla pystytään vastaamaan eri markkina-alueiden erilaisiin asiakastarpeisiin huomattavasti aiempaa kattavammin sekä tehokkaammin.

Moduuleiden standardoinnin sekä yhtenäisten rajapintojen ansioista suunnittelun, projektinhoidon ja asennuksen työmäärät vähenevät sekä variaatioita pystytään päivittämään jälkikäteen huomattavasti aiempaa helpommin. Standardit ja yhtenäiset rajapinnat myös helpottavat kiistatta laitteistojen modernisointia esimerkiksi ilmastomääräysten kiristyessä. Kun tuotteistuksen tarkempi tekninen sisältö, standardit ja rajapinnat ovat saatu määriteltyä, tulee myynnin ja markkinoinnin tueksi harkita vahvasti myyntikonfiguraattorin lanseeraamista. Sen avulla asiakkaille pystytään helposti näyttämään erilaisten variaatioiden energian säästöt sekä hinnan muodostuminen. Myyntikonfiguraattori helpottaa lisäksi esimerkiksi asiakkaan mahdollista ostopäätöstä sekä edesauttaa yrityksen myyntityön tekemistä, varsinkin täysin uusilla markkina-alueilla.

8.2 **Kannattavuus**

Kannattavuuslaskelmien tavoitteena on näyttää mahdollisimman yksinkertaisesti asiakkaille eri lämmöntalteenottoratkaisujen vuotuiset energiasäästöt sekä takaisinmaksuajat. Laskelmat osoittavat, että eri variaatioilla saavutetaan tuntuvia vuotuisia energiasäästöjä. Lisäksi takaisinmaksuajat pysyvät todella lyhyinä ja pääomantuottoaste tietyillä variaatioilla kiistattoman korkeana. Tärkeää on kuitenkin huomioida, että takaisinmaksuajat ovat vain suuntaa-antavia, koska laskelmat eivät huomioi muun muassa lämmöntalteenottoinvestoinnin aiheuttavia rakennusteknisiä töitä tai vesijärjestelmään tehtäviä töitä.

Laskelmat myös osoittavat, että mikäli ilmastomääräysten kiristyessä puhdistuslaite tulee pakollisiksi viilunkuivaajien yhteyteen, niin uuden innovaation eli viilunkuivaimen korvausilman lämmöntalteenoton asentaminen puhdistuslaitteen yhteyteen on kannattavaa. Yhteistyöllä asiakasyritysten kanssa, ja näiden kahden komponentin integroimisella voidaan luoda mittavaa kilpailuetua varsinkin laitteistojen modernisointiprojekteja silmälläpitäen. Kannattavuuslaskelmien laskentamalleja voidaan lisäksi hyödyntää myöhemmässä vaiheessa.

8.3 **Riskianalyysi**

Lämmöntalteenottolaitteiston teknisen riskianalyysin päätavoitteena on kehittää toimiva riskianalyysimenetelmä laitteiston teknisten riskien kartoittamiseen, ja löytää lämmöntalteenottoprosessista järjetelmällisesti vaaraa aiheuttavat tilanteet sekä niiden seuraukset että todennäköisyys. Tarkoitus on löytää turvallisuuden kannalta keskeiset järjestelmän osat, sekä toimenpide-ehdotuksia laitteiston turvallisen ja tehokkaan käytön takaamiseksi. Analyysistä saatavia toimenpide-ehdotuksia pystytään hyödyntämään suunniteltaessa ja toteutettaessa lämmöntalteenottoratkaisujen tuotteistusta. Lisäksi analyysin tuloksia voidaan käyttää hyväksi yhteisen huolto- ja käyttöohjeistuksen teossa uusille sekä jo käytössä olevilla lämmöntalteenottolaitteistoille.

Riskianalyysin keskeisimpinä tuloksina saatiin kartoitettua 45 erilaista vaaraa aiheuttavaa tilannetta laitteistossa. Tilanteet aiheutuvat pääsääntöisesti jonkun mekaanisen toimimattomuuden tuloksena. Kuusi kappaletta näistä vaaraa aiheuttavista tuloksista tulkittiin riskiluvultaan niin suureksi, että niiden toimenpide-ehdotukset on toteutettava automaattisesti jokaisessa eri lämmöntalteenottoratkaisussa aina perusvarustelutasosta alkaen. Riskiluvultaan pienempien vaarojen toimenpide-ehdotuksia pystytään hyödyntämään pohtiessa automatiikka- ja mittausratkaisujen sisältöä tuotteistuksen yhteydessä.

LÄHTEET

Apilo, T., Kulmala, H. I., Kärkkäinen, H., Lampela, H., Mikkola, M., Nevalainen, Papinniemi, J., Ruohomäki, I. & Valjakka, T. 2008. Tuotekehitysverkostojen uudet toimintamallit. Tampere:

Baldwin, R. F. 1995. Plywood and Veneer-based Products: Manufacturing Practices. San Francisco: Miller Freeman.

Ericsson, A. & Erixon G. 1999. Controlling Design Variants: Modular Product Platforms. Michigan: Society of Manufacturing Engineers

Haverila, M. J., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2005. Teollisuustalous. 5. p. Tampere: Infacs.

Heikkilä, A-M., Murtonen, M., Nissilä, M., Virolainen, K. & Hämäläinen, P. 2007. Riskianalyysin laatu: vaatimukset tilaajalle ja toteuttajalle. Tampere: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Tutkimusraportti VTT-R-03718-07.

Huang, C-C. 2000. Overview of Modular Product Development. Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A). Vol 24, No 3. Pp. 149-165.

Ilmonen, I., Kallio, J., Koskinen, J. & Rajamäki, M. 2010. Johda riskejä - käytännön opas yrityksen riskienhallintaan. Helsinki: Tammi.

Juvonen, M., Korhonen H., Ojala, V. M., Salonen T. & Vuori H. 2005. Yrityksen riskienhallinta. Helsinki: Suomen vakuutusalan koulutus ja kustannus.

Karjalainen, S. 1986. Lämmön talteenotto vaneri- ja lastulevytehtaan kosteista poistoilmoista ja savukaasuista kiertoveteen ja siirto lämpöpumpulla kunnan aluelämpöjärjestelmään. Vantaa: Erikoissuunnittelu.

Kasanen, E., Lukka, K. & Siitonen, A. 1991. Konstruktiivinen tutkimusote liiketaloustieteessä. Liiketaloustieteen Aikakausikirja. Vol 40 No. 3, s. 301-329.

Kauppi, I. 2006. Vaneri- ja kertopuutehtaiden kuivatuskoneiden lämmöntalteenottojen järjestelmäselvitys. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energia- ja ympäristötekniikan osasto.

Koponen, H. 1995. Puulevytuotanto. Espoo: Opetushallitus.

Krokida, M. K. & Bisharat G. I. 2004. Heat recovery from Dryer Exhaust Air. Drying Technology Vol 22, No. 7, pp. 1661-1674.

Kärri T. & Uusi-Rauva E. 2003. Investointiprojektin kustannussuunnittelun perusteet. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tuotantotalouden osasto. Opetusmoniste.

Metsäteollisuus ry. 2000. Avain Suomen metsäteollisuuteen. Helsinki: Libris.

Metsäteollisuuden Tilastopalvelu Tilda 2010. Maailman puulevyteollisuus [verkkodokumentti]. [Viitattu 26.10.2010]. Saatavilla http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu2/Tilastokuviot/levyteollisuus/Forms/AllItems.aspx

Meyer, M., H. 1997. Revitalize Your Product Lines Through Continuous Platform Renewal. Research Technology Management. Vol 40, No 2. pp. 17-28.

Parantainen, J. 2007. Tuotteistaminen, rakenna palvelusta tuote 10 päivässä. Helsinki: Talentum.

Peltonen, M., Pursio, S. & Välisalo T. 2001. Riskianalyysimenetelmät ja niiden arviointi. Menetelmien edut ja rajoitukset projektiriskien analysoinnissa. Tampere: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Raportti RIS B024.

Sarkomaa, P. 1994. Teollisuuden energian säästöprosessien kustannusarviot ja investoinnin kannattavuus. Lappeenranta: Lappeenrannan Teknillinen Korkeakoulu (LTKK). Tutkimusraportti EN B-92.

Seppänen, O. 1987. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. LVI-Kustannus

Soronen O. 1999. Massaräätälöinti asiakasmyötäisessä tuotannossa. Helsinki: Metalliteollisuuden Keskusliitto, MET.

Uusitalo, T., Tiihonen, J., Virolainen, K., Nissilä, M., Murtonen, M. & Ruuhilehto K. 2007. Riskianalyysin menetelmät - VTT Tuotteet ja tuotanto[verkkodokumentti]. [Viitattu 22.10.2010]. Saatavilla http://www.vtt.fi/proj/riskianalyysit/index.jsp

YIT 2011. Konsernin oma data.

YIT Teollisuus 2011. Yrityksen oma data.

Moduuli 1, kuivaimen LTO					
Teho, P_1		250	kW	400	kW
Moduulin käyttötunnit, T_{k1}		7200	h	7200	h
Energiansäästö, S_{e1}		**1800000**	kWh	**2880000**	kWh
Vuotuinen säästö, S_1		**72000**	€	**115200**	€
Huoltokustannukset, K_{h1}		1920	€	1920	€
Muut kustannukset, K_{m1}		136	€	306	€
Käyttökustannukset, K_{k1}		31680	€	31680	€
Kokonaiskustannukset, K_{tot1}		**33736**	€	**33906**	€
Investointikustannus, I_1			€		€
Takaisinmaksuaika, T_{t1}		**1,9-2,3**	a	**1,2-1,6**	a
Korollinen takaisinmaksuaika, T_{tk1}		**2,1-2,5**	a	**1,3-1,7**	a

Moduuli 2, pesuri					
Teho, P_2		1800	kW	3200	kW
Moduulin Käyttötunnit, T_{k2}		4320	h	4320	h
Energiansäästö, S_{e2}		**7776000**	kWh	**13824000**	kWh
Vuotuinen säästö, S_2		**155520**	€	**276480**	€
Huoltokustannukset, K_{h2}		2304	€	2304	€
Muut kustannukset, K_{m2}		0	€	0	€
Käyttökustannukset, K_{k2}		21600	€	21600	€
Kokonaiskustannukset, K_{tot2}		**23904**	€	**23904**	€
Investointikustannus, I_2			€		€
Takaisinmaksuaika, T_{t2}		**0,6-1,0**	a	**0,3-0,7**	a
Korollinen takaisinmaksuaika, T_{tk2}		**0,6-1,0**	a	**0,3-0,7**	a

Oletukset:

Omahuolto, $K_{h'}$	32	€ / h
Ulkopuolinenhuolto, K_h	44	€ / h
Sähköenergia, E_s	0,1	€ / kWh
Lämpöenergia, E_{l1}	0,04	€ / kWh
Lämpöenergia, E_{l2}	0,02	€/kWh
Lämpöenergia, E_{l3}	0,03	€/kWh
Laskentakorkokanta, i	7,00 %	

Moduuli 3, sali-ilman LTO					
Teho, P_3		450	kW	750	kW
Moduulin Käyttötunnit, T_{k3}		7200	h	7200	h
Energiansäästö, S_{e3}		**3240000**	kWh	**5400000**	kWh
Vuotuinen säästö, S_3		**97200**	€	**162000**	€
Huoltokustannukset, K_{h3}		2688	€	2688	€
Muut kustannukset, K_{m3}		680	€	1020	€
Käyttökustannukset, K_{k3}		39600	€	39600	€
Kokonaiskustannukset, K_{tot3}		**42968**	€	**43308**	€
Investointikustannus, I_3			€		€
Takaisinmaksuaika, T_{t3}		**3,1-3,5**	a	**1,7-2,1**	a
Korollinen takaisinmaksuaika, T_{tk3}		**3,7-4,1**	a	**1,8-2,0**	a

Variaatio I					
Teho, P_{123}		2500	kW	4350	kW
Energiansäästö, Se_{123}		**12816000**	kWh	**22104000**	kWh
Vuotuinen säästö, S_{123}		**324720**	€	**553680**	€
Kokonaiskustannukset, K_{tot123}		**100608**	€	**101118**	€
Investointikustannus, I_{123}			€		€
Takaisinmaksuaika, T_{t123}		**1,3-1,7**	a	**0,8-1,2**	a
Korollinen takaisinmaksuaika, T_{tk123}		**1,4-1,8**	a	**0,8-1,2**	a

Variaatio II					
Teho, P_{23}		2250	kW	3950	kW
Energiansäästö, Se_{23}		**11016000**	kWh	**19224000**	kWh
Vuotuinen säästö, S_{23}		**252720**	€	**438480**	€
Kokonaiskustannukset, K_{tot23}		**66872**	€	**67212**	€
Investointikustannus, I_{23}			€		€
Takaisinmaksuaika, T_{t23}		**1,2-1,6**	a	**0,7-1,1**	a
Korollinen takaisinmaksuaika, T_{tk23}		**1,4-1,8**	a	**0,8-1,2**	a

Variaatio III					
Teho, P_{12}		2050	kW	3600	kW
Energiasäästö, S_{e12}		**9576000**	kWh	**16704000**	kWh
Vuotuinen säästö, S_{12}		**227520**	€	**391680**	€
Kokonaiskustannukset, K_{tot12}		**57640**	€	**57810**	€
Investointikustannus, I_{12}			€		€
Takaisinmaksuaika, T_{t12}		**0,8-1,2**	a	**0,5-0,9**	a
Korollinen takaisinmaksuaika, T_{tk12}		**0,9-1,3**	a	**0,5-0,9**	a

Variaatio IV, katso moduuli 2
Variaatio V, katso moduuli 1

Liite 2

RISKIANALYYSILOMAKE

Kohde: Vaneritehtaan LTO

Laatijat: JSu, MUS, JML, JTP, IKa, MPu

Pos	Vaaraa aiheuttava tilanne	Syyt	Seuraukset	Nyk. varautuminen	Toimenpide-ehdotukset	Tod	Henk	Mat	Kesk	Riski	Muuta
	PUHDISTUSLAITE + KUIVAIMEN KORVAUSILMAN LTO + BY-PASS ILMAOTTO										
R0	Puhallin R0 ei toimi	Vika puhaltimessa, vika ohjaimessa	Koko LTO-prosessi ei toimi -> kuivaaja sammuu, koska kosteus ei poistu		Varapuhallin	1	0	1	3	**4**	
1	Tulipalo kuivauskoneessa	Virhe vanerivalmistus prosessissa	Kuumaa savukaasua LTO-laitteistoon. -> Palon eteneminen talteenottoon.		LTO-laitteisto pysäytetään, pellit ajetaan kiinni, spinklaus	2	3	3	3	**18**	
1.1	~~Käyttökatko~~		~~Lämmöntuotto loppuu --> kylmää ilmaa halliin~~		Automatiikan toiminta mietittävä, sen mukaan miten YIT:n laitteistot toimivat	~~3~~	~~0~~	~~0~~	~~0~~	**~~0~~**	
2	Puhdistuslaite ei käytössä	Ohitetaan esimerkiksi huollon takia / puhdistuslaite ei toimi	Kuivaajan poistoilma puhdistamattomana LTO-laitteelle -> vaihtimet ja putkistot likaantuu -> tulipaloriski kasvaa		Ohitetaan talteenotto, ohjaus automaatiosta.	3	0	1	1	**6**	
3	Kuivaajan poistoilman lämpötila alhainen	Käynnistysvaihe, ei viilunsyöttöä.	Talteenoton teho laskee	Puhdistuslaitteen jälkeinen ohitus, palautus viilunkuivaajan korvausilmaan.		3	0	0	1	**3**	Normaalia käyttöä
4	Poistopelti HS1 ei sulkeudu, kun talteenotto toiminnassa, talteenoton pelti HS2 auki	Toimilaite / vivustot rikki	Osa poistoilmasta voi ohittaa LTO:n tai poistopiipussa virtausta takaisinpäin, jos korvausilmapuhallin ei tasapainossa poistopuhaltimen kanssa. -> LTO:n teho heikkenee, mikäli siihen sekoittuu ulkoilmaa.		Harkittava muiden tilanteiden takia ~~pellin nro 1 poistamista /~~ itsestään sulkeutuva pelti. Kiinniasennon indikointi.	1	0	0	1	**1**	
5	Poistopelti HS1 ei sulkeudu, kun talteenotto toiminnassa, talteenoton pelti HS2 ei avaudu	Toimilaite / vivustot rikki	Kuivaaja ei saa korvausilmaa. Painesäätö nostaa korvausilmapuhaltimen kierroksia. Kuivausilma puhalletaan suoraan ulos. -> Kone ei siis saa korvausilmaa ja kuivausprosessi keskeytyy. ~~Aiheutuuko tulipalovaara?~~		Hälytys korvauspellin nro 2 asennosta / erillinen asentorajakytkin. Peltien toiminnan tarkistus säännöllisesti. Lämpötilamittaus.	1	0	1	2	**3**	
6	Pellit nro HS1 ja HS2 molemmat kiinni ja prosessi käynnissä	Toimilaitteet / vivustot rikki, virhe ohjauksessa	Ilma ei pääse poistumaan kuivaajalta -> kuivausprosessi keskeytyy -> tulipalovaara		~~Pelti nro 1 poistetaan~~ tai korvataan itsestään sulkeutuvalla pellillä, rajakytkin indikoi kiinni asentoa	2	3	2	2	**14**	**EI SAA TAPAHTUA!**
7	Kuivaimen korvausilma LTO laitteen tukkeutuminen kuuman ilman puolelta	Puhdistuslaitteisto ei toimi oikein	Kuivaaja ei saa kuumaa korvausilmaa, käyttökulut nousee Jos ei ohitusta->Loput LTO laitteet eivät saa lämpöä	~~Ohitus LTO laitteelle~~	Säännöllinen huolto, paine-eromittaus vaihtimen yli?	1	0	1	2	**3**	Ei syytä toimenpiteille.

RISKIANALYYSILOMAKE

Kohde: Vaneritehtaan LTO

Laatijat: JSu, MUS, JML, JTP, IKa, MPu

Pos	Vaaraa aiheuttava tilanne	Syyt	Seuraukset	Nyk. varautuminen	Toimenpide-ehdotukset	Tod	Henk	Mat	Kesk	Riski	Muuta
8	Kuivaimen korvausilma LTO laitteen suodattimen tukkeutuminen sali-ilman puolelta	Huolto lyöty laimin	Kuivaaja ei saa riittävästi kuumaa korvausilmaa, käyttökulut nousee		Säännöllinen huolto, paine-eromittaus suojaa osittain, puhaltimen paineohjaus	2	0	1	1	**4**	
~~9~~	~~Kuivaimen korvausilma LTO pisaranerottimen tukkeutuminen kuumanilman puolelta~~	~~Mitoitus väärä (YIT) Huolto lyöty laimin~~	~~Korvausilmavirta pienenee~~		~~Säännöllinen huolto tai poistetaan pisaranerotin tarpeettomana, koska kondenssi vähäistä~~	~~0~~	~~0~~	~~0~~	~~0~~	**0**	~~Pisaranerotin poistetaan, koska tarpeeton~~
10	Kuivaimen korvausilma LTO:n käänntöaltaan viemäri tukkeutuu	Viemäriin tullut vieras esine, viemärilinjassa venttiili, joka käännetty kiinni	Kääntöaltaaseen kertyy vettä. Kuuman poistoilman virtaus häiriintyy. LTO teho laskee		Säännöllinen huolto ja puhdistus tarvittaessa. Läppä alipaineen vuoksi	1	0	1	1	**2**	
11,1	HS4 pelti ennen korvausilman LTO:ta ei avaudu, by-pass pelti HS3 on kiinni	Likaantuminen / mekaaninen vika, vika ohjauksessa	Korvausilmapuhallin toimii suljettua järjestelmää vasten -> kuivausprosessi häiriintyy -> ~~tulipalovaara?~~. Puhallinvaurio? (pumppaus)		Hälytys puhaltimen paineenmittauksen alarajasta / rajakytkin pellille.	1	0	1	1	**2**	
11,2	HS4 pelti ennen korvausilman LTO:ta ei avaudu, by-pass pelti HS3 on auki	Likaantuminen / mekaaninen vika vika ohjauksessa	Korvausilmapuhallin imee vain by-pass ilmaa (painesäätö). Kuivausprosessi häiriintyy, korvausilman kosteus ja lämpöitla nousevat		Rajakytkin pellille (indikoi, jos pelti kiinni) - hälytys ristiriitatilanteesta.	1	0	1	1	**2**	
11,3	HS4 pelti ennen puhallinta ei sulkeudu	Likaantuminen / mekaaninen vika, vika ohjauksessa	Mahdollistaa kuuman ilman paluuvirtauksen kuivauskoneelta. Kuumaa ilmaa korvausilmasuodattimelle / saliin.		Rajakytkin pellille (indikoi, jos pelti kiinni) - hälytys ristiriitatilanteesta.	1	0	1	1	**2**	
~~14~~	~~By-pass pelti ei avaudu~~	~~Vika automaatiossa tai pellissä~~	~~Korvausilman kosteus ei nouse -> kuivausprosessin säätö häiriintyy~~		~~Rajakytkin pellille (indikoi, jos pelti kiinni) - hälytys ristiriitatilanteesta.~~	~~0~~	~~0~~	~~0~~	~~0~~	**0**	Katso 11.1
~~15~~	~~By-pass pelti ei sulkeudu~~	~~Vika automaatiossa tai pellissä~~	~~Korvausilman kosteudensäätö häiriintyy~~		~~Rajakytkin pellille (indikoi, jos pelti kiinni) - hälytys ristiriitatilanteesta.~~	~~0~~	~~0~~	~~0~~	~~0~~	**0**	Katso 11.3
16	Kuivurin kaikki korvausilmapellit kiinni, prosessi käy	Häiriö peltien toiminnassa, käynnistystilanne	Korvausilmanpuhallin toimii vasten suljettua tilaa, painesäätö pienentää puhaltimen kierroslukua. -> Kuivausprosessi häiriintyy, ~~tulipalovaara?~~		Puhaltimen kierrosluvun säätö painemittauksella.	1	0	1	1	**2**	
17	Kuivurin kaikki korvausilmapellit kiinni, säätö ohjannut	Kuivauskoneelle ei tarvita korvausilmaa	Korvausilmapuhallin toimii vasten suljettua tilaa, painesäätö pienentää puhaltimen kierroslukua.		Puhaltimen kierrosluvun säätö painemittauksella.	3	0	1	0	**3**	

RISKIANALYYSILOMAKE

Kohde: Vaneritehtaan LTO

Laatijat: JSu, MUS, JML, JTP, IKa, MPu

Pos	Vaaraa aiheuttava tilanne	Syyt	Seuraukset	Nyk. varautuminen	Toimenpide-ehdotukset	Tod	Henk	Mat	Kesk	Riski	Muuta
18,1	Korvausilmapuhallin käynnissä, prosessi ei käynnissä	Vika ohjauksessa	Pyrkii puhaltamaan korvausilmaa, riippuu peltien asennosta meneekö kuivauskammioon. Ei toivottavaa esimerkiksi, jos kammiossa työskennellään.		Puhaltimen käynnin lukitus.	1	1	0	0	**1**	
18,2	Korvausilmapuhallin ei käynnissä, prosessi käynnissä	Virhe ohjauksessa / vika puhaltimessa	Kuivaaja ei saa korvausilmaa -> kuivausprosessi häiriintyy -> ~~tulipalovaara?~~		Puhaltimen käynnin valvonta, hälytys ristiriitatilanteesta	1	0	1	1	**2**	
	PUHALLIN + SKRUBBERI										
20	Skrubberin puhallin ei käynnisty, prosessi käynnissä	Vika ohjausessa / vika puhaltimessa	Ilman saanti skrubberille häiriintyy, LTO:n teho putoaa, ilmavirta putoaa lähes nollaan. -> Ei lämpöä hautomoaltaalle.		Puhaltimen käynnin lukitus / käynnin valvonta esimerkiksi virrasta.	1	0	0	2	**2**	
21	Skrubberin puhallin käy, kuivauskone seis	Vika ohjauksesa	Puhallin toimii suljetussa tilassa -> puhallinvaurio (pumppaus)		Puhaltimen käynnin lukitus / käynnin valvonta esimerkiksi virrasta.	1	0	1	0	**1**	
22	Ohituspelti HS6 auki, skrubberin pelti HS5 auki, prosessi käynnissä	Vika ohjauksessa / pellin toimilaitteessa / vivustossa	Ilman saanti skrubberille häiriintyy, LTO:n teho putoaa, ilmavirta skrubberille pienenee -> Lämmöntuotto hautomoaltaalle pienenee		Rajakytkin pellille (indikoi jos pelti kiinni) - hälytys ristiriitatilanteesta.	1	0	0	1	**1**	
23	Ohituspelti HS6 ja skrubberin pelti HS5 kiinni, prosessi käynnissä	Vika ohjauksessa / peltien toimilaitteissa / vivustoissa	Ilman saanti skrubberille estyy, LTO ei toimi -> Lämmöntuotto hautomoaltaalle estyy. Puhallin toimii suljettua järjestelmää vasten -> puhallinvaurio (pumppaus)		Rajakytkimet pelleille (indikoi jos pelti kiinni) - hälytys ristiriitatilanteesta. Peltien toiminnan tarkistus säännöllisesti.	1	0	1	2	**3**	
24	Skrubberin tyhjennys ei toimi, tukossa	Poisto hautomoaltaalle on tukkeutunut tai mahdollinen venttiili on kiinni	Skrubberin ylivuoto tulvii. Jos ylivuotoa ei ole putkitettu viemäriin, voi kuumaa vettä roiskua ympäriinsä (katoille, ihmisten päälle)	Skrubberin ylivuoto	Ylivuoto johdettava viemäriin hallitusti	1	2	2	0	**4**	
~~25~~	~~Skrubberin ylivuoto tulvii~~	~~Skrubberin poisto tukkeessa~~	~~Jos ylivuotoa ei ole putkitettu viemäriin, voi kuumaa vettä roiskua ympäriinsä (katoille, ihmisten päälle)~~			~~0~~	~~0~~	~~0~~	~~0~~	**0**	
26	Ylivuotoputki vuotaa	Läppä ei tiivis / juuttunut auki	Vuotaa kuumaa höyryä huoltotasolle, voi polttaa huoltotasolla olevaa henkilöä.		Tiivis rakenne. Toiminnan tarkistus	1	2	0	0	**2**	

RISKIANALYYSILOMAKE

Kohde: Vaneritehtaan LTO

Laatijat: JSu, MUS, JML, JTP, IKa, MPu

Pos	Vaaraa aiheuttava tilanne	Syyt	Seuraukset	Nyk. varautuminen	Toimenpide-ehdotukset	Tod	Henk	Mat	Kesk	Riski	Muuta
27	Ylivuoto tukossa ja paluuputki tukossa	Tukkeutunut / mahdollinen sulkuventtiili kiinni. Ylivuoto tukossa / jäässä	Ajaa skrubberin vesikuormaan kokonaisuudessaan. -> Skrubberin kannakkeisiin 11-15 tonnin lisäkuorma. Talteenotto ei toimi, puhallin ja kanavisto vesilastiin.		Ylivuotoputken eristys/saattolämmitys. Rajakytkin pellille.	2	3	1	2	12	**EI SAA TAPAHTUA!**
28	Tuloveden venttiilin toimintahäiriö, ei avaudu	Jumissa / toimilaite rikki	Skrubberi on kuiva, kuumenee -> tulipalovaara ja kuivausprosessi keskeytyy.	Poistoilman ohitus	Poistolämpötilan mittaus skrubberin jälkeen / hälytys. Ohituspelti HS6 aukeaa ja HS5 sulkeutuu	2	3	2	2	14	
29	Tuloveden venttiilin toimintahäiriö, ei sulkeudu	Jumissa / toimilaite rikki	Skrubberissa kokoajan vesikierto, ei pystytä menemään sisälle skrubberiin huoltamaan.		Venttiilin lukitus pumpun käyntiin -> avautuu kun pumppu käynnistyy	1	0	1	0	1	
30	Skrubberin tasauslevystö tukkeentunut	Huollon puute	Lämmitys estyy	Huolto	Huolto	1	0	0	1	1	Hyvin epätodennäköinen
31	Skrubberin suuttimet tukkeutuneet	Tulovedessä liikaa liian suuria partikkeleita / väärät suuttimet	Vedensyöttö poikki -> tulipaloriski skrubberissa.	Huolto. Joissain kohteissa on myös tuloveden puhdistuslaite.	Poistoilmaohitus oltava käytössä. Poistolämpötilanmittaus skrubberin jälkeen. Hälytys + ohitus käyttöön	2	2	2	2	12	
32	Skrubberin pisaranerottimen tukkeutuminen	Huolto lyöty laimin	Skrubberin teho laskee, ilmaa ulos HS1 läpi		Huolto, Poistolämpötilamittaus	1	0	1	1	2	
33	Karkea erotin hautomoaltaalla tukkeessa	Huolto lyöty laimin	Skrubberille ei tule vettä tarpeeksi. Teho laskee. Skrubberille ei tule vettä ollenkaan. -> Tulipaloriski.	Joissain kohteissa skrubberi on sprinklattu	Poistolämpötilamittaus, ohitus	1	3	2	2	7	
34	Skrubberin tulovesipumppu ei toimi	Tekninen vika / vika ohjauksessa	Skrubberille ei tule vettä. -> Tulipaloriski.	Varapumppu	Poistolämpötilan mittaus skrubberin jälkeen / hälytys. Ohitus. Moottorin virran indikointi / hälytys. Paine-eromittaus	2	3	2	2	14	
35	Puhdistuslaite tulovedessä ei toimi / kiertoveden suodattimet tukossa	Huollon puute, ei hälyttävää indikointia.	Skrubberille ei tule vettä.-> Tulipaloriski.		Poistolämpötilan mittaus skrubberin jälkeen / hälytys. Ohitus. Moottorin virran indikointi / hälytys. Tai erillinen hälyttävä indikointi suodattimelle (Paine-eromittaus)	1	3	2	2	7	
	SALI-ILMAN LTO + PUHALLIN										

RISKIANALYYSILOMAKE

Kohde: Vaneritehtaan LTO

Laatijat: JSu, MUS, JML, JTP, IKa, MPu

Pos	Vaaraa aiheuttava tilanne	Syyt	Seuraukset	Nyk. varautuminen	Toimenpide-ehdotukset	Tod	Henk	Mat	Kesk	Riski	Muuta
36.1	Sali-ilman LTO:n ohituspeltien HS7, HS8 toiminta häiriö (molemmat auki)	Ohituspelti jumiutunut, toimilaite irronnut kiinnityksistään	Teho heikkenee / tuloilma ei lämpene		Huolto-ohjeiden noudattiminen	1	0	0	1	**1**	Katso skrubberin ohitus
36.2	Sali-ilman LTO:n ohituspeltien HS7, HS8 toiminta häiriö (molemmat kiinni)	Ohituspelti jumiutunut, toimilaite irronnut kiinnityksistään	Tuloilma ei lämpene	Joissain kohteissa jälkilämmityspatteri	Huolto-ohjeiden noudattiminen	1	0	0	2	**2**	Katso skrubberin ohitus
37	Sali-ilman LTO laitteen tukkeutuminen tai jäätyminen kuuman ilman puolelta	Tuloilman lämpötila liian alhainen, jolloin epäpuhtaudet alkaa kondensoitua	Tuloilma ei lämpene		Lämpötilamittaus poistoilmasta	2	0	0	1	**2**	Puhdistuslaite pienentää todennäköisyyden ykköseen
38	Sali-ilman LTO laitteen pisaranerottimen tukkeutuminen	Huolto lyöty laimin	Tuloilma ei lämpene			1	0	0	1	**1**	
39	Sali-ilman LTO laitteen, käänntöaltaan viemäri tukkeutuu	Viemäriin tullut vieras esine. Viemärilinjassa venttiili, joka käännetty kiinni	Kääntöallas täyttyy vedellä. Kuuman poistoilman virtaus estyy	Ohituspellit		2	0	1	2	**6**	
40	Sali-ilman LTO laitteen säätöpeltien toimilaitteet toimintakyvyttömät	Huoltotoimenpiteet laiminlyöty	Tuloilman lämpötilasäätö ei toimi	Huolto		1	0	0	1	**1**	
41	Korvausilmapuhallin ei käynnissä	Vika ohjauksessa / vika puhaltimessa. Tuloilman lämpötilasäätö ei toimi	Ei saada korvausilmaa			1	0	0	1	**1**	
42	Tulipalo katolla		Mikäli korvausilmapuhallin päällä tulipalo leviää.		Korvausilmapuhaltimen pitää sulkeutua.	1	3	3	3	**9**	