

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Teemu Sikanen

Voimakattilaprojektien kustannusrakenne ja markkinahinnan muodostuminen

Diplomityö 2019

86 sivua, 18 kuvaa, 2 taulukkoa ja 4 liitettä

Tarkastajat: Professori, TkT Esa Vakkilainen, Dosentti, TkT Juha Kaikko

Ohjaaja: DI Ilkka Venäläinen

Hakusanat: voimakattila, kerrosleijukattila, BFB, markkinahinta, kustannusarviointi, toimitusprojekti

Tässä työssä tutkitaan voimakattilaprojektien kustannuksiin ja markkinahintaan vaikuttavia tekijöitä keskittyen projektitoimittajan näkökulmaan. Työn kohteena on ANDRITZ Oy:n kerrosleijukattiloiden EPC-toimitukset. Työn tarkoituksena on kehittää Excel-pohjainen laskentatyökalu, jolla voidaan helposti mallintaa kustannuksia ja arvioida markkinahintaa myyntiprojektin hinnantarviointia varten.

Tutkimuksen pohjana käytetään ANDRITZ Oy:n aikaisempien projektien hinnoitteluaineistoja. Regressioanalyysin avulla etsitään merkittävimmät tekijät sekä luodaan regressiomallit ja sovitteet käyttäen Excelin LINREGR-funktiota. Laskenta perustuu pienimmän neliösumman menetelmään. Projektien vertailua varten hinnoittelutiedot muutetaan vastaamaan nykykustannustasoa sekä määriteltäviä toimituslaajuutta.

Parhaiten kustannuksia ja hintaa havaittiin selittävän höyryvirta, polttoaineteho ja savukaasuvirta. Kustannuksien ja hintojen havaittiin myös mukailevan parhaiten potenssifunktion sovitteita. Mallin tarkkuus ja luotettavuus eri kustannuserille vaihtelee runsaasti eikä yksiselitteisesti kaikille kustannuserille sopivia selittäviä tekijöitä löydetty.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Degree Program in Energy Technology

Teemu Sikanen

Market price and cost breakdown of power boiler projects

Master's Thesis 2019

86 pages, 18 figures, 2 tables and 4 appendixes

Examiners: Professor, Ph. D (Tech) Esa Vakkilainen, Docent (Tech) Juha Kaikko

Supervisor: M.Sc. (Tech) Ilkka Venäläinen

Keywords: power boiler, fluidized bed boiler, BFB, market price, cost breakdown, cost estimation, delivery project

In this Thesis, factors that affect costs and market price of power boiler delivery projects are studied. Focus is on ANDRITZ Oy EPC –projects for bubbling fluidized bed boilers. Goal of this work is to develop Excel based calculation tool with which it is easy to model costs and market price for price estimation of power boiler's sales projects.

Study is based on price estimation documentation of ANDRITZ Oy's previous projects. Regression analysis is used to find the foremost factors. Regression models are created for costs and price as a function of the foremost parameters using Excel LINEST-function. Pricing data is converted to correspond current level of expenditure. In addition, scope of the projects are modified to be meaningful for comparison.

Steam flow, fuel power and flue gas flow were found to be most suitable for modeling of costs and prices in most of the cases and power function was identified to give the best fit. However accuracy and reliability varies a great deal and suitable factors for all cost items were not found.

ALKUSANAT

Tämä työ valmistui kevään 2019 aikana Varkaudessa ANDRITZ Oy:lle. Haluankin kiittää tästä mahdollisuudesta etenkin kaikkia Voimakattila osaston työntekijöitä, joiden kanssa sain tehdä yhteistyötä. Erityiskiitos kuuluu ohjaajalleni Ilkka Venäläiselle sekä Jukka Hautamaalle ja Arto Jurvaselle, jotka mahdollistivat työn etenemisen.

Työn puolesta täytyy myöntää, ettei itselle jotakuinkin täysin uuden aihepiiriin tai alaan tutustuminen, ainakaan nopeuta prosessia. Etenkin jos se sattuu olemaan samalla myös pois omalta mukavuusalueelta. Itsensä haastaminen ja uuden oppiminen on kuitenkin aina virkistävää ja avartavaa.

Yliopistoni puolelta haluan kiittää koko energiatekniikan osastoa mahdollisuudesta opiskella mielenkiintoista ja parasta mahdollista tekniikkaa. Erityiskiitos työni tarkastajalle Esa Vakkilaiselle.

Tämä työ päättää samalla suhteellisen pitkän elämänjakson elämästäni, jota tulen varmasti muistelemaan aina. Suurimmat kiitokset kuuluvatkin ehdottomasti koko Skinnarilan yhteisölle, joka teki opiskeluvuosista mielenkiintoisia ja mukavia sekä antoi opintoihini lisää sisältöä. Kiitokset rakkaalle ainejärjestöllemme, ylioppilaskunnallemme sekä tietenkin opiskelutovereilleni niin lappeen Rannasta kuin myös muualta.

Tämän työn julkaistua onkin hienoa lähteä viettämään juhannusta ja miettimään esimerkiksi taas uusia ratkaisuja valjastaa Kuun energiaa juuri sen ydintiimin kanssa, joka säilynyt opiskelujeni alusta lähtien.

Varkaudessa 20.6.2019

Teemu Sikanen

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä	2
Abstract	3
Alkusanat	4
Sisällysluettelo	5
Symboli- ja lyhenneluettelo	7
1 JOHDANTO	9
1.1 ANDRITZ-konserni	10
1.1.1 ANDRITZ Oy	11
2 VOIMAKATTILAT	14
2.1 Voimakattilaprosessi	15
2.2 Mitoitustekijöitä	22
2.3 Leijukerrospolton teoriaa	26
2.3.1 Kerrosleijukattilat.....	30
2.3.2 Kiertoleijukattilat	32
3 PROJEKTIEN KUSTANNUSARVIOINTI	35
3.1 Projektien kustannusarviointi ja mallintaminen	37
4 VOIMAKATTILAPROJEKTIEN HINNOITTELU JA MARKKINAT	44
4.1 Voimakattiloiden myyntiprojektit	44
4.2 Hinnan arviointi voimakattilaprojekteissa.....	49
4.2.1 Kustannusarviointi	50
4.2.2 Markkinahinta	52
4.3 Markkinatilanne ja tulevaisuuden näkymät.....	54
5 TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTOT	60
5.1 Markkinahinnan laskentatyökalu	60
5.2 Laskentamenetelmät	63
6 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI	65
6.1 Hinnan ja kustannusten käyttäytyminen.....	65
6.2 Kustannusrakenne	70
6.2.1 Suunnittelu ja projektinhallinta	71
6.2.2 Materiaali-, valmistus- ja laitekustannukset.....	71
6.2.3 Rahti	73
6.2.4 Asennus	74
6.2.5 Valvonta ja käyttöönotto	75
6.3 Tulosten virhetarkastelu	75
6.4 Tavoitteisiin pääsy	77
7 YHTEENVETO	80

Lähdeluettelo	82
Liite 1. Leijukerrosvoimakattilaprojektien hintajakauma	87
Liite 2. Päätöksentekoon liittyviä tekijöitä	88
Liite 3. Neuvotteluihin valmistautuessa pohdittavia seikkoja	89
Liite 4. Sähkön hintojen kehittyminen Euroopassa	90

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

C_d	Otsavastuskerroin [-]
C_k	tunnetun laitoksen pääomakustannukset [EUR]
C_x	uuden laitoksen pääomakustannukset [EUR]
d	Halkaisija [m]
E_x	Uuden laitoksen kapasiteetti [-]
E_k	Tunnetun laitoksen kapasiteetti [-]
g	Putoamiskiihtyvyyys [m/s^2]
H	Korkeus [m]
n	KapasiteettiekspONENTTI [-]
p	Paine [Pa]
U	Nopeus [m/s]

Kreikkalaiset aakkoset

ε	Tyhjän tilan suhteellinen osuus pedissä [-]
μ	Dynaaminen viskositeetti [Pa s]
ρ	Tiheys [kg/m^3]

Alaindeksit

g	Kaasu
p	Partikkeli
s	Kiinteä

Lyhenteet

AACE	Association for the Advancement of Cost Engineering
AEI	Automation, Electrification and Instrumentation
ASME	American Society of Mechanical Engineers
BFB	Bubbling Fluidized Bed
CFB	Circulating Fluidized Bed
DCS	Distributed Control System

EPC	Engineering, Procurement and Construction
LCC	Low Cost Countries
PNS	Pienin neliösumma
SCR	Selective Catalytic Reduction
SNCR	Selective Non-Catalytic Reduction
TCO	Total Cost of Ownership
WBS	Work Breakdown Structure

1 JOHDANTO

Projektin tarkka kustannus- ja hinnanarviointi on erittäin tärkeää projektin kustannushallinnan ja kannattavuuden kannalta. Voimalaitostoimitusprojektien kustannusarvioinnin tekee hankalaksi muun muassa niiden kompleksisuus, ainutkertaisuus sekä globaali toimitus(ketju). Markkinahinta on vahvasti kustannusperusteinen, mutta sitä varten on yleisen markkinatilanteen lisäksi arvioitava erityisesti projektikohtaista mikromarkkinatilannetta.

Voimalaitoksen myyntiprojektissa hintaa on arvioitava useassa eri vaiheessa. Lopullista myyntihintaa varten määräperusteisella kustannusarviolla päästään riittävään tarkkuuteen. Tämä on kuitenkin työläs ja resursseja vaativa menetelmä eikä näin ollen sovi myyntiprojektin alkuvaiheessa tehtäville arvioille, joiden olisi syytä olla tehtävissä nopeasti. Myyntiprojektin alkuvaiheessa ei ole myöskään saatavilla riittävästi pohjatietoja tarkkaa määräperusteista arviota varten. Tällöin hintaa on arvioitava pääasiassa historiatiedon ja projektin laajuutta ja luonnetta kuvaavilla tekijöillä.

Voimakattiloiden hinta muodostuu pääasiassa sen laitteista ja järjestelmistä koostuvista kustannuksista. Tämän työn alkupuolella esitelläänkin voimakattiloiden laitteita, järjestelmiä ja rakenteita antaen näin pohjaa kokonaisuudelle johon kustannukset pääasiassa liittyvät. Pääpaino on kerrosleijukattiloilla, johon tämä työ keskittyy.

Kustannusten ja hinnan muodostumisen ymmärtämiseksi on hyvä tuntea myös teoriaa projektitoiminnalle ominaisesta kustannusten ja hinnan arvioinnista, jota esitellään myös tässä työssä. Työssä esitellään myös tarkemmin, kuinka voimakattiloiden myynti- ja hinnoittelutyö etenee ja mitä näissä pitää ottaa huomioon. Tärkeää on selvittää sopivalla tarkkuudella eri kustannuslajien hinnanmuodostumismekanismit sekä ymmärtää projekteihin liittyvät markkinatilanteiden mukaiset ajurit.

Työn tarkoituksena on kehittää laskentatyökalu, jolla markkinahintaa ja eri kustannuslajeja voidaan arvioida helposti etenkin myyntiprojektin alkuvaiheessa. Työn loppupuolella esitelläänkin tutkimusmenetelmiä ja aineistoja, joita näiden mallintamista

varten on käytetty, sekä saatuja tuloksia. Työ ei keskity kuitenkaan esittelemään laskentatyökalun tarkempaa toimintaa vaan työssä käydään läpi pääpiirteittäin tärkeimmät mallintamisessa huomioidut seikat ja laskentamenetelmät.

1.1 ANDRITZ-konserni

ANDRITZ-konserni on yksi maailman johtavista teknologiakonserneista. Sen liiketoiminta-alueina ovat tuotantojärjestelmät ja palvelut sellu- ja paperiteollisuudelle, metalliteollisuudelle, ympäristönsuojelulle, eläinrehujen tuotannolle, biopolttoaineiden tuotannolle sekä vesivoimalaitostoimintaan. (ANDRITZ Group 2019a)

Yritys on alun perin 1852 Josef Körösin Grazin esikaupunkiin, Andritziin, perustama rautavalimo. Suurimmat käännekohtat olivat, kun 1987 AGIV AG hankki pääosakkuuden ja muutti yrityksen suuntaa lisensoitujen laitteiden valmistajasta kansainväliseksi omien huipputeknisten tuotteiden tuottajaksi. Yritys on laajentanut toimintaansa historian aikana ja siihen on yhdistynyt etenkin 1990-luvulta lähtien useita muita yrityksiä kuten Ahlstrom Machinery ja ABB Drying. Vuonna 2001 ANDRITZ-konserni noteerattiin Wienin ATX-pörssissä, joka on Itävallassa toimiva Itä- ja Kaakkois-Euroopan arvostetuimpia arvopaperipörssijä. (Ibid)

ANDRITZ-konsernilla on yli 280 toimipaikkaa yli 40 maassa. Pääkonttori sijaitsee Itävallassa Grazissa. Vuonna 2018 konsernin liikevaihto oli 6 031,5 MEUR ja henkilöstömäärä reilu 29 000 henkilöä. ANDRITZ-konsernin emoyhtiö on itävaltalainen ANDRITZ AG (ANDRITZ Group 2019b) (ANDRITZ Group 2019c)

ANDRITZ-konserni on jakautunut neljään liiketoiminta-alueeseen: Vesivoima (ANDRITZ Hydro), Paperi ja Sellu (Pulp & Paper), Metallit (ANDRITZ Metals) ja Erotusteknologia (ANDRITZ Separation). Liikevaihdoltaan suurimpana osa-alueena on Paperi ja Sellu, jonka jälkeen tulevat Vesivoima ja Metallit.

ANDRITZ Hydro tuottaa globaalisti sähkömekaanisia järjestelmiä ja palveluita vesivoimalaitoksille ja on hydraulisen voimantuotannon yksi markkinajohtajista.

Tuotteita ovat muun muassa automaatio-, sähkövoimajärjestelmä-, operointi- ja kunnossapitopalvelut sekä turbogeneraattoriratkaisut pieniin ja suuriin laitoksiin.

ANDRITZ Pulp & Paper toimittaa laitteita, järjestelmiä ja palveluita kokonaisvaltaisesti sellun, paperin, pehmopaperin ja pahvin tuotannolle ja käsittelylle. Myöskin voimantuotanto biomassalla- ja soodakattiloilla sekä kaasutuslaitoksilla kuuluvat vastuualueeseen kuten myös savukaasujen puhdistusjärjestelmät.

ANDRITZ Metals toimittaa kokonaisia tuotesarjoja matalahiiliterästen, ruostumattomien terästen ja värimetallipäällystyksen tuotantoon ja käsittelyyn. Tuotteisiin kuuluu myös sulatusuunit avaimet käteen -toimitukset teräs-, kupari- ja alumiiniteollisuudelle kuten myös laser- ja vastushitsaukselle sekä kuviomeistolaitteet metalliteollisuuteen.

ANDRITZ Separation tuottaa erotusmenetelmäratkaisuja ympäristö-, ruoka-, kemikaali- sekä kaivos- ja mineraaliteollisuuteen. Erotusmenetelmät perustuvat mekaaniseen ja termiseen erotteluun. (ANDRITZ a)

1.1.1 ANDRITZ Oy

ANDRITZ Oy on ANDRITZ AG:n suomalainen tytäryhtiö, joka on keskittynyt PP ja HY liiketoiminta-alueisiin. ANDRITZ on perustettu ensimmäisen kerran Suomeen 1994 sen hankittua Kone Wood -yhtiön ja myöhemmin 2002-2003 yhdistyttyään ja hankittuaan Ahlstrom Machineryn. ANDRITZ Oy omistaa nykyään kokonaan kolme tytäryhtiötä; ANDRITZ Savonlinna Works Oy, ANDRITZ Warkaus Works Oy ja ANDRITZ HYDRO Oy. ANDRITZ Savonlinna Works Oy toimittaa laitteita sekä koneistus- ja huoltopalveluita keskittyen sellu- ja paperiteollisuuteen. ANDRITZ Warkaus Works Oy:n toimialaa on sooda- ja voimakattiloiden paineenalaiset osat sekä modernisointihankkeet. ANDRITZ HYDRO Oy sijaitsee Tampereella ja toimittaa järjestelmiä, laitteita ja palveluita vesivoimantuotantoon.

Yrityksen pääkonttori on Helsingissä ja muut osaamiskeskukset ovat Kotkassa, Savonlinnassa, Varkaudessa, Lahdessa, Lappeenrannassa ja Tampereella. Työntekijöitä Suomessa on noin 1300 henkilöä. Liikevaihto on noin 500 MEUR.

Paperi ja Sellu on jaettu kahteen liiketoiminta-alueeseen: PP Capital Systems (K-) ja PP Service and Units (P-). Nämä taas on jaettu divisiooniin, joista Suomessa toimii seitsemän; Fiber Technologies (KFT), Recovery & Power (KRP), Kraft and Paper Mill Services (PKP), Pulping and Fiber (PPF), Automation Solutions (PAS), Engineered Wear Products (PEW) ja Maintenance and Performance (PMP). (ANDRITZ b)

Recovery & Power –divisioona

Recovery & Power –divisioona toimittaa energiaratkaisuja sellu- ja paperi- sekä terästeollisuudelle ja kunnallisiin tarpeisiin sekä kemikaalien regenerointiratkaisuja kaikkiin selluteknologioihin. Divisioona on jakautunut seuraaviin tuoteryhmiin: haihduttamot, soodakattilat, valkolipeälaitokset ja voimakattilat.

Haihduttamot -tuoteryhmä tarjoaa kokonaisvaltaisia ratkaisuja kemiallisen ja mekaanisen sellun tuotantoon nestemäisille virroille ja lauhdeiden optimaaliselle uudelleenkäytölle.

Soodakattilat -tuoteryhmä tarjoaa ratkaisut sellun tuotannon keittoliemien talteenotolle ja energiatuotannolle. Soodakattiloita tuotetaan kokonaisvaltaisina EPC-ratkaisuna (*Engineering, Procurement and Construction*- suunnittelu, toimittaminen ja pystytys) sisältäen kantavat rakenteet, kattilahuoneen ja automaation. Vaihtoehtoina on myös osaratkaisut.

Valkolipeälaitos -tuoteryhmä tuottaa ratkaisuja ja laitteita keittoliemien tuotantoon ja muihin muunneltuihin liemien ligniininpoistoon sulfaattisella tuotannossa. Tuotteet kattavat kokonaisvaltaiset kaustisoinnit sisältäen kalkinpoltto- ja lipeän hapettamisjärjestelmät. Ryhmä toimittaa myös puubiomassa kaasutuslaitoksia.

Voimakattilat -tuoteryhmä tarjoaa teknologioita höyryn ja sähköntuotantoon pohjautuen uusiutuviin ja/tai fossiilisiin polttoaineisiin. Kattilat ovat tyypiltään vaihteleville ja

erilaisille polttoaineille sopivia CFB- tai BFB-teknologiaan perustuvia. Kattilat ovat tyypillisesti tapauskohtaisesti räätälöityjä ratkaisuja sellu- ja paperiteollisuuden tai kemianteollisuuden. Tuotevalikoimaan kuuluu myös masuunikaasukattilat rauta- ja terästeollisuuden. (ANDRITZ c)

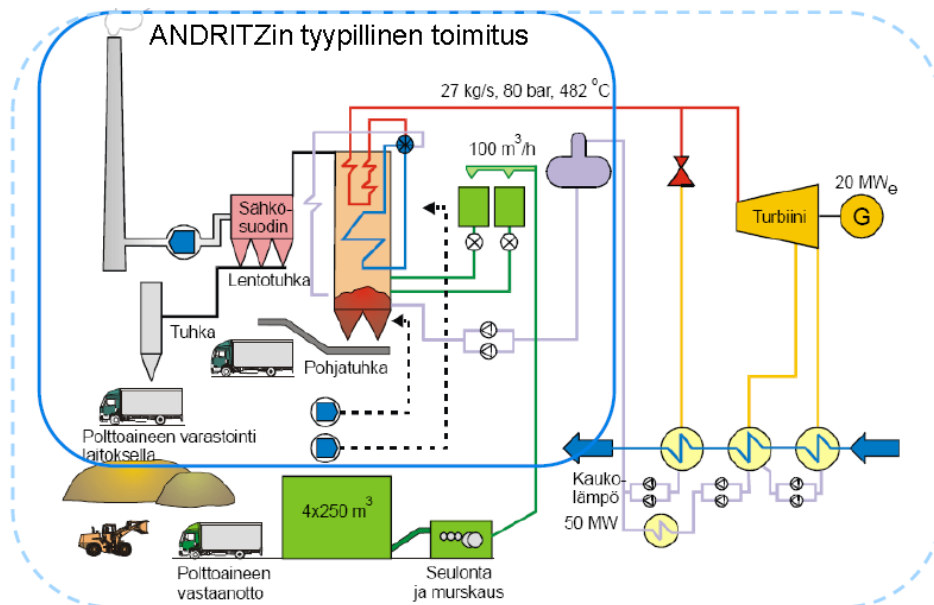
Muut divisioonat

Fiber Technologies –divisioona koostuu kolmesta liiketoiminta alueesta; puun käsittely, kuitulinja, ja sellunkuivaus. PKP-divisioona tuottaa palveluita sahalaitoksille, puukentille, kuitulinjoille, sellun kuivauslaitoksille, kemikaalien elvytys toimintoihin ja voimantuotantoon parantaakseen laitteiden suorituskykyä ja turvallisuutta. PPF-divisioona toimittaa laitteita ja ratkaisuja sellu-, paperi-, kartonki- ja kierrätysteollisuudelle. PAS-divisioona suunnittelee, toimittaa ja tukee sähköisiä-, mittaus-, prosessinhallinta-, simulointi- & käyttökoulutusjärjestelmiä teolliseen ympäristöön. PEW –divisioona suunnittelee ja tuottaa räätälöityjä osia ja komponentteja sellun-, paperin- ja voimantuotantoon. PMP –divisioona keskittyy kehittämään teollista suorituskykyä kunnossapidon ja suorituskyvyn optimointiratkaisuja etsien. (ANDRITZ c)

2 VOIMAKATTILAT

Voimakattilalla tarkoitetaan höyrykattilaa, jonka pääasiallinen tehtävä on tuottaa höyryä. ANDRITZ:in tapauksessa voimakattila on usein osa sellutehdasta, mutta voi olla myös esimerkiksi osa kaupungin lämpövoimalaa. Polttoaineena käytetään lähes yksinomaan biomassaa, joka saadaan esimerkiksi selluntuotannon sivuvirroista ja/tai hakkuutähteistä. Höyryä käytetään prosessihöyryinä, lämmitykseen ja usein myös sähköntuotantoon. Sähköntuotanto on joko pelkästään oman voiman tarpeen tuottamiseksi tai ylimäärä myydään verkkoon.

Tässä työssä voimakattilan toimituslaajuus on rajattu ANDRITZ:in tyypillisen toimituslaajuuden (kuva 2.1) mukaan polttoainejärjestelmän osalta päiväsiiloista kattilan syöttöön ja savukaasujärjestelmät kokonaisuudessaan savukaasupuhdistus ja savupiippu mukaan lukien. Vesi-höyrypiiri rajoittuu syöttövesisäiliöstä turbiiniin sisäänmenoon. Tuhkajärjestelmät ovat kokonaisuudessaan tuhkan keräilystä varastointiin kuten myös ilmajärjestelmät puhaltimista ilmansyöttöön.



Kuva 2.1 Voimalaitoksen prosessikaavio (Venäläinen 2015, 12) Alkuperäinen kuva: Pohjolan Voima Oy

Näin ollen tarkasteltava laajuus ei sisällä esimerkiksi esimerkiksi polttoaineenesikäsittelyä ja varastointia tai turbiinilaitosta, jotka muodostaisivat tyypillisesti koko voimalaitoslaajuudessa hyvin merkittävän osan kustannuksista. Esimerkiksi Kaukaan voiman turbiini vastasi noin 12% ja polttoaineen käsittely 8% kustannuksista (taulukko 2.1). Liitteessä 1 on esitelty Koorneef et al. (2007) tutkimia kustannusjakaumia leijukerrosvoimalaitoksille.

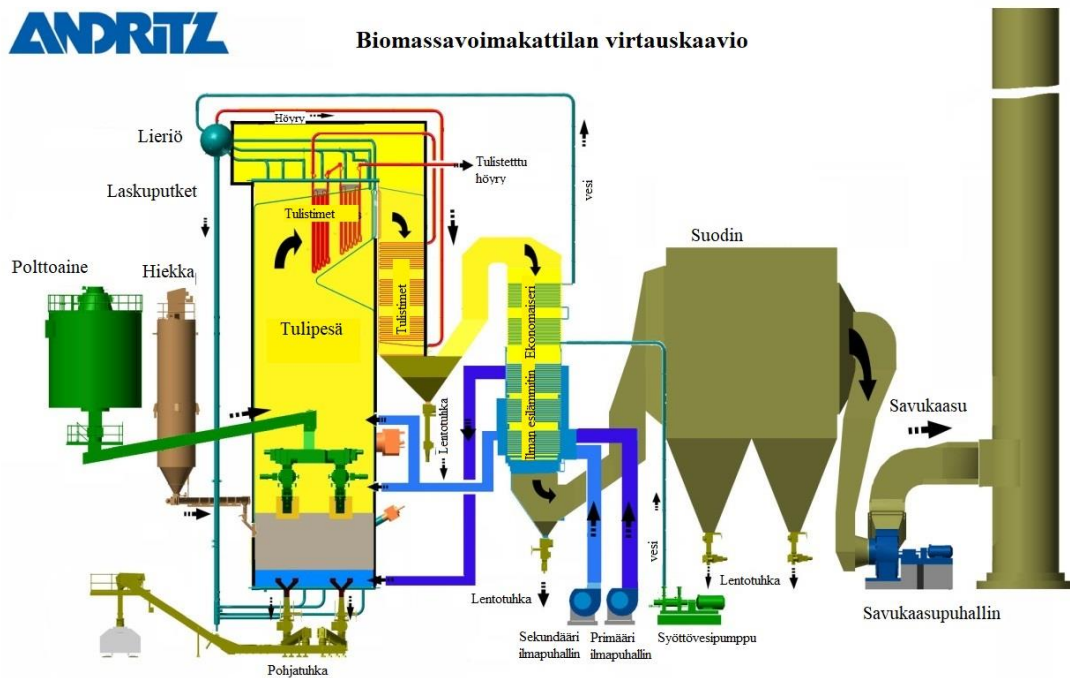
Taulukko 2.1 Kaukaan voiman kustannusjakauma (LPR kaupunginhallituksen kokous, helmikuu 2008)

Kaukaan voima	410	MW	
kattilalaitos	91.0	M€	37 %
turbiini	30.4	M€	12 %
polttoaineiden käsittely	18.4	M€	8 %
rakennustyöt	22.7	M€	9 %
sähköistys+autom.	19.4	M€	8 %
putkistot	13.2	M€	5 %
muut	48.9	M€	20 %
yhteensä	244.0	M€	

Modernit biomassaa polttavat voimakattilat perustuvat pääasiassa joko leijukerrospoltoon tai arinapoltoon. ANDRITZ:in tarjontaan kuuluu leijukerrostekniikkaan perustuvia PowerFluidTM –kiertoleijukattiloita ja EcoFluidTM –kerrosleijukattiloita, joihin tässä työssä keskitytään.

2.1 Voimakattilaprosessi

Tässä kappaleessa käsitellään höyrykattilan järjestelmiä ja rakenteita yleisellä tasolla. Leijukerrospoltoissa on useita omia tyypillisiä piirteitä, joita käsitellään tarkemmin kappaleessa 2.3. Kattilalaitoksen tärkeimmät järjestelmät ovat polttoaineensyöttö, ilma- ja savukaasujärjestelmät, vesi-höyrypiiri, tuhkanpoisto sekä automatiikka, joka ohjaa kattilan toimintaa (Kuva 2.2).



Kuva 2.2 Yksinkertaistettu kerrosleijuvoimakattilan virtauskaavio (ANDRITZ Engineering Manual)

Voimakattilan polttoaineensyöttöjärjestelmään sisältyy päiväsiilot, joiden tarkoituksena on varastoida ja sekoittaa polttoainetta. Näin saadaan varmistettua tasainen polttoainevirta kattilaan ja osaltaan mahdollistaa kattilan tasainen ajo. Siiloja on tyypillisesti yksi tai kaksi riippuen kattilakoosta, halutusta varastointikapasiteetista sekä käytävissä olevasta tilasta. Polttoaine puretaan päiväsiiloista pyörivillä ruuvipurkaimilla ja kuljetetaan ruuvi- tai kolakuljettimilla tasaustaskuun, josta polttoaineensyötön ruuvipurkaimet jakavat polttoaineen syöttötorviin. Polttoaineen syöttö syöttötorvista tulipesään suoritetaan mekaanisesti tai pneumaattisesti. (Huhtinen et al. 2000, 157) ANDRITZ:illa on käytössä pneumaattinen ilma-avusteinen syöttö, joka takaa hyvän polttoaineen sekoittumisen tulipesään sekä jäähdyttää samalla syöttökuiluja.

Polttoaineen ja palamisilman sekoittuminen sekä palaminen tapahtuvat tulipesässä vapauttaen lämpöä. Palamisilma otetaan ilmapuhaltimilla usein pääosin kattilahuoneesta

ja loput ulkoa. Savukaasujen jäähdyttämiseksi ja samalla palamisilma lämmittämiseksi käytetään tyypillisesti palamisilman esilämmitintä eli luvoa (*Luftvorwärmer*), joka on tyypillisesti joko rekuperatiivinen putkilämmönsiirrin tai regeneratiivinen pyörivälämmönsiirrin (Vakkilainen 2017, 131-132). Regeneratiivisia luvvoja käytetään kuitenkin tyypillisesti vain isommissa kokoluokissa eivätkä näin ollen ole käytössä tässä työssä käsiteltävien laitosten kokoluokassa (Ibid). Palamisprosessin ja päästöjen hallinnan tehostamiseksi palamisilman syöttö on usein jaettu primääri-, sekundääri- ja tertiääri-ilman syöttöihin. Primääri-ilma syötetään tulipesään arinalta. Sekundääri- ja tertiääri-ilma syötetään ylempää tulipesässä. Etenkin sekundääri- ja tertiääri-ilma käytetään usein myös muissa järjestelmissä apuna esimerkiksi jäähdytykseen tai tiivistysilmana. (Huhtinen et al. 2013,40-42)

Polttoaineen palaessa tulipesässä syntyy kuumia savukaasuja, jotka johdetaan tulipesän yläosasta savukaasukanavaan. Tulipesän jälkeisiä savukaasukanavia kutsutaan usein vedoiksi (*pass*) ja niiden rakenne vaihtelee riippuen polttoaineen laadusta, kattilan toiminta-arvoista ja käytettävästä tilasta. Savukaasukanavissa ensimmäisenä on tyypillisesti tulistimet, joilla tulistetaan vesihöyryä ennen turbiinille johtamista. Tämän jälkeen kanavassa seuraavana voi olla keittopintaa ja tyypillisesti ekonomaiserit (Eko) eli syöttöveden esilämmittimet. Ekot ovat tyypillisesti sileitä tai ripa-putkilämmönsiirtimiä. Viimeisenä kattilan lämpöpintana tulee tyypillisesti Luvo, jolla savukaasut jäähdytetään noin 140-150 °C:een. (Vakkilainen 2017, 128-131) Mikäli luvona käytetään putkilämmönsiirrintä niin osa luvon putkipaketeista voi olla myös ekonomaiserin pakettien välissä kattilaprosessin optimoimiseksi. Luvon jälkeen savukaasut puhdistetaan hiukkasista tyypillisesti joko letkusuotimella tai sähkösuotimella (ESP) ennen niiden johtamista savupiippuun. (Vakkilainen 2017, 160-162). Savukaasupuhaltimella varmistetaan riittävä veto savupiipun aiheuttaman luonnonvedon kanssa savukaasujen johtamiseksi ulos (Huhtinen 2013, 43).

Yleisimpiä hiukkasten lisäksi vähennettäviä päästöjä ovat SO₂- ja NO_x- päästöt (Vakkilainen 2017, 45). Rikkipäästöjä voidaan hallita esimerkiksi kuivalla, puolikuivalla tai märkämenetelmällä. Kuivassa menetelmässä kuivaa kalsiumhydroksidi tai

natriumbikarbonaatti sorbenttia syötetään tulipesään tai savukaasuvirtaan ennen suodinta. Puolikuivassa ja märkämenetelmässä ennen suodinta on erillinen reaktori, jossa savukaasuihin sekoitetaan kalsiumpohjaista ainetta ja vettä. (Raiko et al. 2002, 350-352)

Typpipäästöjen hallinnassa voidaan käyttää SNCR- (*Selective Non-Catalytic Reduction*) tai SCR-systeemiä (*Selective Catalytic Reduction*). SNCR-järjestelmässä ammoniakki-vesi sekoitusta tai ureaa ruiskutetaan suoraan tulipesään. Järjestelmää varten tarvitaan omat putkistot, venttiilit, suuttimet kuten myös ammoniakkitankit ja pumput. SCR-järjestelmässä ammoniakki-vesi sekoitusta ruiskutetaan savukaasuihin ennen katalysaattoria. Katalysaattori voi sijaita savukaasukanavassa ekonomaiserin alueella (n. 300-350 °C asteessa) tai suotimien jälkeen n.220C asteessa. Suotimia ennen oleva katalysaattori on altis savukaasujen epäpuhtauksille ja näin ollen tyypillisesti lyhytikäisempi. Suotimen jälkeen oleva taas tarvitsee usein erillisen lämmönsiirtimen savukaasujen lämmittämiseksi ja jäähdyttämiseksi riittävän alhaiseksi enne ulos johtamista. (Huhtinen et al. 2000, 260-261)

Syöttövesitankin, johon lauhde- ja lisävesi johdetaan, on vesi-höyrypiiriin vesivarasto sekä toimii samalla syöttöveden esilämmittimenä ja erottaa liukenevia kaasuja (Huhtinen et al. 2013, 23). Tankin jälkeen syöttövesi paineistetaan syöttövesipumpulla ja johdetaan ekonomaiserille. Ekonomaiserilta lähelle höyrystymislämpötilaa lämmitetty syöttövesi johdetaan kattilan yläosassa sijaitsevalle lieriölle. (Huhtinen et al. 2000, 113)

Lieriön tarkoitus on erottaa höyrystimiltä tulevasta höyrystä vesipisarot, varastoida kylläistä vettä sekä puhdistaa kattilavettä ulospuhalluksella. Vesi johdetaan suuria laskuputkia pitkin kattilan alaosaan jakotukeille, joilta se jaetaan edelleen tasaisesti höyrystinpinnoille. Höyrystinpinnoina toimivat tulipesän seinämien yhteen hitsatut eväputket. Lämpö siirtyy tulipesästä seinämiin, jossa vesi höyrystyessään nousee tiheyserosta johtuen höyrystinputkia pitkin ylöspäin. Kattilan yläosassa vesihöyry kootaan ensin kokoojatukeille ennen takaisin lieriöön johtamista. (Huhtinen et al. 2000, 113-118) Höyrystinpinnoja voi olla tulipesän seinämien lisäksi myös esimerkiksi arinalla,

savukaasukanavien seinäminä sekä savukaasukanavassa erillisinä lämmönsiirtiminä. (Huhtinen et al. 2013, 38) (Huhtinen et al. 2000, 117-118)

Tulistimilla kylläisen höyryn lämpötilaa nostetaan tulistamalla se suunnitteluarvoihin savukaasujen lämpöä hyväksikäyttäen. Tulistimien rakenne ja sijoittelu riippuvat pääasiallisesti kattilatyypistä ja toiminta-arvoista. Tulistimet ovat kuitenkin putkilämmönsiirtimiä ja sijaitsevat tyypillisesti tulipesän yläosassa ja/tai savukaasukanavassa. (Vakkilainen 2017, 126-129) Tulistimet jaetaan usein primääri-, sekundääri- ja tertiääritulistin putkipaketteihin. Primääritulistin on savukaasuvirtaukseen nähden viimeisenä alhaisimmissa lämpötiloissa ja sekundääri taas ensimmäisenä korkeimmissa lämpötiloissa. Tulipesässä sijaitsevilla tulistimilla lämpö siirtyy ainakin osittain säteilylämmönsiirtona. Ensimmäisen tulistinvaiheen jälkeen säteilylämmönsiirron osuus pienenee voimakkaasti ja pääasialliseksi lämmönsiirroksi muuttuu konvektio. Kylläinen höyry saapuu ensimmäisenä primääritulistimille, jossa se virtaa vastavirta tyypisesti sekundääritulistimille ja edelleen seuraavalle vaiheelle. Tulistinvaiheiden välissä höyry kootaan jakokammioihin ja edelleen yhdysputkiin, joissa vesiruiskuilla säädetään tulistustilaa. Etenkin suuremman kokoluokan kattilalaitoksilla voidaan käyttää myös välitulistimia, joissa turbiinilla osin paisunut höyry tulistetaan uudelleen. Välitulistimet ovat rakenteeltaan muiden tulistimien kaltaisia ja sijaitsevat usein muiden tulistinvaiheiden välissä tai jälkeen. Tässä työssä käsiteltävässä kokoluokassa ei ole kuitenkaan tyypillisesti välitulistusta. Viimeiseltä tulistinvaiheelta höyry johdetaan lopulta turbiinille, prosessihöyryksi ja/tai esimerkiksi kaukolämmönsiirtimelle. (Huhtinen et al. 2000, 188-191)

Etenkin kiinteätä polttoainetta poltettaessa syntyy myös runsaasti tuhkaa, joka on peräisin pääasiassa polttoaineen palamattomista osista. Tuhka luokitellaan usein pohjatuhkaksi ja lentotuhkaksi. Pohjatuhka jää tulipesään ja se poistetaan arinalla olevista aukoista. Lentotuhka lähtee savukaasujen mukaan, jolloin sitä poistetaan savukaasukanavien pohjalla olevien suppiloiden kautta, sekä hiukkassuotimilta (Huhtinen et al. 2013, 37). Kattilasta poistettu tuhka kootaan tuhkakuljettimille, joilla se kuljetetaan edelleen tuhkakontteihin tai siiloihin. Etenkin pohjatuhka on usein hyvin kuumaa, jolloin on syytä

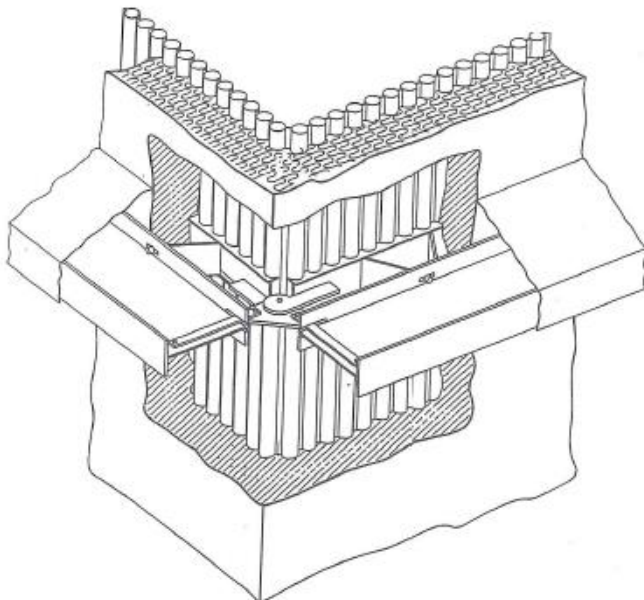
käyttää jäähdytettyjä kuljettimia. Tuhkajärjestelmä voi sisältää myös erilaisia erottimia riippuen tuhkan koostumuksesta sekä sen laatuvaatimuksista. Tuhkajärjestelmät voivat olla myös erillisiä eri tuhkalaaduille. (Vakkilainen 2017, 160-162, 224-226)

Tuhkaa ja muita epäpuhtauksia kerääntyy savukaasuvirran mukana myös lämpöpinnoille ja seinämille. Tuhkakerros heikentää lämmönsiirtoa ja voi aiheuttaa korroosiota, jolloin sitä on syytä poistaa lämpöpinnoilta. Tyypillisesti putkilämmönsiirtimille käytetään nuohoimia, jotka puhaltavat korkeapaineisella höyryllä likakerroksen pois. Nuohoinjärjestelmä vaatii omat putkistot, venttiilit ja kondenssinpoistojärjestelmät. Myöskin erilaisia mekaanisia järjestelmiä, kuten kuulanuohousta, voidaan käyttää. (Huhtinen et al. 2000, 214-220)

Automaatiojärjestelmällä säädetään ja hallitaan kattilan eri prosesseja, kuten polttoaineen ja palamisilman syöttöä sekä vesi-höyrypiiriä. Automaatiojärjestelmään kuuluu muun muassa instrumentointi, jolla mitataan vallitsevaa tilaa, sekä sähköistys, jonka avulla toimilaitteita voidaan ajaa. Tämän lisäksi on vielä ohjausjärjestelmät (DCS, *distributed control system*) ja operointiasemat, jotka vastaavat säätö ja ohjauslogiikasta. Automaatio, sähköistys ja instrumentointi (AEI, *Automation, electrification and instrumentation*) onkin oleellinen osa käytännössä jokaista järjestelmää ja laitetta, jotta kattilaa voidaan ajaa tehokkaasti ja turvallisesti. (Vakkilainen 2017, 260-268)

Laitteiden ja järjestelmien lisäksi kattilalaitokseen kuuluu myös kattilarakennus sekä näihin liittyvät kannakoinnit, tuennat, tasot ja muut teräsrakenteet. Itse höyrystinputkiseinämistä ja arinasta koostuva painerunko on usein suurin merkittävä tekijä kannakointia ja tuentaa suunnitellessa. Kattilat jaetaankin tyypillisesti alhaalta tai yltä tuettuihin kattiloihin. Pienemmän kokoluokan kattilat ovat tyypillisesti alta tuettuja, jolloin kattila lepää maata tuettuna kannakkeiden päällä. Suuremmat kattilat taas tyypillisesti roikkuvat ylhäältä kannatuspilarien tukemista primääripalkeista sekä näiden tukemista pienemmistä sekundääripalkeista. Palkeista kuormat roikkuvat ripustuntankojen varassa. Molemmissa tapauksissa kattilaa on syytä tukea kuitenkin myös koko kattilapituudelta kehyspalkeilla (Kuva 2.3), jottei pääse syntymään suuria

rasituspisteitä. Tuennassa on otettava huomioon myös muun muassa lämpölaajenemisista aiheutuvat muutokset. (Huhtinen et al. 2000, 186-188) (Vakkilainen 2017, 274)



Kuva 2.3 Putkiseinän tukirakenne (Huhtinen et al. 2000, 187)

Kaikki kuumat pinnat tulee myös suojata ja eristää noin 50 °C tavoite pintalämpötilaan. Eristeen päälle asennetaan tyypillisesti alumiinista tehdyt levyt helposti siistinä pidettäväksi pinnaksi. (Vakkilainen 2017, 280)

Voimakattilan järjestelmien huollettavuuden ja ylläpidon kannalta tärkeitä rakenteita ovat myös erilaiset hoito- ja huoltotasot. Näitä tasoja ja rakenteita on oltava useita sopivilla eri korkeustasoilla, jotta jokaista tarvittavaa järjestelmää ja laitetta on mahdollista huoltaa ja tarkistaa. Osa huolto- ja tarkistusrakenteista on tyypillisesti purettavia tai siirrettäviä. (Vakkilainen 2017, 279-281)

Voimalaitoksen laitteet ja järjestelmät ovat tyypillisesti kattilarakennuksen suojaamana, mutta etenkin leudoissa ilmastoissa on myös hyvin tavallista, että kattilarakennukseen rakenneta seiniä. Tällöin säästytään osilta rakennuskustannuksilta mutta toisaalta huolto kustannukset voivat nousta ja huomiota on kiinnitettävä tarkemmin muihin

ympäristöolosuhteilta suojaaviin järjestelmiin ja rakenteisiin. (Kitto ja Stultz 2005, 23-8) Kaikissa rakenteissa on myös otettava huomioon mahdolliset ympäristö tekijät kuten tuuli- ja maanjäristyskuormitukset. (Kitto ja Stultz 2005, 19-4)

2.2 Mitoitustekijöitä

Järjestelmien mitoituksessa oleellisena tekijänä on suunnitellut toiminta-arvot kuten tehot, lämpötilat ja paineet. Alueelliset standardit ja muut määräykset asettavat omat vaatimuksensa ja reunaehdonsa esimerkiksi materiaaleille ja päästöille. (Kitto ja Stultz 2005, 19-3;19-8) Yleisesti käytetyt standardit ovat eurooppalainen EN tai amerikkalainen ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) (ANDRITZ PB 2018).

Kapasiteettia kuvaavat toiminta-arvot kuten polttoaine- ja höyryvirrat määräävät laitteiden määrää ja kokoluokkaa. Suunnitellun tehon ja höyryvirran lisäksi polttoaineella on erittäin suuri vaikutus, sillä sen koostumus määrää lämpöarvon, polttotekniset ominaisuudet, savukaasujen ja tuhkan määrät sekä koostumukset ja näin ollen vaikuttaa vahvasti niin kapasiteettiin kuin myös laatutekijöihin. (Kitto ja Stultz 2005, 19-3;19-4) Polttoaineen laatu vaikuttaa myös kattilatyypin ja konseptin valintaan. Etenkin takavedon suhteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Kapasiteettisten tekijöiden lisäksi etenkin höyryn lämpötilalla ja paineella on suuri vaikutus mitoitukseen (Vakkilainen 2017, 61).

Laitos mitoitetaan halutun normaalin ajotavan mukaisen mitoituspisteen mukaan, mutta usein vaaditaan myös, että laitoksella voidaan ajaa poikkeavan ajotavan mukaan esimerkiksi erilaisella polttoainekoostumuksella ja/tai osakuormilla. Tällöin laitteet ja järjestelmät on suunniteltava niin, että ne mahdollistavat myös nämä täyttäen edelleen myös laatu ja turvallisuusvaatimukset. Hyötysuhteesta joudutaan kuitenkin tällöin usein tinkimään. (Kitto ja Stultz 2005, 27-2;27-3, 37-1;37-3)

Lämpöpinnat

Yleisesti ottaen lämpöpinnoilla suunnittelulämpötila määrää käytettävän materiaalin ja suunnittelu paine taas seinämäpaksuuden (Vakkilainen 2017, 61-62). Virtausmäärät taas kasvattavat poikkipinta-aloja (putkikokoja) ja putkimäärää. Toisaalta virtausnopeutta

kasvattamalla voidaan kasvattaa virtausmääriä ilman että putkikokoa tai määrää tarvitsee kasvattaa, mutta tässä on kuitenkin otettava huomioon myös painehäviöt. (Huhtinen 2013, 86) (Vakkilainen 2017, 102-104) Materiaalivalinnoissa on lämpötilan ja paineen lisäksi toki otettava huomioon myös muut tekijät kuten eroosio- ja korroosioriskit. Tällaisia ovat esimerkiksi savukaasupuolen korkeat alkalipitoisuudet. (Kitto ja Stultz 2005, 7-20;7-23)

Tulipesän dimensioihin ja näin ollen myös esimerkiksi putkien pituuksiin vaikuttavat lämpö- ja palamistekniset seikat. Tavoitteena on saavuttaa sopiva savukaasujen tulipesän loppulämpötila. Loppulämpötila voidaan laskea esimerkiksi poikkipinta- ja tilavuusrasitusten avulla Blokhin-menetelmällä. Loppulämpötilassa on otettava huomioon myös tuhkan käyttäytyminen. Etenkin tuhkan sulamislämpötila sintraantumisen varalta on huomioitava. Kattilankorkeuteen vaikuttaa muun muassa polttoaineen lämpöarvo ja tarvittava viipymisaika. Lämpötilalla on myös vaikutusta syntyviin NO_x - ja SO_x -päästöihin. Lisäksi on otettava huomioon muut lämmönsiirtopinnat, mutta erityisesti seuraavana tuleva tulistusvaihe. Merkittävää on etenkin tulistinmateriaalin lämpökestävyys sekä haluttu tulistuslämpötila. Tyypillisesti tulipesän höyrystinputkien materiaali on hiiliterästä mutta suuremman korroosioriskin tapauksessa esimerkiksi jätteen poltossa voidaan käyttää ruostumatonta teräsputkea tai pinnoitetta. (Vakkilainen 2017, 116-117, 121)

Tulistimien lämpötekniinen mitoitus seuraa samoja periaatteita kuin höyrystimienkin. Tulistimilla lämpö siirtyy kuitenkin kaasusta kaasuun, jolloin lämmönsiirto ei ole niin tehokasta ja lämpökuormat sekä putkilämpötilat kasvavat suuremmiksi. Tästä johtuen tulistinmateriaalit ovat usein huomattavasti kalliimpia seosteräksiä. Etenkin savukaasuvirtauksen näkökulmasta ensimmäisenä tulevat tulistinvaiheet, jotka ovat usein ainakin osittain säteilytulistimia, saavat korkean lämpökuorman. Savukaasuvirrassa ensimmäisillä tulistinvaiheilla on myös suurempi korroosioriski johtuen savukaasujen epäpuhtauksista, mikä pitää ottaa huomioon materiaali ja seinämäpaksuutta suunniteltaessa. (Vakkilainen 2017, 126-129, 170-171) Etenkin tulistimilla paineella on suuri vaikutus materiaalivalintaan, sillä lämpötilan kasvaessa materiaalin kestävyys

kannalta myötölujuutta tärkeämmäksi tekijäksi muodostuu virumislujuus. Runsasseosteisilla materiaaleilla on korkeammat virumislujuudet, jolloin seinämäpaksuudet jäävät usein ohuemmiksi ja materiaalia tarvitaan vähemmän. Yleisesti paineen kasvaessa runsasseosteiset materiaalit tulevatkin niukkaseosteisia edullisemmiksi. Kokonaiskustannuksissa itse materiaalikustannusten lisäksi merkittävä tekijä on myös valmistuskustannukset (Huhtinen 2000, 191-193). Runsasseosteiset materiaalit ovat usein myös vaikeampia käsitellä, jolloin materiaalikustannusten lisäksi myös valmistuskustannukset voivat olla korkeampia. (Vakkilainen 2017, 175)

Ekonomaiserit ovat paineenalaisista osista alhaisimmissa lämpötiloissa, jolloin pystytään käyttämään edullisia hiiliteräksiä. Matalassa lämpötilassa on kuitenkin kiinnitettävä huomiota matalalämpötilakorroosioon. Lämmönsiirron tehostamiseksi kaasupuolen lämmönsiirtopinta-alaa voidaan kasvattaa rivoittamalla putkisto. Tämä vähentää tarvittavaa putkipituutta ja ekonomaiserin tarvitsemaa tilaa mutta toisaalta kasvattaa valmistuskustannuksia. Rivoitetut putket myös likaantuvat helpommin, jolloin nuohoukseen on kiinnitettävä enemmän huomiota. Ripoja ei tästä syystä käytetä usein runsaasti tuhkaa sisältävillä polttoaineilla. (Vakkilainen 2017, 171-172)

Ilmanesilämmitimillä ei myöskään esiinny korkeita lämpötiloja eivätkä ne ole paineenalaisia osia, joten materiaaleina voidaan käyttää edullista hiiliterästä. Matalassa lämpötilassa kuitenkin kiinnitettävä huomiota, ettei happokasteen alitus aiheuta korroosiota. Rekuperatiivisessa teräspankki luvossa valmistuskustannukset ovat matalat, mutta matalan lämmönsiirtokertoimen vuoksi kokonaisputkipituus, tarvittava tila ja materiaalin määrä saattavat kasvaa suureksi. (Huhtinen 2000, 196-197) Tällaisen luvon lämpöpinta voikin kattaa yli puolet koko kattilan lämpöpinnasta. (Vakkilainen 2017, 172) Tyypillisesti palamisilmaa lämmitetään matalapainehöyryllä (höyryluvo) ennen ilmanesilämmitintä happokastepisteen välttämiseksi. Tämä on tarpeellista etenkin, jos on tarve ajaa pienillä kattilakuormilla. Rakenteeltaan höyryluvo on rivoitetun putkiluvon kaltainen mutta tarvitsee lisäksi höyryn väliottoputkiston sekä lauhdelinjan. (Kitto ja Stultz 2005, 20-9)

Ilma- ja savukaasujärjestelmä

Ilmajärjestelmien mitoitukseen vaikuttaa oleellisesti polttotavan lisäksi käytetty polttoaine, sillä sen alkuainekoostumus määrittää tarvittavan palamisilma määrän. Tämän lisäksi on otettava huomioon päästöjen muodostuminen palamisilman määrässä ja vaiheistetussa ilman syötössä. (Raiko et al. 2002, 34-39, 318-319)

Savukaasu puolella ei ole tyypillisesti korkeita paineita, joten rakenteet ovat suhteellisen kevyitä ja yksinkertaisia. Riittävä virtausala on kuitenkin taattava ja virtausolojen vaikutus lämmönsiirtoon huomioitava.

Päästöjen hallintajärjestelmät ovat tärkeimpiä mitoittavia järjestelmiä. Etenkin hiukkaspäästöihin on kiinnitettävä huomiota. Savukaasun ja lentotuhkan määrä ja ominaisuudet, jotka ovat riippuvaisia polttoaineen tuhkaominaisuuksista ja polttotavasta, sekä päästötavoitteet vaikuttavat suodattamien mitoitukseen.

Letkusuotimella päästään tyypillisesti korkeampaan erotusasteeseen kuin sähkösuotimella. Sähkösuodin on tyypillisesti investoinniltaan hieman kalliimpi mutta on toisaalta käyttökustannuksiltaan alhaisempi. (Kitto ja Stultz 2005, 33-2;33-12) (Vakkilainen 2017, 160-162) Valintaan vaikuttaa taloudellisten ja mitoistekijöiden lisäksi tavoitellut hiukkaspäästörajat ja mahdollisten muiden päästöjen hallintatekniikoiden yhteensopivuus sekä asiakkaan mieltymykset. Mikäli on tarpeen poistaa hiukkasten lisäksi lisäainesyötöllä myös happamia kaasuja kuten SO₂ ja HCl, niin käytetään yleisesti letkusuodinta. Savukaasujen koostumus yhdessä tavoiteltujen päästörajoiden kanssa määrää tarvitaanko muita päästöjenhallinta järjestelmiä.

Polttoaine ja tuhka järjestelmät

Polttoainejärjestelmien mitoitukseen vaikuttaa lähinnä tavoitellun polttoainetehon ja polttoaineen ominaisuuksien määräämä polttoaineen tarve. Polttoainetyyppien sopivuus laitteille on huomioitava, sillä esimerkiksi kuori ei sovellu hyvin kaikille kuljettimille

voiden aiheuttaa polttoaineen syötön tukkeutumisen ja kattilan alasajon. (Kitto ja Stultz 2005, 30-8) (Vakkilainen 2017, 227)

Polttoaineen ominaisuudet vaikuttavat myös oleellisesti tuhkajärjestelmien mitoitukseen, sillä polttoaineen sisältämän tuhkan määrä vaikuttaa kuinka paljon sitä on myös poistettava. Tuhkan sulamispiste vaikuttaa sen herkkyyteen sintraantua petimateriaalin kanssa ja näin vaikuttaa oleellisesti myös petimateriaalin poistoon, seulontaan ja takaisinkierrätykseen. Tähän vaikuttaa toki myös petimateriaalin ominaisuudet. (Huhtinen 2000, 158) Tuhkan sisältämät haitalliset yhdisteet on myös huomioitava sekä vaatimukset lopullisesti poistettavalle tuhkalta esimerkiksi hyötykäyttöä varten. (Kitto ja Stultz 2005, 24-21)

2.3 Leijukerrospolton teoriaa

Leijukerrostekniikkaa on käytetty jo 1930-luvulta lähtien petrokemiassa ja hiilen kaasutuksessa. Ensimmäiset kaupalliset sovellukset kiinteille polttoaineille tulivat 1970-luvulla. 1980-luvulta lähtien leijukattilat ovat alkaneet hallita markkinoita perinteisiin arinakattiloihin verrattuna yli 10 MW_{th} kokoluokissa. Teknologia vakiintui ensimmäisenä Skandinaviassa biomassan ja Pohjois-Amerikassa bitumihiilen poltossa. (Vakkilainen 2017, 211)

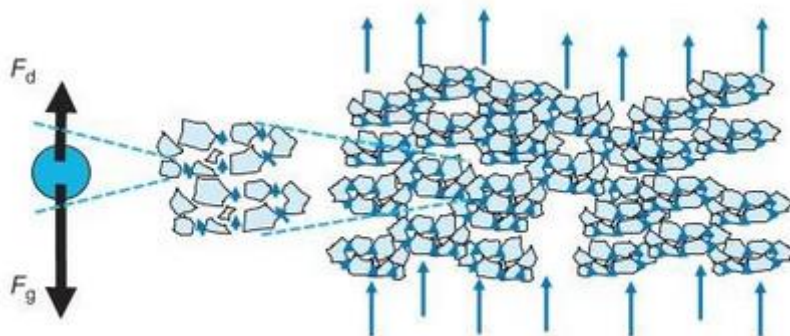
Leijukerrostekniikka eroaa muista polttotavallaan, sillä siinä hyväksikäytetään leijuvaa hiekkapetiä, jota kutsutaan usein leijupediksi. Pedin ansiosta polttoaineen kuivuminen nopeaa ja sekoittuminen tehokasta. Leijukerrospolton kaksi päätyyppiä ovat kerrosleijukattila ja kiertoleijukattila. Kattilatyypin valintaan vaikuttaa pääasiassa suunniteltu kokoluokka ja käytetyt polttoaineet. BFB yleisesti käytetty alle 100 MW_{th} sovelluksissa ja CFB yli 50 MW_{el}.

Leijukerrostekniikka on ideaalinen tapa polttaa metsä- sekä sellu- ja paperiteollisuuden sivuvirtojen biomassaa. Tekniikka soveltuu hyvin myös kiinteille biopolttoaineille, joiden kosteuspitoisuus olla suuri ja lämpöarvo matala. Pedin suuren lämpökapasiteetin ansiosta tekniikka ei ole herkkä vaihteluille ja lämpötila pysyy tasaisen matalalla.

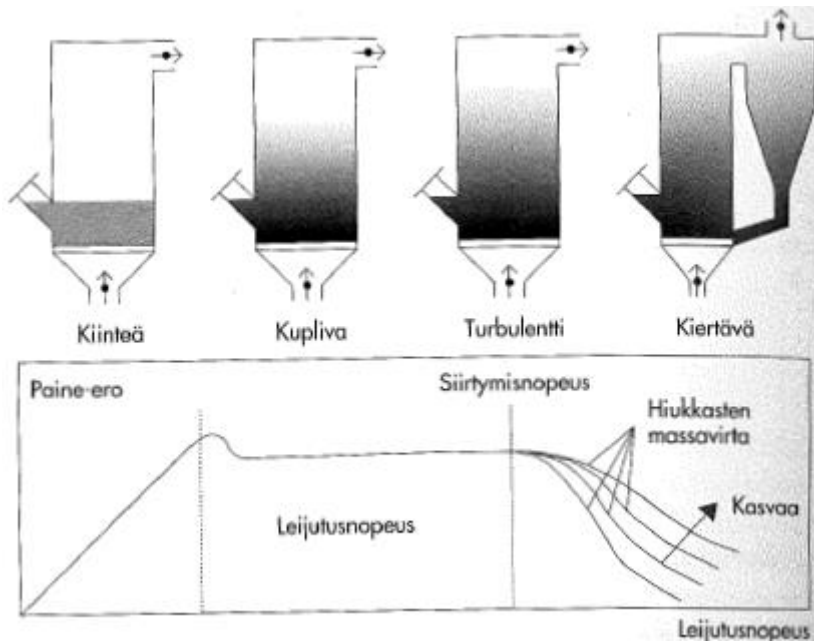
Polttotekniikka soveltuukin hyvin erilaisille ja vaihteleville polttoainetyypeille ja laaduille. (Vakkilainen, 2017, 211-212)

Leijukerros-poltossa palamisilma puhalletaan hienon hiekka- ja tuhkakerroksen eli pedin läpi. Ilman virtausnopeutta kasvattamalla tarpeeksi petimateriaali nousee ja alkaa käyttäytyä fluidin tavoin. Tulipesän lämpötilaa nostettaessa kaasujen nopeudet kasvavat entisestään. Polttoaine syötetään tulipesän alaosasta kuuman petimateriaalin sekaan, jonka kanssa se sekoittuu nopeasti. Polttoaineen osuus petimateriaalista on tyypillisesti vain noin 1-5 massaprosenttia. Pedin suuren lämpökapasiteetin ansiosta polttoaineen kuivuminen on nopeaa ja syttyminen tapahtuu suhteellisen vakioidussa lämpötilassa.

Voimat, jotka vaikuttavat pedin kiintoainekseen, ovat painovoima, noste ja leijuttavan väliaineen aiheuttamat otsavastusvoimat kuvan 2.4 mukaisesti. Ilman ollessa väliaineena nosteen merkitys on kuitenkin häviävän pieni.



Kuva 2.4 Oikealla: partikkeliin vaikuttavat voimat ilman lukuun ottamatta otsavastusvoimia. Vasemmalla: Partikkeliin ryhmittymistä ja tyhjien tilojen eli kuplien muodostumista (Vakkilainen 2017, 215)



Kuva 2.5 Leijutusnopeuden vaikutus leijukerroksen paine-eroon ja virtaustyyppiin (Raiko et al. 2002, 492)

Kuvassa 2.5 on kuvattu pedin hiekkapartikkelien käyttäytymistä kaasun virratessa pedin läpi eri leijutusnopeuksille ja kaasun painehäviö virtausnopeuden funktiona. Kiintopedin tapauksessa kaasun painehäviö on verrannollinen nopeuden neliöjuureen. Peti alkaa leijua nopeuden kasvaessa. Nopeus, jolla muutos kiintopedistä leijuvaksi tapahtuu, on minimi leijutusnopeus. Tällöin otsavastusvoimat ovat yhtä suuret muiden voimien summan kanssa, jotka vaikuttavat partikkeleihin. Minimi leijutusnopeus U_{mf} lasketaan seuraavalla yhtälöllä:

$$U_{mf} = \frac{\mu_s}{d_p \rho_s} \left[\sqrt{33.7^2 + 0.0408 \frac{d_p \rho_s (\rho_g - \rho_s) g}{\mu_g^2}} - 33.7 \right] \quad (1)$$

missä μ_s on dynaaminen viskositeetti
 ρ_s on partikkelin tiheys
 μ_g on kaasun dynaaminen viskositeetti
 d_p on kappaleen halkaisija
 ρ_g on kaasun tiheys

g on putoamiskiikkyvyys

Minimi leijutusnopeutta suuremmilla nopeuksilla painehäviö pedin läpi pysyy vakiona vastaten kiintopartikkeleiden painoa pinta-alaa kohden. Tällöin otsavastusvoimat ylittää juuri ja juuri painovoiman. Painehäviö pedin läpi lasketaan seuraavanlaisesti:

$$\Delta p = (\rho_g - \rho_s)(1 - \varepsilon)gH \quad (2)$$

missä ε on tyhjän tilan suhteellinen osuus pedissä

H on pedin korkeus

Leijutusnopeuden kasvaessa rajanopeutta U_t suuremmaksi kiinteät partikkelit alkavat erkanemaan pedistä. Leijutukseen voidaan näin ollen vaikuttaa partikkelien koolla, jakautumisella, tiheydellä, muodolla, leijutusnopeudella ja pedin tiheys jakaumalla yhtälön 3 mukaan. (Vakkilainen 2017, 213-216)

$$U_t = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{d_p(\rho_p - \rho_g)}{\rho_g C_d} g} \quad (3)$$

missä C_d on otsavastuskerroin

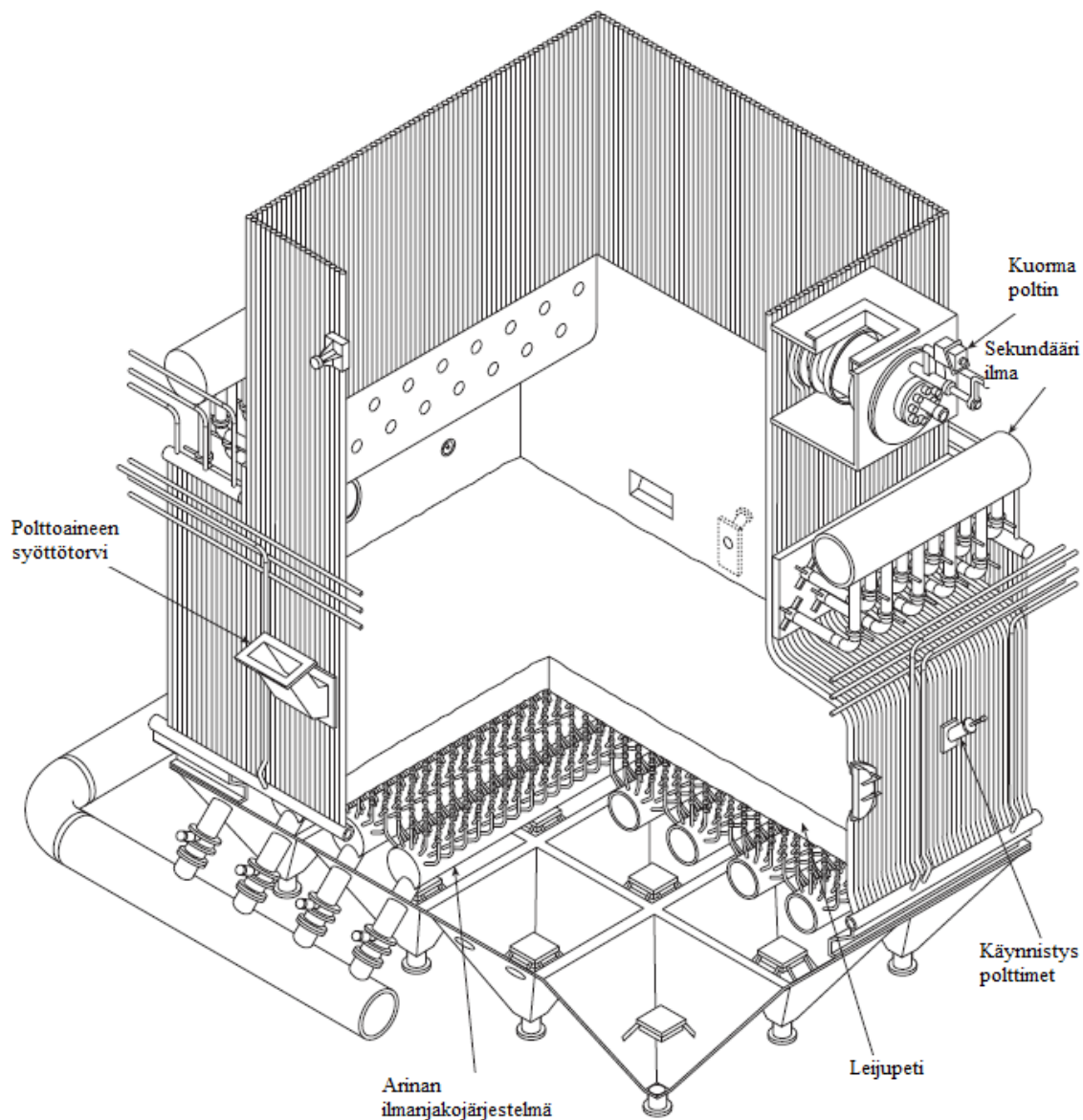
Minimi leijutusnopeutta suuremmilla nopeuksilla ylimääräinen kaasu, joka tarvitaan leijuttamaan petiä, nousee pedin läpi kuplina. Tällaista systeemiä käyttäviä kattiloita kutsutaan kerrosleijukattilaksi. Usein käytetty termi on myös kuplapetikattila. Kuplapedistä on selvästi erotettavissa taso, jossa peti loppuu. Kun leijutusnopeutta kasvatetaan tarpeeksi (>2 m/s) selvästi erottuva pedin pinta häviää ja pedin materiaalia alkaa irtautua kaasuvirtauksen mukaan. Tällöin petimateriaalia on kierrätettävä takaisin ylläpitääkseen systeemiä. Kiertoleijukattilan nimi perustuu juuri tähän petimateriaalin suureen takaisin kierrätykseen. CFB:ssä on useasti yli kaksi kertaa suurempi nopeus tulipesän alaosassa kuin BFB:ssä ja petimateriaali on hienojakoisempaa. (Ibid)

2.3.1 Kerrosleijukattilat

Kuvassa 2.2 on esitetty BFB-kattilan poikkileikkaus kuva ja kuvassa 2.6 tulipesän alaosan rakenteita ja järjestelmiä. Tulipesä koostuu yhteen hitsatuista eväputkista sekä arinasta. Tulipesän alaosan ja arinan putket on vuorattu tyypillisesti noin 2 m korkeuteen arinasta tulenkestävällä massalla suojatakseen putkia eroosiolta sekä auttaakseen ylläpitämään pedissä tarpeeksi korkea lämpötila kosteilla polttoaineilla. Arina koostuu teräslevyyn tai jäähdytysputkistoon hitsatuista suuttimista, joista petiä leijuttavaa primääri-ilmaa puhalletaan koko pedin alueelta. Arina on tyypillisesti ilma tai höyrystinputkilla jäähdytetty. (Vakkilainen 2017, 217-219) Pohjatuhka pääsee poistumaan arinan pohjassa olevista aukoista. Pohjatuhkan mukana poistuu myös runsaasti hiekkaa. Tuhka seulotaan ja puhdistettu hiekka palautetaan petiin. Hiekkaa poistetaan lopullisesti myös tuhkan mukana, jolloin myös uutta hiekkaa on tuotava petiin. Tätä varten tarvitaan myös omat varastointi ja syöttöjärjestelmät.

Polttoaine syötetään pedin päälle joko mekaanisesti tai pneumaattisesti syöttötorvista. Pneumaattista järjestelmää käytettäessä osa palamisilmasta syötetään tällöin samalla tulipesään. Polttoaine sekoittuu petimateriaaliin, jossa se kuivuu nopeasti ja haihtuvat aineet haihtuvat ja nousevat ilmavirtauksen mukana pedistä. Pedin yläpuolella, johon sekundääri-ilma syötetään, tapahtuu suurin osa haihtuvien palamisesta. Alhaisten NO_x -päästöjen saavuttamiseksi osa palamisilmasta jaetaan vielä tertiääri-ilmaan, jonka syöttö tulipesään tapahtuu suhteellisen ylhäällä kattilassa. (Vakkilainen 2017, 217-220)

Palamisen ja hiekkapedin lämpötilan hallitsemiseksi käytetään myös savukaasujen takaisinkierrätystä, jossa puhdistettua savukaasua otetaan savukaasupuhaltimen jälkeen ja sekoitetaan primääri-ilman sekaan kiertokaasupuhaltimen avulla. (Huhtinen et al. 2013, 42-43)



Kuva 2.6 BFB tulipesän alaosan rakenteita ja järjestelmiä (Kitto ja Stultz 2005, 17-5)

BFB:ssä on tyypillistä käyttää myös kuormapolttimia, jotka sijaitsevat tulipesän yläosassa. Kuormapolttimilla voidaan tukea etenkin pienillä kuormilla kattilaprosessia. Käynnistysvaiheessa ennen kiinteän polttoaineen syöttämistä petimateriaali on lämmitettävä kiinteän polttoaineen syttymislämpötilaan. Tätä varten tarvitaan käynnistyspolttimet, jotka ovat tyypillisesti alaspäin suuntautuvat kaasu- tai öljypolttimet. (Huhtinen et al. 2013, 37)

BFB:n tulipesälle on tyypillistä yläosassa savukaasun poistokanavan puolella sijaitseva nokka, jonka seinämät ovat myöskin eväputkea. Nokan yläpuolella tulipesässä sijaitsee tulistimet tai osa niistä. Nokka suojaa tulistimia tulipesän suoralta säteilyltä. Savukaasuvirtaukseen nähden ensimmäisenä tuleva tulistin tulee kuitenkin suunnitella tyypillisesti ainakin osittain säteilytulistin tyypiseksi. Taaempaan tulipesän katosta roikkuvat pystytulistimet ovat kuitenkin tyypillisesti konvektioon perustuvia. Osa tulistinvaiheista voi sijaita myös savukaasukanavassa. BFB:ssä tulistin- ja muiden lämpöpintojen järjestys ja sijoittelu mukaillee muuten perinteistä lämpöpintojen järjestelyjä. (Vakkilainen 2017, 217) (Huhtinen et al. 2000, 188-190) Korkealämpöarvoisilla polttoaineilla voidaan käyttää myös pedin sisäisiä höyrystinlämmönsiirtimiä tai tulistimia. (Koorneef et al 2007 s.25)

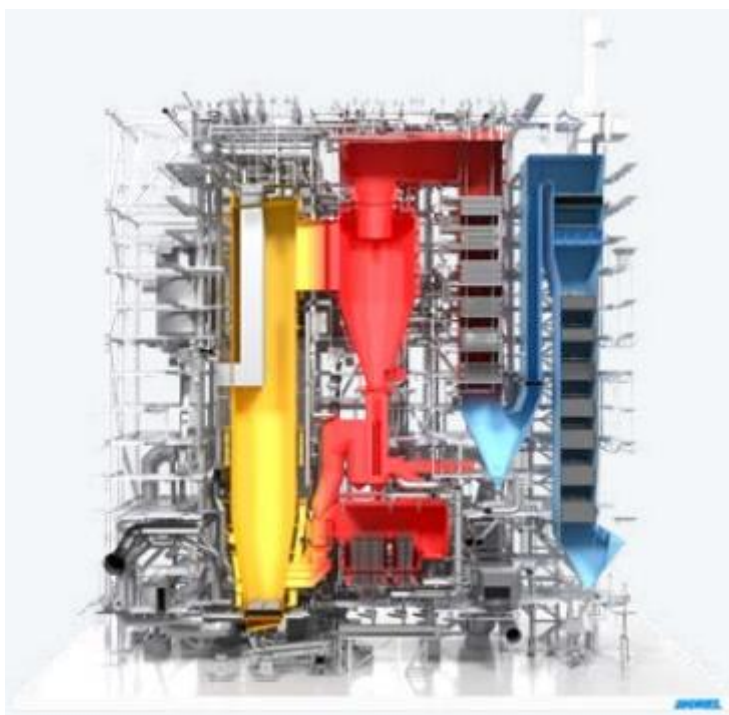
Hiukkas- ja muiden päästöjen hallintaan sekä muihin savukaasujärjestelmiin pätee myös samat periaatteet kuin muissakin kattilatyypeissä. Kuitenkin etenkin NO_x -päästöt ovat leijukerrospoltoissa luonnostaan alhaisemmat, jolloin raskaita järjestelmiä näitä varten ei välttämättä tarvita. Myös rikkipäästöjen hallinta on helppoa, sillä leijukerrospolto mahdollistaa kalkkikiven syötön tulipesään, josta kalkkikiveen sitoutunut rikki poistuu pohjatuhkan mukana. (Huhtinen et al. 2013, 36) (Vakkilainen 2017, 2018)

2.3.2 Kiertoleijukattilat

Tämä työ keskittyy pääasiassa BFB ratkaisuihin, joten CFB-tekniikkaa käydään läpi vain hyvin pintapuolisesti ja keskittyen suurimpiin eroavaisuuksiin. CFB:n eroavaisuudet johtuvat pääasiassa siitä, että leijutusilman virtausnopeutta kasvatetaan niin, että suuri määrä petimateriaalista tempautuu virtauksen mukaan. Tätä varten petimateriaalin ja polttoaineen on oltava hienojakoisempaa kuin BFB:ssä. (Vakkilainen 2017, 220-221)

Savukaasuvirtauksen mukaan lähtenyt petimateriaali erotettava virtauksesta tulipesän jälkeen. Tähän on käytetty tyypillisesti joko sykklonia tai u-palkki erotinta, joista sykkloni on selvästi yleisempi ratkaisu. Syklonissa savukaasut joutuvat pyöriivään liikkeeseen jolloin tiheämpi kiintoaines ajautuu ulkoreunalla ja kulkeutuu sykklonin seinämiä pitkin alas. Savukaasut taas nousevat sykklonin keskeltä lähtevää putkea pitkin eteenpäin

savukaasukanavaan. Joissain tapauksissa sykklonia voidaan käyttää myös lämpöpintana (Huhtinen et al. 2013, 98) (Kitto ja Stultz 2005, 17-9). Syklonin jälkeen savukaasuvirtaus noudattelee normaalia lämmönsiirtimien ja savukaasujärjestelmien järjestelyä. Kuvassa 2.7 on esitetty tyypillinen kiertoileijukattilan poikkileikkauskuva.



Kuva 2.7 CFB-kattilan poikkileikkauskuva (ANDRITZ AG 2018)

Kiintoaines, joka sisältää hiekan lisäksi tuhkaa ja palamattomia, kerätään syklonin pohjalta polveen (*loop seal*), josta se palautetaan takaisin pedin pohjalle. (Vakkilainen 2017, 221-222) Hiekanpalautuksessa voi olla myös hiekkalämmönsiirrin, jota voidaan käyttää höyrystämiseen ja tulistukseen. Sen lisäksi, että hiekkalämmönsiirtimellä pystytään ottamaan lämpöä talteen, sillä voidaan myös hallita petilämpötilaa. Suurissa kattiloissa osa höyrystin ja/tai tulistinpinnoista voi olla kattilan yläosan seinällä sijaitsevana niin kutsuttuna *wing wall* -lämmönsiirtimenä. (Basu 2015, 73, 77)

Tulipesä muodostuu BFB:n tavoin yhteen hitsatuista eväputkista, jotka ovat tulipesän alaosa vuorattu. Suuremman leijutusnopeuden takia tulipesän poikkileikkaus pinta-ala on kuitenkin pienempi kuin BFB:ssä. Tulipesän alaosa on myöskin tyypillisesti kartiomainen, jolloin arinan poikkipinta-ala on muuta tulipesää huomattavasti pienempi. (Vakkilainen 2017, 222)

Polttoaineen syöttö toimii samalla periaatteella kuin BFB:ssäkin, mutta CFB:ssä polttoainetta voidaan syöttää myös syklonilta palaavan petihiekan joukkoon, jolloin se sekoittuu hyvin petimateriaalin kanssa. Myös primääri- ja sekundääri-ilman noudattaa samoja periaatteita. (Vakkilainen 2017, 223)

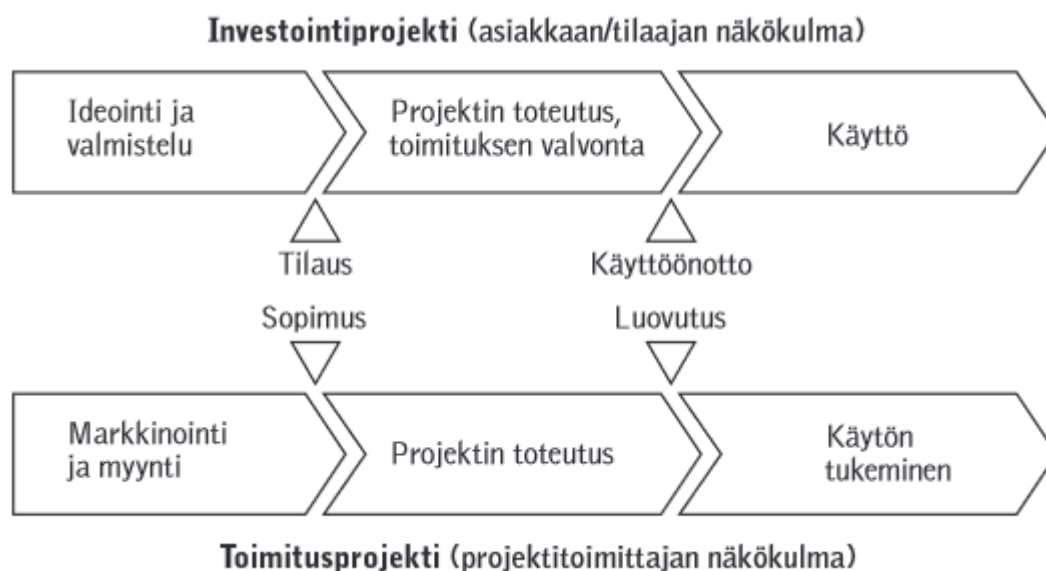
Päästöjen hallinta toimii samalla tavalla kuin BFB:ssäkin. Tosin CFB:ssä päästään alempiin ja tasaisempaan lämpötilajakaumaan, jolloin NO_x -päästöt ovat kerrosleijupolttokin maltillisempia ja olosuhteet kalkkikiven ja rikin väliselle reaktiolle ovat myöskin suotuisimmat. Huolimatta hiukkasten erottamisesta syklonilla etenkin hienompijakoisemman hiukkasten määrä savukaasuissa on usein suurempi, mikä täytyy ottaa huomioon lentotuhkan hallinnassa. (Vakkilainen 2017, 221, 224)

3 PROJEKTIEN KUSTANNUSARVIOINTI

Voimakattiloiden markkinat ovat projektiluontoisia. Projektille on useita eri määritelmiä ja yksi niistä Artto et al. (2006, 26) mukaan on:

Projekti on ennalta määritettyyn päämäärään tähtäävä, monimutkaisten ja toisiinsa liittyvien tehtävien muodostama ajallisesti, kustannuksiltaan ja laajuudeltaan rajattu ainutkertainen kokonaisuus.

Projektilla on näin ollen päämäärä, aloitus- ja lopetuspäivämäärä sekä päämäärä varten luotu työ- ja resurssirakenne. Määritelmä sopii hyvin myös voimakattilaprojekteille, jossa päämääränä on valmis ja toimiva kattilalaitos. Toimittajan näkökulmasta katsottuna projektin voidaan nähdä alkavan, kun asiakkaalta on saatu tarjouspyyntö ja loppuvan kun voimakattila on luovutettu asiakkaalle. Asiakkaan näkökulmasta tämä on vain projektin yksi vaihe ja koko projektin voidaan nähdä alkavan jo aikaisemmin asiakkaan liikeideasta tai tarpeesta. Kuvassa 3.1 on esitetty projektin vaiheiden karkea jaottelu. (Artto et al. 2006, 24-27)



Kuva 3.1 Projektin vaiheet asiakkaan ja toimittajan näkökulmasta (Artto et al. 2006, 50)

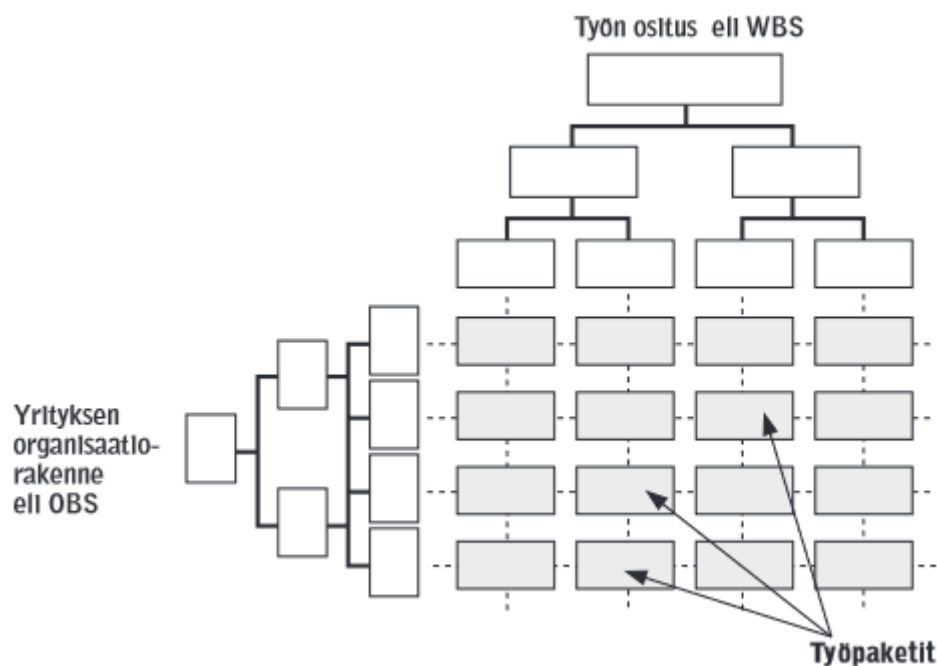
Projekti voidaan usein myös pilkkoa osaprojekteiksi tai vaiheistetuksi prosessiksi. Esimerkiksi toimittajan näkökulmasta voimalaitosprojekti voidaan pilkkoa myynti-, suunnittelu-, rakennus- ja käyttöönottoprojekteiksi. Osaprojektit eivät kuitenkaan ole täysin irrallisia toisistaan ja ne esiintyvätkin usein päällekkäin. Tässä työssä keskitytään toimittajan näkökulmasta myyntiprojektivaiheeseen, sillä hinnan arviointi on keskeinen osa voimalaitosprojektin myyntityötä.

Voimalaitosprojektia ja projektin osia varten luodaan myös omat projektiorganisaatiot, jotka vastaavat projektien päämääriin pääsemisestä. Suunnitteluvaiheessa yleisesti määritellään kuinka paljon työ- ja muita resursseja kullekin kokonaisuudelle on varattu.

Projektinhallinnan onnistumiseksi on oleellista osata jakaa projektit hallittaviksi kokonaisuudeksi. Etenkin suurissa rakentamis- sekä tutkimus ja kehitysprojekteissa laajalti käytetty työkalu on projektiositus, *Work Breakdown Structure* (WBS) (workbreakdownstructure.com 2019). WBS on sekä projektinhallinnan malli, että mitoitustyökalu, jolla voidaan edistää suunnittelua ja seurata toteutusta. Toimien näin myös tärkeänä apuna kustannusarvioinnissa ja budjetoinnissa sekä myös tarjouksen laatimisessa. (Artto et al. 2006, 112-113)

Työ ositetaan tyypillisesti ylhäältä alaspäin, niin että ylimpänä on projektin tuote. Toteutus jaetaan tehtäväkokonaisuuksiin, tehtäväkokonaisuudet pienemmiksi osiksi ja edelleen yksittäisiksi työpaketeiksi ja tehtäviksi muodostaen lopulta koodinumeroidun hierarkkisen järjestelmän. (Ibid) (Martinelli ja Milosevic 2016, 126-127) WBS osituksen tärkeimpänä sääntönä voidaan pitää 100%-sääntöä, jonka mukaan ylempi taso sisältää aina kaiken laajuutensa sisältävät toimitukset, jotka on jaettu sen alemmille tasoille. Paras tapa tämän saavuttamiseksi on määrittää elementit suunnitellun tuloksen perusteella. Ositusrakenteen tulee olla helposti hallittava ja työpakettien toisistaan mahdollisimman riippumattomia. (Taylor 2009, 4-6) Jokainen WBS-elementti tulisi sisältää työn laajuuden, aikajänteen, kustannukset ja budjetin sekä vastuuhenkilön. (Artto et al. 2006, 113) WBS-rakenne linkittyy myös organisaatiorakenteeseen ja onnistuneesta

osituksesta selviää myös projektin toiminnallinen jako ja organisaation vastualueet (Kuva 3.2). (Kärri ja Uusi-Rauva 2003, 7)



Kuva 3.2 WBS-rakenteen liittyminen yrityksen organisaatiorakenteeseen (Artto et al. 2006, 143)

Projektisosituksen pienintä ajallisesti ja kustannuksellisesti arvioitavaa ja seurattavaa elementtiä kutsutaan työpaketiksi (*Work Package*). Työpaketin laajuus tulisi olla sellainen, että sen välittömät kustannukset, esimerkiksi materiaali- ja työkustannukset, voidaan määrittää suhteellisen helposti. Välilliset kustannukset kuten hallintokustannukset ovat tässä mielessä hankalia, sillä niitä ei voida välttämättä mielekkäästi kohdentaa tiettyyn tehtävään tai työpakettiin. Nämä käsitelläänkin usein omina erinään. (Kärri ja Uusi-Rauva 2003, 8) Voimakattilaprojektille työpaketteja voivat olla esimerkiksi layout suunnittelu ja syöttövesiputkisto.

3.1 Projektien kustannusarviointi ja mallintaminen

Voimakattiloiden kaltaisten investointi- ja toimitusprojektien kustannussuunnittelu ja arviointi eroavat merkittävästi perinteisestä *tuotantoteollisuudesta*. Yksi

merkittävimmistä eroista on, että vaikutusmahdollisuudet projektin kustannuksiin heikkenevät voimakkaasti projektin edetessä. Suurimpiin osiin investointipäätöksistä sitoudutaan jo heti projektin alkuvaiheessa sopimusta allekirjoitettaessa. Kustannukset toteutuvat kuitenkin vasta myöhemmin projektin edetessä. Muutoksia on toki mahdollista tehdä myöhemminkin, mutta tyypillisesti mitä suurempi muutos on kyseessä ja mitä myöhemmin se tehdään niin sitä suuremmat ovat lisäkustannukset. (Arto et al. 2006, 151-153)

Projektikustannusten kannalta tärkeimmät päätökset tehdäänkin projektin alkuvaiheessa. Toimittajan näkökulmasta projektin laajuuden hyväksyminen ja investointipäätökset luovat rajat tuleville kustannuksille. Kustannusten arviointi onkin projektin menestyksen kannalta elintärkeää. Kustannusten aliarviointi tarjousvaiheessa voi johtaa liian alhaiseen myyntihintaa ja tappiolliseen projektiin. Liian korkea kustannusarvio saattaa taas johtaa liian korkeaan myyntihintaan ja projektin tarjouskisan häviämiseen. (Ibid)

On siis luontevaa, että organisaatio pyrkii mahdollisimman tarkkaan kustannusarviointiin. Kuitenkin kuten Kärri (s.33-34) toteaa, kustannusarviointia tulee tarkastella myös kustannus-hyöty näkökulmasta. Mitä tarkempaan arvioon pyritään sitä enemmän se usein kustantaa ja vie aikaa. Arviota tehdessä onkin järkevää vertailla arvion tekemisen kustannuksia ja epätarkkuudesta mahdollisesti aiheutuviin kustannuksiin sekä huomioida mihin tarkoitukseen kyseinen arvio on.

Kustannusarvioita tehdään usein projektin eri vaiheissa eri tarkoituksiin. Kirjallisuudessa arvioita voidaan luokitella esimerkiksi saavutettavan tarkkuuden ja käyttötarkoituksen perusteella. AACE international (*Association for the Advancement of Cost Engineering*) jakaa kustannusarviot kolmeen tai viiteen luokkaan luokkaan seuraavanlaisesti:

1. Suuruusluokka-arvio (*Order of Magnitude Estimates*)

Alustavien arvioiden on todettu olevan -30...+50%. Arvioiden laatimisen perustana käytetään aikaisempien samankaltaisten projektien tietoja.

2. Budjettiarvio (*Budget Estimates*)

Arvion tarkkuus on -15...+30%. Arvion tekemiseksi tiedossa on oltava laitoksen layout, virtauskaaviot ja päälaitteisto.

3. Lopullinen arvio (*Definitive Estimates*)

Arvion tarkkuus on -5...+15%. Tiedossa on tehdasalueen järjestelyt, tekniset yksityiskohdat ja periaatteelliset piirustukset.

Kustannusarvioita voidaan laskea useammalla eri menetelmällä, jotka voidaan jakaa esimerkiksi kapasiteetti-, rakenne- ja määrälaskenta menetelmiin. Menetelmien sopivuus riippuu tavoitellusta tarkkuudesta sekä käytettävistä lähtötiedoista.

Kapasiteettimenetelmät perustuvat tyypillisesti laitoksen tuotantokapasiteettiin tai liikevaihtoon. Arvio on suhteellisen nopea ja sopiikin esimerkiksi järkevien vaihtoehtojen seulomiseen suuresta joukosta. Menetelmän tarkkuuteen voidaan nähdä vaikuttavan vahvasti arvion tekijän taidot ja kokemus vastaavanlaisista projekteista. Kustannusten riippuvuutta kapasiteetista voidaan arvioida aikaisempien projektien historiatietojen avulla vertailemalla näitä kapasiteettitekijän suhteen ja luomalla tämän pohjalta kapasiteetti-kustannus -käyrä. Arviossa on tärkeää ottaa huomioon mahdolliset kustannustason muutokset. Toinen vaihtoehto on laskea uuden laitoksen pääomakustannukset kapasiteettiekspONENTTIMENETELMÄN YHTÄLÖLLÄ: (Kärri ja Uusi-Rauva 2003, 21-30)

$$C_x = C_k \left(\frac{E_x}{E_k} \right)^n \quad (4)$$

jossa	C_x	on uuden laitoksen pääomakustannukset
	C_k	on tunnetun laitoksen pääomakustannukset
	E_x	on uuden laitoksen kapasiteetti
	E_k	on tunnetun laitoksen kapasiteetti
	n	on kapasiteettiekspONENTTI

Kirjallisuudesta löytyy eksponentteja erityyppisille laitoksilla ja laitteille. Tarkempien tietojen puuttuessa voidaan Kärri ja Uusi-Rauvan (2003, 24) mukaan käyttää laitoksille tyypillisesti arvoa 0,7 ja laitteille 0,6. Koorneef et al. (2007, 47) on tutkinut tarkemmin leijukerroskattilaprojektien kustannuksia ja saanut esimerkiksi CFB EPC toimitukselle (2002) 0,81 ja pelkälle kerrosleijukattilalla 0,64 (1994) kapasiteetikertoimet termisentehon funktiona.

Riittäväällä määrällä tunnettuja referenssiprojekteja eksponentin voi määrittää myös itse. Riittävän tuore ja vertailukelpoinen historiatieto on menetelmän käyttökelpoisuuden kannalta tärkeää. Huomioitavaa on myös, että eksponentti on vakio eikä muutu laitoksen kapasiteetin kasvaessa, joten menetelmää ei suositella käytettävän yli 2:1 kapasiteettisuhteilla. (Kärri ja Uusi-Rauva 2003, 23-24) (Mynttinen 2012, 27)

Rakennemenetelmissä laitos jaetaan merkittävimpiin päälaitteisiin tai moduuleihin, jotka kuvaavat tarkastelun kannalta järkeviä ja käytännöllisiä laitteiden ryhmiä. Päälaitteiden tai moduulien kustannukset arvioidaan mahdollisimman tarkasti historiatietoa, kustannustason muutosta ja kapasiteetti-kustannus riippuvuutta hyväksikäyttäen. Muut kustannusryhmät lasketaan käyttäen sopivia kertoimia eri prosesseille ja/tai ryhmille. Kertoimet ottavat usein erikseen huomioon myös välilliset kustannukset kuten suunnittelu, asennus ja instrumentointi. (Kärri ja Uusi-Rauva 2003, 25-28)

Määrälaskentamenetelmät ovat tyypillisesti tarkimpia ja luotettavimpia. Arvio perustuu tarkkojen teknisten tietojen pohjalta määriteltyihin materiaali ja tuntimääriin ja vastaaviin yksikkökustannuksiin. Menetelmä on kuitenkin huomattavan kallis ja aikaa vievä. (Kärri ja Uusi-Rauva 2003, 29-30)

Arviointimenetelmiä voidaan pitää myös omanlaisinaan kustannusmalleina, jotka voidaan jakaa esimerkiksi määräperusteisiin, kuvaileviin ja realistisiin malleihin. Vaikka määräperusteisilla päästään usein tarkkoihin tuloksiin ne eivät sovellu kuitenkaan kaikkiin tilanteisiin.

Kuvailevissa malleissa tarkkojen määrien sijasta kustannusten arvioinnissa käytetään suunnittelua ja ympäristöä kuvaavia muuttujia, kuten laitoksen kokoa, rakennustyyppiä ja sijaintia. Merkittävimpien muuttujien ja näiden vaikutusmekanismien selvittäminen tarkkojen regressiomallien luomiseksi on kuitenkin usein hankalaa. Regressiomallien on havaittu myös usein olevan varsin epätarkkoja, jolloin näitä on voitu käyttää lähinnä vain suunnittelun alkuvaiheessa. Tarkempia tuloksia varten tulisi ottaa huomioon myös kustannusten todellinen syntymekanismi. Tällöin puhutaan realistisista malleista. Esimerkiksi myös rakentamisprosessi tulisi ottaa huomioon kustannusmallissa.

Parametrimallin voidaan nähdä olevan melko lähellä kuvailevia ja realistisia malleja. Mallilla voidaan saavuttaa suhteellisen tarkkoja kustannusarvioita nopeasti ja edullisesti. Parametrimenetelmässä kustannusarvioinnissa hyväksi käytetään tilastollista historiatietoa sekä kustannusten välisiä riippuvuuksia, joille luodaan parametrisoitu matemaattinen malli. Riippuvuuksia kuvataan tyypillisesti lineaarisesti, logaritmisesti tai eksponentiaalisesti. Malli eroaa perinteisistä määrä- ja rakennemenetelmistä siinä, että arvioitavaa kohdetta käsitellään tyypillisesti suurempina kokonaisuuksina. (Kärri ja Uusi-Rauva 2003, 57-60)

Varsinaisten toteutuskustannusten lisäksi projektien kustannuksia ja hintaa arvioitaessa on syytä ottaa huomioon erilaisista epävarmuustekijöistä johtuvia riskitekijöitä. Tällaisiin voidaan varautua esimerkiksi erilaisilla varauksilla ja indeksikorjauksella. Markkinatilanteeseen vaikuttavia tekijöitä kuten kysynnän ja työvoiman vaihtelua, teknologisien-, poliittisten- ja luonnonolosuhteiden muuttumista sekä inflaation tapaisia epävarmuustekijöitä voi olla vaikea ennakoida ja varautuminen näihin onkin usein kokemuksen varassa. Kustannusten epävarmuus- ja riskivaruksia voidaan kohdistaa kustannuserä kohtaisesti, jolloin voidaan saavuttaa hyvin luotettaviakin arvioita ja kustannusten kohdistaminen on helppoa, tai tekemällä yleisvarauksia. Kohdistetuilla varauksilla on projektiliiketoiminnassa myös huonopuoli, sillä ne pyrkivät usein toteuttamaan itsensä. (Kärri ja Uusi-Rauva 2003, 34-36)

Indeksisidonnaisuus korjaus on etenkin rakennusprojekteissa kuten voimalaitosprojektien hinnan arvioinnissa tärkeää ottaa huomioon, sillä kustannusarviot tehdään usein muutamia vuosia ennen rahan varsinaista käyttöhetkeä. (Kärri ja Uusi-Rauva 2003, 38-39) Indeksien avulla hintaa on tarkoitus korjata taloudellisten suhdanteiden hintatasoa vastaavaksi. Indekseillä kuvataan hinnan prosentuaalista muutosta tietyn ajanjakson aikana ja ne voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin; raaka-aine, työvoima ja taloudellisiin indekseihin. Indeksit ottavat huomioon rahanarvon muuttumisen eli inflaation lisäksi myös muita tekijöitä kuten työntuottavuuden. Indeksisidonnaisuuden käytöllä on kuitenkin joitain rajoitteita koskien EPC-projekteja. Yleiset kuluttajahinta- ja tuottajahintaindeksit eivät sovellu pääoma ja EPC-projekteille eikä yleiset kirjallisuudesta saatavat laitoskustannusindeksitkään ole välttämättä suoraan sopivia erilaisten projektien omien mikrotaloudellisten luonteidensa takia. (Hollman&Dysert 2007, 1-5) Yritysten onkin suositeltavaa kehittää omat mallinsa kuvaamaan kustannuserien kehitystä. (Kärri ja Uusi-Rauva 2003, 38)

Indeksisidonnaisuutta voidaan käyttää myös muuttamaan vanhojen projektien kustannuksia nykykustannustasoa vastaavaksi ja toimii näin oleellisena apuna uuden projektin kustannusarvioinnissa, kun vertailuna käytetään aikaisemmin toteutuneita projekteja. (Hollman&Dysert 2008, 4)

Kustannusarvioinnissa tulisi hankinta- ja ostohintojen lisäksi huomioida muut kustannusvaikutukset, jotka liittyvät tietyn tuotteen tai palvelun hankintaan. Tätä ajattelutapaa kutsutaan kokonaiskustannusajatteluksi (*Total Cost of Ownership*, TCO). TCO:ta käytetään tyypillisesti etenkin sopivimpien toimittajien etsimiseen, mutta sillä on runsaasti potentiaalia antaa lisäarvoa ja luotettavuutta myös kustannusarviointiin. TCO:n pohjimmainen idea on löytää, ymmärtää ja määrittää kustannusten arvo tietylle tuotteelle tai palvelulle huomioiden hankintaprosessin kustannukset, hankintahinta (mukaan lukien rahti, asennus ja käyttöönotto), käytön aikaiset kustannukset ja käytön lopettamiseen liittyvät kustannukset. (Ellram ja Siferd 1998, 55-57) (Logistiikan maailma) Huomioitavaa on, ettei useat tekijät välttämättä ole tai ole muutettavissa varsinaiseksi

rahalliseksi arvoksi, mikä tekee näiden arvottamisen ja eri vaihtoehtojen vertailun hankalaksi. (Morssinkhof et al. 2011, 132)

Voimalaitosprojektin kaltaisille laajoille toimitusprojekteille yksi merkittävimmistä seikoista TCO:n kannalta on globaali hankinta. Etenkin hankinta kehittyvistä, alhaisen kustannustason, maista kuten Kiinasta, on yleistä. Hankinta alhaisen kustannustason maista (LCC, *Low Cost Countries*) on houkuttelevaa, sillä hankintahinnat ovat usein selvästi alhaisemmat verrattuna länsimaista tehtyihin hankintoihin. Kokonaissäästöt eivät kuitenkaan aina ole välttämättä merkittävät. Tähän vaikuttaa oleellisesti TCO:n sisältämät seikat ja esimerkiksi Platts ja Song (2011, 320-322) on julkaisussaan *Overseas sourcing decisions – the total cost of sourcing from China* esitellyt varsin laajasti tekijöitä, joita olisi hyvä ottaa huomioon Kiinasta hankittaessa tuotteita ja palveluita.

Työntekemisen kustannukset riippuvat myös vahvasti sijainnista. Tämä on tärkeää ottaa huomioon voimakattilaprojektien kaltaisissa toimituksissa, jotka sijoittuvat usein ympäri maailmaa. Palkkataso on yksi tärkeä huomioitava seikka, mutta kustannuksiin vaikuttaa myös suuri joukko myös muita tekijöitä. McConville listaa julkaisussaan *Cost Estimating of Overseas Construction Projects* hyvin kattavasti tekijöitä, joita tulisi ottaa huomioon ulkomaille tehtävissä rakennusprojekteissa. Tällaisia ovat edellä mainittujen lisäksi esimerkiksi poikkeavat työturvallisuus normit ja työnteko käytänteet, epävakaa inflaatio, kulkuyhteydet sekä komponenttien ja materiaalien saatavuus. Monia näistä tekijöistä kuvataan ja otetaan huomioon kustannusarvioinnissa työntuottavuutta kuvaavalla kertoimella. Kärri ja Uusi-Rauvan (2003, 41-42) mukaan työn tuottavuus voi laskea jopa 30-40% mikäli työskentely olosuhteet eivät ole suotuisat. Alueelliset säädökset ja standardit vaikuttavat myös herkästi työn laajuuteen. Esimerkiksi vaatimalla laajempia turvallisuusjärjestelmiä.

4 VOIMAKATTILAPROJEKTtien HINNOITTELU JA MARKKINAT

Tässä kappaleessa esitellään voimakattiloiden myyntiprojekteja ja hinnanarviointia sekä seikkoja, jotka voivat vaikuttaa myyntihintaan. Tämän lisäksi tarkastellaan voimakattilamarkkinoiden tulevaisuuden näkymiä. Kappaleissa 4.1 ja 4.2 esitetyt menetelmät perustuvat pääasiassa ANDRITZ Oy:n voimakattiloiden myynti- ja hinnoitteluhenkilöstön haastatteluihin ja dokumentaatioon sekä aikaisemmin tehtyihin selvityksiin.

4.1 Voimakattiloiden myyntiprojektit

Projektien markkinointi ja myynti eroavat ominaispiirteidensä vuoksi merkittävästi muunlaisesta markkinoinnista ja myynnistä. Voimakas kysynnän vaihtelu ja epäjatkuvuus niin yksittäisten asiakkaiden kuin myös markkina-alueiden osalta on tyypillistä. (Artto et al. s.53)

BFB voimakattiloiden tärkeimpiä asiakkaita ovat paperi- ja selluteollisuus sekä muu puunjalostusteollisuus, energiayhtiöt ja muut yksittäiset voimantuottajat sekä kunnat. Sellu- paperi- ja muu puunjalostusteollisuus käyttää voimakattilaa tuottaakseen prosessihöyryä tuotannon sivuvirroillaan, kuten kuorella, rejektillä ja lietteillä. Joskus ensisijainen tarkoitus voi olla myös jätevirroista eroon pääseminen. Voimakattila onkin usein osa muuta sellun- ja paperin tuotantolaitoskokonaisuuden tilausta. Kuitenkin niin, että tarjouksen ja myynnin osalta nämä ovat erillisiä projekteja. Tällöin laitoskokonaisuudessa voi olla useita eri toimittajia.

Energiayhtiöt, muut yksittäiset voimantuottajat ja kunnat tilaavat BFB kattiloita halutessaan lisätä tai korvata vanhentunutta lämmön tai lämmön- ja sähköntuotantokapasiteettia biomassalla. Kattilat voivat toimia myös osana jätteiden hyötykäyttöä.

Kuten muissakin suurissa teollisuusprojekteissa, myynti perustuu asiakkaan tarpeeseen ja varsinainen myynti- ja tarjoustyöprojekti lähtee liikkeelle asiakkaan tarjouspyynnöstä.

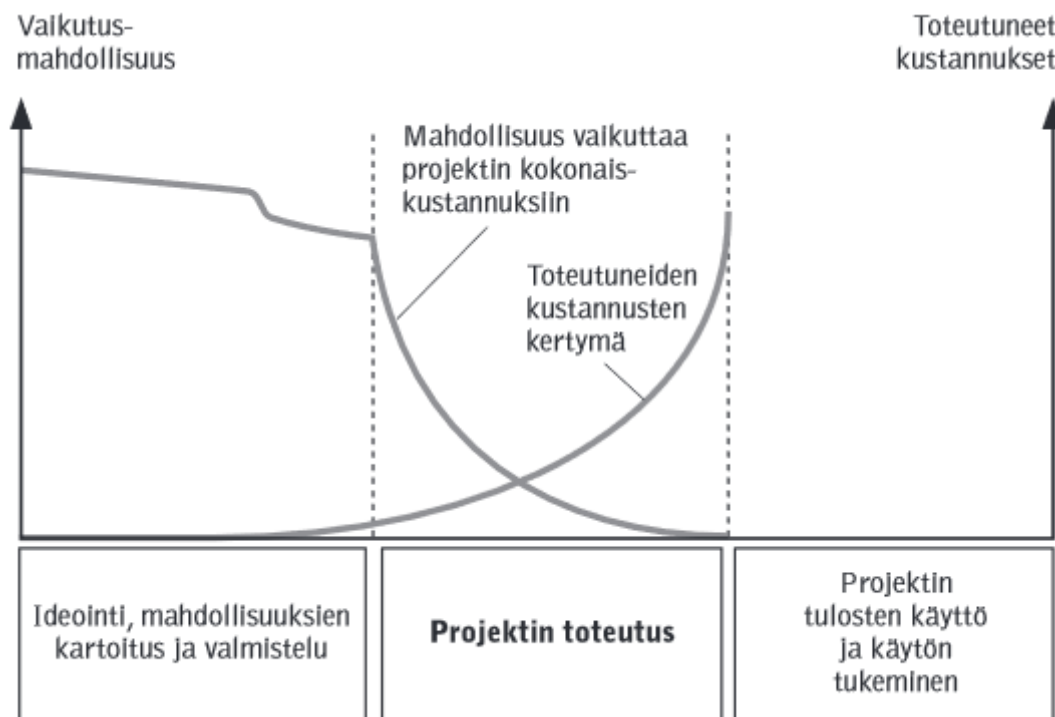
Ominaista suurissa toimitusprojekteissa on, että kilpailijoita on vähän. Useimmiten pari globaalia toimijaa ja sijainnista riippuen mahdollisesti paikallinen yhtiö. Myyntitiimin on kuitenkin hyvä tuntea vallitseva markkinatilanne ja mahdolliset tarpeet jo ennen tarjouspyynnön saamista, jolloin asiakkaan tarpeisiin voi olla mahdollisuus vaikuttaa niin, että myös itse tarjouspyyntö sopii paremmin yrityksen toimituslaajuuteen. Tarjouspyynnön saatuaan vastuu projektin eteenpäin viemisestä on myyntipäälliköllä, joka voi jo tässä vaiheessa karsia pois projektit, jotka eivät sovi yrityksen tuotevalikoimaan tai jotka eivät muuten ole suotuisia. Esimerkiksi Artto et al. on kuvannut taulukon 4.1 mukaisia seikkoja, joita tulisi pohtia tarjouspyyntöjä pohdittaessa. Seikkoja on arvioitava myös riittäväällä laajuudella koko yrityksen näkökulmasta, jottei päätös perustu esimerkiksi vain myyntiosaston työtilanteeseen. (Artto et al. 2006, 68-70)

Projektiin lähtiessä projektikehityksen ensimmäisiä vaiheita ovat taselaskennat ja päälaitteiden (alustavat) mitoitus. Myös muita projektiin liittyviä osastoja on syytä tiedottaa projektin pääpiirteistä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tässä vaiheessa asiakkaalle voidaan tehdä tarkempia kyselyitä sekä mahdollisesti lähettää tekninen tarjous, jossa voidaan esitellä tarjottavia teknologioita ja ratkaisuja sekä alustavia mitoitusarvoja.

Mitoituksen ja teknisen dokumentoinnin pohjalta arvioidaan myös kustannuksia. Kyselyihin ja tekniseen tarjoukseen saadun palautteen perusteella kehitetään projektia niin, että se vastaisi mahdollisimman hyvin asiakkaan vaatimuksia niin tekniseltä kuin myös kustannuksien puolesta. Projektin kehitysvaiheessa on myös mahdollista vaikuttaa vielä asiakkaan vaatimuksiin, mutta mitä pidemmälle projekti etenee niin, sitä vaikeampaa se on, kuten on esitetty kuvassa 4.1.

Taulukko 4.1 Tarjousta varten pohdittavia seikkoja (Artto et al. 2006, 69)

Pohdittavia seikkoja	Tarkentavia kysymyksiä
Tarjouspyynnön luonne	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Missä vaiheessa asiakkaan investointiprojektin päätöksenteko on? ◆ Onko kyseessä sitova vai budjettitarjous?
Kilpailutilanne	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Millainen on oma suhteemme asiakkaaseen? ◆ Ketkä ovat todennäköiset kilpailijat ja millainen on heidän suhteensa asiakkaaseen? ◆ Onko tarjouspyyntöön pystytty vaikuttamaan sen valmisteluvaiheessa siten, että sen tekninen toteutus tarjoaa kilpailuetua? ◆ Mitkä ovat asiakkaan päätöksenteon kriteerit ja mikä on yrityksen kilpailuasema niiden osalta (esimerkiksi hinta ja teknologia)?
Tarjouspyynnön liiketaloudellinen houkuttavuus	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mikä on projektin suuruusluokka ja katetaso? ◆ Mikä vaikutus tarjouskilpailuun osallistumisella on asiakassuhteeseen? ◆ Mikä vaikutus tarjouskilpailuun osallistumisella on markkinoilla yrityksen uskottavuuteen ja imagoon (markkinointitoimi)? ◆ Onko projektilla referenssiarvo? ◆ Voidaanko projektin avulla luoda tai ylläpitää suhteita tärkeisiin alihankkijoihin ja yhteistyökumppaneihin?
Tarjouspyynnön tekninen houkuttavuus	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mikä on yrityksen kyky vastata tarjouspyynnön teknisiin ja toimitusaikaan liittyviin vaatimuksiin? ◆ Tarvitseeko yritys projektin esimerkiksi pitääkseen yllä tiettyä kapasiteetin käyttöastetta? ◆ Tukevatko projektissa mahdollisesti kehitettävä uusi teknologia ja toimintatavat koko yrityksen strategisia valintoja?



Kuva 4.1 Projektikustannuksiin vaikuttamisen mahdollisuus projektin edetessä (Artto et al. 2006, 152)

Ennen sitovaa tarjousta asiakas haluaa usein budjettitarjouksen, jolla asiakas voi kerätä tarkemmin tietoa hintatasosta, toimittajista ja mahdollisista teknisistä ratkaisuvaihtoehdoista. Budjettitarjoukseen tulee arvioida tyypillisesti koko toimituslaajuuden kaikki kustannukset mahdollisimman tarkasti, sillä toimittaja voi tarjouksellaan tuoda esiin omien ratkaisujen hyvät puolet ja vaikuttaa varsinaiseen tarjouskilpailuun itselleen suotuisalla tavalla. Asiakas voi arvioida toimittajan sopivuutta myös jo budjettitarjous vaiheessa. Budjettitarjouksen on hyvä olla mahdollisimman realistinen ja lähellä myös lopullista tarjousta toimittajan uskottavuuden kannalta. Tällöin myös katteet ja muut varaukset on hyvä arvioida riittävällä tarkkuudella.

Budjettitarjouksen jälkeen asiakas tarkentaa tyypillisesti vaatimuksiaan suosien tarjousten perusteella saatuja tietoja itselleen sopivimmista teknillis-taloudellisista ratkaisuista. Tarkentavien tietojen perusteella tarjousta voidaan muokata ja päivittää vastaamaan paremmin asiakkaan uusia vaatimuksia. Tämä saattaa vaikuttaa tekniseen

suunnitteluun ja jopa joidenkin järjestelmien uudelleen mitoittamiseen tai vaihtoehtoisten toteutustapojen selvittämiseen.

Lopulliseen kaupalliseen tarjoukseen on arvioitava erityisen tarkkaan kustannusten lisäksi myös muut hintaan vaikuttavat tekijät kuten riskit ja niihin liittyvät varaukset sekä haluttu ja saavutettavissa oleva kate. Pelkkä teknisten vaatimusten täyttyminen ja taloudelliset näkökulmat ei kuitenkaan ole ainoita asioita joita tarjouksessa pitää huomioida.

Artto et al. (s.81-82) jakaa asiakkaan toimittajan valintaan liittyvät tekijät karkeasti neljään kriteeriin: Talousnäkökulmaan, projektitoimittajan uskottavuuteen, teknologisiin ja teknisiin ratkaisuihin sekä projektin toteutettavuuteen.

1. Talousnäkökulmasta kiinnostavaa on hinta-hyötysuhde voimakattilan koko elinkaaren ajalta sekä myös hintaan sisältyvät mahdolliset riskitekijät.
2. Voimakattilaprojektit ovat taloudellisesti hyvin merkittäviä ja pitkäikäisiä, jolloin toimittajan uskottavuus merkitsee paljon. Referenssit niin saman tyyppisistä voimakattiloista kuin myös samalta markkina-alueelta on hyvä tapa osoittaa ratkaisujen ja toimituskyvyn uskottavuutta.
3. Toimintaympäristö sekä asiakkaan muut tarpeet ja mieltymykset luovat tyypillisesti kriteereitä teknologisille ja teknisille ratkaisuille esimerkiksi mahdollisimman vähäpäästöisille tai hyvin yleisille ja luotettaville ratkaisuille.
4. Projektin toteutettavuudessa asiakasta voi kiinnostaa toimitusaika sekä kuinka paljon omaa osallistumista tarvitaan.

Liitteessä 2 on kuvattu Artto et al. esittämiä päätöksentekoon vaikuttavia kriteereitä sekä tarkentavia esimerkkejä.

Julkisten hankintojen projekteissa on huomioitava, että tarjous valitaan joko kokonaistaloudellisesti edullisimman tai hinnaltaan halvimman mukaan. Kokonaistaloudellisesti edullisimman menettelytavan tapauksessa vertailuperusteet ovat ennalta ilmoitettuja (Työ- ja elinkeinoministeriö).

Lopullinen sitova kaupallinen tarjous jätetään usein asiakkaan tarjousneuvotteluissa (loppuneuvottelut), johon osallistuvat myös muut tähän vaiheeseen valitut tarjouksen jättäjät. Neuvotteluissa tarjoukseen on mahdollista tehdä vielä pieniä muutoksia. Tarjouksissa voi olla esimerkiksi mukana vaihtoehtoisia ratkaisuja. Vaihtoehtoiset ratkaisut ja niiden taloudelliset ratkaisut on kuitenkin hyvä olla selvitettyä jo etukäteen. Liitteessä 3 on Arto et al. listaus asioista, joita tulisi miettiä ennen neuvotteluihin menoa esimerkiksi tarkempaa myyntihintaa ja neuvotteluvaroja pohdittaessa.

Mikäli sopimus voitetaan, siirtyy projektin vastuu myyntitiimiltä ennalta sovitulle projektinjohtajalle ja projekti siirtyy toteutusvaiheeseen. Myyntiprojekti ei kuitenkaan lopu täysin tähän, sillä kuten useissa projektinhallinnan ja kustannusarvioinnin julkaisuissa korostetaan, yksi projektin tärkeimmistä vaiheista on projektin palautetiedon (*feedback information*) kerääminen. (Hamilton 2004, 12.9-10) Tämä korostuu myös voimakattiloiden myyntityössä, sillä tehokas hinnoittelu ja kustannusarviointi perustuvat usein hyvin vahvasti historiatietoon. Kattavalla projektidokumentaatiolla voidaan saada hyötyä niin voitettuna kuin myös hävityn projektin eteen tehdystä työstä uusia projekteja varten. Tämän työn tarkoitus onkin kerätä ja hyväksikäyttää menneistä projekteista saatua dataa uusien projektien arviointia varten.

4.2 Hinnan arviointi voimakattilaprojekteissa

Voimakattilaprojektin hinta muodostuu tuotteen ja projektin kustannuksista sekä erinäisistä varauksista ja katteesta.

Voimakattiloiden hinta on vahvasti kustannusperusteinen. Kustannuksiin ja muuten hintaan vaikuttavat myös esimerkiksi toimituslaajuus, tilaajan ja kohdemarkkinoiden yleiset vaatimukset sekä kilpailu- ja muu markkinatilanne.

Myyntiprojektin aikana hintaa arvioidaan useassa eri vaiheessa eri tarkoituksiin ja eri tavoite tarkkuudella. Ensimmäisillä arvioilla pyritään hahmottamaan suurusluokkaa ja projektin kannattavuutta. Käytettävissä oleva tieto on tässä vaiheessa tyypillisesti hyvin rajallista ja arviot perustuvatkin tyypillisesti aikaisempiin samankaltaisiin projekteihin.

Sitovampia tarjouksia varten arviot täytyy tehdä määräperusteisesti riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi.

Hinnoittelun ja kustannusarvioinnin joka tasolla arvion tekijän ammattitaidolla ja kokemuksella on eittämättä tärkeä rooli, sillä myös määräperusteisessa menetelmässä kustannuksia täytyy monesti arvioida jossain määrin historiatiedon avulla. Historiatiedon sopivuus erilaiset ympäristötekijät huomioon ottaen on arvioitava aina tapauskohtaisesti.

4.2.1 Kustannusarviointi

Mynttinen on kuvannut työssään, *Development of cost estimation with feedback information in EPCM business*, laajalti ANDRITZ:illa myyntiprojektin aikana tehtävää kustannusarviointia. Budjetti- ja lopullista kaupallistatarjousta varten hinnoittelijalla on tiedossa päälaitemitoitukset, layout- ja prosessikaaviot sekä muut tärkeimmät dokumentoinnit, jonka avulla laite- ja materiaalikustannuksia voidaan arvioida suhteellisen tarkasti määrä perusteisesti. Hinnoittelu on pääasiassa hinnoittelijan vastuulla, mutta osa osastoista, kuten rakennussuunnittelu-, asennus- ja AEI-osastot tekevät omat kustannusarviot pääasiassa itse. Arviot perustuvat pääasiassa layout ja prosessisuunnittelun tietoihin. Huomioitavaa on, että myyntivaiheen loppupuolellakin suunnittelutyö on vielä hyvin alkuvaiheessa eikä saadut määrälliset arvot ole monesti vasta kuin karkeita arviota. Projektin vaiheesta riippuen arvoihin, tekniseen toteutukseen ja laajuuteen voi tulla vielä muutoksia.

Monet laitteet, etenkin räätälöidyt päälaitteet ja muut merkitsevimmät komponentit, hinnoitellaan tyypillisesti painojen perusteella. Pienemmät alihankittavat ”standardi” laitteet kuten venttiilit ja pumput ovat taas usein mielekkäämpää hinnoitella kappalehinnoilla, vaikka näiden mitoitus perustuisikin toiminta-arvoihin.

Yksikkökustannuksia täytyy usein arvioida osaltaan historiatiedon perusteella, sillä kaikkia alihankkijoiden tarjouksia ei omassa tarjousvaiheessa ole vielä välttämättä käytössä ja lisäksi saadut tarjoukset eivät välttämättä ole lopullisia vaan saattavat muuttua etenkin, jos kyselyä varten ei ole pystytty antamaan tarkkoja tietoja.

Välillisiä kustannuksia kuten suunnittelun, projektin hallinnan ja hankinnan työmääriä täytyy myös arvioida aikaisempien projektien perusteella. Yksikkökustannukset ovat tyypillisesti hyvin tiedossa, sille ne perustuvat pääasiassa omaan työhön. Työtä voidaan kuitenkin myös ulkoistaa alhaisen kustannustason maihin tai kokonaan alihankkimalla esimerkiksi tiettyjä suunnittelun osa-alueita.

Rahtikustannukset määräytyvät painon ja tilantarpeen mukaan sekä niihin vaikuttavat tietenkin myös rahtaustapa ja matka. Näihin voidaan vaikuttaa myös, sillä kuinka paljon valmistuksesta suoritetaan kohdemaassa ja työmaalla. Laitteet saadaan usein pakattua tehokkaammin osina, mutta toisaalta laitteiden kokoaminen paikan päällä kasvattaa taas asennuskustannuksia. Osa laitteista on rahdattava taas osina rakenteiden kestävyys takia.

Asennustyöt ovat usein hyvin merkittävä osa kokonaiskustannuksia. Nämä ovat usein myös ongelmallisia arvioida, sillä asennustyöt sijoittuvat tyypillisesti 1-2 vuoden päähän sopimushetkestä ja työn laajuus on riippuvainen laitteista, järjestelmistä ja rakenteista, joista ei vielä myyntivaiheessa ole yksityiskohtaisia tietoja. Kustannukset ovat pääasiassa työvoimakustannuksia, johon sisältyy palkkojen lisäksi majoitus- ja matkustamiskustannukset. Tämän lisäksi tarvitaan usein työtä tukevaa infraa ja laitteita. Asennuksen työtunteja voidaan arvioida järjestelmien paino ja/tai tilavuustiedoilla. On kuitenkin huomioitava, että asennuskustannukset ovat erityisen vahvasti riippuvaisia laitoksen sijainnista, jolloin on otettava huomioon myös useita muita tekijöitä kuten työntuottavuus ja käytettävän työvoiman palkkataso. Asennustöiden kustannusarviointi onkin aina tehtävä hyvin tapauskohtaisesti.

Samat seikat pätevät hyvin pitkälti myös valvonnan ja käyttöönoton arviointiin, sillä nämäkin työt sijoittuvat laitosalueelle ja muodostuvat työvoimakustannuksista. Kustannuksia arvioidaankin arvioidun työnkeston mukaan, joka on riippuvainen muun muassa asennustöiden kestosta.

Erityisprojektit kuten laajennus- ja muutosprojektit vaativat tyypillisesti erilaista kustannusarviointia. Näissä suunnittelua ja mitoitusta ei voida tehdä välttämättä samalla

tavoin kuin uutta rakentaessa, koska muut jo olemassa olevat rakenteet ja järjestelmät täytyy ottaa myös huomioon. Tämä pätee myös esimerkiksi asennustöihin ja niiden työn tuottavuuden kertoimiin.

Edellä käsiteltyjen voimakattilan toteutuksen kustannusten lisäksi hintaan sisältyy, joitain yleisiä projektikustannuksia kuten vakuutusmaksuja ja rahoituskustannuksia.

4.2.2 Markkinahinta

Markkinahinta määritellään yleisesti toteutuvana kauppahintana, eli hintana, jossa kysyntä ja tarjonta kohtaavat. (Tilastokeskus)

Voimakattilan myyntihinnan perustana voidaan pitää vaadittavien laitteiden ja järjestelmien suoria ja epäsuoria kustannuksia. Kustannuksiin ja muihin hintaan sisältyviin kuluihin vaikuttaa markkinatilanteen erilaiset tekijät, joista osaa on jo käsitelty tässä työssä aikaisemmin. Seuraavaksi käsitellään joitain voimakattiloiden markkinatilanteen (hintatasoon) vaikuttavia laajempia tekijöitä. Tarkemmin kerrosleijuvoimakattiloiden kysyntään ja tarjontaan liittyviä tekijöitä kuten bioenergian kysyntää käsitellään tarkemmin luvussa 4.2.3.

Kustannusten arviointiin liittyvien epävarmuus- ja riskitekijöiden takia hintaan on sisällytettävä myös varauksia. Näitä ovat esimerkiksi indeksisidonaisuus, takuuvaraukset, rahoitus ja satunnaisten kulujen varaus. Lopullisen hinnan määrää vielä lopuksi usein toimittajan haluama kate (*Gross Margin*).

Kate on toimittajan tavoittelema minimituotto projektista. Näin ollen kate pyritään usein maksimoimaan. Liian suuri kate, johtaa kuitenkin helposti liian suureen hintaan, jolloin projekti todennäköisesti hävitään. Kate riippuu näin ollen toteutuvista kustannuksista sekä myyntihinnasta (Artto et al. 2006, 34), jolla projekti tullaan sopimaan eli toisin sanoa markkinahinnasta. Tästä syystä mahdollisimman tarkan kustannusarvioinnin lisäksi myös markkinahintaa tulisi pystyä arvioimaan mahdollisimman hyvin.

Yleinen markkinatilanne vaikuttaa projektien hintaan ja kustannuksiin käytännössä joka tasolla. Markkinatilanteella on kuitenkin luontaista vaihdella aloittain ja alueittain. Kuten aikaisemmin jo todettiin yleisillä hintaindekseillä ei voida kuitenkaan luontevasti kuvailla voimakattilaprojekteja, jotka ovat tyypillisesti hyvin laaja-alaisia ja myös globaaleja projekteja. Materiaali ja työvoimakustannukset ovat kuitenkin tyypillisesti hyvin riippuvaisia markkinatilanteesta. Suunnittelu ja valmistuskustannukset seuraavat pääasiassa globaalia hinnankehitystä, sillä ne liittyvät usein globaaleihin markkinoihin, kun taas rakennustyöhön vaadittu työvoima on usein paikallista ja näin myös riippuvainen paikallisesta hintakehityksestä. (Hollman&Dysert 2007, EST.01.1-5) Korkea kysyntä ja resurssien riittämättömyys on yksi tekijä, joka nostaa hintaa; esimerkiksi tällaisia tekijöitä on esimerkiksi globaalilla mittakaavalla painelaittevalmistajien täysi tilauskanta ja paikallisella tasolla taas rakennustyövoiman riittämättömyys.

Markkinahintaan vaikuttavia seikkoja voidaan arvioida esimerkiksi Artto et al. liitteissä 2 ja 3 listaamalla seikoilla hieman laajemmasta näkökulmasta. Painottaen erityisesti asiakkaan ja kilpailijoiden näkökulmaa. Tärkeää on pohtia etenkin asiakkaan muita vaihtoehtoja ja kilpailijoiden kilpailukykyä. Oma ja kilpailijoiden suhde asiakkaaseen voi olla merkittävä tekijä mutta voimakattilamarkkinoilla projektien vähyydestä johtuen toimittaja-asiakassuhteet voivat olla helposti kertaluontoisia, jolloin etenkin alueelliset referenssit voivat olla merkittävämpi tekijä. Projektin avulla voidaan myös haluta vahvistaa tai päästä uudelle markkina-alueelle, jolloin voidaan olla valmiita ottamaan suurempaa riskiä ja pienentämään katetta voittaakseen projekti.

Omat ja kilpailijan tilauskannat ja mahdolliset tulevat projektit on hyvä arvioida projektin hintatasoa arvioitaessa. Toimittaja voi haluta pitää yllä tiettyä tilauskantaa, joten mikäli merkittäviä sopimuksia ei ole voitettu vähään aikaan, voidaan mahdollisesta voitosta tinkiä. Toisaalta suurella tilauskannalla taas hintaa saatetaan helposti hieman ylivoimata. Tällä voidaan varautua mahdollisiin riskitekijöihin kuten resurssien riittämättömyyteen ja projektin venymiseen.

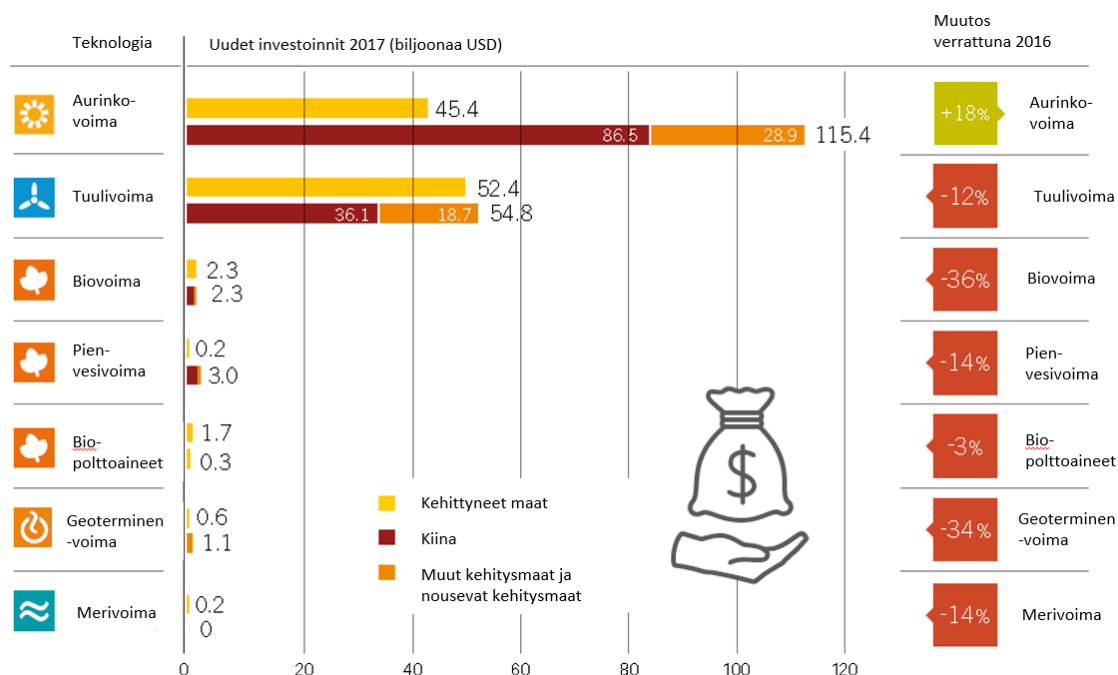
Asiakkaan investointivalmiutta on tärkeää arvioida, sillä asiakas ei välttämättä ole lopulta valmis investoimaan niin paljoa mitä kaikkien vaatimusten täytyminen vaatisi. Asiakas saattaa näin ollen hyväksyä tarjouksen, joka on merkittävästi edullisempi, mutta ei täytä kaikkia ennalta määrättyjä vaatimuksia. Tämä voi pienentää asiakkaan näkökulmasta investointikustannuksia mutta kasvattaa käyttö ja ylläpitokustannuksia.

Edellinen mielessä pitäen on hyvä arvioida, voidaanko itse tai voiko kilpailija tarjota, jotain mikä ei välttämättä kasvata varsinaisia kustannuksia, mutta luo riittävästi lisäarvoa tarjouksen voittamiseksi esimerkiksi toimitusajoilla tai luvatuilla takuilla. Tällaiset tekijät kasvattavat kuitenkin usein projektin riskejä.

4.3 Markkinatilanne ja tulevaisuuden näkymät

BFB-teknologiaa käytetään pääasiassa biomass- ja jätteenpolttoratkaisuihin ja on näin ollen vahvasti riippuvainen bioenergian kysynnästä. Bioenergian kysyntään taas vaikuttavat oleellisesti energiamarkkinat. Näitä on hyvä tarkastella erikseen myös kuluttaja- ja teollisuusmarkkinoiden näkökulmasta, sillä BFB toimitusprojektit tulevat usein teollisuuden prosessien tarpeisiin kuin myös yleiseen voimantuotantoon. Lisäksi bioenergiaa käytetään sähkön ja lämmön yhteistuotannossa.

Poliittinen tahtotila ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on lisännyt kannustimia uusiutuvien energialähteiden investointeihin. Investointien kasvu on kuitenkin laantunut vuoden 2015 huipusta. Lähiaikoina investoinnit ovat kasvaneet globaalisti kuitenkin vain aurinkovoimaan, kun taas biovoimaan ne ovat laskeneet jo useamman vuoden ajan. Kuvassa 4.2 on vuoden 2017 investoinnit uusiutuviin energianlähteisiin sekä vertailu edellisvuoteen. (REN21 2018, 139-144)



Kuva 4.2 Investoinnit uusiutuviin energialähteisiin 2017 (REN21 2018, 144)

Biovoimassa alueellisesti Aasian, erityisesti Kiinan, markkinat ovat kasvaneet. Etelä-Amerikassa myös biovoima on kasvanut, kun taas Pohjois-Amerikassa se on laskenut biovoimaan tukeutuvan teollisuuden siirtyessä osin Etelä-Amerikkaan. Muut kehittyvät maat ovat myös kasvavia markkina-alueita. (REN21 2018, 37, 71-72)

Uusissa biovoimainvestoinneissa tulee todennäköisesti korostumaan modernit BFB- ja CFB-ratkaisut, kun tavoitellaan korkeita hyötysuhteita ja alhaisia päästöjä. Toisaalta erilaiset biokaasuratkaisut voivat kilpailla myös kysynnästä tarjoten parempaa joustavuutta energiatuotantoon.

Modernin bioenergian kapasiteetin kasvu lämmöntuotantoon on ollut kuitenkin hidasta (2% vuosittainen) puutteellisten linjauksien ja alhaisten fossiilisten polttoaineiden hintojen takia. Sen sijaan uusiutuvan sähkön tuotannon periaatteisiin kiinnitetään enemmän huomiota. Biosähkön kasvu onkin ollut nopeaa kasvaen globaalisti 11% vuonna 2017 verrattuna edelliseen vuoteen. (REN21 2018, 22)

Aurinko- ja tuulivoiman kustannukset ovat laskeneet merkittävästi, kun taas biovoimaratkaisujen kustannukset ovat pysyneet suhteellisen tasaisina ollen nykyään jo usein hyvin lähellä toisiaan (REN21 2018, 41, 119-122). Tämä on varmasti yksi selittävä tekijä mitä tulee näiden tekniikoiden kilpailukykyyn ja investointien houkuttelevuuteen.

Epävarma yleinen markkinatilanne ei myöskään suosi suuripääomaisia voimalaitosinvestointeja. Lähitulevaisuudessa esimerkiksi Yhdysvaltojen ja Kiinan markkinasodan piirteitä saanut kilpailu saattaa horjuttaa maailmantaloutta niin, että suuria investointeja lykätään (Liikanen 2019) (Korolainen 2016). Tämän lisäksi esimerkiksi Euroopassa pitkään laskenut ja alhaisena pysynyt sähkön hinta (liite 4) ei houkuta suuriin investoihin, kun tuotto-odotukset ovat epävarmat. Toisaalta fossiilisten polttoaineiden, CO₂-päästöjen ja sähkön hinnan on havaittu kääntyneen nousuun. (Aleasoft 2019) (Eurostat 2019)

Biomassan käyttö etenkin vain energiantuotantoa varten on myös osin kyseenalaistettu, sillä esimerkiksi metsillä nähdään olevan merkittävä rooli hiilinieluina ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi (Jalas et al. 2016, 6-7). Viljellyn biomassan nähdään taas usein kilpailevan ruuantuotannon kanssa. (IRENA 2019b, 57) Maatalousbiomassan polttoaine ominaisuudet ovat myös hankalia BFB tekniikalle (IRENA 2019a, 10). Etenkin puupohjaisella biomassalla nähdään myös olevan muita mahdollisia käyttötarpeita kuten muovien korvaajana. (WWF international 2012, 6)

Kiertotaloudessa BFB-ratkaisuilla on suuri potentiaali. Jätteenpolttoratkaisuilla on kasvavaan kysyntä osana jätteidenhallintaa etenkin kehittyvissä maissa, jossa kaupungistuminen on nopeaa. (REN21 2018, 72)

Lämmöntuotannossa biovoimalla on vahva asema myös tulevaisuudessa, vaikka kasvu olisi hidasta. Muut uusiutuvat vaihtoehdot kuten aurinko- ja maalämpö kilpailevat kuitenkin vahvasti myös kasvavasta kysynnästä etenkin asuin- ja julkistentilojenlämmityksestä. (REN21 2018, 35) Heikko kaukolämpöverkosto voi estää laajemman keskitetyn lämmöntuotannon hyödyntämistä, mutta toisaalta BFB-laitokset soveltuvat hyvin myös pienemmän kapasiteetin lämmöntuottamiseen, mikä antaa etua

esimerkiksi kalliimpiin CFB-ratkaisuihin verrattuna alueilla, joissa kaukolämmön hyödyntäminen on matalampaa.

Etenkin teollisuuden tarpeisiin, jossa tarvitaan usein korkeita lämpötiloja ja suurta kapasiteettia, polttotekniikkaan perustuvat ratkaisut ovat ylivoimaisia. Biomassa ratkaisujen nähdäänkin olevan merkittävässä roolissa aloilla, joita on vaikea sähköistää kuten useita teollisuuden aloja (IRENA 2019b, 11). Tällä hetkellä suurin osa teollisuuden lämmöntarpeesta on tuotettu muulla kuin biovoimalla, etenkin fossiilisilla, joten BFB-markkinoille on paljon potentiaalia näiden korvaamiseksi. Sellu- ja paperiteollisuus sekä ruuantuotanto tuottavat myös sivuvirtoina polttoaineeksi sopivaa biomassaa, jota on luontevaa käyttää oman voimantarpeen tyydyttämiseksi. (REN21 2018, 69-71)

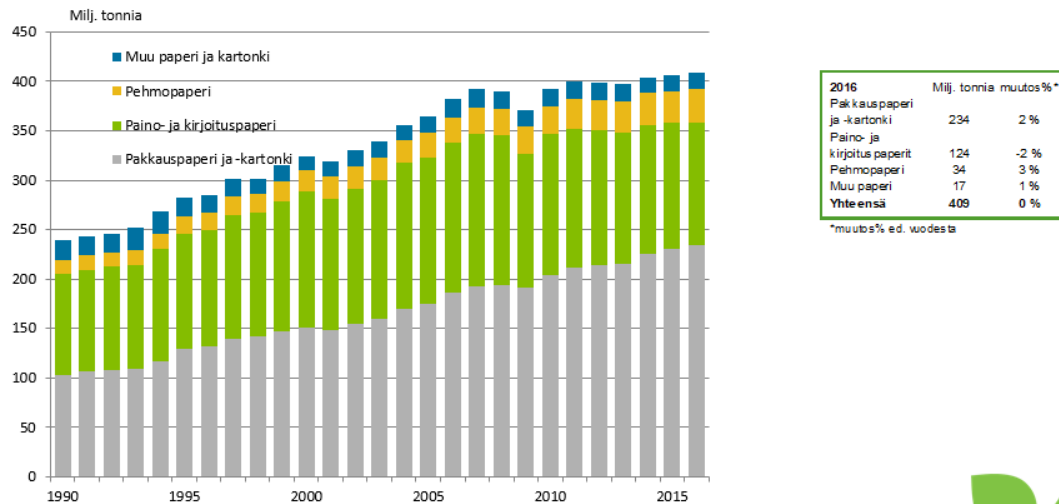
Sellu- ja paperiteollisuus sekä elintarviketeollisuus ovatkin merkittävässä roolissa biovoiman tuotannossa, sillä nämä ovat tyypillisesti hyvin prosessihöyryintensiivisiä ja voimakattilat ovat oleellinen osa näiden laitosten voimantarpeesta vastaamisessa kuin myös jätteiden hallintaa (REN21 2018, 71).

Ympäristöystävälliset tuotteet ja elintason kasvu, etenkin kehittyvissä maissa, on nostanut myös paperin ja kartongin kysyntää (Kuva 4.3). (Rytsy 2019, 36) Pakkausmateriaalit ja pehmopaperit ovatkin vastanneet pääasiassa paperin ja kartongin tuotannon kasvusta, mutta myös muille ympäristöystävällisimmille puupohjaisille materiaaleille on kasvava kysyntä. (WWF international 2012, 2-10)

Eniten markkinat kasvava tällä hetkellä Aasiassa etenkin Kiinassa sekä Etelä-Amerikassa (Brasiliassa) kun taas Pohjois-Amerikassa on lievää taantumaa. Intian uskotaan myös nousevan yhdeksi merkittävimmistä paperi- ja kartonkituotteiden markkinoista, kun paperituotteiden kulutus henkeä kohden kasvaa lähemmäksi maailman keskiarvoa. (Metsäteollisuus ry) (Bajpai 2014, 1-2) Kuvassa 4.4 on esitetty paperinkulutus maailmalla vuonna 2017. Vaikka paperia ja sellua voidaankin rahdata markkina-alueille, pyrkii tuotantoa keskittymään myös sinne missä on kysyntää.

Paperin ja kartongin tuotanto maailmassa lajeittain

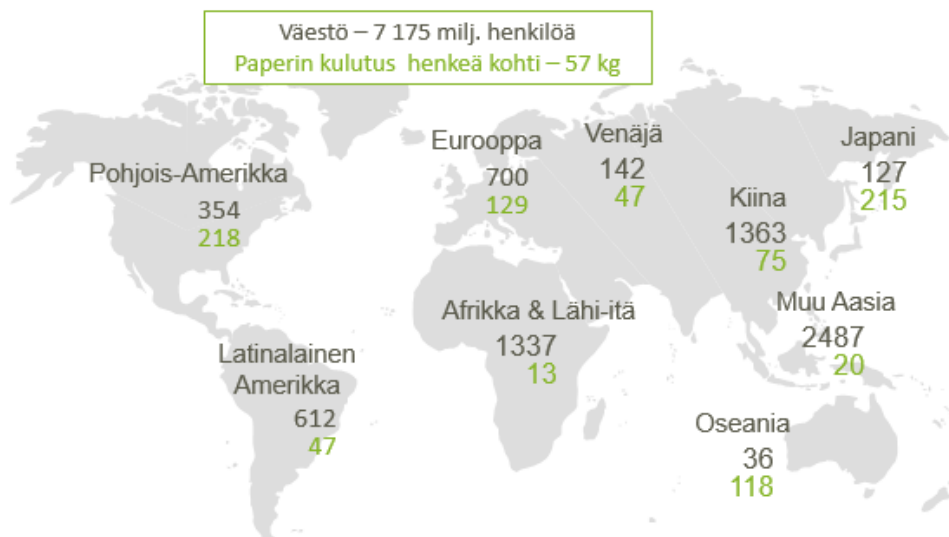
100
Metsäteollisuus



Kuva 4.3 Paperin ja kartongin tuotanto maailmassa (Metsäteollisuus ry)

Paperin kulutus maailmassa henkeä kohti

100
Metsäteollisuus



Kuva 4.4 Paperin kulutus maailmassa henkeä kohden (Metsäteollisuus ry)

Materiaali- ja polttoaineresurssit ovat myös yksi tekijä, joka oleellisesti vaikuttaa kysyntään. Puusta ei globaalilla mittakaavalla ole pulaa, joten teollisuuden ja puun energiakäytön lisäykselle ei periaatteessa ole tämän suhteen suuria esteitä. Kestävän puun käytön näkökulmasta rajoitteitakin kuitenkin on, sillä huomattavia alueellisia eroja löytyy myös. Esimerkiksi Kiinan puuvarasto ei riitä vastaamaan kasvavaan kysyntään. BFB markkinoiden kannalta onkin tärkeää identifioida alueet, joilla on potentiaalia myös kasvaviin metsähakkuisiin, sillä vaikka puuperäisten tuotteiden loppumarkkinat olisivat muualla niin ne kannattaa jalostaa, esimerkiksi selluksi, mahdollisimman lähellä alkuperää. Esimerkiksi Etelä-Amerikka on monin paikoin sopivaa aluetta nopeasti kasvavien puulajikkeiden kuten eukalyptuksen viljelyyn. Etelä-Amerikan uskotaankin nousevan yhä merkittävämmäksi sellun viejäksi Kiinan markkinoille, kun Aasian puuvarannoista alkavat kilpailla yhä enemmän myös muut Aasian valtiot (Laakso 2019, 34-35) (WWF international 2012, 8-26) (Metsäteollisuus ry).

Haasteita ja mahdollisuuksia BFB:n kysynnälle voi olla esimerkiksi tekniikan soveltuminen yhä vaativimmille polttoainelaaduille esimerkiksi maatalousjätteillä. Energiajärjestelmien joustavuus on myös yhä tärkeämpää, joten joustavilla ja nopeasti kuormanvaihteluun soveltuvilla laitoksilla voi olla suuri etu. Investointihalukkuus suuriin ydinvoimalahankkeisiin on myös laskenut ja monet nykyisistä laitoksista ovat lähellä käyttöikänsä loppumista (Setälä 2019), joten peruskuormalle on myös kysyntää. Hiilentalteenotto tekniikoiden kaupallistuminen biovoimalaitoksille luo myös suuria mahdollisuuksia, sillä näillä voitaisiin laskennallisesti päästä negatiivisiin CO₂ päästöihin (Teir et al. 2016).

5 TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTOT

Tämän työn tarkoituksena on kehittää markkinahinnanarviointityökalu, jolla voidaan määrittää markkinahinta voimakattilan toimitusprojektille vaivattomasti. Työkalun päivittämisen tulee olla myös mahdollisimman helppoa.

Työkalun tarkoitus on ensisijaisesti tulla tukemaan myyntityötä helpottaen tekemään tarkempia ensimmäisiä hinta-arvioita. Samalla helpottamaan myös kannattavimpien projektien tunnistamista, sillä jo myyntiprojekti ja tarjouksen jättäminen aiheuttavat merkittäviä kustannuksia. Toisaalta työkalua voidaan hyödyntää myyntiprojektin edetessä tehtäviin tarkempiin hinta-arvioihin ja tarjouksiin vertailuarvoja aikaisempien projektien pohjalta. Työkalun ohella halutaan myös selvittää merkittävimmät hintaan vaikuttavat parametrit ja tekijät eri kustannuslajeille.

Työkalu kehitetään Excel-pohjaiseksi sopien yhteen hyvin muiden hinnoittelutyökalujen ja tietokantojen kanssa. Excel on myös yleisesti tunnettu ja käytetty työkalu ja näin myös suhteellisen helppo käyttöinen. Työkalun on oltava helposti ylläpidettävissä esimerkiksi uusien projektien lisäämisen kannalta. Tämän lisäksi työkalun olisi hyvä olla laajennettavissa mahdollisesti myös muille tuoteryhmille.

5.1 Markkinahinnan laskentatyökalu

Hinnan arvioinnin pohjadataana käytetään ANDRITZ:in aikaisempien toimitettujen projektien hinnoittelutietoja, jotka sisältävät WBS-kohtaisesti kustannusarviot, määrää kuvaavat arvot kuten painot, tilavuudet tai kappalemäärät sekä mahdolliset yksikkökustannustiedot kuten kilo- ja/tai tuntihinnat. Tämän lisäksi selvitetään mahdollisuutta käyttää mallintamisessa apuna myös muiden samankaltaisten kattilaprojektien tietoja. Pohjadataan on valittava vain sellaiset projektit, joita on merkityksellistä verrata toisiinsa. Esimerkiksi projekteihin joiden toimituslaajuus tai toimitustapa poikkeaa merkittävästi, on suhtauduttava kriittisesti.

Voimakattilaprojekteja on kuitenkin suurten investointiprojektien tavoin suhteellisen vähän, joten tarkastelu laajuutta ei voi rajata liian pienelle aikajänteelle tai liian tiukalla

tyyppitarkastelulla. Lisäksi hinta-arvioinnin näkökulmasta on kiinnostavaa tutkia miten hinta on kehittynyt ajan kuluessa tai miten eri kattilakonseptit vaikuttavat tähän.

Projekteista kerätään myös voimakattilan toimintaa kuvaavat arvot kuten polttoaine- ja kattilatehot, tuorehöyryn paineet ja lämpötilat sekä höyry- ja savukaasuvirrat. Myös muita merkittäviä kattilankustannuksiin vaikuttavia tekijöitä kerätään, kuten käytettävän polttoaineen tyyppi ja tai laatu sekä laitoksen sijainti.

Vaikka projektien pääpiirteinen WBS-kustannusrakenne on pysynyt samanlaisena, täytyy pohjadataana käytettävien projektien hinnoittelutietoja myös muokata, sillä osa WBS-rakenteista on muuttunut ajan saatossa hinnoittelun kehittyessä.

Kustannusarvioinnin tekeminen käyttäen suoraan aikaisempia hinnoittelutietoja ei myöskään ole täysin mielekäästä, sillä esimerkiksi kustannustaso on todennäköisesti muuttunut. Yksi tapa tehdä kustannustasokorjaus on laskea menneiden projektien kustannukset uudelleen käyttäen nykyisiä yksikköhintoja. Tämä menetelmä sopii kuitenkin vain kustannuserille, jotka hinnoitellaan kapasiteettitekijöiden kuten painon, tilavuuden tai työtuntien mukaan ja joista nämä tiedot ovat myös saatavilla. Ongelmaksi yksikköhinta korjauksessa muodostuu se, että monet kustannuserät saattavat koostua useista eri ja tapauskohtaisesti vaihtelevista yksikköhinnoista. Esimerkiksi tulistimissa käytetään usein useita eri materiaaleja eri tulistinvaiheissa ja nämä vaihtelevat tapauskohtaisesti toiminta-arvojen ja standardien mukaan. Myös monet suunnittelua ja projektinhallintaa käsittävät kustannuserät saattavat sisältää useita eri palkkaluokkia. Näin ollen yksikkökustannukselle luodaan parhaiten yleistä trendiä kuvaava korrelaatio merkitsevimpien materiaali- ja valmistuskustannusten avulla. Yksikköhinta korjausta käytetään suunnittelun, asennuksen ja valvonnan sopivilta osilta sekä laitekustannuksissa niiltä osilta, jotka on hinnoiteltu painojen tai tilavuuksien mukaan ja järkevä korjaus on löydettävissä.

Toinen vaihtoehto on selvittää sopiva inflaatiokerroin, jolla menneiden projektien kustannuksia voidaan muuttaa vastaamaan paremmin nykykustannustasoa. Tässä ongelmaksi muodostuu, ettei kirjallisuudesta löytyvät yleiset kustannustasokertoimet

sovellu hyvin voimakattilaprojekteille eikä kerrointa välttämättä pysty määrittämään luotettavasti käytettävissä olevan datan perusteella. Tätä menetelmää pyritään soveltamaan kustannuserille, jotka ovat kappalehinta perusteisia ja/tai joille ei löydy järkevää yksikköhintakorjausta.

Yksi oleellisimmista seikoista on myös projektien vertailtavuus toimituslaajuuden näkökulmasta. Tarkasteltavat voimakattilat eivät ole standardimitoitettuja vaan tapauskohtaisesti räätälöityjä ratkaisuja, jolloin toimituslaajuus on tyypillisesti täysin projektikohtainen. Kattilatoimitukselle määritellään näin ollen laskentatyökalussa ”normaali” toimituslaajuus, joka sisältää tyypillisimmät WBS-ryhmät. Kustannus- ja hinta-arvio tehdään määritetyn laajuuden perusteella ja laajuuden ulkopuolelle jääneet kustannuserät jätetään huomiotta. Kaikki projektit eivät kuitenkaan välttämättä sisällä kaikkia normaalin toimituslaajuuden sisältämiä kustannuseriä. Tällöin projektin kyseiselle kustannuserälle luodaan arvio muiden projektien avulla.

Nykyhintaan muutetuilla ja normeerattuun toimituslaajuuteen rajatuilla kustannuserillä tehdään uusi kustannusarviointi valituilla referenssiprojekteilla. Saaduille kustannuksille tehdään korrelaatio sopivimpia parametreja hyväksi käyttäen. Regressioanalyysin avulla selvitetään kustannuksia parhaiten kuvaavat parametrit.

Oleellista on myöskin selvittää millä laajuudella korrelaatiot tehdään. WBS-kohtaisella mallintamisella voidaan olettaa saavuttavan tarkin tulos, mutta tällöin myös riski virheiden määrään kasvaa. Ryhmittämällä kustannuseriä voidaan taas olettaa yksittäisten poikkeavuuksien tasoittuvan paremmin mutta kustannusten jako takaisin WBS tasolle olevan epätarkempaa.

Saaduilla regressiokertoimilla tehdään kustannusten mallinnus tutkittavalle voimakattilatoimitukselle. Myös toteutuneet projektit mallinnetaan uudestaan, jotta mallin oikeellisuutta voidaan tarkastella paremmin.

Kustannusten lisäksi on arvioitava myös muita hintaan vaikuttavia tekijöitä. Oletettavasti näissä kuvailevat tekijät ovat kapasiteettitekijöitä merkittävämpiä. Tällöin toteutuneita

projekteja mallintaessa pohjatietojen muokkaukseen on suhtauduttavat erityisen kriittisesti.

5.2 Laskentamenetelmät

Kustannusten ja hintojen merkitsevimpien parametrien löytämiseen ja regressiomallin tekemiseen käytetään usean selittäjän regressioanalyysia (yleinen regressiomalli). Perusteluna tähän on, että oletettavasti kustannukset eivät ole kunnolla selitettävissä vain yhden tekijän avulla. Usean selittäjän regressioanalyysissa regressiokertoimet määritellään niin, että kerroin kuvaa kuinka paljon selitettävän muuttujan arvo (tässä tapauksessa kustannukset) muuttuu, kun selittävän muuttujan arvo muuttuu ja kaikkien muiden muuttujien arvo pysyy samana (KvantiMOTV 2013).

Analyysin pohjana toimii pienimmän neliösumman menetelmää (PNS). Menetelmää käytetään löytämään annetuille datapisteille sopivin käyrä. Menetelmä perustuu jokaisen pisteen ja käyrän erotuksien neliöiden summasta ja tämän neliösumman arvon minimoimisesta.

Sovitteen hyvyttä voidaan myös arvioida neliösumman arvolla R^2 , joka kuvaa kuinka hyvin muuttujan arvo kuvaa selitettävää muuttujaa. R^2 voi saada arvoja 0...1 väliltä, missä $R^2=1$ kuvaa soviteen kuvaavan täydellisesti annettuja arvoja, kun taas arvon lähestyessä nollaa, soviteen sopivuus kuvaamaan kyseistä arvojoukkoa heikkenee.

Ongelmana usean selittäjän regressioanalyysissa on, että niillä herkästi saadaan parempi selittävyys suuremmalla joukolla muuttujia, vaikka muuttujat itsessään eivät olisi relevantteja. Parametrien riippuvuus toisistaan saattaa aiheuttaa myös ongelmia. Mallin hyvyyden varmistamiseksi onkin mallin selittävyyden lisäksi tarkasteltava eri muuttujien omia merkitsevyyksiä. Toisaalta tämäkään ei ole täysin yksiselitteistä, mikäli muuttujien välillä on vahvaa korrelaatiota eli kolineaarisuutta (Taanila 2010, 19-21). Tarkemmin yleisestä regressiomallista ja -analyysistä esimerkiksi Mellin *Tilastolliset menetelmät: Lineaarinen regressioanalyysi* (2006, 335-367) ja Kahane *Regression Basics* (2008, 59-78).

Menetelmää sovelletaan käyttämällä Excelin LINREGR-funktiota (eng. LINEST). Funktio on tarkoitettu lineaarisen regressioanalyysin kuvaamiseen, mutta yhdistettynä muiden funktioiden kanssa sitä voidaan käyttää myös muiden kuin lineaaristen soviteitten tarkasteluun. LINREGR:in hyviä puolia on, että sillä saadaan myös helposti regression tilastotietoa, jolla voidaan arvioida soviteiden ja parametrien sopivuutta kuvaamaan eri WBS-ryhmiä.

Mallin tarkkuutta voidaan arvioida myös laskemalla toteutuneiden projektien kustannukset ja hinnat uudelleen mallin mukaan ja vertailemalla näitä toteutuneisiin hintoihin. Tällöin kuitenkin projektien toimituslaajuudet saattavat muuttua, joten on syytä vertailla kokonaan mallinnettuja tuloksia myös normaalilaajuuteen korjattuihin myyntihintoihin, jossa toimituslaajuuden kannalta ylimääräiset kustannuserät on poistettu ja toisaalta siitä puuttuvat mallinnettu ja loput alkuperäisen hinnoittelun mukaisia.

Menneiden projektien muuttaminen nykyhintaan toteutetaan kertomalla kustannuserien määrälliset arvot, kuten esimerkiksi työtunnit, käytössä olevilla hinnoittelun yksikkökustannuksilla. Laitteiden painoperusteisiin yksikkökustannuksiin käytetään kuitenkin yleistä regressiomallia, sillä näiden yksikkökustannusten muodostuminen huomattavasti monimutkaisempaa.

6 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

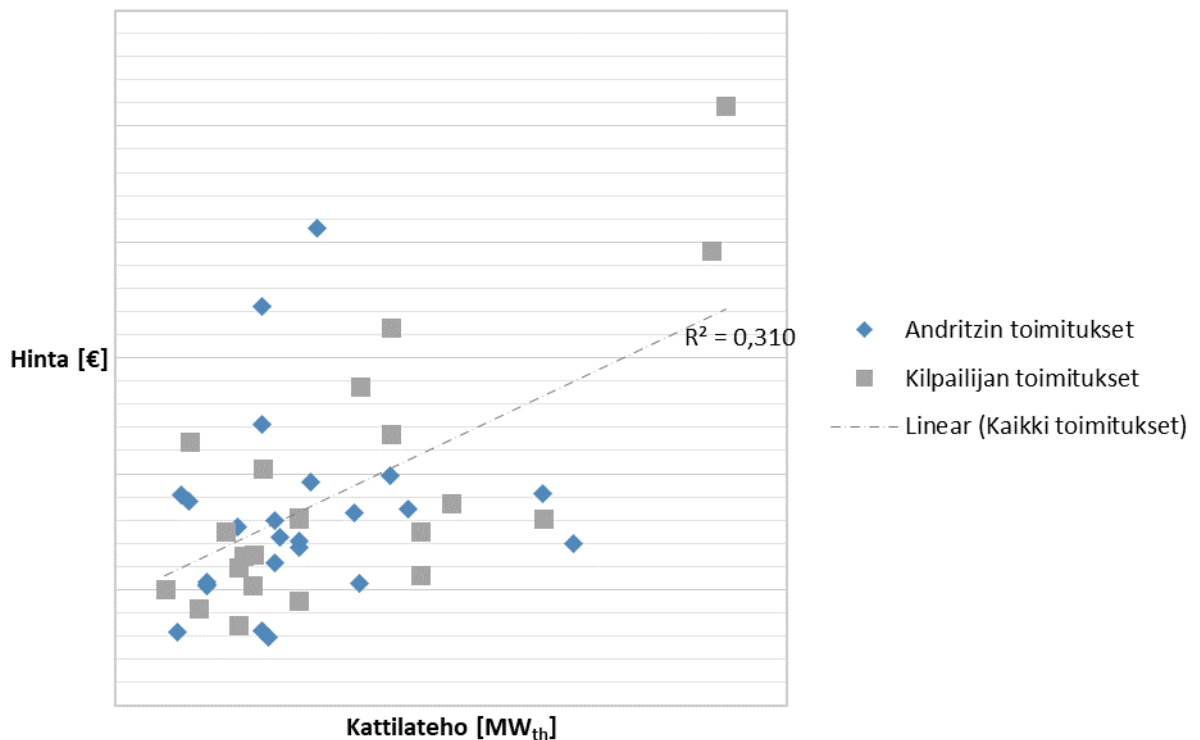
Tässä kappaleessa käydään läpi markkinahinnan laskentatyökalun kehittämisessä saatuja tuloksia kustannusrakenteesta ja sen merkittävimmistä kustannuslajeista. Oleellisena asiana on saadut parametrit, joilla hintaa ja kustannuksia voidaan parhaiten mallintaa. Tämän lisäksi pohditaan työkalun sopivuutta kappaleessa 4. esitetyille vaatimuksille sekä tavoitteiden täyttymistä.

Tulokset perustuvat ANDRITZ:in toimitusmalliin ja hinnoitteluihin eivätkä näin sovellu suoraan yleisenä mallina käytettäväksi.

6.1 Hinnan ja kustannusten käyttäytyminen

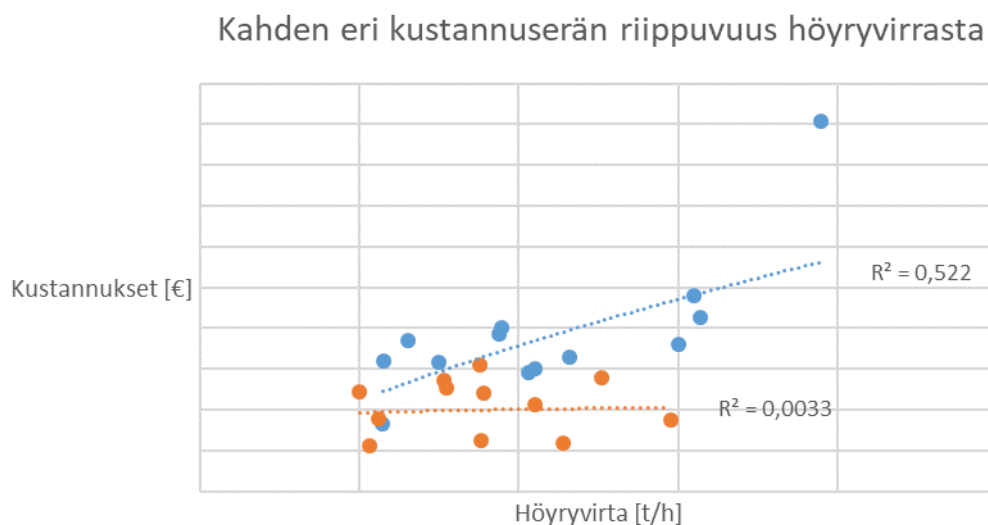
Voimakattiloiden hinnoittelua ja kustannusarvioita vertailtaessa huomataan nopeasti, ettei näiden vertailu ole mielekäästä ilman projektien karsintaa ja tietojen muokkaamista vertailukelpoisemmaksi, sillä projektien luonteet ja laajuudet vaihtelevat runsaasti jo pelkästään yrityksen oman toimituslaajuudessa piirissä. Tämä aiheuttaa runsaasti hajontaa hinnoissa, jolloin ohjailevien parametrien löytäminen on hankalaa ja mallintaminen epätarkkaa, joten projektien muokkaaminen vertailukelpoisimmiksi on välttämätöntä. Kuvassa 6.1 on esitetty BFB-projektien myyntihintoja kattilatehon funktiona ANDRITZ:in omille ja muutamille kilpailijan toimittamista voimakattiloista, jotka ovat pääpiirteittäin samankaltaisia ja joiden myyntihinta on riittävällä tarkkuudella tiedossa. Hintoja on korjattu kokeellisella 0,5% vuosittaisella indeksikorjauksella.

BFB myyntihinnat



Kuva 6.1 ANDRITZIN ja kilpailijoiden BFB toimitusten myyntihintoja kattilatehon funktiona

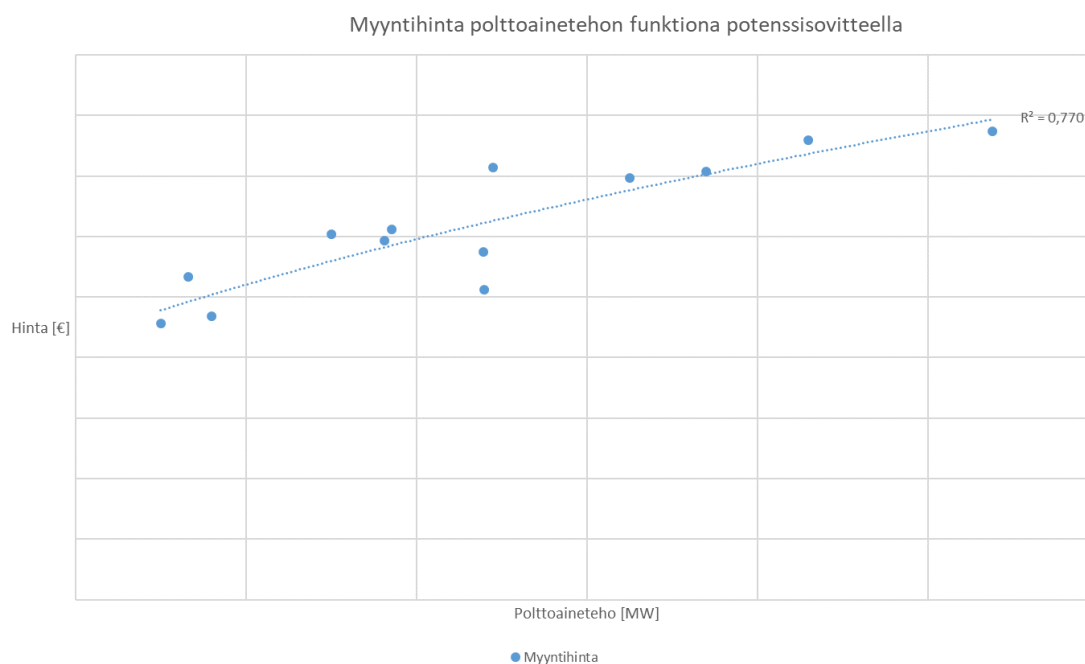
Parhaiten kustannusten mallintamiseen eri kustannuserille osoittautuivat tyypillisesti kapasiteettiä kuvaavat parametrit; höyryvirta, polttoaineteho ja savukaasuvirta. Etenkin ryhmiteltyinä suuremmiksi kokonaisuuksiksi sekä kokonaiskustannuksia ja -hintaa arvioitaessa nämä korreloivat hyvin. Useimmille kustannuserille nämäkään parametrit eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä eikä muitakaan selkeitä yhteisiä tekijöitä löydetty, jotka olisivat kuvanneet kustannuksia. Kuvassa 6.2 on esitetty kaksi vesihöyrypiiriin oleellisesti liittyvää komponenttia, joista toinen korreloi höyrykapasiteetin suhteen suhteellisen hyvin yhtä poikkeavaa arvoa lukuun ottamatta ja toinen ei. Tapauksissa, jossa selkeää riippuvuutta ei löydetty, nähtiin luontevimpana kuvata kustannuksia keskiarvona. Aina myöskään komponenttien kannalta oleellimmat mitoitustekijät eivät kyenneet kuvaamaan hinnanmuodostumista.



Kuva 6.2 Kahden vesihöyrypiiriin liittyvän kustannuserän riippuvuus höyryvirrasta

Kyseiset parametrit ovat perusteltuja, sillä ne kuvaavat yhdessä hyvin kattilalaitoksen kapasiteettia niin vesi-höyrykierron kuin myös polttoaine ja savukaasu puolelta. Huonona puolena on, etteivät nämä suoraan kuvaa voimakattilan termistä tehoa tai hyötysuhdetta. Toisaalta polttoainetehon ja savukaasuvirran suhde kuvaa vähintään suuntaa-antavasti polttoainelaatua, sillä heikompi lämpöarvoisilla polttoaineilla syntyy tyypillisesti enemmän savukaasuja suhteutettuna saatuun polttoainetehoon (Huhtinen et al. 2000, 37-40). Parametrien merkitsevyyksien analysointia hankaloittaa kyseisten parametrien vahva keskinäinen korrelaatio.

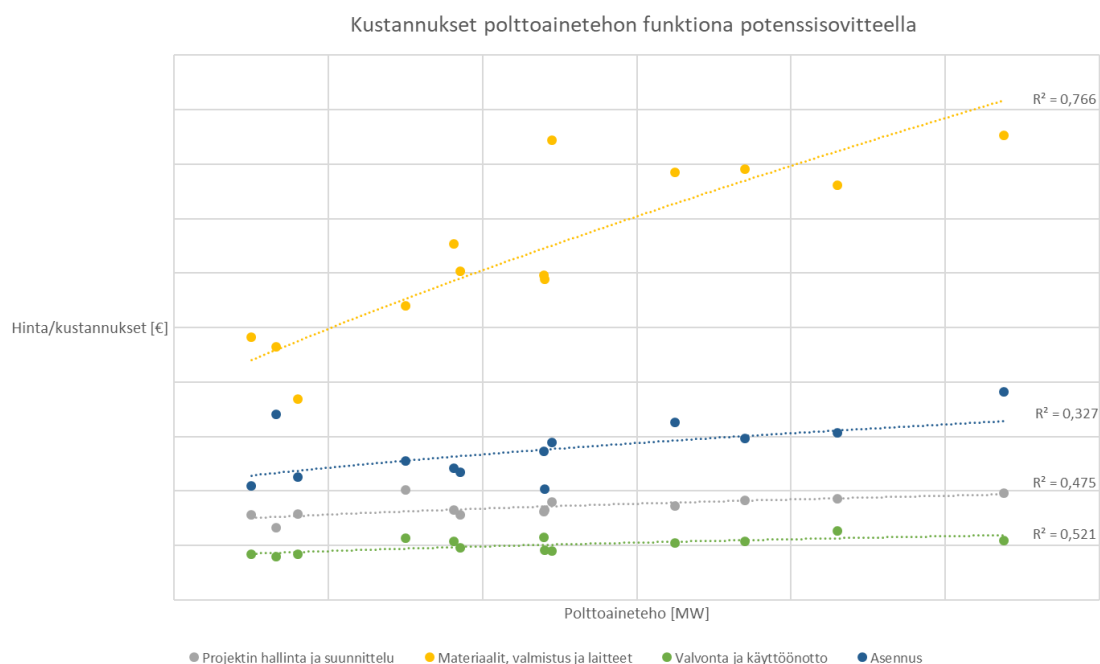
Kustannuksien ja hintojen huomattiin mukailevan parhaiten tyypillisesti potenssifunktion sovitetta. Tälle antaa tukea myös kustannusarvioinnissa käytetty kapasiteettiekspONENTTI menetelmä. Saatujen kustannussovitteiden potenssifunktioita voidaankin käyttää myös arvioitaessa kustannuksia kyseisellä menetelmällä. Kuvassa 6.3 on esitetty nykyhintaa ja toimituslaajuuskorjattujen projektien myyntihinnat polttoainetehon funktiona potenssisovitteelle. Neliösumman arvoksi tällöin markkinahinnalle saadaan $R^2=0,770$.



Kuva 6.3 Projektien korjatut hinnat ja kokonaiskustannukset polttoainetehon funktiona

Kuvassa 6.4 on esitetty eri kustannusryhmien kustannusten kehittyminen polttoainetehon funktiona. Kuvaajista voidaan nähdä suurimman kustannuserän eli materiaalien, valmistuksen ja laitteiden korreloivan parhaiten. Asennuksen suhteellisen huonoa neliösummaa selittää merkittävästi poikkeava arvo pienessä kokoluokassa.

Toiminta-arvojen ei havaittu korreloivan hyvin voimakattiloiden kustannusrakenteen ulkopuoliseen osaan myyntihinnasta. Selvää vuosittaista kehitystä ei myöskään ollut havaittavissa. Ongelmaksi muodostuu markkinatilanteen paikallisuus ja riippuvuus lukuisista muista eri tekijöistä, joiden mekanismit voivat vaihdella eivätkä muutenkaan ole yleisesti tunnettuja. Vähäisten referenssitapausten johdosta näitä on hankala arvioida ja mallintaa.

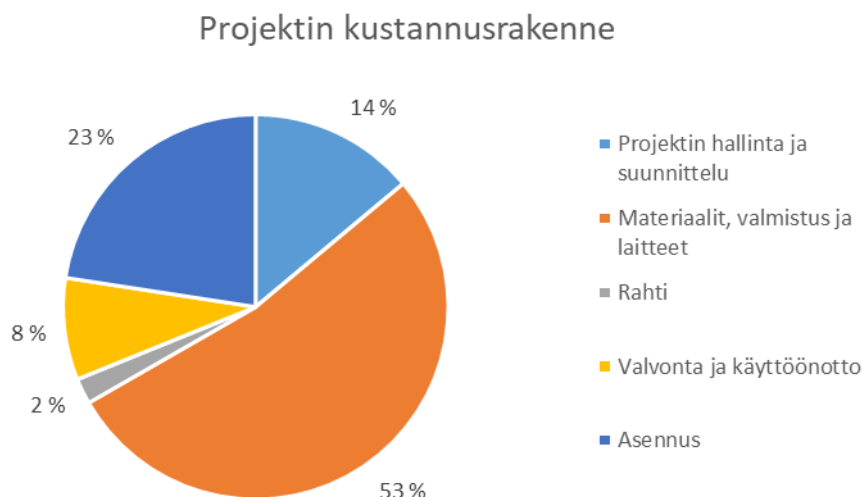


Kuva 6.4 Projektien eri kustannusryhmien korjatut kustannukset polttoainetehon funktiona

Saatu kapasiteettiekspONENTTI laitteiden ja järjestelmien osalta on lähellä Koorneef et al. (2007, 44-46) saamaa kerrointa kerrosleijukattilan hinnalle. Koorneef esittää myös omassa tutkimuksessaan, että skaalauksesta johtuva hinnan muutos on voimakkainta nimenomaan kattilan osalta jolloin mitä suurempaa osuutta kokonaiskustannuksista kattilan osuus on, sitä hitaampaa hinnan kehittyminen on voimalaitoksen kapasiteetin kasvaessa. Koorneef pääättelee, että projektin kokonaishinta ei seuraisi yhtä vahvasti suuruuden ekonomiaa kuin pelkän kattilan hinnan osuus. Tämän työn tutkimuksen perusteella projektin kokonaishinnan kerroin on kuitenkin selvästi pienempi kuin pelkän materiaalien, valmistuksen ja laitteiden osuus, jolloin projektin hinta kehittyy hitaammin kuin näiden. Saatujen tulosten perusteella vaikuttaakin, ettei materiaali-, valmistus- ja laitekustannusten lisäksi muut kuin asennuskustannukset kasva merkittävästi kapasiteetin kasvaessa. Huomioitavaa kuitenkin on, että Koorneef tarkastelee hintaa koko voimalaitos laajuudessa, kun tässä työssä keskitytään vain kattilalaitoksen osuuteen.

6.2 Kustannusrakenne

Kustannukset voidaan jakaa eri tavoin mutta erityisesti ANDRITZ:lla voimakattiloille kustannusrakenne jaetaan projektitoimituksen näkökulmasta projektin hallintaan ja suunnitteluun, materiaaleihin ja valmistukseen & laitteisiin, rahtiin, valvontaan ja käyttöönottoon sekä asennukseen. Materiaalit, valmistus & laitteet kattavat usein noin puolet kaikista kustannuksista (50-55%), asennus vajaan neljäsosan (20-25%) ja loput viimeisen neljänneksen: Suunnittelu ja projektinhallinta 10-15%, valvonta ja käyttöönotto 5-10% ja rahti 2-5%. Erään projektin hinnoittelun pohjalta tehty kustannusjakauma on esitetty kuvassa 6.5.



Kuva 6.5 Erään projektin kustannusjakauma

Jakauma ei muutu merkittävästi kattilakoon mukaan ja projektikohtaiset poikkeavuudet ovat usein kapasiteettista riippuvuutta suuremmat. Kuitenkin materiaali- ja laitekustannusten osuuden voidaan havaita kasvavan tyypillisesti hieman koon kasvaessa. Asennuksen osuus ei muutu, kun taas muiden osuus laskee hieman kapasiteetin kasvaessa

Vaihtoehtoisesti kustannukset voidaan jakaa myös esimerkiksi voimakattilaan ja apulaitteisiin, rakennustöihin, instrumentointiin, automaatiojärjestelmiin sekä sähköjärjestelmiin. Tällöin voimakattila ja apulaitteet voivat kattaa jopa 90%

kustannuksista. Toiseksi suurimpana eränä tulee usein rakennustyöt ja loput vaativat usein huomattavasti pienemmät osuudet kustannuksista.

Toimituskustannuksiin ja samalla toimituksen hintaan vaikuttaa hyvin oleellisesti toimituslaajuus. Esimerkiksi pystytys tai jokin laite kokonaisuus ei välttämättä aina kuulu toimitukseen, jolloin tämä luonnollisesti vaikuttaa myös toimituskustannuksiin ja jakautumiseen.

6.2.1 Suunnittelu ja projektinhallinta

Suunnittelu ja projektinhallinnan kustannuksista merkittävimpiä ovat projektinhallinta sekä sekä laite-, prosessi- ja putkistosuunnittelu.

Kapasiteettiset ja muut toiminta-arvoja kuvaavat parametrit osoittautuivat tyypillisesti kuvaamaan huonosti suunnittelu ja projektinhallinnan hinnanmuodostumista. Kustannukset perustuvat työnteon kustannuksiin eikä työmäärä merkittävästi muutu toiminta-arvojen mukaan, sillä tekniikka ja käytänteet ovat hyvin pitkälti varttuneita. Hyvin poikkeavat vaatimukset ja ratkaisut toki nostavat työmäärä mutta yleisimmät parametrit ovat tyypillisesti huonoja kuvaamaan näitä. Näistä seikoista johtuen useille suunnittelun ja projektinhallinnan kustannuksille havaittiin luontevammaksi käyttää aikaisempien projektien kustannusten keskiarvoja.

Tilastollisesti suunnittelun ja projektinhallinnan kustannukset kasvavat kapasiteetin kasvaessa mutta kasvu on kuitenkin sen verran hidasta, että suhteellinen osuus kokonaiskustannuksista tyypillisesti pienenee. Tilastollinen poikkeavuus on myös suhteellisen suurta. Kustannustaso on noussut hieman ajan saatossa, mutta tämä ei kuitenkaan juuri näy yleisenä hinnannousuna. Lisäksi suunnittelun osuus pienemmän kustannustason maissa on kasvanut jonkin verran.

6.2.2 Materiaali-, valmistus- ja laitekustannukset

Merkittävimmät järjestelmät ovat tyypillisesti lämpöpinnat, savukaasujen puhdistus, muut ilma- ja savukaasujärjestelmät sekä korkeapaine putkistot. Myös AEI:n sekä

kattilarakennuksen osuus voi olla merkittävä, mutta riippuu vahvasti toimituslaajuudesta. Poikkeavat ratkaisut ja vaativat toiminta-arvot, kuten huono laatuinen polttoaine, nostaa herkästi kustannuksia useilla eri kustannuserillä.

Kapasiteettiset tekijät vaikuttavat parhaita kuvaavan laitekustannuksia etenkin kokonaisuuksiksi ryhmiteltyinä. Tosin näissäkin on huomattavasti poikkeuksia. Etenkin yksittäisen kustannuserän tarkkuudella tarkasteltaessa riippuvuutta parametreihin ei välttämättä ole havaittavissa. Tapauskohtaisesti suunnitellut suuret järjestelmät, kuten lämpöpinnat, soveltuivat parhaiten parametreilla mallinnettaviksi. Kappalehinta perusteisille alihankituilla kustannuserillä havaittiin usein enemmän hajontaa.

Vaikka lämpötilat ja paineet ovat oleellisia mitoitus- ja materiaalivalintatekijöitä, ei näiden selkeää riippuvuutta järjestelmien kustannuksiin ja yksikköhintoihin havaittu. Tähän vaikuttanee muun muassa se, että myös muut tekijät vaikuttavat materiaalivalintoihin, kuten korrodoivat olosuhteet. Sen lisäksi, että käytetty materiaali riippuu usein standardista, niin asiakkaalla voi olla myös standardia tiukemmat vaatimukset. Tämä voi nostaa huomattavastikin kustannuksia, mikäli halutaan täyttää kaikki asiakkaan toiveet mutta näitä on kuitenkin hankala ennustaa.

Lämpöpinnat ovat luonnollisesti suuri kustannuserä, sillä nämä vaativat runsaasti materiaalia ja ovat tyypillisesti vaativissa olosuhteissa, jolloin materiaalin hinta ja valmistuskustannukset ovat korkeat. Muut putkistot vaativat tyypillisesti myös hyvin runsaasti materiaalia, mutta ovat materiaalihinnaltaan huomattavasti halvempia, jolloin kustannukset ovat alhaisemmat. Putkistojen kannalta kapasiteettitekijät eivät aina pysty kunnolla kuvaamaan kustannusten muodostumista, sillä putkimäärään vaikuttaa vahvasti myös laitesijoittelu ja muu laitoksen layout. Putkistojen kannalta merkittävän kustannuserän materiaalikustannusten lisäksi muodostavat varo- ja säätölaitteina toimivat venttiilit, sillä näitä tarvitaan tyypillisesti hyvin suuri määrä. Lisä- tai erikoislämmönsiirtoratkaisut lisäävät herkästi myös muita putkistokustannuksia, sillä nämä vaativat luonnollisesti omat liitännäputkistot muuhun järjestelmään sekä venttiilit ja

muut varo- ja säätölaitteet. Monet järjestelmistä vaativat esimerkiksi myös omat lauhdejärjestelmät.

Ilma- ja savukaasujärjestelmistä selvästi merkittävin kustannuserä on tyypillisesti hiukkassuodatin, jonka kustannukset ovat myös vahvasti riippuvaisia kapasiteettitekijöistä. Harvinaisemmat järjestelmät kuten savukaasupesurit ja –lauhduttimet voivat olla toki huomattavasti suurempi kustannuserä mutta eivät yleisesti kuulu toimituslaajuuteen. NO_x –hallintajärjestelmä kuulu myös tyypillisesti toimitukseen, mutta tämä riippuu hyvin pitkälti paikallisista päästövaatimuksista.

Valmistuskustannuksia voidaan pienentää merkittävästi valmistamalla esimerkiksi painerungon osat Euroopan sijaan Kiinassa. Tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista esimerkiksi asiakkaan vaatimuksesta tai toimitusajoista johtuen. Valmistaminen alhaisen kustannustason maissa kasvattaa myös usein muita kustannuseriä kuten laadunhallintaa, sertifiointikustannuksia, riskivaroja ja mahdollisesti rahtikustannuksia. Nämä eivät ole kuitenkaan tyypillisesti yhtä suuria ja helposti havaittavia, mikä tekee niiden mallintamisesta hankalaa.

AEI kustannukset koostuvat hyvin monesta eri osasta eivätkä ole juuri riippuvaisia kapasiteetista tai muista toiminta-arvoista vaan ennemminkin halutusta toimituslaajuudesta. Tästä johtuen parametreilla ei onnistuttukaan kuvaamaan AEI:n hinnanmuodostumista kovinkaan hyvin.

Rakenteiden osalta kapasiteettisilla tekijöillä pystyttiin kuvaamaan kohtalaisesti kustannuksia, mutta laitoksen sijainti sekä muut toiminta-arvoista riippumattomat rakenteelliset vaatimukset ja muuttujat aiheuttavat hajontaa.

6.2.3 Rahti

Rahtikustannukset riippuvat osaltaan kapasiteetista, sillä ne määräytyvät painon ja tilantarpeen mukaan. Kuitenkin muut tekijät kuten laitteiden valmistus- ja kohdemaan etäisyydet ja muut rahtausolosuhteet vaikuttavat vahvemmin kustannuksiin. Tästä

johtuen voimakattilan toiminta-arvot eivät pysty ennustamaan rahdista muodostuvia kustannuksia. Sopivimpien parametrien etsiminen voi olla työlästä eikä näitä tietoja välttämättä ole tiedossakaan ensimmäisten hinnoittelu arvioiden aikana, johon tämä työkalu on ensisijaisesti tarkoitettu.

6.2.4 Asennus

Asennuskustannukset muodostuvat pääasiassa asennustyövoiman palkoista, majoitus- ja matkustamiskustannuksista sekä nosturi ja telinekustannuksista. Tämän lisäksi kustannuksia muodostuu työmaa infrasta kuten työmaatoimistoista ja sosiaalituloista. Merkittävä erä on myös vuokrattavat nosturit, joita tarvitaan raskaiden laitteiden asennuksessa. Nosturin koon määrää tyypillisesti lieriön koko, sillä tämä on usein raskain yksittäinen nostettava komponentti.

Asennustöistä merkittävin erä on selvästi päälaitteasennukset, johon kuuluu muun muassa painerunko, polttoaine- ja tuhka järjestelmät sekä ilma- ja savukaasujärjestelmät. Tämän jälkeen tulee teräsrakenteet ja muu rakennus. Putkistotyöt ja etenkin eristystyöt ovat myös merkittäviä työtunteja vaativat osuudet.

Rakennus- ja asennustöiden kustannuksiin vaikuttaa itse töiden laajuuden lisäksi hyvin paljon laitoksen sijainti, käytetty työvoima ja siihen vaikuttavat säädökset. Esimerkiksi matalan palkkatason maissa asennustyökustannukset voivat olla huomattavasti pienemmät. Toisaalta tähän vaikuttaa vahvasti myös työn tuottavuus ja ammattitaitoisen työvoiman saatavuus. Kapasiteettitekijät pystyvät kuitenkin kuvaamaan yleisesti hinnanmuodostumista hyvin mutta poikkeuksia voi muodostua helposti.

Tarkemman hinnoittelun näkökulmasta useat asennustyöt ovat kallistuneet viimeisen kymmenen vuoden aikana muun muassa tarkempien laatu ja turvallisuusvaatimusten takia, joita myös valvotaan tarkemmin. Tämä ei näy kuitenkaan suuremmassa mittakaavassa kustannusten nousuna, sillä alueelliset erot ovat huomattavasti suurempia eikä yksittäisiltä alueilta ole riittävästi vertailukelpoisia referenssitapauksia korrelaatioiden muodostamiseksi.

6.2.5 Valvonta ja käyttöönotto

Valvonta liittyy pääasiassa asennuksen ja rakentamisen aikaiseen toimintaan, joten se on vahvasti riippuvainen näiden töiden määrästä. Pitkät projekti aikataulut, poikkeavat ratkaisut ja vaativat toimintaympäristöt lisäävät helposti kustannuksia. Näitä voi olla kuitenkin vaikea ennustaa.

Käyttöönoton vaatimukset ovat myöskin riippuvaisia toimituksen laajuudesta ja järjestelmien monimuotoisuudesta. Tähän voi vaikuttaa myös yrityksen oman toimituslaajuuden ulkopuoliset järjestelmät, sillä ne vaikuttavat herkästi käyttöönoton aikatauluun.

Kapasiteettitekijät pystyvät ennustamaan kustannuksia suuntaa-antavasti mutta hajontaa on huomattavasti enemmän kuin esimerkiksi asennukseen liittyen. Tämä johtunee siitä, että vaikka kapasiteetin avulla voidaan ennustaa kohtalaisella tarkkuudella työmäärää, niin se ei kuitenkaan sovellu kovin hyvin ennustamaan työn kestoa.

6.3 Tulosten virhetarkastelu

Korrelaatioilla laskettujen kokonaiskustannusten ja hintojen poikkeavuus myyntihetken vastaavista oli tyypillisesti -6...+10% suurimpia poikkeuksia lukuun ottamatta. Kustannuslajien erot saattoivat kuitenkin olla huomattavasti suurempiakin jopa -35...+40%. Huomattavaa on kuitenkin, että verrattaessa myyntihetken projektia ja mallinnettua tapausta, näiden laajuudet saattavat erota merkittävästikin. Suurimmat erot koskivat myös tyypillisesti rahtia sekä valvontaa ja käyttöönottoa, joiden osuudet kokonaiskustannuksista ovat tyypillisesti pienimmät ja näin ollen kokonaiskustannuksiin nähden suhteellisen pienikin muutos voi kustannuslajikohtaisesti olla merkittävä. Verrattaessa toimituslaajuus korjattuja ja mallinnettuja projekteja päästiin tyypillisesti -1...+1% tarkkuuteen. Tosin myös poikkeuksia löytyi, joissa erot olivat huomattavasti korkeampia mutta nämä koskivat projekteja, joiden hinnoittelu havaittiin muutenkin poikkeavaksi.

Ongelma hinnoittelutietojen käyttämisessä kustannusarviointia ja mallintamista varten on, että ne eivät kuvaa oikeita toteutuneita kustannuksia vaan sopimushetken kustannusarviota. Kustannusarviointia varten mielekkäämpää olisikin käyttää referenssinä toteutuneita kustannuksia, jolloin voitaisiin saada tarkempi oikeiden kustannusten arvio. Työkalun tarkoitus on kuitenkin arvioida markkinahintaa. Hinta taas on riippuvainen nimenomaan sopimushetken kustannusarviosta ja kilpailutilanteesta, jolloin toteutuneiden kustannusten käyttäminen voisi vääristää tulosta.

Vanhojen hinnoittelutietojen käyttäminen pohjatietoina on osin ongelmallista, sillä WBS-ryhmittelyn mukainen kustannusjaottelu on muuttunut useasti hinnoittelun kehittyessä eikä kaikkia muutoksia pysty välttämättä luotettavasti muokkaamaan vastaamaan nykyistä jaottelua. WBS-jaottelu on myös siinä mielessä ongelmallinen, että se ei aina kuvaa järjestelmistä riippuvia kustannuksia. Esimerkiksi jokin laite tai järjestelmä saattaa vaatia merkittävistä myös putkistoa, jonka kustannukset kohdistuvat toiseen työpakettiin.

Referenssitapausten vähäinen määrä heikentää oleellisesti tulosten luotettavuutta. Vähäisten vertailupisteiden tapauksessa poikkeustapauksilla voi olla merkittävä vaikutus lopputulokseen, kun taas suuremmassa joukossa tämä tasoittuisi. Ongelmallista on etenkin, mikäli vertailuarvojoukon tietty osuus on aliedustettuna, jolloin yksittäistapauksella voi olla erittäin suuri painoarvo. Poikkeavien arvojen vaikutusta on pyritty pienentämään poistamalla selvät poikkeavuudet tarkastelulaaajuudesta. Tässäkin piilee kuitenkin riskinsä, sillä datan muokkaus voi helposti vääristää tuloksia.

Projektien vertailtavuutta heikentää myös se, ettei tätä työtä varten onnistuttu luomaan sopivia inflaatiokertoimia kustannuserille, joita ei voitu korjata nykyhintaan yksikkökustannuskorjauksella.

Projektin kustannusten ja kannattavuuden arvioinnin näkökulmasta tärkeää on pystyä tutkimaan mahdollisuutta käyttää matalan LCC-valmistusta. Aikaisempia sopivia projekteja löydettiin kuitenkin huomattavan vähän, jolloin luotettavaa korrelaatiota ei saatu muodostettua. Yksikköhintoja vertailemalla saatiin kuitenkin suuntaa-antavat

kertoimet merkittävimmille laitteille. Tällä menetelmällä ei kuitenkaan pystytä ottamaan huomioon muita LCC:n kustannuksia, jotka olisi TCO-tarkastelun kannalta tärkeää.

Työkalun yksinkertaistamiseksi on käytetty pääasiassa vain tiettyjä samoja kapasiteettiä kuvaavia parametreja hintoja kaikkien kustannusten mallintamiseen, vaikka nämä eivät sovellukaan kovin hyvin kaikille kustannuserille. Toisaalta tämä koskee usein vähemmän merkitseviä kustannuseriä, jolloin mallin kokonaisarvion kannalta vaikutus ei ole niin merkitsevä. Lisäksi virheen suuruutta pyritään minimoimaan käyttämällä keskiarvoja, mikäli tämä koettiin perustelluksi. Tarkan kustannusarvion kannalta valitut parametrit voivat olla heikkoja mallintamiseen, sillä ne eivät kuvaa täysin kustannusten muodostumismekanismeja esimerkiksi mitoitustekijöiden näkökulmasta. Keskiarvoilla lasketut kustannukset eivät taas ota ollenkaan huomioon projektin kokoa tai luonnetta. Voimakattilaprojektien WBS-rakenteen mukainen työpakettien määrä on kuitenkin huomattavan suuri, ettei jokaisen kustannuserän uniikki mallintaminen ole työmäärään nähden mielekäästä.

6.4 Tavoitteisiin pääsy

Työkalulla pystytään vaivattomasti ennustamaan kolmen parametrin avulla voimakattilaprojektin kustannuksia WBS-tarkkuudella. Etenkin merkittävimmille tekijöille ja kokonaiskustannuksille arvion tarkkuuden voidaan nähdä olevan riittävä. Soveltaen kappaleessa 3. esiteltyjä kustannusarvioluokkia saatuihin tuloksiin mallin tarkkuudesta työkalu soveltuu hyvin käyttötarkoitukseen ja sillä saadaan oletetusti suuruusluokka-arviota varten suhteellisen tarkka ja yksityiskohtainen hinta-arvio. Huomioitavaa kuitenkin on, että vertailu tehtiin aikaisempien projektien myyntihintoihin ja työkalulla saatuja tuloksia tulisikin verrata vielä myös toteutuneisiin kustannuksiin, jotta sen oikea kustannusarvioinnit tarkkuus saataisiin varmistettua.

Työkalulla voidaan myös helposti verrata samankaltaisten projektien kustannusrakennetta ja -eriä, joten se soveltuu myös myöhemmin tehtävien tarkempien kustannusarvioiden suuntaa-antavaan virhetarkasteluun.

Markkinahinnan kannalta oleellisen markkinatilanteen mukaiseen mallintamiseen työkalu soveltuu kuitenkin kehnosti. Tämä vaatisi voimakattiloiden markkinatilannetta kuvailevien tekijöiden käyttämistä. Näiden löytäminen, vaikutusmekanismien tunnistaminen ja sovellettavuus on kuitenkin hankalaa ja työlästä.

Hinnoittelijalla on näin ollen edelleen suuri vastuu myös työkalua käytettäessä. Vaikka työkalu pystyykin antamaan suhteellisen luotettavan ja tarkan kustannusarvion, on kustannusten muodostumismekanismit tunnettavat, sillä työkalu ei kykene juuri ottamaan huomioon haastavia ja/tai poikkeavia olosuhteita.

Työkalun päivittäminen on suhteellisen helppoa, mikäli WBS-rakenne ei muutu merkittävästi, mutta vaatii kuitenkin myös manuaalista datan käsittelyä. Tätä voisi olla mahdollista yksinkertaistaa, mikäli työkalu hakisi pohjadataa käytetyt hinnoittelutiedot suoraan ulkoisista tiedostoista. Tässä ongelmaksi muodostuisi kuitenkin helposti muuttuneet hinnoittelurakenteet. Lisäksi poikkeavuudet vaatisivat joka tapauksessa manuaalista datan muokkaamista.

Muihin tuoteryhmiin laajentamisessa pohjadataa kerääminen ja muokkaaminen on todennäköisesti myös suhteellisen työlästä. Työkalun rakenne ja laskentamenetelmät todennäköisesti kuitenkin soveltuvat hyvin myös muille tuoteryhmille. Tosin merkitsevimmät tekijät ja parhaiten soveltuvat sovitteet on tutkittava.

Työkalun jatkokehityksen kannalta oleellisimpana voidaan nähdä referenssidatan lisääminen, sillä tämä mahdollistaisi paremman parametrien vaikutusmekanismien tunnistamisen, vähentäisi poikkeavuuksien vaikutusta ja lisääisi luotettavuutta. Tähän tarkoitukseen potentiaalisia lähteitä olisi erityisesti hävityt projektit, joiden markkinahinta on tiedossa vähintään kohtuullisella tarkkuudella. Tarjouskilpailussa mukana olleiden projektien luonne tunnetaan hyvin, jolloin arvioitu kustannusrakenne on myös hyvin tiedossa. Ongelmana kuitenkin on, että usein hävittyjen projektien tarkkaa myyntihintaa ei ole saatavilla. Kustannusten malleja olisi hyvä myös verrata toteutuneisiin kustannuksiin.

Kustannusarvioinnin kannalta kustannuserille joita ei ole vielä muutettu nykyhintaa, olisi tärkeää löytää sopiva inflaatiokerroin. Alihankintalähteiden tarkempi kustannusvaikutusten selvittäminen on myös tärkeää.

Potentiaalisina parametreina olisi tärkeää löytää kattilatyyppejä tarkemmin kuvaavia tekijöitä esimerkiksi polttoainetyypin mukaan sekä tekijä, joka kuvaisi kohdealueen vaikutuksia kustannuksiin tai muuten projektin toteutuksen luonnetta kuvaava tekijä. Markkinatilannetta kuvaava kerroin olisi hyvä myös kehittää.

7 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena on kehittää markkinahinnan laskentatyökalu ANDRITZ Oy:n kerrosleijuvoimakattilaprojekteille. Tarkastelulaajuutena on EPC-toimitus sisältäen suunnittelun ja projektinhallinnan, materiaali, laite ja valmistuskustannukset, rahdin, asentamisen sekä valvonnan ja käyttöönoton. Tämän lisäksi huomioon projektin yleiset kustannukset ja kate.

Työssä kehitettiin Excel-pohjainen ohjelma, jolla voidaan helposti mallintaa voimakattiloiden kustannuksia ja optimaalista myyntihintaa. Laskennan pohjana käytetään aikaisempien projektien hinnoittelutietoja, joiden avulla muodostetaan regressiomallit ja sovitteet eri kustannuslajeille ja markkinahinnalle hyväksikäyttäen pienimmän neliösumman menetelmää. Työssä selvitetään myös kustannuksiin ja hintoihin vaikuttavia tekijöitä. Tärkeää on löytää etenkin tekijät, joiden avulla kustannuksia ja hintoja voidaan mallintaa.

Kustannusten ja hinnan mallintaminen historiatiedon avulla on hankalaa, sillä näiden muodostumismekanismit ovat usein varsin monimutkaisia ja sopivia vertailutapauksia on varsin vähän, sillä projektien laajuus ja luonne vaihtelevat hyvin runsaasti. Projektien vertailtavuuden parantamiseksi aikaisempien projektien toimituslaajuudet muutetaan samankaltaisiksi sekä kustannukset muutetaan vastaamaan nykyistä kustannustasoa. Tämän lisäksi tietoja on muokattava vielä poikkeuksien karsimiseksi ja näiden vaikutuksien vähentämiseksi tuloksiin.

Yleisesti parhaiten kustannuksia ja hintaa havaittiin selittävän tuorehöyryn massavirta, polttaineteho ja savukaasujevirta. Tuloksista selviää myös, ettei projektin kustannuksille tai markkinahinnalle löydy yksiselitteistä tekijää joka kuvaisi hyvin näiden muodostumista. Merkittävimmät selittävät tekijät vaihtelevatkin kustannuserä kohtaisesti ja poikkeavilla ratkaisuilla havaitaan olevan erittäin suuri vaikutus. Esimerkiksi mitoitustekijöiden kannalta oleellisena pidettävät tekijät eivät välttämättä usein pysty selittämään kustannusten muodostumista eikä useille kustannuserille löydetä selittäviä tekijöitä ollenkaan.

Materiaali-, valmistus- ja laitekustannuksia pystytään selittämään parhaiten. Etenkin täysin tapauskohtaisesti suunniteltujen komponenttien osalta. Sen sijaan rahdin sekä suunnittelun ja projektinhallinnan kustannuksia ei tällä mallilla pystytä tarkasti kuvaamaan. Työkalulla ei myöskään pystytä huomioimaan markkinatilanteen vaikutuksia hintaan.

Tarkempaa ja luotettavampaa mallintamista varten tarvittaisiin laajempaa vertailukantaa sekä tutkia tarkemmin toiminta-arvojen sijaan projektien luonnetta kuvaavia tekijöitä ja näiden vaikutuksia hintaa.

LÄHDELUETTELO

Teokset ja julkaisut

Artto Karlos, Martinsuo Miia ja Jaakko Kujala, 2006. Projektiliiketoiminta. 2.painos. Helsinki: WSOY. 416 s. ISBN: 9789529285341.

Bajpai Pratima, 2014. Recycling and Deinking of Recovered Paper. London: Elsevier Inc. 307 s. ISBN: 978-0-12-416998-2.

Basu Prabir, 2015. Circulating Fluidized Bed Boilers: Design, Operation and Maintenance. Haliflax: Springer International Publishing. 366 s. ISBN: 978-3-319-06172-6.

Ellram Lisa ja Siferd Sue, 1998. Total Cost of Ownership: A Key Concept in Strategic Cost Management Decisions. Journal of Business Logistics. Vol. 19, Nro. 1, s.55-84.

Hamilton Allen, 2004. Cost management. ProQuest: 2004 AACE International Transactions. CS 12.1-12.

Hollman John ja Dysert Larry, 2007. Escalation Estimation: Working with Economics Consultant. Transactions of AACE International, 2008, EST.08.1-08.7.

Hollman John ja Dysert Larry, 2008. Escalation Estimating: Lesson Learned in Addressing Market Demand. Transactions of AACE International, 2007, EST.01.1-01.6.

Huhtinen Markku et al., 2000. Höyrykattilatekniikka. 5.painos. Helsinki: Oy Edita Ab. 379 s. ISBN: 9513733602.

Huhtinen Markku et al., 2013. Voimalaitostekniikka. 2.painos. Helsinki: Opetushallitus. 344 s. ISBN: 9789521354267.

IRENA, 2019a. Solid biomass supply for heat and power: Technology brief. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. ISBN 978-92-9260-107-2.

IRENA, 2019b. Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050 (2019 edition). Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. ISBN 978-92-9260-121-8.

Kahane Leo, 2008. Regression Basics. 2.painos. California: Sage Publications Inc. ISBN: 9781483385662

Kitto John ja Stultz Steven, 2005. Steam, its generation and use. 41.painos. Barberton: The Babcock & Wilcox Company. ISBN: 0-9634570-1-2.

- Koorneef Joris, Junginger Martin ja Faaij André, 2007. Development of fluidized bed combustion—An overview of trends, performance and cost. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2007, Vol. 33: s. 19–55
- Kärri Timo ja Uusi-Rauva Erkki, 2003. Investointiprojektin kustannusuunnittelun perusteet. 2.painos. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 69 s. ISBN: 9517647891.
- Laakso Sami, 2019. Kiinalainen yhtiö. *Paperi ja Puu*, 2019, Vol. 4: Nro. 2, s. 34-35.
- Liikanen Jaakko, 2019. Kilpailu paalupaikasta. *Paperi ja Puu*, 2019, Vol. 4: Nro. 2, s.29-31.
- Martinelli Russ ja Milosevic Dragan, 2016. Project management toolbox. 2.painos. New Jersey: JohnWiley&Sons,Inc. ISBN: 978-1-118-97320-2
- McConville John, 1994. Cost Estimating of Overseas Construction Projects. *Transactions of AACE International*, 1994, INT4.1-4.6.
- Morssinkhof Sebastiaan, Wouters Marc ja Warlop Luk, 2011. Effects of providing total cost of ownership information on attribute weights in purchasing decisions. *Journal of Purchasing and Supply Management*. Vol.17, Nro.2, s. 132-142.
- Mynttinen Jarkko, 2012. Development of Cost Estimation with Feedback Information in EPCM Business. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, tuotantotalous. Varkaus. 121 s.
- Platts K.W ja Song N., 2011. Overseas sourcing decisions – the total cost of sourcing from China. *Supply Chain Management: An International Journal*. Vol. 15, Nro. 4, s.320-331.
- Raiko Risto, Saastamoinen Jaakko, Hupa Mikko ja Kurki-Suomio Ilmari, 2002. *Poltto ja palaminen*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 750 s. ISBN: 9516666043.
- REN21, 2018. *Renewables 2018 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat. 325 s. ISBN: 978-3-9818911-3-3
- Rytsy Ari, 2019. Kulutus, kaupungistuminen ja ympäristötietoisuus – Kiinan metsäteollisuuden kivijalat. *Paperi ja Puu*, 2019, Vol. 4: Nro. 2, s.36.
- Vakkilainen Esa, 2017. *Steam Generation from Biomass: Construction and design of large boilers*. Amsterdam: Butterworth-Heinemann. 302 s. ISBN: 9780128044070.
- WWF International, 2012. *WWF living forest report: Chapter 4/ Forest and wood products*. Gland: WWF – World Wide Fund for Nature. ISBN 978-2-940443-32-1

Verkkolähteet

- Aleasoft, 2019. High electricity prices in 2019 due to prices of fuels and CO2 [Verkkoaineisto]. [Viitattu 17.6.2019]. Saatavilla: <https://aleasoft.com/high-electricity-prices-2019-due-prices-fuels-co2/>
- Andritz AG, 2018. Reliable and efficient power generation: power boilers [Verkkoaineisto]. [Viitattu 3.6.2019]. Saatavilla: <https://www.andritz.com/resource/blob/22360/c3437415cb95666ce6d16b21d6dc59d9/p-p-power-systems-brochure-data.pdf>
- ANDRITZ Group, 2019a. History [Verkkoaineisto]. [Viitattu 14.1.2019]. Saatavilla: <https://www.andritz.com/group-en/about-us/gr-history>
- ANDRITZ Group, 2019b. About us [Verkkoaineisto]. [Viitattu 14.6.2019]. Saatavilla: <https://www.andritz.com/group-en/about-us>
- ANDRITZ Group, 2019c. Financial key figures at a glance [Verkkoaineisto]. [Viitattu 14.6.2019]. Saatavilla: <https://www.andritz.com/group-en/investors/share/gr-key-financial-figures>
- Eurostat, 2019. Electricity price statistics [Verkkoaineisto]. [Viitattu 14.6.2019]. Saatavilla: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics
- Jalas Mikko, Kangas Hanna-Liisa ja Primmer Eeva, 2016. Bioenergy – opportunities and challenges in smart energy transition [Verkkoaineisto]. [Viitattu 14.6.2019]. Saatavilla: <http://smartenergytransition.fi/wp-content/uploads/2016/05/Bioenergy-system-materials-SETWP1.pdf>
- KvantiMOTV, 2013. Regressioanalyysi [Verkkoaineisto]. [Viitattu 12.6.2019]. Saatavilla: <https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/regressio/analyysi.html>
- Korolainen Eeva, 2016. Talouskriisi ruokki protektionismia [Verkkoaineisto]. [Viitattu 13.6.2019]. Saatavilla: <https://www.metsateollisuus.fi/edunvalvonta/kauppapolitiikka/pitkittynyt-talouskriisi-ruokki-protektionismia/>
- Logistiikan maailma. Kokonaiskustannusajattelu [Verkkoaineisto]. [Viitattu 12.6.2019]. Saatavilla: <http://www.logistiikanmaailma.fi/osto-ja-myynti/hankintatoimi-ja-ostotoiminta/kokonaiskustannusajattelu/>

- Mellin Ilkka, 2006. Tilastolliset menetelmät: Lineaarinen regressioanalyysi [Verkkoaineisto]. [Viitattu 13.6.2019]. Saatavilla: <https://math.aalto.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/Regranal.pdf>
- Metsäteollisuus ry. Massa- ja paperiteollisuus [Verkkoaineisto]. [Viitattu 10.6.2019]. Saatavissa: <https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/massa-ja-paperiteollisuus/>
- Setälä Niina, 2019. Ydinvoima voi vähentyä merkittävästi – riski hiilioksidipäästöjen lisääntymiseen jopa 4 miljardilla tonnilla [Verkkoaineisto]. Tekniikka ja Talous, Alma media Oyj [Viitattu 7.6.2019] . Saatavilla: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/ydinvoima-voi-vahentya-merkittavasti-riski-hiilioksidipaastojen-lisaantymiseen-jopa-4-miljardilla-tonnilla/550af691-c734-3000-b16e-e07d8caf5851>
- Taanila Aki, 2010. Lineaariset regressiomallit [Verkkoaineisto]. [Viitattu 12.6.2019]. Saatavilla: <http://myy.haaga-helia.fi/~taaak/m/regressio.pdf>
- Taylor Michael, 2009. How to Develop Work Breakdown Structures [Verkkoaineisto]. [Viitattu 22.5.2019]. Saatavilla: http://courses.cecs.anu.edu.au/courses/COMP3120/local_docs/readings/HowToDevelopWBS.pdf
- Teir Sebastian et al., 2016. Development of chemical looping combustion technology for bio-CCS application. CO2 Summit II: Technologies and Opportunities, Holly Krutka, Tri-State Generation & Transmission Association Inc. Frank Zhu, UOP/Honeywell Eds, ECI Symposium Series, 2016. Saatavilla: https://dc.engconfintl.org/co2_summit2/54
- Tilastokeskus. Markkinahinta [Verkkoaineisto]. [Viitattu 27.5.2019]. Saatavilla: <http://www.stat.fi/meta/kas/markkinahinta.html>
- Työ- ja elinkeinoministeriö. Julkiset hankinnat ovat säädeltyjä [Verkkoaineisto]. [Viitattu 17.6.2019]. Saatavilla: <https://tem.fi/julkiset-hankinnat>
- Venäläinen Ilkka, 2015. Voimakattiloiden kehitysnäkymät ja paikalliset tarpeet. TAKEOFF3! [Verkkoaineisto]. Andritz Oy, Varkaus.[Viitattu 16.1.2019] Saatavilla: https://www.pohjois-savo.fi/media/seminaarit-ja-tapahtumat/2015/takeoff3/venalainen_voimakattilanakymat.pdf
- Workbreakdownstructure.com, 2019. The 100% Rule [Verkkoaineisto]. [Viitattu 22.5.2019]. Saatavilla: <https://www.workbreakdownstructure.com/>

Sisäiset lähteet

ANDRITZ a. Business areas [ANDRITZ Group intranet]. [Viitattu 21.1.2019]

ANDRITZ b. ANDRITZ Oy, About Us [ANDRITZ Group intranet]. [Viitattu 21.1.2019]

ANDRITZ c. Business areas: Pulp and Paper [ANDRITZ Group intranet]. [Viitattu 21.1.2019]

ANDRITZ PB, 2018. Power boiler thermal design [Sisäinen koulutusaineisto].
Voimakattilakoulutus, osa 2, Varkaus.

Venäläinen Ilkka, 2019. Diplomi-insinööri; Osastopäällikkö, Voimakattilat Suomi,
Andritz Oy. Varkaus. Diplomityötä varten käydyt haastattelut.

Hautamaa Jukka, 2019. Diplomi-insinööri; vanhempi kehitysinsinööri, Voimakattilat,
Andritz Oy. Varkaus. Diplomityötä varten käydyt haastattelut.

Jurvanen Arto, 2019. Kone tekniikko; hinnoittelu insinööri, Andritz Oy. Varkaus.
Diplomityötä varten käydyt haastattelut.

LIITE 1. Leijukerrosvoimakattilaprojektien hintajakauma

(Koorneef et al. 2007, 42)

Breakdown of total project cost of FBC plants [19,44,45,56,95–102]

Component of total investment	Subcomponent	Ranges for conversion, retrofit, re-power, add-on and new plants		Examples for new plants (\$/kWe)			
		Range of percentages of total investment (%)	Range of specific investment (\$/kW)	13 MWe BFB ^a	40 MWe BFB ^b	18 MWe CFB ^c	500 MWe CFB ^d
	Boiler section	28–82	144–1436	538		1111	212
	Fuel handling	4–23	61–618				
	Steam turbine section	7–15	90–243				
	Instrumentation and control equipment	2–5	10–75				
	Emission control	2–6	30–60				
	Balance of plant	21–23	317				
	General plant facilities	10–15	141–486				
Total EPC		70–94	186–3045		1000	1500	1046
	Initial working capital	1					
	Contingency	6–12					
	Development fee	3–7					
	Start-up	1					
	Owner's cost						
	Initial debt reserve fund	9					
Total capital cost		86–94					
	Interest during construction	10					
	Financing fee	2					
Total project cost		100	1400–3200	1769	1300	1667	1692

Note: The presented ranges found in literature are collected separately for the different components; therefore they might not add up to 100% or to the totals for each sub section (total EPC, total cost of capital and total project cost). Moreover, the data is collected for different project types (conversion, retrofit, re-power, add-on and new plants). Both columns should thus be considered as an indication for specific investment cost for each component and emphasize the variation of investment cost for different plants and projects. The four columns from the right represent the plants.

^aForssan Energia Oy, Finland, 1996, main fuel: biomass [103].

^bBorås Energi AB, Sweden, 2005 main fuel: biomass [104,105].

^cManitowoc Public Utilities, USA, 1991 main fuel: bit. coal [106].

^dAES Puerto Rico Guayama, Puerto Rico 2002, main fuel: bit. coal [13,107,108].

LIITE 2. Päätöksentekoon liittyviä tekijöitä

(Artto et al. 2006, 82)

Päätöksentekokriteeri	Tarkennettu kuvaus
Hinta-hyötysuhde	<ul style="list-style-type: none">◆ Kokonaishinta, maksuehdot ja mitä tarjoushintaan sisältyy (laajuus)◆ Hintaan sisältyvä riski (onko kyseessä kiinteähintainen kokonaistoimitus vai miten paljon hintariskiä on siirretty asiakkaalle?)◆ Ylläpito- ja muut projektin koko elinkaaren kustannukset◆ Toimittajan ratkaisusta saatava (liiketaloudellinen) hyöty
Projektitoimittajan uskottavuus	<ul style="list-style-type: none">◆ Aikaisempi kokemus toimittajasta◆ Referenssit◆ Toimittajan liikevaihto ja taloudellinen asema◆ Takuuajan järjestelyt ja palkallinen tuki
Tekniset ratkaisut	<ul style="list-style-type: none">◆ Sisältyykö teknologisiin ratkaisuihin riskejä?◆ Miten kauan tuotteita tuetaan?◆ Tarjotun tuotteen kehityspotentiaali (onko kyseessä standardiratkaisu, jota toimittaja kehittää jatkossa ja jolla voidaan päivittää nyt ostettu järjestelmä)
Projektin toteuttaminen	<ul style="list-style-type: none">◆ Miten paljon asiakkaan osallistumista vaaditaan (esimerkiksi lähtötietojen kerääminen ja oikeellisuuden varmistaminen?)◆ Toimitusaika◆ Toimittajan nimeämien resurssien riittävyys, osaaminen ja saatavuus

LIITE 3. Neuvotteluihin valmistautuessa pohdittavia seikkoja

(Artto et al. 2006, 78)

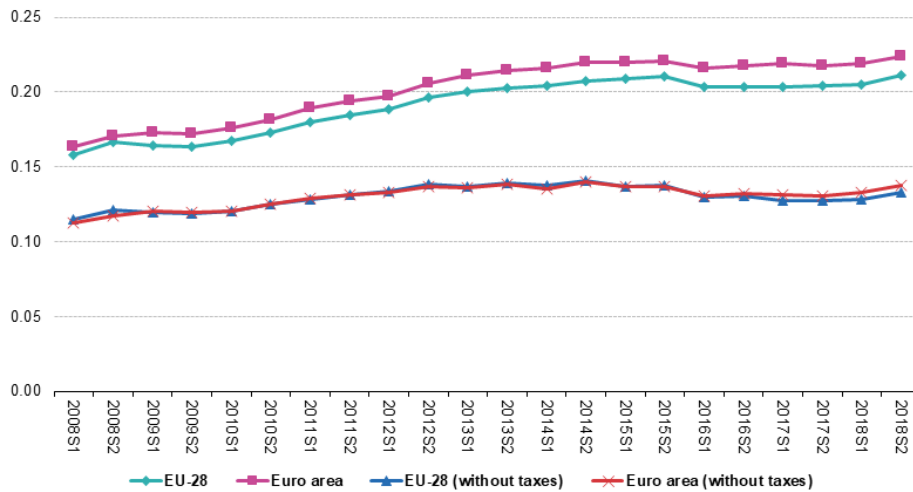
Pohdittavia seikkoja	Tarkentavia kysymyksiä
Asiakkaan vaihtoehdot ja kilpailutilanne	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Tuleeko asiakas joka tapauksessa toteuttamaan projektin vai onko hänellä mahdollisuus huonon neuvottelutuloksen syntyessä jättää projektin toteuttamatta? ◆ Mitä muita vaihtoehtoja asiakkaalla on toteuttaa projekti? Mikä on toimittajan kilpailukyky verrattuna pahimpiin kilpailijoihin?
Neuvottelun osapuolet ja heidän tavoitteensa	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Kettä ovat neuvottelujen osapuolet? Mitä kukin osapuoli tavoittelee projektin toteutuksella? Huom: sekä asiakkaan että toimittajan neuvottelutilmin osalta neuvottelijoidella voi olla erilaisia tavoitteita, jotka tulee ottaa huomioon.
Neuvoteltavat asiat, vaihtoehdot ja niiden arvostus	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mitä asioita asiakas tulee todennäköisesti nostamaan neuvottelujen kohteeksi? ◆ Mitkä asiat itse haluamme nostaa neuvottelujen kohteeksi (esimerkiksi vaihtoehtoiset tekniset ratkaisut, jotka olisivat edullisempia toteuttaa)? ◆ Mitä vaihtoehtoja eri neuvoteltaville asioille voidaan asettaa ja mikä on kunkin vaihtoehdon arvostus (esimerkiksi miten paljon asiakas on valmis maksamaan toimitusajan nopeuttamisesta yhdellä kuukaudella)? ◆ Voidaanko asiakkaan arvostuksiin vaikuttaa esimerkiksi korostamalla tiettyjen teknisten ratkaisujen hyötyjä? ◆ Miten itse arvostamme neuvoteltavia asioita? Haluammeko esimerkiksi toteuttaa tietyn teknisen ratkaisun referenssarvon takia ja mikä on tämän referenssarvon taloudellinen merkitys?
Neuvottelujen kulku ja tavoitteet	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mitä taloudellisia ja muita seuraamuksia on siitä, jos neuvottelut eivät johda sopimukseen? Mitä huonompaan sopimukseen emme ole valmiit missään tilanteessa? ◆ Mistä asioista ei voida neuvotella? Tällaisia ovat usein esimerkiksi tietyt epäsuoran vastuun rajaukseen liittyvät seikat, jotka toimittaja vaatii mukaan sopimukseen. ◆ Millaisia tavoitteita asiakas on asettanut neuvottelulle ja mistä asiakas on valmis luopumaan? Mikä on asiakkaan mielestä reilu neuvottelutulos? ◆ Mitä tavoitteita haluamme asettaa yksittäisten neuvoteltavien asioiden osalta tai neuvotellaanko tietyistä asioista kokonaisuuksina? ◆ Missä vaiheessa neuvotteluja teemme myönnytyksiä? Kuka saa päättää tällaisista myönnytyksistä?

LIITE 4. Sähkön hintojen kehittyminen Euroopassa

(Eurostat 2019)

Development of electricity prices for household consumers, EU-28 and EA, 2008-2018

(EUR per kWh)

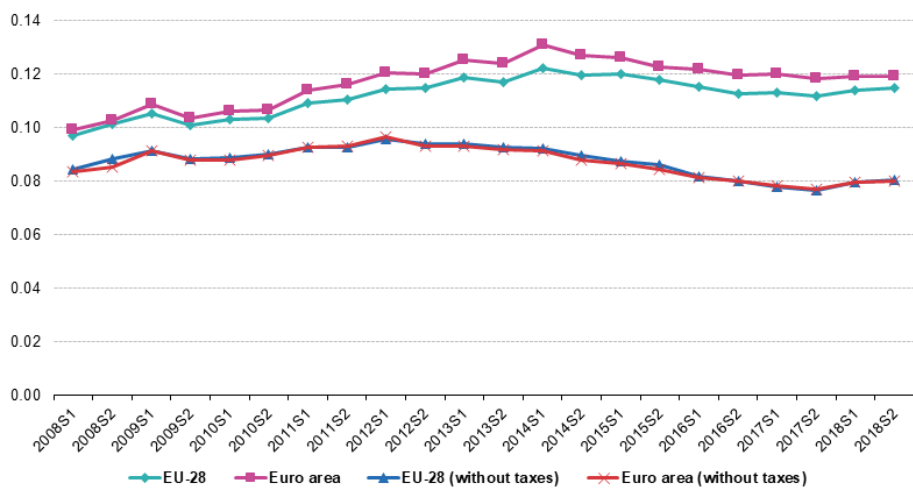


Source: Eurostat (online data codes: nrg_pc_204)

eurostat

Development of electricity prices for non-household consumers, EU-28 and EA, 2008-2018

(EUR per kWh)



Source: Eurostat (online data codes: nrg_pc_205)

eurostat