



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

LASSE KAPANEN
TILAPOHJAINEN LÄHESTYMISTAPA VOIMALAITOSSUUNNIT-
TELUUN
Diplomityö

Tarkastajat: professori Asko Riitahuhta,
professori Risto Raiko
Tarkastajat ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 6. maaliskuuta 2013

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

KAPANEN, LASSE: Tilapohjainen lähestymistapa voimalaitossuunnitteluun

Diplomityö, 101 sivua, 6 liitesivua

Syyskuu 2013

Pääaine: Tuotantotekniikka

Tarkastajat: professori Asko Riitahuhta, professori Risto Raiko

Avainsanat: jätteenpoltto, biopolttoaineet, laitossuunnittelu, layout, voimalaitos

Lämpöä ja sähköä tuottavat voimalaitokset ovat yhteiskunnan kulmakivi. Voimalaitoksia tarvitaan asutuksen ja teollisuuden läheisyyteen, mutta niiden suunnitteleminen on haasteellista ja työlästä. Laitosten suunnittelun yhteydessä on huomioitava suuri määrä muuttujia, kompromisseja ja säännöksiä, jotka monimutkaistavat suunnitteluprosessia. Tämän diplomityön tarkoituksena on kehittää menetelmä, jonka avulla pystytään helpottamaan voimalaitosten suunnittelua ja vastaamaan joihinkin siinä esiintyviin haasteisiin.

Voimalaitos koostuu suuresta määrästä pieniä ja suuria laitteita. Kaikilla laitteilla on omat erityiset vaatimuksensa ja tarpeensa, jotka on huomioitava sijoitettaessa niitä laitosalueelle. Suuri laitteiden ja huomioitavien tekijöiden määrä johtavat helposti monimutkaiseen ja vaikeasti hahmotettavaan kokonaisuuteen. Suunnittelun selkeyttämiseksi voidaan voimalaitoksen osakokonaisuudet ryhmitellä tiloiksi, jolloin käsiteltävien osien määrä vähenee ja kokonaiskuvan hallinta helpottuu. Tähän perustuu työssä esitetty tilapohjainen lähestymistapa voimalaitossuunnitteluun. Työssä on tehty kirjallisuusselvitys voimalaitoksen toiminnasta ja sen tärkeimmistä osakokonaisuuksista tilojen muodostamisen helpottamiseksi.

Tilapohjaisessa lähestymistavassa voimalaitoksesta muodostetut tilat kootaan tilakaavioksi, johon merkitään eri toimintojen väliset rajapinnat. Tämän lisäksi eri tiloille kerätään niiden sijoittamiseen vaikuttavaa tietoa. Merkittävä osa voimalaitosten suunnittelussa tarvittavasta tiedosta on jo olemassa, joten suurin haaste on oleellisen tiedon tunnistaminen, löytäminen ja kerääminen. Tiedonkeräämisen ja tilakaavion lisäksi suunnittelun avuksi on laadittu yksinkertainen suunnitteluprosessin etenemiskaavio, joka auttaa hahmottamaan voimalaitoksen layoutin laatimisen työvaiheita. Menetelmän kehityksen tueksi on tehty kirjallisuusselvitys erilaisista tuotekehitysmenetelmistä ja -työkaluista.

Tilapohjaista lähestymistapaa sovellettiin työssä laatimalla menetelmän avulla vaihtoehtoisia layouteja kuvitteelliselle voimalaitokselle. Tulosten perusteella todettiin menetelmän olevan toimiva ja sen avulla kyettiin tavoitteiden mukaisesti selkeyttämään layoutien laatimista. Menetelmälle havaittiin myös joitain kehityskohteita, jotka liittyvät pääosin laitossuunnittelussa tehtäviin kompromisseihin ja tiloihin liittyvän lisätiedon hankkimista. Menetelmällä havaittiin myös olevan potentiaalia pelkkien layoutien suunnittelun ulkopuolella, mutta menetelmän jatkokehittämisen todettiin olevan liian laaja tehtäväksi diplomityön yhteydessä.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

KAPANEN, LASSE: Facility based approach to power plant engineering

Master of Science Thesis, 101 pages, 6 appendix pages

September 2013

Major: Production Engineering

Examiners: Professor Asko Riitahuhta, Professor Risto Raiko

Keywords: waste to energy, biofuels, plant engineering, layout, power plant

Power plants generating heat and electricity are the cornerstone of society. They are needed in the vicinity of settlements and industry, but their design process is challenging and laborious. A vast amount of variables, compromises and regulations need to be considered in the design of power plants, making the design process even more complex. This master's thesis aims at developing a method for aiding the design of power plants and diminishing some of the challenges concerned with the design process.

A power plant consists of a large amount of small and large devices. Each of these devices has its own special requirements and needs considering where it should be located in the plant area. The large amount of devices and thus variables to be considered easily result in a complex and a hard to perceive entity. In order to clarify the design process, the parts of the power plant can be grouped together into facilities. This lowers the amount of parts to handle and makes the general view of the plant easier to perceive. The facility based approach to power plant engineering presented in this thesis is based on this kind of activity. A literature survey was done on the operation of power plants and their main sub entities in order to clarify the facility formation process.

In the facility based approach to power plant engineering, a chart is formed from the power plant's facilities by marking the interfaces between separate parts. In addition, information concerning the facilities' required locations inside the plant area is gathered. A considerable part of the information needed in plant engineering already exists and thus the greatest challenge in information gathering is identifying and locating the essential information. In addition to the chart and the gathered information, a simple graph depicting the stages of the design process is presented. The development of the method presented here was backed by a literature survey into different product development theories and methods.

The facility based approach was applied for a case experiment where alternative layouts were generated for a fictitious power plant. According to the results from the case, the method was found to be functional and with its use the design process was simplified. However, some targets for development were also discovered, mainly in regard to the compromises present in plant engineering and additional information required for the different facilities. The method was also found to have potential for more than mere layout design, but further development of the method was deemed as being out of reach of a mere master's thesis.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereella Metso Power Oy:lle keväällä ja kesällä 2013. Työn ohjaajina toimivat Tapio Teivas ja Harri Uusi-Mäkelä. Kiitän ohjaajiani ja muita Metson osalta työn etenemiseen vaikuttaneita saamastani ohjauksesta, palautteesta sekä mahdollisuudesta tehdä työ itseäni kiinnostaneesta aiheesta. Samaten haluan kiittää työn tarkastajia Asko Riitahuhtaa ja Risto Raikoa.

Haluan kiittää myös vanhempiani opiskeluun kannustamisesta. Erityisesti iso kiitos kuuluu Johannalle diplomityön tekemisen sekä koko opiskelujeni aikaisesta tuesta.

Tampereella 16.8.2013

Lasse Kapanen

SISÄLLYS

1	Johdanto.....	1
2	Bio- ja jättepolttoaineet	3
2.1	Biopolttoaineet	3
2.1.1	Biopolttoaineiden hyödyntäminen.....	4
2.1.2	Biopolttoaineiden tuottaminen ja kestävyys	5
2.2	Jätteenpoltto	5
2.2.1	Jätteenpolton edut ja haitat.....	5
2.2.2	Jättepolttoaineiden luokitus.....	7
2.2.3	Jätteenpoltto Euroopan unionissa	8
2.2.4	Jätteenpoltto Yhdysvalloissa.....	10
2.3	Yhteenveto kappaleesta	10
3	Voimalaitoksen osakokonaisuudet ja niiden toiminta.....	12
3.1	Polttoaineen vastaanotto	13
3.2	Biopolttoaineiden käsittely	16
3.3	Jättepolttoaineen käsittely.....	16
3.4	Polttoaineenkäsittelylaitteet	18
3.4.1	Kuljettimet	19
3.4.2	Murskain	21
3.4.3	Seulonta.....	22
3.4.4	Kuivain.....	24
3.5	Polttoainevarastot	25
3.5.1	Varastotyypit	26
3.5.2	Välivaraston sijoittaminen	27
3.6	Bio- ja jätteenpolton kattilatyypit.....	28
3.6.1	Arinakattila.....	31
3.6.2	Leijupetikattila.....	32
3.6.3	Kiertopetikattila.....	34
3.7	Lämmön talteenotto.....	37
3.8	Tuhka	39
3.8.1	Tuhkankäsittelyjärjestelmät voimalaitoksessa	40
3.8.2	Tuhkan puhdistaminen.....	41
3.9	Muut voimalaitosalueen toiminnot.....	42
3.10	Yhteenveto kappaleesta	43
4	Menetelmä voimalaitoksen layoutsuunnitteluun	45
4.1	Tuotekehitysmenetelmien piirteiden selvittäminen.....	45
4.1.1	Haasteet tuotekehityksessä.....	47
4.1.2	Toimintopohjaiset lähestymistavat	49
4.1.3	Tuotekehitysmenetelmän luonteen selvittäminen	51
4.1.4	Tiedonhankinta tuotekehityksessä.....	52
4.2	Uuden tuotekehitysmenetelmän kehittäminen	53

4.2.1	Tuotekehitysmenetelmän runko	54
4.2.2	Tilapohjainen lähestymistapa.....	56
4.2.3	Tilojen tietojen kerääminen.....	58
4.2.4	Esitettyjen menetelmien yhdistäminen	59
4.3	Yhteenveto kappaleesta	59
5	Voimalaitoksen tilat ja niiden sijoittaminen.....	61
5.1	Tilojen muodostaminen	61
5.1.1	Tilojen rajapinnat.....	64
5.1.2	Tilojen reunaehdot.....	66
5.2	Tilojen sijoittaminen.....	67
5.2.1	Tilojen koko	68
5.2.2	Laitoksen kustannusoptimointi	69
5.2.3	Maanrakennuksen ja -muokkauksen kustannukset	69
5.2.4	Rakentamisvaiheen huomioiminen	70
5.2.5	Huollon huomioiminen	71
5.3	Laitosalueen liikennejärjestelyt.....	72
5.3.1	Kulkureitit ja ajoradat	73
5.3.2	Liikenteen määrä	74
5.3.3	Pelastustiet	76
5.4	Voimalaitoksen ympäristötekijät.....	77
5.4.1	Meluhaitat	77
5.4.2	Hajuhaitat	79
5.5	Yhteenveto kappaleesta	80
6	Menetelmien soveltaminen.....	81
6.1	Esimerkkitapauksen lähtötiedot	81
6.1.1	Liikennemäärien selvittäminen	82
6.1.2	Teknisten ratkaisujen valinta.....	84
6.1.3	Laitoksen tilat ja tilakaavio	84
6.2	Layouttien laatiminen ja tulosten esittely	85
6.3	Tilapohjaisen menetelmän soveltuvuus ja jatkokehittäminen	92
7	Yhteenveto.....	94
	Lähteet.....	96
	Liite 1: Soveltavan osuuden layout- ja mallikuvat	102

1 JOHDANTO

Voimalaitosten suunnitteleminen edellyttää monien tieteenalojen ja laajan osaamisalueen yhdistämistä. Suunnittelussa on osattava huomioida muun muassa rakentamisen ja rakennusten vaatimukset, energiatekniset yksityiskohdat, monien yksittäisten laitteiden erilliset vaatimukset sekä lainsäädännölliset tekijät. Näiden osa-alueiden yhdistäminen on haasteellista ja pohjautuu monesti kokeneiden suunnittelijoiden osaamiseen.

Tämän diplomityön tarkoituksena on perehtyä voimalaitossuunnitteluun ja helpottaa laitosten suunnittelua tulevaisuudessa. Työssä pyritään tuomaan esille laitossuunnittelussa huomioitavia seikkoja sekä esittämään laitossuunnittelun haasteita. Diplomityön tavoitteena on luoda voimalaitossuunnittelulle pohja, jonka päälle laitossuunnittelun kehittämistä voidaan jatkaa työssä esitettyjen menetelmien ja tietojen avulla. Työssä on rajoitettu käsittelemään bio- ja jätepolttoaineita hyödyntäviä voimalaitoksia.

Yllä esitettyjen tavoitteiden saavuttamiseksi diplomityössä esitetään voimalaitossuunnittelun tueksi tilapohjaista lähestymistapaa. Tällä tarkoitetaan voimalaitoskokonaisuuden osatoimintojen jakamista loogisiin osakokonaisuuksiin, tiloihin. Tiloille voidaan selvittää niihin vaikuttavat rajapinnat ja reunaehdot joiden perusteella voidaan päättää miten tilat tulisi sijoittaa käytössä olevalle alueelle. Tilojen sijoittamisessa on myös huomioitava laitosalueelle vaaditut kulkuyhteydet. Lopullinen voimalaitoksen layout saadaan näiden tilojen sijoittamisen ja tilojen välisten kulkuyhteyksien laatimisen lopputuloksena. Idea voimalaitoskokonaisuuden jakamisesta tiloihin saatiin työn toiselta ohjaajalta.

Diplomityölle esitettyihin tavoitteisiin pyritään jakamalla työ kolmeen erilliseen osaan. Näiden osien lisäksi on tehty lyhyt pohjatutkimus bio- ja jätepolttoaineisiin. Työn ensimmäisessä varsinaisessa osassa voimalaitoskokonaisuudesta tunnistetaan sen toiminnalle ja laitoksen suunnittelulle tärkeimmät osakokonaisuudet sekä esitetään näiden toiminta. Samalla tässä kappaleessa esitetään tarvittavat pohjatiedot tilojen muodostamiselle. Näiden osakokonaisuuksien kuvausten yhdistelmänä esitetään myös pääpiirteissään voimalaitoksen toiminta.

Toisena työn osana on laitossuunnittelua tukevan tuotekehitysmenetelmän kehittäminen. Työn edetessä kuitenkin huomattiin laitossuunnittelun olevan niin laaja ja monialainen prosessi, että kattavan menetelmän kehittäminen olisi ollut laajuudeltaan paljon diplomityötä suurempi. Tämän vuoksi työssä tyydytään kehittämään tiloja hyödyntävä yksinkertaistettu työkalu, ”ohjenuora”, suunnittelutyön avuksi. Työkalu toimii käytännössä käyttöohjeena tilapohjaiselle menetelmälle. Osana tätä työkalua on laitossuunnittelun kannalta oleellisen tiedon kerääminen.

Työn kolmannessa ja viimeisessä osassa, soveltavassa osuudessa, hyödynnetään tilapohjaista menetelmää ja muodostetaan menetelmän sekä kerättyjen tietojen avulla vaihtoehtoisia voimalaitoksen layouteja. Soveltavan osuuden tuloksia arvioidaan yhdessä kokeneen laitossuunnittelijan kanssa. Tämän osuuden tarkoituksena on arvioida kuinka hyödyllisiä työssä kerätyt tiedot ovat, mistä aiheista tarvitaan lisätietoa sekä erityisesti tilapohjaisen menetelmän toimivuutta, sopivuutta ja hyödyllisyyttä laitossuunnittelun apuvälineenä.

Voimalaitossuunnittelusta on hyvä todeta, että merkittävä osa tarvittavasta tiedosta on jo olemassa. Tämän vuoksi tässä diplomityössä on pyritty tunnistamaan, löytämään ja kokoamaan se tieto, joka on suunnittelun kannalta oleellista. Osa oleellisista seikoista on koottu työn loppuosassa esitettyihin taulukoihin. Näitä taulukoita ei kuitenkaan voida salassapitosyistä täydentää kattaviksi, vaan niiden tarkoituksena tämän työn osalta on esittää miten ja millaista tietoa on laitossuunnittelua varten kerättävä. Työssä kootut taulukot ovat kuitenkin riittävän tarkkoja diplomityön soveltavan osuuden kannalta.

Merkittävä osa työssä esitetyistä tiedoista on peräisin kirjallisuudesta. Esimerkiksi sopivan tuotekehitystyökalun kehittämisessä hyödynnettiin Eckertin ja Clakrsonin teosta *Design Process Improvement (2005)*. Joidenkin tiettyjen osa-alueiden tiedot pohjautuvat asiantuntijoiden haastatteluihin, minkä lisäksi monet työssä esitetyistä seikoista perustuvat työn yhteydessä tehdyillä referenssivierailuilla havainnoituihin ja opittuihin yksityiskohtiin. Laitosvierailut tehtiin neljään Pohjois-Euroopassa sijaitsevaan bio- ja jätepolttoaineita käyttävään voimalaitokseen.

2 BIO- JA JÄTEPOLTTOAINEET

Biomassat energiatekniikan kannalta ovat orgaanisia materiaaleja, joita voidaan hyödyntää polttamalla. Biomassat voivat olla kasvi- tai eläinpohjaisia ja ne voidaan karkeasti luokitella tyypiltään neljään eri pääryhmään: puujätteet, maatalousjätteet, polttoaineiksi tarkoitettut energiakasviviljelmät sekä yhdyskuntajäte. (Easterly & Margo, 1996)

Biopolttoaineet ovat biomassasta valmistettuja polttoaineita. Biopolttoaineet, kuten myös biomassat, ovat uusiutuvia luonnonvaroja. Biopolttoaineita ovat esimerkiksi puuperäiset polttoaineet hake, pelletit, sahanpuru sekä kuori tai maatalousjätteistä olki. Myös turve lasketaan monesti biopolttoaineeksi. Yhdyskuntajätteestä poltettavaksi kelpavaa lajiteltua jätettä kutsutaan kierrätyspolttoaineeksi. (FINBIO ry, 2010)

Tässä työssä käsitellään erityisesti biomassoista jalostettuja biopolttoaineita käyttäviä voimalaitoksia. Työssä polttoaineet on jaettu karkeasti kahteen ryhmään: biopolttoaineisiin ja jätepolttaineisiin. Jätepolttaineisiin on eriytetty yhdyskuntajätteet, muuten esitetyt polttoainetyypit käsitellään biopolttoaineiden yhteydessä.

2.1 Biopolttoaineet

Kuten edellä mainittiin, biopolttoaineita ovat pääosin eliöpohjaiset poltettavaksi kelpaavat biomassasta tuotetut uusiutuvat polttoaineet. American Society of Agricultural and Biological Engineers -järjestön (ASABE, 2011) määritelmän mukaan biomassat voidaan luokitella kolmeen kategoriaan:

- Ensisijaiset biomassat, joita ovat fotosynteesillä tuotetut ja talteen korjatut materiaalit. Tällaisia ovat esimerkiksi viljat, monivuotiset heinät, metsähakkeet sekä näiden talteen korjaamisesta jäävät jäännökset.
- Toissijaiset biomassat, joita ovat jätteet ja sivutuotteet ruoan, rehun ja kuitujen valmistuksesta sekä puunjalostuksesta. Näihin lasketaan mm. sahanpuru ja mustalipeä, mutta myös lanta.
- Tertiäriset biomassat ovat tuotteiden käytön jälkeen syntyviä jätteitä. Näitä ovat rasvat, öljyt, rakennustyömaiden purku- ja jätepuut, pakkausmateriaalit, yhdyskuntajätteet ja muut vastaavat jätteet. Myös kaatopaikoilla syntyvät ja talteen kerättävät poltettavat kaasut lasketaan tähän ryhmään.

Merkittävä osa Suomessa käytetyistä biopolttoaineista on puupohjaisia; puupolttoaineet kattavat 20 % koko Suomen energiantuotannosta (FINBIO ry, 2010). Tämä on yksi teollisuusmaiden korkeimpia lukuja uusiutuvien polttoaineiden käytölle (Harding, 2008), syy erityisen korkeaan lukuun löytyy paperi-, ja yleisesti metsäteollisuudesta. Yleisiä

puupolttoaineita Suomessa ovat esimerkiksi puun kuori sekä mustalipeä, joita syntyy puunjalostuksen sivutuotteina. Myös hakkuutähteiden ja kantojen käyttö ovat lisääntymässä. Puun jälkeen seuraavaksi yleisin biopolttoaine Suomessa on turve, jolla katetaan 5 % Suomen energiasta (FINBIO ry, 2010).

Vuonna 2008 Suomi tuotti noin 4 % koko maailman biomassalla tuotetusta energiasta (Evans, et al., 2010).

2.1.1 Biopolttoaineiden hyödyntäminen

Biopolttoaineiden käytön lisääntymisellä on kaksi yleistä etua. Koska biopolttoaineet ovat uusiutuvia, voidaan niiden avulla parantaa energiaturvallisuutta. Lisäksi biopolttoaineiden avulla pystytään vähentämään hiilijalanjälkeä. Biomassoista tuotetut polttoaineet ovat ainoita saatavilla olevia polttoaineita, joista voidaan tuottaa sähköä polttamalla (Evans, et al., 2010).

Biopolttoaineiden etuja ovat yleisesti tehokkuus, alhaiset, tai jopa neutraaliksi laskettavat päästöt sekä polttoaineiden yleinen saatavuus, erityisesti tertiaalisten biomassojen osalta (Evans, et al., 2010; Monni, 2012).

Korkean saatavuuden vuoksi biopolttoaineilla on mahdollista kattaa merkittävä osa Euroopan energiankulutuksesta. Biojätteistä, eli mm. yhteiskuntajätteistä, mustalipeästä sekä puunjalostuksen ja maatalouden jätteistä, on mahdollista tuottaa 3,8 EJ. 4,2 EJ lisää voidaan saada tuottamalla erityisesti polttoon tarkoitetuilla pelto- ja metsäviljelmillä. Vastaavasti Euroopan unionin sähkönkulutus vuonna 2007 oli noin 10 EJ (10^{18}). (Malmgren & Riley, 2012)

Potentiaalisten hyötyjen vastapainoksi biopolttoaineiden hyödyntämiseen liittyy tiettyjä ongelmia. Esimerkiksi Isossa-Britanniassa biopolttoaineet ovat suhteellisen uusi konsepti, minkä vuoksi biopolttoaineiden hyödyntäminen on haasteellista. Biopolttoaineen lisääminen rinnakkaispolttoaineeksi olemassa olevissa laitoksissa saattaa olla infrastruktuurin kannalta ongelmallista, sillä uusien laitteiden tilantarve on merkittävä. Lisäksi sähkön hinta markkinoilla on muodostunut nykyisten laitosten kustannuseräiden mukaan, jolloin biopolttoaineiden käyttämiselle myönnettävät tukijärjestelmät monimutkaistavat markkinatilannetta. (Malmgren & Riley, 2012)

Biopolttoaineilla on tyypillisesti myös alhainen energiatiheys, minkä vuoksi sitä tarvitaan suuria määriä. Tämän seurauksena biopolttolaitosten logistiset kustannukset nousevat helposti korkeiksi. Näiden sekä infrastruktuurillisten haasteiden pohjalta Malmgren ja Riley (2012) suosittelivat erillisiä biopolttoaineelle tarkoitettuja pienehköjä lämpövoimalaitoksia. Pienet laitokset voidaan hajasijoittaa lähelle polttoaineiden tuotantoalueita, jolloin logistiset kustannukset pysyvät kurissa, laitosten vaatimat tilat eivät muodostu ongelmiksi ja laitoksella tuotettua kaukolämpöä voidaan paremmin hyödyntää. Tämä konsepti sopii erityisesti kylmemmille alueille, kuten Pohjoismaihin.

2.1.2 Biopolttoaineiden tuottaminen ja kestävyys

Biomassapohjaisia polttoaineita pidetään yleisesti CO₂-neutraaleina. Sen sijaan niiden tuottaminen ja kuljettaminen voivat aiheuttaa merkittäviä päästöjä sekä muita ympäristöhaittoja (Evans, et al., 2010).

Erityisten energiakasvien suosio maailmalla on kasvussa. Energiakasveilla tarkoitetaan viljelmiä, joissa kasvatetaan tiettyä kasvilajia käytettäväksi biopolttoaineena. Pääsääntöisesti energiakasveiksi on valittava sellaisia kasveja, jotka tuottavat suuren määrän massaa tiettyä viljelyspinta-alaa kohden ja joiden energiasisältö on korkea. Lisäksi hyvät energiakasvit tarvitsevat vain vähän kastelua, eivätkä lainkaan lannoitetta. (Evans, et al., 2010).

Esitettyjen vaatimusten mukaan sopivia energiakasveja ovat esimerkiksi eukalyptuspuu sekä sokeriruo'osta saatavat jäänteet. Huonoimpia energiakasveja ovat ruoaksi kelpaavat aineet sekä sellaiset kasvit, jotka kilpailevat ruoan tuotannon kanssa maatalasta. (Malmgren & Riley, 2012; Evans, et al., 2010)

Biopolttoaineet ovat monesti perinteisiä polttoaineita, kuten maakaasua ja kivihiiltä, kalliimpia. Tämä on erityisesti totta energiakasveille, eikä niiden uskota tulevan kannattavaksi ilman erityisiä valtion tukia, kuten syöttötariffeja tai valtiollisia uusiutuvien energian käytön tavoitteita (Malmgren & Riley, 2012; Clean Energy Council, 2008).

2.2 Jätteenpoltto

Jätepolttoaineet lasketaan yleisesti biopolttoaineiksi. Tässä työssä jätteet on kuitenkin eriytetty omaksi ryhmäkseen ja niitä käsitellään soveltuvien osin erillään.

Teollisuusmaiden korkean elintason kulutusyhteiskuntien varjopuolena on suuri syntyvä jätteen määrä. Syntyvää jätemäärää voidaan pyrkiä vähentämään ja syntyviä jätteitä voidaan yrittää kierrättää, mutta merkittävä osa jätteistä päätyy silti kaatopaikoille. Samalla ympäristötietoisuuden kasvaessa vaaditaan kestäviä ja puhtaita energiamuotoja. Polttamalla jätteet erityisissä voimalaitoksissa, voidaan hyödyntää jätteiden lämpöenergia sähköksi ja lämmöksi. Samalla kaatopaikkojen tarve vähenee merkittävästi.

Jätteenpolton kannustimena on myös lainsäädäntö. Esimerkiksi Suomessa on säädetty laki, joka kieltää biohajoavan ja orgaanisen jätteen, eli merkittävältä osin yhdyskuntajätteen, sijoittamisen kaatopaikoille. Laki astuu voimaan 2016, ja sen tarkoituksena on edesauttaa jätemateriaalien uudelleenkäyttöä sekä hyödyntämistä energiantuotannossa. (Valtioneuvosto, 2013)

2.2.1 Jätteenpolton edut ja haitat

Jätteenpoltto ei periaatteessa eroa merkittävästi muista biopolttoaineista kuten puuhakkeesta tai metsähakkuutähteistä. Euroopan unioni määrittelee jätteen biopolttoaineeksi. Jäte on myös uusiutuva luonnonvara, sillä ihmiset tuottavat jatkuvasti lisää polt-

tokelpoista jätettä. Myös vanhoja kaatopaikkoja voidaan käyttää polttoaineena (Bosmans, et al., 2012).

Sen lisäksi että jätettä on helposti saatavilla, on sen käyttö myös edullista. Toisin kuin monet muut polttoaineet, jäte on käytännössä ilmaista ja jätteenpolttolaitoksille voidaan jopa maksaa siitä, että ne vastaanottaisivat jätettä. Tällöin voimalaitos saa rahaa sekä polttoaineensa vastaanottamisesta, että tuotetun sähkön ja lämmön myymisestä. Taloudellisten kannustimien tukena on myös lukuisia jätteenpoltolla saavutettavia ympäristötekijöitä.

Jätteenpolton yksi selvästi havaittava merkittävä etu on kaatopaikkojen tarpeen väheneminen. Jätteen polttamisesta jäljelle jäävien kuona-aineiden tilantarve on jopa 90 % polttoaineena käytetyn jätteen tilavuutta pienempi (Bosmans, et al., 2012). Tämä on erityisen tärkeää korkean asukastiheyden alueilla, joissa ei ole tilaa kaatopaikoille. Samalla jätteiden polttamisesta syntyvällä sähköllä ja lämmöllä pystytään osittain kattamaan yhteiskunnan kasvavat energiantarpeet.

Energiatasapainon edesauttamisen lisäksi jätteenpoltolla on myös merkittävä vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin. Korvaamalla fossiilisia polttoainetta käyttävä voimalaitos jätteenpolttolaitoksella, saavutetaan merkittäviä säästöjä päästöissä: jätteenpolttolaitoksen CO₂ päästöt ovat selvästi alhaisemmat kuin maakaasun, ja hiileen verrattuna päästöt vähenevät alle puoleen (Monni, 2012). Myös rikki- ja typpipäästöt vähenevät merkittävästi perinteisempiin polttoaineisiin verrattaessa (Psomopoulos, et al., 2009). Orgaanisten jätteiden, esimerkiksi ruokajätteiden, polttoa voidaan pitää CO₂-neutraalina (Monni, 2012).

Orgaanisten jätteiden polttaminen myös vähentää kasvihuonekaasupäästöjä verrattaessa jätteiden kaatopaikalle sijoittamiseen. Kaatopaikalle sijoitettava orgaaninen jäte vapauttaa metaania, joka on erittäin haitallinen kasvihuonekaasu. Kun jäte poltetaan, ei metaania pääse vapautumaan ilmakehään, ja saavutetut ympäristöhyödyt kasvihuonekaasujen kannalta lisääntyvät (Psomopoulos, et al., 2009). Samalla voidaan estää muiden ympäristömyrkköjen leviäminen luontoon kaatopaikkojen kautta (Mullinger & Jenkins, 2008).

Jätteenpolttoon liittyy myös ongelmia. Jätteenpolttolaitokset vaativat tiettyjä muutoksia perinteisiin voimalaitoksiin nähden, mitkä nostavat laitosten kustannuksia. Esimerkiksi muovia poltettaessa on huolehdittava, että palamislämpötila on riittävän korkea. Jos muovi ei pala kunnolla, se saattaa vain sulaa, mikä puolestaan lisää kattilan likaantumista merkittävästi (Tillman, et al., 2012). Lisäksi jätteenpolttolaitosten sähköteho on alhaisempi kuin vastaavansuuruisen perinteisiä polttoaineita hyödyntävän lämpövoimalaitoksen sähköteho (Monni, 2012). Sähkötehoa alentaa esimerkiksi polttoaineen esikäsittelylaitteiston sähköntarve.

Jätteen lämpöarvo on suhteellisen alhainen, minkä lisäksi se on monesti kerättävä laajalta alueelta. Tästä johtuen kuljetuskustannukset nousevat korkeiksi, eikä jätettä ole kannattavaa kuljettaa suuria etäisyyksiä. Jäte on myös epähomogeeninen polttoaine, eli sen ominaisuudet vaihtelevat merkittävästi polttoaine-erästä toiseen sekä jopa saman erän sisässä.

Yksi merkittävä lisähaitta ovat jätteestä jäljelle jäävät raskasmetalleja sisältävät tuhkat. Raskasmetallit vaikeuttavat tuhkan loppusijoittamista, minkä lisäksi niiden hyödyntäminen saattaa olla ongelmallista. Tuhkasta voidaan kuitenkin kerätä joitain palamatta jääneitä aineita, kuten metalleja, uudelleenkäyttöä varten. Myös polttoaineen esikäsitteilyn yhteydessä on mahdollista lajitella merkittäviä määriä materiaalia kierrätykseen. Samassa yhteydessä on hyvä huomioida, että jätteiden polttaminen estää niiden mahdollisen hyödyntämisen tulevaisuuden luonnonvarana. Toisaalta polttamisen yhteydessä voidaan paremmin estää haitallisten aineiden hallitsematonta joutumista ympäristöön.

2.2.2 Jätepolttoaineiden luokitus

Jätepolttoaineet on luokiteltu niiden lajittelu- ja käsittelyasteen sekä alkuperän mukaan eri ryhmiin. Taulukossa 2.1 on esitelty tärkeimpiä jäteryhmiä. Määritelmät perustuvat VTT:n ”Kierrätyspolttoaineiden laadunvalvonta” -julkaisuun (2005).

Taulukko 2.1: Jätteiden luokittelu ja määritelmät (Ajanko, et al., 2005)

<i>Nimitys</i>	<i>Määritelmä</i>
Energiajäte tai -jäte	Polttokelpoinen materiaali, joka on kerätty yrityksistä tai kotitalouksista
Jätepuu (wood residue)	Rakennus-, purku- ja korjaustoiminnasta yli jäävää jätepuuta sekä puunjalostusteollisuuden jätepuuta, jotka sisältävät esim. liima-, maali- tai kyllästysaineita. Paineekyllästetty puu luokitellaan ongelmajätteeksi
Kierrätyspolttoaine (SRF, solid recovered fuel)	Polttoaine, joka on valmistettu yritysten ja yhdyskuntien polttokelpoisista, kiinteistä jätteistä jotka on lajiteltu jo jätteen syntypaikoilla
Kuivajäte tai -jäte	Jäljelle jäävä polttokelpoinen jätejäte, kun yhdyskuntajätteestä on lajiteltu erilleen paperi, lasi, metalli ja biojäte
RDF (refuse derived fuel)	Polttoaine, joka on valmistettu mekaanisella käsittelyprosessilla lajittelemattomasta yhdyskuntajätteestä.
REF (recovered/recycled fuel, kierrätyspolttoaine)	Polttoaine, joka on valmistettu lajitellusta ja erilliskerätyistä kuiva- tai energijätteestä käsittelyprosessilla jätteen syntypaikalla.
Sekajäte (C&IW, commercial & industrial waste)	Lajittelematon yhdyskunta-, teollisuus- tai rakennusjäte.
Yhdyskuntajäte (MSW, municipal solid waste)	Asumisessa syntyvää sekä koostumukseltaan, ominaisuuksiltaan ja määrältään tähän jätteesseen rinnastettavaa teollisuudessa tai muussa vastaavassa syntyvää jätettä.

Monesti jäte kuljetetaan voimalaitoksen alueelle lajittelemattomana yhdyskuntajätteenä. Tällöin jäte murskataan ja lajitellaan laitosalueella, käsittelyn lopputuotteena saadaan laitoksessa hyödynnettävää kierrätyspolttoainetta. Käsittelylinja on suunniteltava tapauskohtaisesti jätteen koostumuksen mukaisesti, joka on tiedettävä pääpiirteissään jo laitosta suunniteltaessa. Taulukossa 2.2 on esitetty lajittelemattoman yhdyskuntajätteen tyypillinen koostumus.

Taulukko 2.2: Lajittelemattoman yhdyskuntajätteen tyypillinen koostumus (Monni, 2012)

<i>Materiaali</i>	<i>Osuus massasta (%)</i>	<i>Tehollinen lämpöarvo (GJ/t)</i>
Ruokajäte	26	4
Puutarhajäte	11	4
Paperi ja kartonki	23	14
Muovit	16	33
Lasi	4	0
Metalli	3	0
Puu	2	7
Tekstiilit ja vaatteet	6	14
Vauvanvaipat	7	3
Muut	3	3

Taulukossa 2.2 esitetyt arvot ovat suuntaa-antavia ja ne voivat vaihdella merkittävästi alueittain sekä tapauskohtaisesti. Aluekohtaiset arvot voidaan selvittää yksinkertaisimmin alueen jätteitä analysoimalla.

2.2.3 Jätteenpoltto Euroopan unionissa

Euroopan unionin alueella jätteenpoltoa säätelee Euroopan parlamentin asettama jätteenpolttodirektiivi (2000/76/EC). Direktiivissä on asetettu tiukat rajat päästöille ja savukaasujen epäpuhtauksille sekä erityisesti näiden mittaamiselle. Direktiivissä määritellään mm. lupaprosessit, mutta myös että yleisöllä on oltava vapaa pääsy yli 3 tonnia tunnissa polttavien laitosten seurantatietoihin.

Direktiiviä on kritisoitu siitä, että tiukat päästöjen mittauskriteerit lisäävät merkittävästi laitosten käyttökustannuksia (Ajanko, et al., 2005). Tämä pelko perustuu vaativiin päästöjenmittauksiin, jotka on tehtävä vaikka laitoksessa rinnakkaispoltettaisiin vain pieniä määriä jätettä. On myös pelätty, että jätteiden polttaminen vähentäisi kierrätystä (Kokko, 1999). EU on esittänyt, että sen jätepolitiikan ensisijainen tavoite on syntyvän jätemäärän vähentäminen. Jätteenpolttamisen osalta on pyrittävä mahdollisimman alhaisiin päästöihin haitallisten aineiden, kuten typen oksidien, rikkidioksidin, raskasmetallien ja dioksiinien osalta. (Fontaine & Védrine, 2000)

VTT:n tekemän tutkimuksen (Ajanko, et al., 2005) mukaan jätteen rinnakkaispolton kustannukset nousivat merkittävästi pienissä voimalaitoksissa jätteenpolttodirektiivin seurauksena. Esimerkkinä verrattiin kahta erisuuruista rinnakkaispolttolaitosta, joissa molemmissa käytetään 30 % polttoainetehosta jätettä. Tällaisessa tilanteessa 100 MW:n laitoksessa savukaasujen mittauskustannukset olisivat 0,5 €/MWh. Samanlaisessa 10 MW:n laitoksessa nämä kustannukset olisivat 4,5 €/MWh. Käytännössä kustannusten nousu tarkoittaa, ettei jätteen rinnakkaispoltto pienissä laitoksissa ole houkuttelevaa, erityisesti käytettäessä vain pieniä määriä jätettä. Ennakkoon direktiiviin kohdistuneet pelot ovat täten kasvavien kustannusten osalta toteutuneet.

Mitä tulee kierrätyksen kiinnostavuuteen suosittaessa jätteenpolttoa, Yhdysvalloissa kerätyn tiedon mukaan jätteenpolttolaitosten läheisyys on lisännyt alueiden kierrätysprosenttia muuhun maahan verrattaessa (Psomopoulos, et al., 2009). Tämän tiedon pohjalta voidaan arvioida, ettei pelko kierrätyksen vähenemisestä ei ole aiheellinen.

Jätteenpolttodirektiivi tuli voimaan EU:n alueella vuonna 2000. Vuonna 2010 Euroopan komissiolle esitettiin kirjallinen välikysymys jätteenpolton onnistuneisuudesta erityisesti päästöjen vähentämisen suhteen. Euroopan komission virallisen vastauksen (Potočnik, 2010) mukaan tavoitteet on täytetty hyvin. Komissio on tutkinut dataa 1400 rinnakkais- tai jätteenpolttolaitoksesta, joista useimmissa asetetut vaatimukset ovat täyttyneet. Lisäksi n. 50 % jäsenvaltioista on asettanut laitoksilleen joko direktiiviä tiukemmat päästövaatimukset tai lisäksi hyötysuhteen kaltaisia lisävaatimuksia. Lisäksi esitetyn vastauksen mukaan komissio on harkinnut joidenkin mittausvaatimusten helpottamista sekä typen oksidien rajoitusten tiukentamista. Komissio antoi myös tiedotteessaan tilastot, joissa esitettiin Ranskan jätteenpolttolaitosten yhteenlaskettujen päästöjen muuttuminen direktiivin voimaantulon jälkeen. Nämä tulokset on esitetty taulukossa 2.3.

Taulukko 2.3: EU:n jätteenpolttodirektiivin vaikutus Ranskan jätteenpolttolaitoksiin (Potočnik, 2010)

<i>Mitattu aine</i>	<i>Päästöt vuonna 2000</i>	<i>Päästöt vuonna 2008</i>
Dioksiinit	101 g	0,2 g
Elohopea	0,6 tonnia	0,1 tonnia
Lyijy	11,1 tonnia	1,6 tonnia
NO _x	2,6 kilotonnia	0,6 kilotonnia
SO _x	0,6 kilotonnia	0,1 kilotonnia
PM ₁₀	300 tonnia	4 tonnia

Kuten taulukosta 2.3 nähdään, ranskalaisten jätteenpolttolaitosten päästöt ovat vähentyneet merkittävästi jätteenpolttodirektiivin voimaantulon jälkeen. Esimerkiksi dioksiinipäästöt ovat tippuneet 99,8 %. Näiden tulosten pohjalta voidaan todeta, että jätteenpolton savukaasuvaikutuksiin voidaan vaikuttaa merkittävästi lainsäädännön avulla. Kääntöpuolena on kuitenkin ollut jätteen rinnakkaispolton väheneminen pienissä laitoksissa sekä päästömittausten aiheuttamat kustannusten kasvu.

2.2.4 Jätteenpolitto Yhdysvalloissa

Yhdysvaltalaisissa kaupungeissa jätteitä on aiemmin hävitetty kotitalouspolttimissa, ilman minkäänlaista päästöjen kontrollointia. Tällainen toiminta on saastuttanut maaperää, ja sen haittoja on vieläkin nähtävissä. Lisäksi tämä on jättänyt monille yhdysvaltalaisille huonon mielikuvan jätteenpoltoista. (Psomopoulos, et al., 2009)

Jätteenpoltoilla on kuitenkin valtava potentiaali Yhdysvalloissa. Vuonna 2004 maassa tuotettiin noin 250 miljoonaa tonnia jätettä. Vertailun vuoksi vuonna 2005 EU:ssa jätettä tuotettiin yhtä paljon, vaikka EU:n väkiluku samaan aikaan oli yli 160 miljoonaa suurempi. (Psomopoulos, et al., 2009; Bosmans, et al., 2012; Eurostat, 2013). Merkittävä osa Yhdysvalloissa tuotetusta jätteestä jätetään hyödyntämättä. Vuonna 2004 maan jätteistä hävitettiin kierrättämällä 28,5 % ja polttamalla jätteenpolttolaitoksissa 7,4 %, loput sijoitettiin kaatopaikoille (Psomopoulos, et al., 2009). Vuoteen 2010 mennessä Yhdysvalloissa poltettavien jätteiden osuus oli kasvanut 12 %:iin (United States Environmental Protection Agency, 2011), mutta kasvupotentiaalia on edelleen merkittävästi.

Samoin kuin EU:ssa, myös Yhdysvalloissa ympäristöryhmät ovat vastustaneet jätteenpoltoa, peläten sen vähentävän kierrätystä sekä lisäävän päästöjä. Tutkimusten mukaan jätteenpolttolaitosten läheisyydessä olevien kuntien kierrätysprosentti oli noin 5 prosenttiyksikköä maan keskiarvoa korkeampi. Kierrätysvaikutuksen osalta on kuitenkin huomioitava Yhdysvaltojen sisäiset kulttuurierot sekä jätteenpolttolaitosten sijoittuminen. Suurin osa maan jätteenpolttolaitoksista sijaitsee New Englandin sekä Mid-Atlantic -alueiden osavaltioissa, eli maan koillisnurkassa. (Psomopoulos, et al., 2009).

Päästöjen osalta on huomattava, että 1990-luvulla Yhdysvaltain ympäristönsuojelutoimisto toimeenpani EU:n jätteenpolttodirektiivin tapaisen Maximum available control technology (MACT) -asetuksen, joka määrää jätteenpolttolaitoksille sallitut päästörajat. Asetuksella on ollut EU:n direktiivin kaltaiset tulokset ja maan laitosten päästöt olivat vuoteen 2000 mennessä tippuneet merkittävästi. Esimerkiksi asetuksen voimaantulon jälkeen laitosten dioksiinipäästöt olivat vähentyneet 99,7 % ja lyijypäästöt 90,9 %. Vuonna 2003 Yhdysvaltain ympäristönsuojelutoimisto nimitti jätteenpolttolaitokset yhdeksi puhtaimmista saatavilla olevista energianmuodoista. (Psomopoulos, et al., 2009)

2.3 Yhteenveto kappaleesta

Kappaleessa 2 on tehty pohjatutkimus bio- ja jätteenpoltoaineisiin, tarkoituksena tutustuttaa lukija näiden polttoaineiden ominaispiirteisiin. Samalla kappale toimii avauksena diplomityölle, sillä myöhemmin työssä keskitytään näitä polttoaineita hyödyntäviin voimalaitoksiin. Sekä bio-, että jätteenpoltoaineet voidaan laskea uusiutuviksi ja kestävästi toteutettuna niillä on mahdollista saavuttaa merkittäviä ympäristöetuja.

Kappaleessa on lyhyesti esitelty biopolttoaineiden ryhmitteleminen niiden tuotannon perusteella. Ryhmitteleminen tapahtuu sen mukaan syntykö polttoaine suoraan vai välillisesti. Suoraan syntyviä polttoaineita ovat esimerkiksi polttoaineiksi viljeltävät kasvit, välillisesti syntyviä ovat jonkin toisen tuotteen tuottamisesta syntyvät polttokelpoiset oheistuotteet.

Jätepolttoaineet ovat biopolttoaineiden alaryhmä, jotka on tässä työssä käsitelty erillään muista polttoaineista. Poltettavaksi kelpavaa jätettä syntyy erityisesti kotitalouksista, mutta myös esimerkiksi teollisuudesta. Jätteen syntypaikasta riippumatta tyypillinen jätepolttoaineiden ominaisuus on merkittävä esikäsittelyn tarve ennen kuin jäte voidaan tehokkaasti polttaa. Jätepolttoaineiden ryhmitteleminen tehdään jätteen syntyperän, koostumuksen ja käsittelyn laajuuden perusteella.

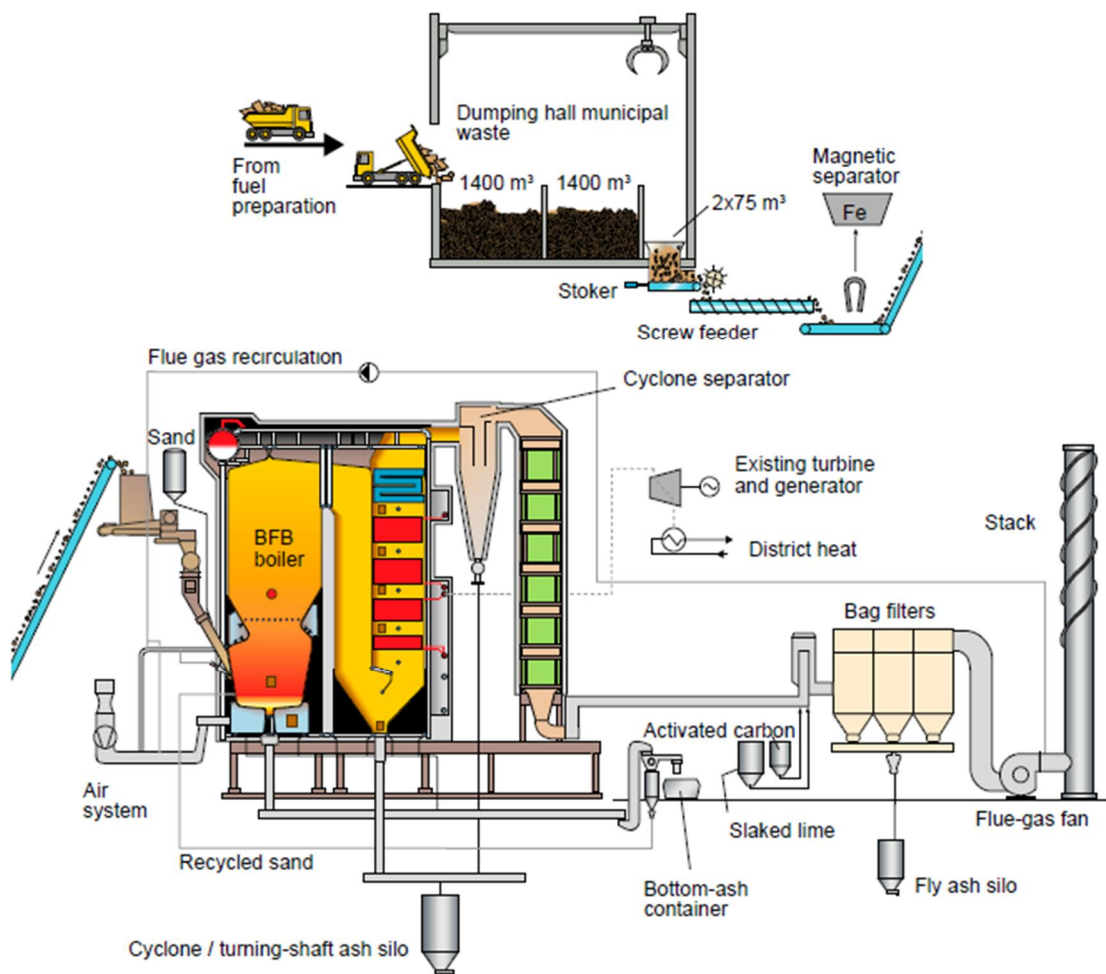
Muun muassa Euroopan unioni on asettanut rajoitteita jätteenpoltoille, tarkoitukseenaan hallita jätettä hyödyntävien voimalaitosten päästöjä. Kappaleessa esitettyjen tilastojen mukaan tällaisella lainsäädännöllä on ollut merkittävä positiivinen vaikutus jätteenpolttolaitosten ympäristövaikutuksiin.

Biopolttoaineille, mukaan lukien jätepolttoaineille, on tyypillistä alhainen lämpöarvo, minkä vuoksi näitä polttoaineita tarvitaan suuria määriä. Tämän vuoksi biopolttoaineita ei ole taloudellisesti kannattavaa kuljettaa pitkiä matkoja, jolloin pienet hajasijoitetut voimalaitokset ovat suositeltavia monissa tapauksissa.

3 VOIMALAITOKSEN OSAKOKONAIUUDET JA NIIDEN TOIMINTA

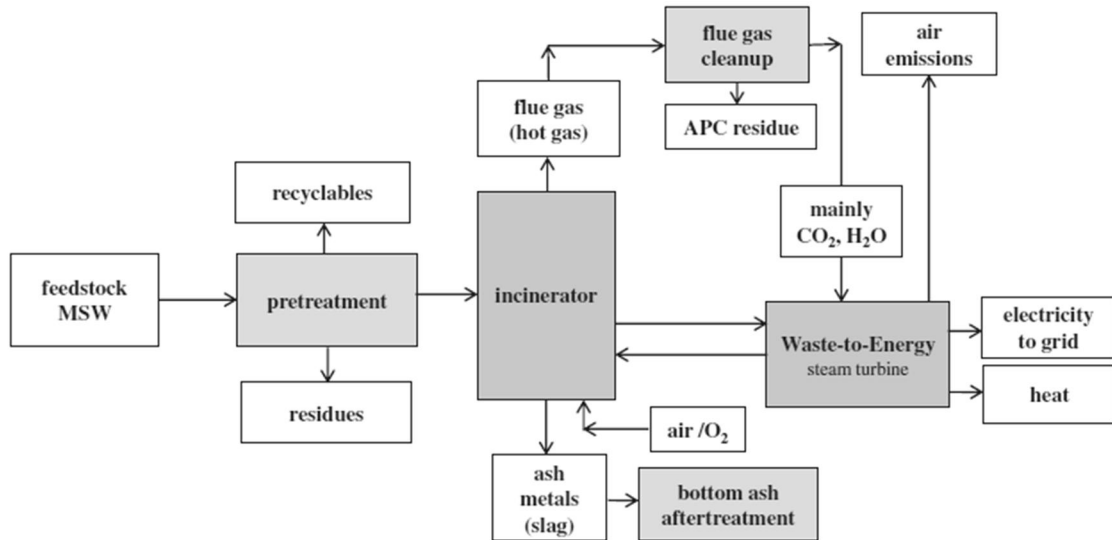
Tässä työssä käsitellään voimalaitosten laitossuunnittelua. Jotta laitoksia voidaan suunnitella, on tärkeää tietää mitä eri osatoimintoja, tiloja ja laitteita voimalaitoksen toiminta edellyttää. Tässä kappaleessa esitellään voimalaitoksen toiminnalle tärkeimmät osakokonaisuudet sekä niiden toiminta.

Voimalaitos voidaan karkeasti ottaen jakaa kahteen osaan: polttoaineen vastaanottoon ja käsittelyyn sekä kattilaosioon, jonka yhteydessä on sähköntuotanto ja lämmön talteenotot. Näistä osista voidaan edelleen erottaa pienempiä osa-alueita, esimerkiksi kuvan 3.1 avulla.



Kuva 3.1: Periaatekuvaaja jätteenpolttolaitoksen toiminnasta (© Metso Power Oy)

Kuvassa 3.1 on esitetty voimalaitoksen toimintaperiaate sekä tärkeitä osatoimintoja. Tällainen kuvaaja helpottaa laitoksen kokonaisuuden hahmottamista. Kuvasta voidaan myös tunnistaa tärkeimmät kokonaisuudet ja koota niistä kuvan 3.2 mukainen toimintokuvaaja. Kuva sisältää samat tiedot kuin kuva 3.1, mutta yksinkertaistetummassa muodossa, eikä ota kantaa eri toteutustapoihin.



Kuva 3.2: Jätteenpolttolaitoksen periaatekaavio (Bosmans, et al., 2012)

Kuvien 3.1 ja 3.2 avulla voidaan hahmottaa, että voimalaitos koostuu erilaisista osakokonaisuuksista, joiden välillä on tunnistettavissa olevat rajapinnat. Osakokonaisuudet koostuvat erilaisista laitteista, joilla on omat erilliset tehtävänsä. Jotta voidaan ymmärtää voimalaitoksen toimintaa kokonaisuutena, on myös ymmärrettävä näiden laitteiden toimintatapa sekä mikä niiden tarkoitus on ja mitenkä ne kytkeytyvät muuhun voimalaitoskokonaisuuteen. Näiden tietojen avulla on mahdollista aloittaa voimalaitosten suunnittelu. Seuraavissa kappaleissa on esitetty voimalaitosten toimintaa tärkeimpien laitteiden ja niiden välisten rajapintojen kannalta.

3.1 Polttoaineen vastaanotto

Polttoaineen vastaanottoa voidaan pitää voimalaitoksen toimintaprosessin ensimmäisenä vaiheena. Polttoaineen vastaanotolle on voimalaitosalueella oma rakennuksensa tai tilansa. Bio- ja jätteenpolttolaitosten tapauksessa kuljetukset tehdään monesti maateitse, mutta myös junayhteydet ja laivayhteydet ovat mahdollisia. Koska erityisesti biopolttoaineiden lämpöarvo on alhainen, on polttoaineen vastaanotolle, käsittelylle ja varastoinnille sekä tarvittavalle liikenteelle varattava suuret alueet.

Laitosalueelle saapuvat rekat tyypillisesti punnitaan, jolloin laitosalueelle tarvitaan vaaka. Autojen saapuessa laitosalueelle ne kulkevat vaa'an kautta ja kun ne lähtevät alueelta, kulkevat ne uudelleen vaa'an kautta. Näin pystytään selvittämään rekan voima-

laitokselle tuoman polttoaineen massa, jonka perusteella polttoaineesta laskutetaan. Useimmiten kuljetusyhtiö veloittaa polttoaineesta voimalaitosyritystä, mutta jätepolttolaitoksen tapauksessa voimalaitos voi veloittaa jätteen vastaanottamisesta.

Polttoaine voidaan tyhjentää voimalaitosalueella esimerkiksi bunkkerisäiliöön, suoraan esimurskaimen kuljettimelle tai kasaksi pihaan. Bunkkerityhjennys on tyypillinen esimerkiksi biomassoilta ja arinapolttolaitoksille, mutta saattaa olla ongelmallinen vaihtoehto jos polttoaineelle vaaditaan merkittävää esikäsittelyä. Suuret kasat laitosalueella ovat tyypillisiä esimerkiksi puuta polttavissa laitoksissa.

Tyhjennettäessä jätepolttolaitokset pelkäksi kasaksi käsittelylaitteiden läheisyyteen voidaan jätteenpolttolaitosten jätteelle tehdä silmämääräinen tarkastelu ja poistaa jätteen seassa olevat isoimmat poltettavaksi kelpaamattomat kappaleet. Kasoista jäte siirretään eteenpäin pyöräkuormaajilla. Tällaisen järjestelyn haittana ovat mahdollisesti leviävän hajun lisäksi pyöräkuormaajasta ja sen kuljettajasta muodostuvat ylimääräiset kustannukset. Vaihtoehtoisia bunkkerivarastoa tyhjenetään tyypillisesti automaattisella siltanosturilla, joten ideaalitulanteessa bunkkeri voi olla henkilöstökustannuksiltaan halvempi. Toisaalta bunkkerin valmistuskustannukset ovat korkeammat.

Polttoaine voidaan tyhjentää myös suoraan murskaimen tai muun polttoaineen esikäsittelylaitteiston syöttökuljettimelle, jolloin ei tarvita vastaanotettavan polttoaineen varastoa. Tällöin ei kuitenkaan ole mahdollista ottaa polttoainetta vastaan polttoaineen käsittelylaitteiston huoltoseisokkien aikana. Tämä on erityisesti ongelmallista jos kyseessä on jätteenpolttolaitos, sillä kuntien jätehuoltoverkot ovat riippuvaisia jätteenpolttolaitosten toiminnasta.

Maateitse saapuvat rekkalastit voidaan tyhjentää joko perästä tai sivusta. Perästä tyhjentäminen toteutetaan joko kipillä tai kuljetustilan pohjalla olevan hihnakuljettimen avulla. Sivusta tyhjennettäessä käytetään kippiä, joka nostaa kuormatilan toista kylkeä kallistaen kuormatilaan kyljelleen.

Perästä tyhjennettävän peräkipin ja hihnakuljettimen käyttö edellyttävät ajoneuvon peruuttamista tyhjennystä varten sekä yhdistelmärekan tapauksessa perävaunun irrottamista etummaisen tilan tyhjentämiseksi. Tämän vuoksi nämä menetelmät saattavat olla työlämpiä ja hitaampia kuin sivusta tyhjennettäessä. Lisäksi laitosalueelle vaaditaan suuremmat tilat rekkojen käsittelyä varten. Toisaalta sivulta tyhjennettävät ajoneuvot vaativat läpiajomahdollisuuden polttoaineen vastaanottohallille sekä kääntymispaikan ajoneuville.

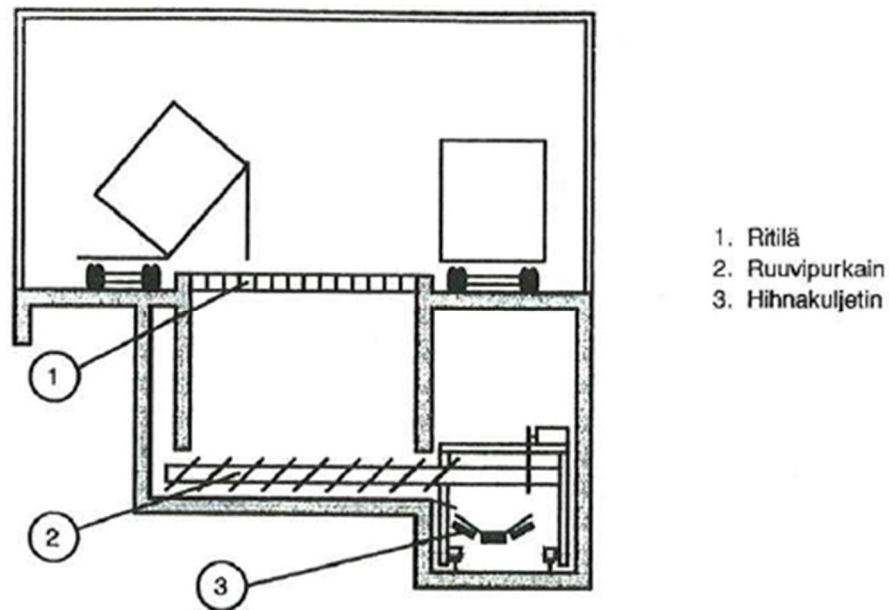
Jos peräkipilaitteisto on vain yhdistelmärekan vetoautossa, täytyy kuljettajan tehdä pahimmillaan kolme tyhjennyskierrosta: vetoautossa on yksi säiliö ja peräkärjessä monesti kaksi säiliötä. Myös muunlaisia peräkipiyhdistelmiä on olemassa. Hitaan tyhjennyksen lisäksi peräkipilaitteiston ongelmaksi voidaan laskea korkeiden tilojen tarve. Pystyyn nostettaessa kuormatilan yläreuna nousee useiden metrien korkeuteen rekan yläpuolelle, jolloin myös kuormanpurkutilan katon on oltava korkealla.

Tyhjennettäessä ajoneuvot kuormatilan pohjalla olevalla hihnakuljettimella ei vastaanottoasemalta vaadita korkeita tiloja. Kuljettajan tarvitsee ainoastaan avata kuormati-

lan tyhjennysluokku, peruuttaa vaunu tyhjennysalueelle ja hihna hoitaa tyhjennyksen ilman perän nostoa.

Bunkkeriin tyhjennettäessä perävaunun takaluukkujen avaaminen on turvallisuusris-ki, molemmissa perästä tyhjennettävissä ratkaisuis-ssa. Osa kuormasta purkautuu heti ovien avaamisen jälkeen ja jos kuljettaja ajaa auton valmiiksi lähelle tyhjennysaluetta, on kuljettajan mahdollista pudota bunkkeriin ja jäädä kuorman alle (Jokitulppo, 2013).

Sivukippilaitteiston avulla kuormalasti voidaan tyhjentää ajamalla läpi kuormanjät-tötilasta, ilman peruuttamista tai perävaunujen irrottamista. Auto pysäytetään tyhjennys-alueelle ja tyhjenetään suoraan kippimekanismin avulla. Kuvassa 3.3 on esitetty yksi mahdollinen toteutus sivusta tyhjennettävälle vastaanottoasemalle.



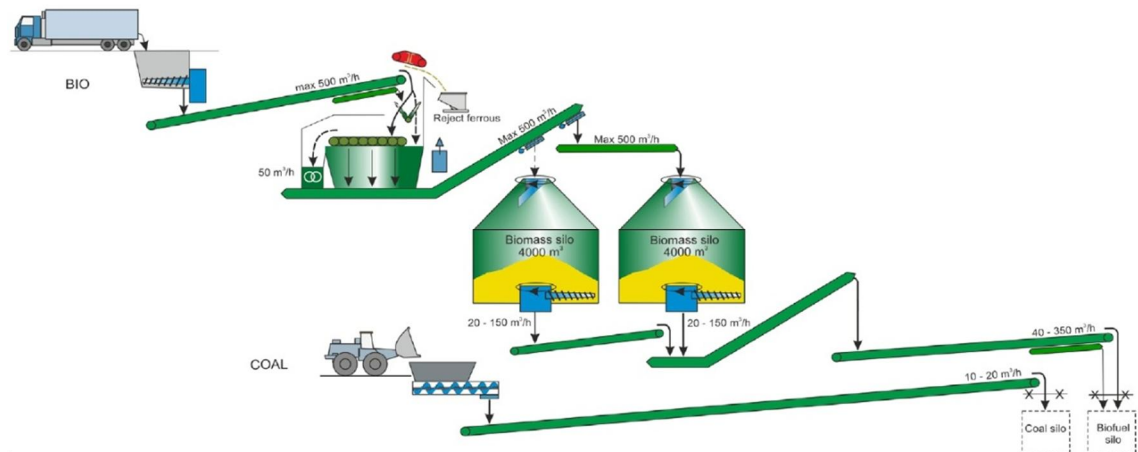
Kuva 3.3: Polttoaineen tyhjennys sivukippilaitteistolla (Huhtinen, et al., 1994)

Sivukippilaitteistojen vaarana on kuormatilan kaatuminen painopisteen siirtyessä liian kauas sivuun. Tämä on riski erityisesti jos kuorma on jäänyt kiinni kuormatilaan. Kaatumisen riskiä voidaan vähentää turvakaarella, joka on kuormatilan alareunaan kiinnittetty kumipäällysteinen palkki. Sen lisäksi että turvakaari tukee kuormatilaa kaatumisen varalta, se myös tiivistää ajoneuvon ja tyhjennystilan välistä reunan siten, ettei ros-kia pääse leviämään ajoväylälle. (Jokitulppo, 2013)

Jos kuorma tyhjenetään kattamattomiin avokasoihin, ei kuorman tyhjentämistapaa tarvitse merkittävästi huomioida suunnittelussa. Katoksiin tyhjennettäessä kuormille joudutaan kuitenkin suunnittelemaan vastaanottotilat. Vastaanottotilat suunnitellaan sen mukaan, millaista kuljetuskalustoa alueella on käytettävissä. Lisäksi on huomioitava laitoksen polttoaineentarve, eli kuinka usein rekkalasteja tuodaan alueelle sekä ajoneu-vojen keskimääräinen tyhjennysaika. Monesti vastaanottorakennukseen tehdään tilat useammalle vastaanottotavalle.

3.2 Biopolttoaineiden käsittely

Biopolttoaineet, kuten puu ja turve, eivät tyypillisesti edellytä merkittävää käsittelyä. Tyypillisesti polttoaineet murskataan kattilan vaatimaan kappalekokoon, jonka jälkeen polttoaineesta voidaan seuloa kivet ja raudat. Myös polttoaineen kuivaaminen saattaa olla tarpeen joissain tapauksissa. Kuvassa 3.4 on esitetty esimerkki biopolttoaineen käsittelylinjasta.



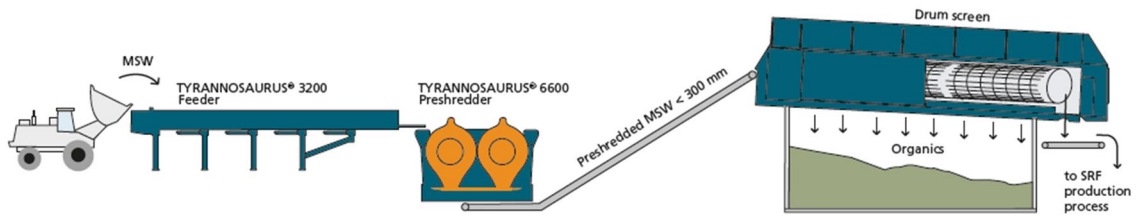
Kuva 3.4: Biopolttoaineen käsittelylinja (© BMH Technology Oy)

Biopolttoaineiden tapauksessa on hyvä huomioida, että biovoimalaitokset käyttävät tyypillisesti useampaa polttoainetyyppiä samanaikaisesti. Esimerkkikuvan 3.4 tapauksessa lisäpolttoaineena käytetään hiiltä, mutta myös puun ja turpeen yhteiskäyttö on tavallista. Yhteiskäyttö saattaa edellyttää erillisiä polttoaineenkäsittelylinjoja ja varastoja sekä mahdollisesti erillisiä polttoaineensyöttölaitteistoja.

3.3 Jätepolttolaitteen käsittely

Merkittävä ero jäte- ja biopolttoaineiden käytön välillä liittyy polttoaineen käsittelyyn. Koska jätepolttolaitteet ovat merkittävän epähomogeenisia, tarvitaan niiden käsittelyyn monipuolisemmat järjestelmät, erityisesti seulonnan osalta. Polttoaineenkäsittelylinja tulee valita käytettävän polttoaineen laadun mukaan, laitevalintoihin vaikuttaa jätteen lajittelutaso sekä yleisesti jätteen koostumus. Myös aluekohtaiset erot jätteen laadussa sekä käytetty kattilatyypit vaikuttavat tarvittavaan linjaan.

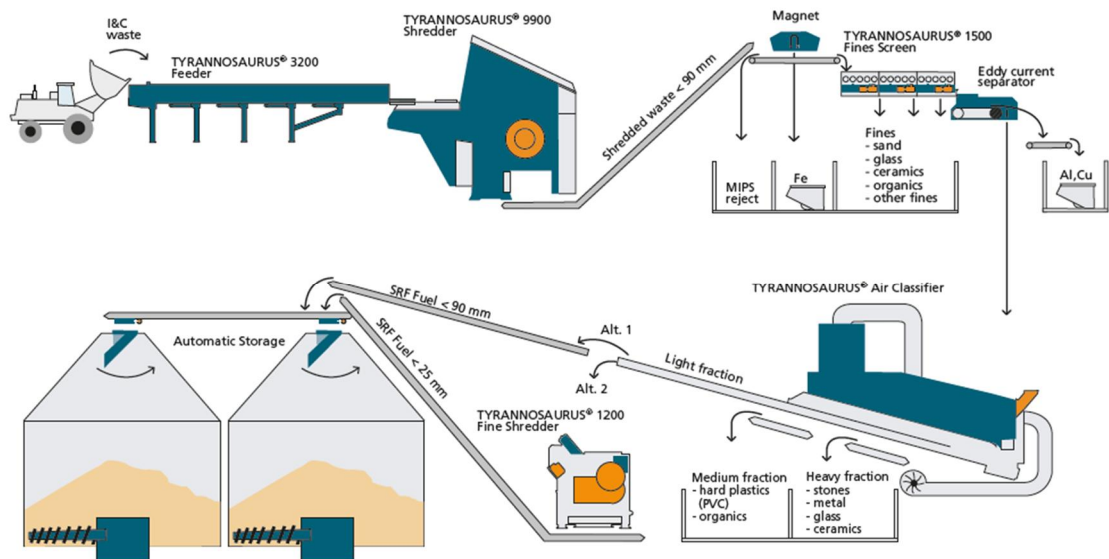
Ennen kuin jätettä ajetaan linjalle, on sille hyvä tehdä silmämääräinen seulonta. Tämä tarkoittaa suurimpien poltettavaksi kelpaamattomien kappaleiden poistoa ennen kuin jäte ajetaan linjalle. Näin voidaan poistaa sellaiset laitteet, jotka saattaisivat tukkia tai pahimmillaan vahingoittaa murskainta. Silmämääräisen seulonnan lisäksi voidaan tarvita myös koneellista käsittelyä ennen kuin polttoaine voidaan ajaa varsinaiselle esikäsittelylinjalle. Kuvassa 3.5 on nähtävissä BMH Technology Oy:n sekajätteen esikäsittelylinja.



Kuva 3.5: Sekajätteen esikäsittelylinja (© BMH Technology Oy)

Sekajätteenkäsittelylinjassa, kuva 3.5, kotitalouksista ja teollisuudesta kerätystä jätteestä seulotaan pois jokin tietty ainesosa, tyypillisesti biojäte. Seulonnan ensimmäisessä vaiheessa jäte esimurskataan riittävän pieniin kappaleisiin. Esimurskauksen jälkeen jätteestä seulotaan ei-toivotut aineet. Näiden vaiheiden jälkeen huonolaatuisena vastaanotettua jätettä voidaan jatkokäsitellä ensisijaisella käsittelylinjalla. Sekajätteen esikäsittelylinja saattaa olla tarpeen erityisesti silloin, kun biojätteen määrä on korkea. Biojäte on tyypillisesti kostea, mikä voi aiheuttaa ongelmia esimerkiksi kaasutuslaitosten käytössä.

Kierrätyspolttoaine on sekajätteestä valmistettua jätepolttoainetta. Kierrätyspolttoainetta voidaan valmistaa esimerkiksi kuvassa 3.6 esitetyllä BMH Technology Oy:n mukaisella linjastolla. Linjan suunnittelussa on huomioitava jätteen laadun ja koostumuksen lisäksi myös linjalta vaadittu kapasiteetti sekä käytettävyys. Käytettävyydellä tarkoitetaan tässä yhteydessä mahdollisten huoltoseisokkien sekä muiden käytön keskeytymisten osuutta kokonaiskäyttöajasta. Joissain tapauksissa saatetaan tarvita kahdennettu polttoainekäsittelylinjasto jotta riittävä kapasiteetti tai käytettävyys voidaan taata.



Kuva 3.6: Kierrätyspolttoaineen tuotto ja varastointi (© BMH Technology Oy)

Kuvan 3.6 järjestelmässä jäte murskataan ensin kattilan ja seulontalaitteiden vaatimusten mukaiseen kappalekokoon. Murskatusta materiaalista erotetaan magneettien avulla raudat sekä seulan avulla hiekat, lasit, keraamit ja muut hienojakoiset materiaalit. Ei-magneettiset metallit voidaan lajitella pyörrevirtaerottimella, suuremmat palamattomat materiaalit puolestaan saadaan erotettua tuuliseulalla. Valmis kierrätyspolttoaine säilötään tyypillisesti välivarastoihin.

Kivien, lasien, keraamien ja metallien erottaminen polttoaineesta on tärkeää. Paitsi että ne eivät pala, ne ovat haitallisia järjestelmälle. Kivet ja lasit aiheuttavat abrasiiivista kulumista esimerkiksi ruuvikuljettimiin (Reinvall, 1999), minkä lisäksi terävät kulmat saattavat vahingoittaa hihnakuljettimia. Myös PVC-muovit on tärkeä erottaa, sillä näistä muodostuu suurin osa kierrätyspolttoaineen klooripitoisuudesta (Ajanko, et al., 2005).

Jätteenkäsittelyllä on merkittävää hyötyä, sillä valmistamalla yhdyskuntajätteestä (MSW) kierrätyspolttoainetta (SRF), on polttoaineen tehollista lämpöarvoa mahdollista nostaa keskimäärin 9 %. Kierrätyspolttoaineen valmistaminen kuluttaa sähköä keskimäärin 32 kWh yhtä tonnia valmista polttoainetta kohden. (Vainikka, et al., 2012)

3.4 Polttoaineenkäsittelylaitteet

Polttoaineen esikäsittelyä voidaan kutsua myös polttoaineen valmistukseksi, sillä laitteiston avulla huonolaatuinen jäte tai biomassa käsitellään polttokelpoiseksi materiaaliksi. Tällöin voidaan sanoa, että voimalaitosalueelle tuodaan jätettä tai biomassaa, joka muutetaan polttoaineeksi kyseisen laitteiston avulla. Selkeyden vuoksi tässä työssä käytetään vain termejä polttoaine sekä polttoaineenkäsittelyjärjestelmä, ilman erittelyä polttoaineen valmistuksen kannalta.

Polttoaineenkäsittelyjärjestelmän tärkein tehtävä on tasaisen, laadultaan kattilan vaatimusten mukaisen polttoainevirran takaaminen kattilalle. Näin pyritään takaamaan polttoprosessin tasainen toiminta. Käsittelyjärjestelmä koostuu erilaisista kuljettimista, polttoainevarastoista, murskaimista ja seuloista. Näillä laitteilla polttoaine käsitellään halutunlaiseksi, ja kuljetetaan mahdollisen välivaraston kautta kattilaan vaaditulla tilavuusvirralla.

Tasaista polttoainevirtaa suunniteltaessa on huomioon otettava mm. tarvittava tilavuusvirta, välivaraston tyyppi ja polttoaineen tiheys sekä tiheyden vaihtelut (Kawecki, 2008). Näiden tekijöiden huomiotta jättäminen saattaa aiheuttaa ongelmia, esimerkiksi liian suuren kuljettimen valitseminen saattaa tukkia polttoainevaraston suuaukon. Polttoaineen ominaisuuksien ja laitteiden vaatimusten mukaisesti onkin osattava valita oikeanlaiset laitteet ja ratkaisut.

Kaweckin (2008) mukaan on olemassa kahdentyyppisiä polttoaineen virtauksen hallintalaitteita, volumetrisiä ja gravimetrisiä. Volumetriset kuljetintyytit takaavat tasaisen tilavuusvirran. Tällaiset kuljettimet ovat erittäin sopivia silloin, kun polttoaineen tiheys on lähes vakio, tai kun ei vaadita tarkkaa lämpöarvon tuontia järjestelmään. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi suuret biopolttoainetta käyttävät CFB kattilat. Gravimetriset

kuljettimet puolestaan punnitsevat kuljettamansa polttoaineen, ja kompensoivat tiheyden vaihteluita. Tämän vuoksi tällaiset kuljettimet pystyvät takaamaan tasaisen massavirran. (Kawecki, 2008).

Kuljettavan polttoainemäärän lisäksi kuljettimien suunnittelussa on huomioitava polttoaineiden fyysiset ominaisuudet. Huomioitavia materiaaliominaisuuksia ovat mm. polttoaineen palakoko, virtauskäyttäytyminen, abrasiivisuus sekä korroosiovaikutukset (Mullinger & Jenkins, 2008). Jätepolttoaineet aiheuttavat tyypillisesti suurta abrasiivista kulumista kuljettimiin, kun taas esimerkiksi turve aiheuttaa merkittävää korroosiokulumista (Reinval, 1999). Nämä tekijät on erityisesti huomioitava kuljettimien materiaali- ja laitevalintojen yhteydessä.

3.4.1 Kuljettimet

Kuljettimia käytetään polttoaineen siirtämiseksi esikäsittelyn eri vaiheiden, välivarastojen ja kattilarakennuksen välillä. Kuljetinlinjan suunnittelemiseen ja valintaan vaikuttaa seuraavat tekijät: vaadittu kapasiteetti, kuljetusetäisyys, kuljetuskorkeus sekä polttoaineen materiaaliominaisuudet (Towler & Sinnott, 2013). Lisäksi on huomioitava kuljettimen odotettu käyttöikä, suhteelliset kustannukset sekä mahdolliset kuljetuksenaikaiset materiaalinkäsittelyt, kuten kuivaaminen (Biles, et al., 2006).

Bio- ja jätepolttoaineille käytetään yleisesti ruuvi- ja hihnakuljettimia. Molemmilla kuljetintyypeillä on omat vahvuutensa ja heikkoutensa, ja ne sopivat käytettäväksi eri tarkoituksiin. Kolmas yleinen kuljetintyyppi, kiertoventtiili, soveltuu paremmin käytettäväksi hienojakoisille polttoaineille ja niitä voidaan käyttää annostelemaan polttoainensyöttöä kattilalle. (Kawecki, 2008).

Ruuvikuljettimet ovat nimensä mukaisesti ruuvin muotoisia kuljettimia, jotka kuljettavat materiaalia kierteessään pyörimisliikkeen avulla. Kierteeseen voidaan lisätä teriä kuljetustehon parantamiseksi (Reinval, 1999). Ruuvikuljettimet on valmistettu, tai vahvistettu erikoisteräksillä, joten ne kestävät sekä iskuja, kulumista että korkeita lämpötiloja (Kawecki, 2008).

Ruuvikuljettimet soveltuvat lyhyille kuljetusetäisyyksille sekä myös pieneen nostokulmaan. Näillä kuljettimilla ei kuitenkaan saavuteta yhtä hyvää kapasiteettia kuin hihnakuljettimilla, osittain korkeammasta kitkasta johtuen. Ruuvikuljettimet ovat halvempia ja helpompia huoltaa ja niillä kyetään takaamaan volumetrisesti hallittu materiaalivirta. (Towler & Sinnott, 2013; Kawecki, 2008). Bio- ja jätteenpolttolaitoksissa ruuvikuljettimia käytetään monesti purkamaan polttoaineen välivarastoja.

Hihnakuljetin on rullien päälle suljetuksi lenkiksi sidottu joustava hihna. Kuljettimen koko pituudella on hihnaa tukemassa pienempiä rullia joiden lisäksi kuljettimen päissä on päärullat. Toinen päärullista on kuljetinta ajava. Hihna on tyypillisesti valmistettu muovista tai vahvistetusta kumista (Towler & Sinnott, 2013).

Hihnakuljettimet soveltuvat erittäin monipuoliseen käyttöön ja ovat yleisimpiä kuljettimia kiinteille aineille. Niitä voidaan käyttää monille eri polttoainetyypeille, pitkille ja lyhyille välimatkoille sekä eri nousukulmissa. Nousukulma on riippuvainen kuljetet-

tavan aineen ja hihnan välisestä kitkasta (Towler & Sinnott, 2013). Lisäksi hihnakuuljettimien etuihin lukeutuvat suuri saavutettava kapasiteetti sekä mahdollisuus sekä volumetriseen, että gravimetriseen syöttämiseen. Hihnakuuljettimien heikkouksia ovat mm. hihnamateriaalista johtuva suhteellisen alhainen polttoaineen maksimilämpötila sekä suorien iskujen huono kestävyys (Kawecki, 2008). Toisaalta näihin heikkouksiin voidaan vaikuttaa hihnamateriaalia muuttamalla. Hihnakuuljettimet, tai niitä muistuttavat metalliset kolakuuljettimet, ovat tyypillisesti voimalaitoksen pääkuuljettimia.

Hihnakuuljettimien rajallisilla nousukulmilla on merkittävä vaikutus voimalaitoksen eri osakokonaisuuksien sijoittamisessa, sillä korkeiden nousujen saavuttaminen edellyttää tyypillisesti pitkiä kuljetinpituuksia. Käyttämällä kolakuuljettimia, voidaan saavuttaa hihnakuuljettimia paremmat nousukulmat, ja täten lyhyemmät kuljetusetäisyydet.

Kolakuuljettimet muistuttavat hihnakuuljettimia, mutta niillä on muutamia merkittäviä eroavaisuuksia. Kolakuuljettimissa tasainen hihna on korvattu esimerkiksi metallilevyistä koostuvalla hihnalla, johon on kiinnitetty poikkipaloja. Nämä poikkipalat estävät kuljetettavaa materiaalia valumasta jyrkkienkin nousukulmien aikana, mikä mahdollistaa korkeat nousut. Metallinen hihnamateriaali puolestaan tekee kuuljettimesta kestävämmän sekä teräville, että kuumille materiaaleille. Lisäerona hihnakuuljettimiin, kolakuuljettimet ovat monesti ketjukäyttöisiä. (Couper, et al., 2010). Ketjukäyttöisyys rajoittaa kuuljettimien maksimipituutta: liian pitkillä kuuljettimilla ketjuvoimat nousevat liian korkeiksi jolloin ketjut hajoavat. Hihnakuuljettimilla tällaisia ongelmia ei ole, eikä hihnakuuljettimillä tyypillisesti ole pituusrajoitteita. (Taavitsainen, 2013)

Jos laitosalue on hyvin ahdas, eikä edes kolakuuljettimen mahdollistamia nousukulmia ole mahdollista saavuttaa, voidaan käyttää elevaattoreita. Elevaattorit ovat kolakuuljettimien erityistyyppi, jotka nousevat täysin tai lähes pystysuorasti (Biles, et al., 2006). Elevaattoreissa hihnan poikkilevyt on korvattu kauhoilla, jotka estävät kuljetettavaa materiaalia putoamasta tai valumasta edes pystysuorissa kuljetuksissa. Elevaattorin mahdollistamat erittäin jyrkät, jopa pystysuorat, nousukulmat vaativat merkittävästi vähemmän tilaa muihin kuljetintyyppeihin verrattaessa, mikä mahdollistaa laitoksen eri osien sijoittamisen lähemmäs toisiaan. Elevaattorien haittapuolena ovat kuitenkin luotettavuusongelmat, minkä vuoksi ne eivät ole yleisiä Suomessa (Taavitsainen, 2013).

Taulukossa 3.1 on esitetty tässä kappaleessa käsiteltyjen kuuljettimien sallitut nousukulmat ja maksimipituudet. Nousukulmat riippuvat käsiteltävästä materiaalista, esimerkiksi pohjatuhkalle kolakuuljettimen korkein sallittu nousukulma on 26° , mutta hakkeelle maksimikulma on 35° (Taavitsainen, 2013). Taulukossa esitetyt kulmien arvot ovat voimassa biohakkeelle sekä jätepolttoaineille. Kulmia tarkasteltaessa on hyvä huomioda, että hihna- ja kolakuuljettimet vaativat tasaisen lastausalustan hihnan alkuun (Taavitsainen, 2013).

Taulukko 3.1: Yleisien kuljettimien sallittuja nousukulmia ja maksimipituuksia (Taavitsainen, 2013)

Kuljetintyyppi	Sallittu nousukulma	Maksimipituus
Hihnakuuljetin	15° (10° jäiselle polttoaineelle)	ei ylärajaa
Kolakuljetin	33° – 35°	55 m
Elevaattori	90°	jopa 50 m
Ruuvikuljetin	15° – 20° (jopa 90° mahdollista)	9 m

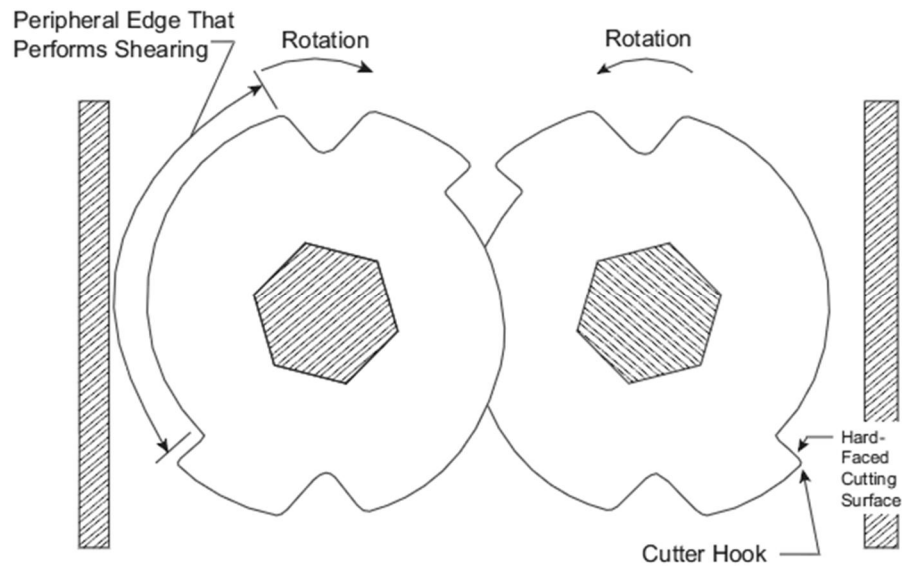
Laitoksen hihnakuuljettimia on mahdollista kahdentaa tietyissä tilanteissa. Kahdentamisella voidaan tavoitella korkeampaa kapasiteettia sekä parempaa käytettävyyttä ja vikojensietoa, minkä lisäksi eri kuljettimien voidaan haluta täyttävän eri polttoainesäiliöitä. Päätös linjojen kahdentamisesta on kuitenkin tehtävä huolellisesti, sillä kahdentamiseen liittyy tiettyjä haittapuolia.

Kuljetinlinjojen kahdentaminen on tietyssä määrin ongelmallista ja merkittävästi yksittäistä linjaa kalliimpaa. Suurempi kuljetinkapasiteetti voidaan saavuttaa edullisemmin käyttämällä yhtä isoa kuljetinta, usean pienen kuljettimen sijaan. Parempaa käytettävyyttä tavoiteltaessa toinen kuljetinlinjoista on varalla, kunnes ensisijainen linja hajoaa. Tässä ongelmana esiintyy kuljettimen voitelu, joka vaatii laitteen ajoittaista käyttöä toimiakseen oikein. Voiteluongelman estämiseksi kuljettimia voidaan ajaa vuorotellen ristiin, mutta tällöin kuljettimet kuluvat nopeammin kuin jatkuvassa käytössä. (Jokitulppo, 2013)

3.4.2 Murskain

Kaweckin (2008) mukaan kiinteiden polttoaineiden murskaus voidaan lajitella neljään ryhmään, jotka ovat: impaktio, hankaus, leikkaaminen ja kompressio. Bio- ja jätepolttoaineet käsitellään pääsääntöisesti leikkausmenetelmällä. Laitteisto on aina valittava tilannekohtaisesti polttoaineen materiaaliominaisuuksien ja vaaditun polttoaineen kappalekoon mukaan.

Kuvassa 3.7 on esitetty kiinteiden polttoaineiden murskaamiseen soveltuvan leikkaavan murskaimen periaatekuva. Murskettava materiaali syötetään akselinsa ympäri pyöriville terille, kuvan 3.7 tapauksessa kuvan yläosasta. Terät menevät osittain limitään, jolloin materiaali pakotetaan terien välisiin ahtaisiin rakoihin joissa se leikkaantuu halutun kokosiin paloihin. Erityisesti jätepolttoaineiden kanssa käytetään tämäntyyppisiä murskaimia.



Kuva 3.7: Kiinteiden aineiden murskaimen periaatekuva (Tillman, et al., 2012)

Polttoainenkäsittelylinjassa murskain on tyypillisesti ensimmäinen laite. Polttoaine voidaan syöttää murskaimeen esimerkiksi askelsyöttimillä. Murskaimen tehtävänä on pienentää polttoaineen kappalekoko sellaiseksi, että se sopii parhaiten poltettavaksi käytössä olevassa kattilassa, mutta myös sellaiseksi, että siitä on mahdollista seuloa ei-toivotut materiaalit pois.

Murskausmenetelmä voidaan valita siten, että käytetään joko yhtä isoa murskainta tai useampaa pientä. Yhden murskaimen tapauksessa polttoaine pienennetään suoraan toivottuun kappalekoko, useamman murskaimen tapauksessa pienennys tehdään vaiheittain. Yhden ison murskaimen hankintakustannukset saattavat olla suuremmat kuin usean pienemmän, mutta toisaalta pienten murskainten tapauksessa voidaan tarvita enemmän seuloja, kuljettimia sekä hallitilaa. On myös huomioitava käyttökustannusten muodostuminen, sillä polttoainenkäsittelylinjan käyttökuluista suurin yksittäinen tekijä muodostuu murskaimen teristä, minkä lisäksi terien vaihtaminen on työlästä (Jokitulppo, 2013). Usean murskaimen linjassa on enemmän teriä vaihdettavana kuin yhden ison murskaimen linjassa.

3.4.3 Seulonta

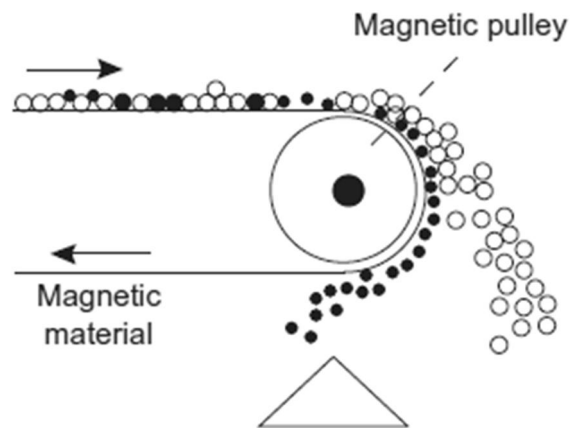
Seulojen avulla pyritään erottamaan toivotut ja ei-toivotut materiaalit toisistaan. Bio- ja jätteenpolttolaitoksen tapauksessa ei-toivottuja materiaaleja polttoainevirrassa ovat esimerkiksi kivet, lasit, PVC-muovit ja metallit. Näiden erottamiseksi on kehitetty monia eri menetelmiä, joita voidaan hyödyntää polttoaineen esikäsittelyssä paremman laadun saavuttamiseksi.

Yksinkertaisin seulontatapa on käsin erottelu. Tässä yhteydessä käsin erottelu soveltuu lähinnä jätteenpolttolaitokselle tuodusta polttoaineesta selvästi ylisuurten ja poltettavaksi kelpaamattomien kappaleiden erottelua. Tällaisia ovat äärimmäisessä tapaukses-

sa jätteen sekaan päätyneet uunit, kylpyammeet tai muut vastaavat selvästi hyödynnettäväksi kelpaamattomat kappaleet.

Toinen yksinkertainen seulontamenetelmä on sihti, jossa kappaleet erotellaan koon perusteella. Sihtien avulla voidaan erotella hiekkaa, lasi- ja keraamimurskaa, orgaanisia materiaaleja, ja muita hienojakoisia aineksia, joiden erottaminen saattaisi muilla tavoilla olla ongelmallista.

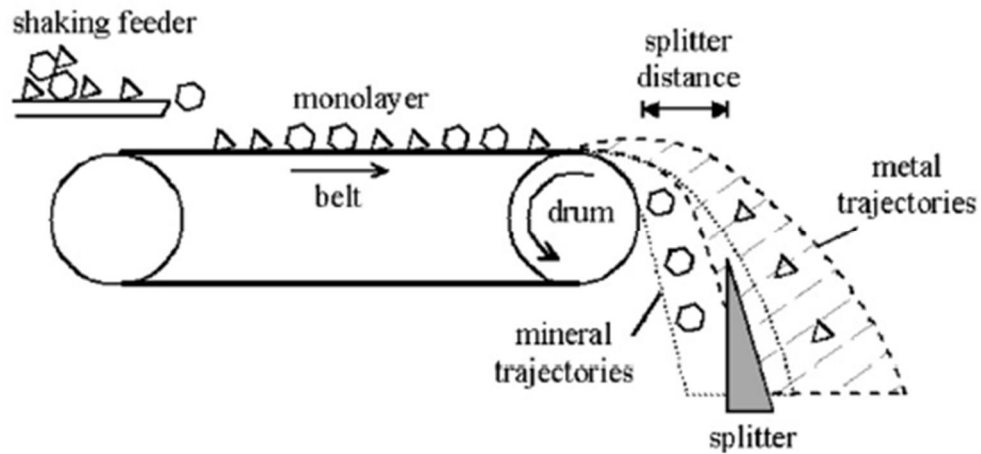
Magneettisten aineiden, useimmiten raudan, erottamiseen voidaan hyödyntää magneetteja. Kuvassa 3.8 on esitetty erään magneettierottimen toimintaperiaate. Kuvan mukaisessa erottimessa materiaalia kuljetetaan hihnalla, jonka päässä on magneettinen hihnapyörä. Hihnan ylittämisen jälkeen ei-magneettiset aineet lentävät hihnan ylitse, mutta magneettiset tarttuvat kiinni magneettiin. Magneetin teho on mitoitettu siten, että magneetti kuljettaa siihen tarttuneet kappaleet tietyn rajan ylitse, jonka jälkeen ne tippuvat tilaan josta ne voidaan kerätä talteen..



Kuva 3.8: Magneettiseulonnan toteuttaminen hihnapyörällä ja heitolla (Towler & Sinnott, 2013)

Magneettierottimien toimintaedellytyksenä on ohut materiaalivirran paksuus sekä kuvan 3.8 kaltaisissa erottimissa lisäksi riittävän suuri hihnanopeus, jotta hihnan päässä kappaleet saavat riittävän heiton (Towler & Sinnott, 2013). Magneettierotin voi sijaita myös kuljettimen yläpuolella, jolloin se poimii magneettiset aineet materiaalivirran seasta, mutta päästää ei-magneettiset ohitse.

Ei-magneettisten metallien, mm. kuparin ja erityisesti alumiinin, erottamiseen voidaan käyttää pyörrevirtaerotinta. Tällainen erotin ei ole riippuvainen materiaalin magneettisuudesta, vaan sähkönjohtavuudesta. Kuvassa 3.9 esitetään pyörrevirtaerottimen toimintaperiaate.



Kuva 3.9: Pyörrevirtaerottimen toimintaperiaate (Rahman & Bakker, 2013)

Kuten magneettierottimien, myös pyörrevirtaerottimien toiminnan edellytyksenä on ohut materiaalivirta. Jos materiaalia on hihnalla paksuna kerroksena, toimivat ulommat materiaalikerrokset eristeenä alempana oleville metalleille. Ohut materiaalivirta voidaan saavuttaa kuvan 3.9 tapaan tärysyötintä käyttämällä.

Yllä esitetyillä seulontamenetelmillä voidaan polttoaineesta poistaa metallit sekä hiekat ja muut pienijakoiset kappaleet. Polttoaineessa on kuitenkin vielä haitallisia aineita jäljellä, biopolttoaineiden tapauksessa tyypillisesti isoja kiviä, jättepolttoaineiden seassa mm. lasia, PVC-muoveja ja keraamisia materiaaleja. Nämä kappaleet on mahdollista poistaa tuuliseulan avulla.

Tuuliseula on laite, jolla kappaleita voidaan seuloa tiheyden perusteella. Polttoaine syötetään seulaan, jossa pidetään yllä suurta ilmavirtausta. Ilmavirta tarraa polttoaineen mukaansa ja kuljettaa sitä seulan lävitse. Virtausnopeus määritellään siten, että raskaat kappaleet, kuten lasi, PVC-muovit, kivet ja jäljelle jääneet metallit eivät lennä pitkälle seulan sisällä, vaan putoavat jo seulan alkupäähän. Sen sijaan kevyemmät kappaleet, jotka ovat tyypillisesti poltettavaksi soveltuvia, lentävä seulan päähän, josta ne kuljetaan edelleen eteenpäin prosessissa. (Jokitulppo, 2013). Tuuliseulojen heikkoudeksi voi laskea, että tyypillisesti myös jonkin verran poltettavaksi kelpaavaa ainetta seuloutuu pois huonojen aineiden mukana.

Tuuliseulan kaltaista seulontaa voidaan tehdä veden avulla etenkin turpeelle. Turpeenpoltossa polttoaineen suurin osa haitallisista aineista on kiviä. Levitettäessä polttoaine veden päälle, putoavat kivet veden pohjalle, mutta turve kelluu veden pinnalla.

3.4.4 Kuivain

Kuivainta käytetään polttoaineen kosteuspitoisuuden alentamiseen, ja täten lämpömäärän kasvattamiseen. On olemassa monentyyppisiä kuivaimia, esimerkiksi suorarumpu-, hihna- ja siilokuivureita. Kuivurit voivat hyödyntää lämpövastuksia, tai voimalaitoksen hukkalämpöä. (Alpua, 2011)

Alpua on tutkinut diplomityössään ”Biopolttoaineen kuivaus voimalaitoksessa” (2011) kuivaimen käytöstä saatavaa hyötyä ja taloudellisia kustannuksia Rauhalahden voimalaitoksessa. Työssään Alpua on todennut, että kuivaimen avulla on mahdollista saavuttaa kattilan korkeampi hyötysuhde sekä alhaisemmat hiili- ja rikkidioksidin päästöt. Taloudellisia kustannuksia tarkasteltaessa työssä todettiin, että saavutettu hyötysuhteen kasvu ei riitä kattamaan kuivaimen kustannuksia, eikä kuivaimesta saatu taloudellisesti kannattavaa.

Myös Kawecki (2008) toteaa, että CFB-kattilat eivät edellytä polttoaineen kuivaamista tai esilämmittämistä. Sama pätee myös BFB-kattiloihin. Näistä syistä johtuen ei kuivaimia käsitellä tässä työssä tätä tarkemmin.

3.5 Polttoainevarastot

Voimalaitoksella on oltava polttoainevarasto, jolla voidaan taata voimalaitoksen toiminta häiriötilanteissa, kuten polttoainetoimitusten katketessa. Eri polttoaineille voidaan käyttää erilaisia varastotyyppisiä, jotka voidaan sijoittaa tapauskohtaisesti ennen tai jälkeen polttoaineenkäsittelyä. Varastojen koko, riippumatta varasto- tai polttoainetyypistä, perustuu tyypillisesti kolmeen eri muuttujaan (Kawecki, 2008):

1. Kuinka paljon polttoainetta käytetään.
2. Millaiset mahdollisuudet laitoksella on varastojen täydentämiseen.
3. Kuinka usein polttoainetäydennyksiä saapuu.

Polttoaineen käyttömäärä voidaan laskea tarvittavan lämpötehon perusteella, jos tiedetään tarvittavat hyötysuhteet ja polttoaineen materiaaliarvot. Kun tiedetään kattilalta vaadittu polttoaineteho, voidaan polttoaineen lämpöarvon avulla laskea kattilaan tarvittava polttoaineen massavirta. Massavirrasta voidaan laskea tiheyden avulla polttoainetta vaadittu tilavuusvirta. (Kawecki, 2008). Saadusta tilavuusvirrasta voidaan edelleen laskea laitoksen polttoaineentarve tietyn ajanjakson aikana.

Laitoksen varastojen täyttämismahdollisuus perustuu esimerkiksi polttoaineen vastaanotossa työskentelevien työntekijöiden määrään sekä polttoainekuljetuksia koskeviin rajoitteisiin. Jos polttoaineenkäsittelyssä työskennellään yhdessä vuorossa, täytyy laitoksen pystyä vastaanottamaan koko vuorokauden polttoainetarve tämän yhden työvuoron aikana. Vastaavasti jos polttoainekuljetuksia ei voida tehdä viikonloppuisin, on laitoksella oltava riittävät polttoainevarastot jotta laitosta voidaan käyttää viikonlopun ylitse. Nämä rajoitteet asettavat omat vaatimuksensa myös polttoaineen vastaanottoaseman suunnittelulle.

Koska jäte on erittäin epähomogeeninen polttoaine, vaihtelee polttoaineen lämpöarvo merkittävästi. Tämä tarkoittaa myös vaihtelua kattilan tarvitsemassa tilavuusvirrassa. Nämä vaihtelut polttoaineenlaadussa voivat myös vaikuttaa polttoaineenkäsittelyaikoihin. Myös biopolttoaineilla saattaa ilmetä vastaavia ongelmia, mutta pääsääntöisesti

biopolttoaineiden vaadittu tilavuusvirta on paremmin arvioitavissa. Tässä yhteydessä on myös huomioitava laitoskohtainen kattilan herkkyys lämpöarvon heilahteluille.

Polttoainevarastoille voidaan tehdä herkkyystutkimus, jolla voidaan selvittää polttoaineentarpeet paitsi vaihtelevalla polttoainelaadulla, myös kattilan eri käyttöasetuksilla sekä varastojen purkuasetuksilla. Herkkyystutkimuksen tarkoituksena on minimoida polttoaineen loppumisen riski (Kawecki, 2008).

Kaweckin (2008) esittämien muuttujien lisäksi varastokokoja suunniteltaessa on huomioitava laitoksen käytettävyys. Tämä tarkoittaa, että laitokselle on monesti suunniteltava ja mitoitettava valmiin polttoaineen varasto polttoaineenkäsittelylaitteiston häiriötilanteen varalle.

3.5.1 Varastotyypit

Yksinkertaisin tapa varastoida polttoaineita on avokasat. Tämä sopii erityisesti polttoaineille joiden laatu ei heikkene ympäristön vaikutuksesta. Tällaiset varastot ovatkin yleisiä hiiltä käyttävissä voimalaitoksissa (Miller, 2011), mutta myös biopolttoaineita voidaan säilöä näin. Sen sijaan jätepolttoaineita ei haju- ja hygieniasyistä voida säilöä avokasoihin. Avokasoja voidaan tyhjentää hihnakuuljettimilla, nostureilla sekä pyöräkuormaajilla (Biles, et al., 2006)

Avokasan kattamisella polttoaine saadaan suojattua sateelta sekä muilta ympäristötekijöiltä. Jos polttoaineet tarvitsevat parempaa suojaa, tulee käyttää erilaisia säiliöitä ja varastoja. Joissain tapauksissa voidaan käyttää pohjalta tyhjennettäviä siiloja joiden pohjassa on kartiomainen kavennus. Tällaisia siiloja kutsutaan purkusiiloiksi ja niitä voidaan käyttää voimalaitoksissa mm. tuhkan varastointiin. Sen sijaan suurimittaiselle bio- ja jätepolttoaineiden varastoinnille ne eivät sovellu näiden polttoaineiden huonojen virtausominaisuuksien vuoksi (Mullinger & Jenkins, 2008). Käsittelemättömiä bio- ja jätepolttoaineita voidaan säilöä esimerkiksi bunkkereihin tai tasapohjaisiin siiloihin. Molempien polttoaineiden kohdalla valmis polttoaine varastoidaan tyypillisesti tasapohjaisiin pyöreäseinäisiin siiloihin.

Siiloksi kutsutaan säiliöitä, joiden korkeuden suhde halkaisijaan on suurempi kuin 1,5. Säiliöitä joilla tämä suhde on alle 1,5 kutsutaan bunkkereiksi. (Towler & Sinnott, 2013). Siilot ovat tyypillisesti maan päällä, mutta bunkkereissa voidaan osa korkeudesta kaivaa maan alle. Bunkkerit voidaan valmistaa merkittävän suuriksi, jolloin voidaan taata suuret polttoainevarastot. Toisaalta lähes vastaavat tilavuudet on mahdollista saavuttaa rakentamalla useita kookkaita siiloja.

Tasapohjainen siilo on ylhäältä kartiomainen. Siilo täytetään kuuljettimilla jotka tuovat polttoaineen siilon ylle, josta polttoaine levitetään tasaisesti siilon sisälle. Siilon tyhjentäminen tapahtuu ruuvikuljettimella, joka siirtää polttoaineen siilosta sen alapuolella olevaan hihnakuuljettimeen. Tällaiset siilot ovat ”ensimmäisenä sisään, ensimmäisenä ulos” -tyyppisiä, mikä takaa polttoaineen vaihtumisen siilon sisässä.

Toisin kuin siilo, bunkkeri on polttoainevarastona ”viimeisenä sisään, ensimmäisenä ulos” -tyyppinen. Tämä tarkoittaa, että huonoimmassa tilanteessa bunkkerin pohjalle

jäävä materiaali ei vaihdu, vaan jää säiliön pohjalle pitkiksi ajoiksi. Tällaisissa olosuhteissa kotitalousjätteen seassa olevat orgaaniset aineet alkavat mädäntyä, mikä aiheuttaa omat terveysturvallisuusriskinsä. Lisäksi mätänemisen yhteydessä vapautuu metaania.

Bunkkerit tyhjenetään tyypillisesti siltanosturilla, jonka avulla jätettä voidaan sekoittaa, ja pyrkiä täten tasaamaan jätteiden varastointiaikoja. Siltanosturi kuitenkin vaikeuttaa bunkkerin turvallisuutta, sillä nosturin vuoksi bunkkeria ei voida peittää työntekijöiden putoamisen estämiseksi. Sen sijaan bunkkeri on ympäröitävä mahdollisimman hyvin. Bunkkerin reunoille on kuitenkin jätettävä tilat kuorman tyhjentämistä varten.

Yllä esitettyjen seikkojen lisäksi bunkkeri tarvitsee myös viemäroinnin, jotta polttoaineen mukana sekä purkamisen yhteydessä bunkkeriin ajautuva vesi saadaan tyhjenettyä. Purkamisen yhteydessä bunkkeriin voi joutua vettä esimerkiksi kuljetusauton katolla olevana lumena.

3.5.2 Välivaraston sijoittaminen

Voimalaitoksilla on yleensä kattilan välittömään läheisyyteen sijoitettavat ”päiväsiilot”, joissa on valmista polttoainetta. Päiväsiilot tasaavat polttoainevirran kattilaan, minkä lisäksi niiden avulla voimalaitosta voidaan käyttää tyypillisesti muutamien tuntien ajan, jos polttoaineen syöttö muuten katkeaa. Päiväsiilojen lisäksi voimalaitokseen tarvitaan kuitenkin isommat välivarastot, puskurivarastot, takaamaan laitoksen toiminta öisin, viikonloppuisin sekä ongelmatilanteiden aikana.

Puskurivaraston sijoittaminen täytyy aina tehdä tapauskohtaisesti polttoainetyypin, polttoaineen esikäsitteilyn tarpeen sekä muiden vastaavien muuttujien mukaan. Usein biopolttoaineille voidaan puskurivarastona käyttää polttoaineen sijoittamista avokentille tai bunkkeriin, mutta jätepolttokäsitteilylle puskurivaraston sijoittaminen on monimutkaisempaa.

Avokentät ja bunkkerit toimivat hyvin biopolttoaineiden puskurivarastona, sillä tällaisten voimalaitosten tarvitsema polttoaineen tilavuusvirta on monesti korkea, mutta polttoaineenkäsittelylinjasto on tyypillisesti hyvin yksinkertainen. Yksinkertaisuuden vuoksi polttoaineenkäsittelylinjan ongelmista ei seuraa pitkiä huoltokatkoja, eikä linjan kahdentaminenkaan ole välttämättä taloudellinen este. Jos biopolttoaineiden puskurivarasto sijaitsisi polttoaineenkäsittelyn jälkeen, tarvittaisiin joko erittäin suuret siilovarastot, tai polttoaine pitäisi säilöä uudelleen avokasoihin, mikä monimutkaistaisi materiaallivirtojen käsittelyä merkittävästi.

Jätepolttokäsitteilyä käyttävän arinakattilan tapauksessa alueelle tuotava polttoaine tyhjenetään monesti bunkkerivarastoon, josta se voidaan suoraan nostaa poltettavaksi ilman tarvetta esikäsitteilylle. Tällöin bunkkeri toimii myös laitoksen puskurivarastona. Jätettä käyttävissä leijukerroskattiloissa tarvitaan kuitenkin merkittäviä polttoaineenkäsittelyjärjestelmiä, jolloin puskurivaraston sijoittamisen suunnitteleminen on haasteellisempaa.

Jätettä polttavien leijukerroskattiloiden tapauksessa jäte voidaan tyhjentää bunkkeriin, kuten vastaavissa arinakattilalaitoksissa. Bunkkerista jäte ohjataan esikäsitteilylin-

jaston lävitse, josta se lopulta etenee poltettavaksi. Jos esikäsitteilylinja on poissa käytöstä, esimerkiksi huollon vuoksi, ei käyttökelpoista polttoainetta synny, eikä voimalaitosta voida käyttää. Tällöin bunkkeri ei toimi puskurivarastona. Ongelmatilanteiden varalle polttoaineen esikäsitteilylinja on mahdollista kahdentaa, jolloin polttoainetta voidaan käsitellä myös huollon aikana. Jättepolttoaineiden käsitteilylinjan kahdentaminen on kuitenkin kallista, minkä lisäksi toinen linjoista seisoisi käyttämättömänä suurimman osan ajasta.

Kaksinkertaisen esikäsitteilylinjan sijaan voidaan käyttää myös kattilan ja polttoaineenkäsittelyn väliin sijoitettavaa siilovarastoa, mutta tämäkään ei ole ongelmatonta. Jos ennen polttoaineenkäsittelyä on bunkkeri, ja käsittelyn jälkeen on siilovarasto, on laitoksella käytännössä kaksi puskurivarastoa. Tällaisen tilanteen välttämiseksi saattaa-kin olla tarpeen jättää polttoaineenkäsittelyä edeltävä bunkkerivarasto kokonaan pois ja käyttää vain yhtä polttoaineenkäsittelylinjaa. Tällöin tämä ainoa linja tulee mitoittaa siten, että se kykenee käsittelemään kaiken laitokselle tuodun jätteen ilman jonon kertymistä. Lisäksi polttoaineenkäsittelylinjan jälkeinen siilovarasto on mitoittettava riittävän isoksi siten, että sillä pystytään ajamaan voimalaitosta viikonloppujen yli sekä mahdollisten polttoaineenkäsittelylinjan huoltokatkojen aikana.

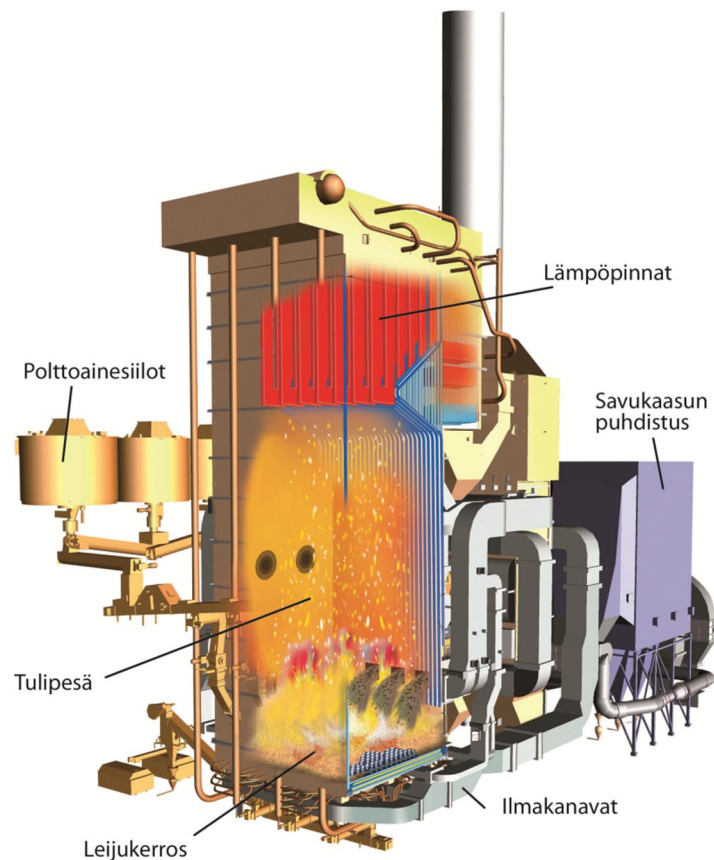
3.6 Bio- ja jätteenpolton kattilatyytit

Polttoaineenkäsittelystä syntyvä valmis polttoaine johdetaan kuljettimilla kattilarakennukseen. Kattilarakennuksessa on monesti pieni välivarasto, päiväsiilo, joka tasaa polttoainevirran kattilaan. Päiväsiilosta polttoaine johdetaan kattilan tulipesään poltettavaksi. Palamisesta vapautuva lämpö kerätään talteen kattilan seinärakenteissa kiertävän veden avulla. Laitoksen tyyppistä riippuen, talteen kerätyn lämmön avulla tuotetaan joko sähköä, kaukolämpöä tai höyryä prosessiteollisuudelle tai useampaa näistä samanaikaisesti.

Biopolttoaineiden ja jätteiden polttoon voidaan tyyppillisesti käyttää arina- tai leijukerroskattilaa. Leijukerroskattilat voidaan jakaa leijupetikattilaan ja kiertopetikattilaan. Arinakattilat ovat yksinkertaisempia ja edullisempia kuin leijukerroskattilat, eivätkä ne aseta merkittäviä vaatimuksia polttoaineen laadulle kuten leijukerroskattilat. Arinakattiloiden hyötysuhteet ovat kuitenkin alhaisemmat. Arinakattiloilla saavutettavissa oleva sähkötehon hyötysuhde on luokkaa 28 %, kun vastaava luku leijupetikattiloille on 35 % ja kiertopetikattiloille 41 % (Vainikka, et al., 2012). Tässä työssä keskitytään ensisijaisesti leijukerroskattiloihin.

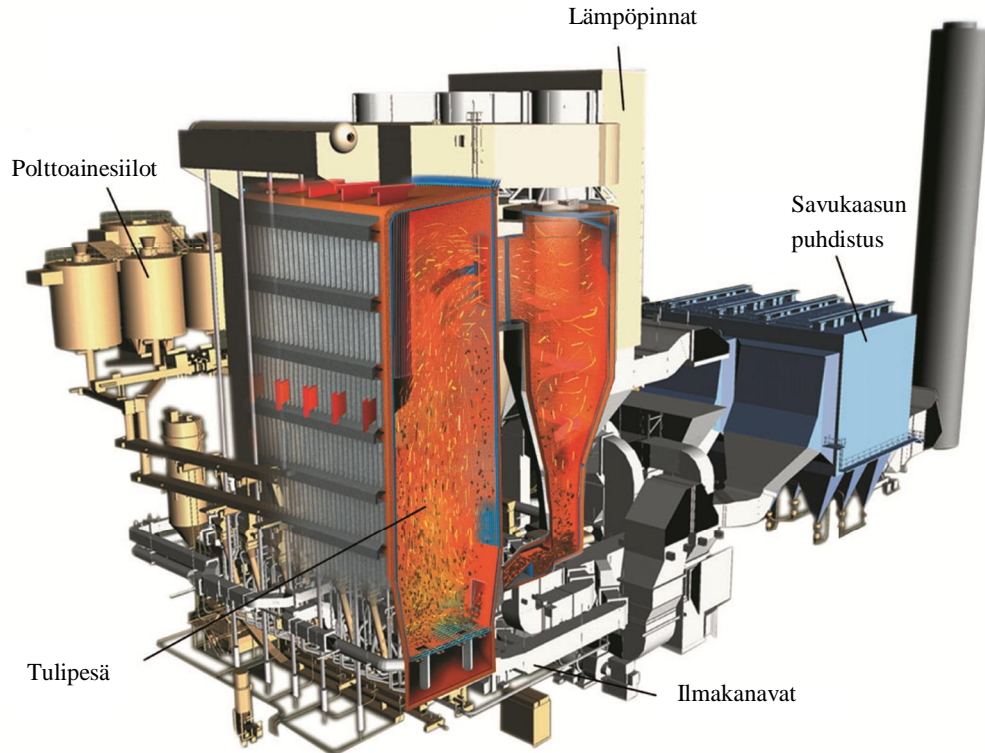
Leijukerroskattiloissa palamispeti muodostuu inertistä materiaalista, useimmiten hiekasta, jota leijutetaan kattilan alapäästä puhalletulla ilmavirralla. Seisokkien aikana petimateriaali makaa arinan päällä. Petimateriaalin leijutuksen tarkoituksena on levittää polttoaine tasaisesti koko polttoalueelle, taata polttoaineen hyvä sekoittuminen sekä lämmittää polttoaine syttymislämpötilaan. Petimateriaali sitoo myös paljon lämpöä, jolloin se tasaa kattilan toimintaa. (Miller & Miller, 2008)

Kattilan leijutusominaisuudet saadaan aikaan puhaltamalla ilmaa petimateriaalin lävitse suurella nopeudella. Ilman nopeuden ylittäessä petimateriaalin partikkelien putoamiskiihtyvyyttä vastaavan rajan, alkaa peti leijua. Ilma virtaa petimateriaalin lävitse kuplina, jolloin petimateriaali fluidisoituu ja sen pinta kuplii kuin kiehuva vesi. Kattilassa on havaittavissa selkeä rajapinta, jonka päällä palaminen tapahtuu (Huhtinen, et al., 1994). Tällaisella leijutusominaisuudella toimivaa kattilatyyppeä kutsutaan leijupetikattilaksi (bubbling fluidized bed, BFB). Kuvassa 3.10 on esitetty tällaisen kattilan periaatekuva.



Kuva 3.10: Leijupetikattilan periaatekuva sekä tärkeimmät komponentit (© Metso Power Oy)

Lisättäessä ilman nopeutta edelleen, saavutetaan partikkelien lentoonlähtönopeus. Tällöin ilmavirta nostaa partikkelit lentoon, eikä selkeää petin rajakerrosta pystytä enää erottamaan. Palaminen tapahtuu tasaisesti koko kattilassa, polttoaineen sekoittuessa yhteen lennossa olevien petimateriaalin partikkelien kanssa. Kattilatilan jälkeen partikkelit ohjataan sykloniin, jossa kiinteät materiaalit erotetaan savukaasuista ja ohjataan takaisin kattilaan (Huhtinen, et al., 1994). Tällaista kattilaa kutsutaan kiertopetikattilaksi (circulating fluidized bed, CFB). Kuvassa 3.11 on esitetty tällaisen kattilan periaatekuva.



Kuva 3.11: Kiertopetikattilan periaatekuva sekä tärkeimmät komponentit (© Metso Power Oy)

Leijukerroskattiloissa petimateriaali lämmitetään käyttölämpötilaan öljy- tai kaasupolttimilla. Kun polttoaine lisätään kattilaan, se kuivuu ja syttyy joutuessaan kosketuksiin kuuman petimateriaalin kanssa. Koska petimateriaalia on paljon, siihen varautuu suuri lämpömäärä mikä tasoittaa palamisprosessia. Lisäksi polttoaine on tyypillisesti pitkään kosketuksissa petimateriaalin kanssa, minkä vuoksi voidaan saavuttaa pitkät palamisajat ja tehokas palaminen.

Myös leijukerroskattiloissa tavoiteltu tulipesän korkea turbulentsisuus auttaa tehokkaan palamisen saavuttamisessa. Korkea turbulentsisuus takaa paitsi tasaisen lämmönjakautumisen kattilan sisällä ja hyvän lämmönsiirron putkistoihin, mutta myös hyvän sekoittumisen palamisilman hapen kanssa (Miller & Miller, 2008). Tehokas polttoaineen ja hapen sekoittuminen mahdollistavat alhaisempien lämpötilojen käyttämisen, yleiset leijukerroskattiloiden lämpötilat ovat luokkaa 750 – 900 °C. (Miller & Miller, 2008; Huhtinen, et al., 1994). Nämä lämpötilat ovat tyypillisesti liian alhaisia tuhkan sulamiselle, mikä on merkittävä likaantumisen aiheuttaja.

Leijukerroskattiloiden petimateriaaliin sitoutunut korkea lämpömäärä sekä tehokas palaminen mahdollistavat hyvin monipuolisen polttoainevalikoiman käytön. Leijukerroskattiloissa voidaan hyödyntää kosteita ja huonolaatuisia polttoaineita sekä sellaisia polttoaineita, joiden hyödyntäminen muilla menetelmillä saattaisi olla haasteellista. (Miller & Miller, 2008; Huhtinen, et al., 1994). Sopivia polttoaineita ovat mm. eri hiili-tyypit, renkaat, muovit, kosteat lietteet, turve, puunkuori sekä muut biomassat ja jäte-

polttoaineet (Miller & Miller, 2008). Näitä polttoaineita voidaan käyttää joko yksin tai yhdessä muiden polttoaineiden kanssa.

Kuten aiemmin todettiin, kosteiden polttoaineiden hyödyntäminen ei ole ongelma leijukerroskattiloissa. Sen sijaan hyvin kuivaa polttoainetta käytettäessä kattilan lämpötila saattaa nousta liian korkeaksi, ja kattilaa joudutaan jäähdyttämään. Osittain tämän vuoksi polttoaineen kuivaaminen ei ole tarpeen leijukerroskattiloissa (Alpua, 2011).

Yhteenvedona leijukerroskattiloiden eduista voidaan todeta mm. korkea palamisen hyötysuhde, hyvä lämmönsiirto, korkea polttoainejoustavuus sekä alhaiset NO_x - ja SO_2 -päästöt (Miller & Miller, 2008). Alhaiset typenoksidien päästöt ovat seurausta näiden kattiloiden matalammista käyttölämpötiloista, jolloin typenoksideja ei muodostu yhtä paljoa kuin muissa kattiloissa. Rikkipäästöjä puolestaan voidaan hallita tehokkaasti lisäämällä tulipesään kalkkia. Korkeassa lämpötilassa kalkki sitoo rikin ja muodostaa kipsiä, joka voidaan kerätä tuhkan mukana kattilasta. (Huhtinen, et al., 1994)

Leijukerroskattiloiden heikkoutena perinteisiin kattiloihin nähden voidaan pitää suurempaa kiinteiden aineiden käsittelytarvetta. Merkittävän polttoaineenkäsittelylaitteiston lisäksi tällaisissa kattiloissa joudutaan käsittelemään myös petimateriaalia, kalkkia, ammoniakkia sekä muita kemikaaleja. Lisäksi leijukerroskattiloissa syntyy suurempia määriä N_2O :ta. (Miller & Miller, 2008)

Seuraavissa kappaleissa on esitetty pääpiirteissään leijupeti-, kiertopeti- sekä arinakattiloiden toiminta ja yleispiirteet. Kattilatyyppjä ei ole tarkoitus esittää kaikenkattavasti, sillä työn pääpaino on kokonaisten laitosten suunnittelemisessa.

3.6.1 Arinakattila

Arinapoltto on vanhin kattilatyypeistä. Arinakattilassa käytettävä polttoaine poltetaan kattilan pohjalla olevan tukirakenteen, arinan, päällä. Arina voi olla joko kiinteä tai hitaasti liikkuva, eri arinatyyppjä ovat mm. kiinteä taso-, alasyöttö, mekaaninen ketju- sekä valssiarina (Huhtinen, et al., 1994). Yhdyskuntajätteitä poltettaessa ketju- ja viistoarinat ovat yleisiä, viistoarinoita käytetään myös puun ja puujätteiden polttoon (Marx & Morin, 2008).

Arinapoltoissa polttoaine on monesti esilämmitettävä ja kuivattava, jotta voidaan taata koko polttoaineen palaminen. Tämän vuoksi erityisesti kosteat polttoaineet, kuten monet biopolttoaineet, saattavat olla ongelmallisia. Arinapoltoissa voidaan hyödyntää vain kiinteitä polttoaineita (Huhtinen, et al., 1994). Merkittävänä etuna on kuitenkin alhaiset polttoaineen kappale- ja raekokoon kohdistuvat vaatimukset (Vainikka, et al., 2012).

Arinakattiloiden huono hyötysuhde leijukerroskattiloihin verrattaessa johtuu arinakattiloiden palamisominaisuuksista. Polttoaineet eivät pala yhtä tehokkaasti ja täydellisesti, palamatonta polttoainetta nousee kaasuvirtauksen savukaasujen mukana, minkä lisäksi palamatonta polttoainetta ajautuu myös pohjatuhkan sekaan. Suuremman palamattomien polttoaineiden osuuden lisäksi, palaminen ei tapahdu yhtä tasaisesti kat-

tilan tilavuusalueella. Tästä johtuen lämmönsiirto ei tapahdu yhtä tehokkaasti kuin leijukerroskattiloissa.

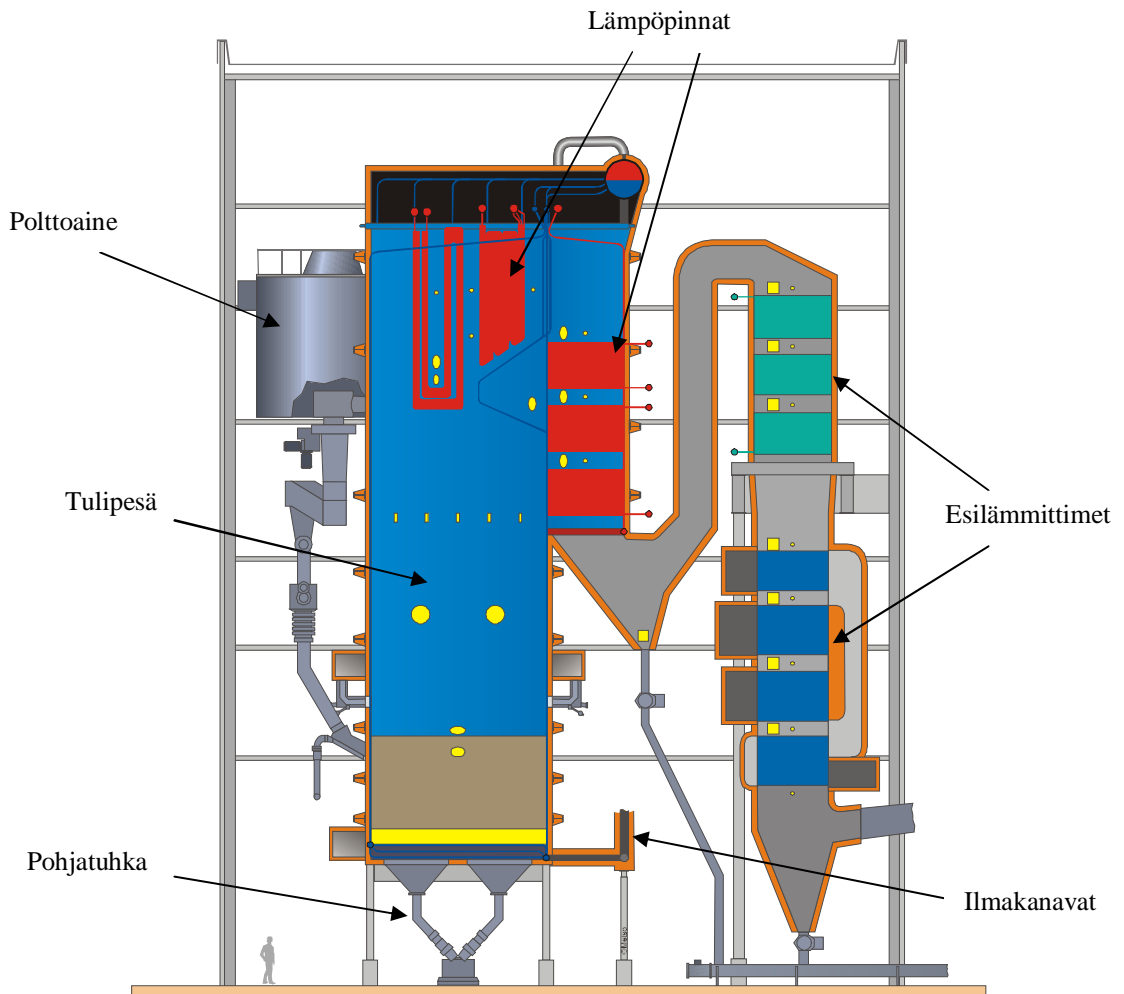
Yksinkertainen toiminta on arinakattiloiden merkittävin etu. Sen lisäksi että tällaiset kattilat ovat halvempia valmistaa, ne eivät aseta suuria vaatimuksia polttoaineiden esikäsittelylle. Esimerkiksi jätteenpolttolaitoksissa jäte voidaan lähes sellaisenaan syöttää kattilaan, ilman murskausta tai seulontaa. Tällöin kustannuksissa säästetään edullisemman kattilan ohella myös polttoaineenkäsittelylaitteiden osalta. Toisaalta näin toimittaessa polttoaineeseen sekoittuneet metallit ja muut palamattomat kulkeutuvat kattilan lävitse, ja ne on kerättävä pohjatuhkan seasta kattilan jälkeen.

3.6.2 Leijupetikattila

Kahdesta yleisestä leijukerroskattilatyypistä leijupetikattilat (BFB) ovat yksinkertaisempia. Näissä kattiloissa ilmavirralla saatetaan palamispetin pinta kuplivaksi, mikä tehostaa polttoaineen sekoittumista ja täten parantaa palamista.

Kattilassa käytettävä kaasun nopeus valitaan siten, että saavutetaan tasainen fluidisaatio ja täten tehokas polttoaineen sekoittuminen, mutta kuitenkin niin, että mahdollisimman vähän materiaalia lähtisi lentoon kattilan sisällä (Miller & Miller, 2008). Ilma nousee petimateriaalin lävitse kuplina, mistä johtuu petin kuplivuus. Seisokkien aikana petimateriaali lepää arinatason päällä. Taso on suunniteltu siten, että se estää hiekkaa putoamasta kokonaan, mutta päästää kuitenkin puhallusilman lävitseen. Samalla arinataso levittää puhallusilman tasaisesti koko petin alueelle.

Kuvassa 3.12 on esitetty leijupetikattilan periaatekaavio. Polttoaine syötetään joko mekaanisesti tai pneumaattisesti petin pinnalle, jossa palaminen tapahtuu. Myös rikinpoistoon käytettävä kalkki syötetään tällä tavoin. Mekaanisen polttoaineensyötön etuna pneumaattiseen nähden on alhaisempi polttoaineen laatuvaatimus (Huhtinen, et al., 1994). Polttoaineen palamisessa vapautuvat savukaasut ohjataan pois tulipesän yläosassa sijaitsevien kanavien kautta. Savukaasukanavaan on sijoitettu lämpöpinnat kuten tulistimet ja esilämmittimet. Kanavan jälkeen savukaasut ohjataan puhdistettavaksi ja edelleen savupiippuun, jotka ovat esimerkkikuvan ulkopuolella.



Kuva 3.12: Leijupetikattilan periaatekaavio (© Metso Power Oy)

Osa leijupetikattilan hiekasta nousee lentoon ilmavirran ja savukaasujen vaikutuksesta. Lentoon lähtenyt palamaton polttoaine, petimateriaali ja hienojakoinen lentotuuhka poistuvat tällöin savukaasujen mukana. Tällä tavoin poistunut palamaton polttoaine heikentää kattilan höytysuhdetta.

Karkeajakoinen tuuhka sekoittuu petimateriaaliin, josta se poistetaan laskemalla osa petimateriaalista pois kattilasta, puhdistamalla materiaali, ja syöttämällä se takaisin kattilaan (Huhtinen, et al., 1994). Jos tuuhka sulaa ja tämän jälkeen sekoittuu petimateriaaliin, voi seurauksena syntyä suuria kovia kappaleita joiden poistaminen kattilasta on ongelmallista (Huhtinen, et al., 1994). Sama ongelma esiintyy myös kiertopetikattiloilla.

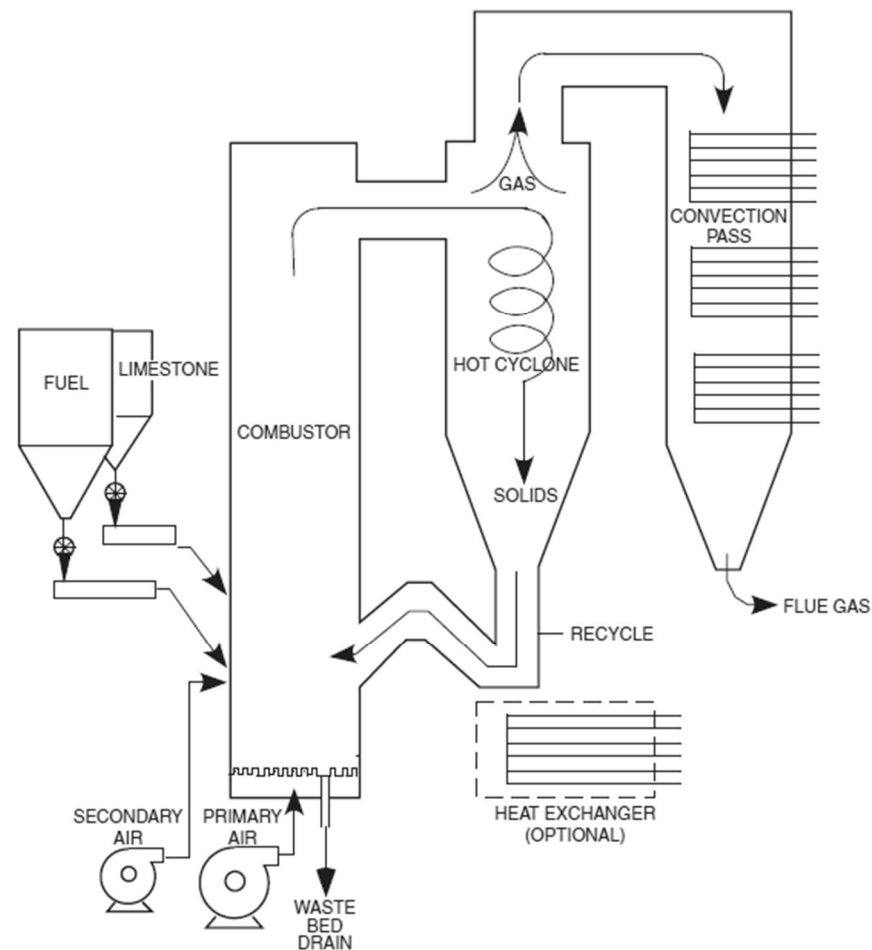
Petimateriaalin määrä kattilassa vähenee jatkuvasti. Fluidisoituneen petimateriaalin partikkelit hankautuvat jatkuvasti tosiaan vasten, jolloin partikkelit hienontuvat. Syntyneet pienet partikkelit poistuvat kattilasta savukaasun mukana. (Huhtinen, et al., 1994). Myös isokokoisempia petimateriaalipartikkeleita poistuu savukaasujen mukana. Vähenevän petimateriaalin vuoksi kattilaan on jatkuvasti lisättävä uutta petimateriaalia kuluun korvaamiseksi.

Leijupetikattilat ovat tyypillisesti kooltaan pienempiä kuin kiertopetikattilat, käytössä olevien kattiloiden keskikoko on n. 30 MW_e (Miller & Miller, 2008). Tulevaisuudessa kiertopetikattiloiden uskotaan olevan merkittävämmässä osassa, minkä vuoksi leiju-

petikattiloiden kehitys keskittyy polttoainejoustavuuden takaamiseen, rakenteiden, ylläpidon ja hyötysuhteen parantamiseen sekä kustannusten karsimiseen (Miller & Miller, 2008).

3.6.3 Kiertopetikattila

Kiertopetikattila on toiminnaltaan leijupetikattilaa merkittävästi monimutkaisempi ja siinä on huomioitava monia seikkoja, jotka eivät välttämättä ole ongelmallisia leijupetin tapauksessa. Nostettaessa leijutuskaasun nopeutta yli partikkelien vapaapudotuksen rajan, nousevat partikkelit lentoon ilman mukana. Tällöin ne kulkeutuvat pois kattilasta, jolloin tarvitaan laitteet partikkelien palauttamiseksi. Selvää palamispetin pintaa ei ole havaittavissa, mutta petin tiheys pienenee mentäessä kattilassa korkeammalle. Kuvassa 3.13 on esitetty kiertopetikattilan toimintaperiaate.



Kuva 3.13: Kiertopetikattilan toimintaperiaate (Miller & Miller, 2008)

Ensimmäisenä erona leijupetiin on hyvä huomata petimateriaalin leijutukseen tarvittava merkittävän suuri ilmavirta, minkä seurauksena suuri osa palamisilmasta saadaan leijutuskaasun yhteydessä kattilan alaosasta. Tämä on niin sanottu primääri-ilma. Lisäk-

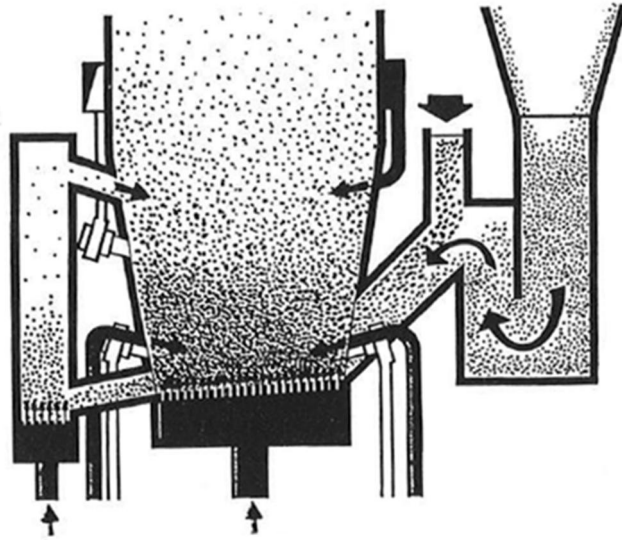
si osa palamisilmasta tuodaan tulipesän sivuista eri korkeuksille niin sanottuina sekundaari- ja tertiääri-ilmoina. Näiden tarkoituksena on taata tasainen palaminen koko tulipesän korkeudella. Jos palaminen tapahtuu pelkästään tulipesän alaosassa, alaosan lämpötila nousee huomattavasti korkeammaksi kuin yläosan. Palamista voidaan tasata myös käyttämällä leijutuskaasuna ilman lisäksi kattilasta jo poistuneita savukaasuja. Näin leijutuskaasun happipitoisuus vähenee, ja palaminen siirtyy ylemmäs.

Polttoaineen syöttö palotilaan voidaan tehdä joko syklonin jälkeisen paluukierron yhteydessä, tai suoraan tulipesään etuseinän kautta, kuten leijupetikattiloissa (Huhtinen, et al., 1994). Kun polttoainetta syötetään kattilaan, tempautuu se petimateriaalin mukaan. Petimateriaali sytyttää polttoaineen palamaan. Samalla polttoaine ja petimateriaalin partikkelit kasaantuvat isommiksi painaviksi ryppäiksi, vajoavat alaspäin kattilassa, hajoavat pienemmiksi kevyiksi kappaleiksi ja nousevat jälleen ylemmäs. Tämän edestakaisen liikkeen vuoksi materiaali nousee ylös hitaammin kuin kaasu. Koska polttoainetta palaa koko materiaalin nousemisen ajan, pystytään saavuttamaan korkeita palamisaikoja. Turbulentin luonteen vuoksi palaminen tapahtuu myös tasaisesti koko kattilan sisällä, jolloin saadaan hyvä lämmönsiirto putkistoihin. (Miller & Miller, 2008; Huhtinen, et al., 1994). Lisäksi palamistehokkuutta parantaa kiertopetikattilassa käytetty petimateriaalin pieni partikkelikoko.

Polttoaine ja petimateriaali päätyvät lopulta pois tulipesästä savukaasujen mukana. Materiaalivirta ohjataan sykloniin, jossa kiinteät materiaalit erotetaan savukaasuista, ja palautetaan tulipesän alapäähän. Hienojakoiset partikkelit, kuten lentotuhka, poistuvat syklonissa savukaasujen mukana. Palamattomat materiaalit saadaan kuitenkin takaisin poltettavaksi, jolloin polttoaineen palamisaika pitenee entisestään. Tällä tavoin pystytään palamattomien polttoaineiden määrä saamaan mahdollisimman alhaiseksi, myös huonolaatuisilla ja hyvin kosteilla polttoaineilla. Samalla saavutetaan parempi rikin talteenotto, kun kalkkiin sitoutumaton rikki palautetaan kattilaan. Toisaalta tämänkaltainen toimintarakenne tarkoittaa, että kiertopetikattilaa ei voida käyttää ilman tehokkaita sykcloneita. (Miller & Miller, 2008; Huhtinen, et al., 1994)

Syklonin jälkeen kaasut ohjataan konvektiotilaan, jossa sijaitsevat tulistimet. EU:n jätteenpolttodirektiivissä on määritetty jätteenpolttolaitosten savukaasuille kahden sekunnin viipymäaika ennen kuin niistä voidaan ottaa lämpöä talteen (Fontaine & Védrine, 2000). Tarvittava pidempi viipymäaika voidaan saavuttaa tyhjavedon avulla, joka on syklonin ja konvektiotilan väliin tehty ylimääräinen kierto. Kiertäessään tämän ylimääräisen osuuden kautta savukaasujen viipymäaika pitenee ja haitallisten partikkelien määrä savukaasussa vähenee. Tyhjävetoa ei ole esitetty kuvassa 3.13.

Pohjatuhkan poistaminen kiertopetikattilasta on monimutkaisempaa kuin leijupetikattilasta. Tuhkanpoisto on mahdollista toteuttaa tuuliseulan avulla, kuva 3.14. Petimateriaalia ohjataan tulipesän pohjalta pystysuoraan tuuliseulaan. Tuuliseulan alapuolelta puhalletaan ilmaa ylöspäin siten, että petimateriaali ja palamaton polttoaine palaavat takaisin tulipesään. Raskaammat tuhkat ja suuremmat kivet putoavat seulan pohjalle, josta ne ohjataan pois kattilasta (Huhtinen, et al., 1994).



Kuva 3.14: Tuhkanpoistaminen tuuliseulalla (Huhtinen, et al., 1994)

Kiertopetikattiloissa on monia etuja leijupetikattiloihin nähden. Kiertopetikattilan petimateriaali on hienojakoisempaa, virtaus voimakkaan turbulenttia, partikkelien sekoittuminen tehokasta ja kiinteiden kappaleiden kierrätysaste korkea. Nämä ominaisuudet takaavat paremman palamisen ja täten paremman hyötysuhteen sekä paremman rikin talteenoton, pienemmän petin pinta-alan sekä alhaisemman polttoaineensyöttöpisteiden määrän. Lisäksi kiertopetikattiloiden lämmönsiirtoputkien eroosio ja korroosio on vähäisempää ja näissä kattiloissa voidaan saavuttaa korkeammat lämmönsiirtokertoimet. Tärkeänä etuna on myös mahdollisuus rakentaa suurempia laitoksia. (Miller & Miller, 2008)

Heikkouksia kiertopetikattiloilla on mm. suurempi kattilan korkeus, suurempi puhallintehon tarve, korkeat tehokkuusvaatimukset syklonille sekä suurista kaasunopeuksista johtuva polttotilan, syklonien ja näiden putkistojen korkea kuluminen. (Miller & Miller, 2008). Kiertopetikattiloissa esiintyy merkittävää eroosiota niiltä osin kun hiekka kulkeutuu savukaasujen mukana. Tätä eroosiota on mahdollista torjua seinäputkien muurauksella.

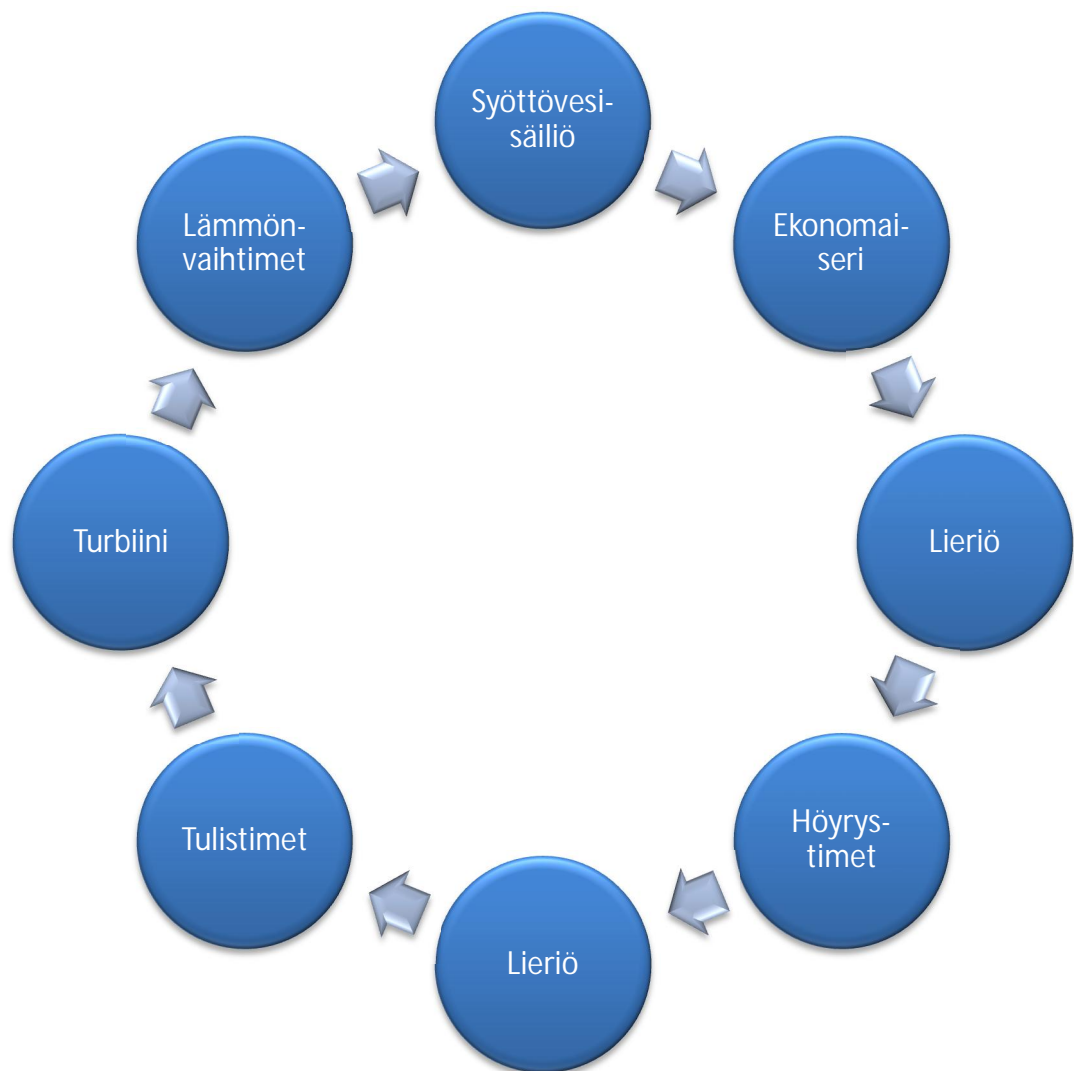
Kiertopetikattilat ovat tyypillisesti merkittävästi suurempia kuin leijupetikattilat. Esimerkiksi Seinäjoen voimalaitoksen kattilateho on 300MW (Vaskiluodon Voima Oy, 2013), mutta isompiakin laitoksia on toimitettu.

Kiertopetikattiloiden jatkokehitys on merkittävämpää kuin leijupetikattiloiden. Kehitys keskittyy mm. paineistettujen kattiloiden kehittämiseen sekä hyötysuhteen ja polttoainejoustavuuden parantamiseen, koon kasvattamiseen sekä investointikustannusten alentamiseen (Miller & Miller, 2008).

3.7 Lämmön talteenotto

Höyrykattiloissa palamisesta vapautuvan lämmön talteenottoon käytetään vettä. Vapautuvan lämmön avulla vesi lämmitetään, höyrystetään ja tulistetaan monen sadan asteen lämpötilaan, jonka jälkeen kuumaa höyryä voidaan hyödyntää eri tavoin. Lämpövoimalaitoksissa siitä tuotetaan turbiinien avulla sähköä ja jäljelle jääneen lämmön avulla kaukolämpöä.

Höyryntuotannon ja lämmön talteenoton kannalta oleellisia komponentteja ovat höyrystimet, tulistimet sekä muut lämmönvaihtimet, syöttövesisäiliö ja lieriö (Miller, 2011; Huhtinen, et al., 1994). Jos höyryn avulla halutaan tuottaa sähköä, tarvitaan myös turbiini. Nämä komponentit voidaan koota kuvan 3.15 mukaiseen suljettuun kiertoon, jossa samaa vettä kierrätetään jatkuvasti uudestaan.



Kuva 3.15: Lämpövoimakattilan suljettu vedenkierto

Ennen käyttöä voimalaitoksessa, vesi täytyy demineralisoida, eli poistaa siitä suolat ja happi. Vedenpuhdistus voidaan tehdä suodattimien ja käänteisosmoosin avulla. Puhdistettu vesi säilötään suljetun kierron ulkopuolisessa säiliössä, ns. demivesisäiliössä. Demivesisäiliön mitoittaminen tehdään tapauskohtaisesti, mutta tilavuus voi olla esimerkiksi sama kuin kattilassa oleva vesimäärä tai kierrossa oleva kokonaisvesimäärä. Demivesisäiliöstä vettä syötetään tarpeen mukaan syöttövesisäiliöön. Tämän jälkeen prosessi seuraa kuvan 3.15 mallia. Syöttösäiliö on ensimmäinen vaihe, josta vesi kulkee syöttövesipumpun kautta ekonomaiseriin.

Ekonomaiseri, eli esilämmitin, on lämmönvaihdin jossa syöttövedtä lämmitetään kattilan savukaasujen jäännöslämmöllä. Veden esilämmittäminen hukkalämmöllä parantaa laitoksen hyötysuhdetta, sillä kylmänä syötetty vesi jäädyttäisi kattilaa. Vettä ei ole tarkoitus höyrystää vielä tässä vaiheessa. (Miller & Miller, 2008). Ekonomaiseri sijoitetaan tyypillisesti tulistimien jälkeiseen tilaan.

Ekonomaiserin jälkeen vesi kulkee lieriöön. Lieriö on kattilan yläpuolelle sijoitettu suuri sylinterimäinen vesisäiliö, jonka päätarkoituksena on erottaa höyry ja vesi. On tärkeätä että erotus toimii tehokkaasti, sillä lieriön vedessä on monesti nesteeseen liuenneena suoloja. Nämä suolat aiheuttavat suuria ongelmia, jos ne pääsevät höyryn mukana turbiiniin tai tulistimiin (Huhtinen, et al., 1994). Lieriöstä poistetaan jatkuvasti vettä puhdistettavaksi, ja se on suljetun kierron merkittävin veden poistumiskohta (Miller, 2011). Lisäksi lieriö toimii myös höyrystimien syöttösäiliönä.

Lieriöstä vesi ohjataan kattilan alapäästä alkaviin höyrystinputkiin. Höyrystinputket ovat pystysuunnassa kulkevia putkia, jotka peittävät koko tulipesän sisäseinän. Putket on yhdistetty toisiinsa levyillä ja ne on eristetty kattilan ulkopuolelta eristevillalla. Kuvassa 3.16 on esitetty esimerkki tällaisesta putkistosta ilman eristeitä. Vesi virtaa putkissa alhaalta ylöspäin, sitoen lämpöä tulipesässä tapahtuvasta palamisesta. Lämmitessään osa vedestä alkaa höyrystyä ennen paluuta lieriöön. Lieriöön palanneesta vedestä erotetaan höyrystynyt ja yhä nestemäinen vesi.



Kuva 3.16: Kattilan seinärakenteen putkisto (Miller, 2011)

Nestemäinen vesi jää lieriöön josta se ohjataan takaisin höyrystimiin. Jo höyrystynyt vesi ohjataan lieriöstä tulistimiin. Tulistimet ovat savukaasun kulkureitille sijoitettuja lämmönvaihtimia, joissa höyryn lämpötila nostetaan jopa yli 500 °C lämpötilaan. Tulistuksen tarkoituksena on taata, ettei höyry nesteydy turbiinissa, johon höyry seuraavaksi ohjataan. Jos voimalaitoksessa on useita turbiineita, voidaan höyry ohjata turbiinien välissä uudelleentulistettavaksi niin sanottuun välitulistukseen.

Turbiini on kuin käänteinen kompressori. Paineistetun höyryn avulla pyöritetään siipiä, jolloin saadaan turbiinin akselille vääntöä. Tämä vääntö välitetään generaattoriin, jossa siitä tuotetaan sähköä. Turbiiniin sisässä kulkiessaan höyryn lämpötila ja paine laskevat. Paineen alenemisen seurauksena höyryn tilavuus kasvaa, minkä vuoksi turbiinin halkaisijaa kasvatetaan höyryn edetessä (Miller, 2011). Seurauksena tästä on turbiinin kartiomainen muoto. Höyry syötetään turbiiniin usein turbiinin alaosan kautta, joten turbiinin alle on jätettävä tilaa tätä varten.

Turbiinin jälkeen vesi on vielä kuumaa ja paineistettua höyryä, eikä sitä voida sellaisenaan palauttaa kiertoon. Vettä on lauhdutettava, jotta se saadaan takaisin nestemäiseksi. Pohjoismaissa lauhduttaminen toteutetaan usein kaukolämmön muodossa. Kaukolämmölle muodostetaan erillinen piiri, jota lämmitetään höyryssä jäljellä olevalla lämmöllä lämmönvaihtimen avulla. Kaukolämmön piirissä asiakkaat kuluttavat lämmön, jonka jälkeen vesi palaa takaisin voimalaitokselle uudelleenlämmitettäväksi.

Kaukolämmön lämmönvaihdin lauhduttaa höyryn takaisin nestemäiseksi, jonka jälkeen vesi palautetaan syöttövesisäiliöön uutta kiertoa varten. Lämmönvaihtimet sijoitetaan usein lähelle turbiinia.

Vedenlämmityksen lisäksi voimalaitoksissa lämmitetään monesti myös ilmaa. Höyrystimien ja tulistimien jälkeen kattilan savukaasujen lämpötila on edelleen yli 300 astetta. Kattilan paloilman lämpötila on merkittävästi kattilan lämpötilaa alhaisempi, jolloin paloilma jäädyttää tulipesää. Savukaasun hukkalämpöä voidaan hyödyntää paloilman esilämmittämiseen, jolloin järjestelmän hyötysuhde paranee. (Miller, 2011). Paloilman esilämmittintä kutsutaan monesti ”luvoksi” sen saksankielisen nimen, Luftvorwärmer, mukaan.

3.8 Tuhka

Palamisen seurauksena polttoaineista jää jäljelle tuhkaa. Tuhka voidaan luokitella kahteen pääryhmään: lentotuhkaan ja pohjatuhkaan. Lentotuhka poistuu kattilasta savukaasujen mukana, ja se on puhdistettava kaasusta esimerkiksi sähkösuodattimien avulla. Pohjatuhka jää tulipesään ja poistetaan yleisesti kattilan alaosasta. Lisäksi pohjatuhkaksi luokiteltavaa tuhkaa poistuu jonkin verran tulistimien ja ekonomaiserin yhteydessä.

Huhtisen et al. (1994) mukaan tuhka aiheuttaa seuraavia ongelmia ja haittoja: polttoaineen lämpöarvon aleneminen, kattilan lämpöpintojen likaantuminen, polttoaineen käsittelylaitteiden kulumisen sekä mahdolliset lämpöpinnoille muodostuvat syövyttävät kerrostumat. Lisäksi lentotuhkan poistaminen savukaasuista asettaa tarpeet ylimääräiselle laitteistolle.

Syntyvän tuhkan määrä riippuu polttoainetyypistä sekä jossain määrin myös kattilatyypistä. Esimerkiksi leijukerroskattiloissa lentotuhkan määrä on tyypillisesti korkeampi kuin arinakattiloissa (Vainikka, et al., 2012), mutta myös laitoskohtaisia eroavaisuuksia on. Perinteisten biopolttoaineiden, kuten turpeen ja puutähteiden osalta tuhkan määrä on hyvin ennakoitavissa, mutta epähomogeenisilla polttoaineilla, erityisesti jätteellä, tuh-

kan määrä voi vaihdella merkittävästi. Jätteenpoltossa tuhkamäärä vaihtelee myös alueittain, sillä jätteen laatu riippuu paljon esimerkiksi kulttuuri- ja elintasotekijöistä.

Taiwanilaiset Ko et al. (2013) arvioivat, että viidesosa jättepolttoaineen massasta jää palamatta. Palamatta jääneestä materiaalista on massaltaan noin 23 % lentotuhkaa, eli noin 4,6 % alkuperäisen polttoaineen massasta. Belgialaiset Bosmans et al. (2012) puolestaan toteavat, että lentotuhkaa on 1 – 5 % ja pohjatuhkaa arviolta 20 – 25 % kiinteän jättepolttoaineen massasta. Biopolttoaineiden tuhkapitoisuudet ovat tyypillisesti alhaisempia. Esimerkiksi puulle tuhkapitoisuudet kokonaismassaa kohden ovat alle 0,5 %, turpeelle vastaava luku on 4 – 7 % (Miller & Miller, 2008; Moilanen, et al., 1995).

Voimalaitosten tuhkaa voidaan perinteisesti käyttää mm. rakennustyömateriaalina, ja sementin valmistukseen (Bosmans, et al., 2012; Ko, et al., 2013). Puuperäistä tuhkaa voidaan käyttää metsien lannoitteena, erityisesti avohakkuualueilla (Malmgren & Riley, 2012; Thurdin, et al., 2006). Biopolttolaitosten tuhkaa voidaan käyttää myös teiden rakentamiseen sekä maantäyteaineena vesialueiden peittämiseen (Thurdin, et al., 2006).

Jätteenpolttolaitosten tuhka on kuitenkin monesti ongelmajätettä. Esimerkiksi tällaisten laitosten lentotuhkassa voi olla suuria määriä raskasmetalleja, kuten lyijyä, sinkkiä ja kuparia. Raskasmetallien sekä muiden epätoivottujen aineiden läsnäolo estää tai vaikeuttaa tuhkan hyödyntämistä ja uudelleenkäyttöä.

3.8.1 Tuhkankäsittelyjärjestelmät voimalaitoksessa

Pohjatuhkaa poistetaan kattilan pohjan lisäksi myös välivetojen yhteydessä. Koska tuhka poistetaan suoraan palamistilasta, on sen lämpötila samaa luokkaa kuin kattilan sisälämpötila. Tämän vuoksi pohjatuhkaa täytyy jäähdyttää veden avulla. Pohjatuhka pudotetaan hyvin kuumuutta kestäväälle metalliselle kuljetinhihnalle, jonka avulla tuhka kuljetetaan laitoksesta riippuen sille varattuun siirrettäväkonttisiiloon, varastosäiliöön tai bunkkeriin. (Miller, 2011). Tästä varastosta tuhka kuljetetaan rekoilla pois voimalaitosalueelta.

Lentotuhka poistetaan suodattamalla se savukaasuista. Suodattaminen voidaan tehdä pussi- tai sähkösuodattimilla. Savukaasuja on tähän vaiheeseen mennessä jäähdytetty merkittävästi, eikä lämpötila ole enää yhtä merkittävä ongelma kuin pohjatuhkan osalta. Koska lentotuhka on hienojakoista, on sen kuljettaminen hihnakuljettimilla ongelmallista mm. pölyämisen vuoksi. Lentotuhkaa kuljetetaan monesti pneumaattisilla järjestelmillä, mutta myös kolakuljettimia voidaan käyttää. (Miller, 2011)

Pneumaattiset kuljettimet ovat järjestelmiä, joissa hienojakoista kiinteätä materiaalia kuljetetaan putkissa paineistetun ilman avulla. Tämän vuoksi ne sopivat erinomaisesti lentotuhkan kuljettamiseen. Pneumaattiset kuljettimet sopivat hyvin myös monimutkaisten linjojen toteutukseen, jotka ovat tyypillisiä tämänkaltaisissa tapauksissa. Haittapuolena ovat mekaanisia kuljettimia korkeammat energiakustannukset. (Couper, et al., 2010)

Lentotuhkan kuljetukseen voidaan käyttää kolmea erilaista pneumaattista kuljetinjärjestelmää: painejärjestelmät, vakuumijärjestelmät ja näiden yhdistelmät (Couper, et

al., 2010; Miller, 2011). Painejärjestelmissä kiertuventtiili syöttää kiinteätä ainetta ylipaineiseen ilmavirtaan, joka kuljettaa materiaalin loppukohteeseen. Vakuumijärjestelmässä alipaineinen ilmavirta imee kiinteän materiaalin järjestelmään ilman kiertuventtiiliä. Molemmissa tapauksissa tarvitaan joko separaattori tai suodatin erottamaan kiinteä materiaali ilmasta. Painejärjestelmän tapauksessa tarvitaan lisäksi puhallin imuaukkoon ja vakuumijärjestelmässä vakuumpumppu vastaanottimessa. (Couper, et al., 2010). Vakuumijärjestelmät soveltuvat hyvin järjestelmille, joissa on useita syöttöaukkoja sekä lyhyille kuljetinmatkoille (Couper, et al., 2010). Painejärjestelmät soveltuvat paremmin pitkille kuljetinmatkoille, mutta tällaiset järjestelmät ovat kooltaan suurempia. Yhdistelmäjärjestelmillä voidaan saavuttaa yhä pidempiä kuljetusetäisyyksiä, mutta laitekoot pysyvät silti suhteellisesti pienempinä. (Couper, et al., 2010; Miller, 2011)

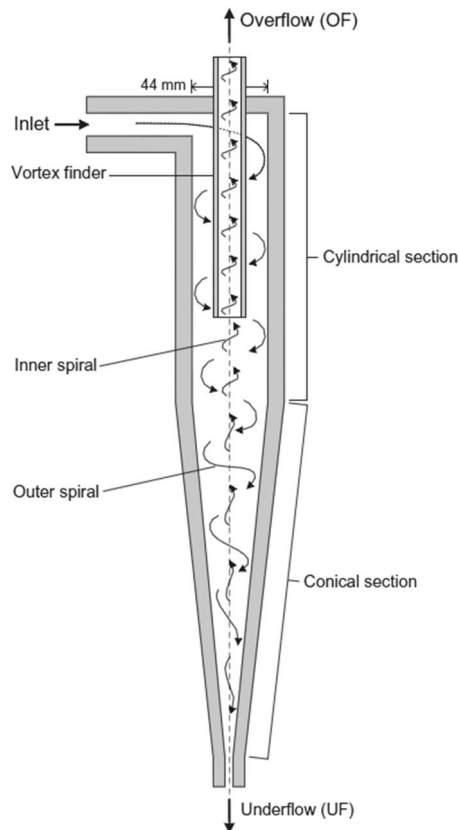
Toteutustavasta riippumatta, pneumaattisille kuljetinjärjestelmille voidaan esittää muutamia suunnittelukohtia, jotka on otettava huomioon (Couper, et al., 2010): jyrkkien mutkien välttäminen, linjasovitusten määrän minimoiminen sekä linjapuhdistukselle ja maadoitukselle jätettävä varaus.

3.8.2 Tuhkan puhdistaminen

Jätteenpoltosta jäljelle jäävä tuhka on ongelmajätettä, jonka hyödyntäminen ilman puhdistamista on haasteellista. Pohjatuhkaa voidaan puhdistaa esimerkiksi vitrifikaation avulla. Tämä on kuitenkin kallis menetelmä ja kuluttaa paljon energiaa, mikä vaatisi lopputuotteena korkeatasoista tai arvokasta tuotetta ollakseen taloudellisesti kannattavaa (Ko, et al., 2013).

Sen sijaan jätteenpolton lentotuhkaa saattaa olla mahdollista hyödyntää lähitulevaisuudessa. Ko et al. (2013) ovat kehittäneet menetelmän, jolla lentotuhkaa voidaan puhdistaa kohtuullisin kustannuksin. Menetelmässä tuhka sekoitetaan veteen ja syötetään paineistettuna hydrosykloniin, jossa ei-toivotut partikkelit erotetaan hyödynnettävästä materiaalista. Prosessin tehostamiseksi seokseen lisätään kvartsihiekkää.

Hydrosykloni on kuten tavallinen sykloni, mutta se on tarkoitettu nestemäisille aineille. Nesteeseen sekoitettu tuhka syötetään sykloniin tangentialisesti, jolloin materiaali ajautuu kierteiselle liikeradalle. Syklonissa karheat ja tiheet sekä hienojakoiset ja kevyet partikkelit irtaantuvat toisistaan. Karheat partikkelit ohjautuvat syklonin alivuotoaukkoon ja hienojakoiset partikkelit ylivirtausaukkoon (Ko, et al., 2013). Syklonin toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 3.17.



Kuva 3.17: Hydrosyklonin toimintaperiaate lentotuhkan puhdistuksessa (Ko, et al., 2013)

Karkea- ja hienojakoisten partikkelien erottamisen hyöty perustuu siihen, että lentotuhkaan sitoutuneet raskasmetallit ovat monesti sitoutuneena hienojakoisissa partikkeleissa. Karkeajakoisissa partikkeleissa ei ole lentotuhkan uudelleenkäytön kannalta haitallisia aineita. Lisähyötynä hydrosyklonin käytössä on, että veteen sekoitettaessa tuhkan kloori peseytyy pois tuhkasta ja jää veteen. (Ko, et al., 2013). Laboratoriotestien yhteydessä hydrosyklonin alivirtausaukosta ulos saatu materiaali täytti Taiwanin ympäristömääräykset, eli sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi sementin ja tiilien valmistuksessa.

3.9 Muut voimalaitosalueen toiminnot

Voimalaitoksilla on myös tiettyjä muita osatoimintoja joita ei ole esitetty aiemmissä kappaleissa. Tällaisia toimintoja ovat mm. valvomot, sosiaalitalat, sähkö- ja automaatiotilat, kaasu- tai öljypolttimet ja näiden polttoainesäiliöt, sammutuslaitteisto sekä paineilmantuottolaitteet. Tässä kappaleessa esitetään aiemmin mainitsemattomia osatoimintoja sekä joitain niiden erityispiirteitä.

Valvomo on laitoksen operaattoreiden työskentelytila. Siellä sijaitsee voimalaitoksen hallintalaitteet sekä toimilaitteet joiden avulla laitoksen toimintaa voidaan seurata. Valvomon on hyvä sijaita keskeisellä paikalla voimalaitoksessa siten, että sieltä on

mahdollisimman lyhyt matka yleisimpiin huoltokohteisiin. Lisäksi valvomon ja sosiaali-tilojen sijoittaminen lähelle toisiaan on suotavaa. Sosiaali-tiloilla tarkoitetaan vessoja, suihkuja ja ruokailutiloja, mutta myös toimistotiloja. Lisäksi voimalaitosalueella saate- taan tarvita kokouksiloja sekä huollon omia työskentelytiloja.

Sähkötiloista jaetaan voimalaitoksen toimilaitteille niiden tarvitsema sähkö. Voima- laitoksen sähkö tuodaan pääjakelukeskukseen muuntajan kautta, josta sähkö jaetaan eri toimilaitteille. Joillain osakokonaisuuksilla, kuten polttoaineenkäsittelylaitteistolla ja turbiinisalilla, on lisäksi omat sähkötilansa. Sähkötilat on pyrittävä sijoittamaan mahdol- lisimman lähelle suurimpia sähkönkuluttajia, kuten isoimpia moottoreita, kenttäsiiloja, pumppuja ja murskaimia.

Automaatiotilat ohjaavat koko laitoksen toimintaa. Ne keräävät tietoa laitoksen au- tomaatiolaitteistolta ja välittävät tämän tiedon hallintalaitteille sekä edelleen ohjattaville toimilaitteille. Automaatiotilojen sijoittaminen on vapaampaa kuin sähkötilojen.

Kaasua ja öljyä voidaan käyttää voimalaitosten käynnistämisen yhteydessä sekä apupolttoaineena. Kaasu- tai öljypoltin tulee tällöin kiinni kattilarakenteeseen, mutta polttoainesäiliöt tulee sijoittaa paloturvallisuussyistä riittävän turvaetäisyyden päähän. Lisäksi öljysäiliölle tarvitaan joko valuma-allas, tai vaihtoehtoisesti kaksinkertainen seinärakenne vuotojen estämiseksi.

Voimalaitosalueella tarvitaan myös paineilmaa. Paineilmaa tuotetaan kompressoreil- la jotka on sijoitettava siten, että puhtaan ilman saanti voidaan taata. Paineilmaa käyte- tään mm. eri toimilaitteiden ja venttiilien ohjauksessa ja käytössä, huoltotyökaluissa sekä lentotuhkan kuljettamisessa.

Generaattorissa tuotettu sähkö täytyy muuntaa sellaiseksi, että se voidaan syöttää joko valtakunnan tai kunnan verkkoon. Tätä tarkoitusta varten tarvitaan muuntamo sekä asianmukainen kaapelointiyhteys. Muuntamo täytyy sijoittaa sopivan turvaetäisyyden päähän laitoksesta, ja kaapelointi tehdään joko ilmavetona tai kaivetaan maan alle. Vas- taavasti kaukolämpöä varten alueelle on vedettävä kaukolämpöverkon vesiputket.

Voimalaitosalueelta on löydyttävä palo- ja sammutuslaitteisto. Näiden laitteistojen tyyppi ja laatu perustuvat paljolti lainsäädäntöön, jossa saattaa olla maakohtaisia eroja. Tyypillisesti laitosalueella on kuitenkin oltava saatavilla joko sammutusvettä tai - höyryä. Riittävä sammutusvesi voidaan taata erillisellä sammutusvesisäiliöllä, esimer- kiksi kaukolämpöakku voidaan käyttää tähän tarkoitukseen.

3.10 Yhteenveto kappaleesta

Kappaleessa 3 on esitetty voimalaitoksen tärkeimmät osakokonaisuudet, vaihtoehtoisia teknologioita näiden kokonaisuuksien toteuttamiseksi sekä muita koko voimalaitoksen kannalta oleellisia seikkoja. Kappaleen tarkoituksena on esitellä voimalaitoksen toimin- taa, mutta myös toimia pohjatutkimuksena laitossuunnittelulle. Myöhemmin työssä teh- tävä laitoksen jakaminen tiloihin tehdään tässä kappaleessa esitettyjen seikkojen pohjal- ta.

Koska työssä keskitytään laitossuunnitteluun, on kappaleessa tehty voimalaitoksen jaottelu muutamiin tärkeimpiin kokonaisuuksiin, käytännössä polttoaineenkäsittelyyn ja kattilarakennukseen. Nämä muodostavat tyypillisen voimalaitoksen kaksi keskeisintä osa-aluetta. Näille kahdelle kokonaisuudelle on esitelty niiden toimintaa sekä ulkoisia ja sisäisiä rajapintoja, jotka ovat laitossuunnittelun kannalta oleellisia.

Työssä on keskitytty jäte- ja biovoimalaitoksiin. Näitä polttoaineita käytetään tyypillisesti arina- ja leijukerroskattiloissa, joiden toimintaperiaatteet on esitetty tässä kappaleessa. Pääpaino työssä on kuitenkin leijukerroskattiloissa. Kattiloiden yhteydessä on lämmön talteenotto ja hyödyntäminen, minkä lisäksi palamisen yhteydessä syntyvä tuhka on voimalaitoksissa huomioonotettava tekijä. Myös nämä asiat on esitetty tekstissä.

Kattilat ja niiden ympärillä olevat laitteet pysyvät pääpiirteissään muuttumattomina polttoaineesta ja tapauksesta riippumatta. Sen sijaan polttoaineenkäsittely muuttuu merkittävästi polttoaineen mukaan. Erilaisia polttoaineita varastoidaan eri tavoin, esimerkiksi biopolttoaineet varastoidaan tyypillisesti avokasoihin, mutta jätepolttoaineille on olemassa tapauskohtaisesti monia erilaisia vaihtoehtoja. Vastaavasti polttoaineen vastaanottojärjestelyitä tulee muuttaa polttoaineen vaihtuessa. Merkittävimmät eroavaisuudet syntyvät kuitenkin polttoaineenkäsittelyssä. Jätepolttoaineille vaaditaan tyypillisesti merkittävää käsittelyä, kuten murskausta ja seulontaa, mutta biopolttoaineille riittää tyypillisesti pelkkä murskaus. Myös kattilatyyppi asettaa vaatimuksia polttoaineenkäsittelylaitteistolle.

4 MENETELMÄ VOIMALAITOKSEN LAYOUT-SUUNNITTELUUN

Voimalaitoskokonaisuuksien suunnitteleminen on monimutkainen prosessi, jossa on yhdistettävä osaamista monilta tieteenaloilta, kyettävä työskentelemään monialaisten tiimien kanssa sekä huolehdittava lakien ja standardien noudattamisesta. Voimalaitoksen suunnittelemisessä yksi ensimmäisistä, ja täten myös merkittävimmistä vaiheista on layoutin laatiminen.

Layoutissa kuvataan eri komponenttien, kulkureittien, rakennusten ja muiden osien sijoittaminen käytössä olevalle laitosalueelle sekä niiden koko. Layoutin laajuus ja merkittävyys edellyttää laajapohjaista osaamista ja laitoksen toiminnan tuntemista. Layoutin suunnitteluvaiheessa voidaan vaikuttaa merkittävästi laitoksen tulevaan käyttöön, toimivuuteen, huollettavuuteen sekä valmistuskustannuksiin, mikä lisää tämän vaiheen tärkeyttä.

Tämän diplomityön yhtenä tavoitteena on kehittää yksinkertainen tuotekehitysmenetelmä, ”työkalu”, layoutsuunnittelun tueksi. Työkalun tarkoituksena on selkeyttää suunnittelun eri vaiheita sekä tuoda systemaattisuutta suunnitteluun. Koska voimalaitoksen suunnitteleminen on erittäin laaja prosessi, olisi kaikenkattavan tuotekehitysmenetelmän kehittäminen laajuudeltaan tämän työn ulkopuolella.

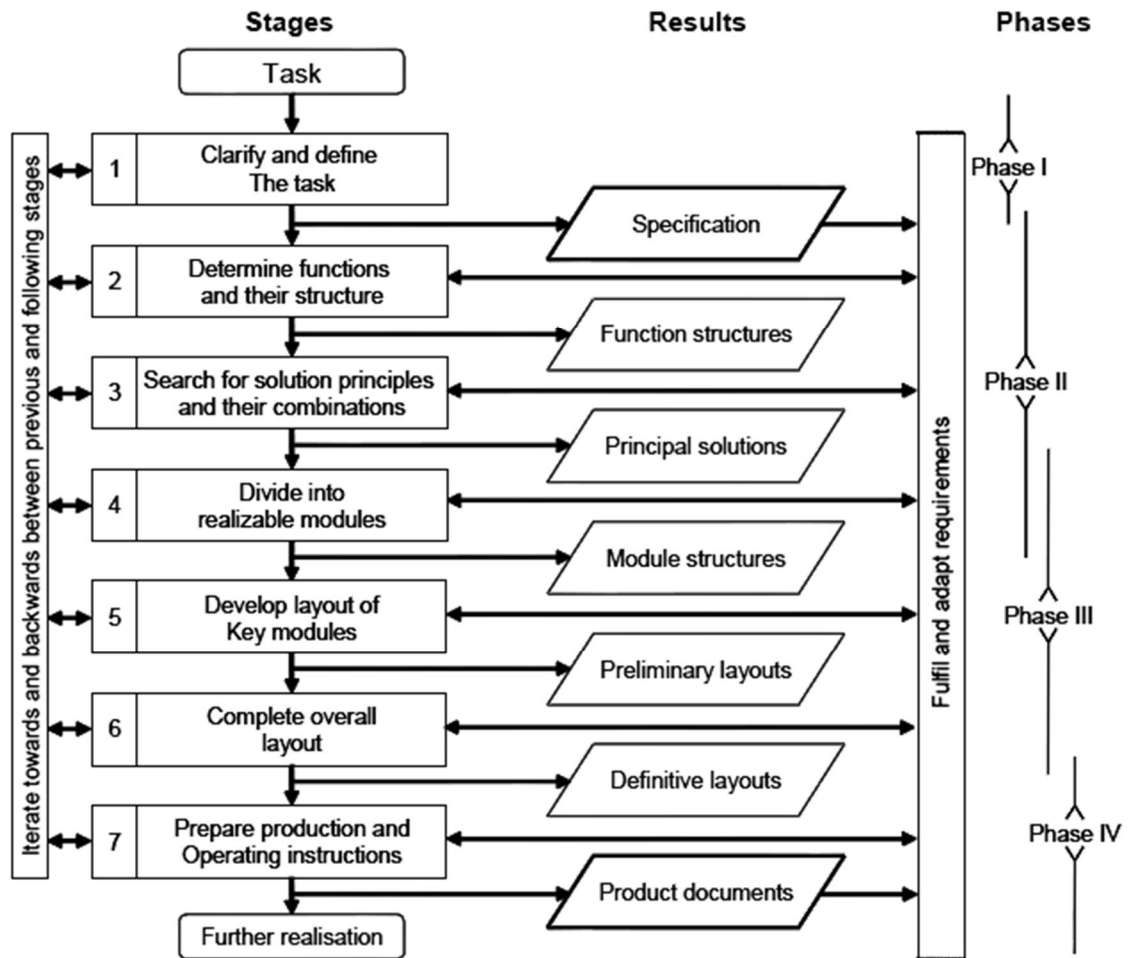
Toivotun työkalun alustavana tavoitteena on ”tilapohjainen lähestymistapa” siten, että voimalaitoksen PI-kaaviosta muodostetaan tilakaavio, joka helpottaa lopullisen voimalaitoksen layoutin muodostamista. Tilakaaviomallin tueksi tehdään selvitys laitoksen eri osakokonaisuuksien reunaehdoista ja vaatimuksista.

Tässä kappaleessa esitetyn kirjallisuus selvityksen tarkoituksena on selvittää tuotekehitysmenetelmien tyypillisiä ominaisuuksia. Lisäksi pyritään selvittämään millainen hyvän tuotekehitysmenetelmän tulisi olla sekä muita huomioonotettavia seikkoja uutta menetelmää kehitettäessä.

4.1 Tuotekehitysmenetelmien piirteiden selvittäminen

Wynn ja Clarkson (2005) erittelevät lukuisia eri tuotekehitysmenetelmien luokittelutapoja. Menetelmät voidaan jakaa toimintojen perusteella lineaarisesti eteneviin vaiheisiin, syklisiin toimintoihin tai näiden yhdistelmiin. Mahdollinen jako voidaan tehdä myös fokuksen perusteella suunnittelu- ja prosessifokuksiin. Suunnittelufokusoituneet menetelmät tukevat parempien tuotteiden kehittämistä, esimerkiksi VDI 2221, kuva 4.1, on suunnittelufokusoitunut. Prosessifokusoituneet menetelmät pyrkivät tukemaan suunnitteluprojektin hallintaa. Laajuutensa puolesta voimalaitossuunnittelulla on piirteitä

monien eri menetelmien, sekä suunnittelu- että prosessifokusoituneiden, alueelta. Tämän vuoksi on hyvä perehtyä eri tuotekehitysmenetelmiin laajalta alueelta ja etsiä ohjeita monentyppisiin tilanteisiin.



Kuva 4.1: VDI:n ohje 2221, systemaattisen tuotekehityksen työkalu (Jänsch & Birkhofer, 2006)

On olemassa lukuisia erilaisia tuotekehitysmenetelmiä, jotka on tarkoitettu yleisiksi tuotekehityksen työkaluksi, tai tiettyihin spesifisiin tapauksiin. VDI:n ohje 2221, kuva 4.1, on tyypillinen esimerkki systemaattisesta tuotekehitystyökalusta, jolla pyritään löytämään ratkaisu olemassa olevalle ongelmalle. Pahlin ja Beitzin (1996) mukaan suunnittelun suurin haaste on alkuongelman määrittämisen ja lopullisen ratkaisun välinen luovuutta vaativa vaihe. VDI 2221:n kaltaiset työkalut pyrkivät auttamaan tämän vaiheen ratkaisemisessa jakamalla suunnittelutyö erillisiin järjestelmällisesti eteneviin osatehtäviin.

On hyvä huomioida, että suuri osa teollisuuden tuotekehityksestä keskittyy olemassa olevien tuotteiden parantamiseen ja muunteluun, ei kokonaan uusien tuotteiden kehittämiseen (Eppinger, et al., 1994). Myös layoutsuunnittelu lukeutuu olemassa olevien tuotteiden kehittämistä käsittelevään kehitykseen, sillä layoutia laadittaessa ratkaisun osakokonaisuudet ja perusluonne ovat jo pohjimmiltaan tiedossa. Laitossuunnittelussa ongelmana ei ole niinkään ”miten se saadaan toimimaan”, vaan ”miten osat tulisi sijoit-

taa”. Tämän vuoksi esimerkiksi VDI 2221:n kaltaiset menetelmät, jotka auttavat löytämään ratkaisun tarkkaan määrätylle ongelmalle, soveltuvat sellaisenaan huonosti layoutsuunnitteluun. Tästä huolimatta VDI 2221:stä saadaan mallipohja lopullisen menetelmän suunnitteluun.

Vaikka olemassa olevat yleiset systemaattiset työkalut soveltuisivatkin huonosti voimalaitossuunnittelun kaltaisiin ongelmiin, on kuitenkin selvää, että tuotekehitysprosessiin tarvitaan systemaattisuutta. Wynn ja Clarkson (2005) määrittelevät, että systemaattisuus tuotekehityksessä on erityisen tärkeää silloin kun väärässä olemisen seuraukset ovat vakavat, väärässä olemisen todennäköisyys on korkea sekä silloin kun kyseessä on monimutkainen ongelma. Nämä kaikki kriteerit ilmenevät voimalaitossuunnittelussa. Voimalaitoksen suunnitteleminen on monimutkainen prosessi, jossa suuri monimutkaisuus nostaa väärässä olemisen mahdollisuutta, minkä lisäksi virheiden korjaaminen saattaa olla erittäin kallista ja jopa kohtalokasta jos ne havaitaan liian myöhään.

4.1.1 Haasteet tuotekehityksessä

Ulrich ja Eppinger (2003) esittävät kolme tuotekehityksen avainongelmaa:

- tuotteeseen liittyvien kompromissien tunnistaminen, ymmärtäminen ja hallitseminen
- jatkuvasti muuttuvassa ympäristössä työskenteleminen, jatkuva aikapaine suunnittelu- ja kehitystoimintaan liittyen sekä
- tuotekehityksen talouden ymmärtäminen markkinoinnista valmistukseen ja myyntiin siten, että alkuinvestoinnille saadaan katetta.

Näiden ongelmien huomataan olevan relevantteja myös laitossuunnittelun tapauksessa. Kompromissien tekeminen on vääjäämättä osa suunnittelua ja erityisesti voimalaitossuunnittelussa kompromissit ovat läsnä. Jokainen monimutkaisessa suunnitteluprojektissa tehty valinta saattaa olla kompromissi, joka vaikuttaa moniin muihin parametreihin (Eppinger, et al., 1994). Voimalaitosten tapauksessa esimerkiksi tekemällä mahdollisimman pieni turbiinisali säästetään rakennuskustannuksissa, mutta samalla huollettavuus heikkenee.

Osa suunnittelutyössä tehtävistä kompromisseista on jo aluksi tiedossa, mutta osa saattaa ilmetä vasta prosessin edetessä, kun lähtötiedot tarkentuvat ja tieto projektista lisääntyy. Tämän vuoksi suunnittelua ei voida tehdä lineaarisen mallin pohjalta (Wynn & Clarkson, 2005), vaan prosessin on oltava iteratiivinen. Iteratiivinen malli mahdollistaa myös suunnitteluprosessin etenemisen epävarmoilla lähtötiedoilla, jolloin tehdään valistunut alkuarvaus johon suunnittelu alkuvaiheessa perustuu (Eppinger, et al., 1994). Tietojen tarkentuessa tarvittavat muutokset voidaan päivittää malliin.

Myös aikapaineet ja ympäristön muuttuminen ovat haasteita laitossuunnittelussa. Tuomalla systemaattisuutta tuotekehitysprosessiin, voidaan vakiinnuttaa suunnittelijoiden työskentelymenetelmiä ja näin lisätä suunnittelun varmuutta ja luotettavuutta. Lisäksi keräämällä yleisimmin tarvittut tiedot ylös, pystytään vähentämään toistuvia työtehtäviä sekä näin vähentämään suunnittelijan työkuormaa. Toisaalta muuttuva työym-

päristö tarkoittaa, ettei kaikkea tietoa voi kerätä talteen, sillä vaarana on tiedon vanhentuminen.

Tuotekehityksen talousasiat asettuvat tämän työn fokuksen ulkopuolelle, eikä niitä tämän vuoksi käsitellä työssä. Kappaleessa 5.2 on kuitenkin esitetty lyhyesti muutamia laitoksen hintaan vaikuttavia tekijöitä, jotka tulee huomioida jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa.

Ulrichin ja Eppingerin (2003) esittämien tuotekehityksen avainongelmien lisäksi itse suunnitteluprosessien eteneminen on merkittävä haaste yrityksille. Jo mainitut aikapaineet ja budjettirajoitteet haittaavat toiminnasuunnittelua, minkä lisäksi monet yritykset eivät välttämättä ymmärrä tai arvosta omien suunnitteluprosessiensa monimutkaisuutta (O'Donovan, et al., 2005). Vastaavasti O'Donovan et al. (2005) toteavat, että ei ole mahdollista kehittää sellaista tuotekehityksen mallia, joka esittäisi kattavasti koko suunnitteluprosessin. Sen sijaan voidaan keskittyä joihinkin tiettyihin osatoimintoihin ja kokonaisuuksiin.

Suunnitteluprosessin laatimisen haasteellisuuden lisäksi laitossuunnitteluun vaikuttaa suuri määrä muita rajoittavia tekijöitä. Esimerkiksi lainsäädäntö sekä olemassa olevat tuoteplatformat rajoittavat merkittävästi lopullista ratkaisua (Buckle & Clarkson, 2005). Nämä tekijät myös vähentävät mahdollisuutta hyödyntää luovuutta tuotekehityksessä, ja kokonaisuudesta tulee enemmänkin olemassa olevien palojen yhdistämistä, kuin uuden kehittämistä. Toisaalta yrityksen omat standardit ja menettelytavat sekä suunnittelijoiden kokemus aiemmista projekteista vähentävät suunnittelun epävarmuutta ja täten helpottavat suunnittelutyötä. Wynn ja Clarkson (2005) esittävät, että laitossuunnittelun kaltaisten hyvin monimutkaisten suunnitteluprosessien ensisijainen ongelma on sekalaisten menetelmien, oppien, työkalujen ja henkilöstön yhdistämisessä.

Monen osa-alueen hallitseminen monimutkaisissa suunnitteluprosesseissa edellyttää tehokasta kommunikointia prosessin aikana (Eckert, et al., 2005). Ihmisten on pystyttävä kysymään apua ja ohjeita oikeilta ihmisiltä, mutta myös kyettävä ymmärtämään tiettyjen osa-alueiden toimintatapoja ja -edellytyksiä. Kun toisten aihealueita ei ymmärretä, vaikeutuu kommunikointi merkittävästi. Samalla kokonaiskuvan muodostaminen kohteesta vaikeutuu, mikä puolestaan vaikeuttaa puuttuvan tiedon havaitsemista. Eckert et al. (2005) ovat listanneet aiheita, joista suunnitteluprosessin aikana tyypillisesti on puutteellista tietoa: tehtävät jotka täytyy tehdä, tiedon historia, kuinka tietoa sovelletaan sekä muutokset prosessissa.

Puuttuvan tiedon lisäksi suunnittelijoille ei monesti kerrota heidän työnsä kannalta oleellisia asioita, mikä lisää ongelmia entisestään. Inhimillinen tekijä onkin suurin yksittäinen riskitekijä suunnitteluprosessissa (Eckert, et al., 2005), mikä puolestaan lisää kommunikoinnin tärkeyttä. Myös näitä tekijöitä voidaan pyrkiä torjumaan keräämällä oleellinen tieto ylös jo ennen suunnitteluprosessin alkamista. Luomalla yksinkertainen tuotekehitysmalli tai -työkalu, voidaan myös lisätä työntekijöiden tietoisuutta niistä tehtävistä, joita heidän tulee prosessin aikana tehdä. Esimerkiksi Eppingerin et al. (1994) esittämä matriisipohjainen työkalu, jossa työvaiheet asetetaan järjestykseen suorittamis-

kriteereidensä mukaan, on erinomainen hahmottamaan suunnittelijoille heidän työvaiheidensa merkitys.

Uutta tuotekehitysmallia kehitettäessä tulee huomioida, että ihmisten työskentelytapojen muuttaminen on haasteellista ja muutosvastarinta voi tyrmätä erinomaisetkin ideat ja suunnitelmat. On olemassa lukuisia eri tuotekehitysmenetelmiä, jotka tarjoavat yrityksille nopeampia ja selkeämpiä kehitysprosesseja, mutta joita ei syystä tai toisesta ole otettu käyttöön yrityksissä (Stetter & Lindemann, 2005). Merkittävä este uusien menetelmien käyttöönotolle on muutosvastarinta, mutta myös kiireiset aikataulut sekä muut teollisille ympäristöille tyypilliset ominaisuudet hankaloittavat uusien menetelmien käyttöönottoa. Tämä siitä huolimatta, että uudet menetelmät saattaisivat helpottaa juuri näiden tyypillisten ongelmien torjumisessa. Lyhyempien kehitysaikojen lisäksi, myös kasvavat laatuvaatimukset sekä tuotteiden monimutkaistuminen lisäävät tarvetta tuotekehitysmenetelmien käyttöönotolle (Stetter & Lindemann, 2005).

Hienojen ja monipuolisten tuotekehitysmenetelmien kehittäminen ei ole kuitenkaan kannattavaa, jos kukaan ei käytä niitä. Tämän vuoksi tässä työssä pyritään kehittämään tuotekehitystyökalu, joka ei pyri määräämään prosessin etenemisvaiheita tai mitä tulisi tehdä seuraavaksi. Sen sijaan kehitettävä menetelmä pyrkii tukemaan suunnittelijoiden työskentelyä tarjoamalla suunnitteluprosessille tukirungon, ohjeita sekä mahdollisesti tuomaan esille joitain tyypillisiä ongelmakohtia. Toisin sanoen, työssä pyritään kehittämään sellainen menetelmä, joka ei pakota työntekijöitä muuttamaan työskentelytapojaan, vaan pyrkii tukemaan nykyisiä työskentelymenetelmiä.

Myös suunnittelun epävarma luonne tukee tuotekehitystyökalua, joka jättää suunnitteluprosessiin liikkumavaraa. Earl et al. (2005) toteavat, että koko suunnitteluprosessissa on epävarmuutta uusien luonnosten alustavista parametreista, kehitysvaiheiden epävarmoihin kestoaikoihin sekä muihin vastaaviin muutoksiin. Nämä epävarmuudet lisäävät tuotekehitysprosessin haasteellisuutta lisäämällä mahdollisten ratkaisujen lukumäärää. Tarkasti määritelty suunnittelutyökalu ei pysty kattamaan näitä epävarmuustekijöitä, minkä vuoksi on tärkeätä, että käytettävä menetelmä jättää liikkumavaraa suunnitteluprosessiin.

4.1.2 Toimintopohjaiset lähestymistavat

Kirjallisuudesta voidaan tunnistaa kaksi tuotekehitysmenetelmää, joiden soveltaminen olisi hyödyllistä voimalaitoksen layoutsuunnittelussa: funktiorakenteet ja tästä edelleen kehitetty ”elinpohjaiset rakenteet” (Wynn & Clarkson, 2005). Näiden menetelmien avulla pystytään organisoimaan ja helpottamaan tuotekehitysprosessissa käsiteltävien osien hahmottamista.

Funktio- eli toimintorakenteissa eri fyysisistä periaatteista ja väliaineista muodostetaan ratkaisun abstrakteja kuvaelmia (Wynn & Clarkson, 2005). Kuvaemat ovat riippumattomia todellisesta ratkaisusta, mutta niitä käytetään hyväksi ongelman ratkaisemisessa. Kun koko tuote muutetaan tällaisiksi rakenteiksi, saadaan rakenteiden yhdistelmästä tuloksena kuvaaja joka käytännössä erittelee ratkaisun rajapinnat. Kuvaajasta

nähdään esimerkiksi materiaalin, energian ja signaalien välittyminen tuotteessa ilman että otetaan kantaa varsinaisen ratkaisun todelliseen olemukseen tai luonteeseen. Toisin sanoen funktiorakenteilla kuvataan toimintojen välisiä virtauksia ratkaisussa, mutta ei oteta kantaa miten toiminnot toteutetaan. Toimintojen toteuttaminen voidaan kehittää kuvaajan pohjalta sellaisilla tuotekehitystyökaluilla jotka tilanteeseen parhaiten sopivat. Esimerkki hyvin pitkälle yksinkertaistetusta voimalaitoksen funktiorakennetta muistuttavasta mallista on nähtävillä kuvassa 3.2.

Elinpohjaiset rakenteet ovat funktiorakenteita konkreettisempi lähestymistapa. Menetelmässä elimillä viitataan osiin, jotka suorittavat tietyn joukon toimintoja, ja muodostavat näin osakokonaisuuksia. Elimien avulla pystytään hahmottamaan toimintojen ja niitä toteuttavien komponenttien välistä suhdetta. (Wynn & Clarkson, 2005). Tämän menetelmän avulla isot kokonaisuudet voidaan jakaa selkeämmin hahmotettaviin osiin sekä hahmottamaan missä eri osatoiminnot todellisuudessa tapahtuvat.

Tyypillisesti voimalaitosten layoutsuunnittelussa tunnetaan jo entuudestaan eri osien toimintatavat ja merkittäviä ongelmia ovat toimintojen sijoittaminen käytössä olevalle alueelle, näiden toimintojen välisten rajapintojen yhteensovittaminen sekä tarvittavien tilojen koon määrittäminen. Tässä työssä kehitettävä laitossuunnittelun tilapohjainen lähestymismalli voidaan kehittää yhdistämällä funktio- ja elinpohjaisten rakenteiden ominaisuuksia.

Voimalaitoksen toiminnasta pystytään erottamaan osakokonaisuuksia, joilla on toisistaan edelleen erotettavia toimintoja. Esimerkiksi polttoaineen vastaanotto on yksi voimalaitoksen osakokonaisuus, joka jätteenpolton tapauksessa sisältää mm. vastaanototilat, murskaimet ja seulat. Jakamalla voimalaitoskokonaisuus tällaisiin osiin, ”tiloihin”, voidaan laajasta ja monimutkaisesta kokonaisuudesta saada helpommin hahmotettava pienten toimintojen rykelmä. Kun toimintojen välille määritellään niiden väliset yhteydet, saadaan näkyviin paitsi voimalaitoksen osatoiminnot, myös sen sisäiset ja ulkoiset rajapinnat. Rajapintojen avulla voidaan havaita ne osatoiminnot, jotka tulee toiminnallisista syistä johtuen sijoittaa lähelle toisiaan.

Tällainen monimutkaisten tuotteiden pilkkominen helpommin havainnoitaviin ja hahmotettaviin, yksinkertaisten toimintojen moduuleihin on melko tyypillistä toimintaa tuotekehityksessä (Eckert, et al., 2005). Tämä on tehokas työskentelytapa suunnittelu-prosessin monimutkaisuuden minimoimiseen. Erityisesti laajoissa monimutkaisissa suunnitteluprosesseissa yksittäisen insinöörin voi olla haasteellista ymmärtää kaikkien osa-alueiden toimintaa, mutta pilkkomalla toiminnot osiin, myös vaadittavat osaamis-alueet saadaan pilkottua helpommin hahmotettaviksi kokonaisuuksiksi.

Esitetyllä kaaviopohjaisella työkalulla pystytään erottamaan tarvittavat toiminnot ja niiden rajapinnat, mutta ei tarvittavien tilojen kokoa tai muita vaatimuksia. Tämän vuoksi pelkän kaavion lisäksi tarvitaan lisätietoa eri tilojen suunnittelun tueksi.

4.1.3 Tuotekehitysmenetelmän luonteen selvittäminen

Koska olemassa olevien tuotekehitysmenetelmien soveltaminen laitossuunnitteluun on haasteellista, on selvää että joudutaan kehittämään tähän tarkoitukseen omanlaisensa uusi lähestymistapa. Tämän vuoksi on tärkeitä huomioida millainen on hyvä menetelmä. Čatić on väitöskirjassaan (2011) esittänyt mitä ominaisuuksia hyvän tuotekehitysmenetelmän tulisi täyttää (katso Norell, 1992). Menetelmän on:

1. oltava helppo oppia, ymmärtää ja soveltaa
2. sisällettävä yleisesti hyväksytyä, selkeää tietoa asianomaisesta aiheesta
3. tarjottava tukea heikkojen kohtien havaitsemiseksi
4. oltava palkitseva käyttää
5. tuettava yhteistyötä ja helpotettava käyttäjien oppimista
6. tuettava systemaattista työprosessia sekä
7. vaikutettava positiivisesti tuotekehitysprosessiin.

Näiden kohtien yhteenvedona voidaan todeta, että hyvä laitossuunnittelun tuotekehitysmenetelmä on yksinkertainen ja tukee prosessia, sen sijaan että pyrkisi ohjaamaan sitä. Lisäksi on hyvä huomioida tutkimustulokset, joiden mukaan monien tuotekehitysideoiden soveltaminen yrityksissä on epäonnistunut riippumatta ideoiden laadukkuudesta (Stetter & Lindemann, 2005).

Useat tuoteperustaiset tuotekehitysmallit lähtevät liikkeelle ongelman tai tehtävän määrittämisestä, minkä jälkeen eri vaiheiden avulla pyritään kehittämään ratkaisua systemaattisesti. Tällä tavoin ongelmasta saadaan muodostettua ratkaisu, joka täyttää sille esitetyt kriteerit. Jotta ongelman pohjalle muodostettu prosessi saavuttaisi halutun tuloksen, on tärkeitä että määritetty ongelma on neutraali, sillä ongelman määrittely vaikuttaa merkittävästi ratkaisun luonteeseen (Wynn & Clarkson, 2005). Ongelma-perustaiset lähestymistavat eivät välttämättä sovellu erityisen hyvin laitossuunnittelun kokonaisuuteen jossa lopputuloksen laatu pohjimmiltaan on jo tiedossa, mutta tällaiset menetelmät voivat soveltua tiettyjen yksityiskohtien ratkaisemiseen.

Wynn ja Clarkson (2005) toteavat, että kokeneet suunnittelijat hyödyntävät aiempaa tietoaan ja kokemustaan ongelmien ratkaisussa. Erityisesti voimalaitossuunnittelussa, jossa projektit saattavat merkittävästi muistuttaa toisiaan, suunnittelijat pystyvät aieman kokemuksen perusteella arvioimaan tarkastikin, miltä lopullinen ratkaisu tulee näyttämään. Tämä tarkoittaa, että suunnittelijat kykenevät pienentämään mahdollisten ratkaisujen määrää kokemuksensa pohjalta. Wynn ja Clarkson (2005) esittävät myös, että suunnittelijat muodostavat kokemuksensa pohjalta tavoitteiden osajoukon, joka tukee suunnitteluprosessia ohjaamalla sitä etenemään oikeaan suuntaan. Tämä edelleen tukee väitettä, että käytettävän tuotekehitysmenetelmän tulisi pyrkiä rajoittamaan suunnittelijoiden työskentelyä mahdollisimman vähän.

Suunnittelijoiden kokemukseen perustuva suunnittelu on myös vaikuttanut yritysten toimintatapoihin. Eppinger et al. (1994) toteavat, että suurien yritysten tuotekehitysprosessit ovat kehittyneet vuosien myötä, mikä tarkoittaa, etteivät yritykset tyypillisesti noudata mitään tiettyä kirjallisuuden tuotekehitysstrategiaa. Tällaisiin hitaasti kehitty-

neisiin menetelmiin jää helposti epäkohtia, jotka heikentävät niiden tehokkuutta ja joita voi olla haasteellista havaita. Esimerkiksi byrokraattisuus on tällä tavalla kehittyneiden menetelmien tyypillinen piirre, mutta myös muita piileviä heikkouksia, puutteita ja epäloogisuuksia voi esiintyä (Eppinger, et al., 1994).

Näiden seikkojen lisäksi voidaan havaita, että laitossuunnittelussa esiintyy joitain tyypillisiä ”samanaikaisen suunnittelun” (concurrent engineering) piirteitä. Termillä tarkoitetaan suunnittelutyötä, jossa eri osa-alueiden suunnitteleminen pyritään toteuttamaan mahdollisimman paljon rinnakkain (Koufteros, et al., 2001). Laitossuunnittelussa tämä voi tarkoittaa esimerkiksi rakennesuunnittelun etenemistä ennen kuin layout on viimeistelty.

4.1.4 Tiedonhankinta tuotekehityksessä

Wallace et al. (2005) määrittelevät suunnittelutoiminnan tietointensiiviseksi aktiviteetiksi. Suunnittelijat tunnistavat suunnitteluprosessin osakokonaisuuksia määrittävän tiedon, jonka jälkeen he kehittävät ammattitaitojensa avulla tästä tiedosta osaratkaisun. Lopullinen ratkaisu on useiden osaratkaisujen yhdistelmä. Tämän vuoksi tiedon hankinta ja hyödyntäminen ovat oleellisia suunnitteluprosessin lopputulokselle.

Pahl ja Beitz (1996) puolestaan määrittelevät tiedon yhdistäväksi tekijäksi, joka suunnitteluprosessissa sitoo kaiken yhteen. Tieto antaa suunnittelijoille mahdollisuuden toimia ja tehdä päätöksiä jotka ohjaavat suunnitteluprosessia sekä päättävät sen lopputuloksen.

Tilapohjainen lähestymistapa voimalaitoksen layoutsuunnitteluun edellyttää tiedon keräämistä eri tilojen yksityiskohtien selvittämiseksi. Kirjallisuuden mukaan (Wallace, et al., 2005) merkittävä osa yrityksen tiedosta on sisäistä tietoa, jota ei ole kirjattu ylös. Tämän vuoksi suunnittelijoiden merkittävin tiedonhankintamenetelmä on kollegoilta kysyminen, ja tiedonkeräämiseen käytetään jopa neljäsosa koko työajasta. Laitossuunnittelussa tätä tiedonhankintaa voidaan helpottaa keräämällä talteen se tieto, joka on layoutin laatimisen kannalta oleellista. Tällöin tietoa ei tarvitse etsiä erikseen jokaisella suunnittelukerralla.

Tieto voidaan luokitella kolmeen osa-alueeseen: tieto asiasta, miten sekä miksi (know what, know how, know why) (Ćatić, 2011; Wallace, et al., 2005). Kerätessä tietoa hyödynnettäväksi tilapohjaisessa suunnittelussa on selvää, että tietoa on hankittava tiloja määrittelevistä tekijöistä. Esimerkiksi on kerättävä tietoa siitä, onko tiloilla sijoittamista rajoittavia tekijöitä, millaiset kulkuyhteydet ja rajapinnat ne tarvitsevat sekä minkä kokoisia rakennuksia ne tarvitsevat. Lisäksi on myös huomattava kerätä tietoa toimintamenetelmistä: miten asiat tehdään tai millä tavoin prosessit etenevät sekä miksi näin toimitaan. Esitetyn kolmen tietotyypin avulla pystytään paitsi paremmin arvioimaan tulevien rakenteiden koko ja muut ominaisuudet, jopa ennen kuin tarkat lähtötiedot on saatu, mutta myös perustelevaan tehdyt ratkaisut.

Neljäs tiedon osa-alue on ”kuka”, know who (Ćatić, 2011; Wallace, et al., 2005). Tällä tarkoitetaan kuka tietää kyseisestä asiasta ja täten keneltä tulisi kysyä apua.

Merkittävä osa siitä tiedosta mitä voimalaitossuunnittelussa tarvitaan, on jo olemassa. Tämä tieto täytyy vain kerätä ja koota yhteen, jonka jälkeen sitä voidaan hyödyntää yhdessä tilapohjaisen työkalun kanssa. Samalla talletetaan, keneltä tieto on hankittu, jolloin tarkentavien kysymyksien esittäminen ongelmatilanteissa helpottuu.

4.2 Uuden tuotekehitysmenetelmän kehittäminen

Tämän työn yhtenä tavoitteena on tilapohjaisen työkalun kehittäminen laitossuunnittelun tueksi. Työkalun tarkoituksena on tukea laitossuunnittelua edettäessä esitetyn laitoksen PI-kaaviosta ja laite-erittelyistä lopulliseen layoutsuunnitelmaan. Menetelmää laadittaessa hyödynnetään tässä kappaleessa esitettyjä seikkoja.

Teorian pohjalta voidaan todeta laitossuunnitteluun kohdistuvan merkittäviä vaatimuksia ja haasteita. Näistä ehkä merkittävimpiä ovat suunnittelun monialaisuus ja monimutkaisuus, kompromissien tekeminen, suunnittelun aikapaineet sekä kommunikoinnin ja tiedonkulun haasteellisuus. Jotta tilapohjainen lähestymistapa olisi mahdollisimman menestyksenkäs ja toimiva, on sen huomioitava ainakin nämä esitetyt ongelmat.

Muun muassa Eppinger et al. (1994) esittävät, että suunnitteluprosessin pilkkominen osiin auttaa yksinkertaistamaan monimutkaista prosessia. Tällöin eri osiin kehitetään omat ratkaisunsa, prosessin lopullisen ratkaisun ollessa näiden osaratkaisuiden yhdistelmä. Prosessin pilkkomisen ohella, myös systemaattisella toiminnalla voidaan helpottaa monimutkaista suunnitteluprosessia. Systemaattisuutta voidaan edesauttaa kehittämällä runko, jota prosessi seuraa ja joka tukee suunnittelua.

Seuraava suunnitteluprojektien ongelma, kompromissien tekeminen on haasteellisempi ratkaista. Kompromissien tekemistä on vaikea kattaa työkaluilla tai menetelmillä, ja se on tehtävä tilannekohtaisesti suunnittelijan ammattitaidon ja tietojen pohjalta. Tilapohjainen menetelmä saattaa kuitenkin auttaa kompromissien tekemistä, sillä suunnittelijan on helpompi hahmottaa miten tilat tulisi sijoittaa, jolloin myös sijoittamisesta syntyvät kompromissit selkeytyvät. Lisäksi jos on tiedossa eri osakokonaisuuksiin vaikuttavat tekijät, pystyy suunnittelija paremmin tiedostamaan syntyvät kompromissit ja niiden vaikutukset jo varhaisessa vaiheessa.

Loppuihin suunnittelun haasteisiin, aikapaineisiin, kommunikointiin ja tiedonkulkuun pystytään vaikuttamaan systemaattisen työskentelyn lisäksi myös keräämällä tyyppillisin ja useimmin tarvittu tieto talteen. Näin myöhemmissä projekteissa ei tarvitse tehdä samaa selvitystyötä uudelleen. Jos kirjataan ylös myös tiedon lähde, helpottuu tarkentavan tiedon hankkiminen sekä myöhempien projektien tapauksessa tiedon päivittäminen.

Merkittävimpien laitossuunnittelun ongelmien lisäksi esitettiin kappaleessa 4.1.3 hyvän tuotekehitysmenetelmän kriteerit. Näistä voidaan huomioida erityisesti kohdat 1, 3 ja 6: menetelmän on oltava helppo käyttää, tarjottava tukea heikkojen kohtien havaitsemiseksi sekä tuettava systemaattista työprosessia.

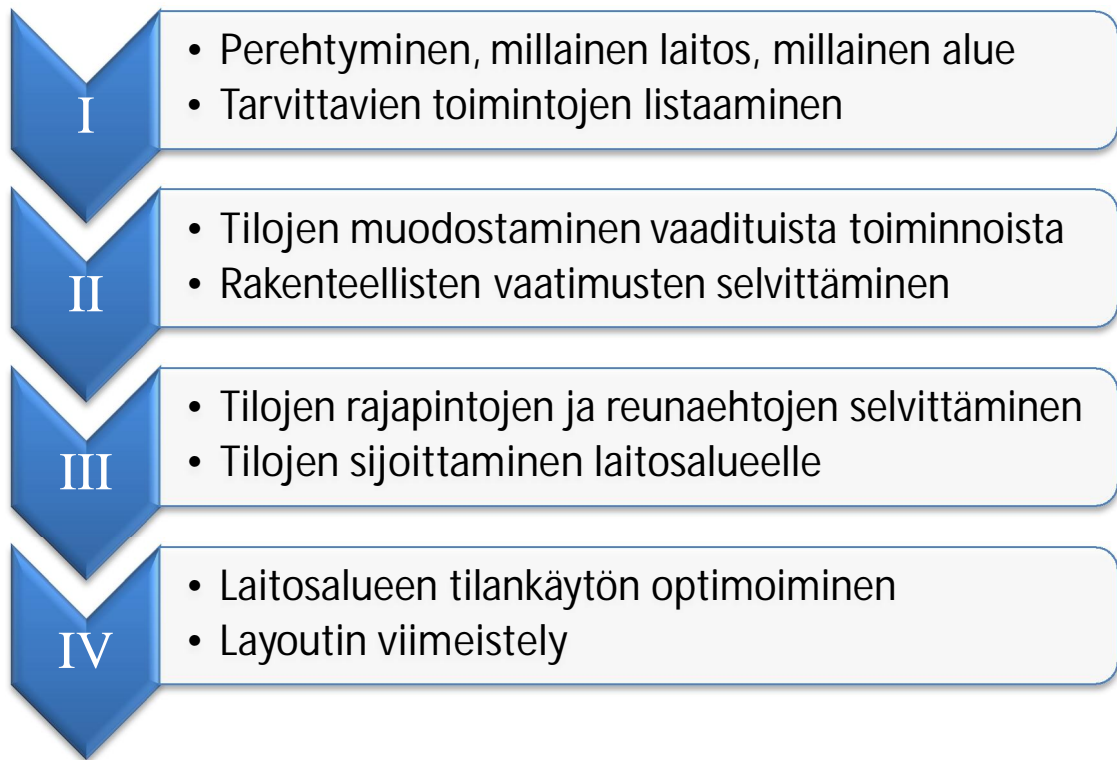
Yllä esitetyt seikat ovat asioita, jotka tulee teorian mukaan huomioida uudessa tilapohjaisessa lähestymistavassa. Tässä menetelmässä voimalaitoksen osakokonaisuudet jaetaan helpommin hahmotettaviin tiloihin, jotka yhdessä muodostavat tilakaavion, jonka pohjalta layout voidaan kehittää. Tilalla tarkoitetaan esimerkiksi rakennusta tai huonetta, joka muodostaa osatoimintojen joukon. Tilakaavion avulla monimutkainen voimalaitos voidaan jakaa osiin, jolloin monimutkaisuuden asettama haaste täyttyy ainakin osittain.

Pelkän tilakaavion lisäksi tarvitaan myös tuotekehityksen runko, jota suunnittelu-prosessi seuraa. Runkoa voi pitää suunnitteluprosessin selkärankana, mutta myös tilapohjaisen menetelmän käyttöohjeena. Tämän rungon avulla suunnittelutyö saadaan systemaattisemmaksi, mikä myös auttaa monimutkaisuuteen. On tärkeä huomata, että tilapohjaisen lähestymistavan ei ole tarkoitus korvata nykyisiä laitossuunnittelun menetelmiä, vaan ainoastaan toimia tukena suunnittelijoiden nykyisille toimintatavoille.

Yhteenvedona voidaan todeta, että tilapohjainen lähestymistapa koostuu kolmesta vaiheesta: tilakaavion muodostamisesta, muodostettujen tilojen reunaehto- ja rajapintojen selvittämisestä sekä layoutin laatimisesta näiden tietojen pohjalta. Näitä vaiheita ohjaa suunnittelutyön runko. Näiden kolmen vaiheen työjärjestys ei ole yksiselitteinen, sillä eri vaiheiden välissä esiintyy iterointia. Seuraavissa kappaleissa esitetään millainen tilapohjaisen menetelmän rungon tulisi olla, millainen itse tilapohjainen lähestymistapa on sekä mitä tietoa tiloista tarvitaan.

4.2.1 Tuotekehitysmenetelmän runko

Koska systemaattinen työskentely on erittäin merkittävää monimutkaisissa suunnittelu-prosesseissa, esitetään laitossuunnittelun etenemiselle yksinkertainen ohjenuora ja malli, kuva 4.2. Mallissa on pyritty kattamaan tilapohjaisessa suunnittelussa tarvittavat työvaiheet. Tässä kappaleessa on määritetty mitä mallin työvaiheissa tehdään.



Kuva 4.2: Suunnitteluprosessin eteneminen tilapohjaisessa suunnittelussa

Esitetty tuotekehitysmalli on jätetty tarkoituksella riittävän abstraktiksi, ettei se rajoita suunnittelijoiden työskentelyä. Abstraktius on tärkeätä myös siksi, että monimutkaisissa suunnitteluprosesseissa on erittäin haasteellista kattaa kaikkia suunnittelun vaiheita. Näiden seikkojen lisäksi tuotekehitykselle tärkeä iteratiivisuus on mahdollista saavuttaa, kun menetelmä ei edellytä tarkkaa seuraamista.

Mallin runko koostuu neljästä päävaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa perehdytään käsiteltävään projektiin: millainen laitos on kyseessä, mitä toimintoja ja laitteita asiakas haluaa rakennettavan ja millaiselle alueelle laitosta ollaan rakentamassa. Tässä vaiheessa tehdään käytännössä projektin pohjatyö sekä valitaan käytettävä teknologia ja laitteet. Myöhemmissä vaiheissa tehtävät päätökset nojaavat tämän vaiheen tuloksiin.

Seuraavassa vaiheessa laitokseen vaadituista osatoiminnoista muodostetaan tiloja. Tämä edellyttää osakokonaisuuksien käsittelemistä ja analysoimista yhdistettävien toimintojen tunnistamiseksi. Tässä vaiheessa selvitetään myös millaisia vaatimuksia käytössä oleva laitosalueen maaperä asettaa suunnittelulle, esimerkiksi tarvitaanko maaperän paaluttamista tai louhintaa. Käytännössä eri projekteista syntyvät tilat muistuttavat merkittävästi toisiaan, sillä voimalaitokset ovat kokonaisuuksina hyvin samankaltaisia. Merkittäviä eroavaisuuksia tilojen välillä saattaa esiintyä esimerkiksi polttoaineenkäsittelyn ja höyryn lauhdutuksen yhteydessä.

Kolmannen vaiheen alussa tulisi olla selvillä millaiset tilat laitosalueelle halutaan. Vaiheen aikana selvitetään tiloille muodostuvat rajapinnat ja reunaehdot, jotka vaikuttavat tilojen sijoittamiseen. Kuten varsinaiset tilat, myös niiden rajapinnat ja reunaehdot pysyvät pääsääntöisesti muuttumattomina laitosten välillä. Eroja voi olla esimerkiksi

erilaisten kuljettimien mahdollisissa nousukulmissa, mikä vaikuttaa merkittävästi polttoaineenkäsittelylaitteiden sekä -varastojen sijoittamiseen. Kun nämä tiedot ovat selvillä, voidaan tilat sijoittaa alueelle. Sijoittamista tehtäessä tulee huomioida myös tilojen ulkopuolisia tekijöitä, kuten laitosalueen liikennejärjestelyt sekä maankäyttö.

Neljäs vaihe on tarkoitettu laitosalueen tilojen ja osatoimintojen sijainnin optimoinnille, virheiden ja epäkohtien etsimiselle ja korjaamiselle, ja täten layoutin viimeistelylle. Viimeisen työvaiheen omistaminen viimeistelytyölle on tyypillistä monimutkaisten tuotekehitysprosessien tapauksessa (Earl, et al., 2005). Tässä vaiheessa on myös hyvä arvioida lopputulosta, miettiä mikä tehdyssä layoutissa on hyvää ja mitä voisi vielä kehittää.

Esitetty malli kuvastaa pääpiirteissään layoutsuunnittelun etenemistä PI-kaaviosta valmiiseen layoutiin. Eri vaiheiden väliset siirtymät on jätetty hämäräksi, jolloin iterointi edellisiin vaiheisiin helpottuu ja menetelmän joustavuus paranee. Myös mallin neljäs vaihe, työn viimeisteleminen, tukee iteroivaa työskentelytapaa. Iterointia oletetaan tapahtuvan erityisesti vaiheiden 2 ja 3 välillä siten, että joitain toimintoja joudutaan siirtämään eri tiloihin tilankäytön haasteiden vuoksi.

4.2.2 Tilapohjainen lähestymistapa

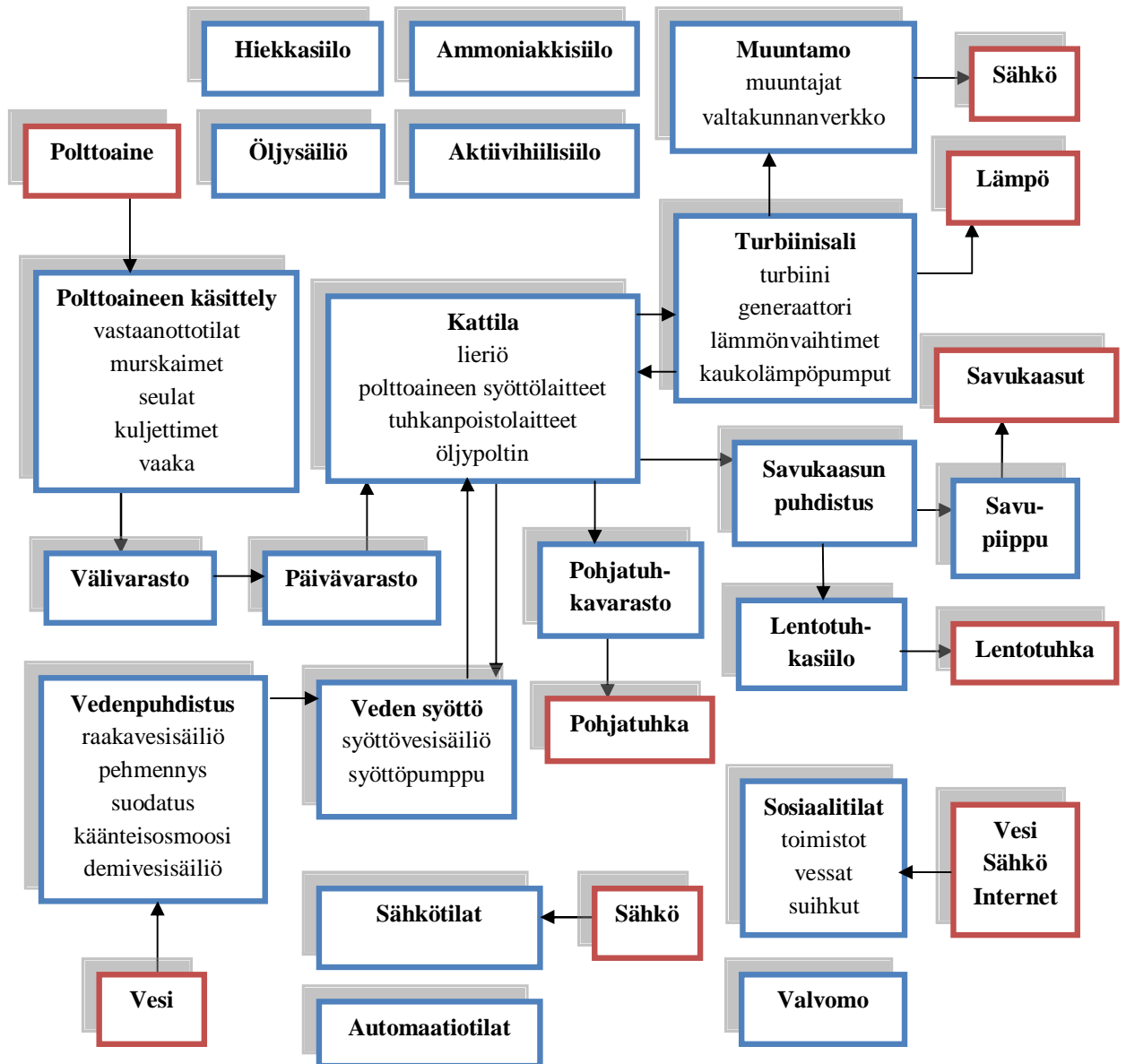
Laitossuunnitteluun ideoitu tilapohjainen lähestymistapa muistuttaa kappaleessa 4.1.2 esitettyjä toiminto- ja elinpohjaisia rakenteita. Kuten toimintopohjaiset rakenteet, tilapohjainen lähestymistapa ei ota kantaa miten toiminnot tai niiden rajapinnat toteutetaan. Kuten elinpohjaiset rakenteet, tilapohjaisella menetelmällä voidaan hahmottaa eri osakokonaisuuksien sisältämiä toimintoja, mutta myös jossain määrin niiden sijoittamista.

Tilapohjaisessa lähestymistavassa voimalaitoksen osatoiminnot jaetaan ensiksi loogisiin osakokonaisuuksiin, tiloihin, siten että muodostettavat tilat muistuttavat merkittävästi niiden todellisia fyysisiä kokonaisuuksia. Esimerkiksi kattilatila sisältää ne osatoiminnot, jotka todellisuudessa sijaitsevat fyysisesti kattilan välittömässä läheisyydessä ja ovat toiminnoltaan kriittisiä kattilalle. Muodostetuille tiloille merkitään niiden rajapinnat, jolloin nähdään mitkä tilat tulee sijoittaa lähelle toisiaan. Tilojen sijoittamisen helpottumisen lisäksi tilapohjaisen menetelmän etuna on monimutkaisen kokonaisuuden merkittävästi helpompi hahmottaminen, toisin sanoen suunnitteluprosessin kompleksisuuden alentaminen.

Tilapohjaisella lähestymistavalla saadaan hahmotettua myös voimalaitoksen toiminnan kannalta välttämättömät tukifunktiot, kuten valvomo ja työntekijöiden sosiaalityilat, joita ei ole esitetty PI-kaaviossa. Tilakaaviolla on myös mahdollista hahmottaa eri rakennusten ja tilojen välille vaadittavia kulkuyhteyksiä. Sen sijaan esimerkiksi layoutiin merkittävästi vaikuttavat liikennejärjestelyt jäävät tämän kuvaajan ulkopuolelle.

Kuvassa 4.3 on esitetty tilapohjaisen lähestymistavan ensimmäinen vaihe, tilakaavio. Tilat on muodostettu tyypilliselle lämpövoimalaitokselle, jossa on leijukerroskattila ja polttoaineena käytetään yhteiskuntajätettä. Tilat on merkitty kuvaan sinisellä värillä,

tilojen väliset yhteydet ja rajapinnat nuolilla sekä laitoksen ulkopuoliset materiaalivirrat punaisella.



Kuva 4.3: Tilapohjaisen lähestymistavan tilakaavio

Tällä tarkkuustasolla tilakaavio auttaa lähinnä kokonaiskuvan muodostamisessa, osakokonaisuuksien hahmottamisessa sekä layoutin ideoinnissa ja luonnostelussa. Jotta tästä päästään eteenpäin, on paitsi kerättävä lisätietoa erillisistä tiloista, mutta myös jaettava tilakaavio yhä pienempiin tiloihin.

Jakamalla tilat vielä pienempiin osiin, esimerkiksi sosiaalitilat ensin toimistoihin ja tämän jälkeen mahdollisesti jopa yksittäisiin huoneisiin, saadaan tuloksena hyvin tarkka tilakaavio, joka esittää kattavasti koko voimalaitoksen. Tällaisen työkalun avulla voidaan parantaa tiedonkulkua laitossuunnittelun ja rakennesuunnittelun välillä. Lisäksi keräämällä perustiedot sekä tyypillisimmät dimensioihin vaikuttavat tekijät näille uusil-

le pienemmille tiloille, pystytään jo hyvin varhaisessa vaiheessa arvioimaan miltä layout tulee näyttämään.

Tilakaavion muodostamisen jälkeen laaditaan laitoksen layout, eli sijoitetaan muodostetut tilat käytössä olevalle laitosalueelle. Sijoittamisessa huomioidaan tilojen rajapinnat ja muut reunaehdot, eli pyritään sijoittamaan sopivat osat lähelle toisiaan sekä tietyt tilat etäälle toisistaan. Sijoittamisen yhteydessä voidaan myös huomata, etteivät muodostetut tilat välttämättä mahdu käytössä olevalle laitosalueelle. Tällöin on tarpeen muuttaa tilojen sisältämiä toimintoja, jolloin tilakaavio sekä tilojen rajapinnat ja muodot muuttuvat.

Tässä yhteydessä on hyvä huomioida, että tilapohjaisen lähestymistavan tilat eivät ole sama asia kuin moduulit. Tilat muistuttavat moduuleita, mutta niiden käyttötarkoitus eroaa moduuleista. Kuten aiemmin esitettiin, tiloilla pyritään ryhmittämään monimutkaisen järjestelmän toiminnot sopiviin osakokonaisuuksiin, jolloin järjestelmän kompleksisuus alenee ja kokonaiskuvan hahmottaminen ja hallinta helpottuu. Moduuleilla sen sijaan pyritään esimerkiksi parantamaan tuotteen muunneltavuutta, valmistettavuutta, huollettavuutta tai logistiikkaa (Lehtonen, 2007).

4.2.3 Tilojen tietojen kerääminen

Kolmas tilapohjaisen lähestymistavan osa-alueista on tyypillisimmistä tiloista koottu tietolista. Lista kerätään eri tilojen reunaehtoja ja vaatimuksia, jotka ovat oleellisia layoutia laadittaessa. Tiedot voidaan kerätä kokeneilta suunnittelijoilta, kirjallisuudesta sekä aiempia projekteja analysoitaessa ja ne voidaan koota esimerkiksi taulukon 4.1 mukaiseen esitysmuotoon.

Taulukko 4.1: Tilojen erityispiirteiden ylöskirjaamiseen käytettävä taulukko

tila	reunaehto tai vaatimus	lähde

Taulukon 4.1 vasempaan sarakkeeseen kirjataan, mikä tila on kyseessä. Keskimmäiseen sarakkeeseen kerätään kyseisen tilan suunnittelun kannalta kriittiset seikat ja oikeanpuoleiseen sarakkeeseen tiedon lähde. Lähteen kirjaaminen on tärkeätä siksi, että nähdään nopeasti mistä lisätietoa tarkentaviin kysymyksiin ja ongelmatapauksiin voidaan saada. Myös uusien projektien tapauksessa tietojen päivittäminen helpottuu, kun tiedetään mistä tai keneltä tieto aiemmin on saatu.

Reunaehtojen ja muiden vaatimusten lisäksi eri tiloista on hyvä tietää niiden rajapinnat. Tämä tieto voidaan puolestaan koota taulukon 4.2 mukaiseksi. Taulukon keskisarakkeeseen kirjataan, mikä tila on kyseessä, vasemmanpuoleiseen sarakkeeseen mikä on tulorajapintana ja oikeanpuoleiseen mikä on lähtöraajapintana. Rajapinnat voidaan

kirjata joko yhdistettävien tilojen nimillä, mutta myös tarkentavien tietojen kanssa, esimerkiksi minkä tyyppisellä putkella tai kuljettimella liitos on tehty.

Taulukko 4.2: Tilojen rajapintojen havainnollistamiseen käytettävä taulukko

tulorajapinta	tila	lähtörajpinta

Rajapinnat esittävä taulukko saattaa olla hyödyllinen apu laitoksen kokonaiskuvan hahmottamisessa ja tiedonkeruussa, sillä tilojen rajapinnat pysyvät pääsääntöisesti samoina projektista toiseen. Tällöin aiempien projektien tietoa pystytään tehokkaasti hyödyntämään heti uuden projektin alussa. On kuitenkin hyvä huomata, että vaikka tilojen rajapinnat pysyvät paljolti samoina, varsinaiset kytkennät ja laitteet saattavat muuttua

4.2.4 Esitettyjen menetelmien yhdistäminen

Aiemmissä kappaleissa on esitetty laitossuunnittelun tilapohjaisen lähestymistavan kolme vaihetta: suunnittelun runko, tilakaavio ja tilojen tietotaulukot. Nämä vaiheet yhdistämällä voidaan helpottaa laitossuunnittelua. Runko on luonnollisesti tarkoitettu ohjaamaan suunnittelun etenemistä, tietotaulukoiden on tarkoitus tukea tehtäviä ratkaisuja ja tilakaavio on suunnittelun ensisijainen apuväline. Jotta tilapohjainen menetelmä etenisi toivotulla tavalla, on näitä kolmea menetelmää kyettävä käyttämään yhdessä.

Kuvassa 4.2 esitetyn rungon toisessa vaiheessa muodostetaan laitoksessa käytettävät tilat. Näiden tilojen pohjalta kerätään ensin taulukkoon tiedot kappaleen 4.2.3 mukaisesti, jonka jälkeen tiloista muodostetaan kuvan 4.3 mukainen tilakaavio. Kuten aiemmissa kappaleissa mainittiin, eri projekteissa muodostettavat tilat ovat monesti hyvin samankaltaisia. Tällöin voidaan merkittävästi hyödyntää paitsi aiempien projektien taulukoita, mutta myös itse tilakaavioita.

Kun tilakaaviot ja tilojen tietotaulukot on tehty, täydennetty tai päivitetty kyseisen projektin mukaisesti ajan tasalle, voidaan edetä kuvan 4.2 vaiheeseen kolme. Tästä vaiheesta eteenpäin tilakaaviota ja taulukoita käytetään suunnittelutyön tukena, mutta suunnittelutyö itsessään etenee esitetyn rungon mukaisesti.

4.3 Yhteenveto kappaleesta

Kappaleessa 4 on tehty kirjallisuusselvitys erilaisiin tuotekehitysmenetelmiin. Menetelmistä on pyritty tunnistamaan sellaisia ominaisuuksia ja piirteitä, joita voitaisiin hyödyntää voimalaitosten suunnittelemisessa. Samalla on tunnistettu hyvälle menetelmälle

toivottuja, epätoivottuja ja tyypillisiä piirteitä. Näiden tietojen avulla on kehitetty tilapohjainen lähestymistapa.

Teorian pohjalta tunnistettiin merkittäviksi suunnittelun haasteiksi erityisesti kompromissien tunnistaminen ja hallinta. Myös kommunikointi monialaisessa ryhmässä, laaja-alaisen tiedon hallinta sekä suunnittelun aikapaineet ovat tyypillisiä ongelmia. Samaten teoriassa on esitetty, että hyvän menetelmän tulisi olla muun muassa yksinkertainen ja helppo käyttää, ymmärtää ja oppia sekä tukea systemaattista työskentelyä. Näiden tietojen pohjalta voidaan lähteä kehittämään uutta laitossuunnitteluun soveltuvaa suunnittelutyökalua. Uutta työkalua kehitettäessä on kuitenkin pidettävä mielessä työntekijöiden mahdollinen muutosvastarinta. Tämän vuoksi kehitettävän menetelmän on pyrittävä tukemaan työskentelyä ilman että se rajoittaa nykyisiä käytäntöjä.

Kappaleessa esitetty tilapohjainen lähestymistapa muistuttaa osittain toimintopohjaista menetelmää. Tilapohjaisessa lähestymistavassa voimalaitos jaetaan osakokonaisuuksien mukaisesti tiloihin, joilla on rajapinnat ja reunaehdot. Jakamalla koko voimalaitos tällä tavoin voidaan tiloista muodostaa kaavio, joka esittää koko voimalaitoksen toimintojen riippuvuuden toisistaan. Näin pystytään esittämään monimutkainen kokonaisuus helposti hahmotettavassa muodossa.

Tiloista muodostettavan kaavion lisäksi kappaleessa todettiin, että on tärkeätä kerätä mahdollisimman paljon tilojen sijoittamiseen vaikuttavaa tietoa talteen. Kerättyä tietoa voidaan hyödyntää useissa projekteissa, sillä tilojen reunaehdot ja muut yksityiskohdat pysyvät pääsääntöisesti muuttumattomina. Lisäksi tilapohjaiselle menetelmälle kehitettiin yksinkertainen prosessin etenemiskaavio, jonka tarkoituksena on opastaa laitossuunnittelun etenemistä sekä systematisoida työvaiheita.

5 VOIMALAITOKSEN TILAT JA NIIDEN SIJOITTAMINEN

Tässä työssä esitetty tuotekehitystyökalu, tilapohjainen lähestymistapa, perustuu voimalaitoksen tilojen, eli toiminnollisten osakokonaisuuksien, tunnistamiseen ja hyödyntämiseen. Tilat muodostetaan tapauskohtaisesti, mutta ne toistuvat monesti samanlaisina projektista toiseen. Tämän vuoksi tilapohjaisen menetelmän käyttöä voidaan helpottaa tekemällä laaja pohjaselvitys eri tilojen reunaehdoista, rajapinnoista sekä muista niiden sijoittamiseen vaikuttavista tekijöistä. Vaikka tilat ja laitoksen yksityiskohdat muuttuisivat, voidaan näitä tietoja hyödyntää myöhemmissä projekteissa.

Kun tilat on muodostettu ja niiden reunaehdot ja rajapinnat on selvitetty, voidaan ne sijoittaa käytössä olevalle laitosalueelle. Tyypillisiä laitosten sijoittamiseen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi rakennusten fyysiset tilavaatimukset ja korkeuserot, tilojen väliset rajapinnat ja täten etäisyyksien optimointi, tekniset ominaisuudet kuten puhtaan ilman saaminen sekä käytössä olevan laitosalueen koko ja muoto.

Näiden tekijöiden lisäksi tilojen sijoittamiseen vaikuttaa myös sellaisia tekijöitä, joita ei ole esitetty tilojen reunaehdoissa tai vaatimuksissa. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi laitosalueen liikennejärjestelyt, huollettavuus, turvallisuus sekä laitoksen rakentamisvaiheen haasteet.

Tämän kappaleen tarkoituksena on tehdä alustavaa pohjatyötä tilojen tietojen selvittämiseen. Kappaleessa esitetään voimalaitoksille tyypillisimpiä tiloja, jotka toimivat esimerkkinä tilojen muodostamiselle todellisissa suunnitteluprojekteissa. Esitetyille tiloille selvitetään niiden rajapinnat sekä osa reunaehdoista. Tiedot kerätään taulukoiden 4.1 ja 4.2 mukaiseen esitysmuotoon. Rajapintojen ja reunaehtoisten lisäksi esitetään voimalaitoksen kulkureittien, huollettavuuden, pelastusteiden ja laitoksen rakennettavuuden suunnittelussa huomioitavia seikkoja sekä joitain laitoksen ympäristötekijöitä.

Tässä työssä rajoitutaan käsittelemään bio- ja jätepolttoaineita hyödyntäviä leijukeroskattiloita, jotka tuottavat sekä sähköä, että kaukolämpöä. Menetelmä on kuitenkin käyttökelpoinen kaikentyypisissä voimalaitoksissa.

5.1 Tilojen muodostaminen

Tässä työssä tarkoitetaan voimalaitoksen tilalla sellaista osakokonaisuutta, jonka toiminnot muodostavat loogisen, toiminnallisen yhtenäisyyden. Näiden tilojen avulla pystytään tunnistamaan laitoksen tärkeimmät toiminnot sekä helpottamaan kokonaisuuden hahmottamista ja toimintojen sijoittamista laitosalueelle.

Yleisimmät tilat on muodostettu aiemmin tässä työssä ja ne ovat nähtävillä kuvassa 4.3. Tilat on muodostettu kappaleessa 3 esitettyjen tärkeimpien osakokonaisuuksien pohjalta, PI-kaavioita tutkimalla sekä laitosvierailuiden pohjalta. Tärkeimmät tilat voidaan erottaa myös esimerkiksi kuvan 3.2 avulla. Voimalaitoksen tärkeimmät tilat ovat kattilatala, polttoaineen esikäsitteily, turbiinisali, savukaasujen puhdistaminen sekä tuhkan käsittelyjärjestelmät. Nämä tilat löytyvät käytännössä kaikista voimalaitoksista, mutta niiden ominaisuudet ja komponentit saattavat vaihdella merkittävästi laitoksen tyyppin mukaan. Yllä esitettyjen lisäksi voimalaitoksista voidaan erottaa muita usein tarvittavia yleisiä tiloja.

Taulukossa 5.1 esitellään voimalaitoksesta muodostettavat tyyppisimmät tilat ja niiden määritelmät sekä tilojen sisältämät toiminnot. Eri osakokonaisuuksien varsinainen toiminta on esitetty kappaleessa 3.

Taulukko 5.1: Tyyppisiä voimalaitosalueen tiloja sekä niiden selityksiä

<i>Tilan nimi</i>	<i>Määritelmä</i>
<i>Kattilahuone</i>	Sisältää kattilan lisäksi lieriön, öljypolttimen sekä palamis- ja leijutusilman syöttölaitteet sekä muita kattilan aputoimintoja. Myös tulistimet ja lämmönvaihtimet liittyvät olennaisesti tähän tilaan.
<i>Turbiinisali</i>	Sisältää lämpövoimalaitoksen tapauksessa turbiinin ja generaattorin, kaukolämmön lämmönvaihtimet sekä näihin tarvittavat pumput ja muut apulaitteet. Lauhdutustorni korvaa lämmönvaihtimet jos kaukolämpöä ei haluta hyödyntää.
<i>Savukaasujen puhdistaminen</i>	Tilassa on savukaasunpuhdistimet, kalkinsyöttölaitteet, savukaasupuhaltimet sekä lentotuhkan käsittelylaitteet. Myös savupiipun voidaan laskea kuuluvan tähän tilaan.
<i>Pohjatuhka</i>	Tähän tilaan lasketaan pohjatuhkankäsittelylaitteet, kuten pohjatuhkaseula, hiekan palautuslaitteet, kuljettimet ja pohjatuhkan varastointitilat.
<i>Polttoaineen esikäsitteily</i>	Polttoaineen vastaanottojärjestelmät, esivarastot, murskaimet, seulat ja muut käsittelylaitteet sekä näiden väliset kuljettimet kuuluvat tähän tilaan. Nämä laitteistot vaihtelevat paljon laitostyyppistä riippuen.
<i>Polttoaineen välivarasto</i>	On polttoaineen puskurivarasto, jonka avulla voimalaitoksen toiminta voidaan taata huoltoseisokkien ja polttoaineenkuljetuskosten aikana. Välivarasto voi sijaita ennen tai jälkeen polttoaineen esikäsitteilyn.
<i>Polttoaineen syötösäiliö</i>	On kattilan läheisyyteen asennettava polttoaineen välivarasto, ”päiväsiilo”, josta polttoaine syötetään suoraan kattilaan. Päiväsiilon avulla voidaan säädellä polttoainevirtaa kattilaan, minkä lisäksi se toimii lyhyen aikavälin puskurivarastona.

<i>Hiekka-, kalkki-, ammoniakki- ja aktiivihiihisiilot</i>	Nämä ovat toisistaan erillisiä siilovarastoja jotka varastoivat voimalaitoksen toiminnan kannalta oleellisia materiaaleja. Jokainen siiloista muodostaa oman tilansa. Tiloihin lasketaan lisäksi näille vaadittavat materiaalikuljettimet.
<i>Vedenpuhdistus</i>	Tilaan kuuluu yhteys vesiverkkoon, mahdollinen raakavesisäiliö, veden pehmenitys, suodatus ja laitteisto käänteisosmoosia varten. Myös puhdistetun veden säiliö, ”demivesisäiliö”, kuuluu tähän tilaan.
<i>Vedensyöttö</i>	On syöttövesisäiliöstä ja syöttövesipumpusta koostuvat kokonaisuus josta ohjataan vettä lieriöön.
<i>Sammutusvesi tai -höyry</i>	On tulipalon varalle tarvittava vesisäiliö josta taataan riittävä sammutusvesi. Sammutusvesi voidaan ottaa esimerkiksi mahdollisesta kaukolämpökustasta tai raakavesisäiliöstä.
<i>Muuntamot</i>	Muuntajia käytetään laitokselle tulevan sähkön jännitteen muuttamiseksi tarpeen mukaiseksi. Lisäksi tarvitaan erillinen muuntamo lähtevälle sähkölle, mutta tämä sijoitetaan monesti laitoksen ulkopuolelle.
<i>Automaatiotilat</i>	Tähän tilaan kuuluvat automaatiokaapit, joiden avulla laitosta ohjataan.
<i>Sähkötilat</i>	Näihin tiloihin kuuluvat sähkökaapit joihin tuodaan laitoksen käyttämä sähkö, ja joista jaetaan sähkö laitoksen toimilaitteille.
<i>Lentotuhkasiilo</i>	Tämä osa liittyy olennaisesti savukaasujen puhdistukseen ja siihen varastoidaan poltossa syntyvä lentotuhka.
<i>Paineilman tuotto</i>	Koostuu kompressoreista ja niihin tarvittavista putkiyhteyksistä. Paineilmaa tarvitaan lentotuhkan kuljettamiseen, venttiileiden ohjauksiin sekä mahdollisesti muihin aputoimintoihin.
<i>Öljysäiliö</i>	Öljysäiliössä varastoidaan käynnistyspolttimissa ja apupolttoaineena käytettävä öljy. Öljysäiliö on sijoitettava paloturvallisuussyistä riittävän kauas muista rakennuksista.
<i>Valvomo</i>	Valvomo on laitoksen käyttöhenkilökunnan ensisijainen työskentelytila. Valvomosta on oltava lyhyt siirtymämatka niihin kohteisiin, joissa käyttöhenkilökunnan tarvitsee useimmin käydä.
<i>Sosiaalitilat</i>	Tähän tilaan lasketaan mm. vessat, suihkut, pukukopit ja ruokailutilat. Lisäksi toimisto- ja kokouksetilat voidaan lukea tähän tilaan.

Yllä esitetyt tilat ovat vain suuntaa-antavia. Ne voivat vaihdella laitoskohtaisesti paitsi muodoltaan ja suuruudeltaan, myös sisältämiensä toimintojen puolesta. Eri laitoksissa saatetaan lisäksi tarvita myös sellaisia tiloja joita ei tässä ole esitetty sekä joitain tiloja ei välttämättä tarvita lainkaan kaikissa laitoksissa.

5.1.1 Tilojen rajapinnat

Rajapinnalla tarkoitetaan tässä yhteydessä tekijää, joka yhdistää kaksi osaa toisiinsa. Voimalaitoksen tapauksessa rajapinnalla voidaan tarkoittaa esimerkiksi höyryputkea, joka kuljettaa höyryn tulistimilta turbiiniin, tai automaatiokaapelointia, joka yhdistää hallintalaitteet toimilaitteisiin. Myös esimerkiksi työntekijöiden kulkuväyliä voidaan pitää rajapintoina.

Rajapintojen selvittäminen on tärkeää laitossuunnittelussa, sillä tämä tieto auttaa selvittämään miten tilat tulisi sijoittaa. Jos kahden tilan välillä on yhteinen rajapinta, tulee ne todennäköisesti sijoittaa lähelle toisiaan. Esimerkiksi tiloja yhdistävän höyryputken tapauksessa, putken pituus minimoimalla pystytään vaikuttamaan valmistuskustannuksiin. Vastaavasti jos yhteistä rajapintaa ei ole, ei todennäköisesti ole syytä sijoittaa kyseisiä tiloja lähelle toisiaan.

Taulukossa 5.2 on esitetty tyypillisen voimalaitoksen tilojen joitain tulo- ja lähtöraajapintoja. Taulukkoa on hyvä verrata esimerkiksi kuvaan 4.3, jossa tilat ja niiden rajapinnat on esitetty kaaviona. Taulukon ei ole tarkoitus olla kaikenkattava, vaan siihen on täytetty vain joitain tilojen rajapinnoista, jotta voidaan osoittaa kehitetyn menetelmän toimivuus ja toimintaperiaate.

Taulukko 5.2: Yleisimpien tilojen tulo- ja lähtöraajapinnat

<i>tulorajapinta</i>	<i>tila</i>	<i>lähtöraajapinta</i>
<ul style="list-style-type: none"> päiväsiilo ja polttoaineen syöttö vedenkäsittely öljysäiliö hiekkasiilo kemikaalit turbiini 	<i>kattilahuone</i>	<ul style="list-style-type: none"> turbiini savukaasun käsittely pohjatuhka
<ul style="list-style-type: none"> kattila 	<i>turbiinisali</i>	<ul style="list-style-type: none"> kattila muuntajat kaukolämpöverkko / lauhdutustorni
<ul style="list-style-type: none"> kattila kalkkisiilo paineilma aktiivihili 	<i>savukaasujen puhdistaminen</i>	<ul style="list-style-type: none"> lentotuhkasiilo savupiippu
<ul style="list-style-type: none"> savukaasujen käsittely 	<i>lentotuhkasiilo</i>	<ul style="list-style-type: none"> tyhjennys rekoilla
<ul style="list-style-type: none"> kattila 	<i>pohjatuhka</i>	<ul style="list-style-type: none"> tyhjennys rekoilla hiekan palautus kattilaan

<ul style="list-style-type: none"> • polttoaineen vastaanotto • polttoaineen analysointi 	<i>polttoaineen esikäsitteily</i>	<ul style="list-style-type: none"> • polttoaineen välivarasto
<ul style="list-style-type: none"> • esikäsitteily 	<i>polttoaineen välivarasto</i>	<ul style="list-style-type: none"> • päiväsiilo
<ul style="list-style-type: none"> • polttoaineen välivarasto 	<i>päiväsiilo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • kattila
<ul style="list-style-type: none"> • täydennys rekoilla 	<i>hiekkasiilo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • kattila
<ul style="list-style-type: none"> • täydennys rekoilla 	<i>ammoniakkisiilo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • kattila
<ul style="list-style-type: none"> • täydennys rekoilla 	<i>kalkkisiilo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • savukaasujen puhdistus • kattila
<ul style="list-style-type: none"> • täydennys rekoilla 	<i>aktiivihiihiisiilo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • savukaasujen puhdistus
<ul style="list-style-type: none"> • kaupungin vesiverkko 	<i>vedenpuhdistus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • vedensyöttö
<ul style="list-style-type: none"> • vedenpuhdistus 	<i>vedensyöttö</i>	<ul style="list-style-type: none"> • kattila
<ul style="list-style-type: none"> • generaattori 	<i>muuntamo/kytkinkenttä</i>	<ul style="list-style-type: none"> • valtakunnanverkko
<ul style="list-style-type: none"> • automatisoivat prosessit 	<i>automaatioilat</i>	<ul style="list-style-type: none"> • prosessit
<ul style="list-style-type: none"> • valtakunnan sähköverkkoon liityntä 	<i>sähkötilat ja kaapelireitit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • sähköistettävät kohteet
<ul style="list-style-type: none"> • sähkö • käyttöilma 	<i>paineilman tuotto</i>	<ul style="list-style-type: none"> • lentotuhkankäsittely • toimilaitteet, venttiilit
<ul style="list-style-type: none"> • täydennys rekoilla 	<i>öljysäiliö</i>	<ul style="list-style-type: none"> • kattila
<ul style="list-style-type: none"> • hallintatiedot • valvontakamerat 	<i>valvomo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • hallintalaitteet
<ul style="list-style-type: none"> • sähkö • Internet • vesi 	<i>sosiaaltilat</i>	<ul style="list-style-type: none"> • viemärointi
<ul style="list-style-type: none"> • sähkö 	<i>ilmastointitilat (HVAC)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • lämmitettävien ja jäähdytettävien tilojen ilmastointilaitteet
<ul style="list-style-type: none"> • sosiaaltilat 	<i>viemärointi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • viemärlaitteet ja -järjestelmät
<ul style="list-style-type: none"> • palokuormat • palovesisäiliö 	<i>palo- ja sammutuslaitteet</i>	<ul style="list-style-type: none"> • sammutuskohteet • sammutusjärjestelmän vesi

Rajapinnat auttavat tilojen sijoittamisessa, mutta eivät kuitenkaan kerro koko kuvaa tilanteesta, eivätkä huomioi joidenkin tilojen erityistarpeita. Esimerkkeinä öljysäiliö, joka on paloturvallisuussyistä sijoitettava riittävän kauas muista rakennuksista sekä polttoaineen esikäsitteily ja polttoaineen välivarasto, joiden sijoittaminen riippuu kuljetinvalintojen ja rakennuskorkeuksien lisäksi myös laitosalueen korkeuseroista.

Taulukkoon 5.2 on listattu ainoastaan, mikä tila liittyy mihinkä tilaan. Jos taulukosta halutaan tehdä vielä tarkempi, voidaan lisäksi listata millä tavalla liitos on toteutettu. Tämä tarkoittaa esimerkiksi käytettyjen putkityyppien lisäämistä listaan.

5.1.2 Tilojen reunaehdot

Tilan reunaehdoilla tarkoitetaan niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat kyseisen tilan kokoon ja sijoittamiseen tai jotka on muuten otettava huomioon tilaa suunniteltaessa. Kuten rajapintojen selvittäminen, myös reunaehto- ja vaatimusten tunteminen on erittäin hyödyllistä laitossuunnittelun kannalta. Reunaehto- ja vaatimusten tunteminen auttaa etenkin tilojen sijoittamisessa esimerkiksi käytettävyyden parantamisen kannalta.

Eri tilojen reunaehdot ja vaatimukset pysyvät pääpiirteissään samoina eri laitosten välillä, mutta joitain eroja voi ilmetä. Koska tiedot toistuvat projektista toiseen, voidaan eri projektien työmäärää helpottaa keräämällä tilojen reunaehdot talteen. Näin säästetään aikaa, kun toistuvia tietoja ei tarvitse etsiä uudelleen ja samalla aiemmin huomatuista ongelmakohtista sekä niiden ratkaisut pysyvät muistissa ja kaikkien nähtävillä.

Taulukkoon 5.3 on kerätty joitain yleisimpien tilojen reunaehdot, vaatimuksia ja dimensioihin vaikuttavia tekijöitä. Kuten taulukon 5.2 tapauksessa, tätäkään taulukkoa ei ole tarkoitettu kaikenkattavaksi, vaan taulukon tarkoituksena on enemmänkin esittää menetelmän toimivuutta.

Taulukko 5.3: Tilojen reunaehdot

<i>tila</i>	<i>reunaehto tai vaatimus</i>
<i>kattila</i>	<ul style="list-style-type: none"> • mitoituksen vaikuttaa mm. kattilatyypin ja teho
<i>turbiinisali</i>	<ul style="list-style-type: none"> • huoneen oltava niin iso että laitteet voidaan huoltaa • tarvitaanko siltanosturi • kaukolämpöpumput ja muut kaukolämmön apulaitteet
<i>savukaasujen puhdistaminen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • valittu teknologia • savukaasumäärät, polttoaineen laatu
<i>lentotuhkasiilo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • tilavuus, tuhkan laatu
<i>poijatuikka</i>	<ul style="list-style-type: none"> • tuhkan laatu, lämpötilankestävyys, tuhkan määrä, polttoaineen määrä, palamattomien huomioiminen tuhkan seassa: jos saa happea, voi syttyä palamaan
<i>polttoaineen esikäsittely</i>	<ul style="list-style-type: none"> • vastaanottotilat suunniteltava liikennemäärien mukaan • esikäsittelylinja riippuu merkittävästi käytetystä polttoaineesta ja laitteiston vaatimuksista • sijoittamiseen vaikuttaa myös kuljettimien nousukulmat
<i>polttoaineen väli-varasto</i>	<ul style="list-style-type: none"> • sijoittaminen ennen tai jälkeen polttoaineen esikäsittelyn • varastotyyppi polttoaineen tarpeiden mukaisesti • varaston koko laitoksen polttoaineenkulutuksen mukaisesti • sijoittamiseen vaikuttaa myös kuljettimien nousukulmat
<i>päiväsiilo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • sijoitettava korkealle siten, että syöttö kattilaan tapahtuu painovoiman avulla
<i>hiekkasiilo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • sijoitettava kattilan läheisyyteen
<i>ammoniakkisiilo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • sijoitettava kattilan läheisyyteen
<i>kalkkisiilo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • sijoitettava kattilan tai savukaasun käsittelyn läheisyyteen

<i>aktiivihiilisiilo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • sijoitettava savukaasunkäsittelyn läheisyyteen
<i>vedenpuhdistus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • laitteiston valintaan vaikuttaa tulevan veden laatutaso • sijoitettava kattilan läheisyyteen
<i>vedensyöttö</i>	<ul style="list-style-type: none"> • sijoitetaan korkealle paikalle kattilan läheisyyteen
<i>muuntamo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • suunnittelussa huomioitava kytkennän jännitetaso
<i>automaatiotilat</i>	<ul style="list-style-type: none"> • automaatiotapa (kaapelointi tai väylätekniikka) • automatisoitavien prosessien I/O -määrät
<i>sähkötilat</i>	<ul style="list-style-type: none"> • laitoksen sähkötilojen ja omakäyttömuuntajien määrä, koko ja sijainti
<i>paineilman tuotto</i>	<ul style="list-style-type: none"> • kompressorit sijoitettava siten, että niille voidaan taata riittävä puhtaan ilman saanti
<i>öljysäiliö</i>	<ul style="list-style-type: none"> • sijoittaminen paloturvallisuussyistä etäälle muista tiloista • säiliön alla oltava valuma-allas tai vaihtoehtoisesti säiliöllä oltava kaksiseinäinen rakenne
<i>valvomo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • sijainnin avulla pyrittävä minimoimaan kulkumatka yleisimpiin huoltokohteisiin • mitoituksessa huomioitava operaattorien ja henkilökunnan määrä • ei edellytetä näköyhteyttä laitteisiin
<i>sosiaali-tilat</i>	<ul style="list-style-type: none"> • vessat ja ruokailutilat sijoitettava toimistotilojen ja valvomon läheisyyteen • mitoituksessa huomioitava henkilökunnan määrä
<i>ilmastointi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • mitoittamiseen vaikuttaa mm. ilmastoitavien tilojen määrä • ilmastointikanavien minimointi
<i>palo- ja sammu- tuslaitteet</i>	<ul style="list-style-type: none"> • lainsäädännön asettamat vaatimukset

Teoriaosuudessa todettiin, että tiedon lähteen ylöskirjaaminen on tärkeätä yllä esitetyn kaltaisia taulukoita täytettäessä. Tämän taulukon tapauksessa lähde jätetään kuitenkin kirjaamatta, sillä taulukon tiedot ovat yleisesti hyväksytyjä perustietoja. Lähteen kirjaaminen on tarpeen erityisesti silloin, kun vastaavan taulukon tietoja saatetaan yksityiskohtaisemmalle tasolle.

5.2 Tilojen sijoittaminen

Tilojen sijoittaminen tarkoittaa käytännössä layoutin laatimista, sillä tilat muodostavat huoneita tai rakennuksia joiden välille on suunniteltava kulkureittejä. Tilojen sijoittamista tehtäessä on jatkuvasti huomioitava mm. tilojen suuruus ja sijoittamisen reunaehdot, käytössä oleva laitosalue maaperineen ja korkeuseroineen sekä kulkureittien toimivuus. Kun tilat on muunnettu rakennuksiksi, sijoitettu alueelle, suunniteltu tilojen väliset kytkennät ja merkitty alueen kulkureitit, lopputuloksena saadaan voimalaitoksen valmis layout.

Tilojen reunaehtojen ja kulkuyhteyksien vaatimusten lisäksi on huomioitava tapauskohtaiset muuttujat. Esimerkiksi joidenkin laitosten tapauksessa saattaa olla edullista suunnitella pienelle alueelle mahtuva kompakti kokonaisuus, kun taas toisissa tapauksissa laitoksen koolla ei välttämättä ole suurta merkitystä. Myös laitoksen huollettavuus sekä rakentamisvaiheen asettamat vaatimukset ovat tekijöitä, jotka tulee huomioida jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa.

Tässä kappaleessa on pyritty esittämään sellaisia asioita, jotka tulee huomioida jo voimalaitoksen suunnitteluvaiheessa, mutta jotka eivät varsinaisesti ilmene aiemmin esitetyistä tilavaatimuksista. Kappaleessa on esitetty myös muutamia asioita ja taulukointa, jotka auttavat laitossuunnittelussa tehtävien päätöksien tekemisessä.

5.2.1 Tilojen koko

Ennen kuin tiloja voidaan alkaa sijoittamaan alueelle, on tiedettävä minkä kokoisia tiloja käsitellään. Teknisten tilojen, kuten kattila- ja turbiinisalien mitat määräytyvät laitteiden fyysisen koon sekä laitteiden huoltoon vaaditun tilan perusteella (Lahtinen & Hakala, 2013). Laitteiden fyysinen koko puolestaan riippuu monesti laitoksen ja laitteiden tehosta. Esimerkiksi sähkötilojen tapauksessa huoneen on oltava niin iso, että sähkökaapit mahtuvat huoneeseen ja kaappien ovet pystytään avaamaan ongelmitta huolto- toimenpiteiden ajaksi. Voimalaitoksen teknisten tilojen mitoittaminen onkin täten melko suoraviivaista eikä tässä työssä pureuduta aiheeseen enempää.

Siinä missä teknisten tilojen mitat riippuvat laitoksen tehosta ja huollettavuudesta, sosiaalitulojen, kuten toimisto- ja taukotilojen, suuruus riippuu suoraan laitoksen työntekijöiden määrästä. Sosiaalituloille onkin mahdollista esittää mitoittamisessa hyödynnettäviä arvioita yhtä henkilöä kohden vaadituista pinta-alarpeista. Taulukossa 5.4 on esitetty näitä arvoja muutamille tiloille. Pinta-alan lisäksi on huomioitava sosiaalitulojen korkeudet, jotka ovat tyypillisesti 2,5 – 3 metriä.

Taulukko 5.4: Arvioita sosiaalitulojen vaadituista pinta-aloista (Lahtinen & Hakala, 2013)

<i>Tila</i>	<i>Pinta-alarpe (m²/työntekijä)</i>
Toimistohuone	13
Avotoimisto	10
WC- ja vaatetila	1,5
Taukotila	0,5
Neuvottelutila	3,0
Pukutila	1,8

Kuten koko myös teknisten tilojen muoto määräytyy merkittävältä osin laitteiden tarpeiden mukaan. Sen sijaan sosiaalituloilla ei ole määrääviä tekijöitä muodon suhteen. Tämän vuoksi sosiaalituloja voidaan leventää tai kaventaa siten että ne sopivat parhaiten käytössä olevalle alueelle.

5.2.2 Laitoksen kustannusoptimointi

Voimalaitoksen rakentamisen kustannuksiin vaikuttavaksi suurimmaksi yksittäiseksi tekijäksi voidaan arvioida laitoksen footprint (Lahtinen & Hakala, 2013). Tällä tarkoitetaan suoraan voimalaitoksen rakennusten neliö- ja kuutiomääriä: mitä suurempia ja korkeampia huoneita ja tiloja suunnitellaan, sitä korkeammat valmistuskustannukset ovat. Siksi kustannusten kannalta onkin tyypillisesti pyrittävä valmistamaan mahdollisimman pieniä, kompakteja laitoksia.

Vaikka kompaktien laitosten valmistuskustannukset ovat alhaisemmat, on niillä tiettyjä heikkouksia avarampiin laitoksiin nähden. Kun ylimääräistä tilaa ei ole käytettävissä, laitosten käytettävyys, huollettavuus ja toimivuus heikkenevät. Lisäksi turvallisuus heikkenee, jos riittäviä pelastusreittejä ei pystytä takaamaan. (Lahtinen & Hakala, 2013). Nämä tekijät saattavat heikentää asiakastyytyväisyyttä, mikä puolestaan voi heijastua myyntiin myöhemmissä projekteissa.

Voidaan todeta, että kustannusoptimointi on yksi voimalaitossuunnittelun merkittäviä kompromisseja. Kompakti voimalaitos on halvempi valmistaa mutta huonompi käyttää. Vastaavasti väljempi laitos on kalliimpi valmistaa mutta parempi käyttää. Näiden kahden ääripään väliltä on pyrittävä löytämään optimialue jossa layoutista on karsittu ylimääräinen tila pois siten, ettei käytettävyys kärsi.

Layoutia laadittaessa ja laitoksen valmistuskustannuksia optimoitaessa on kuitenkin tärkeä pitää mielessä, että rakennusten ja rakentamisen osuus koko voimalaitoksen kustannuksista on vain luokkaa 15 %. Merkittävin osa laitoksen kustannuksista muodostuu laitoksen sisältämistä laitteista, kuten kattilasta ja turbiinista. Samaten rakennuksia suunniteltaessa on hyvä huomioda, että ilman laitteita voimalaitos on pohjimmiltaan vain tavallinen tehdashalli jossa on paikoin vahvat tukirakenteet. (Lahtinen & Hakala, 2013)

5.2.3 Maanrakennuksen ja -muokkauksen kustannukset

Laitoksen perustusten rakentamisessa vaaditaan aina maanrakennusta. Laitosalue on tasoitettava, kalliota on louhittava, louhinnassa syntyviä isoja lohkarkeitä murskattava pienemmiksi ja pehmeää maata on paalutettava. Tässä työssä ei käsitellä rakentamista, joten myöskään näihin vaiheisiin ei perehdytä sen tarkemmin. Sen sijaan pyritään selvittämään maanrakentamisen kustannuksia laitossuunnittelun tueksi.

Maanrakennuksen kustannusten arviointi on yleisesti hyvin haasteellista. Kustannuksiin vaikuttaa maaperän laadun lisäksi moni seikka, kuten laitoksen sijainti ja täten vaaditut kuljetusväilyt, käsiteltävän maa-aineksen määrät, vaadittu murskaamisen määrä sekä yleinen talouden suhdanne (Lahtinen & Hakala, 2013). Keskeisellä paikalla tai taajaman läheisyydessä sijaitsevan laitoksen louhintakustannukset ovat alhaisemmat kuin syrjäisellä alueella sijaitsevan. Tämä johtuu paitsi alhaisemmista kuljetuskustan-

nuksista, mutta myös mahdollisuudesta myydä louhittu maa-aines uudelleenhyödynnettäväksi. Taulukossa 5.5 on esitetty karkeita arvioita maanrakennuskustannuksista. Taulukossa esitetyt arvot saattavat vaihdella merkittävästi tässä kappaleessa esitettyjen muuttujien perusteella.

Taulukko 5.5: Maanrakennuksen karkeat kustannusarvot (Lahtinen & Hakala, 2013)

<i>Työvaihe</i>	<i>Kustannukset (€/m³)</i>
Maan kaivaminen	6 – 10
Louhinta	5 – 15
Kiven murskaus	9 – 15
Maansiirto	3 – 6

Taulukon 5.5 arvojen perusteella pystytään karkeasti arvioimaan laitoksen rakennusvaiheen maanmuokkauksen kustannuksia. Näiden arvojen perusteella voidaan paremmin päättää, miten paljon maanrakennusta voidaan sallia voimalaitoksen layoutia laadittaessa.

Kustannusarvojen lisäksi on huomioitava ylitse jäävän maa-aineksen sijoittamisesta, myymisestä ja pois kuljettamisesta syntyvät haasteet. Syntyvää kivimurskaa voidaan monesti hyödyntää laitoksen omassa rakentamisessa. Esimerkiksi rinteeseen rakennettavassa laitoksessa voidaan joutua louhimaan toista puolta alueesta, samalla kun toista puolta joudutaan täyttämään. Tällöin louhittua ja murskattua ainesta voidaan hyödyntää täyteaineena, eikä sitä tarvitse kuljettaa pois alueelta.

Maanrakennuksen kustannuksiin on myös huomioitava miten laitosaluetta on aiemmin hyödynnetty. Jos alue on saastunut, täytyy likainen maa-aines kuljettaa pois, mikä lisää valmistuskustannuksia. Toisaalta jos alueella on aiemmin ollut toinen tehdasrakennus tai voimalaitos, voi kustannuksia syntyä vanhojen kaapelointien, putkistojen, viemäröintien sekä muiden maanalaisten rakennelmien purkamisesta.

Lisäksi jos laitos rakennetaan Pohjoismaiden ulkopuolelle, tulee huomioida maa-kohtaiset haasteet. Suomessa rakentaminen voidaan monesti tehdä kovalle kalliolle, mutta tämä ei ole tyypillistä esimerkiksi Keski-Euroopassa. Ulkomailla toimittaessa on huomioitava lisäksi esimerkiksi maanjäristykset, maanvyörymät ja muut luonnonilmiöt, mutta myös erilaisen ilmaston aiheuttamat poikkeamat. (Lahtinen & Hakala, 2013)

5.2.4 Rakentamisvaiheen huomioiminen

Voimalaitoksen rakentaminen on iso prosessi, joka on huomioitava jo suunnitteluvaiheessa. Ehkä merkittävin haaste on varata tulevalle laitosalueelle riittävästi tilaa rakentamisvaiheen ajaksi. Tilaa tarvitaan esimerkiksi rakennusmateriaalien varastoalueeksi, komponenttien esivalmistelualueeksi sekä työmaa-ajan koppikylälle. Lisäksi on varattava tilat rakennusvaiheen työntekijöiden parkkipaikoille. Työmaavaiheessa alueella voi työskennellä satoja ihmisiä, kun käyttövaiheessa työntekijöitä saattaa olla vain joitain

kymmeniä. Tämän vuoksi tarvitaan merkittävä määrä väliaikaista pysäköintitilaa. Rakentamisen aikaiset tilatarpeet ovatkin tyypillisesti merkittävät. Pelkästään rakennusmateriaalivarastoalueen suuruus saattaa olla tuhansia neliömetrejä, minkä lisäksi varastoalueen on oltava tasainen ja hyvin kantava, jotta se kestää raskaiden komponenttien painon. (Lahtinen & Hakala, 2013)

Rakentamiseen vaadittuja ylimääräisiä tiloja suunniteltaessa on samalla suunniteltava laitoksen osien asennusreitit. Tällä tarkoitetaan paitsi rakennusmateriaalien kuljettamista paikalleen, mutta erityisesti myös raskaiden laitteiden, kuten turbiinien, haalausreittejä. Suunniteltavien reittien on oltava riittävän tilavat, mutta myös hyväkuntoiset ja kestävä, jotta asentamiset voidaan toteuttaa turvallisesti (Lahtinen & Hakala, 2013). Tässä yhteydessä tulee myös suunnitella paikat rakennusvaiheessa vaadittaville nostureille. Raskaiden laitteiden asennusreittien yhteydessä on huomioitava, että nämä komponentit joudutaan mahdollisesti vaihtamaan laitoksen käyttöiän aikana. Tämän vuoksi näitä reittejä ei voi tukkia rakentamisen jälkeen.

Ylimääräisen tilan ja kuljetusreittien lisäksi laitosalueelle on saatava jo rakennusvaiheessa sähköyhteys, juokseva vesi sekä palovesi onnettomuustilanteiden varalle (Lahtinen & Hakala, 2013). Erityisesti sähköntarve on suuri, minkä lisäksi alueelle joudutaan tekemään väliaikaisia sähkölinjoja.

Rakentamisvaiheen tilatarpeita ja haasteita tärkeämpää on kuitenkin huomioida jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa rakennusjärjestyksen määrittely. Tällä tarkoitetaan yksinkertaisesti missä järjestyksessä voimalaitoksen rakennukset rakennetaan. Jos määrittelyä ei tehdä oikein ja huolellisesti, on seurauksena tyypillisesti aikataulun ja kustannusten ylittyminen.

Edettäessä voimalaitoksen rakentamisen suunnittelusta varsinaiseen toteuttamiseen, tulee myös huomioida urakkarajat (Lahtinen & Hakala, 2013). Urakkarajoilla tarkoitetaan ”kuka rakentaa mitä”. Esimerkiksi jos kattilan toimituksesta on vastuussa eri yritys kuin muusta laitoksesta, on tärkeää määrittää tarkasti kenelle kuuluu mikäkin osa laitoksen toimituksesta. Jos koko laitoksen toimituksesta on vastuussa vain yksi yritys, eivät urakkarajat ole ongelma.

5.2.5 Huollon huomioiminen

Voimalaitosten odotetut käyttöiät ovat pitkiä, minkä lisäksi niitä käytetään ympäri vuorokauden useimpina vuodenaikoina. Jotta korkeat käyntiasteet ja pitkät käyttöiät voidaan saavuttaa, on tärkeää kiinnittää huomiota laitoksen huollettavuuteen. Tässä kappaleessa on esitetty huollon kannalta sellaisia seikkoja, jotka tulee huomioida jo laitosuunnittelun yhteydessä. Kappaleessa esitetyt asiat perustuvat osittain työn yhteydessä tehdyillä voimalaitosvierailuilla havaittuihin seikkoihin sekä kyseisten laitosten henkilökunnan kokemuksiin.

Tyypillisin huollossa huomioitava tekijä on riittävän tilan tarve. Huollon kannalta on tärkeää että huoltotyöt voidaan tehdä mahdollisimman lähellä kohdetta. Jotta tämä olisi mahdollista, on laitteiden ympärille jätettävä riittävästi tilaa jotta huollosta vastaava

henkilö pystyy työskentelemään laitteiden ääressä. On myös tärkeää että laitteisiin päästään käsiksi ilman muiden laitteiden irrottamista. Isojen laitteiden tapauksessa nämä vaatimukset tarkoittavat koko huoneen suunnittelemista laitteen huoltotarpeiden mukaisesti. Näin on toimittava esimerkiksi usein huoltoa vaativan turbiinin tapauksessa. Jos riittävää tilaa ei varata laitteiden ympärille, huolto monimutkaistuu ja huoltoaikojen pituudet kasvavat. Laitteiden ympärille jätettävän tilan lisäksi tilaa on jätettävä korkeussuunnassa siltanosturia varten sellaisissa tiloissa, joissa siltanosturille on tarvetta.

Ylimääräisen tilan ja siltanosturien lisäksi on huomioitava varaosien vaihtaminen ja kuljettaminen. Huollon helpottamiseksi raskaat komponentit, kuten kompressorit, muuntajat sekä turbiinin ja generaattorin varaosat on pyrittävä sijoittamaan mahdollisimman lähelle maatasoa. Lisäksi näihin tiloihin on taattava haalausreitit, joita pitkin komponentit voidaan tarvittaessa vaihtaa. Jos sijoittaminen maatasoon ei ole mahdollista, on kerrosten väliin hyvä jättää nostoaukot siltanosturilla nostamista varten.

Tilojen suunnittelussa huomioon otettavien yksityiskohtien lisäksi tarvitaan muutamia tiloja huollon helpottamiseksi. Monesti tarvittava tila on verstaas tai työpaja, jossa voimalaitoksen käyttöhenkilökunta pystyy tekemään joitain huoltotöitä sekä valmistamaan yksinkertaisia komponentteja. Tässä tilassa tehdään todennäköisesti myös tulitöitä, mikä on otettava huomioon tilan sijoittamisessa. Verstaas lisäksi tarvitaan todennäköisesti varaosavarasto, jossa säilötään laitosalueella useimmin tarvittavia varakomponentteja.

5.3 Laitosalueen liikennejärjestelyt

Voimalaitosalueet ovat usein vilkkaasti liikennöityjä. Alueilla liikkuu raskaita ajoneuvoyhdistelmiä, työkoneita, huoltoajoneuvoja ja työntekijöitä. Alueelle tuodaan polttoaineita, varaosia sekä muita vastaavia tuotteita ja sieltä kuljetetaan pois mm. tuhkaa. Näiden lisäksi alueella on laitoksen toiminnan kannalta välttämätöntä liikennettä. Voimalaitosalueen liikenteen erityistarpeet on huomioitava jo suunnitteluvaiheessa jotta laitoksen toiminta olisi mahdollisimman sujuvaa. Liikennejärjestelyt myös vaikuttavat merkittävästi koko laitoksen layoutiin, joten on tärkeää pystyä arvioimaan liikenteen tarpeet jo mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Liikennejärjestelyt vaihtelevat merkittävästi laitoksesta toiseen. Laitostyyppin, polttoaineen ja laitoksen toimilaitteiden lisäksi merkittäviä eroja syntyy esimerkiksi maa-kohtaisista eroavaisuuksista ja käytettävissä olevasta kalustosta.

Laitoskohtaisista eroista huolimatta, on mahdollista erottaa tiettyjä liikennejärjestelyiden perussääntöjä, jotka auttavat suunnitteluprosessin etenemisessä. Esimerkiksi ajo-reittien suunnittelua helpottaa mahdollisten ajoneuvojen kääntösäteen sekä liikennemäärien tietäminen. Seuraavissa kappaleissa on esitetty muutamia voimalaitoksen liikennejärjestelyjen suunnittelemisessa huomioitavia seikkoja.

5.3.1 Kulkureitit ja ajoradat

Voimalaitosalueen liikenne voidaan jakaa materiaalivirtoihin ja henkilöliikenteeseen. Materiaalivirtoihin kuuluvat mm. polttoaine- ja tuhkakuljetukset, ja ne toteutetaan tyyppillisesti raskaalla kalustolla. Henkilöliikenne puolestaan muodostuu henkilöautoista sekä jalan liikkuvasta laitoksen käyttöhenkilökunnasta. Turvallisuussyistä nämä kaksi liikennemuotoa on pyrittävä erottamaan toisistaan kulkureittejä suunniteltaessa. Käytännössä tähän voidaan pyrkiä suunnittelemalla raskaalle ja henkilöliikenteelle omat kulkuportit ja -reitit.

Turvallisuusnäkökohtien lisäksi kulkureittien suunnittelussa on huomioitava tilojen tavoitettavuus sekä ajoneuvojen käsittelyyn vaadittavat tilat. Tilojen tavoitettavuudella tarkoitetaan paitsi polttoaine- ja muiden kuljetusten toimivuutta, mutta myös huoltoajoneuvojen pääsemistä lähelle huoltokohteita sekä eri tilojen välisiä henkilökunnan kulkureittejä. Tavoitettavuus on tekijä joka on huomioitava tapauskohtaisesti esimerkiksi suunnittelemalla koko laitosalueen hyvin kattavat ajoreitit.

Ajoneuvojen käsittelyyn vaadittavat tilat koskettavat pääosin ajoneuvoyhdistelmiä, jotka ovat isoimpia voimalaitosalueella liikkuvia ajoneuvoja. Huomioitavia muuttujia ovat erityisesti ajoreittien leveydet, kääntösäteet, nousukulmat mutta myös ajoneuvojen korkeus on otettava huomioon joissain tapauksissa. Myös ajoneuvojen kääntöpaikat on suunniteltava, minkä lisäksi peräkärjien irrottamiselle saatetaan tarvita erilliset tilat.

Lähtökohta kulkureittien suunnittelulle saadaan lainsäädännöstä. Esimerkiksi Suomessa on tarkasti määritetty ajoneuvoille sallitut mitat: ajoneuvoyhdistelmä saa olla korkeintaan 2,55 metriä leveä, 4,4 metriä korkea ja 25,25 metriä pitkä (A 4.12.1992/1257). Näiden mittojen pohjalta voidaan varata ajoneuvoille korkeus- ja pituussuunnissa riittävästi tilaa. Ajoreittien leveydeksi voidaan valita 5m, jos arvioidaan vaadittavan kaksinkertainen ajoreitin leveys ajoneuvon nähden.

Myös kääntösäteiden mitoittamiseen saadaan apua lainsäädännöstä. Liikenne- ja viestintäministeriön asetuksessa 4.12.1992/1257, on määritetty ajoneuvoyhdistelmien kääntymiselle asetetut raja-arvot. Asetuksessa on annettu eri arvot ajoneuvoille jotka ovat alle 18,75 metriä pitkiä ja ajoneuvoille jotka ovat yli tämän arvon. Asetuksen mukaan ”[...] yli 18,75 metriä pitkän yhdistelmän tulee olla siten kääntyvä, että ulomman etukulman kulkiessa 12,50 metrin säteisen ympyrän kaarta pitkin sisäsiivu kulkee vähintään 2,00 metrin säteistä kaarta pitkin” (A 4.12.1992/1257). Alle 18,75 metriä pitkille ajoneuvoille ulomman ympyrän säde on sama, mutta sisemmälle ympyrälle säde on 5,3 metriä.

Yllä esitetystä asetuksessa määritetyt arvot koskevat ajoneuvon käsiteltävyyttä. Varsinaisia kulkureittejä suunniteltaessa on näihin arvoihin lisättävä varo- ja liikkumavaraa. Kokemuksen pohjalta voidaan kääntösäteenä käyttää 18 metriä (Rahkonen, 2013). Kulkureittejä suunniteltaessa on kuitenkin huomioitava käytössä oleva kalusto, sillä erilaiset kuljetusajoneuvot vaativat erisuuruisia kääntösäteitä.

Käytössä oleva kalusto vaikuttaa osaltaan myös sallittuihin nousukulmiin. Nousukulmille ei kuitenkaan ole mahdollista esittää yhtä tarkasti sopivaa raja-arvoa,

vaan se on arvioitava tapauskohtaisesti. Esimerkiksi jos polttoaineen vastaanottotilaan on peruutettava, tulee nousukulman olla alhaisempi kuin jos tilaan ajettaisiin etuperin. Alue ei kuitenkaan voi olla täysin tasainen, sillä pieni nousukulma tarvitaan sadevesien valumiselle.

Vaikka nousukulmien määrittäminen on haasteellista, voidaan silti esittää arvioita sallituista kulmista. Monesti 2° nousu on jo haasteellinen, ja vastaavasti 4° on todella vaativa. Vastaanottoalueilla ei puolestaan sallita nousukulmia lainkaan, vaan näiden alueiden on oltava täysin tasaisia. (Lahtinen & Hakala, 2013). Lisäksi nousukulmissa on huomioitava vuodenaikojen merkitys, sillä kylmissä maissa lumi ja jää alentavat mahdollisia nousukulmia. Vaativimmissa paikoissa voidaan käyttää lämmittimiä, joiden avulla alue pyritään pitämään kuivana myös talvisin.

5.3.2 Liikenteen määrä

Voimalaitosalueen liikenne koostuu pääosin polttoaineen tuonnista alueelle, tuhkan viennistä pois alueelta, henkilö- ja huoltoliikenteestä sekä öljyn ja muiden tarvittavien materiaalien tuonnista. Valtaosa liikenteen määrästä riippuu suoraan laitoksen koosta, ja on täten hyvin arvioitavissa jo laitoksen suunnitteluvaiheessa.

Useimpien voimalaitosten tapauksessa polttoainekuljetukset muodostavat suurimman osan laitosalueen liikenteestä, mutta myös tuhkakuljetusten osuus on merkittävä (Lahti Energia Oy, 2004). Molempien kuljetusten määrä riippuu laitoksen polttoainetehosta sekä käytetystä polttoaineesta. Jotta nämä tiedot saadaan selvitettyä, on ensin laskettava voimalaitoksen käyttämä polttoainemäärä tilavuutena. Joidenkin aineiden, esimerkiksi yhdyskuntajätteen, kohdalla tilavuus on kuitenkin erittäin epähomogeeninen, jolloin liikennemäärät joudutaan laskemaan massavirtojen avulla. Polttoainemäärät voidaan laskea yksinkertaistetusti seuraavien kaavojen avulla (Kawecki, 2008). Aluksi lasketaan polttoaineteho

$$\text{Polttoaineteho} = \frac{\text{Kattilateho}}{\text{Kattilan hyötysuhde}}. \quad (5.1)$$

Polttoainetehosta voidaan laskea polttoaineen massavirta

$$\text{Polttoaineen massavirta} = \frac{\text{Polttoaineteho}}{\text{Polttoaineen lämpöenergia}}. \quad (5.2)$$

Massavirrasta saadaan edelleen laskettua tarvittava polttoaineen tilavuusvirta

$$\text{Polttoaineen tilavuusvirta} = \frac{\text{Polttoaineen massavirta}}{\text{Polttoaineen tiheys}}. \quad (5.3)$$

Yllä esitetyllä kaavalla laskettu polttoaineen tilavuusvirta kertoo kuinka paljon kattila tarvitsee polttoainetta tietyn ajanjakson aikana. Tämän tiedon avulla pystytään arvi-

oimaan paitsi kuinka suuret polttoainevarastot tarvitaan, kuten esitettiin aiemmin kappaleessa 3.5, mutta myös kuinka paljon polttoainekuljetuksista muodostuu liikennettä. Jotta tämä tieto voidaan selvittää, on lisäksi tiedettävä käytössä olevan kuljetuskaluston kapasiteetti.

Biopolttoaineita kuljettavan yhdistelmäajoneuvon kuormatilavuus ja kantavuus vaihtelevat ajoneuvon mukaan. Yhden esimerkin mukaan kuormatilavuus on luokkaa 150 m³ ja kantavuus luokkaa 32t (EHM Oy, 2012). Näiden arvojen perusteella on laskettava, ylittyykö ajoneuvon kantavuus, ennen kuin tilavuus on saatu täytettyä. Polttoainekuljetusten liikennemäärät lasketaan joko tilavuuden tai massan perusteella, riippuen siitä kumpi arvoista täyttyy aiemmin.

Jätteenpolttolaitoksissa liikennemäärät lasketaan samalla tavalla, mutta käytettävä kalusto on erilaista ja lisäksi kuljetusetäisyyksiin on kiinnitettävä enemmän huomiota. Taajama-alueen jätteet tuodaan laitokselle pakkaavilla keräilyautoilla, jotka keräävät jätteen lähialueen asukkailta ja yrityksiltä. Tällaisten autojen kantavuus on luokkaa 7t. Koska autot ovat pakkaavia, ei jätteen tilavuutta ole mahdollista arvioida ja kuljetusmäärät joudutaan suoraan arvioimaan massavirtojen perusteella. Kun jätettä tuodaan kauempaa, voidaan käyttää yhdistelmäajoneuvoja, joiden kantavuus on luokkaa 30t. (Tammervoima Oy, 2011). Jotta tarkat liikennemäärät saadaan laskettua, on selvittävä kuinka paljon jätettä syntyy laitoksen läheisyydessä. Tämän tiedon avulla pystytään selvittämään kuinka paljon laitokselle tulee liikennettä jakeluautoista ja kuinka paljon yhdistelmäajoneuvoista.

Kuten polttoainekuljetukset, myös tuhkakuljetusten määrä riippuu laitoksen polttoaineenkulutuksesta sekä käytetystä polttoaineesta. Syntyvä tuhkamäärä voidaan laskea polttoaineen massavirrasta jos tiedetään polttoaineen tuhkapitoisuus. Tämän lisäksi on selvittävä laitostyyppistä riippuvat lentotuhkan ja pohjatuhkan osuudet tuhkan määrästä. Kun tuhkan määrä ja jakautuminen tiedetään, voidaan tarvittavan liikenteen määrä laskea samalla tavalla kuin polttoainekuljetusten tapauksessa.

Kolmas merkittävä liikennemuoto voimalaitosalueella on pyöräkuormaajat, joita käytetään kuljettamaan polttoaine esikäsitteilylinjalle. Pyöräkuormaajat ovat tyypillisiä erityisesti biovoimalaitoksissa, joissa polttoaine säilötään laitosalueelle avokasoihin. Pyöräkuormaajien liikenne, ja samalla tarvittavien kuormaajien määrä, voidaan laskea samalla tavalla kuin polttoainekuljetukset eli vaadittujen polttoaineen tilavuusvirtojen perusteella. Kuten ajoneuvoyhdistelmien tapauksessa, myös pyöräkuormaajien osalta ilmenee laitekohtaisia eroja. Isojen pyöräkuormaajien kauhatilavuudet vaihtelevat välillä 6 – 12m³ (Volvo Construction Equipment, 2009).

Materiaalivirtojen lisäksi laitosalueella on myös henkilöliikennettä, joka koostuu merkittävältä osin työntekijöiden liikkumisesta alueella. Koska voimalaitokset eivät tyypillisesti tarvitse suurta määrää henkilökuntaa, on tämän liikenteen määrä suhteellisen alhainen. Myös muu laitosalueen liikenne, kuten huoltoliikenne, ovat yllä mainittuihin verrattuna vähäisiä.

5.3.3 Pelastustiet

Voimalaitosalueelle on suunniteltava onnettomuustilanteiden varalle pelastustiet. Pelastustiellä tarkoitetaan ajoreittiä, jota pitkin hälytysajoneuvot pääsevät onnettomuustilanteessa lähelle rakennusta ja sammutusveden ottopaikkoja. Sammutusautojen on oltava mahdollista ajaa uloskäyntien sekä paloilmoin-, sprinkleri- tai savunpoistokeskuksien läheisyyteen. Tikas- ja nostoautojen puolestaan on päästävä laitteistosta riippuvan nostoetäisyyden päähän rakennuksista. Lisäksi ambulanssien on päästävä uloskäyntien välittömään läheisyyteen. (Kivistö, 2012). Nämä vaatimukset tarkoittavat pelastusreittien suunnittelemista siten, että voimalaitoksen kaikkiin paikkoihin on mahdollista päästä asianmukaisella hälytysajoneuvolla, minkä lisäksi alueella ei saa olla ajoreittejä tukkivia esteitä, kuten lukittuja puomeja.

Rakennusten luoksepäästävyuden lisäksi pelastusteiden suunnittelulle on asetettu tila- ja kaltevuusvaatimuksia. Ajoreittien rajoitteet määräytyvät ajoneuvojen mukaan samalla tavoin kuin kappaleessa 5.3.1. Reittien kääntösäteen on oltava vähintään 12,5 metriä, ajoreitin leveys suoralla tiellä 3,5 metriä ja mutkissa 6 metriä. Nousukulma pituussuunnassa saa olla korkeintaan 7°, minkä lisäksi tikasautojen nostopaikoille sallitaan korkeintaan 2° kaltevuus sivuttaissuunnassa. (Kivistö, 2012). On kuitenkin huomioitava, että nämä vaatimukset saattavat vaihdella alueittain käytössä olevan kaluston mukaisesti.

Voimalaitosten paloturvallisuutta suunniteltaessa on hyvä huomioida myös sammutusvesien kerääminen. Erityisesti jätteenpolttolaitosten tapauksessa polttoaineena käytettävän jätteen seassa voi olla myrkyllisiä aineita, jolloin jätteen kanssa kosketukseen joutuneen sammutusveden päätyminen ympäristöön tulisi pyrkiä estämään (Hult, 2013).

Hälytysajoneuvojen ajoreittien lisäksi myös henkilöiden pelastustiet on otettava huomioon suunnittelussa, mikä käytännössä tarkoittaa hätäuloskäyntien suunnittelemista laitoksen rakennuksiin. Hätäuloskäynnit tulee suunnitella paikallisen lainsäädännön mukaisesti.

Suomessa ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta (12.3.2002) on määritetty korkeintaan 45 metrin etäisyys uloskäytävään teollisuusrakennuksissa, eli vähintään 45 metrin välein on oltava hätäuloskäynti. Jos tilassa on käytössä vain yksi uloskäytävä, on tämä etäisyys 30 metriä. Asetuksen mukaan yksi uloskäynti on sallittu vain, jos tilassa oleskellaan tilapäisesti. Muuten edellytetään vähintään kahta erillistä uloskäyntiä.

5.4 Voimalaitoksen ympäristötekijät

Voimalaitokset vaikuttavat ympäristöönsä monella tapaa. Esimerkiksi voimalaitosten päästämät savukaasut alentavat ilmanlaatua, laitosalueen laitteet, sekä laitoksen käytöstä syntyvä ylimääräinen liikenne, aiheuttavat melua ja käytetyistä polttoaineista saattaa syntyä hajuhaittoja. Näiden tekijöiden lisäksi suuri voimalaitos saattaa vaikuttaa negatiivisesti ympäristön maisemaan.

Yllä esitettyihin sekä muihin ympäristötekijöihin voidaan puuttua paitsi teknisin ratkaisuin, mutta myös sijoittamalla voimalaitokset parhaisiin mahdollisiin paikkoihin. Esimerkiksi teollisuusalueet ovat monesti hyviä sijoittamispaikkoja, koska tällöin laitosten maisemavaikutukset eivät ole yhtä tärkeitä ja koska teollisuusalueilla on monesti jo valmis infrastruktuuri. Lisäksi voimalaitoksen käytöstä syntyvä ylimääräinen melu ja liikenne eivät ole yhtä suuri ongelma teollisuusalueella. Toisaalta sijoittamalla laitokset mahdollisimman lähelle kulutuskohdetta, joko teollisuutta tai asutusta, voidaan optimoida kaukolämpöverkkojen rakennus- ja ylläpitokustannukset sekä minimoida siirtohäviöt.

Voimalaitosten ympäristövaikutuksia arvioidaan suunnitteluvaiheen lupahakemusten yhteydessä esimerkiksi lakisääteisissä ympäristövaikutusten arviointiohjelmissa (L 10.6.1994/468). Nimensä mukaisesti arviointiohjelmissä tarkastellaan voimalaitoksesta syntyviä ympäristövaikutuksia. Jos ympäristövaikutukset osoittautuvat liian haitallisiksi, ei voimalaitosta välttämättä voida rakentaa taloudellisesti tai logistisesti ideaaliseen paikkaan. Ympäristövaikutuksiin voidaan vaikuttaa vain rajallisesti laitossuunnittelun osalta. Laitossuunnittelussa voidaan pyrkiä minimoimaan laitoksen esteettiset haitat arkkitehtuurisilla ratkaisuilla, mutta erityisesti melu- ja hajuhaittoihin voidaan vaikuttaa oikeilla teknisillä ratkaisuilla.

5.4.1 Meluhaitat

Kuten aiemmin mainittiin, voimalaitoksen aiheuttamaa melua syntyy sekä laitteista, että laitosalueen raskaasta liikenteestä. Liikenteen melua voi olla haasteellista alentaa, mutta melusta syntyviä haittoja voidaan rajoittaa kieltämällä rekkaliikenne yöaikaan ja viikonloppuisin.

Vaikeasti hallittavan liikennemelun vastapainoksi voimalaitoksen laitteista syntyvään jatkuvaan tai ajoittaiseen käyntiääneen voidaan vaikuttaa. Laitteista syntyvää melua on rajoitettava siten, että ne täyttävät niille asetetut raja-arvot. Suomen tapauksessa nämä rajat on asetettu Valtioneuvoston päätöksessä melutason ohjearvoista (VNp 29.10.1992/993). Melua syntyy kattilan käyntiäänen lisäksi esimerkiksi ilman sisäännottoputkista, häiriötilanteiden varoventtiileistä sekä polttoaineenkäsittelylaitteistosta (Pöyry Management Consulting Oy, 2010). Melutasoa on mahdollista alentaa eri keinoin, esimerkiksi äänieristeillä ja -valleilla.

Jotta voimalaitoksen laitteista syntyvää melua voidaan rajoittaa, on ensin tiedettävä mitkä laitteet aiheuttavat melua ja mikä syntyvään meluun vaikuttaa. Tämän jälkeen voidaan selvittää paras menetelmä melun torjumiseksi.

Merkittäviä melulähteitä voimalaitoksessa ovat kattila- ja turbiinitilat, joista syntyvät äänet kantautuvat ympäristöön seinien lävitse sekä ovien ja ikkunoiden raoista. Melutasot näistä lähteistä riippuvat erityisesti laitoksen koosta, mutta myös käytetyistä seinärakenteista sekä sisämelutasosta. (Ojanperä, 2013). Tämän lisäksi voimalaitosalueella on useita jatkuvia sekä muutamia satunnaisia melulähteitä, jotka on esitetty taulukossa 5.6. Lisäksi taulukossa on esitetty ratkaisuja, joilla kyseisten melulähteiden melutasoa voidaan rajoittaa sekä muutamien tapausten osalta myös äänekyyteen vaikuttavia seikkoja.

Taulukko 5.6: Voimalaitoksen jatkuvat ja satunnaiset melunlähteet (Ojanperä, 2013)

	<i>Melunlähde</i>	<i>Melunvaimennus</i>	<i>Melutasoon vaikuttaa</i>
Jatkuvat	Kattilarakennuksen ja turbiinisalin seinien lävitse kantautuva melu	Seinärakenteiden, ovien ja ikkunoiden ääneneristys	Laitoksen koko, seinärakenteet ja sisämelutaso
	Ilmastointiaukkojen kautta ympäristöön leviävä melu	Seinärakenteiden, ovien ja ikkunoiden äänieristys	Aukkojen koot, sijoittamiset ja rakenteet
	Katolle sijoitettujen ilmanvaihtokoneiden melu	Äänenvaimentimet	Koneiden määrä ja koko
	Ulospuhallusputket	Äänenvaimentimet	
	Polttoaineen syöttö- ja kuljetuslaitteet, erityisesti moottorit ja vaihteet	Oikea sijoittaminen sekä kotelointi	
	Ulkona kulkevien kanavistojen melu	Kanavien eristys	Savukaasu- ja kiertokaasupuhaltimen melutaso
	Savukaasun puhdistuslaitteiden melutaso	Eristys ja kotelointi	Puhdistuslaitteiden tyyppi sekä kuljetintyyppit
	Savukaasu- ja kiertokaasupuhaltimet	Sijoittaminen eristettyyn tilaan, ilmanvaihto huomioidava	
	Savupiippu	Äänenvaimennin savukaasukanavaan	Savukaasupuhaltimen melu sekä kanavisto
Satunnaiset	Startti- ja varoventtiilit	Äänenvaimennin	
	Savukaasupuhdistimen vasaranuhoimet sekä pneumaattiset kuljettimet		Ajoittaista impulssimais- ta melua

Voimalaitoksen ympäristömelu, liikenne pois lukien, koostuu taulukossa 5.6 esitettyjen laitteiden melutasosta. Melun leviämistä ympäristöön voidaan rajoittaa rakennusten ja melulähteiden sijoittamisella (Ojanperä, 2013). Tämä tarkoittaa rakennusten sijoittamista siten, että suurten melulähteiden ja asutuksen väliin sijoitetaan meluamattomia rakennuksia tai tiloja. Tällöin hiljaiset rakennukset toimivat äänimuurina, ja estävät melun leviämistä alueelta poispäin. Sama lopputulos voidaan saavuttaa esimerkiksi julkisivuelementtien avulla, joilla on lisäksi mahdollista parantaa laitoksen yleisilmettä.

5.4.2 Hajuhaitat

Voimalaitosten suunnitteluvaiheen yhteydessä tehtävässä ympäristövaikutusten arviointiohjelmassa määritellään, että arvioinnissa on huomioitava muun muassa ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen vaikuttavat tekijät (L 10.6.1994/468). Määritelmä kattaa melun ja muiden haittojen lisäksi myös voimalaitoksen mahdolliset hajuhaitat, minkä vuoksi myös hajuhaittojen minimointi on huomioitava laitossuunnittelussa.

Voimalaitosten hajuhaitat syntyvät pääosin polttoaineista, varsinkin polttoaineiden säilönnästä. Hajunhallinta asettaakin tiettyjä haasteita ja rajoitteita polttoaineen vastaanotolle ja säilönnälle, kuten aiemmin kappaleessa 3.5 esitettiin. Haju on erityisesti jätepolttoaineiden ongelmana, mutta myös turpeen suhteen asia on huomioitava (Pöyry Management Consulting Oy, 2010).

Koska voimalaitoksen hajuhaittoja syntyy merkittävässä määrin vain polttoaineista, on hajunhallinta selkeämpää kuin esimerkiksi melunhallinta. Hajuhaittoja voidaan vähentää merkittävästi tekemällä polttoaineen vastaanotto-, käsittely- ja varastointitilat alipaineisiksi ja täten ilmatiiviiksi sekä kattamalla polttoainekuljettimet. Tämän lisäksi tarvitaan polttoaineenvarastointitiloihin erillinen ilmastointi sekä ilmaskäsitelylaitteistot, käytännössä suodattimet, näiden tilojen poistoilmalle. (Pöyry Management Consulting Oy, 2010).

Toisaalta kattilan palamisilma voidaan ottaa osittain polttoainekäsittelyn tilasta, jolloin pahaa hajua aiheuttavat molekyylit palavat kattilassa, eikä erillisiä suodattimia tarvita (Pöyry Management Consulting Oy, 2010). Tämä edellyttää kattilan ja polttoainetilan sijoittamista lähelle toisiaan, mikä on erityisesti jätettä käyttävien arinakattiloiden tapauksessa helppo toteuttaa, kuten kappaleessa 3.5.2 todettiin.

Hajuhaittojen suuruuteen on mahdollista vaikuttaa myös polttoaineenvarastointitavoilla. Kappaleessa 3.5.1 todettiin, että bunkkerivarastossa olevat polttoaineet voivat olla hyvinkin pitkään säiliössä. Tällöin erityisesti jätepolttoaineet saattavat mädäntyä, jolloin hajuhaitat lisääntyvät. Mätänemisongelmia voidaan minimoida, jos polttoaine käsitellään heti vastaanoton jälkeen ja säilötään siilovarastoon. Siilovarastot tyhjenevät tasaisemmin kuin bunkkerit, eikä mätänemistä pääse tapahtumaan yhtä helposti.

5.5 Yhteenveto kappaleesta

Kappaleessa 5 on kerätty laitossuunnittelun kannalta oleellista tietoa, kappaleen tarkoituksena on esittää millaista tietoa laitossuunnittelussa tarvitaan. Tietoa on kerätty paitsi kappaleessa 4.2.3 määriteltyjen tarpeiden mukaisesti, myös muilta aiemmin mainitsemattomilta osa-alueilta. Uusia aihealueita ovat esimerkiksi liikennejärjestelyiden suunnittelu ja laitoksen rakentamisvaiheen huomioiminen.

Kappaleen ensimmäisessä osassa on osittain täydennetty tilapohjaisen lähestymistavan reunaehto- ja rajapintataulukot. Näiden taulukoiden tarkoituksena on lähinnä osoittaa menetelmän toimivuus, eikä taulukoita voida salassapitosyistä täydentää kattaviksi. Sama koskee myös monia muita kappaleen osa-alueita.

Myöhemmissä kappaleen osissa on edetty alueille, jotka on tunnistettu oleellisiksi etenkin voimalaitoksen layoutsuunnittelun osalta. Tietoa on hankittu esimerkiksi sellaisista laitosten sijoittamiseen vaikuttavista tekijöistä, jotka eivät suoraan ilmene tilakohtaisista tiedoista. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi kustannusten optimointi rakennusten sijoittelun avulla sekä maanrakennuksen huomiointi.

Ehkä tärkein kappaleessa esitetyistä aihealueista on liikennejärjestelyiden suunnittelu. Voimalaitosalueella on tyypillisesti paljon raskasta liikennettä, joten toimivien ajoreittien suunnittelu on hyvin tärkeää. Samalla on myös osattava arvioida laitoksen liikennemäärät ja pelastusreittien suunnittelu.

6 MENETELMIEN SOVELTAMINEN

Tässä kappaleessa tehdään työn soveltava osuus. Soveltavan osuuden tavoitteena on käyttää kappaleessa 4.2 kehitettyä suunnittelumenetelmää, ja hyödyntää kappaleessa 5 kerättyä laitossuunnittelussa huomioitavaa tietoa. Näiden avulla pyritään muodostamaan yksinkertaistettuja layout-kaavioita kuvitteelliselle jätteenpolttolaitokselle. Laadittavien layoutien ei ole tarkoitus olla standardinmukaisia, vaan niihin merkitään yksinkertaistettusti rakennusten ja huoneiden sijainti ja koko sekä alueen kulkureitit. Työssä ei mitoiteta tai valita eri laitteita, eikä täten myöskään sijoiteta laitteita rakennusten sisälle. Sen sijaan suunnittelun pääpainona pidetään layoutin ja materiaalivirtojen toimivuutta sekä vaihtoehtoisten ratkaisuiden löytämistä.

Soveltavassa osuudessa pyritään muodostamaan muutamia vaihtoehtoisia ratkaisuita. Eri ratkaisuvaihtoehtoista arvioidaan niiden heikkouksia ja vahvuuksia, jolloin voidaan tehdä huomioita tavoiteltavista ja välteltävistä piirteistä. Lisäksi pyritään löytämään parannuskohteita kehitetystä suunnittelumenetelmästä, arvioimaan menetelmän yleistä toimivuutta sekä tunnistamaan kohteita joista tarvitaan lisätietoa.

Soveltava osuus tehdään aiemmin tässä työssä esitettyjen menetelmien mukaisesti, ilman aiempaa kokemusta voimalaitosten suunnittelusta tai kokeneiden suunnittelijoiden apua. Soveltavassa osuudessa tehtyjä havaintoja ja menetelmiin toivottavia kehityskohteita on esitetty kappaleessa 6.3.

6.1 Esimerkitapauksen lähtötiedot

Kappaleessa 4.2 kehitetty suunnittelumenetelmä lähtee liikkeelle laitoksen tietojen selvittämisestä. Soveltavan osuuden esimerkiksi on määritelty kiertopetikattilalla varustettu lämpövoimalaitos jonka polttoaineena käytetään yhdyskuntajätettä. Laitoksen polttoaineteho on 150 MW ja sähköteho noin 60 MW. Esimerkkilaitos suunnitellaan Pohjoismaisten kriteerien mukaan, mutta se on kokonaisuutena kuvitteellinen. Laitoksella oletetaan työskentelevän 10 henkilöä.

Kuten aiemmin todettiin, soveltavan osuuden pääpaino on materiaalivirroissa ja tilojen sijoittamisessa. Tämän vuoksi on selvitettävä laitosalueen raskaanliikenteen määrä, joka voidaan selvittää kappaleessa 5.3.2 esitettyjen kaavojen avulla. Jotta liikennemäärä voidaan laskea, täytyy tietää laitoksen polttoainetehon lisäksi polttoaineen tehollinen lämpöarvo. Lämpöarvojen hankkiminen saattaa olla ongelmallista, sillä jätepolttoaineet ovat tyypillisesti erittäin heterogeenisiä. Samasta syystä jätteen liikennemäärät on laskettava massavirran avulla, sen sijaan että ne tehtäisiin tilavuusvirran mukaisesti.

Koska liikennemäärien laskut ovat vain suuntaa-antavia, voidaan laskuissa käyttää kirjallisuudesta hankittujen lämpöarvojen keskiarvoa. Materiaalivirtojen lisäksi on tiedettävä millaisella kalustolla kuljetukset tehdään. Kuten kappaleessa 5.3.2 esitettiin, käytettävä kalusto riippuu mm. laitoksen sijainnista ja kuljetusetäisyyksistä. Koska esimerkkitapaus on kuvitteellinen, tulee nämä arvot valittava.

6.1.1 Liikennemäärien selvittäminen

Lämpöarvoa selvitettäessä on huomioitava että polttoaine tuodaan laitosalueelle käsittelemättömänä, jolloin sen lämpöarvo on alempi kuin käsitellyn polttoaineen. Kierrätyspolttoaineen (SRF) keskimääräinen tehollinen lämpöarvo on $20 \frac{MJ}{kg}$ (Vainikka, et al., 2012) ja käsittelemättömän yhdyskuntajätteen (MSW) $18,15 \frac{MJ}{kg}$ (Tambone, et al., 2011). Näiden arvojen sekä muun kirjallisuuden perusteella jätepolttoaineen lämpöarvo kasvaa noin 9 % polttoaineenkäsittelyn seurauksena (Vainikka, et al., 2012). Täten, jos laskuissa käytetään kierrätyspolttoaineen arvoja, on liikennemäärään lisättävä 9 % jotta saadaan laskettua todellinen polttoaineentarve.

Jätepolttoaineen tiheys on haasteellisempi selvittää. Yhdyskuntajätteen tiheys vaihtelee merkittävästi jätteen koostumuksen mukaan, minkä lisäksi tulee huomioida kuinka tiheäksi jäte on puristettu esimerkiksi kuljetuksessa. Pakkaavat keräilyautot voivat kuljettaa jätettä hyvinkin tiiviiksi puristettuna, kun taas yhdistelmäajoneuvot eivät välttämättä tiivistä jätettä lainkaan. Yhtenä käsittelemättömän yhdyskuntajätteen (MSW) tiheytenä voidaan käyttää $300 \frac{kg}{m^3}$ (Valkenburg, et al., 2008). Esikäsitellyn yhteydessä ja seulonnessa jätteestä erotetaan monia raskaita aineita jolloin tiheys laskee.

Koska tiheyden määrittäminen jätepolttoaineille ei ole yksiselitteistä, voidaan jätettä käsitellä myös pelkän massan perusteella. Tällöin oletetaan, että kuljetusajoneuvojen tilavuus ei ole ongelma, ja että kuljetettavan jätteen massa on ajoneuvojen kapasiteetin määräävänä tekijänä.

Kuljetuskaluston osalta valitaan, että 60 % kuljetuksista tehdään pakkaavilla keräilyautoilla joiden kantavuus on 7t. Loppuosa kuljetuksista tehdään 30t kantavilla yhdistelmäajoneuvoilla. Laskuissa oletetaan että ajoneuvot on aina täytetty täyteen kapasiteettiin. Kuljetuksia valitaan tehtävän arkipäivinä 7:00 – 20:00 välisenä aikana.

Näiden tietojen avulla voidaan laskea tarvittavien ajoneuvojen määrä. Kattilan polttoaineteho on tiedossa ja koska tilavuusvirtaa ei voida vaihtelevan tiheyden vuoksi selvittää, tyydytään selvittämään ainoastaan massavirta. Kattilan edellyttämä massavirta voidaan laskea kaavalla 5.2 käyttämällä tässä kappaleessa eriteltyjä arvoja. Massaviraksi saadaan tällöin $8,2 \frac{kg}{s}$, eli $708\,480 \frac{kg}{d}$. Tällöin keräilyautokuljetuksia tarvitaan 61 kappaletta vuorokaudessa ja yhdistelmäajoneuvoja 10 kappaletta vuorokaudessa. Tämä tarkoittaa keskimäärin 5,5 autoa jokaista tuntia kohden. Jos kuljetukset levittyvät tasaisesti käytössä olevalle ajalle, on jokaisella jakeluautolla noin 13 minuuttia aikaa kuorman purkamiselle. Vastaavasti yhdistelmäajoneuvoilla on aikaa purkamiselle 78 mi-

nuuttia. Lisäaikaa kuormanpurulle voidaan saada lisäämällä polttoaineen vastaanotto-
teiden määrää. Tällä tavoin pystytään myös minimoimaan jonojen syntymistä erityisesti
tiheään saapuvien jakeluautojen osalta.

Polttoainekuljetusten lisäksi tuhkakuljetuksista syntyy merkittävästi liikennettä.
Pohjatuhkan määräksi arvioidaan 22 % poltetun kierrätyspolttoaineen massasta, lento-
tuhkalle määräksi arvioidaan 4 % (Bosmans, et al., 2012). Näillä arvoilla pohjatuhkaa
syntyy $142\,560 \frac{kg}{d}$, ja lentotuhkaa $25\,920 \frac{kg}{d}$. Jos pohjatuhka-autojen kantavuudeksi ar-
vioidaan 15t ja lentotuhka-autojen kantavuudeksi 30t, tarvitaan vuorokaudessa 10 poh-
jatuhkakuljetusta ja yksi lentotuhkakuljetus.

Laskettujen liikennemäärien yhteenveto on esitetty taulukossa 6.1. Laskujen tuloksia
hyödynnetään esimerkkitapauksen laitosalueen liikennereittejä suunniteltaessa. Tulok-
sista voidaan arvioida esimerkiksi, että perästä tyhjennettäville keräilyautoille tarvitaan
useita vastaanottoaikoja sekä riittävän suuri alue ajoneuvojen käsittelyä varten. Lisäk-
si tuloksien perusteella vähäisille lentotuhkakuljetusmäärille ei tarvita yhtä merkittävää
tilavarausta kuin esimerkiksi sivusta tyhjennettäville yhdistelmäajoneuvoille.

Taulukko 6.1: Esimerkkitalauksen liikennemäärien yhteenveto

<i>Määre</i>	<i>Arvo</i>
Tehollinen lämpöarvo (SRF)	$20 \frac{MJ}{kg}$
Tehollinen lämpöarvo (MSW)	$18,15 \frac{MJ}{kg}$
Tiheys (MSW)	$300 \frac{kg}{m^3}$
Vaadittu polttoaineen massavirta	$708\,480 \frac{kg}{d}$
Vaadittu polttoaineliikenne (keräilyautot)	61 autoa vuorokaudessa
Vaadittu polttoaineliikenne (yhdistelmä)	10 autoa vuorokaudessa
Vaadittu tuhkaliikenne (pohjatuhka)	10 autoa vuorokaudessa
Vaadittu tuhkaliikenne (lentotuhka)	1 auto vuorokaudessa

Kappaleessa lasketut liikennemäärät ovat vain arvioita ideaalitapaukselle. Todelli-
suudessa kuljetuksia ei aina tehdä täydellä kapasiteetilla, päivittäiset kuljetusmäärät
eivät välttämättä pysy tasaisina eivätkä kuljetukset aina jakaudu tasaisesti yhden päivän
aikana. Myös jätepolttoaineiden heterogeeninen luonne aiheuttaa merkittävää vaihtelua.

Polttoainekuljetuksia laitosalueelle valvotaan vaakajärjestelmällä, joka punnitsee au-
tot kertaalleen niiden saapuessa laitosalueelle ja uudelleen niiden sieltä poistuessa. Kun
vaakajärjestelmän yhteyteen sijoitetaan portti, pystytään samanaikaisesti hoitamaan alu-
een kulunvalvonta sekä materiaalivirtojen valvonta.

6.1.2 Teknisten ratkaisujen valinta

Esimerkin pääpaino on materiaalivirtojen toteuttamisessa ja suunniteltujen reittien toimivuuden arvioimisessa. Tämän vuoksi eri järjestelmien teknisiin ratkaisuihin ei puututa kuin polttoaineenkäsittelyn osalta. Tässä kappaleessa esitettyjä laite- ja ratkaisuvaihtoja käytetään pohjana eri layoutvaihtoehdoille, vaikka muutamissa ratkaisuvaihtoehdoissa on poikettu esitetyistä valinnoista.

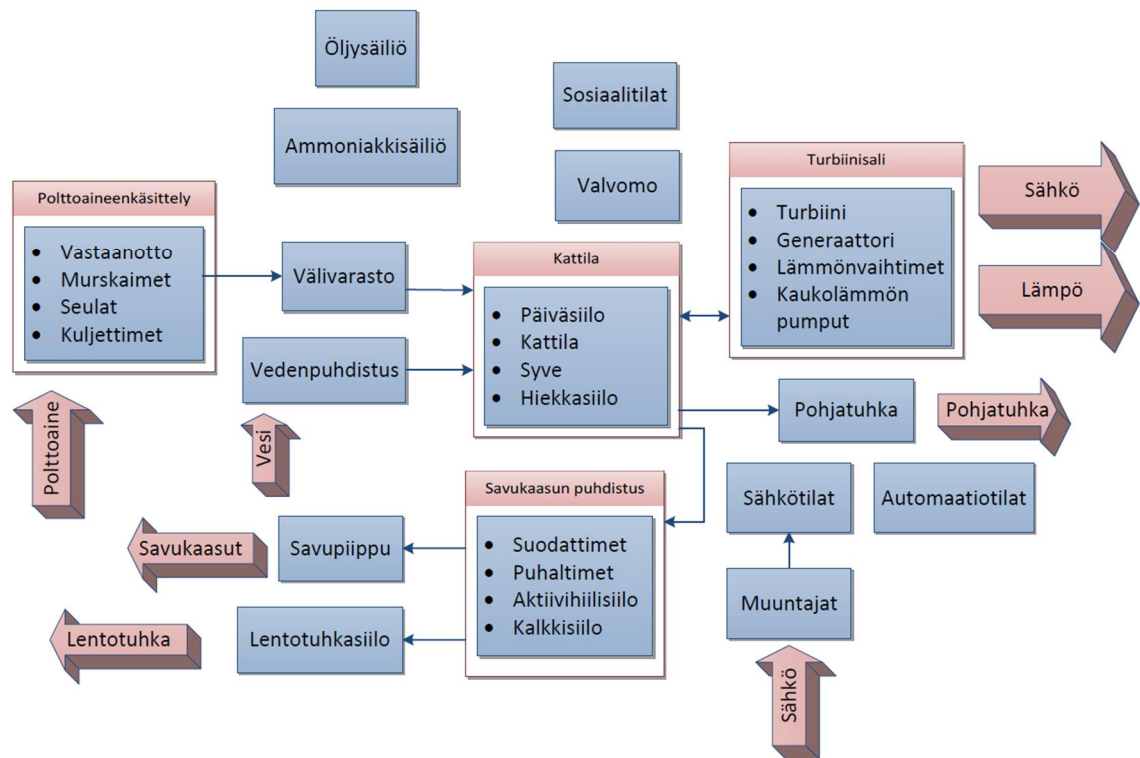
Kappaleessa 6.1.1 määriteltiin, että jäte tuodaan laitosalueelle jakeluautoilla ja yhdistelmäajoneuvoilla. Valitaan, että yhdistelmäajoneuvot on varustettu sivukippijärjestelmällä ja pakkaavat jakeluautot tyhjenetään peräkippijärjestelmällä. Polttoaineen vastaanotto tehdään siten, että ajoneuvot tyhjentävät polttoaineen suoraan kuljettimille. Kuljettimien kautta polttoaine kuljetetaan välittömästi esikäsittelyyn, eikä käsittelemättömän polttoaineen varastoa ole.

Esimerkin tapauksessa valitaan, että laitokselle tuotava jäte on valmiiksi lajiteltua ja tarvitsee täten vain vähän käsittelyä. Polttoaineen vastaanottotilassa on tällöin murskain sekä kevyt seulontalaitteisto raudalle. Seulonnan jälkeen polttoaine kuljetetaan kolakuljettimilla siilovarastoihin. Kolakuljettimen nousukulmaksi on valittu 35°. Siilojen koko on arvioitu kappaleen 6.1.1 tuloksien avulla sellaiseksi, että polttoaine riittää pitkienkin polttoainekuljetusten katkosten ajaksi. Siilovarastoista polttoaine tyhjenetään pohjan kautta ruuvikuljettimilla ja johdetaan kolakuljettimille. Nämä kolakuljettimet johtavat polttoaineen kattilaan ja myös niiden nousukulmaksi valitaan 35°.

Mitään polttoaineenkäsittelyn laitteistosta ei kahdenneta, joten ne on mitoittettava riittäväksi jo yksittäisinä. Laitteiden mitoittaminen ei kuitenkaan ole esimerkin tapauksessa tarpeellista.

6.1.3 Laitoksen tilat ja tilakaavio

Esimerkkitapauksena käytettävä voimalaitos on hyvin yksinkertaistettu. Tämän vuoksi laitoksen tilakaavio on myös melko tyypillinen ja muistuttaa merkittävästi kappaleessa 4.2 muodostettua kaaviota. Muodostetut tilat poikkeavat hieman aiemmin esitetyistä, mutta ovat pääpiirteissään samat. Muodostettu tilakaavio on nähtävillä kuvassa 6.1. Kuvassa esitetyt tilat muutetaan suoraan alueelle sijoitettaviksi rakennuksiksi.



Kuva 6.1: Esimerkitapauksen tilakaavio

Koska muodostetut tilat ovat hyvin tyypillisiä, voidaan suoraan käyttää kappaleessa 5.1 kerättyjä tilojen rajapinta- ja reunaehtovaatimuksia. Samalla pystytään arvioimaan, minkälaista lisätietoa tarvitaan taulukoissa jo esitettyjen seikkojen tueksi.

6.2 Layouttien laatiminen ja tulosten esittely

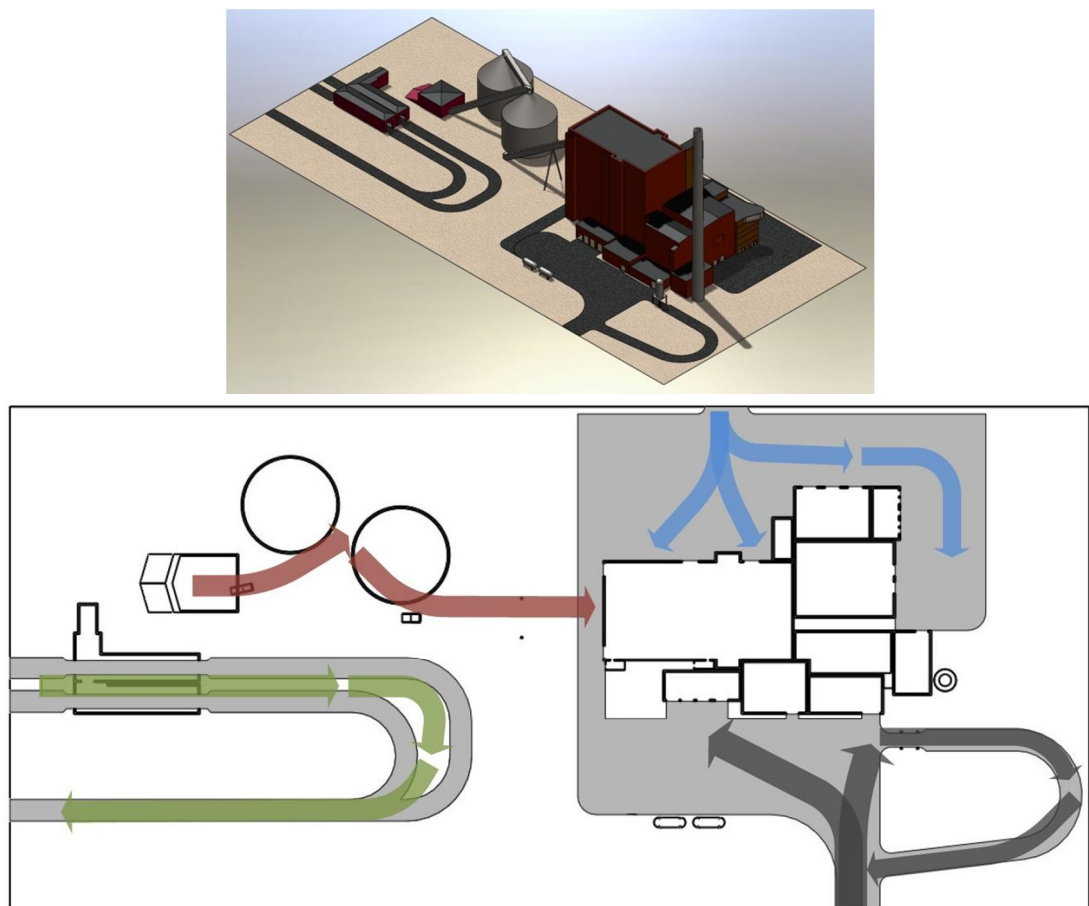
Esimerkitapauksen layoutin laatimista on helpotettu siten, että käytössä olevaa aluetta ei ole rajattu, minkä lisäksi alueen oletetaan olevan täysin tasainen. Tällöin tilojen sijoittaminen selkeytyy ja saadaan enemmän vapautta erilaisten ratkaisuvaihtoehtojen etsimiseen. Toisaalta tämä yksinkertaistaminen tarkoittaa myös, etteivät esimerkiksi rakentamisvaiheen haasteet tule esiin layoutia laadittaessa. Alueen huomioimatta jättämisen lisäksi esimerkissä ei myöskään huomioida laitoksen sijaintia, joka vaikuttaa ajoreittien suunnitteluun sekä rakennusten asemointiin maisemoinnin ja melunhallinnan kannalta ideaaliseksi.

Layoutia laadittaessa laitokselle muodostetut tilat mallinnetaan oikean kokoisiksi ja muotoisiksi, jonka jälkeen tilat sijoitetaan kappaleessa 5.1 esitettyjen rajapintojen ja reunaehtojen vaatimusten mukaisesti. Työn edetessä havaittiin nopeasti että on hyödyllistä sijoittaa kaikki sähkö-, automaatio- ja sosiaalitalat yhdeksi korkeaksi rakennukseksi. Tämän jälkeen on vain selvítettävä mahdollisia eri sijoittamispaikkoja toimintoille siten, että laitoksen kulkureitit voitaisiin toteuttaa mahdollisimman hyvin.

Soveltavan osuuden tuloksena saatiin viisi vaihtoehtoista layoutia. Eri layoutien tilat ovat samat ja ne ovat toiminnaltaan samanlaisia, vain polttoaineen vastaanottojärjestelyihin on tehty joitain muutoksia eri layoutien välillä. Merkittävimmät eroavaisuudet eri ratkaisuvaihtoehtojen välillä koskevat polttoaineen vastaanoton ja välivarastojen sijoittamista ja täten samalla laitoksen kulkureittien toteuttamista.

Tässä kappaleessa on esitelty eri ratkaisuvaihtoehdot ja niiden väliset eroavaisuudet. Jokaisesta vaihtoehdosta on esitetty sekä isometrinen kuva, että yksinkertaistettu layoutkuva. Layoutkuvaan on merkitty alueen materiaalivirrat erivärisillä nuolilla. Vihreällä nuolella on merkitty polttoainekuljetukset, mustalla tuhkakuljetukset, sinisellä henkilö- ja huoltoliikenne sekä punaisella polttoainekuljettimien reitit. Suuremmat kuvat eri layoutvaihtoehdoista, sekä selitykset tilojen sijainnista layouteissa, löytyvät työn lopusta liitteestä 1.

Ensimmäisessä ratkaisuvaihtoehdossa, kuva 6.2, on pyritty kapeaan ja pitkään ratkaisuun. Laitos on jaettu kolmeen osaan: polttoaineen vastaanottoon, henkilöliikenteeseen ja huoltoliikenteeseen. Lopuista ratkaisuvaihtoehdoista poiketen tässä layoutissa polttoaineen vastaanotto toteutetaan vain sivukippilaitteilla.

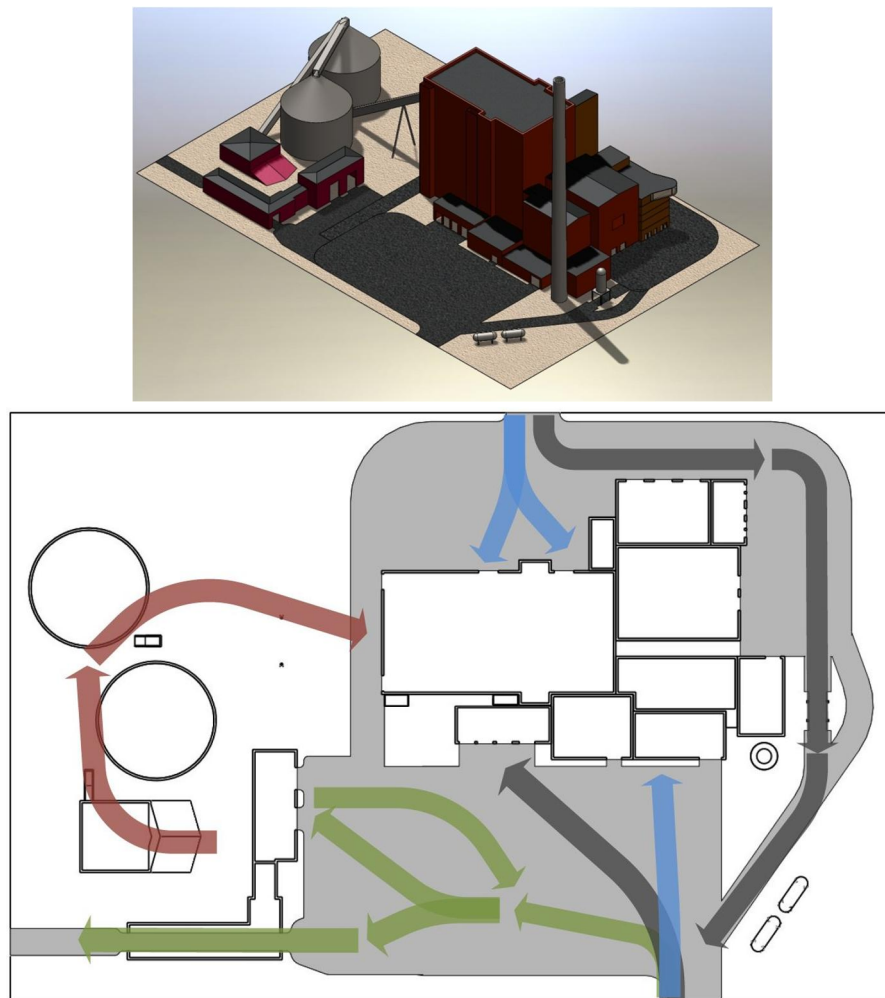


Kuva 6.2: Ratkaisuvaihtoehto 1

Merkittävin etu tällä vaihtoehdolla on selkeästi toisistaan erotettu liikenne. Lisäksi ratkaisua hiomalla on sillä potentiaalia haasteellisen muotoisille laitosalueille sijoittamisessa. Nykyisellään ratkaisuvaihtoehdon merkittävin ongelma on kuitenkin sen suuri tilantarve. Kyseisillä ajoreittivalinnoilla laitosaluetta ei saada riittävän kapeaksi, jolloin alueelle syntyy paljon hukkatilaa ja ratkaisun edut muihin vaihtoehtoihin nähden alenevat. Myös haalausreittien osalta standardista poikkeava turbiinisali sekä savukaasujen käsittelyn ahtaus ovat laitoksen haittapuolia. Ahtaan savukaasunkäsittelyn seurauksena esimerkiksi lentotuhkan tyhjentäminen silloon vaikeutuu.

Kulkureittejä parantamalla ensimmäisestä layoutista on mahdollista saada kompaktimpi ja samalla kilpailukykyisempi. Toisaalta nykyisenlainen väljyys voi olla myös tietyissä tapauksissa toivottavaa, esimerkiksi laitoksen laajennuksiin varauduttaessa.

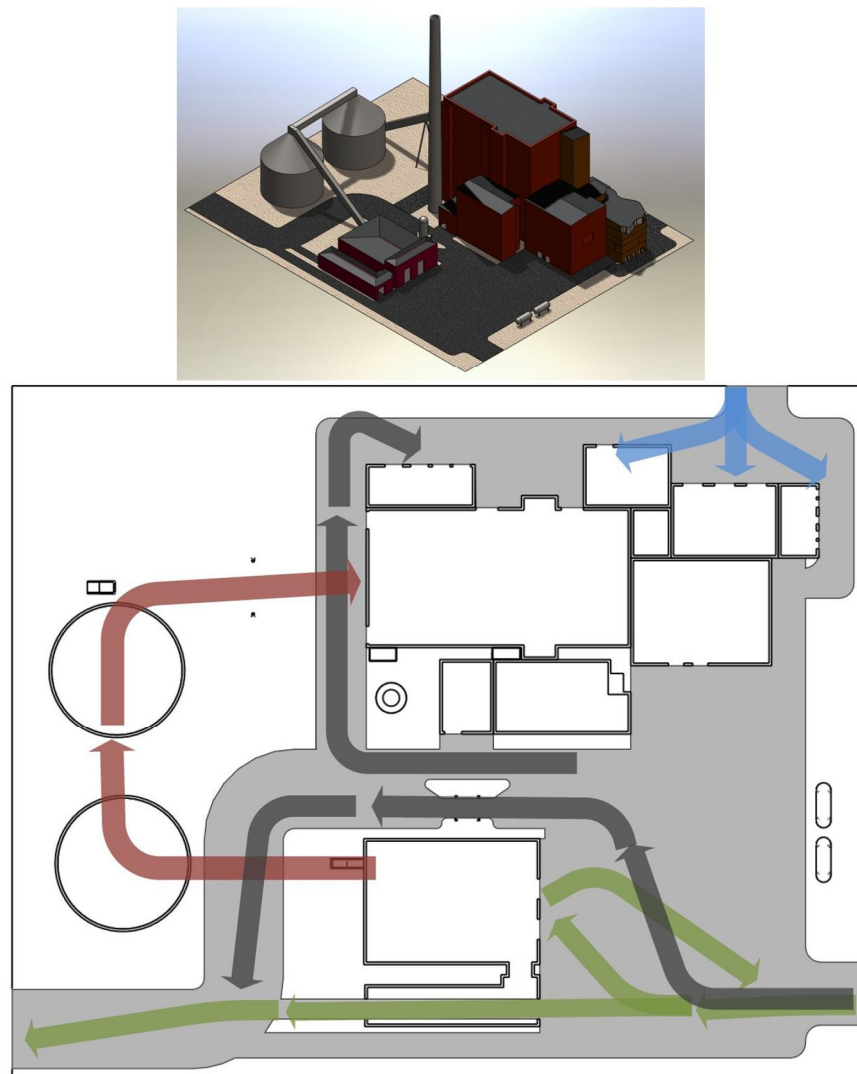
Toinen ratkaisuvaihtoehto, kuva 6.3, on ensimmäistä vaihtoehtoa perinteisempi. Tässä layoutissa polttoaine- ja huoltoliikenne sijaitsevat laitoksen toisella puolella, henkilöliikenteen ollessa erotettuna laitoksen vastakkaiselle puolelle. Muuttamalla polttoai-
neen vastaanottojärjestelyitä, ratkaisusta on saatu ensimmäistä vaihtoehtoa pienempi.



Kuva 6.3: Ratkaisuvaihtoehto 2

Toisen ratkaisuvaihtoehdon etuihin lukeutuvat hyvin erotettu henkilöliikenne, pienempi koko sekä suuri ajoneuvojen käsittelyyn varattu alue. Toisaalta suuri ajoneuvojen käsittelyalue on myös yksi ratkaisun heikkouksista, sillä sen seurauksena laitoksesta tulee hyvin väljä. Suurta käsittelyaluetta voitaisiin hyödyntää paremmin ohjaamalla sivukipilliset ajoneuvot poistumaan alueelta pääportin kautta. Myös lentotuhkaliikenteen sekoittuminen henkilöliikennepuolelle sekä standardista poikkeavat turbiinisalin haalausreitit ovat haittapuolia.

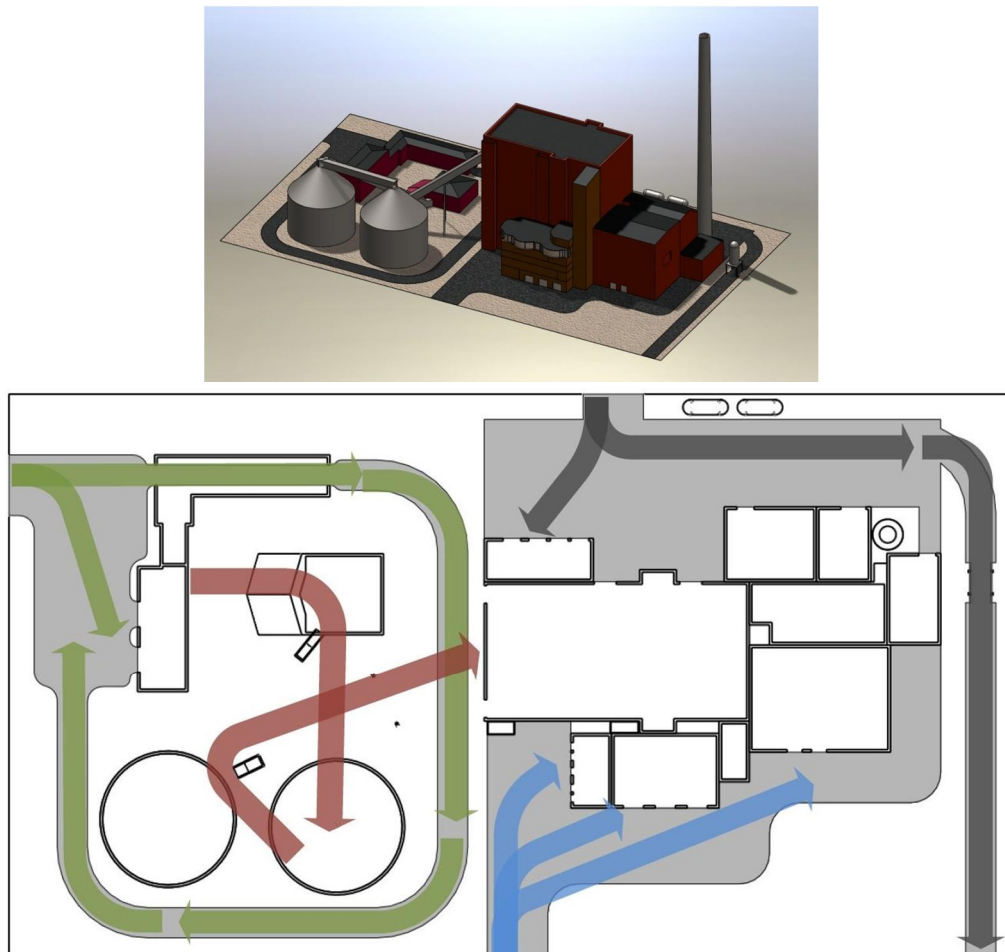
Toisen ratkaisuvaihtoehdon väljyyttä on korjattu kolmanteen layoutiin. Tämä ratkaisu on kooltaan selvästi pienempi ilman toiminnallisuuden merkittävää muuttumista. Lisäerona toiseen layoutiin kolmannessa vaihtoehdossa lentotuhkasiilon sijoittamispaikkaa on parannettu ja polttoainekäsittely on mallinnettu täysimittaisena. Kolmas ratkaisuvaihtoehto on esitetty kuvassa 6.4.



Kuva 6.4: Ratkaisuvaihtoehto 3

Kuten toisessa ratkaisuvaihtoehdossa, myös tässä tapauksessa henkilö- ja raskasliikenne on hyvin erotettu toisistaan ja alueella on riittävästi tilaa ajoneuvojen käsittelemiselle. Lentotuhkakuljetukset eivät enää sekoitu henkilöliikenteeseen, vaan käyttävät samoja reittejä polttoainekuljetusten kanssa. Sen sijaan muuttuneen tilojen asetteluun vuoksi pohjatuhkasiilo on nyt haasteellisessa ahtaassa paikassa, minkä lisäksi osa ajoneuvoista joutuu ajamaan polttoainekuljettimien alapuolelta. Ajoreitit on kuitenkin suunniteltu siten, ettei törmäysmahdollisuutta kuljettimiin ole. Kuten edellistä ratkaisua, myös tätä layoutia voitaisiin parantaa ohjaamalla liikennevirrat pois alueelta pääportin kautta.

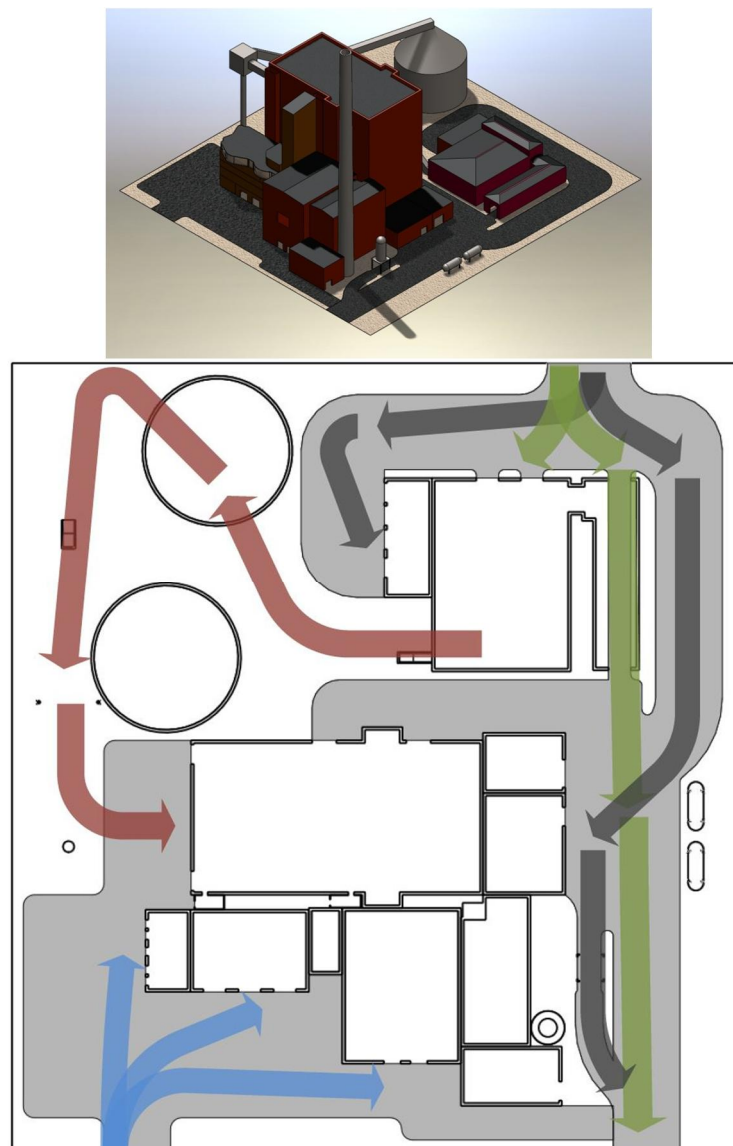
Neljäs ratkaisuvaihtoehto, kuva 6.5, on yhdistelmä ensimmäistä ja toista vaihtoehtoa. Tässä ratkaisussa polttoainekuljetukset on täysin eristetty muusta laitoksesta, minkä lisäksi myös tuhkakuljetukset on erotettu henkilö- ja huoltoliikenteestä. Tämä on myös ainoa ratkaisuvaihtoehto jossa kaikki polttoainekuljetukset palaavat saman portin kautta, jolloin vaakajärjestelmän sijoittaminen helpottuu. Muissa vaihtoehdoissa tarvitaan joko useampi vaaka, tai vaaka on sijoitettava laitokselle johtavan ajoreitin yhteyteen kauemmas laitoksesta. Toisaalta tuhkakuljetusten punnitseminen on haasteellista myös tässä layoutissa.



Kuva 6.5: Ratkaisuvaihtoehto 4

Hyvin toisistaan erotetun liikenteen lisäksi neljäs ratkaisuvaihtoehto on kompakti, eikä siinä juurikaan ole hukkatilaa laajojen ajoreittien lisäksi. Tämä vaihtoehto ei ole kuitenkaan pienin esitetyistä vaihtoehdoista. Haittapuoliksi voidaan lukea lisäksi useiden porttien toteuttamisesta syntyvät haasteet. Tähän voitaisiin puuttua muuttamalla lentotuhkasiilon sijoittamista ja ohjaamalla tuhkakuljetukset polttoainekuljetusten portin kautta. Lisäksi ratkaisua voitaisiin parantaa siirtämällä vedenpuhdistus ja tekninen tila kattilarakennuksen toiselle puolelle, jolloin savukaasunkäsittelyrakennukselle saadaan enemmän tilaa.

Viidennessä ratkaisuvaihtoehdossa, kuva 6.6, on pyritty saamaan laitos mahdollisimman pienen kokoiseksi. Tavoitteeseen on päästy muodostamalla alueesta neliön muotoinen ja sijoittamalla polttoaineenkäsittely mahdollisimman lähelle muita tiloja.



Kuva 6.6: Ratkaisuvaihtoehto 5

Tavoitteen mukaisesti viides ratkaisuvaihtoehto on esimerkkitapaukselle muodosteista layouteista selvästi pienin. Pienestä koosta ja täysimittaiseksi mallinnetusta polttoaineenkäsittelystä huolimatta tässä layoutissa on kyetty erottamaan henkilö- ja raskasliikenne selvästi toisistaan. Ratkaisun haittapuoliin lukeutuu kuitenkin layouttien 1 ja 2 tapaan turbiinisalin haalausreittien poikkeavuus standardista. Myös tuhka- ja polttoainekuljetusten risteämistä voidaan pitää haittapuolena. Ratkaisuvaihtoehtoa voitaisiin parantaa siirtämällä savukaasunkäsittely nykyisen vedenkäsittelyn kohdalle. Lisäksi pohjatuuhkavaraston sijaintia on muutettava, sillä nykyisenkaltainen sijoittaminen kauas kattilasta on hyvin haasteellinen toteuttaa.

Kaikille ratkaisuvaihtoehtoilta yhteinen haittapuoli on liian suuri erillisten rakennusten määrä. Yksittäisten rakennusten määrän minimoimisella voidaan pyrkiä vähentämään laitoksen valmistuskustannuksia ja helpottaa layoutsuunnittelua sekä rakentamisvaiheen suunnitteluprosessia. Lisäksi monissa ratkaisuissa savukaasunkäsittelyn tilan ympärille ei ole jätetty riittävästi tilaa, mikä on kriteeri jota ei ole esitetty reunaehto- ja vaatimustaulukossa. Tämän perusteella voidaan todeta taulukon olevan tarpeellinen, mutta vastaavanlaisten virheiden riski kasvaa jos taulukot eivät ole riittävän tarkkoja ja kattavia.

Rakennusten muodostamisen ja yllä esitettyjen muiden seikkojen lisäksi eri ratkaisuvaihtoehtoja on arvioitu karkeasti taulukossa 6.2 sen mukaan, kuinka hyvin ratkaisut ovat täyttäneet niille asetetut alkuperäiset tavoitteet materiaalivirtojen toimivuudesta. Myös laitoksen kokoa on käytetty arviointikriteerinä.

Taulukko 6.2: Ratkaisuvaihtoehtojen yksinkertaistettu vertailu

<i>Ratkaisuvaihtoehto</i>	<i>Laitoksen koko</i>	<i>Liikennemuotojen erottaminen</i>	<i>Liikennejärjestelyiden toimivuus</i>
1	huono	hyvä	kohtalainen
2	kohtalainen	kohtalainen	kohtalainen
3	hyvä	kohtalainen	kohtalainen
4	kohtalainen	hyvä	hyvä
5	hyvä	kohtalainen	hyvä

Taulukon 6.2 perusteella ratkaisuvaihtoehdot 4 ja 5 olisivat parhaita. Tällaisella taulukolla on kuitenkin hyvin vaikea arvioida voimalaitoksen laajuisia monimutkaisia kokonaisuuksia. Sen sijaan taulukon avulla pystytään hahmottamaan kuinka haasteellista on luoda voimalaitoksen layout, jossa kaikki huomioonotettavat seikat täytyisivät kiitettävästi. Taulukko kuvastaa täten hyvin voimalaitossuunnittelussa esiintyvien kompromissien läsnäoloa kaikissa suunnittelun osa-alueissa.

6.3 Tilapohjaisen menetelmän soveltuvuus ja jatkokehittäminen

Soveltavan osuuden tarkoituksena on paitsi layoutien ideointi, mutta erityisesti myös työssä kehitettyjen menetelmien toimivuuden testaaminen. Esimerkkitapauksen ratkaisuita ideoitaessa edettiin kuvassa 4.2 esitetyn suunnitteluprosessin etenemiskaavion mukaisesti. Soveltavan osuuden perusteella todettiin että kaaviossa esitetty järjestys vastaa hyvin todellisen suunnitteluprosessin tarpeita. Sen sijaan kaavion yksinkertaisuus tarkoittaa, että kaavio toimii lähinnä kokemattomien suunnittelijoiden opastuksessa, työvaiheiden selkeyttämisessä sekä jossain määrin myös oman työvaiheen viestimisessä muille työntekijöille. Varsinaista kattavaa työkalua kaaviosta ei kuitenkaan saada ilman jatkokehitystä.

Siinä missä prosessin etenemiskaavion todettiin olevan lähinnä kevyt tukiväline, voimalaitoksesta muodostettu tilakaavio koettiin erittäin hyödylliseksi. Tilakaavion avulla kyettiin hallitsemaan laitospokokonaisuutta paremmin sekä hahmottamaan tärkeimpien tilojen sijoittamista. Lisäksi erityisesti tilojen sijoittamiseen vaikuttavista yksityiskohdista kerätyt taulukot, taulukot 5.2 ja 5.3, olivat hyödyllisiä layouteja laadittaessa.

Kokonaisuutena tässä diplomityössä esitetty tilapohjainen lähestymistapa soveltuu hyvin voimalaitosten layoutkaavioiden suunnittelun apuvälineeksi. Menetelmä auttaa layoutin laatimisessa, mutta ei kuitenkaan rajoita suunnittelijan luovuutta. Työssä tehty esimerkkitapaus on kuitenkin hyvin pitkälle yksinkertaistettu, minkä vuoksi menetelmää ei pystytty täydellisesti testaamaan, esimerkiksi tilojen iterointi ei esiintynyt lainkaan suunnittelussa.

Esimerkkitapauksen yksinkertaisuudesta huolimatta menetelmästä havaittiin joitain kehityskohteita joita on pyritty tuomaan tässä esille. Selkeimmin esille nousnut kehityskohde on tilojen sijoittamiseen vaikuttavia reunaehtoja ja rajapintoja käsittelevien taulukoiden tietojen täydentäminen. Lisää tietoa tarvitaan erityisesti tilojen erityispiirteistä ja mahdollisista rajoitteista. Esimerkkitapauksen yhteydessä huomattiin myös, että merkittävä osa laitossuunnittelun haasteista on sellaisia, joiden havaitsemiseen tarvitaan kokemusta. Näiden seikkojen vuoksi taulukoiden 5.2 ja 5.3 täydentäminen mahdollisimman kattavaksi sekä kokeneiden suunnittelijoiden osaamisen, että tulevaisuudessa projekteissa esille tulevien haasteiden perusteella on hyvin tärkeää.

Esimerkkitapauksen layouteja laadittaessa, erääksi laitossuunnittelun merkittävistä haasteista todettiin kompromissien tunnistaminen ja hallinta. Kuten kappaleessa 4.2 todettiin, kompromisseja on haasteellista kattaa suunnittelumenetelmällä ja niiden hallinta perustuukin monesti suunnittelijoiden kokemukseen. Tämän vuoksi saattaa olla tarpeen koota eri tiloille reunaehtojen ja rajapintojen ohelle myös oma taulukko huomioonotettavista yleisimmistä kompromisseista sekä niiden vaikutuksista.

Täydennettyjen rajapinta- ja reunaehtotaulukoiden sekä uuden kompromissitaulukon lisäksi eri tilojen tyypillisistä mitoista ja muodoista olisi hyvä kerätä lisätietoa. Nämä tiedot voitaisiin kerätä taulukon 5.4 mukaisesti, jolloin tilatarpeiden arvioiminen helpot-

tuu. Tällaisten taulukoiden kerääminen on erityisesti tarpeen standardimuotoisten tilojen osalta.

Soveltavan osuuden yhteydessä havaittiin myös, että voimalaitoksen materiaalivirtojen suunnitteleminen on yksi laitoksen lopulliseen layoutiin eniten vaikuttavista tekijöistä. Vaikka kappaleessa 5.3 on esitetty liikenteen kulkureittien suunnittelemisessa huomioitavia tekijöitä, ei tilakaavio käsittele materiaalivirtojen suunnittelemista millään tavalla. Tilakaavioon on mahdollista merkitä alueelle vaadittavat reitit, mutta tätä tarkemmin materiaalivirtojen lisääminen menetelmään saattaisi osoittautua joko liian haasteelliseksi, tai lopullisen ratkaisun kannalta liian rajoittavaksi osaksi menetelmää.

Lisäksi soveltavan osuuden yhteydessä havaittiin tilakaavion potentiaali layoutien laatimisen ulkopuolella. Laajennettaessa ja päivitettäessä kaaviota suunnittelutyön edessä, on kaaviota mahdollista käyttää koko suunnitteluprosessin apuvälineenä. Laajennettu tilakaavio saattaisi palvella esimerkiksi layoutsuunnittelun ja rakennussuunnittelun välisenä rajapintana.

Yhteenvetona tilapohjaisen lähestymistavan kehityskohteista voidaan todeta lisätietojen hankkiminen erityisesti tilojen reunaehdoista, laitossuunnittelussa esiintyvien kompromissien ja tilojen tyyppillisten dimensioiden esilletuominen sekä tilakaavion laajentaminen kohti kokonaisvaltaista suunnittelutyökalua. Lisäksi saattaa olla tarpeen jollain osin sisällyttää materiaalivirtojen esittäminen osaksi menetelmää. Nämä vaiheet jäävät kuitenkin jatkokehittäväksi tämän diplomityön ulkopuolelle.

7 YHTEENVETO

Voimalaitosten suunnitteleminen on monimutkainen prosessi, jossa vaaditaan hyvin laaja-alaista osaamista ja tietoa esimerkiksi energia-, rakennus- ja konetekniikasta. Voimalaitoksen alueelle on sijoitettava lukuisia eri rakennuksia jotka sisältävät monia toimilaitteita. Näillä toimilaitteilla on omat erityiset vaatimuksensa, kuten tilatarpeet tai rajapinnat, jotka on huomioitava sijoittamisen yhteydessä. Lisäksi laitosalueella on paljon liikennettä, minkä vuoksi myös kulkureittien suunnitteleminen asettaa omat haasteensa. Suunnittelussa on myös huomioitava lainsäädännön asettamat rajoitteet.

Tässä diplomityössä tunnistettiin voimalaitoksen suunnitteluprosessin haasteiksi monialaisuuden ja suuren hallittavan tietomäärän lisäksi muun muassa suunnittelun aikapaineet, kompromissien tunnistaminen ja hallinta sekä erityisesti oleellisen tiedon kerääminen. Voimalaitossuunnittelu perustuu tyypillisesti kokeneiden suunnittelijoiden osaamiseen ja merkittävä osa tarvittavasta tiedosta on jo olemassa. Tämän vuoksi yhdeksi työn tavoitteista muodostui laitossuunnittelulle oleellisen tiedon tunnistaminen, löytäminen ja kokoaminen. Jotta muihin esitettyihin haasteisiin voitaisiin vastata, joudutaan kehittämään uudenlainen lähestymistapa voimalaitossuunnitteluun.

Laitossuunnittelun haasteita on pyritty helpottamaan kehittämällä tilapohjainen lähestymistapa. Tämä menetelmä pyrkii selkeyttämään monimutkaisen voimalaitoskokonaisuuden hahmottamista sekä tarjoamaan suunnittelijoille apua laitoksen komponenttien sijoittamisessa ja kulkureittien suunnittelemisessa. Tilapohjainen menetelmä koostuu kolmesta osasta: tilakaavion muodostamisesta, tilojen tietojen keräämisestä ja suunnitteluprosessia kuvaavasta etenemiskaaviosta. Menetelmän perustana on voimalaitoksen osakokonaisuuksien jakaminen toiminnan ja sijainnin kannalta loogisiin osiin joita kutsutaan tässä työssä tiloiksi.

Jotta voimalaitoksia voitaisiin suunnitella ja tilapohjaisen menetelmän tilat osattaisiin muodostaa, on ymmärrettävä kuinka voimalaitos toimii. Tämän vuoksi työssä on esitetty voimalaitoksen tärkeimmät osakokonaisuudet ja niiden toiminta. Tärkeitä tiloja ovat esimerkiksi polttoaineenkäsittely, kattilarakennus, turbiinisali ja savukaasujen puhdistus. Lisäksi työssä on esitelty bio- ja jätteenpolttolaitoksille tyypilliset kattilatyypit, arina- ja leijukerroskattilat. Näiden kattilatyypien toiminta eroaa toisistaan hyvin paljon, minkä vuoksi kattilavalinta vaikuttaa merkittävästi laitoksen laitevalintoihin ja suunnittelemiseen, erityisesti polttoaineenkäsittelyn osalta. Työssä on keskitytty leijukerroskattiloita käyttäviin voimalaitoksiin.

Voimalaitoksen toimintatapojen selvittämisen jälkeen pystytään muodostamaan tilapohjaisen menetelmän tilat. Tiloista muodostetaan kaavio, johon merkitään eri tilojen rajapinnat. Tämä tilakaavio esittää koko voimalaitoskokonaisuuden yksinkertaisessa ja

helposti hallittavassa muodossa. Tilakaaviota on mahdollista käyttää merkittävänä työkaluna voimalaitosten layouteja laadittaessa.

Pelkkä tilakaavio kertoo ainoastaan, mitä tiloja voimalaitokseen tarvitaan sekä näiden tilojen rajapinnat. Lisätieto tilojen tarpeista joudutaan keräämään muulla tavoin. Työssä esitetään tilojen reunaehtojen, vaatimusten ja rajapintojen keräämistä tarkoituksenmukaisesti taulukoihin. Tilojen yksityiskohtien lisäksi laitossuunnittelussa tarvitaan tietoa muun muassa laitosalueen kulkureittien suunnittelemisesta, rakennusvaiheen haasteista sekä huomioon otavista lakisääteisistä asioista, Suomen tapauksessa esimerkiksi ympäristötekijöistä ja paloturvallisuudesta. Nämä tiedot kerätään asianmukaisesti taulukoihin, joita suunnittelijat voivat hyödyntää tilakaavion ohella.

Tietojen kerääminen kattavalla pohjatyöllä on hyödyllistä myöhempien projektien kannalta. Eri voimalaitokset muistuttavat merkittävästi toisiaan, minkä vuoksi myös niiden tilat ja laitossuunnittelussa hyödynnettävät tietotaulukot pysyvät pääsääntöisesti muuttumattomina projektista toiseen.

Edettäessä pohjatyöstä varsinaiseen suunnitteluun tarvitaan tilakaavion ja tietotaulukoiden ohelle lisäohjeistusta suunnitteluprosessiin. Tämän vuoksi tilapohjaisen menetelmän kolmas osa on suunnitteluprosessin etenemiskaavio. Etenemiskaavioon on yksinkertaistetusti merkitty voimalaitoksen layoutin laatimisen työvaiheet ja sen on tarkoitus tukea suunnittelutyötä sekä systematisoida työvaiheita.

Työssä tehdyn soveltavan osuuden tulosten perusteella esitetty lähestymistapa todettiin lupaavaksi apuvälineeksi voimalaitosten suunnitteluun. Menetelmän avulla kokematon suunnittelija kykeni laatimaan vaihtoehtoisia layouteja kuvitteelliselle laitokselle. Erityisesti tilakaavion todettiin olevan hyödyllinen, mutta myös tietotaulukoiden potentiaali tuli esille. Tietotaulukoiden hyödyllisyyttä häytti kuitenkin taulukoiden sisällön puutteellisuus, sillä taulukoita ei diplomityön puitteissa voida täyttää täysin kattaviksi.

Soveltavassa osuudessa esille tulleet menetelmän kehittämiskohteet koskettavat erityisesti lisätiedon hankkimista. Ensisijaisena tavoitteena voidaan pitää rajapintoja ja reunaehtoja käsittelevien tietotaulukoiden täydentämistä, mutta myös uusien, aiemmin esittämättömien, taulukoiden laatimista. Esimerkiksi laitossuunnittelussa huomioon otavien kompromissien tunnistaminen ja hallitseminen edellyttää merkittävää tietoa ja kokemusta laitoksen toiminnasta, minkä vuoksi aiheesta on hyvä kerätä lisätietoa. Myös tilojen dimensioista on hyvä hankkia tarkempaa tietoa ja laitosalueen kulkureittien suunnittelu saattaa olla tarpeen sisällyttää tiiviimmäksi osaksi menetelmää.

Lisätiedon hankkimisen ohella menetelmää on mahdollista kehittää myös muilla tavoin. Menetelmään sisällytetty etenemiskaavio vastasi työssä tehdyn esimerkkitapauksen perusteella laitossuunnittelun tarpeita hyvin, mutta vain pintapuolisesti. Viemällä kaaviota ja samalla koko tilapohjaista lähestymistapaa lähemmäs kokonaisvaltaista suunnittelutyökalua voidaan menetelmän hyödyllisyyttä lisätä merkittävästi. Nykyisellään tilapohjainen lähestymistapa auttaa lähinnä layoutien suunnittelussa, mutta menetelmää laajentamalla voidaan siitä saada rajapinta layoutsuunnittelun ja rakennussuunnittelun välille. Täysimittaisen ja kattavan tuotekehitysmenetelmän kehittämiseen vaadittu työmäärä on kuitenkin laajuudeltaan liian suuri diplomityössä tehtäväksi.

LÄHTEET

- A 12.3.2002, 2002. *Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta*. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- A 4.12.1992/1257, 1992. *Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä*. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Ajanko, S., Moilanen, A. & Juvonen, J., 2005. *Kierrätyspolttoaineiden laadunvalvonta*, Espoo: VTT Publications.
- Alpua, J., 2011. *Biopolttoaineen kuivaus voimalaitoksessa*, Tampere: TTY.
- ASABE, 2011. *ANSI/ASABE S593.1 JAN2011 Terminology and Definitions for Biomass Production, Harvesting and Collection, Storage, Processing, Conversion and Utilization*. St. Joseph, Michigan: ASABE.
- Biles, W., Usher, J. & Zohdi, M., 2006. Material Handling. Teoksessa: M. Kutz, toim. *Mechanical Engineers' Handbook - Manufacturing and Management*. New Jersey: John Wiley & Sons, pp. 345-396.
- Bosmans, A., Vanderreydt, I., Geysen, D. & Helsen, L., 2012. The crucial role of Waste-to-Energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review. *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-14.
- Buckle, P. & Clarkson, J., 2005. Systems engineering. Teoksessa: J. Clarkson & C. Eckert, toim. *Design process improvement*. London: Springer-Verlag London, pp. 89-113.
- Ćatić, A., 2011. *Knowledge-based Engineering in Product Development Processes*. Göteborg: Chalmers university of technology.
- Clean Energy Council, 2008. *Australian bioenergy roadmap*, Canberra: Australian Government.
- Couper, J., Penney, R., Fai, J. & Walas, S., 2010. Transfer of solids. Teoksessa: *Chemical Process Equipment*. Boston: Gulf Professional Publishing, pp. 61-82.
- Earl, C., Johnson, J. & Eckert, C., 2005. Complexity. Teoksessa: J. Clarkson & C. Eckert, toim. *Design process improvement*. London: Springer London, pp. 174-197.
- Easterly, J. L. & Margo, B., 1996. Overview of biomass and waste fuel resources for power production. *Biomass and Bioenergy*, Vuosik. 10, pp. 79-92.

Eckert, C., Maier, A. & McMahon, C., 2005. Communication in design. Teoksessa: J. Clarkson & C. Eckert, toim. *Design process improvement*. Londong: Springer London, pp. 232-261.

EHM Oy, 2012. *Euran Hydrauliiikka ja Metallirakenne Oy*. [Online] Saatavissa: <http://www.ehm.fi/4> [Haettu 30.5.2013].

Eppinger, S., Whitney, D., Smith, R. & Gebala, D., 1994. A Model-Based Method for Organizing Tasks in Product Development. *Research in Engineering Design*, 6(1), pp. 1-13.

Eurostat, 2013. *Eurostat, Municipal waste*. [Online] Saatavissa: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en [Haettu 25.3.2013].

Evans, A., Strezov, V. & Evans, T. J., 2010. Sustainability considerations for electricity generation from biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vuosik. 14, pp. 1419-1427.

FINBIO ry, 2010. *Bioenergia Suomessa*. [Online] Saatavissa: <http://www.suomenbioenergia.net/default.asp?sivuID=9164> [Haettu 20.3.2013].

Fontaine, N. & Védrine, H., 2000. *Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/76/EY jätteenpoltosta*, Brysseli: Euroopan parlamentti.

Harding, N. S., 2008. Chapter 3 – Characteristics of Alternative Fuels. Teoksessa: B. G. Miller & D. A. Tillman, toim. *Combustion Engineering Issues for Solid Fuel Systems*. Burlington: Academic Press, pp. 83-131.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H., 1994. *Höyrykattilatekniikka*. Helsinki: Opetushallitus.

Hult, A., 2013. *Sähköposti* (19.6.2013).

Jokitulppo, J., 2013. Haastattelu (26.3.2013).

Jänsch, J. & Birkhofer, H., 2006. *The development of the guideline VDI 2221 - The change of direction*. Dubrovnik, International Design Conference - Design.

Kawecki, D., 2008. Chapter 6 - Fuel Preparation. Teoksessa: B. G. Miller & D. A. Tillman, toim. *Combustion Engineering Issues for Solid Fuel Systems*. Burlington: Academic Press, pp. 199-240.

Kivistö, J., 2012. *Pelastustien suunnittelu ja toteutus*, Vantaa: Keski-Uudenmaan pelastuslaitos.

Kokko, O., 1999. *Taloussanomat*. [Online] Saatavissa: <http://www.taloussanomat.fi/arkisto/1999/04/27/eun-jatteenpolttodirektiivi-vie-pohjan-kierratykselta/199924996/12> [Haettu 19.3.2013].

Ko, M.-S., Chen, Y.-L. & Wei, P.-S., 2013. Recycling of municipal solid waste incinerator fly ash by using hydrocyclone separation. *Waste Management*, 33(3), pp. 615-620.

Koufteros, X., Vonderembse, M. & Doll, W., 2001. Concurrent engineering and its consequences. *Journal of Operations Management*, Vuosik. 19, pp. 97-115.

L 10.6.1994/468, 1994. *Laki Ympäristövaikutusten arviointimenettelystä*. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Lahti Energia Oy, 2004. *Jätepolttoaineen energiahyötykäyttöhankkeen ympäristövaikutusten arviointiohjelma*, Lahti: Lahti Energia Oy.

Lahtinen, K. & Hakala, H., 2013. *Haastattelu* (25.6.2013).

Lehtonen, T., 2007. *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Malmgren, A. & Riley, G., 2012. Biomass Power Generation. Teoksessa: A. Sayigh, toim. *Comprehensive Renewable Energy*. Oxford: Elsevier, pp. 27-53.

Marx, P. & Morin, J., 2008. Chapter 7 - Conventional Firing Systems. Teoksessa: B. G. Miller & D. A. Tillman, toim. *Combustion Engineering Issues for Solid Fuel Systems*. Burlington: Academic Press, pp. 241-274.

Miller, B. G., 2011. 6 - Anatomy of a Coal-Fired Power Plant. Teoksessa: *Clean Coal Engineering Technology*. Boston: Butterworth-Heinemann, pp. 219-250.

Miller, B. G. & Miller, S. F., 2008. Chapter 8 - Fluidized-Bed Firing Systems. Teoksessa: B. G. Miller & D. A. Tillman, toim. *Combustion Engineering Issues for Solid Fuel Systems*. Burlington: Academic Press, pp. 275-340.

Moilanen, A., Nieminen, M. & Alén, R., 1995. Polttoaineiden ominaisuudet ja luokittelu. Teoksessa: R. Raiko, I. Kurki-Suonio, J. Saastamoinen & M. Hupa, toim. *Poltto ja palaminen*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, pp. 87-108.

- Monni, S., 2012. From landfilling to waste incineration: Implications on GHG emissions of different actors. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Vuosik. 8, pp. 82-89.
- Mullinger, P. & Jenkins, B., 2008. Chapter 7 - Fuel handling systems. Teoksessa: *Industrial and Process Furnaces*. Oxford: Butterworth-Heinemann, pp. 243-285.
- Norell, M., 1992. *Stödmeter och samverkan i produktutveckling*. Stockholm: Kungliga Tekniska högskolan.
- O'Donovan, B., Eckert, C., Clarkson, J. & R., B. T., 2005. Design planning and modelling. Teoksessa: J. Clarkson & C. Eckert, toim. *Design process improvement*. London: Springer London, pp. 60-87.
- Ojanperä, J., 2013. *Sähköposti* (14.6.2013).
- Pahl, G. & Beitz, W., 2007. *Engineering Design - A Systematic Approach*. Springer London.
- Potočnik, 2010. *Parliamentary questions*. [Online] Saatavissa: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2010-0299&language=FI> [Haettu 19.3.2013].
- Psomopoulos, C., Bourka, A. & Themelis, N., 2009. Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. *Waste Management*, Vuosik. 29, pp. 1718-1724.
- Pöyry Management Consulting Oy, 2010. *Naantalin voimalaitoksen ympäristövaikutusten arviointiohjelma*. Espoo: Pöyry Management Consulting Oy.
- Rahkonen, H., 2013. *Haastattelu* (18.6.2013).
- Rahman, M. A. & Bakker, M., 2013. Sensor-based control in eddy current separation of incinerator bottom ash. *Waste Management*, Vuosik. xxx, pp. xxx-xxx.
- Reinval, H., 1999. *Kiinteän polttoaineen aiheuttama kuluminen ja korroosio*, Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- Stetter, R. & Lindemann, U., 2005. The transfer of methods into industry. Teoksessa: J. Clarkson & C. Eckert, toim. *Design process improvement*. London: Springer London, pp. 436-459.
- Taavitsainen, K., 2013. *Puhelinkeskustelu* (18.6.2013).

Tambone, F., Scaglia, B., Scotti, S. & Adani, F., 2011. Effects of biodrying process on municipal solid waste properties. *Bioresource Technology*, Vuosik. 102, pp. 7443 - 7450.

Tammervoima Oy, 2011. *Tammervoiman hyötyvoimalaitoksen ympäristövaikutusten arviointiohjelma*, Tampere: Tammervoima Oy.

Thurdin, R., van Hees, P., Bylund, D. & Lundström, U., 2006. Bio fuel ash in a road construction: Impact on soil solution chemistry. *Waste Management*, Vuosik. 26, pp. 599-613.

Tillman, D. A., Duong, D. N. B. & Harding, N. S., 2012. Chapter 5 - Waste Fuel–Coal Blending. Teoksessa: *Solid Fuel Blending - Principles, Practices, and Problems*. Boston: Butterworth-Heinemann, pp. 201-248.

Towler, G. & Sinnott, R., 2013. Chapter 18 - Specification and Design of Solids-Handling Equipment. Teoksessa: *Chemical Engineering Design (Second Edition)*. Boston: Butterworth-Heinemann, pp. 937-1046.

Ulrich, K. & Eppinger, S., 2003. *Product design and development*. 3. toim. : McGraw-Hill.

United States Environmental Protection Agency, 2011. *Municipal solid waste generation, recycling, and disposal in the United States: Facts and Figures for 2010*, Washington DC: United States Environmental Protection Agency.

Vainikka, P., Tsupari, E., Sipilä, K. & Hupa, M., 2012. Comparing the greenhouse gas emissions from three alternative waste combustion concepts. *Waste Management*, Vuosik. 32, pp. 426-437.

Valkenburg, C. ym., 2008. *Municipal Solid Waste (MSW) to Liquid Fuels Synthesis, Volume 1: Availability of Feedstock and Technology*, Richland: Pacific Northwest National Laboratory, U.S. Department of Energy.

Wallace, K., Ahmed, S. & Bracewell, R., 2005. Engineering knowledge management. Teoksessa: J. Clarkson & C. Eckert, toim. *Design process improvement*. London: Springer London, pp. 326-343.

Valtioneuvosto, 2013. *Valtioneuvoston asetus rajoittaa orgaanisen jätteen sijoittamista kaatopaikalle*. [Online]

Saatavissa: <http://valtioneuvosto.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tiedote/fi.jsp?oid=384444> [Haettu 11.6.2013].

Vaskiluodon Voima Oy, 2013. *Seinäjoen voimalaitos*. [Online]
Saatavissa: http://www.vv.fi/seinajoen_voimalaitos
[Haettu 2.4.2013].

VNp 29.10.1992/993, 1992. *Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista*. Helsinki:
Ympäristöministeriö.

Volvo Construction Equipment, 2009. *Volvo pyöräkuormaaja L350F*, Eskilstuna: AB
Volvo.

Wynn, D. & Clarkson, J., 2005. Models of designing. Teoksessa: J. Clarkson & C.
Eckert, toim. *Design process improvement*. London: Springer London, pp. 34-59.

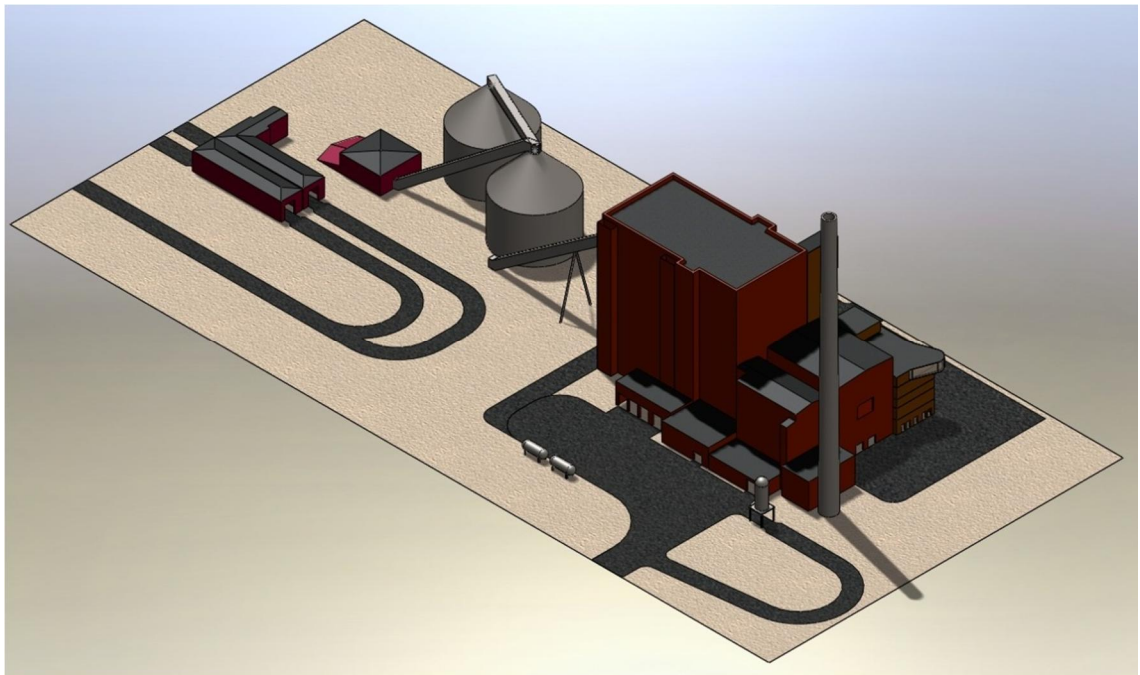
LIITE 1: SOVELTAVAN OSUUDEN LAYOUT- JA MALLIKUVAT

Kappaleessa 6 tehdyn soveltavan osuuden vaihtoehtoisten layouttien suuremmat kuvat on esitetty tässä liitteessä. Layoutkuviissa materiaalivirrat on esitetty nuolien avulla kuten tekstissä: vihreällä värillä on merkitty polttoainekuljetusten, mustalla tuhkakuljetusten ja sinisellä henkilö- ja huoltoliikenteen ajoreitit, lisäksi punaisella on merkitty polttoaineen kuljettimien reitit. Lisäksi layoutkuviin on lyhenteiden avulla merkitty eri tilojen sijainti. Lyhenteiden selitykset on esitetty taulukossa 1.

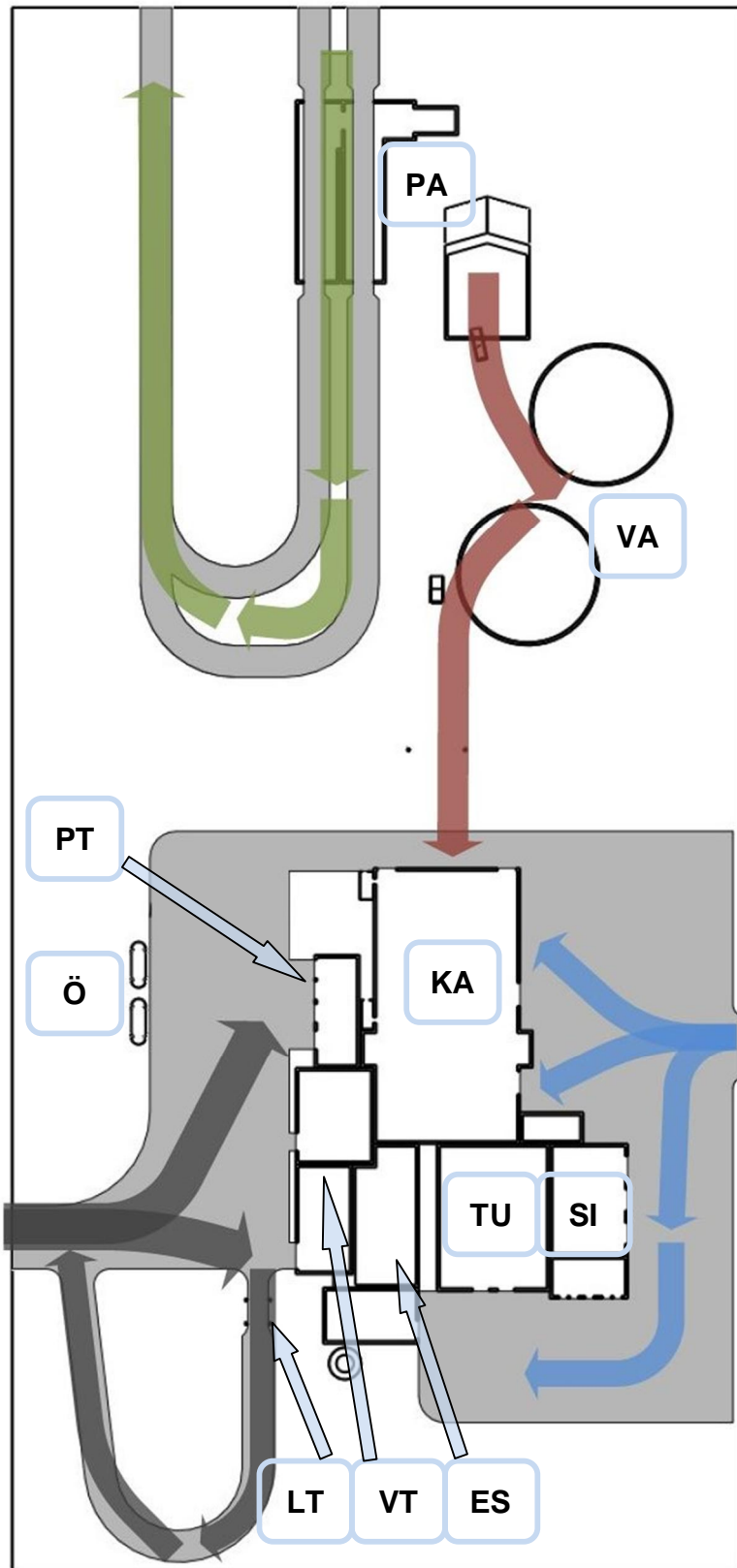
Taulukko 1: Tilojen merkintä layouteissa

<i>Lyhenne</i>	<i>Tila</i>
PA	Polttoaineen vastaanotto ja käsittely
VA	Polttoainevarastot
KA	Kattilarakennus
TU	Turbiinisali
SI	Sähkö-, automaatio- ja sosiaalityötilojen rakennus
ES	Savukaasujen käsittely ja savukaasupuhaltimet
VT	Vedenkäsittely ja tekninen tila
LT	Lentotuhkasiilo
PT	Pohjatuhkakontit
Ö	Öljy- ja ammoniakksäiliöt

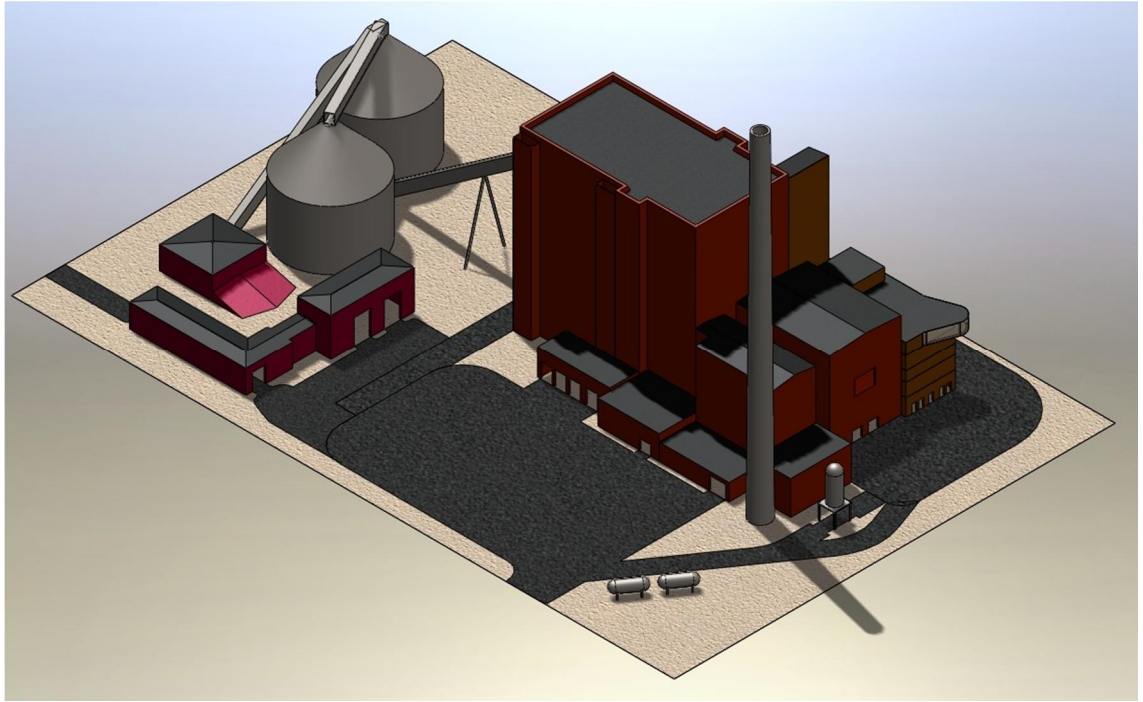
Kuvissa 1, 3, 5, 7 ja 9 on esitetty eri ratkaisuvaihtoehtojen isometriset kuvat. Kuvissa 2, 4, 6, 8 ja 10 on puolestaan nähtävillä ratkaisuvaihtoehtojen layoutkuvaajat.



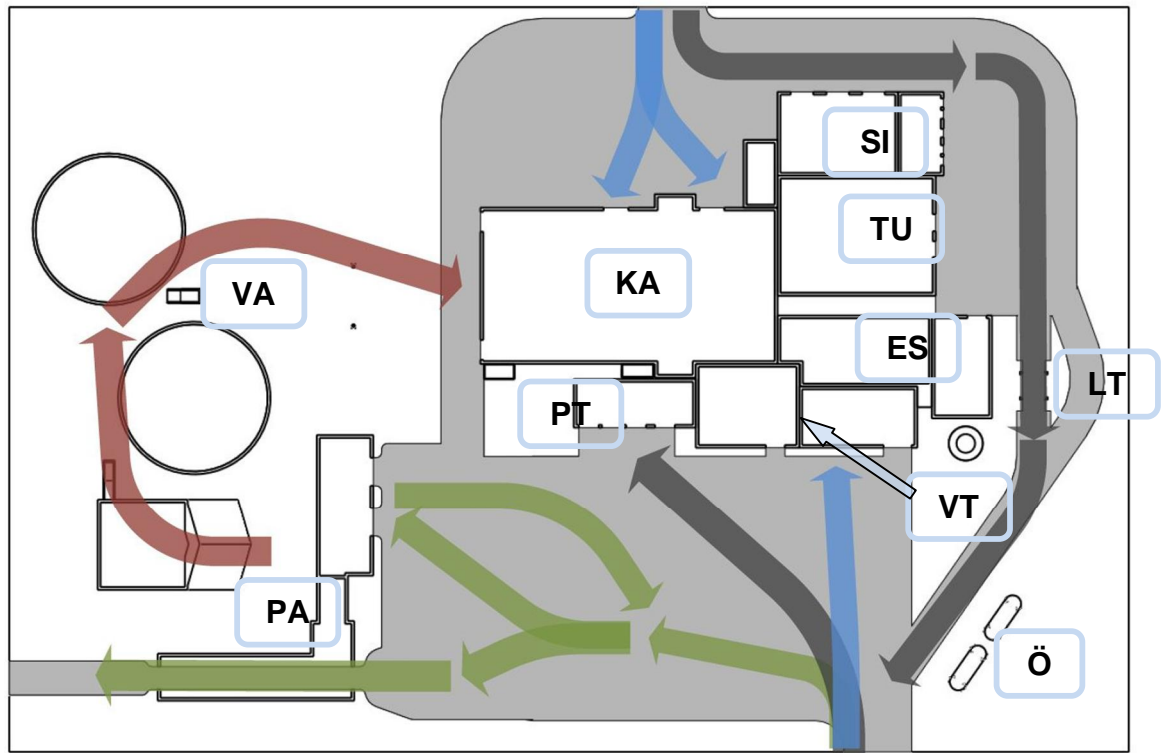
Kuva 1: Ratkaisuvaihtoehto 1, isometrinen kuva



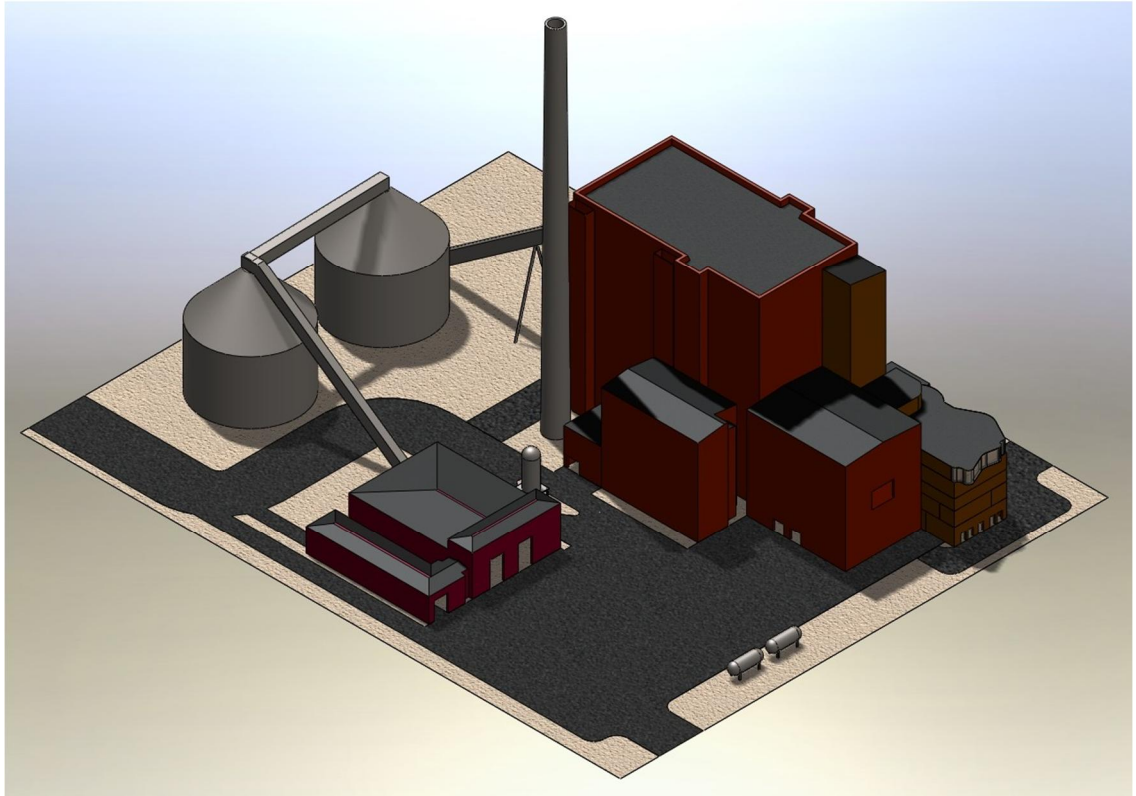
Kuva 2: Ratkaisuvaihtoehto 1, layoutkuva



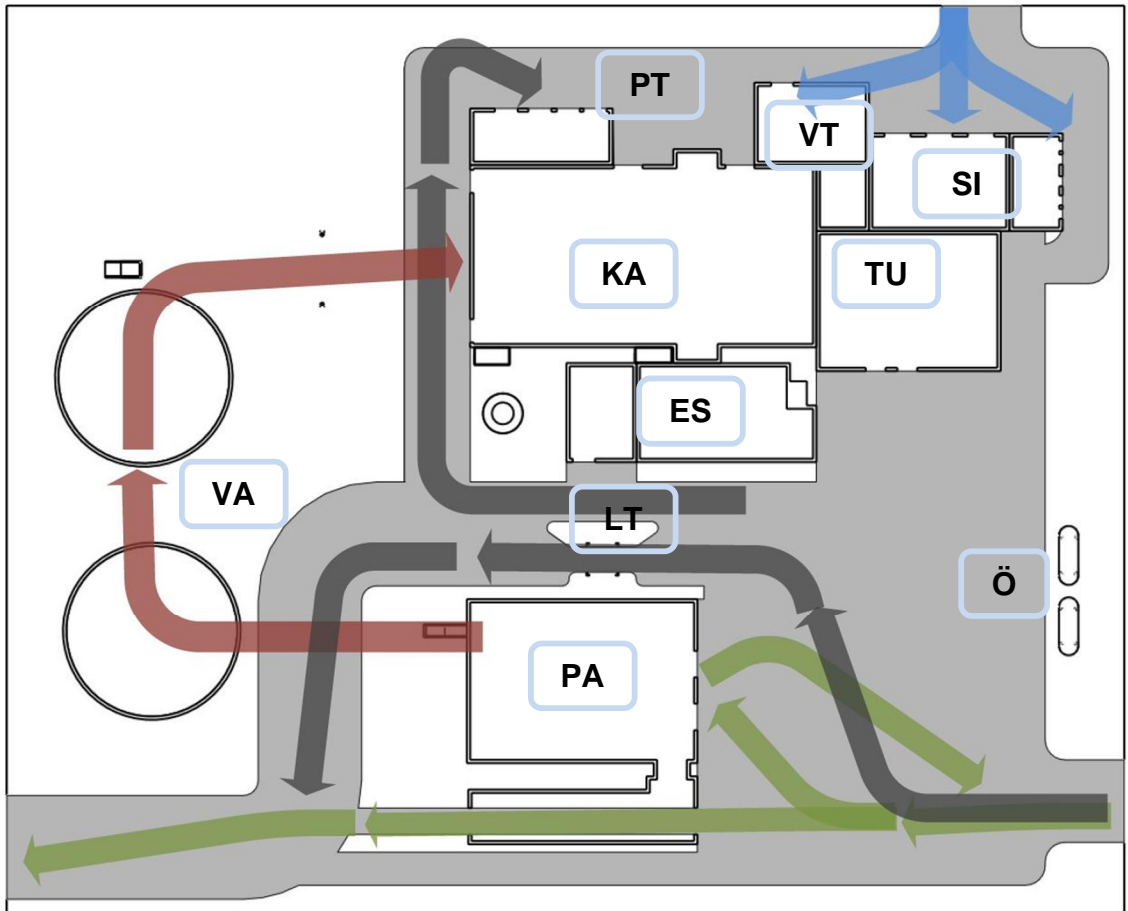
Kuva 3: Ratkaisuvaihtoehto 2, isometrinen kuva



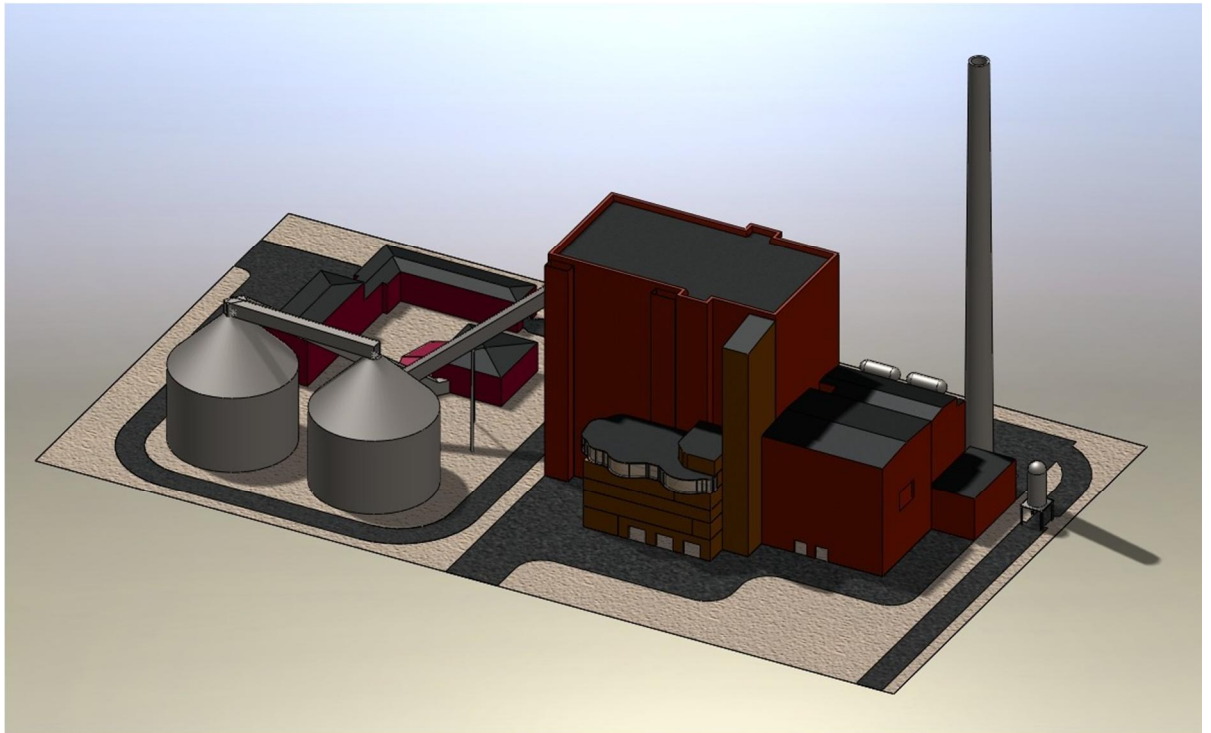
Kuva 4: Ratkaisuvaihtoehto 2, layoutkuva



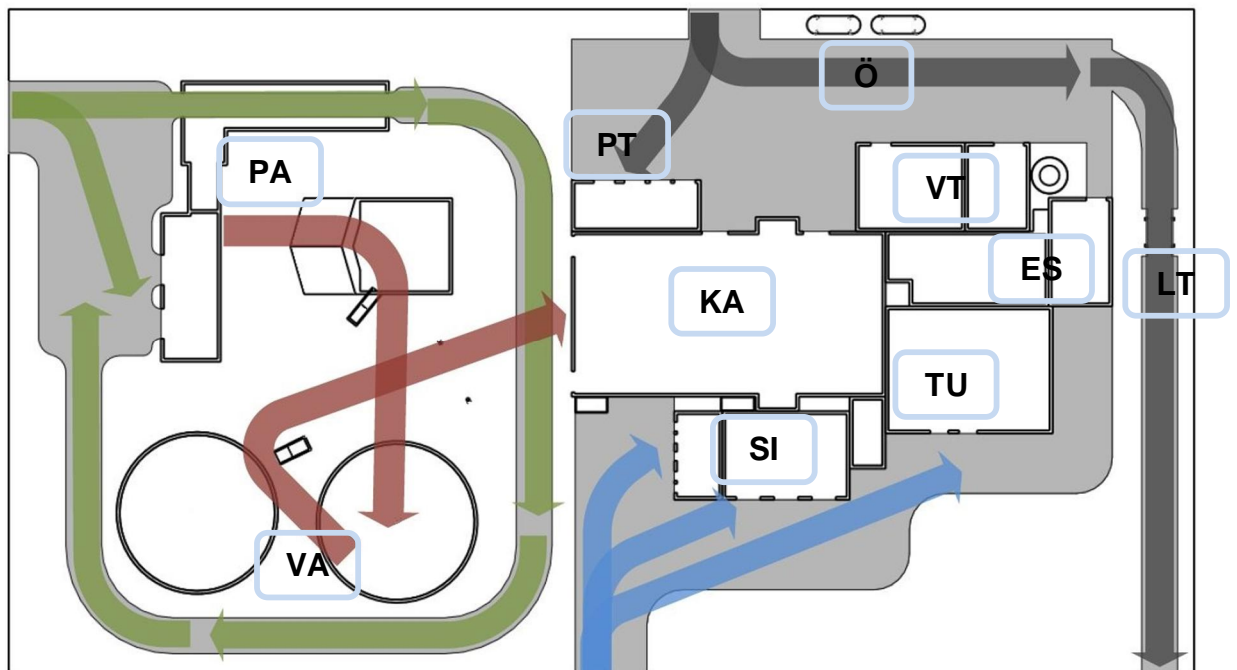
Kuva 5: Ratkaisuvaihtoehto 3, isometrinen kuva



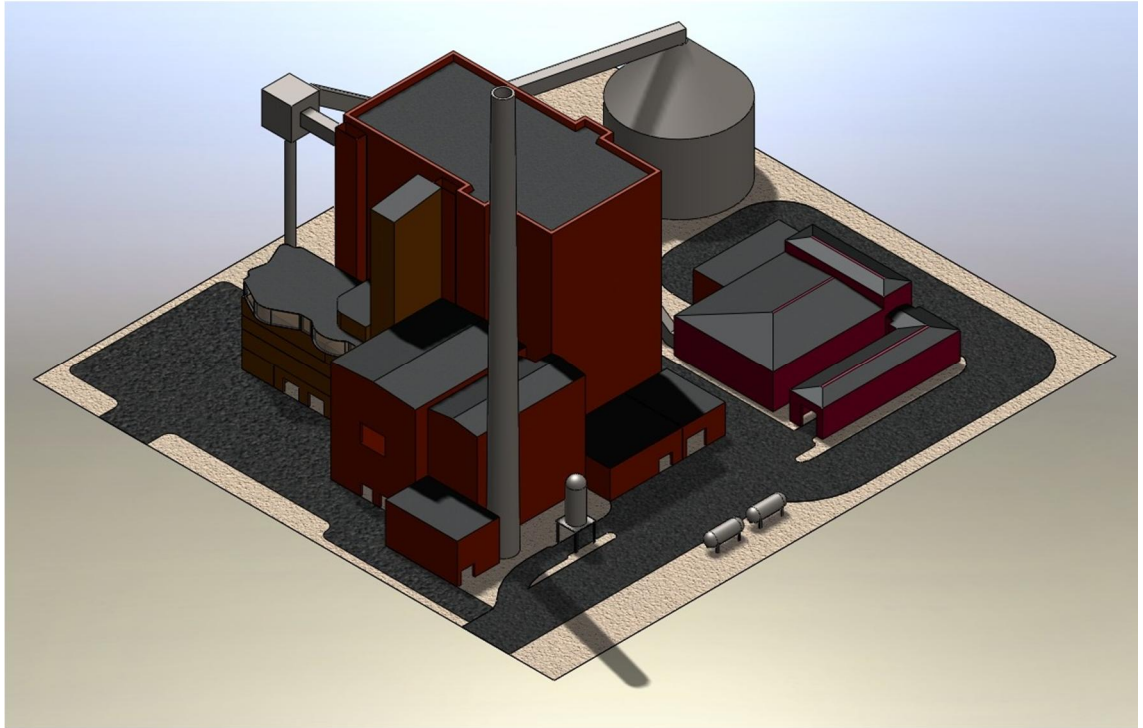
Kuva 6: Ratkaisuvaihtoehto 3, layoutkuva



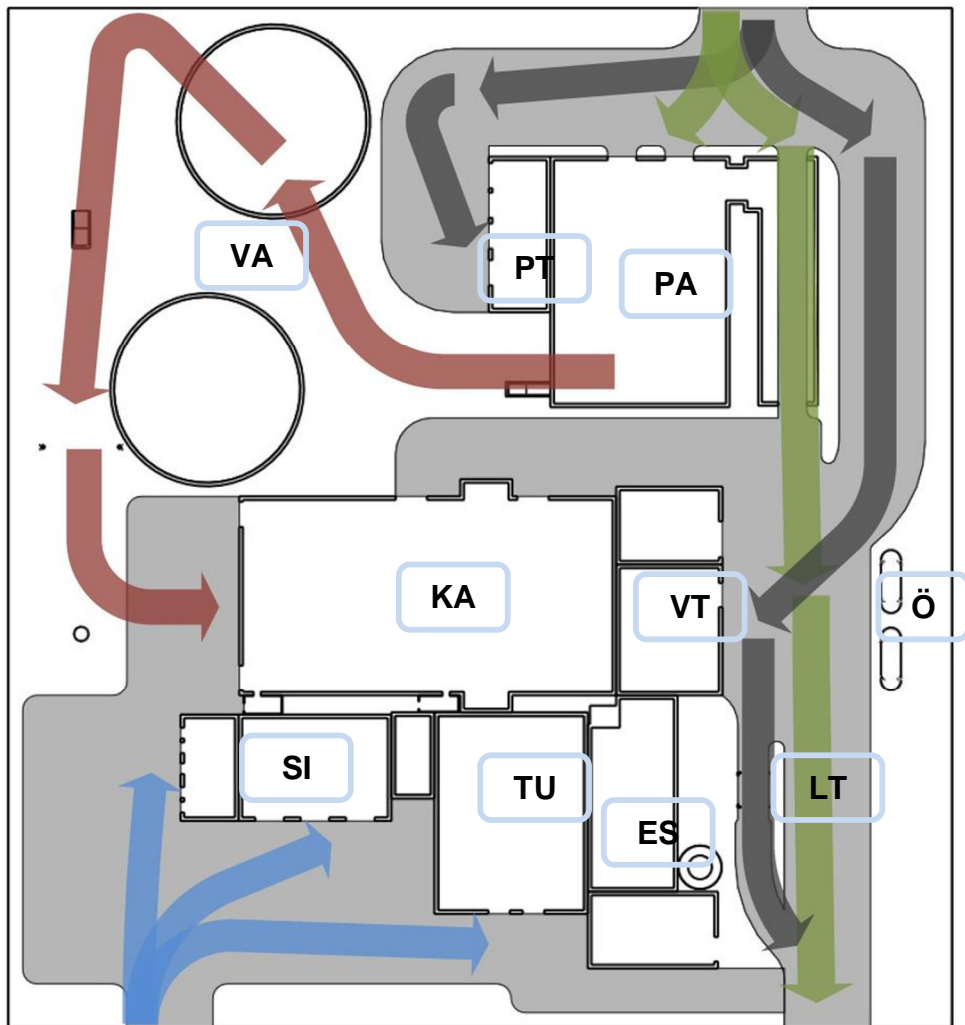
Kuva 7: Ratkaisuvaihtoehto 4, isometrinen kuva



Kuva 8: Ratkaisuvaihtoehto 4, layoutkuva



Kuva 9: Ratkaisuvaihtoehto 5, isometrinen kuva



Kuva 10: Ratkaisuvaihtoehto 5, layoutkuva