



# Lämpövoimalaitoksen esiselvitys

Oki Pollari

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2019

Kone- ja tuotantotekniikka  
Älykkäät koneet

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Älykkäät koneet

POLLARI, OKI:  
Lämpövoimalaitoksen esiselvitys

Opinnäytetyö 81 sivua, joista liitteitä 9 sivua  
Toukokuu 2019

---

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tehdä esiselvitys kiinteää polttoainetta käytävän kaukolämpölaitoksen sijoittamisesta vanhaan tehdasrakennukseen. Työ tehtiin Keuruun Lämpövoima Oy:lle vuoden 2015 aikana.

Työn tavoitteena oli kartoittaa korvaavia vaihtoehtoja Keuruun Varissaassa sijaitsevalle 7 MW:n Warko -varakattilalaitokselle, jonka ympäristölupa päättyi vuoden 2017 loppuun mennessä. Varalaitosta käytetään Varissaaren 19,9 MW:n päävoimalaitoksen huoltoseisakin aikana ja lämmityskauden huippukuormien tasaamisessa sekä päävoimalaitoksen mahdollisissa häiriötilanteissa.

Korvaavan varakattilalaitoksen sijoittamisessa pyrittiin hyödyntämään voimalaitosalueella jo olemassa olevaa rakennuskantaa, jotta uuden rakentamiselta vältyttäisiin. Keuruun Varissaassa sijaitsevassa tiilestä rakennetussa tehtaassa on alun perin toiminut Orionin lääketehdas ja sitä on myöhemmin hyödynnetty lastulevytehtaan höyryntuotannossa. Vanhan rakennuksen mitat sekä rakenteet asettivat rajoituksia kattilalaitteiston sijoittamiselle ja työssä tuli myös huomioida rakennussuojelullisia seikkoja, sillä kyseessä oli suojelukohde.

Suuruusluokaltaan 6-8 MW kattilalaitteistoja sovitettiin tiloihin Solidworks 3D-mallinnusohjelmaa käyttäen ja työn tuloksena syntyi eri kattilalaitteistoihin perustuvia layouteja. Rakennuksen yhteyteen hahmoteltiin myös polttoaineiden vastaanottoasemaa sekä sen vaatimia kuljetinlaitteistoja. Työssä tarkasteltiin lisäksi mahdollisuutta hyödyntää tehtaan vanhaa piippua savukaasujen poistossa.

Esiselvitystyön tuloksena syntyneet ratkaisumallit osoittivat, että kattilalaitos olisi mahdollista sijoittaa tarkastelun kohteena olleeseen rakennukseen. Selvitystyössä tarkastelluista tiloista löytyi kiinteänpolttolaitokselle sopiva vaihtoehto, jonka pohjalta hanketta voitiin viedä eteenpäin. Esiselvitystyötä hankaloitti työn luonne, sillä kaikki yritykset eivät olleet halukkaita luovuttamaan tietojaan opiskelijan käyttöön.

Opinnäytetyönä tehtyä esiselvitystä hyödynnettiin varavoimalaitoshankkeen käynnistämässä sekä tarjouspyyntöjen rajaamisessa. Työ sisältää salassa pidettävää aineistoa, joka on rajattu julkisen raportin ulkopuolelle jäävään liitteeseen 1.

---

Asiasanat: kaukolämpö, kiinteä polttoaine, esiselvitys, tietokoneavusteinen suunnittelu

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Mechanical and Production Engineering  
Intelligent Machines

POLLARI, OKI:  
Preliminary study of a biomass boiler plant

Bachelor's thesis 81 pages, appendices 9 pages  
May 2019

---

The purpose of this thesis was to make a preliminary study for replacing an old district heating plant with a new biomass boiler plant. This thesis was commissioned by Keuruun Lämpövoima Ltd.

The objective was to find out alternatives for replacing an old 7-megawatt Warko reserve district heating plant located in Varissaari, Keuruu. Old plants environmental permit was due to expire at the end of the year 2017. Reserve plant will be used during Keuruun Lämpövoima Ltd.'s 19,9-megawatt CHP plant maintenance outages and evening out peak loads during winter.

The goal was to place the new reserve plant inside an existing old and preserved factory building located in Varissaari, Keuruu and to avoid building new structures to the area. The existing factory building set limits and restrictions to new district heating plant and architectural conservation had to be taken into consideration.

As a part of this study the existing floor plans were updated with Solidworks software and exterior & interior 3D-models of the factory were made. Computer-aided design was then used as a tool to preview possible boiler alternatives inside the building.

The results indicated that the district heating plant could be built inside the old factory building. This study provided useful information to its commissioner and the results were used as raw guidelines for the project

This thesis contains confidential information which has been removed from the public version.

---

Key words: district heating, biomass, preliminary study, computer-aided design

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	KEURUUN LÄMPÖVOIMA OY .....	9
2.1	Yleistietoa yrityksestä.....	9
2.2	Varissaaren voimalaitosalue .....	10
3	KAUKOLÄMPÖ.....	12
3.1	Kaukolämmön tuotanto .....	12
3.2	Kaukolämmöntuotannon polttoaineet.....	13
3.2.1	Metsäpolttoaineet .....	15
3.2.2	Puutähteet .....	16
3.2.3	Turve .....	16
4	KPA-LAITOKSEN TOIMINTA JA PÄÄLAITTEET .....	18
4.1	Polttoaineiden käsittely .....	18
4.1.1	Vastaanotto ja varastointi .....	18
4.1.2	Polttoaineen kuljetus ja syöttö.....	20
4.1.3	Epäpuhtauksien poisto .....	22
4.2	Kattilat.....	23
4.2.1	Arinakattilat.....	24
4.2.2	Leijupetikattilat.....	27
4.2.3	Kaasutuspoltto.....	28
4.3	Tuhka ja savukaasut .....	29
4.3.1	Kattilan pohjatuhka .....	31
4.3.2	Savukaasujen puhdistus ja LTO .....	31
4.4	Muut laitteet .....	35
5	LÄHTÖTILANNE.....	38
5.1	Warko 7 MW -kattilalaitos .....	38
5.2	Tuleva tarve .....	39
5.2.1	MCP-direktiivi .....	41
5.3	Vanha tehdasrakennus .....	44
5.3.1	Halkokattilatila .....	44
5.3.2	Varastohalli.....	46
6	PROJEKTIN KULKU.....	48
6.1	Tilojen määrittely.....	48
6.2	Rakennussuojeluneuvonta.....	49
6.2.1	Dokumentointikuvaus .....	49
6.3	Kattilavaihtoehtojen kartoitus .....	50

6.4 Polttoaineiden vastaanotto.....	51
6.5 Tuhka ja savukaasut .....	52
6.6 Rakennuksen muutostarve .....	52
6.7 Päästökauppa ja investointituki .....	53
7 TULOKSET .....	55
7.1 Rakennuksen 3D-mallit .....	55
7.2 Halkokattilatila .....	56
7.2.1 Valmistaja A .....	61
7.2.2 Valmistaja B .....	62
7.3 Varastohalli .....	63
7.3.1 Valmistaja A .....	64
7.3.2 Valmistaja B .....	65
7.3.3 Valmistaja C .....	66
8 POHDINTA .....	68
LÄHTEET .....	70
LIITTEET .....	73
Liite 1. Kustannusvertailu.....	73
Liite 2. A-tehtaan pohjapiirustus.....	77
Liite 3. Varastohallin pohjapiirustus ja TT-laatat .....	79
Liite 4. Päivitetty pohjapiirustus.....	81
Liite 5. Rakennuksen 3D-mallit .....	82
Liite 6. Kulttuurihistoriallisesti merkittävän rakennuksen työmaa- aikaisen dokumentoinnin yleisohje.....	84

**LYHENTEET JA TERMIT**

BFB	Kerrosleijukattila (Bubbling Fluidized Bed)
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu (Computer-aided Design)
CFB	Kiertoleijukattila (Circulating Fluidized Bed)
CHP	Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (Combined Heat and Power)
KPA	Kiinteä polttoaine
LTO	Lämmön talteenotto
MCP	Keskisuuri polttolaitos (Medium Combustion Plant)
MW	Megawatti

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä esiselvitys uuden varakattilalaitoksen rakentamisesta Keuruun Lämpövoima Oy:lle. Työssä tutkittiin mahdollisuutta sijoittaa uusi KPA-laitos Keuruun Varissaaren voimalaitosalueella sijaitsevaan vanhaan tehdasrakennukseen. Kiristyvät ympäristödirektiivit ja päästörajat sekä Keuruun Lämpövoiman Oy:n vanheneva varakattilalaitos edellyttivät korvaavan kattilalaitoksen hankintaa.

Opinnäytetyössä tutustutaan ensin tarkemmin kaukolämmön tuotantoon, koska sen ymmärtäminen on tärkeää KPA-laitoksen esisuunnittelun kannalta. Työssä esitellään kaukolämmön peruseriaatteet sekä kiinteänpolttolaitoksen päälaitteet. Pääpaino tässä työssä tehtävässä layout-suunnittelussa on polttoprosessissa käytettävissä laitteissa.

Opinnäytetyössä määritetään käytössä olevat tilat, joista luodaan pohjapiirustukset sekä 3D-mallit. Eri laitevalmistajien tuotteita sovitetaan CAD-ohjelmien avulla olemassa oleviin tiloihin ja tavoitteena on luoda eri kattilavaihtoehtoihin perustuvia layouteja. Näiden layout-suunnitelmien avulla kartoitetaan, mitkä ratkaisumallit ovat mahdollisesti toteutettavissa. Tässä työssä mukana olevista laitevalmistajista käytetään nimiä Valmistaja A, B, ja C, eikä valmistajien tuotteita esitellä, koska ne kuuluvat salassa pidettävään aineistoon.

Vanha tehdasrakennus asettaa tiukat rajoitukset KPA-laitokselle. Olemassa olevia tiloja ei voi muokata rajattomasti, sillä rakennus on museoviraston suojelukohde. Tavoitteena on siis sijoittaa KPA-laitos tiloihin mahdollisimman vähäisin rakennukseen kohdistuvien muutosten. Työn tarkoituksena on selvittää, onko uusi varavoimalaitos mahdollista rakentaa vanhoihin kuoriin. Koska kyseessä on suojelukohde, työssä tehdään myös yhteistyötä Keski-Suomen museon kanssa. Rakennuksen dokumentointikuvausta aloitetaan osana tätä työtä, mutta työn laajuuden vuoksi sitä ei sisällytetä kokonaisuudessaan aiheeseen.

Työn tavoitteena on antaa karkeat suuntaviivat tulevalle varavoimalaitoshankkeelle. Kartoitetut vaihtoehdot ja layout-suunnitelmat toimivat apuna KPA-laitoksen esisuunnittelulle.

## 2 KEURUUN LÄMPÖVOIMA OY

### 2.1 Yleistietoa yrityksestä

Keuruun Lämpövoima Oy on Keuruun Sähkö Oy:n omistama tytäryhtiö, jonka tehtävänä on tuottaa ja myydä kaukolämpöä sekä sähköä Keuruun seudulla. Keuruun Varissaareen sijaitsevalla 19,9 megawatin CHP-laitoksella tuotetaan lämpöenergian lisäksi sähköä, joka myydään pohjoismaiseen sähköpörssiin (kuva 1). Yritys työllistää vuosittain keskimäärin 11 henkilöä ja sen liikevaihto oli vuonna 2013 noin 7,2 miljoonaa euroa. (Keuruun Lämpövoima Oy, Tuotanto 2013).



KUVA 1. Varissaaren 19,9 MW –voimalaitos (Pollari 2015).

Keuruun Lämpövoima Oy:llä on kaksi päälämpöverkkoa: Keuruun kaupungin verkko ja Haapamäen verkko. Keuruun verkolla on pituutta noin 39 kilometriä ja Haapamäen verkolla noin 7 kilometriä. (Keuruun Lämpövoima Oy, Tuotanto 2013). Keuruun verkkoon on Varissaaren päävoimalaitoksen lisäksi kytketty kolme polttoöljykeskusta, joita käytetään vain häiriö- ja huippukuormatilanteissa. Haapamäellä kaukolämpö tuotetaan miehittämättömällä 2 MW KPA-laitoksella

sekä häiriötilanteissa pienemmillä pellettiä polttavilla lämpökeskuksilla. (Keuruun Lämpövoima Oy, Kaukolämmön saatavuuskartat 2013).

## 2.2 Varissaaren voimalaitosalue

Keuruun Varissaarella sijaitsevalla voimalaitosalueella (kuva 2) toimii Keuruun Lämpövoima Oy:n lisäksi automaatioalan yritys Radiki Oy. Keuruun Sähkön tytäryhtiön Radiki Oy:n toimitilat sijaitsevat vanhan tehdasrakennuksen yhteydessä, rakennuksen länsisivun toimisto-osassa.



KUVA 2. Varissaaren voimalaitosalue. (Keuruun Lämpövoima Oy 2015)

Keuruun Lämpövoima Oy:llä on alueella kaksi voimalaitosta: vuonna 2010 valmistunut 19,9 MW CHP-laitos ja vuonna 1969 rakennettu 7 MW Warko-varavoimalaitos. Päävoimalaitoksena käytetty 19,9 megawatin CHP-laitos tuottaa vuosittain noin 65 GWh lämpöä Keuruun kaukolämpöverkkoon sekä noin 10 GWh sähköä, joka myydään pohjoismaisessa sähköpörssissä. Laitoksessa poltetaan kotimaisia puupolttoaineita, purkupuuta sekä turvetta, jonka osuus vuosittaisesta kokonaislämmöntuotannosta on noin 10 %. (Keuruun Lämpövoima Oy, Varissaaren voimalaitos 2013). Kuvassa 3 on esitetty Varissaaren voimalai-

tosalue rakennuksineen: 1. päävoimalaitos, 2. varakattilalaitos ja 3. vanha tehdasrakennus.



KUVA 3. Varissaaren voimalaitosalue (Keuruu, Varissaaren asemakaava 2015, muokattu)

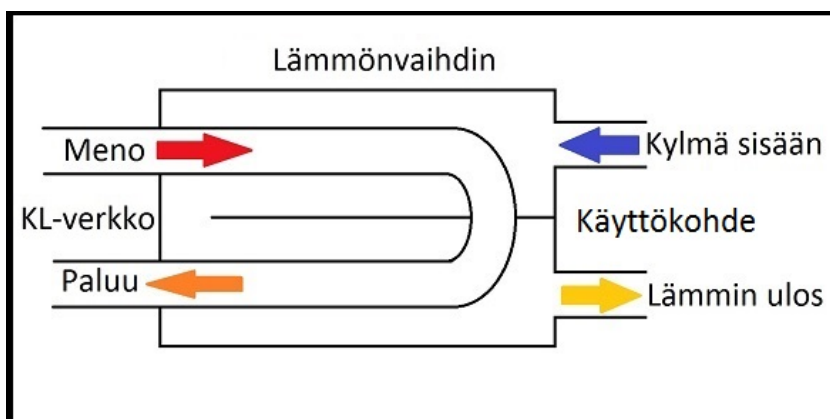
## 3 KAUKOLÄMPÖ

### 3.1 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämpöä tuotetaan CHP-laitoksissa eli sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa sekä pienemmissä lämpökeskuksissa. CHP-laitosten osuus kaukolämmön kokonaistuotannosta on noin 67 % (Energiateollisuus ry, Kaukolämpö 2016 graafeina). Kaukolämmön tuotannossa käytettäviä polttoaineita ovat kivihiili, turve, maakaasu, öljy sekä erilaiset puupolttoaineet, kuten metsähake, puupelletti ja puunjalostusteollisuuden sivutuotteet. (Energiateollisuus, Kaukolämmön toimintaperiaate).

CHP-laitoksessa tuotetaan sähköä höyryturbiinin avulla ja prosessissa syntyvä lämpö hyödynnetään kaukolämmön tuotannossa. Laitoksen kattilassa höyrystetään vettä polttoainetta polttamalla ja tuotetulla höyryllä pyöritetään turbiinia, joka on kytketty sähkögeneraattoriin. Kaukolämpöveden lämmittäminen turbiinin jälkeisellä höyryllä edellyttää höyryn korkeaa lauhtumislämpötilaa, joka saavutetaan pitämällä turbiinin jälkeisen höyryn paine noin 0,8 – 1,5 baarissa, ja tämän vuoksi laitoksia kutsutaankin vastapainelaitoksiksi. Yhteistuotannolla saavutetaan huomattavasti erillistuotantoa korkeampi hyötysuhde, sillä se voi olla jopa lähes 90 %. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 1999, 11).

Kaukolämpölaitoksilla tuotettu lämpöenergia johdetaan käyttökohteisiin kaukolämpöverkkoa pitkin. Kaukolämpöverkko on meno- ja paluuputkesta koostuva suljettu kokonaisuus, jossa lämpö kuljetetaan lämmitettävään kohteeseen veden avulla. Kuuma vesi johdetaan asiakkaan lämmönjakokeskukseen, jossa se luovuttaa osan lämpöenergiastaan käyttökohteen vedenkiertoon ja palaa jäähtyneenä takaisin kaukolämpölaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Menoveden lämpötila on noin 65 – 115 °C ja paluueden noin 40 – 60 °C. Kaukolämpöverkossa kiertävä vesi on erotettu käyttökohteen vedenkierrosta lämmönjakokeskuksessa sijaitsevan lämmönvaihtimen avulla (kuvio 1). (Energiateollisuus, Kaukolämmön toimintaperiaate).



KUVIO 1. Lämmönvaihdin (Pollari 2015).

Kaukolämmöllä on erittäin korkea, lähes sataprosenttinen toimitusvarmuus ja vuosittaiset käyttökeskeytykset kestävät vain yhdestä kahteen tuntia. Mahdolliset lämmöntoimituksen keskeytykset aiheutuvat verkon vaurioista ja niiden korjauksista tai uusien asiakkaiden liittamisestä verkkoon. Yksittäinen käyttökeskeytys kestää keskimäärin viisi tuntia ja suurin osa keskeytyksistä ajoittuu kesälle, jolloin lämpöverkon huoltotyöt ovat yleisempiä. Kaukolämpöverkot pyritään rakentamaan ja rajaamaan venttiilien avulla niin, että asiakkaalle voidaan syöttää lämpöä useammasta eri suunnasta. (Energiateollisuus ry, Kaukolämmön toimintaperiaate).

### 3.2 Kaukolämmöntuotannon polttoaineet

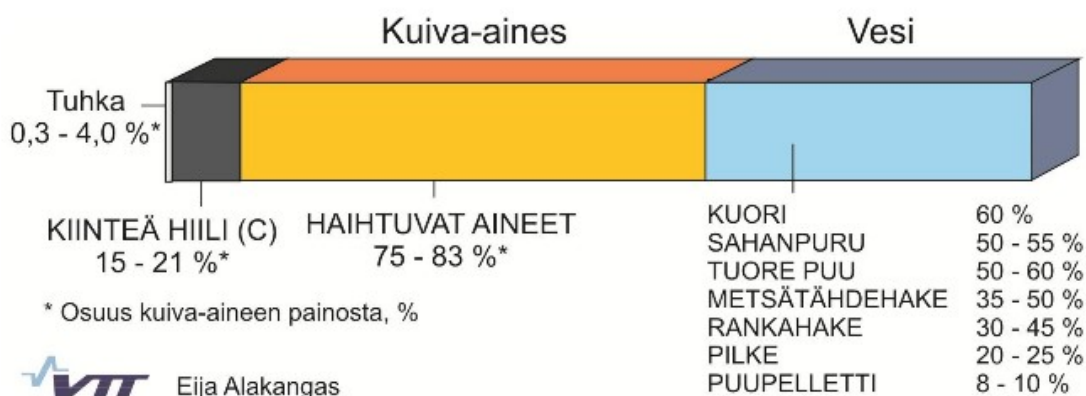
Lämmöntuotannon raaka-aineina käytetään metsäpolttoaineita, kuten kokopuu-, ranka- ja metsätähdehaketta sekä kantomursketta. Muita raaka-aineita ovat teollisuuden puutähteet, muut biomassat, turve, kivihili, maakaasu, öljy sekä hukkalämpö. Ilmastoneutraalien polttoaineiden eli metsäpolttoaineiden, teollisuuden puutähteiden, muiden biomassojen sekä hukkalämmön osuus kaikista vuonna 2016 kaukolämmön tuotantoon käytetyistä raaka-aineista oli 42 prosenttia ja polttoaineiden kotimaisuusaste 60 prosenttia. Ilmastoneutraalius tarkoittaa sitä, että polttamisesta vapautuvan hiilidioksidin ajatellaan sitoutuvan kasvavaan biomassaan. Lämmön raaka-aineina pyritään käyttämään entistä enemmän uusiutuvia polttoaineita ja niiden osuus oli vuonna 2016 34 %. (Energiateollisuus Ry, Kaukolämpö 2016 graafeina).

Taulukossa 1 on esitetty kaukolämmöntuotannossa käytettävien biopolttoaineiden ominaisuuksia. Taulukossa d tarkoittaa, että ominaisuudet on määritetty kuivista polttoaineista. (Flyktman, Impola & Linna 2012, 8).

TAULUKKO 1. Polttoaineiden ominaisuuksia (Flyktman ym. 2012, 8, muokattu).

Ominaisuus	Hake	Kuori	Jyrsinturve
Kosteus, %	45-55	50-60	45-55
Tuhka, % (d)	0,5-2	1-3	6
Haihtuvat aineet, % (d)	80-90	70-80	65-70
Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg (d)	19-20	19-20	20-21
Hiili, % (d)	52	55	54
Vety, % (d)	6	6	5,5
Typpi, % (d)	< 0,5	< 0,5	1,7
Rikki, % (d)	< 0,05	< 0,05	0,2
Happi, % (d)	40	37	33
Kloori, % (d)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Taulukosta 1 voidaan havaita, että polttoaineet koostuvat pääasiassa vedestä sekä haihtuvista aineista. Polttoaineiden kosteus ilmoitetaan prosenttiosuutena aineen kokonaismassasta ja haihtuvat aineet polttoaineen kuivamassasta (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama & Korhonen 2016, 7, 12). Kuvassa 4 on esitetty puun koostumus.



KUVA 4. Puun koostumus (Alakangas 2000).

Kaukolämmöntuotannossa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksista tärkein on lämpöarvo, joka kertoo polttoainemäärästä vapautuvan energian sitä poltettaessa. Kiinteiden polttoaineiden lämpöarvo ilmoitetaan megajouleina kilogrammaa kohden, MJ/kg. Polttoaineiden kosteus laskee lämpöarvoa, sillä veden höyrystäminen vaatii paljon energiaa. Kosteat polttoaineet laskevat tulipesän lämpötilaa ja sekä kasvattavat puhallintehon tarvetta, sillä palamisessa syntyvän savukaasun määrä lisääntyy kosteita polttoaineita poltettaessa. Kosteat polttoaineet voivat laskea merkittävästi KPA-laitoksen hyötysuhdetta, jos laitosta ei ole varustettu savukaasujen LTO-laitteistolla.

### 3.2.1 Metsäpolttoaineet

Metsäpolttoaine on suoraan aiemmin käyttämättömästä puusta mekaanisella prosessilla valmistettua polttoainetta. Puupolttoaineet voidaan jakaa niiden valmistustavan mukaan hakkeisiin ja murskeisiin (kuva 5). Hake on mekaanisesti leikkaavilla terillä paloitetua puubiomassaa, jonka muoto on lähellä suorakaidetta. Murske on työpillillä murskattua puubiomassaa, jonka palakoko sekä -muoto vaihtelevat. Metsäpolttoaineita ovat muun muassa ranka-, kokopuu- ja hakkuutähdehake, metsätähdehake sekä kantomurske. (Alakangas ym. 2016, 14).



KUVA 5. Hake ja murske (VTT 2016).

### 3.2.2 Puutähteet

Puutähteitä ovat puunjalostusteollisuudessa sekä rakennus- purku- ja korjaustoiminnassa syntyvää puuta. Teollisuuden puutähteet voivat sisältää liimaa, maalia sekä kyllästysaineita, ja ne luokitellaan A ja B luokkaan puulle tehdyn käsittelyn mukaan. A luokka pitää sisällään käsittelemättömän puutähteen ja B kemiallisesti käsitellyn puun, joka ei saa sisältää halogeenisia orgaanisia yhdisteitä tai raskasmetalleja enempää kuin luonnonpuu. (Alakangas ym. 2016, 17).

Puutähdehake on teollisuuden kuorellisista sekä kuorettomista puutähteistä hakettamalla valmistettua polttoainetta. Puutähde voidaan Tilastokeskuksen ja Energiaviraston mukaan luokitella biopolttoaineeksi, jos se ei sisällä halogenoituja orgaanisia yhdisteitä, raskasmetalleja tai muoveja. Puutähdehakkeen raaka-aineita ovat muun muassa rimat, lautojen ja lankkujen tasauspätkät sekä vaneriteollisuuden viilu- ja vaneritähteet. Kuori on ainespuusta eri kuorimatekniikoita käyttäen irrotettua kuoritähdettä, jota syntyy puunjalostus- ja sahateollisuuden sivutuotteena. Kuorella on korkea lämpöarvo, mutta sen korkea kosteus- ja tuhkapitoisuus sekä epätasalaatuisuus voivat vaikeuttaa polttoa ja käsittelyä. Kuoren polttoa voidaan tehostaa sekoittamalla sitä hakkeeseen. (Alakangas ym. 2016, 17, 81-82).

Kierrätyspuu on käytöstä poistettua puhdasta puutähdettä tai puutuotteita, kuten kuormalavat tai rakentamisesta syntyvät puutähteet. Kierrätyspuu luokitellaan biopolttoaineeksi, jos se ei sisällä muovia, raskasmetalleja tai halogenoituja orgaanisia yhdisteitä. Paineekyllästetty puu ei myöskään kelpaa kierrätyspuuksi luokiteltavaksi biopolttoaineeksi, sillä se on vaarallista jätettä. (Alakangas ym. 2016, 103-104).

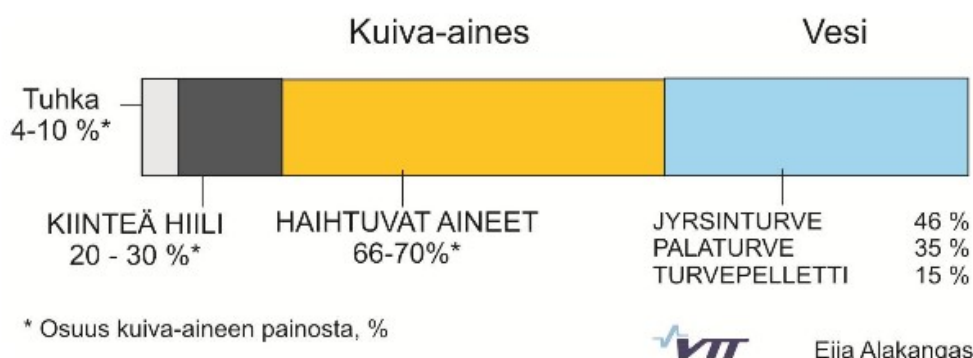
### 3.2.3 Turve

Turve on kerrostunut eloperäinen maalaji, jota syntyy soilla kosteissa ja hapettomissa olosuhteissa soiden biomassan epätäydellisestä hajoamisesta. Geologisen luokittelun mukaan turpeen kuivamassasta vähintään 75 % on orgaanista

ainetta. Biomassan kasvilajikoostumus ja maatumisaste vaikuttavat turpeen koostumukseen ja rakenteeseen. Suomen maapinta-alasta on 29 % on soita ja turvemaata (Bioenergia ry, Turveinfo, Suomen turvemaat).

Polttoturvetta ovat jyrsin- ja palaturve. Jyrshinturvetta valmistetaan jyrsimällä suon pinnasta ohut kerros turvetta, joka kuivataan suon pinnalla aurinkoenergian avulla. Jyrshinturve koostuu pääasiassa pölymäisestä turpeesta, mutta se sisältää myös erikokoisia turverakeita sekä lisäksi myös huonosti maatuneita tai täysin maatumattomia kasvinosia ja epäpuhtauksia. (Alakangas ym. 2016, 117-119). Palaturve on ruuvilla tai kiekolla suosta nostettua massaa, joka puristetaan suuttimen läpi palasina suon pinnalle kuivumaan noin kahden viikon ajaksi. Nosto tapahtuu noin 0,3 – 0,5 metrin syvyydestä ja palaturpeen puristaminen edellyttää noin 80 % nostokosteutta, jotta turpeesta voidaan puristaa paloja. Kuivan palaturpeen kosteus on noin 35 %. (Bioenergia ry, Turveinfo, Palaturpeen tuotanto).

Turpeen tehollinen lämpöarvo on suurempi, kuin puupolttoaineilla sillä se sisältää vähemmän haihtuvia aineita (kuva 6). Turpeen käsittelyssä tulee ottaa huomioon sen suuri reaktiivisuus. Kuivan sekä herkästi pölyävän turpeen käyttöön liittyy palo- ja räjähdysvaara. Turpeen tuhkapitoisuus on suurempi, kuin puupolttoaineilla, mutta turpeen sisältämät yhdisteet ja rikki neutraloivat tehokkaasti puun poltosta vapautuvaa klooria sekä alkaleita. Turpeen ja puun yhteispoltto vähentää kattilan korroosiota sekä nuohoustarvetta. (Alakangas ym. 2016, 117-121).



KUVA 6. Turpeen koostumus (Alakangas 2000).

## 4 KPA-LAITOKSEN TOIMINTA JA PÄÄLAITTEET

### 4.1 Polttoaineiden käsittely

Polttoaineiden käsittely KPA-laitoksissa koostuu tavallisesti vastaanotosta, varastoinnista sekä kuljetuksesta polttoon. Kuljetuksen yhteydessä voi olla useampia esikäsittelyvaiheita, kuten seulonta ja murskaus. KPA-laitoksen polttoainekäsittelyjärjestelmät mitoitetaan laitoksen kattilatehon ja käytettävien polttoaineiden mukaan. (Flyktman ym. 2012, 11).

#### 4.1.1 Vastaanotto ja varastointi

Polttoaineiden vastaanottoasema toimii usein myös polttoainevarastona. Vastaanoton mitoitus määräytyy kattilatehon ja käytettävien polttoaineiden lisäksi myös pisimmästä mahdollisesta täyttövälisestä sekä käytettävissä olevasta kuljetuskalustosta. Varaston yleispätevän mitoitushjeen mukaan varaston minimitalavuuden tulisi olla vähintään 1,5 kertaa kuljetuskaluston tilavuus. Tontin muut rakennukset sekä tontin koko voivat myös asettaa rajoituksia vastaanottoasemalle. (Flyktman ym. 2012, 11-12)

Taulukossa 2 on esitetty hakkeen (polttoainetiheys  $0,8 \text{ MWh/i-m}^3$ ) kulutus eri kokoisilla kattiloilla (hyötysuhde  $0,87$ ) sekä varaston mitoitus täyttöasteen ollessa  $0,8$ . Metsähakkeen tyypillinen polttoainetiheys vaihtelee välillä  $0,7 - 0,9 \text{ MWh/i-m}^3$ . (Flyktman ym. 2012, 12).

TAULUKKO 2. Hakkeenkulutus ja varaston mitoitus (Flyktman ym. 2012, muokattu).

Kattilateho, MW	4	6	10
Polttoaineen kulutus (i-m <sup>3</sup> /h)	5,7	8,6	14
Täyttöväli, tuntia	Varaston mitoitus, täyttöaste 0,8		
8	57	86	144
16	115	172	287
24	172	259	431
48	345	517	862

Useasta polttoainelinjasta koostuva vastaanottoasema mahdollistaa eri polttoaineiden seospolttamisen ilman erillistä sekoittamista. Polttoaineiden seossuhde voidaan määrittää linjastojen käyttösuhteiden mukaan. Useiden polttoainelinjastojen vastaanottokokonaisuudet ovat yleisempiä yli 5 MW:n KPA-laitoksilla, koska pienemmän kokoluokan kattilat edellyttävät tasalaatuisempaa polttoainetta luotettavan toiminnan ja hallitun palamisen takaamiseksi. (Flyktman ym. 2012, 11-13)

Pienten KPA-laitosten vastaanottoasemat ovat usein maanpäällisiä varastotaskuja tai rinneratkaisuja, joista polttoaine puretaan joko tanko- tai ruuvipurkajia käyttäen polttoainekuljettimelle. Rinteeseen tai maanpinnan alapuolelle rakennettujen polttoainesilojen etu on se, että polttoainekuorma voidaan purkaa peräpurkuautojen lisäksi usein myös kippaavalla kärryllä. Vastaanottotaskujen täytössä voidaan myös tarvittaessa käyttää kauhakuormaajaa. Vastaanoton ja polttoainevaraston yhdistelmät koostuvat useista rinnakkaisista polttoainetaskuista, joiden purkamisessa käytetään kolapohjaratkaisua. Taskut ovat päälle ajettavia eli polttoainekuorma voidaan purkaa suoraan linjastolle peruutetusta peräpurkuajoneuvosta. Polttoainetaskujen ja linjastojen purkupäissä käytetään tasaus- ja hajotusteloja tasaamassa polttoainekuljettimelle syötettävää polttoainevirtaa. (Flyktman ym. 2012, 11-13).

#### 4.1.2 Polttoaineen kuljetus ja syöttö

Kiinteiden polttoaineiden kuljetuksessa ja syötössä käytetään erilaisia kola-, hihna- ja ruuvikuljettimia sekä tankopurkajia. KPA-laitoksessa käytettävien polttoaineiden ominaisuudet, kuten palakoko, kosteus, irtotiheys sekä epäpuhtaudet vaikuttavat kuljetus- ja syöttölaitteistojen valintaan sekä suunnitteluun.

Tankopurkain on pitkästä tangosta ja siihen kiinteästi liitetyistä poikittaisista, poikkileikkaukseltaan kolmionmallisista kolista muodostuva pohjapurkain, jota käytetään polttoainevarastoissa. Tankopurkain liikkuu edestakaisin polttoainevaraston pohjalla hydraulisynterin voimalla, jolloin kolat purkavat polttoainetta varastosta seuraavalle kuljettimelle. Koliin muotoilulla pyritään estämään polttoaineen takaisinvirtaus. Tankopurkainjärjestelmän huoltotarve on pienempi kuin kolapohjaratkaisuilla toteutetuilla purkaimilla, mutta ne ovat kolapohjajärjestelmää kalliimpia sekä laitteiston purkuvoima kohdistuu suoraan rakenteisiin, mikä tulee ottaa huomioon polttoainevarastoa suunniteltaessa. Tankopurkaimilla ei saada polttoainevarastoa täysin tyhjäksi, mutta järjestelmän etu on, että polttoainetta ei pääse kulkeutumaan sen alle. (Flyktman ym. 2012, 13). Kuvassa 7 on esitetty tankopurkaimista koostuva polttoainevaraston pohjapurkainjärjestelmä.

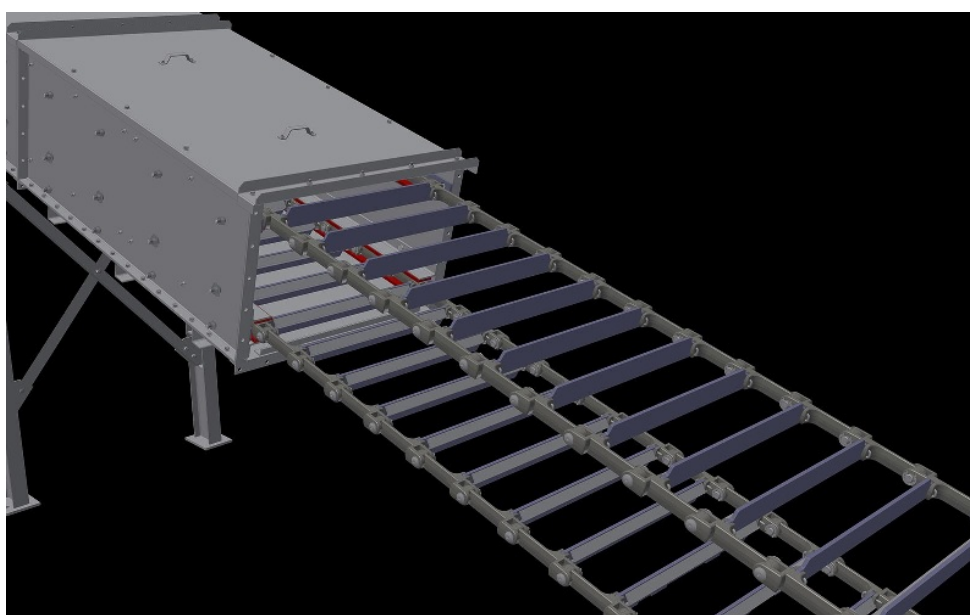


KUVA 7. Tankopurkainpohja. (NHK-Keskus Oy 2016).

Kolakuljetin on yhtenäisestä ketjusta ja siihen liitetystä kolista muodostuva kuljetin, joka siirtää polttoainetta ketjun pyöriessä veto- ja taittopään välillä. Veto-päähän sijoitettu moottori pyörittää akseliin yhdistettyjä ketjupyöriä, jotka saavat kuljetinketjun liikkumaan. Kuljettimen taittopään akseliin on sijoitettu vapaasti pyörivät ketjupyörät, joilla määritetään ketjun kulkusuunta sekä kuljetinketjun kireys. Kolakuljetin voi olla joko ylä- tai alapuoleinen kuljetin. Yläpuolisessa kuljettimessa polttoainevirta kulkee ketjun yläpinnalla ja alapohjakuljettimessa alemmalla ketjulla.

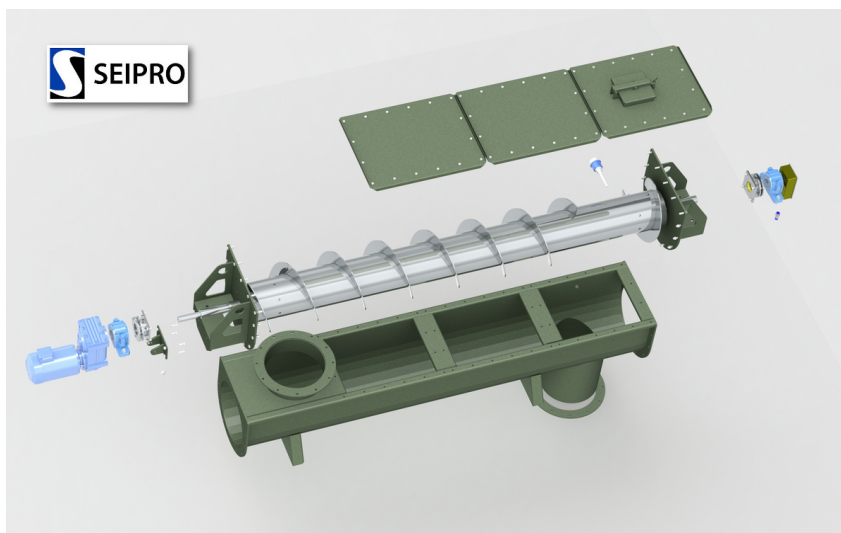
Polttoainevarastoissa käytettävän kolapohjapurkaimen avulla voidaan tyhjentää varasto pohjaa myöten, mutta polttoainetta kulkeutuu myös kuljettimen alle. Kolapohjapurkaimen purkuvoima ei kohdistu rakenteisiin, kuten tankopurkaimia käytettäessä ja niiden hankintahinta sekä tehontarve eivät ole yhtä suuria kuin tankopurkaimilla, mutta niiden huoltotarve on suurempi. (Flyktman ym. 2012, 13).

Umpinaisia kolakuljettimia käytetään polttoaineen siirtoon. Niiden etuja ovat muun muassa paloturvallisuus ja pölytiivis rakenne sekä suuri mahdollinen nousukulma. Kolakuljettimien hinta ja tehontarve ovat suurempia kuin hihnakuljettimilla sekä ne vaativat enemmän huoltoa. (Flyktman ym. 2012, 13). Kuvassa 8 on alapuolisen kolakuljettimen 3D-malli.



KUVA 8. Kolakuljetin (Motridal SpA 2017).

Ruuvipurkaimet ja -kuljettimet ovat putken sisällä tai kourussa pyöriviä ruuveja, jotka siirtävät polttoainetta ruuvin kierteellä (kuva 9). Ruuvikuljettimia käytetään lyhyillä siirtomatkoilla, syöttöruuveina sekä polttoainesilojen purkulaitteina. Yksinkertainen rakenne ja pölytiiviyys sekä tasainen kuljetuskapasiteetti ovat niiden etuja, mutta ruuvikuljettimet vaativat enemmän moottoritehoa kuin kolakuljettimet sekä suuret kappaleet voivat aiheuttaa häiriöitä ruuvilla.



KUVA 9. Ruuvikuljetin. (Seipro Oy 2016).

#### 4.1.3 Epäpuhtauksien poisto

KPA-laitoksen käytettävyyttä voidaan parantaa erilaisilla polttoaineenkäsittelymenetelmillä. Murskaamalla tai hakettamalla tuotetun metsäpolttoaineen palakoko vaihtelee ja polttoaineen seassa voi olla myös muita epäpuhtauksia, kuten kiviä, kantoja, oksia ja rautaa. Suuret kappaleet ja epäpuhtaudet voivat aiheuttaa ongelmia kuljettimilla ja syöttöruuveilla sekä vaikeuttaa polttoaineen polttamista.

Suuret kappaleet voidaan erotella polttoainevirrasta kiekko-seulan avulla. Kiekko-seula koostuu useasta pyörivästä kiekkoakselista, joiden välit mitoitetaan tavoitellun palakoon mukaan. Seulan ylitte voidaan ohjata erilliseen ylitelaatikkoon tai hienontaa poltettavaksi seulan yhteyteen sijoitettavalla murskaimella. Seula voidaan varustaa myös kivientunnistusjärjestelmällä, joka tunnistaa seulalla kul-

kevat kivet niiden tuottaman äänen perusteella. Polttoaineen sekaan saattaa joutua myös rautaa, esimerkiksi kierrätyspuun mukana, joka voidaan poistaa kuljettimelta magneetin avulla. Seula ja murskain sijoitetaan yleensä polttoaineenkuljetuslinjaston alkupäähän, lähelle polttoaineiden vastaanottoa (Flyktman ym. 2012, 11).

Epäpuhtauksien lisäksi ongelmia voi aiheutua myös polttoaineen kosteudesta, etenkin talvella, jolloin hienojakoinen polttoaine ja märkä polttoaine voi pakaantua ja jäätyä kuljettimien pinnoille. Jäätymistä voidaan estää eristämällä ja kuljettimia lämmittämällä. Hienojakoisen ja kuivan polttoaineen pölyämisestä aiheutuvia haittoja voidaan vähentää tiiviillä kuljetinratkaisuilla ja pölynpoistojärjestelmillä. (Flyktman ym. 2012, 14).

## **4.2 Kattilat**

Kuumavesikattila on laite, jolla lämmitetään vettä polttoaineen palamisesta syntyvällä lämpöenergialla. Kattilaan syötetyn polttoaineen ja ilman palaminen tapahtuu kattilan tulipesässä, jossa polttoaineen palamisesta vapautuva lämpöenergia siirtyy kattilapiirin vesiputkistossa kiertävään kattilaveteen, jota kierrätetään erillisen kiertopumpun avulla lämmönvaihtimen läpi. Höyrykattilassa vesi lämmitetään ensin höyrystyslämpötilaan, jonka jälkeen höyryä lämmitetään edelleen yli höyrystyslämpötilan eli höyry tulistetaan.

Kattilat jaotellaan polttotekniikoiden sekä niissä käytettyjen polttoaineiden mukaan. Yleisimpiä kiinteää polttoainetta käyttäviä polttotekniikoita ovat arina-, leiju-, stoker- ja kaasutuspoltto. Arinapolttokattiloita käytetään pääasiassa alle 10 MW:n kattiloiden polttotekniikkana ja kerrosleijukattilat ovat yleisempiä yli 10 megawatin teholuokassa (Flyktman ym. 2012, 15-16).

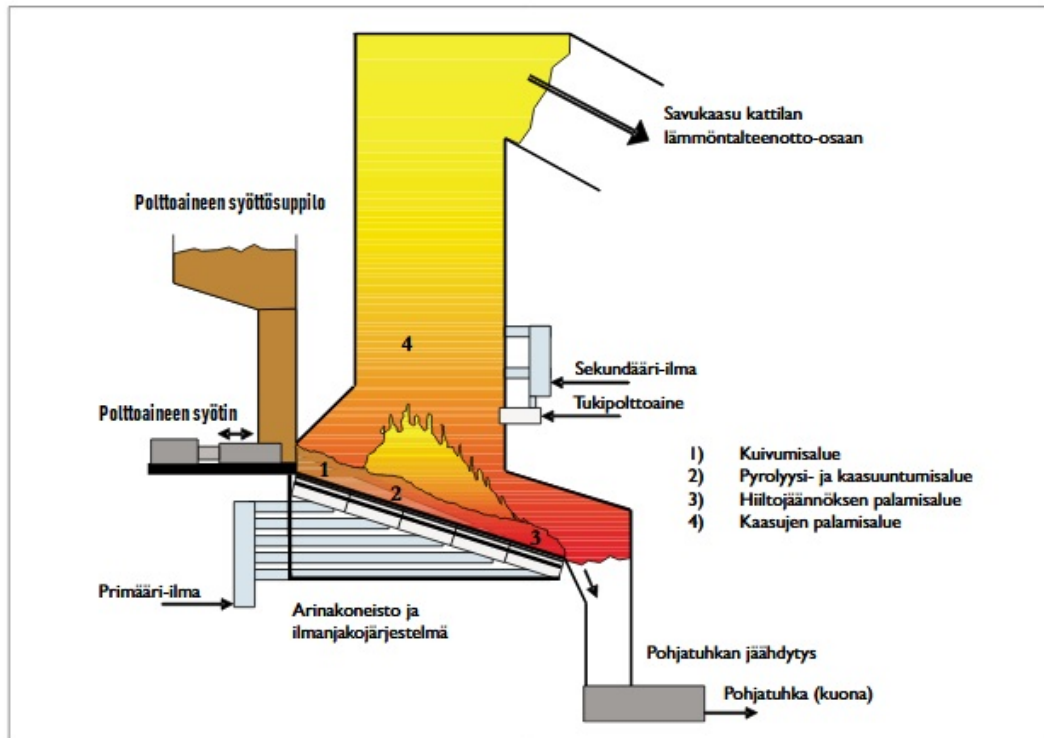
KPA-kattilaa ei kannata mitoittaa kaukolämpöverkon maksimi tehontarpeen mukaan, koska palaminen ja kattilan toiminta on tehokkainta lähellä kattilan nimellisteho. Osateholla poltettaessa kattilan hyötysuhde laskee ilmaosamäärän ja lämpöhäviöiden lisääntymisen myötä sekä palamisen hallinta on vaikeampaa,

kuin nimellisteholla poltettaessa. KPA-kattila on paras mitoittaa noin 80-90% kokonaistehontarpeen mukaan. Kaukolämpöverkon lämmöntuotanto tulee turvata jokaisessa tilanteessa ja tämä tulee ottaa huomioon vara- ja huippukuorimakattiloita mitoitettaessa. Jos verkon pääasiallinen energiantuotantolaitos viikaantuu kesken lämmityskauden, pitää tehontarve pystyä täyttämään muilla verkkoon liitetyillä varakattilalaitoksilla. (Flyktman ym. 2012, 39-40).

#### **4.2.1 Arinakattilat**

Arinakattiloissa palaminen tapahtuu arinalla, joka erottaa tulipesän ja tuhkatilan toisistaan. Arinakattilat voidaan erotella toisistaan arinarakenteen perusteella. Eri tyyppisiä arinoita ovat kiinteät ja mekaaniset arinat, kuten kiinteä taso- tai vinoarina sekä mekaaninen taso-, viisto- tai kekoarina. Pienitehoisissa kattiloissa voidaan käyttää kiinteitä arinoita, sillä niiden pieni polttoainevirta voidaan polttaa vielä hallitusti ilman sekoittamista. Kattilatehon kasvaessa polttoainevirta kasvaa ja palamisenhallinta edellyttää polttoainepatjan sekoittamista mekaanisesti. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2011, 34-35).

Arinan yläosassa polttoaine kuivuu ja lämpiää, jonka jälkeen tapahtuu polttoaineen kaasuuntuminen ja palaminen. Polttoaine syötetään arinan yläosaan joko painovoimaisesti tai mekaanisen syöttimen avulla. Syötin voi olla esimerkiksi ruuvisyötin tai mekaanisesti polttoainepatjaa työntävä rauta, jolla pyritään levittämään polttoaine koko arinan leveydelle mahdollisimman tasaiseksi patjaksi. (Huhtinen ym. 2011, 35). Kuvassa 10 on esitetty arinatulipesän periaate.



KUVA 10. Arinatulipesän periaate (Vesanto 2006, muokattu).

Kiinteiden vinoarinoiden kulma on jyrkempi kuin mekaanisten vinoarinoiden, sillä polttoainepatja liikkuu kiinteällä vinoarinalla painovoiman avulla. Mekaanisessa arinassa on liikkuvia arinarautoja, jotka työntävät polttoainepatjaa kohti arinan alaosaan samalla sekoittaen palavaa polttoainetta. (Huhtinen ym. 1999, 150-151). Yksi mekaanisen arinan erikoistapaus on kekoarina, joka on vastakkaisiin suuntiin pyörivistä kehistä muodostuva arina, jolle polttoaine syötetään syöttöruuvien avulla sen keskeltä, alakautta (kuva 11). Kekoarinan etuja ovat muun muassa tasaisesti jakautuva polttoainevirta sekä symmetrinen tulipesä, johon ei muodostu kylmiä nurkkia. (KPA Unicon, Biograte boiler 2018).



KUVA 11. Biograte-kattila (KPA Unicon 2018).

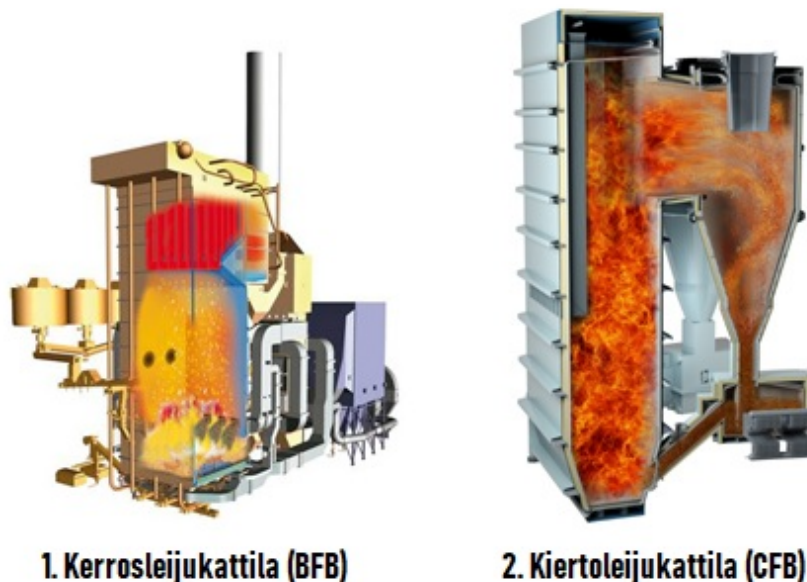
Palamisilma eli primääri-ilma syötetään tulipesään arinan läpi sen alapuolelta, jolloin ilma lämpiää ja samalla jäädyttää arinaa. Suuremmissa kattiloissa arinan jäähditys voidaan toteuttaa myös kierrättämällä kattilavettä arinarakenteiden läpi kulkevissa putkissa. Kaasuuntunut polttoaine ja palamiskelpoiset savukaasut poltetaan sekundääri-ilman avulla, jota syötetään hallitusti arinan yläpuolelle. Kattilan tulipesän lämpötilaa sekä jäännöshapen määrää voidaan säätää syöttämällä kattilaan kiertokaasua eli savukaasua, joka on jo kertaalleen virranut kattilan läpi.

Arinakattiloiden palamisenhallinta on vaikeampaa kuin leijutuspolttokattiloiden, sillä polttoaineen sekoittuminen ja epätasainen virtaus arinalla vaikeuttavat prosessia. Arinakattila on myös hidas reagoimaan muutoksiin, mutta tästä voi olla myös etua häiriötilanteissa, sillä lämmöntuotanto ei keskeydy yhtä nopeasti kuin esimerkiksi leijupetikattilan yhteydessä. Epätasainen palaminen aiheuttaa myös enemmän päästöjä ja kattilan kuonaantumista. Arinapoltoissa syntyvä tuhka puutoa pääosin arinan alapuoliselle tuhkakuljettimelle. Savukaasujen mukana kulkeutuvat lentotuhkat puhdistetaan yleensä syklonierottimen avulla.

#### 4.2.2 Leijupetikattilat

Leijukerrospolttotekniikkaa käytetään suuremmissa, yleensä yli 20 MW:n kattiloissa. Leijupetikattilassa polttoaine palaa leijutettavan hiekan seassa, jonka leijutus tapahtuu puhaltamalla primääri-ilmaa hiekkapedin alapuolelta. Leijupetikattilat voidaan jakaa kerrosleiju- ja kiertopetikattiloihin. Kerrosleijukattilan pohjalta voidaan erottaa selkeä hiekkapeti, jonka paksuus on noin 0,4 – 0,8 metriä. Hiekkapetiä leijutetaan, mutta se ei poistu kuten kiertoleijukattilasta, jossa hienompi hiekka ja suurempi leijutusnopeus saavat hiekan kiertämään kaasuvirtojen mukana tulipesästä sykloniin ja takaisin tulipesään. (Huhtinen ym. 2011, 36-37).

Leijupetikattilat soveltuvat hyvin kostealle polttoaineelle, sillä kuuma petihiekka kuivattaa polttoaineen tehokkaasti. Kiertoleijukattilalla voidaan polttaa myös hiiltä, sillä palamaton hiili erotetaan savukaasusta syklonin avulla ja palautetaan takaisin tulipesään. Kuvassa 12 on esitetty leijukerros- ja kiertoleijukattilat.

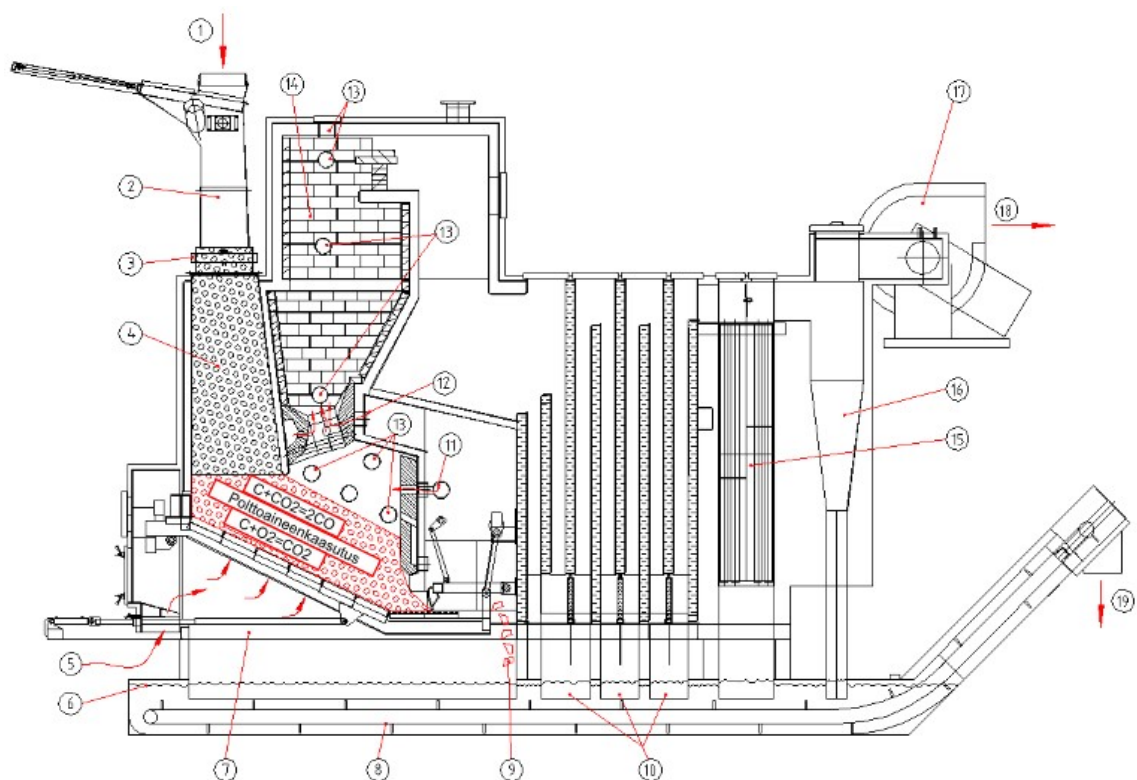


KUVA 12. Kerros- ja kiertoleijukattilat (Valmet 2017; Valmet 2015, muokattu).

### 4.2.3 Kaasutuspoltto

Kaasutuspoltto perustuu puun pyrolyysiin, joka on puun termokemiallista hajoamista vähähappisissa olosuhteissa ja korkeassa lämpötilassa. Pyrolyysiprosessissa puu hajoaa kaasuksi, joka koostuu pääasiassa hiilimonoksidista ja vedystä. (GASEK, Puun kaasutus).

Kaksivaiheiseen kaasutuspolttoon perustuvassa kattilassa (kuva 13) palaminen tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa arinalla kytevän paksun hiilloskerroksen läpi johdetaan primääri-ilmaa sen alapuolelta, jolloin palaminen tapahtuu hiilloksen sisäpuolella. Primääri-ilman happi reagoi ensin hiilen kanssa muodostaen hiilidioksidia ja pelkistyy edelleen hiilimonoksidiksi eli häkäkaasuksi. Kaasua poltetaan tulipesässä sekundääri-ilman avulla ja loput palamattomat kaasut johdetaan erilliseen muurattuun biokaasun polttokammioon, jossa ne palavat tertiääri-ilman avulla. Polttokammion tehtävänä on lisätä kaasujen viipymäaikaa, josta on apua etenkin kosteita polttoaineita poltettaessa. (Laatukattilat Oy 2015)



KUVA 13. LAKA Y-kattila (Laatukattilat Oy 2015).

Kaasutuspoltoissa muodostuu hyvin vähän lentotuhkaa, sillä lähes kaikki palamisesta syntyvä tuhka jää hiilokseen, josta se poistetaan mekaanisen arinan avulla tuhkakuljettimelle. Savukaasujen sisältämä lentotuhka erotetaan syklonin avulla. Kaasutuspolttotekniikalla voidaan päästä hyvin pieniin hiukkaspäästöihin. (Laatukattilat Oy 2015).

### 4.3 Tuhka ja savukaasut

KPA-laitoksen toiminnasta muodostuu erilaisia päästöjä sekä tuhka-jätettä. Merkittävin ympäristövaikutus aiheutuu ilmapäästöistä, joten savukaasujen muodostumiseen sekä niiden puhdistamiseen tulee kiinnittää erityistä tarkkuutta. KPA-laitoksen päästöraja-arvot ja niiden tarkkailu sekä jätteenkäsittelyvaatimukset määräytyvät voimassaolevan ympäristönsuojelulain (527/2014) sekä keski-suuria energiantuotantolaitoksia koskevan PIPO-asetuksen (750/2013) mukaan. Euroopan unioni valmistelee uutta keski-suuria energiantuotantolaitoksia koskevaa MCP-direktiiviä, jossa laitosten ilmapäästöille asetetaan uudet raja-arvot sekä tarkkailuvaatimukset. Valmisteilla olevaa direktiiviä on esitelty tarkemmin tämän opinnäytetyön kappaleessa 5.2.1 MCP-direktiivi.

Savukaasujen sisältämistä palamistuotteista ja yhdisteistä ympäristölle haitallisia ovat hiili- ja rikkidioksidi, hiilimonoksidi eli häkä, hiilivedyt, typen oksidit sekä lentotuhka. Ilmapäästöistä valvottavia ovat pienhiukkas- (PM), rikkidioksidi ( $\text{SO}_2$ ) ja typenoksidipäästöt ( $\text{NO}_x$ ). Näiden lisäksi energiantuotantoyksiköltä edellytetään jatkuvatoimisia happi-, häkä- sekä lämpötilamittauksia. (750/2013, 5-6§). Energiantuotantolaitoksen voimassaolevat päästöraja-arvot on esitetty tämän opinnäytetyön kappaleen 5.2.1 taulukossa 4. Energiantuotantolaitosten ilmapäästöjä voidaan vähentää polttoainevalinnoilla, polttoteknisillä ratkaisuilla sekä erilaisia suodatinjärjestelmiä käyttämällä.

Rikkidioksidia syntyy kattilassa polttoaineen sisältämän rikin palamistuotteena. Rikkidioksidista osa hapettuu edelleen rikkitrioksidiksi ( $\text{SO}_3$ ), joka muodostaa veden kanssa rikkihappoa ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Rikkihapon syntymistä kattilassa tai savukaasukanavissa pyritään estämään pitämällä savukaasujen lämpötila riittävän

korkealla, jotta happokastepiste ei alitu. Rikkihappo on voimakas happo ja merkittävä ympäristöhaittojen, kuten maaperän ja vesistöjen happamoitumisen sekä haposateiden aiheuttaja. Rikkidioksidipäästöjä voidaan vähentää polttamalla vähärikkisiä polttoaineita sekä erilaisia suodatusmenetelmiä, kuten savukaasupesuria käyttämällä. (Huhtinen ym. 1999, 92).

Typpimonoksidi- (NO) sekä typpidioksidipäästöillä (NO<sub>2</sub>) on myös ympäristöä happamoittava vaikutus. Typen oksideja syntyy palamisilman tai polttoaineen sisältämän typen sekä palamisilman hapen välisistä reaktioista, jotka tapahtuvat tulipesässä korkeassa lämpötilassa. NO<sub>x</sub>-päästöjen syntymiseen voidaan vaikuttaa tehokkaasti polttoteknisin menetelmin, mikä on myös edullisempaa kuin erillisten puhdistuslaitteistojen käyttö. Polttoteknisiä vähennysmenetelmiä ovat esimerkiksi kiertokaasun käyttö, kattilan lämpöpintojen lisääminen sekä vaiheistettu poltto. Kiertokaasun eli kattilasta poistuneen ja jäähtyneen savukaasun sekä suurempien lämpöpintojen avulla pyritään laskemaan tulipesän lämpötilaa. Vaiheistetussa poltossa kattilaan syötetään palamisilmaa useammassa, yleensä kahdessa tai kolmessa vaiheessa, jolloin liekin lämpötilaa sekä palamisilman mukana tulevan hapen määrää saadaan laskettua. (Huhtinen ym. 1999, 93-94).

Tuhka on polttoaineen palamisesta jäljelle jäävä osa, joka luokitellaan jätteeksi. Puun tuhkapitoisuus on noin 0,3 – 4 % (kuva 4) ja turpeella noin 4 -10 % (kuva 6). KPA-laitosten polttoaineiden sisältämä tuhka aiheuttaa muun muassa polttoainekuljettimien kulumista sekä kattilan lämmönsiirtopintojen likaantumista. Tuhkan sulamiskäyttäytymisen tunteminen on ensiarvoisen tärkeää, sillä sula tuhka voi jähmettyessään tukkia arinan ilmaraot tai muodostaa kovia ja vaikeasti poistettavia kappaleita arinalle tai petihiekkaan. Tuhkan sulamispisteet voivat vaihdella 600 – 2900 °C välillä ja kattilaolosuhteissa lämpötilat voivat olla selvästi, jopa 200 °C laboratorikokeissa määritettyjä lämpötiloja matalampia. (Huhtinen ym. 1999, 41). Arinapoltossa suurin osa tuhkasta poistuu arinan pohjatuhkana, kun taas leijukerros poltossa muodostuu lähinnä lentotuhkaa.

Tuhkajätteen varastointi, käsittely sekä hyödyntämismahdollisuudet riippuvat tuhkan ominaisuuksista, jotka määritetään tuhkanäytteistä tehtävien laboratorikokeiden avulla. Energiantuotantolaitosten tuhka pyritään hyödyntämään joko

lannoitteena tai maanrakennuskäytössä, mikäli sen ominaisuudet sen sallivat. (Flyktman ym. 2012, 31).

#### **4.3.1 Kattilan pohjatuhka**

Kiinteiden polttoaineiden sisältämä tuhka muodostaa kattilassa pohja- ja lentotuhkaa. Lentotuhka poistuu kattilasta savukaasujen mukana, mutta raskaammat tuhkapartikkelit sekä palamatta jäänyt kiintoaines kertyvät kattilan palotilaan pohjatuhkaksi. Arinakattiloista pohjatuhka poistetaan yleensä mekaanisesti arinan alaosasta sammutusaltaaseen, josta jäähtynyt tuhka voidaan siirtää erilliseen tuhkasäiliöön joko ketju- tai ruuvikuljetinta käyttäen. Leijupetikattiloista hiekkapetiin kertynyt pohjatuhka ja kuona poistetaan pudottamalla petihiekkaa kattilan pohjalla sijaitsevien pohjatuhkasuppiloiden kautta (Huhtinen ym. 2011, 36).

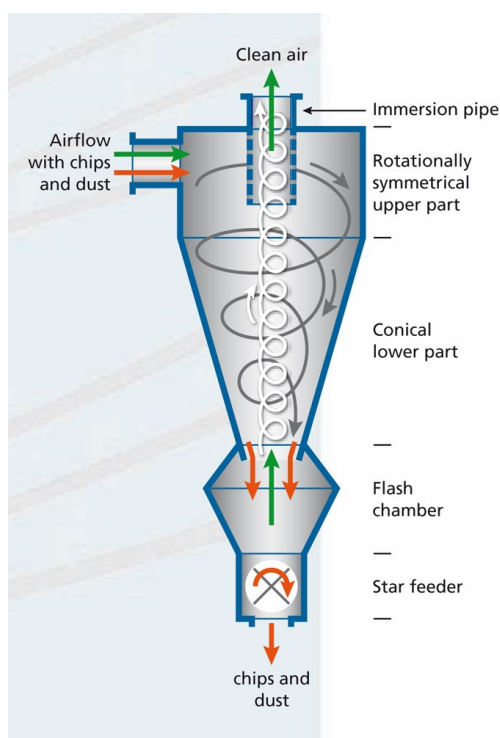
Tuhkan märkäpoistossa kuljettimien tulee olla tiiviitä, jotta vesi ei pääse vuotamaan sammutusaltaasta tai kuljettimilta ympäristöön. Puun tuhka ja vesi muodostavat yhdessä lipeää, joka on voimakkaasti emäksistä ja saattaa väärin käsiteltynä aiheuttaa vakavia terveyshaittoja, kuten ihon syöpymistä tai silmien vaurioitumista. Märkätuhka-altaan vesipinnan tulee myös yltää kattilan kuonanpoistoaukkoon, jotta kattilaan ei pääse vuotamaan ylimääräistä ilmaa tätä kautta. Leijupetikattilasta kuivana poistetun pohjakuonan ja petihiekan seos on erittäin kuumaa sekä pölyävää, mikä tulee huomioida pohjatuhkan käsittelyssä.

#### **4.3.2 Savukaasujen puhdistus ja LTO**

Savukaasujen kiinteiden epäpuhtauksien puhdistuksessa käytetään erilaisia suodattimia sekä sykloneja. Tavallisimpia puhdistusmenetelmiä ovat mono- ja multisyklonit, sähkö- tai letkusuodattimet sekä savukaasupesurit. Puhdistusmenetelmän valinta riippuu laitoksen kattilatehosta sekä -tyypistä, käytetyistä polttoaineista, vaaditusta puhdistustehosta sekä laitteiston hinnasta (Flyktman ym. 2012, 21).

## Syklonit

Syklonien toiminta perustuu massavaikutukseen. Sykloniin tangentiaalisesti johdettu savukaasu saadaan pyörimisliikkeeseen, jolloin savukaasun sisältämät ilmaa raskaammat kiinteät epäpuhtaudet ajautuvat syklonin seinää vasten ja valuvat syklonin pohjalle, josta ne voidaan poistaa hallitusti (kuva 14). Syklonis- sa puhdistettu savukaasu imetään pois syklonin keskeltä. (Huhtinen ym. 1999, 253). Syklonierotin voi koostua yhdestä mono- tai useammasta multisyklonista.



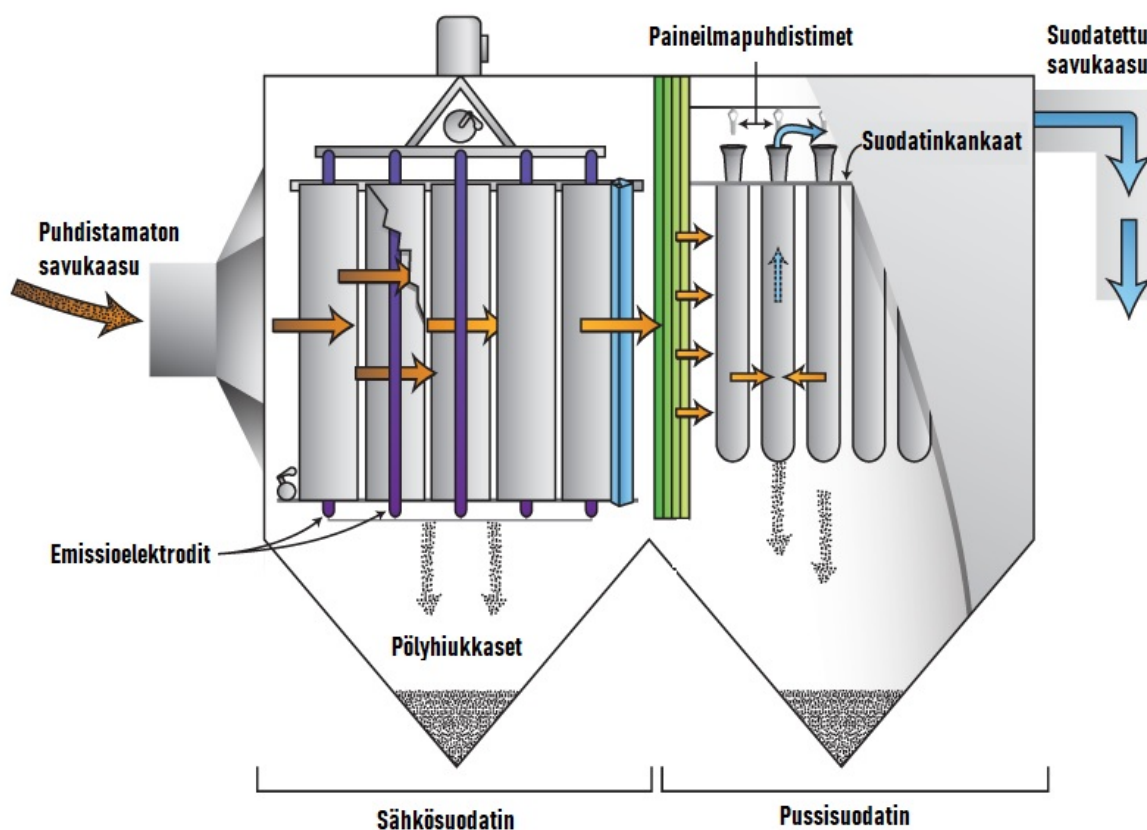
KUVA 14. Syklonierotin (Deltoid Lufttechnik n.d.).

## Pussisuodatin

Pussisuodatin eli letkusuodatin on tyypiltään kangassuodatin, joka muodostuu useasta suodatinkankaasta valmistetusta, toisesta päästä avoimesta letkusta. Savukaasut johdetaan suodatinletkujen läpi, jolloin pölyhiukkaset tarttuvat niiden pintaan. Pöly poistetaan suodattimista ravistamalla tai paineilmapuhalluksia käyttäen. Pussisuodattimilla saavutetaan yli 99 % suodatusaste ja nykyaikaiset suodatinmateriaalit mahdollistavat hyvin kuumien savukaasujen suodattamisen. Kangassuodattimien rikkidioksidin erotuskykyä voidaan parantaa pinnoittamalla suodattimet kalkilla. (Huhtinen ym. 1999, 253, 256).

## Sähkösuodatin

Sähkösuodatin koostuu kahdesta elektrodista: negatiivisesti varautuneesta emissioelektrodista ja positiivisesti varautuneesta erotuselektrodista. Kun savukaasu kulkee suodattimen voimakkaan sähkökentän läpi, pölyhiukkaset varautuvat emissioelektrodin vaikutuksesta negatiivisesti ja kiinnittyvät lopulta positiivisesti varautuneen erotuselektrodin pintaan. Pölyhiukkaset poistetaan erotuselektrodin pinnalta joko ravistelemalla tai vedellä huuhtelemalla. (Huhtinen ym. 1999, 252-253). Fyktmanin, Impolan ja Linnan (2012, 16) mukaan sähkösuodatin soveltuu etenkin karkeiden pölyhiukkasten erottamiseen. Kuvassa 15 on esitetty sähkösuodattimen ja pussisuodattimen muodostama yhdistelmäsuodatin.



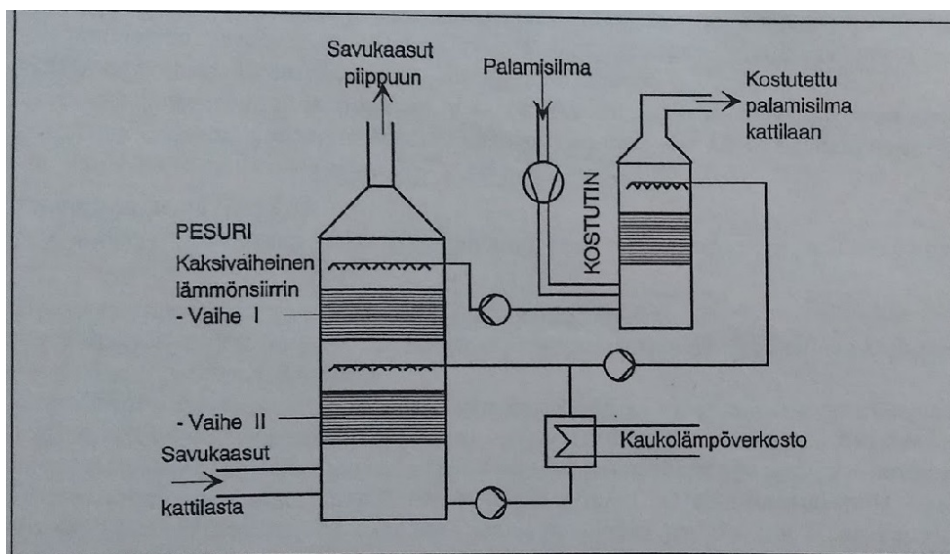
KUVA 15. Sähkö- ja pussisuodatin (Redecam Group 2015, muokattu).

## Savukaasupesuri

Savukaasupesuri on puhdistuslaitteisto, jossa nopeasti virtaavaan savukaasuun ruiskutetaan vettä, jolloin pisaroituva vesi sitoo savukaasun pölyhiukkasia it-

seensä. Pölyn ja veden muodostamat pisarat erotetaan savukaasuista pisaranerottimessa ja pesuriveteen sitoutunut lämpö otetaan talteen LTO-piirin avulla. Saatua lämpöenergiaa hyödynnetään kaukolämpöverkon paluuveden lämmitämisessä. (Huhtinen ym. 1999, 255).

Pesurista saatavaa lämpötehoa voidaan parantaa yhdistämällä pesuri palamisilman kostuttimeen. Kostuttimessa kaukolämpöverkon paluuvettä käytetään ensin kattilan palamisilman kostuttamiseen, jolloin pesuriveden lämpötilaa saadaan laskettua alemmas eli savukaasuista voidaan ottaa enemmän lämpö talteen. Kosteampi palamisilma lisää myös savukaasujen kosteutta, jolloin savukaasujen sisältämän vesihöyryn tiivistyslämpötila nousee vesihöyryn osapaineen noustessa. (Huhtinen ym. 1999, 255-256). Kosteilla polttoaineilla savukaasun kosteus on korkeampi, joten palamisilman kostutin voidaan joutua ohittamaan, jotta tulipesän lämpötila ei laske liikaa ja palaminen häiriinny. Kuvassa 16 on esitetty pesuri-kostutinpiiri.



KUVA 16. Pesuri-kostutinpiiri (Huhtinen ym. 1999, 256).

Pesurin pääasiallinen käyttötarkoitus on savukaasujen lauhdelämpöjen talteenotto, sillä hiukkaserottimena se on kallis. Pesurin edessä käytetään yleensä erillistä hiukkaserotinta, kuten multisyklonia. Savukaasupesuri soveltuu hyvin rikki- ja vetykloridin eli suolahapon erotukseen. Jos pesurin lauhdevedet johdetaan viemäriin tai vesistöön, on ne ensin neutraloitava, selkeytettävä sekä

suodatettava (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 9§). Puun poltosta syntyvä tuhka on luonnostaan emäksistä, mikä neutralisoi osaltaan pesurin happamia lauhdevesiä, mutta lisäksi käytetään neutralointikemikaalia, esimerkiksi voimakkaasti emäksistä lipeää eli natriumhydroksidia. (Flyktman ym. 2012, 22-23).

Edellä esitellyt suodatinmenetelmät soveltuvat hyvin karkeiden, yli 0,5µm hiukkasten erottamiseen savukaasusta. Paras suodatusaste saavutetaan letkusuodattimilla. Taulukossa 3 on esitelty hiukkaserotusmenetelmien puhdistuskykyjä.

TAULUKKO 3. Suodattimien erotuskyky (Huhtinen ym. 1999, 256).

Suodatinjärjestelmä	Hiukkaskoko 0,5µm	Hiukkaskoko yli 0,5µm
Monosykloni	alle 40	50 - 97
Multisykloni	alle 60	75 - 100
Savukaasupesuri	90	98 - 100
Sähkösuodatin	70	97 - 100
Letkusuodatin	99,5	100

#### 4.4 Muut laitteet

##### Puhaltimet

Puhaltimien avulla syötetään kattilaan palamisilmaa sekä poistetaan poltossa syntyvät savukaasut kattilasta. Palamisilmapuhaltimet jaetaan yleensä primääri- ja sekundääri- eli ensiö- ja toisioilmapuhaltimiin. Näiden lisäksi käytössä voi olla myös kiertokaasupuhallin, jolla kierrätetään savukaasua takaisin kattilaan. Kattila pidetään alipaineisena jatkuvatoimisen savukaasupuhaltimen avulla, jonka tehtävänä on imeä polttoaineen palamisesta syntyvät kaasut pois kattilasta. KPA-kattilan puhaltimet ovat sähkömoottorikäyttöisiä ja niiden pyörimisnopeutta voidaan säätää portaattomasti taajuusmuuttajien avulla. Ilmamäärien säädössä käytetään myös ilmanaviin sijoitettavia säätöpeltejä, joita voidaan ohjata joko käsin tai sähköisten toimilaitteiden avulla.

## **Pumput**

Kaukolämpölaitoksessa käytettäviä pumppuja ovat muun muassa kattilan vesikierron pumput, kaukolämpöpumput sekä kemikaalien syötössä käytettävät pumput. Kattilan vesipiirin pumppuja ovat kiertopumppu, joka kierrättää vettä kattilan ja lämmönvaihtimen läpi sekä shunttipumppu, jonka avulla voidaan esilämmittää kattilalle lämmönvaihtimelta palaavaa vettä sekoittamalla siihen kattilasta lähtevää kuumaa menovettä. Kattilan vesikierron pumppuihin kuuluu myös paineenpitopumppu, jonka tehtävänä on pitää kattilaveden paine sille määritetyssä asetusarvossa.

Kaukolämpöverkon pumppuja ovat kaukolämpöpumppu, shunttipumppu sekä paineenpitopumppu. Kaukolämpöpumpulla syötetään lämmintä vettä kaukolämpöverkkoon ja shunttipumppu toimii samoin kuten kattilan vesikierron yhteydessä eli sillä voidaan esilämmittää kaukolämpöverkon paluuvettä. Paineenpitopumpun avulla ylläpidetään riittävän suurta kaukolämpöverkon paluupainetta, jotta kuuma menovesi ei pääse höyrystymään verkostossa.

Pumput ovat kattilalaitoksen puhaltimien tapaan sähkömoottorikäyttöisiä ja niiden pyörimisnopeutta ohjataan taajuusmuuttajien avulla. Tärkeimmät pumput, kuten kattilan kiertovesi-, kaukolämpö- sekä paineenpitopumput on kahdennettu käyttövarmuuden turvaamiseksi. Edellä esiteltyjen pumppujen lisäksi käytössä on usein myös pieniä kemikaalipumppuja, joita tarvitaan kattila- ja kaukolämpöpiirien vedenkäsittelykemikaalien annostelussa.

## **Lämmönsiirtimet**

Tärkein kaukolämpölaitoksen lämmönsiirtimistä on kaukolämmönvaihdin, jolla kattilalla tuotettulämpöenergia siirretään kaukolämpöverkon menoveteen. Lämmönsiirtimiä voidaan käyttää myös KPA-laitosten omakäyttölämmityksessä, esimerkiksi kattilalaitoksen piha-alueiden sulana pidossa sekä laitoksen lämmityksessä.

## **Hydrauliikka ja paineilma**

Hydrauliikan avulla toteutetaan polttoaineiden syöttölaitteiden ja mekaanisen arinan toiminta. Hydraulitoimiset kattilalaitteet, kuten mekaaniset arinaraudat,

polttoainesyötin ja sulkupellit muodostavat yleensä oman hydraulipiirin, joka on erillään polttoaineiden siirto- ja kuljetinlaitteistojen hydraulilaitteistojen piiristä. Hydraulikoneikkojen pumput on kahdennettu toimintavarmuuden turvaamiseksi. Venttiilien avulla voidaan rajata hydraulitoimiset laitteet, esimerkiksi polttoainetarastojen tankopurkaimet toisistaan, jolloin yksittäisen laitteen vikaantuminen ei estä koko laitteiston toimintaa.

KPA-laitoksissa paineilmaa hyödynnetään esimerkiksi kattilan ja suodatinlaitteistojen puhdistuksessa. Voimakkailla paineilmapuhalluksilla pyritään irrottamaan kattilan lämpöpinnoille ja hiukkassuodattimiin kertyneitä tuhka- ja hiukkasia. Paineilmaa voidaan käyttää myös pneumaattisissa toimilaitteissa.

## 5 LÄHTÖTILANNE

### 5.1 Warko 7 MW -kattilalaitos

Nykyinen varakattilalaitos ja sen Warko 7 MW –höyrykattila otettiin käyttöön vuonna 1969, jolloin sillä tuotettiin prosessihöyryä Tiwi Oy:n lastulevytuotantoon. Laitos siirtyi myöhemmin Keuruun Lämpövoima Oy:n omistukseen ja sillä tuotettiin prosessihöyryn lisäksi lämpöenergiaa Keuruun kaukolämpöverkkoon. Tiwin lastulevytuotannon päätyttyä laitosta on käytetty vain lämpöenergian tuotantoon ja nykyisin se toimii Keuruun Lämpövoiman varakattilana päävoimalaitoksen huoltoseisokin aikana tai häiriötilanteen sattuessa (kuva 17). Varakattilalaitoksen ympäristölupa päättyy 31.12.2017.



KUVA 17. Warko 7 MW –varakattilalaitos (K) ja vesitorni (Pollari 2015).

Laitoksen luonnonkiertoisen höyrykattilan on valmistanut A. Ahlström Oy:n Varakauden konepaja vuonna 1969. Kattilalle on tehty laajempi perusparannus 1994, jolloin se muutettiin tyypiltään viistoarinakattilaksi ja savukaasujen puhdis-

tusjärjestelmäksi asennettiin multisykloni. Muita pienempiä perusparannus ja korjaustöitä on tehty vuonna 2002. Kattilan polttoaineena käytetään puuhakkeita ja kuorta.

## 5.2 Tuleva tarve

Keuruun Lämpövoima Oy tarvitsee uuden KPA-laitoksen, jolla korvataan nykyinen varakattilalaitos. Uutta KPA-laitosta tullaan pääasiassa käyttämään Keuruun päävoimalaitoksen huoltoseisakin aikana sekä tarvittaessa huippukuormaja häiriötilanteissa. Suunnitteilla on miehittämätön, teholuokaltaan noin 6-8 megawatin KPA-laitos, joka sijoitettaisiin Varissaaren voimalaitosalueella sijaitsevaan vanhaan tehdasrakennukseen (kuva 18). Ensimmäisessä vaiheessa on tarkoitus asentaa yksi kattila, mutta tilaan pyritään jättämään varaus toiselle pienemmälle, noin 4-5 MW kattilalle, jolla laitoksen kokonaisteho kasvaisi yli kymmenen megawatin.



KUVA 18. Vanha lääketehdas (Pollari 2015).

Keuruun päälämpöverkossa on nykyisen 7 MW:n varakattilalaitoksen lisäksi kolme öljylämpökeskusta, jotka sijaitsevat Ylihossa, Ketvelniemessä ja Keuruun keskustassa. Ylihon öljykeskus on näistä suurin, sillä sen kaksi öljykattilaa tuottavat 12 megawattia lämpötehoa. Ketvelniemen öljylämpökeskuksen yhteisteho on noin kolme megawattia ja Keuruun keskustan lämpökeskuksen noin kuusi megawattia. (Keuruun Lämpövoima Oy, Kaukolämmön saatavuuskartat 2013).

Tulevaa tarvetta arvioidessa piti tarkastella kesäajan kokonaiskustannuksia eri lämmöntuotantovaihtoehdoilla. Vanhan varakattilalaitoksen lisäksi kesän lämpöenergia on mahdollista tuottaa Keuruun Lämpövoiman miehittämättömillä öljykattila-asemilla. Varavoimalan käyttö vaatii aina henkilökuntaa, joten palkkakulut sekä polttoaineen lastauksesta aiheutuvat kustannukset tuli huomioida kokonaiskustannuksia arvioidessa.

Pelkästään eri polttoaineiden hintoja vertailemalla havaittiin, että kustannukset ovat raskaalla polttoöljyllä yli kolminkertaiset ja kevyellä yli nelinkertaiset puuhakkeeseen verrattuna. Hakkeen käsittelykulut sekä varavoimalaitoksen henkilökunnan palkkakustannukset huomioitaessa raskaan polttoöljyn käyttökustannukset ovat vielä 2,5-kertaiset ja kevyellä yli kolminkertaiset puuhakkeeseen verrattuna. Laitosten sähkönkulutuksessa ei ole merkittäviä eroja, joten niitä ei otettu huomioon käyttökustannuksia arvioidessa.

Laskennan tuloksena saadut käyttökustannusarviot (liite 1) puoltavat uuden varavoimalaitoksen hankintaa, koska puupolttoaineiden käyttö on huomattavasti edullisempaa kuin polttoöljyllä lämmittäminen. Keuruun Lämpövoiman öljykattilat vaativat myös modernisointia, koska valtioneuvoston asetuksen 750/2013 myötä alle 50 MW:n lämmöntuotantolaitosten päästörajat kiristyvät huomattavasti viimeistään tammikuussa 2018. Kiristyvien päästörajojen vuoksi raskaan polttoöljyn käyttö ei tule olemaan enää mahdollista kyseisillä kattiloilla. Warko-varakattilalaitoksen ympäristölupa päättyy vuoden 2017 loppuun mennessä. Uudella varalaitoksella säästetään myös henkilöstökuluissa, sillä sitä voidaan ajaa miehittämättömänä.

### 5.2.1 MCP-direktiivi

Uuden varalaitoksen hankintaan vaikuttaa myös valmisteilla oleva MCP-direktiivi. MCP-direktiivi on Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviehdotus, jolla säädellään keskisuurten, lämpöteholtaan 1-50 MW, polttolaitosten ilmaan joutuvia päästöjä ja se on osa EU:n komission ilmanlaatupakettia. Keskisuurten polttolaitosten päästöjä säädellään tällä hetkellä EU:ssa jäsenmaakohtaisesti ja Suomessa on voimassa edellä mainittuja päästöjä koskeva PIPO-asetus (Valtioneuvoston asetus 750/2013). Direktiivillä täydennetään polttolaitoksia koskevaa sääntelykehystä ja sen tavoitteena on vähentää päästöjen aiheuttamia riskejä ihmiselle ja ympäristölle.

MCP-direktiivissä määritetään raja-arvot savukaasujen hiukkaspitoisuudelle (PM), typen oksideille (NO<sub>x</sub>) sekä rikin oksideille (SO<sub>2</sub>). Päästöille asetetut raja-arvot riippuvat laitostyypistä, käytetystä polttoaineesta ja vuotuisesta käyttöajasta. Direktiivissä on annettu siirtymäaika olemassa oleville polttolaitoksille kahdessa eri lämpöteholuokassa. Päästörajat tulevat voimaan 1-5 MW laitoksille 1.1.2030 sekä 5-50 MW laitoksille 1.1.2025. (Euroopan komissio, Euroopan parlamentin ja neuvoston... 2013).

Taulukossa 4 on esitetty Suomessa tällä hetkellä voimassa olevat PIPO-asetuksen mukaiset päästöraja-arvot ja taulukossa 5 PIPO-asetuksen mukaiset raja-arvot uusille laitoksille. Suluissa on esitetty varalaitoksille asetetut raja-arvot. Kevyen polttoöljyn hiukkaspäästöraja-arvo on 50 mg/Nm<sup>3</sup> laitoksen kokoluokasta ja käyttöajasta riippumatta. (Valtioneuvoston asetus 750/2013).

TAULUKKO 4. PIPO-asetuksen mukaiset raja-arvot olemassa oleville polttolaitoksille.

Kiinteät polttoaineet (mg/Nm <sup>3</sup> )	
SO <sub>2</sub>	200
NO <sub>x</sub>	450 (500)
Hiukkaset 1-5 MW	300 (375)
Hiukkaset 5-20 MW	150 (250)
Hiukkaset 20-50MW	50 (125)
Nestemäiset polttoaineet, 1-15 MW (mg/Nm <sup>3</sup> )	
SO <sub>2</sub>	350 (850)
NO <sub>x</sub>	900
Hiukkaset	140 (200)
Nestemäiset polttoaineet, 15-50 MW (mg/Nm <sup>3</sup> )	
SO <sub>2</sub>	350 (850)
NO <sub>x</sub>	600
Hiukkaset	50 (140)

TAULUKKO 5. PIPO-asetuksen mukaiset raja-arvot uusille polttolaitoksille.

Kiinteät polttoaineet (mg/Nm <sup>3</sup> )	
SO <sub>2</sub>	200
NO <sub>x</sub>	375
Hiukkaset 1-5 MW	200
Hiukkaset 5-20 MW	50
Hiukkaset 20-50MW	40
Nestemäiset polttoaineet, 1-15 MW (mg/Nm <sup>3</sup> )	
SO <sub>2</sub>	350
NO <sub>x</sub>	800
Hiukkaset	50
Nestemäiset polttoaineet, 15-50 MW (mg/Nm <sup>3</sup> )	
SO <sub>2</sub>	350
NO <sub>x</sub>	500
Hiukkaset	50

Valmisteilla olevan MCP-direktiivin mukaiset raja-arvot jo olemassa oleville laitoksille on esitetty taulukossa 6 sekä uusia keskisuuria polttolaitoksia koskevat raja-arvot taulukossa 7. (Euroopan komissio 2013).

TAULUKKO 6. MCP-direktiivi, olemassa olevat keskisuuret polttolaitokset

Epäpuhtaus	Kiinteä biomassassa (mg/Nm <sup>3</sup> )	Muut kiinteät polttoaineet (mg/Nm <sup>3</sup> )	Muut nestemäiset polttoaineet kuin POR (mg/Nm <sup>3</sup> )	Raskas polttoöljy (mg/Nm <sup>3</sup> )
SO <sub>2</sub>	200	400	170	350
NO <sub>x</sub>	650	650	200	650
Hiukkaset	30 <sup>(1)</sup>	30	30	30

(<sup>1</sup>) 45 mg/Nm<sup>3</sup> niiden laitosten osalta, joiden lämpöteho on enintään 5 MW.

TAULUKKO 7. MCP-direktiivi, uudet keskisuuret polttolaitokset

Epäpuhtaus	Kiinteä biomassassa (mg/Nm <sup>3</sup> )	Muut kiinteät polttoaineet (mg/Nm <sup>3</sup> )	Muut nestemäiset polttoaineet kuin POR (mg/Nm <sup>3</sup> )	Raskas polttoöljy (mg/Nm <sup>3</sup> )
SO <sub>2</sub>	200	400	170	350
NO <sub>x</sub>	300	300	200	300
Hiukkaset	20 <sup>(1)</sup>	20	20	20

(<sup>1</sup>) 25 mg/Nm<sup>3</sup> niiden laitosten osalta, joiden lämpöteho on enintään 5 MW.

Vertaamalla nykyisin voimassa olevia raja-arvoja uusiin ehdotettuihin päästörajoihin, voidaan huomata niiden kiristyvän huomattavasti, etenkin hiukkaspäästöjen osalta. MCP-direktiivi tulee huomioida uutta varalaitosta suunnitellessa, jotta sen päästöt pysyvät alle ehdotettujen raja-arvojen. Direktiivin on vasta valmisteilla, joten sen tarkkaa voimaantuloajankohtaa ei vielä tiedetä.

### 5.3 Vanha tehdasrakennus

Keuruun Varissaaren voimalaitosalueella sijaitsee arkkitehti Aarne Ervin 1940-luvun alussa suunnittelema tehdasrakennus (kuva 18), johon Lääketehtas Orion siirsi toimintansa Helsingistä toisen maailmansodan aikaan. Lääketehtaan palattua Helsinkiin ja Orionin toiminnan laajennuttua 1960-luvulla, käytettiin tehdasta lastulevytehtas Tiwi Oy:n höyryntuotantoon. Rakennus on osa Keski-Suomen maakunnallisesti arvokasta rakennettua kulttuuriympäristöä ja suojelukohde (Keski-Suomen maakuntakaava, Maakunnallisesti arvokkaat rakennetut kulttuuriympäristöt... 2007, 36).

Tehdas koostuu konttorirakennuksesta, varastohallista, vanhasta halkokattilatilasta, sähköverstastilasta, vesitornista sekä pienemmistä varastotiloista. Konttoriosassa toimii tällä hetkellä Keuruun Sähkön tytäryhtiö Radiki Oy. Muut tilat ovat Keuruun Lämpövoiman varasto-, varavoimakone- sekä vedenkäsittelytiloina (liite 2, pohjapiirustus). Rakennuksen yhteydessä on myös tiilestä muurattu 50 metriä korkea savupiippu, jota käytetään edelleen Warko-varakattilalaitoksen savupiippuna.

Alustavissa keskusteluissa kaavailtiin KPA-laitoksen sijoituspaikaksi joko vanhaa halkokattilatilaa tai viereistä varastohalliosaa. Ensimmäisenä tarkasteltavaksi otettiin halkokattilatala sen aikaisemman käyttöhistorian vuoksi.

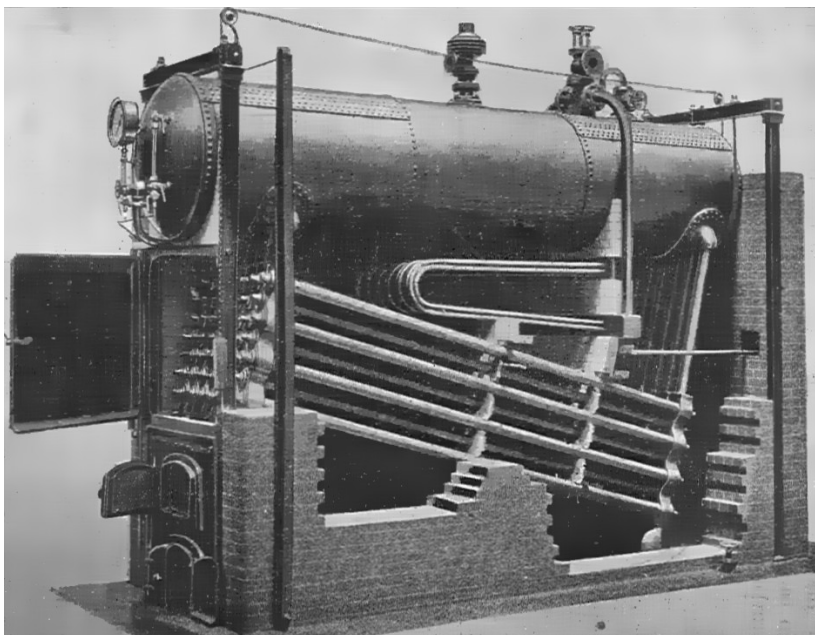
#### 5.3.1 Halkokattilatala

Tehtaan vanhassa kattilatilassa on kaksi punatiilestä muurattua 125 m<sup>2</sup> Babcock & Wilcox -vesiputkikattilaa, joilla tuotettiin höyryä Lääketehtas Orionin tarpeisiin sekä myöhemmin myös Tiwi Oy:n lastulevytuotantoon (kuva 19). Tilaa ei ole käytetty 1960-luvun lopun jälkeen, jolloin Tiwi Oy:n lastulevyntuotantoon tarvitsemaa prosessihöyryä ryhdyttiin tuottamaan uudella Warko-kattilalaitoksella.



KUVA 19. Vanhat halkokattilat (Pollari 2015).

Vanhat kattilat ovat lähes kolme metriä leveitä sekä noin seitsemän metriä pitkiä ja korkeutta niillä on yli kahdeksan metriä. Kattiloiden arinapinta-ala on noin 4,7 neliömetriä ja niiden polttoaineena on käytetty sekä halkoja että haketta. Kuvassa 20 on esitetty Babcock & Wilcox –vesiputkikattilan rakenne.



KUVA 20. Babcock & Wilcox –vesiputkikattila (William Ripper, Heat Engines 1937)

### 5.3.2 Varastohalli

Tehdasrakennuksen varastohalli on noin 19 metriä pitkä ja 10 metriä leveä tila, joka sijaitsee rakennuksen konttoriosan ja vanhan kattilatilan välissä (kuva 21). Hallissa on aluksi toiminut Lääketehtas Orionin tislaamo. Tila on jaettu myöhemmin kahteen osaan betonisista TT-laatoista rakennetulla välitasolla (kuva 22) ja nykyään sitä käytetään Keuruun Lämpövoiman varastotilana (liite 3, mit-tapiirustus ja laatat).

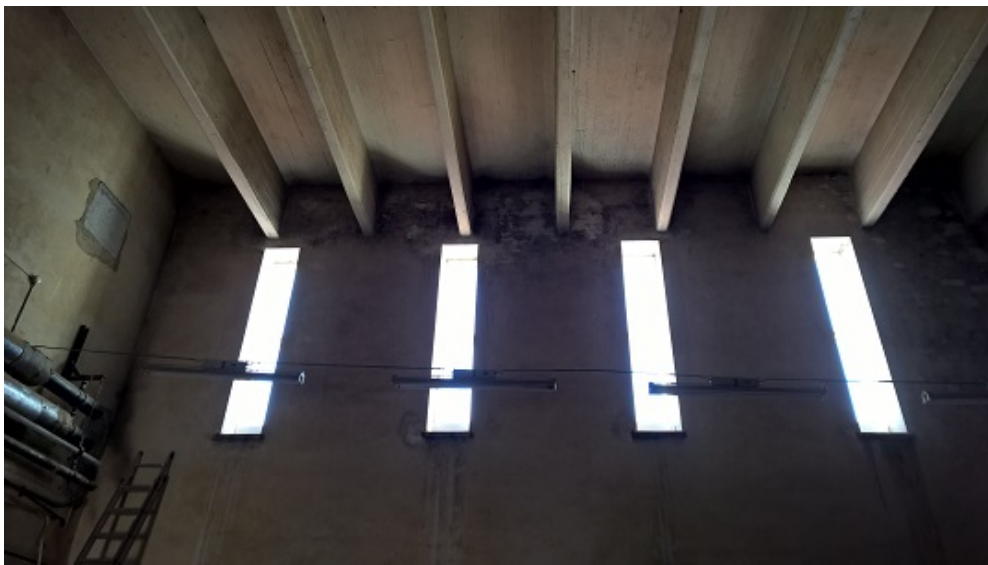


KUVA 21. Varastohalli (Pollari 2015).



KUVA 22. Varastohallin välipohja (Pollari 2015).

Varastohallin eteläpäästä on kulkuyhteys rakennuksen toisessa kerroksessa sijaitsevaan tilaan, jossa on vanha teräksinen liimasäiliö ja oviaukko rakennuksen eteläsivulla. Tilan betonisessa kattolaatassa on myös noin 2 metriä pitkä ja metrin leveä aukko, josta pääsee suoraan rakennuksen vintille. Varastotilan pohjoispäädyssä on kaksi liukuovea sekä korkeat ikkunat, toisella sivuseinällä on neljä rakennuksen julkisivulle tunnuksenomaista kapeaa ikkunaa (kuva 23). Rakennuksen pohjoispuolella, varastotilan ulkoseinustalla on myös betoninen, kaksitasoinen lastaussilta (kuva 24).



KUVA 23. Ikkunat (Pollari 2015).



KUVA 24. Rakennuksen pohjoispuoli (Pollari 2015).

## 6 PROJEKTIN KULKU

### 6.1 Tilojen määrittäminen

Esiselvitystyö aloitettiin tutustumalla vanhaan tehdasrakennukseen, johon tuleva KPA-laitos olisi tarkoitus sijoittaa. Kohteeseen tutustuttiin ensimmäisen kerran Keuruun Lämpövoima Oy:n lämpöpäällikkö Teemu Hietasen johdolla. Paikan päällä tehdyllä kierroksella käytiin läpi vanha halkokattilatila, viereinen varastohalli sekä vanha sähköverstas. Kierroksen yhteydessä keskusteltiin alustavista tilankäyttötavoitteista.

Tarkempi tilanmäärittäminen tehtiin vanhoja piirustusmateriaaleja sekä laseretäisyysmittaa käyttäen. Keuruun Lämpövoima Oy:n arkistoista löytyi kattava kokoelma arkkitehti Arne Ervin alkuperäisiä julkisivu-, pohja- sekä leikkauspiirustuksia. Lisäksi rakennuksen pohjapiirustus (liite 2) oli saatavissa CAD-mallina paikalliselta rakennuttajapalvelulta, koska rakennukseen oli tehty korjaus- ja muutostöitä vuonna 2012. Piirustuksista saadut mitat tarkastettiin lasermitan avulla ja samalla täydennettiin puuttuvia mittoja. Pohjapiirustuksen päivitetty ja yksinkertaistettu versio on esitetty liitteessä 4.

Esiselvitystyön alkuvaiheessa lasermitan tarkkuus todettiin riittäväksi, sillä tämän työn tarkoituksena on lähinnä selvittää, mitä kattilalaitteistoja tiloihin on mahdollista sijoittaa mahdollisimman vähäisin rakennukseen kohdistuvien muutosten avulla havaittiin joitakin poikkeavuuksia piirustusten ja todellisten mittojen välillä.

Piirustuksista saatuja mittoja käyttäen tehtiin ensimmäiset 3D-mallit halkokattilasta ja varastotilasta sekä koko rakennuksesta (liite 5). Ensimmäiset mallit toimivat lähinnä pohjina tuleville tarkemmille, yksityiskohtaisille malleille rakennuksesta.

## 6.2 Rakennussuojeluneuvonta

Tässä opinnäytetyössä tehtiin yhteistyötä Keski-Suomen museon kanssa, sillä esiselvityksen kohteena oleva tehdasrakennus on osa Keski-Suomen maakunnallisesti arvokasta rakennettua kulttuuriympäristöä ja suojelukohde. Esiselvitysprojektin alussa järjestettiin tapaaminen Keski-Suomen museon rakennussuojeluneuvonnasta vastaavan amanuenssin kanssa. Tammikuun 26. päivä järjestetyssä kokouksessa keskusteltiin tulevasta varavoimalaitoshankkeesta ja sen mahdollisista vaikutuksista vanhaan tehdasrakennukseen. Tapaamisen yhteydessä tehtiin kohteeseen tutustumiskierros, jonka aikana tarkasteltiin rakennukseen mahdollisesti tehtäviä muutoksia ja perehdyttiin hieman kohteen dokumentointikuvaukseen. Kohteesta ei vielä ensimmäisen tapaamisen yhteydessä ollut mahdollista saada ennakkolausuntoa, koska se edellytti esisuunnitelmaa, josta käy ilmi, miten kattilalaitos saadaan sopimaan rakennukseen ja miten se muuttaa ympäröiviä rakennelmia, rakennusmassoja, tilankäsittelyä ja ulkoasua.

### 6.2.1 Dokumentointikuvaus

Dokumentointikuvauksen tarkoituksena on tallentaa kohde ennen siihen kohdistuvia muutoksia sekä muutostöiden aikana ja niiden valmistuttua. Valokuvat liitetään osaksi olemassa olevaa piirustusaineistoa ja tarvittaessa kohteesta kerätään myös materiaalinäytteitä. Dokumentointikuvauksen tavoitteena on luoda valokuvaamalla, materiaalinäyttein sekä rakennuspiirustusten avulla kattava aineisto, jonka pohjalta kohde voitaisiin rakentaa uudelleen. (Keski-Suomen museo, Kulttuurihistoriallisesti merkittävän rakennuksen työmaa-aikaisen... liite 6). Vanhan tehdasrakennuksen dokumentointikuvaus aloitettiin osana tätä opinnäytetyötä ja saatuja valokuvia hyödynnettiin tässä työssä, mutta dokumentointikuvauksen laajuuden vuoksi sitä ei sisällytetty kokonaisuudessaan tähän työhön.

Dokumentointikuvauksessa rakennuksen jokainen julkisivu sekä huonetila valokuvataan. Kohteet jaetaan säilyviin sekä muuttuviin tiloihin ja kuvaussuunnat

merkitään rakennuksen pohjakuvaan. Valokuvat otetaan mahdollisimman suurella resoluutiolla ja kuviin liitetään päivämäärä sekä tarvittaessa myös kuvaus teksti, jos pelkkä valokuva itsessään ei ole riittävän. (Keski-Suomen museo, liite 6).

Purettavat rakenteet tai rakenneosat tulee dokumentoida tarkasti. Materiaalit, värit ja yksityiskohdat kirjataan ylös ja purettavista osista otetaan materiaalinäytteitä. Eri aikakausien kerrostumat esitetään dokumenteissa kronologisessa järjestyksessä. Purettavat tiiliverhoukset pitää dokumentoida tarkasti, jotta ne voidaan palauttaa alkuperäistä vastaavaan kuntoon. Tiilien limitys, saumavärit ja -paksuus sekä saumakäsittely dokumentoidaan ja tiilet pyritään säilyttämään uudelleenkäyttöä varten. (Keski-Suomen museo, liite 6).

Opinnäytetyön osana aloitetussa dokumentointikuvauksessa rakennuksen alkuperäinen piirustusaineisto digitoitiin skannerin avulla. Rakennuksen täysimitaista dokumentointia ei voinut vielä hankkeen tässä vaiheessa toteuttaa. Vanhassa tehdasrakennuksessa on myös paljon erityishuomioita vaativia yksityiskohtia sekä tiiliverhous, joka lisää dokumentointityötä.

### **6.3 Kattilavaihtoehtojen kartoitus**

Ensimmäisten tilamallien ja mittapiirustusten valmistuttua lähetettiin kattilavalmistajille tiedustelut mahdollisista kattilamalleista 6-8 megawatin teholuokassa. Kattilavaihtoehtoja rajattiin tehon lisäksi käytettävillä polttoaineilla sekä niiden kusteusalueella. Ensimmäisten tiedustelujen tarkoituksena oli kartoittaa vaihtoehtoja, joilla tuleva KPA-laitos olisi mahdollista toteuttaa. Taulukkoon 8 on kirjattu kattilalle asetettuja vaatimuksia.

TAULUKKO 8. Kattilalle asetettuja vaatimuksia

Teholuokka	6 – 8 MW
Säätöalue	5 – 125 %
Polttoaineen kosteus- alue	5 – 65 %
Polttoaineen palakoko	0 – 400 mm
Käytettävät polttoai- neet	Metsätähde-, kokopuu-, ja kantomurske, sahanpuru, kierrätyspuumurske, kuori, viilumurske, vanerimurske, kutterin lastu, pelletti, briketti, peltobiopolttoaineet sekä pala- ja jyrshinturve

Tiedustelun tuloksena saadut kattilavaihtoehdot ovat esitely tarkemmin opinnäytetyön tuloksissa. Eri valmistajilta löytyy 6-8 megawatin teholuokasta ratkaisuja Keuruun Lämpövoiman tarpeisiin ja valmistajilta pyydetään myöhemmin tarkemmat tarjoukset KPA-laitoksesta.

#### 6.4 Polttoaineiden vastaanotto

Kattilavaihtoehtoja kartoitettaessa valmistajilta tiedusteltiin myös polttoaineen vastaanottoratkaisuja. Tulevan KPA-laitoksen yhteyteen, Varissaaren voimalaitosalueen pohjoisosaan on suunnitteilla polttoainevarasto, jonka tilavuus tulee olemaan noin 200 m<sup>3</sup>. Voimalaitosalueen maaperä rajoittaa polttoainevaraston syvyyttä, sillä alue sijaitsee Keurusselän rannalla ja vesistön vuoksi syvän montun kaivaminen ei ole mahdollista.

Polttoainevarasto tullaan todennäköisesti toteuttamaan katettuna, kaksilinjaisella maanpäällisellä ratkaisulla, joko kolapohja- tai tankopurkajilla. Erillisen vastaanottorakennuksen julkisivun tulisi mukailla alueen muita rakennuksia. Polttoaineen siirto vastaanotosta kattilaan vaatii pitkän kuljettimen, joka joudutaan vetämään rakennuksen seinän läpi. Kattilan korkeus ja polttoaineensyöttölaitteiston asema sekä rakenne määrittävät kuljettimen läpiviennin paikan. Polttoaine-

varasto sijoitetaan rakennuksen pohjoispuolelle, sillä rakennuksen eteläsivulle, tehtaan ja varastohallin väliin jäävää aluetta käytetään polttoaineiden murskaukseen.

## **6.5 Tuhka ja savukaasut**

Kiinteän polttoaineen poltosta syntyvät tuhkat poistetaan kattilasta märkätuhkakuljettimen avulla erilliseen tuhkakonttiin, joka sijoitetaan rakennuksen sisälle. Märkätuhkakuljettimen tehtävänä on sammuttaa ja jäähdyttää kattilasta poistettava tuhka ennen sen siirtämistä tuhkasäiliöön. Säiliön tulee olla lämpimässä tilassa, jotta märkä tuhka ei pääse jäätymään.

Savukaasujen puhdistus tapahtuu joko sähkösuodattimella tai multisyklonipussisuodatin-yhdistelmällä. Kattilasta lähtevän savukaasun sisältämä lentotuhka erotetaan savukaasusta syklonin avulla ja tuhka pudotetaan joko märkätuhkakuljettimelle tai suoraan märkätuhkakonttiin. Savukaasujen puhdistus viimeistellään ulos sijoitettavalla pussisuodatin- tai sähkösuodatinyksiköllä, josta puhdas savukaasu johdetaan tehdasrakennuksen vanhaan tiilipiippuun. Ulkoinen puhdistuslaitteisto sovitetaan väreiltään vanhan tehdasrakennuksen julkisivun värimaailmaan.

## **6.6 Rakennuksen muutostarve**

Vanha tehdasrakennus ei sovellu sellaisenaan uuden KPA-laitoksen sijoituspaikaksi, vaan siihen on tehtävä muutoksia, kuten suuri nosto-ovi, jotta kattila ja sen vaatimat oheislaitteet saadaan sisään rakennukseen. Rakennuksen sisätiloista on myös purettava rakenneosia, jotta laitoksen laitteistolle saadaan luotua tarvittavat tilat. Rakennuksen pohjan kantavuus on selvitettävä ja pohjalaattaa on tarvittaessa vahvistettava betonivalulla. Lattialaatan valun yhteydessä voidaan rakentaa tarvittava viemärointi.

Rakennuksen julkisivuihin kohdistuvat muutokset pyritään pitämään mahdollisimman pieninä ja ne sovitetaan väreiltään ja materiaaleiltaan rakennuksen yleisilmeeseen. Näkyvimpiä julkisivuun kohdistuvia muutoksia ovat nosto-oven tai useamman oven lisäksi ilmanvaihdon vaatimat tulo- ja poistokanavat sekä polttoainekuljettimen ja savukaasukanavan läpiviennit. Rakennuksen sisätilat pyritään säilyttämään mahdollisimman lähellä alkuperäistä. Seiniltä poistetaan kaikki ylimääräinen, pinnat puhdistetaan ja tarvittaessa maalataan kevyesti alkuperäisiä sävyjä mukaillen sekä tilojen valaistus uusitaan.

Vanhan lääketehtaan savupiippu ei sellaisenaan sovellu uuden KPA-laitoksen käyttöön. Tiilipiippua voisi hyödyntää uuden piipun vaippana, jolloin kaukolämpölaitoksen tarpeisiin mitoitettu uusi teräspiippu nostettaisiin vanhan savupiipun sisään ja savukaasukanavalle tehtäisiin piipun kylkeen läpivienti. Vanhaa piippua pitää mahdollisesti myös lyhentää, sillä se on mitoitettu vanhojen halkokattiloiden vedontarpeen mukaan. Tiilestä muurattu yli 50-metrinen savupiippu on merkittävä osa rakennuksen julkisivua.

## **6.7 Päästökauppa ja investointituki**

Euroopan unionin päästökauppajärjestelmässä käydään kauppaa päästöoikeuksista. Euroopan komissio asettaa jokaiselle päästökauppa-kaudelle päästöoikeuksien kokonaismäärän, joka alittaa EU:n todelliset päästöt. Päästöoikeudet jaetaan jäsenmaiden kesken ja jäsenmaiden päästökauppaviranomaiset jakavat valtiokohtaiset päästöoikeudet järjestelmään kuuluville laitoksille. Laitosten todelliset päästöt katetaan päästöoikeuksilla ja yritykset palauttavat viranomaisille edellisvuoden päästöjä vastaavan määrän päästöoikeuksia. (Työ- ja elinkeinoministeriö, Päästökauppa 2015). Jokainen päästökauppaan kuuluva yritys tarvitsee päästökauppaviranomaisen myöntämän päästöluvan, joka edellyttää päästöjen tarkkailua ja todentamista. Laitosten päästöselvitykset todentaa riippumaton päästökauppalaain (311/2011) hyväksymä todentaja. (Työ- ja elinkeinoministeriö, Päästökauppa, Päästöjen tarkkailu ja todentaminen 2015).

Päästökauppajärjestelmällä pyritään kustannustehokkaaseen päästöjen vähentämiseen. Järjestelmään kuuluvat laitokset voivat myydä ylimääräisiä päästöoikeuksia muille tai vastaavasti tarvittaessa ostaa lisää oikeuksia, jos todellisten päästöjen vähentäminen aiheuttaa suuremmat kustannukset. Yksi päästöoikeusyksikkö vastaa yhtä hiilidioksiditonnia. (Työ- ja elinkeinoministeriö, Päästökauppa 2015).

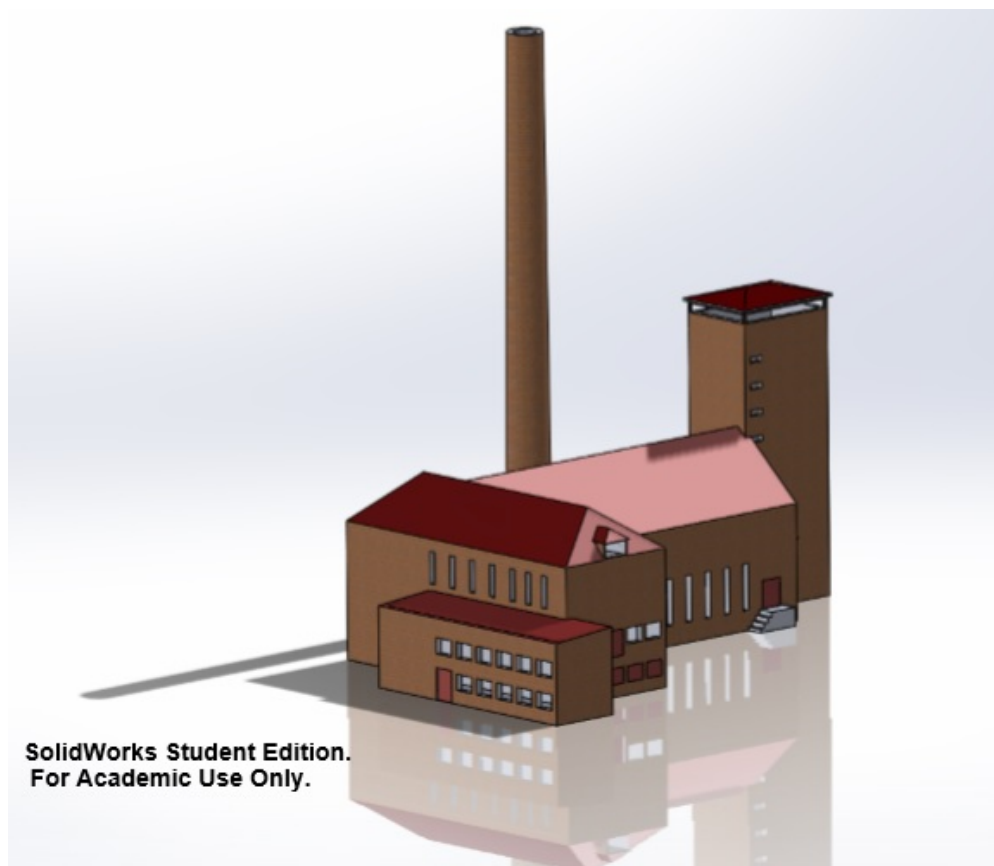
Lämpölaitoksen toimintojen hiilidioksidipäästöihin sovelletaan päästökauppalakia, jos sen nimellinen kokonaislämpöteho ylittää 20 megawattia. Saman laitoksen eri yksiköiden nimelliset lämpötehot lasketaan yhteen, mutta laskennassa ei huomioida yksiköitä, joissa käytetään käynnistystä tai pysäytystä lukuun ottamatta pelkästään biomassaa. (Päästökauppalaki 311/2011). Keuruun Lämpövoima Oy:n päävoimalaitos on nimellisteholtaan 19,9 megawattia, joten päästökauppalain piiriin kuulumisen määräytyy Varissaaren varalaitoksessa käytettävän polttoaineen mukaan. Jos toisessa kattilalaitoksessa poltetaan biomassan lisäksi turvetta, laitosten yhteenlaskettu nimellisteho ylittää 20 megawattia. Suomessa turve on määritelty hitaasti uusiutuvaksi biomassaksi, mutta ilmasto- ja energiapolitiikassa sitä käsitellään uusiutumattomana polttoaineena sen aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen vuoksi (Energiateollisuus, Turve).

Tässä opinnäytetyössä piti tarkastella myös päästökauppalain vaikutuksia KPA-laitoshankkeeseen, koska päästökauppalain (311/2011) piiriin kuuluvat hankkeet eivät pääsääntöisesti ole oikeutettuja energiatukeen (Työ- ja elinkeinoministeriö, Energiatuki, Tuettavat hankkeet 2015). Tukea ei myöskään myönnetä nimellisteholtaan yli 10 megawatin lämpökeskuksille. Puupolttoaineita käyttävän lämpökeskushankkeen tuen enimmäismäärä on vuonna 2015 10–15 % hyväksyttävistä kustannuksista. (Työ- ja elinkeinoministeriö, Energiatuki, Tuen määrä 2015). Keuruun Lämpövoima Oy kuuluu kaudella 2013 – 2020 päästökaupan piiriin, mutta irtautuminen päästökaupasta on mahdollista, jos laitosten yhteenlaskettu nimellisteho muuttuu alle 20 megawatin. Tarkempaa tarkastelua ei sisällytetty tähän opinnäytetyöhön sen sisältämän salassa pidettävän aineiston vuoksi.

## 7 TULOKSET

### 7.1 Rakennuksen 3D-mallit

Esiselvitystyössä tehtyjä mittauksia ja vanhoja piirustusaineistoja hyödyntäen luotiin vanhan tehdasrakennuksen 3D-malli ja pohjapiirustus Solidworks-suunnitteluohjelmaa käyttäen. Tässä esiselvitystyössä luodut 3D-mallit on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 5. Piirustuksia ja 3D-malleja voitiin hyödyntää myöhemmin KPA-laitoksen esisuunnittelussa. Kuvassa 25 on esitetty vanha tehdasrakennus lounaasta katsottuna.



KUVA 25. Tehdasrakennuksen 3D-malli (Pollari 2015).

## 7.2 Halkokattilatila

Esiselvitystyö osoitti, että vanha halkokattilatila ei ole käytettävissä olevista tiloista paras mahdollinen sijoituspaikka KPA-laitokselle, koska sen kokonaiskorkeus ja kattoa tukevat palkit rajoittavat kattilavaihtoehtoja huomattavasti. Vanhan halkokattilatilan käyttäminen edellyttää varastohallitilaa suurempia purku- ja muutostöitä, sillä tilasta pitäisi purkaa vanhat halkokattilat ja oheislaitteet (kuva 26), betonista valmistettu polttoaineensyöttötaso (kuva 27) sekä tiilestä muurattu savukaasukanava. Ongelmallisia purkukohteita ovat etenkin vanhat kattilat niissä käytetyn asbestin vuoksi (kuva 28). Käsin muuratuilla halkokattiloilla on myös merkittävä historiallinen arvo, joten museoviraston amanuenssi ehdotti vierailunsa yhteydessä niiden säästämistä.



KUVA 26. Halkokattilat ja polttoaineensyöttökulut (Pollari 2015).



KUVA 27. Polttoaineensyöttötaso ja vanha halkovaunu (Pollari 2015).



KUVA 28. Asbestieristys kattilan päädyssä (Pollari 2015).

Halkokattilatilan lattia osoittautui myös tilankäyttöä merkittävästi rajoittavaksi tekijäksi. Tilan lattia on kahdessa tasossa (kuva 29), joista alempi on noin metrin maapinnan alapuolella. Jotta tilaan voitaisiin tuoda uusi kattilalaitteisto, pitäisi lattiataso valaa kauttaaltaan maanpinnan tasolle, jolloin tilan kokonaiskorkeus muuttuisi liian matalaksi.

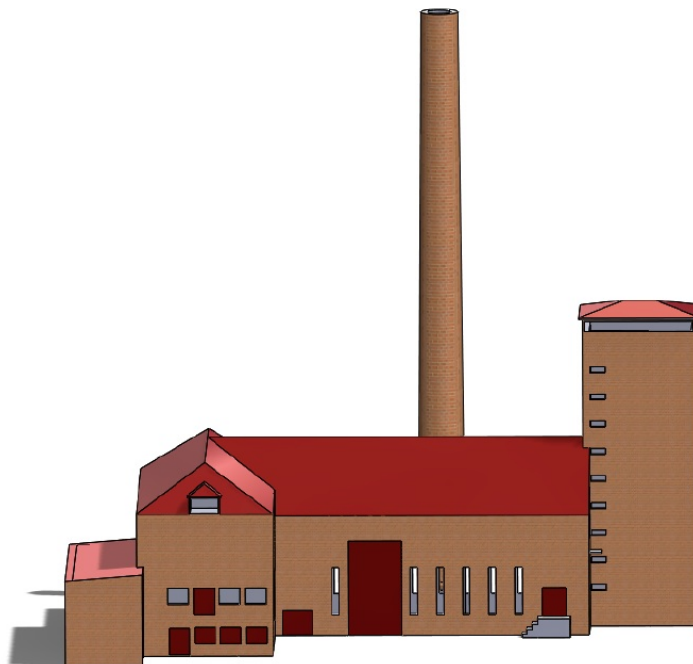


KUVA 29. Halkokattilatilan tasot (Pollari 2015).

Purettavien kattiloiden, laitteiden ja rakenneosien dokumentointi on myös erittäin työlästä ja aikaa vaativaa. KPA-laitoksen sijoittaminen kyseiseen tilaan aiheuttaa myös suuremmat muutokset rakennuksen julkisivulle (kuva 30), sillä suuri nosto-ovi rikkoo rakennuksen etelä- ja pohjoissivun symmetriset ikkunalinjat (kuva 31).



KUVA 30. Tehdasrakennuksen eteläsivu (Pollari 2015).



KUVA 31. A-tehtaan eteläsivu nosto-ovella (Pollari 2015).

Halkokattilatilaa voitaisiin mahdollisesti käyttää pienin muutoksin aputilana, sillä tilasta on kulkuyhteys varastohallin puolelle sekä uloskäynnit rakennuksen molemmilla sivuilla. Halkokattilatilan kahdelle tasolle voisi esimerkiksi sijoittaa sa-

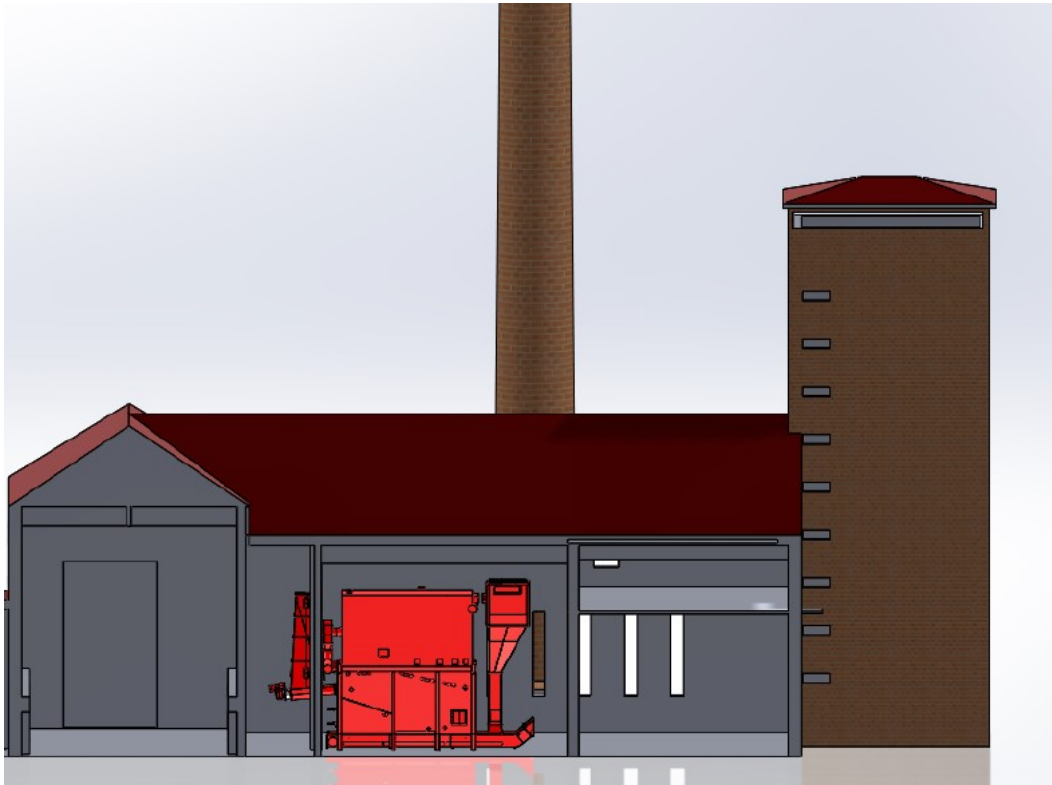
vukaasupuhaltimen, kaukolämpöpumput ja kaukolämmönvaihtimen sekä vedenkäsittelylaitteistoja, sillä tilasta on yhteys viereisiin vedenkäsittely- ja neutralointitiloihin. Kattilasalista voisi purkaa vanhoja käsin muurattuja halkokattiloita lukuun ottamatta kaiken tarpeettoman, kuten vanhat höyry- ja vesiputket, kaapelihyllyt, vanhan sähkökeskuksen ja tarpeettomat kaapelit, halkovaunun ja vinssin sekä vanhat huoltotasot (kuva 32). Vanhoja halkokattiloita voisi lisäksi korostaa sopivalla valaisulla, jolloin tilan ja rakennuksen historia tulisi hyvin esille.



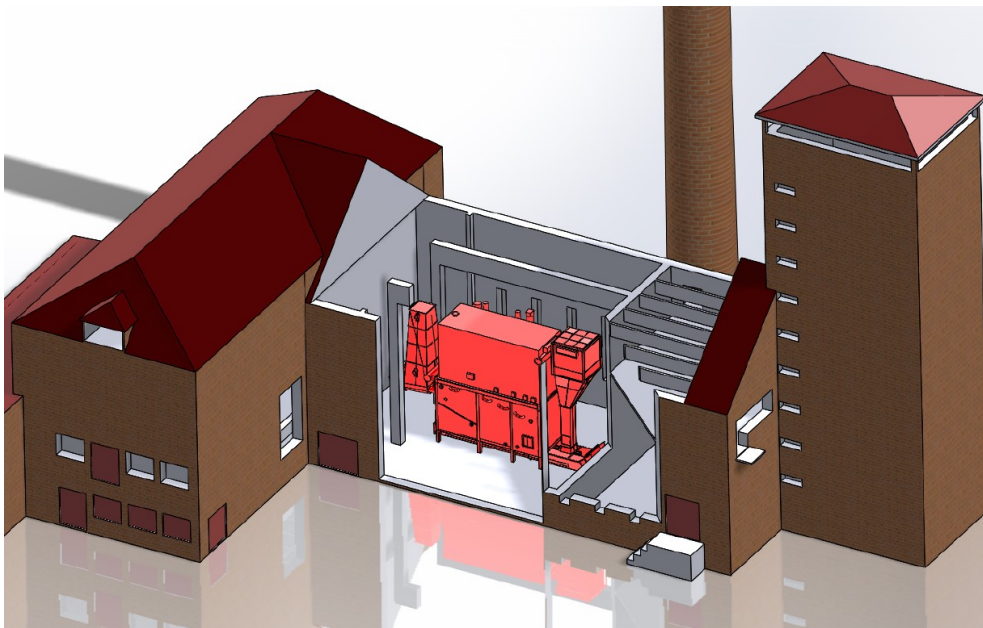
KUVA 32. Vanhat huoltotasot (Pollari 2015).

### 7.2.1 Valmistaja A

Työssä tarkastelluista vaihtoehdoista Valmistaja A:n valmistama 7 megawatin porrassarinakattila sopii vanhaan halkokattilatilaan parhaiten. Kattilan ympärille jää riittävästi tilaa KPA-laitoksen muille laitteille sekä huoltotasoille. Kuvissa 33 ja 34 on esitetty Valmistaja A:n 7 MW kattila halkokattilatilaan sijoitettuna.



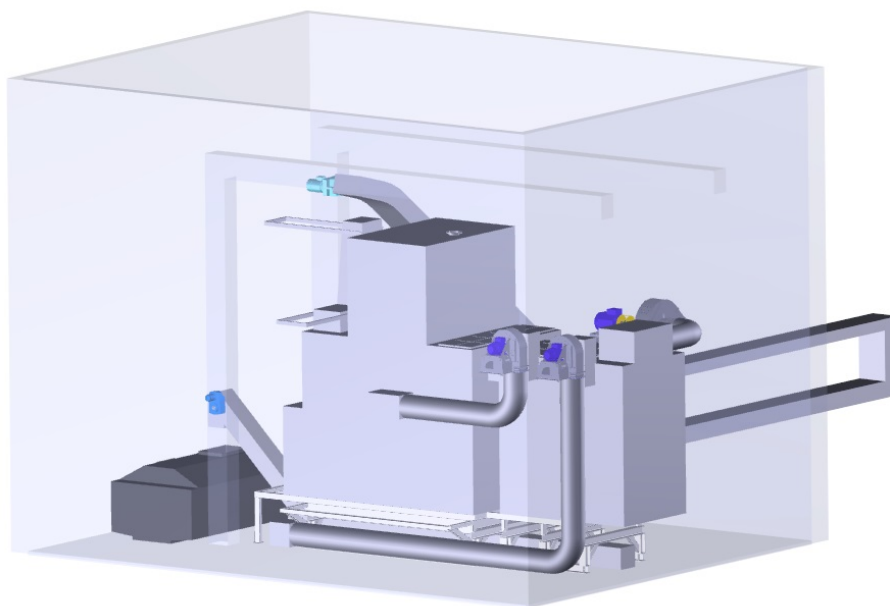
KUVA 33. Valmistaja A:n 7 MW –kattila eteläsivulta katsottuna (Pollari 2015).



KUVA 34. Valmistaja A:n 7 MW –kattila yläviihosta (Pollari 2015).

### 7.2.2 Valmistaja B

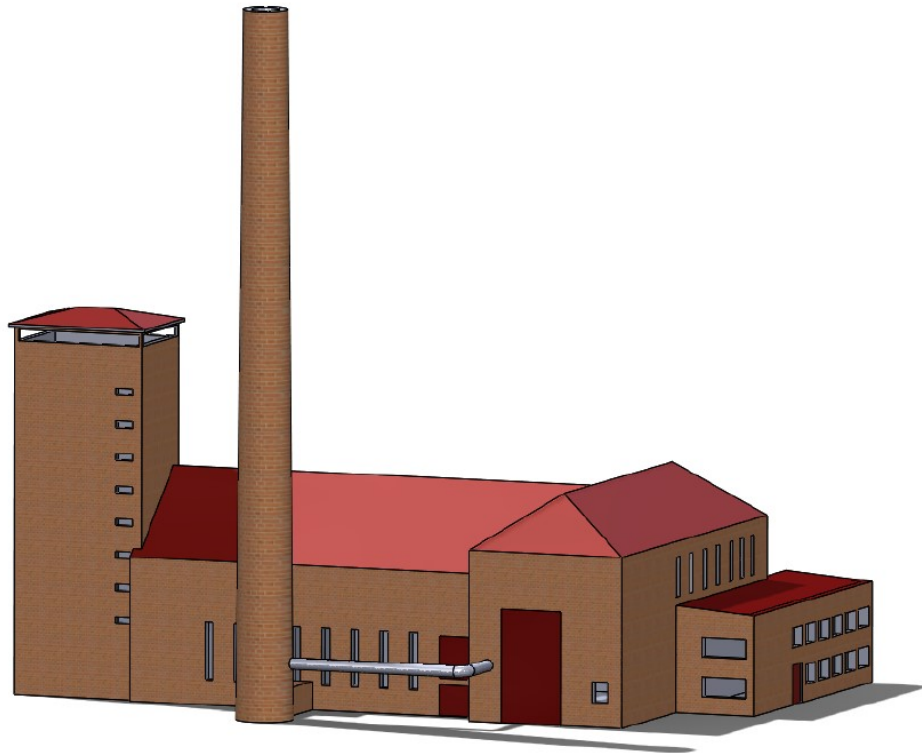
Toinen halkokattilatilaan sopiva kattilavaihtoehto on Valmistaja B:n valmistama 5 megawatin biokattila. Kuvassa 35 on esitetty Valmistaja B:n 5 MW kattila halkokattilatilaan sijoitettuna.



KUVA 35. Valmistaja B:n 5 MW biokattila halkokattilatilaan sijoitettuna. (Valmistaja B, 2015)

### 7.3 Varastohalli

Esiselvitystyön tuloksena ilmeni, että A-tehtaan varastohalli on paras olemassa oleva vaihtoehto KPA-laitoksen sijoituspaikaksi. Tila on lattiapinta-alaltaan suurempi kuin viereinen halkokattilatila ja se on myös noin kaksi metriä korkeampi (liite 4). Suurempi tila mahdollistaa aiempaa useamman kattilavaihtoehdon käyttämisen ja varastohalliin kohdistuvat rakenteelliset muutokset ovat myös huomattavasti pienempiä, kuin halkokattilatilan vaatimat muutokset. Merkittävimmät muutostyöt aiheutuvat betonisen välitason sekä vanhan lastaustason purkamisesta sekä korkean nosto-oven rakentamisesta varastohallin päätyseinään sekä savukaasukanavan ja polttoainekuljettimen läpivienneistä (kuva 36).



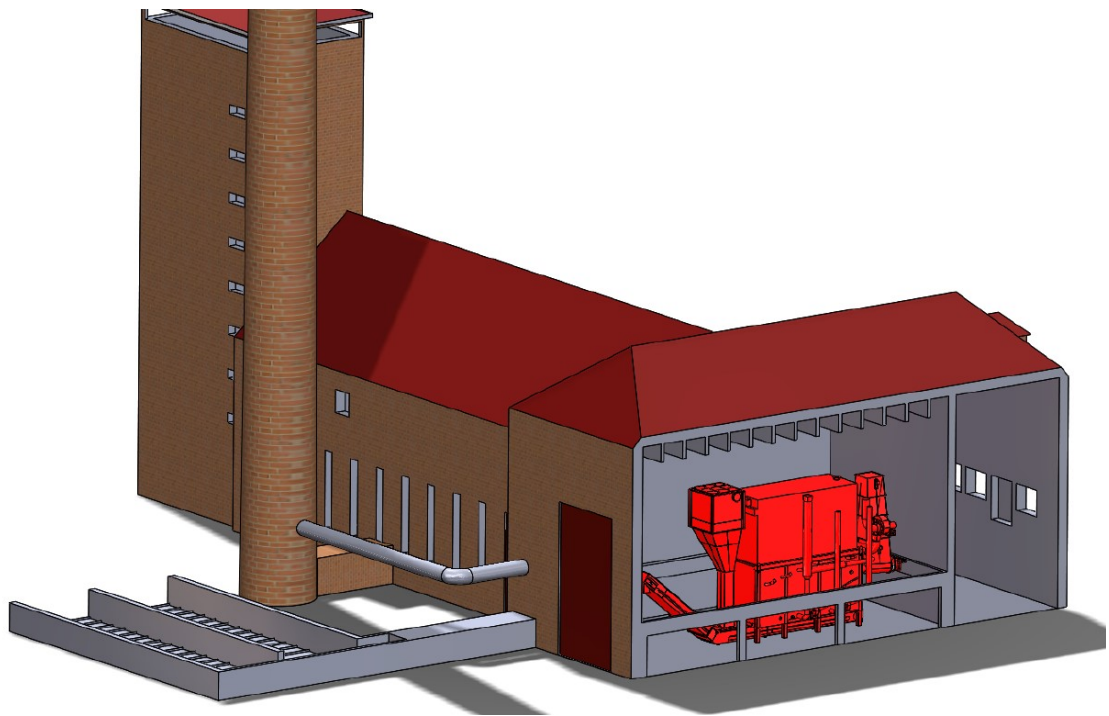
KUVA 36. Nosto-ovi varastohallin päätyseinässä (Pollari 2015).

Viereistä halkokattilatilaa voitaisiin hyödyntää aputilana, jonne sijoitettaisiin esimerkiksi kaukolämpöpumput, kaukolämmönvaihdin sekä vedenkäsittelylaitteistoja. Varastohallin eteläpäädyssä, varavoimakonehuoneen (liite 2) yläpuolella toisessa kerroksessa on vanha liimasäiliötila, josta on pääsy rakennuksen ulkopuolelle ja viereisiin toimistotiloihin. Tätä tilaa voisi käyttää esimerkiksi sähkö- ja

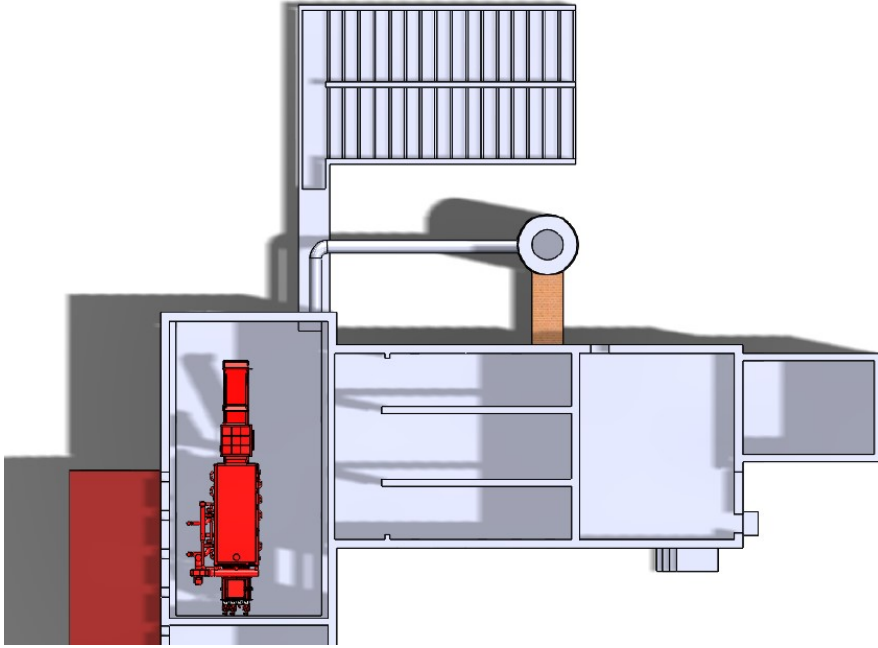
automaatiotilana, mutta vanha teräksinen liimasäiliö pitäisi ensin purkaa, jotta tilaa päästäisiin hyödyntämään. Säiliössä sekä sen lähiympäristössä on vielä vanhoja liimajäänteitä, joiden sisältö tulee selvittää vaarallisten tai haitallisten aineiden osalta ennen purkutöihin ryhtymistä.

### 7.3.1 Valmistaja A

Valmistaja A:n 7 MW porrassarinakattila, sen vaatimat oheislaitteet sekä huoltotasot mahtuvat varastotilaan ongelmitta. Kuvissa 37 ja 38 on esitetty 7 MW –kattila kyseisessä tilassa. Kuviin on hahmoteltu myös polttoaineiden vastaanottoa sekä savukaasukanavaa.



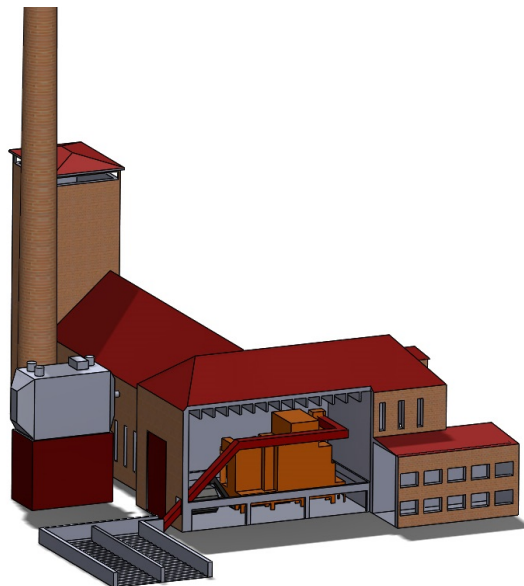
KUVA 37. Valmistaja A:n 7MW –kattila varastotilassa (Pollari 2015).



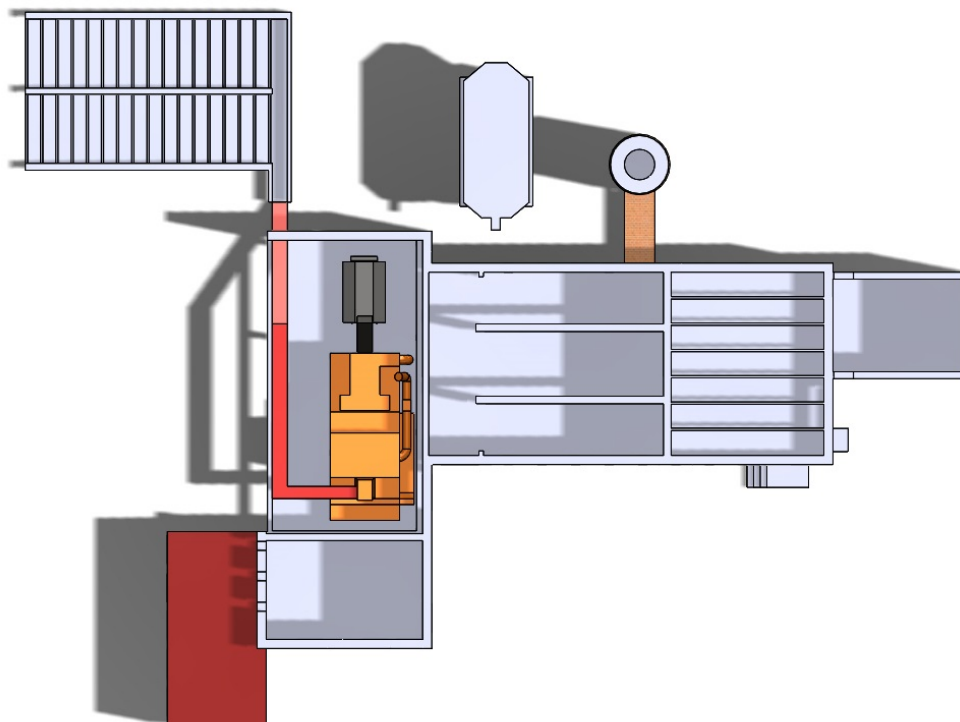
KUVA 38. 7MW –kattila varastohallissa ylhäältä katsottuna (Pollari 2015).

### 7.3.2 Valmistaja B

Toinen varastotilaan sopiva kattilavaihtoehto on Valmistaja B:n valmistama 7 megawatin biokattila. Kuvissa 39 ja 40 on esitetty 7MW:n kattila varastotilaan sijoitettuna. Kuviin on myös hahmoteltu kaksilinjaista vastaanottoa sekä savukaasujen puhdistuksessa mahdollisesti käytettävää sähkösuodinta.



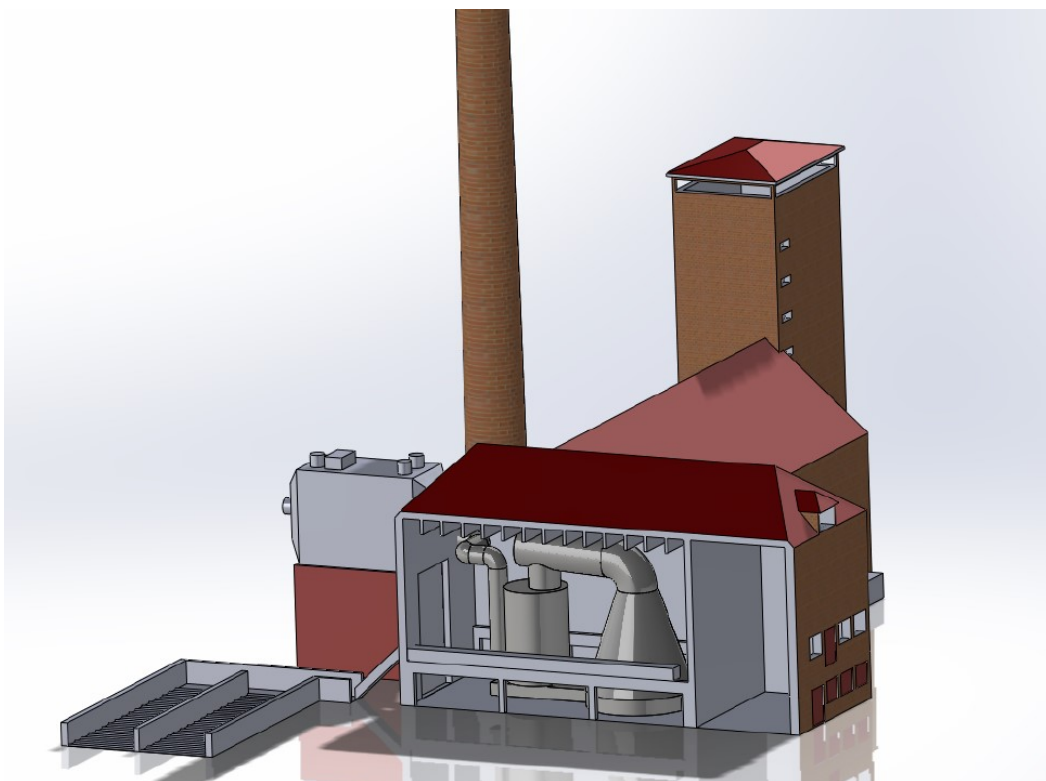
KUVA 39. Valmistaja B:n kattila varastotilassa (Pollari 2015).



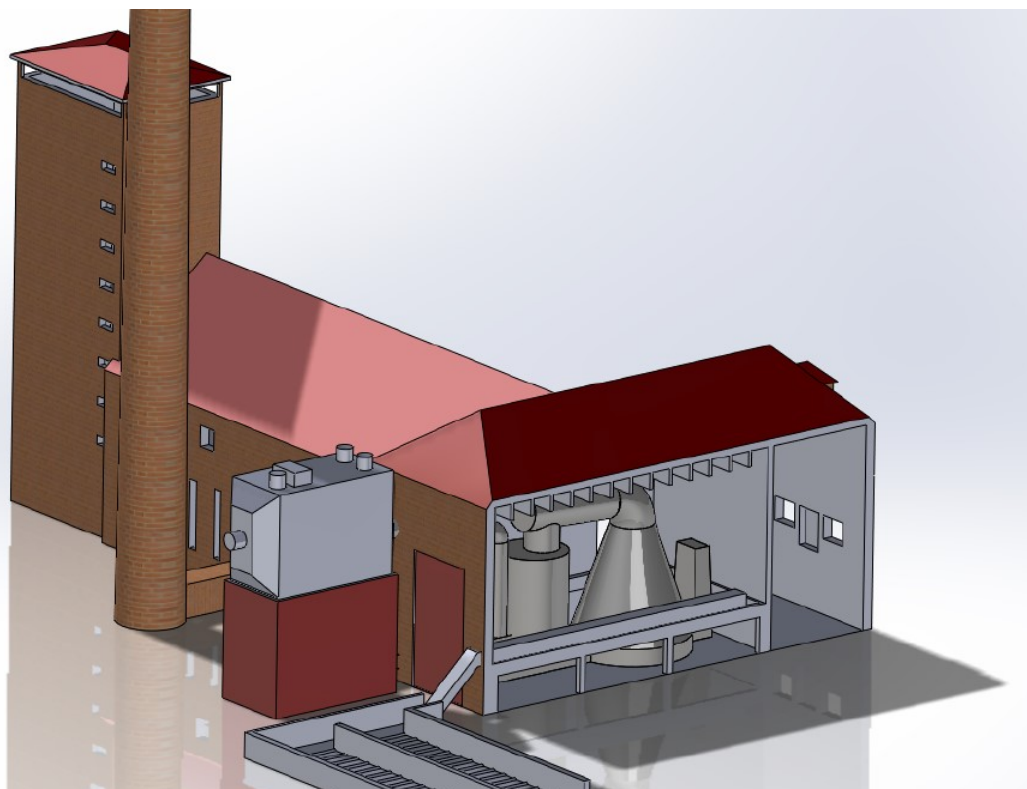
KUVA 40. Valmistaja B:n 7 MW kattila varastotilassa yläpuolelta tarkasteltuna (Pollari 2015).

### 7.3.3 Valmistaja C

Suuremman tilan myötä myös Valmistaja C:n 8 MW –kattila on toteuttamiskelpoinen vaihtoehto. Kuvissa 41 ja 42 on esitetty 8 megawatin biokattila varastotilassa. Kuviin on hahmoteltu myös kattilan savukaasujen puhdistukseen käytettävä sähkösuodatin.



KUVA 41. Valmistaja C:n 8 MW –kattila ja sähkösuodin (Pollari 2015).



KUVA 42. Valmistaja C:n 8 MW –kattila ja sähkösuodin (Pollari 2015).

## 8 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tuloksena syntyneen esiselvitysmateriaalin avulla työn tilaaja pystyi perustelemaan uuden vara- ja huippukuormalaitoksen hankintaa sekä käynnistämään KPA-laitoshankkeen esisuunnittelun. Työssä tarkastellusta tehdusrakennuksesta löytyi selkeä ratkaisuehdotus kattilalaitoksen sijoituspaikaksi. Opinnäytetyön tuloksena syntyneitä piirustuksia ja 3D-malleja hyödynnettiin myöhemmin esisuunnittelutyössä.

Päästökauppalain sekä energiatuen tarkastelun tuloksena havaittiin, että päästökauppalain piiriin kuuluvat hankkeet eivät ole pääsääntöisesti oikeutettuja energiatukeen. Tämä oli esiselvitystyön kannalta merkittävä havainto. Turve on päästökauppalain kannalta avainasemassa, sillä sen käyttö uudessa kattilalaitoksessa sitoisi tilaajan automaattisesti päästökauppalain piiriin. Polttoainevalinnoilla oli myös merkittävä vaikutus kattilalaitteiston suunnittelun ja mitoituksen kannalta.

Työn luonne aiheutti ongelmia, sillä kaikki laitetoimittajat eivät halunneet antaa materiaalia opiskelijan käytettäväksi. Työssä pystyttiin hyödyntämään hyvin rajallista otantaa eri kattilavaihtoehdoista, mutta käytettävissä olleen materiaalin perusteella voitiin todeta, että kattilalaitos voitaisiin sijoittaa tarkastelun kohteena olleisiin tiloihin. Työmäärä osoittautui myös oletettua suuremmaksi ja osaselvitystyön aikana kertyneestä materiaalista rajattiin tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Myös työn alkuperäinen aikataulu venyi, sillä hankkeessa oli mukana useita osapuolia. KPA-laitoshankkeesta olisi mahdollisesti voinut tehdä useammankin opinnäytetyön.

Työlle asetetut päätavoitteet saavutettiin ja tilaaja pystyi hyödyntämään työn tuloksia KPA-laitoshankkeen esisuunnittelu- suunnittelu- sekä toteutusvaiheessa. Työstä saatu palaute oli positiivista. Kehitettävää löytyi omasta työskentelystä, etenkin ajankäytöstä, sillä julkisen raportin valmistuminen venyi huomattavasti. Työn olisi voinut myös rajata tiukemmin mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta työn tavoitteet olisi saavutettu tehokkaammin. Opinnäytetyön te-

keminen tarjosi arvokasta lisätietoa energia-alasta, etenkin kaukolämmöntuotannosta ja työssä pääsi osaksi todellista teollisuuden projektia.

## LÄHTEET

- Alakangas, E., Hurskanen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT. Tampere: Juvenes Print. Luettu 22.3.2019. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>
- Bioenergia ry. Turveinfo. Palaturpeen tuotanto. N.d. Luettu 21.12.2018. <http://turveinfo.fi/turve/turvetuotanto/tuotantomenetelmat/palaturpeen-tuotanto/>
- Bioenergia ry. Turveinfo. Suomen turvemaat. N.d. Luettu 21.12.2018. <http://turveinfo.fi/turve/suomen-turvemaat/>
- Deltoid Lufttechnik. Centrifugal separator. N.d. [http://www.deltoid-lufttechnik.com/system/html/centrifugal\\_separator-f97c862f.jpg](http://www.deltoid-lufttechnik.com/system/html/centrifugal_separator-f97c862f.jpg)
- Energiateollisuus ry. Kaukolämmön toimintaperiaate. N.d. Luettu 19.3.2015 <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/toimintaperiaate>
- Energiateollisuus ry. Kaukolämpö 2016 graafeina. Luettu 20.12.2018 [https://energia.fi/files/2088/KL\\_kalvopaketti\\_tilastot\\_2016.pptx](https://energia.fi/files/2088/KL_kalvopaketti_tilastot_2016.pptx)
- Energiateollisuus ry. Turve. N.d. Luettu 12.5.2015 <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiالاhteet/turve>
- Euroopan Komissio. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi tiettyjen keskisuurista polttolaitoksista ilmaan joutuvien epäpuhtauspäästöjen rajoituksesta - ehdotus. 2013/0442 (COD). Luettu 4.5.2015 <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013PC0919&from=EN>
- Flyktman, M., Impola, R. & Linna, V. 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisenhallinta -suositus. VTT. Luettu 28.12.2018. [https://energia.fi/files/393/Pienten\\_polttolaitosten\\_palamisen\\_hallinta\\_loppuraportti.pdf](https://energia.fi/files/393/Pienten_polttolaitosten_palamisen_hallinta_loppuraportti.pdf)
- GASEK. Teknologia. Puun kaasutus. N.d. Luettu 15.4.2019 <http://www.gasek.fi/technology/wood-gasification/>
- Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 1999. Höyrykattilatekniikka. 5. painos. Helsinki: Edita.
- Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpilainen, S. 2011. Voimalaitostekniikka. 1. painos. Tampere: Juvenes Print.
- Keski-Suomen liitto. Keski-Suomen maakuntakaava. Maakunnallisesti arvokkaat rakennetut kulttuuriympäristöt Keski-Suomessa 2007. Luettu 5.5.2015. [http://www.keskisuomi.fi/filebank/1338-kulttuuriymparistot\\_mv07www.pdf](http://www.keskisuomi.fi/filebank/1338-kulttuuriymparistot_mv07www.pdf)

Keuruun kaupunki. Kaavoituspalvelut. Varissaaren asemakaava 2015.  
[http://www.keuruu.fi/images/kaavoituspalvelut/dokumentit/Varissaaren\\_I%C3%A4nsi-ja\\_etel%C3%A4osa/Hyv%C3%A4ksyminen/Havainnekuvat.pdf](http://www.keuruu.fi/images/kaavoituspalvelut/dokumentit/Varissaaren_I%C3%A4nsi-ja_etel%C3%A4osa/Hyv%C3%A4ksyminen/Havainnekuvat.pdf)

Keuruun Lämpövoima Oy. Kaukolämmön saatavuuskartat 2013. Luettu 5.5.2015.

<http://www.keuruunsahko.fi/lampovoima/kaukolampokartat>

Keuruun Lämpövoima Oy. Tuotanto 2013. Luettu 5.5.2015.

<http://www.keuruunsahko.fi/lampovoima/tuotanto>

Keuruun Lämpövoima Oy. Varissaaren voimalaitos 2013. Luettu 5.5.2015.

<http://www.keuruunsahko.fi/lampovoima/tuotanto/suunnannayttaja-suomessa>

KPA Unicon. Biograte-kattila. 2018.

<https://www.kpaunicon.com/app/uploads/2018/09/biograte-300x197.png>

KPA Unicon. Biomass. Biograte boiler. 2018. Luettu 4.5.2019

<https://www.kpaunicon.com/create/biomass/biograte/>

Laatukattilat Oy. LAKA Y-esite. 2015. Tallennettu 26.4.2019.

<http://www.laatukattila.fi/extranet/ext/cms3/attachments/laka-y-esite-fin.pdf>

Motridal. Bulk material handling. Chain conveyors. 2017.

<http://www.motridal.com/wp-content/uploads/2017/06/Chain-Conveyors-5.jpg>

NHK Group. Tankopurkainjärjestelmä. 2016.

<http://www.nhk.fi/images/big/tankopurkain3.jpg>

Päästökauppalaki 8.4.2011/311

Redecam Group. Air filtration products. Dual-Action filters. 2015.

<http://www.redecam.com/wp-content/uploads/2015/03/Dual-ActionFilter.jpg>

Ripper, W. 1913. Heat Engines. Babcock & Wilcox boiler.

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/Babcock\\_and\\_Wilcox\\_boiler\\_%28Heat\\_Engines%2C\\_1913%29.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/Babcock_and_Wilcox_boiler_%28Heat_Engines%2C_1913%29.jpg)

Seipro Oy. Ruuvikuljetin. 2016.

<https://www.seipro.fi/wp-content/uploads/2016/01/Ruuvikuljetin-1-300x188.jpg>

Työ- ja elinkeinoministeriö. Energiatuki. Tuen määrä 2015. Luettu 27.4.2015

[https://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen\\_maara](https://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen_maara)

Työ- ja elinkeinoministeriö. Energiatuki. Tuettavat hankkeet 2015. Luettu 27.4.2015.

[https://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuettavat\\_hankkeet](https://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuettavat_hankkeet)

Työ- ja elinkeinoministeriö. Päästökauppa 2015. Luettu 27.4.2015

<https://www.tem.fi/energia/paastokauppa>

Työ- ja elinkeinoministeriö. Päästökauppa. Päästöjen tarkkailu ja todentaminen 2015. Luettu 27.4.2015

[https://www.tem.fi/energia/paastokauppa/paastojen\\_tarkkailu\\_ja\\_todentaminen](https://www.tem.fi/energia/paastokauppa/paastojen_tarkkailu_ja_todentaminen)

Valmet. Energy production. CYMIC CFB boilers. 2015.

[https://www.valmet.com/globalassets/products/energy-production/cfb-boilers/17367\\_valmet\\_naantali\\_cymic\\_tulipesa\\_ja\\_sykloni\\_2015\\_05\\_06\\_web-versio.jpg](https://www.valmet.com/globalassets/products/energy-production/cfb-boilers/17367_valmet_naantali_cymic_tulipesa_ja_sykloni_2015_05_06_web-versio.jpg)

Valmet. Energy production. HYPEX BFB boilers. 2015.

<https://www.valmet.com/globalassets/products/energy-production/bfb-boilers/bfb2.jpg>

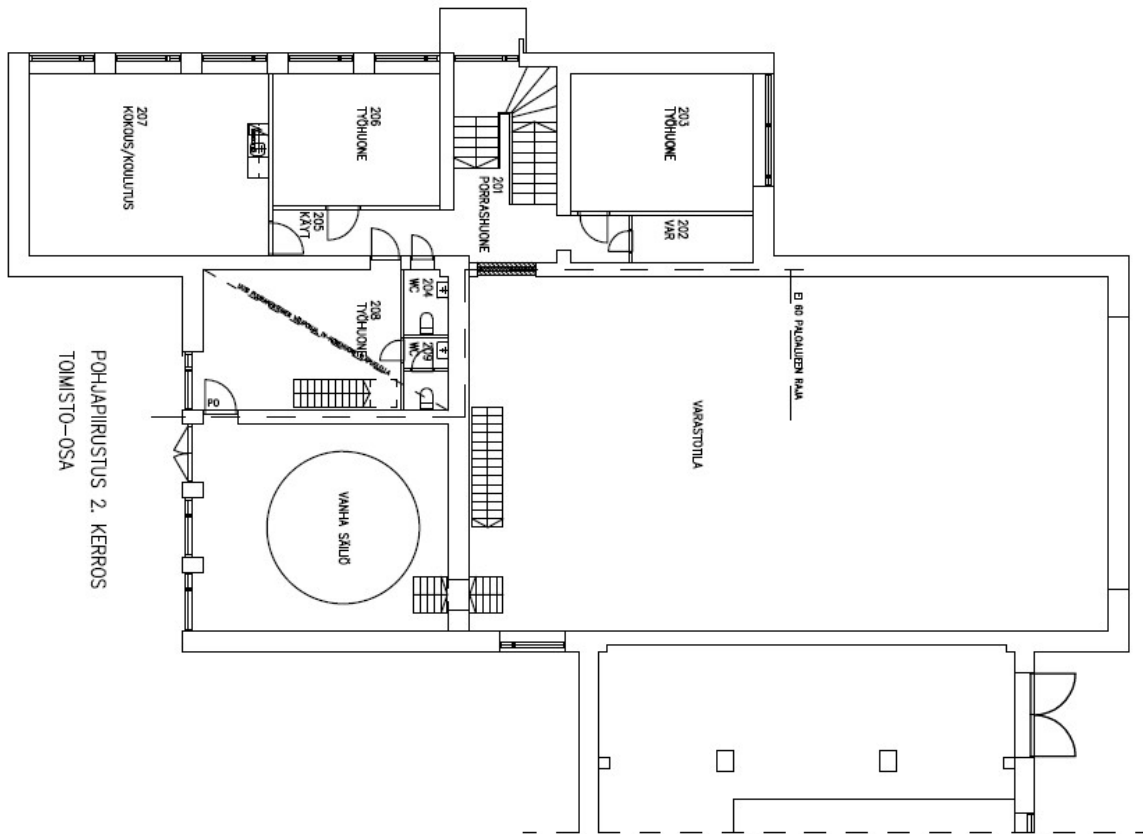
Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristövaatimuksista (750/2013).

Vesanto, P. Jätteenpolton BREF 2006. Suomen Ympäristö.

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38712/SY\\_27\\_2006.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38712/SY_27_2006.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527





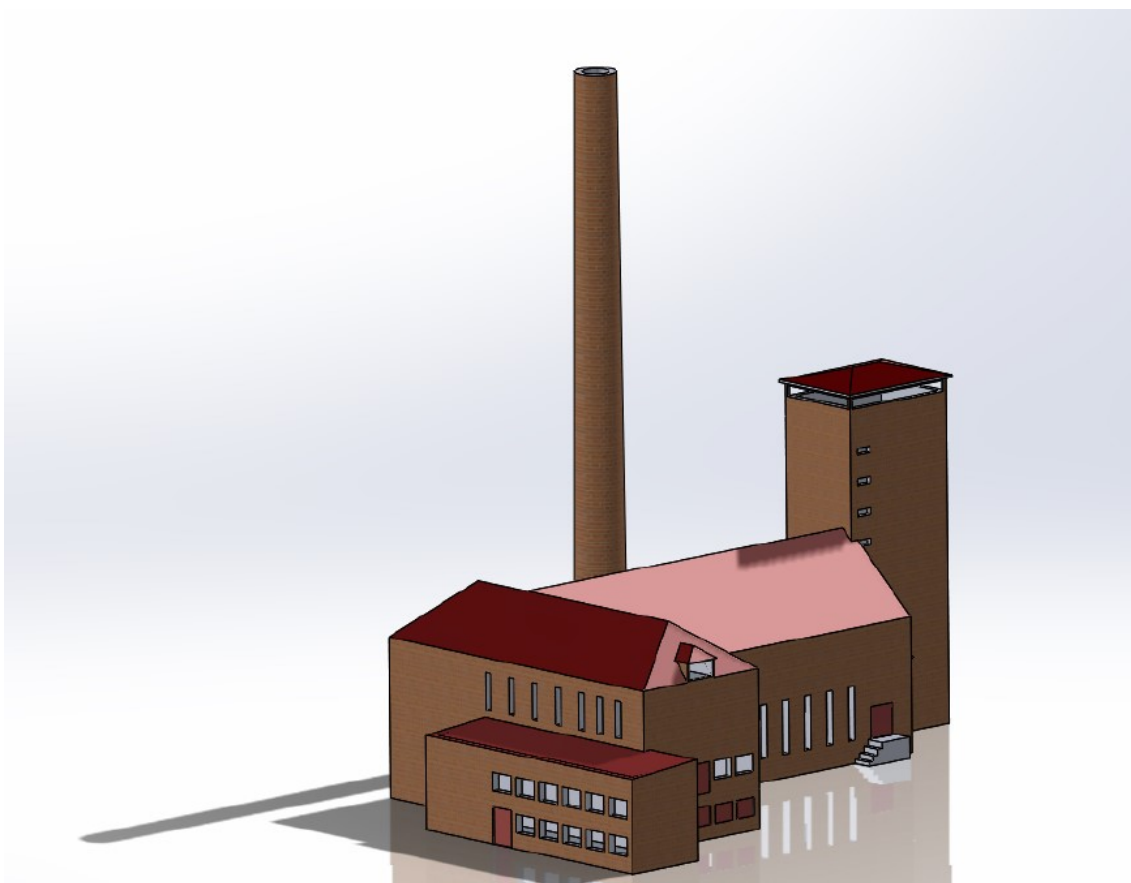
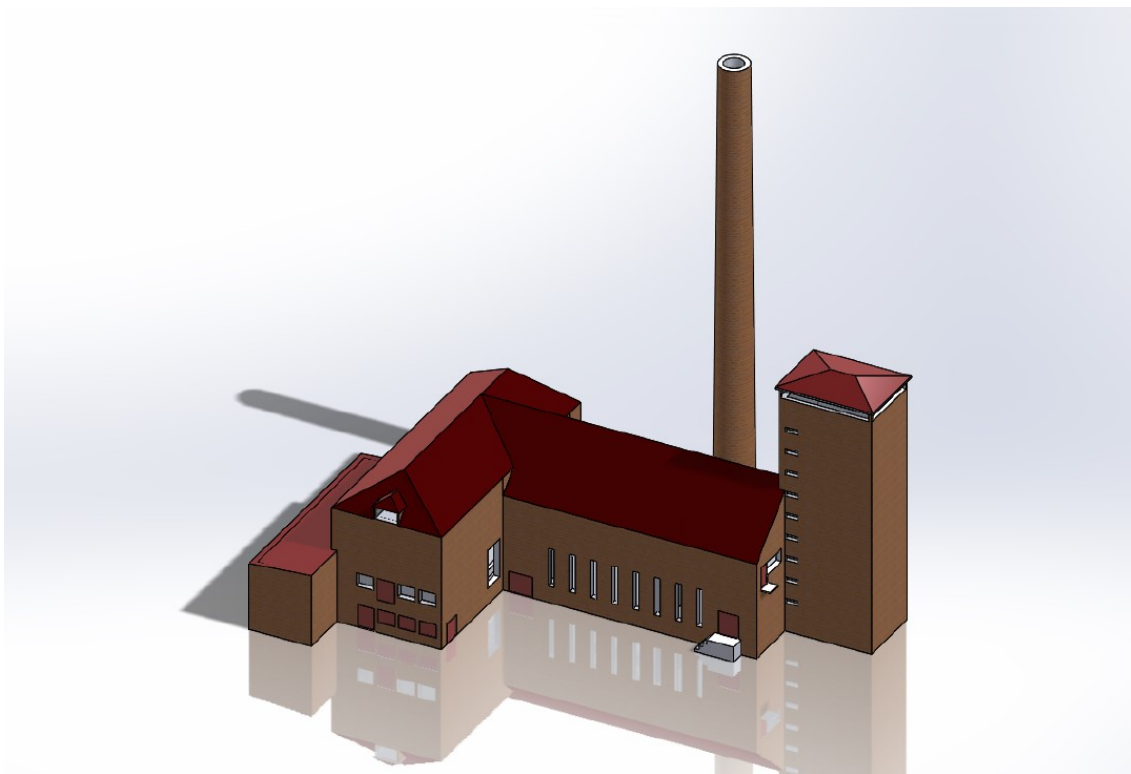


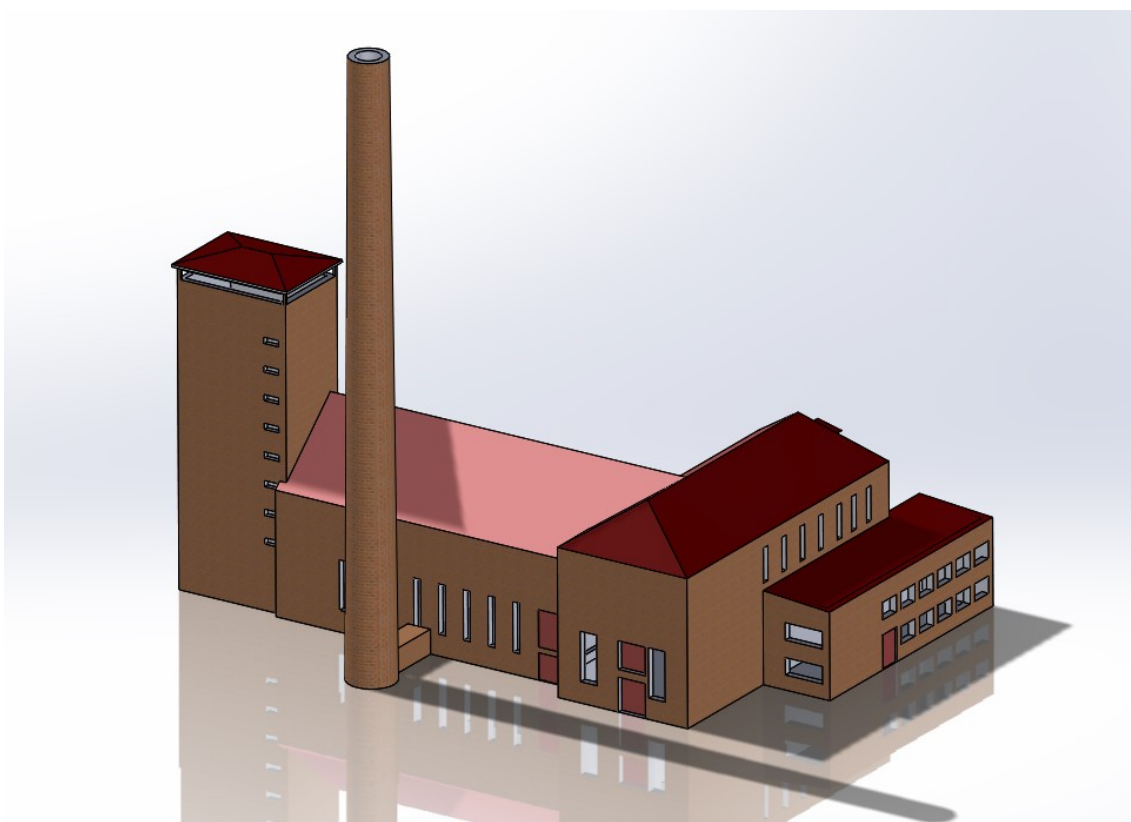
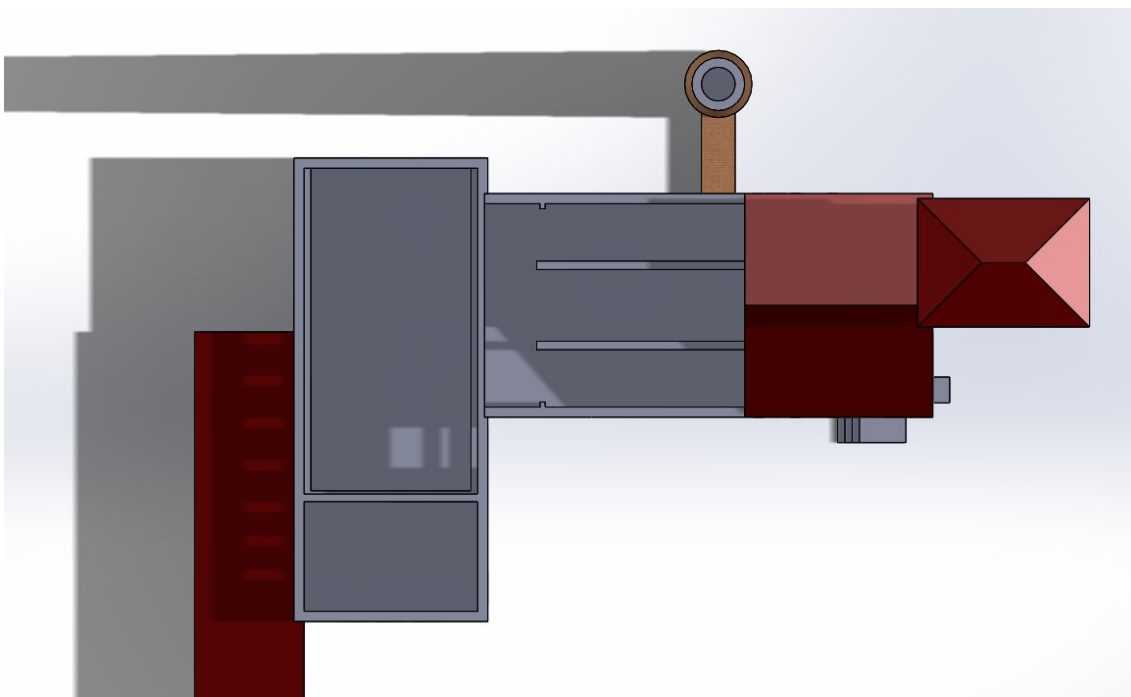




## Liite 5. Rakennuksen 3D-mallit

1 (2)





## Liite 6. Kulttuurihistoriallisesti merkittävän rakennuksen työmaa-aikaisen dokumentoinnin yleisohje

1 (2)

### KULTTUURIHISTORIAALLISESTI MERKITTÄVÄN RAKENNUKSEN TYÖMAA-AIKAISEN DOKUMENTOINNIN YLEISOHJE

Työmaa-aikaisen (muutoskeskeisen) tutkimuksen ja dokumentoinnin tarkoituksena on tallentaa kohteessa hankkeen aikana tapahtuneet muutokset rakennushistoriallisista lähtökohdista. Työmaa-aikainen dokumentointi täydentää myös osaltaan rakennuksen lähtötietoja niiltä osin, kuin aineistoja ei ole tai niiden tarkkuus on suhteellista. Lisäksi dokumentoinnilla saadaan tietoa aikakauden rakentamisen tavoista ja materiaaleista kulloisenkin kohteen erityisominaisuuksien lisäksi.

Dokumentointi tallentaa toteutettavasta hankkeesta tietoaineistoa rakennuksen tulevaisuutta varten esim. tulevien korjausten avuksi. Myös hankkeen aikana tehtävissä palauttavissa toimenpiteissä voidaan hyödyntää ajantasaisesti dokumentoijan kokoamaa tietoaineistoa ja havaintoja eri-ikäisistä kerroksista. Erityisen tärkeää dokumentointi on silloin, kun rakennuksesta puretaan sen alkuperäisiä materiaaleja, rakenteita tai rakennusosia. Dokumentoinnin avulla näistä jää tieto elämään.

#### Hyvä dokumentointi sisältää (koko rakennuksesta) seuraavat kokonaisuudet:

- 1) yleiskuvaus ennen korjaus-/muutostöimenpiteitä, niiden aikana ja j valmistuneena
- 2) purkurakenteiden dokumentointi tyypeittäin valokuvaamalla, poistettavien materiaalien ja värien dokumentointi (eri-ikäiset kerrostumat)
- 3) purkutöissä havaittavien vaurioiden dokumentointi
- 4) uusien rakenteiden dokumentointi rakennetyypeittäin valokuvaamalla (nykydokumentointi)
- 5) työvaihekuvat (maalaukset, välipohjien korjaus, talotekniikan asennukset yms.)
- 6) mahdollisten uudelleen toteutettavien rakennusosien dokumentointi ennen purkua malliksi uudelleen toteutukselle erikseen sovitulla tavalla.
- 7) dokumentointiin kuuluvat erilaiset talteenotot puretuista rakenteista (rakennushistoriallisesti merkittäviä rakennusosia ja rakennusmateriaaleja tms.) sekä rakennuksesta löytyvien sen käyttöön liittyvien esineiden talteenotto.
- 8) aineiston käsittelyn ja tallennuksen niin, että se on saavutettavissa mahdollisimman monelle ja mahdollisimman pitkän aikaa. Aineiston tulee olla periaatteessa käytössä jokaisessa seuraavassa korjauksessa, joka rakennukseen tehdään.

#### Lisätietoja:

Keski-Suomen museo  
rakennustutkija Saija Silen  
[saija.silen@jkl.fi](mailto:saija.silen@jkl.fi)  
puh. 050 -311 8880 tai 014-266 4350  
toimisto: Vapaudenkatu 28, 1 krs.

### Sisätilojen rakenteiden tai rakennusosien dokumentointi

Tarkoituksena tallentaa rakenne tai rakennusosa niin, että kerättyjen dokumentointitietojen perusteella voitaisiin rakentaa vastaavanlainen, alkuperäisellä mitoituksella ja materiaalein alkuperäistä näkemättä.

- prosessi etenee seuraavasti : valokuvaus, sijainti merkitään kohta pohjakuvaan ja otetaan tarvittaessa pieni mallipala talteen tai kirjoitetaan kohteeseen liittyvä kuvausteksti
- tarvittaessa piirretään rakenne tai jäljennetään esim.maalaus
- kuvat otetaan mahdollisimman isolla resoluutiolla ja päiväystiedot laitetaan mukaan
- dokumentoidaan rakenne ja materiaalit kaikista purettavista tai korjattavista rakenteista, kaikki ajalliset kerrostumat ( ei siis vain ”ydinrakennetta”). Jos kuva ei kerro rakenteesta riittävästi, kirjataan se muulla tavoin kohteen yhteyteen.
- mahdolliset värimallit eri aikakausilta dokumentoidaan (eli maalikerrokset ) ja esitetään kronologisesti
- myös mahdolliset levy- tai muut pinnoitemateriaalit tallennetaan kuvaamalla tai vaihtoehtoisesti mallipaloin tai kirjoittaen (nimetään materiaali ja paksuus sekä väri)
- tiiliseinät dokumentoidaan niin hyvin, että verhouk voidaan palauttaa sen perusteella alkuperäiseen asuunsa. Tämä pitää sisällään limityksen dokumentoinnin, saumaväriytyksen, saumapaksuuden ja saumakäsittelyn. Tiilet tulee pyrkiä säilyttämään uudelleenkäyttöä varten jos mahdollista ja palauttaa kohteeseen.
- Myös sisätiloissa on ollut erilaisia ikkunallisia tiloja, erilaisiin tarpeisiin. Purku- tai muutostöiden osalta myös näissä rakenteissa osana muuta dokumentointia dokumentoidaan myös sisätilojen ikkunat : kaikki erilaiset tyypit.
- kuvia ovista (eri tyypeistä ) ennen poistoa, myös mahdolliset väriyty- ja helakuvat yksityiskohdakuvin
- portaiden yleinen valokuvaus ennen purkua, purkamisen aikana ja lopputilanne lisäksi väriyty- ja muut portaikkoon liittyvät erityispiirteet dokumentoidaan
- mahdollisten hormien purku valokuvataan, jos löytyy järjestelmään kuuluvia erityisrakenteita tai materiaaleja, jotka dokumentoidaan kuvaamalla (tai kirjataan) tarpeen mukaan tarkemmin