



Kattilalaitoksen ennakkohuoltosuunnitelmien analysointi ja kehittäminen

Ida Kuukkanen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2025

Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

KUUKKANEN, IDA:

Kattilalaitoksen ennakkohuoltosuunnitelmien analysointi ja kehittäminen

Opinnäytetyö 50 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2025

Opinnäytetyö liittyy Tampereen Energia Oy:n Naistenlahti 3 -biovoimalaitoksen kattilalaitoksen laitteiden ennakkohuoltosuunnitelmiin. Työn tavoitteena oli varmistaa laitteiden asianmukainen ennakkohuolto ja siten parantaa sekä laitteiden että laitoksen käyttövarmuutta. Työssä tavoiteltiin myös selkeämpää ja tehokkaampaa ennakkohuoltotöihin liittyvää kunnossapitoprosessia.

Työn tarkoituksena oli tarkastaa, korjata ja tarvittaessa laatia uusia ennakkohuoltosuunnitelmia, joiden avulla edistetään laitteiden tarkoituksenmukaisen ennakko-
huollon toteutumista. Samalla laadittiin lisäohjeita tukemaan mekaanisen kunnossapitotiimin suorittamia ennakkohuoltotöitä. Ennakkohuoltosuunnitelmien kehitystyö perustui laitoksen laitteiden tuntemukseen ja voimalaitosprosessin ymmärtämiseen. Taustateorian ja laitteiden huolto-ohjeiden selvittämisessä hyödynnettiin kirjallisuutta, internetlähteitä, laitemanuaaleja sekä yrityksen sisäisiä koulutusmateriaaleja.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin laadittua listaus laitteille määritetyistä ennakko-
huoltotöistä. Tätä hyödynnettiin laitteiden ennakkohuoltosuunnitelmien täydentä-
misessä ja korjaamisessa, minkä yhteydessä listaukseen dokumentoitiin laittei-
den työsuunnitelmien lähtötilanne ja tehdyt muutokset. Lisäohjeita vaativiin töihin
luotiin kuvalliset työohjeet, joiden avulla selkeytetään ennakkohuoltoon liittyvien
työtehtävien suorittamista.

Työn lopputuotokset siirtyvät mekaanisen kunnossapitotiimin käytettäväksi tuke-
maan ja edistämään laitteille suoritettavia ennakkohuoltotöitä. Ajantasaiset työ-
suunnitelmat ja ohjeet ovat kriittisessä roolissa laitoksen ja laitteiden käyttövar-
muuden kannalta, minkä vuoksi ennakkohuoltosuunnitelmia tulee uudelleenarvi-
oida säännöllisesti ja päivittää tarpeen mukaan. Laadukkaat työsuunnitelmat ja
riittävä ohjeistus ammattitaitoisen henkilökunnan tukena muodostavat vahvan
perustan optimaalisille kunnossapitoprosesseille.

Asiasanat: kiertopetikattila, kunnossapito, ennakkohuoltosuunnitelma

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

KUUKKANEN, IDA:
Analysis and Development of Boiler Plant's Preventive Maintenance Plans

Bachelor's thesis 50 pages, appendices 2 pages
May 2025

This thesis was created for Tampereen Energia Oy. The objective was to review and improve preventive maintenance plans for the equipment of the boiler plant at Naistenlahti 3 power plant. The goal was to improve the operational reliability of both the equipment and the plant by ensuring proper preventive maintenance procedures. In addition, the study aimed to make the maintenance process more systematic and more efficient.

Existing maintenance plans were reviewed and updated, and new plans were created when necessary. Detailed work instructions were prepared to support maintenance tasks. The development work was based on an understanding of the plant processes and equipment functionality.

As a result, a list of preventive maintenance tasks was compiled and used for updating the plans. The list included the initial status and changes made. For more extensive tasks, detailed work instructions were created to support task execution.

The results of the thesis will support the mechanical maintenance team in preventive maintenance operations. Up-to-date plans and instructions play a critical role in ensuring operational reliability of the plant and its equipment. Therefore, regular reviews and updates of the plans and instructions are essential to maintain an effective maintenance process.

Key words: CFB-boiler, maintenance, preventive maintenance plans

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TAMPEREEN ENERGIA OY	8
2.1	Tuotantolaitokset.....	9
2.2	Naistenlahti 3 voimalaitosprosessi	10
3	KIERTOPETIKATTILA	13
3.1	Rakenne ja toimintaperiaate	13
3.1.1	Tulipesä.....	14
3.1.2	Sykloni.....	16
3.1.3	Hiekkalukko	17
3.1.4	Savukaasukanava	17
3.1.5	Tulistimet.....	17
3.1.6	Esilämmittimet	19
3.2	Vesi-höyrypiiri luonnonkiertokattilassa	20
3.3	Ilma-savukaasujärjestelmä.....	21
4	LAITTEET JA NIIDEN ENNAKKOHUOLTOTYÖT	23
4.1	Pumput.....	23
4.2	Venttiilit	24
4.3	Puhaltimet	26
4.4	Kuljettimet	27
4.5	Sulkusyöttimet.....	28
4.6	Pellit	29
4.7	Nuohoimet.....	30
5	TEOLLISUUDEN KUNNOSSAPITO	32
5.1	Kunnossapito ja kunnossapitolajit	32
5.2	Ennakkohuolto	34
5.3	Kunnossapitojärjestelmä	35
6	TULOKSET	37
6.1	Selvitys laitteiden ennakkohuoltotöistä.....	37
6.2	Ennakkohuoltosuunnitelmat	38
6.3	Työohjeet	41
7	POHDINTA	44
	LÄHTEET.....	46
	LIITTEET	49
	Liite 1. Esimerkki ennakkohuoltolistasta	49
	Liite 2. Esimerkki lisäohjeesta	50

LYHENTEET JA TERMIT

CFB-kattila	Circulating Fluidized Bed eli kiertopetikattila
CHP	Combined Heat and Power eli lämmön ja sähkön yhteistuotanto
NSL3	Naistenlahti 3
SRF	Solid Recovered Fuel eli kierrätyspolttoaine

1 JOHDANTO

Voimalaitoksella tapahtuvat äkilliset laiteviat voivat aiheuttaa tuotantokatkoksia ja merkittäviä taloudellisia menetyksiä. Laitteen äkillisen vikaantumisen riskiä voidaan kuitenkin pienentää ennakoivilla huoltotöillä, jotka ovat yksi teollisuuden kunnossapidon keskeisimmistä osa-alueista. Niiden tavoitteena on varmistaa laitteiden luotettava toiminta sekä ehkäistä vikatiloja ja siten vähentää tuotantokosten riskiä. Huolellisesti laaditut ennakkohuoltosuunnitelmat ja niiden toteuttaminen sekä pidentävät laitteiden käyttöikää että tehostavat tuotantoprosessia.

Vuonna 2022 Tampereen Energia Oy:n Naistenlahden voimalaitosalueelle valmistuneen kattilalaitoksen takuuajan päättymisen lähestyessä havaittiin tarve tarkastaa toimituskokonaisuuteen sisältyneiden laitteiden ennakkohuoltosuunnitelmat. Laitteille on laitoksen käyttöönoton jälkeen laadittu työsuunnitelmia kunnossapitojärjestelmään, mutta systemaattista tarkastusta ennakkohuoltotöiden tilasta ei ole suoritettu.

Tämän toiminnallisen opinnäytetyön tavoitteena on varmistaa kattilalaitoksen laitteiden tarkoituksenmukainen ennakkohuolto ja siten minimoida laitteiden vikaantumisen sekä epäkäytettävyytilanteiden riski. Toisena tavoitteena on selkeyttää ja tehostaa ennakkohuoltotöihin liittyvää kunnossapitoprosessia. Työn aihe on rajattu liittyvän uuden kattilalaitoksen laitteisiin, ja kokonaisuudessaan yksittäisiä tarkastettavia kohteita on yhteensä 502 kappaletta.

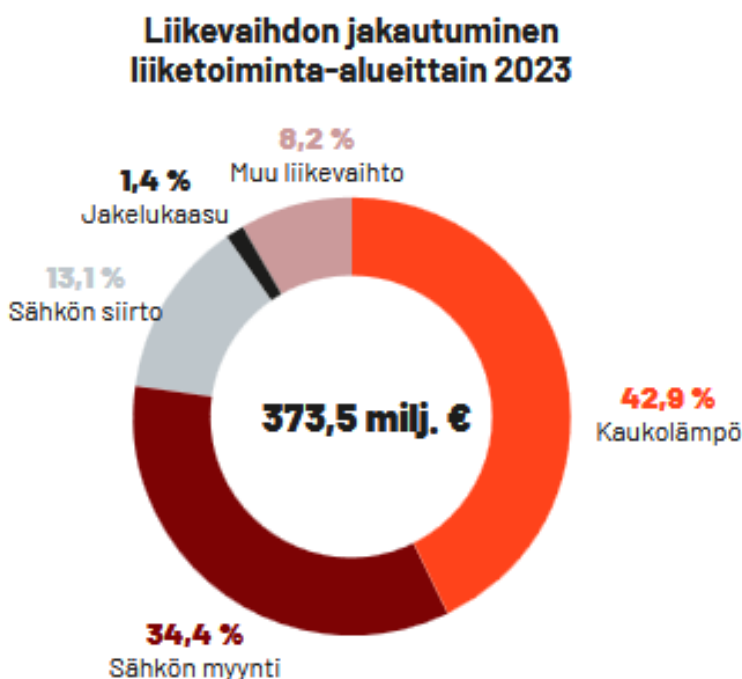
Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdytään kattilalaitoksen toimintaan, rakenteisiin ja keskeisimpiin laitteisiin sekä niiden ennakkohuoltoon. Toiminnallisessa osuudessa suoritetaan laitekohtaisten ennakkohuoltosuunnitelmien tarkastus, korjaus ja tarvittaessa uusien suunnitelmien laatiminen. Suunnitelmien korjaus ja uusien teko perustuu laitevalmistajien ohjeisiin, voimalaitos- ja kunnossapitoprosessin tuntemukseen sekä kunnossapidon ammattilaisten käyttöperäiseen kokeemukseen ja ammattitaitoon. Lisäksi työssä on tarkoituksena laatia lisäohjeita ennakkohuoltotöiden suorittamisen sujuvoittamiseksi. Yksityiskohtaiset ja selkeät työohjeet tukevat esimerkiksi kunnossapitotehtävien systemaattista suoritta-

mista, vähentävät inhimillisten virheiden riskiä ja helpottavat uusien työntekijöiden perehdytysprosessia. Luottamuksellisen sisältönsä vuoksi laadittuja ennakko-ohjelmia ja työohjeita ei esitellä tässä raportissa yksityiskohtaisesti.

2 TAMPEREEN ENERGIA OY

Opinnäytetyön toimeksiantajayritys Tampereen Energia Oy on Tampereen kaupungin omistama energia-alan yritys. Yritys on perustettu vuonna 1888 ja sen päätuotteita ovat sähkön, kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen tuotanto sekä jakelu. Emoyhtiö Tampereen Energia Oy:n lisäksi konserniin kuuluvat sen tytäryhtiöt Tampereen Energia Sähköverkko Oy, Tampereen Vera Oy ja Tammervoima Oy. Tammervoima Oy:n toisena omistajana toimii Pirkanmaan Jätehuolto Oy. (Tampereen Energia Oy 2024.)

Vuonna 2023 Tampereen Energia Oy tuotti sähköä 474 GWh ja kaukolämpöä 2268 GWh. Samana vuonna se työllisti 392 henkilöä ja yhtiön liikevaihto oli 373,5 miljoonaa euroa. Liikevaihdon jakautuminen liiketoiminta-alueittain on esitelty kuviossa 1. Suurimmat liiketoiminta-alueet liikevaihdon näkökulmasta olivat kaukolämpö ja sähkön myynti. (Tampereen Energia Oy 2024.)



KUVIO 1. Tampereen Energia Oy:n liikevaihdon jakautuminen vuonna 2023 (Tampereen Energia Oy 2024).

Tampereen Energia Oy:n tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä ja hiilinegatiivinen vuoteen 2040 mennessä. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi yritys investoi tulevaisuuden energiaratkaisuihin, kuten uusiutuvaan energiaan ja älykkään sähkö- ja lämpöverkon kehittämiseen. Lisäksi se kehittää jatkuvasti puhtaan energiantuotannon mahdollistavia tuotantotapoja ja voimalaitoksia sekä omaa uusiutuvan energian tuotantoaan. (Tampereen Energia Oy 2024.)

2.1 Tuotantolaitokset

Yhtiöllä on useita energiantuotantolaitoksia ja lämpökeskuksia Tampereen ja lähikuntien alueella. Sähkön- ja lämmöntuotannossa yhtiö hyödyntää pääsääntöisesti yhteistuotantoa, jonka avulla polttoaineen sisältämästä energiasta saadaan hyödynnettyä jopa 90 %. Sähköä ja lämpöä tuotetaan Naistenlahden voimalaitoksella, Lielahden voimalaitoksella sekä Tammervoiman hyötyvoimalaitoksella. Naistenlahdessa sijaitseva biovoimalaitos pystyy hyödyntämään tuotannossaan 100 % uusiutuvia polttoaineita, kun taas Tarastenjärvellä sijaitseva hyötyvoimalaitos hyödyntää energiantuotannossaan sekajätettä. Lielahden yhteistuotantovoimalaitos toimii varavoimalana, jota käytetään kylmimpinä talvikuukausina. Lisäksi Lielahden voimalaitosalueella sijaitsee sähkökattila, joka mahdollistaa kaukolämmön tuoton sähkön avulla. Sähkökattilaa hyödynnetään lämmöntuotantoon erityisesti silloin, kun uusiutuvaa sähköä on saatavilla paljon. Lämpökeskuksia yhtiö käyttää vara- ja huippukuormalaitoksina kaukolämmön tuottoon. (Tampereen Energia Oy 2025a; Tampereen Energia Oy 2025b.)

Edellä mainittujen laitosten lisäksi yhtiöllä on kolme vesivoimalaitosta Tammerkoskessa: Keskikoski, Tampella ja Finlayson. Vesivoimalaitoksia käytetään erityisesti säätösähkön tuottoon ja Näsijärven pinnankorkeuden säätelyyn. (Tampereen Energia Oy 2025c.)

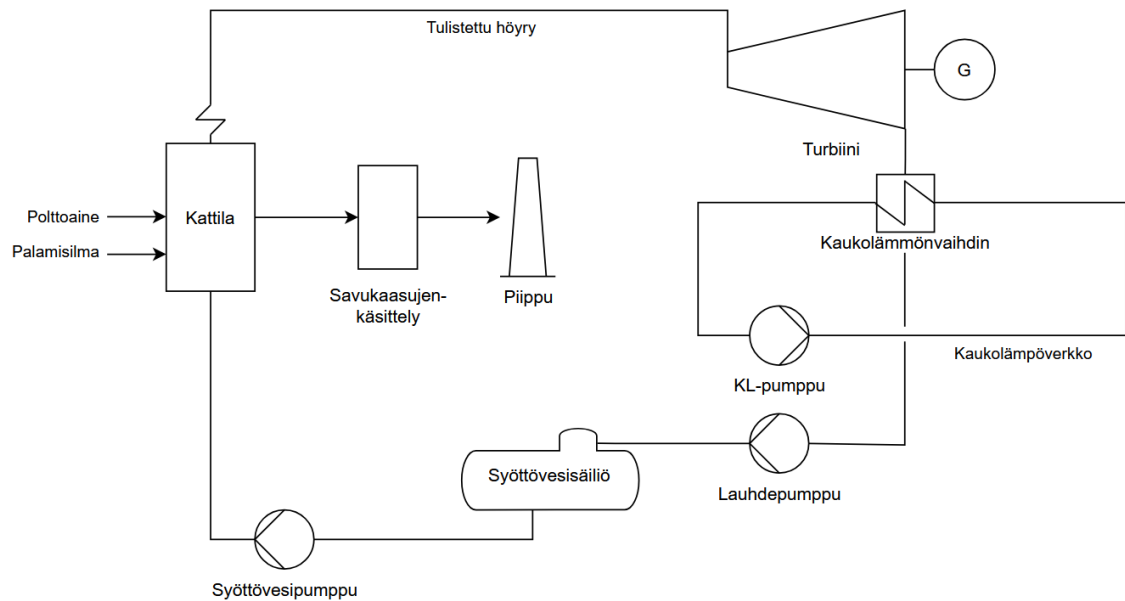
2.2 Naistenlahti 3 voimalaitosprosessi

Tampereella Naistenlahden voimalaitosalueella sijaitsee voimalaitosyksiköiden ja huoltorakennusten lisäksi erilliset polttoaineen vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmät. Laitosalueella sijaitsee käytöstä poistetun Naistenlahti 1 -voimalaitosyksikön lisäksi käytössä oleva Naistenlahti 3. NSL3 -voimalaitosyksikön kaukolämpöteho on 160–230 MW ja sähköteho on 60 MW. Polttoaineina voimalaitoksella käytetään uusiutuvien biomassojen lisäksi muun muassa SRF-kierrätyspolttoainetta ja purkupuuta. (Tampereen Energia Oy 2023, 4.)

NSL3 on toimintaperiaatteeltaan CHP-laitos, eli lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitos. CHP-laitosten peruseriaatteena on hyödyntää sähköntuotannossa syntyvä hukkalämpö kaukolämmön tuotantoon. NSL3 voimalaitosprosessissa hyödynnetään Valmet Oyj:n toimittaman uuden kattilalaitoksen lisäksi aikaisemmin käytössä ollutta höyryturbiinia ja sen apujärjestelmiä (Valmet Oyj 2020).

Voimalaitosprosessin ensimmäisenä vaiheena on polttoaineen vastaanotto ja käsittely. Autokuljetuksilla laitosalueelle tuotu kiinteä polttoaine siirretään kuormanpurusta varastosiiiloihin. Siiloista kuljetetaan ja annostellaan kattilalle polttoainetta, joka palaessaan lämmittää laitoksen vesikierrrossa kiertävää vettä. Vedestä saatu höyry johdetaan tulistimien kautta turbiinille.

Turbiiniin johdetun tulistetun höyryn lämpö- ja paine-energia muutetaan turbiinia pyörittäväksi mekaaniseksi energiaksi. Turbiiniin yhdistetty generaattori muuttaa tämän mekaanisen energian sähköiseksi. Turbiinilta lähtevä vastapainehöyry siirtyy kaukolämmönvaihtimiin, joilla lämmitetään kaukolämpöverkossa kulkevaa vettä. Kaukolämmönvaihtimissa muodostunut lauhde pumpataan lauhdepumpulla syöttövesisäiliöön. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Pimiä 2021, 22–24.) Kuviossa 2 on havainnollistettu yksinkertaistetusti voimalaitoksen toimintaa ja keskeisimpien pääkomponenttien välisiä yhteyksiä.



KUVIO 2. Pelkistetty voimalaitosprosessi.

Polttoaineen palamisreaktion yhteydessä syntyneet savukaasut tulee jäähdyttää ja puhdistaa. Kiertopetikkattiloissa savukaasuista erottuu epäpuhtauksia jo tulipesän jälkeisessä syklonissa, joka sijaitsee ennen savukaasukanavaa. Tulipesään, sykloniin ja savukaasukanavaan perehdytään luvussa 3. Savukaasuja jäähdytetään savukaasukanavassa, minkä jälkeen ne kulkeutuvat letkusuodattimille, jotka erottavat savukaasuista kiinteitä epäpuhtauksia. Letkusuodattimessa pölypitoinen savukaasu kulkeutuu kankaan läpi, johon kertynyt pöly poistetaan paineilmalla (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 253).

Letkusuodattimien jälkeen savukaasut kulkeutuvat savukaasupesuriyksikölle, johon kuuluvat muun muassa savukaasupesuri ja lauhdutin. Savukaasupesurissa savukaasuun ruiskutetaan vettä, jolloin savukaasujen pölyhiukkaset tarttuvat vesipisaroihin (Huhtinen ym. 2000, 255). Muodostuneet vesi-pölypisarat käsitellään pisaranerotuksessa. Puhdistettu kaasu johdetaan savukaasupesurista lauhduttimelle, jossa pesurista ja savukaasuista saatavaa lämpöä hyödynnetään kaukolämpöveden lämmittämiseen. Kun savukaasut ovat jäähdytetty ja puhdistettu, johdetaan jäljelle jäänyt lähes puhdas vesihöyry piippuun.

Naistenlahden voimalaitos kuuluu teollisuuden päästödirektiivin soveltamisalaan. Laitoksella syntyviä päästöjä mitataan jatkuvatoimisesti, ja niiden raja-arvot ovat

määritelty laitoksen ympäristöluvassa. Mahdolliset ylitykset raportoidaan ympäristöviranomaiselle. Naistenlahden voimalaitoksella on ilmanpäästöjen vähentämiseksi käytössä esimerkiksi SNCR-järjestelmä (Selective Non-Catalytic Reduction), jota käytetään typen oksidien vähentämiseen. Savukaasujen hiukkaspäästöjä vähennetään aikaisemmin mainituilla letkusuodattimilla. Lisäksi savukaasuissa esiintyvien happamien yhdisteiden ja epäpuhtauksien vähentämiseksi savukaasukanavaan syötetään kalkkia ja aktiivihiiltä. (Tampereen Energia Oy 2025d, 102.)

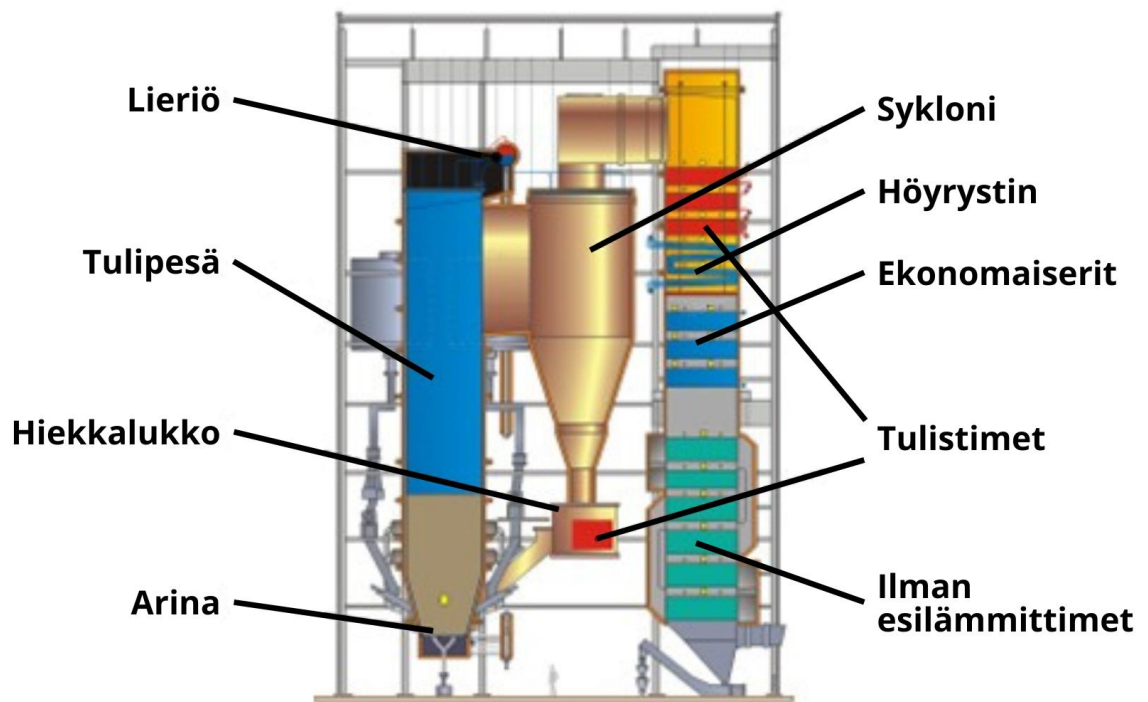
3 KIERTOPETIKATTILA

Naistenlahti 3 -biovoimalaitoksen kattila on tyypiltään kiertopetikattila, eli CFB-kattila (Circulating Fluidized Bed), jota kutsutaan myös nimellä kiertoleijukattila. Kyseessä on polttotyyliltään leijukerrospolttoon perustuva höyrykattila, jonka avulla vedestä höyrytetään sähkön- ja lämmöntuotannossa käytettävää höyryä.

Kattilalaitoksen laitteiden ennakkohuoltotöiden suunnittelu edellyttää laitoksen kokonaisprosessin ymmärtämistä. Seuraavaksi tarkastellaan kiertopetikattiloiden toimintaperiaatetta ja rakennetta yleisellä tasolla. Lisäksi perehdytään kattilan vesi-höyrypiirin ja ilma-savukaasujärjestelmän peruseräiteisiin. Työssä ei esitellä toimeksiantajayrityksen kattilalaitosta, vaan taustateoriaan perehtymisessä on hyödynnetty kirjallisuutta ja muita julkisia lähteitä.

3.1 Rakenne ja toimintaperiaate

Kiertopetikattila muodostuu useista komponenteista ja rakenteista, joiden yhteistoiminta mahdollistaa polttoaineen tehokkaan hyödyntämisen ja lämmön talteenoton. Vaikka kiertopetikattiloiden rakenteissa voi esiintyä laitoskohtaisia eroja, ovat pääpiirteet samat toteutuksesta huolimatta. Kuviossa 3 on havainnollista esimerkki kiertopetikattilan mahdollisesta rakenteesta, jossa näkyvät prosessin kannalta keskeisimmät osat. Näitä ovat tulipesä, sykloni sekä savukaasukanava lämmönsiirtimiseen. Lisäksi tulipesän yläpuolella näkyvä lieriö on kattilan vesi-höyrykierron keskeisimpiä komponentteja.



KUVIO 3. Esimerkki kiertopetikattilan rakenteesta ja lämmönsiirtopintojen sijoittelusta (Valmet Oyj 2023, muokattu).

Kuviossa esitetty rakenne havainnollistaa kiertopetikattilan pääkomponenttien sijoittelua ja niiden muodostamaa kokonaisuutta. Seuraavaksi tarkastellaan keskeisimpiä rakenteita ja niiden toimintaa osana kokonaisprosessia.

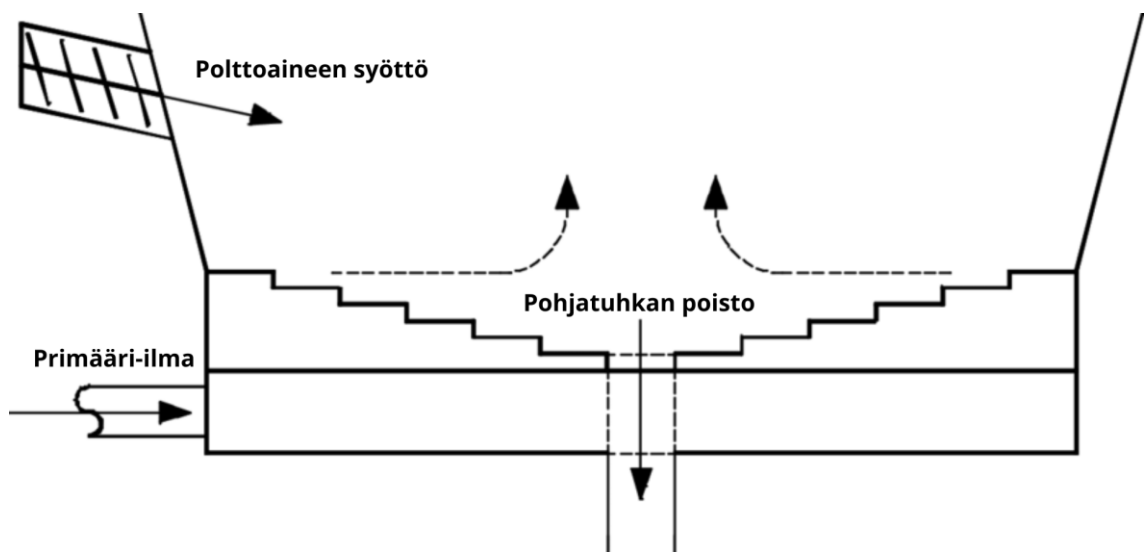
3.1.1 Tulipesä

Polttoaineen palaminen tapahtuu tulipesässä leijutettavan petihiekan seassa. Kiertopetikattiloissa tapahtuvassa leijukerrospoltoissa petimateriaali on hienojakoista ja leijutusnopeus korkea, eikä pedistä erotu selvää pintaa. Leijutusnopeus on tyypillisesti 3–10 m/s ja hiekan raekoko 0,1–0,5 mm. Leijukerrospolton etuina on mahdollisuus polttaa useaa eri polttoainetyyppiä yhtäaikaaisesti. Polttotyöli mahdollistaa myös kostean polttoaineen tehokkaan palamisen. Etuna on haitallisten päästöjen, kuten typen oksidien, vähäinen muodostuminen alhaisten palamislämpötilojen ansiosta. (Huhtinen ym. 2000, 155–162.)

Veden höyrystämiseen käytetään seinään muurattua keittoputkistoa, joka muodostaa kaasutiiviin putkiseinämän tulipesän ympärille. Yleensä suorakaiteen

muotoisen tulipesän pohjalla olevan arinan pinta-ala voi olla jopa puolet pienempi, kuin tulipesän yläosan poikkipinta-ala. Tulipesän lopullisiin mittasuhteisiin vaikuttavat haluttu kaasunopeus, polttoaineen palamisaika sekä höyrystymistarve. (Huhtinen ym. 2000, 159–160, 184.)

Tulipesän pohjalla sijaitsevan ilmanjakoarinan päätehtävä on jakaa polttoprosessissa käytettävä leijutusilma tulipesään mahdollisimman tasaisesti. Kuviossa 4 on esitelty yksinkertaistettu esimerkki arinan rakenteesta ja mahdollisesta toimintaperiaatteesta.

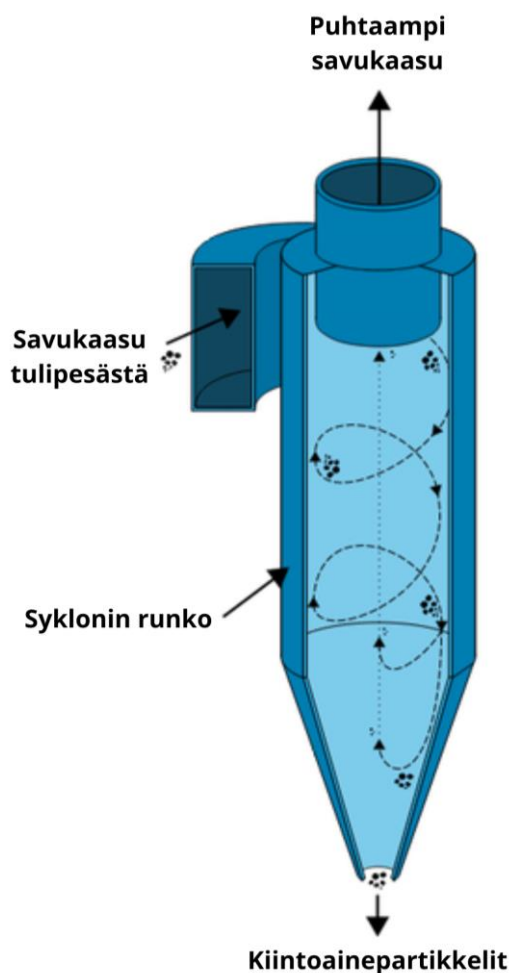


KUVIO 4. Esimerkki arinan toimintaperiaatteesta (Blomberg, Hiltunen & Makkonen 2015, muokattu).

Ilmanjakoarinassa on lukuisia suuttimia, jotka ovat yleensä hitsattu joko teräslievyyyn tai jäähdytysputkistoon. Ilma syötetään arinan alapuolelle, mistä se jakautuu tulipesään suuttimien kautta. Tuhkan ja esimerkiksi polttoaineen mukana tulleiden kivien poistoa varten arinan pohjassa on poistoaukkoja, joiden kautta poistettavat aineet valuvat tulipesän alapuolella oleville pohjatuhkakuljettimille. Tuhkan mukana poistunut petihiekka seulotaan ja palautetaan puhdistettuna kattilaan. (Vakkilainen 2016, 74, 157; Huhtinen ym. 2000, 158.)

3.1.2 Sykloni

Palamisprosessista jäljelle jäänyt kaasu-partikkeliseos ajautuu tulipesästä syklooniin sisääntulokanavan kautta. Syklonin tehtävänä on erotella kiintoainepartikkeleita savukaasuista. Tulipesästä syklooniin tulevan savukaasun tulee päästä virtaamaan riittävän nopeasti (noin 20 m/s), jotta kaasun ja kiintoainepartikkeleiden erotusaste saadaan riittäväksi. Syklonin halkaisijan tulee olla riittävän pieni (alle 8 metriä), sillä sen erotuskyky heikkenee halkaisijan kasvaessa. Tarvittaessa syklooneita voidaan rakentaa useampi, jolloin savukaasuvirtaus jakaantuu moneen pienempään syklooniin ja erotusaste paranee. (Huhtinen ym. 2000, 160, 253.) Syklonin rakennetta ja toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuviossa 5.



KUVIO 5. Syklonin rakenne ja toimintaperiaate (Energy Education 2024, muokattu).

Kuviossa 5 on havainnollistettu, kuinka syklonin lieriömäinen rakenne ja tangentialinen sisääntulokanava mahdollistavat savukaasuille spiraalimaisen liikerradon, jolloin kiintoaineet törmäilevät syklonin seinärakenteeseen. Savukaasut nousevat ylös, kun taas kiintoainepartikkelit valuvat painovoiman ja törmäyksen voimasta alas. (Huhtinen ym. 2000, 159, 253.)

3.1.3 Hiekkalukko

Syklonissa savukaasuista eroteltujen kiintoaineiden ja hiekan palautus tulipesään tapahtuu yleensä syklonin alapuolella sijaitsevan loop sealin kautta, josta käytetään myös nimitystä kaasu- tai hiekkalukko. Hiekkalukkoon syötetään alapuolelta ilmaa, joka mahdollistaa kiintoaineiden siirtymisen tulipesään johtavaan laskuputkeen samalla estäen savukaasujen virtaamisen suoraan tulipesästä sykloniin (Vakkilainen 2016, 229). Hiekkalukkojen rakenne voi vaihdella laitoskohtaisesti ja niihin voidaan esimerkiksi sijoittaa tulistimia. Hyödyntämällä hiekkalukkoa lämmöntalteenottoon saadaan laitoksen hyötysuhdetta kasvatettua.

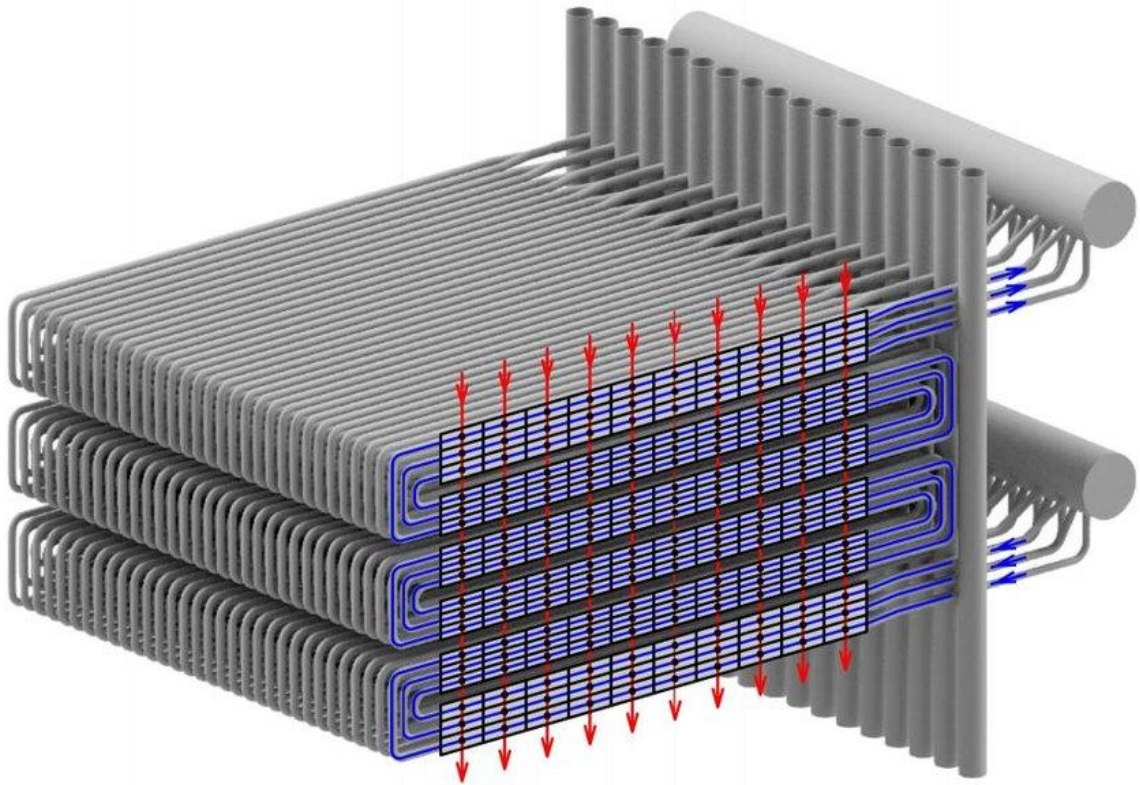
3.1.4 Savukaasukanava

Syklonista poistuneet savukaasut kulkevat savukaasukanavaa pitkin kohti savukaasujen käsittelyä. Tyypillisesti kanavassa sijaitsee useita lämmönsiirtopintoja, kuten tulistimia, esilämmittimiä ja veden höyrystinpintoja, joilla otetaan savukaasuista lämpöä talteen samalla niitä jäähdyttäen. Lämmönsiirtimien lopullinen sijoittelu vaihtelee laitoskohtaisesti. Savukaasukanavan tulee olla rakenteeltaan kaasutiivis, hyvin eristetty sekä kestää hyvin ali- ja ylipaineita. (Huhtinen ym. 2021, 97.)

3.1.5 Tulistimet

Tulistinjärjestelmän päätehtävänä on tulistaa turbiinille johdettavaa höyryä. Tavallisimmin järjestelmä koostuu kolmesta peräkkäisestä tulistimesta, joiden vä-

lissä sijaitsee kaksi ruiskutusvaihetta. Ruiskutusvaiheiden avulla höyryn lämpötilaa voidaan alentaa ruiskuttamalla prosessiin vettä, mikäli lämpötila pyrkii nousemaan liian korkeaksi. Tulistimien rakenne (kuvio 6) muodostuu useasta jakokammioista lähtevästä putkielementistä. (Huhtinen ym. 2000, 191; Joronen, Kovács & Majanne 2007, 59.)



KUVIO 6. Esimerkki tulistimen rakenteesta (Fialová & Jegla 2019).

Kattilalaitoksen tulistimet voidaan jakaa neljään eri tyyppiin: säteily-, verho-, konvektio- ja yhdistelmätulistimiin. Näiden eroavaisuuksina on lämmönsiirtotapa ja sijainti kattilalaitoksella. Kiertopetikattiloissa tulistimet sijaitsevat tyypillisesti savukaasukanavassa tai tulipesän yläosassa, mutta lopullinen sijoittelu riippuu kattilalaitoksesta ja sen muusta rakenteesta. Lähtökohtaisesti tulistimia ei sijoiteta alas tulipesään, sillä siellä tulistimien putkimateriaalin ylikuumentumisriski on korkea. Savukaasukanavassa ja tulipesän yläosassa savukaasut ovat kuitenkin riittävän kuumia korkeiden tulistuslämpötilojen saavuttamiseksi putkimateriaalin ylikuumentumisriskin ollessa pienempi. (Huhtinen ym. 2000, 185–190.)

3.1.6 Esilämmittimet

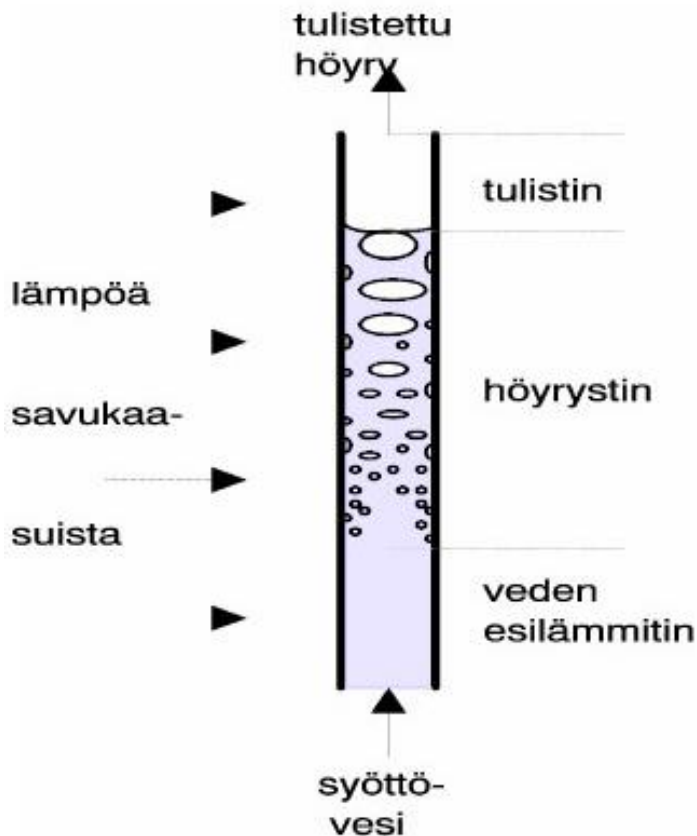
Savukaasukanavassa sijaitsee tyypillisesti myös syöttöveden ja ilman esilämmittimiä. Syöttöveden esilämmittimien, ekonomaisereiden, tehtävänä on esilämmittää lieriölle syötettävää vettä. Ekonomaisereilla otetaan lämpöä talteen kuumista savukaasuista samalla jäähdyttäen niitä. Ekonomaiserit voidaan jakaa toimintaperiaatteensa mukaan höyrystäviin tai höyrystämättömiin esilämmittimiin. Höyrystävän ekonomaiserin ideana on höyrystää osa syöttövedestä, kun taas höyrystämättömissä esilämmittimissä syöttövesi ei saa alkaa kiehumään. Höyrystämättömissä esilämmittimissä veden tulee olla noin 20°C kiehumispistettä alhaisemmassa lämpötilassa kuormitusvaihtelujen aiheuttaman kiehumisvaaran estämiseksi. (Huhtinen ym. 2000, 194–195.)

Lisäksi savukaasukanavaan voidaan sijoittaa ilman esilämmittimiä, joista käytetään myös nimitystä LUVO:t. Kuumia savukaasuja käytetään palamisilman esilämmittämiseen, jolla saadaan tehostettua polttoaineen syttymistä ja nopeutettua palamisprosessia. Tulipesään syötetyn palamisilman lämpötilaan vaikuttavat käytetty polttoaine ja polttotekniikka. Yleensä esilämmitetty palamisilma on lämpötilaltaan 100–400°C. Ilman esilämmittimet ovat usein viimeisiä lämmönsiirtimiä savukaasukanavassa. (Huhtinen ym. 2000, 196–197.)

Ilman esilämmittimet voidaan jakaa toimintaperiaatteensa mukaan rekuperatiivisiin tai regeneratiivisiin esilämmittimiin. Rekuperatiivisissa esilämmittimissä lämpö siirtyy kuumemmasta ainevirrasta kylmempään lämmönsiirtopinnan avulla. Regeneratiivisissa esilämmittimissä lämmönsiirto tapahtuu lämpöä varavalla levykennostolla. Ensin kennoston läpi johdetaan kuumat savukaasut, jotka varastoivat lämpöä rakenteeseen, minkä jälkeen kennoston läpi johdetaan viileämpää ilmaa, joka vastaanottaa varastoituneen lämmön. (Huhtinen ym. 2000, 197–199.)

3.2 Vesi-höyrypiiri luonnonkiertokattilassa

Luonnonkiertokattilalla tarkoitetaan vesiputkikattilaa, jossa höyrystettävä vesi kulkee kattilavesiputkissa ilman erillistä pumppua. Luonnonkiertokattiloissa veden ja vesihöyryn kierto perustuu niiden tiheyseroon. Keittoputkistoissa tapahtuvan veden höyrystymisen ansiosta laskuputkissa olevaa kylläistä vettä kevyempi veden ja höyryn seos nousee keittoputkista kohti lieriötä. (Huhtinen ym. 2000, 113.) Kuviossa 7 on havainnollistettu höyrykattiloiden vesikierron peruseriaate ja kuinka savukaasuista saatavan lämmön avulla syöttövedestä valmistuu turbiinille kulkeutuvaa tulistettua höyryä.



KUVIO 7. Höyrykattilan toimintaperiaate (KnowPulp versio 23.0, 2025a).

Kattilalle tuodaan syöttövedettä erillisestä syöttövesisäiliöstä pumppujen avulla. Ennen lieriöön johtamista syöttövedettä lämmitetään esimerkiksi savukaasulämmittimillä esilämmittimillä ja turbiinin väliottohöyryllä. Lieriöstä kylläinen vesi kulkeutuu laskuputkia pitkin tulipesän alapäähän ja sieltä kattilan höyrystinpinnoille, joissa vesi höyrystyy osittain. Vesihöyryn ja kylläisen veden seos palautuu putkia pitkin

lieriöön, jossa höyry nousee lieriön yläosaan ja sieltä pisaraerottimien kautta kohti tulistimia. Höyrystymättä jäänyt vesi puolestaan palautuu lieriöstä laskuputkia pitkin takaisin höyrystinputkiin. Lieriö toimii siis kylläisen höyryn ja kylläisen veden erottajana. (Huhtinen ym. 2000, 113; Joronen ym. 2007 41–42.)

CHP-laitoksella höyry lauhtuu kaukolämmönvaihtimissa. Lämmönvaihtimissa höyrystä muodostunut lauhde pumpataan lauhdepumpulla syöttövesisäiliöön. Lauhdetta esilämmitetään palautusilinjassa ennen syöttövesisäiliötä matalapaine-esilämmittimillä. Syöttövesisäiliön ja syöttövesipumppujen jälkeen vettä voidaan esilämmittää korkeapaine-esilämmittimissä. Matala- ja korkeapaine-esilämmittimet käyttävät syöttöveden lämmittämiseen turbiinilta saatavaa väliottohöyryä. Yleisesti voimalaitoksella syntyvät omakäyttölauhteet kerätään erillisiin säiliöihin, joista ne pumpataan syöttövesisäiliöön ja uudelleen vesikiertoon. (Joronen ym. 2007, 40–42.)

3.3 Ilma-savukaasujärjestelmä

Kattilalaitoksen ilma-savukaasujärjestelmällä tarkoitetaan kattilan palamisilman tuottoon tarkoitettujen järjestelmien lisäksi savukaasujärjestelmiä ja kiertokaasujärjestelmiä. Ilmajärjestelmän tehtävänä on tuottaa palamiseen tarvittavaa ilmaa ja jakaa se tulipesään tasaisesti polttoprosessin tehokkuuden optimoimiseksi. Kattilalle syötettävään kokonaisilmamäärään vaikuttavat syötettävän polttoaineen määrä ja savukaasujen happipitoisuus. (Huhtinen ym. 2021, 40.)

Palamis- ja leijutusprosessia varten on kiertopetikattilalaitokset varusteltu primääri- ja sekundääri-ilmapuhaltimilla. Tulipesän ilmanjakoarinan kautta jaettavaa ja pedin leijuttamiseen käytettävää ilmaa kutsutaan primääri-ilmaksi. Sekundääri-ilmaa käytetään muun muassa polttoaineen palamisilmana, savukaasujen happipitoisuuden säädössä sekä käynnistys- ja kuormapolttimien palamis- ja jäähdytysilmana. Sekundääri-ilmaa syötetään tulipesän seinämiin sijoitetuista suuttimista, yleensä vähintään kahdelta tasolta. (Huhtinen ym. 2021, 42.)

Kiertokaasujärjestelmää käytetään tulipesän pedin lämpötilan säätöön. Lämpötilan säätömahdollisuus on tärkeää tuhkan sulamisen välttämiseksi ja hyvän palamisen saavuttamiseksi. Lämpötilan noustessa voidaan kiertokaasua syöttää primääri-ilman joukkoon. Tämä alentaa tulipesän happipitoisuutta ja siten palamisesta vapautuvan lämmön määrää. Savukaasujärjestelmällä puolestaan poistetaan kattilasta palamisprosessissa syntyviä savukaasuja savukaasupuhaltimien avulla. (Huhtinen ym. 2021, 42–43.)

4 LAITTEET JA NIIDEN ENNAKKOHUOLTOTYÖT

Kattilalaitoksella on useita eri laitteita, joita käytetään prosessin toiminnan, säädön ja ohjauksen mahdollistamiseksi. Laitteiden ennakko- huoltosuunnitelmien laatiminen ja huoltotöiden suorittaminen vaatii laitteiden rakenteiden sekä toimintaperiaatteiden tuntemusta. Kattilalaitoksella on käytössä useita erilaisia laitteita, mutta seuraavaksi tarkastellaan niistä vain yleisimpiä. Tarkastelussa ovat näiden laitteiden rakenteet ja tyypillisimmät käyttökohteet kattilalaitoksella. Lisäksi esitellään esimerkkejä laitteille suoritettavista ennakko- huoltotöistä.

4.1 Pumput

Voimalaitoksilla käytetään erilaisia pumppuja useaan eri tarkoitukseen. Näitä ovat esimerkiksi syöttövesipumput, lauhdepumput, jäähdytysvesipumput ja kaukolämpöpumput. Pumpun tuottamaa tilavuusvirtaa ja painetta voidaan säätää esimerkiksi muuttamalla pumpun pyörimisnopeutta tai kuristamalla paineputken säätöventtiiliä. Pumpun mitoittamisessa keskeisiä tekijöitä ovat muun muassa riittävä nostokorkeus, teho ja kavitaation välttäminen. (Huhtinen ym. 2000, 221–229.)

Pumput voidaan jakaa toimintaperiaatteensa mukaisesti syrjäytuspumppuihin ja dynaamisiin pumppuihin. Syrjäytuspumpuissa pesässä oleva neste syrjäytetään poistoputken pumpun syrjäytyselimen avulla. Syrjäytuspumppuja ovat esimerkiksi mäntä-, kalvo- ja hammaspyöräpumput. Näissä pumpuissa tilavuusvirta pysyy lähes vakiona nostokorkeudesta ja vastapaineesta riippumatta. Dynaamisia pumppuja puolestaan ovat aksiaali-, keskipako- ja suihkupumput. Dynaamisissa pumpuissa tilavuusvirran kasvaessa alenee sen nostokorkeus. (Huhtinen ym. 2021, 134–135.)

Pumpun ennakko- huoltotyötä suunniteltaessa tulee tuntee sen rakenne ja käyttökohte prosessissa. Lisäksi tulee huomioida valmistajan määrittämät ohjeet laitteen käytettävyyden varmistamiseksi. Lopulliset ennakko- huoltotoimenpiteet ja

huoltovälit voivat siis vaihdella pumpputyypin ja valmistajan mukaan. Seuraavaksi on lueteltuna esimerkkejä pumppujen ennakkohuollon yhteydessä tarkastettavista kohteista:

- laakerointi ja laakerien rasvaus
- kiinnitykset
- vuodot
- akselitiivisteiden kunto
- korroosio ja kuluminen
- poistopaine
- lämpötila, ääni ja värähtely (Huhtinen ym. 2021, 153).

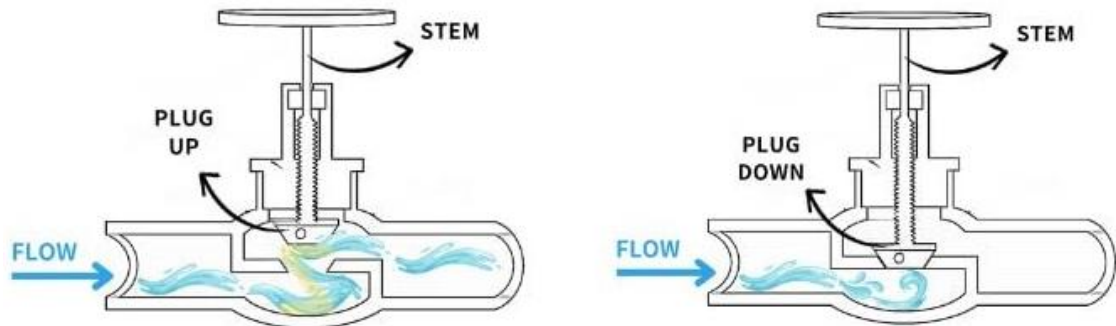
4.2 Venttiilit

Kattilalaitoksella on lukuisia venttiilejä toimilaitteineen. Kattilalaitoksella venttiilit voidaan jakaa rakenteen ja käyttökohteen mukaan sulk-, säätö- ja varoventtiileihin (Huhtinen ym. 2000, 229). Venttiilejä käytetään muun muassa prosessin säätöön, ohjaukseen sekä prosessilukitusten tekoon.

Sulkuventtiilejä käytetään virtauksien avaamiseen tai sulkemiseen. Sulkuventtiilejä voidaan käyttää manuaalisesti käsitoimilaitteella tai automaattisesti ulkoista apuenergiaa hyödyntävällä toimilaitteella. Prosessin säätämiseen käytetyt säätöventtiilit ovat varusteltu automaattisilla toimilaitteilla, joiden avulla ne säätävät prosessisuuretta jatkuvasti säätöpiirille annetun ohjearvon mukaisesti. Rakenteeltaan sulk- ja säätöventtiilit voidaan jakaa käyttöakselin liikkeen mukaan lineaariliikkeisiin venttiileihin (esimerkiksi istukkaventtiili) tai neljänneskiertoventtiileihin (esimerkiksi palloventtiili). Varoventtiilejä käytetään komponenttien suojaamiseen esimerkiksi mitoitettua korkeampien paineiskujen varalta. Rakenteeltaan varoventtiilit ovat yleensä joko apuohjattuja, jousikuormitteisia tai painokuormitteisia. (Joronen ym. 2007, 119–121.)

Kuviossa 8 on havainnollistettu esimerkkinä istukkaventtiilin toimintaperiaatetta. Kuviossa oikealla on havainnollistettu, kuinka venttiilin ollessa auki pääsee vir-

taus (flow) kulkemaan venttiilin läpi. Venttiin ollessa täysin kiinni istukka painautuu tiivistepintaa vasten ja virtaus pysähtyy. Kuviossa esitetyn istukan asentoa säädetään pyörittämällä karaa (stem) käsikäyttöisellä toimilaitteella.



KUVIO 8. Istukkaventtiin pelkistetty rakenne ja toimintaperiaate (Brown 2024).

Venttiilien automaattiseen ohjaukseen käytetään erilaisia toimilaitteita. Automaattiset toimilaitteet ovat joko pneumaattisia, hydraulisia tai sähköisiä. Pneumaattisia toimilaitteita käytetään yleensä säätö- ja sulkuventtiileissä. Niiden etuja ovat nopeus, edullisuus ja toimintavarmuus. Hydraulisia toimilaitteita käytetään, kun tarvitaan suurempia voimia. Hydraulisisissa toimilaitteissa liikkeen toteuttamiseksi käytetään mäntää ja kokoonpuristumatonta nestettä. Huonoina puolina niiden käytössä ovat monimutkaisuus, korkea hinta ja tarve erilliselle hydrauliko-neikolle. Sähköisten toimilaitteiden toiminta perustuu sähkömoottorilla ja vaihteella tuotettavaan lineaari- tai kiertoliikkeeseen. Sähköiset toimilaitteet ovat yleensä hitaita ja kalliita, mutta tarkkuudeltaan hyviä. (Joronen ym. 2007, 124–126.)

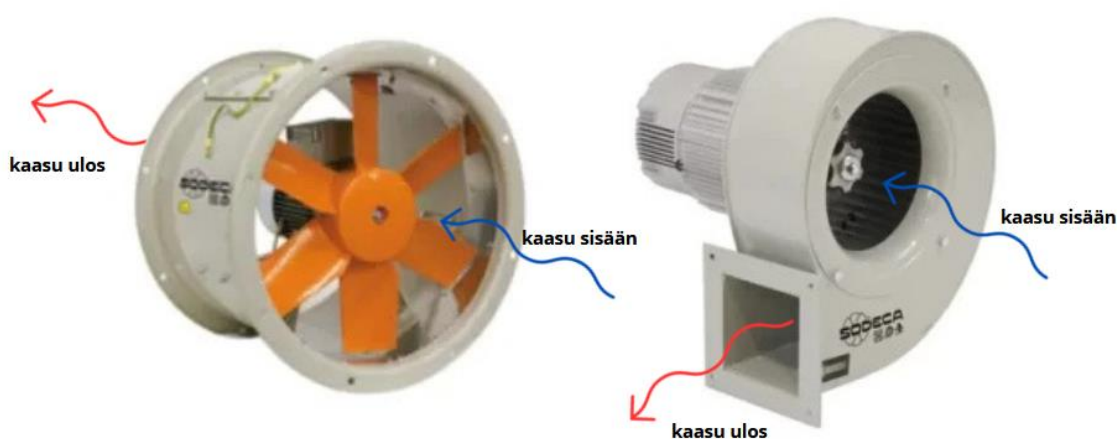
Huoltamaton venttiili voi aiheuttaa prosessiin esimerkiksi painehäviöitä, vuotoja tai turvallisuusriskejä, minkä vuoksi venttiin säännöllinen huolto on välttämätöntä ja tärkeää. Venttiin ennakkohuolto-ohjelma määräytyy käytettävän venttiilityypin sekä käyttöympäristön ja -kohteen mukaan. Venttiin ennakkohuollon yhteydessä suoritettavia tehtäviä ovat esimerkiksi

- visuaaliset tarkastukset vuotojen varalta
- puhdistus ja liikkuvien osien voitelu
- kuluvien osien tarkastus ja vaihto
- toimilaitteen toiminnan testaus (Finkova n.d.).

4.3 Puhaltimet

Kattilalaitoksessa puhaltimia tarvitaan useisiin eri käyttötarkoituksiin. Keskeisimpiä käyttökohteita ovat savukaasujen poisto ja kierrätys sekä leijutus- ja palamisilmojen puhallus. Puhaltimien valintaan vaikuttaa puhallinvalmistajan laatimat ominaiskäyrästöt. Lisäksi valintaa tehdessä tulee tietää kohteen vaatima tilavuusvirta ja paine-ero. (Huhtinen ym. 2000, 241–243.)

Puhaltimet voidaan jakaa rakenteensa perusteella kahteen eri tyyppiin: keskipako-, eli radiaalipuhaltimiin ja aksiaalipuhaltimiin. Puhaltimien rakenteellisia ja toiminnallisia eroja on esitelty kuviossa 9. Kuviossa oikealla on esitelty aksiaalipuhaltimen ja vasemmalla keskipakopuhaltimen rakennetta.



KUVIO 9. Aksiaali- ja radiaalipuhaltimen rakenteelliset eroavaisuudet (Ja Redden 2024, muokattu).

Aksiaalipuhaltimia käytetään, kun tarvitaan pienempää puhalluspainetta. Kaasu kulkeutuu puhaltimen läpi akselin suuntaisesti. Radiaalipuhaltimia käytetään, kun tarvitaan korkeita paineita. Kaasu kulkeutuu puhaltimeen akselin ympärillä olevasta imuaukosta juoksupyörän sisäkehälle, josta se poistuu juoksupyörän ulkokehältä puhallinta ympäröivään spiraalipesään. Radiaalipuhaltimilla on erilaisia siipityyppejä ja niiden valintaan vaikuttaa toimintaolojen lisäksi puhallettava kaasu. (Huhtinen ym. 2000, 245–247.)

Puhaltimille suoritettavat huoltotoimenpiteet riippuvat puhaltimen rakenteesta, käyttöolosuhteista ja -ympäristöstä. Puhaltimien käytönaikaisia tarkastuksia suoritetaan toimintavarmuuden ja energiatehokkuuden varmistamiseksi. Puhaltimien ennakkohuollossa tulee tarkastaa esimerkiksi seuraavat asiat:

- kiinnitykset
- laakerointi ja laakerien rasvaukset
- puhtaus
- moottorin kunto. (Motiva. 2020, 25–26.)

4.4 Kuljettimet

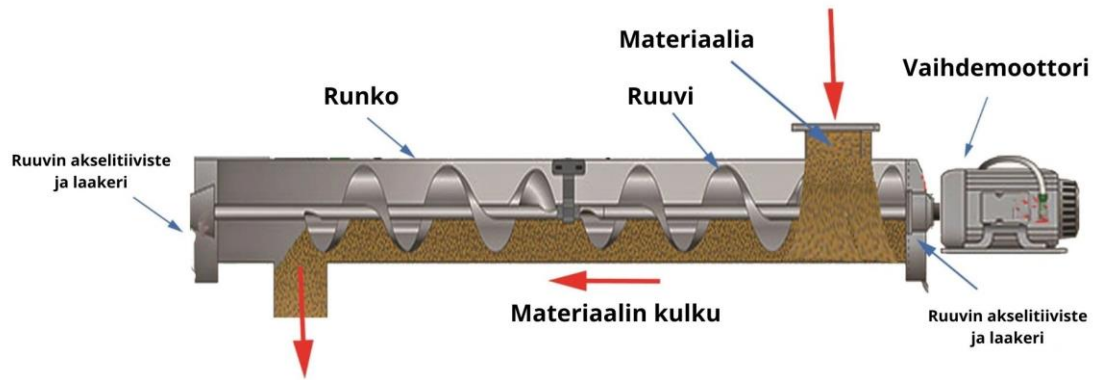
Kattilalaitoksessa käytetään useita erilaisia kuljettimia, kuten kolakuljettimia, ruuvikuljettimia ja pneumaattisia kuljettimia. Kuljettimien huoltotyöt riippuvat käytetystä kuljetintyypistä.

Kolakuljettimia voidaan käyttää esimerkiksi kiinteän polttoaineen ja pohjatuhkan kuljettamiseen. Niiden toiminta perustuu kolallisten ketjujen pyörittämiseen moottorin avulla (Kopar 2024). Kolakuljettimien rakenne voi vaihdella laitekohtaisesti esimerkiksi kolien kiinnitystavan osalta. Laitoksilla käytetään yleensä rakenteeltaan suljettuja kuljettimia, jolloin pölyämisen riski on minimoitu.

Kolakuljettimille suoritetaan käynninaikana voitelutöitä, kuten tiivistepesän ja laakeripesän laakereiden voitelut. Tuotantoseisokin aikana kolakuljettimelle suoritettavia ennakkohuoltotöitä ovat esimerkiksi

- kolien kunnan ja kiinnitysten tarkastus
- ketjujen kireyden tarkastus
- veto- ja taittopyörien tarkastus
- vaihteiston öljynvaihto. (Raumaster 2022.)

Ruuvikuljettimia käytetään kiinteiden materiaalien kuljettamiseen ja annosteluun. Kuviossa 10 on esitelty ruuvikuljettimen toimintaperiaate ja rakenne. Materiaali kulkeutuu syöttöruuville kuljettimen yläpuolella olevasta syöttöaukosta. Pyöriesään ruuvi siirtää kiinteää materiaalia eteenpäin, kunnes se pääsee poistumaan kuljettimen alapuolella olevasta poistoaukosta.



KUVIO 10. Ruuvikuljettimen rakenne ja toimintaperiaate (Powder and Bulk Solids 2024, muokattu).

Ruuvikuljettimien kuntoa tulee arvioida käytön aikana säännöllisesti ja tarpeen mukaan. Käynninaikaiset tarkastukset perustuvat aistinvaraisiin tarkastuksiin, minkä lisäksi laitteelle on suoritettava tarvittavat voitelutyöt. Ruuvikuljettimen rungon ja syöttöruuvin tarkastamiseksi tulee kuljetin ajaa tyhjäksi, minkä vuoksi tarkastukset suoritetaan yleensä vuosihuoltoseisokin yhteydessä. Ruuvikuljettimelle säännöllisesti suoritettavia kunnossapitotoita ovat esimerkiksi

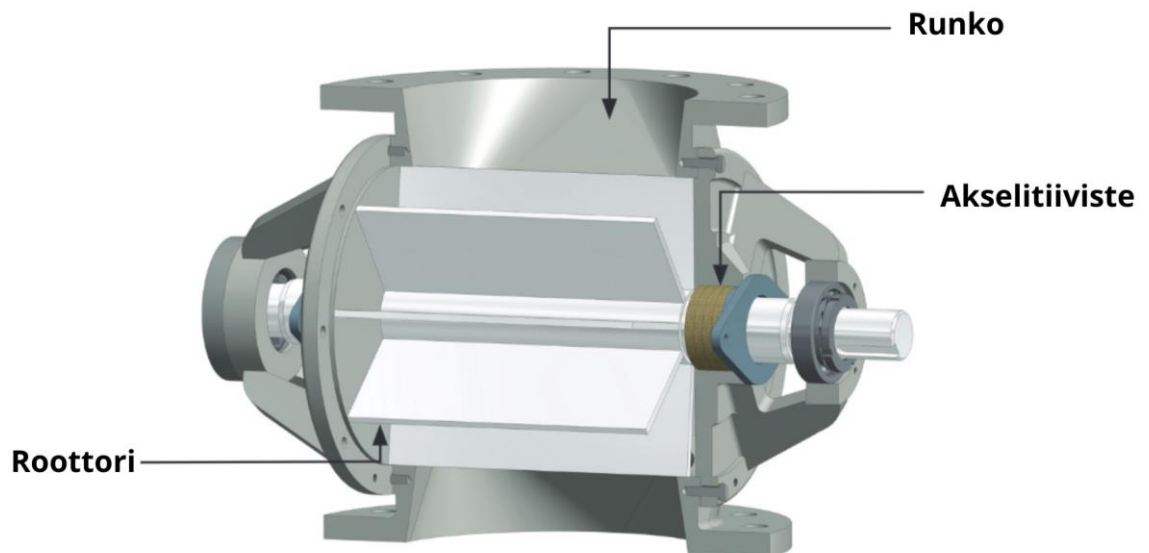
- alennusvaiheen öljynvaihdot
- kovahitsausten tarkistus
- ruuvin kunnan tarkistus (Raumaster 2022).

Pneumaattisia kuljettimia käytetään materiaalin siirtämiseen putkiston ja paineilman avulla. Pneumaattisten kuljettimien säännöllinen käynninaikainen tarkastelu on tärkeää toimintahäiriöiden varhaisen havaitsemisen kannalta. Lisäksi kuljettimille on suoritettava suodatinpanosten kunnontarkastus ja tukosten poisto tarvittaessa. (Raumaster 2022.)

4.5 Sulkusyöttimet

Sulkusyöttimiä käytetään kattilalaitoksella esimerkiksi polttoaineen ja lisäainesten syöttöön ja annosteluun. Sulkusyöttimellä voidaan jakaa kiinteää tai jauheista tuotetta toiselle kuljettimelle annostelutarkoituksessa. Kuviossa 11 on ha-

vainnollistettu sulkusyöttimen rakennetta. Annosteltava aine syötetään yläpuolelta sulkusyöttimen roottorilehtien muodostamiin taskuihin, joista aine putoaa roottorin pyöriessä sulkusyöttimen alapuolelle.



KUVIO 11. Sulkusyöttimen rakenne (Blackmore & Smith n.d., muokattu).

Lopulliseen huoltotarpeeseen ja huoltoväliin vaikuttavat laitteen käyttöympäristö ja laitteella käsiteltävä materiaali. Ennakkohuoltotöitä ja tarkastuksia varten tulee linja ja sulkusyötin ajaa tyhjäksi, minkä jälkeen sulkusyötin irrotetaan paikaltaan.

Suoritettavia ennakkohuoltotöitä ovat esimerkiksi

- puhdistus
- rungon kunnan tarkastus
- tiivisteiden tarkastus
- roottorilehtien tarkastus ja korjaus tarvittaessa (DMN-Westinghouse 2002).

4.6 Pellit

Kattilalaitoksella sulku- ja ohjauspeltejä hyödynnetään esimerkiksi polttoaineensyötön tai savukaasuvirtausten ohjauksessa. Eri tarkoitukseen käytettyjen peltien käyttöaste voi vaihdella suuresti: joitain peltejä käytetään jatkuvasti prosessin

säätöön, kun osa pysyy muuttumattomassa asennossa koko laitoksen käyntijakson ajan. Tästä huolimatta myös harvoin käytettävien peltien toimintavarmuus on varmistettava, sillä niiden luotettava toiminta voi olla kriittisessä roolissa mahdollisten vikatilanteiden hallinnassa.

Peltien ennakkohuollontarpeeseen vaikuttaa esimerkiksi peltien käyttöhistorian ja -kohteen lisäksi laakerien ja ympäristön lämpötila. Pelleille suoritettavia ennakkohuoltotöitä ovat esimerkiksi

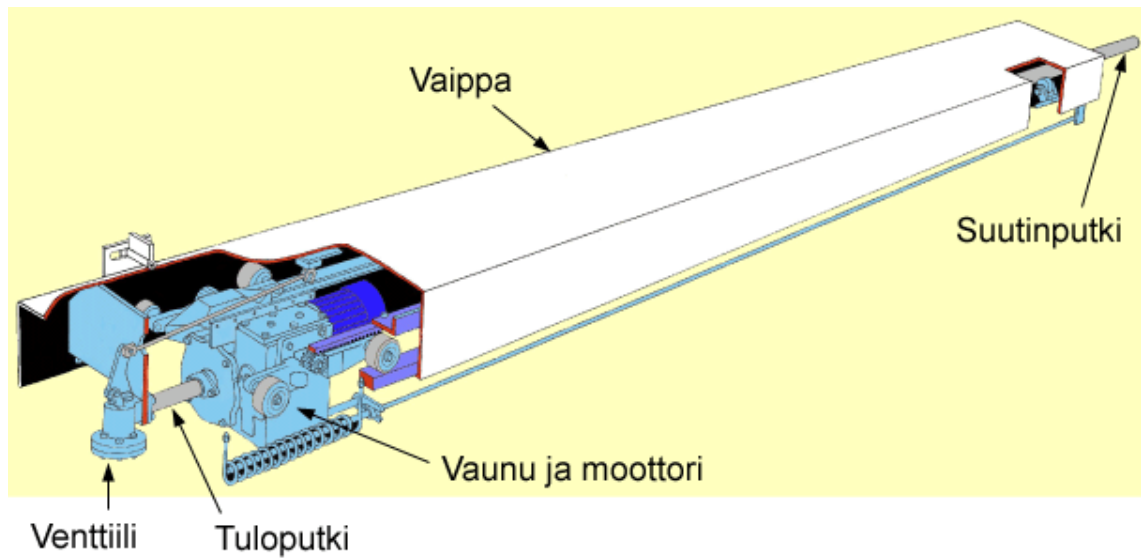
- laakereiden ja nivelpäiden tarkastus ja voitelu
- tiivisteiden tarkastus ja tarvittaessa vaihto
- toimilaitteiden ja oheislaitteiden tarkastus
- liikkuvien osien toimivuuden testaus
- ääriasentojen testaus (Sammet 2005).

4.7 Nuohoimet

Kattilan lämmönsiirtopinnoille kerääntyy likaa, mikä heikentää kattilassa tapahtuvaa lämmönsiirtoa ja siten kattilan hyötysuhdetta. Tämän vuoksi lämmönsiirtopintoja tulee nuohota, eli puhdistaa tarvittaessa. Nuohoustarpeeseen ja -väliin vaikuttaa kattilatyypin ja käytetty polttoaine. Kattilan nuohouksessa käytetään erityyppisiä nuohoimia, mutta yleisin käytetty tyyppi on höyryä hyödyntävät puhallusnuohoimet. (Huhtinen ym. 2006, 214; Huhtinen ym. 2021, 171.)

Puhallusnuohoimet voidaan jakaa edelleen seinä-, ulosvedettäviin-, pyöriviin monisuutin-, harava- ja pyörivien ilmanesilämmittimien nuohoimiin. Käytetty nuohointityyppi riippuu puhdistettavasta kohteesta. Esimerkiksi ulosvedettävää nuohointia käytetään tyyppillisesti tulistimien nuohouksessa ja seinänuohoimia käytetään kattilan tulipesän seinien puhdistamiseen. (Huhtinen ym. 2006, 214–216.)

Kuviossa 12 on esitelty täysin ulosvedettävän höyrynuohoimen rakennetta ja tärkeimpiä komponentteja. Kuviossa näkyvä suutinputki työnnetään kattilaan sisälle, johon se puhaltaa venttiilin ja tuloputken kautta kulkevaa höyryä (KnowPulp versio 23.0, 2025b). Suutinputken liikkeen toteuttaa vaunu, johon kuuluu muun muassa käyttömoottori ja vaihdelaatikko.



KUVIO 12. Höyrynuohoimen rakenne (KnowPulp versio 23.0, 2025b).

Nuohoimille tulee suorittaa määräajoin vaaditut tarkastukset ja ennakkohuolto-työt. Käynninaikana tulee tarkastaa nuohoimien toiminta, kuten mekanismien oikeaoppinen toiminta ja liikkuvien osien riittävä voitelu. Vuosihuollossa suoritettavia huoltotöitä ovat muun muassa

- kriittisten osien (venttiili, putket, raja- ja painekatkaisijat) kunnontarkastus ja tarvittaessa korjaus tai vaihto
- tiivisteiden tarkastus ja vaihto
- mekanismien tarkastus ja säätö. (Diamond Power 2021.)

5 TEOLLISUUDEN KUNNOSSAPITO

Teollisuudessa käytettävien laitteiden toimintavarmuuden takaaminen edellyttää systemaattista ja tehokasta kunnossapitoa. Sillä opinnäytetyössä keskitytään mekaanisen kunnossapitotiimin suorittamiin ennakkohuoltotöihin, on kunnossapidon eri osa-alueiden sekä ennakkohuoltoprosessin ymmärtäminen tärkeää. Huoltotöiden hallinnassa, aikataulutuksessa sekä dokumentoinnissa keskeisessä osassa on kunnossapitojärjestelmä, jota on hyödynnetty opinnäytetyössä ennakkohuoltosuunnitelmien puutteiden tunnistamiseen ja korjauksien tekoon.

5.1 Kunnossapito ja kunnossapitolajit

Teollisuuden kunnossapito on oleellinen osa tuotantolaitosten toimintavarmuuden ja tehokkuuden ylläpitoa. Käsitteenä se voidaan määrittää usealla tavalla. Standardissa SFS-EN 13306 (2017) on kunnossapito määritetty seuraavasti:

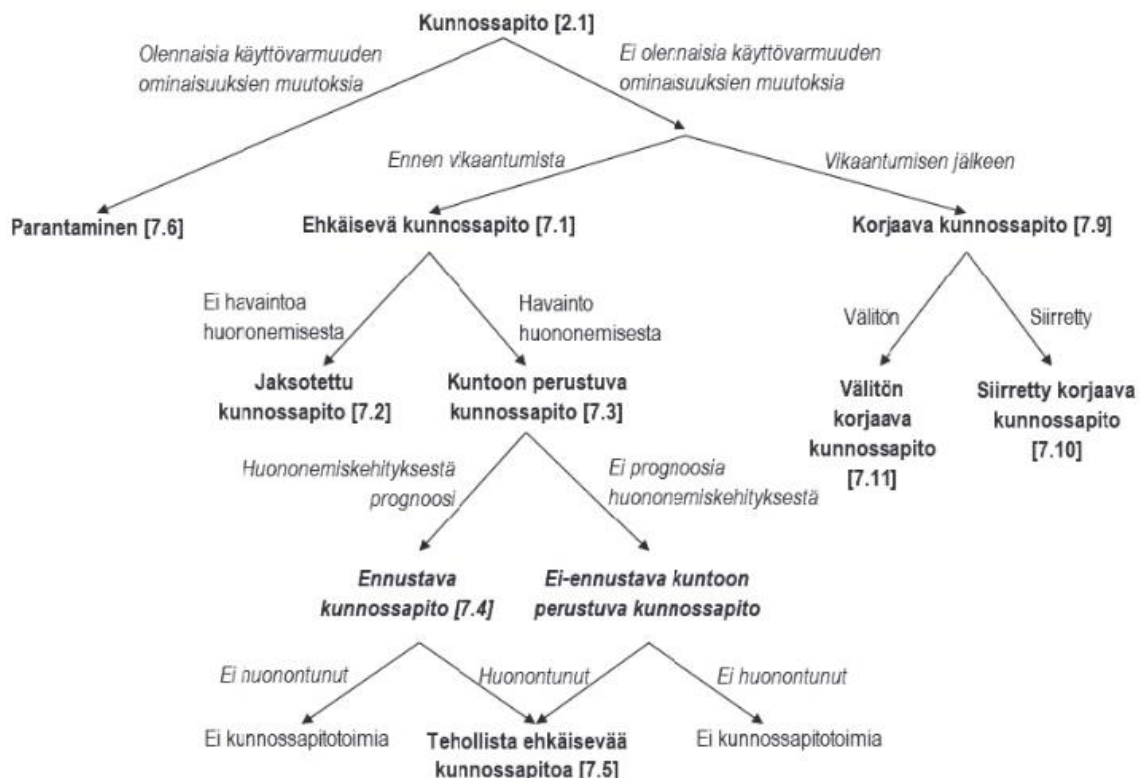
Kaikki kohteen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon (SFS-EN 13306 2017, 5).

Kunnossapidon keskeisimmät tavoitteet ovat käyttövarmuuden ylläpito ja korkea tuotannon kokonaistehokkuus (Järviö 2006, 35). Kunnossapidon avulla pyritään siis minimoimaan käyttökatkoja, pidentämään laitteiden käyttöikää ja alentamaan pitkällä aikavälillä kokonaiskustannuksia. Lisäksi kunnossapito tukee laitosten optimaalista suorituskykyä ja voi siten mahdollistaa tasaisen tuotannon ja laadun (Heinonkoski 2013, 231).

Laitteiden kunnossapidon tarpeeseen vaikuttavat useat tekijät, kuten laitteen kriittisyys tuotannon kannalta ja käyttöympäristö. Haastavissa käyttöympäristöissä toimivia laitteita tulee huoltaa useammin. Kunnossapitotarpeeseen vaikuttavat myös laitteen tekninen toteutus ja kuormitus käytön aikana, minkä lisäksi joidenkin laitteiden kunnossapitotarve voi perustua viranomaisten määräyksiin. Esimerkiksi painelaitteilla, paloilmoituslaitteilla ja hisseillä on viranomaisten määrittämiä

pakollisia tarkastuksia, joiden säännöllisestä suorittamisesta on vastuussa laitteen omistaja. (Heinonkoski 2013, 13.)

Kunnossapidon alalajit voidaan jakaa usealla eri tavalla. Standardin SFS-EN 13306 (2017) mukaan kunnossapitolajit voidaan jakaa parantavaan-, ehkäisevään- ja korjaavaan kunnossapitoon. Kuviossa 13 on havainnollistettu kunnossapitolajien jakautumista ja niille tyypillisiä ominaisuuksia.



KUVIO 13. Standardin SFS-EN 13306 mukaiset kunnossapitolajit (SFS 13306 2017, 22).

Ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan niitä toimia, joilla minimoidaan todennäköisyys laitteen vikaantumiselle tai toiminnan heikentymiselle. Ehkäisevä kunnossapito voidaan edelleen jakaa jaksotettuun kunnossapitoon tai kuntoon perustuvaan kunnossapitoon. Jaksotettuja kunnossapitotoimia suoritetaan, vaikka laitteen kunnossa ei ole havaittu heikentymistä. Kuntoon perustuvalla kunnossapidolla tarkoitetaan ehkäisevää kunnossapittoa, jossa kohteen fyysistä tilaa arvioidaan ja sen perusteella päätetään laitteelle mahdollisesti suoritettavista huolto- toimenpiteistä. (SFS 13306 2017, 14.)

Korjaavan kunnossapidon tavoitteena on saattaa kohde takaisin toimintakuntoon vian havaitsemisen jälkeen. Korjaava kunnossapito voidaan jakaa siirrettyyn tai välittömään korjaavaan kunnossapitoon. Nimensä mukaisesti siirretyllä kunnossapidolla tarkoitetaan korjaavaa kunnossapitoa, jota viivästetään, eli toimenpiteitä ei suoriteta heti vian havaitsemisen jälkeen. Välitön kunnossapito tarkoittaa korjaavaa kunnossapitoa, jossa vika korjataan heti sen havaitsemisen jälkeen. (SFS 13306 2017, 15.)

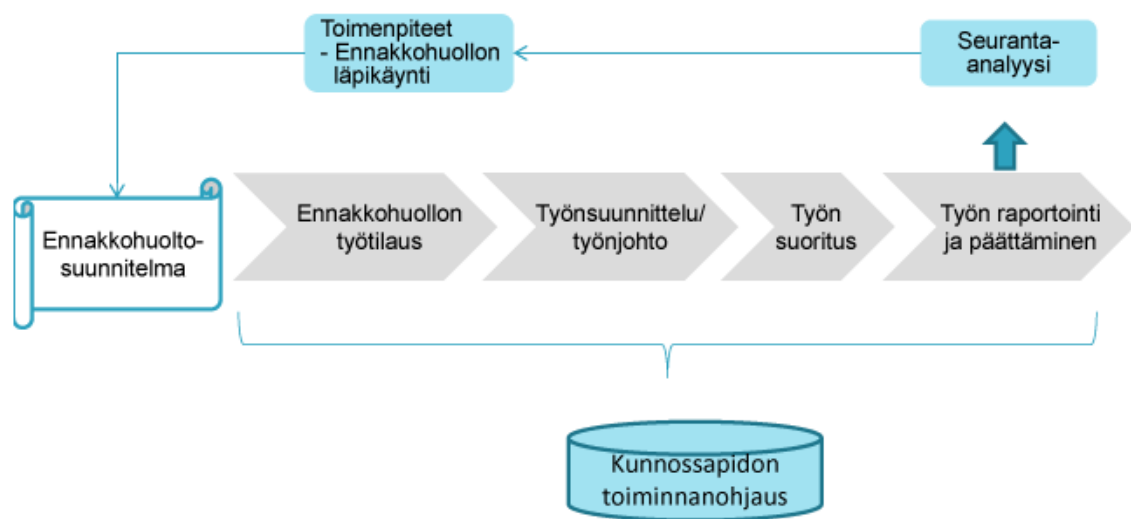
5.2 Ennakkohuolto

Ennakoivaan kunnossapitoon liittyvä ennakkohuolto on keskeinen tekijä laitteiden toimintavarmuuden ja elinkaaren hallinnan kannalta. Ennakkohuollon merkityksen ja peruseräiteiden ymmärtäminen on oleellisessa osassa laatiessa laitteiden ennakkohuoltosuunnitelmia.

Ennakkohuolto pitää sisällään kaikki ne toimet, joilla ylläpidetään laitteen kuntoa ennen sen vikaantumista. Sen tavoitteena on parantaa laitteen käytettävyyttä suorittamalla huoltotyöt laitteen vikaantumisriskin minimoivassa syklissä. Laitteiden valmistajien laatimat ennakkohuoltosuunnitelmat perustuvat yleensä joko suunnitteluvaiheessa tehtyihin laskelmiin tai laitteen käytön seurannasta kerättyyn mittausdataan ja sen analysointiin. Valmistajien ohjeiden lisäksi suoritettavat huoltotyöt voivat perustua kokemuseräiseen tietoon. (Heinonkoski 2013, 222, 229–231.)

Ennakkohuoltotöiden suoritus perustuu yleensä jaksotettuun kunnossapitoon. Tällä tarkoitetaan ennalta määritettyjen huoltosuunnitelmien mukaisten toimenpiteiden suorittamista joko tietyn aikavälin, käyttöajan tai tuotantomäärän välein. Yleisin tapa on jaksottaa huoltotyöt tietyn kalenteriajan välein. Tietyn aikavälein suoritettavien huoltotöiden ajoittaminen on selkeää, mutta menetelmällä ei välttämättä pystytä huomioimaan laitteen todellista käyttöastetta ja huoltotarvetta. (KnowPulp versio 23.0, 2025c.)

Kuviossa 14 on esitelty ennakkohuoltoihin liittyvä kokonaisprosessi. Prosessin voidaan ajatella alkavan ennakkohuoltosuunnitelman laatimisesta, jossa on huomioitu muun muassa laitevalmistajan ohjeet ja laitteen käyttöympäristö. Ennakkohuoltosuunnitelman mukaisesta työstä muodostuu ennalta määritetyin väliajoin toiminnanohjausjärjestelmään työ, jonka resursoimisesta ja suorittamisesta on vastuussa esimerkiksi työnjohto. Työnjohto määrittelee miten ja kuka työn suorittaa. Kunnossapitojärjestelmään raportoidaan suoritettu huoltotyö ja sen aikana tehdyt havainnot, joita muun muassa hyödynnetään ennakkohuoltosuunnitelmien kehittämiseen.



KUVIO 14. Ennakkohuoltoon liittyvä prosessi (KnowPulp versio 23.0, 2025c).

Suorittamalla ennakkohuoltotöitä saadaan parannettua toiminnan laatua. Laitteiden vikaantumisen vähentyessä käytettävyys paranee, jolloin tuottavuus kasvaa. Lisäksi yhtäkkisistä laiterikoista aiheutuvat kustannukset pienenevät ja seisokkimäärät vähentyvät. (Heinonkoski 2013, 231.)

5.3 Kunnossapitojärjestelmä

Kunnossapitojärjestelmällä tai kunnossapidon tietojärjestelmällä tarkoitetaan laitoksen kunnossapitoprosesseja varten kehitettyä tiedonhallintajärjestelmää, jonka tavoitteena on tukea laitoksen käyttövarmuutta. Järjestelmää voidaan käyttää kunnossapitotöiden suunnitteluun, ohjaukseen ja seurantaan. (KnowPulp versio 23.0, 2025d.)

Opinnäytetyössä tehtyjen ja muokattujen ennakkohuoltotyösuunnitelmien hallinta ja säilytys tapahtuu yrityksen käyttämässä kunnossapidon tietojärjestelmässä. Kyseinen järjestelmä mahdollistaa työsuunnitelmien laatimisen lisäksi esimerkiksi laitteiden dokumenttien, huoltohistorian ja varaosien tarkastelun. Opinnäytetyön toimeksiantajayritys käyttää kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmänä Vitec ALMA-järjestelmää. Yritys hyödyntää järjestelmää muun muassa kunnossapitoon, suunnitteluun ja projektinhallintaan (STT Info 2020).

Laitteille suoritetujen huoltotöiden ja havaittujen vikojen dokumentointi kunnossapitojärjestelmään on tärkeää, sillä kirjattuja havaintoja hyödynnetään työsuunnitelmien laatimisessa ja kehittämisessä. Dokumentointi on tärkeä kunnossapitoa, mutta yleensä sen merkitys korostuu vasta vikatilanteissa. Vikatilanteen nopeaan ratkaisemiseen tarvitaan kohteesta ja sen huolto- ja käyttöhistoriasta mahdollisimman paljon tietoa. (Heinonkoski 2013, 240.)

6 TULOKSET

Opinnäytetyön toimeksiantona oli tarkastaa kattilalaitoksen laitteiden ennakkohuoltosuunnitelmat sekä laatia lisäohjeistuksia tukemaan ennakkohuoltotöiden suoritusta. Laitteille suoritettavista ennakkohuoltotöistä tehtiin listaus, jota hyödynnettiin ennakkohuoltosuunnitelmien tarkastuksessa, korjauksessa sekä uusien teossa. Lisäohjeistusta vaativiin ennakkohuoltotöihin tehtiin kuvallisia työohjeita toimeksiantajan tarpeiden mukaan. Tavoitteena oli edistää laitteiden asianmukaisen ennakkohuollon toteutumista ja systemoida kunnossapitoprosessia. Seuraavaksi esitellään tarkemmin opinnäytetyön tulokset, jotka voidaan jakaa kolmeen osioon: selvitykseen laitteiden ennakkohuoltotöistä, ennakkohuoltosuunnitelmiin ja työohjeisiin.

6.1 Selvitys laitteiden ennakkohuoltotöistä

Opinnäytetyön toiminnallisen osuuden ensimmäisenä vaiheena oli tehdä selvitys kattilalaitoksen laitteille suoritettavista ennakkohuoltotöistä. Tarkoituksena oli koota yhteen dokumenttiin listaus laitteiden ennakkohuoltotöistä, jolloin laitekohtaisten huoltotöiden ja huoltovälien etsiminen sekä huoltotöiden tarkastaminen on tehokkaampaa.

Selvitys laitteille suoritettavista huoltotöistä aloitettiin keräämällä tietoa laitevalmistajien määrittämistä huolto-ohjeista. Tiedoista koottiin listaus, johon kirjattiin laitetoimittajakohtaisesti mitä huoltotöitä kyseisen valmistajan yksittäisille laitteille tulee suorittaa ja kuinka usein. Tiedonhaussa hyödynnettiin laitostoimituksen yhteydessä saatuja laitelistauksia ja laitteiden manuaaleja.

Lopputuloksena saatiin kattava listaus kattilalaitoksen laitteille suoritettavista ennakkohuoltotöistä. Laadittua dokumenttia hyödynnettiin myöhemmin opinnäytetyössä laitteiden ennakkohuoltosuunnitelmien tarkastamisessa. Sen avulla varmistettiin, että laitteiden ennakkohuoltosuunnitelmiin määritetyt huoltotoimenpiteet ovat yhdenmukaisia valmistajien suositusten kanssa. Laaditun listauksen alkuperäinen sivurakenne oli seuraava:

- laitetoimittajakohtainen otsikko
- kyseisen toimittajan laitteiden positiot
- laitetoimittajan huolto-ohjeet huoltovälin mukaan jaoteltuna.

6.2 Ennakkohuoltosuunnitelmat

Kattilalaitoksen laitteiden tarkoituksenmukaisen ennakkohuollon varmistamiseksi laitteiden ennakkohuoltosuunnitelmille tehtiin systemaattinen läpikäynti, jossa jokaisen laitteen työsuunnitelma tarkastettiin kunnossapitojärjestelmästä. Tarkastamisessa hyödynnettiin laitteiden ennakkohuoltotöistä laadittua listausta, johon kirjattuja huoltotöitä verrattiin kunnossapitojärjestelmän laitepositioon linkitettyyn työsuunnitelmaan. Olemassa olevista ennakkohuoltosuunnitelmista kirjattiin listaan huomioita ylös sen mukaan, toteutuiko ohjeistus, vai esiintyikö suunnitelmissa puutteita. Lisäksi järjestelmästä kokonaan puuttuvat ennakkohuoltosuunnitelmat kirjattiin listaan ylös. Tehdyistä huomioista kerättiin palautetta kunnossapidon ammattilaisilta, joiden kokemukseräiseen tietoon pohjautuen listaan täydennettiin vielä ennakkohuoltosuunnitelmien korjauksessa huomioitavia asioita. Listan sivurakennetta, yksittäisestä esimerkistä kirjattuja tietoja ja havaintoja ennakkohuoltosuunnitelmista on esitelty liitteessä 1. Liitteestä on peitetty luottamukselliset tunnisteet.

Listauksen, laitteiden käyttö- ja huoltohistorian sekä kunnossapidon ammattilaisten tiedon pohjalta aloitettiin ennakkohuoltosuunnitelmien lisääminen, korjaaminen ja täydentäminen kunnossapitojärjestelmään. Laitteiden työsuunnitelmien tarkastamisen yhteydessä havaitut, kokonaan puuttuvat ennakkohuoltosuunnitelmat tehtiin alusta alkaen kunnossapitojärjestelmään. Uusia työsuunnitelmia tehtiin kahdella tavalla, joista ensimmäisessä yksittäisiä työsuunnitelmia tehtiin yksittäisille laitteille. Toinen tapa oli tehdä yksittäinen työsuunnitelma ylemmälle kunnossapitojärjestelmän hierarkiapaikalle, johon liittyvät laitteet lisättiin tehtävinä (kuvio 15). Ensimmäistä tapaa käytettiin, kun kohteena oli yksittäinen laite ja sille määritettävät ennakkohuoltosuunnitelmat koskivat vain kyseistä laitetta. Toista tapaa käytettiin, kun sama huoltotyö suoritettiin useammalle laitteelle. Tämä tapa selkeyttää kunnossapitojärjestelmään uudelleenmuodostuvia töitä,

sillä jokaisesta yksittäisestä laitteesta ei muodostu uutta yksittäistä työtä järjestelmään.



KUVIO 15. Esimerkki työsuunnitelmasta, johon liittyvät laitteet lisätty tehtävinä.

Uusia ennakkohuoltosuunnitelmia tehdessä työlle lisättiin ensin mallitehtävä. Mallitehtävässä määriteltiin muun muassa työn tyyppi, kiireellisyys ja kuvaus työn suorittamisesta. Samalla työlle pystyttiin määrittämään vastuuhenkilöt ja työn suorittamiseen vaaditut luvat. Mallitehtävän jälkeen työlle luotiin ajastin, jolla määritettiin laitteen haluttu huoltoväli. Esimerkki valmiista ajastimesta on esitelty kuviossa 16. Ajastimen avulla työsuunnitelma muodostuu kunnossapitojärjestelmään suoritettavaksi uudestaan halutun aikavälin jälkeen.

erusnäkymä v Työsuunnitelman ajastin: [redacted]

Työsuunnitelman ajastin Tyypit Ylempi Alempi Työsuunnitelmalinkki

Tunnus [redacted]

Nimitys NSL3 Kattilan ilmapeltien ja savukaasupeltien rasvaus

Aktiivinen

Ajastusasetukset
JÄTÄ/ptyhi mallityön aloitus/lopetus-kentät tyhjäksi. Määräaika toimii vain absoluuttisella ajastuksella. Uusi työ luodaan vain kun edellinen kirjataan valmiiksi.

Aloitusaika 29.9.2025 7:30

Lopetusaika 29.9.2025 15:30

Määrä-aika

Jakotyypit Absoluuttinen (Absoluuttinen jakotus lasketaan pohjassa määritellystä ajasta. Absoluuttisessa jaksotuksessa avoimiksi tehtäviksi lasketaan vain ne avoimet tehtävät joiden ajastus on määritetty ajastusta myöhäisempään.)
 Käytä kuitauspäivää seuraavan ajan laskentaan (vain suhteellisen jaksotyypin valinnan yhteydessä käytettävissä)

Jakomäärä 6

Jakoväli Kuukausi (Kuukausi)

Valitse sallitut viikonpäivät
Maanantai (Maanantai)
Tiistai (Tiistai)
Keskiviikko (Keskiviikko)
Torstai (Torstai)
Perjantai (Perjantai)
 Jaksota lähimpään sallittuun viikonpäivään

Luotavien tapahtumien määrä 1

Luotavien tapahtumien sijainti [redacted]

Kuitattujen tapahtumien sijainti [redacted]

Järjestelmä-asetukset
Valmis (Tunbikpaus suljetaan)
Valmis ja raportoitu (Työ suljetaan D365 automaattisesti)
Peruttu

KUVIO 16. Esimerkki työsuunnitelman ajastimesta.

Mallitehtävän ja ajastimen luomisen jälkeen työlle linkitettiin erilliset valmistajan määrittämät huolto-ohjeet ja muut tarvittavat dokumentit. Uusille töille tehtiin varaosalinkitykset, mikäli laite ja huoltotyön luonne sen vaati. Tämän jälkeen työstä luotiin ensimmäinen tehtävä, mikä käynnistää työn järjestelmässä. Mikäli tehty työ liittyi laitoksen vuosihuoltoon, linkitettiin muodostunut työ vielä erilliseen vuosihuoltotyökansioon. Kuviossa 17 on havainnollistettu esimerkki valmiista työsuunnitelmasta, jossa on nähtävissä osa mallitehtävässä määritellyistä tekijöistä.

Perusnäkymä v Työ: [redacted]

Työ - Malli Tyypit Ylempi Alempi Dokumenttilinkki Työsuunnitelmalinkki Julkaisudokumenttilinkki

Työn tiedot

Tunnus [redacted]

Nimitys NSL3 Kattilan ilmapeltien ja savukaasupeltien rasvaus

Työn tila Avoin (Ei aloitettu)

Kiireellisyys 2 (Seuraavassa tuotantokatossa / vuosihuollossa)

Kuvaus Ilma- ja savukaasupeltien rasvaus. Laitteet tehtävinä työllä
Voiteluaineen minimimäärä on 1/3 laakerin vapaasta rasvatilavuudesta (noin 5-10 g). Suositeltava tapa on kuitenkin korvata jokaisella voitelukerralla kaikki vanha rasva uudella. Voiteluaine Mobil Centaur XHP 462
Kohteiden sijainnit dokumenttilinkin takana olevassa työohjeessa.

Kohde [redacted]

Työn raportointi

Raportointi puuttuu

Raportointi

Raportoija

Työn vastuhenkilö

Työn suunnittelu

Aloitusaika

Lopetusaika

Määrä-aika

Tiimi Kunnossapito mekaaninen Tiimi

Työn resurssit

KUVIO 17. Esimerkki työsuunnitelmasta.

Olemassa olevia työsuunnitelmia korjattiin ja täydennettiin tarpeen mukaan. Työsuunnitelmille lisättiin puuttuvia dokumentteja, kuten esimerkiksi kyseisen laitteen valmistajan määrittämiä huolto-ohjeita. Työsuunnitelmien kuvauksiin täydennettiin tarpeen mukaan sanallisia ohjeistuksia huoltotöiden suorittamisesta. Mikäli työsuunnitelmalle tehtiin muutoksia, tuli samat muutokset lisätä manuaalisesti myös ajastimen kautta automaattisesti muodostuneelle työlle.

Laitteiden ennakkohuoltotöiden lisäksi niiden huoltovälejä uudelleenarvioitiin yhdessä kunnossapidon asiantuntijoiden kanssa. Huoltovälejä määritettäessä tulee lähtökohtaisesti noudattaa valmistajan laatimia ohjeita, mutta kaikissa tapauksissa ohjeet eivät välttämättä huomioi laitteen todellista käyttöhistoriaa ja kunnossapitotarvetta. Esimerkiksi osaa laitoksen laitteista käytetään harvoin, kuten vain kattilan ylös- ja alasajon yhteydessä, jolloin laitteen kuormitus jää merkittävästi vähäisemmäksi kuin jatkuvasti käytössä olevilla laitteilla. Tällöin valmistajan määrittämä, laitteen jatkuvaan käyttöön perustuva huoltovälisuositus, voi johtaa tarpeettomiin huoltotoimenpiteisiin. Tämän vuoksi ennakkohuoltosuunnitelmia ja huoltovälejä määritettäessä on tärkeää huomioida laitteen todellinen käyttöhistoria, jotta ennakkohuolto voidaan suorittaa tarkoituksenmukaisesti ja siten välttää ylimääräinen kunnossapitotyö.

Aina ennen ennakkohuoltosuunnitelmien mukaisten huoltotöiden suorittamista tulee varmistaa, että työ pystytään suorittamaan turvallisesti. Tämä tarkoittaa kohteen ja prosessin saattamista sellaiseen tilaan, että huoltotyön suorittamisesta ei voi aiheutua henkilövahinkoa. Käytännössä tällä tarkoitetaan esimerkiksi lukitusten ja prosessierotusten tekoa. Lisäksi työn vaatimat luvat, kuten säiliö- tai tulityölupa, tulee olla kunnossa.

6.3 Työohjeet

Osalle ennakkohuoltotöistä laadittiin toimeksiantajan tarpeen mukaan erilliset, yksityiskohtaisemmat työohjeet. Työohjeiden tavoitteena on selkeyttää ja yksinkertaistaa ennakkohuoltosuunnitelmien mukaisten huoltotöiden tekoa. Jokai-

sesta tehdystä työohjeesta kerättiin palautetta kunnossapidon ammattilaisilta, joiden havaintojen ja toiveiden perusteella ohjeita muokattiin. Laaditut työohjeet vietiin kunnossapitojärjestelmään ja linkitettiin oikeille työsuunnitelmille, jotta niiden löytäminen työn suorittamisen tueksi on helpompaa.

Yksi tehdyistä työohjetyypeistä oli tarkastettavien kohteiden sijaintien tarkentaminen. Yksittäiseen työsuunnitelmaan voi liittyä kymmeniä laitteita, jotka sijaitsevat laitosalueen eri puolilla. Laitteiden fyysisten sijaintien tietäminen perustuu pääsääntöisesti työntekijöiden kokemuseräiseen tietoon, jolloin riski inhimillisten unohdusten tapahtumiselle kasvaa. Tämä loi tarpeen laatia yksityiskohtaisemmat ohjeet laitteiden sijainneista laitosalueella. Usean laitteen tarkastukseen tai huoltoon liittyvissä työsuunnitelmissa laitteiden fyysisten sijaintitietojen kokoaminen yhteen dokumenttiin tukee työn tehokasta suorittamista ja laitteiden asianmukaisen huollon toteutumista.

Laitteiden sijaintiin liittyvien ohjeiden teko aloitettiin määrittämällä laitteet, jotka liittyvät työhön. Laitteiden fyysinen sijainti laitoksella selvitettiin ja dokumentoitiin, minkä jälkeen laadittiin listaus, johon laitepositiokohtaisesti liitettiin havainnollistava valokuva ja sanallinen selitys laitteen sijainnista. Esimerkki ohjeiden sivurakenteesta ja yksittäisen tarkastettavan kohteen sijainnista on esitelty liitteessä 2. Liitteestä on peitetty luottamukselliset tiedot. Laaditut ohjeet pidettiin mahdollisimman pelkistettyinä, jotta tarvittava tieto on heti saatavilla työtä suorittavalle asianomaiselle. Työn suorittamisen selkeyttämiseksi kohteet listattiin dokumentteihin niiden fyysisten sijaintien perusteella.

Toinen laadituista työohjetyypeistä oli huoltotyön työvaiheiden yksityiskohtaisempi läpikäynti. Laitoksen takuuajan voimassaolon aikana suurin osa ilmenneistä vioista on korjattu laitetoimittajan toimesta vuosihuollon yhteydessä. Kii-reellisissä tilanteissa korjauksia on tehnyt myös yrityksen oman kunnossapitotiimi. Takuuajan päättyessä laitteiden huolto- ja korjausvastuu siirtyy yhä enemmän yrityksen omalle kunnossapidolle, mikä loi tarpeen täydentää työohjeita.

Opinnäytetyö suoritettiin laitoksen ollessa käynnissä, minkä vuoksi vuosihuoltotyölle ei pystytty laatimaan ohjeistuksia alusta alkaen. Vuosihuoltotyölle kuitenkin

luotiin alustava huolto-ohje laitevalmistajan suorittamasta takuukorjauksesta kirjattun huoltomuistion ja laitemanuaalin pohjalta. Huoltomuistiossa on käyty yksityiskohtaisesti läpi tarkastettavat ja huollettavat kohteet, mitä voitiin hyödyntää huolto-ohjeiden laatimisessa seuraavaa vuosihuoltoa varten. Tarkoituksena oli luoda mekaaniselle kunnossapitotiimille kuvallinen ohje suoritettavista työvaiheista ja tarkastettavista kohteista. Ohjeissa selkeästi eriteltyt työvaiheet ja tarkastettavat kohteet tukevat suoritettavan työn tehokkuutta, turvallisuutta ja laadukkuutta. Työohjetta tulee täsmentää vuosihuoltotyön suorituksen yhteydessä havaittujen asioiden mukaisesti.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön toimeksiannossa tarkastaa kattilalaitoksen laitteiden ennakkohuoltosuunnitelmat sekä laatia kunnossapitoprosessia tukevia työohjeita onnistuttiin. Jokaisen aiheajaukseen kuuluvan laitteen ennakkohuoltosuunnitelma tarkastettiin ja havaitut puutteet korjattiin. Uudet työohjeet saatiin laadittua vastaamaan toimeksiantajan toiveita ja tarpeita.

Ennakkohuoltosuunnitelmien täydennyksessä ja työohjeiden teossa yhdistyvät teoria ja käytännön kokemus. Työn teoreettinen viitekehys tarjosi laajemman ymmärryksen kattilalaitoksen prosessista ja laitteista, mikä edesauttoi työn toiminnallisen osuuden suorittamista. Teorian lisäksi laitteiden käyttö- ja huoltohistorian tunteminen sekä laitosprosessiin vaikuttavien tekijöiden ymmärtäminen on ensiarvoisen tärkeää ennakkohuoltosuunnitelmia täydentäessä. Ennakkohuoltosuunnitelmien täydennystä varten tutkitut laitemanuaalit tarjosivat hyvän pohjan työsuunnitelmille, mutta todellista huoltotarvetta arvioidakseen tulee laitteen käyttöympäristö tuntea kokonaisuudessaan. Lisäksi laitteiden käyttökohteiden ja rakenteiden tunteminen teoriassa tuki sekä ennakkohuoltosuunnitelmien että työohjeiden laatimista.

Ennakkohuoltosuunnitelmien ja työohjeiden kehittäminen ei lopu tähän. Laitteen käytettävyyden ja eliniän optimoimiseksi tulee ennakkohuollon tarvetta uudelleenarvioida säännöllisesti. On tärkeää seurata laitteiden toimintaa käynnin aikana, ja mikäli laitteen kunnossa huomataan muutoksia, tulee ongelman juurisyyt selvittää sekä uudelleenarvioida huoltovälin riittävyyttä. Erityisesti täysin uusien työsuunnitelmien täydentäminen ensimmäisen suoritettun huollon jälkeen on tärkeää, jotta työskentelystä saadaan tehokasta ja turvallista. Kaikkia huoltotöitä suoritettaessa on tärkeää kirjata ylös huollon aikana tehtyjä havaintoja ennakkohuoltosuunnitelmien päivittämiseksi ja laitteelle optimaalisen huolto-ohjelman määrittämiseksi.

Lisäksi opinnäytetyötä tehdessä kirjattiin ylös puutteita, jotka liittyivät opinnäytetyön aiheajauksen ulkopuolelle. Nämä havainnot kirjattiin ylös toimeksiantajalle luovutettuun listaukseen, jota voidaan hyödyntää myöhemmin työsuunnitelmien

täydentämiseen. Listauksen avulla havaittujen puutosten korjaaminen on selkeämpää, sillä erillistä selvitystyötä puutteista ei tarvitse suorittaa.

Työ opetti paljon niin voimalaitosprosessista, kuin kunnossapitotöistä. Erityisesti kattilalaitoksen teoriaan perehtyminen oli mielenkiintoista ja opettavaista. Toimeksiantajalle tehdyssä työssä saatiin arvokasta käytännön työkokemusta suunnitelmien teosta kunnossapitojärjestelmään. Työ opetti, että ennakkohuoltosuunnitelmien laatiminen ei ole niin yksiselitteistä. Laitteen kunnossapitotarpeeseen vaikuttaa lukuisa määrä tekijöitä, joiden vaikutusta laitteen huoltoon oppii arvioimaan vasta vuosien työkokemuksen jälkeen.

LÄHTEET

Blackmore, I. & Smith, D. n.d. Rotary valves: an introduction to selection and use. Gericke AG. Pdf-dokumentti. Viitattu 20.4.2025.

https://www.gerickegroup.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Brochures/RV/Rotary_Valves_An_introduction_to_selection_and_use_by_Ian_Blackmore_Derek_Smith.pdf

Blomberg, T., Hiltunen, M. & Makkonen, P. 2015. Modern CFB Concept for Combustion of Recovered Fuels: Design for Improved Availability. Pdf-dokumentti. Viitattu 16.4.2025. https://www.researchgate.net/publication/266231293_Modern_CFB_Concept_for_Combustion_of_Recovered_Fuels_Design_for_Improved_Availability

Brown, B. 2024. 10 Common Types of Valves. Verkkosivu. Viitattu 16.4.2025. <https://www.lorric.com/en/Articles/valve/valve-all/valves>

DMN-Westinghouse. 2002. AL-BL sulkusyöttimet. Käyttöohjeet ja turvamääräykset. DMN-Westinghouse:n sisäinen dokumentti. Viitattu 7.4.2025.

Energy Education. 2024. Cyclone Separator. Verkkosivu. Viitattu 18.4.2025. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Cyclone_separator

Fialová, D. & Jegla, Z. 2019. Analysis of Fired Equipment within the Framework of Low-Cost Modelling Systems. Pdf-dokumentti. Viitattu 23.4.2025. https://www.researchgate.net/publication/330943559_Analysis_of_Fired_Equipment_within_the_Framework_of_Low-Cost_Modelling_Systems

Finkova Oy. n.d. Kuinka usein teollisuuden venttiilit tulisi huoltaa? Verkkosivu. Viitattu 21.4.2025. <https://finkova.fi/kuinka-usein-teollisuuden-venttiilit-tulisi-huoltaa/>

Heinonkoski, R. 2013. Kone- ja prosessiautomaation kunnossapito. Helsinki: Opetushallitus.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P., & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. 5. uus. painos. Helsinki: Edita.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka. 5. painos. Helsinki: Opetushallitus.

Ja Redden. 2024. Centrifugal vs Axial Fans. Verkkosivu. Viitattu 12.4.2025 <https://www.jaredden.com.sg/centrifugal-vs-axial-fan/>

Joronen, T., Kovács, J. & Majanne, Y. 2007. Voimalaitosautomaatio. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.

Järviö, J. 2006. Kunnossapito. 3. uud. painos. Helsinki: KP-Media.

KnowPulp versio 23.0. 2025a. AEL/Proledge Oy. Höyrykattilan toimintaperiaate. Viitattu 28.3.2025. Vaatii käyttöoikeuden.
https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/monipoltt_kattilat/5_0_hoyrykatt_pe-riaate/frame.htm

KnowPulp versio 23.0. 2025b. AEL/Proledge Oy. Käyttövarmuuteen vaikuttavat tekijät. Viitattu 7.4.2025. Vaatii käyttöoikeuden.
https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/maintenance/3_equipment/7_soot-blowers/1_general/frame.htm

KnowPulp versio 23.0. 2025c. AEL/Proledge Oy. Jaksotettu kunnossapito. Viitattu 7.4.2025. Vaatii käyttöoikeuden.
https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/maintenance/1_maintenance/2_operations/2_service/frame.htm

KnowPulp versio 23.0. 2025d. AEL/Proledge Oy. Kunnossapidon tietojärjestelmät. Viitattu 9.4.2025. Vaatii käyttöoikeuden.
https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/maintenance/1_maintenance/5_information_systems/1_general/frame.htm

Kopar. 2024. Kolakuljettimien käyttöohjeet. Verkkosivu. Viitattu 12.4.2025.
<https://kopar.fi/kolakuljettimien-kayttoohjeet/>

Motiva. 2020. Puhaltimien hankintaopas. Pdf-dokumentti. Viitattu 27.3.2025.
https://www.motiva.fi/files/18151/Puhaltimien_hankintaopas.pdf

Powder and bulk solids. 2024. Pros and Cons of Vibratory Tube Conveyors and Screw Conveyors. Verkkosivu. Viitattu 7.4.2025.
<https://www.powderbulksolids.com/mechanical-conveying/pros-and-cons-of-vibratory-tube-conveyors-and-screw-conveyors->

Raumaster. 2022. Käyttö- ja huolto-opas. Raumaster:n sisäinen dokumentti. Viitattu 7.4.2025.

Sammet. 2005. Sulku- ja säätöpellit: Asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet. Sammet:n sisäinen dokumentti. Viitattu 7.4.2025.

SFS 13306. 2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Viitattu 11.4.2025. Vaatii käyttöoikeuden.
<https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx#>

STT Info. 2020. Tampereen Sähkölaitos valitsi Vitec ALMAN kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmän. Tiedote. Viitattu 6.4.2025.
<https://www.sttinfo.fi/tiedote/69880303/tampereen-sahkolaitos-valitsi-vitec-alman-kunnossapidon-toiminnanohjausjarjestelman?publisherId=69817925>

Tampereen Energia Oy. 2023. Naistenlahden voimalaitoksen turvallisuustiedote. Pdf-dokumentti. Viitattu 3.3.2025.
<https://www.tampereenergia.fi/wp-content/uploads/2023/08/naistenlahden-turvallisuustiedote-2023.pdf>

Tampereen Energia Oy. 2024. Vastuullisuusraportti 2023. Pdf-dokumentti. Viitattu 6.4.2025.

<https://www.tampereenenergia.fi/wp-content/uploads/2024/03/tae-vastuullisuusraportti-2023-1.pdf>

Tampereen Energia Oy. 2025a. Energiantuotanto Tampereella. Verkkosivu. Viitattu 9.4.2025. <https://www.tampereenenergia.fi/tampereen-energia/energia/energiantuotanto-tampereella/>

Tampereen Energia Oy. 2025b. Lielahden voimalaitos. Verkkosivu. Viitattu 9.4.2025. <https://www.tampereenenergia.fi/tampereen-energia/energia/energiantuotanto-tampereella/lielahden-voimalaitos/>

Tampereen Energia Oy. 2025c. Vesivoimalaitokset Tampereella. Verkkosivu. Viitattu 3.3.2025. <https://www.tampereenenergia.fi/tampereen-energia/energia/energiantuotanto-tampereella/vesivoimalaitokset/>

Tampereen Energia. 2025d. Kestävyyssraportti 2024. Pdf-dokumentti. Viitattu 24.4.2025. <https://www.tampereenenergia.fi/wp-content/uploads/2025/04/tampereen-energia-kestavyysraportti-2024.pdf>

Vakkilainen, E. 2016. Steam generation from biomass: construction and design of large boilers. Oxford: Elsevier Science & Technology.

Valmet Oyj. 2020. Valmet toimittaa uusiutuvia biomassoja käyttävän kattilalaitoksen Tampereen Sähkölaitokselle. Lehdistötiedote. Viitattu 2.4.2025. <https://www.valmet.com/fi/media/uutiset/lehdistotiedotteet/2020/valmet-toimittaa-uusiutuvia-biomassoja-kayttavan-kattilalaitoksen-tampereen-sahkolaitokselle/>

Valmet Oyj. 2023. Important milestones reached in the Tahara project. Verkkosivu. Viitattu 17.4.2025. <https://www.valmet.com/insights/articles/energy/important-milestones-reached-in-the-tahara-project/>

LIITTEET

Liite 1. Esimerkki ennakkohuoltolistasta

Ennakkohuoltolista SV-pumppujen moottoreiden voiteluyksikkö

Voiteluyksiköiden positiolle ei linkitettyjä työsuunnitelmia Almassa. Pumpuilla omat työsuunnitelmat.

- [REDACTED] Syöttövesipumppu 1 vuosihuoltotyö
- [REDACTED] Syöttövesipumppu 2 vuosihuoltotyö
- **Olemassa olevissa voiteluyksiköiden huolloissa ei näitä mainittuna**
 - o tehdään oma työsuunnitelma suodattimen vaihdosta
 - Tehty Työsuunnitelma [REDACTED] Syöttövesipumppujen voiteluyksiköiden suodattimien vaihto
 - o tehdään oma työsuunnitelma öljynvaihdosta
 - Tehty Työsuunnitelma [REDACTED] Syöttövesipumppujen voiteluyksiköiden öljynvaihto (Mobil DTE Oil Light)

[REDACTED]	SV PUMPPU 1 VOITELUYKSIKÖ
[REDACTED]	SV PUMPPU 2 VOITELUYKSIKÖ

52 VK VÄLEIN

- SV-pumppu 1 ja 2 voiteluyksikkö: Suodatin vaihdetaan likaisuusindikaattorin ilmoituksen mukaan, kuitenkin vähintään kerran vuodessa.

20000 H VÄLEIN

- SV-pumppu 1 ja 2 voiteluyksikkö: Öljynvaihto. Täytä koneikko aina suodattimen läpi. Täyttösuodattimen silmäkoko saa suurimmillaan olla 0,04 mm. Järjestelmän omaa suodatinta voi myös käyttää.

Liite 2. Esimerkki lisäohjeesta

████████████████████ - Säätöpelti ylä sekundääri-ilma takaseinälle vasen

Taso 4, vasen seinä, kuvassa näkyvät portaat alas

