

Opinnäytetyö (AMK)

Insinööri, Energia- ja ympäristötekniikka

2019

Julius Väilä

OLKILUOTO 3 LAITOSYKSIKÖN LAITOSMITTAUKSET

– Syöttövesisäiliön ja höyrystimien suorituskyky

Julius Väilä

OLKILUOTO 3 LAITOSYKSIKÖN LAITOSMITTAUKSET

- Syöttövesisäiliön ja höyrystimien suorituskyky

Opinnäytetyössä kehitettiin Olkiluoto 3 ydinvoimalaitosyksikön syöttövesisäiliölle ja höyrystimille laskentapohja, jolla voidaan määrittää näiden suorituskyky. Suorituskyvyn määrittämiseen tarvittavat mittaukset tehdään ennen vuosihuoltoa ja sen jälkeen, jolloin voidaan seurata komponenttien suorituskyvyn säilymistä pitkällä aikavälillä ja lisäksi esimerkiksi miten vuosihuollon aikana tehdyt huollot ja muutostyöt vaikuttavat tarkasteltavien komponenttien toimintaan. Syöttövesisäiliön ja höyrystimien suorituskyvyn seuranta on vain pieni osa koko prosessin suorituskyvyn seurannasta ja työn tarkoitus on myös antaa pohja koko prosessin suorituskyvyn laskentaan.

Työssä on esitetty Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 laitosyksiköt ja niiden toimintaperiaate, joille on tehty jo kyseinen koko prosessin suorituskyvyn seurantaohjelma. Tarkemmin työssä on esitetty OL3 laitosyksikkö, sen primääri- ja sekundääripiiri sekä niiden pääkomponentit. Työssä on tarkasteltu OL3 laitossopimuksessa mainitut standardit, joiden perusteella vastaanottokokeet on tarkoitus suorittaa, OL1 ja OL2 laitosyksiköiden suorituskyvyn seurannassa käytetyt standardit sekä ne standardit, jotka osoittautuivat syöttövesisäiliön ja höyrystimien suorituskyvyn laskennassa merkittäviksi.

Työssä on myös esitetty kaikki laskentapohjassa käytetyt kaavat, listattu laskennassa tarvittavat mittapisteet sekä selostettu laskentapohjan rakenne ja toiminta.

ASIASANAT:

Ydinvoimalaitos, höyrystin, syöttövesisäiliö, suorituskykymittaus, standardi.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and Environmental Engineering

2019 | 54 pages, 9 pages in appendices

Julius Väilä

OLKILUOTO 3 PLANT UNIT MEASUREMENTS

- Performance of the feedwater tank and steam generators

In the thesis, a calculation base was developed for the feedwater tank and steam generators of the Olkiluoto 3 nuclear power plant unit to determine their performance. Measurements needed to determine the performance are conducted before and after the annual maintenance, thus to monitor the long-term performance of the components and also as for example how the maintenance and modifications conducted during the annual maintenance affects the operation of the components under consideration. Monitoring the performance of the feedwater tank and the steam generators is only a small part of the overall monitoring process and the purpose of the thesis is also to provide a basis for calculating the performance of the entire process.

The thesis presents the Olkiluoto 1 and Olkiluoto 2 plant units and their operating principles, for which the monitoring program of the process has been conducted. More specifically the thesis presents the OL3 plant unit and its primary and secondary circuits and their main components. The thesis has examined the standards mentioned in the OL3 plant contract, on the basis of which the acceptance tests are due to be carried out, the standards used in the monitoring of the performance of the OL1 and OL2 plant units and the standards that proved to be significant in the calculation of the performance of the feedwater tank and the steam generators.

The thesis also includes all the formulas used in the calculation base, the measurement points listed in the calculation and the structure and operation of the calculation base.

KEYWORDS:

Nuclear power plant, steam generator, feedwater tank, performance test, standard.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SYMBOLIT	7
1 JOHDANTO	9
2 SYÖTTÖVESISÄILIÖN JA HÖYRYSTIMIEN SUORITUSKYVYN SELVITTÄMINEN	11
2.1 Syöttövesisäiliö	11
2.2 Höyrystimet	12
2.3 Suorituskyvyn selvittämisen tavoitteet ja tarkoitus	12
3 KKS-YKSILÖINTIJÄRJESTELMÄ	14
3.1 KKS-tunnuksen rakenne	14
4 OL1 JA OL2 LAITOSYKSIKÖT	17
4.1 Toimintaperiaate	17
5 OLKILUOTO 3	20
5.1 Toimintaperiaate	20
5.2 Primääripiiri	22
5.3 Sekundääripiiri	26
5.3.1 Päähöyryjärjestelmä	26
5.3.2 Päälahdejärjestelmä (LCA)	29
5.3.3 Syöttövesijärjestelmä (LA)	29
5.3.4 Höyrystimen ulospuhallusjärjestelmä (LCQ)	32
5.4 OL3 ja OL1/OL2 laitousyksiköiden keskeiset erot	33
6 LAITOSMITTAUKSET	35
6.1 OL1 ja OL2 laitospitoa	35
6.2 Tarkoitus	36
6.3 Standardit	38
6.3.1 OL3 laitospitoa mainitut standardit	39
6.3.2 Höyrystimen ja syöttövesisäiliön standardit	41
6.4 OL1 ja OL2 laitospitoa standardit	42
7 KOMPONENTTIEN SUORITUSKYKYMITTAUKSET	44

7.1 Mittausten ajoitus ja olosuhteet	44
7.2 Mittapisteeet	44
7.3 Mittalaitteet ja niiden kalibrointi	45
7.4 Suorituskykymittausten kytkeytyminen laitosmittauksiin	45

8 TUNNUSLUKUJEN LASKENTA **46**

8.1 Höyrystimien suorituskyky	46
8.1.1 Esilämmitysosan asteisuus	47
8.1.2 Lämpövirta	48
8.2 Syöttövesisäiliön suorituskyky	49
8.3 Laskennan toteutus	49
8.3.1 Mittapistelista	50
8.3.2 Data ennen ja jälkeen	52
8.3.3 Lämpötilat ja paineet	52
8.3.4 Asteisuudet	52
8.3.5 Laskentapohjan yhteenveto	52

9 YHTEENVETO **53**

LÄHTEET **54**

LIITTEET

- Liite 1. Taulukko 6.
- Liite 2. Mittapistelista.
- Liite 3. Data ennen.
- Liite 4. Data jälkeen.
- Liite 5. Lämpötilat.
- Liite 6. Paineet.
- Liite 7. Asteisuudet.
- Liite 8. Höyrystimien lämpövirrat.
- Liite 9. Yhteenveto.

KAAVAT

Kaava 1. Höyrystimen esilämmitysosan asteisuus.	47
Kaava 2. Lämpövirta.	48
Kaava 3. Vaihtoehtoinen lämpövirta.	48
Kaava 4. Lämpövirta ilman lämpöhäviöitä.	49

Kaava 5. Syöttövesisäiliön asteisuus.	49
---------------------------------------	----

KUVAT

Kuva 1. Kiehutusvesireaktorin toimintaperiaate (TVO 2018).	18
Kuva 2. Painevesireaktorin toimintaperiaate (OL3 laitostuntemuksen perusteet 2019).	21
Kuva 3. Höyrystimen rakenne (Nuclear Power 2019).	23
Kuva 4. Höyrystimen pohja (OL3 laitostuntemuksen jatkokurssi 2019).	24
Kuva 5. Aksiaalinen terminen tehostin (OL3 laitostuntemuksen jatkokurssi 2019).	25
Kuva 6. Syöttövesisäiliön rakenne (OL3 laitostuntemuksen jatkokurssi 2019).	31

KUVIOT

Kuvio 1. Esilämmitysosnan asteisuus.	47
--------------------------------------	----

TAULUKOT

Taulukko 1. KKS-tunnuksia.	15
Taulukko 2. OL1/OL2-laitosyksiköiden tekniset tiedot.	19
Taulukko 3. OL3-laitosyksikön tekniset tiedot.	22
Taulukko 4. Laitosyksiköiden tekniset tiedot.	34
Taulukko 5. Mittapisteet.	51
Taulukko 6. Syöttövesisäiliön yhteet.	1

KÄYTETYT LYHENTEET JA SYMBOLIT

Lyhenteet

ASME	The American Society of Mechanical Engineers
BWR	Boiling Water Reactor (Kiehutusvesireaktori)
DCA	Höyrystimen esilämmitysosan asteisuus
EPR	European Pressurized Water Reactor (Eurooppalainen paine- vesireaktori)
KKS-tunnus	Voimalaitoksen laitepaikkojen yksilöinti KKS-standardin mu- kaisesti
KP	korkeapaine
MP	matalapaine
OL1	Olkiluoto 1 -laitosyksikkö
OL2	Olkiluoto 2 -laitosyksikkö
OL3	Olkiluoto 3 -laitosyksikkö
PTC	Performance Test Code
PWR	Pressurized Water Reactor (painevesireaktori)
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
STUK	Säteilyturvakeskus
SYVE	Syöttövesi
TTD	Asteisuus
TVO	Teollisuuden Voima Oyj

Symbolit

∅	lämpövirta [W]
---	----------------

A	lämmönsiirto pinta-ala [m^2]
DCA	esilämmitysosan asteisuus [$^{\circ}\text{C}$]
Δh	ominaisentalpian muutos [kJ/kg]
$P_{\text{häviöt}}$	lämpöhäviöt ympäristöön [W]
q_m	massavirta [kg/s]
T_2	syöttöveden ulostulolämpötila [$^{\circ}\text{C}$]
T_h	höyryn lämpötila vesi-höyrypinnan paineessa [$^{\circ}\text{C}$]
ΔT_m	logaritminen lämpötilaero [$^{\circ}\text{C}$]
T_p	primääripiirin jäähdytteen poistolämpötila höyrytimeestä [$^{\circ}\text{C}$]
T_s	syöttöveden sisäänmenolämpötila höyrytimeen [$^{\circ}\text{C}$]
TTD	asteisuus [$^{\circ}\text{C}$]
U	lämmönsiirtokerroin [$\text{W/m}^2\text{K}$]

1 JOHDANTO

Tämän työn tilaajana toimii Teollisuuden Voima Oyj (TVO), joka on vuonna 1969 perustettu listaamaton julkinen osakeyhtiö. TVO tuottaa sähköä omistajilleen omakustannushinnalla, ns. Mankala-periaatteella. TVO:lla on kuusi omistajayhtiötä ja suurin näistä on Pohjolan Voima Oyj, jonka omistus TVO:sta on 58,5 %. TVO:n muita omistajia ovat EPV Energia Oy, Fortum Power and Heat Oy, Loiste Oy, Kemira Oyj ja Oy Mankala Ab. (TVO 2019a.)

TVO tuottaa sähköä Eurajoen Olkiluodossa kahdella ydinvoimalaitosyksiköllä, Olkiluoto 1:llä (OL1) ja 2:llä (OL2); kolmas laitosyksikkö Olkiluoto 3 (OL3) on rakenteilla. TVO on näiden kaikkien laitosyksiköiden omistaja ja käyttäjä. OL1 toimitettiin avaimet käteen periaatteella kuten myös OL3, mutta OL2:n rakennustöistä vastasi TVO. Nykyisin käyvien laitosten tuottama osuus Suomen koko sähkönkulutuksesta kattaa noin kuudenneksen ja OL3 valmistuttua TVO:n tuottama osuus Suomen koko sähkönkulutuksesta kasvaa vajaaseen kolmannekseen. Olkiluodon alueella toimii myös TVO:n ja Fingrid Oyj:n yhteishankkeena toteutettu 100 MW:n varavoimalaitos. (TVO 2019b.)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää OL3 ydinvoimalaitosyksikölle höyrystimien ja syöttövesisäiliön suorituskyvyn laskentapohja, jolla voidaan seurata kyseisten komponenttien suorituskyvyn määrittäviä parametreja vuosihuoltojen yhteydessä. Selvitystä voidaan myös hyödyntää tulevaisuudessa koko laitosyksikön kattavaa laitosmittausrutiinia suunniteltaessa.

Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 laitosyksiköille on kehitetty vuonna 2008 laitosmittausrutiini prosessin tilan seurantaan vuosihuoltojen yhteydessä ja kyseistä laitosmittausrutiinia on käytetty myös tämän työn pohjana, jotta laitosmittaukset pysyisivät yhtenäisinä. Tämä työ eroaa aikaisemmasta työstä siinä mielessä, että OL1 ja OL2 laitosyksiköillä on kiehutusvesireaktori (BWR) ja Olkiluoto 3 laitosyksiköllä on eurooppalainen painevesireaktori (EPR). Työ keskittyy erityisesti syöttövesisäiliöön sekä höyrystimiin, sillä kyseisiä komponentteja ei ole OL1 ja OL2 laitosyksiköillä.

Suorituskyky pyritään määrittämään ennen ja jälkeen vuosihuollon, jolloin voidaan seurata komponenttien suorituskyvyn säilymistä pitkällä aikavälillä ja lisäksi esimerkiksi miten vuosihuollon aikana tehdyt huollot ja muutostyöt vaikuttaa näiden komponenttien toimintaan.

Työn teoriaosuudessa esitellään Teollisuuden Voima Oyj, Olkiluodossa sijaitsevat ydinvoimalaitosyksiköt, niiden rakenne ja toimintaperiaate, mutta pääasia keskittyy Olkiluoto 3 laitosyksikköön. Työssä on esitetty myös OL3 laitosyksiköllä käytettävä yksilöintitunnusjärjestelmä helpottamaan työtä, sillä OL3 laitosyksikön osajärjestelmät on ilmoitettu tällä menetelmällä. Työssä esitellään lisäksi miksi laitosmittauksia tehdään ja niissä huomioitavia asioita. Työssä tutustutaan myös laitosmittauksien standardeihin sekä OL1 ja OL2 laitosyksiköiden, että OL3 laitosyksikön osalta.

Työssä kerätään mittapisteet, joiden avulla työn komponenttien suorituskykyä voidaan määrittää laskennalla. Laskentapohja on tehty OL1 ja OL2 laitosmittauksiin tarkoitetun Excel taulukon pohjalta, jotta laskentapohja pysyisi yhtenäisenä kaikkien laitosyksiköiden osalta.

2 SYÖTTÖVESISÄILIÖN JA HÖYRYSTIMIEN SUORITUSKYVYN SELVITTÄMINEN

Komponenttien suorituskyvyn määrittämisellä pystytään seuraamaan sekä koko laitoksen, että eri osajärjestelmien komponenttien kuntoa ja niille annettuja suorituskykyvaatimuksia. Suorituskykyä seuraamalla pystytään varmistamaan ydinvoimalaitoksen turvallinen ja tehokas käyttö.

OL3 laitosesyksiköllä on lämmönsiirtoon kaksi erillistä piiriä, primääri- ja sekundääripiiri. Reaktorilaitoksen primääripiiri eli reaktorin jäähdytysjärjestelmä on suljettu piiri, jossa on neljä kiertoa. Primääripiiri kattaa kokonaisuudessaan reaktoripaineastian, neljä höyrystintä, neljä pääkiertopumppua, paineistimen sekä näiden kaikkien putkistot.

Turbiinilaitoksen sekundääripiirin vesi-höyryprosessin tehtävä on muuttaa reaktorilaitoksesta tulevan tuorehöyryn lämpöenergia mahdollisimman tehokkaasti sähköenergiaksi ja palauttaa sekundääripiirin syöttövesi reaktorilaitoksen höyrystimille. Primääri ja sekundääripiiri kohtaavat höyrystimillä, mutta niissä kiertävät vedet eivät ole kosketuksissa toisiinsa ja tämän johdosta sekundääripiirissä ei ole radioaktiivista säteilyä. (TVO 2019d.)

2.1 Syöttövesisäiliö

Olkiluoto 3 laitosesyksiköllä syöttövesisäiliö toimii puskurina vesi-höyrykierrossa. Syöttövesisäiliö jakautuu höyry- ja vesifaasiin niin, että veden ja höyryn rajapinta pyritään pitämään säiliön keskivaiheilla. Syöttövesisäiliön pääasiallisena tehtävänä on esilämmittää sinne tuleva lauhde, poistaa siitä ilma ja vastaanottaa lukuisia virtauksia eri puolilta prosessia. Lauhdetta esilämmitetään höyrynerottimien/välitulistimien välittökohdasta saatavalla höyryllä.

Syöttövesisäiliön suorituskykyä kuvaavaksi parametriksi valikoitui tässä työssä asteisuus (TTD), joka kertoo syöttövesisäiliön lämmönsiirtokyvystä. Asteisuus on syöttövesisäiliön sisällä olevan höyryn lämpötilan ja syöttövesisäiliöstä pois lähtevän syöttöveden lämpötilan erotus eli lämpövajaus, joka jää hyödyntämättä. Syöttövesisäiliön lämmönsiirto toimii sitä paremmin, mitä pienempään asteisuuteen päästään.

2.2 Höyrystimet

Olkiluoto 3 laitossyksiköllä on 4 höyrystintä. Höyrystimessä siirretään lämpöä primääripiiristä sekundääripiiriin. Primääripiirissä kiertää paineistettua vettä (jäähdytettä), jonka tarkoituksena on siirtää polttoainesauvoilta lämpöä höyrystimeen. Primääripiirin vesi kulkee höyrystimen läpi U-muotoisten putkien kautta. Primääripiirin paineistettu vesi mahdollistaa korkean lämpötilan, niin ettei vesi ala kiehumään. Höyrystimen sekundääripuolella eli vaippapuolella kiertää syöttövettä, joka höyrystyy joutuessaan kosketuksiin U-putkien kanssa. Sekundääripiirin paine on primääripiirin painetta huomattavasti alhaisempi, joten primääripiirin luovutettuaan lämpönsä sekundääripiirille, syöttövesi höyrystyy.

Höyrystimien suorituskykyä kuvaaviksi parametreiksi valikoitui tässä työssä höyrystimen esilämmitysosan asteisuus (DCA) ja lämpövirta. Esilämmitysosan asteisuus kuvaa höyrystimen lämmönsiirtokykyä. Esilämmitysosan asteisuus on höyrystimestä lähtevän primääripiirin jäähdytteen lämpötilan ja höyrystimeen syötettävän syöttöveden lämpötilan erotus. Lämpövirta kuvastaa puolestaan höyrystimessä tapahtuvaa lämmönsiirtoa. Mitä suurempi lämpövirta on, sitä enemmän lämpöä siirtyy lämmittävästä virrasta lämmitettävään virtaan.

2.3 Suorituskyvyn selvittämisen tavoitteet ja tarkoitus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää laskentapohja Olkiluoto 3 laitossyksikön syöttövesisäiliölle ja höyrystimille, jolla voidaan määrittää näiden suorituskyky. Työn on tarkoitus toimia pohjana koko prosessin laitosmittausrutiinia suunniteltaessa näiden komponenttien osalta.

OL1 ja OL2 laitossyksiköille on tehty vuonna 2008 koko prosessin kattava laitosmittausrutiini ja OL3 laitossyksikölle ollaan suunnittelemassa vastaavaa. Työssä keskitytään syöttövesisäiliön ja höyrystimien suorituskykyyn, sillä OL1 ja OL2 laitossyksiköillä näitä komponentteja ei ole.

OL1 ja OL2 laitossyksikköjen laitosmittausrutiini pohjautuu ydinvoimalaitoksen suorituskykymittauksia koskeviin standardeihin ja tässä työssä on tarkoitus selvittää löytyykö syöttövesisäiliölle ja höyrystimille myös standardit, joihin työ voi pohjautua. Lisäksi työssä selvitetään onko käyville laitoksille suunniteltu laitosmittausrutiini hyödynnettävissä tähän työhön.

Suorituskyvyn määrittäminen on tarkoitus tehdä ennen ja jälkeen vuosihuollon, jolloin voidaan seurata komponenttien suorituskyvyn säilymistä pitkällä aikavälillä ja lisäksi esimerkiksi miten vuosihuolto vaikuttaa näiden komponenttien toimintaan.

3 KKS-YKSILÖINTIJÄRJESTELMÄ

OL3- laitousyksiköllä on käytössä KKS- yksilöintijärjestelmä, jonka VGB Powertech:n työryhmä kehitti 1970-luvulla. VGB Powertech on energiayhtiöiden kansainvälinen tekninen yhdistys, joka perustettiin Saksassa. (Yksilöintijärjestelmä-KKS koulutus 2017.)

Kyseinen yksilöintijärjestelmä auttaa tunnistamaan laitousyksikön, laitousyksikön rakennukset ja toiminnot, sekä niiden tehtävän tyyppin ja sijainnin. Se mahdollistaa jatkuvan tunnistamisen niin suunnittelulle, hyväksynnälle, lisensoinnille, asennukselle, käytölle, kunnossapidolle kuin jätehuollollekin. KKS-tunnusjärjestelmä omaa riittävästi kapasiteettia ja mahdollisuuksia myös järjestelmien, komponenttien sekä rakenteiden yksityiskoh- taiseen tunnistamiseen sekä niiden tehtävän ja sijainnin määrittämiseen. KKS ottaa huomioon niin kansalliset kuin kansainväliset vaatimukset ja se on kielestä riippumaton. (Yksilöintijärjestelmä-KKS koulutus 2017.)

3.1 KKS-tunnuksen rakenne

KKS-järjestelmän tunnus jakautuu kolmeen osaan, jos kyseessä on laite tai komponentti ja neljään osaan jos kyseessä on laitteesta tai komponentista lähtevä tai siihen saapuva signaali. KKS-tunnusta luetaan vasemmalta oikealle, jolloin laitteen sijainti selventyy joka kirjaimen ja numeron kohdalla. (Yksilöintijärjestelmä-KKS koulutus 2017.)

Ensimmäinen osa kertoo voimalaitousyksikön numeron. Toinen osa kertoo järjestelmän, sekä järjestelmän tunnuksen ja siihen liittyvän koneikon, sähkökaapin tai muun vastaa- van järjestysnumeron. Kolmas osa kertoo komponentin tai laitteen tyyppin, sen käyttötar- koituksen ja järjestysnumeron. Lisäksi tunnuksessa voi olla toinen toimintoavain, joka kertoo missä tilassa kyseinen laite tai komponentti sijaitsee ja se on nimeltään sijainti- tunnuksen tunnistaminen. (Yksilöintijärjestelmä-KKS koulutus 2017.)

Esimerkki. 30LAB64 AA101, jossa:

- Laitousyksikkö = 3, OL3
- 0 päärakennukselle, 1-9 lisärakennuksille tai ulkopuolisille asennuksille
- L = Höyry-, vesi- tai kaasupiiri
- LA = Syöttövesijärjestelmä

- LAB = Syöttövesilinja, suojarakennuksen ja turbiinirakennuksen ulkopuolella & sisäpuolella
- 64 = Osajärjestelmän numero (nouseva)
- A = Mekaaninen laitteisto
- AA Venttiili, säätöpelti, jne.
- 101 Venttiilin numero (nouseva).

(Yksilöntijärjestelmä-KKS koulutus 2017.)

Taulukossa 4 on esitetty työn kannalta oleelliset KKS tunnukset, joita käytetään esimerkiksi mittapisteiden etsinnässä.

Taulukko 1. KKS-tunnuksia.

NIMIKEET	KKS
JÄRJESTELMÄT JA KOMPONENTIT	
Reaktorin jäähdytysjärjestelmä	JE
Reaktorin paineastia	JAA
Höyrystin	JEA
Pääkiertopumppu	JEB
Paineistin	JEF
Paineistimen ulospuhallussäiliö	JEG
KP turbiini	MAA
Välitulistinputkisto (kylmä)	LBC
Välitulistin	LBJ
Välitulistinputkisto (kuuma)	LBB
MP turbiini	MAC
KP-väliottohöyryjärjestelmä A7	LBQ70
Päähöyryputket	LBA
Kosteudenerottimen lauhdejärjestelmä	LCT
Välitulistimen lauhdejärjestelmä	LCS
Lauhdutin	MAG

(jatkuu)

Taulukko 2. (jatkuu)

NIMIKKEET	KKS
Päälahdejärjestelmä	LCA
Päälahdepumput	LCB
Lauhteen suodatusjärjestelmä	LDB
Lauhteenkeruu ja palautusjärjestelmä	LCM
Matalapaine-esilämmittimet	LCC
Syöttövesisäiliö	LAA
Syöttövesipumppu	LAC
Apusyöttövesipumppu	LAJ
Syöttövesiputkisto	LAB
Apusyöttövesijärjestelmä	LAH
KP-syöttöveden esilämmitysjärjestelmä	LAD
KP-esilämmittimien sivulahdejärjestelmä	LCH
Höyrytimen ulospuhallusjärjestelmä	LCQ
PUTKISTOT	
Päähöyrylinja	LBA
Pääsyöttövesilinja	LAB

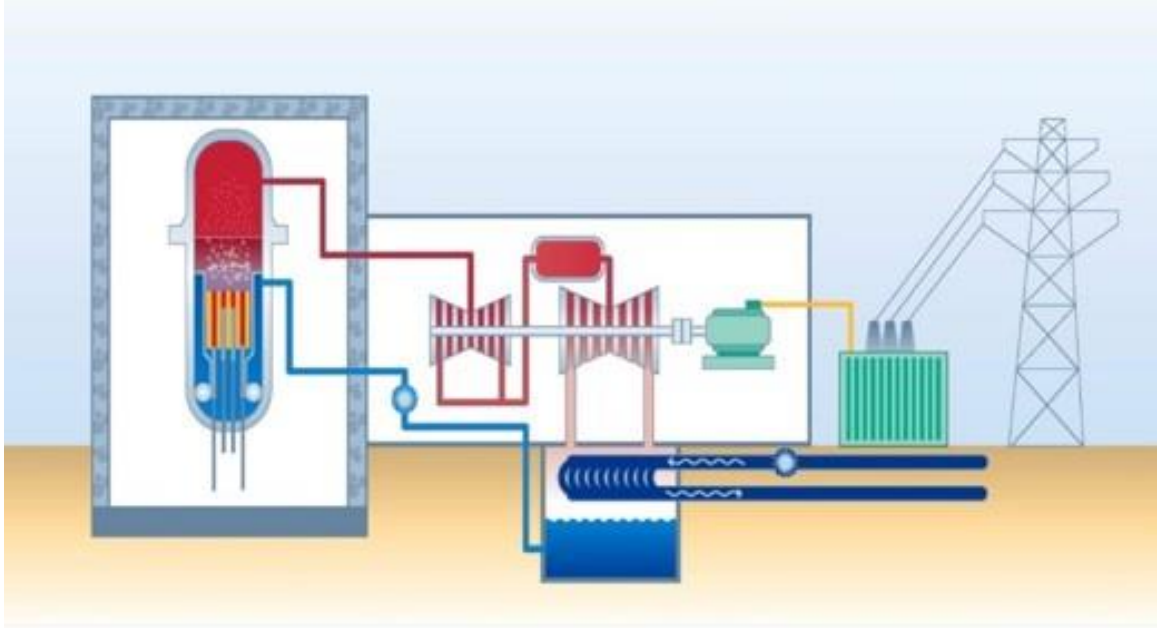
4 OL1 JA OL2 LAITOSYKSIKÖT

TVO:n ydinvoimalaitosyksiköt OL1 ja OL2 ovat identtisiä ja niissä on kiehutusvesireaktorit (BWR, Boiling Water Reactor). Laitosyksiköt toimitti ruotsalainen AB Asea Atom. OL1-laitosyksikkö toimitettiin avaimet käteen periaatteella, kun taas OL2-laitosyksikkön rakentamisesta vastasi TVO. OL1-yksikkö otettiin käyttöön syyskuussa 1978 ja OL2-yksikkö helmikuussa 1980. (TVO 2007, 4.)

Molempien laitoksien reaktorin tuottama sähköteho oli aluksi 660 MW, mutta laitoksia on modernisoitu vuosien mittaan ja nykyisin molempien laitoksien nettosähköteho on 890 MW. (TVO 2007, 5; TVO 2018.) TVO pyrkii pitämään laitokset jatkuvasti hyväkuntoisina ja vastaamaan nykyaikaisia vaatimuksia vuosihuoltojen avulla. Laitoksilla toteutetaan vuosihuollot joka vuosi. Joka toinen vuosi tehdään noin kahden viikon mittainen huolto- seisokki, jolloin vuorossa on polttoaineenvaihto, määräaikaistarkastukset, ennakkohuoltoja ja korjauksia, sekä lisäksi toteutetaan muutos- ja modernisointitöitä. Joka toinen vuosihuolto pidetään lyhempana nopeammin toteutettavana polttoaineenvaihtoseisokkina, jolloin itse laitosmuutoksia tehdään mahdollisimman vähän. (TVO 2007, 5.) Käyvät laitosyksiköt saivat 2018 käyttöluvan vuoteen 2038 asti ja on mahdollista, että laitosyksiköiden käyttöä jatketaan siitäkkin vielä.

4.1 Toimintaperiaate

Kiehutusvesilaitoksessa (BWR), joita OL1 ja OL2 laitosyksiköt ovat, vettä kierrätetään reaktorin sisällä olevien polttoaineasuvojen välistä, jolloin vesi alkaa kiehua. Reaktorin tehoa säädetään säätösauvoilla ja pääkiertopumpuilla. Reaktorissa muodostunut höyry johdetaan päähöyryputkilla korkeapaineturbiinille. Luovutettuaan osan energiastaan korkeapaineturbiinissa höyry johdetaan välitulistimille, joissa höyry kuivataan ja tulistetaan, ja sen jälkeen se johdetaan matalapaineturbiineille. Turbiinit pyörittävät samalle akselille kytkettyä generaattoria, joka tuottaa sähköä valtakunnan verkkoon. Matalapaineturbiineilta tuleva höyry lauhdutetaan vedeksi lauhduttimessa meriveden avulla. Lauhdevesi pumpataan lauhdepumpuilla esilämmittimien ja puhdistusjärjestelmän kautta syöttövesipumpuille, jotka pumpaavat sen syöttövetenä takaisin reaktoriin. Lämmennyt merivesi johdetaan lauhduttimesta takaisin mereen. (TVO 2007, 5.) Kuvassa 1 on esitetty kiehutusvesireaktorin toiminta ja kierto.



Kuva 1. Kiehumisvesireaktorin toimintaperiaate (TVO 2018).

Vertailukohtana OL3 laitosyksikköön, OL1 ja OL2 laitosyksiköillä ei ole erillistä syöttövesisäiliötä, vaan lauhduttimen pohja toimittaa kyseisen komponentin virkaa.

OL1 ja OL2 laitosyksiköt ovat identtisiä ja täten taulukossa 1 esitetyt tekniset tiedot vastaavat molempia laitoksia. Taulukossa esitetään laitosyksiköiden yleisimmät tekniset tiedot kuten tehot, mitat ja höyryn ominaisuudet.

Taulukko 2. OL1/OL2-laitosyksiköiden tekniset tiedot.

TEKNISET TIEDOT	
Nettosähköteho	890 MW
Reaktorin lämpöteho	2500 MW
Kokonaishyötysuhde	n. 35 %
Höyryvirta	n. 1 300 kg/s
Polttoainenippuja	500 kpl
Polttoaine	uraanidioksidi UO ₂
Polttoaineen kulutus	n. 20 t vuodessa
Tuorehöyryn lämpötila	286°C
Vuotuinen sähköntuotanto	n. 7 TWh
Säätösauvojen lukumäärä	121 kpl
Merivesivirtaus	38 m ³ /s
Turbiinin kierrosluku	3 000 rpm
Turbiinien lukumäärä	1 KP + 4 MP
Reaktorin paineastia	
Sisähalkaisija	5 540 mm
Sisäkorkeus	20 593 mm
Suunnittelupaine	85 bar
Käyttöpaine	70 bar
Suunnittelulämpötila	300°C
Käyttölämpötila	286°C

5 OLKILUOTO 3

Olkiluoto 3 laitosesikö rakennettiin muun muassa tuomaan lisäkapasiteettia kattamaan sähkökulutuksen kasvua ja toisaalta se myös korvaa käytöstä poistuvaa vanhaa, fossiilisiin energialähteisiin perustuvaa sähköntuotantokapasiteettia. Lisäksi OL3 laitosesikö myös edesauttaa yhdessä uusiutuvan energian käytön kanssa pienentämään Suomen hiilidioksidipäästöjä tavoitteen mukaisiksi, lisäämään sähkön hinnan vakautta sekä vähentää sähkön tuontiriippuvuutta. (TVO 2019d.)

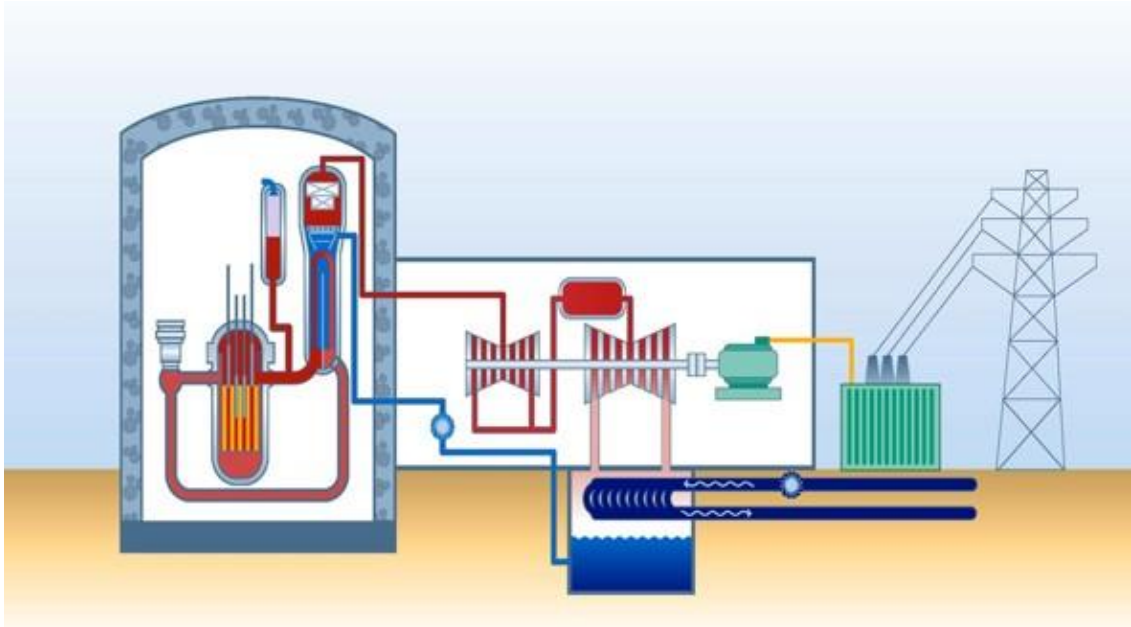
OL3 laitosesikö on 1600 MWe:n painevesireaktorilla (PWR) varustettu voimalaitosesikö, jonka tyyppinimi on EPR eli European Pressurized Water Reactor. Laitosesikö on tilattu kiinteähintaisena, avaimet käteen -periaatteella ja laitoksen toimittaa konsortio, jonka muodostavat AREVA GmbH, AREVA NP SAS ja Siemens AG. AREVA vastaa reaktorilaitoksen ja Siemens turbiinilaitoksen toimituksesta. OL3 laitosesikö on edistykseellinen laitos verrattuna nykyisiin jo käytössä oleviin ja se edustaa niin sanottua evoluutiotyyppiä, jonka perusratkaisut pohjautuvat käytössä olevien laitosten käytännössä koeteltuun tekniikkaan. Näitä esikuvia ovat muun muassa N4-laitostyyppi Ranskassa ja Konvoi-laitostyyppi Saksassa. Erityisesti huomiota on kiinnitetty turvallisuusominaisuuksiin. (TVO 2019d; TVO 2019e.)

5.1 Toimintaperiaate

Ydinvoimalaitos on toimintaperiaatteeltaan lämpövoimalaitos, jossa energiantuotanto perustuu uraanipolttoaineessa tapahtuvaan lämmöntuotantoon. Lämpö saadaan aikaan fissio- eli halkeamisreaktiolla ja kontrolloiduilla fissioiden ketjureaktioilla. (OL3 laitostuntemuksen perusteet 2019.)

Painevesilaitoksessa prosessivesi kiertää kahdessa eri prosessipiirissä. Paineistimen avulla korkeassa paineessa pidettävä vesi kiertää pääkiertopumppujen avulla primääripiirissä ja luovuttaa reaktorin tuottaman lämmön sekundääripiirille höyrystimessä. Reaktorin tehoa säädetään säätöelementeillä. Sekundääripiirin paine on huomattavasti primääripiirin painetta pienempi, joten sekundääripiirin vesi kiehuu höyrystimen sekundääripuolella. Höyrystimessä syntynyt vesihöyry pyörittää turbiinia ja se pyörittää samalle akselille kytkettyä generaattoria, joka tuottaa sähköä. Turbiinista tuleva höyry jäähdytetään

takaisin vedeksi lauhduttimessa meriveden avulla. Lauhdevesi syötetään takaisin höyrystimeen pumppaamalla, ja lämmennyt merivesi palautetaan mereen. (TVO 2019d.) Kuvassa 2 on esitetty painevesireaktorin toiminta.



Kuva 2. Painevesireaktorin toimintaperiaate (OL3 laitostuntemuksen perusteet 2019).

Taulukossa 3 on koottu OL3 laitoksen keskeisiä teknisiä tietoja havainnollistamaan laitoksen toimintaa ja prosessin suureita.

Taulukko 3. OL3-laitosyksikön tekniset tiedot.

TEKNISET TIEDOT	
Nettosähköteho	n. 1 600 MW
Reaktorin lämpöteho	4 300 MW
Kokonaishyötysuhde	n. 37 %
Polttoaineriippuja	241 kpl
Polttoaine	Uraanidioksidi UO ₂
Polttoaineen kulutus	n. 32 t vuodessa
Uraanin määrä reaktorissa	n. 128 tU
Tuorehöyryn lämpötila	290°C
Vuotuinen sähköntuotanto	n. 13 TWh
Säätöelementtien määrä	89 kpl
Merivesivirtaus	57 m ³ /s
Turbiinin kierrosluku	1 500 rpm
Turbiinien lukumäärä	1 KP + 3 MP
Reaktorin paineastia	
Sisähalkaisija	4 885 mm
Korkeus kannen kanssa	12 708 mm
Suunnittelupaine	176 bar
Käyttöpaine	155 bar
Suunnittelulämpötila	351°C
Jäähdytteen lämpötila sisääntulo	296°C
Jäähdytteen keskilämpötila	312°C
Jäähdytteen lämpötila ulosmeno	327,6°C

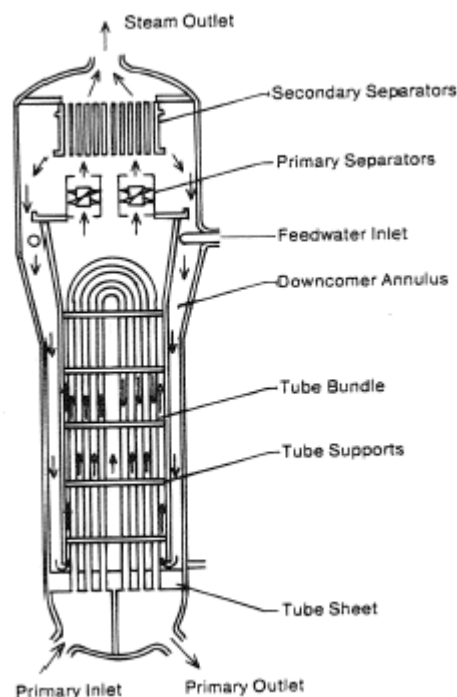
5.2 Primääripiiri

Primääripiiri eli reaktorin jäähdytysjärjestelmä on suljettu piiri, jonka tehtävänä on siirtää polttoainesauvoilta paineistetun (155 bar) veden avulla lämpöä höyrystimeen, jossa lämpöä siirretään primääripiiristä sekundääripiiriin. Reaktorissa painetta ylläpidetään ja säädetään paineistimen avulla, jolloin paine pidetään niin korkealla, ettei vesi ala kiehua. Koska höyrystimen sekundääripiirissä on pienempi paine (n. 78 bar), höyrystyy

sinne syötetty syöttövesi höyryksi. Lisäksi primääripiirin tarkoituksena on estää mahdollisten polttoainevuotojen aiheuttaman aktiivisuuden leviäminen. OL3 -laitosyksikön primääripiiri on niin sanotusti neljä looppinen eli reaktorista lähtee neljä kiertoa. Yhden osajärjestelmän komponentteja ovat höyrystin, pääkiertopumppu ja näiden putkistot. Muita pääkomponentteja primääripiirissä ovat reaktoripaineastia, paineistin sekä näiden putkistot kuten pääkiertoputken kuumahaara, pääkiertoputken välihaara, pääkiertoputken kylmähaara ja paineistimen yhdyshaara. Aiemmin mainittu paineistin liittyy kolmanteen osajärjestelmään. (Pressurized Water Reactor (PWR) Systems 2019; TVO 2019d; TVO taskutieto 2014.)

Höyrystin (JEA)

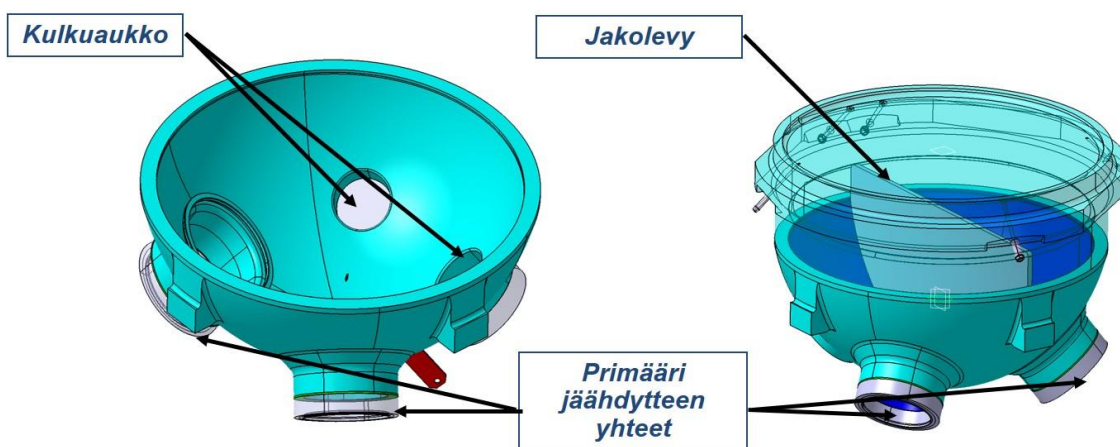
Höyrystimellä on sylinterimäinen muoto ja se koostuu primääri- ja sekundääripuolesta. Kuvassa 5 on esitetty havainnollistava kuva höyrystimen rakenteesta.



Kuva 3. Höyrystimen rakenne (Nuclear Power 2019).

Primääripuolella sijaitsevilla höyrystimen U-putkissa virtaa primääripiirin jäähdyte, joka siirtää lämpöä sekundääripuolen veteen. U-putkia on 5980 kappaletta yhdessä höyrystimessä ja näiden putkien kokonaislämmönsiirtoala on 7960 m². Primäärijäähdyte tulee ja poistuu höyrystimen primäärijäähdyteyhteiden kautta, jotka sijaitsevat puolipallomaisessa pohjassa. Pohjaosa on jaettu kahteen vuototiiviiseen osaan jakolevyllä. Puolia

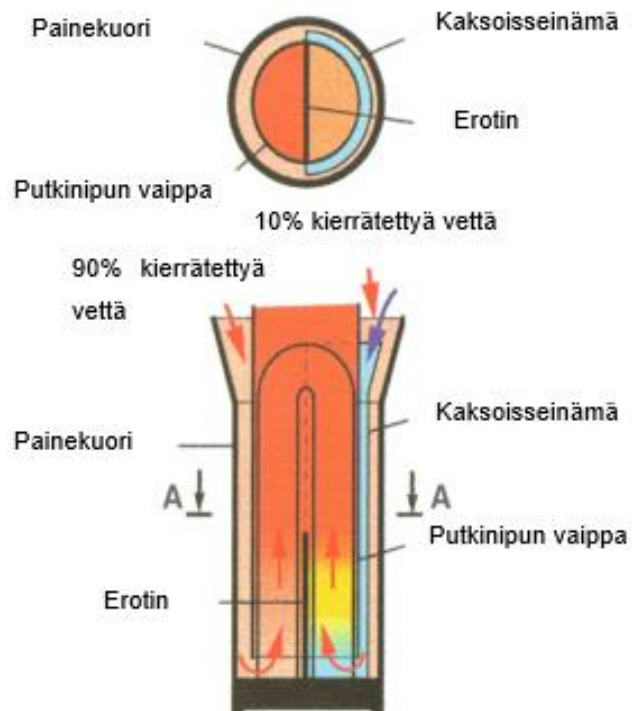
kutsutaan kuumaksi ja kylmäksi päätykammioksi. (FRAMATOME 2018, 106–108.) Pohjaosan rakennekuva kuvassa 4.



Kuva 4. Höyrystimen pohja (OL3 laitostuntemuksen jatkokurssi 2019).

Sekundääripuoli koostuu kahdesta osakokoonpanosta, syöttöveden höyrystys osasta ja höyryn kuivaus osasta. Höyrystin on pystymallinen ja tämä mahdollistaa höyry/vesi-virtauksen luonnonkierrolla. Sekundääripuolella syöttövesi syötetään höyrystimeen kartiomaisen yhteen kautta. Syöttöveden jakautuminen kattaa vain vaipan kylmästä puolesta 180°.

Syöttövesivirtaus ohjataan kokonaisuudessaan ohjauslevyn ja kaksoisseinämän avulla kylmän haaran puolelle esilämmitettäväksi ja tätä osaa kutsutaan aksiaaliseksi termiseksi tehostamiseksi. Esilämmitys tapahtuu putkinipun alaosassa ja syöttövettä lämmitetään niin kauan kunnes kyllästymislämpötila on saavutettu. Paras hyötysuhde saavutetaan, kun uudelleen kierrätettävän veden syöttö termiseen tehostimeen pidetään 10 %:ssa ja 90 % kierrätetystä vedestä ohjataan kuumalle puolelle. (FRAMATOME 2018, 108–109.) Kuvassa 6 on esitetty uudelleen kierrätettävän veden kierto. Kuvassa 6 höyrystimen oikeaa reunaa eli ”kylmää” puolta tulee 100 % syöttövettä ja 10 % lämmennyttä lauhdetta. Vasenta eli ”kuumaa” puolta tulee 90 % ylhäältä valuvaa kuumaa lauhdetta.



Kuva 5. Aksiaalinen terminen tehostin (OL3 laitostuntemuksen jatkokurssi 2019).

Tuubinipun yläosaan on yhdistetty 53 kaksitasoista pyörresiipi vedenerotinta. Lisäksi höyrystimen yläosaan on myös asennettu poistoyhteet, joissa on virtauksen rajoitin. (FRAMATOME 2018, 109.)

Pääkiertopumppu (JEB)

Primääripiirijäähdytteen pääkiertopumput ovat yksivaiheisia sekavirtaus-pumppuja ja niiden akselit ovat pystyasennossa. Pumppujen tehtävänä on kierrättää vettä primääripiirissä. Veden kierron avulla lämpö saadaan siirrettyä reaktorisydäimestä höyrystimille ja siitä edelleen sekundääripiiriin. Pääkiertopumput sijaitsevat jokaisessa neljässä kierto-
piirissä höyrystimen ulostuloputken ja reaktorin sisääntuloputken välissä. (TVO 2019d, OL3 laitostuntemuksen jatkokurssi 2019.)

Paineistin (JEF)

Paineistimen tehtävänä on pitää reaktoriin paine säädettyjen rajojen sisällä. Paineistimen alaosa on vesifaasissa ja yläosa on höyryfaasissa. Reaktoriin painetta kontrolloidaan säätämällä vesihöyryn painetta ja sen säätämiseksi paineistimen alaosassa on

lämmittimet (166 lämmitysvastusta, joista 8 on varalla), joilla höyrystetään vettä ja yläosassa on ruiskutusjärjestelmä, jolla lauhdutetaan höyryä. Lisäksi paineistimen yläosassa on paineenalennus- ja varoventtiilit, jotka suojaavat reaktoripiiriä ylipaineelta. (OL3 laitostuntemuksen perusteet 2019.)

5.3 Sekundääripiiri

Sekundääripiiriin vesi-höyryprosessin tehtävänä on muuttaa höyrystimestä tulevan tuorehöyryn lämpöenergia mahdollisimman tehokkaasti turbiiniakselille kytketyllä generaattorilla sähköenergiaksi ja palauttaa syöttövesi reaktorilaitoksen höyrystimille. Sekundääripiiri voidaan jakaa kolmeen pääjärjestelmään, jotka ovat päänhöyryjärjestelmä, päälauhdejärjestelmä ja syöttövesijärjestelmä. (TVO 2019d.)

5.3.1 Päänhöyryjärjestelmä

Primääripiirin höyrystimissä syntyvä tuorehöyry johdetaan turbiinilaitokselle neljän päänhöyrylinjassa olevan pikasulku- ja säätöventtiilin kautta korkeapaineturbiinille. Korkeapaineturbiinista tuleva höyry johdetaan kosteudenerotinvälitulistimille, jossa höyry kuivataan ja tulistetaan. Höyryn tulistus tapahtuu kahdessa vaiheessa päänhöyrylinjan tuorehöyryn ja korkeapaineturbiinin väliottohöyryn avulla. Tulistettu höyry johdetaan seuraavaksi kolmelle matalapaineturbiinille. Matalapaineturbiineilta tuleva höyry puolestaan johdetaan kolmelle lauhduttimelle, jossa höyry lauhdutetaan meriveden avulla lauhdeksi. (TVO 2019d.)

KP- ja MP turbiinit (MAA ja MAC)

OL3 laitoksen turbiinit ovat kaksijuoksuisia reaktioturbiineja. KP-turbiini tuottaa noin 40 % eli 650 MWe:a laitoksen bruttosähkötehosta ja kolme MP-turbiinia, tuottaa kukin noin 320 MWe:a eli yhteensä noin 60 % laitoksen bruttosähkötehosta. Koko turbiinijärjestelmä koostuu siis KP-turbiinista sekä kolmesta MP-turbiinista. Kuhunkin turbiiniin höyry johdetaan turbiinin keskiosasta ylhäältä sekä alhaalta turbiinin sisäpesään, josta se jakaantuu paisumaan molempiin suuntiin (kaksijakoinen). Höyryn paisuessa turbiinin läpi sen entalpia muutetaan mekaaniseksi liike-energiaksi. (TVO 2019d.)

KP-turbiinin pääosia ovat sisäpesä, ulkopesä, roottori ja 12 johto- ja juoksusiipivyöhykettä. MP-turbiinin pääosia ovat puolestaan sisäpesä, ulkopesä, roottori ja 9 johto- ja

juoksusiipivyöhykettä. Turbiinien ollessa kaksijuoksuisia tämä tarkoittaa, sitä että KP-turbiinissa on molemmissa juoksuissa tämä 12 juoksusiipivyöhykettä ja MP-turbiinissa 9. (SIEMENS AG 2018a, 18.)

Turbiineissa on myös väliotot molemmissa juoksuissa. KP-turbiinissa väliotoilla otetaan höyryä esilämmittimiin sekä välitulistimen lämmitykseen. Väliottokohta A7 sijaitsee virtauksen suunnassa turbiinin puoleisen korkeapainevirtauksen kuudennen vyöhykkeen jälkeen ja väliottokohta A6 sijaitsee generaattorin puoleisen korkeapainevirtauksen kahdeksannen vyöhykkeen jälkeen. MP-turbiineissa on kussakin neljä väliottoa. Väliottokohta A4 sijaitsee virtauksen suunnassa generaattorin puoleisen matalapainevirtauksen toisen vyöhykkeen jälkeen, A3 sijaitsee turbiinin puoleisen matalapainevirtauksen neljännen vyöhykkeen jälkeen, A2 sijaitsee molempien matalapainevirtausten kuudennen vyöhykkeen jälkeen ja A1 sijaitsee molempien matalapainevirtausten kahdeksannen vyöhykkeen jälkeen. Näiden väliottojen tarkoitus on toimittaa höyryä matalapaineesilämmittimille. (SIEMENS AG 2018a, 18.)

Kosteudenerotin välitulistin (LBJ)

Kosteudenerotin välitulistimen tehtävänä on poistaa ensin kosteutta KP-turbiinilta tulevasta osittain lauhtuneesta höyrystä ja lopuksi välitulistaa höyry ennen kuin se ohjataan MP-turbiineille. (SIEMENS PG 2017, 6–7.)

KP-turbiinilta tuleva välitulistettava höyry virtaa ensin kosteuden esierottimeen, joka on liitetty välitulistimeen. Nämä sijaitsevat KP- ja MP-turbiinien välisellä putkilinjalla. Kosteuden esierottimessa höyryvirtaus poikkeutetaan siten, että vesivirrat ja suuret pisarat erottuvat painovoimaisesti ja virtaavat ulos kosteudenerottimen lauhdesäiliöihin. Ennen välitulistusvaihetta 1, höyryä johdetaan myös välitulistimesta syöttövesisäiliön väliottokohdasta A5 syöttövesisäiliön lämmitystä varten. Tämän vaiheen jälkeen höyry johdetaan välitulistimen alaosaan, jossa kosteus erotetaan poikkeuttamalla. Seuraavaksi höyry virtaa ylöspäin ja siitä erotetaan lisää kosteutta, johtamalla höyry ensimmäisen välitulistusvaiheen edessä olevien erotinmoduulien läpi. (SIEMENS PG 2017, 6–7.)

Höyryn kosteuspitoisuus alenee ennen välitulistusta noin 16 %:sta 0,5 %:iin. Kosteudenerotusvaiheen tyhjennyslinjat ohjataan kosteudenerottimen lauhdesäiliöihin. (SIEMENS PG 2017, 6–7.)

Höyryn välitulistus tapahtuu kahdessa vaiheessa. Höyryn kuljettua erotinmoduulien läpi, se välitulistetaan ohjaamalla se välitulistusvaiheiden 1 ja 2 lämmönvaihtimien putkinippujen läpi. Molemmat välitulistusvaiheet koostuvat neljästä höyryvirran kanssa rinnakkain olevasta yksitielämmönvaihtimesta. Näiden vaiheiden jälkeen höyry ohjataan välitulistinputkistoon. (SIEMENS PG 2017, 6–7.)

Välitulistuksen ensimmäisessä vaiheessa tarvittava lämmityshöyry johdetaan väliottohöyryjärjestelmästä A7. A7 väliottohöyry johdetaan välitulistimien yläosiin, joista se virtaa putkinippuja pitkin alaspäin ja tiivistyy putkissa. (SIEMENS PG 2017, 6–7.)

Välitulistuksen toisessa vaiheessa lämmityshöyrynä toimii päähöyry, joka johdetaan päähöyrylinjalta. Lämmityshöyry johdetaan välitulistimen putkinippuihin ylhäältä, virtaa alaspäin ja tiivistyy putkissa. (SIEMENS PG 2017, 6–7.)

Lauhduttimet (MAG)

OL3 laitoksella on kolme lauhdutinta ja nämä sijaitsevat jokaisen matalapaineturbiinin alapuolella. Jokainen lauhdutin on erillinen, mutta niillä on yhteinen MP-turbiinien alapuolella sijaitseva kaulus eli kaulaosa. Yksi lauhdutin koostuu vaippapuolen höyrytilan kuoresta, kauluksesta, vesikammioista, putkista eli lauhdutinputkista, lauhdutinputkien tukilevyistä ja istukkalevyistä, lauhduttimen alaosa, useista sisään- ja ulostuloyhteistä sekä tukijärjestelmistä. Jokainen lauhdutin on jaettu kahteen osastoon ja suunniteltu siten, että merivesi kulkee lauhduttimen läpi kerran. (SIEMENS AG 2018b, 8.)

Höyrytimen vaippapuolen höyrytilassa sijaitsevat lauhdutinputkistot ja tukilevyt sekä ilmanpoistojärjestelmä. Tässä tilassa tapahtuu myös itse höyryn lauhtuminen. (SIEMENS AG 2018b, 8.)

Lauhduttimen jäähdytysvetenä käytetään merivettä, joka tulee lauhduttimeen ja poistuu siitä vesikammioiden kautta. Jäähdytysveden syöttää ja poistaa lauhduttimen merivesijärjestelmä. (SIEMENS AG 2018b, 9.)

Lauhduttimien pääasiallisena tehtävänä on siis lauhduttaa MP-turbiineilta tuleva höyry lauhteeksi eli vedeksi, joka kerätään lauhduttimen alaosaan, josta päälauhdepumput imevät lauhteen. Lauhduttimiin ohjataan kuitenkin monista muistakin prosessin eri vaiheista höyryä, joka myös lauhdutetaan. Ohitusjärjestelmästä tuleva päähöyry lukeutuu muun muassa näihin ohitusajon aikana. Lisäksi lauhduttimessa poistetaan putkinippuihin kerääntyneet ilma ja muut lauhtumattomat kaasut.

5.3.2 Päälauhdejärjestelmä (LCA)

Päälauhdejärjestelmän tehtävänä on pumpata päälauhdetta päälauhdepumpuilla lauhduttimen lauhdekammioista syöttövesisäiliöön matalapaineisen esilämmitysosajärjestelmien kautta. Matalapaine-esilämmitysjärjestelmä (MP-esilämmitys) käsittää matalapaineväliottohöyryputkiston, matalapaine-esilämmittimet A1/A2, A3 ja A4 sekä matalapaine-esilämmittimien sivulauhdejärjestelmän. Lisäksi päälauhdejärjestelmän tehtävänä on myös syöttää jäähdytysvettä höyrystimen ulospuhallusjärjestelmän lämmönvaihtimelle.

Päälauhdepumppuja on kolme, mutta samanaikaisesti käytetään vain kahta ja kolmas on varalla. Päälauhdejärjestelmän tehtävänä on myös esilämmittää lauhdetta hyötysuhteen parantamiseksi sekä puhdistaa lauhde epäpuhtauksista. Päälauhde pumpataankin siis syöttövesisäiliöön esilämmitysjärjestelmän ja mekaanisen puhdistusjärjestelmän kautta. (TVO 2019d.)

Päälauhdepumput (LCB)

Päälauhdepumput ovat monivaiheisia pystysäiliötyyppisiä uppopumppuja ja ne on asennettu kellarikerrokseen sijoitettuihin terästynnyreihin. Kukin lauhdepumppu on sähköteholtaan 2,1 MW, virtauskapasiteetti on 700 kg/s ja tuottaa 26 bar paineen. (SIEMENS EF 2014, 9, 33.)

Päälauhdepumput on suunniteltu siten, että ne toimivat laitoksen kaikissa kuormitustilanteissa. Pumppujen tulee siis toimia normaalisti, vaikka laitoksen prosessikierrossa tulisi normaaliajasta poikkeava tilanne. Tällainen tilanne voi muun muassa olla äkillisen paineen aleneminen pumpun imualueella, joka johtaa äkilliseen kuorman alenemiseen. (SIEMENS EF 2014, 9.)

5.3.3 Syöttövesijärjestelmä (LA)

Syöttövesijärjestelmän tehtävänä on pumpata syöttövettä syöttövesisäiliöstä esilämmitysjärjestelmän kautta höyrystimille. Syöttövesipumppuja on neljä ja niistä kolme on käynnissä, neljännen ollessa varalla. Syöttöveden esilämmitys tapahtuu kolmivaiheisessa esilämmitysjärjestelmässä, joita on kaksi rinnakkain. Syöttöveden esilämmitysjärjestelmä käsittää kaksi korkeapaine-esilämmittintä ja välitulustuslauhteiden jäähdyttimet.

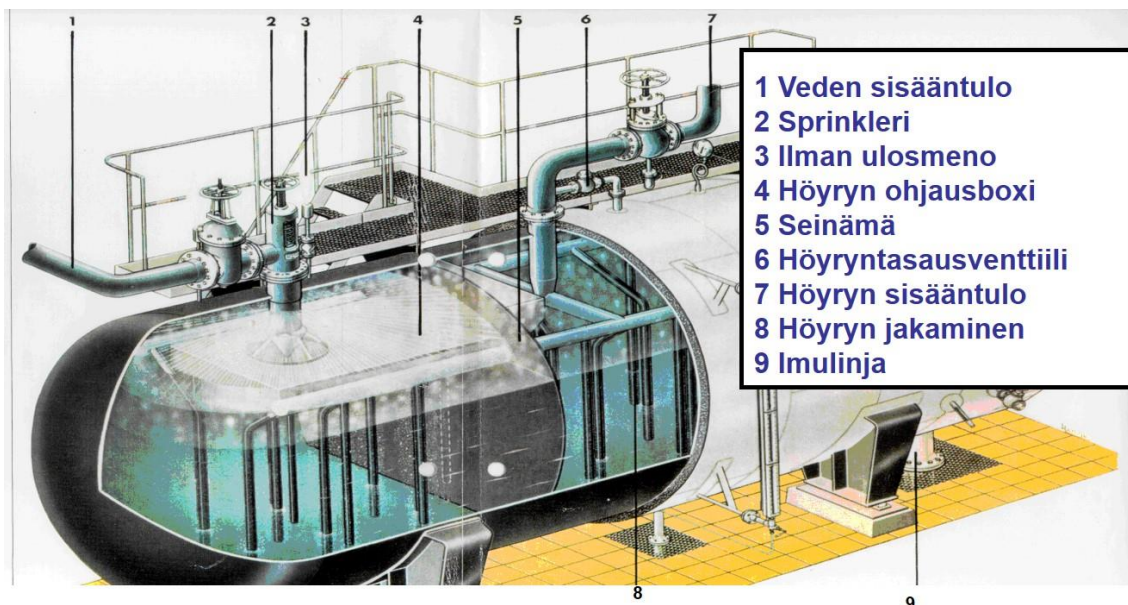
Höyry, jolla syöttövesi esilämmitetään korkeapaine-esilämmittimissä, johdetaan korkeapaineturbiinilta. Esilämmitysjärjestelmän jälkeen syöttövesi johdetaan syöttövesiventtiileiden kautta höyrystimiin. (TVO 2019d.)

Syöttövesisäiliö (LAA) ja MP-väliottohöyryjärjestelmä A5 (LBS50)

Järjestelmä koostuu syöttövesisäiliöstä ja MP-väliottohöyryjärjestelmästä (A5). Järjestelmän tehtävänä on:

- poistaa ilma syöttövesisäiliössä olevasta lauhteesta
- toimia puskurina vesi-höyrykierrossa
- esilämmittää syöttövesisäiliöön tuleva lauhde
- vastaanottaa höyrystimen ulospuhallusjärjestelmän hönkähöyry
- vastaanottaa syöttövesipumppujen minimivirtaus
- toimittaa höyryä syöttövesisäiliöön ja apuhöyryjärjestelmään A5 väliotolta
- estää höyryn tai veden takaisinvirtaus kosteudenerottimiin yksisuuntaventtiileillä
- vastaanottaa täyssuolanpoistettua vettä suoraan täyssuolanpoistetun veden säiliöistä lauhdepumppujen vikaantuessa täydellisesti
- vastaanottaa lauhteita kosteudenerottimien lauhdesäiliöiden ja KP-esilämmittimien sivulauhdejärjestelmästä normaalikäytössä
- sekä syöttöveden korkeapaine-esilämmittimen ohituskäytön aikana vastaanottaa lauhteita kosteudenerotin välitulistimen vaiheen 2 lauhdesäiliöstä. (SIEMENS AG 2014, 6.)

Syöttövesisäiliö on sekoitusesilämmitin, sisäänrakennetulla ruiskutustyyppisellä ilmanpoistimella. Syöttövesisäiliösäiliö toimii syöttöveden puskurina höyrystimille ja säiliön pinnankorkeutta pyritään pitämään keskilinjan tasolla. (SIEMENS AG 2014, 8.) Kuvassa 7 on esitetty syöttövesisäiliön rakenne.



Kuva 6. Syöttövesisäiliön rakenne (OL3 laitostuntemuksen jatkokurssi 2019).

Syöttövesisäiliössä on kuusi sprinkleriä, joilla päälauhde ruiskutetaan säiliön ylempään höyryfaasiin. Tällä tavalla lauhteesta saadaan mahdollisimman tehokas hapenpoisto ja lauhdemattomat kaasut palautettua takaisin lauhduttimeen. Lauhdemattomien kaasujen poisto syöttövesisäiliöstä ohjataan lauhduttimen paineputkeen. Syöttövesisäiliöön johdettava A5 väliottokohdan höyry puolestaan syötetään säiliöön vedenpinnan alapuolella toimivan höyryjakelujärjestelmän kautta pitäen vesifaasin kiehuvana. Näin lauhteesta saadaan poistettua lauhdemattomat kaasut niin, että syöttöveden happipitoisuus säilyy sopivana säiliön ulosmenon kohdalla. (SIEMENS AG 2014, 8.)

Syöttövesipumput (LAC)

Syöttövesipumput muodostavat syöttövesipumppusarjan. Syöttövesipumppusarjat koostuvat pääpumpusta ja paineenkorotuspumpusta. Yhden sarjan pumput on sijoitettu yhteen akseliin ja ne toimivat samalla sähkömoottorilla. Pääpumppu on yhdistetty sähkömoottoriin vaihteiston kautta, kun taas paineistinpumppu on yhdistetty siihen suoraan, johtuen pumppujen kierrosnopeuksien erosta. Lisäksi näiden rinnalle on asennettu viiden prosentin apusyöttövesipumppu, jota käytetään käynnistyksissä, sammutuksissa, lämmityksissä ja jälkilämmönpoistoissa. Syöttövesipumppusarjoja on neljä rinnakkain, mutta näistä kolmea käytetään samanaikaisesti, neljäs on varalla. Näiden pumppusarjojen tehtävänä on imeä syöttövedettä syöttövesisäiliöistä höyrystimiin esilämmitysjärjestelmien kautta.

Sekä pääpumput, että paineenkorotuspumput ovat yksivaiheisia, kaksipuoleisella imulla toimivia keskipakopumppuja. Pääpumppujen nopeus on noin 5600 kierrosta minuutissa ja paineenkorotuspumppujen sähkömoottorin nopeus on noin 1485 kierrosta minuutissa.

Syöttöveden KP-esilämmitysjärjestelmä (LAD)

Syöttöveden esilämmitys tapahtuu kolmivaiheisessa esilämmitysjärjestelmässä, joka jakautuu kahteen rinnakkaiseen linjaan. Syöttöveden esilämmitysjärjestelmä käsittää kaksi korkeapaine-esilämmitintä, välitulustuslauhteiden jäähdyttimet, korkeapaine-esilämmittimien sivulauhdejärjestelmän ja korkeapaineväliottohöyryputkiston.

Syöttöveden KP-esilämmittimet (A6 ja A7) ovat vaakasuoraan asennettuja U-putki lämmönvaihtimia. Kyseisten esilämmittimien tehtävänä on lämmittää syöttövesi ennen sen syöttämistä höyrytimeen. Lämmitettävä syöttövesi virtaa KP-esilämmittimen tuubipuolella ja lämmittävä höyry puolestaan vaippapuolella. Höyry, jolla syöttövesi lämmitetään, saadaan KP-turbiinin pesän väliotoista A7 ja A6. (SIEMENS 2014a, 6–8.)

Viimeinen vaihe syöttöveden esilämmityksestä tapahtuu kahdessa sivulauhteen lauhteenjäähdyttimessä. Näissä syöttövesi kiertää vaippapuolella ja lämmittävä sivulauhde tuubipuolella. Lämmitettävä sivulauhde johdetaan sivulauhteen lauhteenjäähdytimeen välitulustimien lauhdesäiliöiden kautta. (SIEMENS 2014b, 6–8.)

5.3.4 Höyrystimen ulospuhallusjärjestelmä (LCQ)

Höyrystimen ulospuhallusjärjestelmä koostuu ulospuhallustankista, ulospuhalluksen jäähdyttimestä sekä näiden välisistä putkistoista, jotka sisältävät myös venttiilit. Järjestelmään liittyy myös höyrystimen ulospuhalluksen lauhdutusjärjestelmä. (FRAMATOME 2019a, 24.)

Höyrystimen ulospuhallusjärjestelmän tehtäviin kuuluu:

- ylläpitää faasierkaantumisessa muodostuneet epäpuhtaus- ja mineraalipitoisuudet raja-arvojen alapuolella ulospuhaltamalla osa syöttövesivirtauksesta,
- laajentaa ja jäähdyttää ulospuhallus, jotta se voidaan palauttaa vesi-/höyrykiertoon höyrystimen puhdistusjärjestelmän suodatuksen kautta,

- varmistaa höyrystimen veden laatu ja havaita nopeasti mahdolliset tuubivuodot ulospuhalluksen jatkuvalla monitoroinnilla,
- vesittää höyrystimen sekundääripuoli osittain tai kokonaan,
- kylmäseisokissa kuplittaa höyrystimen sekundääripuolen vesi tyypellä ennen näytteenottoa,
- jälleen käsitellä sekundääripuolen näytteenottoja.
- Ulospuhallus päättyy normaalisti lauhduttimeen, mutta poikkeustapauksissa ulospuhallusjärjestelmän nestemäiseen jätteenpoistojärjestelmään.

(FRAMATOME 2019a, 23.)

5.4 OL3 ja OL1/OL2 laitosyksiköiden keskeiset erot

Suurin ero laitoksilla on reaktortyyppi, OL3 laitosyksiköllä on PWR eli painevesireaktori ja OL1/OL2 laitosyksiköillä on BWR eli kiehausvesireaktori. Taulukossa 4 on esitetty laitosyksiköiden keskeisimmät erot.

Taulukko 4. Laitosyksiköiden tekniset tiedot.

TEKNISET TIEDOT		
LAITOS	OL1/OL2	OL3
Yleistä		
Reaktorin lämpöteho	2 500 MWth	4 300 MWth
Sähköteho netto	890 MW	1 600 MW
Reaktorin käyttöpaine	70 bar	155 bar
Syöttöveden lämpötila	185°C	230°C
Turbiinilaitos		
<i>Turbiini</i>		
Nimellisteho	910 MW	1 720 MW
Tuorehöyryn paine	67 bar	75,5 bar
Tuorehöyryn lämpötila	286°C	290°C
Tuorehöyryn virtaus	n. 1 300 kg/s	n. 2 443 kg/s
Kierrosluku	3000 rpm	1500 rpm
<i>Lauhdutin</i>		
Jäähdytyspinta-ala	27 700 m ²	110 000 m ²
Jäähdyttävä aine	merivesi	merivesi
Jäähdytysvesivirta	n. 38 m ³ /s	n. 53 m ³ /s
Tyhjö täydellä teholla	50 mbar	24,7 mbar
Jäähdytysveden lämpötilan nousu	10°C	12°C
<i>Syöttövesi</i>		
Esilämmitysasteita	5	7
Syöttöveden loppulämpötila	185°C	230°C

6 LAITOSMITTAUKSET

Tässä kappaleessa käsitellään laitosmittauksia sekä erillisten komponenttien suorituskyvyn laskentoja liittyen laitosmittauksiin. Pääpaino on höyrystimien ja syöttövesisäiliön suorituskyvyn tarkastelussa. Kappaleessa esitellään myös diplomityö, joka on tehty 2008 OL1 ja OL2 laitousyksiköiden laitosmittauksiin liittyen. Tämän tarkoituksena on esittää mitä kyseisestä aiheesta tiedetään jo valmiiksi sekä miten työ eroaa tästä työstä.

Aluksi esitellään laitosmittausten tarkoitus ja miten niitä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa. Tässä esitellään myös OL3 laitousyksikön laitosopimuksessa esitetyt standardit, joilla laitoksen takuukokeet tulee suorittaa sekä muita standardeja, jotka ovat oleellisia laitosmittauksissa sekä komponenttien suorituskyvyn määrittämisessä. Standardit määrittelevät mitä mittauksia tulee tehdä, milloin ne tulee tehdä ja millaisissa olosuhteissa ne tulee tehdä. Lisäksi standardeista selviää millaisia mittalaitteita on hyvä käyttää ja standardit ohjeistavat myös niiden kalibroinnin.

6.1 OL1 ja OL2 laitosmittaukset

TVO:lle on tehty vuonna 2008 diplomityö, ”Laitosmittaukset turbiinivoimalaitoksen suorituskyvyn seurantaan ydinvoimalaitoksen vuosihuoltojen yhteydessä”. Työ on tehty OL1 ja OL2 laitousyksiköiden tarpeisiin. Kyseisessä työssä kehitettiin höyryvoimalaitosprosessin tilan seurantaan laitosmittausrutiini, jolla tarkastellaan erityisesti turbiinilaitoksen suorituskykyä ennen ja jälkeen vuosihuoltojen. Työssä esitetyillä mittauksilla saadaan tietoa vuosihuollon kokonaisvaikutuksista prosessiin eli kyetään tarkastelemaan muuttuiko mikään vuosihuollon aikana ja mitkä syyt johtivat muutokseen. Heti saatavien tietojen lisäksi säännöllisillä mittauksilla saadaan pitkän aikavälin referenssitietoa prosessin tilasta. (Pirinen, M 2008, 7.)

Kyseisessä työssä on esitetty mittausten suorittaminen, tulosten laskenta ja tarkastelu sekä raportointi. Työssä luotu mittausrutiini pohjautuu höyryturbiinien ja lämmönsiirtimien vastaanottokokeita käsitteleviin standardeihin sekä laitosten viimeisimpiin prosessimuutosten yhteydessä toteutettuihin suorituskykymittauksiin. (Pirinen, M 2008, 7.)

Tämä työ eroaa diplomityöstä siten, että diplomityön laitosmittausrutiini on kehitetty kiehutusvesireaktorilla varustettuihin ydinvoimalaitoksiin ja tässä työssä kohteena on painevesireaktorilla varustettu ydinvoimalaitos. Työn tarkoituksena on tarkastella sellaisia komponentteja ja niiden suorituskykyä, joita ei OL1 ja OL2 laitoksilla ole. Tämä luo eroavaisuuden diplomityöhön, mutta eroa löytyy myös siinä mielessä, että tässä työssä ei ole tarkoitus luoda laitosmittauksia kokonaisuudessaan, vaan antaa niille pohjan syöttövesisäiliön ja höyrystimien osalta. Työt liittyvät kuitenkin vahvasti toisiinsa ja diplomityöstä saadaan paljon jo valmiiksi tutkittua tietoa, joten tässä työssä käsitellään tarkemmin vain tutkimattomien komponenttien suorituskyvyn määrittämistä ja niiden vaikutuksia prosessiin.

6.2 Tarkoitus

Ydinvoimalaitoksen toiminta on luvanvaraista ja viranomaisten valvomaa. Suomessa tätä valvoo STUK eli Säteilyturvallisuuskeskus. Ydinvoimalaitoksen toiminta vaatiikin jatkuvaa huomiota laitoksen kuntoon ja suorituskykyyn, jotta laitos voi toimia turvallisesti. (TVO 2019f.)

Käyttö-iän hallinta on keskeinen osa ydinvoimalaitoksen toimintaa ja sen tavoitteena on säilyttää asetettujen vaatimusten mukainen turvallisuus laitoksen toiminnassa sekä ylläpitää optimaalinen suorituskyky laitoksen eliniän aikana. Ydinvoimalaitoksen järjestelmiin kohdistuu käytön aikana lukuisia rasituksia, minkä seurauksena järjestelmien ja niiden komponenttien toimintakyky voi heikentyä. Lisäksi laitoksen tekniikka voi myös vanheta ja täten aiheuttaa puutteita nykyisten vaatimuksien osalta. Näihin tekijöihin tulisi varautua jo laitoksen suunnittelussa sekä käytön aikana valvomalla ja ylläpitämällä järjestelmiä käyttökuntoisina. (YVL A.8 2019.)

Kunnonvalvonta ja muutostyöt ovatkin tärkeä osa laitoksen ikääntymisen hallinnassa. Laitoksen käytössä olevia laitteita ja järjestelmiä on seurattava niin, että niiden kunnostustarve tai vika on kyettävä huomaamaan ennen kuin niiden heikentyminen aiheuttaa riskiä ydinturvallisuudelle tai ongelmia prosessissa. Yleisesti kunnon valvonta voidaan toteuttaa silmämääräisin tarkastuksin, rikkomattomilla aineenkoetuksilla, toimintakoikeilla tai muilla sellaisilla toimilla, joilla saadaan tietoa laitoksen kunnosta. Lisäksi tätä voidaan toteuttaa myös mittauksilla ja näytteenotoilla, jotka soveltuvat juuri laitoksen prosessin tutkimiseen.

Turbiinilaitoksen tyypillisimpiä suorituskykyä heikentäviä tekijöitä ovat ikääntymien, korrosio, kuluminen ja väsyminen. Muita laitoksen kuntoon ja suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat säteily, likaantuminen, vuodot sekä mittaus- ja säätövirheet. Likaantuminen on sellainen tekijä, joka vaikuttaa etenkin lämmönsiirtimien toimintakykyyn.

Laitosyksikön suorituskykymittauksilla saadaan ensisijaista tietoa laitoksen tilasta ja esimerkiksi juuri muutostöiden vaikutuksista prosessikiertoon. OL1 ja OL2 laitosyksiköillä onkin alettu tekemään laitosmittauksia aina vuosittain vuosihuoltojen yhteydessä, ennen ja jälkeen vuosihuollon, jotta muutostöiden vaikutuksia prosessiin voidaan seurata. OL3-laitosyksiköllä ollaan suunnittelemassa samankaltaista laitosmittausta vuosihuoltojen yhteyteen, ja tämän työn tarkoituksena on luoda sille pohja syöttövesisäiliön ja höyrystimien suorituskykymittauksien osalta.

Suorituskykymittauksilla saatavaa dataa voidaan kerätä, analysoida ja hyödyntää monin eri tavoin tarpeista riippuen. Diplomityössä, "Laitosmittaukset turbiinilaitoksen suorituskyvyn seurantaan ydinvoimalaitoksen vuosihuoltojen yhteydessä" on koottu mittausten tarkoituksia ASME PTC PM ja ASME PTC 6S Report standardeista ja ne ovat seuraavia:

1. välittömän tiedon kerääminen prosessin tilasta ja seurattavista häviöistä
2. laitteiden suorituskykytrendien seuraaminen ja laitevikojen havaitseminen trendinmuutoksista
3. seurattavien häviöiden jäljittäminen pitkiltä aikajaksoilta
4. laitoksen pysyvien mittalaitteiden luotettavuuden tarkkailu
5. lämmönkulutuksen määrittäminen esimerkiksi tarvittavan polttoaineen laskentaa tai suorituskykyjen vertailuja varten
6. määrittää yksittäisten komponenttien vaikutus kokonaishyötysuhteeseen ja tarvittaessa optimoida komponenttien suorituskykyä
7. määrittää paremmin huoltoseisokkien aikatauluja ja laajuuksia, jolloin voidaan hyvissä ajoin tilata varaosia, joilla on pitkät toimitusajat
8. saada tarvittavia tietoja taloudellista käyttöä ja kuormitettavuutta varten
9. arvioida mittaustietojen perusteella suunniteltavien prosessimuutosten kannattavuutta ja vaikutuksia.

(Pirinen, M 2008, 26.)

Laitosmittauksia voidaan suorittaa sekä jatkuvana eli online-seurantana, että määräaikahein tehtävin mittauksin ja näiden yhdistelmänä.

6.3 Standardit

Standardit ovat yhteisiä toimintatapoja, joiden tarkoitus on helpottaa viranomaisten, elinkeinoelämän ja kuluttajien elämää. Standardisoinnin ansiosta tuotteet, palvelut ja menetelmät sopivat siihen tarkoitukseen, joihin ne on tarkoitettu. Tekniikan alalla tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että eri maissa valmistetut järjestelmät ja tuotteet ovat yhteensopivia, turvallisia ja luotettavia muiden maiden tuotteiden kanssa, kun ne on valmistettu saman standardin pohjalta. (SFS ry 2019.)

Standardit luokitellaan kansainvälisen ICS-luokituksen (International Classification of Standards) mukaan. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että standardit luokitellaan eri alojen mukaan. Lisäksi standardit jakautuvat kansainvälisiin, alueellisiin ja kansallisiin. Merkittäviä standardisoiomisjärjestöjä ovat kansainväliset ISO ja IEC, Saksalainen DIN, eurooppalainen CEN, CENELEC sekä suomalainen SFS. (SFS ry 2019.)

ISO eli International Organization for Standardization on maailman laajin standardisoiomisjärjestö. Sen jäseninä ovat kansalliset standardisoiomisjärjestöt, yksi kustakin maasta. Yleisesti ottaen sen toimintaan osallistuvat aktiivisesti, sellaiset maat, joissa on paljon teollisuutta. (SFS 2019. Avain standardien maailmaan. (SFS 2018.)

Alueellisista standardisoiomisjärjestöistä CEN eli European Committee for Standardization on keskeinen Euroopassa. Se on kaikkien EU- ja Efta-maiden standardisoiomisjärjestöjen yhteistyöelin. CEN:n julkaisemista standardeista käytetään tunnusta EN. (SFS 2018.)

Turbiinilaitoksen suorituskyvyn mittaamiseen ei löydy tarkkoja yksittäisiä standardeja, jotka kattaisivat koko prosessin mittaukset. Pääsääntöisesti eri komponenteille tai osajärjestelmille on laadittu omia suorituskykymittausstandardeja ja ne on useimmin suunniteltu vastaanottokokeille rutiinimittausten sijaan. Yksi avustava standardi löytyy kuitenkin liittyen höyryvoimalaitosten suorituskyvyn seurantaan amerikkalaiselta standardisoiomisjärjestöltä The American Society of Mechanical Engineers (ASME). Kyseinen standardi on ASME PTC PM-2010 ”Performance Monitoring Guidelines for Steam Power Plants” ja se tarjoaa yleiset ohjeet höyryvoimalaitoksen suorituskyvyn seurantaan ja optimointiin. Se on kuitenkin vain lähinnä yleisteos, johon on koottu keskeisimpiä asioita suorituskyvyn seurantaan liittyen, menemättä sen tarkempiin yksityiskohtiin. Asiat stan-

dardissa pohjautuvat kuitenkin muihin ASME:n liittyviin standardeihin (PTC, Performance Test Code), joten niistä löytyy tarkempaa informaatiota eri komponenttien suorituskyvyn mittauksista. (Pirinen, M 2008, 27–28.)

6.3.1 OL3 laitossopimuksessa mainitut standardit

Olkiluoto 3 laitossopimuksen takuumittauksia koskevassa osiossa mainitaan kolme standardia, jotka ovat ASME PTC 6, ASME PTC 32.1 ja ASME PTC 19.1. Näistä PTC 6 liittyy turbiinisaarekkeen mittauksiin, PTC 32.1 reaktorisaarekkeen mittauksiin ja PTC 19.1 mittauksien epävarmuustarkasteluihin.

Työn keskittyessä höyrystimien ja syöttövesisäiliön suorituskyvyn tarkasteluun, nämä standardit eivät ole oleellinen asia vielä tässä vaiheessa. Työn kuitenkin liittyessä suurempaan kokonaisuuteen eli koko prosessin laitosmittauksiin, nämä standardit ovat tärkeitä jatkossa, joten työssä esitellään ne pääpiirteittäin.

ASME PTC 6

ASME PTC 6-2004 "Performance Test Code 6 on Steam Turbines" tarjoaa tarkat menettelyt höyryturbiinien testaukselle. Sitä suositellaan käytettäväksi höyryturbiinien vastaanottotestien suorittamisessa ja muissa tilanteissa, joissa suorituskyvyn tasot on määritettävä mahdollisimman vähäisillä epävarmuuksilla. Standardin tarkoituksena on, että suorituskyvyn määrittämisessä käytetään tarkkaa instrumentointia ja parasta mahdollista mittaustekniikkaa. Testin suunnittelussa ja toteutuksessa on pyrittävä seuraamaan standardin menettelyjä hyvin tarkoin, jotta saavutetaan alin epävarmuus. (ASME PTC 6-2004, 1.)

Standardia voidaan käyttää sellaisten höyryturbiinien testaukseen, jotka toimivat tulistetuilla höyryillä tai kostealla tuorehöyryllä, kuten ydinvoimalaitoksilla. Sisällöltään se tarjoaa säännöt ja menetelmät höyryturbiinien testausta ja raportointia varten, mukaan lukien pakolliset vaatimukset testausta edeltäville järjestelyille, käytettäville välineille, niiden soveltamiselle ja mittausmenetelmille, testausmenetelmille ja testitulosten laskentamenetelmille. (ASME PTC 6-2004, 1.)

ASME PTC 32.1

ASME PTC 32.1 "Nuclear Steam Supply Systems" standardi tarjoaa menettelyt testien suorittamiseksi höyryjärjestelmien lämpötehokkuuden määrittämiseksi yksikkönä. Näihin

testeihin kuuluvat kapasiteetti, reaktorin tehotaso, tehokkuus ja muut niihin liittyvät käyttöominaisuudet, kuten höyrynpaine, kosteuspitoisuus ja kiinteät aineet höyryssä. Näiden määrittäminen voi olla tarpeen seuraavissa tarkoituksissa:

- todellisen suorituskyvyn tarkistaminen takuun mukaan
- näiden kohteiden vertailu standardeihin
- suorituskyvyn vertailu eri käyttöolosuhteissa
- suorituskyvyn tarkastaminen uuden reaktorin polttoaineen lataamisen jälkeen
- laitteiden muutosten vaikutusten määrittäminen
- reaktorin tehotason seurantaan käytettävien välineiden määräaikaistarkastukset.

(ASME PTC 32.1-1969, 10.)

ASME PTC 19.1

ASME PTC 19.1-2005 "Test Uncertainty" määrittelee, kuvailee ja havainnollistaa erilaisia termejä ja menetelmiä, joita käytetään antamaan merkityksellisiä arvioita testausparametrien ja -menetelmien epävarmuudesta sekä näiden epävarmuustekijöiden vaikutuksia johdettuun testitulokseen. Testimittauksen ja tuloksen epävarmuuden analysointi on hyödyllistä, koska se:

- helpottaa mittauksia ja testituloksia koskevaa viestintää;
- edistää ymmärrystä mittausjärjestelmässä olevista mahdollisista virhelähteistä ja näiden mahdollisten virhelähteiden vaikutuksista testituloksiin;
- ohjaa päätöksentekoprosessia sopivien ja kustannustehokkaiden mittausjärjestelmien ja -menetelmien valinnassa;
- vähentää riskiä tehdä virheellisiä päätöksiä
- dokumentoi epävarmuuksia sopimusten noudattamisen arvioimiseksi.

(ASME PTC 19.1-2005, 2.)

Standardin tarkoituksena on siis määrittää testausparametrien ja -menetelmien epävarmuustekijöiden arviointimenettelyt ja näiden epävarmuustekijöiden leviäminen testitulokseen. Sovelluksesta riippuen epävarmuustekijät voidaan luokitella joko oletetulla vaikutuksella (järjestelmällinen tai satunnainen) mittaukseen tai testitulokseen, tai menetelmään, jossa ne voidaan määrittää. (ASME PTC 19.1-2005, 2.)

Epävarmuusanalyysin lopputulos on numeerinen arvio testin epävarmuudesta sopivalla luotettavuudella. (ASME PTC 19.1-2005, 2.)

6.3.2 Höyrystimen ja syöttövesisäiliön standardit

ASME PTC 12.1

Höyrystimen suorituskykymittauksiin ei löytynyt suoraan mitään tunnettua standardia. Standardit, joissa höyrystimet olivat mainittu, käsittelivät pääsääntöisesti koko lämmön- tuottojärjestelmän eli primääripiirin suorituskykyä paneutumatta höyrystimiin sen yksi- tyiskohtaisemmin. Höyrystimen suorituskykymittauksiin päädyttiin käyttämään esiläm- mittimien suorituskykymittauksiin tarkoitettua ASME PTC 12.1 ”Closed Feedwater Heaters” soveltaen. Syöttöveden esilämmittimissä lämmittävä aine on höyry, jolla läm- mitetään syöttövettä, kun puolestaan höyrystimissä lämmittävä aine on paineistettu vesi, jolla lämmitetään syöttövesi höyrystymispisteeseen asti. Höyrystimelle syötetään siis syöttövettä ja höyrystimessä se höyrystyy, jolloin se lähtee höyrystyneenä päänhöyryput- kiin.

ASME PTC 12.1 sisältää ohjeet pinta-esilämmitin-tyyppisten syöttöveden esilämmitti- mien suorituskyvyn määrittämiseen. Standardi soveltuu kaikille pysty- ja vaakasuuntai- sille esilämmittimille, lukuun ottamatta niille joissa on osittainen jälkijäähdytys. Standardi ohjeistaa mittausten suorittamiseen, instrumentointiin, laskentaan ja raportointiin sekä antaa suosituksia mittaustarkkuuksiin. Esilämmittimien suorituskyvyn mittareina käytet- täviä ja standardin avulla määritettäviä tunnuslukuja ovat:

- asteisuudet TTD (Terminal Temperature Difference)
- DCA (Drain Cooler Approach)
- putki- ja vaippapuolen painehäviöt

(ASME PTC 12.1-2015, 1.)

ASME PTC 12.3

ASME PTC 12.3-1997 ”Performance Test Code on Deaerators” sisältää säännöt ja tes- timenetelmät, joita käytetään määriteltäessä ilmanerotin suorituskykyä, seuraavien osalta: liunneen hapen osuus ilmanerotetusta vedestä ja terminaalinen lämpötilaero (TTD), jos on, ilmanerotetun veden ja kylmän höyryn välillä siinä paineessa, joka vallit- see ilmanerotetun veden ja höyryvyöhykkeen rajapinnalla. TTD saadaan siis syöttöve- sisäiliön höyryn lämpötilan ja syöttövesisäiliöstä lähtevän syöttöveden erotuksena. Höy- ryn lämpötila tulee mitata siinä paineessa, joka vallitsee vesi-höyryfaasin rajapinnalla. (ASME PTC 12.3-1997, 3.)

Standardia voidaan soveltaa ilmanerotukseen tarkoitettuihin lämmittimiin ja ilmanerotuslaitteisiin, jotka on varustettu joko vaippa-putki tai suorakosketus kondenssiveden poistosiin. (ASME PTC 12.3-1997, 3.)

Odotettu epävarmuus terminaalisen lämpötilaeron laskennassa on $\pm 0,6$ °C, joka on määritelty standardissa PTC 19.1. (ASME PTC 12.3-1997, 3.)

6.4 OL1 ja OL2 laitosmittauksien standardit

Tässä kappaleessa luetteloidaan muita laitosmittauksiin liittyviä standardeja, jotka valikoituivat oleellisiksi OL1 ja OL2 laitosyksiköille tehdyssä diplomityössä ”Laitosmittaukset turbiinilaitoksen suorituskyvyn seurantaan ydinvoimalaitoksen vuosihuoltojen yhteydessä”. Kyseiset standardit on hyvä ottaa huomioon OL3 laitosyksikön laitosmittauksia suunniteltaessa.

Diplomityössä on keskitytty turbiinien ja lämmönsiirtimien suorituskykymittausten standardeihin. Turbiinien suorituskykymittausten standardeiksi on löytynyt seuraavat:

- ASME PTC 6-2004 ”Performance Test Code on Steam Turbines”
- ASME PTC 6S Report-1998 (R2003) ”Procedures for Routine Performance Tests of Steam turbines”
- ASME PTC 6A-2000 ”Appendix A to PTC6, The Test Code for Steam Turbines”
- IEC 60953 ”Rules for steam turbine thermal acceptance tests”
 - o IEC 60953-1 ”Method A - High accuracy for large condensing steam turbines”
 - o IEC 60953-2 ”Method B - Wide Range accuracy for various types and sizes for turbines”
 - o IEC 60953-3 ”Thermal Performance Verification Tests of Retrofitted Steam Turbines”
- DIN-1943 ”Thermal Acceptance Tests of Steam Turbines”.

(Pirinen, M 2008, 28–33.)

Lämmönsiirtimien suorituskykymittausten standardeiksi on löytynyt seuraavat:

- ASME PTC 12.1-2000 ”Closed Feedwater heaters”
- ASME PTC 12.2-1998 ”Performance Test Code Steam Surface Condenser”
- ASME PTC 12.4-1992 ”Moisture Separator Reheaters” (MSRs)

- SFS-EN 305 “Heat exchangers - Definitions of performance of heat exchangers and the general test procedure for establishing performance of all heating exchangers”
- SFS-EN 306 “Heat exchangers - Methods of measuring the parameters for establishing the performance”.

(Pirinen, M 2008, 33–35.)

7 KOMPONENTTIEN SUORITUSKYKYMITTAUKSET

7.1 Mittausten ajoitus ja olosuhteet

Diplomityössä mittausten ajoitus valikoitui standardin IEC 60953-3 mukaan, jossa modernisointia edeltävät mittaukset tulee suorittaa aikaisintaan kahdeksan viikkoa ennen vuosihuollon aikaan tehtäviä muutoksia, mutta mieluiten mahdollisimman lähellä muutostyötä. Vuosihuollon jälkeinen mittaus tulisi vastaavasti tehdä mahdollisimman pian muutoksen jälkeen, mutta korkeintaan kahdeksan viikon kuluessa. Nämä aikamääreet soveltuvat myös hyvin tässä työssä esitettyihin mittauksiin. Tärkeintä on kuitenkin, että prosessin tila olisi molemmilla mittauskerroilla samanlainen, jotta saatu mittausdata on vertailukelpoista.

Suurin koko laitosyksikön laitosmittauksiin vaikuttava muutos on jäähdytysvetenä käytetyn meriveden lämpötila ja mitä lähempänä mittaukset ovat toisiaan, sitä vähemmän meriveden lämpötila oletettavasti muuttuu. Vuosihuollot ajoittuvat yleensä touko-kesäkuulle, jolloin meriveden lämpötila usein muuttuu ainakin hieman muutostöiden aikana. Jos meriveden lämpötilan sovittaminen on tämän johdosta vaikeaa, on tärkeää, että jälkimmäinen mittaus suoritetaan niin pian muutostöiden jälkeen kuin on mahdollista. Mittaukset tulee suorittaa kuitenkin vasta silloin, kun prosessin tila on saatu vastaavaan tilaan kuin ennen mittauksissa. Tällä tavoin mittaukset saadaan suoritettua siten, että prosessi on siinä tilassa mihin se huollettiin eikä laitteiden kunto ole päässyt muuttumaan.

Mittaukset tulee suorittaa myös vuosittain samoilla periaatteilla, jotta saadaan vertailukelpoista mittausdataa myös pidemmän aikavälin vertailuun.

OL3 laitosyksiköllä mittaukset suoritetaan 100 %:n tehoajolla.

7.2 Mittapisteet

Mittapisteiden valinta tapahtuu PI-kaavioita seuraten ja kaikki mittapisteet varmistetaan Excel-taulukosta, josta näkee onko kyseinen mittapiste kytkettynä OL3 laitosyksikön automaatiojärjestelmään. Etsitään siis sellaiset mittapisteet, joista on signaali laitoksen tietojärjestelmään ja ne tallentuvat sinne suoraan. Tällä vältetään mittausepävarmuuksia ja

inhimillisiä virheitä luettaessa paikallisia mittareita. Lisäksi järjestelmään saapuva data tallentuu järjestelmään, jolloin mittauksien arvot voidaan vielä jälkikäteen tarkistaa.

7.3 Mittalaitteet ja niiden kalibrointi

Mittalaitteiden tulee yleisesti ottaen aina olla kalibroituja ennen mittausjakson aloittamista, jotta saatavat tulokset ovat luotettavia. Mittalaitteiden kalibrointi tulee ajoittaa ennen mittauksien suorittamista ja pitää koskemattomina aina vuosihuollon jälkeisiin mittauksiin asti. OL3 laitosesyksiköllä mittalaitteiden kalibrointi pyritään ajoittamaan vuosihuoltoon, joten on syytä miettiä pitäisikö vuosihuolto ns. aloittaa mittalaitteiden kalibroinnista, jotta saatavat tulokset ovat tarkkoja ja luotettavia.

Työssä käytettävien mittapisteiden mittalaitteet ovat kiinteitä ja ne kalibroidaan tämän myötä paikan päällä. OL3 laitosesyksikön mittalaitteiden kalibroinnin tarkastusväli on määriteltä kunnossapitoluokan mukaan. Tarkastusväli eri mittalaitteille vaihtelee vuodesta mittalaitteen vikaantumiseen asti.

7.4 Suorituskykymittausten kytkeytyminen laitosmittauksiin

Työssä suoritettavat suorituskykymittaukset höyrystimien ja syöttövesisäiliön osalta kattavat vain pienen osa-alueen koko laitoksen prosessista. Kyseiset komponentit ovat uusia OL1/OL2 laitosesyksikköihin verrattuna, joten näistä haluttiin tietää komponenttikohtaisesti tietoa, ennen kuin suunnitellaan koko prosessin laitosmittaukset. Laitosmittauksissa tarkasteltava osuus keskittyy pääasiassa generaattorin tuottamaan sähkötehoon ja jatkossa onkin hyvä tarkastella, miten OL1/OL2 laitosesyksiköille suunniteltu laitosmittausohjelma soveltuu OL3 laitosesyksikön käyttöön.

8 TUNNUSLUKUJEN LASKENTA

OL3 laitosyksikön jokaiselle neljälle höyrystimelle lasketaan esilämmitysosan asteisuus ja lämpövirta. Standardissa ASME PTC 12.1 on esitetty yksityiskohtaisesti miten laskenta tulee suorittaa sekä miten tuloksia tulkitaan. Tämän työn laskenta perustuu kuitenkin OL1 ja OL2 laitosyksiköillä käytettäviin menetelmiin, jotta laitosmittaukset ovat yhteneväiset. OL1 ja OL2 laitosyksiköillä käytettävää pohjaa on käytetty kuitenkin soveltuvasti myös tässä tapauksessa, sillä sen suora käyttäminen ei ole mahdollista.

Syöttövesisäiliön osalta suorituskyky voidaan laskea vain asteisuuksien (TTD) mukaan, mutta tämän tulisi standardin ASME PTC 12.3 mukaan olla lähes aina nolla. Tieto vähäisestä syöttövesisäiliön suorituskykyä kuvaavista parametreista selvisi vasta standardia tutkimalla, joten sitä ei voitu välttää työtä suunniteltaessa. Standardi ASME PTC 12.3 ohjeistaa tarkemmin syöttövesisäiliön kemiallisen puolen suorituskyvyn tarkastelua, mutta tässä työssä sitä ei koettu tarpeelliseksi. Siihen saatetaan kuitenkin kiinnittää huomiota varsinaisissa laitosmittauksissa, joten taustatyö siitä oli hyödyllistä.

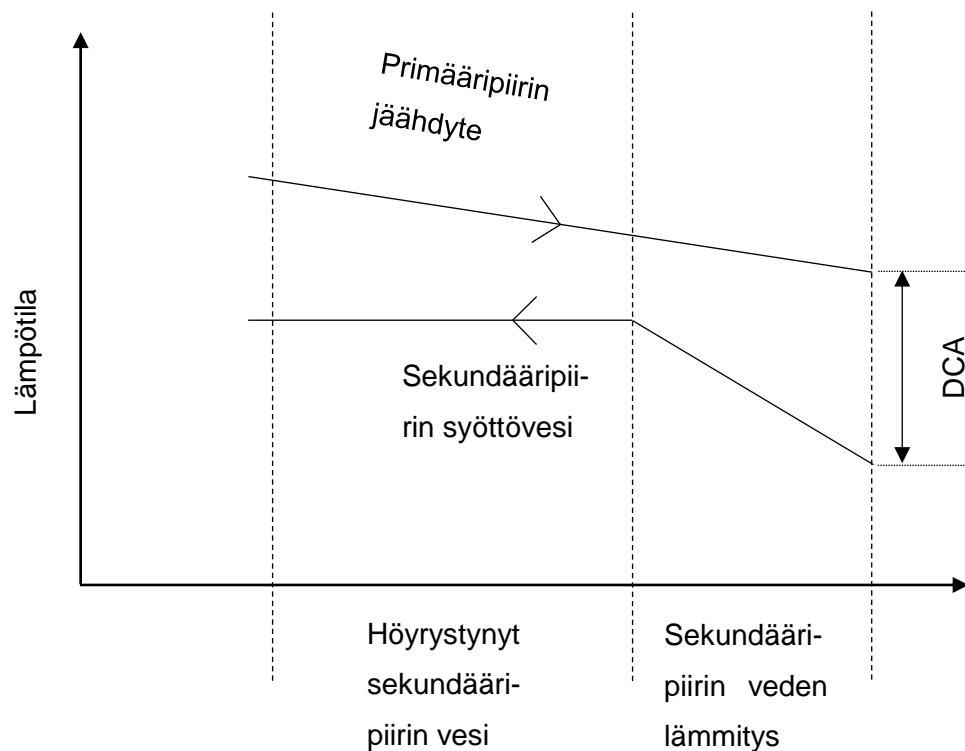
8.1 Höyrystimien suorituskyky

Höyrystimille ei löytynyt tunnettua standardia, joka olisi ohjeistanut höyrystimien suorituskyvyn tunnuslukujen laskennassa. Tämän takia päädyttiin käyttämään diplomityössä käytettyä lämmönvaihtimien suorituskyvyn laskennan periaatteita soveltaen. Höyrystin toimii tässä tapauksessa kuin käänteinen syöttöveden esilämmitin; primääripuolen jäähdytteen avulla höyrystetään syöttövedettä. Kaavat tunnuslukujen laskentaan on täten myös sovellettu siihen sopivaksi.

Höyrystimen tarkasteltaviksi suorituskykyä kuvaaviksi parametreiksi valikoituivat tässä työssä esilämmitysosan asteisuudet sekä lämpövirta tilaajan toiveesta. Esilämmitysosan asteisuus lasketaan höyrystimestä poistuvan primääripiirin jäähdytteen ja syöttöveden sisäänmenolämpötilan erotuksena ja tämä kuvaa osaltaan höyrystimen lämmönsiirtokykyä.

8.1.1 Esilämmitysosan asteisuus

Esilämmitysosan asteisuus DCA on höyrystimestä poistuvan primääripiirin jäähdytteen ja syöttöveden sisäänmenolämpötilan erotus.



Kuvio 1. Esilämmitysosan asteisuus.

Esilämmitysosan asteisuus saadaan laskettua kaavalla:

$$DCA = T_p - T_s,$$

Kaava 1. Höyrystimen esilämmitysosan asteisuus.

missä DCA on esilämmitysosan asteisuus [°C],

T_p on primääripiirin jäähdytteen poistolämpötila höyrystimestä [°C],

T_s on syöttöveden sisäänmenolämpötila höyrystimeen [°C].

8.1.2 Lämpövirta

Lämpövirta kuvaa höyrystimessä tapahtuvaa lämmönsiirtoa. Lämpövirta saadaan kaavalla:

$$\phi = (U \times A \times \Delta T_m),$$

Kaava 2. Lämpövirta.

missä ϕ on lämpövirta [W],

U on lämmönsiirtokerroin [W/m²K],

A on lämmönsiirto pinta-ala [m²],

ΔT_m on logaritminen lämpötilaero [°C].

Lämpövirta voidaan laskea myös toisella tavalla, mikä on esitetty kaavassa 3. Lämpövirta voidaan laskea lämmönvaihtimen kummasta virtauksesta tahansa ja tässä työssä se valikoitui sekundääripiiriksi sen tietojen saatavuuden vuoksi. Vaihtoehtoinen tapa lämpövirran laskemiseen saadaan seuraavalla kaavalla:

$$\phi = (q_m \times \Delta h + P_{häviiöt}),$$

Kaava 3. Vaihtoehtoinen lämpövirta.

missä ϕ on lämpövirta [W],

q_m on massavirta [kg/s],

Δh on ominaisentalpian muutos höyrystimessä [kJ/kg],

$P_{häviiöt}$ on lämpöhäviöt ympäristöön [W].

Jättämällä lämpöhäviöt ympäristöön huomioimatta, saadaan lämpövirta massavirran ja ominaisentalpian muutoksen perusteella. Työssä käytetään tätä tapaa lämpövirran selvittämiseksi. Myös diplomityössä käytettiin tätä tapaa ja näin laitospittaukset pysyvät yhtenäisinä. Työssä käytettävä tapa lämpövirran laskemiseen saadaan seuraavalla kaavalla:

$$\phi = (q_m \times \Delta h).$$

Kaava 4. Lämpövirta ilman lämpöhäviöitä.

8.2 Syöttövesisäiliön suorituskyky

Syöttövesisäiliön osalta suorituskyky voidaan laskea vain asteisuuksien (TTD) mukaan, mutta tämän tulisi standardin ASME PTC 12.3 mukaan olla lähes aina nolla. Asteisuus lasketaan kaavalla:

$$TTD = T_h - T_2,$$

Kaava 5. Syöttövesisäiliön asteisuus.

missä TTD on asteisuus [°C],

T_h on höyryn lämpötila vesi-höyrypinnan paineessa [°C],

T_2 on syöttöveden ulostulolämpötila [°C].

Syöttövesisäiliöön tulee lukuisia virtauksia eri puolilta prosessia, joten niiden merkitys kasvaa myös täyden prosessin laitosmittauksissa. Liitteessä 1 on esitetty taulukossa kaikki syöttövesisäiliöön tulevien ja lähtevien virtausten yhteet normaalissa ajotilanteessa niin vesifaasin kuin höyryfaasin osalta, jotta taustatyön tekeminen helpottuu laitosmittauksien osalta.

8.3 Laskennan toteutus

Työn teoriaosuuden pohjalta tehtiin Excel laskentataulukko mukailien OL1 ja OL2 laitosmittauksissa käytettävää laskentapohjaa, joka koostuu seuraavista osioista:

- mittapistelista
- data ennen ja jälkeen vuosihuoltojen
- lämpötilat
- paineet
- esilämmitysosan asteisuudet

- höyrystimien lämpövirrat
- sekä yhteenveto

Laskennassa on hyödynnetty veden ja vesihöyryn aineominaisuuskirjastoa ws97_lib.xla. Laskennassa jouduttiin käyttämään muutamaa oletusta, sillä mittapisteiltä ei ole vielä saatavilla dataa, koska laitos ei ole vielä toiminnassa. Kaikki laskennassa käytetyt arvot ovat suunniteltuja toiminta-arvoja ja näillä arvoilla pystytään toteamaan laskentapohjan toimivuus.

Höyrystimien DCA:n laskennassa ei ole huomioitu, että laskennassa käytettävät primääripiirin jäähdytteen ulostulolämpötilan -mittapisteet sijaitsevat vasta pääkiertopumppujen jälkeen. Todellisuudessa jäähdytteen lämpötila nousee pääkiertopumpuissa hieman ja tämä on syytä ottaa huomioon, kun tuloksia analysoidaan.

8.3.1 Mittapistelista

"Mittapistelista" -välilehdelle (Liite 2) on kerätty kaikki mittapisteet, jotka ovat työn kannalta oleellisia. Laskentapohja on toteutettu siten, että se osaa hakea aina mittapisteiden nimien avulla data ennen ja jälkeen välilehdeltä sinne syötetyt arvot (PHAKU). Työhön kootut mittapisteet löytyvät taulukosta 5.

Taulukko 5. Mittapisteet.

Mittapiste	Selite	Yksikkö
30JEC10 CT801	Primääripiirin jäähdytteen lämpötila ennen 30JEA10	°C
30JEC20 CT801	Primääripiirin jäähdytteen lämpötila ennen 30JEA20	°C
30JEC30 CT801	Primääripiirin jäähdytteen lämpötila ennen 30JEA30	°C
30JEC40 CT801	Primääripiirin jäähdytteen lämpötila ennen 30JEA40	°C
30JEC10 CT807	Primääripiirin jäähdytteen lämpötila jälkeen 30JEA10	°C
30JEC20 CT807	Primääripiirin jäähdytteen lämpötila jälkeen 30JEA20	°C
30JEC30 CT807	Primääripiirin jäähdytteen lämpötila jälkeen 30JEA30	°C
30JEC40 CT807	Primääripiirin jäähdytteen lämpötila jälkeen 30JEA40	°C
30LAB60 CT763	Syöttöveden lämpötila ennen 30JEA10	°C
30LAB70 CT763	Syöttöveden lämpötila ennen 30JEA20	°C
30LAB80 CT763	Syöttöveden lämpötila ennen 30JEA30	°C
30LAB90 CT763	Syöttöveden lämpötila ennen 30JEA40	°C
30LBA10 CT401	Tuorehöyryn lämpötila jälkeen 30JEA10	°C
30LBA20 CT401	Tuorehöyryn lämpötila jälkeen 30JEA20	°C
30LBA30 CT401	Tuorehöyryn lämpötila jälkeen 30JEA30	°C
30LBA40 CT401	Tuorehöyryn lämpötila jälkeen 30JEA40	°C
30LAB60 CF001	Syöttöveden massavirta ennen 30JEA10	kg/s
30LAB70 CF001	Syöttöveden massavirta ennen 30JEA20	kg/s
30LAB80 CF001	Syöttöveden massavirta ennen 30JEA30	kg/s
30LAB90 CF001	Syöttöveden massavirta ennen 30JEA40	kg/s
30LBA10 CP811	Tuorehöyryn paine jälkeen 30JEA10	bar
30LBA10 CP811	Tuorehöyryn paine jälkeen 30JEA10	bar
30LBA10 CP811	Tuorehöyryn paine jälkeen 30JEA10	bar
30LBA10 CP811	Tuorehöyryn paine jälkeen 30JEA10	bar
30LAA10 CP004	Syöttövesisäiliön paine	bar
30LAA10 CP005	Syöttövesisäiliön paine	bar
30LAA10 CP006	Syöttövesisäiliön paine	bar
30LAA10 CT001	Syöttöveden lämpötila	°C
30LAA10 CT002	Syöttöveden lämpötila	°C

8.3.2 Data ennen ja jälkeen

"Data ennen" ja "data jälkeen" -välilehdiltä (Liitteet 3-4) löytyvät mittauksista saadut arvot, jotka sinne on syötetty. Data ennen ja jälkeen osioon syötetään mittausjaksojen tulokset ja näistä lasketaan keskiarvot, joita käytetään asteisuuksien ja lämpövirtojen laskennassa.

8.3.3 Lämpötilat ja paineet

"Lämpötilat" -välilehdellä (Liite 5) kootaan kaikki laskennassa tarvittavat lämpötilat yhteen taulukkoon, josta niitä haetaan PHAKU -toiminnolla.

"Paineet" -välilehdellä (Liite 6) kootaan kaikki laskennassa tarvittavat paineet yhteen taulukkoon, josta niitä haetaan PHAKU -toiminnolla.

8.3.4 Asteisuudet

"Asteisuudet" -välilehdellä (Liite 7) lasketaan sekä jokaisen höyrystimen, että syöttövesisäiliön asteisuudet. Höyrystimien esilämmitysosan asteisuuksien laskennassa on käytetty kappaleessa 7.1.1 esitettyä kaavaa 1 ja syöttövesisäiliön asteisuuden laskennassa on käytetty kappaleessa 7.2 esitettyä kaavaa 5. Laskennassa käytettävä höyryn lämpötila syöttövesisäiliössä on laskettu syöttövesisäiliön sisällä vallitsevan paineen ja aineominaisuuskirjaston avulla.

7.3.5 Lämpövirrat

"Höyrystimien lämpövirrat" -välilehdellä (Liite 8) lasketaan jokaiselle höyrystimelle lämpövirta. Laskennassa on käytetty kappaleessa 7.1.2 esitettyä kaavaa 2.

8.3.5 Laskentapohjan yhteenveto

"Yhteenveto" -välilehdellä (Liite 9) on koottu kaikki lämpötilat, paineet, asteisuudet, massavirrat sekä lämpötilat omiin taulukkoihin yhdelle sivulle, jotta tulosten analysoiminen helpottuu.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä suorituskyvyn laskentapohja OL3 laitosesäiliön höyrystimille ja syöttövesisäiliölle, jonka avulla voidaan seurata vuosihuoltojen vaikutusta kyseisiin komponentteihin. Laskennasta saatavien tulosten avulla voidaan myös tehdä pidemmän aikavälin seuranta komponenttien suorituskyvyn osalta. Työ toimii myös pohjana koko prosessin laitosmittauksia suunniteltaessa, mutta vain höyrystimien ja syöttövesisäiliön osalta.

Työtä suunniteltaessa ajateltiin, että standardit määrittävät pitkälti, miten laskenta tulee suorittaa. Hyvin pian huomattiin kuitenkin, että kyseisten komponenttien osalta ei löytynyt tunnettuja standardeja, joten suuntaa antavaksi ”ohjeeksi” valikoitui OL1 ja OL2 laitosesäiliöille tehty laitosmittausrutiini. Tämä oli lopulta hyvä asia, sillä näin voitiin varmistaa, että laitosmittaukset ja niiden laskentapohja pysyy yhtenäisenä jokaisella laitosesäiliöllä.

Työssä on esitelty yleisesti TVO:n konserni sekä sen toimintatapa, käyvät laitosesäiliöt ja niiden toimintaperiaate ja Olkiluoto 3 laitosesäiliöllä käytettävä KKS-yksilöintitunnusjärjestelmä. Tarkemmin työssä on esitelty OL3 laitosesäiliö, sen toimintaperiaate ja tärkeimmät osajärjestelmät komponentteineen, ydinvoimalaitoksen suorituskykyymittaukset ja niiden tarkoitus, standardisointi liittyen ydinvoimalaitoksen suorituskykyymittauksiin sekä mitä standardeja on hyödynnetty tässä työssä.

Laskentapohja perustuu OL1 ja OL2 laitosmittauksissa käytettävään pohjaan, mutta se on muokattu OL3 laitoksen höyrystimille ja syöttövesisäiliön tunnuslukujen laskentaan sopivaksi. Laskentapohjassa on koottu mittapisteluettelo, data ennen ja jälkeen, lämpötilat, paineet, asteisuudet, höyrystimien lämpövirta ja yhteenveto omille välilehdilleen.

Koska OL3 laitosesäiliö ei ole vielä käytössä, niin laskentapohjan testauksessa käytettiin suunniteltuja käyttöarvoja ja näin saatiin todettua laskentapohjan toimivuus.

LÄHTEET

ASME PTC 12.1-2015. Closed Feedwater Heaters. Performance Test Codes. Revision of ASME PTC 12.1-2000 (R2005). USA: The American Society of Mechanical Engineers. 62 s. ISBN 978-0-7918-7050-1

ASME PTC 12.3-1997. Performance Test Code on Deaerators. Performance Test Codes. Revision of ASME PTC 12.3-1997. Vahvistettu 2014. USA: The American Society of Mechanical Engineers. 51 s. ISBN 0-7918-2454-3

ASME PTC 19.1-2005. Test Uncertainty. Performance Test Codes. USA: The American Society of Mechanical Engineers. 92 s. ISBN 0-7918-3010-1

ASME PTC 32.1-1969. Nuclear Steam Supply Systems. Performance Test Codes. USA: The American Society of Mechanical Engineers. 33 s.

ASME PTC 6-2004: 2006. Performance Test Code 6 on Steam Turbines. Performance Test Codes. Revision of ASME PTC 6-1996. USA: The American Society of Mechanical Engineers. 97 s. ISBN 0-7918-2935-9

FRAMATOME 2018. System Description. Reactor Coolant System RCS 30 JEC, 30JAA, 30JAC, 30JEA, 30JEF, 30JEG, 30JEB. [sähköinen dokumentti]. Viitattu 7.3.2019. Saatavilla: Intranet yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

FRAMATOME 2019. System Description. STEAM GENERATOR Blowdown System LCQ, MAIN CONDENSATE SYSTEM for STEAM GENERATOR Blowdown System LCA90. [sähköinen dokumentti]. Viitattu 6.3.2019. Saatavilla: Intranet yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

Nuclear Power 2019. Steam Generator. Viitattu. 20.5.2019. Saatavilla: <https://www.nuclear-power.net/steam-generator/>

OL3 laitostuntemuksen jatkokurssi 2019. TVO. Sisäinen materiaali.

OL3 laitostuntemuksen perusteet 2019. TVO. Sisäinen materiaali.

Pirinen, M. 2008. Laitosmittaukset turbiinilaitoksen suorituskyvyn seurantaan ydinvoimalaitoksen vuosihuoltojen yhteydessä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan koulutusohjelma.

Pressurized Water Reactor (PWR) Systems. NRC. [Verkkójulkaisu.] Viitattu 25.2.2019. Saatavilla: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahU-KEwiO99SWdbqAhXCp4sKHQFYBfUQFjAAegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fwww.nrc.gov%2Freading-rm%2Fbasic-ref%2Fstudents%2Ffor-educators%2F04.pdf&usq=AOvVaw2THz-pVJqdhRNjrxP10_Wbn

SFS 2018. Avain standardien maailmaan. [PDF]. Viitattu 3.4.2019. Saatavilla: https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/hyodyllisia_aineistoja/avain_standardien_maailmaan

SFS ry 2019. Standardi tutuksi. Viitattu 3.4.2019. Saatavilla: https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi

SIEMENS AG 2014. System Description. FEEDWATER STORAGE, DEAERATION 30LAA EXTRACTION STEAM PIPING FOR FEEDWATER TANK 30LBS50. [sähköinen dokumentti]. Viitattu 4.3.2019. Saatavilla: Intranet yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

SIEMENS AG 2018a. System Description. HP LP Turbine 30MAA/30MAC [sähköinen dokumentti]. Viitattu 28.2.2019. Saatavilla: Intranet yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

SIEMENS AG 2018b. System Description. CONDENSATION SYSTEM, MAG [sähköinen dokumentti]. Viitattu 8.3.2019. Saatavilla: Intranet yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

SIEMENS EF 2014. System Description. MAIN CONDENSATE PUMP SYSTEM LCB [sähköinen dokumentti]. Viitattu 1.3.2019. Saatavilla: Intranet yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

SIEMENS EF 2014a. System Description. HP FEEDWATER HEATING SYSTEMS 30LAD. [sähköinen dokumentti]. Viitattu 6.3.2019. Saatavilla: Intranet yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

SIEMENS EF 2014b. System Description. REHEATER DRAIN SYSTEM 30LCS. [sähköinen dokumentti]. Viitattu 6.3.2019. Saatavilla: Intranet yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

SIEMENS PG 2017. System Description. COLD REHEAT, HOT REHEAT AND MOISTURE SEPARATOR / REHEATER SYSTEM 30LBB/LBC/LBJ [sähköinen dokumentti]. Viitattu 28.2.2019. Saatavilla: Intranet yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

TVO 2007. Ydinvoimalaitosyksiköt Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2

TVO 2014. Taskutieto. Viitattu 26.2.2019. Saatavilla: <http://www.tvoy.fi/Julkaisut>

TVO 2018. OL1 ja OL2 laitostuntemuksen perusteet. Sisäinen materiaali.

TVO 2019a. TVO-KONSERNI. Viitattu 22.2.2019. Saatavilla: <https://www.tvoy.fi/tvokonserni>

TVO 2019b. TVO YHTIÖNÄ. Viitattu 22.2.2019. Saatavilla: <https://www.tvoy.fi/yhtio>

TVO 2019c. OL1 ja OL2. Viitattu 25.2.2019. Saatavilla: <https://www.tvoy.fi/ol1ol2>

TVO 2019d. Ydinvoimalaitosyksikkö Olkiluoto 3. Viitattu 25.2.2019. Saatavilla: https://www.tvoy.fi/uploads/julkaisut/tiedostot/ydinvoimalaitosyksikko_ol3_fin.pdf

TVO 2019e. OLKILUOTO 3. Viitattu 25.2.2019. Saatavilla: <https://www.tvoy.fi/OL3>

TVO 2019f. Viranomaisyhteistyö. Viitattu 2.4.2019. Saatavilla: <https://www.tvoy.fi/viranomaisyhteistyö>

Yksilöintijärjestelmä-KKS koulutus 2017. TVO. Sisäinen materiaali.

YVL A.8 2019. Ydinlaitoksen ikääntymisen hallinta. STUK. Viitattu 2.4.2019. Saatavilla: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLA-8#a1>

Liite 1. Taulukko 6.

Taulukko 6. Syöttövesisäiliön yhteet.

SYÖTTÖVESISÄILIÖN YHTEET	
TULEVAT YHTEET	Nozzle num.
PÄÄLAUHDE	
30LCA61.1	N1.1
30LCA62.1	N1.2
30LCA63.1	N1.3
30LCA64.1	N1.4
30LCA65.1	N1.5
30LCA66.1	N1.6
KOSTEUDENEROTTIMEN LAUHDE- JÄRJESTELMÄN VESITYKSET	
30LCT11.2	N7.2
30LCT 21.2	N7.1
KP-ESILÄMMITTIMEN SIVULAUHDE- JÄRJESTELMÄN A6 LAUHTEET	
30LCH61.3	N6.2
30LCH62.3	N6.1
HÖYRYSTIMEN ULOSPUHALLUSJÄR- JESTELMÄ	
30LCQ52	N13
SYÖTTÖVESIPUMPPUJEN MINIMIVIR- TAUS	
(P1) 30LAB11.1	N9.1
(P2) 30LAB12.1	N9.2
(P3) 30LAB13.1	N9.3
(P4) 30LAB14.1	N9.4
SYÖTTÖVESISÄILIÖN LÄMMITYS VÄ- LIOTTOKOHDASTA A5	

(jatkuu)

Taulukko 6. (jatkuu)

TULEVAT YHTEET	
30LBS51.4	N4.1
30LBS52.4	N4.2
LÄHTEVÄT YHTEET	
SYÖTTÖVESI	
(P1) 30LAA 10.1	N2.1
(P2) 30LAA 10.2	N2.2
(P3) 30LAA10.3	N2.3
(P4) 30LAA10.4	N2.4
NORMAALIN TYHJENNYKSEN VESITYSLINJAT → LAITOKSEN VESITYSJÄRJESTELMÄÄN	
30LAA10 BR411	N22.1
30LAA10 BR412	N22.2
YLIMÄÄRÄISEN VEDEN POISTO VESIHÖYRYKIERROSTA LAUHTEEN KERUU- JA PALAUTUSJÄRJESTELMÄÄN	
30LAA 10.12	N20 / N21

Liite 2. Mittapistelista.

OL3 Laskentapohjaksi - Excel

TIEDOSTO KAMELEON ALOITUS USAA SVUNASETELU KAAVA TIEDOT TARKISTA NÄYTÄ APUOHJELMAT PDF-XChange

Leikepöytä Fontti Tasaus

Fontti: Arial, Koko: 10, Väri: Musta

Yhdistä ja keskitä, Yleinen: % 000,00 #,0

Ehdollinen muotoilu, Muotoille taulukoksi, Tyylit

Lisää, Poista Muotoille, Solut, Automaattinen summa, Täytty, Poista, Muokkaminen

Lajittele ja suodata, Etsi ja valitse

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										
9																										
10																										
11																										
12																										
13																										
14																										
15																										
16																										
17																										
18																										
19																										
20																										
21																										
22																										
23																										
24																										
25																										
26																										
27																										
28																										
29																										
30																										
31																										
32																										
33																										
34																										
35																										
36																										
37																										
38																										
39																										

VALMIIS

mitapistelista data_ennen data_jälkeen lämpötilat paineet asteisuudet ja_lämpövirrat

70%

Liite 4. Data jälkeen.

OLE3 Laskentapohjaisx - Excel

TIEDOSTO KAMELEON ALOITUS LISÄÄ SIVUN ASETELU KAAVAT TIEDOT TÄRKEISTÄ NÄYTÄ APUOHJELMAT PDF-XChange

Leikepöytä

Fontti Tasaus Numero

Yhdistä ja keskitä

Vienein

Ehdollinen Muotoile taulukoksi

muotoilu - taulukoksi

Tyylit

Solut

Automaattinen summa

Täytty

Poisista

Muokkaaminen

Lajittele ja Etsi ja suodata - valitse

	A	B	C	D	J	R	S	T	W	X	Y	AB	AC	AD
		OL3-LAITOSMITTAUKSET				KESKARVOT (mitattuna)			KESKARVOT (mitattuna mukailu)					
		pvll:xxxx 800,00	pvll:xxxx 800,00	pvll:xxxx 800,00	pvll:xxxx 800,00	J1	J2	J3	F219_J4	F219_J5	F219_J6	Kaliteori	J1	J2
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1														
2														
3	Muutokset	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6
4	30UEC0 CT801	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6
5	30UEC0 CT801	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6
6	30UEC0 CT801	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6
7	30UEC0 CT801	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6	327,6
8	30UEC0 CT807	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
9	30UEC0 CT807	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
10	30UEC0 CT807	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
11	30UEC0 CT807	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
12	30UEC0 CT807	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
13	30UEC0 CT807	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
14	30UEC0 CT807	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
15	30UEC0 CT807	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
16	30UEC0 CT807	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
17	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
18	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
19	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
20	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
21	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
22	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
23	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
24	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
25	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
26	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
27	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
28	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
29	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
30	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
31	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
32	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
33	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
34	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
35	30UEC0 CT401	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293

VAIHMIS

mittapistelistä data_ennen data_jälkeen lämpötilat paineet asteisudet jäälämpövirrat

70%

Liite 5. Lämpötilat.

OL3 Laskentapöytä.xlsx - Excel

TIEDOSTO KAMELEON ALOITUS LISÄÄ SVUN ASETELLEU KAAVAT TIEDOT TARKISTA NÄYTÄ APUOHJELMAT PDF-XChange

Fontti Tassaus Numero

Leikepöytä

134 =KESKIAARVO(31:133)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							
31																							
32																							
33																							
34																							
35																							
36																							
37																							
38																							
39																							
40																							
41																							
42																							

mitatpisteistä data ennen data jälkeen lämpötilat paineet asteisuudet jaalämpövirrat

VALMIS

