

Opinnäytetyö AMK

Kemiantekniikka

2024

Rami Nieminen

# Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän pumppujen uusinta

– Uusinnan esisuunnitelma

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikka

2024 | 29 sivua

Rami Nieminen

## Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän pumppujen uusinta

- Esisuunnitelma

Opinnäytetyönä laadittiin Teollisuuden Voima Oyj:lle esisuunnitelma sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän pumppujen uusintaan. Nykyisten pumppujen osat alkoivat olla korrosoitumisen osalta uusinnan tarpeessa, ja osia tulisi uusia lähitulevaisuudessa. Myös jäähdytyskapasiteetin nosto oli yhtenä kriteerinä, ja kun nykyisten pumppujen juoksupyörät olivat hyvin lähellä maksimikokoja, niiden suurentaminen ei enää olisi ollut käytännössä mahdollista. Pumppuja on OL1- ja OL2-laitoksilla 4 kpl / laitos ja uusinnan tarve koski kaikkia pumppuja.

Pumppujen uusinta mahdollistaisi myös tulevaisuudessa reaktoritehon korottamisen. Tällöin reaktorin jäähdytysmarginaali ei pienentyisi pienempien pumppaustehojen takia, joten tästäkin näkökulmasta pumppujen uusinta olisi hyödyllinen.

Esisuunnitelmassa tuli huomioida pumppujen uusinnasta koituvat muutokset laitokselle, uusinnan vaikutukset järjestelmän toimintaan, laitoksen toimintaan sekä toisiin siihen yhteydessä oleviin järjestelmiin. Opinnäytetyön tuloksena on laadittu esisuunnitelma pumppujen uusinnasta, jossa eri näkökulmat ovat otettu huomioon.

Opinnäytetyössä esitellään myös Teollisuuden Voima Oyj:tä sekä yleisesti ydinvoimalaitoksen toimintaperiaatetta sekä kuvataan sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän toimintaa eri tilanteissa.

Asiasanat:

ydinvoima, pumppu, uusinta, merivesi, esisuunnitelma

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCE

Chemical Engineering

2024 | 29 pages

Rami Nieminen

## Replacement of sea water system pumps in a shut-down reactor

- Preliminary plan

The thesis was prepared for Teollisuuden Voima Oyj, outlining a preliminary plan for the replacement of the sea water system pumps in a shut-down reactor. Some parts of the current pumps were beginning to show signs of corrosion and needed replacement, with some parts requiring replacement in the near future. Increasing cooling capacity was also one of the criteria, and since the impellers of the current pumps were very close to the maximum size, enlarging them would no longer be practically possible. There are 4 pumps per unit in the OL1 and OL2 facilities, and the need for replacement applied to all pumps.

The replacement of pumps would also enable an increase in reactor power in the future. This would ensure that the cooling margin of the reactor does not decrease due to lower pumping power, making the replacement of pumps beneficial from this perspective as well.

In the preliminary plan, the changes to the facility resulting from the replacement of the pumps had to be considered, as well as the effects of the replacement on the system's operation, the facility's operation, and the impacts on other interconnected systems. As a result of the thesis, a preliminary plan for the pump replacement has been prepared, considering various perspectives.

The thesis also introduces Teollisuuden Voima Oyj as a company and generally explains the operation principle of a nuclear power plant, while presenting the operation of the shut-down reactor's sea water system in different scenarios.

Keywords:

nuclear power, pump, replacement, sea water, preliminary plan

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet ja symbolit</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Teollisuuden Voima Oyj</b>	<b>8</b>
2.1 TVO-konserni	9
2.2 Ydinvoimaloiden tekniset tiedot	9
<b>3 Ydinvoimalaitoksen toimintaperiaate</b>	<b>12</b>
3.1 Fissioreaktio	12
3.2 Pääprosessin kuvaus OL1 ja OL2	13
<b>4 Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmä</b>	<b>15</b>
4.1 Järjestelmän yleiskuvaus	15
4.2 Järjestelmän toiminta	16
4.2.1 Normaalit käyttötilanteet	17
4.2.2 Reaktorin alasajo	17
4.3 Laitoksen epänormaalit käyttötilanteet	18
4.3.1 Erittäin korkea lämpötila lauhdutusaltaassa	18
4.3.2 Reaktorin pikasulku	18
4.3.3 Sähkönsyötön menetys	19
4.3.4 Eristykset	19
4.3.5 Dieselvarmennetun välijäähdytysjärjestelmän vikaantuminen	19
4.3.6 Tulviminen apurakennuksissa	20
4.3.7 Jäähdytyksen menetys	20
4.3.8 Merivesitunnelin tukos	20
4.4 Suunnitteluperusteet	20
4.4.1 Ydinturvallisuuteen vaikuttavat suunnitteluperusteet	21
<b>5 Esisuunnitelman laatiminen TVO:lle</b>	<b>25</b>
5.1 Pumppujen nykyinen tilanne	26
5.2 Tehonkorotuksen vaikutus	26

5.3 Pumppujen uusinnan vaikutus vuosihuolloissa	27
5.4 Toteutuksen vaihtoehdot pumppujen osalta	27
<b>6 Yhteenveto</b>	<b>28</b>
<b>Lähteet</b>	<b>29</b>

## Kuvat

Kuva 1. Olkiluodon saari Eurajoella. (Teollisuuden Voima Oyj 2021)	8
Kuva 2. Fissioketjureaktio (Eurasto ym. 2004, 26)	12
Kuva 3. Prosessin höyry-vesi-kierto sekä puhdistusjärjestelmä (Teollisuuden Voima Oyj 2013, 41).	14
Kuva 4. Laitosyksikön hätäjähdytysjärjestelmät. (Teollisuuden Voima Oyj 2013, 53)	16
Kuva 5. Laitosyksikön hätäjähdytysjärjestelmien pumppujen sijoittelu reaktorirakennuksessa. (Teollisuuden Voima Oyj 2013, 53)	22
Kuva 6. Omakäyttösähköverkko ja ulkoiset verkkoyhteydet (Teollisuuden Voima Oyj 2013, 35)	24

## Taulukot

Taulukko 1. OL1 ja OL2 tekniset tiedot. (Teollisuuden Voima Oyj 2023c).	10
Taulukko 2. OL3 tekniset tiedot. (Teollisuuden Voima Oyj 2023d).	11
Taulukko 3. Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän pumppujen sähkönsyötöt. (Savolainen ym. 2022)	23

# Käytetyt lyhenteet ja symbolit

## Lyhenteet

BWR	Boiling Water Reactor (Kiehutusvesireaktori)
EPR	European Pressurized Water Reactor (Eurooppalainen painevesireaktori)
FSAR	Final Safety Analysis Report (Lopullinen turvallisuusseloste)
OL1	Olkiluoto 1 -laitosyksikkö
OL2	Olkiluoto 2 -laitosyksikkö
OL3	Olkiluoto 3 -laitosyksikkö
P1-P4	Pumppu 1...4
TVO	Teollisuuden Voima Oyj
TVONS	Teollisuuden Voima Nuclear Services Oyj

## Symbolit

°	Aste
∅	Halkaisija

# 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Teollisuuden Voima Oyj:n kanssa. Työn tavoitteena oli laatia sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän pumppujen uusinnasta esisuunnitelma. Nykyisten pumppujen nousuputkissa oli havaittu korrosoitumista, joten ainakin nousuputkien uusinta olisi joka tapauksessa tullut eteen tulevaisuudessa. Olkiluoto 1 (OL1) ja Olkiluoto 2 (OL2) -laitoksille on myös suunniteltu reaktoritehon korotusta tulevaisuudessa ja sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän pumpuilla on myös tehon korotukseen oma merkityksensä höyryn lauhdutuksessa suojarakennuksen lauhdutusaltaaseen sekä muihin jäähdytyskohteisiin. Aiemmin tehdyssä esiselvityksessä oli selvitetty aluksi pelkkien nousuputkien uusimista, mutta kustannuksien kannalta kuitenkin pelkkä nousuputkien vaihto ei olisi ollut kannattavaa, joten oli järkevämpää lähteä tarkastelemaan koko pumpun uusintaa jokaiseen osajärjestelmään.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan myös ydinvoimalaitoksen toimintaa, yleistä tietoa Teollisuuden Voima Oyj:stä sekä kerrotaan ydinvoimalaitoksien (OL1 ja OL2) merivesijärjestelmistä sekä tarkastellaan tarkemmin sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän toimintaa.

## 2 Teollisuuden Voima Oyj

Olkiluodossa sijaitsevaan ydinvoimalaitokseen kuuluvat voimalaitosyksiköt OL1, OL2 ja Olkiluoto 3 (OL3). OL1 käynnistettiin 2.9.1978 ja sen kaupallinen käyttö alkoi 10.10.1979. OL2:n osalta käynnistys tapahtui 18.2.1980 ja kaupalliseen käyttöön laitos otettiin 1.7.1982. OL1 ja OL2 ovat identtisiä kiehutusvesireaktoreita (BWR), joiden nettosähköteho on 890 megawattia (MW). (STUK 2023a.)

OL3, joka käynnistettiin 21.12.2021 ja kaupallinen käyttö aloitettiin 16.4.2023, on tyypiltään Eurooppalainen painevesireaktori (EPR) ja sen nettosähköteho on 1600 MW (STUK 2023). TVO:n osuus koko Suomen sähköntuotannosta on noin 30 %. Olkiluodossa on myös Fingrid Oyj:n ja TVO:n yhteishankkeena rakennettu 100 MW:n varavoimalaitos, joka on kaasuturbiinilaitos. (Teollisuuden Voima Oyj. 2023a.)



Kuva 1. Olkiluodon saari Eurajoella. (Teollisuuden Voima Oyj 2021)

## 2.1 TVO-konserni

Teollisuuden Voima Oyj (TVO) on vuonna 1969 perustettu listaamaton julkinen osakeyhtiö. Yhtiön tarkoituksena on tuottaa ns. Mankala-periaatteella sähköä omistajilleen omakustannushinnalla. TVO:n omistajayhtiöitä on viisi, joista suurin on Pohjolan Voima Oyj, jonka omistusosuus on 58,5 %. Muut omistajat ovat EPV Energia Oy, Fortum Power and Heat Oy, Kemira Oyj sekä Oy Mankala Ab. (Teollisuuden Voima Oyj 2023b.)

Konserniin kuuluvat myös Teollisuuden Voima Oyj:n tytäryhtiö TVO Nuclear Services (TVONS) sekä ydinjätehuoltoyhtiö Posiva Oy. TVONS on kokonaisuudessaan TVO:n omistuksessa oleva yhtiö. Posiva Oy on TVO:n ja Fortumin yhteisessä omistuksessa oleva yhtiö, josta TVO omistaa 60 %. Posiva Oy:llä on myös oma tytäryhtiö Posiva Solutions Oy. (Teollisuuden Voima Oyj 2023b.)

## 2.2 Ydinvoimaloiden tekniset tiedot

Taulukoissa on esitettyä teknisiä tietoja laitosten kapasiteetista sekä reaktorien että turbiinien toiminnan kannalta vaikuttavista asioista. Esimerkiksi nettoteho tarkoittaa, paljonko laitos tuottaa sähkötehoa valtakunnan verkkoon. Omakäyttöteho on siis tästä vähennetty.

Taulukoista käy hyvin ilmi, että ydinvoimaloiden kokonaishyötysuhde ei kovin hyvä ole, sillä suuri osa lämmöstä menee mereen eikä hyötykäyttöön, esimerkiksi kaukolämmön tuotantoon. Olkiluodossa käytetään kuitenkin osa hukkalämmöstä hyödyksi, sillä teollisuusalueen rakennuksia lämmitetään omalla kaukolämpöpiirillä.

Toimintaperiaatteen eron OL1/OL2 verrattuna OL3:een voi huomata myös taulukoissa, sillä reaktorin toimintapaine on selvästi alhaisempi kiehutusvesireaktorissa kuin painevesireaktorissa. Eroavaisuutta on myös turbiinissa, sillä OL3:ssa on neljän matalapaineturbiinin sijasta kolme

matalapaineturbiinia. Lukumäärän ero johtuu siitä, että OL3:n turbiinin siivet ovat huomattavasti suurempia. Turbiinin kierrosluku on myös puolta pienempi.

Alla oleviin taulukoihin on listattu laitosten teknisiä tietoja:

Taulukko 1. OL1 ja OL2 tekniset tiedot. (Teollisuuden Voima Oyj 2023c).

Sähköteho, netto	890 MW
Reaktorin lämpöteho	2500 MW
Kokonaishyötysuhde	n. 35 %
Reaktorin toimintapaine	70 bar
Polttoainenippujen määrä	500 kpl
Polttoaine	uraanioksidiksi UO <sub>2</sub>
Polttoaineen kulutus	n. 20 t vuodessa
Tuorehöyryn lämpötila	286 °C
Vuotuinen sähköntuotanto	n. 7 TWh
Säätösauvojen lukumäärä	121 kpl
Merivesivirtaus	38 m <sup>3</sup> /s
Turbiinin kierrosluku	3000 rpm
Turbiinien lukumäärä	1 korkeapaine- ja 4 matalapaineturbiinia

Taulukko 2. OL3 tekniset tiedot. (Teollisuuden Voima Oyj 2023d).

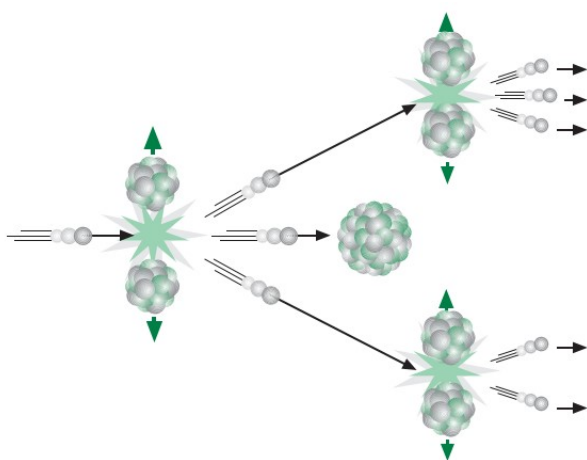
Sähköteho, netto	n. 1600 MW
Reaktorin lämpöteho	4300 MW
Kokonaishyötysuhde	n. 37 %
Reaktorin toimintapaine	155 bar
Polttoainenippujen määrä	241 kpl
Polttoaine	uraanioksiidi UO <sub>2</sub>
Polttoaineen kulutus	n. 32 t vuodessa
Tuorehöyryn lämpötila	290 °C
Vuotuinen sähköntuotanto	n. 13 TWh
Säätöelementtien lukumäärä	n. 89 kpl
Merivesivirtaus (lauhdutin)	57 m <sup>3</sup> /s
Turbiinin kierrosluku	1500 rpm
Turbiinien lukumäärä	1 korkeapaine- ja 3 matalapaineturbiinia

### 3 Ydinvoimalaitoksen toimintaperiaate

Ydinvoimalaitoksen toimintaperiaate on samanlainen kuten muillakin lämpövoimalaitoksilla, joissa vesihöyryn avulla pyöritetään turbiinia ja turbiiniin kytkettyä sähkögeneraattoria. Tavanomaisista lämpövoimalaitoksista poiketen ydinvoimalan toimintaperiaate perustuu siihen, että veden höyrystämiseen tarvittava lämpöenergia syntyy fissioreaktioissa, joissa atomiytimet halkeavat. Ydinvoimalassa lämpö tuotetaan ydinreaktorissa, missä aikaansaadaan kontrolloitu fissioiden ketjureaktio. Tämä ketjureaktio tapahtuu suljetussa reaktoripaineastiassa, tarkemmin sanottuna reaktorisydämessä. (Eurasto ym. 2004, 26.)

#### 3.1 Fissioreaktio

Kiehutusvesilaitos on eräänlainen lämpövoimalaitos, jossa käytetään polttoaineena uraania. Turbiinille menevää höyryä saadaan vapauttamalla lämpöenergiaa fissio- eli halkeamisreaktiossa, jossa neutronin osuessa uraaniytimeen, se halkeaa kahdeksi pienemmäksi ytimeksi. Suuren energian lisäksi fissiossa vapautuu 2–3 kpl uusia neutroneja, jotka taas aiheuttavat uusia fissioita, jolloin syntyy ketjureaktio. Neutronien ja ytimien liike-energia muuntuu lämpöenergiaksi. (STUK 2023b.)

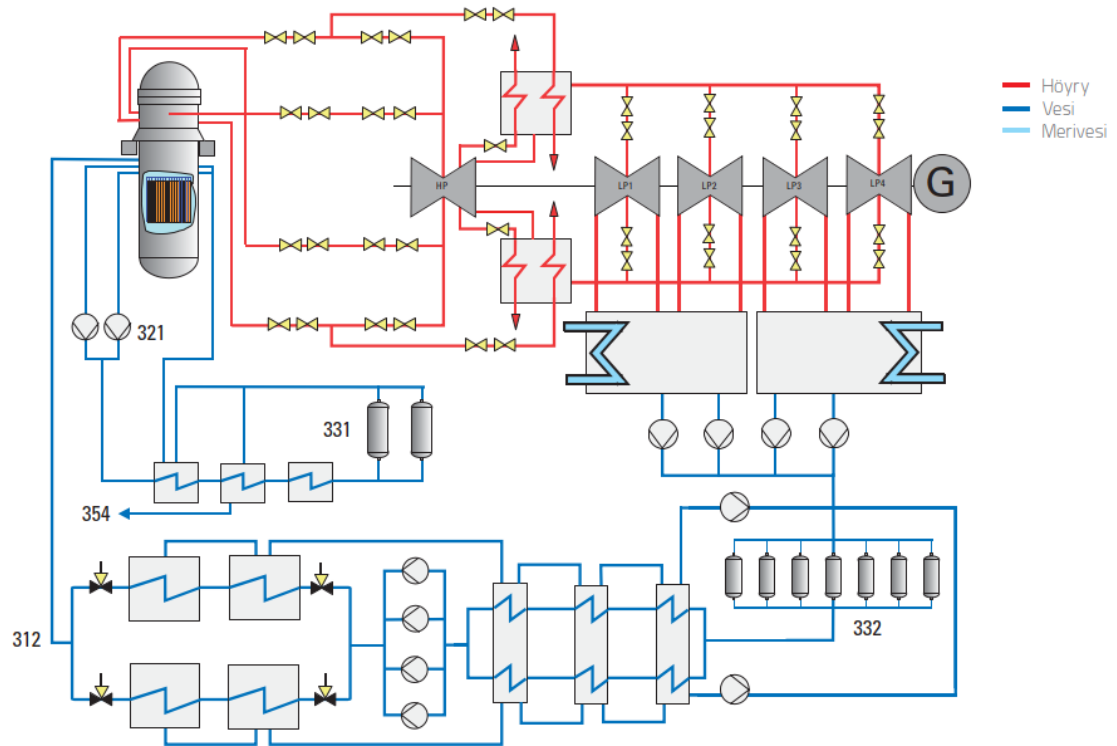


Kuva 2. Fissioketjureaktio (Eurasto ym. 2004, 26)

Fissioreaktiossa muodostuvat fissiotuotteet ovat radioaktiivisia, mikä tarkoittaa, että ne hajoavat muuttuen eri alkuaineiksi. Säteilyä syntyy ytimien hajoamisen yhteydessä. Jälkilämpöä muodostuu radioaktiivisten fissiotuotteiden johdosta. Tämän jälkilämmön poistamisesta on huolehdittava kaikissa polttoaineen käsittelyn vaiheissa. (Teollisuuden Voima Oyj 2023e.)

### 3.2 Pääprosessin kuvaus OL1 ja OL2

Vettä kierrätetään reaktorin sydämessä olevien polttoainesauvojen läpi, joiden ansiosta vesi alkaa kuumentua ja höyrystyä. Tehoa pystytään reaktorissa säätämään niin säätösauvoilla kuin pääkiertopumppujen avulla. Höyrystynyt vesi kulkeutuu neljää päänhöyrylinjaa pitkin ensin korkeapaineturbiinille. Korkeapaineturbiinista höyry johdetaan välitulistimille, jonka tarkoituksena on kuivata ja tulistaa höyryä ennen matalapaineturbiineille kulkeutumista. Turbiinin siivekkeet ovat kytkettynä kiinni akseliin, joka pyörittää samalla akselilla olevaa generaattorin roottoria, tuottaen sähköä valtakunnan verkkoon. Matalapaineturbiinien läpi kulkeutuva höyry lauhdutetaan takaisin vedeksi turbiinien alla olevassa lauhduttimessa, jota jäähdytetään merivedellä. Lauhduttimesta vedeksi lauhtunut höyry pumpataan lauhdepumpuilla puhdistuksen kautta matalapaine-esilämmittimille, jonka jälkeen esilämmitetty vesi pumpataan syöttövesipumpuilla korkeapaine-esilämmittimien kautta takaisin reaktoriin. Lauhduttimessa lämmennyt merivesi palautuu takaisin mereen. (Teollisuuden Voima Oyj 2013, 9.)



Kuva 3. Prosessin höyry-vesi-kierto sekä puhdistusjärjestelmä (Teollisuuden Voima Oyj 2013, 41).

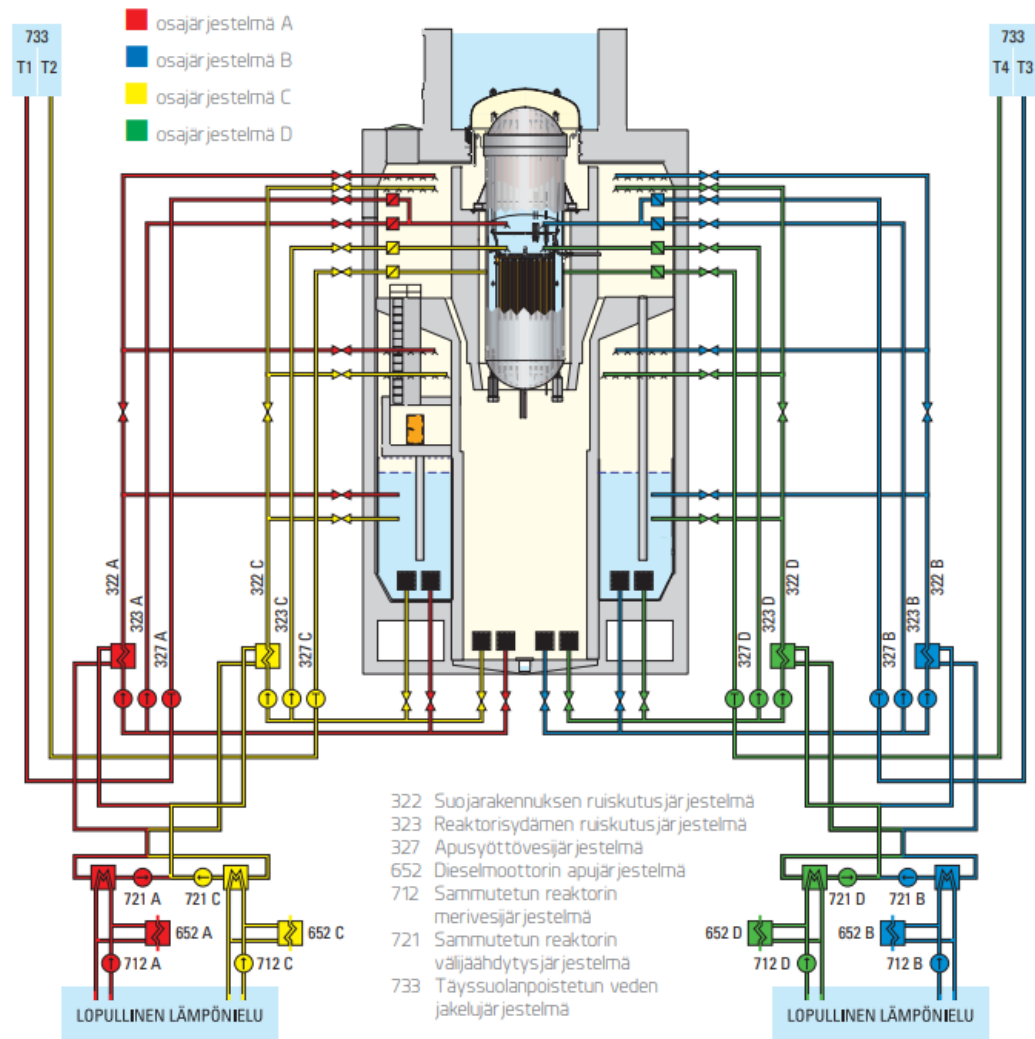
## 4 Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmä

Tässä luvussa käydään läpi sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän toiminta eri tilanteissa. Tutustutaan järjestelmän turvallisuustehtäviin ja siihen, miten turvallisuustehtävien täytyminen on varmistettu erilaisissa laitoksen käyttötilanteissa.

### 4.1 Järjestelmän yleiskuvaus

Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmä on jäähdytysjärjestelmä, joka on avoin ja siinä käytetään merivettä. Sen turvallisuustehtävänä on toimittaa jäähdyttävää merivettä sammutetun reaktorin välijäähdytysjärjestelmän lämmönvaihtimille sekä sen tehtävänä on myös jäähdyttää dieselgeneraattorin jäähdyttimiä. Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmä koostuu neljästä identtisestä ja itsenäisestä osajärjestelmästä eli piiristä. Piirit sijaitsevat laitosten apujärjestelmärakennuksissa, kummassakin apujärjestelmärakennuksessa on kaksi tällaista piiriä. Järjestelmä käynnistyy tarvittaessa joko manuaalisesti tai automaattisesti. Jokaisen piirin pääkomponentteihin lukeutuu sähkönsyötöltään dieselvarmennettu uppopumppu, suodatin sekä lämmönvaihdin (sammutetun reaktorin välijäähdytysjärjestelmän lämmönvaihdin). Pumput imevät jäähdytysveden merivesikanavasta. Järjestelmän ollessa seis lämmönvaihtimien tyhjeneminen vedestä on estetty paluuputkistoon asennettujen mutkien avulla. (Savolainen ym. 2022.)

Ennen lämmönvaihtimia jokaisessa piirissä on suodatin. Suodatin huuhdellaan automaattisesti käyttämällä järjestelmän omaa vesivirtausta. Huuhtelu käynnistyy joko paine-eron käynnistämänä tai aikaohjauksella. Roskat huuhtoutuvat pois linjasta ennen veden pääsyä lämmönvaihtimille ja likainen huuhteluvesi johdetaan piirin poistoputkeen, joka on lämmönvaihtimien jälkeen. (Savolainen ym. 2022.)



Kuva 4. Laitosyksikön hätjäjäähdytysjärjestelmät. (Teollisuuden Voima Oyj 2013, 53)

#### 4.2 Järjestelmän toiminta

Laitoksen normaaleissa käyttötilanteissa järjestelmä yleensä käynnistetään sekä pysäytetään manuaalisesti. Olemassa on myös joitain toimintoja, jolloin järjestelmä käynnistyy automaattisesti, esimerkiksi dieselgeneraattoreiden määräaikaistestauksissa.

#### 4.2.1 Normaalit käyttötilanteet

Laitoksen normaalissa toiminnassa sammutetun reaktorin merivesijärjestelmä on yleensä pysähtyneenä. Järjestelmää kuitenkin tarvitaan, kun jäähdytysvettä tarvitaan välijäähdytysjärjestelmän lämmönvaihtimille ja dieselgeneraattorin jäähdytykseen. Kun lauhdutusaltaan lämpötila saavuttaa 20°C, saadaan valvomoon hälytys korkeasta lämpötilasta. Tällöin sammutetun merivesijärjestelmän pumpput käynnistetään käsin jäähdytysveden saamiseksi välijäähdytysjärjestelmän lämmönvaihtimille. Lauhdutusaltaan jäähdyttyä hyväksyttävään arvoon voidaan järjestelmä taas pysäyttää käsin.

Järjestelmää käytetään myös, kun koestetaan suojarakennuksen ruiskutus-, reaktorisydämen ruiskutus- tai apusyöttövesijärjestelmien pumppuja, sillä koestettavat pumpput saavat jäähdytyksen sammutetun reaktorin välijäähdytysjärjestelmän kautta.

Dieselgeneraattorin käynnistyessä merivesijärjestelmän pumpput käynnistyvät automaattisesti kyseisessä dieselgeneraattoria jäähdyttävässä piirissä.

Normaalisti järjestelmän käydessä virtaus on jokaisessa osajärjestelmässä 140 kg/s, josta 115 kg/s ohjautuu välijäähdytysjärjestelmän lämmönvaihtimille sekä 25 kg/s dieselgeneraattorien jäähdytykseen. Jäähdytyspiirejä voidaan käyttää vaikka yksi kerrallaan tai kaikki neljä piiriä voi käydä samanaikaisesti. (Savolainen ym. 2022.)

#### 4.2.2 Reaktorin alasajo

Reaktorin alasajossa kylmään tilaan, käytetään sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmää reaktorin jäähdytykseen. Sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmän lämmönvaihtimia jäähdytetään myös välijäähdytyspiireillä, jolloin tarvitaan myös merivesijärjestelmän käyntiä. Kun reaktorin lämpötila on laskenut noin 188°C:seen, käynnistetään jäähdytysketju, joka käy niin kauan kun reaktoria pidetään sammutettuna. (Savolainen ym. 2022.)

### 4.3 Laitoksen epänormaalit käyttötilanteet

Järjestelmän kaikki piirit käynnistyvät automaattisesti sellaisissa epänormaaleissa käyttötilanteissa, joissa järjestelmään kytköksissä olevat kohteet tarvitsevat jäähdytystä. Sammutetun merivesijärjestelmän pumppujen sähkönsyöttö on liitetty dieselvarmennettuun verkkoon, joten järjestelmän käyttökuntoisuus ei ole riippuvainen ulkoisesta sähköverkosta. (Savolainen ym. 2022.)

#### 4.3.1 Erittäin korkea lämpötila lauhdutusaltaassa

Mikäli lauhdutusaltaan lämpötila nousee erittäin korkeaksi (23°C), valvomoon saadaan hälytys ja kaikki sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän pumput käynnistyvät automaattisesti. Myös välijäähdytys- ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmien pumput käynnistyvät automaattisesti, jotta lauhdutusallasta voidaan jäähdyttää jäähdytysketjuilla. Kun lauhdutusallas on jäähtynyt hyväksyttävään lämpötilaan, alle 20 °C:seen, jäähdytysketjut voidaan pysäyttää manuaalisesti valvomosta. (Savolainen ym. 2022.)

#### 4.3.2 Reaktorin pikasulku

Jäähdytysketjun kaikki neljä piiriä käynnistyvät automaattisesti sellaisissa tilanteissa, joissa reaktorin pikasulku laukeaa. Pikasulun lauetessa jäähdytysketjua tarvitaan poistamaan jälkilämpöä lauhdutusaltaasta. Sammutetun reaktorin välijäähdytysjärjestelmään kuuluu myös ilmajäähdyttimet, joilla jäähdytetään jäähdytysketjujen pumppuja, jotka sijaitsevat reaktorirakennuksessa, niin sanotuissa H-tiloissa. (Savolainen ym. 2022.)

### 4.3.3 Sähkönsyötön menetys

Mikäli yhteys ulkoiseen sähköverkkoon katkeaa eikä omakäyttöajolle siirtyminen onnistu, kaikki dieselgeneraattorit käynnistyvät automaattisesti ja näin jäähdytysketjujen kaikki pumput saavat sähkönsyötön tätä kautta ja käynnistyvät automaattisesti (Savolainen ym. 2022).

### 4.3.4 Eristykset

Pikasulkuketju käynnistää eristysten yhteydessä kaikki jäähdytyspiirit automaattisesti. Onnettomuuden sattuessa suojarakennuksessa, eristyksen lauetessa, voivat suojarakennuksen kaasunkäsittelyjärjestelmän lämmönvaihtimet tarvita jäähdytystä. Lämmönvaihtimet ovat kytkettyinä välijäähdytysjärjestelmään, joten jäähdytysketju on jo käynnistynyt pikasulkuketjun käynnistämänä. (Savolainen ym. 2022.)

### 4.3.5 Dieselvarmennetun välijäähdytysjärjestelmän vikaantuminen

Sammutetun reaktorin välijäähdytysjärjestelmä toimii myös dieselvarmennetun välijäähdytysjärjestelmän varajärjestelmänä, mikäli sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmän pumppujen moottorien tai polttoaine- ja reaktorialtaiden jäähdytys- ja puhdistusjärjestelmän lämmönvaihtimien jäähdytys katkeaa dieselvarmennetun välijäähdytysjärjestelmän vikaantuessa (esimerkiksi vuototilanteessa). Dieselvarmennettu välijäähdytysjärjestelmä voidaan korvata niin, että edellä mainittujen kohteiden jäähdytys siirretään sammutetun reaktorin välijäähdytysjärjestelmän perään käsin tietyillä venttiilioperaatioilla. (Savolainen ym. 2022.)

#### 4.3.6 Tulviminen apurakennuksissa

Savolaisen ym. (2022) mukaan tulvimisella apurakennuksissa ei ole merkitystä järjestelmän toimivuuden kannalta, koska pumput ovat sijoitettu +3,5 metriä merenpinnan yläpuolelle.

#### 4.3.7 Jäähdytyksen menetys

Mikäli ulkoinen verkko on menetetty ja laitoksen sähkönsyöttö on dieselgeneraattoreiden varassa, ja yksi dieselgeneraattori vikaantuu, niin vikaantumisen seurauksena menetetään myös saman piirin sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän sekä sammutetun reaktorin välijäähdytysjärjestelmän pumpput. Täten myös kyseisen piirin suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmän pumppu, sydämen ruiskutusjärjestelmän pumppu sekä apusyöttövesijärjestelmän pumppu samasta osajärjestelmästä menettävät jäähdytyksen. (Savolainen ym. 2022.)

#### 4.3.8 Merivesitunnelin tukos

Mikäli meriveden tulotunneli oletetaan olevan tukkeutumassa, järjestelmään voidaan ottaa jäähdytysvettä myös meriveden poistopuolen tunnelista, kun meriveden puhdistusjärjestelmän luokkuja ohjataan käsin toisiin asentoihin (Savolainen ym. 2022).

#### 4.4 Suunnitteluperusteet

Suunnitteluperusteet ovat laskettu siten, että meriveden lämpötila ei ylitä 18°C. Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmä on suunniteltu siten, että jäähdytysketjut täyttävät jäähdytysvaatimukset seuraavasti:

1. Lauhdutusaltaan lämpötila pystytään pitämään kahdella piirillä alle 95°C mikäli suojarakennuksessa tapahtuisi sisäpuolinen putkirikko.

2. Ulospuhallusjärjestelmän tai lauhdutusjärjestelmän alaspuhallusputkien kautta lauhdutusaltaaseen tapahtuvan höyryn puhalluksen yhteydessä ei lauhdutusaltaan lämpötila saa ylittää sitä maksimilämpötilaa, jossa ei höyryä pystytä lauhduttamaan täydellisesti kyseessä olevalla höyryn massavirralla.
3. Kun sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmää käytetään reaktorin alajossa, pitää jäähdytyskyvyn olla riittävän suuri, jotta reaktori voidaan jäähdyttää 188°C:sta 100°C:een 3,5 tunnissa siitä, kun 2,5 tuntia on kulunut tilasta kuuma, sammutettu reaktori. Tällä ei ole turvallisuusmerkitystä, vaan aikarajat perustuvat alkuperäiseen laitossopimukseen.
4. Dieselgeneraattorien jäähdyttimille menevän virtauksen tulee olla riittävä jäähdyttämään dieselgeneraattoria, kun meriveden lämpötila on alle 30°C.

Laitoksen käyttöä voidaan jatkaa meriveden lämmitessä yli 18°C:een, tarvittaessa rajoittaen reaktorin tehoa siten kuin FSAR:n yleisen osan kohdassa 4.7.6 määrätään. Meriveden lämpötilan ylittäessä 27°C, tulee käynnistää reaktorin alasajo kylmään sammutustilaan.

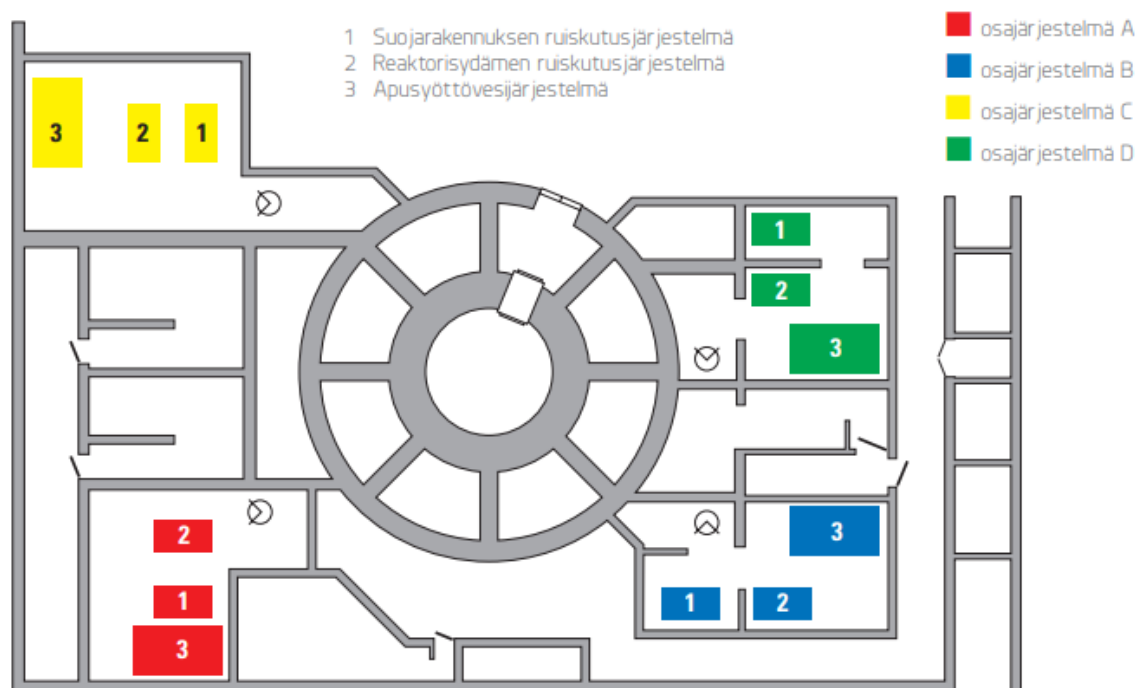
Reaktorin ollessa kuumavalmiudessa tai kuumassa sammutustilassa, täytyy lauhdutusaltaan lämpötila pystyä pitämään alle 35°C:eeassa. Mikäli lauhdutusaltaan lämpötilaa ei pystytä pitämään edellä mainitusti, tulee reaktori ajaa kylmään sammutustilaan. (Savolainen ym. 2022.)

#### 4.4.1 Ydinturvallisuuden vaikuttavat suunnitteluperusteet

Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmässä noudatetaan moninkertaisuusperiaatetta, joka ilmenee neljän osajärjestelmän käytössä.

Järjestelmän turvallisuustehtävien suorittamiseen vaaditaan kuitenkin vain kahden osajärjestelmän toimivuus.

Osajärjestelmille sovelletaan erotteluperiaatetta, jossa A ja C osajärjestelmien pumput sekä lämmönvaihtimet sijaitsevat vasemmassa apurakennuksessa, kun taas B ja D osajärjestelmien vastaavat komponentit sijaitsevat oikeassa apurakennuksessa. Alla olevassa kuvassa on esitetty osajärjestelmien jako reaktorirakennuksessa:



Kuva 5. Laitosyksikön hätäjähdytysjärjestelmien pumppujen sijoittelu reaktorirakennuksessa. (Teollisuuden Voima Oyj 2013, 53)

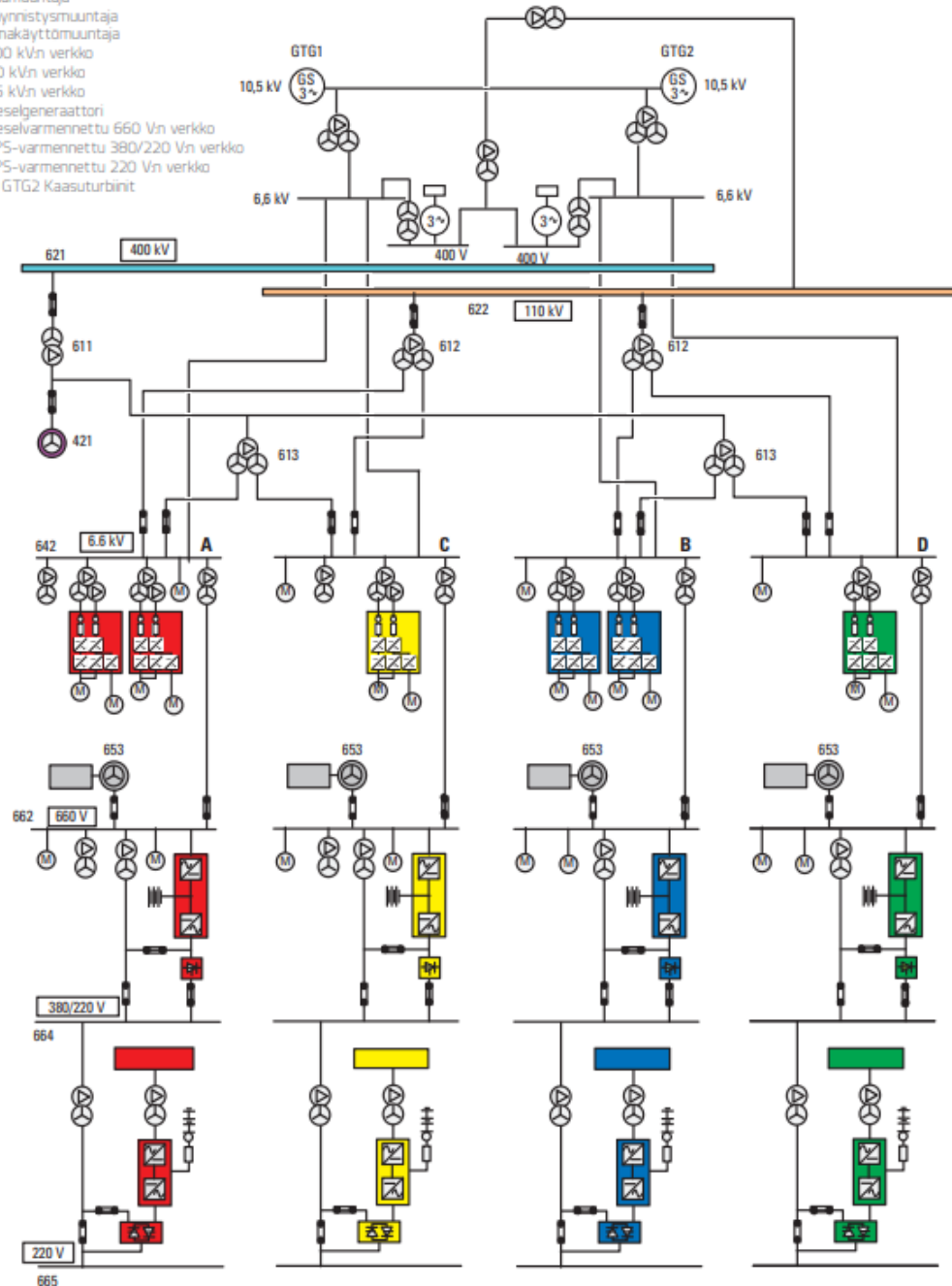
Pumppujen moottorit saavat sähkönsyöttönsä järjestelmästä dieselvarmennetusta verkosta (660 V verkko), joka on erotettu osajärjestelmittäin eri huonetiloihin. Pumput saavat sähkönsyöttönsä eri dieselvarmennetuista 660 V kiskoista seuraavanlaisesti:

Taulukko 3. Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän pumppujen sähkönsyötöt. (Savolainen ym. 2022)

Pumppu (moottori)	Sähkönsyötön kisko
Pumppu 1	662A101
Pumppu 2	662B201
Pumppu 3	662C301
Pumppu 4	662D401

- osajärjestelmä A
- osajärjestelmä B
- osajärjestelmä C
- osajärjestelmä D

- 421 Generaattori
- 611 Päämuuntaja
- 612 Käynnistysmuuntaja
- 613 Omakäyttömuuntaja
- 621 400 kV:n verkko
- 622 110 kV:n verkko
- 642 6,6 kV:n verkko
- 653 Dieselgeneraattori
- 662 Dieselvarmennettu 660 V:n verkko
- 664 UPS-varmennettu 380/220 V:n verkko
- 665 UPS-varmennettu 220 V:n verkko
- GTG1 ja GTG2 Kaasuturbiinit



Kuva 6. Omakäyttösähköverkko ja ulkoiset verkkoyhteydet (Teollisuuden Voima Oyj 2013, 35)

## 5 Esisuunnitelman laatiminen TVO:lle

Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän pumpuissa 1–4 oli havaittu alkavaa nousuputkien syöpymistä. Alun perin oli suunniteltu pelkästään nousuputkien uusimista, mutta edellisten nousuputkitilausten mukaan työ olisi tullut kustantamaan suhteessa kokonaisuusintaan niin paljon, että oli järkevämpää alkaa tarkastelemaan kokonaisuudessaan pumppujen uusimista. Pumpuissa on muissakin kohteissa esiintynyt korrosoitumista, kulumia ja joiltain osin alkavat muutenkin olemaan käyttöikänsä loppupuolella, joten pumppujen saaminen vastaamaan nykyvaatimuksia tulisi maksamaan enemmän, mitä pelkkien nousuputkien uusinta maksaisi.

OL1- ja OL2-laitosten suunniteltu termisen tehon korotus reaktoreissa pienentäisi nykyisillä pumpuilla jäähdytysketjujen marginaalia. Mikäli kuitenkin pumput uusittaisiin kokonaisuudessaan, saataisiin sammutetun reaktorin merivesijärjestelmän kapasiteettia lisättyä ja näin ollen estettyä marginaalin pienenemistä. Pumppujen uusinnalla kokonaisuudessaan varmistettaisiin myös varaosien saatavuus tulevaisuudessa. Näin ollen oli järkevää lähteä selvittämään koko pumpun uusinnasta koituvia kustannuksia. Esiselvityksessä on suunniteltu uusittujen pumppujen materiaaliksi paremmin merivettä kestävää duplex- ruostumatonta terästä.

Esiselvityksen pohjalta saatiin selvitettyä, minkälaista ongelmaa pumpuissa on ilmennyt ja minkälaisia vaatimuksia uusilta pumpuilta vaaditaan. Työssä tuli yhdistää projektiin uusien pumppujen laitokselle vienti, niiden asennuksista johtuvat muutostarpeet itse laitepaikalla, esimerkiksi uusi pumppu ei tule mahtumaan vanhaan petiin, joten pumppupedit tulee valaa uudestaan. Putkiston osalta tullaan säästymään miltei kokonaisuudessaan muutoksilta. Sähkömoottorin koon kasvaessa, kojeistolähdöt tulee uusia, jotka eivät taas mahdu vanhan kojeiston paikalle, joten käyttöön tulee tällöin ottaa uudet paikat. Dieselkiskoissa on onneksi tyhjät paikat varalla, joihin näiden pumppujen sähkölähdöt saadaan sijoitettua.

Oli tärkeää myös huomioida pumppujen uusinnan vaikutus muiden järjestelmien toimivuuteen ja mitä vaikutuksia pumppujen uusinnalla on laitoksen toimintaan, minkä turvaluokan laitteista on kyse, mitä standardeja suunnittelussa käytetään, säteilyturvallisuus, sekä tietysti kunnossapidolliset seikat mm. varaosat ja niiden saatavuus.

### 5.1 Pumppujen nykyinen tilanne

Nykyiset pumpput ovat Sulzer Pumps Finland Oy:n valmistamat PHR-20 mallin pumpput, joiden toimintapiste on 140 l/s, 33 mvp. ja pumpun vaatima sähkömoottorin teho 75 kW. Esiselvityksessä oli selvitetty myös yhtenä vaihtoehtona nykyisen pumpun juoksupyörän koon kasvattamista, mutta sen on todettu olevan jo lähellä maksimikokoa kyseiseen pumppumalliin (nyt Ø415 mm/10°, maksimi Ø417 mm/10°), joten nykyisellään järjestelmän pumpput toimivat jo lähellä maksimikapasiteettia.

### 5.2 Tehonkorotuksen vaikutus

OL1- ja OL2-laitoksille on suunniteltu reaktorin termisen tehon korottamista 2500 MW:sta tehoon 2750 MW. Termisen tehon korotuksella on vaikutusta lauhdutusaltaan lämpötilaan sinne tarvetilanteessa puhallettavan höyryn lämpötehon noustessa. Tehon korotus nostaa myös sammutetun reaktorin jälkilämpötehoa. Sammutetun merivesijärjestelmän pumppuja käytetään molemmissa tapauksissa jälkilämmön poistoon:

1. Lauhdutusaltaan jäähdyttämiseen jäähdytysketjun avulla.
2. Sammutetun reaktorin jälkilämmön poistoon jäähdytysketjun avulla.

Tehonkorotuksen toteutuessa järjestelmän marginaali laskisi jälkilämmönpoistossa nykyisestä marginaalista ilman pumppujen uusintaa.

### 5.3 Pumppujen uusinnan vaikutus vuosihuolloissa

Järjestelmällä jäähdytetään myös vuosihuollon aikana reaktori- ja polttoainealtaiden jäähdytysketjuja. Pumppujen uusinnassa saavutettu kapasiteetin nosto lisäisi myös näihin jäähdytysketjuihin jäähdytyskapasiteettia, joka saattaisi mahdollistaa nopeamman laitoksen alasajon ja näin ollen saattaisi mahdollistaa vuosihuoltojen joustavamman aikataulutuksen joidenkin töiden osalta. Tästä ei kuitenkaan ole vielä tehty mitään tarkempia analyyseja.

### 5.4 Toteutuksen vaihtoehdot pumppujen osalta

Sulzer Pumps Finland Oy:ltä on pyydetty kaksi eri tarjousvaihtoehtoa, joissa ensimmäisessä vaihtoehdossa olisi pumpun uusinta nykyisen mallisella PHR-20 pumpulla, johon vaihdettaisiin suurempi juoksupyörä ja toisessa tarjouspyynnössä oli kyseessä pumpun uusinta uudemmalla 2PLP-30 mallin pumpulla. Molemmissa tapauksissa pumpun toimintapisteeksi tulisi 155 l/s, 39 mvp., pumpun kierrosnopeudeksi 1500 1/min ja moottorin tehoksi 110kW.

## 6 Yhteenveto

Tarkoituksena oli laatia esisuunnitelma pumppujen uusinnasta. Lähtökohtana oli, että pumput pitää uusia niiden korroosioaurioiden takia. Esisuunnitelman teko oli aika työläs, sillä siinä tuli ottaa huomioon monta seikkaa koskien pumppujen uusinnan muutostyötä.

Itse uskon, että pumput tullaan uusimaan niiden korroosioaurioiden vuoksi joka tapauksessa, vaikkei laitoksille olisikaan tulossa tehonkorotusta 2750 MW:iin. Tehdyn esisuunnitelman mukaan tullaan projektista aikanaan tekemään päätös, että toteutetaanko hanke vai ei.

Laitteiden ikääntymisestä koituu kuitenkin jossain vaiheessa uusintatarve ja koska varaosien saatavuus alkaa jo nyt olla haastavampaa, niin näkisin että lähitulevaisuudessa olisi pumput syytä uusia. Tällöin myös varaosien saatavuus paranisi tulevaisuudessa.

Uusintaprojektin seuraavassa vaiheessa tehty esisuunnitelma toimii pohjana, kun aletaan tarkemmin suunnittelemaan pumppujen uusintaa. Seuraavassa vaiheessa tullaan selvittämään konkreettisesti muutostyön vaatimia tehtäviä. Eri alojen toimijat ottavat kantaa oman osuutensa hoitamiseen, esimerkiksi miten pumppupetien valut suoritetaan sekä sähkötekniikka suunnittelee sähkönsyöttöjen uusimisen.

## Lähteet

Eurasto, T., Hyvärinen, J., Järvinen, M-L., Sandberg, J., Sjöblom, K-L 2004. Ydinvoimalaitostekniikan perusteita. Ydinturvallisuus. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Savolainen, A., Laitinen, T., Junnila, S. 2022. 712 – OL1/OL2 – Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmä – Lopullinen turvallisuusseloste, 106323/10. Viitattu 29.11.2023. Teollisuuden Voima Oyj.

STUK 2023a. Olkiluodon ydinvoimalaitos. Viitattu 12.12.2023. Saatavilla: <https://stuk.fi/olkiluodon-ydinvoimalaitos>

STUK 2023b. Ydinvoimalaitoksen toiminta. Viitattu 12.12.2023. Saatavilla: <https://stuk.fi/ydinvoimalaitoksen-toiminta>

Teollisuuden Voima Oyj 2013. OL1 ja OL2 –laitosyksiköt. Tekninen esite. Saatavilla: [OL1 ja OL2 -laitosyksiköt. Tekninen esite.pdf \(tvo.fi\)](#)

Teollisuuden Voima Oyj 2021. Teollisuuden Voima Oyj:n kuvapankki. Saatavilla: <https://www.tvo.fi/media/materiaalipankki.html>

Teollisuuden Voima Oyj 2023a. Yhtiö. Viitattu 1.12.2023. Saatavilla: <https://www.tvo.fi/yhtio.html>

Teollisuuden Voima Oyj 2023b. TVO-konserni. Viitattu 4.12.2023. Saatavilla: <https://www.tvo.fi/yhtio/hallintojajohtaminen/tvo-konserni.html>

Teollisuuden Voima Oyj 2023c. Rakenne ja tekniset tiedot. Viitattu 13.12.2023. Saatavilla: <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol1jaol2/rakennejateknisetiedot.html>

Teollisuuden Voima Oyj 2023d. Rakenne ja tekniset tiedot. Saatavilla: <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol3/rakennejateknisetiedot.html>

Teollisuuden Voima Oyj 2023e. Ydinreaktio. Viitattu 13.12.2023. Saatavilla: <https://www.tvo.fi/tuotanto/perustietoaydinvoimasta/ydinreaktio.html>