



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

VALTTERI HAKAMÄKI

**YDINVOIMALAITOKSEN
APUSYÖTTÖVESIJÄRJESTELMÄN
PUMPPUJEN ELINIÄN HALLINTA
JA UUSIMINEN**

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA

2020

Tekijä Hakamäki, Valteri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Kesäkuu 2020
	Sivumäärä 45	Julkaisun kieli Suomi
Ydinvoimalaitoksen apusyöttövesijärjestelmän pumppujen eliniän hallinta ja uusiminen		
Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma		
<p>TIIVISTELMÄ</p> <p>Tässä työssä luotiin elinkaarianalyysi ja uusimissuunnitelma Olkiluodon ydinvoimalaitosyksiköiden 1 & 2 apusyöttövesijärjestelmän pumppuille.</p> <p>Ydinvoimalan käytön lähtökohtana on aina turvallisuus, jonka eteen tehdään jatkuvaa selvitystyötä laitoksilla. Laitososien ja komponenttien ikääntymistä sekä niiden varaosien toimitusvarmuutta on tarkasteltava ja muutoksiin on varauduttava etukäteen. Tämä on ydinenergiain mukainen vaatimus.</p> <p>Ennen analyysiä perehdyttiin voimalaitokseen sekä itse apusyöttövesijärjestelmään ja sen mäntäpumppuihin. Analyysin luomiseksi, työssä selvitettiin apusyöttövesijärjestelmään asennettujen mäntäpumppujen varaosien kulutusta sekä valmistajan varaosapaketin toimitusvarmuutta 20 vuoden aikajänteelle. Varaosien kulutushistorian perusteella luotiin tarvittava varaosapaketti seuraavalle 20 vuodelle, josta hankintaosasto teki tarjouspyynnön valmistajalle. Asiaa tarkasteltiin myös taloudelliselta kannalta selvittämällä uusien pumppuyksiköiden hintoja sekä vertailemalla niitä nykyisten käyttökustannuksiin. Uusien pumppuyksiköiden hankinta tulisi todennäköisesti tarpeelliseksi, jos laitosien termistä tehoa kasvatettaisiin tulevaisuudessa. Uusien pumppuyksiköiden hinta-arvioita selvitettiin ottamalla yhteyttä eri pumppuvalmistajiin lähettämällä heille tietopyyntö. Tarkentavien keskustelujen jälkeen osalta valmistajista saatiin hinta-arvio soveltuvista ja vaatimukset täyttävistä pumppupaketeista.</p> <p>Tuloksia analysoitiin sekä kustannuksia vertailtiin nykyisten pumppujen käyttökustannusten sekä uusien pumppuyksiköiden hankintakustannusten välillä. Tulosten perusteella luotiin ehdotus järjestelmän pumppujen jatkotoimenpiteistä.</p>		
<p><u>Asiasanat</u> Ydinenergia, Pumput</p>		

Author Hakamäki, Valtteri	Type of Publication Bachelor's thesis	Date June 2020
	Number of pages 45	Language of publication: Finnish
Lifecycle Analysis and Renewal for Backup Cooling System Pumps in Nuclear Power Plant		
Degree Programme in Energy and Environmental Engineering		
<p>ABSTRACT</p> <p>The objective of this thesis was to create lifecycle analysis and renewal plan for backup cooling system plunger pumps at nuclear power plant units Olkiluoto 1 & Olkiluoto 2 in Finland.</p> <p>Safety comes always first when nuclear power is utilized. Safe operation of the power plants requires continuous research and improvement. Ageing of the power plant components and spare parts delivery reliability needs to be assessed regularly. Measures needs to be made in advance to prevent unsafe operation. This is a requirement from Finnish nuclear power law and regulations.</p> <p>Specific power plant units, the subsystem and its plunger pumps, were examined before creating lifecycle analysis. To create lifetime analysis for the subsystem pumps, their spare parts usage and manufacturer spare parts delivery reliability was investigated. Utilizing spare parts usage history, spare parts bundle to order was created for the lifespan of 20 years. Order was delivered to purchasing department, which made request for quotation of the parts.</p> <p>Research continued with economical point of view, where prices of new pump units was examined and compared to existing pump units operating costs. Pump units renewal would also be required if thermal power output is raised in the future.</p> <p>Price estimation for the new pumps was examined by requesting price estimation quotation from manufacturers. After negotiations a few manufacturers was able to provide price estimation for applicable pump units.</p> <p>Quotations were analyzed and investment costs of the new pump units was compared to existing units operating cost. As a result a proposal was made for pumps future operation.</p>		
<p><u>Key words</u> Nuclear power, Pumps</p>		

ALKUSANAT

Opinnäytetyöni aikana sain käsityksen siitä, miten tarkkaa ja suunnitelmallista ydinenergian käyttö Suomessa on. Tutustuin useisiin eri lakeihin, ohjeisiin ja säädöksiin joihin sen käyttö perustuu. Pumppuvalmistajille lähetetyn tietokyselyjen saattaminen valmistajien viralliseksi hinta-arvioksi oli työni suurimpia anteja, jossa opein teknistä neuvottelutaitoa ja kanssakäymistä.

Haluan kiittää työni ohjaajaa, TVO:n Petri Holmaa, erinomaisesta ja kärsivällisestä ohjauksesta työni aikana.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ.....	9
2.1 Yritysesittely	9
2.2 Ydinvoimalaitokset Olkiluoto 1&2	10
2.3 Olkiluoto 3.....	10
3 OL1- JA OL2- LAITOSTEN TOIMINTAPERIAATE.....	11
3.1 Kiehumusvesireaktori.....	11
3.2 Järjestelmät.....	12
3.3 Pääprosessi	12
4 YDINVOIMALAITOKSEN TURVALLISUUS	14
4.1 Ydinturvallisuus	14
4.2 Turvallisuusperiaatteet	15
4.3 Ydinvoimalaitoksen ikääntymisen hallinta	15
5 APUSYÖTTÖVESIJÄRJESTELMÄ 327	16
5.1 Järjestelmän esittely	16
5.2 Järjestelmän suunnitteluperusteet.....	17
5.3 Järjestelmän toiminta.....	18
6 MÄNTÄPUMPUT.....	20
6.1 Mäntäpumpuista yleisesti	20
6.2 NPSH-arvo ja kavitointi	21
6.3 Järjestelmän 327 mäntäpumput	22
7 JÄRJESTELMÄN 327 MÄNTÄPUMPPUJEN ELINIÄN HALLINTA.....	24
7.1 Järjestelmän 327 mäntäpumppujen käyttö	24
7.2 Pumppujen huolto.....	25
7.2.1 Poksihuolto	25
7.2.2 Venttiili- ja poksihuolto	26
7.2.3 Pumpun perushuolto	27
7.2.4 Muut huollot.....	29
7.3 Varaosien kulutus	29
7.3.1 Varmuusvarasto	29
8 PUMPUN VARAOSAT	30
8.1 Varaosien tilaamisen suunnitteluperusteet	30
8.2 Varaosien tyyppi ja käyttö.....	30
8.3 Varaosien tilaaminen	30

8.4 Varaosien kustannusarvio.....	31
9 PUMPPUJEN UUSIMINEN	33
9.1 Suunnitteluperusteet	33
9.2 Turvaluokittelu	33
9.2.1 Vaatimukset	33
9.2.2 Maanjäristysluokittelu.....	35
9.2.3 Suoritusarvot	36
9.3 Toimittajien valinta	36
9.4 Tietopyynnön lähettäminen	36
9.5 Tietopyynnön tulokset	37
9.5.1 Valmistaja A	37
9.5.2 Valmistaja B.....	39
9.5.3 Valmistaja C.....	40
9.6 Tietopyyntöjen vertailu	42
9.7 Pumppujen uusimisen muut kustannukset	44
10 YHTEENVETO	45

LÄHTEET

LIITTEET

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Teollisuuden Voima Oyj eli lyhennettynä TVO. TVO on ydinvoimalla sähköä tuottava suomalainen yhtiö, jonka toiminta on luvanvaraista ja Säteilyturvakeskus STUKin valvomaa.

Teollisuuden Voiman ydinvoimalaitoksien kaiken toiminnan lähtökohtana on turvallisuus. Turvallisuuteen ja sähköntuotantoon liittyviä riskejä pienennetään pitämällä laitosyksiköt hyvässä kunnossa. Eliniän hallinta ja ikääntymisen tunnistaminen ydinvoimalaitoksella on tärkeää, koska sillä osaltaan varmistetaan laitosten korkea ja turvallinen käytettävyys suunnitellun eliniän ajan. Tämän työn tavoitteena oli luoda analyysi ydinvoimalayksiköiden Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 apusyöttövesijärjestelmän pumppujen eliniästä ja ikääntymisestä, selvittämällä pumppujen varaosien kulutusta sekä toimitusvarmuutta. Vaihtoehtona pohditaan myös pumppuyksiköiden uusimista, jossa asiaa tarkasteltiin myös taloudellisesta näkökulmasta. Kaiken perustana on kuitenkin turvallisuus, jotta käyttö olisi luotettavaa laitoksien käyttöluvan loppuun asti. Laitoksien tämänhetkinen käyttöluva on vuoteen 2038 asti, jota varten TVO tekee jatkuvaa selvitystyötä ja varmennusta jotta ydinvoimalaitoksien turvallinen käyttö jatkuisi nyt ja tulevaisuudessa.

Opinnäytetyössä esitellään ensin Teollisuuden Voima Oyj yhtiönä, sekä sen voimalaitokset ja niiden toimintaperiaate. Tämän jälkeen perehdytään tarkemmin itse järjestelmään ja sen pumppuihin. Pumppujen elinikää sekä käyttökustannuksia pohditaan varaosatilanteen kautta, johon vertailtavaksi selvitettiin uusien pumppuyksiköiden hintoja. Lopulta esitetään analyysi järjestelmän pumppujen käytön jatkamisesta, sekä mahdollisesta uusimisesta.

2 TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ

2.1 Yritysesittely

Teollisuuden Voima Oyj on vuonna 1969 perustettu, Eurajoella toimiva suomalaisten teollisuus- ja energiayhtiöiden omistama listaamaton osakeyhtiö. TVO:n toimiala on voimalaitosten ja voimansiirtolaitteiden rakentaminen ja hankkiminen, sekä sähkön tuottaminen, välittäminen ja siirtäminen ensi sijassa yhtiön osakkaille yhtiöjärjestyksessä määrättävin ehdoin. Yhtiö työllistää yli 800 henkilöä.

TVO:n suurin omistaja on Pohjolan Voima Oyj, joka omistaa yhtiöstä 58,5 prosenttia. Muita yhtiön omistajia ovat EPV energia Oy, Fortum Power and Heat Oy, Loiste Holding Oy, Kemira Oyj sekä Oy Mankala Ab.

Teollisuuden Voima- konserniin kuuluvat myös tytäryhtiöt TVO Nuclear Services Oy ja Posiva Oy.

TVO toimii omakustannusperiaatteella (Mankala-periaate), jolloin se tuottaa sähköä omistajilleen vastineeksi sähköntuotantokustannusten kompensatioista. Kustannukset jakaantuvat toimitettujen energiamäärien sekä omistussuhteiden mukaisesti. Yhtiö ei siis lähtökohtaisesti tuota voittoa tai jaa osinkoa.

Yhtiöllä on kaksi käynnissä olevaa ydinvoimalaa Eurajoella Olkiluodon saarella; Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2. Rakenteilla ollut Olkiluoto 3- laitos tullaan käynnistämään vuoden 2020 aikana. TVO:n tuottamaa sähköä jaetaan suomalaiselle teollisuudelle ja 132 kunnan omistamille energiayhtiöille. TVO tuottaa noin 17 prosenttia suomalaisten käyttämästä sähköstä. (TVO:n www-sivut 2020).

2.2 Ydinvoimalaitokset Olkiluoto 1&2

Ydinvoimalaitosyksiköt Olkiluoto 1 (OL1) ja Olkiluoto 2 (OL2) toimitti ruotsalainen Asea Atom AB. OL1 toimitettiin avaimet käteen- periaatteella, ja se aloitti kaupallisen toimintansa vuonna 1979. OL2 rakennustöistä vastasi TVO ja laitos aloitti kaupallisen toimintansa vuonna 1982.

Laitokset ovat identtisiä kiehutusvesireaktoreita (BWR) joiden nettosähköteho on noin 890MW. Laitoksista pidetään säännöllisesti huolta polttoaineenvaihtoseisakilla ja huoltoseisakilla. Polttoaineenvaihtoseisakit ja huoltoseisakit toteutetaan keväisin, joissa laitokset ovat vuorotellen vuosittain. Polttoaineenvaihtoseisakki kestää noin viikon ja huoltoseisakki noin 2-3 viikkoa mihin sisältyy myös polttoaineen vaihto. Seisakkien aikana vaihdetaan uraanipolttoainetta, tehdään tarpeellisia vikakorjauksia ja huoltoja sekä toteutetaan laitoksen muutostöitä

Noin viiden vuoden välein suoritetaan myös mittavampia modernisointi ja kunnostushankkeita. Laitoksien turvallisuutta, tehoja, tuottavuutta ja toimintavarmuutta onkin kehitetty vuosien saatossa huomattavasti; nettotehoa on kasvatettu vuoden 1978 aikaisesta 660MW nykyiseen 890MW per laitos. Molempien laitosten käyttöaste on ollut vuosittain noin 90%. (TVO OL1 & OL2 Ydinvoimalaitosyksiköt Tekninen Esite 9-10; TVO:n WWW-sivut 2020).

2.3 Olkiluoto 3

Olkiluoto 3 (OL3) on uusi ydinvoimalaitosyksikkö, jonka on tarkoitus aloittaa säännöllinen sähköntuotanto 2021. Laitos on EPR-tyyppinen (European Pressurised Reactor) painevesilaitos jonka nettosähköteho on 1600MW. Se edustaa modernia teknologiaa ja edistyksellisiä turvaominaisuuksia. Olkiluoto 3 laitostoimittajia ovat AREVA GmbH, Areva NP SAS ja Siemens AG, joilta laitos on tilattu kiinteähintaisena avaimet käteen- periaatteella. (TVO:n www-sivut 2020).

3 OL1- JA OL2- LAITOSTEN TOIMINTAPERIAATE

3.1 Kiehutusvesireaktori

BWR(Boiling Water Reactor) on kiehutusvesireaktori, jossa vettä kierrätetään reaktorisydämessä sijaitsevien metallisten polttoainenippujen lävitse. Polttoaineniput sisältävät esimerkiksi uraanioksidia UO_2 , joka on väkevöity uraanin ^{235}U -isotoopin suhteen 2-5 prosenttiin. Kun polttoaineen uraaniatomeita pommitetaan neutroneilla, tapahtuu atomiytimien halkeamis- eli fissioreaktio joka muuttuu suurimmaksi osaksi polttoaineessa lämpöenergiaksi. Fissioreaktion ylläpidon mahdollistaa hidasteena käytetty vesi, joka toimii samalla jäähdytysvetenä. Reaktorin polttoainenippujen läpi pumpattu vesi kuumenee ja höyrystyy reaktorissa, jatkaen matkaa turbiinille. Turbiinilla höyryn sisältämä lämpöenergia muutetaan mekaaniseksi energiaksi, joka pyörittää turbiinin akselia ja edelleen generaattoria tuottaen sähköä.

Kiehutusvesireaktori on painevesireaktorin jälkeen maailman toiseksi yleisin reaktortyyppi. Painevesireaktorilaitoksessa on kaksi jäähdytyspiiriä; primääri- ja sekundääripiiri. Reaktorin läpi virtaavan primääripiirin jäähdyte on niin suuressa paineessa että se ei pääse höyrystymään. Sekundääripiiri siirtää lämpöä primääripiiristä höyrystimien avulla, tuottaen näin höyryä. Kiehutusvesireaktorissa ei ole sekundääripiiriä, jolloin höyry tuotetaan jäähdytteestä suoraan reaktorissa. Kiehutusvesireaktorin paine on yleensä noin 70bar joka on samaa luokkaa painevesireaktorin sekundääripiirin kanssa.

Reaktorin tehoa hallitaan säätämällä sen reaktiivisuutta. Reaktiivisuuden säätö tapahtuu esimerkiksi booria sisältävillä säätösauvoilla, jotka työntyvät reaktorisydämeen reaktorin paineastian pohjasta. Säätösauvojen boori kaappaa neutroneita joka vähentää reaktiivisuutta. Säätösauvat osallistuvat myös häiriö- tai onnettomuustilanteessa tarvittavaan pikasulkuun, jossa ne työnnetään nopeasti reaktorisydämeen hydraulisesti. Toinen säätötapa on reaktorin paineastiassa olevien pääkiertopumppujen kierrosnopeuden säätö, joka muuttaa veden virtausta polttoainenippujen läpi. Kun syöttövirtausta pienennetään, höyryn muodostuminen kasvaa ja näin ollen hidasteena toimivan

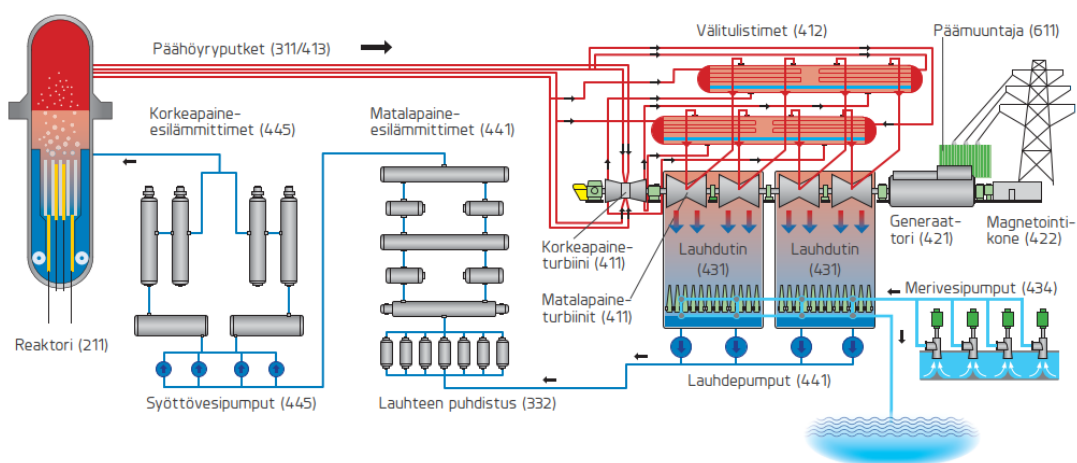
veden osuus vähenee, joka pienentää reaktiivisuutta. Pääkiertovirtausta kasvattamalla veden osuus lisääntyy ja reaktiivisuus kasvaa. (STUK 2004, 26-51.)

3.2 Järjestelmät

Laitoksien turvallisuustoimintojen hallitsemiseksi laitos on jaettava rakenteellisiin ja toiminnallisiin kokonaisuuksiin, joista muodostuu järjestelmiä. Järjestelmiin on sisällytettävä kaikki turvallisuuden toimintaan ja turvallisuuteen vaikuttavat rakenteet ja laitteet. Niille annetaan myös turvallisuusmerkityksen perusteella turvallisuusluokka. Luokat on jaettu 1,2,3 ja EYT (ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu) joista luokka 1 on korkein. (YVL B.2 16.6.2019 3/3.1)

3.3 Pääprosessi

Kuvassa 1 on esitettyä OL1- ja OL2- laitoksen pääprosessin virtauskaavio. Esimerkiksi kuvassa näkyvät lauhdepumput kuuluvat järjestelmään ”441 Lauhdejärjestelmä”. Merkinnän ansiosta laitoksen eri järjestelmät pystytään tunnistamaan myös laitoksella.



Kuva 1. OL1- ja OL2- laitosisyksiköiden virtauskaavio (OL1 & OL2 Ydinvoimalaitosisyksiköt tekninen esite 2013,9)

Syöttövesipumput pumppaavat syöttöveden korkeapaine-esilämmittimien kautta reaktoriin yli 70bar paineessa. Reaktorissa vesi höyrystyy, josta 286 °C tuorehöyry jatkaa matkaansa päähöyryputkia pitkin kohti korkeapaineturbiinia ja välitulistimia. Luovutettuaan osan energiastaan korkeapaineturbiinissa, höyry jatkaa välitulistimille jossa sen lämpötilaa nostetaan. Tulistettu höyry menee neljälle matalapaineturbiinille. Höyry pyörittää kierrosnopeudella 3000 kierrosta/minuutissa turbiineita, jotka on kytketty samalle akselille generaattorin kanssa. Generaattori tuottaa nettosähköä 890MW ja päämuuntajan kautta sähkö jaetaan valtakunnan kantaverkkoon. Matalapaineturbiinien jälkeen höyry johdetaan merivesijäähdytteiseen lauhduttimeen, jonka läpi virtaa 38m³/s merivettä. Lauhtunut höyry pumpataan lauhdepumpuilla lauhteenpuhdistuksen ja matalapaine-esilämmittimien kautta uudestaan syöttövesipumpuille. Lauhduttimessa noin 10 °C lämmennyt merivesi johdetaan poistokanavaa pitkin takaisin mereen. (TVO OL1 & OL2 Ydinvoimalaitosyksiköt Tekninen Esite, 9.)

4 YDINVOIMALAITOKSEN TURVALLISUUS

4.1 Ydinturvallisuus

Turvallisuus on etusijalla ydinlaitoksen rakentamisessa ja käytössä (Ydinenergi laki 1987/990, 7 e § 1 mom.). Suomessa ydinturvallisuutta valvoo Säteilyturvakeskus STUK. Valvonnan kohteina ovat ydinvoimalaitokset, ydinmateriaalit ja ydinjätteet ja se perustuu säädettyyn ydinenergi lakiin (990/87). STUK asettaa ydinenergian käyttöä koskevat yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset sekä määräykset jonka perusteella on laadittu esimerkiksi ydinturvallisuusohjeet (YVL-ohjeet). Riippumattomalla valvonnalla varmistetaan että ydinenergiaa tuottavat yhtiöt toimivat vaatimusten mukaisesti.

Ydinenergi lain mukaan ydinenergian luvan haltijan eli tässä tapauksessa TVO:n on huolehdittava turvallisuudesta. STUK varmistaa kattavalla tarkastustoiminnallaan ja säännöllisellä turvallisuuden arvioinnilla että luvan haltija kantaa vastuunsa.

STUK on mukana voimalaitoksen koko elinkaaren ajan aina laitoksen hankevaiheesta sen rakentamiseen, käyttöön ja käytöstä poistoon asti. (STUK www-sivut 2020.)

Viranomaisen määräyksien ja vaatimusten perusteella on laadittu laitoskohtainen asiakirjakokonaisuus TTKE (Turvallisuustekniset käyttöehdot). Se kertoo olosuhteet joissa OL1- ja OL2-ydinvoimalaitosyksiköiden käyttö on sallittu, ottaen huomioon ympäristön turvallisuusnäkökohdat. TTKE sisältää muun muassa suurimmat sallitut raja-arvot, komponenttien ja järjestelmien käyttökuntoisuutta koskevat ehdot, kokeiden ja tarkastusten tyypit ja suorittamisen sekä hallinnollisia käyttöehtoja. (TTKE 2017 Luku 1, 2.)

4.2 Turvallisuusperiaatteet

Ydinvoimalaitoksen suunnittelussa toteutetaan syvyysuuntaisen puolustusperiaatteen toimintaa. Laitoksessa on oltava järjestelmät onnettomuuksien ehkäisemiseksi ja niiden lieventämiseksi. Järjestelmissä sovelletaan moninkertaisuus-, erilaisuus- ja erotteluperiaatteita, joilla varmistetaan turvallisuustoiminnon toteutuminen myös vikaantumistilanteissa. (YVL B.1 15.6.2019 4.3/418.)

Esimerkkinä: yhtä suoritusvaatimukset täyttävää pumpppua onkin asennettu neljä kappaletta, ne sijaitsevat fyysisesti eri tiloissa sekä niiden sähkönsyöttö on varmistettu eri järjestelmillä.

4.3 Ydinvoimalaitoksen ikääntymisen hallinta

Ikääntymisen hallinnasta ydinvoimalaitoksella on säädetty ohje YVL A.8. Ohjeen tarkoituksena on varautua käytön aikana tapahtuviin rasituksiin sekä muutoksiin laitoksen järjestelmissä, laitteissa ja rakenteissa. Ohjetta noudatetaan jo voimalaitoksen suunnitteluvaiheessa sekä käytön aikana valvomalla laitoksen käyttökuntoisuutta. (YVL A.8 15.2.2019 1/101.)

”Ydinlaitoksen fyysistä ikääntymistä on hallittava laitososien ikääntymistä hidastavilla tai ikääntymisen valvontaa tehostavilla suunnitteluratkaisuilla, valvomalla ja ylläpitämällä laitososien käyttökuntoisuutta sekä välttämällä tarpeettomia rasituksia aiheuttavia käyttötapoja ja olosuhteita. Ydinlaitoksen teknologista ikääntymistä on hallittava arvioimalla säännöllisesti laitososien vaatimuksenmukaisuutta, varaosien ja teknisen tuen saatavuutta sekä vastaavuutta vallitsevaan kehitystasoon. (YVL A.8 3/306-307)”.

Komponenttien varaosat ovat myös ohjeen alaisia. Varaosien riittävyttä ja käyttökuntoisuutta on arvioitava säännöllisesti. Laitospaikalla on oltava vaatimuksenmukaiset varaosat niille toiminnoille, joilla varmistetaan ydinlaitoksen pitäminen turvallisessa tilassa pitkäkestoisten häiriö- onnettomuustilanteiden aikana. Näihin varaosiin täytyy sisältyä myös ne osat, jotka voivat vikaantua pitkäaikaisessa käytössä.

Komponenttien varaosien ja teknisen tuen saatavuus on selvitettävä säännöllisesti, jotta puutteita varaosista tai katkoa teknisestä tuesta ei pääse syntymään. (YVL A.8 7.4.)

5 APUSYÖTTÖVESIJÄRJESTELMÄ 327

5.1 Järjestelmän esittely

Kuten aiemmin mainittiin, OL1- ja OL2- laitoksen järjestelmät on nimetty ja numeroitu. Apusyöttövesijärjestelmä on järjestelmätunnukseltaan 327. Järjestelmän tehtävänä on vastata veden saannista sammutetun reaktorin pinnan ylläpitämiseksi, kun normaali syöttövesijärjestelmä ei ole käytettävissä. Järjestelmän neljä mäntäpumppua pystyvät toimittamaan reaktoriin vettä paineesta riippumatta. Apusyöttövesijärjestelmä toimii myös korkeapaineisena sydämen hätäjähdytysjärjestelmänä. Sen turvallisuusluokka on 2. (OL1/OL2 327 järjestelmän koulutusmateriaali)

Järjestelmän tehtävät voidaan jakaa turvallisuus- ja käyttötehtäviin.

”Järjestelmän 327 turvallisuustehtävät ovat:

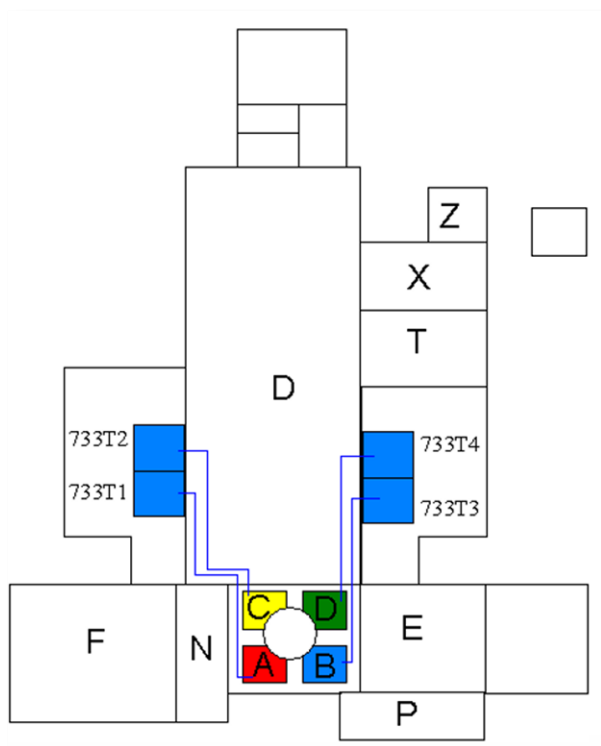
1. Ylläpitää reaktorisydämen vesimäärää onnettomuustilanteissa, jotka ovat seurausta paineastian vuodosta tai mistä tahansa ulkoisesta toimintahäiriöstä, siihen asti kunnes tämä tehtävä siirtyy järjestelmälle 323.
2. Jähdyttää reaktorisydäntä yhdessä järjestelmän 323 kanssa primääripiirin putkikatkosonnettomuuksien yhteydessä

Käyttötehtävät:

1. Järjestelmän käyttötehtävänä on ylläpitää vesimäärää reaktorisydämessä, kun syöttövesijärjestelmä ei ole toiminnassa, mutta käyttötilanne on muuten normaali.”(FSAR 327 2019,6.)

Järjestelmän mäntäpumput ja paineputket ulommille eristysventtiileille saakka on sijoitettu neljään toisistaan täysin erillään olevaan tiiveysvaatimukset täyttävään tilaan eli ns. H-tiloihin. Ne on kytketty laitossyksikön neljään, toisistaan riippumattomaan ja fyysisesti erotettuun sisäiseen sähköverkkoon A, B, C ja D, joita kutsutaan myös subeiksi.

Olellainen osa järjestelmää on siihen liittyvä järjestelmä 733 Täyssuolanpoistetun veden jakelujärjestelmä ja sen säiliöt T1-T4, johon jokaisen mäntäpumpun imupuoli on liitetty. Jokaisessa säiliössä on vähintään 225m³ täyssuolanpoistettua vettä joka on riittävästi turvallisen alasajon suorittamiseksi. Kuvasta 2 nähdään H-tilojen sijainti laitoksella reaktorirakennuksen reunoilla. Kuvasta näkyy myös niiden jaottelu subirakenteen mukaisesti. Järjestelmän 733 säiliöt T1-T4 sijaitsevat oikeassa ja vasemmassa apurakennuksessa



Kuva 2. Järjestelmän sijainti ja jaottelu (TVO koulutusmateriaali)

5.2 Järjestelmän suunnitteluperusteet

Kaikkien neljän piirin toimiessa, järjestelmän on suunniteltu antavan 90kg/s kokonaisvirtaus reaktoriin 70 bar nimellispaineessa. Suunnitellulla käytöllä ja täydellä 733 säiliöiden vesimäärällä, järjestelmän on pystyttävä hoitamaan normaali reaktorin alasajo kylmään tilaan nopeudella 40 °C/h, kun ensisijaisesti käytettävä syöttövesijärjestelmä ei ole käytettävissä. Reaktorin paineastian paineen laskiessa noin 12bar tasolle, jäähdytystehtävät siirtyvät eteenpäin järjestelmälle 321 Sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmä.

Reaktorin hätäjähdytykselle esitetyt vaatimukset on määritelty asiakirjassa U.S. Federal Register 10CFR 50.46: ”Acceptance Criteria for Emergency Core Cooling System for Light-Water-Cooled Nuclear Power Reactors”.

Edellä mainitussa asiakirjassa vaaditaan, että hätäjähdytysjärjestelmän on kyettävä hoitamaan sille asetetut tehtävät vaikka kaksi piiriä neljästä olisi käytössä. Kyseinen skenaario voisi toteutua esimerkiksi jos yksi pumpuista olisi huollossa ja yhdelle pumpuista tapahtuu onnettomuuden seurauksena putkirikko. (FSAR 327 2019,17.)

Ääritapauksissa, jossa vain yksi neljästä piiristä olisi käytettävissä, on analyysin osoitettu että polttoaineen suoja-kuoren eheys on turvattu myös tässä tilanteessa (FSAR 327 2019,15).

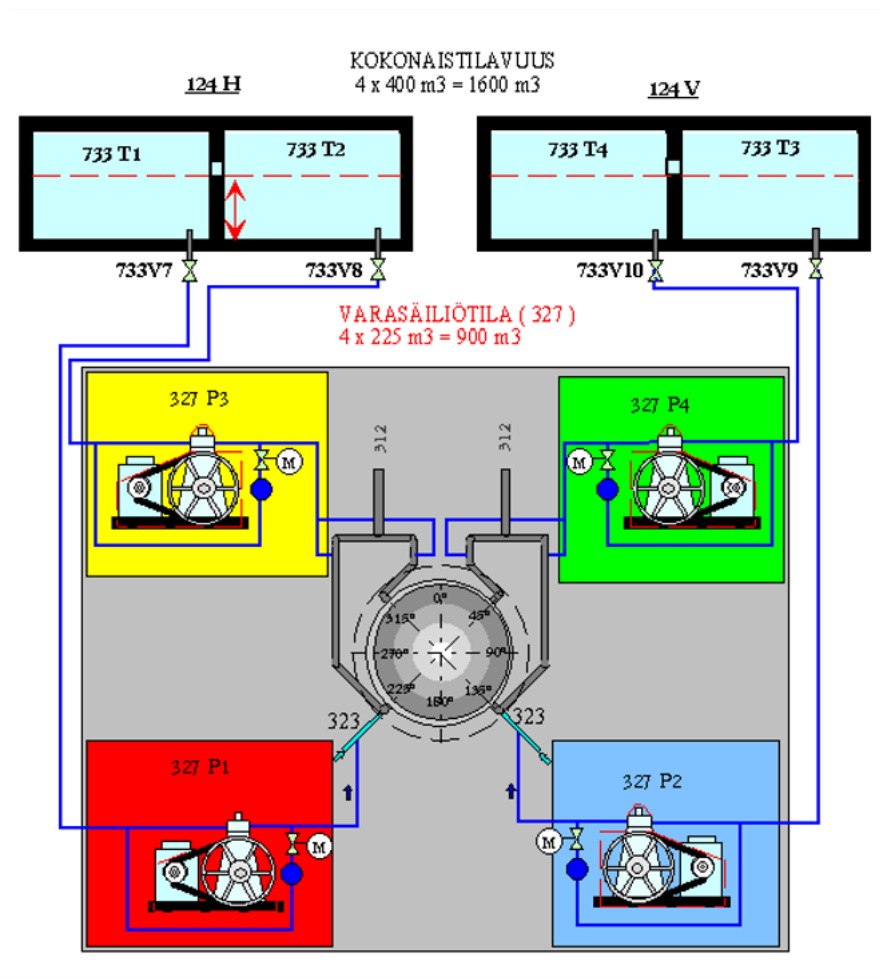
Pumpun käynnistysignaalin jälkeen täysi virtaus tulee saavuttaa 40 sekunnissa. Lämpötila asettaa vaatimuksia pumppujen H-tiloille, sekä myös pumpattavalle vedelle. Lämpötila H-tiloissa voi nousta yli 60 °C lämpötilaan kaikkien pumppujen käydessä, joka pumppujen ja moottoreiden on kestävä. Pumpattavan veden lämpötila ei saa ylittää suunnitteluarvoa 50 °C. Järjestelmässä tätä ehkäistään takaisinkierätyksellä 733 säiliöihin sekä merivesijähdytteisillä lämmönvaihtimilla. (FSAR 327 2019,17.)

5.3 Järjestelmän toiminta

Laitoksen normaalikäytön aikana järjestelmä on valmiustilassa, josta se käynnistyy automaattisesti tai tarvittaessa manuaalisesti. Järjestelmän vesi tulee 733 tankeista T1-T4 mäntäpumpuille 327 P1-P4. Jokainen pumppu pumppaa omaa putkiyhdistettään pitkin veden reaktorin suojarakennuksen sisälle, jossa putket on yhdistetty eri järjestelmien putkiin. Kaksi piireistä 327 P3(C-sub) ja 327 P4(D-sub) pumppaavat vettä reaktorin paineastian rengastilaan syöttöveden jakajien kautta. Vesi syötetään neljään syöttöveden jakajaan siten, että kumpikin järjestelmän 327 piiri on jaettu suojarakennuksen sisällä kahteen haaraan ja kumpikin näistä haaroista on kytketty omaan syöttövesilinjaansa 312. Nämä piirit syöttävät reaktoriin tarvittavan veden, jos ensisijaisesti käytettävä syöttövesijärjestelmä ei ole käytettävissä.

Piirit 327 P1(A-sub) ja 327 P2(B-sub) syöttävät vettä reaktoriin 323 Reaktorisydämen ruiskutusjärjestelmän kautta. (FSAR 327 2019,7.)

Kuvasta 3 voidaan havainnoida edellä esitetty järjestelmän toiminta.



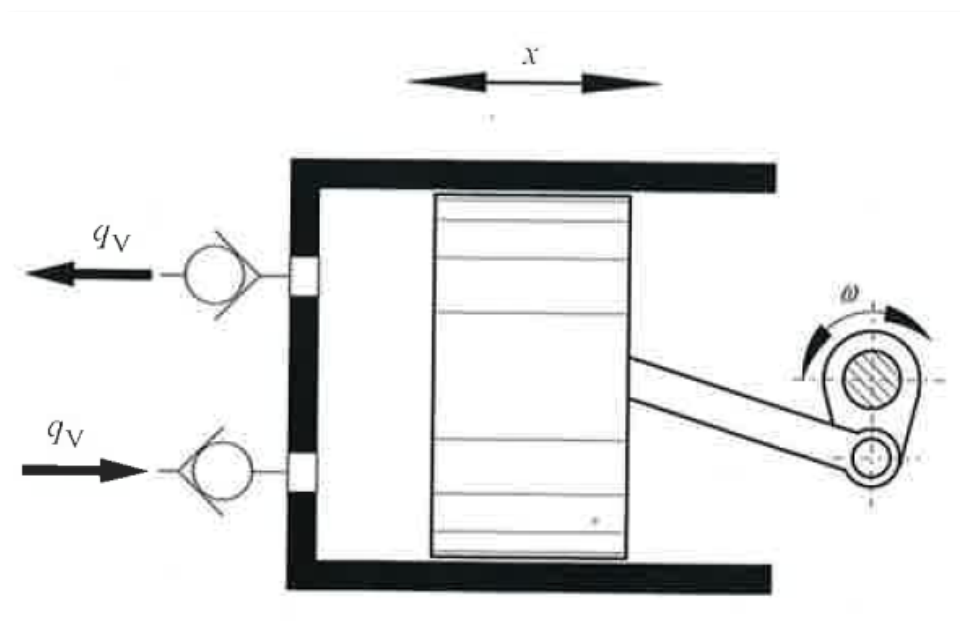
Kuva 3. Periaatekuva järjestelmästä (TVO Koulutusmateriaali)

Pumput käynnistyvät jos laitoksen omasähkönsyötössä on häiriöitä, tai vaadittavat eristys- tai pikasulkuehdot laukeavat. Käynnistyksessä vesi kiertää ensin pumpun kierätyslinjaa painepuolelta takaisin imupuolelle, kunnes täysi kierrosnopeus pumpulle on saavutettu, jonka jälkeen se aloittaa pumppauksen reaktoriin. Tämän täytyy tapahtua vähintään 40 sekunnissa. Tilanteen salliessa pumput sammutetaan, tai niiden syöttövirtausta reaktoriin säädellään. Tällöin pumput kierrättävät syöttövettä erillisen kierätyslinjan kautta takaisin 733 tankkeihin, ja taas tarpeen vaatiessa reaktoriin. Automaatiikka säätelee pääasiassa pumpun syöttöveden virtauksen suuntaa. (FSAR 327 2019, 11-15.)

6 MÄNTÄPUMPUT

6.1 Mäntäpumpuista yleisesti

Mäntäpumput toimivat syrjäytysperiaatteella, jossa nestettä siirretään männän liikellä imupuolelta painepuolelle. Mäntäpumppuun on välttämätöntä asentaa erillinen tilavuusvirran ohjausjärjestelmä, jos sen tuottamaa painetta ja virtausta halutaan hallita. Tämä voidaan toteuttaa venttiilein paineohjauksena tai pakko-ohjauksena jakokaroin. Kuvasta 4 nähdään mäntäpumpun toimintaperiaate.



Kuva 4. Mäntäpumpun toimintaperiaate (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 139).

Mäntä on liitetty kiertokangella kampiakseliin joka pyörittää ulkoisen voiman kuten sähkömoottorin avulla kampiakselia. Pyörivä liike muuttuu sylinteripesässä olevassa männässä edestakaiseksi liikkeeksi. Liikkuessaan oikealle mäntä aiheuttaa paineen laskua sylinteripesässä. Jos järjestelmään on asennettu esimerkiksi paineventtiilit, aukeaa imupuolen venttiili sylinterin sisäpuolisen paineen alittaessa venttiilin avautumis-paineen. Näin ollen nestettä, esimerkiksi vettä, virtaa sisään sylinteriin. Männän liikuttua ääriasentoonsa oikealle, alkaa se liikkumaan vasemmalle, ja siten paine alkaa nousta sylinterissä tilavuuden pienentyessä. Venttiilien rakenne sallii virtauksen vain yhteen suuntaan, joten imupuolen venttiili sulkeutuu. Männän liikkuessa edelleen vasemmalle paine kasvaa, ja kun se saavuttaa määrätyn paineen, painepuolen venttiili

avautuu. Venttiilien liike on siis toisiinsa nähden vastakkaista. Vesi virtaa venttiilistä ulos painepuolelle ja männän saavuttaessa toisen ääriasentonsa alkaa työkierto alusta. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 138-139.)

Mäntäpumppuja on erilaisia ja niitä voidaan luokitella mäntien sijoittelun perusteella rivi-, radiaali- ja aksiaalimäntäpumppuihin. Kaikille niille on kuitenkin yhteistä pumpun tilavuusvirran vaihtelu: Imu- ja painejakson vaihteluista seuraa sykkivä tilavuusvirta, joka taas johtaa järjestelmän paineen sykkimiseen. Vaihtelua voidaan tasata lisäämällä syrjäytyselementtien eli mäntien määrää siten, että ne ovat eri vaiheessa työkiertoa. Yleisimmät mäntäluvut ovat 3,5,7,9 ja 11 johtuen siitä että parittomilla mäntäluvuilla saavutetaan tasaisempi tilavuusvirta. Yksisylinteristä rakennetta käytetään lähinnä käsikäyttöisissä pumpuissa. (Kauranne ym. 2013, 164.)

6.2 NPSH-arvo ja kavitointi

Lyhenne NPSH tulee sanoista Net Positive Suction Head. Sillä kuvataan pumpun sisäistä painehäviötä liitospisteestä siihen pisteeseen, jossa paine on alimmillaan. Arvo on määritettävä pumpun kavitaatioanalyysiä varten. Kavitoinnissa pumpun imupaineen alittaessa sille tulevan nesteen käyttölämpötilassa olevan höyrystymispaineen, alkaa neste höyrystyä ja muodostamaan höyrykuplia. Nesteen siirtyessä pumpussa eteenpäin alueelle jossa paine ylittää höyrinpaineen, kuplat iskeytyvät kasaan aiheuttaen paineiskuja. (Pulli 2016, 37) Kavitointi rasittaa pumppua, sen materiaaleja sekä putkistoja (Pulli 2016, 31).

$NPSH_R$ -arvon määrittelee pumpun valmistaja. Siinä valmistaja ilmoittaa kokeellisesti saadun $NPSH_R$ -arvon joka pumpulle pitää vähintään varata. Arvo ilmoitetaan metreinä(m) tai metreinä vesipatsasta(mvp).

$NPSH_A$ -arvo on laitoksella pumppuun liitetyn järjestelmän vallitseva arvo. Se kertoo, paljonko pumpulla on käytettävissä imukorkeutta.

Kavitaation estämiseksi $NPSH_A$ -arvon tulee olla suurempi kuin $NPSH_R$ -arvon. Käytännössä niiden erotukseen on hyvä jättää varmuusmarginaalia 1-2 mvp. (Pulli 2016, 37-38.)

6.3 Järjestelmän 327 mäntäpumput

Apusyöttövesijärjestelmän mäntäpumppuja on OL1- ja OL2- laitoksilla neljä per laitos, eli yhteensä kahdeksan. Pumppujen suunnitteluarvot pohjautuivat enimmäkseen reaktorin paineastian paineen ylittämiseen sekä tarvittavaan virtaamaan riittävän jäähdystehon saavuttamiseksi. Korkean paineen ja vakaan tuoton tarve johti mäntäpumpun valintaan.

Suunnitelmien tarkentuessa pumpun valmistaja, suunnitteluarvot sekä suoritusarvot käyttöolosuhteissa määriteltiin taulukossa 1 esitetyllä tavalla.

Taulukko 1. Järjestelmän 327 mäntäpumppuyksikön tiedot (TVO arkisto, Asea Atom 327 pumppuseoste).

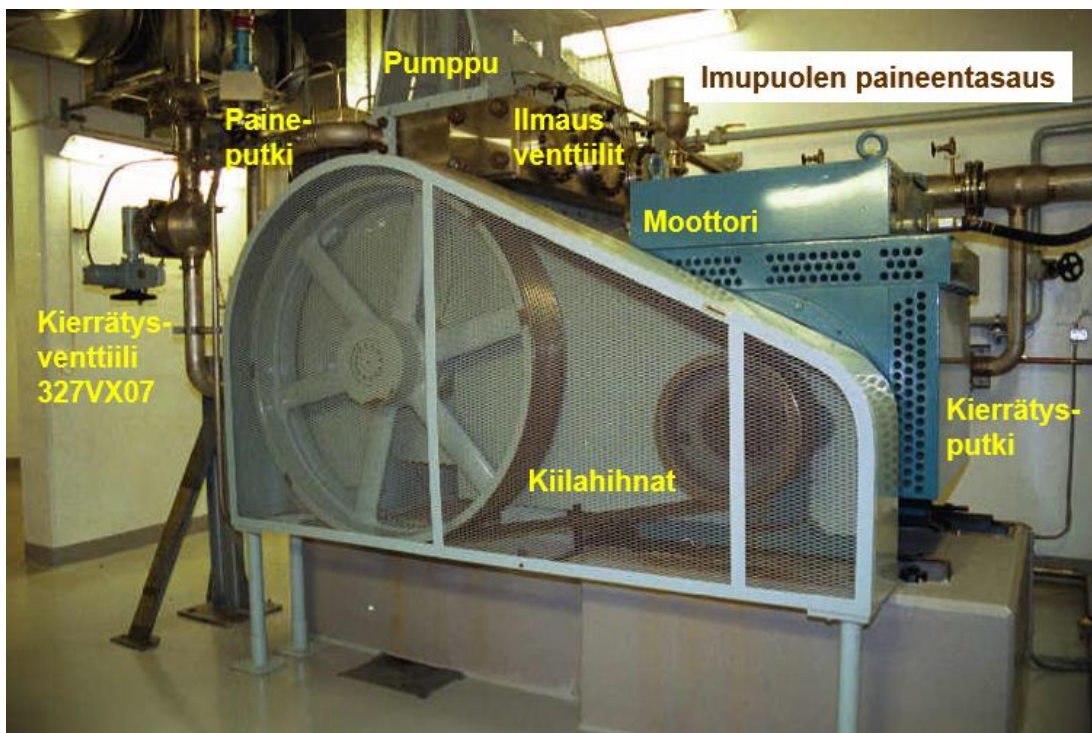
Valmistaja	Schäfer & Urbach GmbH
Pumpattavan veden lämpötila	20°C
Nimellistuotto	81 m ³ /h = 22,5 kg/s
Nostokorkeus nimellistuotolla	866m
Saatavissa oleva NPSH _A	12,4m
Vaadittava NPSH _R	7,6m
Suunnittelupaine	100bar
Koestuspaine	130bar
Imupaine	min. 1,0bar, max. 1,8bar
Pyörimisnopeus	240 rpm
Teho toimintapisteessä	240kW
Maksimiteho	310kW
Hyötysuhde	90 %
Tiivistysvesi	3 l/min
Vetotapa	Hihnaveto
Vaihteiston hyötysuhde	92 %
Liitos	Imupuoli DN200, Painepuoli DN100
Sähkönsyöttö	660V

Pumput ovat tyypiltään 3-mäntäisiä rivimäntäpumppuja, joissa öljy ja vesitila on erotettu toisistaan ohjaustangoin. Sähkömoottori pyörittää kiilahihnojen kautta kiertokankea, joka liikuttaa alaosan öljytilassa olevia mäntiä. Nämä männät on liitetty ohjaustangoin yläosassa oleviin mäntiin, jotka ovat varsinaiset vettä pumppaavat männät.

Pumput on varustettu paineentasaussäiliöillä imu- ja painepuolella. (TVO arkisto, Asea Atom 327 pumppuseloste.)

Imupuolelle asennettu paineentasaussäiliö ehkäisee suurien virtauksen kiihtyvyydestä johtuvia painehäviöitä. Painepuolelle asennetut kaksi paineakua ehkäisee järjestelmän paineiskuja. (FSAR 327 2019, 7.)

Pumppu, moottori ja lisälaitteet esitettynä alla olevassa kuvassa 5.



Kuva 5. Varajähdytysjärjestelmän mäntäpumppu (TVO koulutusmateriaali)

7 JÄRJESTELMÄN 327 MÄNTÄPUMPPUJEN ELINIÄN HALLINTA

7.1 Järjestelmän 327 mäntäpumppujen käyttö

Normaalissa laitoksen käyttötilassa pumput ovat valmiustilassa. Järjestelmän ja pump-
pujen käyttökuntoisuus on kuitenkin välttämätöntä sen edustaessa turvallisuustoimin-
toa. Käyttökuntoisuuden varmistamiseksi ja osoittamiseksi järjestelmälle tehdään
koestuksia, joiden välit on määritelty laitoksien TTKE:ssa eli turvallisuusteknisissä
käyttöehdoissa. Taulukkoon 2. on merkattu koestusvälit, jolloin pumput käynniste-
tään. Itse järjestelmään liittyy myös muita koestuksia esimerkiksi venttiilien osalta.
Pumppujen P1 ja P2 3kk välein tehtävä koestus tapahtuu koestuspiirin kautta, koska
siihen kytkettyä reaktorisydämen ruiskutusjärjestelmää ei tulisi altistaa liian monille
lämpötilatransienteille.

Normaalilla määräjain tapahtuvalla koestuksella pumput käyvät siis 8 kertaa vuo-
dessa. Käyntiaika koestuksessa on noin puolituntia joten vuosittain käyntiaikaa tulee
noin 4 tuntia per pumppu. (327 FSAR 2019, 34-36.)

Taulukko 2. Järjestelmän 327 mäntäpumppujen koestusvälit

Kaikki pumput	1,5kk välein takaisinkierätyslinjan kautta
Pumput P1 ja P2	Koestuspiirin kautta 3kk välein. Paineettomaan reaktoriin 1v. välein
Pumput P3 ja P4	Täydessä paineessa olevaan reaktoriin 3kk välein. Paineetto- maan reaktoriin 1v. välein.

Kuitenkin vuosien 2014 ja 2020 välisenä aikana rakennetut takaisinkierätyslinjat ovat
lisänneet pumppujen käyntiaikoja huomattavasti. Takaisinkierätyslinjan asennuksen
jälkeen kaikilla järjestelmän pumpuilla on ajettu vähintään yksi 24 tunnin koeajo, ja
joillakin pumpuilla ajo on toteutettu jopa neljä kertaa. Tämän lisäksi on toteutettu muu-
tamia kahden tunnin koeajoja.

Nämä koeajot huomioon ottaen mäntäpumppujen käyntiaika viimeisen kuuden vuoden aikana on ollut keskimäärin vähintään kaksinkertainen normaalikäyttöön verrattuna.

7.2 Pumppujen huolto

Pumpuille on laadittu huolto-ohjelma, joiden perusteella niitä huolletaan. Huolto-ohjelmaan kuuluu myös päivittäin tapahtuvia tarkistuksia kuten öljypinnan ja männän voiteluveden tarkastus. Suurimmat pumppuun kohdistuvat määräajoin tapahtuvat huollot ovat eriteltynä huolto-ohjeen mukaan poksihuolto sekä venttiili- ja poksihuolto. Ne on luokiteltu tehtäväksi määräajoin 8 vuoden välein. Molemmat huollot kohdistuvat pumpun vesipuolelle, josta huollon yhteydessä tarkistetaan esimerkiksi pintoja ja muita kuluvia osia. Käytännössä huollot tehdään limittäin niin, että pumppu on huollossa vähintään 4 vuoden välein. Molemmissa mainituissa huolloissa tehdään vähintään määrätyt toimenpiteet, mutta mikäli tarkastuksissa huomataan jotain poikkeavaa, korjataan ne samalla. Esimerkiksi pumpun mäntien vaihtoja on suoritettu näiden huoltojen yhteydessä.

Pumppua pyörittävät kiilahihnat vaihdetaan 10 vuoden välein, mikä ei vaadi pumpun avaamista. (Olkidoc 327 P1-P4 kunnossapitokäsikirja, 2020.)

7.2.1 Poksihuolto

Poksihuollossa pumpun mäntää tiivistävä poksi tarkastetaan ja sen tiivisteet uusitaan. Samalla suoritetaan sisäpuolinen tarkastus. Tarkastuksen suorittavat TVO:n sekä STUKin edustaja. Taulukossa 3 on esitetty poksihuollossa vaihdettavat osat kappalemäärineen. Osanumero tulee valmistajan alkuperäisestä piirroksesta, johon osat on lisätty. Rivin nimike on TVO:n varastonimike osalle. (KUPI)

Taulukko 3. Poksihuollossa vaihdettavat varaosat mallityön mukaan

Poksihuolto				
Rivin nimike	Nimi	Osa	Kappalemäärä	
58*5098603	Saksisokka 8 x 75 DIN 94	04.04	6	kpl
58*5099700	Männän tiiviste (4kpl/srj)	29.10	3	srj

7.2.2 Venttiili- ja poksihuolto

Venttiili- ja poksihuollossa tehdään poksiensa osalta samat toimenpiteet kuin kappaleessa 7.2.1 on esitetty. Tässä huollossa avataan kuitenkin myös pumpun venttiilipesät, josta paine- sekä imuventtiilit vaihdetaan. Venttiilit vaihdetaan komplettina eli kokonaisuutena, jolloin vanha kompletti otetaan irti ja uusi vaihdetaan tilalle. Vanha kompletti huolletaan, tarkastetaan ja varastoidaan uudelleen käytettäväksi.

Avatut venttiilipesät tarkastetaan sisäpuolelta ja O-rengastiivisteet uusitaan. Venttiilipesien avaus vaatii paineakkujen irrotuksen, joten ne tarkastetaan ja huolletaan tarvittaessa. Kaikki irrotetut pultit tarkastetaan. Tarkastuksen suorittavat TVO:n sekä STUKin edustaja. Taulukossa 4 on esitetty poksihuollossa vaihdettavat osat kappalemääriin. (KUPI)

Taulukko 4. Venttiili- ja poksihuollossa vaihdettavat varaosat mallityön mukaan

Venttiili- ja poksihuolto				
Rivin nimike	Nimi	Osa	Kappalemäärä	
O-5099502	O-rengas 220,00 x 5,00		3	kpl
58*5098603	Saksisokka 8 x 75 DIN 94	04.04	6	kpl
58*5098702	Paineventtiili kompletti	06.00	3	kpl
58*5098801	Imuventtiili kompletti	07.00	3	kpl
58*5099700	Männän tiiviste (4kpl/sarja)	29.10	3	srj
58*5100904	O-rengas 130 x 6,5	29.13	3	kpl
O-5099601	O-rengas 260,00 x 5,00	07.10	3	kpl
O-5865126	O-rengas 9,00 x 2,00	90.22	3	kpl
O-6283428	O-rengas 162,00 x 5,00	06.08	6	kpl

7.2.3 Pumpun perushuolto

Pumpun perushuolto on suoritettu molemmilla laitoksilla yhdelle pumpulle. Vuonna 1994 suoritettiin perushuolto OL2- laitoksen P4 mäntäpumpulle ja vuonna 2012 OL1- laitoksen P3 mäntäpumpulle.

Perushuolloissa pumput purettiin perusteellisesti. Myös kampikoneisto avattiin, jota normaalihuolloissa ei tehdä. Pumpun runko ja osat tarkastettiin kokonaisvaltaisesti TVO:n ja STUKin toimesta. Silmämääräisen tarkastuksen tukena käytettiin tunkeumaneste- sekä magneettijauhetarkastuksia, jolla esimerkiksi mahdolliset säröt tai halkeamat on mahdollista todeta.(KUPI.) Perushuoltojen tarkoitus oli selvittää pumpun kunto ja kulumisen kehittyminen. Molempien pumppujen tarkastukset sekä sen jälkeinen koekäyttö hyväksyttiin, joten niiden kunto oli hyvä. Tarkastusten tulokset voidaan rinnastaa kaikkiin järjestelmän mäntäpumppuihin niiden käyntijaksojen ollessa samaa luokkaa. (Olkidoc 327 P1-P4 kunnossapitokäsikirja, 2020.) Seuraavan sivun taulukossa 5 on esitetty perushuoltoon käytetty varaosamäärä vuonna 2012.

Taulukko 5. Pumpun perushuollon varaosaluettelo

Perushuolto 1.327P3 v.2012 pumppuosat				
Rivin nimike	Nimi	Osa	Kappalemäärä	
08kSPC6700	Kiilahihna SPC 6700	50.05	10	kpl
14180-0193	Kiilahihnapyörä	50.04	-	kpl
58*5098603	Saksisokka 8 x 75 DIN 94	04.04	12	kpl
58*5098702	Paineventtiili kompletti	06.00	3	kpl
58*5098801	Imuventtiili kompletti	07.00	3	kpl
58*5099007	Voiteluöljypumppu	30.12	1	kpl
58*5099106	Akselitiiviste	02.18	1	kpl
58*5099700	Männän tiiviste (4kpl/sarja)	29.10	3	srj
58*5099809	Mäntä	29.01	3	kpl
58*5100102	Sylinterin voiteluvesirengas	29.04	3	kpl
58*5100201	Paininholkki (poksin)	29.05	3	kpl
58*5100300	Pohjaholkki (poksin)	29.06	3	kpl
58*5100508	Painerengas (poksin)	29.08	6	kpl
58*5100607	Tukirengas (poksin)	29.09	6	kpl
58*5100706	Kuusiomutteri	29.11	24	kpl
58*5100805	Vaarnaruuvi	29.12	24	kpl
58*5100904	O-rengas 130 x 6,5	29.13	3	kpl
586343024	Sokka, kiert.kang.pultin lukit	02.07	16	kpl
586343065	Tiiviste, työnt.tang.läpivient	04.07	6	kpl
595971908@	O-rengas	01.03	12	kpl
595971981@	O-rengas	02.10	1	kpl
595972021@	Lieriösokka	02.17	5	kpl
595972062@	Runko-/kiertokangen laakeri	02.19	6	kpl
595972104@	Kampiakselin aksiaalilaakeri	02.20	1	kpl
595972260@	Ristipään laakeri	03.12	3	kpl
595972302@	Ristipään tappi	03.15	3	kpl
595972344@	Holkki	03.16	6	kpl
595972666@	Kiilarengas	50.03	1	kpl
595972708@	Välirengas	29.07	1	kpl
596100382@	O-rengasnauha 15 mm	01.10	20	m
O-5099502	O-rengas 220,00 x 5,00	9	3	kpl
O-5099601	O-rengas 260,00 x 5,00	07.10	3	kpl
O-5865084	O-rengas 14,00 x 2,00	90.21	9	kpl
O-5865126	O-rengas 9,00 x 2,00	90.22	3	kpl
O-6283428	O-rengas 162,00 x 5,00	06.08	6	kpl

7.2.4 Muut huollot

Muita ylläpitäviä huoltoja pumppuihin on tehty aina tarvittaessa. Näitä ovat esimerkiksi poksitiivisten vuotojen korjaustyöt, sekä koestuksista tai muutostöistä aiheutuneet huollot.

7.3 Varaosien kulutus

Huoltoihin käytettyä varaosien lukumäärää on mahdollista laskea yhteen seuraamalla kunnossapidon historiatietoja pumppujen osalta. Historiatiedoista näkyy pumppujen huoltotapahtumat ja tapahtuman varaosaluettelo. Koostamalla yhteen molemman laitoksen P1-P4 varaosakulutus huoltotapahtumien perusteella, pystyttiin luomaan komponenttikohtainen kulutushistoria kaikkien pumppujen osalta noin 10 - 30 vuoden aikaväliltä. Kulutushistoria sisältää määräaikaishuollot, perushuollot sekä muut huollot.

Historia näyttää pumppuihin vaihdetut osat. Kaikki osat eivät kuitenkaan ole kulutustavaraa, koska esimerkiksi mäntiä ja venttiilikompleteja huolletaan uudelleen käytettäväksi.

7.3.1 Varmuusvarasto

Jokaiselle pumpun varaosaluettelon komponentille on määritelty varmuusvarasto. Vaatimus varmuusvaraston olemassaolosta tulee YVL A.8 kappaleesta 7.4. Laitospaikalla olevan varmuusvaraston tarkoitus on varmistaa ydinlaitoksen pitäminen turvalisessa tilassa pitkäkestoisten häiriö- ja onnettomuustilanteiden aikana. Mikäli varosan varastosaldo menee ostorajan alapuolelle, aiheutuu siitä keskusvarastoon tilaus-signaali jolloin varmuusvaraston määrä pysyy aina riittävänä.

8 PUMPUN VARAOSAT

8.1 Varaosien tilaamisen suunnitteluperusteet

Suunnittelun perusteena on pumppujen luotettava käyttö laitoksien käyttöluvan loppuun, eli vuoteen 2038 asti. Siihen on otettu huomioon kappaleessa 7 esitetyt huoltoon ja eliniänhallintaan liittyvät toimenpiteet. Näitä perusteita käytetään pumpun seuraavassa varaosien tarjouspyynnössä ja tilauksessa.

8.2 Varaosien tyyppi ja käyttö

Varaosat voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään: Normaalivaraosat, vaihtoyksiköt ja katastrofivaraosat. Määräaikaishuollossa ja muissa käyttöön liittyvissä huolloissa kuluu yleensä tiettyjä normaalivaraosia ja vaihtoyksiköitä esimerkiksi venttiilikompletteja. Katastrofivaraosat ovat vakuutusluontoisia varaosia joilla pyritään välttämään ongelmatilanteissa erittäin pitkiä seisakkeja, sillä niiden toimitusaika on yleensä pitkä.

8.3 Varaosien tilaaminen

Lähtökohdat varaosien tilaamiselle:

- Normaalivaraosia ja vaihtoyksiköitä tilataan huolto-ohjelman ja kulutushistorian perusteella
- Katastrofivaraosia tilataan niin, että varastossa on varaosat kahteen pumppuun. Tällä varaudutaan suuriin ongelmatilanteisiin
- Varaosat yhden pumpun perushuoltoa varten, jolloin pumppu puretaan ja tutkitaan.

Perushuollon varaosien tarkoitus on mahdollistaa vielä kerran yhden pumpun tutkiminen. Tehtäessä perushuolto, saadaan ajantasainen kunto-arvio jota voidaan soveltaa kaikkiin järjestelmän mäntäpumppuihin. Pumpun osien ikääntymistä voidaan seurata vertailemalla perushuollon tuloksia aiempien perushuoltojen tuloksiin. Aiemmat perushuollot on tehty vuosina 1994 ja 2012. Jos tuleva perushuolto suoritettaisiin esi-

merkiksi vuonna 2025, saataisiin kunto-arvio 13 vuoden käytön jälkeen ja jonka tuloksia voitaisiin hyödyntää 13 vuoden päähän ulottuvan käyttöluvan loppuun. Kuntoarviossa on hyvä huomioida myös kappaleen 7.1 lopussa mainittu pumppujen käyntijaksojen kasvu viimeisen kuuden vuoden aikana, jolloin tuloksista riippuen voidaan havaita pumpun osien ikääntymisen kehittyminen. Perushuollon voisi tehdä esimerkiksi OL1- laitoksen pumpulle 327P4, jolle tuli paljon käyttötunteja muutostyön yhteydessä aiheutuneista putkiston värinöistä johtuen.

Varaosista muodostettiin Excel-taulukko johon oli listattuna jokainen osa. Tuotannon palvelu- ja varaosahankinnan osasto selvitti osien määräkohtaisen kulutuksen noin 20 vuoden aikaväliltä varastotietojen perusteella. Tavoiteltaessa tilaa jossa 20 vuoden kulluttua osan varmuusvarasto on edelleen täynnä ja pumpun käyttö on turvallista, voitiin osamääriä osatilaukseen laskea seuraavasti:

Osan nykyinen varastosaldo -Varmuusvarasto-Kulutus +Tilausmäärä = Varmuusvaraston ylijäämä

Varmuusvaraston ylijäämä kertoo, paljonko osaa on vielä varastossa kun 20 vuoden kulutus on käytetty ja varmuusvarasto on edelleen täynnä. Excel-taulukossa tilausmääriä muutettiin niin, että ylijäämä jäi nolllaksi tai positiivisen puolelle.

8.4 Varaosien kustannusarvio

Palvelu- ja varaosahankinnan osasto teki varaosien tarjouspyynnön Schäferille, jolloin saatiin osakohtaiset hinnat lähes kaikista osista. Hintatietoja jäi saamatta esimerkiksi O-rengas tiivisteistä jotka ovat halpoja sekä yksinkertaisia varaosia, sekä myös paineventtiilikompletista ja liukulaakerista. Laskentaa varten paineventtiilikompletin hinnaksi arvioitiin imuventtiilikompletin hinta, niiden ollessa samankaltaisia osia. Liukulaakerin hinta arvioitiin muiden laakerihintojen perusteella.

Hintatiedot syötettiin Excel-taulukkoon ja ohjelman laskentatyökalua käyttäen laskettiin varaosapaketin hinta. Excel-taulukko esitettyinä liitteessä 1.

Varaosien kustannusarvioksi laskennan jälkeen saatiin 574 360€, joka voidaan pyöristetään ylöspäin **600 000€**. Tämä kattaa arvioidusti varaosat kaikille pumpuille noin 20 vuoden käyttöjaksolle, yhden pumpun perushuollon sekä täynnä olevat varmuusvarastot.

Toimittamalla tarjouksen varaosista, valmistaja osoittaa edelleen hyvää toimitusvarmuutta joka osaltaan tukee nykyisten pumppujen käyttöä ainakin tämän hetkisen käyttöluvan loppuun, eli vuoteen 2038 asti.

Varaosina on mahdollista käyttää myös tarvikeosaa. Tällöin tarvikeosa täytyy erikseen luvittaa ja hyväksyttää . Liitteen 1 taulukosta nähdään keltaisella merkityt osat, jotka ovat hyväksytyt käyttöön tarvikeosana muilta valmistajilta sekä punaisella merkityt osat, joita ollaan mahdollisesti hyväksyttämässä tarvikeosana. Tarvikeosan valmistus voi olla kuitenkin hankalaa jos alkuperäinen valmistaja pitää oikeudet osaan itsellään. Tarvikeosan käyttöön hyväksyminen vaikeutuu myös turvaluokkien kasvaessa.

Tiivisteissä on suositeltu varastointi- ja kokonaiselinikä, joka on yleensä 7-15 vuoden väliltä. Varastossa olevat tiivisteet siis vanhenevat, ja tätä tulisi seurata myös varaosien tilausta suunniteltaessa.

Työntötangon läpiviennin tiiviste (rivinimike 586343065) vanhenee Toukokuussa 2020, joka tulisi huomioida varaosapaketin tilauksessa.

9 PUMPPUJEN UUSIMINEN

9.1 Suunnitteluperusteet

Jos nykyisten pumppujen osien kunto tai varaosien toimitusvarmuus heikkenee, tulee vaihtoehdoksi pumppujen uusiminen. Uusien pumppujen hankintaa voidaan pitää myös vaihtoehtona, jos nykyisten pumppujen käyttökustannukset ovat suuremmat kuin uusien hankintakustannukset tai jos laitoksen termisen tehon noston myötä pumppujen vaatimukset kasvavat. Suunnittelussa lähdettiin liikkeelle siitä että myös uudet pumput olisivat mäntä- tai mäntäkalvopumppuja. Näiden pumppujen etuna on tasainen tuotto, joka perustuu pumpun rakenteelliseen suunnitteluun jossa pumpun nimellistuotto on aina sama määrättyllä pyörimisnopeudella. Myös yksinkertainen rakenne ja helpompi säädettävyys voidaan nähdä etuna turvallisuuden ja käyttövarmuuden kannalta. (Mackay 2004, 159.)

9.2 Turvaluokittelu

Pumput tulevat olemaan ydinvoimalaitoskäyttöön turvaluokiteltuja pumppuja. Niiden turvallisuusluokka on 2. Se asettaa tiukempia vaatimuksia muiden standardien lisäksi; pumppujen on osoitettava rakenteellista virheettömyyttä, mekaanista lujuutta, korroosion kestävyyttä ja toimintavarmuutta.

9.2.1 Vaatimukset

Turvaluokassa 2 pumppujen suunnittelun, valmistuksen, tarkastusten ja testausten pitää perustua yleisesti hyväksytyyn ydinvoimalaitoksen suunnitteluun perustuvaan säännöskokoelmaan kuten ASME, KTA tai RCC-M tuettuna Eurooppalaisilla standardeilla (EN). Valmistajan pitää käyttää yhtä edellä mainituista standardeista koko valmistusprosessissa.

Valmistukseen liittyvät hyväksytyt standardit esitettynä taulukossa 6.

Taulukko 6. Pumpun valmistukseen liittyvät hyväksytyt standardit.

ISO 10816	Evaluation of Mechanical Vibrations
ISO 16330	Technical Requirements for Reciprocating Positive Displacement Pumps
ISO 14691	Technical Requirements for Flexible Couplings
ISO 21940	Requirements for Balancing Quality
ISO 9906	Acceptance of Hydraulic Performance Test
ASME	American Society of Mechanical Engineer Standards
KTA	KTA Program of Standards
RCC-M	Design and Construction Rules for Mechanical Components of PWR Nuclear Islands

Materiaalien ja hitsin täyteaineiden standardivaatimukset esitettynä taulukossa 7.

Taulukko 7. Hyväksytyt materiaali- ja hitsin täyteaine standardit.

EN10204 3.2	Pumpun painetta pitävät osat
EN10204 3.1	Painetta pitävät pultit, kampiakselit
EN 10204 2.1	Muut käyttökuntoisuudelle tärkeitä osat
EN10204 3.1	Pumpun painetta kantavat hitsit
EN10204 2.2	Hitsatut pinnoitteet
EN10204 2.2	Muut hitsit, joilla on merkitystä pumpun eheydelle tai toimintakyvylle

Mitoitus-, lujuus- ja väsymisanalyysit tehdään voimassa olevin standardein. Analyysit osoittavat pumpun toiminnan ja paineenpitokyvyn kaikissa käyttötilanteissa. Analyysit lueteltuna alla olevassa taulukossa 8.

Taulukko 8. Mitoitus-, lujuus- ja väsymisanalyysien sisältö

Standardina ydinvoimalaitosstandardi. Suositeltu ASME
Pumpun painetta kantavien pääosien painemitoitus
Pumpun painetta kantavien runko-osien lujuusanalyysi
Stressianalyysi rungon kiinnityksestä kiinni pitäviin rakenteisiin
Pumpun hydraulinen mitoitus
Dynaamiset analyysit
Ajoanalyysit
Laskelmat avoimeen altaaseen sijoitetuista pumpuista

Näiden lisäksi tulee valmistajan toimittaa dokumentaatio ja selvitykset muun muassa pumpun valmistuksesta, piirustuksista, testauksesta ja käyttö- sekä huoltosuunnitelmasta.

9.2.2 Maanjäristysluokittelu

Pumput ovat myös maanjäristysluokiteltuja. Ne on luokiteltu maanjäristysluokkaan 1 (SC1), jossa pumppujen pitää säilyttää toimintakyky ja eheys alueelle mitoitettussa suunnittelumaanjäristyksessä. Suunnittelumaanjäristys on laitoksien sijaintipaikan maaperän värähtelyjen perusteella laadittu järistysvoimakkuus. Pumpun vaatimukset testataan esimerkiksi erilaisin tärstimin ja mekaanisin liikuttelulaittein, jossa vertailuarvona käytetään suunnittelumaanjäristystä. (YVL B.2 3.4 – 4.)

9.2.3 Suoritusarvot

Uusien pumppuyksiköiden vaatimuksena käytettiin vanhojen pumppujen suoritusarvoja, jotka on esitetty aiemmin taulukossa 1. Ainoa muutos oli tilavuusvirran kasvataminen $90\text{m}^3/\text{h}$, jolla varaudutaan mahdolliseen jäähdytystarpeen kasvuun jos laitoksen termistä tehoa kasvatetaan tulevaisuudessa.

9.3 Toimittajien valinta

Ydinalalle pumppuja toimittavan valmistajan on täytettävä alaan liittyvät standardit, sertifikaatit ja määräykset.

Valmistajan johtamisjärjestelmän on oltava hyväksytysti sertifioitu ydinalalle. Pumppuun rakenteellisen suunnittelun ja mitoituksen on perustuttava ydinvoimalaitosten pumppujen suunnitteluun tarkoitettuun standardiin kuten ”ASME Boiler and Pressure Vessel Code”. Valmistajalla on oltava dokumentoidut menettelytavat valmistusmenetelmien ja henkilöstön päteväntiin, päteväntien voimassaoloon, valmistukseen, testaukseen ja poikkeamien käsittelyyn. Pumppuvalmistaja auditoidaan TVO:n toimesta, joka edelleen tekee selvityksen ja toimittaa tiedot valmistajasta sekä pumpusta STUKille. (YVL E.9 4, 5.1.)

Auditointiprosessi kattaa laajasti valmistajan organisaation ja komponentin valmistuksen arvioinnin sekä tarkastamisen. Osa valmistajista saattaa kokea prosessin raskaaksi tai ne eivät pysty täyttämään vaadittavia kriteerejä. Tämän johdosta tietopyyntöön valittiin ydinalalta aiempia referenssejä omaavia pumppuvalmistajia, joille ydinalan kriteerit ovat tuttuja.

9.4 Tietopyynnön lähettäminen

Tietopyyntöjen tavoitteena oli saada hinta-arvioita uusista pumppuyksiköistä. Tämän työn puitteissa tarkoitus ei ollut saada loppuun asti vietyä tarjousta, joka olisi huomattavasti isompi projekti. Pumppuvalmistajille asia esitettiin pumppuyksiköiden uusimi-

sen selvitystyönä, jonka tarkoitus on luoda arvio siitä, onko nykyisten mäntäpumppujen käyttö kannattavaa vielä yli 20 vuoden aikajänteellä vai tuleeko niiden uusiminen kannattavammaksi. Uusien pumppujen hankinta tulisi myös ajankohtaiseksi, jos laitoksien termistä tehoa kasvatettaisiin mahdollisesti vielä tulevaisuudessa. Pyysin valmistajilta karkeita hinta-arvioita pumppupaketeista, joka selvitystyön edetessä saataisi myös johtaa viralliseen tarjouskyselyyn tulevaisuudessa. Ajan ja resurssien säästämiseksi sekä työn luonteen vuoksi, täysin tarkkaa hinta-arviota ei tässä vaiheessa nähty tarpeelliseksi.

Eri valmistajiin yhteydenoton jälkeen, laadittiin tietopyyntölomake joka lähetettiin lopulta yhdeksälle eri valmistajalle tai niitä edustaville yrityksille. Tietopyynnön sisältö käsitti asian esittelyn sekä pumpputekniset vaatimukset, jotka on esitetty edellä kappaleessa 9.2.

9.5 Tietopyynnön tulokset

Valmistajien kanssa käytiin keskusteluja jonka aikana tarkennettiin tietoa eri pumppumalleista, sekä esitetyistä pumpun ominaisuuksista ja vaatimuksista. Lopulta kolme valmistajaa antoi hinta-arvionsa vaatimukset täyttävistä pumpuista. Muiden valmistajien pumput eivät olleet soveltuvia pumppu- tai vaatimusteknisesti tarkasteltuna, tai ne eivät vastanneet lainkaan kyselyyn.

9.5.1 Valmistaja A

Valmistaja A tekee korkeapaineisia pumppuja, jolla on tuotteilleen KTA 1401 (The Nuclear Safety Standards Commission)standardi. Se on alansa johtavia valmistajia, jolla on toimintaa ympäri maailman. Yhtiöllä on aiempia referenssejä ydinvoimaloihin toimitetuista pumpuista.

Yhteydenoton jälkeen, selvisi nopeasti että heiltä löytyy soveltuva pumppu paineen ja virtaaman puolesta jolloin pystyttiin keskittymään muihin teknisiin vaatimuksiin. Tarkentavien keskustelujen jälkeen valmistaja lähetti hinta-arvionsa. Hinta-arvion sisältö esitettynä seuraavassa taulukossa 9.

Taulukko 9. Hinta-arvion sisältö

Määrä	Kuvaus	Hinta/kpl
8	Pumppuyksikkö	530 000 €
2	Työkalupaketti pumpuille	Sisältyy hintaan
Hinta yhteensä		4 240 000€

Pumppuyksikköön sisältyy:

- Erillinen pakkosyöttöinen voitelujärjestelmä
- Vaihteisto, kompakti kytkentä
- Turvakotelolla oleva elastinen kytkentä pumpun ja moottorin välillä
- Ydinvoimalahyväksytty 360kW sähkömoottori
- Valumakaukalolla varustettu pohjakehikko
- Pumpun tyhjennysventtiilit
- kaapelointi instrumenteiltä kytkentäkoteloon
- Imu- ja painepuolen paineentasaussäiliö

Pumput voidaan valmistaa vastaamaan haluttua standardia esimerkiksi ASME, KTA tai RCC. Standardoitu suunnittelu ja valmistus sisältyvät hintaan. Pumpun materiaalit ovat kappaleen 9.2.1 taulukon 7 mukaisin materiaalivaatimuksin. Pumpun testaus suoritetaan asianmukaisen standardin mukaan. Pumpun vaihteistoksi valittiin normaalin kytkennän sijaan kompakti kytkentä, jolla varmistettiin pumppukokonaisuuden mah- tuminen H-tilaan. Pumpun tuottama tilavuusvirta on säädettävissä vaihteiston, mäntä- koon tai moottorin muutoksilla. Tarjoukseen ei sisältynyt varaosia, koulutusta ja käyt- töönottoa laitoksella.

9.5.2 Valmistaja B

Valmistaja B on globaali pumppuratkaisujen toimittaja, joka edustaa monia eri valmistajia. Valmistaja tekee API 677(American Petroleum Institute)standardoituja kolmimäntäisiä pumppuja erilaisiin sovelluksiin, myös ydinvoimalakäyttöön.

Valmistaja varmisti myös heti pystyvänsä vastamaan pumpun paine- ja virtausvaatimuksiin, jolloin keskustelua jatkettiin täsmentämällä muita teknisiä vaatimuksia. Pumppu on kolmimäntäinen horisontaalinen mäntäpumppu. Tarkentavien keskustelujen jälkeen valmistaja lähetti hinta-arvionsa. Hinta-arvion sisältö esitettynä seuraavassa taulukossa 10.

Taulukko 10. Hinta-arvion sisältö

Kuvaus	Hinta
Suunnittelu-Dokumentaatio-Projektinhallinta	871 200 €
Ulkopuolinen tutkimustyö	53 333 €
Materiaalikustannukset	4 898 320 €
Pakkaaminen - Toimitus	166 848 €
Käyttöönoton ja käynnistyksen varaosat, työkalut	Sisältyy
Hinta yhteensä	5 989 701€

Pumppuyksikköön sisältyy:

- Vaatimuksien mukaisesti suunniteltu öljypuoli, itsestään voiteleva, 25 000 tunnin suunnittelukäyttöikä
- Vaatimuksien mukaisesti suunniteltu vesipuoli, tiivisteiden minimi käyttöikä 12 000 tuntia
- Imu- ja paineyhteen laipat
- Ydinvoimalahyväksytty 355kW sähkömoottori
- Vaihteisto
- Kytkenät moottorin ja pumpun välillä
- Pohjakehikko valumakaukalolla
- Imu- ja painepuolen paineentasaussäiliö

Pumppu on rakennettu vastaamaan API 674 standardia. Sen suunnittelu seuraa kuitenkin RCC-M ohjetta mekaanisten komponenttien ja RCC-E ohjetta moottorin osalta. Täten se täyttää taulukossa 6 aiemmin esitetyt suunnittelun vaatimukset turvaluokan 2 pumpusta. Hintaan on sisällytetty vaaditut testit. Hinta-arvioon ei sisällynyt varaosia, varoventtiileitä, kolmannen osapuolen tarkistuksia, asennuspalveluja käyttöönotossa tai koulutuksia.

9.5.3 Valmistaja C

Valmistaja C on maailmanlaajuinen pumppuja valmistava yritys, jonka erityisalaa on keskipako- ja syrjäytyspumput jotka täyttävät kansainväliset API, ANSI ja ISO vaatimukset.

Tarjous tehtiin annettujen lähtötietojen perusteella, ja valmistaja ei esittänyt mitään kysymyksiä vaatimukseen liittyen. Heidän tarjouksensa oli pumpputeknisesti yksityiskohtainen, mutta painottivat tarjouksen muuten olevan hyvin karkea ja ainoastaan budjetointikäyttöön.

Pumpun malli on horisontaalinen kolmimäntäinen pumppu. Hinta-arviossa sen suunnitteluperusteena käytettiin turvallisuusluokan 2 vaatimuksia pumpputeknisesti. Siitä oli kuitenkin jätetty pois ASME tai muu ydinvoimalaitosstandardiin liittyvä suunnittelu, joita he eivät halunneet sisällyttää näin karkeaan hinta-arvioon. Niiden sijaan oli käytetty yrityksen yleisesti käyttämiä standardeja. Hinta-arvion sisältö seuraavassa taulukossa 11.

Taulukko 11. Hinta-arvion sisältö.

Määrä	Kuvaus	Hinta/kpl
8	Pumppuyksikkö	301 103€
8	Tiivistevaraosat käyttöönottoa varten	3352€
4	Tiiviste ja venttiilivaraosat kahdeksi vuodeksi	23 480€
Hinta yhteensä		2 529 560€

Pumppuyksikköön sisältyy:

- Itsevoiteleva öljypuoli
- Imu- ja paineyhteen laipat
- Vaihteisto
- 315kW sähkömoottori
- Turvakotelolla varustettu joustava kaksinopeuksinen kytkentä moottorin ja pumpun välillä
- Imu- ja painepuolen paineentasaussäiliö
- Varoventtiili
- Pohjakehikko valumakaukalolla

Arvioon on sisällytetty tarkastukset, testaukset, seismiset laskelmat, dokumentointi, pakkaus sekä erikoistyökalut ja varaosat käyttöönottoa varten.

9.6 Tietopyyntöjen vertailu

Tietopyynnöistä muodostettiin taulukko, johon on koottuna tietoja tietopyyntöjen sisällöstä sekä pumppujen teknisistä ominaisuuksista.

Taulukko 12. Tietopyyntöjen vertailutaulukko

Valmistaja	A	B	C
Tyyppi	Horisontaalinen	Horisontaalinen	Horisontaalinen
Mäntien lukumäärä	3	3	3
Männän Halkaisija	135mm	125mm	140mm
Männän iskun pituus	125mm	170mm	-
Männän materiaali	Keraaminen	Pinnoitettu RST	RST
Pumpun pyörimisnopeus	297RPM	247RPM	-
NPSH_R	10m	7,95m	-
Moottorin teho	360kW	355kW	315kW
Teho toimintapisteessä	292kW	252kW	238kW
Moottorin jännite	380V	400V	690V
Moottorin jäähdytys	Ilma	Ilma	-
Voiman välitys	Vaihteisto	Vaihteisto	Vaihteisto
Ydinvoimalahyväksytty moottori	Kyllä	Kyllä	-
Painepuolen paineentasaus-säiliön vaimennus ¹	3 %	1 %	6 %
Imupuolen paineentasaus-säiliön vaimennus ¹	3 %	1 %	6 %
Pumpun hyötysuhde	-	88 %	-
Pumppuyksikön paino	10 000kg	11 800kg	15 000kg
Pumppuyksikön mitat ²	1,86m×3,35m×2,14m	2,7m×5,6m×2,13m	3m ×4,7m×1,93m
Ydinvoimalasuunnittelu	ASME, RCC tai KTA	RCC-M(API 674)	Ei
Pumpun testaukset	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Maanjäristysluokituksen testaukset ja laskelmat	Kyllä	Ei	Kyllä
Dokumentaatio	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kokonaishinta	4 240 000€	5 989 701€	2 529 560€

1= Vaimennus painenvaihtelun huippuarvoista

2= Leveys×pituus×korkeus

Tulkittaessa taulukkoa 12 voidaan todeta että pumpputekniset erot valmistajien välillä ovat pieniä. Kaikki pumput ovat soveltuvia paineen ja virtaaman perusteella.

Valmistaja A täyttää kaikki kriteerit ja hallitsee ydinvoimalasuunnittelun tarjoten eri standardit käytettäväksi. Sen eroavaisuus on keraamiset männät jotka tarjoavat kestävä ja korroosionkestävän rakenteen. Valmistaja A:n ainoa huono puoli pumpun korkea tehontarve, joka saattaa rasittaa laitoksen omakäyttöverkkoa.

Valmistaja B täyttää kaikki kriteerit. Heikkous on pienempi paineentasaussäiliöiden vaimennusprosentti, joka on kuitenkin muutettavissa niiden ollessa muokattavissa. Valmistaja B laski hinta-arvioonsa myös toimituksen.

Valmistaja C:n hinta-arvio ei perustu mihinkään vaadittuun ydinalan standardiin, joka näkyy myös edullisempänä hinta-arviona muihin valmistajiin verrattuna. Pumpputeknisesti arvio on soveltuva, mutta muilta osin arvio on vajaa koska se ei ota huomioon ydinvoimalasuunnittelua. Jos virallinen tarjouspyyntö tehtäisiin, voidaan olettaa hinnan nousevan valmistajien A ja B hinta-arvion tasolle.

Asennustila H-tilojen pumppuhuoneissa on huoneesta riippuen noin $3\text{m} \times 4,5\text{m}$. Valmistaja A:n pumppu mahtuu tilaan erittäin hyvin kompaktin vaihteistonsa ansiosta. Sen sijaan varsinkin valmistaja B:n sekä myös osittain valmistaja C:n pumput ovat liian isoja tai niiden asentaminen aiheuttaisi huomattavia muutostöitä tilassa. Korkeus ei aseta rajoituksia minkään pumpun osalta.

Saatujen tietokyselyjen ja hinta-arvioiden perusteella valmistaja A:n pumppu täyttää parhaiten vaaditut vaatimukset. Sen tarjoama hinta-arvio on perusteellinen ja kattava, sekä valmistaja hallitsee ydinvoimalasuunnittelun periaatteet ja vaatimukset. Valmistaja A:n hinta-arvio on myös noin 1,7 miljoonaa euroa edullisempi, kuin valmistaja B:n vastaava tarjous.

Yhteenvetona voidaan arvioida uusien pumppuyksikköjen hinnaksi valmistajasta riippumatta noin 5 miljoonaa euroa, joka on siis pelkkien pumppujen osuus.

9.7 Pumppujen uusimisen muut kustannukset

Pumppujen uusimiseen liittyy myös merkittäviä muita kustannuksia. Tähän kuuluu luvitus-, suunnittelu-, rakennus-, muutos- sekä asennustyöt. Suurimmat ja työläimmät ovat luvitus ja suunnittelu. STUK:lle pumppu pitää luvittaa teknisiltä ominaisuuksilta sekä esittää laajasti koko uusimisen vaikutukset:

”Luvanhaltijan on laadittava pumpun muutostyöstä rakennesuunnitelma. Rakennesuunnitelman on sisällettävä perustelut muutostyön hyväksyttävyydelle sekä sellaiset toteutukseen ja laadunvalvontaan liittyvät tiedot, joilla voidaan todentaa muutetun pumpun vaatimuksenmukaisuus ja joita tyypillisesti ovat muutostyön kuvaus, tarvittavat laskelmat, havainnollistavat piirustukset sekä valmistuksen, asennuksen ja käyttöönoton käsittävä tarkastussuunnitelma. Turvallisuusluokissa 1 ja 2 rakennesuunnitelmaan on liitettävä myös analyysi muutostyön turvallisuusvaikutuksista. YVL E.9 13/1302”. Tätä sääntöä noudatetaan myös kappaleessa 8.4 mainituissa pumpun tarvikkeosissa.

Asentamiseen liittyy rakennustyöt esimerkiksi pumppupedin valmistus, sekä pumpun asentamisen putkitustyöt. Tämän jälkeen pumppu pitää saattaa vakaaseen toimintaan sekä tasapainottaa uuden mäntäpumpun aiheuttamat mahdolliset putkistovärähtelyn taajuusmuutokset. Pumppu on sovittava toimimaan yhteen laitoksen muiden järjestelmien kanssa, sekä sen yleiset käyttö- ja huoltotoimenpiteet on suunniteltava. Nämä edellä mainitut kohdat vaativat paljon resursseja sekä henkilötyötunteja, joka kasvattaa kustannuksia.

Kun suoritettiin tutkimusta TVO:n aiempien samankaltaisten projektien kustannuksista jotka ovat sisältäneet luvitusta, suunnittelua, putkiston sekä pumpun asennustöitä niin voidaan muiden kustannusten osuudeksi arvioida ainakin 5 miljoonaa euroa.

10 YHTEENVETO

Päätös nykyisten pumppujen käytön jatkamisesta tulisi perustua viiden vuoden sisällä tehtävään perushuoltoon ja sen rakennetarkastusten tuloksiin, jotta saadaan ajantasainen ja ennustettava pumpun käyttökunnon kehittyminen.

Jos nykyisten pumppujen käyttökuntoisuus perushuollossa todetaan edelleen hyväksi, tulisi varaosien saatavuus tehdä ehdottoman varmaksi kaikkien komponenttien osalta. Pumppujen huolto-ohjelmaa voitaisiin myös tarkastella ja tehdä parannuksia suuntaan, jossa varaosien kulutus vähenisi toimintavarmuudesta tinkimättä. Mikäli kohdataan epätodennäköinen vaikeus toimittaa varaosia, tulee siihen reagoida nopeasti, sekä selvittää tarvikeosan käyttömahdollisuus korvaamaan varaosaa.

Jos tulevaisuudessa tehtävä perushuolto indikoi nykyisten pumppujen kunnon heikentymisestä, on päätös pumppujen uusimisesta ajankohtainen. Uusimisprojekti tulisi olemaan iso ja työläs, mutta sen kautta saavutettu järjestelmän toimintavarmuus takaisi laitoksien turvallisen käytön. Toimintaan saatettuaan, uusien pumppujen todennäköisesti pienemmät kunnossapitokustannukset voidaan nähdä etuna.

Tietokyselyjen perusteella saadut tulokset osoittavat valmistaja A:n sopivan parhaiten korvaamaan vanhat pumput. Pumput täyttävät kaikki vaatimukset, sekä ne mahtuvat pumpputiloihin. Myös yhteistyö valmistaja A:n kanssa oli sujuvaa. Valmistaja B täyttää myös vaatimukset, mutta niiden tilantarve voi tulla ongelmaksi jos pumppujen koko ei ole muokattavissa. Valmistaja C:n tietokyselyn tulos ei ole tarkkaan laskettu ja se ei näin ollen ole verrattavissa hinta-tasoltaan muiden valmistajien arvioihin. Jos uusimiseen lopulta päädytään, olisi kaikki tässä työssä esiteltyt valmistajat kuitenkin hyvä ottaa mukaan lopulliseen tarjouskyselyyn niiden pystyessä vastaamaan pumpun vaatimuksiin. Valmistajien antamat tietokyselyjen tulokset jäävät TVO:n käyttöön.

Tässä työssä esitettyjen hintatietojen perusteella pumppujen uusiminen ei olisi kannattavaa jos nykyiset pumput säilyttävät käyttökuntoisuutensa. Nykyisten pumppujen käytön varmistava varaosapaketti käyttöluvan loppuun hinnaltaan 0,6 miljoonaa euroa on monin verroin halvempi kuin pumppujen uusimisen hinnaksi arvioitu 10 miljoonaa euroa (5 milj. pumput + 5 milj. muut kustannukset).

Kasvattamalla varaosien tilausmäärää edelleen nykyisestä, se ei ole taloudellisesti ajateltuna kallista, jos se parantaa nykyisten pumppujen toiminnan varmentamista ja ehkäisee pumppujen uusimisen tarpeen. Järjestelmän pumput eivät vaikuta tuotannon tehokkuuteen, joten investointina pumppujen uusiminen ei ole tuottava. Niiden ehdoton käyttövarmuus on kuitenkin pakollinen laitoksien käytön kannalta.

LÄHTEET

Olkidoc TVO FSAR 327 Apusyöttövesijärjestelmä

Kunnossapitojärjestelmä KUPI TVO

STUK www-sivut. 2020. Luettu ja viitattu 20.2.2020. <https://www.stuk.fi/>

TVO:n www-sivut. 2020. Luettu ja viitattu 18.02.2020. <https://www.tvo.fi/>

YVL B.2 16.6.2019, verkkojulkaisu. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLB-2> Luettu ja viitattu 20.2.2020

Ydinenergialaki 11.12.1987/990 muutoksineen, verkkojulkaisu. <https://www.stuklex.fi/fi/ls/19870990> Luettu ja viitattu 20.2.2020

YVL A.8 15.2.2019, verkkojulkaisu. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLA-8> Luettu ja viitattu 20.2.2020

YVL E.9 20.1.2020, verkkojulkaisu. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLE-9> Luettu ja viitattu 12.3.2020

Pulli, M. 2016. Virtaustekniikka 2.painos. Tampere: Tammertekniikka

Kauranne, H., Kajaste, J., Vilenius, M. 2013. Hydraulitekniikka 2.painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy

Mackay, R. 2004. The Practical Pumping Handbook. The United Kingdom: Elsevier Ltd

