



Pietta Hyökyvaara

# Merivesipumppaamon laitekannan pitkän tähtäimen suunnitelma

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

11.5.2025

## Tiivistelmä

Tekijä:	Pietta Hyökyvaara
Otsikko:	Merivesipumppaamon laitekannan pitkän tähtäimen suunnitelma
Sivumäärä:	47 sivua + 2 liitettä
Aika:	11.5.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Energiantuotantomenetelmät
Ohjaajat:	Kunnossapitopäällikkö Ari Nieminen Lehtori Juha Juselius

---

Tämän Enersense IN Oy:lle tehdyn insinööriyön tavoitteena oli luoda eräälle merivesipumppaamolle pitkän tähtäimen suunnitelma vuosille 2025–2040. Lisäksi työssä pyrittiin tekemään havaintoja riskeistä, jotka voivat vaikuttaa prosessilaitteiden ja koko tuotantolaitoksen käyttövarmuuteen. Toimeksiannon taustalla oli merivesipumppaamon vähäinen käyttöaste ja tuotannon määrän odotettu kasvu tulevaisuudessa.

Työn toteuttamisessa keskeisinä menetelminä hyödynnettiin laitoskierroksia, asiantuntijoiden ja laitevalmistajien lausuntoja sekä saatavilla ollutta laite- ja laitosdokumentointia. Työn tekoa tukevana kirjallisuutena perehdyttiin kunnossapidon ja käyttövarmuuden teoriaan ja standardeihin.

Työn tuloksena valmistui Excel-taulukkomuodossa oleva pitkän tähtäimen suunnitelma, joka sisältää 29 kappaletta mekaanisen, sähkö- ja automaation osaryhmien huolto- ja investointitoimenpidettä. Lisäksi suunnitelma sisältää kunkin toimenpiteen kustannusarviot ja vuositasolla olevan alustavan aikataulutuksen huoltotöille.

Merivesipumppaamon laitekannalla todettiin olevan merkittävä määrä kunnossapitovelkaa. Kunnossapitovelan tunnistaminen todettiin merkittäväksi, koska tiedon uskotaan ohjaavan laitoksen kunnossapitäjiä ja omistajaa laitoksen aktiivisempaan kunnossapitoon ja riskien hallinnointiin jatkossa. Työn tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa osana laitoksen kunnossapidon suunnittelua, erityisesti suurten huoltojen ja investointipäätösten tukena.

Avainsanat: kunnossapito, käyttövarmuus, merivesipumppaamo, pitkän tähtäimen suunnitelma

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Pietta Hyökyvaara  
Title: Long-term Plan for The Process Equipment of a Seawater Pumping Plant

Number of Pages: 47 pages + 2 appendices  
Date: 11 May 2025

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Energy and Environmental Technology  
Professional Major: Energy Production Methods  
Supervisors: Ari Nieminen, Maintenance Manager  
Juha Juselius, Senior Lecturer

---

The aim of this thesis, commissioned by Enersense IN Oy, was to create a long-term plan for a seawater pumping plant for the years 2025–2040. Additionally, the thesis aimed to identify risks that could affect the dependability of the process equipment and the plant itself. The thesis was commissioned due to the low utilization rate of the seawater pumping plant and the expected increase in production volume in the future.

The key methods used in making this thesis included visits to the production plant, gathering statements from experts and equipment manufacturers, and analyzing the available equipment and plant documentation. The literature used in support of the thesis project included theory and standards of maintenance and operational dependability.

As a result of the thesis project, an Excel-file format long-term plan was created. The finished long-term plan includes 29 different maintenance and investment actions for the mechanical, electrical and automation sub-groups. Additionally, the plan includes cost estimates and scheduling on a yearly basis for each action and maintenance work.

The process equipment of the seawater pumping plant was deemed to have a considerable amount of maintenance debt. Recognition of the maintenance debt was deemed significant, as this information can lead to more active maintenance and risk management from the plant's maintenance personnel and owner. The results of this thesis can be utilized as part of the maintenance planning of the plant in the future, especially when large maintenance work and investments are being planned.

Keywords: maintenance, dependability, seawater pumping plant, long-term plan

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Aiheen valinta ja rajaus	1
1.2	Käytetyt menetelmät ja tavoiteltu tulos	2
1.3	Enersense IN Oy	2
2	Kunnossapito	3
2.1	Kunnossapidon tavoitteet	3
2.2	Kunnossapitolajit	4
2.2.1	Ehkäisevä kunnossapito	5
2.2.2	Korjaava kunnossapito	6
3	Käyttövarmuus	6
3.1	Käytettävyys	7
3.2	Tuotantolaitoksen käyttövarmuuden parantaminen	9
3.3	Käyttövaiheisen tuotantolaitoksen käyttövarmuuden parantaminen	10
3.3.1	Käyttövarmuuden kehittämistyön hyödyt	12
3.3.2	Käyttövarmuuden kehittämistyön haasteet	13
3.4	Esimerkki: käyttövarmuus ja kustannukset	14
4	Työn toteutus	17
4.1	Tiedonhaku ja työskentelytavat	17
4.2	Laitelistauksen kokoaminen	19
4.3	Pitkän tähtäimen suunnitelman teko	19
5	Case-esimerkki: Merivesipumppaamo X	20
5.1	Merivesipumppaamo X	20
5.2	Toimintaperiaate	22
5.2.1	Vapaajäähdytys merivedellä	24
5.2.2	Kaukolämpöverkon priimaus	25
5.3	Kunnossapito merivedelle altistuvilla laitteilla	25
5.3.1	Meriveden ominaisuudet ja materiaalivalinnat	25
5.3.2	Laitteiden kunnossapito	26

6	Tulokset	29
6.1	Todetut investointi- ja huoltotarpeet	29
6.1.1	Merivesilämmönsiirtimet	31
6.1.2	Merivesipumput	33
6.1.3	Merivesisuodattimet	35
6.1.4	Paineilmakompressori	35
6.1.5	Venttiilit	36
6.1.6	Sähkö- ja automaatiolaitteet	38
6.1.7	Merivesikanava ja välppä	40
6.1.8	Vuosihuollot	40
6.2	Suositukset käyttövarmuuden parantamiseksi	41
7	Yhteenveto	44
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1: Käytettävyyden osatekijät	
	Liite 2: Ote pitkän tähtäimen suunnitelman sisällöstä	

## Lyhenteet

AKS: *Anlagenkennzeichnungssystem*. Saksasta lähtöisin oleva numerointijärjestelmä, jolla laitteen tyyppi ja sijainti voidaan yksilöidä kirjain- ja numerosarjan avulla.

CIP: *Cleaning in Place*. Paikallaan tapahtuva kiertopesumenetelmä.

PTS: Pitkän tähtäimen suunnitelma. Suunnitelma, johon on huomioitu huoltojen ajoitus, perustelut ja kustannukset valitulle ajanjaksolle.

KUPI: Kunnossapito.

IFS: *Industrial and Financial Systems*. Hankinta- ja kunnossapitojärjestelmä.

# 1 Johdanto

## 1.1 Aiheen valinta ja rajaus

Tässä insinööriyössä luodaan case-esimerkkinä toimivalle merivesipumppaamolle pitkän tähtäimen suunnitelma ja arvioidaan laitoksen käyttövarmuutta. Pitkän tähtäimen suunnitelma (PTS) sisältää merivesipumppaamon laitekannan arvioidut huolto- ja investointikustannukset vuosille 2025–2040.

Insinööriyössä käsiteltävälle merivesipumppaamolle halutaan tehdä pitkän tähtäimen suunnitelma, koska laitos on ollut vähäisellä käyttöasteella ja sen tuotantoa halutaan nostaa astettain ylös. Vähäisen käyttöasteen myötä laitoksella toteutettu kunnossapito on ollut lähes pelkästään ylläpitävää eikä suuria investointeja ole toteutettu. Insinööriyön pohjalta tehdyt havainnot luovutetaan työn toimeksiantajalle jatkotoimenpiteitä varten.

On huomionarvoista mainita, että merivesipumppaamoista puhuttaessa voidaan viitata useisiin eri toimintoa tekeviin pumppaamoihin. Tässä insinööriyössä keskitytään tuotantolaitokseen, jonka ensisijainen tehtävä on tuottaa vapaajäähdytystä merivedestä ja tarvittaessa priimata kaukolämpöverkkoa. Merivesipumppaamon käyttötavat esitellään tarkemmin luvuissa 5.2.1 ja 5.2.2.

Työssä ei käsitellä kohteen sähkö- ja automaatiotekniikan laitekantaa tai kunnossapitoa. On kuitenkin tunnistettava, että sähkö- ja automaatiotekniikan laitteistolla on merkittävä vaikutus tuotantolaitoksen toimintaan. Esimerkiksi merivesipumppu ei pumpkaa ilman sähkömoottoria eikä sähkömoottori toimi ilman taajuusmuuttajaa jne. Sähkö- ja automaatiotekniikan laitteiston osalta tunnistettuja investointitarpeita käsitellään lyhyesti luvussa 6.1.

## 1.2 Käytetyt menetelmät ja tavoiteltu tulos

Insinööriytyö toteutetaan tutustumalla ensin merivesipumppaamon toimintaperiaatteeseen ja laitekantaan. Tarkasteltavasta prosessilaittekannasta kartoitetaan tarvittavat huollot, näiden aikataulutukset sekä toteutunut huoltohistoria. Laitetoimittajia ja asiantuntijoita haastatellaan laitteiden suositeltujen huoltovälien ja elinkaaritietojen määrittämiseksi.

Työn tavoitteena on luoda eräälle merivesipumppaamolle pitkän tähtäimen suunnitelma vuosille 2025–2040. PTS sisältää prosessilaittekannalle arvioidut huolto- ja investointikustannukset sekä perustelut toimenpiteille. Työn tavoitteena on havaita merivesipumppaamon laitekannan käyttövarmuuteen vaikuttavia riskejä ja huomioida ne pitkän tähtäimen suunnitelmassa. Valmista pitkän tähtäimen suunnitelmaa arvioidaan ja sen pohjalta tehdään ehdotuksia toimenpiteistä, joiden avulla laitoksen käyttövarmuutta voidaan parantaa ja tuotantoon vaikuttavia riskejä minimoida.

Insinööriytyön johdannon luvussa 1.3 esitellään työn toimeksiantaja Enersense IN Oy. Luvut 2 ja 3 käsittävät työn teoreettisen pohjan sisältäen kunnossapidon ja käyttövarmuuden teorian. Luku 4 käsittelee työn käytännön toteutusta. Luvusta 5 alkaen esitellään case-esimerkki ”merivesipumppaamo X”. Insinööriytyön lopussa esitetään työn tulokset, tehdyt havainnot ja suositukset.

## 1.3 Enersense IN Oy

Enersense International Oyj on vuonna 2005 perustettu vihreän energian palveluita tarjoava pörssi-yhtiö. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Porissa. Suomessa ja kansainvälisesti yhtiön palveluksessa työskentelee yhteensä noin 2 000 henkilöä. Konsernin liiketoiminta-alueet on jaettu kolmeen osaan: Industry, Connectivity ja Power. [1.]

Tämän insinööriytyön toimeksiantajana toimii Enersense IN Oy. Yritys toimii osana Industry -segmenttiä, joka tuottaa asiakkailleen palveluja heidän

tuotantolaitostensa käyttövarmuuden parantamisessa ja kokonaiskunnossapidossa [2]. Enersense toimittaa pääkaupunkiseudulla käyttö- ja kunnossapitopalveluja muun muassa Helen Oy:n tuotantolaitoksille [3].

## 2 Kunnossapito

Kunnossapito on määritelty usealla eri tavalla alan kirjallisuudessa ja standardeissa. Kunnossapidon määrittelyissä keskeisenä tekijänä toimii usein vikaantumisen hallinta. Suomessa yleisesti käytössä olevia standardeja ovat muun muassa standardit PSK 6201 ja PSK 7501, joissa kunnossapidon määrittely pohjautuu ensisijaisesti korjaavan kunnossapidon käsitteistöön ja toimintatapoihin. [4, s. 19.] Eurooppalainen standardi SFS-EN 13306:2017 määrittelee kunnossapidon seuraavasti:

Kaikki kohteen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon [5, s. 5].

Tuotantolaitoksen kunnossapidossa tärkeässä roolissa on tuotanto-omaisuuden, kuten prosessilaitteiden, hallinta. Kunnossapidon toimilla tähdätään ylläpitämään tuotanto-omaisuutta ja kehittämään laitekannan tuotantokykyä. Prosessilaitteet on hankittu tuotantoa varten. Kunnossapidon voidaankin ajatella sisältävän kaikki ne toimenpiteet, joiden avulla laitteet sekä niiden muodostama kokonaisuus toimivat, kuten niiden halutaan toimivan. [4, s. 19.]

### 2.1 Kunnossapidon tavoitteet

Kunnossapidon toimilla tavoitellaan ensisijaisesti korkeaa tuotannon kokonaistehokkuutta (KNL) ja hyvää käyttövarmuutta. Tuotannon kokonaistehokkuus koostuu toiminta-asteesta, käytettävyydestä ja laatukertoimesta. Toiminta-aste kuvaa toteutuneen tuotannon ja maksimituotannon suhdetta eli tuotannon tehokkuutta. [6, s. 8.]

Näistä mittareista käytettävyydellä kuvataan laitteen kykyä olla tilassa, jossa se kykenee suorittamaan siltä vaaditun toiminnon olettaen, että ulkoiset resurssit ovat saatavilla [4, s. 59]. Käytännön esimerkkinä laitteen käytettävyyttä voidaan kuvata pumpun kykyä pumpata, mikäli sen sähkömoottori ja tätä edeltävät laitteet ja prosessit ovat toimintakykyisiä.

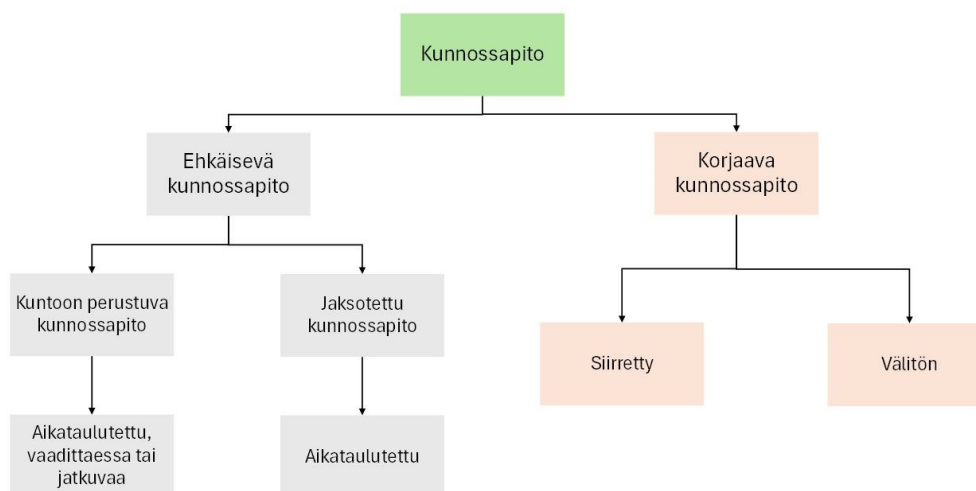
Laatukertoimella tarkoitetaan jatkojalostuskelpoisten tai myyntiin soveltuvien tuotteiden määrän osuutta niiden kokonaistuotannosta [6, s. 9].

Laitteiden toimintakunnon ylläpidon lisäksi kunnossapito tähtää laitteiden elinjakson pidentämiseen ja analysointiin [4, s. 19]. Toimivan laitteen lisäksi kaivataan tietoa, kuinka kauan laitteet ovat toimintakuntoisia ja mitä toimia seuraavaksi tulee tehdä, jotta mahdollisista vikaantumisista johtuvat vaikutukset tuotannolle olisivat mahdollisimman pienet.

## 2.2 Kunnossapitolajit

Kunnossapito on jaoteltu osalajeihin, jotta toimintaa olisi helpompi ohjata ja hallita. Jaottelu on myös välttämätöntä, jotta toiminnan tehokkuutta voidaan arvioida vertaamalla eri työlajien kustannuksia ja toteutuneita työtunteja [4, s. 46]. Esimerkiksi jos yksittäiselle laitteelle on toteutettu merkittävä määrä korjaavaa kunnossapitoa, huollon sijaan voi olla kustannustehokkaampaa vaihtaa laite uuteen.

Kunnossapitolajit on jaoteltu eri tavoin tarkasteltavan kohteen mukaisesti. Standardi SFS-EN 13306:2017 jaottelee kunnossapidon kuvan 1 mukaisesti ehkäisevään ja korjaavaan kunnossapitoon. Kyseisessä jaottelussa keskitytään vikaantumista ennakoivaan toimintaan ja todetun vikaantumisen jälkeen tehtäviin toimenpiteisiin. Viialla tarkoitetaan käytettävyyden vastakohtaa, eli tilaa, jossa laite ei kykene suorittamaan siltä vaadittua toimintoa. [7, s. 98–99.]



Kuva 1. Kunnossapitolajit standardin SFS-EN 13306:2017 mukaan [5].

### 2.2.1 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevän kunnossapidon tavoitteena on minimoida laitteen toimintakyvyn heikkeneminen ja vähentää vikaantumisen todennäköisyyttä. Laitteen tai kohteen kuntoa seurataan säännöllisesti eri ehkäisevän kunnossapidon menetelmien avulla. Tarkastuksien tuloksia hyödynnetään tulevien kunnossapidon tehtävien suunnittelussa ja aikataulutuksessa. Ehkäisevä kunnossapito käsittää kuntoon perustuvan ja jaksotetun kunnossapidon. [4, s. 50.]

Kuntoon perustuva kunnossapito on käytännössä kunnonvalvontaa, jossa keskitytään laitteen suorituskyvyn tarkasteluun ja muihin havaintoihin. Tehtyihin havaintoihin reagoidaan joko välittömästi tai aikataulutetusti. Kunnonvalvontaa toteutetaan joko tietyin väliajoin tai tarvittaessa. Kunnonvalvonnan menetelmiä ovat esimerkiksi käytön aikaiset värinämittaukset, silmämääräiset tarkastukset ja vikaantumistietojen analysointi. Menetelmästä riippuen kunnonvalvontaa toteutetaan joko laitteen käydessä tai seisokin aikana. [7, s. 99.]

Jaksotetulla kunnossapidolla tarkoitetaan ehkäisevän kunnossapidon toimia, jotka on aikataulutettu tapahtumaan tietyin väliajoin riippumatta siitä, onko laitteessa havaittu vikaa [7, s. 99]. Jaksotetun kunnossapidon toimia ovat esimerkiksi voiteluhuollot ja puhtaanapito.

### 2.2.2 Korjaava kunnossapito

Korjaavaa kunnossapitoa toteutetaan vikaantumisen jälkeen. Nimensä mukaisesti korjaavassa kunnossapidossa pyritään palauttamaan laite tai kohde huoltotoimenpiteillä toimintakykyiseksi. Korjaavaa kunnossapitoa voidaan toteuttaa äkillisten vikojen korjauksessa tai suunniteltuna kunnostuksena. Korjaava kunnossapito sisältää vian tunnistamisen, määrittämisen ja paikallistamisen, korjauksen ja väliaikaisen korjauksen sekä kohteen toimintakunnon palauttamisen. [4, s. 51.]

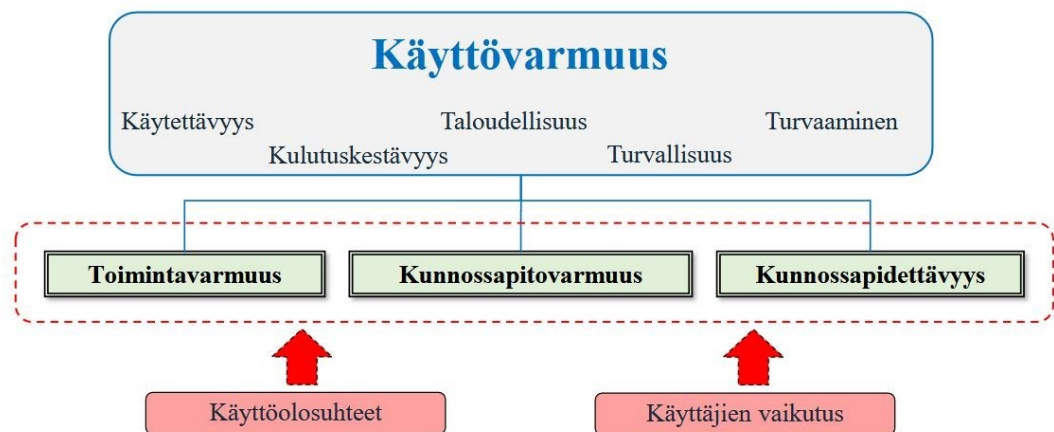
Korjaava kunnossapito voidaan määritellä myös sen mukaisesti, onko toimenpide siirretty vai välitön. Siirretyt kunnossapitotoimet voidaan ajoittaa toteutettavaksi seuraavaan huoltoseisokkiin tai muutoin laitoksen toiminnan kannalta suotuisampaan ajankohtaan. Välitön kunnossapito toteutetaan heti vian havaitsemisen jälkeen. [4, s. 51.] Esimerkiksi pieni ei-kriittinen venttiilivuoto voidaan ajoittaa huollettavaksi seuraavassa huoltoseisokissa, mutta tuotannolle kriittinen venttiili huolletaan heti vuodon havaitsemisen jälkeen.

## 3 Käyttövarmuus

Käyttövarmuus tarkoittaa yksinkertaisimmillaan laitteen tai prosessin kykyä toimia, kun sen halutaan toimivan [5, s. 6]. Suuressa kokonaisuudessa, kuten voimalaitoksessa, käyttövarmuus koostuu useasta yksittäisestä laitteesta ja näiden yhteisestä toiminnasta. Laitteiden ja prosessien lisäksi hyvään käyttövarmuuteen liittyy olennaisesti myös tehtävän kunnossapidon laatu ja huoltohenkilökunnan osaamisen taso [8].

Käyttövarmuusajattelua voidaan soveltaa yksittäisten laitteiden lisäksi myös tuotantolaitostasolle. Toisaalta tuotantolaitoksen käyttövarmuus voi olla vain niin hyvä, kuin sen laitekannan käyttövarmuus on. Huonoilla laitteilla ei voida koskaan saavuttaa erinomaista käyttövarmuutta. Käyttövarmuus on yksi tärkeimmistä parametreista, joita tuotantolaitoksen toiminnasta seurataan. Kunnossapito kokonaisuutena tähtää hyvään käyttövarmuuteen. [8.]

Tuotantolaitosten osalta käyttövarmuudesta puhutaan usein myös käytettävyytenä (*availability*). Käytännössä molemmilla termeillä tarkoitetaan usein samaa asiaa, mutta todellisuudessa käytettävyys on vain yksi osa käyttövarmuutta. Kokonaisuutena käyttövarmuus on jaettu kuvan 2 mukaisesti toimintavarmuuteen, kunnossapitovarmuuteen ja kunnossapidettävyyteen sekä niihin vaikuttaviin osatekijöihin. [5, s. 6.]



Kuva 2. Käyttövarmuuden osatekijät standardin SFS-EN 13306:2017 mukaan [8].

### 3.1 Käytettävyys

Tuotantolaitoksen käyttövarmuutta mitataan usein ensisijaisesti käytettävyyden avulla. Käytettävyys sisältää aikaisemmin kuvassa 2 esitetyt toimintavarmuuden, kunnossapidettävyyden ja kunnossapitovarmuuden käsitteet. Käytettävyyden osatekijöiden väliset suhteet on esitelty liitteessä 1.

Käytettävyys on määritelty standardin SFS-EN 13306:2017 mukaan seuraavasti:

Kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee tarvittaessa suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla [5, s. 8].

Kohteen käytettävyys on helposti mitattavissa arvoilla MTTF (*Mean Time To Failure*) ja MTTR (*Mean Time To Restoration*). MTTF-arvo kuvaa kohteen keskimääräistä vikaantumisväliä. Keskimääräistä vikaantumisväliä määrittää kohteen toimintavarmuus, joka kuvaa kohteen kykyä suorittaa siltä vaadittu toiminto tietyissä olosuhteissa tietyn ajanjakson ajan. Esimerkiksi jos sähkömoottorin MTTF-arvo on 5 vuotta, se vikaantuu keskimäärin 5 vuoden välein. [8.]

MTTR kertoo, kuinka nopeasti kohde saadaan palautettua takaisin käyttökuntoiseksi vian ilmennettyä. MTTR-arvon määrittää kohteen kunnossapidettävyys ja kunnossapitovarmuus. Kunnossapidettävyydellä tarkoitetaan, kuinka hyvin kohde on suunniteltu kunnossapidon toimenpiteitä varten. Esimerkiksi onko laitteen luoksepäästävyys, vaihdettavuus, huollettavuus ja vian havaittavuus huomioitu, kun laite on sijoitettu prosessiin. [8.] MTTR-arvo (h) voidaan laskea kaavan 1 mukaisesti jakamalla todettujen korjausaikojen summa tunteina todettujen häiriöiden lukumäärällä [9].

$$MTTR = \frac{\text{Korjausaikojen summa}}{\text{Häiriöiden lukumäärä}} \quad (1)$$

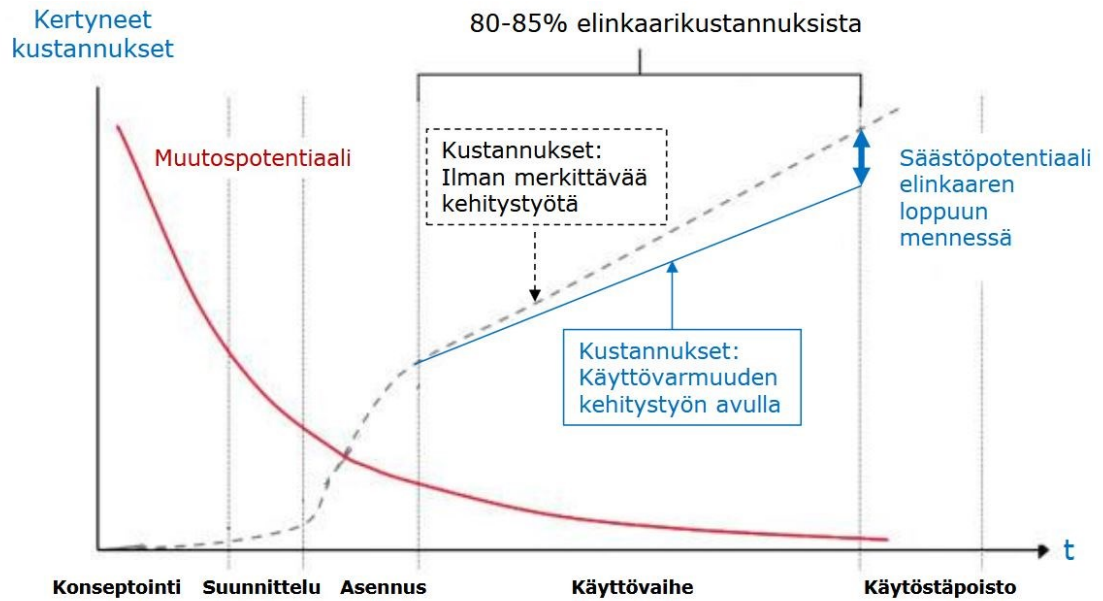
Kunnossapitovarmuudella tarkoitetaan kohteen kunnossapidosta vastaavan tahon kykyä suorittaa siltä vaaditut tehtävät tehokkaasti määritetyissä olosuhteissa tietyn ajanjakson ajan. Kunnossapitovarmuuteen vaikuttavat muun muassa huoltohenkilöstön osaamisen taso, yhteistyö käyttöhenkilökunnan kanssa, työvälineiden ja dokumentoinnin laatu sekä onnistunut varaosapolitiikka. [8.]

### 3.2 Tuotantolaitoksen käyttövarmuuden parantaminen

Tuotantolaitoksen käyttövarmuuteen voidaan parhaiten vaikuttaa sen konseptointi- ja suunnitteluvaiheessa. Konseptointivaiheessa tehdyn käyttövarmuustyön suurin etuus on niin kutsuttujen "prosessiominaisuuksien" vaikutusten ennaltaehkäisy. Laitteistojen kahdentamiset, laatu, vaihdettavuus ja sijainti ovat muutamia esimerkkejä prosessin ominaisuuksista, jotka huomioimalla voidaan kohteen elinkaarikustannuksissa säästää merkittävästi. [8.]

Konseptointivaiheessa tehdyn käyttövarmuustyön etuutena on, että eri toteutusvaihtoehtojen vaikutus odotettavissa olevalle käytettävyydelle voidaan osoittaa laskennallisen arvon avulla. Suunnittelupöydällä tehdyt laskenta- ja selvitystyöt mahdollistavat käyttövarmuusriskien tunnistamisen, sekä niiden vaikutuksen arvioinnin kohteen käytettävyyteen. Kohteen käyttövarmuuteen vaikuttavat riskitekijät voidaan tunnistaa ennakkoon ja ne voidaan huomioida kunnossapidollisesta näkökulmasta, jolloin kohteen kunnossapidettavuus paranee. [8.]

Kuvasta 3 huomataan, että valtaosa kohteen elinkaarikustannuksista syntyy käyttövaiheen aikana. Käyttövaiheisen tuotantolaitoksen käyttövarmuuteen voidaan yhä vaikuttaa, mutta tehtävissä olevat parannustoimenpiteet jäävät vaikutukseltaan usein pienemmiksi kuin laitosta suunniteltaessa. Mitä aikaisemmin käyttövarmuustyöhön ryhdytään, sitä suurempi säästöpotentiaali elinkaarikustannuksiin on kohteen elinkaaren lopussa. [8.]



Kuva 3. Käyttövaiheessa tehdyn käyttövarmuustyön vaikutukset kohteen elinkaarikustannuksiin [8].

Insinööriyössä keskitytään käyttövaiheessa olevaan merivesipumppaamon käyttövarmuuteen, ja siksi seuraavissa luvuissa ei käsitellä suunnitteluvaiheessa olevan kohteen käyttövarmuuden suunnittelua.

### 3.3 Käyttövaiheisen tuotantolaitoksen käyttövarmuuden parantaminen

Käytössä olevan tuotantolaitoksen osalta käyttövarmuuden kehittämisen lähtökohdat voidaan tiivistää kahteen kysymykseen:

- Miten kohde on vikaantunut aikaisemmin ja mitä seurauksia vioilla on ollut?
- Miten kohde voi vikaantua tulevaisuudessa ja mitä seurauksia vikaantumisista voi syntyä?

Käyttövaiheessa suoritettava käyttövarmuuden kehittäminen luokitellaan virallisissa kunnossapidonlajeissa parantavan kunnossapidon alle, jossa tarkoituksena on parantaa kohteen luotettavuutta ja/tai kunnossapidettävyyttä ilman, että kohteen toimintaa muutetaan [6, s. 32]. Käyttövaiheessa olevan

tuotantolaitoksen käyttövarmuutta voidaan parantaa usealla tavalla.

Parantamiskeinoja ovat muun muassa

- huoltosuunnitelman parannukset ja päivitykset
- kunnossapidon ja käytön toimintatapojen muokkaaminen
- laitteiden tai komponenttien uusintainvestoinnit
- linjatason prosessimuutokset tai osajärjestelmäinvestoinnit. [8.]

Huoltosuunnitelmien päivityksillä ja parantamisilla huoltoresurssit voidaan kohdistaa kriittisiin kohteisiin [8]. Aidosti kriittisten kohteiden tunnistaminen on tärkeää, jotta huoltosuunnitelman sisältö ei pohjaudu vain kunnossapitäjien kokemuksiin. Laitteiden kriittisyysluokittelun analysoinnissa voidaan esimerkiksi hyödyntää standardia PSK 6800, joka käsittelee laitteiden kriittisyysluokittelua teollisuudessa. Standardissa laitteiden kriittisyyttä analysoidaan tutkimalla ympäristö- ja turvallisuustekijöitä, tuotantovaikutuksia sekä korjaus- ja seurauskustannuksia. Kriittisyydellä tarkoitetaan laitteen tai kohteen ominaisuutta, joka kuvaa siihen liittyvän riskin suuruutta. Kohde luokitellaan kriittiseksi, mikäli sitä koskeva riski ei ole vaikutukseltaan hyväksyttävällä tasolla. [10, s. 2, 7.]

Kunnossapidon ja käytön toimintatapojen muokkaamisella tarkoitetaan esimerkiksi prosessin ajotavan tarkistusta ja kunnossapidon toimien tarkastelua [8]. Kunnossapidon toimien tarkastelussa voidaan esimerkiksi perehtyä kunnossapidon töitä vaikeuttavien viivästyksien juurisyihin, jotta jatkossa viiveitä syntyisi mahdollisimman vähän samoista syistä.

Yksinkertaisimpien tai toiminnaltaan luotettavampien laitteiden lisäyksillä käyttövarmuutta voidaan parantaa laiteetasolla [8]. Laiteusinnoilla saavutetaan parempi käyttövarmuus vanhoihin laitteisiin verrattuna. Usein investointien perustelu on kuitenkin haastavaa, varsinkin jos uusien laitteiden myötä syntyvästä käyttövarmuudesta ei ole tarkkaa arviota.

Hyvin tyypillinen linjakohtainen käyttövarmuutta lisäävä toimenpide on esimerkiksi prosessilaitteiden kahdentaminen [8]. Esimerkiksi putkistolinjaan

voidaan asentaa kaksi linjassa olevaa peräkkäistä sulkuventtiiliä. Ylimääräisten sulkuventtiilien asennuksien taustalla voi olla esimerkiksi tarve vähentää tyhjennettävän väliaineen hukkaa, kun linja pitää tyhjentää huoltotöiden takia. Parempaa käyttövarmuutta saadaan myös turvallisuuden näkökulmasta, sillä kun sulkuja on enemmän, ei-toivotun vuodon riski pienenee.

Tuotannon näkökulmasta tehtävä osajärjestelmäinvestointi voi olla esimerkiksi toinen 100 % suorittava pumppu, joka asennetaan vastaavan pumpun rinnalle prosessiin. Jos toinen pumpuista vikaantuu äkillisesti tai menee suunnitellusti huoltoon, toinen pumppu pystyy ylläpitämään tuotantoa. Pumpun asentaminen vaatii useita muutostoimenpiteitä, kuten suunnittelu- ja asennustöitä, sähköautomaatiojärjestelmän päivityksiä sekä laitoksen PI-kaavion - eli putkisto- ja instrumentointipiirrustuksen - muutoksia. Käyttövaiheisen tuotantolaitoksen tapauksessa vastaavien muutostöiden toteutus on kallista ja vaativaa, minkä vuoksi kahdennukset tulisi huomioida jo tuotantolaitosta suunniteltaessa.

### 3.3.1 Käyttövarmuuden kehittämistyön hyödyt

Kohteen parempi käyttövarmuus on luonnollisesti merkittävin hyöty, jota käyttövarmuustyöllä voidaan saavuttaa. Käyttövaiheisen kohteen parannuspotentiaalın suuruus riippuu paljolti kohteen historiasta ja sen suunnitteluvaiheessa tehdyistä ratkaisuista. Myös parannustoimenpiteistä syntyvien kustannusten suuruus on suoraan verrannollinen aikaisemmin tehtyjen huolto- ja muutostoimenpiteiden laatuun ja suuruuteen. Mitä vähemmän vikaantumishistoriaa ja tietoa aikaisemmin kohteessa tehdyistä toimenpiteistä on, sitä laajempaa selvitystyötä edellytetään, jotta käyttövarmuuden parantamistyössä onnistutaan. [8.]

Tunnistamalla kaikki kohteen käyttövarmuutta heikentävät tekijät saadaan esimerkiksi selkeä listaus laitteista, joiden kunnossapitoon tulee jatkossa panostaa. Kuten luvussa 3.4 tullaan esittämään, erilaisten toimenpiteiden vaikutusten arviointi mahdollistaa analyysin kohteen arvioidusta käytettävyydestä, toimenpiteiden käyttövarmuushyödyistä sekä päätöksentekoa

tukevasta kustannusarvioinnista. Käyttövarmuustyöllä voidaan myös optimoida kohteen kunnossapitovarmuutta, esimerkiksi tunnistamalla huoltotöiden toteutuksessa henkilöstön sijainnista johtuvat viiveet, mahdolliset riskit varaosien saatavuudessa ja toimitusajoissa, sekä parantamalla dokumentoinnin laatua [8].

Kohteelle ominaisten riskitekijöiden tunnistaminen helpottaa niiden seurauksiin varautumista. Mikäli riskeille ei löydy kustannustehokkaita ehkäisytoimenpiteitä, riskien seurauksia voidaan silti minimoida etukäteen kun ne on tunnistettu.

### 3.3.2 Käyttövarmuuden kehittämistyön haasteet

Historiaraportoinnilla on suuri merkitys kohteen käyttövarmuustyön laadussa. Historiatiedon puuttuessa käyttövarmuustyössä joudutaan turvautumaan asiantuntevien henkilöiden muistikuviiin ja kokemuksiin. Parhain tieto löytyy usein kentällä asioiden parissa työskenteleviltä asentajilta ja asiantuntijoilta. He ovat usein kiireisiä eivätkä välttämättä muista yksityiskohtaisesti yksittäisten laitteiden huoltohistoriaa. Ilman historiatietoja käyttövarmuuden parantamisessa tehdyt toimenpide-ehdotukset perustuvat parhaimpaan saatavilla olleeseen tietoon, kuten esimerkiksi valmistajan suosituksiin tai kunnossapitäjien aikaisempiin toimintamalleihin. Tämä tietotaso ei ole kuitenkaan välttämättä riittävä, eikä sen avulla saada merkittävää uutuusarvoa tuottavaa analyysiä tehtyä, kun kohteen käytettävyyttä halutaan arvioida jatkossa. [8.]

Myös käytettävissä olevien apuvälineiden ja menetelmien monimuotoisuus sekä näiden vähäinen tuntemus aiheuttaa haastetta käyttövarmuustyössä. Mikäli kunnossapito-organisaatiossa ei ole selkeää linjausta käytettävistä käyttövarmuuden parantamisen menetelmistä, käyttövarmuusprosessin aloitus voi olla haastavaa ns. "tyhjältä pöydältä". Käyttövarmuusprojekteja ei tulisi myöskään vastuuttaa kokemattomille työntekijöille, joilla ei ole vielä riittävää tietotaso ja ymmärrystä kohteen lainalaisuuksista. Myös kohteiden laajuus, rajalliset resurssit ja heikosti kohdistettu käyttövarmuuden parantamistyö vaikuttavat siitä saavutettavaan hyötyyn. Pahimmillaan käyttövarmuuden

parantamistyön toteuttamisessa kuluu useita vuosia. Tällöin tehdyllä työllä ei välttämättä saavuteta merkittävää hyötyä, kun itse työstä syntyviä kustannuksia verrataan saatuun käyttövarmuuteen. [8.]

### 3.4 Esimerkki: käyttövarmuus ja kustannukset

Käyttövaiheessa olevan tuotantolaitoksen käyttövarmuuden suunnittelussa on olennaista osoittaa laskennallinen arvo saavutettavalle käytettävyydelle. Arvo voidaan osoittaa selvityksellä, jossa osoitetaan esimerkiksi laiteinvestoinneilla tai muilla parannuskeinoilla saavutettava käytettävyyys verrattuna tilanteeseen, jossa muutoksia ei tehdä. Parannusvaihtoehtoja voi olla useampia ja niillä kullakin on oma vaikutuksensa kohteen käytettävyyteen tulevaisuudessa. Suunnitelma, joka sisältää eri vaihtoehtojen kustannusarviot ja kunkin toimenpiteen arvioidut seuraukset, on tyypillinen tapa puntaroida saavutettavan käyttövarmuuden ja syntyvien kustannusten suhdetta. [11.]

Taulukossa 1 on esitetty kuvitteellinen esimerkki, jossa laippojen väliin asennetun DN600 takaiskuventtiilin epäillään vuotavan sisäisesti. Oletetaan, että vuoto ei ole vielä niin merkittävä, että se vaikuttaisi tuotantoon. Takaiskuventtiilin kunnossapitoa voidaan lähestyä karkeasti kolmella eri tavalla vaihdon, huollon ja tekemättä jättämisen avulla. Tekemättä jättäminen on vaihtoehto, jossa tilannetta jäädään seuraamaan eikä huoltotoimenpiteitä toteuteta missään muodossa. Tällöin venttiili vaihdetaan vasta kun sen on todettu rikkoutuneen lopullisesti. Kunnossapidon termein sama toimenpide voitaisiin kuvata RTF (*run to failure*) -ilmiönä [4, s.100]. Taulukon 1 tietosarakkeessa ”edellytykset” kuvataan niitä toimia tai tapahtumia, joiden tulee tapahtua valitun toimenpiteen toteutumiseksi. Todellisuudessa edellytyksiä on useampia, mitä taulukkoon on kuvattu, mutta ne antavat yleiskäsityksen huoltotoimenpiteen laajuudesta.

Toimenpiteiden A tai B toteutus edellyttää esimerkin tapauksessa tuotannon keskeytystä; joko osittain tai kokonaan riippuen venttiilin sijainnista.

Turvallistamisella tarkoitetaan tässä yhteydessä sen linjan tyhjennystä, jossa

venttiili on. Turvallistamiseen sisältyy myös huoltotyön turvallisuuden takaaminen, kuten linjassa seuraavien venttiilien sulkeminen, sekä prosessin pysäytyksen varmistaminen niiltä osin kuin se on huoltotyölle edellytyksenä. KUPI-työt, eli kunnossapidon työt, sisältävät tässä yhteydessä huolto- ja suunnittelutyöt, kuten varaosien tilaukset ja asennukset, joita toimenpiteen toteutus vaatii.

Taulukko 1. Takaiskuventtiilin huollon eri vaihtoehdot.

Toimenpide	Edellytykset	Materiaalit	KUPI-kustannukset
A. Venttiilin vaihto uuteen	Tuotannon keskeytys, turvallistaminen, nostovälineistö ja telineet, KUPI-työt	Uusi venttiili	€€€
B. Venttiilin tarkastushuolto	Tuotannon keskeytys, turvallistaminen, nostovälineistö ja telineet, KUPI-työt	Varaosat	€€
C. Ei tehdä mitään	-	-	0 €

Kustannuksiltaan kallein toimenpide on vaihtoehto A, jossa venttiili vaihdetaan uuteen. Toimenpide sisältää KUPI-töiden lisäksi tuotannonkeskeytyksestä, huollon turvallistamisesta ja uudesta venttiilistä syntyvät kustannukset. Tuotannonkeskeytyksen kustannuksien voidaan olettaa olevan minimaaliset, sillä aikataulutettu ja etukäteen sovittu huolto pyritään aina sijoittamaan sellaiseen ajankohtaan, kun se on tuotannolle suotuisin.

Tarkastushuolto, eli toimenpide B, ei eroa KUPI-kustannuksiltaan vaihtotyöhön nähden muuten kuin varaosien ja tehtävän huollon laajuuden osin.

Takaiskuventtiilin huoltoon tarvittavia osia ovat tiivistemateriaalit ja venttiililäpän jouset, joiden yhteenlaskettu hankintahinta on murto-osan uuden venttiilin hinnasta. Tarkastushuollossa venttiilin kunto tarkastetaan, ja tarvittaessa venttiiliä voidaan koneistaa, mikäli sen rungossa havaitaan syöpymää. Mikäli

syöpymää on liikaa tai tarkastuksen yhteydessä venttiili todetaan kuitenkin vaihtokuntoiseksi, tarkastushuolto muuttuu vaihtoehdoksi A. Tämän vuoksi tarkastushuollosta saatava hyöty voi jäädä hyvinkin vähäiseksi. Vastaavaan huoltoon olisi hyvä aina varata vaihtoventtiili, mikäli huollon riittävydestä ei ole tietoa etukäteen. Myös vaihto-osien toimitusajat tulee huomioida huoltoa suunniteltaessa.

Luonnollisesti KUPI-kustannuksiltaan halvin vaihtoehto on toimenpide C, jossa venttiilille ei tehdä mitään. Käytännössä tekemättä jättäminen ei palvele kunnossapidon tavoitteita, ellei venttiili ole helposti korvattavissa tai muuten ei-kriittisessä sijainnissa prosessissa. Venttiili on asennettu prosessiin suorittamaan tehtävää, joten sen kuntoisuudella on merkitystä.

Takaiskuventtiin huoltotoimenpiteiden mahdollisia seurauksia on avattu edelleen taulukossa 2. Vaihtotyöllä saavutetaan suurimmista KUPI-kustannuksista huolimatta parhain käyttövarmuus kohteelle uuden varaosan myötä, mutta hyötyä saadaan myös kunnossapitosuunnittelun puolesta. Vaihtotyön yhteydessä venttiilille voidaan määrittää elinkaari, jonka päättyessä venttiili vaihdetaan jatkossa suunnitellusti. Tällöin voidaan jatkossa minimoida äkillisen vikaantumisen myötä syntyvät tuotannon keskeytykset huoltotöiden ajaksi, sekä suorittaa varaosien ja muiden KUPI-resurssien hankinta etukäteen.

Käyttövarmuuden osalta haastavin tilanne syntyy toimenpiteen C seurauksista. Tekemättä jättämisen myötä venttiin vikaantumista ei voida ennustaa. Venttiin kriittisyydestä riippumatta sen vikaantuminen johtaa uuteen venttiin vaihtoon. Vikaantuminen voi tapahtua hyvinkin äkillisesti, ja tilanteesta riippuen myös lisävahingot prosessissa ovat mahdollisia. Esimerkin tapauksessa takaiskuventtiin venttiililäpät voivat irrota ja aiheuttaa vahinkoja toisissa prosessilaitteissa, tuotannon tai sen alasajon aikana. Tällaisessa tilanteessa lopulliset KUPI- ja tuotannonmenetyskustannukset ovat moninkertaiset vaihtoehtoihin A ja B verrattuna [11].

Taulukko 2. Takaiskuventtiilin huoltotoimenpiteiden seuraukset käyttövarmuuden kannalta.

Toimenpide	1. Seuraus	2. Seuraus	3. Seuraus
A	Parempi käyttövarmuus	Huoltosuunnitelman kehityspotentiaali	Kunnossapitovarmuuden optimointi
B	Tyydyttävä käyttövarmuus	Venttiilin vaihto, jos vuoto ei lopu	Lisääntyneet kustannukset ja tuotannon keskeytys
C	Huono käyttövarmuus	Ei vikaantumisen ennustettavuutta	Venttiilin vaihto, lisääntyneet kustannukset ja äkillinen tuotannon keskeytys

Vastaavanlaista analyysia voidaan toteuttaa hyvinkin pitkälle riippuen laitteesta ja prosessista. Prosessi on toimiva työkalu kevyessä käyttövarmuuden suunnittelussa, mutta kuten luvussa 3.2.2 todettiin, ongelmaksi voi muodostua historiatiedon kirjaamatta jättäminen. Analyysit voivat usein jäädä ”hiljaisen tiedon” -tasolle, ilman että vaihtoehtoisia toimenpiteitä kustannuksineen olisi listattu vakiintuneen käytänteen mukaisiin dokumenttipohjiin, tai että ne olisivat jatkossa saatavilla. Historiatiedon puute hankaloittaa vastaavien huoltojen suunnittelua, kun päätöksiä joudutaan tekemään hataralta tietopohjalta. Tällöin selvitystyön määrä kertautuu aina kun kohteelle suunnitellaan kunnossapitoa, jolloin myös työn kustannukset ja kesto kasvavat.

## 4 Työn toteutus

### 4.1 Tiedonhaku ja työskentelytavat

Työ aloitettiin tutustumalla merivesipumppaamo X:n toimintaan ja laitekantaan. Pumppaamolle toteutettiin useita laitoskäyntejä sen toimintaperiaatteen ja nykyisen laitekannan elinkaaren tilan arvioimiseksi. Prosessin ymmärtämiseksi haastateltiin laitoksen käyttö- ja prosessiasiantuntijoita.

Toimeksiantajan käytössä olevasta IFS-kunnossapito- ja hankintajärjestelmästä kerättiin tarkastelun alaiset laitteet Excel-taulukkoon. Toimeksiannon mukaisesti insinööriyössä keskityttiin laitoksen prosessilaitteeseen. Tarkastellut laitteet olivat kohteen merivesilämmönsiirtimet, merivesipumput, merivesisuodattimet, paikallisinstrumentit, venttiilit, sähköjärjestelmä, muut oheislaitteet sekä merivesikanava ja karkeavälppä. IFS-järjestelmästä tutkittiin myös laitekortteja ja laitoksen työtilaushistoriaa. Puutteellista työtilaushistoriaa täydennettiin haastattelemalla laitoksen kunnossapidosta vastaavia henkilöitä.

Työn suorittamisen kannalta oli keskeistä tehdä havaintoja laitteiden silmämääräisestä kunnosta. Laitoskierroksia tehtiin useita. Laitoskierroksien yhteydessä laitteiden todellista määrää verrattiin laitoksen PI-kaavioon. Laitoskierroksien aikana laitteista kerättiin myös tietoa, jota ei ollut saatavilla IFS-järjestelmästä. Esimerkiksi laitteiden tyyppikilvistä otettiin kuvia, jotta varaosien, huoltovälien ja uusien laitteiden saatavuutta olisi helpompi tiedustella valmistajilta.

Laitteiden suositellut huoltovälit selvitettiin tiedustelemalla huolto-ohjeita laitevalmistajilta ja kunnossapidon ammattilaisilta sekä perehtymällä laitteiden olemassa oleviin kunnossapitosuunnitelmiin. Saatavilla olleista huoltomanuaaleista tutkittiin niissä suositettuja huoltovälejä laitteille. Laitteiden huoltovälien ja -historian selvittäminen oli olennaista, jotta nykytilannetta voitiin verrata suositeltuihin toimenpiteisiin. Huoltovälien lisäksi selvitettiin, minkä ikäistä laitekanta on, ja onko laitteita uudistettu koskaan. Kullekin laitteelle tai laiteryhmälle arvioitiin elinkaari, mikäli se oli mahdollista. Elinkaariarvioita tiedusteltiin laitteiden valmistajilta, toimittajilta sekä laitoksen kunnossapidon parissa työskennelleiltä.

## 4.2 Laitelistauksen kokoaminen

Aikaisemmin Excel-taulukkoon listatut laitteet jaoteltiin AKS-tunnuksien mukaisesti ryhmittäin, jotta niitä olisi helpompi tarkastella. AKS-tunnuksella tarkoitetaan Saksasta lähtöisin olevaa numerointijärjestelmää (saks. *Anlagenkennzeichnungssystem*), jolla laitteen tyyppi ja sijainti voidaan yksilöidä kirjain- ja numerosarjan avulla [12, s. 9]. Laiteryhmien määrittämisen jälkeen kunkin laiteryhmän laitteet jaettiin vielä osaryhmiin, mikäli se oli mahdollista. Esimerkiksi venttiilit jaettiin ensin niiden tyyppin mukaan joko läppä- tai palloventtiileihin kuvan 5 mukaisesti. Tämän jälkeen tehtiin jako, altistuuko venttiili merivedelle vai makealle vedelle. Vastaavien jakojen teko katsottiin tärkeäksi, sillä olosuhteilla on merkittävä vaikutus laitteen elinkaareen ja sille toteutettavaan kunnossapitoon. Excel-listaan pyrittiin merkitsemään myös kaikki muu olennaiseksi katsottu tieto, kuten merkittävä huoltohistoria.

Laite	Laitekuvaus	Laitelaji	Tarkenne	Valmistaja	Malli
#####	MERIVESILINJAN LAIPALLINEN PALLOVENTTIILI DN80	PALLOVENTTIILI	LAIPALLINEN	HÖGFORS	445TS 80
#####	MERIVESILINJAN VAROVENTTIILI DN20/32	VAROVENTTIILI		AUTEXIER	32 Autexier
#####	MERIVESILINJAN LAIPALLINEN PALLOVENTTIILI DN80	PALLOVENTTIILI	LAIPALLINEN	HÖGFORS	445TS 80
#####	MERIVESILINJAN KUMIVUORATTU LÄPPÄVENTTIILI DN400	LÄPPÄVENTTIILI	KUMIVUORATTU	WITZEL	EVS

Kuva 4. Ote laitelistauksesta. Kuvasta on sensuroitu AKS-laitekoodaus.

## 4.3 Pitkän tähtäimen suunnitelman teko

Insinööriyön konkreettisena osuutena oli muodostaa pitkän tähtäimen suunnitelma merivesipumppamo X:n prosessilaittekannalle vuosille 2025–2040. PTS toteutettiin Excel-tiedostoon noudattaen työn toimeksiantajan aikaisempaa käytäntöä. PTS:n ensisijainen käyttötarkoitus on toimia budjetoituvien kohteiden, jonka avulla kohteessa tarvittavien huolto- ja investointitoimenpiteiden suunniteltujen ajankohtien lisäksi myös niiden kustannukset on esitetty. PTS:n on tarkoitus toimia päivitettävänä dokumenttina, jossa toimenpiteitä voidaan tarvittaessa lisätä, poistaa tai siirtää toiselle vuodelle tarpeen mukaan.

Excel-tiedostoon koottiin liitteen 2 mukaisesti seuraavat tietosarakkeet:

- Laiteryhmä (objekti), eli AKS-tunnus, jolla laite yksilöidään käytössä olevista järjestelmistä ja PI-kaavioista.
- Toimenpiteen kuvaus, eli mitä laitteelle tai kohteelle ollaan tekemässä.
- Toimenpiteen perustelu, eli miksi toimenpide tulisi tehdä.
- Kustannukset, johon on arvioitu toimenpiteen kokonaiskustannukset parhaan saatavilla olleen tiedon mukaisesti budjetointia varten.
- Muuta huomioitavaa, jossa voidaan tarvittaessa tarkentaa toimenpiteen perusteluja
- Osaryhmä, eli minkä teknisen osaryhmän alle kohteelle tehtävä toimenpide asettuu.
- Vuosiluvut, jotka kuvaavat aikatauluna sitä, milloin kukin toimenpide on suunniteltu toteutettavan.

Pitkän tähtäimen suunnitelman sisältö muodostettiin prosessilaitteille toteutetun ja suositellun kunnossapidon perusteella, sekä laitevalmistajien ja kunnossapidon ammattilaisten elinkaariarvioiden perusteella. Todettujen huolto- ja investointitarpeiden kustannusarvioissa hyödynnettiin tarjouskyselyjä toimittajille. Kaikille toimenpiteille ei ollut mahdollista tiedustella suoraan tarjousta, minkä vuoksi osa kustannuksista on arvioitu yhteistyössä kyseisten laitteiden kunnossapidon parissa työskentelevien kanssa siten, että referenssinä on käytetty aikaisempien huoltojen syntyneitä kustannuksia.

## **5 Case-esimerkki: Merivesipumppaamo X**

### 5.1 Merivesipumppaamo X

Merivesipumppaamo X sijaitsee eräässä eteläsuomalaisessa merenrantakaupungissa. Laitos on käyttöön otettu vuonna 2006. Pumppaamo toimii sisarlaitoksena eräälle kaukolämpö- ja jäähdytystä tuottavalle lämpöpumppulaitokselle, toimittaen vapaajäähdytystä merivedestä kaukojäähdytysverkkoon lämpöpumppulaitoksen kautta. Laitoksen käyttöaste on vähäinen. Tuotantoa on ollut muutamia päiviä viime vuosien aikana. Muutoin

laitoksen tuotannollinen käyttö on ollut lähes olematonta. Laitoksen käyttöastetta on tarkoitus nostaa asteittain tulevina vuosina.

Laitoksen laitekanta on suurimmilta osin vuosilta 2005–2006. Laitoksella ei ole tehty suuria huolto- tai modernisointitoimenpiteitä, lukuun ottamatta yhden laitoksen merivesipumpun perushuoltoa ja prosessista poistoa vuonna 2014 (kuva 5). Myös muut merivesipumppaamo X:ssä toteutetut kunnossapidon toimet ovat olleet vähäisiä. Kunnossapitoon ei ole panostettu, koska laitoksen tuotannolle ei ole ollut tarvetta. Laitoksella toteutetut mekaanisen kunnossapidon toimet ovat rajautuneet lähes pelkästään korjaavaan kunnossapitoon, lukuun ottamatta muutamia aikataulutettuja vuosihuollon toimia, kuten merivesisuodattimien huuhteluja ja tarkastuksia vuotojen varalta.



Kuva 5. Prosessista poistettu Sulzer-merivesipumppu.

## 5.2 Toimintaperiaate

Merivesipumppaamo X on suunniteltu toimimaan vapaajäähdytyksen tuotannossa sekä kaukolämpöverkon priimauksessa. Ajotyylien tarkempi toimintaperiaate on selitetty luvuissa 5.2.1 ja 5.2.2. Merivesipumppaamo tarvitsee toimiakseen merkittävän määrän niin mekaanisia kuin sähkö- ja automaation laitteita. Prosessin kulun voi kuitenkin yksinkertaistaa laitoksen päälaitteisiin: merivesilämmönsiirtimiin, merivesipumppuihin ja merivesisuodattimiin.

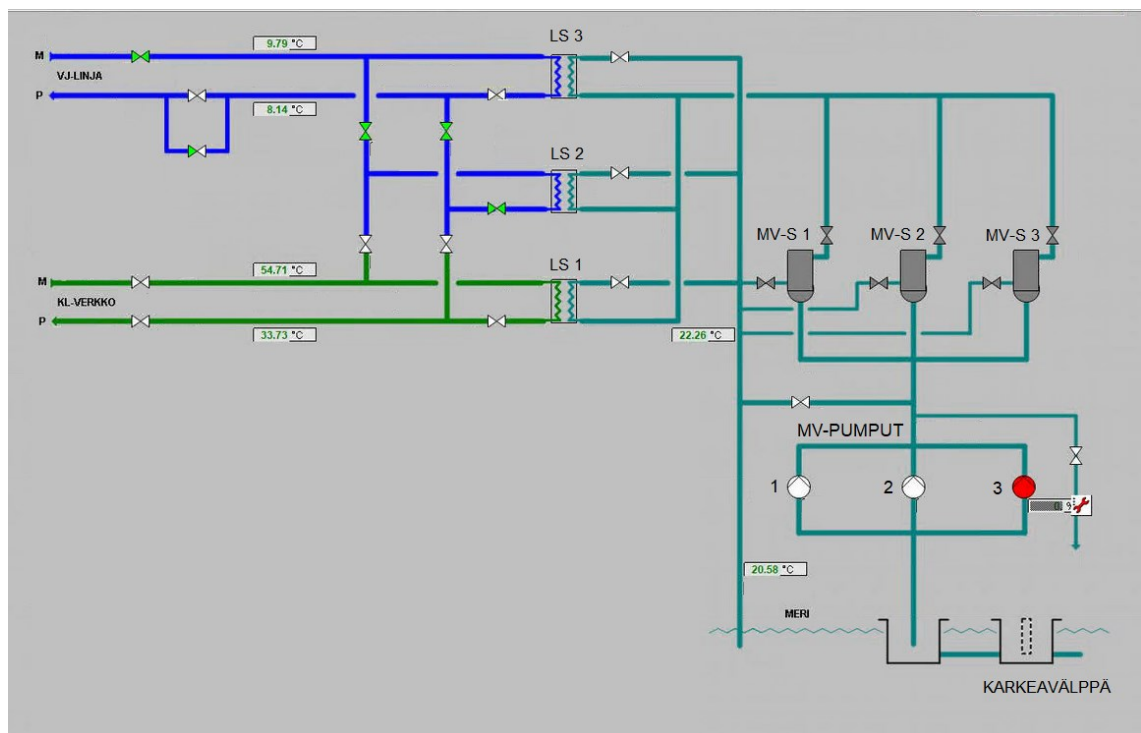
Prosessi alkaa, kun uppopesäinen merivesipumppu alkaa pumppaamaan laitoksen alla olevasta merivesikanavasta merivettä. Merivedestä on esisuodatettu suurimmat roskat ja epäpuhtaudet karkeaväljän avulla. Käynnistyvien pumppujen määrä riippuu tuotantotarpeesta [13]. Jotta merivettä voidaan hyödyntää tehokkaasti lämmönsiirtimillä, tulee vedestä suodattaa mahdollisimman paljon epäpuhtauksia. Suodatus toteutetaan kuvassa 6 näkyvien merivesisuodattimien avulla.



Kuva 6. Prosessissa olevat Bernoulli-suodattimet.

Tuotantotavasta riippuen viileää merivettä hyödynnetään joko vapaajähdytyksen tuotannossa tai kaukolämpöverkon priimauksessa. Kuvasta 7 huomataan esimerkkinä toimivien prosessiarvojen avulla, miten kaukolämpöverkon priimaus ja vapaajähdytyksen tuotanto tapahtuvat käytännössä. Ajotapakaaviossa merivettä sisältävät linjat on kuvattu turkoosilla värityksellä. Merivesipumppu 3 näkyy ajotapakuvassa punaisena, koska pumppu ei ole prosessissa.

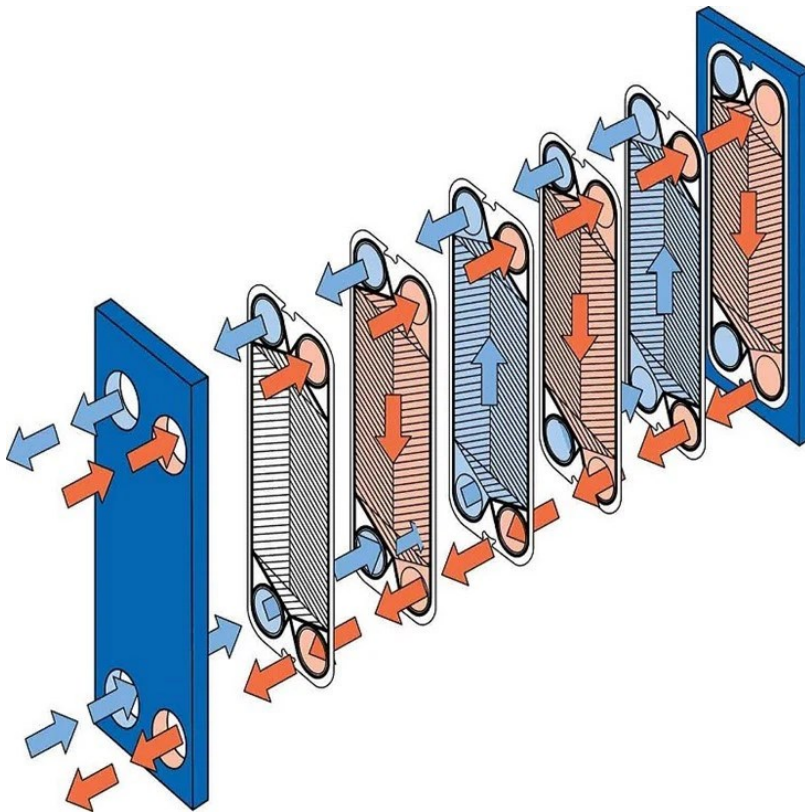
Tuotantotavasta riippumatta mereen palautetaan lämpimämpää vettä kuin sieltä otettiin. Mereen palautettavan veden lämpötilarajaa ohjaa laitoksen ympäristölupa. Myös otetun ja palautettavan veden määrä on määritelty ympäristöluvassa. Jotta mereen palautettavan veden lämpötila saadaan tuotua mahdollisimman alhaiseksi, sekoitetaan laitokselta poistuvaan veteen kylmää merivettä shunttiventtiilin avulla. [13.]



Kuva 7. Pumppaamon yksinkertaistettu ajotapakaavio. Muokattu näyttökaappaus laitoksen valvomon näytöltä.

### 5.2.1 Vapaajäähdytys merivedellä

Vapaajäähdyksen tuotannossa hyödynnetään kylmän meriveden sisältämää energiaa. Prosessi on edullinen ja ympäristöystävällinen, eikä tuotantoon tarvita laitteiden osalta kuin pumppu, suodatin ja lämmönsiirrin. Vapaajäähdytyksessä pumppaamolle tuleva kaukojäähdytysvesi luovuttaa lämpöä matalammissa lämpötilassa olevaan meriveteen ja kaukojäähdytysverkkoon palautuu viileämpää vettä, kuvan 7 tapauksessa noin 8-asteisena. Vapaajäähdytyksen tuotannossa meriveden tulee olla tarpeeksi kylmää, jotta lämpö siirtyy. Tuotannon aikana kaukojäähdytysvesi ja merivesi virtaavat kuvan 8 mukaisesti omissa kanavissaan lämmönsiirtimen sisällä. Vapaajäähdytyksen tuotantoa hyödynnetään usein keväisin, kun merivesi on vielä viileää, mutta jäähdytyksen tuotannolle on jo tarvetta. [13.]



Kuva 8. Levylämmönsiirtimen toimintaperiaate [14].

## 5.2.2 Kaukolämpöverkon priimaus

Kaukolämpöverkon priimauksella tarkoitetaan prosessia, jossa kaukolämpötehoa poistetaan kaukolämpöverkosta. Merivesipumppaamo X:n tapauksessa KL-verkon priimaus toteutetaan siirtämällä lämpöteho lämmönsiirtimen avulla meriveteen. Kuvasta 7 nähdään, miten kaukolämpöverkolta pumppaamolle saapuva noin 55-asteinen vesi palaa takaisin kaukolämpöverkkoon noin 34-asteisena sen jälkeen, kun lämmin vesi on kiertänyt lämmönsiirtimen numero 1 läpi ja luovuttanut lämpöenergiaansa meriveteen. Kuten luvussa 5.2 aikaisemmin mainittiin, laitoksen ympäristölupa asettaa mereen palautettavan veden lämpötilalle ylärajan. [15.]

Kaukolämpöverkon priimauksen tarpeen taustalla voi olla esimerkiksi verkon yhteydessä olevat hukkalämmönlähteet, kuten datakeskukset, jotka aiheuttavat ylimääräistä lämpöenergiaa kaukolämpöverkkoon. Tyypillisesti kaukolämpöverkon priimausta toteutetaan kesäkaudella kun lämmön kysyntä on pienimmillään, tai vaihtoehtoisesti tilanteessa, jossa tuotannon kysyntä ja kulutus eivät kohta. Kaukolämpöverkon priimausta voidaan toteuttaa myös silloin, kun sähkön ja lämmön yhteistuotannossa priorisoidaan sähkön tuotanto eikä lämmölle ole tarvetta. [15.]

## 5.3 Kunnossapito merivedelle altistuville laitteille

### 5.3.1 Meriveden ominaisuudet ja materiaalivalinnat

Meriveden käyttö energiantuotannossa aiheuttaa ylimääräisiä vaatimuksia laitteiden kunnossapidolle. Meriveden puhtaus vaihtelee ja se sisältää epäpuhtauksia, kuten levää ja hiekkaa. Meriveden ominaisuuksista haasteellisin lienee kuitenkin sen syövyttävyys. Merivesi sisältää makeaan veteen verrattuna suuren määrän natriumkloridia, eli suolaa. Virtaavissa prosesseissa syntyvän korroosioon määrään vaikuttavat suolaisuuden lisäksi myös veden lämpötila, virtausnopeus sekä biologiset prosessit [16, s. 168]. Korroosioon voi liittyä kemiallisen tai sähkökemiallisen reaktion lisäksi myös veden virtauksen

aiheuttama mekaaninen rasitus. Esimerkiksi putkistovirtauksessa sijaitsevat putkien mutkat, haarat tai muut turbulenttisen virtauksen pisteet ovat alttiita eroosiolle. Tällöin kyseessä on eroosikorrosio. Kavitaatiokorroosiota voi ilmetä esimerkiksi pumppujen pyörivissä osissa, kun virtaavalla nesteellä on suuri virtausnopeus ja rakenteen pinnalla ilmenee paineen nopeaa vaihtelua. [16, s. 169.]

Materiaalivalinnat ovat ensisijainen keino ehkäistä korroosion syntyä. Duplex-teräs (merivesipumpun pesä), titaani (levylämmönsiirtimen lämmönsiirtolevy) ja lasikuitu (merivesisuodattimen runko) ovat esimerkkejä merivedelle soveltuvista materiaaleista, joita on hyödynnetty merivesipumppaamo X:ssä. Laitoksen suunnittelu- ja käyttövaiheessa tulisi välttää käyttämästä jalousasteeltaan erilaisten metallien liitoksia, sekä minimoida jännitysten, ahtaiden kolojen ja vesitaskujen määrää [16, s. 170]. Metallisten laitteiden korroosiota voidaan hidastaa pinnoituksen avulla. Pinnoitusaineena voidaan hyödyntää toista metallia, muovia, bitumia tai vaihtoehtoisesti korroosionestomaalia [16, s. 170]. Korroosiota voidaan hidastaa oikeiden materiaalivalintojen avulla, mutta mikäli laitteiden elinkaari halutaan maksimoida, tulee niille toteuttaa myös oikea-aikaista kunnossapitoa.

### 5.3.2 Laitteiden kunnossapito

Alla on listattu muutamia esimerkkejä, miten meriveden vaikutus huomioidaan laitteiden kunnossapidossa toimeksiantajayrityksessä.

#### Merivesilämmönsiirtimet

Merivesilämmönsiirtimien käytön aikaisessa kunnossapidossa pesujen merkitys korostuu. Merivesipumppaamo X:ssä käytetyt lämmönsiirtimet ovat levylämmönsiirtimiä. Levylämmönsiirtimen lämmönsiirtolevyt on valmistettu titaanista, jotta ne kestäisivät meriveden syövyttävän vaikutuksen. Biologiset epäpuhtaudet ja mekaaniset partikkelit aiheuttavat ajan myötä likakerroksen vaihtimen levyjen pinnalle. Likaantuminen aiheuttaa virtausvastuksen, joka

vuorostaan vähentää lämmönsiirtimien lämmönsiirtokerrointa [17, s. 7]. Tästä johtuen, merivesilämmönsiirtimiä tulisi pestä sisäisesti noin kerran vuodessa CIP (*Cleaning in Place*) -pesurilla tai kun prosessiarvoissa havaitaan merkkejä lämmönsiirtimien tehon laskusta tai virtaaman vähentymisestä. CIP-pesurilla tehtävässä sisäisessä pesussa kohdelämmönsiirrin erotetaan muusta prosessista ja sen levyjen välissä kierrätetään joko emäksistä tai hapanta pesuainetta.

### Merivesisuodattimet

Meriveden sisältämiä epäpuhtauksia pyritään poistamaan mahdollisimman paljon ennen veden pääsyä lämmönvaihtimille. Bernoulli-merivesisuodattimet suojelevat lämmönsiirtimiä poistamalla niille johdettavasta merivedestä levää, hiekkaa ja muita pieniä roskia. Bernoulli-suodattimissa on automaattinen huuhtelutoiminto, jonka avulla suodatinkoriin kertyneet epäpuhtaudet poistuvat takaisin mereen. Suodattimille tehtäviin vuosihuoltotoimenpiteisiin kuuluvat muun muassa laitteen pesu sen sisälle kertyneestä liasta, tiivisteiden tarkastus sekä laitteen yleisen kunnon tarkastus.

### Merivesipumput

Prosessissa olevat uppopesäiset merivesipumput ovat jatkuvasti altistuneita merivedelle. Merivesipumpun kunnossapidossa pyritään estämään pumpun rakenteiden ja muiden osien syöpyminen. Korroosion syntyä voidaan hidastaa niin kutsuttujen ”sinkkien” käytöllä (kuva 9). Sinkki toimii uhrimetallina muodostaen galvaanisen parin sen metallin kanssa jonka kanssa se on kosketuksissa. Sinkin ollessa duplex-terästä epäjalompi metalli se hapettuu ensimmäiseksi ja suojeltava metalli säästyy [16, s. 171]. Sinkkejä olisi hyvä vaihtaa tasaisin väliajoin, esimerkiksi 1–2 vuoden välein. Merivesipumppujen kunnossapidossa on myös olennaista tehdä silmämääräisiä havaintoja pumpun pesässä, imukaulassa ja juoksusiivistössä tapahtuvista syöpmistä huoltotöiden yhteydessä. Tyypillisesti uppopesäinen merivesipumppu perushuolletaan arviolta 6–8 vuoden välein. Merivesipumppujen perushuollossa pesärakenteet

entisöidään hiekkapuhaltamalla ensin metallin pinta puhtaaksi, minkä jälkeen pesä käsitellään korroosiota estävällä maalilla, kuten epoksimaalilla.

Perushuoltojen välissä osana merivesipumpulle suoritettavaa ennakoivaa kunnossapitoa koulutettu laitesukeltaja voi käydä vaihtamassa pumppuun sinkkipalat ja suorittaa silmämääräisen tarkastuksen pumpun rakenteista, mikäli sukellukselle on edellytykset. Sukeltajalle ja sukellusvälineistölle tulee olla riittävästi tilaa, sekä ennen kaikkea sukelluksen tulee olla turvallista.



Kuva 9. Uusien sinkkien asennus merivesipumppuun [18]. Kuva ei liity insinööriyössä käsiteltäviin merivesipumppuihin.

### Sähkölaitteet

Elektroniikkaa sisältäville laitteille haasteeksi muodostuu ympäristöön haihtuva suola. Sähkömoottoreiden, toimilaitteiden sekä muiden elektronisten komponenttien osalta tärkein korroosiota estävä toimi on laitteiden asianmukainen eristys ja tiiveys. Meriveden kanssa kosketuksissa oleville laitteille, kuten antureille, tulee huomioida materiaalien korroosionkestävyys.

## 6 Tulokset

Insinööriyön tuloksena valmistui case-esimerkkinä toimivalle merivesipumppaamolle tehty pitkän tähtäimen suunnitelma, joka sisältää merivesipumppaamon prosessilaitekannan arvioidut huolto- ja investointitarpeet vuosille 2025–2040. Valmis suunnitelma sisältää 29 mekaanisen, sähkön ja automaation osaryhmien huolto- ja investointitoimenpidettä. Lisäksi suunnitelma sisältää kunkin toimenpiteen kustannusarviot ja vuositasolla olevan alustavan aikataulutuksen huoltotoille.

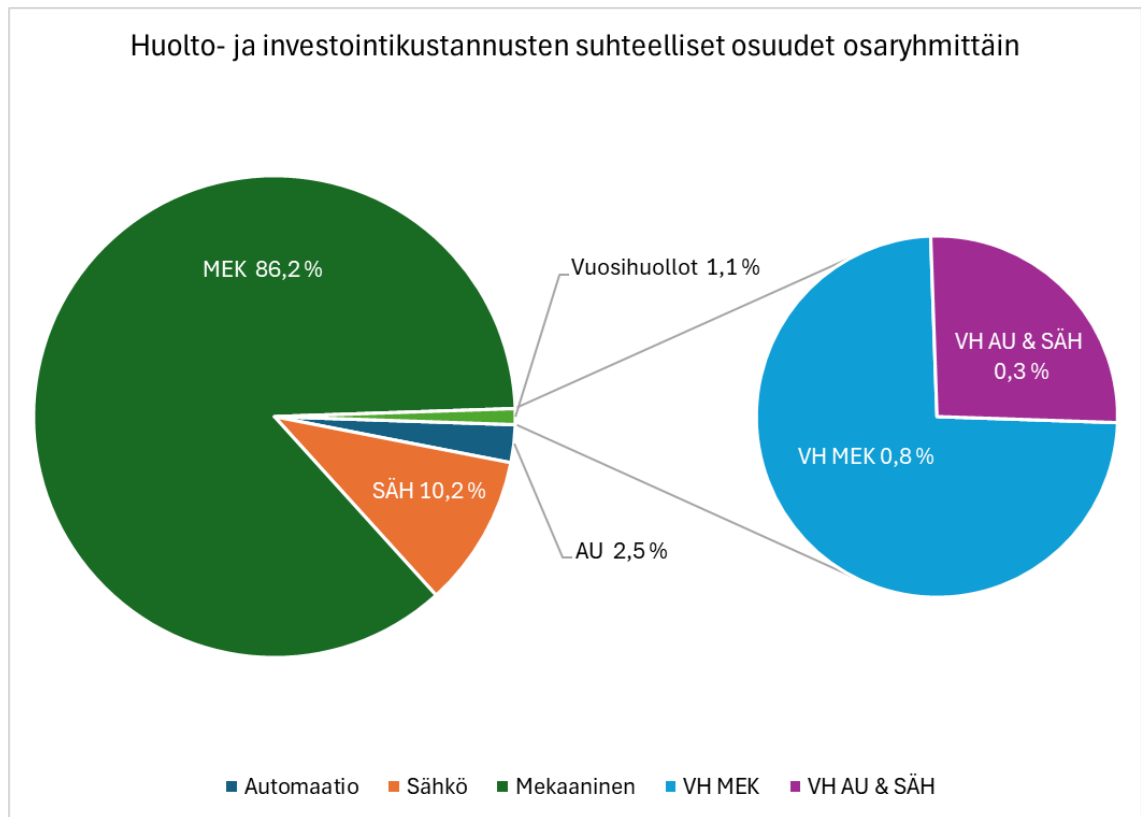
Tarkastelluilla prosessilaitteilla todettiin olevan merkittävä määrä kunnossapitovelkaa. Tästä syystä erityisesti toimenpiteiden ajoitus todettiin haastavaksi. Mikäli huoltotoimenpiteet olisi aikataulutettu valmistajien suositusten ja hyvien kunnossapitokäytänteiden mukaisesti, olisi PTS:n ensimmäiselle vuodelle tullut merkittävä määrä huolto- ja investointitoimenpiteitä, joita kaikkia ei todellisuudessa voitaisi kuitenkaan toteuttaa. Toimenpiteiden ajoituksessa päädyttiin priorisoimaan laitoksen toiminnan kannalta olennaisimpien kokonaisuuksien investoinnit ja huollot lähivuosille. Toimenpiteiden ajoituksessa pyrittiin myös välttämään suurten huoltojen ajoittamista samalle vuodelle, esimerkiksi kahta merivesipumppua ei ajoitettu huollettavaksi samana vuonna. Osa toimenpiteistä määritettiin toistuviksi, kuten esimerkiksi laitoksella tehtävät vuosihuollot.

### 6.1 Todetut investointi- ja huoltotarpeet

Toimeksiantajan edellyttämän salassapitovelvoitteen vuoksi kustannukset on esitetty suhteellisina prosentiosuuksina. Täten kukin kustannuslaji edustaa suhteellista osuutta kokonaiskustannuksista.

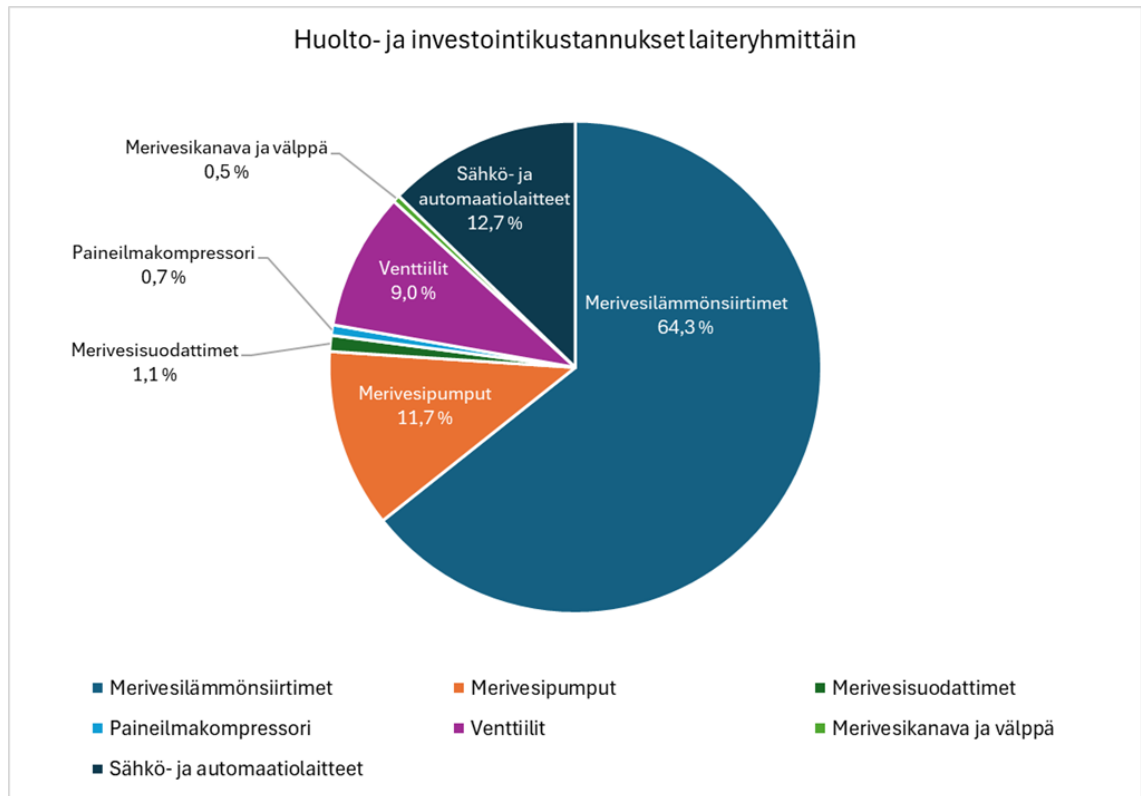
Kuvassa 10 on esitetty PTS:n sisältämien huolto- ja investointikustannusten jakautuminen osaryhmittäin. Kokonaiskustannuksissa on myös huomioitu vuosihuollot, joita on merkitty merkinnällä "VH". Valtaosa todetuista investointi- ja huoltokustannuksista kuuluu mekaanisen kunnossapidon osaryhmän alle,

sillä työssä oli ensisijaisesti tarkoituksena keskittyä mekaanisen osaryhmän laitteisiin.



Kuva 10. Huolto- ja investointikustannuksien jakautuminen osaryhmittäin.

Kuvassa 11 on esitetty, miten kustannukset jakautuvat laiteryhmittäin. Tässä esityksessä kukin kustannus esittää suhteellista osuutta kokonaiskustannuksista, joihin ei ole huomioitu vuosihuoltoihin liittyviä kustannuksia. Kustannuksien muodostumisen taustatekijät esitellään seuraavaksi luvusta 6.1.1 alkaen.



Kuva 11. Huolto- ja investointikustannuksien jakautuminen laiteryhmittäin.

### 6.1.1 Merivesilämmönsiirtimet

Lämmönsiirtimien todetut huolto- ja investointikustannukset olivat laiteryhmistä suurimmat noin 64,5 %:n osuudella kaikista todetuista huolto- ja investointikustannuksista. Kolmelle lämmönsiirtimelle kustannukset koostuvat uusien levytiivisteiden hankinta- ja asennuskuluista sekä uusien levypakkojen budjettihinnoista. Vuosittain tapahtuvien huoltotoimenpiteiden, kuten CIP-pesurilla tehtävien sisäisten pesujen, kustannukset on huomioitu mekaanisen osaryhmän vuosihuollon kustannuksissa.

Lämmönsiirtimiä koskevasta huoltohistoriasta saatiin selville, ettei lämmönsiirtimien sisäisiä levytiivisteitä ei ole koskaan uusittu, vaikka valmistajan suosituksena on vaihtaa levytiivisteet noin 15 vuoden välein. Alkuperäiset tiivisteet ovat olleet käytössä 19 vuotta. Levytiivisteiden materiaali on nitrili-kumi, joka kuivuu vanhetessaan eikä tiivistä enää oikein. Tiivisteiden

uusinnalla voidaan ennaltaehkäistä tuotannon aikaisia vuotoja ja välttyä pitkiltä tuotantokatkoilta äkillisen vikaantumisen ja huollontarpeen takia.

Kenttäkierroksen yhteydessä lämmönsiirtimien laippatiivisteiden todettiin olevan kuivuneita. Tiivisteiden ympärillä havaittiin myös korroosiota, joka voi viitata vuotoon tiivisteiden ympärillä (kuva 12). Kohteessa tehtyjen silmämääräisten havaintojen perusteella lämmönsiirtimien levytiivisteiden vaihto aikataulutettiin PTS:ssä mahdollisimman aikaiseen ajankohtaan vuodelle 2026.

Valmistaja ilmoittaa siirtimien levypakkojen elinkaareksi 30 vuotta, minkä vuoksi levypakkojen vaihto on ajankohtaista ensimmäisen kerran vuonna 2036. Levypakalla tarkoitetaan tässä yhteydessä noin 620 kappaletta titaanisia lämmönsiirtolevyjä tiivisteineen sisältävää pakkaa, joka voidaan asentaa lämmönsiirtimeen sellaisenaan. Levypakkojen vaihtoa ei kuitenkaan ajoitettu vielä suunnitelmaan, koska kokonaista levypakkaa vaihdetaan harvoin suoraan. Se on todella suuri investointi, ja usein ylimitoitettu ratkaisu lämmönsiirtimeen vuoto-ongelmiin. On tyypillisempää, että alkuperäisiä titaanilevyjä uudelleenprässätään niiden alkuperäiseen muotoonsa tai että levyjä vaihdetaan pienempi määrä kerrallaan.

Vaikka levypakkojen vaihtoa ei ajoitettu vielä tehtäväksi, uusien levypakkojen budjettikustannus haluttiin kuitenkin selvittää ja kirjata suunnitelmaan, jotta kaikki valmistajan suositukset olisivat huomioitu suunnitelmassa. Uuden levypakan budjettihinnan voidaan myös ajatella olevan skaalautuva, eli saadusta tarjouksesta voidaan arvioida kustannus myös pienemmälle määrälle lämmönsiirtolevyjä. Kolmen uuden levypakan kustannukset ovat noin 56,3 % kuvassa 11 esitetyistä kaikista todetuista huolto- ja investointikustannuksista, joissa ei ole huomioitu laitoksen vuosihuoltoja.



Kuva 12. Lämmönsiirtimen laippatiivisteiden ympärillä oleva korroosio.

### 6.1.2 Merivesipumput

Merivesipumppujen todetut huolto- ja investointikustannukset ovat arviolta 11,7 % kaikista todetuista huolto- ja investointikustannuksista. Kustannukset jakautuvat edelleen merivesipumppujen 1 ja 2 perushuoltojen kustannuksiin (9,4 %), sekä merivesipumpun 3 tarkastushuoltoon ja prosessiin siirtoon (2,3 %).

Merivesipumppujen perushuoltojen ajoituksessa käytettiin toimeksiantajayrityksen toimintamallia, jossa yhtenä vuonna huolletaan yksi pumppu. Useamman suuren pumpun huoltaminen samana vuonna on haaste taloudellisesti ja henkilöstöressurssien puolesta. Mikäli huolto epäonnistuu tai pitkittyy, se on myös riski tuotannolle. Merivesipumppujen 1 ja 2 ensimmäiset perushuollot määritettiin PTS:ään vuosille 2027 ja 2028. Merivesipumpun 3 tarkastushuolto ja käyttöönotto ajoitettiin vuodelle 2025, jolloin pumppu voisi

korvata toimintakuntoisena tuotantovajetta kun pumppujen 1 ja 2 huollot alkavat. Merivesipumppujen huoltovälin ollessa kahdeksan vuotta PTS:ään ajoitettiin myös perushuollot vuosille 2034–2036.

Merivesipumppujen perushuollon kustannuksien arviointi todettiin haasteelliseksi. Pumppuja 1 ja 2 ei ole perushuollettu koskaan, vaikka niiden suositeltu huoltoväli on kahdeksan vuotta. Voidaan olettaa, että 19 vuotta merivedessä olleiden pumppujen korroosion määrä on merkittävä. Perushuollon kustannukset ja työn kesto ovat riippuvaisia pumppujen todellisesta kunnosta, eikä siitä voida olla täysin varmoja etukäteen. Myös huoltoon tarvittavien materiaalien kustannusten arvioinnissa oli paljon epävarmuutta. Merivesipumppujen perushuollossa suurin osa huollon kustannuksista muodostuu korroosikorjauksesta ja uusien osien teettämisestä.

Merivesipumppujen 1 ja 2 ensimmäisten perushuoltojen kustannukset arvioitiin siten, että tyypillisten huoltokustannusten päälle lisättiin 25 % varmuuskerrointa materiaalien ja varaosien kustannuksissa. Vuosina 2034–2036 tapahtuvien huoltojen kustannuksissa varmuuskerrointa ei huomioitu, koska korroosiosta ja pumppujen käyttämättömyydestä johtuvaa huoltoa odotetaan olevan vähemmän.

Merivesipumppu 3 on perushuollettu vuonna 2014 ja varastoitu huollon jälkeen. Varastoinnin jälkeen pumppu tulee tarkastushuoltoa, jolloin sen laakerointi vaihdetaan sekä yleinen kuntoisuus tarkastetaan. Tarkastushuollon kustannuksien arvioitiin olevan pienemmät kuin perushuollon, sillä pumppu ei ole altistunut merivedelle 11 vuoteen, eikä sen odoteta tarvitsevan suurta korroosikäsitelyä. Merivesipumpun 3 käyttöönoton kustannuksissa huomioitiin asennustöiden lisäksi myös pumpun haalaus varastosta prosessiin.

### 6.1.3 Merivesisuodattimet

Merivesisuodattimien todetut huolto- ja investointikustannukset ovat arviolta 1,1 % kaikista todetuista huolto- ja investointikustannuksista. Kustannuksiin huomioitiin valmistajan suosittama perushuolto viiden vuoden välein, varaosien hankinta varastoon, sekä työn aikana syöpyneeksi havaittujen paine-erokytkimien vaihdosta syntyvät kustannukset. Paine-erokytkinten vaihto ajoitettiin heti toteutettavaksi vuonna 2025.

Varaosiin investointi lisättiin PTS:ään, jotta äkillisten vikaantumisten varalle suodattimen toiminnalle tärkeimmät varaosat olisivat heti saatavilla. Varaosien toimitusajat vaihtelevat viikoista kuukausiin ja niiden saatavuus voi olla ajoittain haasteellista. Varaosille allokoitua summaa ei määritetty tietyille varaosille, vaan investoinnin kokonaissumma arvioitiin aikaisemmin hankittujen varaosien budjettitarjousten perusteella. Summa voidaan myöhemmin jakaa tärkeäksi todettujen varaosien kesken kun suodattimien käyttöaste kasvaa.

Laitoksen huoltohistoriaa tutkiessa merivesisuodattimien todettiin olevan lähes ainoita mekaanisen osaryhmän laitteita, joita on huollettu tasaisin väliajoin. Tästä syystä ensimmäinen perushuolto ajoitettiin vasta vuodelle 2029. Toisin kuin merivesipumput, merivesisuodattimien perushuolto tehdään kaikille kolmelle suodattimelle samanaikaisesti. Suodattimet avataan ja niistä vaihdetaan ensisijaisesti tiivisteitä ja muita kuluneita vaihto-osia. Lopuksi suodattimet pestään perusteellisesti. Loput merivesisuodattimien perushuollot ajoitettiin PTS:ään vuosille 2034 ja 2039.

### 6.1.4 Paineilmakompressori

Laitoksella oleva paineilmakompressori toimii oheislaitteena merivesisuodattimille tuottaen järjestelmään paineilmaa.

Paineilmakompressorille todetut huolto- ja investointikustannukset ovat arviolta 0,7 % kaikista todetuista huolto- ja investointikustannuksista. Kustannuksiin on huomioitu paineilmakompressorin vuosihuolto, integroidun kuivaimen huolto

sekä paineilmakompressorin elinkaaren päätyttyä uuden laitteen hankintakustannukset.

Insinööriyön aikana paineilmakompressorille tehtiin vuosihuolto, jonka yhteydessä sen integroidun kuivaimen todettiin olevan rikkoutunut. Kuivaimen avulla tuotetusta paineilmasta poistetaan kosteutta, mutta se ei vaikuta merkittävästi laitteen toimintaan nykyisellä käyttöasteella. Kuivaimen korjaus aikataulutettiin kuitenkin vuodelle 2025 huollosta vastanneen toimittajan suosituksesta.

Paineilmakompressorin vaihdon ajankohtaisuus tulee arvioida viimeistään valmistajan ilmoittaman elinkaaren päätyttyä vuonna 2034. Vaihto voi tulla ajankohtaiseksi myös merkittävien vikaantumisten johdosta, jolloin laitteen korjaaminen ei ole enää taloudellisesti kannattavaa.

#### 6.1.5 Venttiilit

Venttiileille todetut huolto- ja investointikustannukset ovat arviolta 9 % kaikista todetuista huolto- ja investointikustannuksista. Venttiileitä koskevissa kustannuksissa huomioitiin eri venttiiliryhmien uusinnasta, tarkastuksesta ja huollosta syntyvät kustannukset. Kustannuksissa on osittain päällekkäisyyksiä, koska PTS:ssä on huomioitu venttiiliryhmittäin sekä tarkastuksia että laiteuusintoja. Esimerkiksi läppäventtiilit voidaan päättää vaihtaa uusiin paremman käyttövarmuuden takia tarkastusten ja huoltojen sijaan, minkä vuoksi investointi haluttiin laskea myös PTS:ään.

Tarkasteltu venttiilikanta on alkuperäistä laitoksen käyttöönottovuodelta 2006. Prosessissa olevia venttiileitä tarkasteltiin alla olevan listauksen mukaisesti ryhmittäin:

- takaiskuventtiilit (3 x DN600) ja laponestot (2 x DN100)
- varoventtiilit (DN20/32), 6 kpl
- merivesilinjan läppäventtiilit (DN100..DN700), 22 kpl
- merivesilinjan palloventtiilit (DN25...DN80), 26 kpl
- kaukolämpö- ja jäähdytyslinjojen läppäventtiilit (DN300...DN700), 15 kpl
- kaukolämpö- ja jäähdytyslinjojen palloventtiilit, 60 kpl.

Laitoksella oleville venttiileille ei ollut saatavilla suositeltua huolto- tai vaihtoväliä laitevalmistajilta tai toimittajilta. Venttiilin elinkaari on riippuvainen sen käyttöolosuhteista ja sille tehtävän huollon oikea-aikaisuudesta. Huoltohistorian perusteella venttiileitä ei ole huollettu koskaan. Tämän seurauksena tyypillistä elinkaarta ei voitu myöskään päätellä huoltohistorian perusteella. Venttiilin todellista kuntoa ei voida myöskään arvioida vain silmämääräisesti, sillä sisäinen vuoto ei näy ulospäin.

Laitoksen läppä- ja palloventtiilien osalta todettiin, että ne tulisi tarkastaa perusteellisesti, jotta niiden vaihto- ja huoltotarpeet voidaan määrittää. Systemaattisessa tarkastuksessa käydään läpi venttiilikohtaisesti venttiilin toiminta testaamalla, aukeaako venttiili kuten pitää, ja onko vuotoja havaittavissa. Venttiilin sisäinen vuoto testataan kahdennuksen avulla, eli tyhjentämällä venttiilin jälkeinen linjan osa vedestä. Jos venttiili vuotaa, kun linjan pitäisi olla tyhjä, on venttiili rikkoutunut. Venttiilikannan tarkastus ajoitettiin suunnitelmaan vuodelle 2026. Kustannuksiin on arvioitu myös tarvittavat teline- ja suunnittelutyöt.

Merivedelle 19 vuotta altistuneet venttiilit tunnistettiin venttiilikannan heikoimmaksi lenkiksi. Erityisesti merivedelle altistuneiden läppäventtiilien osalta syöpymät venttiililäpissä ovat jo lähes varmoja, ottaen huomioon venttiilien pitkän käyttöiän. Läppäventtiilien elinkaari on tyypillisesti lyhempi kuin

palloventtiilien, johtuen niiden heikommasta sisäisestä rakenteesta [11]. Kaikkien merivesilinjan läppäventtiilien uusinnasta syntyvät investointikustannukset kattavat valtaosan venttiileitä koskevista kustannuksista noin 73,1 %:n osuudella. Kustannukset tarkentuvat toimenpiteen toteutusvaiheessa, kun vaihdettavien venttiilien määrä ja sen hetkiset hankintakustannukset tiedetään.

Laitoksen prosessiasiantuntijaa haastateltaessa kävi ilmi, että merivesipumppujen takaiskuventtiilit ja/tai merivesilinjassa sijaitseva shunttausventtiili vuotavat mahdollisesti ilmaa prosessiin. Kustannuksiin huomioitiin kaksi eri vaihtoehtoa takaiskuventtiilien tarkastushuollolle ja vaihdoille. Vaihtoehtojen väliset erot kustannuksissa ovat suhteellisen pienet, koska huolto- ja vaihtotyössä tulee olla samanlaiset edellytykset. Toimenpide ajoitettiin suunnitelmassa vuodelle 2026.

Varoventtiilit toimivat varolaitteena merivesilämmönsiirtimille. Varoventtiilien avautumispaine tulisi tarkistaa koeponnistamalla venttiilit painepenkissä noin 2–5 vuoden välein. Prosessin toimintavarmuuden kannalta varoventtiilien kuntoa tulee tarkkailla ja arvioida tarkastuksen perusteella vaihtopäätös. Varoventtiilien pienen kokoluokan takia vaihtotyö voi olla pienempi kustannuksiltaan kuin nykyisten varoventtiilien kunnostamisesta syntyvät huoltokustannukset. Varoventtiilien toimintakelpoisuus määritettiin tärkeäksi, minkä vuoksi ensimmäiset koeponnistukset ajoitettiin suunnitelmaan vuodelle 2025.

#### 6.1.6 Sähkö- ja automaatiolaitteet

Laitoksen sähkö- ja automaatiolaittekannan huolto- ja investointitarpeita tarkasteltiin soveltuvin osin. Sähkö- ja automaatiolaitteiden todetut huolto- ja investointikustannukset ovat arviolta 12,7 % kaikista todetuista huolto- ja investointikustannuksista. Tarkasteltuja sähkö- ja automaatiolaitteita olivat venttiilitoimilaitteet, paikallisinstrumentit, merivesipumppujen sähkömoottorit ja merivesipumpun 3 taajuusmuuttaja.

Laitoksella on yhteensä 16 kpl Bernard Controls -venttiilitoimilaitteita, joiden avulla venttiilien toimintaa ohjataan joko auki- tai kiinni-asentoon. Säätoventtiilien tapauksessa toimilaitteella ohjataan venttiilin avautumaa. Toimilaitteiden kustannuksissa huomioitiin toimittajan suosittama huoltokartoitus, joka sisältää toimilaitteiden luomisen, laitteen toiminnan tarkastelun ja huollon tarpeen arvioinnit. Huoltokartoituksen pohjalta voidaan suunnitella tarpeellisia huoltoja ja varaosahankintaa. Huoltokartoituksen ajankohdaksi määritettiin vuosi 2025.

PTS:ssä huomioitiin myös investointikustannuksena nykyisten toimilaitteiden vaihto uusiin eri valmistajan toimilaitteisiin. Merivesipumppaamo X:n omistajalla on useampi muu tuotantolaitos, joissa suurimmassa osassa on käytössä tietyn eri valmistajan toimilaitteita. Yhteinen laitekanta luo edellytykset tehokkaammalle varaosahallinnalle ja huoltojen järjestämiselle. Luonnollisesti uusien laitteiden myötä myös käyttövarmuus paranee.

Paikallisinstrumentit ovat prosessiin sijoitettuja paikallismittauksia, joilla mitataan prosessiarvoja, kuten virtausta, lämpötilaa ja painetta. Merivesipumppaamo X:ssä on muutaman eri valmistajan paikallismittauksia yhteensä 30 kappaletta. Paikallismittausten elinkaariarvioita tiedusteltiin laitoksen automaatioasiantuntijalta, jonka arvion mukaan kaikki paikallisinstrumentit tulisi päivittää uusiin viimeistään vuonna 2030 laitoksen automaatiojärjestelmän uudistuksen yhteydessä. Paikallisinstrumenttien osalta laskennalliset elinkaaret ovat jo täyttyneet, mutta kaikkien mittausten samanaikainen vikaantuminen on epätodennäköistä. Kuitenkin, yksittäisiä mittauksia todennäköisesti joudutaan vaihtamaan jo ennen vuotta 2030.

Merivesipumppujen sähkömoottoreiden osalta kustannukset liittyvät perushuoltoihin. Tyypillisesti merivesipumpun sähkömoottori huolletaan samanaikaisesti pumpun kanssa, eli noin 7–8 vuoden välein. Ensimmäiset perushuollot on ajoitettu PTS:ään vuosille 2026–2028.

Insinööriyötä tehdessä kävi ilmi, että merivesipumpun 3 sähkömoottorin taajuusmuuttajasta oli aikaisemmin poistettu osia varaosiksi toiseen taajuusmuuttajaan. Taajuusmuuttajan toimintakuntoiseksi saattaminen edellyttää uuden mikropiirikortin hankkimista sekä taajuusmuuttajan perushuoltoa, joka ajoitettiin PTS:ssä vuodelle 2026.

#### 6.1.7 Merivesikanava ja välppä

Merivesikanavan, lauhdekanavan sekä välppärakennuksen todetut huolto- ja investointikustannukset ovat arviolta 0,5 % kaikista todetuista huolto- ja investointikustannuksista. Merivesikanavan kunnossapito haluttiin huomioida PTS:ssä, koska kanavia ei ole tiedettävästi koskaan tarkastettu ja puhdistettu. On todennäköistä, että kanavissa on runsaasti vuosien saatossa kertynyttä mutaa ja likaa, jotka voivat aiheuttaa prosessille haittaa. Mudan poistossa hyödynnetään imuautoa ja laitesukeltajaa. Merivesikanavan puhdistus määritettiin noin 2 vuoden välein tapahtuvaksi toimenpiteeksi, joista ensimmäinen olisi vuonna 2026.

#### 6.1.8 Vuosihuollot

Toimeksiantajayrityksessä tehdyt pitkän tähtäimen suunnitelmat eivät yleensä sisällä vuosihuolloista syntyviä kustannuksia, mutta koska merivesipumppaamo X:n mekaanisen osaryhmän laitteille ei ollut saatavilla kunnossapitosuunnitelmaa, haluttiin PTS:ään kartoittaa karkea kustannus myös tulevista vuosihuollon kuluista. Kokonaisuudessaan vuosihuoltojen kustannukset kattavat 1,1 % koko PTS:n kustannuksista, josta mekaanisen vuosihuollon osuus on 0,8 % ja loput 0,3 % ovat sähkö- ja automaatiolaitteisiin liittyviä vuosihuoltokustannuksia.

Mekaanisen vuosihuollon kustannuksien arvioinnissa hyödynnettiin vastaavien laitteiden kunnossapidon raportointia, josta kävi ilmi kunkin laitteen huollon kesto ja materiaalien arvioituja kustannuksia. Mekaanisten laitteiden vuosihuolto sisältää lämmönsiirtimien pesut CIP-pesurilla, merivesipumppujen rasvaukset,

mutasihtien pesut, Bernoulli-suodattimien pesut, välppärakennuksen karkeasihdin puhdistuksen, ympäristön siistimisen, raportoinnin sekä kunnossapitosuunnittelijan työt.

Sähkö- ja automaatiolaitteiden vuosihuoltokustannukset arvioitiin aikaisempien vuosien toteutuneista vuosihuolloista. Vuosihuolto S&A sisältää toimilaitteiden tarkastukset, sähkökeskusten huollot, automaatiolaitteiden tarkastuksen, ympäristön siistimisen, raportoinnin sekä kunnossapitosuunnittelijan työt.

## 6.2 Suositukset käyttövarmuuden parantamiseksi

Insinööriyön keskeisenä havaintona on, että merivesipumppaamo X:n laitekannalla on merkittävä määrä kunnossapitovelkaa. Tarkasteltu laitekanta on keskimääräisesti 19 vuotta vanhaa, eikä sille ole toteutettu systemaattista kunnossapitoa. Kunnossapitovelan on annettu tietoisesti syntyä, sillä laitoksen tuotannolle ei ole ollut tarvetta. Laitoksen tuotantoasteen arvioidaan kuitenkin lisääntyvän tulevina vuosina merkittävästi, mikä aiheuttaa haasteita laitoksen kunnossapidon suunnitteluun. Mitä pidempään laitoksen annetaan kerryttää kunnossapitovelkaa, sitä suuremmat sen laitekannan huolto- ja investointikustannukset tulevat olemaan tulevaisuudessa.

Merkittävää kunnossapitovelkaa ei todennäköisesti pystytä korjaamaan pelkkien vuosihuoltojen avulla. Laitokselle olisi suositeltavaa toteuttaa modernisointi, jossa laitekantaa uusitaan ja kunnostetaan. Suunnitellussa modernisoinnissa minimoidaan äkillisistä vikaantumisista syntyvät riskit tuotannolle, jotka ovat mahdollisia laitteiden nykytilassa. Modernisoinnissa laitteet joko uudistetaan tai kunnostetaan kokonaisuuksina. Modernisoinnin etuna on uusintojen myötä saatu ymmärrys saavutetusta käyttövarmuudesta, sekä sen kustannustehokkuus yksittäisiin laitevaihtoihin verrattuna.

Työn aikana todettiin, että merivesipumppaamo X:n kunnossapito- ja käyttöorganisaatiolla sekä laitoksen omistajalla tulisi olla yhteinen ymmärrys laitoksen halutusta käyttövarmuudesta, sekä tulevaisuudessa tapahtuvan

tuotannon määrästä. Merivesipumppaamo X:n tuotantotarpeen on arvioitu kasvavan lähivuosina merkittävästi. Huoltamatta jättämisestä syntyvä käyttövarmuusriski on nolla prosenttia sellaiselle tuotantolaitokselle, jonka tuotantoa ei tarvita. Vastaavalla ajattelulla voidaan siis todeta, että merivesipumppaamo X:n käyttövarmuuden riskitaso ei ole mitätön. Tällä hetkellä laitoksen tuotannolle syntyviä riskejä ei kuitenkaan pystytä mielekkäällä tavalla arvioimaan. Tieto halutusta käytettävyydestä ohjaa huoltoja suunnittelupöydältä toteutukseen, sekä myös tuotantoa voidaan ohjata kunnossapidon tarpeet huomioiden.

Tässä työssä investointi- ja huoltotarpeiden määrityksessä ja ajoituksessa hyödynnettiin kunnossapitäjien asiantuntemusta sekä laitevalmistajien suosituksia. Laitoksen mekaanisen osaryhmän laitteille olisi kuitenkin suositeltavaa tehdä kunnossapitosuunnitelma, jossa huoltotoimenpiteiden ajoituksessa ja toteutuksen kiireellisyydessä huomioitaisiin myös laitteiden kriittisyys. Standardissa PSK 6800 kohteen kriittisyys kuvataan ominaisuutena, joka kuvaa kohteeseen liittyvän riskin suuruutta. Riskit voivat olla henkilövahinkoihin tai aineellisiin vahinkoihin, tuotannon menetykseen tai muihin ei hyväksyttäviin seurauksiin liittyviä [7, s. 148].

Muissa toimeksiantajayrityksen kunnossapitämissä laitoksissa on käytössä kuvan 13 mukainen kriittisyysluokittelumalli, joka pohjautuu PSK-standardeihin. Laitteiden kriittisyys määritetään luokittelemalla ne kirjaimilla A–D sen mukaisesti, kuinka tärkeitä ne ovat laitoksen toiminnalle. Kirjaimella N merkitään laitteita, joiden kriittisyyttä ei ole vielä määritetty [19, s. 10–11]. Kriittisyysluokittelun avulla laitteiden vikaantumisen seurauksista, sekä koko tuotantolaitoksen suurimmista ongelmakohdista saadaan karkea ymmärrys. Nykyisessä muodossaan PTS ei sisällä tietoa laitteiden kriittisyydestä, eikä sitä voitu hyödyntää toimenpiteiden ajoituksessa.

	Kuvaus	Selitys
A	Kriittinen	Laitteet, järjestelmät ja komponentit, jotka voivat aiheuttaa turvallisuusriskin tai merkittävän ympäristö-/taloudellisen riskin, tai niiden toimintahäiriöstä tai konerikosta voi aiheutua koko laitoksen seisoksi (tuotanto seis).
B	Tärkeä	Laitteet, järjestelmät ja komponentit, jotka voivat aiheuttaa osittaisen tuotantoprosessin (esim. kattilan) seisokin johtuen niiden toiminta häiriöstä tai konerikosta sekä pidempään kestävästä häiriöstä aiheuttaa koko tuotantolinjan seisokin tai aiheuttaa ympäristöriskin. Tämä koskee myös varalaitteita sekä varajärjestelmiä, jotka voivat vähentää tuotantomäärää tai huonontaa laatua.
C	Korvattavissa	Laitteet, järjestelmät ja komponentit, jotka voidaan korvata varayksiköllä tai toisella tuotantolinjalla ilman tuotanto- tai laatutappioita.
D	Ei kriittinen	Laitteet, järjestelmät ja komponentit mitkä eivät aiheuta ongelmia tuotantoon. Yleisesti apulaitteistot ja -välineet kuuluvat tähän luokkaan.
N	Ei määritelty	Laitteen kriittisyyttä ei ole vielä määritetty.

Kuva 13. Laitteiden kriittisyysluokittelu [19, s. 11].

Kunnossapitosuunnitelmassa olisi myös hyvä huomioida laitteiden elinkaarien määrittäminen. Laitteelle tulisi määrittää elinkaari, aina kun laitteita uusitaan tai kunnostetaan. Elinkaaren päätyttyä laitteen vaihtotarve voidaan tiedostaa paremmin, jolloin kunnossapitovelkaa syntyy todennäköisesti jatkossa vähemmän.

Merivesipumppaamo X:n käyttövarmuutta arvioidessa tulee ottaa huomioon myös sen rooli siihen kytkeytyvässä kauko- ja jäähdytysverkossa. Laitoksen kriittisyys koko verkon tuotannolle tulisi määrittää, jotta tuotannonmenetyksien ja kustannusten suhdetta voitaisiin paremmin arvioida. On todennäköistä, että kun laitoksen tuotannollinen käyttö alkaa pitkän käyttämättömyyden jälkeen laitteiden vikaantumisia ilmenee. Äkilliset laiterikot voivat aiheuttaa pahimmillaan pitkiäkin tuotantokatkoksia. Erityisesti laitoksen rooli kaukolämpöverkon priimauksessa, jonka tarpeen arvioidaan kasvavan tulevaisuudessa, aiheuttaa tietyn vaatimustason laitoksen käytettävyydelle. Merivesipumppaamo X:n tuotantotarve on suurimmillaan kesällä, ja siksi mahdollinen modernisointi ja muut kunnossapitotyöt tulisi sijoittaa joko syys- ja/tai talvikaudelle.

## 7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli luoda eräälle merivesipumppaamolle pitkän tähtäimen suunnitelma vuosille 2025–2040. Excel-taulukkoon tehty suunnitelma sisältää prosessilaitekannalle arvioidut huolto- ja investointikustannukset, sekä perustelut toimenpiteille ajoituksineen. Lisäksi työssä pyrittiin tekemään havaintoja riskeistä, jotka voivat vaikuttaa laitteiden ja koko laitoksen käyttövarmuuteen.

Työn tuloksena valmistui Excel-taulukkomuodossa oleva pitkän tähtäimen suunnitelma, joka sisältää 29 kappaletta mekaanisen, sähkön ja automaation osaryhmien huolto- ja investointitoimenpidettä. Lisäksi suunnitelma sisältää kunkin toimenpiteen kustannusarviot ja vuositasolla olevan alustavan aikataulutuksen huoltotoille. Työn toteuttamisessa keskeisinä menetelminä hyödynnettiin laitoskierroksia, asiantuntijoiden ja laitevalmistajien lausuntoja sekä saatavilla olleita laite- ja laitosdokumentointia. Työn teoreettinen tausta koostui kunnossapidon ja käyttövarmuuden teoriasta ja standardeista.

Työssä keskityttiin ensijaisesti mekaanisen osaryhmän laitteisiin, koska työn tekijällä oli niihin parhain tietotausta. Työn aloitusvaiheessa kuitenkin todettiin, että PTS:ään tulisi sisällyttää soveltuvien osin myös sähkö- ja automaatiotekniikan laitteiden investointi- ja huoltotarpeita, koska ne liittyvät olennaisesti laitoksen toimintaan. Tämän ansiosta työn tekijän ymmärrys sähkö- ja automaatiotekniikan laitteiden kunnossapidosta ja merkityksestä tuotantolaitoksessa parantui.

Työn keskeisenä tuloksena on laitoksen merkittävän kunnossapitovelan toteaminen. Kunnossapitovelan tunnistaminen on merkittävää, koska sen uskotaan ohjaavan kunnossapitäjiä ja laitoksen omistajaa panostamaan laitoksen kunnossapitoon aktiivisemmin. Insinööriyön tuloksena valmistunut PTS tarjoaa alustavan käsityksen merivesipumppaamo X:ää koskevien investointien suuruudesta ja tarpeellisuudesta. Tiedolla uskotaan olevan

merkittävää hyötyä laitoksen kunnossapidossa jatkossa, erityisesti suurten huoltojen ja investointipäätösten tukena.

PTS on luonteeltaan päivitettävä budjetoitityökalu, eli sen laatu ja tarkkuus paranevat vuosi vuodelta, kun kohteessa aloitetaan aktiivinen kunnossapitotöiden toteutus. Tässä työssä pyrittiin ensisijaisesti tunnistamaan sellaisia huolto- ja investointitarpeita, jotka pystyttiin määrittämään laitevalmistajien ja kunnossapitohenkilökunnan suosituksien perusteella. Suunnitelmaan ei tässä työssä sisälletetty kriittisyysluokittelua, mutta se tunnistettiin keinoksi, jolla PTS:n laatua voitaisiin parantaa.

## Lähteet

- 1 Me olemme Enersense. Verkkoaineisto. Enersense International Oyj. <<https://enersense.fi/tietoa-meista/>>. Luettu: 28.12.2024.
- 2 Industry. Verkkoaineisto. Enersense International Oyj. <<https://enersense.fi/palvelut/smart-industry/>>. Luettu: 28.12.2024.
- 3 Helenin kumppaneiksi Enersense ja Fimpec. 2022. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/uutiset/2022/helenin-kumppaneiksi-enersense-ja-fimpec>>. Luettu 28.12.2024.
- 4 Järviö, Jorma & Lehtiö, Taina. 2017. Kunnossapito. Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 6. täydennetty painos. Helsinki: Promaint ry.
- 5 SFS 13306:2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Suomen Standardisointiliitto.
- 6 PSK 6201. 2022. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 4. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 7 Mikkonen, Henry (toim.). 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-media Oy.
- 8 Lehtinen, Turkka. 2024. Käyttövarmuuskoulutus. Käyttövarmuuden perusteita. Esitysmateriaali. Yrityksen sisäinen aineisto. AFRY Finland Oy.
- 9 PSK 7501. 2010. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. 2. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 10 PSK 6800. 2008. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 11 Nieminen, Ari. 2025. Kunnossapitopäällikkö, Enersense IN Oy, Helsinki. Keskustelu 15.1.2025.
- 12 Kytö, Tomi. 2018. KKS-signaalitunnusjärjestelmän kehittäminen laitossuunnittelua varten. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 13 Tupasela, Joni. 2025. Prosessiasiantuntija, Enersense IN Oy, Helsinki. Haastattelu 10.1.2025.

- 14 How does a plate heat exchanger work. Verkkoaineisto. Alfa Laval. <<https://www.alfalaval.my/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/gasketed-plate-and-frame-heat-exchangers/heat-exchanger/how-plate-heat-exchanger-work/>>. Luettu 2.4.2025.
- 15 Vierikko, Tommi. 2025. Tuotantopäällikkö, Enersense IN Oy, Helsinki. Haastattelu 4.2.2025.
- 16 Hänninen, Hanna; Karppinen, Maarit; Leskelä, Markku & Pohjakallio, Maija. 2019. Tekniikan kemia. 14.–15. painos. Helsinki: Edita Publishing Oy.
- 17 Energiatehokas lämmönsiirto -opas. 2016. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas\\_lammonsiirto\\_opas.pdf](https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas_lammonsiirto_opas.pdf)>. Luettu 19.3.2025.
- 18 Sinkkipalojen asennus merivesipumppuun. 2013. Yrityksen sisäinen aineisto. Enersense IN Oy.
- 19 Niemi-Nikkola, Antti. 2023. Lämpöpumppulaitoksen mekaanisen kunnossapidon suunnitelma. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

## Käytettävyyden osatekijät

Käytettävyyden osatekijöiden väliset suhteet [7 s. 127; 6; 8].

