



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jukka Schreck

Varavoimalaitosten voiteluöljyjen näytteenoton kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

10.5.2021

Tekijä Otsikko	Jukka Schreck Varavoimalaitosten voiteluöljyjen näytteenoton kehittäminen
Sivumäärä Aika	27 sivua 10.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	energiantuotantomenetelmät
Ohjaajat	lehtori Miika Kuivikko
<p>Insinööriä tehtiin Fingrid Oyj:lle ja työn aiheena oli varavoimalaitosten voiteluöljyjärjestelmien näytteenoton kehittäminen. Työn tarkoituksena oli kehittää varavoimalaitosten voiteluöljyjärjestelmien näytteenottoa. Erityisesti tarkasteltiin näytteenottopaikkaa järjestelmästä, näytteenoton aikaväliä ja öljyanalyyseiden laajuutta. Näihin toimintatapoihin pyrittiin löytämään kehityskohteita haastattelujen, laitosvierailujen ja kirjallisten lähteiden pohjalta.</p> <p>Työ aloitettiin perehtymällä varavoimalaitosten voiteluöljyjärjestelmiin ja öljynäytteiden ottoon haastattelemalla laitoshenkilökuntaa ja vierailemalla laitoksilla. Tämän jälkeen haastateltiin aiheeseen liittyviä tahoja ja perehdyttiin kirjallisiin lähteisiin. Työn aikana vierailtiin myös Helen Oy:n varavoimalaitoksella ja Fortumin reservivoimalaitoksella.</p> <p>Työn tuloksena saatiin muutamia voiteluöljyjen kunnonvalvontaan liittyviä kehitysehdotuksia varavoimalaitoksille. Tämän lisäksi monet varavoimalaitoksilla käytössä olevat toimintatavat voitiin todeta asianmukaisiksi.</p>	
Avainsanat	varavoimalaitos, voiteluöljy, näytteenotto, öljyanalyysi

Author Title	Jukka Schreck Developing Lubricant Oil Sampling in Reserve Power Plants
Number of Pages Date	27 pages 10 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	Energy Engineering
Instructors	Miika Kuivikko, Senior Lecturer
<p>This bachelor's thesis about developing the lubricant oil sampling of reserve power plants was made for Fingrid Oyj. The goal of the thesis was to improve the lubricant oil sampling methods in reserve power plants. Especially close attention was paid to sampling intervals, sampling places and the extent of the oil analyses. Interviews, power plant visits and literary sources were used to create the improvement ideas.</p> <p>The first step of the project was getting familiar with the lubricant oil systems and sampling methods. This was done by visiting the power plants and interviewing the maintenance staff. After this, professionals of this field were interviewed, and literary sources were utilized. The project included visits to reserve power plant operated by Helen Oy and power plant operated by Fortum Oyj.</p> <p>The results of the project were a few improvement ideas for the reserve power plants. In addition to the improvement ideas, many oil sampling methods in use could be established as appropriate ways to conduct the oil sampling.</p>	
Keywords	reserve power plant, lubricant oil, sampling, oil analysis

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Fingridin esittely	1
2.1	Yrityksen esittely	1
2.2	Varavoimlaitokset	2
3	Varavoimlaitosten esittely	4
3.1	Lentokoneturbiinit	6
3.2	Teollisuusturbiinit	8
4	Lähtötilanne laitoksilla	10
4.1	Näytteenottoväli	10
4.2	Näytteenottoaika	11
4.3	Analyysien laajuus	13
4.4	Ongelmatilanteet	13
5	Lähteitä näytteenoton kehittämiseksi	14
5.1	Kirjalliset lähteet	14
5.2	Fluidlab	17
5.3	Kellosaaren varavoimalaitos	19
5.4	Meri-Porin voimalaitos	20
5.5	Patria	20
6	Tulokset	21
6.1	Näytteenottoväli	22
6.2	Näytteenottoaika	23
6.3	Analyysien laajuus	25
6.4	Toimenpide-ehdotukset kootusti	26
7	Yhteenveto	27

Lyhenteet

ASTM	American Society for Testing and Materials. Kansainvälinen standardisointijärjestö.
ICP	Inductively coupled plasma. Induktiivisesti kytketty plasma, alkuaineanalysointilaite.
ISO	International Organization For Standardization. Kansainvälinen standardisointijärjestö.
ppm	Parts per million. Miljoonasosa (mg/kg), suhteellinen mittayksikkö.
RPVOT	Rotating Pressure Vessel Oxidation Test. Happikuormitustesti.
TVO	Teollisuuden Voima Oyj.

1 Johdanto

Insinööriyön aiheena on Fingrid Oyj (Fingrid) varavoimalaitosten voiteluöljyjärjestelmien näytteenoton kehittäminen ja se toteutetaan yhteistyössä Fingridin kanssa. Fingrid on Suomen valtion ja suomalaisten eläkeyhtiöiden omistama sähköverkkoyhtiö, joka omistaa Suomen kantaverkon. [1.] Yksi Fingridin tehtävistä on kantaverkon häiriötilanteisiin varautuminen, ja varavoimalaitokset ovat olemassa näitä tilanteita varten.

Fingridin varavoimalaitosyksikön henkilökunta valitsi työn aiheen. Tähän mennessä voiteluöljyjärjestelmien näytteenotot ovat tulleet kunnossapitojärjestelmän ohjaamana. Yksikössä on pitkään nähty tarvetta näytteenoton kehittämiseksi ja insinööriyö tarjosi tähän hyvän mahdollisuuden.

Voiteluöljyjärjestelmien näytteenoton kehittämisen tavoitteena on vastata ainakin seuraaviin kysymyksiin. Mikä on sopiva näytteenottoväli? Mistä kohdasta järjestelmää öljynäyte tulisi ottaa? Mitä analyyseja öljynäytteille tulisi tehdä? Tavoitteiden saavuttamiseksi selvitetään ensin lähtötilanne laitostoimittajien ohjeista ja laitoshenkilökunnalta. Tämän jälkeen kehitysideoita ja vastauksia edellä mainittuihin kysymyksiin pyritään etsimään alan julkaisuista ja öljyanalyyseja tarjoavilta tahoilta. Työn aikana haastatellaan myös Helenin ja Fortumin edustajia ja hankitaan näin tietoa verrokkijärjestelmistä.

Työn ensisijaisena tavoitteena on tarjota mahdollisimman helposti käytännön toimintavoiksi muutettavia tuloksia. Insinööriyöraportin rakenne on seuraavanlainen. Johdannon jälkeen esitellään Fingrid tarkemmin ja käydään yksityiskohtaisemmin läpi varavoimalaitoksia. Tämän jälkeen esitellään varavoimalaitosten lähtötilanne, eri lähteistä saatua tietoa ja lopuksi esitellään työn tulokset.

2 Fingridin esittely

2.1 Yrityksen esittely

Fingrid Oyj perustettiin vuonna 1996 Suomen valtion, Imatran Voima Oy:n ja Pohjolan Voima Oy:n sopiessa kantaverkkoliiketoiminnan keskittämisestä yhteen yhtiöön [2].

Järjestelyn taustalla oli EU:n vaatimus sähkön tuotannon ja kantaverkkoliiketoiminnan eriyttämisestä. Fingrid omistaa kantaverkon lisäksi kaikki merkittävät ulkomaan yhteydet ja yhtiön tehtävänä on turvata varma sähkön saanti yhteiskunnassa ja edistää puhdasta ja markkinaehtoista sähköjärjestelmää [1].

Kantaverkkoon kuuluu noin 14 000 kilometriä voimajohtoa, 115 sähköasemaa ja 10 varavoimalaitosta. Vuonna 2020 Fingridin liikevaihto oli 682,5 miljoonaa euroa, liikevoitto 118,4 miljoonaa euroa ja työntekijöitä vuoden lopussa oli 408. Yrityksen liiketoiminta perustuu kantaverkkoon liittyneiltä asiakkailta perittäviin kantaverkkomaksuihin. Kantaverkon siirtovarmuus on tärkeä mittari yhtiön toiminnalle. Vuonna 2020 se oli 99,99995 prosenttia. [3, s. 55, 95, 41.]

Kantaverkon haltijana, Fingridillä on lakisääteinen tehtävä vastata sähköverkon tasapainosta. Tämä pitää sisällään normaaleissa tilanteissa tapahtuvan kulutuksen ja tuotannon tasapainottelun automaattisten taajuusreservien avulla sekä häiriötilanteisiin varautumisen. Parhaassa tapauksessa häiriötilanteet saadaan korjattua kulutuksen ja tuotannon joustoilla ja ulkomaanyhteyksiä hyödyntäen. Tämän lisäksi suurhäiriöihin varaudutaan taajuusohjatushäiriöreservillä ja varavoimalaitoksilla. [4.]

Suuressa häiriötilanteessa, esimerkiksi voimalaitoksen irtikytkeytyessä pois verkosta, ensin aktivoituu kulutus- ja tuotantokohteissa ylläpidetty taajuusohjattu häiriöreservi. Tämä reservi pyritään palauttamaan mahdollisimman nopeasti valmiuteen uutta häiriötä varten ostamalla säätösähkömarkkinoilta korvaavaa tuotantoa. Jos säätösähkömarkkinoihin ei voida turvautua, käynnistetään varavoimalaitoksia tarvittava määrä. Taajuusohjattu häiriöreservi käynnistyy muutamassa sekunnissa ja varavoimalaitosten käynnistymiseen menee alle 15 minuuttia. Häiriöreservit on mitoitettu niin, että ne riittävät korvaamaan suurimman tuotantolaitoksen tai siirtoyhteyden irti kytkeytymisen verkosta. [4.]

2.2 Varavoimalaitokset

Fingridin varavoimalaitokset ovat tyypiltään teollisuuskaasuturbiineita tai lentokoneen moottoreihin perustuvia kaasuturbiineita. Kaikki varavoimalaitokset käyttävät polttoaineenaan kevyttä polttoöljyä. Varavoimalaitokset ovat automatisoituja ja

miehittämättömiä ja Fingrid voi käynnistää ne häiriötilanteissa etäohjatusti. Taulukossa 1 on listattu varavoimalaitokset sijainnin mukaan.

Taulukko 1. Varavoimalaitokset. Taulukossa on esitelty varavoimalaitosten sijainti, kaasuturbiinin valmistaja ja tyyppi, laitoksen yhteisteho ja valmistusvuosi.

Voimalaitoksen sijainti	kaasuturbiinin valmistaja ja tyyppi	yhteisteho MW	Valmistusvuosi
Tolkkinen, Porvoo	Pratt&Whitney JT4A	4 x 20	1971–1973
Naantali	Pratt&Whitney JT4A	2 x 20	1974
Kilpilahti, Porvoo	Pratt&Whitney FT4C	1 x 27	1974
Huutokoski, Joroinen	Rolls-Royce Avon 1533	6 x 30	1971–1973
Kristiina, Kristiinankaupunki	Rolls-Royce Avon 1533	2 x 30	1971
Olkiluoto	Pratt&Whitney FT8-30	2 x 50	2007
Vaskiluoto, Vaasa	AEG-Kanis Frame 5	1 x 26	1974
Tahkoluoto, Pori	AEG-Kanis Frame 5	2 x 26	1974
Vanaja, Hämeenlinna	Stal GT120B	1 x 50	1970
Forssa	Ansaldo V94.2	2 x 166	2012

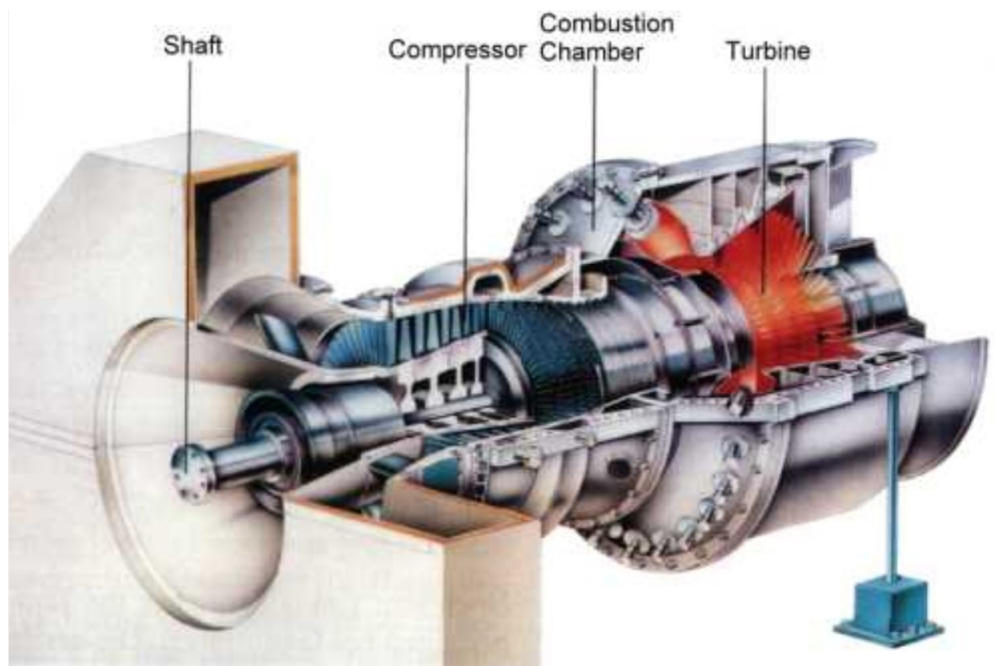
Varavoimalaitoksissa käytetään kaasuturbiineita nopean käynnistyvyyden, yksinkertaisen rakenteen ja edullisten rakennuskustannusten takia. Varavoimalaitosten käyttö- ja kunnossapitopalvelut on ulkoistettu. Varavoimalaitokset sijaitsevat pääasiassa rannikolla Vaasan ja Porvoon välillä. Varavoimalaitoksia koeajetaan kuuden viikon välein. Koeajoilla pyritään varmistamaan laitosten toimintavarmuus. Koeajoista koostuvat käyttötunnit ovat alle kymmenen tuntia vuodessa. Kuvassa 1 näkyy Huutokosken varavoimalaitos. Laitos sijaitsee Huutokosken sähköaseman yhteydessä.



Kuva 1. Huutokosken varavoimalaitos. Kuvassa on varavoimalaitoksen kuusi yksikköä ja polttoainesäiliöt.

3 Varavoimalaitosten esittely

Kaasuturbiini on lämpövoimakone, jossa polttoaineen energiaa muutetaan lämmön kautta mekaaniseksi energiaksi. Kaasuturbiinin muodostavat kolme pääosaa: kompressori, polttokammio ja turbiini. Kompressori tuottaa polttokammioon korkeapaineista ilmaa palamisprosessia varten. Palamisessa syntyneet palokaasut ohjataan turbiiniin, missä ne laajetessaan kehittävät hyötytehoa ja kompressorin käyttöön vaadittavan omakäyttötehon. [5, s. 204.] Fingridin varavoimalaitosten hyötysuhteet ovat noin 30 prosenttia. Vanhoissa voimalaitoksissa jäädytään tämän alle ja uudemmissa laitoksissa hyötysuhde on parempi. Kuva 2 on havainnekuva kaasuturbiinista. Hyötyteho hyödynnetään akselin avulla, ja voimalaitoksessa akselilla pyöritetään generaattoria.



Kuva 2. Havainnekuva teollisuuskaasuturbiinista. Kuvassa on nimettyä kaasuturbiinin tärkeimmät osat, kompressor, polttokammio, turbiini ja akseli. [6.]

Fingridin varavoimalaitoksilla käytettävät kaasuturbiinit voidaan jakaa teollisuuskaasuturbiineihin ja lentokoneen moottoriin perustuviin kaasuturbiineihin. Taulukon 1 listauksesta Pratt&Whitneyn ja Rolls-Roycen valmistavat kaasuturbiinit ovat lentokoneen moottoreihin perustuvia malleja.

Molempien turbiinimallien toiminta noudattelee kaasuturbiinien peruseriäitä, ja kaasuturbiinien pääosat löytyvät sekä teollisuusturbiineista että lentokoneen moottoreista. Suurena erona mallien välillä on se, että yleensä teollisuusturbiineissa kaikki osat kompressorista generaattoriin muodostavat samalla akselilla olevan kokonaisuuden. Lentokoneen moottoreihin perustuvissa voimalaitoksissa kompressorista, polttokammioista ja kompressoria pyörittävästä turbiinista koostuva lentokoneen moottori on erotettu omaksi kokonaisuudekseen. Tämä tarkoittaa sitä, että lentokoneen moottorin, eli kaasunkehittimen, tuottamat palokaasut ohjataan erillisellä akselilla sijaitsevaan voimaturbiiniin, joka pyörittää generaattoria. Lentokoneen moottoreihin perustuviin kaasuturbiineihin viitataan jatkossa kaasunkehittiminä.

Voiteluöljyjärjestelmät

Voiteluöljyn pääasiallinen tehtävä on voidella laakereita muodostamalla voitelukalvo pintojen välille. Oikein toteutettu voitelu pienentää kitkaa ja siitä aiheutuvaa häviötehoa, sekä vähentää kulumista. Voiteluöljyn tärkeimpiin tehtäviin kuuluu myös laakereiden jäähdyttäminen, epäpuhtauksien pois kuljettaminen, värähtelyn vaimentaminen ja osien suojaaminen korroosiolta. Voiteluöljyn kunnonvalvonnalla seurataan öljyn ominaisuuksia ja varmistetaan siitä että öljy suoriutuu sille asetetuista tehtävistä. Öljyn kunnonvalvonnan laiminlyöminen johtaa osien kulumiseen ja vaurioihin. Oikeaoppinen voitelu on turbiinien toiminnan ja hyvän käyttövarmuuden perusedellytys. [7, s. 12.]

Voiteluöljyn kunnonvalvonta toteutetaan ottamalla voiteluöljystä näytteitä ja analysoimalla niitä. Toiminnan tarkoituksena on varmistua siitä, että öljyn puhtaus ja muut ominaisuudet ovat riittävän hyvällä tasolla. Analyysit voivat antaa myös tärkeää tietoa voideltavan järjestelmän kunnosta esimerkiksi öljyn metallipitoisuuksien muodossa. Jos öljystä löytyy epätavallisen suuria pitoisuuksia metalleja, joita järjestelmä sisältää, tämä voi olla merkki alkavasta kulumisesta. Huolellisesti toteutettu voiteluöljyn kunnonvalvonta voi parantaa järjestelmän toimintavarmuutta ja tuoda taloudellisia säästöjä, kun alkavat ongelmat löydetään ennen vakavien vaurioiden syntymistä.

Kaikkien Fingridin varavoimalaitosten voiteluöljyjärjestelmät noudattelevat samaa perusrakennetta, jossa öljy pumpataan öljysäiliöstä jäähdyttimen ja suodattimen läpi akselin laakereille. Laakereilta öljy palaa takaisin voiteluöljysäiliöön. Luvuissa 3.1 ja 3.2 on esitelty tarkemmin eri varavoimalaitostyyppien voiteluöljyjärjestelmiä.

3.1 Lentokoneturbiinit

Kaasunkehittimiin perustuvilla voimalaitoksilla kaasunkehittimen laakerien voitelu on erotettu omaksi järjestelmäkseen. Voimaturbiinin ja generaattorin laakerit voidellaan omalla erillisellä järjestelmällä. Kummatkin voiteluöljyjärjestelmät koostuvat omista öljyistä, öljysäiliöistä, pumpuista, jäähdyttimistä ja suodattimista. Kaasunkehittimen voiteluöljyjärjestelmä on näistä kahdesta huomattavasti pienempi. Voiteluöljyjärjestelmien rakenteet vaihtelevat laitostyypeittäin.

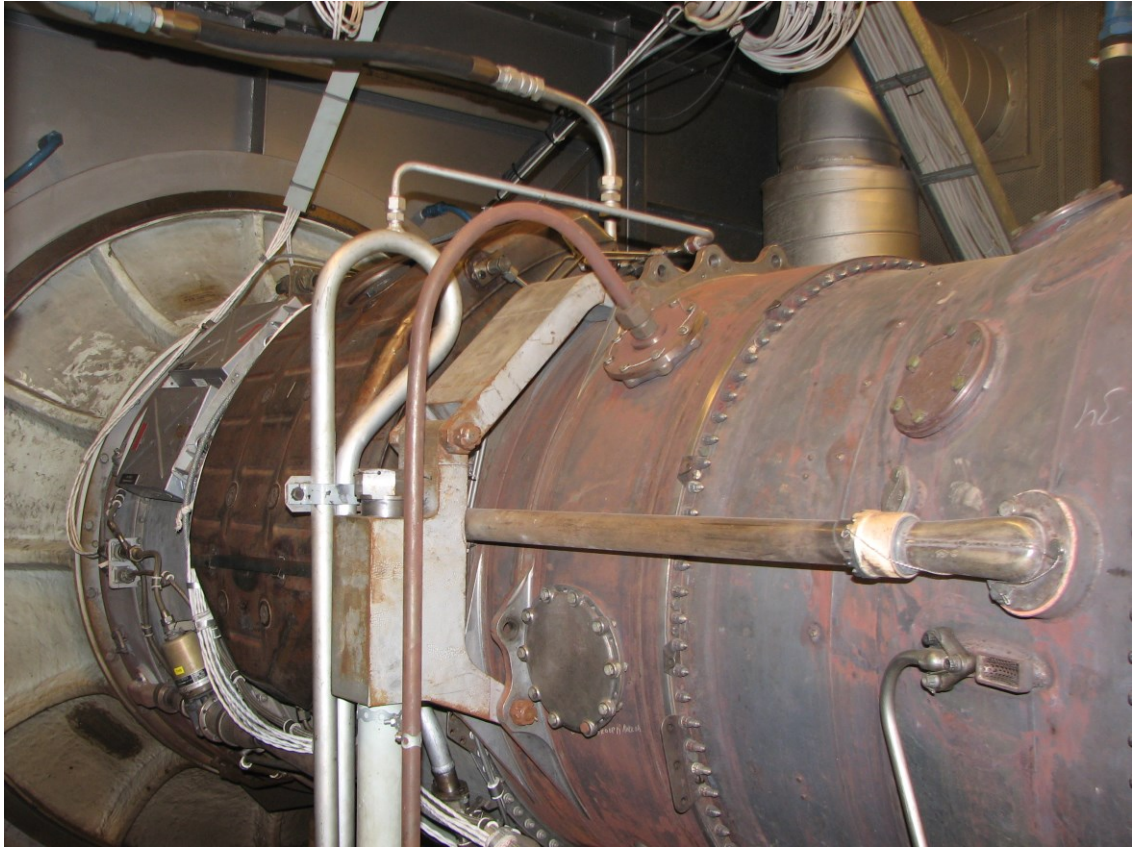
Kaasunkehittimien voiteluöljyjärjestelmät ovat kompakteja ja yleensä kiinni turbiinin rungossa. Öljyjärjestelmien yhteistilavuus lisätankki mukaan luettuna on noin 100 litraa ja tyypillinen jäähdytystapa on öljyn jäähdyttäminen polttoaineella. Turbiinien alkuperäinen käyttötarkoitus lentokoneiden moottoreina selittää turbiinijärjestelmien kompaktiuden.

Voiteluöljyn päätehtävä näissä järjestelmissä on poistaa lämpö laakereilta. Patrian asiantuntijan karkean arvion mukaan öljyn tehtävästä 70 prosenttia on lämmönsiirtoa ja loput voitelua. Tyypillisesti nämä luvut olisivat toisinpäin. Lämmönsiirtoa tehostetaan ime-mällä öljy nopeasti pois laakereilta järjestelmään sijoitetuilla paluupumpuilla. Näiden pumppujen yhteisteho on noin kolminkertainen varsinaiseen voiteluöljypumppuun verrattuna. Öljyn nopea poistuminen laakereilta on tarpeellista, koska laakereiden lämpötilat nousevat niin korkeiksi, että öljy palaa helposti kiinni laakereihin. [8.]

Rolls-Royce Avon 1533 -kaasunkehittäjiä käytetään Kristiinan ja Huutokosken laitoksilla. Näillä laitoksilla voimaturbiinien voiteluöljyjärjestelmissä on noin 8 000 litran voiteluöljysäiliöt ja glykolilämmönvaihtimet. Lisäksi osassa yksiköitä on käytössä erillinen nostoöljypumppu osana voiteluöljyjärjestelmää. Kaasunkehittimen voiteluöljy jäähdytetään polttoaineen avulla [8].

Pratt&Whitney JT4A -kaasunkehittäjiä on käytössä Naantalissa ja Tolkisten varavoimalaitoksilla. Näillä laitoksilla yhden yksikön voimaturbiinin voiteluöljyjärjestelmässä on noin 3 000 litran öljysäiliö. Voimaturbiinin voiteluöljyjärjestelmässä on kaksi lämmönvaihtinta. Toinen lämmönvaihtin jäähdyttää voimaturbiinin voiteluöljyä ilman avulla ja toisella lämmönvaihtimella voimaturbiinin voiteluöljy jäähdyttää kaasunkehittimen voiteluöljyä.

FT4C-kaasunkehittäjä on käytössä Kilpilahden varavoimalaitoksella. Se on muokattu teollisuusversio JT4A:sta. Kilpilahden varavoimalaitoksella voiteluöljyjärjestelmiä on kolme. Kaasunkehittimelle, voimaturbiinille ja generaattorille on kullekin oma ilmajäähdytteinen voiteluöljyjärjestelmänsä. Kuva 3 on valokuva Tolkisten varavoimalaitoksen JT4A-kaasunkehittäjästä.



Kuva 3. JT4A-kaasunkehitin. Kuvassa kahden putken takana näkyy noin 30 litran voiteluöljysäiliö.

3.2 Teollisuusturbiinit

Teollisuusturbiineihin perustuvilla voimalaitoksilla kaasuturbiinikokonaisuudet on suunniteltu niin, että kaikki tarvittava voitelu voidaan toteuttaa yhdellä voiteluöljyjärjestelmällä.

AEG-Kanis Frame 5 -kaasuturbiineilla toimivia varavoimalaitoksia ovat Tahkoluoto ja Vaskiluoto. Yhden yksikön voiteluöljysäiliön tilavuus on 7500 litraa. Voiteluöljyä käytetään turbiinien laakereiden voitelun lisäksi säätö- ja hydraulikkaöljynä erilaisissa tarkoituksissa.

Vanajan varavoimalaitoksella on käytössä Stal GT 120B -kaasuturbiini. Tällä varavoimalaitoksella kaasuturbiini sijaitsee lentokoneen moottoreihin perustuvien varavoimalaitosten tapaan omalla akselillaan ja voimaturbiini ja generaattori omalla erillisellä akselillaan. Akseleiden voiteluun riittää kuitenkin yksi voiteluöljyjärjestelmä.

Voiteluöljyjärjestelmässä on 7 500 litran öljysäiliö, vesijäähdytteinen lämmönvaihdin ja voiteluöljypumppujen lisäksi kaksi nostoöljypumppua.

Forssan varavoimalaitos on Fingridin varavoimalaitoksista uusin ja tehokkain. Laitoksella on käytössä kaksi Ansaldo V94.2 -kaasuturbiinia. Kummankin yksikön voiteluöljyjärjestelmässä on omalla pumpulla varustettu paaksausjärjestelmä, jonka avulla laakerit pidetään voideltuna paaksauksen aikana. Voiteluöljyjärjestelmän öljytankin tilavuus on 14 000 litraa [9]. Kuvassa 4 on Forssan varavoimalaitoksen toinen kaasuturbiini. Kuvien 3 ja 4 perusteella saa käsityksen varavoimalaitosten kaluston koko- ja ikäjakaumasta.



Kuva 4. Ansaldo V94.2 -kaasuturbiini. Kuvan etualalla pystyyn kohoava lämpöeristetty osa on toinen turbiinin polttokammioista.

4 Lähtötilanne laitoksilla

Voiteluöljyjen näytteenoton kannalta varavoimalaitokset voidaan jakaa kolmeen kokonaisuuteen. Olkiluodossa sijaitseva varavoimalaitos muodostaa oman kokonaisuutensa ja sen ylläpidosta vastaa Teollisuuden Voima Oyj eli TVO. Huutokosken varavoimalaitos muodostaa myös oman kokonaisuutensa. Loput laitokset kuuluvat kokonaisuuteen, josta käytetään nimitystä etelän ja lännen laitokset. [9.]

Etelän ja lännen laitokset koostuvat monista laitoksista, mutta pääasiallisen vastuun öljynäytteiden ottamisesta kantaa sama henkilö kaikilla laitoksilla. Huutokoskella öljynäytteiden otosta vastaa laitoksen oma henkilökunta. Tässä luvussa on esitelty varavoimalaitosten voiteluöljyjen näytteenoton käytänteitä tarkemmin. Tiivistettynä nykytilanne laitoksilla on seuraavanlainen:

- Voiteluöljyjärjestelmiä laitoksilla yhteensä 51
 - 27 kaasunkehittimen voiteluöljyjärjestelmää, tilavuus n. 100 litraa
 - 24 Voimaturbiinin/generaattorin voiteluöljyjärjestelmää, tilavuus >3000 litraa
- Näytteenottoväli 1 tai 2 vuotta järjestelmästä ja laitoksesta riippuen
- Näytteenottopaikkana yleensä voiteluöljysäiliö
- Analyysit kattavat perusasiat, tarkempia analyyseja tarpeen vaatiessa. [8; 9; 10.]

4.1 Näytteenottoväli

Voiteluöljyjärjestelmistä otettavien näytteiden aikaväli on muokkautunut kokeilemalla nykyisen laiseksi. Järjestelmätoimittajien ohjeissa on yleensä määritelty näytteenottovälit käyttötuntien mukaan siten, että näytteitä tulisi ottaa esimerkiksi 300 käyttötuntin välein. Varavoimalaitosten vuotuisten käyttötuntien ollessa noin kymmenen tuntia, ei näiden ohjeiden seuraaminen ole järkevää, koska näytteenottoväli olisi liian pitkä.

Kaasunkehittimiin perustuvilla laitoksilla Patria on tärkeä yhteistyökumppani. Yhtiö vastaa kaasunkehittimien huollosta ja turbiinien voiteluöljyn näytteenottoväliksi on vakiintunut kaksi vuotta. Näytteet pyritään ottamaan vuosihuollon yhteydessä. Näin toimitaan kaikilla varavoimalaitoksilla, joissa on kaasunkehittimiä. [8.]

Etelän ja lännen laitoksilla voimaturbiinien voiteluöljyjärjestelmistä otetaan näytteen mahdollisuuksien mukaan vuoden välein. Näytteet otetaan yleensä keväisin, ennen vuosihoitoa, jotta voiteluöljyanalyysin tuottamaan informaatioon voidaan tarpeen mukaan reagoida huollossa. [9.] Huutokoskella näytteenottoväli on hieman pidempi, noin kaksi vuotta [10]. Olkiluodossa voidaan seurata järjestelmätoimittajan ohjeita. Järjestelmätoimittaja on määritellyt näytteenottoväliksi vuoden, mikäli tarvittavat käyttötunnit eivät täyty. [11.] Monilla laitoksilla nykyisiin näytteenottoväleihin on päädytty kokeilun kautta. Laitosten henkilökunnan haastattelujen mukaan näytteenottovälit ovat historian aikana vaihdelleet.

4.2 Näytteenottoaika

Kaasunkehittinlaitoksilla näytteenotolle on muutamia mahdollisia paikkoja. Huutokosken ja Kristiinan varavoimalaitoksilla kaasunkehittimien näytteet otetaan yleensä voiteluöljypumpun yhteydessä olevan venttiilin kautta. Tolkkisissa ja Kilpilahdessa näytteitä otetaan yleensä kaasunkehittimen laakereilta palaavasta öljystä. Näillä laitoksilla toinen mahdollinen näytteenottoaika on voiteluöljyn suodattimien yhteydessä. Kaasunkehittimistä pyritään ottamaan näytteitä vuodesta toiseen samasta kohdasta, mutta Patrian asiantuntijan mukaan eri paikoistakin otetut öljynäytteet ovat keskenään vertailukelpoisia. [8; 9.]

Voimaturbiinien voiteluöljyjärjestelmistä näytteet otetaan joko suoraan säiliöstä tai säiliön päällä olevien komponenttien yhteydestä. Vaskiluodossa, Tahkoluodossa, Kristiinassa, Naantalissa ja Tolkkisissa öljynäytteet päästään ottamaan helposti säiliön päältä esimerkiksi luukun tai mittatikun reiän kautta. Säiliöön työnnetään ohut letku, jota pitkin säiliön keskeltä imetään näytteeseen tarvittava määrä öljyä. Olkiluodon ja Vanajan varavoimalaitoksilla voiteluöljysäiliöissä on näytteenottohana, josta öljynäytteet voidaan ottaa. [9; 11.] Kuvassa 5 on Vanajan varavoimalaitoksen voiteluöljyjärjestelmän voiteluöljysäiliö.



Kuva 5. Vanajan varavoimalaitoksen voiteluöljysäiliö. Säiliön päälle on sijoitettu voiteluöljyn pumput, suodattimet ja öljylinjastojen venttiilit. Etualalla, kylttien takana, näkyvät kaksi lieriötä ovat öljynsuodattimia.

Huutokoskella voimaturbiinin voiteluöljyn näytteenotto paikaksi on vakiintunut öljynsuodatin. Näytteenotto suodattimen yhteydestä on melko hankalaa ja parempaa paikkaa näytteenotolle on harkittu. Huutokoskella näytteitä ei oteta koeajojen yhteydessä, vaan öljyä kierrätetään käynnistysvalmiustilassa olevassa järjestelmässä noin kymmenen minuuttia ennen näytteenottoa. [10.]

Forssan voimalaitoksella voiteluöljyn näytteet otetaan koko ajan päällä olevasta paaksausjärjestelmästä. Järjestelmässä on pumpun ja suodattimen jälkeen yhde, josta näyte on helppo ottaa. Öljynäyte voitaisiin ottaa myös säiliön päältä avattavan luukun kautta, mutta tällöin vaarana olisi näytepullon tai muun esineen tipahtaminen säiliöön. Nykyinen näytteenotto paikka on valittu helppouden ja riskien minimoimisen perusteella. [9.]

4.3 Analyysien laajuus

Kaasunkehittimien voiteluöljynäytteiden analysoinnissa käytetään hyväksi Patrian kokemusta. Analyysien laajuus määräytyy moottorivalmistajien määrittelemien ohjearvojen mukaisesti. [8.] Olkiluodon varavoimalaitoksen voimaturbiinin voiteluöljyn öljynäytteiden analysoinnissa seurataan TVO:n toimintatapoja. Analyysit kattavat lähinnä vesipitoisuuden, viskositeetin, hapettumisen, kulumametallien ja puhtausluokan mittaamisen. [11.]

Muilla laitoksilla on muodostunut tavaksi lähettää voimaturbiinien voiteluöljynäytteet Mobilille analysoitavaksi. Öljyanalyysit kattavat normaalitilanteissa lähinnä viskositeetin, puhtausluokan, kulumametallien, hapettumisen ja vesipitoisuuden mittaukset. Näiden perusanalyysien uskotaan antavan riittävästi informaatiota, jonka perusteella voidaan tarvittaessa ryhtyä jatkotoimenpiteisiin, kuten laajempien analyysien tekemiseen. [9.]

4.4 Ongelmatilanteet

Fingridin varavoimalaitosten turbiinien ja generaattorien voiteluöljyjärjestelmissä on harvoin ongelmia. Muutamia ongelmatapauksia nousi kuitenkin insinööriyön aikana esiin. Forssan varavoimalaitoksen toisen yksikön voiteluöljyjärjestelmän lämmönvaihdin on vuotanut niin, että jäähdytysvesi ja voiteluöljy ovat sekoittuneet keskenään. Tämä on näkynyt voiteluöljyn vesipitoisuuden nousuna. Kyseiseen yksikköön on asennettu kiinteä analysaattori, joka mittaa jatkuvasti voiteluöljyn vesipitoisuutta ja ilmoittaa laitoshenkilökunnalle pitoisuuden noususta. [9.]

Tolkkisten varavoimalaitoksen kahden yksikön voimaturbiinin voiteluöljyanalyyseissa on havaittu kohonneita kulumametallipitoisuuksia. Yhden yksikön voiteluöljyn lyijypitoisuudet ovat jo vuosia olleet epätavallisen korkeat. Kyseessä on Mobilin öljy, ja Mobilin itsensä tekemien analyysien toimenpidelistalla pyydetään määrittämään kohonneiden kulumametallipitoisuuksien syyt. [9.] Oletus on, että lyijy on peräisin laakereista, mutta näistä ei ole aikaisempien generaattorihuoltojen yhteydessä löydetty merkkejä epänormaalista kulumisesta. Toisen yksikön voiteluöljyn kuparipitoisuudet ovat viime vuosina olleet korkeat, mutta tälle ei ole löydetty järkevää selitystä.

5 Lähteitä näytteenoton kehittämiseksi

5.1 Kirjalliset lähteet

Kirjallisista lähteistä pyrittiin etsimään tietoa liittyen kaasuturbiineiden voiteluöljyjen näytteenoton aikaväleihin ja sijainteihin järjestelmässä, sekä analyysien laajuuteen. Lähteinä käytettiin Kunnossapitoyhdistys Promaint ry:n julkaisemaa teosta Teollisuusvoitelu [7] ja Texas A&M Universityn julkaisemaa tieteellistä artikkelia In-Service Condition Monitoring of Turbine Oils [12], jonka pääaiheena on ASTM D4378-8 -standardi. Kunnossapitoyhdistys Promaint ry on riippumaton asiantuntijaverkosto, joka pyrkii parantamaan suomalaisen teollisuuden kilpailukykyä. [13.] Teollisuusvoitelu on osa yhdistyksen julkaisemaa ammattikirjallisuutta. ASTM International eli American Society for Testing and Materials on kansainvälinen standardisointijärjestö. Sen standardi ASTM D4378-8, otsikoltaan Standard Practice for In-Service Monitoring of Mineral Turbine Oils for Steam, Gas, and Combined Cycle Turbines, käsittelee turbiinien voiteluöljyjen kunnonvalvonnan käytänteitä.

Molemmat lähteet korostavat näytteenoton tärkeyttä öljyanalyysille. Näytteenottoaika tulee olla valittu niin, että siitä saadaan otettua edustava näyte. Näytteenottoaika tulisi säilyttää mahdollisuuksien mukaan samana näytteestä toiseen, jotta näytteet ovat keskenään vertailukelpoisia. Säiliöstä näytettä otettaessa tulee kiinnittää erityistä huomiota näytteenottomenelmiin. Niiden on oltava sellaisia, että näyte on edustava ja vertailukelpoinen aiemmin samasta paikasta otettujen näytteiden kanssa. Näytteet olisi hyvä saada otettua käynnissä olevasta järjestelmästä, kun käyntilämpötilat ovat normaalit. [12, s. 13.] Ongelmien ratkaisussa saattaa auttaa, jos järjestelmästä pystytään ottamaan öljynäytteitä useasta eri kohdasta. Näin pystytään mahdollisesti tarkentamaan esimerkiksi näytteessä olevien kulumametallien lähdettä ottamalla öljynäytteitä useasta kohdasta järjestelmää. [12, s. 11–12.]

ASTM-standardin suosittama näytteenottoväli vaihtelee kolmesta kuukaudesta vuoteen, riippuen tehtävästä analyysistä [13, s. 5–9]. Promaint ry:n ohjeet ovat samansuuntaiset. Öljynäytteiden aikaväli tulisi määrittää järjestelmälle ja analyysille sopivaksi, ja oikea näytteenottoväli selviää vasta kokemuksen kautta. [7, s. 178–179.]

Teollisuusvoitelussa esitetään karkea jako yleisimpiin analyysihin ja niiden pohjalta tarvittaessa tehtäviin lisäanalyysihin. Yleisimpiä analyysseja ovat ulkonäkö, viskositeetti, happoluku (TAN) ja kiintoainepitoisuus. Näiden testien perusteella pystytään yleensä päättämään öljyn käyttökelpoisuus ja lisäanalyysien tarve. Lisäanalyysinä mainitaan öljyalaatu, vesipitoisuus, viskositeetti-indeksi, lisäaineet, vieraat ainesosat, hapettuminen (IR) ja vaahtoaminen. [7, s. 172.]

Myös ASTM-standardi luokittelee analyysit aina suoritettaviin ja tarpeen vaatiessa suoritettaviin analyysihin. Aina suoritettavia analyysseja ovat

- viskositeetti
- happoluku (TAN)
- hapettumiskestävyys RPVOT
- kulumametallit
- vesipitoisuus
- puhtausluokka.

Näiden analyysien lisäksi voidaan tarvittaessa suorittaa seuraavia lisäanalyysseja

- viskositeetti-indeksi
- korroosionsuoja
- vaahtoamistaipumus
- veden erottuminen
- ilmanerotuskyky. [12, s. 5—9.]

Viskositeetti on öljyn perusominaisuus ja sen mittaus tulee sisältyä kaikkiin analyysihin. Öljyjen viskositeettiluokitukset perustuvat kinemaattiseen viskositeettiin 40 celsiusasteen lämpötilassa. Viskositeetti pienenee voimakkaasti lämpötilan laskiessa ja tarkka määräys vaatii laboratorio-olosuhteita ja juuri oikeaa lämpötilaa. Viskositeetti-indeksi määräytyy 40 celsiusasteen ja 100 celsiusasteen lämpötilassa mitattujen viskositeettien perusteella. Mitä suurempi viskositeetti-indeksi, sitä vähemmän öljyn viskositeetti laskee lämpötilan kohotessa. Viskositeetin pitäisi pysyä melko muuttumattomana vuodesta toiseen ja ASTM-standardi asettaakin suuntaa antavaksi raja-arvoksi viiden prosentin muutoksen alkuperäisestä arvosta. Yleensä turbiinijärjestelmien toimittajat määrittelevät viskositeetti-indeksin vähimmäisarvoksi 90. [12, s. 5.]

Kokonaishappoluku (TAN) kuvaa öljyn hapettumista ja sen yksikkö on mgKOH / g. Arvo kertoo happomäärän öljygrammassa, eli kuinka monta milligrammaa kaliumhydroksidia tarvitaan neutraloimaan gramma öljyä. Käyttämättömän öljyn TAN-arvo on normaalisti noin 0,05—0,5. Käytön aikana tapahtuvan hapettumisen myötä arvo kasvaa. Arvon ylittäessä ennalta määrätyn rajan, tulee kasvun syitä selvittää tarkemmin. ASTM-standardin suuntaa antava raja-arvo on noin 0,4 mg:n kasvu. Teollisuusvoitelu-kirja suosittelee tarkempiin selvityksiin ryhtymistä, kun happoluku nousee noin kolmekertaiseksi lähtöarvoon. Korkea happoluku antaa usein aiheita lisäanalyyseille. Tällaisia ovat esimerkiksi happikuormitustesti RPVOT-menetelmä eli Rotating Pressure Vessel Oxidation Test ja infrapunaspektrometritesti. RPVOT-menetelmän tuloksia verrataan käyttämättömän öljyn arvoihin. ASTM-standardin ohjeiden mukaan arvon tipahtaminen puoleen alkuperäisestä edellyttää mittausvälin tihentämistä tiheämmäksi kuin kerran vuodessa. Kun alkuperäisestä arvosta on jäljellä enää 25 prosenttia, on öljy tämän arvon perusteella käyttökelvotonta ja vaatii vaihtoa. Yhdistettynä hapettumisanalyytit antavat hyvän kuvan öljyn jäljellä olevasta käyttöiästä. [7, s. 173; 12, s. 5—6.]

Kulumametallianalyysi kuuluu myös yleensä tehtäviin perusanalyyseihin. Analyysissä havaitaan hyvin pienet metallihiukkaset ja arvot esitetään yleensä yksikössä PPM. PPM eli parts per million eli miljoonasosa on suhteellinen mittayksikkö. Analyysin tulokset antavat hyödyllistä tietoa järjestelmästä, kun tiedetään mitä metalleja järjestelmän eri osat sisältävät. Suoritettavan perusanalyytin lisäksi kulumametalleja voidaan tarkastella mikroskooppilla. ASTM-standardin mukaan 4 ppm:n nousua tai yli 10 ppm:n arvoa jonkin metallin kohdalla voidaan pitää epänormaalina. [7, s177; 12, s. 6.]

Molemmat lähteet suosittelevat vesipitoisuuden mittaamista titraamalla Karl Fischer -menetelmällä. Tämä mahdollistaa vesipitoisuuden määrittämisen 50 ppm:stä ylöspäin. ASTM-standardin raja-arvo epätavallisen korkealle vesipitoisuudelle on 1000 ppm eli 0,1 prosenttia. Yleisesti käytössä on myös 2000 ppm:n raja-arvo. Alle 200 ppm:n arvoa pidetään kuitenkin tavoiteltavana käytössä oleville öljyille. [7, s. 174; 12, s. 6—7.]

Puhtausluokkamittaukset noudattelevat yleensä ISO 4406 -standardia. ISO eli International Organization for Standardization on kansainvälinen standardisoimisjärjestö. Mittauksen tulos voi olla esimerkiksi 16/14/12. Luvut kuvaavat hiukkasten määrää kokoluokissa $\geq 4 \mu\text{m}$, $\geq 6 \mu\text{m}$ ja $\geq 14 \mu\text{m}$. Standardiin kuuluu taulukko, jossa tuloksessa olevat luvut kertovat mitatun hiukkasmäärän. Kun luku kasvaa yhdellä, kaksinkertaistuu hiukkasten

määrä. ASTM-standardissa arvioidaan, että turbiinin valmistaja asetta yleensä voiteluöljyn puhtaustavoitteeksi 16/14/12. [13, s. 7.]

Teollisuusvoitelu-oppaassa korostetaan käyttäjän vastuuta laitteen optimaalisen puhtaustason määrittelemisessä. Laitetoimittajan ohjeet ovat vain kokemukseen perustuvia yleisiä suosituksia. Kirjassa esitetään kiertovoitelujärjestelmän puhtaustasosuositukseksi 25/22/16 ja suodattimen tarkkuudeksi 20 µm. Tämä on paljon sallivampi suositus kuin ASTM-standardissa. Eroa voi selittää se, että kirjan luvut ovat yleissuosituksia kiertovoitelujärjestelmälle ja ASTM-standardi on luotu turbiineille. Kiertovoitelu-oppaassa esitellään lyhyesti tuloksia tutkimuksesta, jossa tutkittiin puhtausluokan vaikutusta käyttövarmuuteen. Tutkimustulosten mukaan puhtausluokan parantaminen kolmella pykälällä, esimerkiksi luokasta 23/19/16 luokkaan 20/16/13, kaksinkertaistaa käyttövarmuuden. Kyseinen puhtausluokan parantaminen tarkoittaa hiukkaslukumäärän vähenemistä kahdeksasosaan. [7, s. 128—130.]

Ilmanerotuskyky, veden erottuminen, vaahtoamistaipumus ja korroosionsuoja ovat voiteluöljyn ominaisuuksia, joita tulisi ASTM-standardin mukaan mitata vasta olosuhteiden niin vaatiessa. Korroosionsuojan ja veden erottumisen mittaus tulee tarpeelliseksi, jos voiteluöljyjärjestelmä on alttiina vedelle. Viskositeetti-indeksi ja ilmanerotuskyky eivät yleensä juuri muutu öljyn vanhentuessa, joten niitä harvemmin mitataan jatkuvasti. Vaahtoamistaipumusta mitataan yleensä vasta ongelmatilanteissa. ASTM-standardin mukaan näytteenottovälin tulisi olla noin 3 kuukautta kaikille muille perusanalyysille paitsi hapettumiskestävyydelle. Sille riittää normaalioloissa vuoden analyysiväli ja arvon laskettua tarpeeksi alas, tulee näytteenottoväliä tihentää ohjeiden mukaan. [12, s.5—9.]

5.2 Fluidlab

Insinöörityötä varten haastateltiin Fluidlab Oy:n laboratoriopäällikköä Mika Vesalaa [14]. Fluidlab on Turussa toimiva voiteluainelaboratorio, joka on erikoistunut voiteluaineanalyysien tekemiseen ja niistä saatavan tiedon tulkintaan. Yritys on perustettu vuonna 2007, ja se pyrkii jatkuvasti kehittämään voiteluaineiden analyysijä. Yhtiön asiakkaisiin kuuluu esimerkiksi paperitehtaita, metalliteollisuutta ja kuljetusyrityksiä. [14; 15.] Haastattelun tarkoituksena oli selvittää Vesalan näkemyksiä insinöörityön keskiössä oleviin

kysymyksiin näytteidenoton aikavälistä, näytteidenoton paikasta ja analyysien laajuudesta.

Yleensä voiteluöljyistä suositellaan ottamaan ainakin yksi laajempi analyysi vuodessa. Öljyn ikä vaikuttaa myös suositukseen näytteenoton aikaväleistä. Uudesta öljystä ohjataan ottamaan näytteitä useammin kuin keski-ikäisestä öljystä. Näytteenottoväliä tulisi jälleen tihentää öljyn vanhentuessa. Näytteenottoväli kannattaa muokata kohteen ja käyttötuntien mukaan, mutta pienilläkään käyttötunneilla aikavälin venyttäminen yli vuoden ei ole suositeltavaa. [14.]

Näytteenottopaikka riippuu siitä, mitä halutaan mitata. Jos kiinnostuksen kohteena on esimerkiksi voideltavat laakerit, on näyte parasta ottaa niiltä palaavasta öljystä. Samalla tavoin, jos halutaan tietoa suodattimen tai pumpun toiminnasta, olisi näytteet hyvä ottaa järjestelmästä heti niiden jälkeen. Näytteet tulisi mahdollisuuksien mukaan ottaa virtaavasta öljystä käytön aikana. Fluidlabin verkkosivuilta löytyvien ohjeiden mukaan näyte voidaan ottaa myös säiliöstä korkeintaan 20 minuuttia käytön jälkeen. Näin saadaan mahdollisimman hyvä kuva järjestelmässä virtaavasta öljystä. [16.]

Näytteenottovälin ollessa vuosi on analyysien hyvä olla kohtuullisen laajoja. Käytännössä ASTM-standardin suosituksella pääsee melko pitkälle. Mikroskointi on hyvä lisä kulumametallianalyysille, jossa havaitaan yleensä vain erittäin pienet hiukkaset. Kulumametallianalyysi tehdään usein ICP-tekniikalla. Lyhenne ICP muodostuu sanoista inductively coupled plasma eli induktiivisesti kytketty plasma. Perusmuodossa toteutettuna tekniikalla huomataan vain noin alle 5 µm:n hiukkaset. Tämän takia membraanisuodatus-mikroskointia suositellaan sisällytettäväksi analyysiin. Mikroskointi voi antaa myös hyödyllistä lisäinformaatiota esimerkiksi kulumahiukkasten muodon perusteella. [14.]

Alhaisista kulumametallimääristä näytteessä voidaan yleensä päätellä, että öljyn korroosionsuoja on edelleen hyvällä tasolla. Vaahtoamistaipumuksen mittaukseen vaikuttaa suuresti se, että uudessa öljyssä on yleensä vaahtoamistaipumusta estävää lisäainetta. Käytössä tämä lisäaine kuluu pikkuhiljaa pois ja vaahtoamistaipumus kasvaa merkittävästi. Vaahtoamistaipumus ja ilmanerotuskyky korreloivat keskenään negatiivisesti. [14.] Tästä mainitaan myös edellisen luvun ASTM-standardia käsittelevässä lähteessä. Vaahtoamisongelmia ratkottaessa, öljyn puhtauteen ja mahdollisiin mekaanisiin syihin tulee

kiinnittää huomiota. Vaahtoamista estävien lisäaineiden liiallinen lisääminen vaikuttaa negatiivisesti öljyn ilmanerotuskykyyn. [7, s. 8.]

Vaahtoamistaipumuksen mittausperiaatteet ovat hyvä esimerkki siitä, että Vesalan näkemykset ja kirjalliset lähteet eivät juuri ole keskenään ristiriidassa. Korkeintaan samoista asioista puhutaan hieman eri painoituksin. ASTM-standardi painottaa TAN-luvun rinnalle hapettumiskestävyyden mittausta ja Vesala muistuttaa mikroskopoinnin tärkeydestä osana kattavaa analyysia.

5.3 Kellosaaren varavoimalaitos

Työn aikana toteutettiin vierailu Helen Oy:n Kellosaaren varavoimalaitokselle. Kellosaaren varavoimalaitos on vuokrattu osaksi Fingridin häiriöreserviä, eli sen käyttötarkoitus ja -määrä noudattelee hyvin paljon Fingridin vastaavia laitoksia. Varavoimalaitos koostuu kahdesta polttoöljyä polttoaineenaan käyttävästä kaasuturbiinista. Vierailun tarkoituksena oli tutustua verrokkijärjestelmään ja sen aikana haastateltiin laitoksen henkilökuntaa [17].

Kellosaaren varavoimalaitoksen voiteluöljyjärjestelmistä otetaan näytteet noin kaksi kertaa vuodessa normaalin toiminnan aikana. Näytteet otetaan voiteluöljysäiliöstä koeajon yhteydessä, vähän ennen koeajon loppua. Öljynäytteistä otetaan yleensä palveluntarjoajan tarjoama laaja analyysi, joka sisältää mm. mikroskooppianalyysin. [17.]

Laitoksen lähihistoriassa poikkeustilanteet voiteluöljyjärjestelmässä ovat aiheutuneet puhtausluokan romahtamisesta ja öljyn vaahtoamisesta. Öljyn vaahtoaminen aiheutti öljynpaineen romahtamisen järjestelmässä ja koeajon keskeytymisen. Ongelma saatiin korjattua pumpaamalla voiteluöljy säiliöstä suodattimen läpi säiliöautoon ja palauttamalla se sitten öljysäiliöön. [17.]

Voiteluöljyanalyysin ilmaistua öljyn puhtausluokan romahtamisen, otettiin kyseisellä yksiköllä käyttöön erillinen sähköstaattinen suodatin. Kolmen viikon suodattamisen jälkeen oli nähtävissä positiivinen trendi, mutta öljyn puhtaus ei ollut vielä halutulla tasolla, joten suodatusta jatkettiin. [17.]

5.4 Meri-Porin voimalaitos

Osana insinööriyötä toteutettiin vierailu Meri-Porin voimalaitokselle. Voimalaitos on Fortumin ja Teollisuuden Voiman omistama lauhdevoimalaitos, joka käyttää polttoaineenaan kivihiiltä. Laitos on valmistunut vuonna 1994, ja sen tuottama sähköteho on 565 MW. [18.] Voimalaitos on siirtynyt viime vuosien aikana markkinaehtoisesta tuotannosta energiaviraston ylläpitämään tehoreserviin, eli sen vuotuiset käyttötunnit ovat vähentyneet huomattavasti [19].

Laitoskäynnin aikana haastateltiin kunnossapitoinsinööriä Jukka Pyyköstä [19]. Haastattelun aiheena oli vähentyneiden käyttötuntien vaikutus öljynäytteiden ottoon. Voimalaitoksen siirtyessä tehoreserviin ja käyttötuntien laskiessa huomattavasti ruvettiin myös voiteluöljyjärjestelmien näytteenoton tarvetta arvioimaan uudestaan. Näytteenottoväliä harvennettiin ja siirryttiin käytäntöön, jossa näytteenoton tarvetta arvioidaan vuosittain, kertyneiden käyttötuntien perusteella. Pyykösen arvion mukaan olosuhteiden ollessa kunnossa ja käyttötuntien vähäisiä, näytteenottoväli voi olla kaksikin vuotta. [19.]

Olosuhteiden kunnossa pysymisellä Pyykönen tarkoitti sitä, että öljyn lämpötila säilyy tasaisena, öljyä ei pääse vuotamaan järjestelmästä, eikä öljyn sekaan pääse mitään sinne kuulumatonta [19]. Meri-Porin voimalaitos eroaa monesta Fingridin varavoimalaitoksesta ikänsä puolesta. Lisäksi Meri-Porin voimalaitos on jatkuvasti miehitetty ja voiteluöljyjärjestelmät sijaitsevat sisätiloissa. Näin ollen Fingridin ja Meri-Porin laitokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia ja Meri-Porissa voidaan luottaa öljyn kunnossa pysymiseen hieman paremmin.

5.5 Patria

Osana työtä haastateltiin Patrian järjestelmäasiantuntijaa Taisto Äkrästä [8]. Kaasunkehittämiä käytävillä laitoksilla Patria vastaa näiden huollosta ja ylläpidosta. Yhtiöllä on Suomessa pitkä kokemus lentokoneen moottoreiden huollosta. Patria opastaa laitoshenkilökuntaa öljynäytteiden ottamisessa. [8.]

Äkräs ei näe tarvetta tihentää kaasunkehittimien voiteluöljyjärjestelmien näytteenottoväliä. Tämä näkemys perustuu käyttötuntien ja voiteluöljyjärjestelmissä ilmenneiden

ongelmien vähäisyyteen. Harvoin ilmenneet ongelmat ovat yleensä johtuneet jostain muista syistä kuin öljystä itsestään. Tällainen tapaus oli esimerkiksi voiteluöljyn vaahoutuminen, koska järjestelmässä oli liian vähän öljyä. [8.]

Alkavien ongelmien huomaamista öljynäytteiden perusteella ei myöskään ole todennäköistä. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi laakereiden kuluminen huomataan todennäköisesti akselin värinäantureista ennen öljynäytettä. Kynnys voiteluöljyjen vaihtoon on kaasunkehittimissä matalampi kuin teollisuusturbiineissa. Tämä johtuu kaasunkehittimien voiteluöljyjärjestelmien huomattavasti pienemmästä öljytilavuudesta. Voiteluöljyjä on vaihdettu esimerkiksi isompien turbiiniremonttien yhteydessä. [8.]

6 Tulokset

Edellisessä luvussa mainittujen lähteiden pohjalta voidaan muodostaa ehdotuksia varavoimalaitosten voiteluöljyjärjestelmien näytteenoton kehittämiseksi. Kehitysideat on esitelty tässä luvussa jaettuna aihealueiden mukaan alaotsikoiden alle. Ensin nostetaan kuitenkin esiin yleisemmällä tasolla esiin tulleita kehitysehdotuksia. Tässä luvussa esitettyjen kehitysehdotusten taustalla on ajatus siitä, että varavoimalaitosten ylläpidossa pyritään maksimoimaan laitosten käynnistysvarmuus.

Voimaturbiinien ja generaattorien suuriin voiteluöljysäiliöihin lisätään aika ajoin öljyä. Lisätyn öljyn määrä vaihtelee laitoksittain. Tämä tieto on oleellinen arvioitaessa öljyn ikääntymistä ja jäljellä olevaa käyttöikää. Lisätyn öljyn lisäksi esimerkiksi tiedot öljyn iästä, käyttötunneista, sekä mahdollisista muutoksista käyttöolosuhteissa ovat olennaisia tietoja arvioitaessa öljyanalyysin tuloksia [7, s. 178]. Näiden tietojen liittämistä läheittäviin öljynäytteisiin voisi selvittää, sillä ne saattavat antaa selityksiä joillekin analyysin arvoille.

Projektin aikana kävi ilmi, että varavoimalaitoksille on hankittu pumpulla varustettu sivuvirtasuodatin voiteluöljyjärjestelmille. Tämä suodatin ei tällä hetkellä ole aktiivisessa käytössä. [9.] Sen voisi ottaa käyttöön aina laitoksessa ja yksikössä, jonka puhtausluokkamittaukset ovat huonoimmat. Vierailut varavoimalaitoksilla kirkastivat sen ilmeisen tosiasian, että Forssan varavoimalaitos eroaa iältään ja teholtaan merkittävästi muista laitoksista. Forssan varavoimalaitos muodostaa noin kolmanneksen varavoimalaitosten

tehoreservistä. Sen kahden yksikön käyttövarmuuden parantaminen muita laitoksia tiheämmillä ja laajemmilla voiteluöljyanalyyseilla voisi olla perusteltavissa. Forssassa on jo kiinteä vesipitoisuusmittaus, mutta nämä mittaukset ovat vain suuntaa antavia eivätkä korvaa laboratorio-olosuhteissa tehtyjä tarkkoja mittauksia. [9.]

Suoraan järjestelmään sijoitettujen anturien ympärille rakennetut öljyn analysointilaitteistot ovat yleistyneet nykyaikana. Näillä laitteistoilla voidaan mitata öljyn ominaisuuksia reaaliaikaisesti, verrata tuloksia historiatietoihin ja reagoida suuriin muutoksiin välittömästi. Tämä aihe rajattiin insinööriyön ulkopuolelle, koska näistä laitteistoista ei saataisi maksimaalista hyötyä vain harvoin käytössä olevissa varavoimalaitoksissa. Uusien analysointitekniikoiden kehitystä tulisi kuitenkin seurata ja näiden tekniikoiden soveltumista varavoimalaitosten voiteluöljyjen kunnonvalvontaan voisi selvittää.

6.1 Näytteenottoväli

Kirjallisissa lähteissä ja haastatteluissa nousee esiin näytteenottoaikavälin sovittaminen järjestelmän ja käyttötuntien kannalta sopivaksi. Alan julkaisut ja toimijat eivät kuitenkaan tunnu suosittävän missään tilanteessa öljynäytteiden aikavälin venyttämistä yli vuoden. Jos näin halutaan tehdä, sen pitää perustua omaan kokemukseen ja asiantuntemukseen. Patria ja Meri-Porin voimalaitos tarjoavat esimerkit yli vuoden näytteenottoväleistä. Helenin Kellosaaren varavoimalaitoksella öljynäytteitä otetaan paljon tiuhempaan tahtiin. Olkiluodon varavoimalaitoksella on tukeuduttu järjestelmätoimittajan ohjeisiin, joissa maksiminäytteenottoväliksi määritellään vuosi.

Käytössä olevia näytteenottovälejä on verrokkilaitoksilla useita. Monet näistä perustuvat kokemukseen ja asiantuntemukseen ja yksiselitteisiä ohjeita on vaikea löytää. Jos näytteenottoväli on liian pitkä, tulee ennakoivasta kunnossapidosta vaikeampaa. Liian pitkä näytteenottoväli vaikeuttaa myös eri analyysien tulosten trendien havaitsemista. Liian lyhyt näytteenottoväli aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia ja turhia työtunteja. [7, s. 178.] Varavoimalaitosten käyttötuntien vähäisyys, voiteluöljyjen olosuhteiden tasaisuus ja historiassa havaittujen ongelmien vähäisyys asettavat myös kyseenalaiseksi tiheämmällä näytteenottovälillä saatavan potentiaalisen lisäinformaation.

Näiden seikkojen perusteella sopivaksi näytteenottoväliksi ehdotetaan yhtä vuotta. Se on jo käytössä usealla laitoksella. Poikkeuksen muodostavat Huutokosken laitos ja kaasunkehittimien voiteluöljyjärjestelmät. Huutokosken voimaturbiinin näytteenotossa ehdotetaan siirtymistä vuoden aikaväliin. Kaasunkehittimien voiteluöljyjärjestelmien kahden vuoden näytteenottoväliä tukee öljyjen tiheämpi vaihtoväli ja Patrialle muodostunut vuosien kokemus, jonka perusteella aikaväli on määriteltä. Kaasunkehittimien näytteenottovälin pitäminen ennallaan voidaan perustella näillä seikoilla. Näytteenottovälin tihentäminen saattaisi parantaa laitosten käyttövarmuutta, jos alkavia vikoja pystyttäisiin huomaamaan helpommin ja öljyn kunnon seuranta tarkentuisi. Tällä perusteella näytteenottovälin tihentämistä vuoteen voisi harkita.

Vuotuiset näytteenotot tulisi ajoittaa kevääseen siten, että analyysien tulokset olisivat hyödynnettävissä vuosihuollossa. Monella laitoksella näin toimitaan jo, mutta toimintata- vasta voisi tehdä kaikki varavoimalaitokset kattavan ohjeen. Vuotta tiheämmän näytteenottovälin potentiaalisia hyötyjä voisi kokeilla tihentämällä Forssan varavoimalaitoksen näytteenottoväli esimerkiksi puoleen vuoteen. Esimerkiksi viiden vuoden kokeilujakson jälkeen kasassa saattaisi olla tarpeeksi materiaalia, jotta voidaan arvioida tiheämmän näytteenottovälin potentiaalisia hyötyjä.

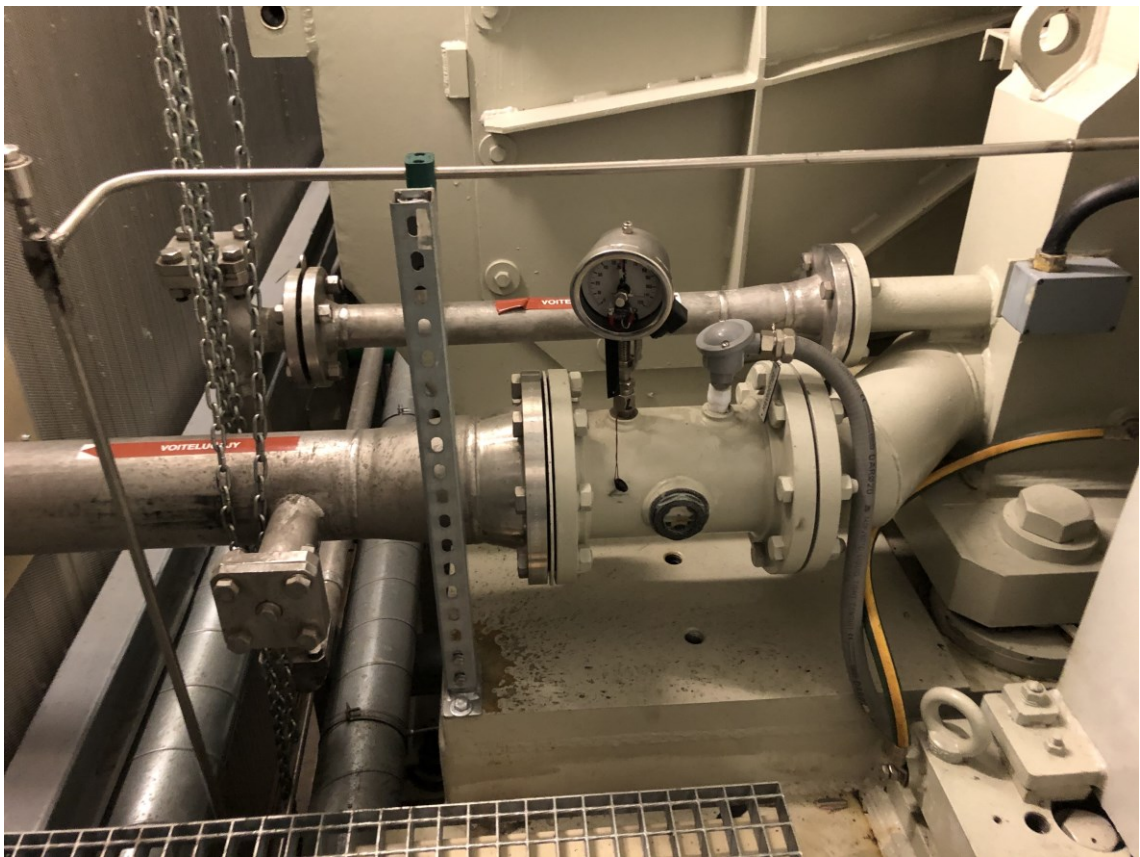
6.2 Näytteenottoaika

Yleisin näytteenottoaika Fingridin varavoimalaitoksilla on tällä hetkellä voiteluöljysäiliö. Lähteiden perusteella tämä ei ole aivan optimaalisin näytteenottoaika mutta täysin toimiva, jos näytteiden ottaminen paremmasta paikasta tuottaa kohtuuttomia haasteita. Lähteenä käytetyssä artikkelissa annetaan neuvoja näytteiden ottamiseen öljysäiliöstä, ja Fluidlabin verkkosivujen näytteenotto-ohjeista toinen on suunnattu säiliöstä otettavalle näytteelle. Säiliö näyttäisi olevan yleinen ja alalla hyväksytty näytteenottoaika. Fingridin laitoksilla käytössä oleva näytteenottotapa vastaa myös raportissa käytettyjen lähteiden ohjeita melko hyvin. Näytteet otetaan heti koeajon jälkeen imupumpulla ja letkulla. Letku vaihdetaan joka kerta ja imupumpun säiliö puhdistetaan jokaisen näytteenottokerran välissä. [9.]

Varavoimalaitosten voiteluöljyjärjestelmien paluulinjastoihin olisi mahdollista tehdä yhteitä näytteenottoventtileille. Monella laitoksella tämä kuitenkin tarkoittaisi useamman

yhteen tekemistä ja öljynäytteiden määrän lisäämistä. Usean mittauspisteen avulla voitaisiin parhaassa tapauksessa paikantaa esimerkiksi kulumametallien lähde tarkemmin, kuin pelkällä säiliöstä otettavalla mittauksella. Tämän hyödyn toteutuminen on kuitenkin epävarmaa ja laitosten vähäisten käyttötuntien takia kulumametallien osuus öljynäytteissä ilmenevistä ongelmista on todennäköisesti normaalia pienempi.

Useamman näytteenottoaikan rakentaminen voiteluöljyjärjestelmien paluulinjoihin ei vaikuta järkevältä ratkaisulta. Harvoissa tapauksissa voiteluöljylinjastoissa oli valmiina yhteitä, joita voisi mahdollisesti käyttää öljynäytteiden ottamiseen. Kuvassa 6 on Forssan varavoimalaitoksen generaattorilaakerin voiteluöljylinjat, joissa on yhteet valmiina.



Kuva 6. Forssan varavoimalaitoksen generaattorilaakerin voiteluöljyn syöttö- ja paluulinja. Syöttölinja on taaempi kapeampi putki ja paluulinja on etualalla oleva paksumpi putki. Linjastoissa olevat yhteet näkyvät katosta roikkuvien ketjujen etu- ja takapuolella.

Huutokosken laitoksella tulisi selvittää mahdollisuutta ottaa öljynäytteet öljysäiliöstä heti koeajon jälkeen. Nykyinen käytäntö, jossa näyte otetaan sen jälkeen, kun öljypumppu

on kierrättänyt öljyä kymmenen minuuttia, ei todennäköisesti nosta öljyn lämpötilaa normaalin käyttölämpötilan tasolle.

Forssan laitoksella näytteenottoapaikan siirtämistä säiliölle voisi selvittää. Nykyinen näytteenottoaika heti suodattimen jälkeen ei ole optimaalinen [12, s. 13].

Edellä mainittu koskee voimaturbiinien voiteluöljyjärjestelmiä. Patria on määritellyt kaasunkehittimien voiteluöljyjärjestelmille näytteenottoaikat. Näitä paikkoja on yleensä järjestelmässä muutamia. Näytteenottoaika tulisi mahdollisuuksien mukaan vakiinnuttaa samaksi kerrasta toiseen. Lisäksi näytteet olisi hyvä ottaa laakereilta palaavasta öljystä, jos se on mahdollista ja helposti toteutettavissa.

6.3 Analyysien laajuus

Verrattaessa Mobilin tekemiä öljyanalyseja huomataan, että niiden perustaso kattaa melko hyvin ASTM-standardin ohjeen tarvittavista analyyseista. Vain hapettumisenkestävyys RPVOT-tekniikalla puuttuu. Mobilin perusanalyseilla pitäisi pärjätä hyvin, ja ne antavat todennäköisesti tarpeeksi informaatiota, jotta ongelmatilanteet huomataan ja jatkotoimenpiteisiin voidaan ryhtyä.

Tarvittaessa perusanalyysien rinnalle voi ottaa esimerkiksi näytteen mikroskopoinnin tai TAN-arvolle lisäinformaatiota antavia hapettumistestejä, kuten RPVOT tai infrapunaspektrometritestin. Näin toimittaessa törmätään kuitenkin mahdolliseen ongelmaan. Luvussa 5.1 käytiin läpi eri analyysimenetelmiä vain päällisin puolin, mutta lähteiden perusteella kävi selväksi, että hapettumistestien teho perustuu jatkuvalla testaamisella esiin nouseviin trendeihin ja tulosten vertaamiseen keskenään. Jos laajemmat hapettumisen analyysit aloitetaan vasta ongelmien ilmetessä, eivät yksittäiset testitulokset ja absoluuttiset arvot ole yhtä informatiivisia kuin useamman mittauksen muodostamat sarjat. Tätä taustaa vasten esimerkiksi Forssassa voisi olla perusteltua kasvattaa analyyssien määrää, jotta öljystä saataisiin lisäinformaatiota uusien analyysisarjojen muodossa.

Lähteisiin tutustuessa ja haastattelua tehdessä kävi selväksi, että analyyseja valittaessa tärkeä merkitsevä tekijä on myös valittavan analysointitavan laatu. Vesipitoisuuden mittaussessa on valittava oikea tapa, jotta tulokset ovat tarkkoja matalissakin

pitoisuuksissa. Viskositeetin mittaaminen standardin mukaan vaatii öljyn lämpötilan asettamista sadasosaasteen tarkkuudella oikein [7, s. 173]. Mobilin tulosraporteissa ei lue käytettyjä menetelmiä saatujen arvojen mittaamiseen. Näiden selvittäminen olisi hyödyllistä. Lähteissä ja haastattelussa mainittu näytteen tutkiminen mikroskoopin avulla voisi tulla kysymykseen kulumametallien tai muiden epäpuhtauksien määrän kasvaessa öljynäytteissä.

Kirjallisina lähteinä käytetyt artikkeli ja voiteluopas tarjosivat hyvän katsauksen tarvittavien analyysien laajuuteen ja analyysimenetelmiin. Tähän raporttiin on koottu vain murtoosa lähteiden sisältämästä informaatiosta ja esimerkiksi niitä on hyvä käyttää pohjatietona, jos analyysien laajentamista ruvetaan harkitsemaan. Varsinaiseen ASTM D4378 -standardiin ei raporttia tehdessä päästy käsiksi. Tämä standardi tarjoaisi hyvän teoriapohjan voiteluöljyjärjestelmien monitoroinnin kehittämiseksi.

6.4 Toimenpide-ehdotukset kootusti

Työn tuloksena saadut toimenpide-ehdotukset voidaan jakaa suositeltaviin ja harkinnan mukaan toteutettaviin ehdotuksiin. Suositeltavat toimenpiteet ovat asioita, joita olisi tämän työn mukaan perusteltua toteuttaa. Harkinnan mukaan toteutettavat ehdotukset koostuvat seikoista, jotka nousivat esiin työn aikana, mutta joiden toteuttamista ei voida tämän työn perusteella täysin suositella. Niiden toteuttamista voi harkita ja tämä raportti auttaa punnitsemaan niiden hyötyjä ja haittoja. Tämän työn pohjalta niitä ei voida kuitenkaan aukottomasti suositella. Suositeltavat toimenpiteet koostuvat seuraavista toimenpiteistä:

- Voimalaitoksilla oleva sivuvirtasuodatin kannattaisi ottaa aktiivisempaan käyttöön.
- Huutokosken voimalaitoksen voimaturbiinin voiteluöljyjärjestelmässä ehdotetaan siirtymistä vuoden näytteenottoväliin.
- Näytteenotot tulisi ajoittaa kevääseen kaikilla laitoksilla, niin että analyysin tulokset olisivat käytettävissä vuosihuollossa.
- Forssassa ja Huutokoskella tulisi selvittää paremman näytteenottoaikan mahdollisuutta.
- Huutokoskella näytteenotot tulisi ajoittaa koeajojen yhteyteen.
- Laajemmat analyysit kannattaisi ottaa käyttöön silloin, kun perusanalyysien tulokset antavat siihen aiheita.

Harkinnan mukaan toteutettavat ehdotukset koostuvat seuraavista toimenpiteistä:

- Tarkempien öljyn käyttöhistoriatietojen liittämistä lähetettäviin öljynäytteisiin voisi selvittää.
- Kaasunkehittimien voiteluöljyjen näytteenottovälin tihentämistä vuoteen voisi harkita.
- Näytteenottoaikan vakioimista kaasunkehittimien näytteenotossa voisi selvittää.
- Tiheämpien ja laajempien analyysien käyttöönottoa Forssan laitoksella voisi harkita.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä perehdyttiin Fingridin varavoimalaitosten voiteluöljyjärjestelmiin ja niiden näytteenottoon. Tarkasteltavan olivat erityisesti näytteenottoaikat, näytteenoton aikavälit ja näytteistä tehtävien analyysien laajuus. Kehityskohteita näytteenottoon pyrittiin löytämään haastattelujen, laitosvierailujen ja kirjallisten lähteiden perusteella. Tulokseksi saatiin muutamia kehitysehdotuksia. Tärkeä tulos oli myös se, että monet käytössä olevat toimintatavat voitiin todeta asianmukaisiksi.

Haasteeksi muodostui näytteenottovälien tiheyden ja analyysien laajuuden tarpeen arviointi varavoimalaitoksilla, joiden käyttötunnit ovat todella pieniä. Toisaalta näytteenottovälin tihentäminen ja analyysien laajentaminen voisivat parantaa laitosten käyttövarmuutta. Käyttövarmuudesta huolehtiminen on varavoimalaitostoiminnan keskiössä. Toisaalta tiheämmin ja laajemmin tehtävien analyysien tuottama lisäinformaatio voidaan kyseenalaistaa, juuri alhaisten käyttötuntien takia. Liian tiheästi otettavista näytteistä koituu vain ylimääräisiä kustannuksia ja turhaa työtä.

Insinööriyön tavoite saavutettiin. Voiteluöljyjen näytteenottokäytännöt selvitettiin ja niiden asianmukaisuus voitiin arvioida, niin että kehityskohteet nousivat esiin.

Lähteet

- 1 Esittely. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/>>. Luettu 1.3.2021.
- 2 Fingridin historia. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/fingridin-historia/>>. Luettu 1.3.2021.
- 3 Vuosikertomus 2020. 2021. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/vuosikertomus/>>. Luettu 27.4.2021.
- 4 Reservimarkkinat. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/>>. Luettu 1.3.2021.
- 5 Huhtinen, Markku; Korhonen, Risto; Pimiä, Tuomo & Urpalainen, Samu. 2018. Voimalaitostekniikka. 4., painos. Tampere. Opetushallitus.
- 6 Gas Turbine for Power Generation: Introduction. Verkkoaineisto. Wärtsilä Oyj Abp <<https://www.wartsila.com/energy/learn-more/technical-comparisons/gas-turbine-for-power-generation-introduction>>. Luettu 28.4.2021.
- 7 Kunnossapitoyhdistys ry. 2006. Teollisuusvoitelu, Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 8. 4., täydennetty painos. Hamina. KP-Media Oy.
- 8 Äkräs, Taisto. 2021. Järjestelmäasiantuntija. Patria. Haastattelu 10.3.2021.
- 9 Korhonen, Marko. 2021. Laitosvastuuhenkilö. Elcoline Oy. Haastattelu 22.3.2021.
- 10 Antikainen, Esa. 2021. Laitosvastuuhenkilö. Elcoline Oy. Haastattelu 23.4.2021.
- 11 Nurmi, Janne. 2021. Laitosvastuuhenkilö. Teollisuuden Voima Oyj. Haastattelu 11.2.2021.
- 12 Kamal, Girish. In-sevice Condition Monitoring of Turbine Oils. Verkkoaineisto. Texas A&M University. <<https://turbolab.tamu.edu/wp-content/uploads/2018/08/METS2Tutorial8.pdf>>. Luettu 24.4.2021.
- 13 Keitä olemme ja mitä teemme?. Verkkoaineisto. Kunnossapitoyhdistys Promaint ry. <<https://www.promaint.net/yhdistys/>>. Luettu 24.4.2021.
- 14 Vesala, Mika. 2021. Laboratoriopäällikkö. Fluidlab Oy. Haastattelu 15.3.2021.

- 15 Fluidlab - Voiteluaineiden analysoinnin edelläkävijä. Verkkoaineisto. Fluidlab Oy. <<https://www.fluidlab.fi/yritys>>. Luettu 3.4.2021.
- 16 Näin otat näytteen. Verkkoaineisto. Fluidlab Oy. <<https://www.fluidlab.fi/naytteenotto/naytteenotto-ohjeet>>. Luettu 23.4.2021.
- 17 Valkama, Tero. 2021. Koneasentaja. Helen Oy. Haastattelu 24.2.2021.
- 18 Meri-Porin lauhdevoimalaitos. Verkkoaineisto. Fortum Oyj. <<https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/meri-porin-lauhdevoimalaitos>>. Luettu 29.3.2021.
- 19 Pyykönen, Jukka. 2021. Kunnossapitoinsinööri. Caverion Oyj. Haastattelu 23.3.2021.