

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
LUT Kone

Jaakko Vesanto

**PETROKEMIAN AROMAATTITUOTANNON PUMPPUJEN VIKA-ANALYYSI
JA LUOTETTAVUUDEN PARANTAMINEN**

Tarkastajat: Dosentti Harri Eskelinen
TkT Merja Peltokoski

Työn ohjaaja: DI Mats Roos

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Jaakko Vesanto

Petrokemian aromaattituotannon pumppujen vika-analyysi ja luotettavuuden parantaminen

Diplomityö

2017

63 sivua, 36 kuvaa ja 8 taulukkoa

Tarkastajat: Dosentti Harri Eskelinen
TkT Merja Peltokoski

Hakusanat: Pumput, vika-analyysi, luotettavuuden parantaminen

Diplomityön tarkoituksena oli saada tutkittua tietoa Borealis Polymers Oy:n aromaattituotannon pumppujen vikaantumisten syistä aikavälillä 01.01.2007–15.10.2016. Tutkimuksessa vikaantumisten syiden selvittämisen jälkeen tarkoituksena oli tutkia eniten vikaantuneiden pumppujen juurisyitä ja tehdä ehdotelma tarvittavista muutoksista pumppujen luotettavuuden parantamiseksi.

Tutkimuksessa selvitettiin pumppujen vikaantumisia Borealoksen käyttämän toiminnanohjausjärjestelmän vikaraporteista sekä yhtiön verkkolevyille tallennetuista tiedoista. Pumppujen juurisyiden selvittämisessä hyödynnettiin toiminnanohjausjärjestelmän lisäksi Borealoksen käyttämiä muita tietojärjestelmiä. Pumppujen luotettavuusehdotuksessa selvitettiin samanlaisissa oloissa moitteettomasti toimivia pumppuja ja hyödynnettiin henkilökunnan kokemuksia ja osaamista parannusehdotuksen tekemisessä.

Tutkimuksessa saatiin tutkittua tietoa aromaattituotannon pumppujen vikaantumisten syistä. Mekaanisten tiivisteiden hajoaminen selvisi tutkimuksessa suurimmaksi ongelmaksi pumppujen vikaantumisissa. Lisäksi tutkimuksessa ehdotettiin eniten hajoavien pumppujen luotettavuuden parantamiseksi eri toimenpiteitä.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Jaakko Vesanto

Aromatic petrochemical production pump failure analysis and improving reliability

Master's thesis

2017

63 pages, 36 figures and 8 tables

Examiner: Docent Harri Eskelinen
D.Sc. (Tech.) Merja Peltokoski

Keywords: Pumps, failure analysis, improving reliability

The purpose of this master thesis is to obtain analytical information regarding pump failure modes at the Borealis Polymer aromatic plant between the dates of January 1, 2007 through October 15, 2016. After investigation and determination of causes for pump failures, the target was to determine root causes for failures in two specified pump pairs and to develop a plan for improving pump reliability.

This thesis studied pump failures using data and failure notifications from the company enterprise resource planning system and network database. Additionally, other software utilized by the company was analysed for determining the root causes of pump failures. In the subsequent pump reliability plan, similar pump types without failures were reviewed. Also, the experience and know-how of Borealis production and engineering staff was utilized for the development of improvement proposals.

As a result of the study, new information was obtained regarding the causes for failure in pumps used in aromatic production. The main reason for pump failures was the mechanical seals. Furthermore, different proposals were made for improvement of reliability in specified pump pairs.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Borealis Polymers Oy:lle. Haluan kiittää tästä mahdollisuudesta Borealixen petrokemian kunnossapidon päällikköä Mats Roosia ja Borealixen henkilöstöä tuesta diplomityön tekemisessä.

Lappeenrannan teknillisen yliopiston henkilökunnasta kiitän työni tarkastajia dosentti Harri Eskelistä ja tekniikan tohtoria Merja Peltokoskea.

Lisäksi suuri kiitos koulun ja päivätyön yhdistämisen tukemisesta puolisololleni Niinalle ja perheelleni sekä Jopelle diplomityön inspiraation lähteenä toimimiselle.

Jaakko Vesanto

Helsingissä 02.02.2017

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Työn tausta.....	7
1.2 Tavoitteet ja rajaus.....	8
1.3 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset	9
1.4 Työn toteutus ja rakenne	10
2 PUMPPUTYYPIT JA RAKENTEET	11
2.1 Keskipakopumppujen rakenne ja pääkomponentit	13
2.2 Syrjäytyspumppujen rakenne ja pääkomponentit	16
3 VIKAANTUMISTEN ANALYSOINTIMENETELMÄT	18
3.1 Vika- ja vaikutusanalyysi.....	19
3.2 Juurisyyanalyysi.....	20
3.3 Juurisyyanalyysin työkalut	20
3.3.1 Aivoriihi.....	20
3.3.2 Pareto-analyysi.....	21
3.3.3 5xMiksi	22
3.3.4 Kalanruotomalli	22
4 PUMPPUJEN VIKAANTUMISTEN RAPORTOINTIJÄRJESTELMÄT	24
4.1 ERP-toiminnanohjausjärjestelmän raportointikäytäntö.....	24
4.2 Futromas ja verkkoasema	27
5 AROMAATTITUOTANNON PUMPPUJEN VIKA-ANALYYSI.....	28
5.1 Vikalistan ajaminen	28
5.2 Tutkimuksesta rajattujen töiden karsiminen	30
5.3 Syiden analysoiminen ja tarvittavat tiedot.....	30
6 PUMPPUPARIEN JUURISYIDEN SELVITYKSET JA PARANNUKSET	36
6.1 GA-1A+S pumppuparin ongelmien selvittäminen	37
6.1.1 GA-1A+S perustietojen selvitys	38

6.1.2	GA-1A+S ongelman juurisyyn selvittäminen.....	39
6.1.3	GA-1A+S parannusehdotuksen selvitys ja parannusehdotus	41
6.2	GA-1B+S pumppuparin ongelmien selvittäminen	42
6.2.1	GA-1B+S perustietojen selvitys	43
6.2.2	GA-1B+S ongelman juurisyyn selvittäminen.....	44
6.2.3	GA-1B+S parannusehdotuksen selvitys ja parannusehdotus.....	45
7	TULOKSET	47
7.1	Pumppujen vikatyypin rahalliset osuudet	48
7.2	Pumppujen tyyppikohtaiset vikaantumissyöt	49
7.3	Korjausmäärät vuosittain	54
7.4	Pumppujen parannusehdotukset	55
8	TULOSTEN ANALYYSINTI	56
9	YHTEENVETO	58
	LÄHTEET	60

1 JOHDANTO

Borealis Polymers Oy:n laitokset Porvoossa jaotellaan petrokemiantehtaaseen ja muovitehtaaseen. Kunnossapidon organisaatiot toimivat Borealiksella tuotantojen avustavina organisaatioina. Kunnossapidon tehtävänä on taata tuotannolle häiriötön prosessi huoltamalla ja korjaamalla prosessiteollisuuden tuotantoprosessin laitteita. Pumppuja prosessiteollisuudessa käytetään siirtämään nestettä paikasta toiseen. Pumppujen luotettava käynti on edellytys luotettavaan ja häiriöttömään tuotantoprosessiin. Suurin osa petrokemiantehtaan pumpuista on kahdennettu juuri keskeytymättömän tuotantoprosessin takaamiseksi. Kuvassa 1 nähdään Borealoksen petrokemian tehdas Porvoossa.



Kuva 1. Borealoksen petrokemiantehtaan aromaattituotanto kuvassa esitettynä numerolla 1 ja olefiinituotanto numerolla 2 (muok. Borealis 2016, s. 5).

1.1 Työn tausta

Borealoksen petrokemiantehtaan kunnossapidon koneosasto vastaa aromaattiyksikön pumppujen huolloista ja korjauksista. Pumppuhuolloista koneosaston asentajat kirjoittavat valokuvallisen vikaraportin ja tallentavat sen yrityksen verkkoasemalle. Lyhyen yhteenvedon raportista ilman valokuvia asentajat kirjoittavat yhtiön viralliseen ERP-

toiminnonohjausjärjestelmään, lyhenne tulee englannin sanoista Enterprise Resource Planning.

Henkilökunnan vaihtuvuus ja eläköityminen kunnossapidossa vaikuttavat hiljaisen tiedon katoamiseen yrityksestä. Tutkitun tiedon ja järjestelmällisen raportoinnin merkitys korostuu pumppujen juurisyiden vikaselvityksissä, sekä luotettavuuden parantamisessa hiljaisen tiedon kadotessa. Tutkitun tiedon avulla pystytään priorisoimaan laitoksen pumppujen kriittisimmät selvityskohteet ja kohdistamaan henkilöresurssit oikein. Priorisoimalla henkilöresurssit oikein saadaan tehokkaasti ja taloudellisesti poistettua ongelmat yksi kerrallaan. Pumppujen kriittisyyden mittareina käytetään vikaantumistaajuutta, rahallisia korjauskustannuksia tai pumpun tärkeyttä tuotantoprosessissa.

Pumppujen vikaantumisten syiden selvityksillä ja selvitettyjen juurisyiden avulla pystytään kunnossapidossa määrittelemään oikeanlaiset ehdotukset pumppujen luotettavuuden parantamiseksi. Ilman kunnollista järjestelmään kirjattua tietoa ja riittävän suurta tutkittua tietomäärää jäävät juurisyöt selvittämättä, eikä voida tehdä kunnollisia ehdotuksia laitteiden toiminnan luotettavuuden parantamiseksi.

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Tämän diplomityön tarkoituksena ja ensimmäisenä tavoitteena on saada tutkittua tietoa Borealis Polymers Oy:n petrokemian aromaattituotannon pumppujen vikaantumisten syistä. Työ on rajattu aromaattituotannon hallinnoimiin pumppuihin sekä koskemaan pelkästään pumppuja, jolloin apulaitteet rajataan pois vikaantumissyiden osalta. Lisäksi tutkimus rajataan koskemaan vain koneosaston korjaamiin vikoihin. Lisäksi erilaiset modifioinnit, virheelliset aikarajaukset, ei korjaukset sekä tilaukset, joita ei tarvitse toteuttaa, rajataan pois tutkimuksesta. Lähtökohtana on ensin kerätä kaikki pumppujen vikaantumiset ERP-tietojärjestelmästä ja selvittää niiden perusteella pumppujen vikaantumisten syyt tapauskohtaisesti. Tutkittavan tiedon aikaväliksi rajataan 01.01.2007–15.10.2016. Aloitusvuodeksi on valittu 2007, koska vuoden 2007 paikkeilla on laitokselle tullut paljon uusia pumppuja.

Vikaantumisten syitä tarkastellaan ensin kaikkien pumppujen osalta lukumääräisesti, jonka jälkeen vikaantumisten syiden lukumääriä tarkastellaan vielä erikseen tarkemmin

pumpputyypikohtaisesti. Lukumääräisen tarkastelun jälkeen selvitetään vielä rahalliset osuudet vikaantumissyiden mukaan kaikkien pumppujen osalta sekä erikseen pumpputyypikohtaisesti.

Toisena tavoitteena diplomityössä on valita kaksi pumppuparia tarkempaan juurisyyn selvitykseen tutkimuksen ensimmäisen osan tulosten perusteella. Pumppuparit valittiin tarkempaan tarkasteluun rahallisten korjauskustannusten ja lukumääräisesti eniten vikaantuneista pumppupareista. Pumppuparien selvitettyjen juurisyiden perusteella tehdään ehdotukset korjaaville toimenpiteille, joilla pumppujen luotettavuutta saadaan parannettua.

1.3 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Borealiksen aromaattituotannon pumppujen vikaantumissyistä, niiden lukumääristä ja rahallisista menoista ei ole järjestelmällisesti tutkittua tietoa. Nykyinen käytäntö on tehdä selvitykset ongelmille, kun häiriöitä ilmaantuu lyhyellä aikavälillä normaalia enemmän. Näin ei saada kohdistettua henkilöresursseja tehokkaasti ja järjestelmällisesti kaikista kriittisimpiin kohteisiin. Tämän työn tutkimusongelma on selvittää pumppujen vikaantumisten syyt ja tehdä ehdotus luotettavuuden parantamiseksi kahden pumppuparin osalta.

Ensimmäinen päätutkimuskysymys diplomityössä on:

- Mitkä syyt aiheuttavat eniten pumppujen hajoamisia aromaattituotannossa?

Ensimmäisen päätutkimuskysymyksen alatutkimuskysymyksinä diplomityössä ovat:

- Paljon on rahallinen osuus prosentteina erilaisilla vikatyypeillä vikaantumisten kokonaiskorjauskuluista?
- Paljon on prosentuaalisesti erilaisia vikoja erityyppisillä pumpuilla?
- Paljon pumppukorjauksia tutkittavan ajanjakson aikana on ollut vuosittain ja ovatko korjausmäärät lisääntyneet vai vähentyneet?

Toinen päätutkimuskysymys diplomityössä on:

- Mitkä ovat ongelmien juurisyyn valituilla pumppupareilla?

Toisen päätutkimuskysymyksen alatutkimuskysymys diplomityössä on:

- Mitkä ovat muutosehdotukset kahdelle valitulle pumppuparille?

1.4 Työn toteutus ja rakenne

Tutkimuksen vikaantumissyiden määrittämisen pohjana käytetään yrityksen ERP-toiminnonohjausjärjestelmään kerääntynyttä vikailmoitusten raportointitietoa eri vikaantumisista, sekä tarvittaessa tarkastellaan yrityksen verkkoasemalle tallennettuja laajempia kuvallisia raportteja korjauksista. Näiden pohjalta määritellään vikaantumisten syyt korjauksille.

Tutkimuksen juurisyiden analysointiin käytetään samoja menetelmiä kuin tutkimuksen ensimmäisessä osassa. Lisäksi analysoinnin apuna käytetään kaikkia mahdollisia tietoja, joita yrityksestä löytyy pumppuihin liittyen. Kyseisiä lähteitä voivat olla Borealiksen arkisto, muut tietojärjestelmät, pumppujen datalehdet ja muut laitedokumentit. Selville saatujen tietojen perusteella tehdään johtopäätökset juurisyistä ja ehdotukset parantavista toimenpiteistä.

Diplomityön rakenteessa lähdetään ensin tutustumaan aihealueeseen kirjallisuustutkimuksen avulla. Kirjallisuustutkimuksessa lukijalle annetaan tarvittavaa tietoa tutkimuksen aihealueesta, että lukija voi ymmärtää kokonaisvaltaisesti tutkittavaa aihealuetta ja eri asioiden vaikutuksia toisiinsa. Kirjallisuustutkimuksen jälkeen tutustutaan tarkemmin yrityksen tietojärjestelmiin ja toimintatapoihin vikaantumissyiden kirjaamisessa. Tämän jälkeen esitetään itse toteutettu tutkimus ja tulokset. Tutkimuksen lopuksi vielä analysoidaan tutkimuksessa saatuja tuloksia ja niihin vaikuttaneita asioita. Työssä osa kuvista esitetään englannin kielisinä, koska yrityksen toiminnanohjausjärjestelmän kielenä toimii englanti. Lisäksi muita aiheeseen liittyviä kuvia esitetään englannin kielellä, koska nykyään laitetoimittajat esittävät monet tiedot englannin kielisinä, eikä näiden tietojen esittäminen suomeksi ole järkevää.

2 PUMPPUTYYPIT JA RAKENTEET

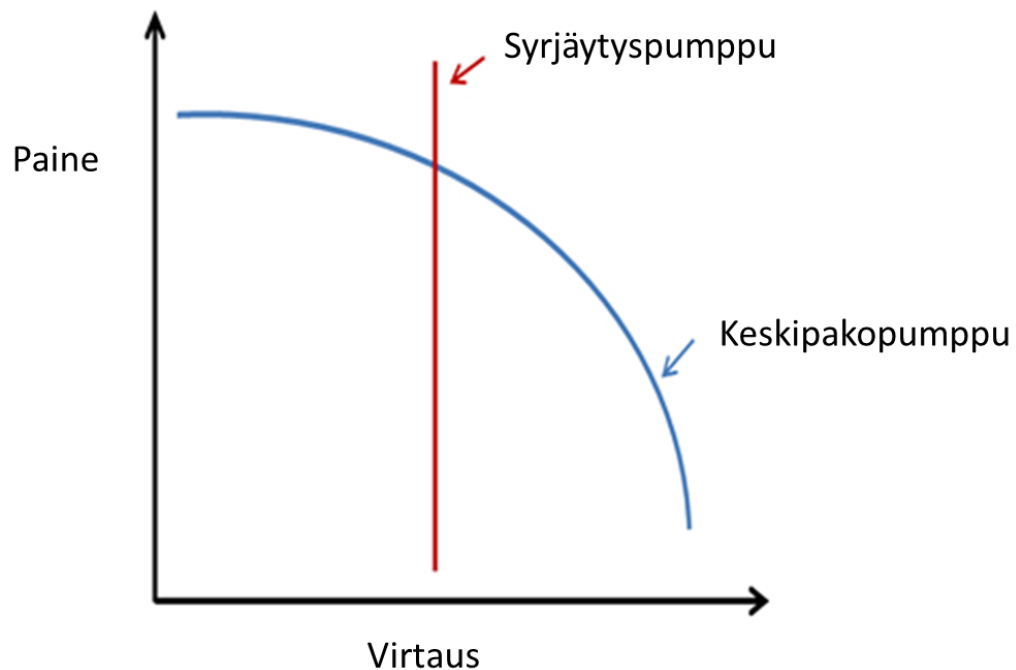
Markkinoilla on lukuisia sovelluksia pumpuista ja runsaasti pumppuja valmistavia yrityksiä. Jokaisella valmistajalla on omissa pumpuissaan pieniä erityispiirteitä, joiden avulla saadaan mainostettua asiakkaalle heidän pumppujensa olevan parempia verrattuna kilpailijoiden vastaavanlaisiin pumppuihin. Näiden pienten erikoispiirteiden avulla myyjä vakuuttaa pumpun toimivan parhaiten asiakkaan prosessin osana ja näin asiakas saisi toimivan ja luotettavan pumpun. Erityispiirteitä voivat olla osien valmistustavat tai pumpun rakenteen toteutustapa.

Pumppuja käytetään siirtämään nestettä lähtöpaikasta A määriteltyyn loppupaikkaan B (Gulich 2014, s. 43). Pumpun pääperiaatteena on tuoda pumpattavaan nesteeseen lisää energiaa ulkopuolisen työn avulla (Bergius et al. 1978, s. 7). Kirjallisuudessa pumppuja jaotellaan hieman eri tavalla lähteestä riippuen. Nesbitt'in (2006, s. 3) mukaan pumput voidaan jakaa kahteen pääryhmään toimintatapansa mukaan. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat pumput ovat dynaamisia eli keskipakovoimaisia pumppuja ja toiseen ryhmään kuuluvat syrjäytyspumput. Näiden kahden pääryhmän ulkopuolelle jää vielä muutamia pumppuja ja ne voidaan luokitella kategoriaan muut pumput. (Nesbitt 2006, s. 3–50.) Muut pumput ryhmään kuuluu Nesbitt'in (2006, s. 50) mukaan esimerkiksi Jet-pumput. Hall (2012, s. 102) jakaa myös pumput kahteen pääryhmään kuten Nesbitt (2006, s. 3) eli keskipakopumppuihin ja syrjäytyspumppuihin. Pumppuja voidaan luokitella monella muullakin tavalla. Toimintatavan mukaan pumput voidaan luokitella myös edellisestä poiketen keskipakopumppuihin, sivukanavapumppuihin ja syrjäytyspumppuihin. Pumppuja voidaan luokitella toimintatavan lisäksi esimerkiksi tyypillisten ominaisuuksien, virtaussuunnan tai rakenteen mukaan. (Gulich 2014, s. 52–55.)

Kirjallisuudessa nesterengaspumppujen luokittelussa löytyy eroavaisuuksia. Gulich (2014, s. 52–55) sisällyttää teoksessaan *Centrifugal Pumps* nesterengaspumput termin keskipakopumpun alle. Bannwarth (2006, s. 157) puolestaan laskee pumpun kuuluvan syrjäytyspumppuihin.

Keskipakopumppujen toimintaperiaatteena on siirtää pumpun mekaaninen energia liikuttamaan pumpattavaa nestettä pumpun imupuolelta painepuolelle tietyllä virtausmäärällä ja paineella. Roottorin pyörimisnopeus vaikuttaa pumpun tuottamaan virtausmäärään tietyllä paineen tasolla. Virtausmäärän noustessa paine putoaa merkittävästi. (Gulich 2014, s. 43.)

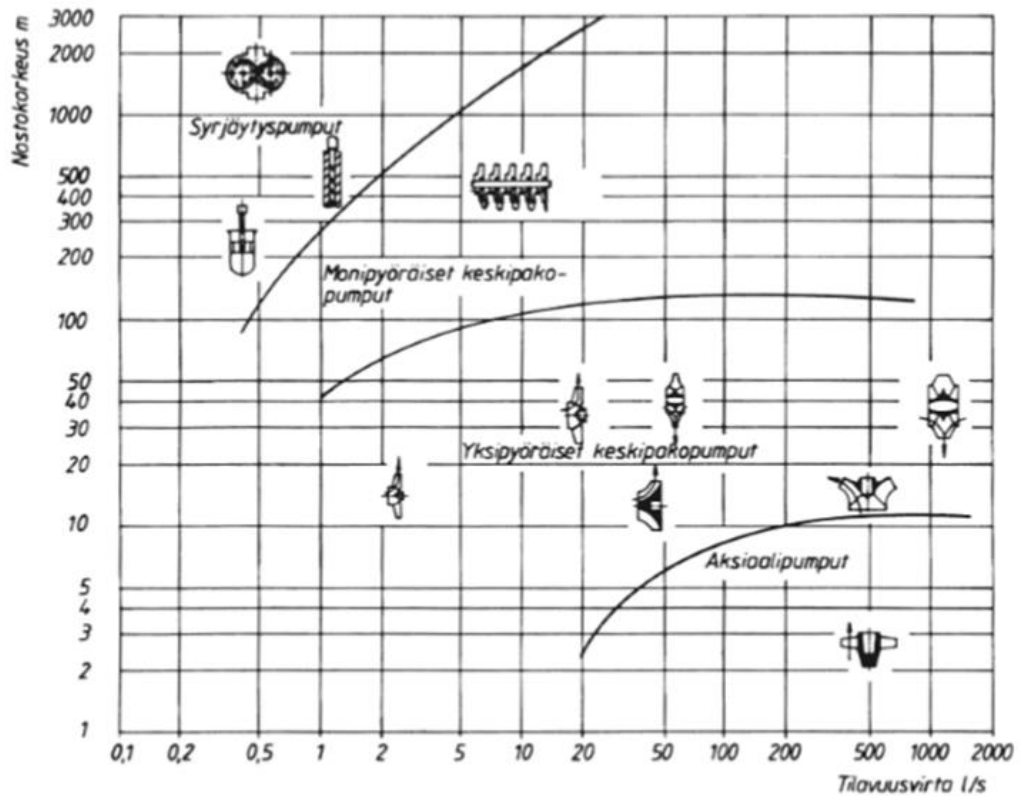
Syrjäytyspumppu puolestaan siirtää aina saman nestetilavuuden pumpun imupuolelta painepuolelle yhden iskun tai kierroksen aikana. Tilavuusvirta on suoraan suhteessa roottorin nopeuteen. Paineen nouseminen ei juuri vaikuta tilavuusvirtaan samalla tavalla kuin keskipakopumpuilla. (Gulich 2014, s. 43.) Kuvassa 2 esitetään keskipakopumppujen ja syrjäytyspumppujen painemuutokset virtausmäärän vaihtuessa. Kuvassa nähdään keskipakopumpun paineen nousevan tilavuusvirran laskiessa, kun syrjäytyspumppulla paineen muutos ei juuri vaikuta tilavuusvirtaan.



Kuva 2. Keskipakopumpun ja syrjäytyspumppun vaikutus paineeseen virtausmäärän vaihtuessa (muok. Sumio Water Systems 2017).

Pumpputyyppejä ja pumppua valittaessa on otettava huomioon erilaisia asioita. Pumppua hankittaessa on jokainen laite otettava huomioon yksilökohtaisesti. Huomioon otettavia asioita ovat pumpattava aine, sallittava vuoto ulos, moottorin tyyppi, asennukseen liittyvät

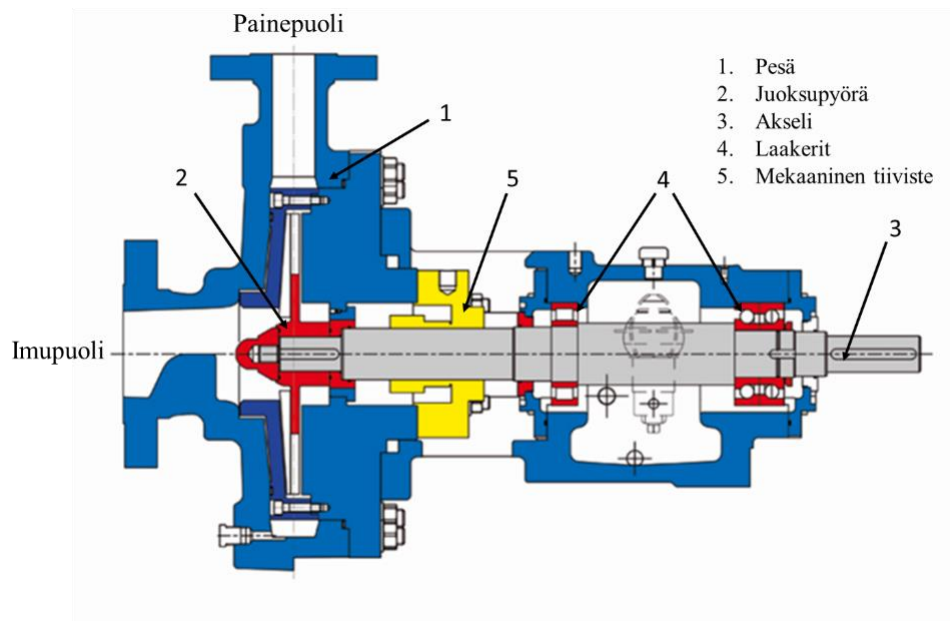
asiat, operointivaatimukset, käyttömäärät sekä turvallisuusasiat. (Nesbitt 2006, s. 3.)
Kuvassa 3 nähdään nostokorkeuden ja tilavuusvirran vaikutukset pumpputyypin valintaan.



Kuva 3. Pumpputyypin valintaan vaikuttavat tilavuusvirrat ja nostokorkeudet (Motiva 2011, s. 7).

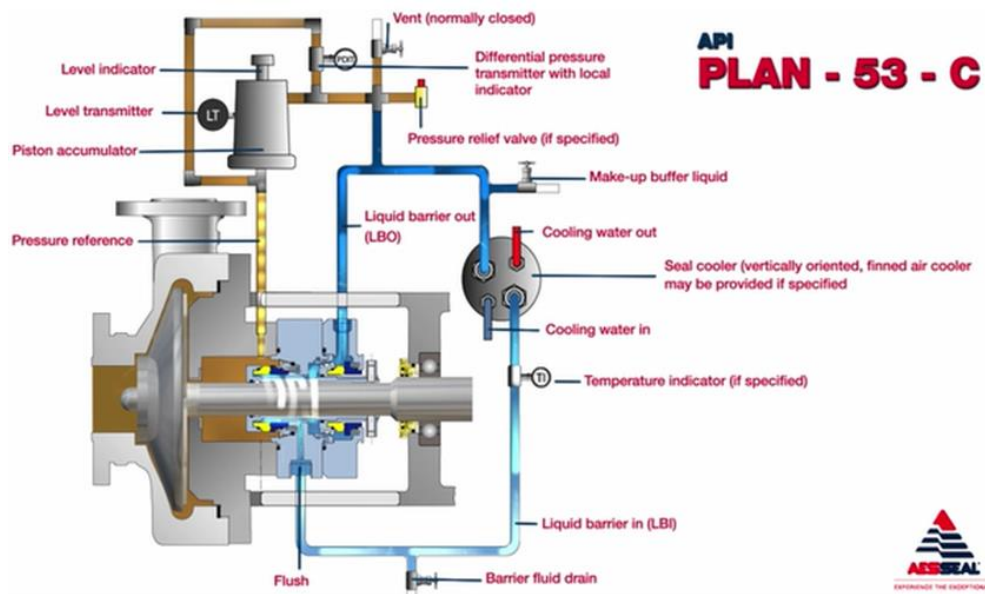
2.1 Keskipakopumppujen rakenne ja pääkomponentit

Keskipakopumput ovat teollisuudessa yleisin pumpputyypin (Motiva 2011, s. 7). Keskipakopumppujen osuus kaikista pumpuista on noin 70 % (Hall 2012, s. 102). Riippuen käyttötarkoituksesta ja muista vaatimuksista, voidaan keskipakopumput asentaa vaaka- tai pystysuoraan. Molemmissa tapauksissa voidaan käyttää yhtä tai useampaa juoksupyörää. Lisäksi voidaan valita käytettäväksi magneettivetoisia tai mekaanisella tiivisteellä varustettuja pumppuja. (Gulich 2014, s. xxii–xxiii.) Keskipakopumpun rakenne komponentteineen esitetään kuvassa 4.



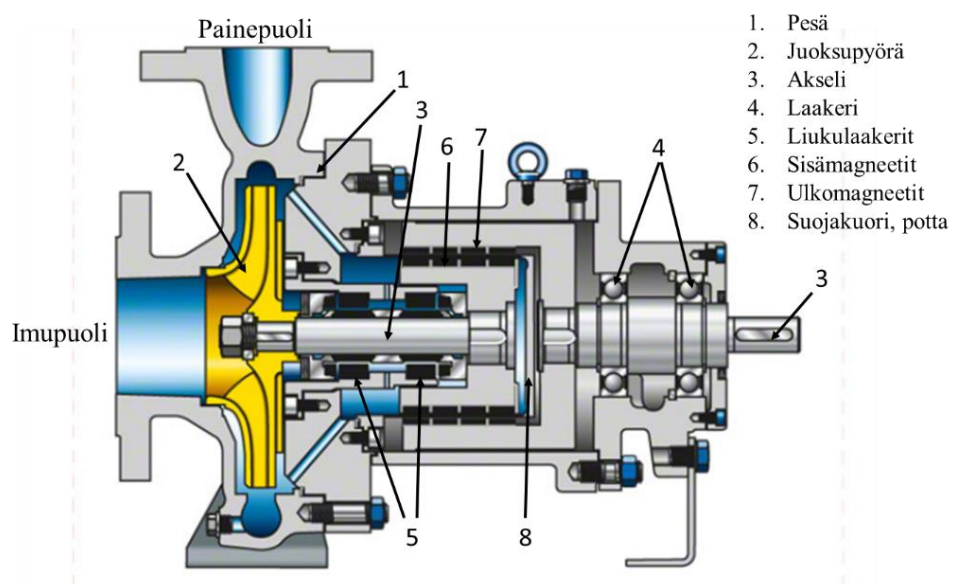
Kuva 4. Keskipakopumpun rakenne ja tärkeimmät komponentit (muok. Apollo 2016).

Mekaanisen tiivisteiden hajoaminen on suurin yksittäinen syy pumppujen vikaantumisiin (Grundfos 2016, s. 2). Mekaaninen tiiviste ja mahdollinen tiivistenestejärjestelmä ovat pumpun luotettavuuden osalta merkittävässä roolissa. Jokainen mekaaninen tiiviste pitää aina tarkastella ja suunnitella yksilöllisesti käytettävään kohteeseen. Variaatioita tiivistenestejärjestelmiä löytyy paljon erilaisiin toimintaolosuhteisiin. Kuvassa 5 esitellään AESSEAL:n API Plan mukainen 53C tiivistenestejärjestelmä. Tiivistenestejärjestelmä 53C on tarkoitettu prosessiaineille, jotka ovat myrkyllisiä, vaarallisia, likaisia tai eivät sovellu voitelemaan sisempää liukupintaparia. Järjestelmä on tarkoitettu pumppuille, joiden paine operoidessa vaihtelee. Paineenmuunnin säätelee kyseisessä järjestelmässä automaattisesti tiivistenesteen painetta ja pitää paine-eron vakiona. (AESSEAL 2016.)



Kuva 5. Tiivistenestejärjestelmä 53C esitettynä kuvassa (AESSEAL 2016).

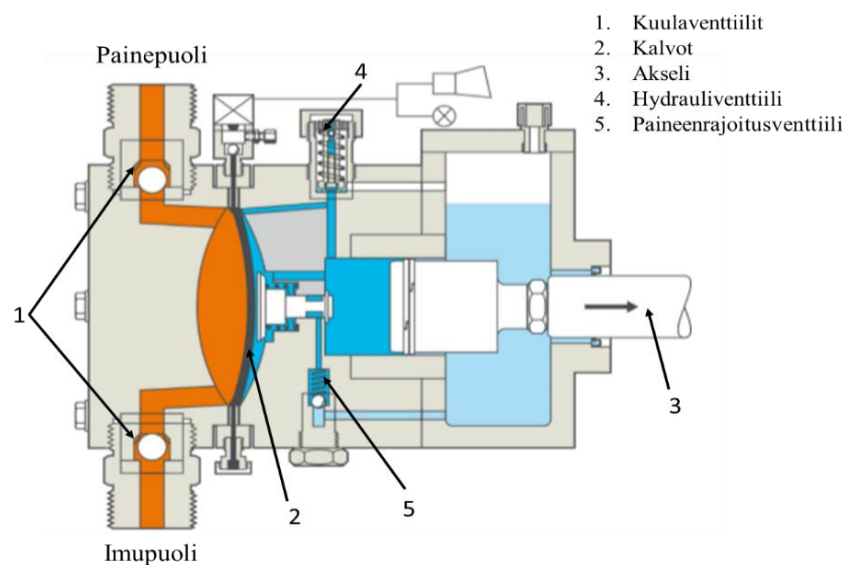
Magneettivetoisen yhden juoksupyörän keskipakopumpun rakenne eroaa mekaanisella tiivisteellä varustetusta keskipakopumpusta. Magneettivetoisessa pumpussa ei ole mekaanista tiivistettä ja energian välitystapa välitetään magneettien avulla. Magneettivetoisissa pumpuissa prosessiane voitelee pumpun liukulaakereita ja kuivana käyminen voi aiheuttaa laakereiden hajoamisen (Gulich 2014, s. 71). Magneettivetoisen keskipakopumpun rakenne esitetään pääkomponentteineen kuvassa 6.



Kuva 6. Magneettivetoisen keskipakopumpun rakenne ja tärkeimmät komponentit (muok. KSB 2016).

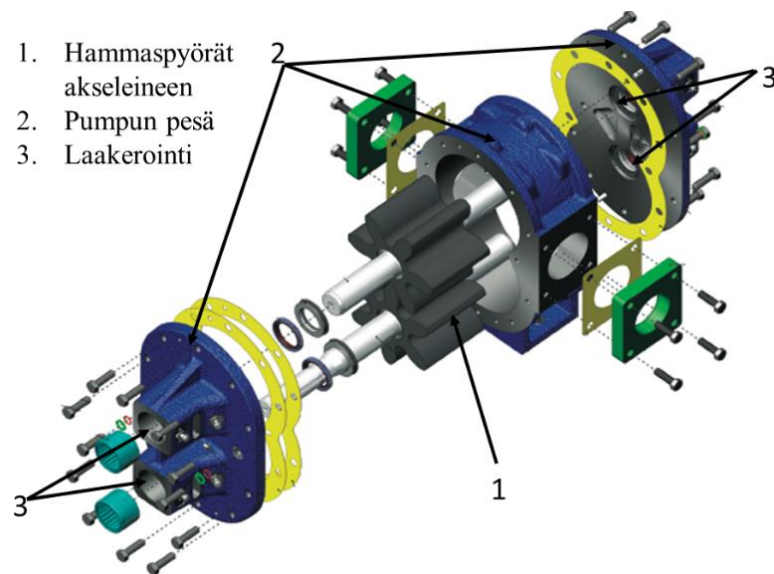
2.2 Syrjäytyspumppujen rakenne ja pääkomponentit

Kalvopumpussa löytyy annostelupään lisäksi iskunpituuden säätöyksikkö ja siihen liitetty sähkömoottori. Kalvo on pumpun kriittisimpiä osia. Kalvo erottaa prosessiaineen ja pumpussa käytetyn öljyn. Kalvon rikkoutuessa se joudutaan vaihtamaan. (Mimmi & Pennacchi 2001, s. 1.) Kalvon materiaali valitaan pumpattavan nesteen ja sen kuluttavuuden mukaan (Johnson 2014, s. 1). Kuvassa 7 nähdään kalvopumpun annostelupään rakenne pääkomponentteineen.



Kuva 7. Kalvopumpun annostelupään rakenne ja tärkeimmät komponentit (muok. FlowExperts 2016, s. 10).

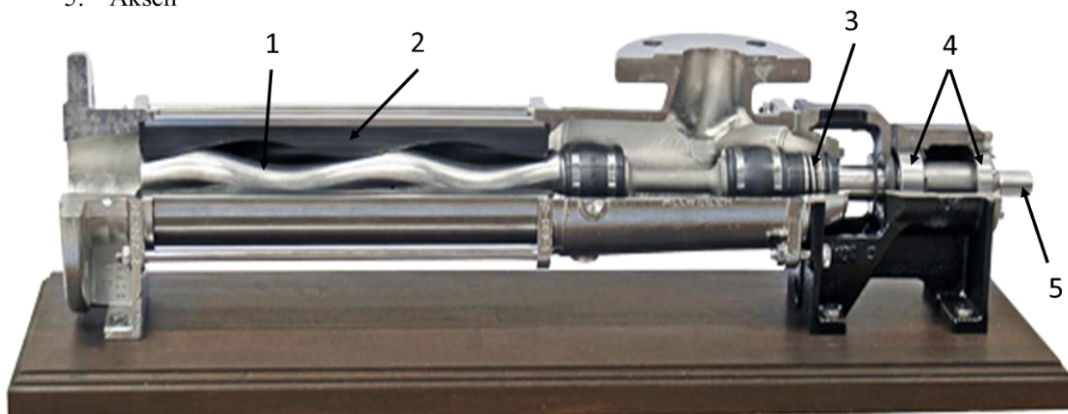
Hammaspyöräpumppujen rakenne voidaan toteuttaa monella tavalla. Hammaspyöräpumppu voi olla magneettiveton tai mekaanisella tiiviisteellä toteutettu. Lisäksi hammaspyörät voivat olla vierekkäin asennettuina tai sisäisesti asennettuina. Vierekkäin asetetut hammaspyörälaitteet ovat yleisimmin käytettyjä syrjäytyspumppuista (Devendran & Vacca 2013, s. 1). Tällaisissa pumppuissa akselissa kiinni olevista hammaspyöristä toinen on vetävä akseli ja toinen hammaspyörä käy toisen pyörän avulla. Lisäksi jokaisen akselin päässä on olemassa laakeri. (Wagner jr., Mount III & Giles jr. 2014, s. 3.) Vierekkäin asetetun hammaspyöräpumppun rakenne nähdään kuvassa 8 pääkomponentteineen.



Kuva 8. Hammaspyöräpumpun pumppupään rakenne ja tärkeimmät komponentit (muok. AxFlow 2016).

Ruuvipumpun rakenne voi olla monella tapaa toteutettu ja roottorien määrä voi vaihdella. Ruuvipumppu sopii esimerkiksi vaikeisiin olosuhteisiin öljyteollisuudessa, jossa on öljyn lisäksi kaasuja, vettä tai muita epäpuhtauksia (Syzrantseva & Syzrantsev 2016, s. 1). Kuvassa 9 nähdään epäkeskoruuvipumpun rakenne pääkomponentteineen. Epäkeskoruuvipumpussa, pumpun roottori pyörii elastisen staattorin sisällä ja staattorin materiaalivalinnalla saadaan joustavuutta pumppauskohteen olosuhteiden mukaan (Moyno 2000).

1. Roottori
2. Staattori
3. Mekaaninen tiiviste
4. Laakerit
5. Akseli

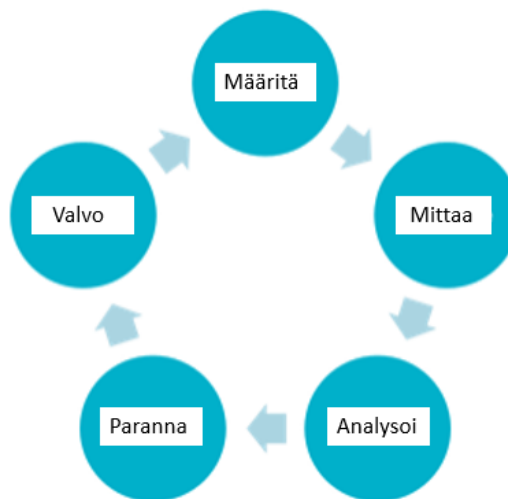


Kuva 9. Epäkeskoruuvipumpun rakenne ja tärkeimmät komponentit (muok. Suptek 2016).

3 VIKAANTUMISTEN ANALYSOINTIMENETELMÄT

Ongelmanratkaisussa lähdetään tutkimaan vikaantumisen tapahtumaketjua takaperin aina vika-analyysiin, josta löytyy juurisyy. Perussyiden eli juurisyyden tunnistaminen vikaantumisissa on tärkeä osa ongelmanratkaisua. Näitä prosesseja voikin olla nykyään vaikea erottaa toisistaan. (Bloch & Geitner 2012, s. 1–9).

Laitteissa esiintyvien vikojen ongelmien ratkaisemiseen on kehitetty useita ongelmanratkaisutekniikoita. Yksi ongelmanratkaisuun esitetty menetelmä on DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve ja Control), johon kuuluu viisi eri vaihetta. Näillä viidellä vaiheella määritä, mittaa, analysoi, paranna ja valvo saadaan ongelmanratkaisuprosessissa viat korjattua. Tekniikka soveltuu olemassa oleviin prosesseihin ja sillä voidaan ratkaista monimutkaisia ongelmia. Kuvassa 10 voidaan nähdä ongelmanratkaisumenetelmän viisi eri vaihetta. Menetelmässä ongelmanratkaisu aloitetaan määritä-vaiheesta. (John et al. 2008, s. 10.)



Kuva 10. DMAIC-ongelmanratkaisun vaiheet (muok. APRO 2017).

DMAIC:n ongelmanratkaisun vaiheet sisältävät seuraavat asiat:

- *Määritä.* Määritetään projekti, kuvataan nykytila ja tavoite sekä määritettävä vaatimukset.
- *Mittaa.* Lähtötilanne on kuvattu, tiedot kerätty ja tiedon laatu varmistettu.

- *Analysoi.* Käytetään kerättyä tietoa ja tunnistetaan ongelman kaikki juurisyöt.
- *Paranna.* Ongelman mahdolliset ratkaisut on selvitetty juurisyiden pohjalta ja valitut parannukset toteutetaan.
- *Valvonta.* Dokumentoidaan toteutetut muutokset ja niitä seurataan.

(John et al. 2008, s. 12–13.)

3.1 Vika- ja vaikutusanalyysi

Vika- ja vaikutusanalyysiä VVA, (englanniksi FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)) käytetään tunnistamaan erilaisia vikatiloja, vikojen vaikutuksia ja määrittämään lieventäviä toimenpiteitä. Prosessien tai järjestelmien muutoksissa ilmenee usein uusia vikoja. Vika- ja vaikutusanalyysiä käytettäessä saadaan parempaa luotettavuutta, laatua ja pystytään tunnistamaan varhaisessa vaiheessa vikatilat. Lisäksi muutoksiin liittyvät kulut pienenevät. Menetelmässä voidaan käyttää 15:sta perusaskelta. Askeleet vika- ja vaikutusanalyysiprosessille ollaan kuvattu kuvassa 11. (Otegui 2014, s. 253–255.)

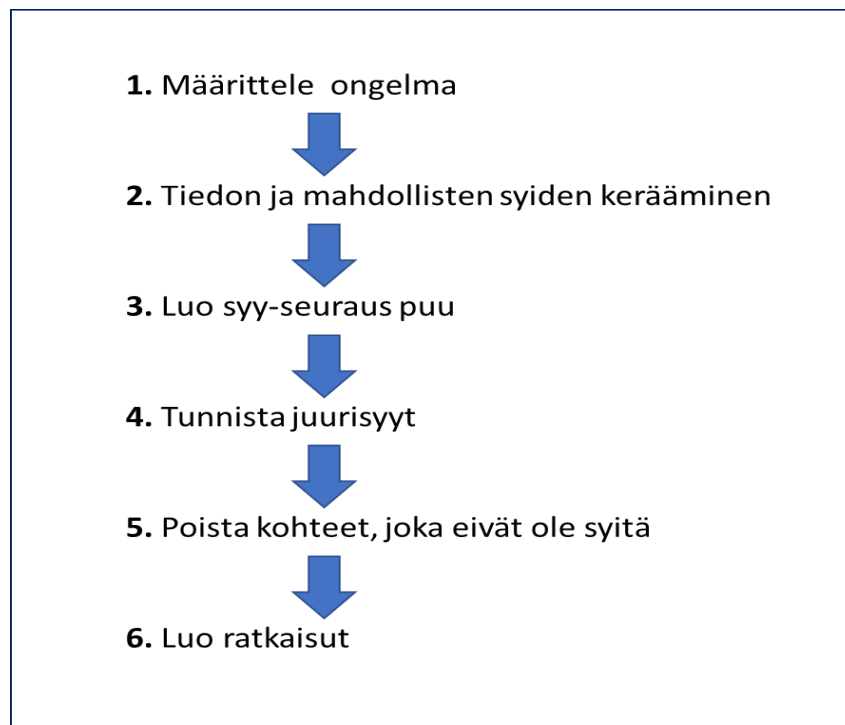
Vika- ja Vaikutusanalyysi

Vaihe 1: Kuvaa tuote tai prosessi	Vaihe 6: Luodaan vaikutuksenvakavuuteen perustuva numerollinen asteikko	Vaihe 11: Määritetään riskipisteet
Vaihe 2: Luodaan tuotteesta tai prosessista kuvaava kaavio	Vaihe 7: Juurisyiden tunnistaminen eri vikatyypeille	Vaihe 12: Määritä riskipisteiden perusteella toimenpiteet
Vaihe 3: Määritä osat tai toiminnot	Vaihe 8: Tapahtuman todennäköisyyden määrittäminen	Vaihe 13: Määritä vastuut toimenpiteille
Vaihe 4: Tunnista vikatyypit	Vaihe 9: Tunnistetaan vikatyypien ehkäisevät valvontatavat	Vaihe 14: Toimenpiteiden jälkeen uudelleenarviointi riskeille
Vaihe 5: Kuvaa vikatilojen vaikutukset	Vaihe 10: Määritetään valvontatapojen tehokkuus	Vaihe 15: Muutosten mukaan vika- ja vaikutusanalyysin päivitys

Kuva 11. Vika- ja vaikutusanalyysin perusvaiheet (muok. Otegui 2014, s. 253–255).

3.2 Juurisyysanalyysi

Juurisuuanalyysin avulla tunnistetaan ongelmien perussyyt eli juurisyys. Hoidettaessa pelkästään näkyviä vikoja jatkuu samankaltaisten vikojen ilmeneminen, kun taas juurisyiden selvityksellä ja tunnistamisella saataisiin vikaantumisten esiintyminen loppumaan. Juurisyysanalyysin avulla pystytään saamaan selville mitä tapahtui, kuinka se tapahtui ja miksi se tapahtui. Kun kyseinen prosessi tehdään huolella ja tiedot dokumentoidaan, voidaan saatuja tietoja ja oppeja käyttää tulevaisuuden ongelmien ratkaisemiseen. (Otegui 2014, s. 187–188.) Juurisyysanalyysin perusteet on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Juurisyysanalyysin vaiheet tapahtumajärjestyksessä (muok. Otegui 2014, s. 188).

3.3 Juurisyysanalyysin työkalut

Juurisyysanalyysiä voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Juurisyiden etsimisen eri vaiheilla käytetään apuna erilaisia työkaluja. Työkaluja on olemassa paljon ja ne valitaan juurisyysanalyysin tueksi näiden soveltuvuuden mukaan. Seuraavaksi esitellään muutamia yleisiä käytännön työkaluja, joita voidaan käyttää juurisyysanalyysiä tehdessä.

3.3.1 Aivoriihi

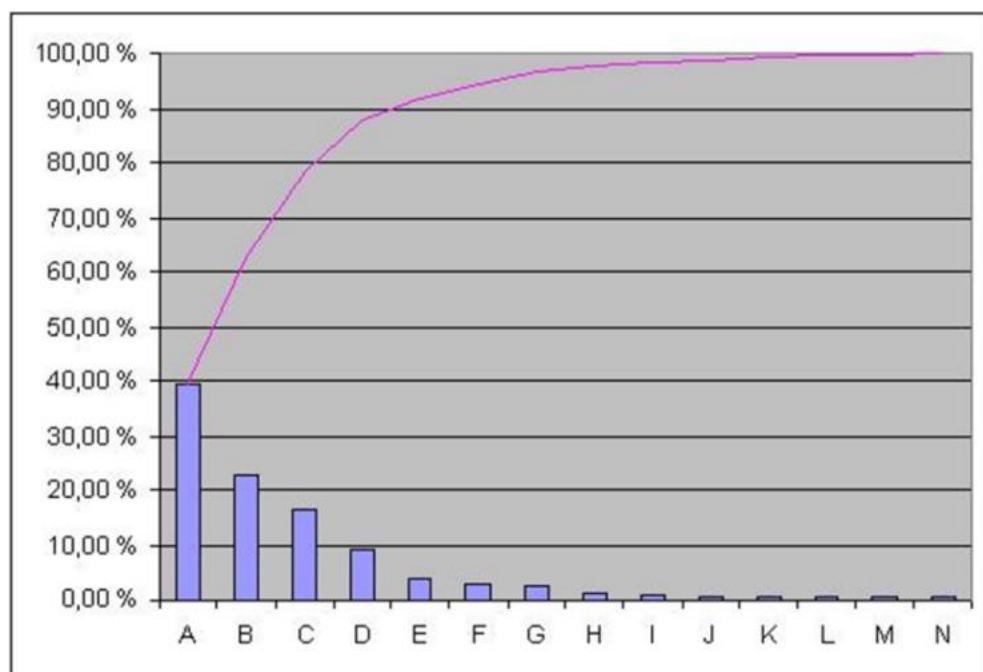
Aivoriihi on ryhmätyömenetelmä. Menetelmän tavoitteena on luoda ja kerätä paljon ideoita lyhyessä ajassa ryhmätyöskentelyn avulla. Sopiva kesto aivoriihen toteutukseen voi olla vain

5–10 minuuttia. Se soveltuu projektityöskentelyyn, ongelmien analysointiin ja sen avulla voidaan tehdä parannuksia. Menetelmän alussa sovitaan säännöt, joita ryhmä noudattaa. Sovittujen sääntöjen noudattaminen edesauttaa prosessin nopeaa läpivientä. Sääntöjen jälkeen kirjoitetaan ylös aihealueet. Kun aihealueet on esitelty, luodaan ideoita ja samankaltaiset ideat yhdistetään. Lopuksi ideat avataan auki ja tarvittaessa jatketaan prosessia. (John et al. 2008, s. 232–233.)

3.3.2 Pareto-analyysi

Pareto-analyysi on erinomainen työkalu tiedon keräyksen jälkeen esittämään ja tunnistamaan suurimpia ongelmakohtia. Työkalun avulla pystytään keskittämään resurssit tärkeimpien ongelmakohtien selvittämiseen 80/20-säännön mukaisesti. Säännön mukaan 80 % ilmenevistä ongelmista johtuu 20 %:sta vioista. (John et al. 2008, s. 81.)

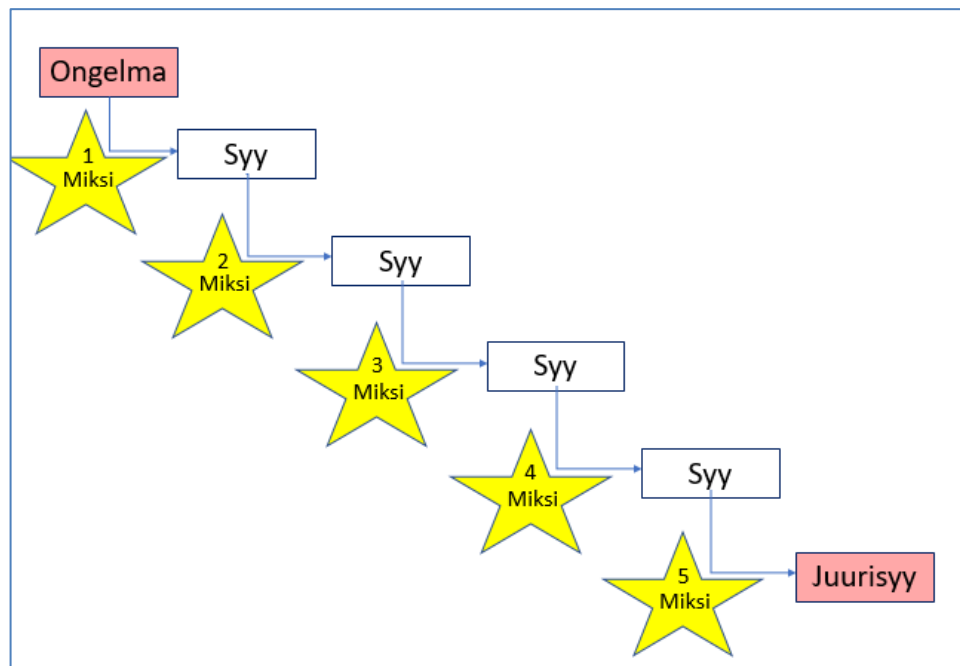
Pareto-diagrammissa X-akselille kerätään tiedot palkkeina ryhmiin kuvaavan vian mukaan. Ryhmät esitetään vasemmalta katsoen suurimmasta pienimpään. Pienet ryhmät voidaan yhdistää yhteen ryhmään. Y-akselille voidaan esittää vikojen lukumäärät ja prosentuaalinen osuus. Lisäksi Pareto-diagrammissa nähdään kumulatiivinen käyrä. (John et al. 2008, s. 81.) Kuvassa 13 nähdään esimerkki Pareto-diagrammista.



Kuva 13. Pareto-analyysin esimerkki, jossa vikojen prosenttiosuus esitetty pystytasolla ja vian tyyppi on esitetty kirjaimilla vaakatasolla (Qualitas Forum 2017).

3.3.3 5xMiksi

5xMiksi-menetelmää käytetään analysointivaiheessa haluttaessa saada selville esille tulleen ongelman juurisyyt. Menetelmä perustuu yksinkertaiseen ajattelumalliin, jossa kysytään viisi kertaa miksi. (Tinga 2013, s. 265.) Työkalua käyttäessä kysytään miksi ongelma A ilmeni ja saadaan selville syy B. Syylle B kysytään miksi se ilmeni ja saadaan selville syy C. Kyseistä mallia toistetaan aina niin kauan kuin on kysytty viisi kertaa miksi ja juurisyy on saatu selville. (Bloch & Geitner 2012, s. 638). Menetelmää voidaan tarpeen vaatiessa soveltaa ja kysymyksen miksi määrää voidaan vaihdella tarpeen mukaan. (Tinga 2013, s. 265.) Kuvassa 14 esitetään yksinkertainen malli viiden miksi-kysymyksen työkalusta juurisyyntö löytämiseksi.



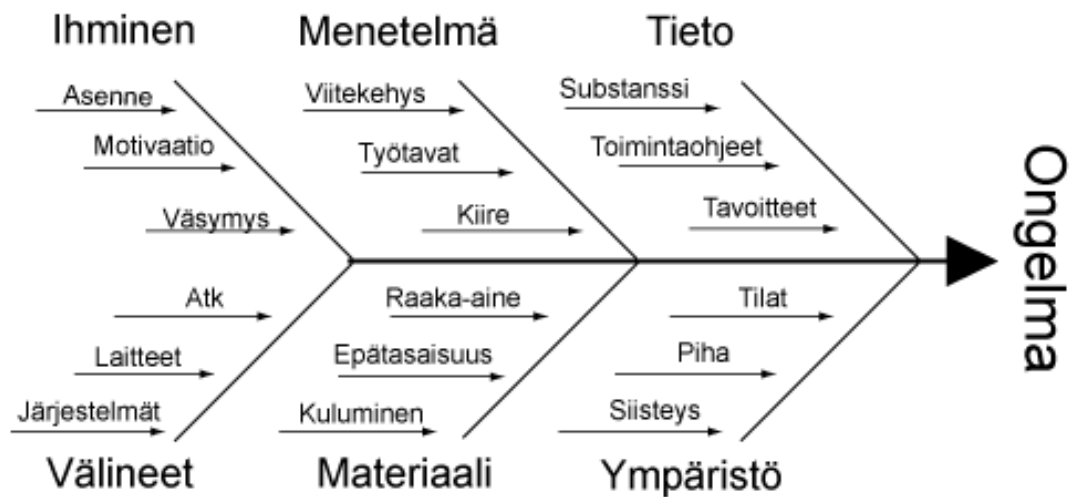
Kuva 14. 5xMiksi työkalun esimerkki ongelman juurisyyntö selvittämiseksi.

3.3.4 Kalanruotomalli

Kalanruotokaaviota kutsutaan myös nimillä syy-seurauskaavio tai Ishikawa-diagrammiksi. Menetelmä soveltuu erilaisten ongelmien analysointiin, kuvaamaan mahdollisia syitä ja auttaa ymmärtämään paremmin itse ongelmaa. Sitä voidaan käyttää tukemaan esimerkiksi aivoriihi-menetelmää. (John et al. 2008, s. 124.)

Kalanruotokaaviossa selvitettävä ongelma asetetaan kaavion oikealle laidalle. Ongelman asettelun jälkeen ongelman aiheuttajien pääryhmät asetellaan pääruotoon kiinni. Erilaisia

pääryhmiä ja niiden määriä voidaan käyttää selvitetävän ongelman mukaan. Pääryhmiä voivat olla ihmiset, menetelmät, koneet, materiaalit, mittaukset ja ympäristö. Pääryhmien asettelun jälkeen niihin aleteen liittämään yksityiskohtaisempia syitä ja ruodot voivat haarautua useampaan kertaan. Näin saadaan kuvattua paremmin ongelman syyt ja mallista tulee kalanruodon näköinen. Tarkoitus kaaviolla ei ole olla liian laaja, jolloin kuvaajasta ei saada alun perin tarkoituksena ollutta selkeää esitystä ongelmasta. Laajuuteen vaikuttaa ongelmanasettelun tarkkuus, jolloin ruotojen haarautumisia ei tule liikaa. (John et al. 2008, s. 124–125.) Kuvassa 15 on esitetty yksi mahdollinen tapa luoda kalanruotomalli ongelman kuvaamiseen.



Kuva 15. Kalanruotomallin juurisyyn ehdokkaiden tunnistamisen esimerkki (Laatuakatemia 2017).

4 PUMPPUJEN VIKAANTUMISTEN RAPORTOINTIJÄRJESTELMÄT

Borealis Polymers Oy käyttää kokonaisvaltaisesti pääjärjestelmänään ERP-toiminnanohjausjärjestelmää. Pääjärjestelmän lisäksi käytetään paljon erilaisia apujärjestelmiä ja tietokantoja tukemaan tuotannon, logistiikan ja kunnossapidon toimintaa. Kunnossapidon koneosastolla pääjärjestelmänä käytetään ERP-toiminnanohjausjärjestelmää. Pääjärjestelmän lisäksi käytetään apuna Futromas-nimistä sovellusta, joka on linkitetty hyödyntämään suoraan yhtiön verkkoasemaa. Verkkoasemalle on kunnossapidossa vuosien ajan tallennettu tietoa korjauksista, huoltopysähdyksistä sekä laitteiden perustietoja.

4.1 ERP-toiminnanohjausjärjestelmän raportointikäytäntö

Toiminnanohjausjärjestelmää käytetään kunnossapidossa laitetietojen ylläpitämiseen, vikailmoitusten vikaraporttien kirjoittamiseen, sekä laitteiden työtilausten hyödyntämiseen laitekorjausten apuvälineenä. Toiminnanohjausjärjestelmään jää kaikki tieto raporteista, käytetyistä varaosista aina henkilöiden työhön kirjaamiin tunteihin. Toiminnanohjausjärjestelmästä löytyy kaikki kunnossapidon laitteet ja laitteisiin liittyviä dokumentteja. Kyseisiä dokumentteja voivat olla PI-kaaviot, isometrit, pumpun leikkauskuvat ja datalehdet.

Vikailmoitus laaditaan pääsääntöisesti tuotannon toimesta, jonka jälkeen tuotannon huoltomestari kääntää vikailmoituksen oikean kunnossapidon toimialan alle. Kuvassa 16 nähdään havainnollistettu kunnossapidolle käännetty vikailmoitus. Vikailmoituksessa poksien korjaus on tehdasmaailmassa käytännön kieltä. Poksilla tarkoitetaan mekaanista tiivistettä. Vikailmoituksen saapumisen jälkeen kunnossapidon ammattialan työnjohtaja tai työnsuunnittelija valmistelee vikailmoituksen perusteella työtilauksen. Työtilauksessa määritetään kaikki tarvittavat työhön liittyvät työvaiheet, varaosat, sekä suunniteltu toteutusaikataulu. Kuvassa 17 nähdään työtilauksen työvaiheet suunniteltuna. Työtilauksen tarvittavat työvaiheet lähetetään toiminnanohjausjärjestelmän avulla tuotannon huoltomestarille työlupaa varten ja valmistellaan työlupa kunnossapidon osuudelta.

Notification \$0000000001 21 GA-1A poksien korjaus

Notific. Status OSNO CREA

Order

Main Item dates Way of Detection Documents

Reference object

Functional loc. PO-PET-ARO-FEN-TIIS TISLAUS

Equipment XXXXXXXX

Assembly

Responsibilities

Planner group XXX / XXXX ARO konetyöt

Main WorkCtr XXXX / XXXX PKT konetyöt (Ole ja Aro)

Reported by VEJ3468 Notif.date 19.11.2016 08:57:41

Start/End Dates

Required Start 25.11.2016 08:57:41 Priority 2-Exec.within 5-21 d

Required End 30.11.2016 00:00:00 Breakdown

Subject

Description GA-1A poksien korjaus

19.01.2017 09:00:54 CET Jaakko Vesanto (POVESAJA) Phone 358-9-39493468
 Kumeenipönttö alkoi lämmentä reilusti koekäytössä eli poksista tuli takaperin.
 Huuhdottu ja tyhjennetty poksikumeenipönttö, ettei jäädy.

Kuva 16. Havainnollistettu esimerkki tuotannon täyttämästä ja kunnossapidolle käännetystä vikailmoituksesta.

Order 2G \$0000000001 GA-1A poksien korjaus

GA-1A poksien korjaus

Kumeenipönttö alkoi lämmentä reilusti koekäytössä eli poksista tuli takaperin.

Huuhdottu ja tyhjennetty poksikumeenipönttö, ettei jäädy.

Sys.Status CRTD MANC NTUP CREA

HeaderData Operations Components Costs Partner Objects Additional Data Location Planning Contro

Op...	SOp	Work ctr	Plant	Co...	StTextK	S..	Operation short text	LT	Work	Un	N...	Dur.	Un
0010		xxxxx	1000	FM01			GA-1A Poksien korjaus			H			H
0020		xxxxx	1000	FM01			GA-1A Sulakkeiden irrotus			2H	1		2H
0030		xxxxx	1000	FM01			GA-1A Eristeiden purku, kriittinen			4H	2		2H
0040		xxxxx	1000	FM01			GA-1A Irrotus			4H	2		2H
0050		xxxxx	1000	FM01			GA-1A Korjaus			10H	2		5H
0060		xxxxx	1000	FM01			GA-1A Kumeenisäiliön puhdistus			6H	2		3H
0070		xxxxx	1000	FM01			GA-1A Asennus			4H	2		2H
0080		xxxxx	1000	FM01			GA-1A Eristeiden asennus			4H	2		2H
0090		xxxxx	1000	FM01			GA-1A Sulakkeiden asennus			2H	1		2H
0100		xxxxx	1000	FM01			GA-1A Historian kirjoitus			2H	1		2H


Kuva 17. Havainnollistettu työtilaus pumpun korjauksen työvaiheet suunniteltuna.

Laitteen korjauksen jälkeen koneosaston kunnossapidon asentajat kirjoittavat valokuvallisen raportin laitteen korjauksesta ja selvinneistä vikaantumissyistä. Valokuvallisesta raportista kopioidaan vikaraportin tekstiosioon vikaantumistiedot ja itse valokuvallinen vikaraportti tallennetaan verkkoasemalle. Kuvallinen vikaraportti esitetään kuvassa 18. Kuvassa 19 esitetään vikailmoitukseen kopioitu vikaraportti. Raportin kirjoittamisen jälkeen käännetään vikailmoitus tuotantoon, jossa tuotanto sulkee vikailmoituksen. Työtilauksen sulkee kunnossapidon työnjohtaja tai työnsuunnittelija.


BOREALIS HC KUNNOSSAPITO		PÖYTÄKIRJA Pyörivienlaitteiden huolto/tarkastus	
Dokumentin nimi:	GA-1A Korjussaportti	Laatija:	xxxx
Notification:	xxxxxxx	Planner Group:	218
Työtöilausnumero:	xxxxxxx	Päivämäärä:	2014-11-27
Laetunus:		Yhtö:	Borealis
Ostotöilausnumero:			

Purettaessa ilmenneet asiat:
Pöksin pitopinnoissa normaalia kulumaa.
Takapään akselitöiviste kovettunut.


Valokuvia (Purku)




Kuvaus: Pöksin pitopinnat



Kuvaus: Takapään stefä

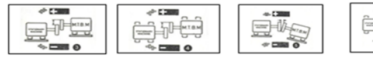


Kuvaus: Pöksiholkki



Kuvaus:

Kuvaus: Pöksiholkki Kuvaus:

BOREALIS HC KUNNOSSAPITO		PÖYTÄKIRJA Pyörivienlaitteiden huolto/tarkastus	
Huollossa tehdyt korjaukset, havainnot, muutokset:			
Vaihdettiin uudet pöksinosat ja takapään akselitöiviste. Pöksinestesäiliö irroitettiin ja puhdistettiin.			
Linjaus			
Toleranssit: ≤ 1500 rpm / 0,1 mm max , 1500-3000 rpm / 0,05 mm , ≥ 3000 rpm / 0,03			
			
Linjausarvot:			
Linjaus tulos:			
Seuraavassa huollossa huomioitavia asioita:			
Muuta:			

Kuva 18. Pumpun korjauksen kuvallinen vikaraportti (muok. Borealis 2014a).

27.11.2014 11:24:22

,,Purettaessa ilmenneet asiat:
,,Pöksin pitopinnoissa normaalia kulumaa.
,,Takapään akselitöiviste kovettunut.

,,Huollossa tehdyt korjaukset:
,,Vaihdettiin uudet pöksinosat ja takapään akselitöiviste.
,,Pöksinestesäiliö irroitettiin ja puhdistettiin.

Kuva 19. Vikailmoituksen tekstikenttään liitetty korjausraportti (muok. Borealis 2014b).

4.2 Futromas ja verkkoasema

Verkkoasemalla tiedoston nimen ”Eteeni” alle on luotu koneosastolle oma kansio, jolle tallennetaan kaikki laitetiedot ja korjausraportit. Lisäksi sitä käytetään apuvälineenä huoltopysähdyksiä suunniteltaessa. Futromas-sovellus on pääsääntöisesti linkitetty verkkoasemalle. Sovellusta käytetään kunnossapidon koneosastolla laitekorjausten apuvälineenä laitetietojen, sekä erillisten ohjeiden etsimisessä. Kuvassa 20 nähdään Futromaksen etusivu.



Kuva 20. Tietojen etsintään käytettävän Futromas-sovelluksen etusivu.

5 AROMAATTITUOTANNON PUMPPUJEN VIKA-ANALYYSI

Borealiksen petrokemian aromaattituotannosta löytyy 411 kappaletta pumppuja ERP-toiminnanohjausjärjestelmän mukaan. Pumppujen vika-analyysiä tehdessä käytettiin hyödyksi kaikkia luvussa kolme esitettyjä tietojärjestelmiä. Pääasiallisena tutkimuksen selvityksen järjestelmänä käytetään ERP-toiminnanohjausjärjestelmää, jolla ajetaan pumppujen vika-analyysiä varten tarvittava vikalista. Lista viedään toiminnanohjausjärjestelmästä Excel-ohjelmaan. Päälähteenä vika-analyysissä käytetään toiminnanohjausjärjestelmän vikaraporttien tietoja. Verkkoasemalle tallennettuja tietoja käytetään vika-analyysissä tarvittaessa hyödyksi, jos toiminnanohjausjärjestelmän tiedoista ei selviä pumpun hajoamisen syytä.

5.1 Vikalistan ajaminen

Vikalistan ajamiseen ERP-toiminnanohjausjärjestelmästä käytettiin komentoa IW39, jolla pystytään ajamaan tehdyt työtilaukset näytä-tilassa. Näytä-tilassa ei voida työtilauksiin tehdä muutoksia. Komennossa IW39:ssa syötetään tiedot hakukenttiin, joilla saadaan haettua tarvittavat työtilaukset vikailmoituksineen. Vikalistat voisi ajaa myös vikailmoitusten kautta, mutta tällöin ei tutkimusta varten saataisi haettua kaikkia tarvittavia aputietoja. Lisäksi on avattu työtilauksia ilman vikailmoituksia ja silloin kyseiset työtilaukset jäisivät ulos listalta. Toisaalta työtilausten kautta haetut tilaukset eivät hae vikailmoituksia ilman työtilauksia. Vikailmoitukset ilman työtilauksia tarkoittavat niiden olevan suljettuja. Näiden asioiden perusteella vikalistan hakemiseen päätettiin käyttää komentoa IW39.

Työtilauksen hakukentistä käytettiin haussa Planner group, johon syötettiin aromaattituotannon konepuolen planner group 218 ja aromaattituotannon huoltomestarin planner group ARO. Numerolla 218 saadaan ajettua toiminnanohjausjärjestelmästä kaikki aromaattipuolen koneosastoa koskevat työtilaukset. Kirjaimilla ARO puolestaan löydetään kaikki työtilaukset, jotka koskettavat aromaattituotannon huoltomestaria. Huoltomestarin planner group otettiin mukaan haun rajaukseen, koska konepuolen asentajat ovat välillä vaihtaneet työtilaukseen ARO, vaikka se kuuluisi vaihtaa vikailmoitukseen työn päättymisen jälkeen. Planner group:n lisäksi hakukentällä Sort field komennolla GA-1* rajattiin kaikki muut työtilaukset ulos hausta pois lukien pumput. Pumpuilla toiminnanohjausjärjestelmän

laitetietojen takana sort field-kentässä löytyy numero, joka alkaa aina petrokemian tehtaalla GA-1. Merkillä * ei puolestaan välitetä lopuista merkeistä edellä olevan numeron jälkeen.

Kahden edellisen hakukentän lisäksi käytettiin hakukenttää aikavälin mukaan. Hakuajaksi työtilaukselle määritettiin tutkimuksen aikavälin mukaisesti päivämäärät aloitukselle 01.01.2007 ja lopetukselle 15.10.2016. Hakukenttien määrittelyn jälkeen valittiin vielä merkkikohta lopetetut työtilaukset, jolla saadaan haettua ainoastaan suljetut työtilaukset. Avoimia työtilauksia kyseisellä aikavälillä löytyi neljä kappaletta, mutta kyseiset työtilaukset päätettiin jättää ulos tutkimuksesta, koska työtilauksiin saattaa tulla vielä toimenpiteitä ja muutoksia. Toimenpiteet ja muutokset saattaisivat vaikuttaa syiden analysointiin. Kuvassa 21 nähdään komennon IW39 hakukentät täytettynä ja lopetetut työtilaukset valittuna.

Display PM orders: Selection of Orders

Settlement Receivers PRT

Order status **1**

Outstanding In process Completed Historical Sel.profile **Add.** ✖

Order selection

Order to

Order Type to

Functional Location to

Equipment to

Material to

Serial Number to

Addit. device data to

Notification to

Main work center to

Plant for WorkCenter to

Period **2** 01.01.2007 to 15.10.2016

Partners

Currency EUR

Asset to

Plant section to

Location to

Sort field **3** GA-1* to

ABC indicator to

Planner Group for Order **4** 218 to **5**

Kuva 21. Vikalistan hakemista varten täytetty hakukentät komennosta IW39.

Täytetyllä työtilauksella haettiin rajauksien avulla lista aromaattituotannon pumppujen työtilauksista vikailmoituksineen. Aikaisemmin mainituilla hakuehdoilla saatiin haettua lista, jolta löytyi 1145 työtilausta. Lista siirretään ERP-toiminnonohjausjärjestelmästä Excel-muotoon, jossa voidaan muokata listoja ja karsia töitä tutkimuksen tarpeiden mukaisesti.

5.2 Tutkimuksesta rajattujen töiden karsiminen

Kokonaismäärästä listatuista 1145:stä työtilauksesta poistettiin taulukossa 1 mainitut työtilaukset työn rajauksen mukaisesti, jolloin jäljelle jäi 949 kappaletta tutkittavia työtilauksia vikailmoituksineen. Tutkittavana oli 229 kappaletta pumppuja. Jäljelle jäävät työtilaukset vikailmoituksineen on määritetty lopulliseksi listaksi syiden analysoimiseksi.

Taulukko 1. Poistetut työtilaukset määrineen eriteltyinä.

Poistettu syy	Määrä poistettuja syitä, (kpl)
Apulaitteisiin liittyvät työt	52
Muutokset, MOD	42
Ei korjaukset	21
Putkipuolen työt	16
Imusihtiin liittyvät työt	15
Sähköpuolen työt	13
Kytkinsuojaan liittyvät työt	10
Tilaukset, joita ei tarvitse toteuttaa	9
Olefiiniyksikön hallinnoimat pumput	7
Instrumenttipuolen työt	6
Virheelliset aikarajaukset	5
Poistettu yhteensä	196

5.3 Syiden analysoiminen ja tarvittavat tiedot

Pumppujen hajoamisten syitä lähdettiin analysoimaan listan vikailmoituksia (949 kappaletta) tutkimalla. Vikailmoituksen puuttuessa tai jos vikailmoituksessa oli vain vähän tietoja, jouduttiin tutkimaan työtilauksia ja verkkoasemalle tallennettuja kuvallisia vikailmoituksia. Jokainen pumpun hajoaminen käytiin yksitellen läpi vika kerrallaan ja määriteltiin tapauskohtaisesti syy korjaukselle. Vikaantumissyiden nimitykset tulevat

aromaattituotannon vikailmoituksista ja vikaantumissyissä on luonnollista käyttää henkilökunnan käyttämiä termejä. Vikaantumissyit ja syiden tarkemmat selvitykset esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2. Vikaantumissyit ja syiden tarkemmat selvitykset.

Vikaantumissy	Tarkempi selvitys
Poksivuoto	Mekaaninen tiiviste vuotaa prosessiainetta tai tiivistenestettä kuluu reilusti normaalia enemmän
Ei paina/tuota	Pumppu ei tuota painetta tai prosessiaine ei virtaa normaalia määrää
Laakerivika	Pumpun laakereissa ilmenee vikaa tai ne ovat hajonneet
Vuoto	Pumppuun liittyvä vuoto. Esimerkiksi prosessiaine vuotaa rinnasta tai mekaanisen tiivisteiden liitoksessa vuoto
Tarkastus/huolto	Tarkastuksessa voidaan tarkastaa esimerkiksi pumpun linjaus. Huollossa voi esimerkiksi olla epäily ylimääräisestä aineesta pumpussa tai päätetty huolletaan muun indikaattorin seurauksena
Jumissa	Pumppu ei pyöri. Pumppu olla esimerkiksi jäässä
Öljyvuoto	Pumppu vuotaa öljyä
Värähtely/ääni	Mittausten perusteella tai ihmisen havaitsema värähtely sekä epänormaali ääni pumpussa
Muut syyt	Yhdistetty vikaantumissyit; ei pysy päällä, epäselvät, mekaaniset viat, tukkeumat ja virheet
Kytkinvika	Pumpun kytkimessä esimerkiksi lamellit hajonneet
Ei pysy päällä	Pumppua ei saada pysymään käynnistettäessä päällä
Epäselvät	Ei ole tietoa miksi on haluttu ottaa korjaukseen
Mekaaniset viat	Pumpussa mekaaninen vika. Esimerkiksi kalvopumpun kalvo on rikki
Tukkeumat	Tukkeumassa pumpussa voi olla ylimääräistä tavaraa tai linja on tukkeutunut ja siinä ei virtaa nestettä
Virheet	Virheet sisältävät esimerkiksi selvät asennusvirheet

Vikaantumissyyn lisäksi taulukkoon merkittiin tarpeen vaatiessa muu -huomio kohtaan lisätietoja hajoamisesta. Muu huomio -kohtia käytettiin hyödyksi vikojen tarkempia analysointia tehdessä ja esimerkkejä kommentteista voidaan nähdä kuvassa 22.

Syy korjaukselle	Muu huomio	Pumpputyyppi (Tarkka)	Pumpputyyppi
Värähtely/ääni		Keskipako	Keskipako
Värähtely/ääni		Keskipako	Keskipako
Poksiuoto		Keskipako	Keskipako
Poksiuoto		Keskipako	Keskipako
Öljyvuoto	Ei selvää vikaa	Keskipako	Keskipako
Poksiuoto		Keskipako	Keskipako
Jumissa	Hieman epäselvä kumpi syy korjaukselle	Keskipako	Keskipako
Laakerivika	Samalla normi huolto	Keskipako	Keskipako
Kytinivika	Lamelleja rikki	Keskipako	Keskipako
Laakerivika	Laakerivika, korjattiin sekoituksena kahden pumpun osista	Keskipako, Ei akselitivistettä	Keskipako, Ei akselitivistettä
Värähtely/ääni	Mootton+pumppu tarisi, MOD	Keskipako, Ei akselitivistettä	Keskipako, Ei akselitivistettä
Laakerivika		Keskipako	Keskipako
Poksiuoto		Keskipako	Keskipako
Poksiuoto		Keskipako	Keskipako
Vuoto	Poksin liitoksesta vuoto	Keskipako	Keskipako
Poksiuoto		Keskipako	Keskipako
Poksiuoto		Keskipako	Keskipako
Poksiuoto		Keskipako	Keskipako
Poksiuoto		Keskipako	Keskipako
Vuoto	Pumpun rintavuoto	Keskipako	Keskipako
Ei paina/vuoto	Ei mekaanista vikaa	Syrjäytyspumppu, (tyhjiöpumppu)	Nesterengaspumppu
Poksiuoto		Syrjäytyspumppu, (tyhjiöpumppu)	Nesterengaspumppu

Kuva 22. Lista korjaussyistä ja muu huomio kentästä.

Pumpun korjaukseen ottamisen syyn analysoinnissa käytetään pääasiallisesti vikailmoituksen otsikotietoa, tekstiosuuden tietoa, sekä korjauksen jälkeen asentajan tekemää vikaraportin raporttiosuutta. Joissakin vikailmoituksissa huomattiin tietojen poikkeavan toisistaan. Jos tiedot poikkeavat toisistaan, tutkitaan muita korjaukseen liittyviä tietoja tarkemmin. Selville saatujen ristiriitaisten tietojen pohjalta tehdään paras mahdollinen analysointi ja määritetään pumpun vikaantumisen syy.

Vikailmoitukseen tuotannon kirjoittamalle tiedolle on annettava vikaantumissyyn analysoinnissa huomattavasti painoarvoa. Tuotanto vastaa pumppujen operoinneista ja

liikkuu pumppujen luona kunnossapitoa enemmän muiden tuotannon operointiin liittyvien tehtävien yhteydessä. Pumppua käyttöön otettaessa on paikalla yleensä vain tuotannon edustaja. Monesti juuri tuotannon edustaja havaitsee pumpun vikaantumisen, eikä kunnossapidolla ole mahdollisuutta päästä selvittämään pumpun vikaantumiseen johtaneita syitä tai saada vikaantumiseen liittyviä havaintoja. Ilman tarkempaa pumpun vikaantumissyyn esitietoa kunnossapidossa joudutaan luottamaan yleensä pelkästään tuotannon antamiin lähtötietoihin pumppua korjaukseen otettaessa. Pumppujen korjaustensyiden jälkeen tarkasteltiin tarkemmin vikaantumisia ja yhdisteltiin samankaltaiset vikaantumissyöt. Vikaantumissyöt yhdisteltynä antavat paremman kuvan samankaltaisista vikatyypeistä

Vikojen analysoinnin lisäksi käytiin läpi jokaisen vikaantuneen pumpun pumpputyypin. Pumpputyypin varmistettiin pumppujen datalehtien, laitetietojen ja laitteiden valokuvien avulla. Jos pumpputyypin ei näiden tietojen avulla saatu selville, tutkittiin vielä eteenin korjaamon riippukansioista löytyvät laitekohtaiset tiedot. Tarvittaessa lopullinen varmistus pumpun tyyppin selvittämiseksi oli käydä kentällä pumpun luona varmistamassa tieto, jos muuten pumpputyypin ei muuten selvinnyt. Pumpputyypin määritettiin tarkemmin lisätietojen kanssa ja lisäksi tehtiin karkeampi jako eri pumpputyypeittäin.

Korjaussyiden selvityksen, syiden yhdistämisen ja pumppujen tietojen selvityksen jälkeen saatiin kerättyä tarvittava tieto tutkimuksen ensimmäiseen päätutkimuskysymykseen ja kolmeen alatutkimuskysymykseen. Saatujen tietojen avulla voidaan kappalemäärien avulla tiedot muuttaa prosentuaaliseen muotoon tuloksia esitettäessä tulokset kappaleessa.

Taulukossa 3 nähdään pumppujen vikaantumissyiden määrät vikakohtaisesti. Pumppujen vikaantumissyiden kohdalla yhdistettiin vikaantumiset: ei pysy päällä, epäselvät, mekaaniset viat, tukkeumat ja virheet. Kyseisiä vikaantumisia on määrällisesti vähän ja ne kannattaa liittää yhdeksi muut syyt-ryhmäksi. Taulukossa 4 nähdään vikaantumissyöt pumpputyypikohtaisesti. Taulukossa 5 nähdään vikaantumisten määrät vuosittain ja voidaan nähdä korjausmäärien pysyneen saman suuruisina tutkittavan ajanjakson aikana hieman vuositasolla vaihdellen. Vuoden 2016 korjausmäärät ovat pysyneet samalla tasolla, vaikka tutkittava aikaväli 01.01.2016–15.10.2016 on ollut muita vuosia lyhyempi.

Taulukko 3. Pumppujen vikaantumissyiden määrät vikakohtaisesti.

Vikaantumissy	Syiden määrä, (kpl)
Poksivuoto	470
Ei paina/tuota	135
Laakerivika	98
Vuoto	75
Tarkastus/huolto	43
Jumissa	33
Öljyvuoto	29
Värähtely/ääni	23
Muut syyt	22
Kytkinvika	21

Taulukko 4. Pumppujen vikaantumissyiden määrät pumpputyypikohtaisesti, jossa pumpputyypit ja sen vikaantumisten kokonaismäärät on lihavoitu.

Keskipakopumput	587	Keskipako, Ei akselitiivistettä	135	Kalvopumput	77
Ei paina/tuota	13	Ei paina/tuota	16	Ei paina/tuota	48
Epäselvä	1	Ei pysy päällä	6	Ei pysy päällä	1
Jumissa	10	Jumissa	17	Jumissa	2
Kytkinvika	15	Kytkinvika	1	Kytkinvika	1
Laakerivika	28	Laakerivika	50	Mekaaninen vika	4
Poksivuoto	423	Mekaaninen vika	2	Poksivuoto	5
Tarkastus/huolto	19	Tarkastus/huolto	15	Tarkastus/huolto	4
Tukkeuma	2	Tukkeuma	1	Vuoto	9
Virhe	3	Virhe	1	Öljyvuoto	3
Vuoto	41	Vuoto	16		
Värähtely/ääni	9	Värähtely/ääni	10		
Öljyvuoto	23				

Taulukko 4 jatkuu. Pumppujen vikaantumissyiden määrät pumpputyypikohtaisesti, jossa pumpputyypin ja sen vikaantumisten kokonaismäärät on lihavoitu.

Nesterengaspumput	66	Hammaspyöräpumput	62	Ruuvipumput	17
Ei paina/tuota	5	Ei paina/tuota	40	Ei paina/tuota	8
Epäselvä	1	Jumissa	3	Kytkinvika	1
Jumissa	1	Kytkinvika	2	Laakerivika	4
Kytkinvika	1	Poksivuoto	2		
Laakerivika	16	Tarkastus/huolto	4	Poksivuoto	4
Poksivuoto	36	Vuoto	7		
Tarkastus/huolto	1	Värähtely/ääni	1	Uppopumppu	5
Vuoto	2	Öljyvuoto	3	Ei paina/tuota	5
Värähtely/ääni	3				

Taulukko 5. Pumppujen vikaantumismäärät vuosittain.

Vuosiluku	Korjausmäärät, (kpl)
2007	75
2008	95
2009	98
2010	125
2011	111
2012	101
2013	81
2014	81
2015	104
2016 (01.01.2016– 15.10.2016)	78

6 PUMPPUPARIEN JUURISYIDEN SELVITYKSET JA PARANNUKSET

Pumppujen vikaantumissyiden selvityksen jälkeen esitettiin yhteenveto petrokemian kunnossapidon päällikölle kertamäärällisesti eniten korjatuista pumppupareista, rahallisesti eniten kuluttavista pumppupareista sekä kappalemäärällisesti eniten korjatuista yksittäisistä pumpuista. Näiden pohjalta valittiin kaksi pumppuparia pumppujen rikkoutumisten juurisyyn selvitykseen ja juurisyyn pohjalta luotettavuuden parannusehdotuksen tekemiseen. Pumppuparien valinnassa painoi eniten kertamäärällisesti eniten hajonneet pumppuparit.

Juurisyyn selvitykseen ja luotettavuuden parannusehdotuksen tekemiseen valikoituivat laitenumeraltaan pumppuparit GA-1A+S ja GA-1B+S. Laitenumeron jälkeen tuleva S tarkoittaa varapumppua varsinaiselle pumpulle. Pumppupareista korjausmääräisesti GA-1A+S ylsi listalla kolmanneksi ja GA-1B+S ylsi viidenneksi. Rahallisesti eniten kuluttavien pumppuparien joukossa GA-1A+S ylsi neljänneksi, kun taas GA-1B+S ei yltänyt listalle. Taulukossa 6 on esitetty pumppuparien valinnan avuksi viisi suurinta arvoa omaavaa pumppua tai pumppuparia korjausmäärineen ja arvojärjestyksineen.

Taulukko 6. Lista valittavista pumppupareista ja pumpuista juurisyyn selvitystä varten.

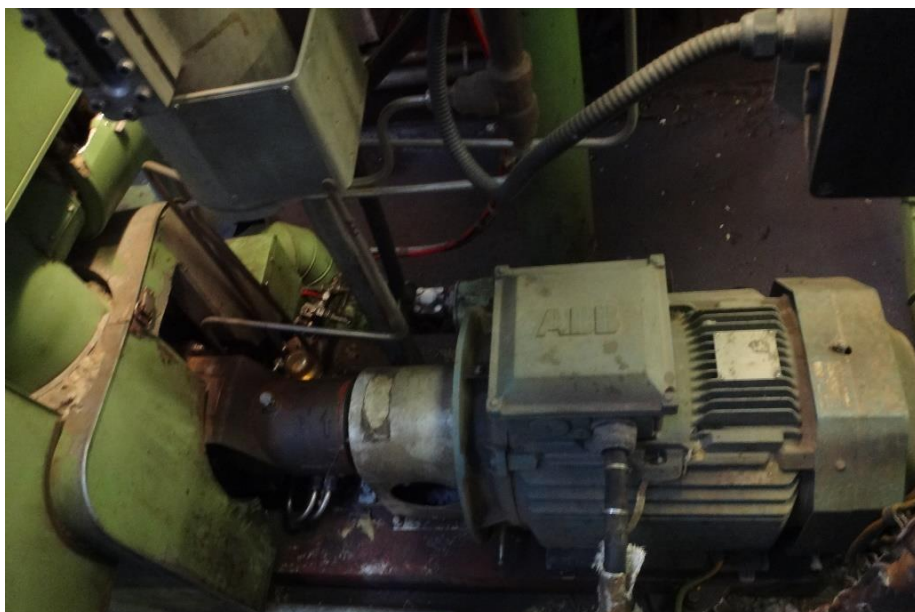
Pumppuparien suurimmat korjausmäärät	Määrä, (kpl)	Eniten rahaa kuluttaneet pumppuparit	Eniten rahaa korjauksiin kuluttaneet	Pumppujen suurimmat korjausmäärät	Määrä, (kpl)
GA-1C+S	53	GA-1C+S	1	GA-1C	27
GA-1D+S	34	GA-1D+S	2	GA-1CS	26
GA-1A+S	27	GA-1G+S	3	GA-1DS	18
GA-1E/-1F	24	GA-1A+S	4	GA-1H	18
GA-1B+S	21	GA-1E/-1F	5	GA-1I ja GA-1B	17

Listalta karsittiin selvästi kaikkia tilastoja johtava pumppupari GA-1C+S, koska kyseinen pumppuparin juurisyitä on kunnossapidossa aikaisemmin tutkittu ja vastaukset ongelmiin alkavat olla ratkaistu. Toinen listan tilastojen kärjessä oleva pumppupari GA-1D+S karsittiin

pois, koska kyseiset pumput on poistettu käytöstä, eikä näiden pumppujen vikaselvitys ole enää hyödyllistä yhtiölle. Näiden kahden pumppuparin lisäksi listalta erottuvat pumput GA-1E ja GA-1F. Kyseiset pumput toimivat toistensa varapumppuina. Pumput karsittiin selvitettävien joukosta, koska pumppuparin juurisyyt ovat aikaisemmin ratkaistu, muutosten parannusehdotukset tehty ja nyt pumput odottavat parannusten toteuttamista.

6.1 GA-1A+S pumppuparin ongelmien selvittäminen

Pumppuparin GA-1A+S juurisyyn selvityksessä selvitettiin kaikki tarpeelliset saatavat lähtötiedot. Selvitys tehtiin alusta asti uudestaan ja edeltävää tutkimuksen osaa käytettiin vain uusien tietojen vertailuun, sekä varmistamiseen. Näitä tarvittavia tietoja olivat pumppujen datalehdet, pumppuvalmistajan antamat tiedot, tuotannon pumpun käyttöohjeet, kaikki kuvalliset korjausraportit, työtilaukset ja vikailmoitukset. Juurisyyn selvityksen avuksi poistettiin korjaushistorian aikarajaus ja tutkittiin kaikki löytyneet vikailmoitukset ja työtilaukset ERP-toiminnanohjausjärjestelmästä. Lisäksi käytiin tarkastelemassa kentällä kyseistä pumppuparia, että saatiin kokonaisvaltainen kuva pumppuparista, pumppujen toiminnasta ja löytyisikö kentältä mahdollisesti jotain ilmenevää syytä juurisyyn selvitykseen liittyen. Näiden kaikkien toimenpiteiden lisäksi, kun tarkastellaan ja etsitään juurisyyttä, ei voida tutkia pelkästään itse pumppuosaa vaan on otettava huomioon kaikki pumpun apulaitteet ja ympäristön vaikutukset. Kuvassa 23 esitetään pumppuparista pumppu GA-1AS kuvattuna oikeassa toimintaympäristössä vuonna 2016.



Kuva 23. Pumppu GA-1AS kuvattuna oikeassa toimintaympäristössä.

6.1.1 GA-1A+S perustietojen selvitys

Pumpun datalehdessä selvitettiin pumpun tyyppi, pumpattava prosessiaine, mekaanisen tiivisteiden tiedot ja mekaanisen tiivisteiden järjestelmän tiedot. Lisäksi tutkittiin löytyisikö datalehden perusteella jotain muuta poikkeavaa pumppujen tietoihin nähden.

Borealoksen arkistosta saatujen datalehtien mukaan GA-1A tyyppiä varmistettiin keskipakopumppu kaksitoimisella mekaanisella tiivisteellä. Datalehden mukaan pumppu on otettu käyttöön vuonna 2001. Varapumpun GA-1AS datalehden mukaan pumppu pitäisi olla magneettivetoinen keskipakopumppu. Tarkemman tutkimisen ja kentältä varmistamisen jälkeen saatiin vahvistus pumpun olevan vastaavanlainen, kuin varsinainen pumppu. Vanhaa varapumpun datalehteä ei käytetty tutkimuksessa, vaan varsinaisen pumpun datalehteä käytettiin varapumpun tietojen selvityksessä. Oletetaan, että varapumppu on otettu samaan aikaan käyttöön, kuin varsinainenkin pumppu kun datalehteä ei löydy.

Pumpattavaksi prosessiaineeksi selvisi puhdas fenoli. Fenolin sulamispiste on 40,9 °C (Borealis 2015, s. 2–10). Mekaanisena tiivisteinä pumppuilla oli käytössä tandem-tyyppinen kaksitoiminen mekaaninen tiiviste ja API-standardin Plan 52 mukainen tiivistenestejärjestelmä. Tiivistenestejärjestelmä on Plan 52 mukaisesti paineeton järjestelmä. Pumpun välinesteeksi saatiin selvitettyä kumeeni pumpun luona käytäessä. Selvitettiin tuotannon olemassa olevat pumpun käyttöohjeet. Tuotannolta saadun tiedon mukaan kyseiselle pumppuparille ei ole tehty erillisiä käyttöohjeita (Nurmi 2016).

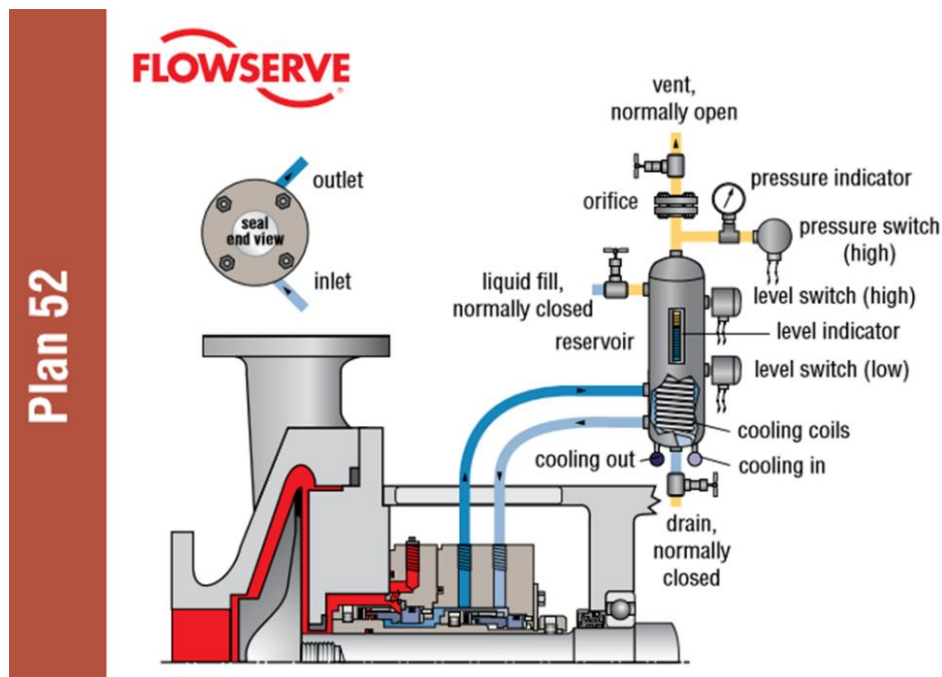
Seuraavaksi käytiin vielä läpi kaikki pumppujen vikailmoitukset, työtilaukset ja valokuvalliset raportit, jotka löydettiin. Vikailmoituksia pumppuparille löydettiin 59 kappaletta, työtilauksia 59 kappaletta ja valokuvallisia raportteja löydettiin 15 kappaletta. Näiden pohjalta selvitettiin vielä, että eroaako korjausten syyt laajemmassa selvityksessä, kun verrataan tehtyyn tutkimukseen määritellyllä aikavälillä. Pumppujen hajoamissyyn suurimmasta syystä saatiin lisää varmistusta, kun vertailtiin selvityksiä toisiinsa. Suurimmaksi syyksi pumppujen korjaukseen ottamiselle varmistui poksien eli mekaanisen tiivisteiden hajoaminen.

6.1.2 GA-1A+S ongelman juurisyyn selvittäminen

Lähtötietojen varmistamisen ja suurimman pumppujen korjaussyyn selvittämisen jälkeen lähdettiin tutkimaan pumppuparin korjaamisten juurisyitä. Juurisyyn etsinnässä keskityttiin pääasiallisesti vikaantumissyiden tutkimuksessa selvinneeseen suurimpaan vikaantumissyyn. Suurin vikaantumissyö oli mekaanisten tiivisteiden hajoaminen. Ongelman selvityksessä tarkasteltiin tarkemmin pumpun mekaanista tiivistettä ja siihen liittyvää tiivistenestejärjestelmää.

Tiivisteenä oli tandem-tyyppinen kaksitoiminen mekaaninen tiiviste ja tiivistenestejärjestelmänä oli API-standardin Plan 52-tyyppinen paineeton tiivistenestejärjestelmä. Kyseinen tiivistenestejärjestelmä on suunniteltu käytettäväksi, kun prosessiainetta ei saa päästä ilmakehään, vaan prosessiaineen vuoto tapahtuu järjestelmässä käytettävään tiivistenesteeseen. Parhaiten suunniteltu järjestelmä toimii puhtaille prosessiaineille, joilla prosessin paine on tiivistenestejärjestelmän painetta suurempi. Prosessiaineen vuotoa tiivistenestejärjestelmään päin tapahtuu aina prosessin suuremman paineen johdosta. Kun prosessiainetta pääsee tiivistenestejärjestelmään, voi raskaampi prosessiaine kuluttaa mekaanista tiivistettä normaalia nopeammin ja aiheuttaa nopeamman mekaanisen tiivisteiden vaurioitumisen. Prosessiaineen vuotoon on varauduttava painemittauksella, korkean pinnan mittauksella ja ulomman tiivisteiden vuotamiseen alatasen pinnanmittauksella. Tiivistenestejärjestelmän säiliötä on ohjeen mukaan jäädytettävä. (Flowserve 2008, s. 4.)

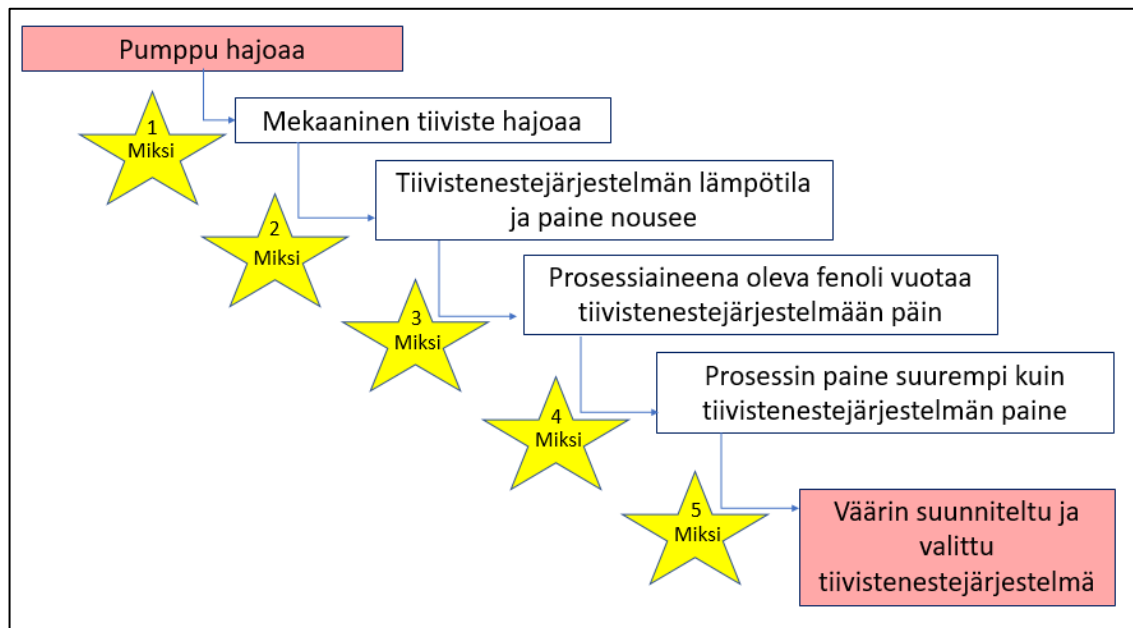
Tiivistenestejärjestelmän mekaanisessa tiivisteessä Plan 52 mukaan olisi käytettävä kaksitoimista tiivistettä, jossa on pumppausrenkas. Pumppausrenkaalla aiheutetaan käynnissä olevan pumpun tiivistenesteen kiertäminen. (Flowserve 2013, s. 27.) Kuvassa 24 nähdään Flowserve ohjeistama Plan 52 mukainen tiivistenestejärjestelmä.



Kuva 24. Flowserve'n kuvaus API Plan 52 versiosta (Flowserve 2013, s. 26).

Prosessiaine vuotaa tiivistenestejärjestelmään päin, koska prosessiaineen puolella on tiivistenestejärjestelmää suurempi paine. Vuodon takia prosessiaineena toimivan fenolin ja tiivistenestejärjestelmässä toimivan kumeenin pitäisi olla yhteensopivia Flowserve'n ohjeistuksen mukaisesti (Flowserve 2013, s. 26). Kumeenin sekaan vuotavan fenolin lämpötila on 223 °C ja se nostaa reilusti tiivistenestejärjestelmän lämpötilaa, kun vuoto kasvaa ja samalla alkaa tiivistenestejärjestelmän paine kohota. Normaalisti tiivistenestettä jäähdyttävä glykoli ei kyseisessä tapauksessa jäähtyvä tarpeeksi. Paineen nousu on merkki vuotavasta mekaanisesta tiivisteestä ja jos siihen ei reagoida, alkaa vuoto lisääntyä ja mahdollisesti myös mekaanisen tiivisteiden ulompi liukupintapari alkaa vuotaa. Ulomman liukupintaparin vuotamisessa pääsee myös fenolia kumeenin seassa ulkoilmaan, jota pyritään tiivistenestejärjestelmien avulla välttämään.

Tiivistenestejärjestelmän tietoja verrattaessa järjestelmän vaatimuksiin, voidaan tiivistenestejärjestelmän todeta olevan sopimaton kyseiselle pumppuparille. Juurisyyksi voidaan todeta väärin suunniteltu ja valittu tiivistenestejärjestelmä. Kuvassa 25 nähdään pumppuparille tehty analyysi juurisyyyn löytämiseksi 5xMiksi työkalulla.



Kuva 25. Pumpun GA-1A+S juurisyyn etsiminen 5xMiksi työkalulla.

6.1.3 GA-1A+S parannusehdotuksen selvitys ja parannusehdotus

Juurisyyn selvittämisen jälkeen alettiin tutkia parannusehdotusta pumppuparille. Juurisyyn ongelmiin selvisi vääränlainen tiivistenestejärjestelmä kyseiseen käyttökohteeseen. Ongelman ratkaisemiseksi ja luotettavuuden parantamiseksi tutkittiin erilaisia vaihtoehtoja pumppuparille. Ongelman korjauksen vaihtoehdoiksi valikoitui erilaisen tiivistenestejärjestelmän vaihtaminen tai kokonaan erilaisen pumpputyypin etsiminen.

Tiivistenestejärjestelmän vaihtamishdotuksessa ei oteta huomioon itse pumppuyksikköä vaan pelkästään keskitytään selvittämään, minkälainen tiivistenestejärjestelmä kyseiseen käyttökohteeseen soveltuisi parhaiten. API Plan mukaisia tiivistenestejärjestelmiä tutkiessa voidaan rajata suoraan vaihtoehdoista pois yksitoimisten tiivisteiden mukaiset järjestelmät Borealiksen vaatimusten mukaisesti. Fenoli on myrkyllistä, eikä sitä saa vuotaa ulos pumpun tiivisteestä. Kyseisessä tapauksessa vaaditaan kaksitoimista tiivistettä.

Seuraavaksi lähdettiin tutkimaan vaihtoehtoisia kaksitoimisten tiivisteiden järjestelmiä. Mahdollisen tiivistenestejärjestelmän valintaan vaikuttaa tieto, mitä väliainetta nesteenä tai kaasuna on mahdollista käyttää järjestelmässä. Tuotannon kannalta asiaan vaikuttaa, mitä väliainetta saa mennä prosessiaineen sekaan häiritsemättä tuotteen laatua. Prosessiaineena toimiva fenoli on kyseisessä kohtaa prosessia hyvin puhdasta ja ei ole tietoa, että fenolin

sekaan saisi päästä ylimääräisiä aineita. Ilman varmaa tietoa sallitusta välinesteestä pystytään karsimaan paineelliset kaksitoimiset tiivistenestejärjestelmät pois parannusehdotuksesta.

Pieniä parannuksia voitaisiin mahdollisesti tehdä mekaanisen tiivisteiden muutoksilla ja tiivistenestejärjestelmän parannusoperaatioilla, mutta juurisyitä ei saataisi poistettua eikä luotettavuus paljonkaan paranisi. Kyseisen selvityksen perusteella voidaan pitää tiivistenestejärjestelmän muutosta luotettavuuden parantamiseksi kannattamattomana vaihtoehtona.

Valintaan pumpputyypin vaihtamiseksi lähdettiin selvittämään mahdolliset sallitut pumpputyypit. Myrkyllisen aineen ollessa kyseessä ja Borealiksen ohjeiden mukaan pumpputyypin vaihtoehtoiksi selvisivät keskipakopumppu kaksitoimisella mekaanisella tiivisteellä ja magneettiveton keskipakopumppu. Kaksitoimisella mekaanisella tiivisteellä varustettu keskipakopumppu oli jo tiivistenestejärjestelmän vaihtamisen selvityksen perusteella rajattu valinnan ulkopuolelle. Valinnan vaihtoehtoksi uuden pumpun tyypiksi jää ainoastaan magneettiveton keskipakopumppu.

Magneettiveton keskipakopumppu sopii käytettäväksi kyseiseen kohteeseen, koska kyseinen pumppu ei tarvitse tiivistenestejärjestelmää. Näin aikaisemmin selvitettyä prosessiaineeseen päin joutuvaa tiivistenesteen aiheuttamaa ongelmaa ei esiinny. Prosessiaine voitelee liukulaakerit magneettivetoisissa pumpuissa ja sen on oltava puhdasta, koska partikkelit voivat aiheuttaa voitelun huonontumisen ja sen seurauksena laakereiden hajoamisen (Sondalini 2016, s. 9). Fenoli on pumppauslämpötilassa 223 °C nestemäisenä ja soveltuu erinomaisesti magneettivetoiseen pumppuun prosessiaineeksi puhtautensa vuoksi.

6.2 GA-1B+S pumppuparin ongelmien selvittäminen

GA-1B+S pumppuparin juurisyyn selvittäminen toteutettiin samoja periaatteita ja menetelmiä käyttäen kuin GA-1A+S pumppuparin juurisyyn selvityksessä. Kuvassa 26 esitetään pumppu GA-1BS kuvattuna oikeassa toimintaympäristössä ilman eristeitä vuonna 2014.



Kuva 26. Pumppu GA-1BS kuvattuna oikeassa toimintaympäristössä ilman eristeitä (Borealis 2014c).

6.2.1 GA-1B+S perustietojen selvitys

Pumppujen datalehdistä saatiin selville prosessianeeksi 93 %:sta rikkihappoa. Pumpun GA-1BS tyypiksi varmistui syrjäytyspumppu ja tarkemmaksi tyypiksi kalvopumppu. Datalehden mukaan pumput on otettu käyttöön vuonna 2007. Varsinaiselle pumpulle GA-1B ei löytynyt omaa datalehteä Borealisen arkistosta tai ERP-toiminnanohjausjärjestelmästä. Molemmat pumput ovat samanlaisia, joten käytettiin molemmille pumpuille varapumpun datalehteä. Datalehdessä on pumppuparille määritelty käyttämään sykkeenvaimenninta vaimentamaan pumpun aiheuttamaa sykettä. Lisäksi pumppuparille on määritetty käytettäväksi varoventtiiliä kuten kaikille syrjäytyspumpuille suojaamaan ylipaineelta.

Tarkasteltiin pumppuvalmistajan antamasta käyttöoppaasta ongelmanratkaisun kohtia vikojen syistä. Ongelmanratkaisun tietojen perusteella ei löytynyt mitään tutkimukseen vaikuttavia uusia asioita. Selvitettiin tuotannon olemassa olevat pumpun käyttöohjeet. Tuotannolta saadun tiedon mukaan pumppuparille on olemassa käyttöohjeet (Nurmi 2016).

Seuraavaksi käytiin läpi vielä yksitellen kaikki pumppujen vikailmoitukset, työtilaukset ja valokuvalliset raportit, jotka löydettiin. Vikailmoituksia löydettiin 32 kappaletta, työtilauksia 28 kappaletta ja valokuvallisia raportteja 7 kappaletta. Näiden pohjalta

selvitettiin vielä, että eroaako korjausten syyt laajemmassa selvityksessä, kun verrataan tehtyyn tutkimukseen määritellyllä aikavälillä. Vertailtaessa selvityksiä toisiinsa, ei löydetty mitään poikkeavaa syytä korjauksille. Suurimmaksi syyksi pumppujen korjaukseen ottamiselle varmistui pumppuparin osalta tuottamattomuus- ja painamattomuusongelmat.

6.2.2 GA-1B+S ongelman juurisyyn selvittäminen

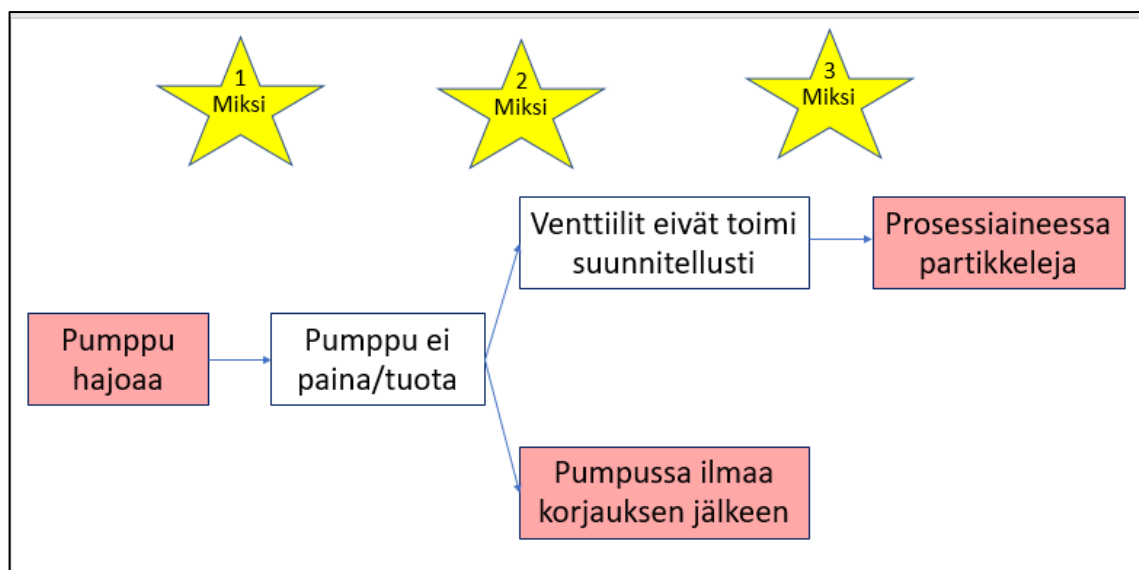
Lähtötietojen varmistamisen ja suurimman pumppujen korjaussyyn selvittämisen jälkeen lähdettiin tutkimaan pumppuparin korjaamisten juurisyitä. Juurisyyn etsinnässä keskityttiin pääasiallisesti tutkimuksessa selvinneeseen pumppujen tuottamattomuus- ja painamattomuusongelmaan.

Ongelmien selvityksessä vikaraporttien tutkimusten perusteella ei selvinnyt mitään selvää yksittäistä syytä ongelmaan. Ongelmaa alettiin analysoida tarkemmin, mistä näkymättömästä tai vikaraporteissa mainitsemattomista syistä ongelma voisi ilmetä. Painamattomuus- ja tuottamattomuusongelmiin yksi teoria voisi olla se, että pienikin partikkeli pumpattavassa nesteessä voi aiheuttaa imu- tai paineventtiilin toimintahäiriön, jos virtausmäärät ovat pieniä. Toimintahäiriön seurauksena pumppu ei toimi suunnitellulla tavalla ja venttiilit päästävät osan virtaavasta nesteestä takaisin väärään suuntaan. Kyseisessä tapauksessa tuotto vähenee tai loppuu kokonaan. Ongelmaa tukee kokemusperäinen tieto, että vastaavanlaisia painamattomuusongelmia on ilmennyt kalvopumpuilla partikkelien jäädessä venttiileihin kiinni.

Muita teoreettisia vaihtoehtoja ongelmille voivat olla ilmastusongelmat. Tarkoittaa, että huollon jälkeen pumppua ei saada ilmattua riittävän hyvin ja ilmakupla estää pumpun normaalin toiminnan. Yleensä kyseinen ongelma esiintyy pumpun korjaamisen jälkeen uudelleen käyttöön otettaessa. Kyseinen teoria ei päde siltä osalta painamattomuusongelmiin pumpun ollessa jo pidemmän aikaa käynnissä.

Edellä mainittujen ja mietittyjen teorioiden mukaisesti pumppujen tuottamattomuuden- ja painamattomuuden juurisyiksi voidaan päätellä prosessiaineen mukana pumppuun tulevat pienet partikkelit, jotka aiheuttavat pumpun venttiilien toimintahäiriön. Venttiilien toimintahäiriö, joka johtuu partikkeleista, on jo jonkin aikaa käynnissä olleen pumpun tuottamattomuuden- ja painamattomuuden juurisyys. Riittämätön ilmastus puolestaan olisi

juurisyy juuri huollosta tulleen pumpun tuottamattomuus- ja painamattomuusongelmiin. Kuvassa 27 nähdään pumppuparille tehty analyysi juurisyyn löytämiseksi muokatulla 5xMiksi työkalulla. Kyseisen pumppuparin juurisyyn löytämiseksi tarvittiin vain kysyä miksi kolme kertaa. Kaksi ja kolme kertaa riitti selvittämään pumppuun kohdistuneiden juurisyiden selvitykset.



Kuva 27. Pumpun GA-1B+S juurisyyn etsiminen muokatulla 5xMiksi työkalulla.

6.2.3 GA-1B+S parannusehdotuksen selvitys ja parannusehdotus

Parannusehdotusta pumppujen ongelmiin lähdettiin teorian pohjalta selvitettyjen juurisyiden kautta selvittämään. Vaihtoehtoina olisi vaihtaa pumpputyyppejä, jolloin saataisiin partikkelien aiheuttamat ongelmat kuriin tai vaihtoehtoisesti kasvattamalla virtausmäärää ja voitaisiin vaihtaa suurempi kalvopumppu, jossa on suuremmat venttiilit ja pienet partikkelit eivät niin helposti aiheuttaisi toimintahäiriöitä.

Pumpputyypin valintaa lähdettiin miettimään vastaavanlaisissa oloissa toimivien pumppujen toimivuuden selvittämisellä ja muita mahdollisia sopivia pumpputyyppejä tarkastelemalla. Tarkastelun pääarvona pidetään kuitenkin kokemuksia vastaavanlaisien olosuhteiden pumppujen toiminnan luotettavuudessa.

Vastaavanlaisissa olosuhteissa toimiva pumppu aromaattituotannosta löytyi GA-11. Kyseinen pumppu on hammaspyöräpumppu. Pumpussa on samanlaista

painamattomuusongelmaa kuin pumpuilla GA-1B+S, mutta kyseisellä pumpulla voidaan painamattomuusongelmat ennakoida. Painamattomuusongelma ei esiinny samalla tavalla yhtäkkiä, vaan kulumisen voidaan havaita pumppujen käymistiedoista ja pumppujen korjaaminen voidaan suorittaa hallitusti.

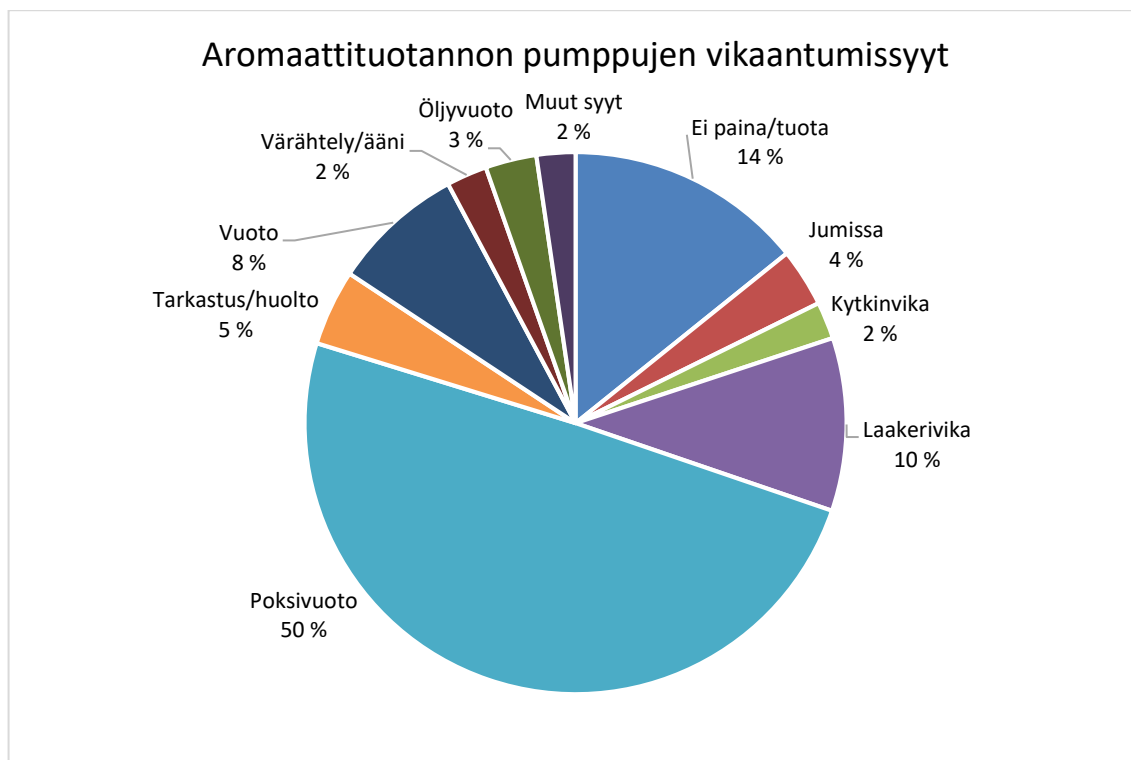
Muita pumpputyyppejä selvittäessä virtausmäärältään pienelle pumpulle vaihtoehdoksi valikoituu virtausmäärän perusteella syrjäytyspumppu johtuen pienestä virtausmäärästä 0,01 l/h. (Nesbitt 2006, s. 333.) Kalvopumppujen ja hammaspyöräpumppujen lisäksi vastaavanlaisissa kohteista on ollut kokemusta ruuvipumpusta. Ruuvipumppua GA-1J on käytetty lipeän pumppaamiseen. Tietoa selvityksessä saatiin vikaantumissyistä ja kyseisellä pumpulla oli tuoton kanssa ongelmia staattorin kulumisen johdosta. Kyseinen pumppu vaihdettiin pois kyseisestä ongelmasta johtuen. Muista pumpputyypeistä vastaavanlaisissa kohteissa ei ole käyttökokemusta ja ehdotusratkaisut tehdään näiden mukaisesti.

Ensimmäiseksi parannusehdotukseksi selvitysten perusteella ehdotetaan muutettavaksi suurempaa kalvopumppua virtausmäärältään, jossa painepuolelta osa pumpun tuottamasta virtauksesta johdettaisiin takaisin säiliöön ja vain tarvittava osa virtausmäärästä menisi perille. Suuremman virtausmäärän pumpun venttiilit ovat suurempia ja näin ollen myös pienet partikkelit eivät niin helposti aiheuta venttiilien toimimattomuutta. Lisäksi lisättäisiin ilmastusta varten yhteitä. Toisena vaihtoehtoisena parannuksena on vaihtaa kalvopumppujen tilalle hammaspyöräpumput ja näin ollen saadaan ennakoitua paremmin pumppujen tarvittava huoltoaika.

7 TULOKSET

Aromaattituotannon pumppujen vikaantumisyyden selvityksessä käytettiin lähtötietoina kaikkia 949 kappaletta vikaantumisia. Vikaantumisista pienen määrällisen osuuden vuoksi yhdistettiin joitakin vikaantumisyyttä; ei pysy päällä, epäselvät, mekaaniset viat, tukkeumat ja virheet. Näille vioille annettiin yhteiseksi vikanimitykseksi muut syyt.

Ensimmäisenä päätutkimuskysymyksenä diplomityössä oli selvittää, mitkä syyt aiheuttavat eniten pumppujen hajoamisia aromaattituotannossa? Pumppujen vikaantumisyyden selvityksessä selvästi suurimmaksi vikaantumisyyksi selvisi poksivuodot eli mekaanisten tiivisteiden vuodot 50 %:n osuudella. Toiseksi suurimmaksi vikaantumisyyksi selvisi erilaiset painamattomuus- ja tuottamattomuusongelmat 14 %:n osuudella ja kolmanneksi yleisin syy pumppujen korjaamiselle löytyi laakerivioista 10 %:n osuudella. Kuvassa 28 esitellään kaikki pumppujen vikaantumisyyt prosentiosuuksilla kokonaismäärästä.

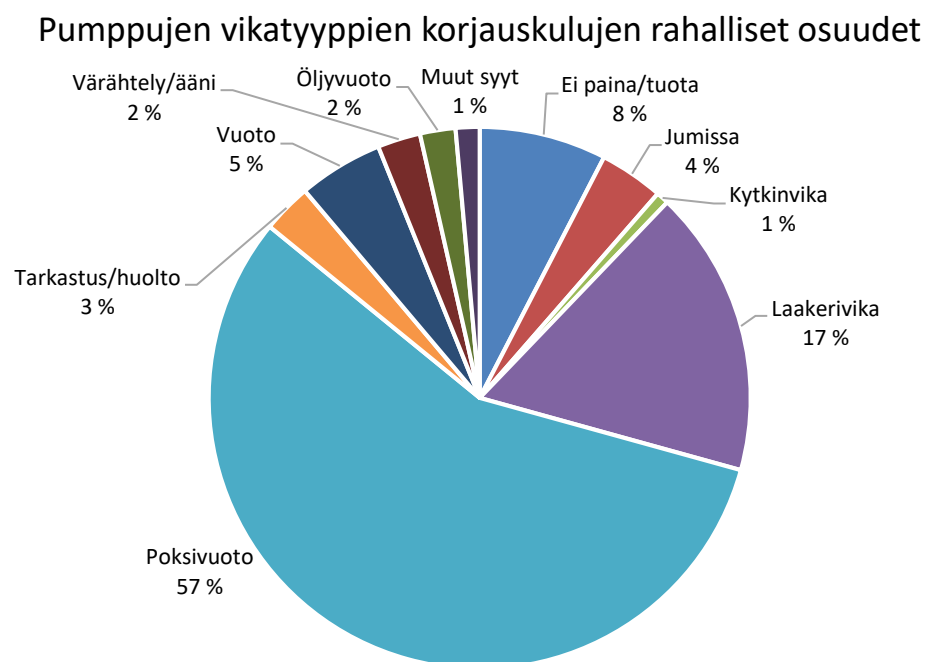


Kuva 28. Aromaattituotannon pumppujen vikaantumisyyt esitettynä prosentiosuuksineen kokonaismäärästä.

7.1 Pumppujen vikatyypin rahalliset osuudet

Aromaattituotannon pumppujen vikatyypin rahallisen osuuden selvityksessä lähtötietoina käytettiin kaikkia 949 kappaletta vikaantumisia. Rahallisen osuuden esityksessä käytetään samoja vikaantumissyitä ja muut syyt ryhmää kuin pumppujen vikaantumissyiden esityksessä.

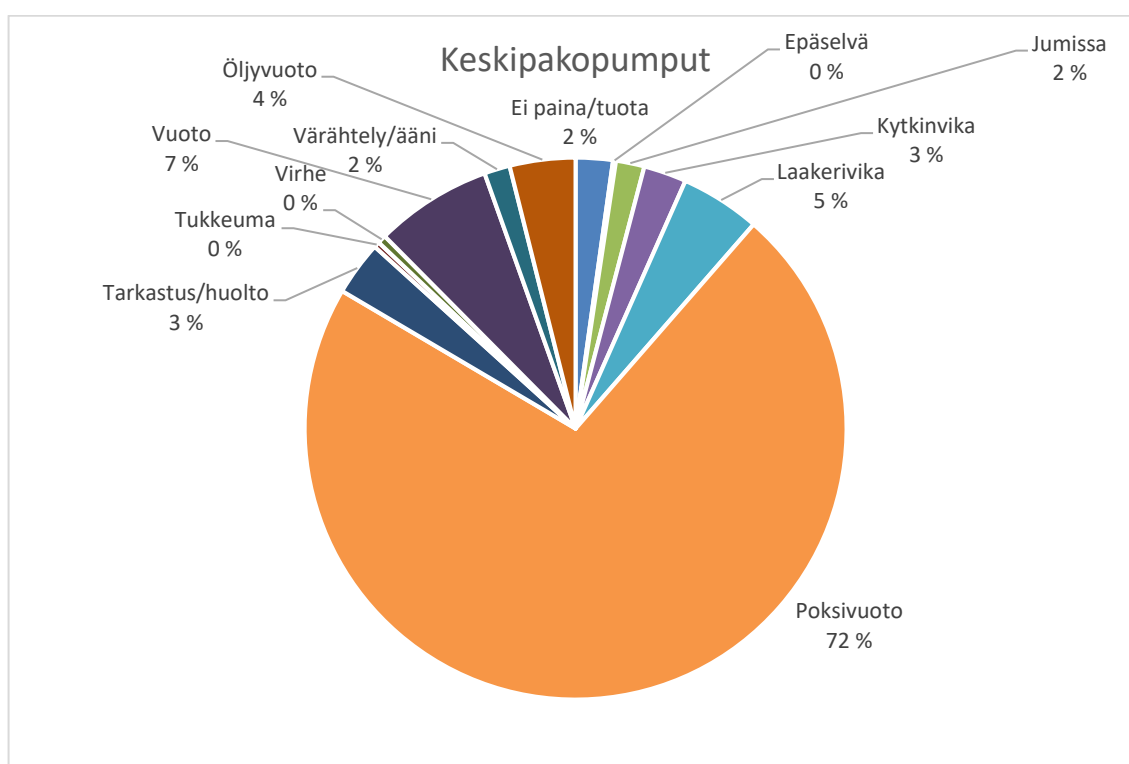
Ensimmäisenä alatutkimuskysymyksenä diplomityössä oli selvittää selville saatujen vikaantumisten vikatyypin rahallinen osuus kokonaiskorjauskuluista prosentteina. Vikatyypin rahallisen osuuden selvityksessä saatiin selvästi suurimmaksi rahaa kuluttavaksi vikatyypiksi selville poksivuodot 57 %:n osuudella. Toiseksi suurimmaksi rahaa kuluttavaksi vikatyypiksi selvisi laakeriviat 17 %:n osuudella. Kolmanneksi suurimmaksi rahaa kuluttavaksi vikatyypiksi selvisi painamattomuus- ja tuottamattomuusongelmat. Kuvassa 29 esitellään kaikki pumppujen vikaantumisten vikatyypin rahalliset prosentiosuudet kokonaismäärästä.



Kuva 29. Pumppujen vikatyypin kokonaiskorjauskulujen rahalliset osuudet vikatyypeittäin esitettynä prosentiosuuksineen kokonaismäärästä.

7.2 Pumppujen tyyppikohtaiset vikaantumissytyt

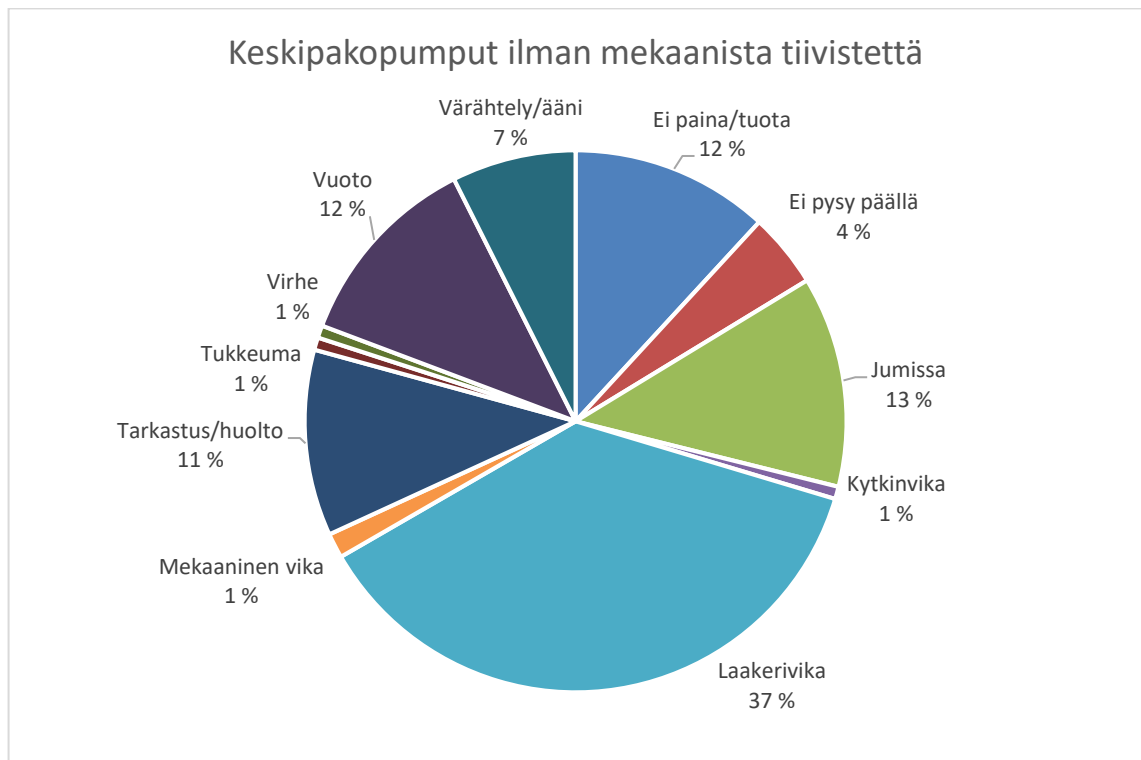
Toisena alatutkimuskysymyksenä diplomityössä oli selvittää pumppujen eri vikaantumistyyppit prosenttiosuuksineen. Keskipakopumppujen vikaantumissyiden selvityksessä lähtötietoina käytettiin 587 eri vikaantumista. Tuloksista selvisi keskipakopumpun selvästi suurimmaksi vikaantumissyiksi poksivuodot 72 %:n osuudella. Toiseksi suurimmaksi syyksi selvisi laakeriviat 5 %:n osuudella ja öljyvuodot 4 %:n osuudella. Kuvassa 30 esitellään kaikki tutkimuksessa selville saadut vikaantumissyiden prosenttiosuudet keskipakopumppujen osalta.



Kuva 30. Keskipakopumppujen vikaantumissytyt esitettynä prosenttiosuuksineen kokonaismäärästä.

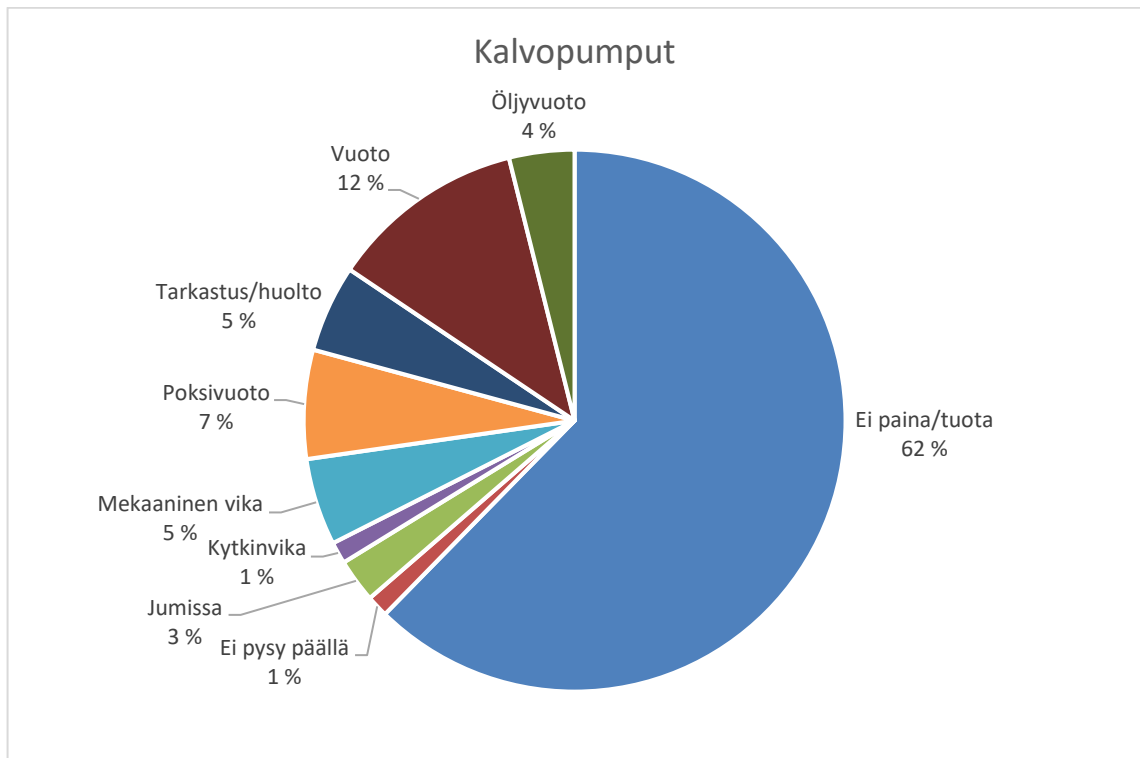
Ilman mekaanista tiivistettä omaavien keskipakopumppujen vikaantumissyiden selvityksessä lähtötietoina käytettiin 135 eri vikaantumista. Tuloksista selvisi ilman mekaanista tiivistettä omaavien keskipakopumppujen selvästi suurimmaksi vikaantumissyiksi laakeriviat 37 %:n osuudella. Toiseksi suurimmaksi syyksi selvisi pumpun jumissa oleminen 13 %:n osuudella. Kolmanneksi suurimman syyn jakoivat painamattomuus- ja tuottamattomuusongelmat sekä erilaiset vuodot kummallakin 12 %:n osuudella.

osuudet. Kuvassa 31 esitellään kaikki tutkimuksessa selville saadut vikaantumissyiden prosenttiosuudet ilman mekaanista tiivistettä omaavien keskipakopumppujen osalta.



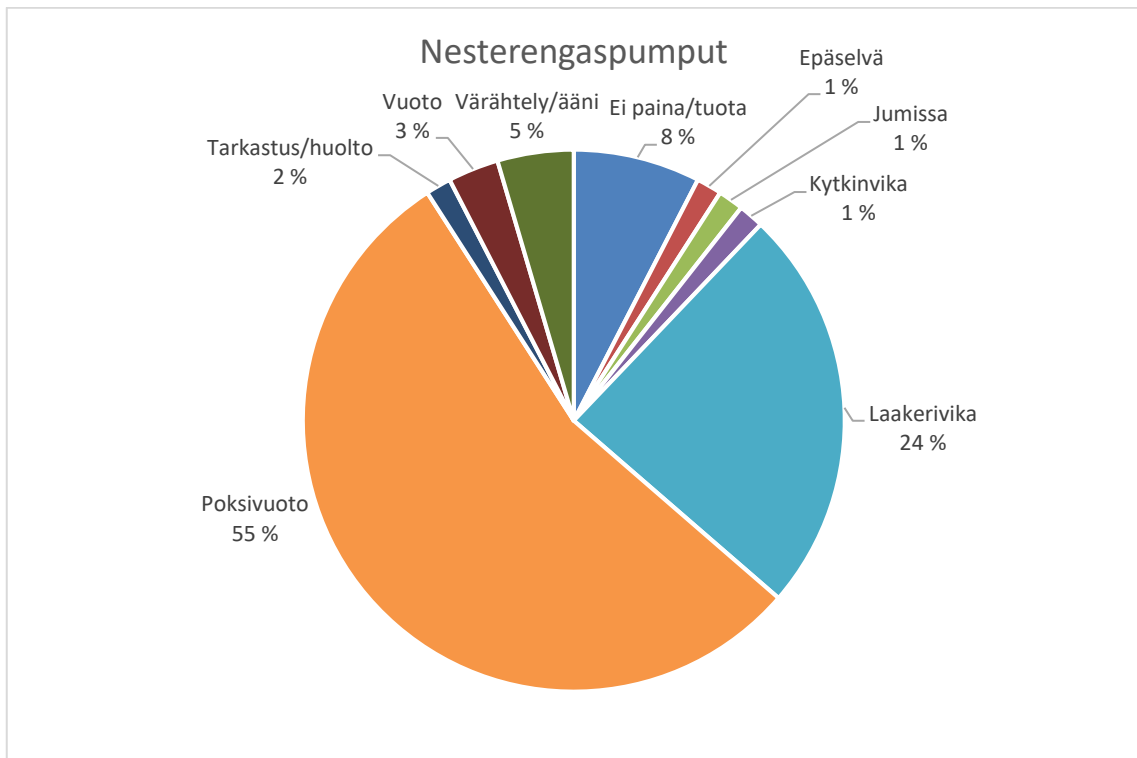
Kuva 31. Ilman mekaanista tiivistettä olevien keskipakopumppujen vikaantumissyiden esitettyinä prosenttiosuuksineen kokonaismäärästä.

Kalvopumppujen vikaantumissyiden selvityksessä lähtötietoina käytettiin 77 eri vikaantumista. Tuloksista selvisi kalvopumpun selvästi suurimmaksi vikaantumissyiksi erilaiset painamattomuus- ja tuottamattomuusongelmat 62 %:n osuudella. Toiseksi suurimmaksi syyksi selvisi erilaiset vuodot 12 %:n osuudella ja kolmanneksi suurimmaksi syyksi selvisi poksivuodot 7 %:n osuudella. Kuvassa 32 esitellään kaikki tutkimuksessa selville saadut vikaantumissyiden prosenttiosuudet kalvopumppujen osalta.



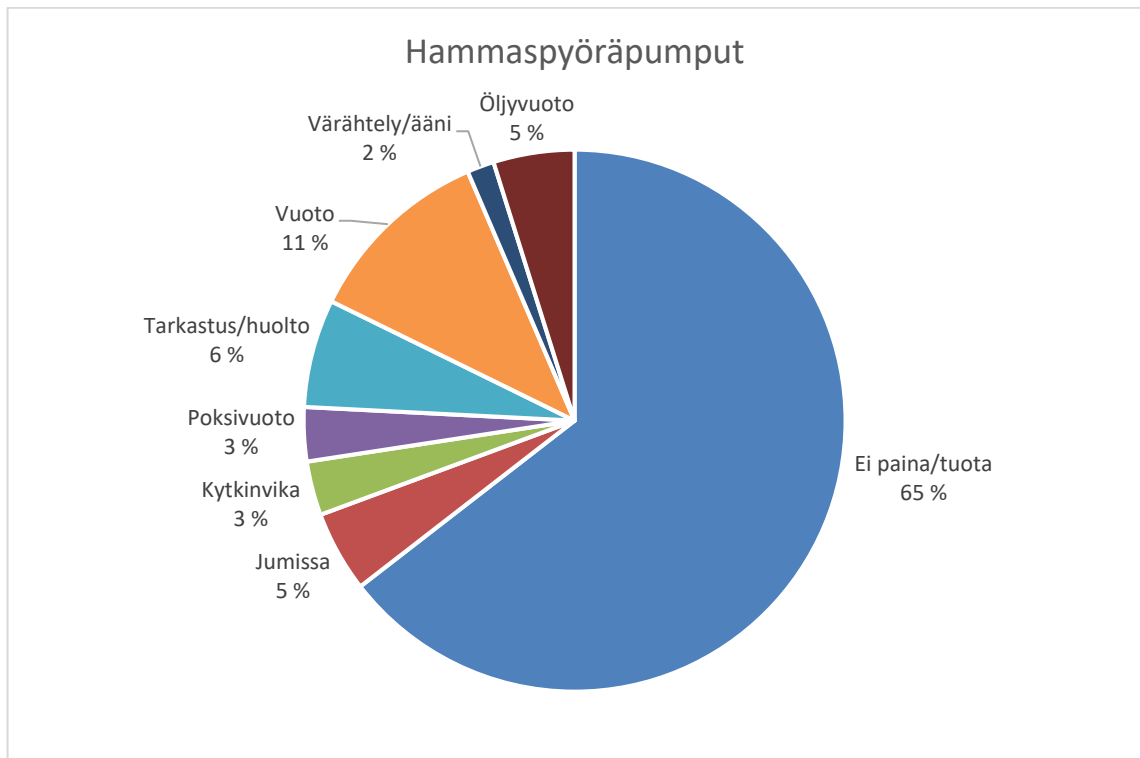
Kuva 32. Kalvopumppujen vikaantumissytyt esitettynä prosenttiosuuksineen kokonaismäärästä.

Nesterengaspumppujen vikaantumissyiden selvityksessä lähtötietoina käytettiin 66 eri vikaantumista. Tuloksista selvisi nesterengaspumppujen selvästi suurimmaksi vikaantumissyiksi pöksivuodot 55 %:n osuudella. Toiseksi suurimmaksi syyksi selvisi laakeriviat 24 %:n osuudella sekä kolmanneksi suurimaksi syyksi painamattomuus- ja tuottamattomuusongelmat 8 %:n osuudella. Kuvassa 33 esitellään kaikki tutkimuksessa selville saadut vikaantumissyiden prosenttiosuudet nesterengaspumppujen osalta.



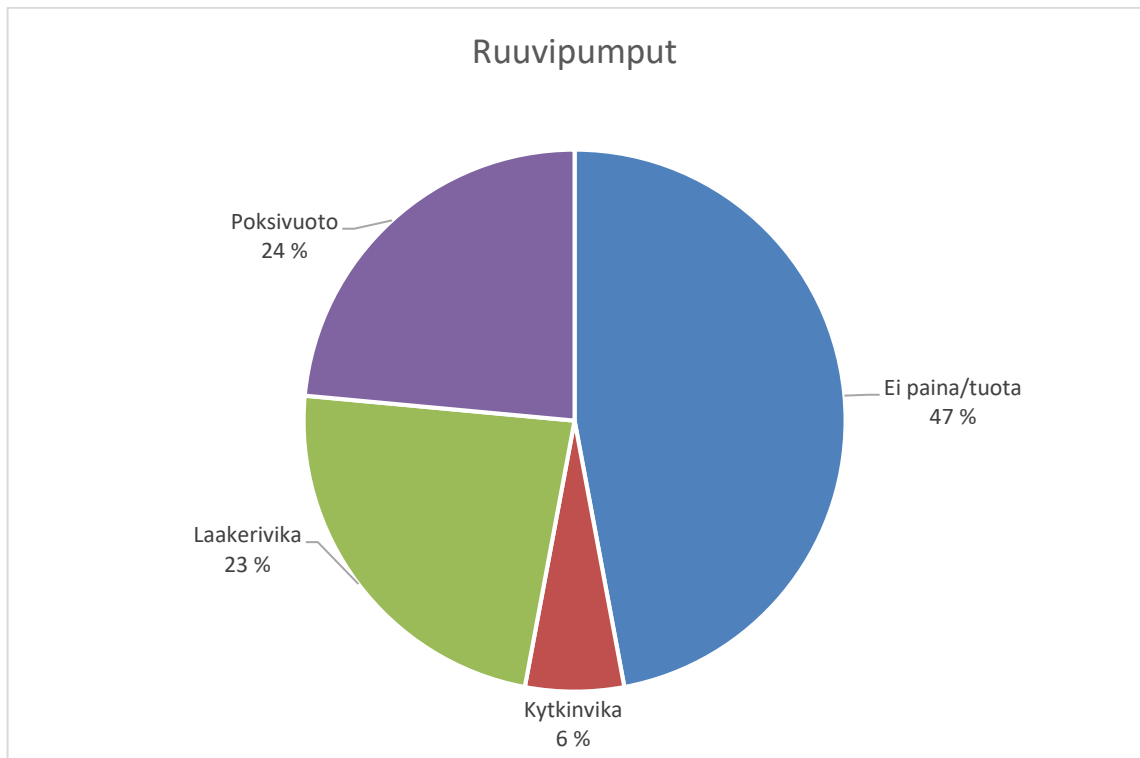
Kuva 33. Nesterengaspumppujen vikaantumissytyt esitettynä prosenttiosuuksineen kokonaismäärästä.

Hammaspyöräpumppujen vikaantumissyiden selvityksessä lähtötietoina käytettiin 62 eri vikaantumista. Tuloksista selvisi hammaspyöräpumppujen selvästi suurimmaksi vikaantumissyykseksi painamattomuus- ja tuottamattomuusongelmat 65 %:n osuudella. Toiseksi suurimmaksi syyksi selvisi erilaiset vuodot 11 %:n osuudella sekä kolmanneksi suurimmaksi syyksi tarkastukset ja huollot 6 %:n osuudella. Kuvassa 34 esitellään kaikki tutkimuksessa selville saadut vikaantumissyiden prosenttiosuudet hammaspyöräpumppujen osalta.



Kuva 34. Hammaspyöräpumpujen vikaantumissyöt esitettynä prosenttiosuuksineen kokonaismäärästä.

Ruuvipumppujen vikaantumissyiden selvityksessä lähtötietoina käytettiin 17 eri vikaantumista. Tuloksista selvisi ruuvipumppujen selvästi suurimmaksi vikaantumissyöksi painamattomuus- ja tuottamattomuusongelmat 47 %:n osuudella. Toiseksi suurimmaksi syyksi selvisi poksivuodot 24 %:n osuudella ja kolmanneksi suurimmaksi syyksi laakeriviat 23 %:n osuudella. Kuvassa 35 esitellään kaikki tutkimuksessa selville saadut vikaantumissyiden prosenttiosuudet ruuvipumppujen osalta.

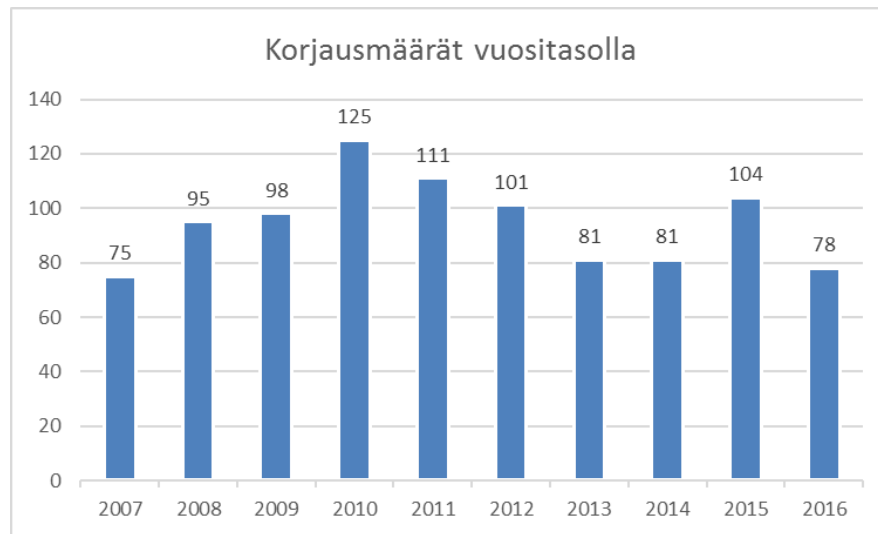


Kuva 35. Ruuvipumppujen vikaantumissyty esitettynä prosenttiosuuksineen kokonaismäärästä.

Uppopumppujen vikaantumissyiden selvityksessä lähtötietoina käytettiin 5 eri vikaantumista. Tuloksista selvisi uppopumppujen ainoaksi vikaantumissyiksi painamattomuus- ja tuottamattomuusongelmat 100 %:n osuudella.

7.3 Korjausmäärät vuosittain

Kolmantena alatutkimuskysymyksenä diplomityössä oli, paljonko pumppukorjauksia tutkittavan ajanjakson aikana on ollut vuosittain ja onko korjausmäärät lisääntyneet vai vähentyneet. Tutkimuksen tulokset antoivat vuosien 2007–2016 välisenä aikana vuositasolla korjausmääräksi 75–125 kertaa. Vähiten korjauksia vuositasolla on esiintynyt 75 kertaa vuonna 2007 ja eniten korjauksia 125 kertaa vuonna 2010. Vuoden 2016 korjausmäärään vaikuttaa lyhyempi tutkittava ajanjakso, joka vääristää hieman tuloksia. Ajanjakso vuodelle 2016 on ollut 01.01.2016–15.10.2016 ja korjausmääriä tutkittavalla ajanjaksolla on esiintynyt 78 kertaa. Korjausmäärät ovat vaihdelleet hieman tutkittavan ajanjakson aikana ja tuloksena on korjausmäärien osalta, että korjausmäärät ovat pysyneet suurin piirtein samalla tasolla tutkittavien vuosien aikana. Kuvassa 36 esitellään tulokset vuosittaisista korjausmääräistä



Kuva 36. Pumppujen korjausmäärät esitettynä vuositasolla välillä 2007–2016, josta 2016 vuoden tutkittava aikaväli on ollut 01.01.2016–15.10.2016.

7.4 Pumppujen parannusehdotukset

Toisena päätutkimuskysymyksenä diplomityössä oli, mitkä ovat ongelmien juurisyyt valituilla pumppupareilla. Toisen päätutkimuskysymyksen alatutkimuskysymyksenä oli, mitkä ovat muutosehdotukset kahdelle valitulle pumppuparille. Taulukossa 7 nähdään pumppuparien selvitetty juurisyyt ja pumppuille esitetyt parannusehdotukset.

Taulukko 7. Taulukossa tulokset pumppuparien ongelmien juurisyyistä ja ratkaisuehdotukset.

Pumppu	Juurisyys	Ratkaisuehdotus 1	Ratkaisuehdotus 2
GA-1A+S	Väärin suunniteltu ja valittu tiivistenestejärjestelmä	Pumpputyypiksi magneettivetoinen pumppu	
GA-1B+S	Prosessianeessa partikkeleja, jotka aiheuttavat käynnissä olevan pumpun venttiilien toimimattomuuden ja huollon jälkeen painamattomuuden juurisyyntä riittämätön ilmastus	Vaihdetaan suurempituottoinen kalvopumppu ja palautetaan osa virtauksesta säiliöön takaisin ja lisätään ilmastusyhteitä	Vaihdetaan hammaspyöräpumpu kalvopumpun tilalle, että voidaan ennakoita huoltotarpeet

8 TULOSTEN ANALYSOINTI

Tulosten luotettavuuteen ensimmäisenä vaikuttavana asiana voidaan pitää tutkittavan tiedon määrää ja tutkittavan ajanjakson pituutta. Pumppujen vikaantumiset etsittiin Borealixen käyttämän toiminnanohjausjärjestelmän työtilauksien kautta. Vikaantumiskertoja oli 1145 kappaletta, joista karsittiin 196 kappaletta tutkinnan ulkopuolelle ja lopulliseksi tutkittavaksi määräksi vikaantumisille jäi 949 kappaletta vikaantumisia. Tarkastelun kohteeksi tutkittavana aikavälinä 01.01.2007–15.10.2016 löytyi karsinnan jälkeen 229 kappaletta eri laitenimen omaavaa pumppua kaikista Borealixen aromaattituotannon 411 eri pumpusta.

Toisena asiana pumppujen vikaantumisyyden tulosten luotettavuuteen vaikuttaa merkittävästi toiminnanohjausjärjestelmän vikailmoitusten raportointiosaan, sekä verkkoasemalle vikaraportteihin tallennettu tiedon määrä, oikeellisuus ja laatu. Vikaantumisyyttä tutkittaessa huomattiin paljon puutteellisia tietoja ja jonkin verran kokonaan puuttuneita vikailmoitusraportteja. Puuttuneiden vikailmoitusraporttien tapauksissa ei yleensä löydetty myöskään verkkoasemalle tallennettua kuvallista vikaraporttia. Näiden johdosta jouduttiin tekemään kyseisissä tapauksissa paras johtopäätös pumpun vikaantumisyydestä vikailmoituksen ja työtilauksen tietojen pohjalta.

Kolmas tulosten luotettavuuteen huomattavasti vaikuttava asia pumppujen vikaantumisyyden selvityksessä oli tutkimuksen tehneen henkilön tieto, sekä kokemus aromaattituotannon pumpuista, pumpputyypeistä ja pumppujen vikaantumisista. Tutkijalla oli aromaattituotannon pumpuista, rakenteista ja vikaantumisista kokemusta yli neljän vuoden ajalta liittyen omaan päivittäiseen työhön työnsuunnittelijana.

Aromaattituotannon pumppujen vikaantumisyydestä saatujen tuloksien luotettavuuteen vaikuttaa vähentävästi vikaraporttien tietojen puutteellisuus. Luotettavuutta tuloksiin puolestaan antaa tutkittavan materiaalin määrä sekä tutkittu ajanjakso. Lisäksi luotettavuutta tuloksiin lisää tutkijan ennakkotieto ja kokemus aromaattituotannon pumpuista johtuen päivittäisestä työstään. Pumppujen tyyppikohtaiseen vikaantumisyyden selvityksessä tarkasteltavien vikaantumisten määrä vaihteli. Kappalemääriltään pienempien määrien pumpputyypeillä vikaantumistulosten luotettavuus laskee vikaantumismäärien laskiessa.

Vikaantumissyiden saatuja tuloksia vertailtaessa kirjallisuuden tuloksiin saadaan viitettä, että suurimmat syyt pumppujen vikaantumisiin on juuri mekaanisissa tiivisteissä. Kirjallisuudesta löydettiin myös pumppujen korjauksien rahallisen osuuden tuloksista vastaavanlaisia tuloksia kuin tehdyn tutkimuksen tulokset. Tosin tämän tutkimuksen tulokset olivat molemmissa tapauksissa kirjallisuuden tuloksia suurempia. (Grundfos 2016, s. 2.)

Vikaantumissyiden selvityksessä tarkasteltava ajanjakso oli tuloksien luotettavuutta lisäävä tekijä. Korjausmäärien tuloksia vuositasolla voidaan tarkasteltavaa ajanjaksoa pitää kuitenkin riittämättömänä, kun tarkastellaan tuloksien pohjalta tietoa korjausmäärien lisääntymisestä tai vähenemisestä tutkittavalla ajanjaksolla. Itse korjausmäärien tuloksiin vuositasolla vaikuttavat pois rajatut viat ja rajausten syyt. Kokonaisuutena rajausten mukaan korjausmäärien tulokset vuositasolla esitettyinä ovat luotettavalla tasolla.

Juurisyyn selvitykseen ja saatujen tuloksien luotettavuuteen vaikuttaa tutkijan henkilökohtainen ammattitaito ja saatavien tietojen oikeellisuus, sekä määrä. Juurisyiden tutkimisen tuloksien oikeellisuutta arvioitaessa voidaan lyhyen tutkimuksen keston ja menetelmien arvioida vaikuttavan tuloksiin luotettavuutta laskevasti. Tutkimuksessa ei pystytty tutkimuksen lyhyen keston vuoksi ottamaan juurisyitä analysoidessa erilaisia inhimillisiä vaikutuksia huomioon pumppujen vikaantumisissa. Pitemmällä tutkimuksen kestoajalla oltaisiin voitu olla mukana pumppujen käynnistyksissä ja pysäyttämisisä. Oltaessa mukana operoinneissa oltaisiin todennäköisesti saatu arvokasta tietoa operointien vaikutuksista vikaantumisiin. Näiden tietojen puuttuminen vaikutti juurisyitä analysoitaessa huomattavasti tulosten luotettavuuteen, tulosten luotettavuutta laskevasti. Operoinnin vaikutus vikaantumisiin kirjallisuuden mukaan on noin 30 %, joka on merkittävä osuus ja juurisyiden tulosten kannalta olisi pitänyt ottaa huomioon (Grundfos 2016, s. 2).

Juurisyyn luotettavuus ja tutkijan ammattitaito ovat suurimmat parannusehdotuksen onnistumisen edellytykset. Parannusehdotuksiin olisi voitu lisäksi ottaa pumpun GA-1B+S:n osalta mahdolliset suodattimien lisäykset sekä linjojen ja säiliöiden puhdistaminen. Lisäksi näissä pitäisi tarkastella, että onko niissä oikeat materiaalit ja pinnoitteet. Parannusehdotuksen tulosten onnistuminen nähdään, kun toteutetaan muutokset ehdotusten mukaisesti.

9 YHTEENVETO

Diplomityössä selvitettiin aromaattituotannon pumppujen vikaantumisyyttä Borealixen käyttämästä ERP-toiminnanohjausjärjestelmästä, Borealixen arkistosta ja verkkoasemalta. Vikaantumisyyden selvityksessä saatiin suurimmaksi yksittäiseksi vikaantumisyyksi aromaattituotannon pumppujen osalta mekaanisten tiivisteiden hajoaminen koskien kaikkia pumpputyyppejä. Mekaanisten tiivisteiden vikaantumisosuus oli 50 % ja korjauskustannusten osuus 57 %. Lisäksi jokaiselle pumpputyypille saatiin tutkimuksessa eroteltua vikaantumisyyt tarkemmin. Tarkemmat pumppukohtaisten vikaantumisten suurimmat syyt nähdään taulukossa 8. Lopuksi vikaantumisista vielä tutkittiin korjausmäärät vuositasolla ja saatiin määritettyä vikaantumisia olevan vuosittain 75–125 kertaa.

Taulukko 8. Suurimmat vikaantumisyyt pumpputyypikohtaisesti.

Pumpputyyppe	Suurin vikaantumisyy	Kokonaisosuus, %
Keskipakopumppu	Poksivuoto	72
Keskipakopumppu ilman mekaanista tiivistettä	Laakerivika	37
Kalvopumppu	Ei paina/tuota	62
Nesterengaspumppu	Poksivuoto	55
Hammaspyöräpumppu	Ei paina/tuota	65
Ruuvipumppu	Ei paina/tuota	47
Uppopumppu	Ei paina/tuota	100

Vikaantumisyyden selvitysten tulosten luotettavuudessa voi olla muutaman prosentin virhemarginaali. Virhemarginaali aiheutuu puutteellisista tai puuttuneista vikailmoitusraporteista ja raporttien analysoinneista. Kuitenkin tarkkuus vikaantumisyyden tutkimukselle on riittävän tarkka. Tutkimuksen tiedoilla saadaan tarpeeksi tarkkaa tietoa syistä, joihin yrityksen tarvitsee kiinnittää huomiota ja tekemään vikaantumisyyistä lisäselvityksiä. Kuitenkin yrityksen haluttaessa vikaantumisyyden perusteella tehdä suurempia muutoksia pumppupareille lisäämään luotettavuutta, joudutaan jokaisesta pumppuparista tekemään yksityiskohtaiset juurisyyanalyysit. Juuri tämän syyn vuoksi vikaantumisyyden tarkkuudessa saa olla pieni sallittu virhemarginaali.

Vikaantumissyiden selvitysten jälkeen tehtiin kahdelle pumppuparille tarkemmat juurisyyanalyysit. Juurisyyanalyyseissä aikarajausta muutettiin koskemaan koko vikaantumishistoriaa ja otettiin huomioon myös mahdollisten apulaitteiden vaikutukset vikaantumisissa. Molemmille pumppupareille löydettiin vikaantumisten juurisyys. Juurisyysiksi GA-1A+S pumpuille selvisi väärin suunniteltu ja valittu tiivistenestejärjestelmä. Pumpuille GA-1B+S puolestaan juurisyysiksi selvisi pumpun käynnissä ollessa prosessiaineessa olevien partikkelien aiheuttamat ongelmat pumpun venttiileille ja huollon jälkeen käyttöön otettavan pumpun ilmastusongelmat.

Juurisyiden selvityksessä ei huomioitu operoinnin vaikutusta. Operoinnilla on merkittävä vaikutus ja siitä voisi löytyä pumppujen vikaantumisiin vaikuttavia asioita. Kyseiset asiat voisivat muuttaa analysoinnin tulosta juurisyyn selvityksessä. Juurisyyn selvityksissä pitäisi operointi ottaa yleensä mukaan juurisyyanalyysiin.

Juurisyyanalyysien selvitysten perusteella pumppupareille ehdotettiin luotettavuutta lisäävät parannusehdotukset. Pumpuille GA-1A+S ehdotettiin vaihtamaan pumpputyyppiä magneettivetoiseksi keskipakopumpuksi. Pumpuille GA-1B+S ehdotettiin puolestaan vaihdettavaksi suurempikokoinen kalvopumppu tai hammaspyöräpumppu. Pumppujen toimintavarmuuden ehdotuksessa GA-1A+S osalta pitää kuitenkin ottaa huomioon, että magneettivetoisia pumppuja on erilaisia ja oikeanlaisen magneettivetoisen pumpun valinta teknisine ominaisuuksineen pitää huolellisesti hankintatilanteessa tarkastella. Lisäksi GA-1B+S osalta on mietittävä kustannusten vaikutus eri muutosvaihtoehtoja valittaessa.

Diplomityön tutkimuksessa saatiin selville aromaattituotannon pumppujen suurimmaksi vikaantumissyysiksi mekaanisten tiivisteiden hajoaminen. Jatkotutkimusideana diplomityöhön ehdotettaisiin selvitystä tarkemmin mekaanisten tiivisteiden hajoamisen syistä ja syiden yhtäläisyyksistä. Tarkasteluun pitäisi ottaa mekaanisten tiivisteiden lisäksi myös kaikki aromaattituotannosta löytyvät tiivistenestejärjestelmät. Syitä voitaisiin lähteä tutkimaan, löytyykö mekaanisten tiivisteiden hajoamisissa yhtäläisyyksiä käytettäviin tiivistenestejärjestelmiin sekä käytettäviin tiivistenesteisiin. Yhtäläisyyksien löytäminen vikaantumisissa toisi yritykselle jatkotutkimuksen avulla huomattavaa lisäarvoa tiedollisesti ja rahallisesti alentamalla vuosittaisia korjauskustannuksia.

LÄHTEET

AESSEAL. 2016. API Plan 53C. [Aesseal:n www-sivulla]. [Viitattu 05.12.2016]. Saatavissa: <http://www.aesseal.com/en/resources/api-plans/api-plan-53c>

Apollo. 2016. KRP: Design features and properties. [Apollon www-sivulla]. [Viitattu 22.11.2016]. Saatavissa: <http://www.apollo-goessnitz.de/index.php?id=169&L=1>

APRO. 2017. Lean Six Sigma on prosessien systemaattista ja tuloshakuista kehittämistä! (osa 1). [APRO:n www-sivulla]. [Viitattu 17.01.2017]. Saatavissa: <http://www.aaltopro.fi/blog/lean-six-sigma-prosessien-systemaattista-ja-tuloshakuista-kehittamista-osa-1>

AxFlow. 2016. NAPCO hammaspyöräpumput.. [Viitattu 22.11.2016]. Saatavissa: <http://www.axflow.com/fi/site/tuotteet/luokka/pumput/hammaspyorapumput/napco-hammaspyorapumput/>

Bannwarth, H. 2006. Liquid Ring Vacuum Pumps, Compressors and Systems: Conventional and Hermetic Design. Weinheim: Wiley-VCH. 512 s.

Bergius, O. Blomsten, B. Hedenfalk, L. Jonsson, A. Kempe, S. Nilsson, E. Pegert, G. Ullgren, S. & Wennström, L. 1978. Pumpputekniikka: Nesteiden pumppaus. Helsinki: Insinöörilehdet Oy. 199 s.

Bloch, H. P. & Geitner, F. K. 2012. Machinery failure analysis and troubleshooting: Practical machinery management for process plants. 4th edition. Oxford: Butterworth-Heinemann. 760 s.

Borealis. 2014a. Valokuvallinen vikaraportti [verkkodokumentti]. [Viitattu 01.12.2016]. Saatavissa: Borealis Polymers Oy verkkoasemalla. Yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

Borealis. 2014b. Vikailmoituksen vikaraportti [verkkodokumentti]. [Viitattu 01.12.2016]. Saatavissa: Borealis Polymers Oy verkkoasemalla. Yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

Borealis. 2014c. Kuva pumpusta GA-1BS ilman eristeitä [verkkodokumentti]. [Viitattu 01.12.2016]. Saatavissa: Borealis Polymers Oy verkkoasemalla. Yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

Borealis. 2015. Käyttöturvallisuustiedote: Fenoli [verkkodokumentti]. [Viitattu 24.11.2016]. Käyttöturvallisuustiedote. Borealis. 56 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.borealisgroup.com/Global/Base%20Chemicals/Hydrocarbons%20Energy/Phenol%20Acetone/phenol-sds-finland.pdf>

Borealis. 2016. Borealis Porvoo -esittelypaketti [verkkodokumentti]. [Viitattu 25.01.2017]. Yritysesittely. 48 s. Saatavissa PDF-tiedostona: Borealis Polymers Oy:n intranet-sivuilla. Intranet yrityksen sisäisessä käytössä, vaatii salasanan.

Devendran, R. S. & Vacca, A. 2013. Optimal design of gear pumps for exhaust gas aftertreatment applications. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 38. S. 1–19.

FlowExperts. 2016. Räätelöidyt annostuspumput [verkkodokumentti]. [Viitattu 22.11.2016]. Tuote-esite. 24 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.flowexperts.fi/pdf/lewa_esitteet/lewa_ecoflow_fi.pdf

Flowserve. 2008. Installation Instructions [verkkodokumentti]. [Viitattu 05.12.2016]. Tuote-esite. 8 s. Saatavissa PDF-tiedostona: https://www.flowserve.com/sites/default/files/2016-07/FIS123_Support_Reservoir_Install.pdf

Flowserve. 2013. Mechanical Seal Piping Plans [verkkodokumentti]. [Viitattu 27.11.2016]. Tuote-esite. 66 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://arthomson.com/wp-content/uploads/2014/06/FLOWSERVE-Piping-Plan.pdf>

Grundfos. 2016. Failure of mechanical shaft seals [verkkodokumentti]. [Viitattu 03.12.2016]. Esite. 17 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://machining.grundfos.com/media/16611/shaftseal_chapter5.pdf

Gülich, J. F. 2014. Centrifugal pumps. Berlin: Springer. 1146 s.

Hall, S. 2012. [Luku 5] Pumps. Teoksessa: Rules of Thumbs for Chemical Engineers. 5. painos. USA: Elsevier. s. 101–117.

John, A. Meran, R. Roenpage, O. Staudter, C. & Lunau, S. 2008. Six Sigma+Lean Toolset. Berlin: Springer. 317 s.

Johnson, M. A. 2014. Diaphragm technology with abrasive fluids. World Pumps, 2014:10. S. 14–16.

KSB. 2016. Chemical pump. [Viitattu 22.11.2016]. Saatavissa: <https://www.ksb.com/centrifugal-pump-lexicon/chemical-pump/191612>

Laatuakatemia. 2017. Laatuökaluja. [Viitattu 12.01.2017]. Saatavissa: <http://www.kotiposti.net/tuurala/PDCA.htm>

Mimmi, G. & Pennacchi, P. 2001. Diaphragm design improvement for a metering pump. Engineering Failure Analysis, 8:1. S. 1–13.

Motiva. 2011. Energiatehokkaat pumput. Opas energiatehokkaiden pumppujen hankintaan ja pumppausjärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseen [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.11.2016]. Pumppuohje. 37 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat_pumput.pdf

Nesbitt, B. 2006. Pumping manual international: Handbook of Pumps and Pumping. Amsterdam: Elsevier. 740 s.

Nurmi, T. 2016. RE: GA-1A+S ja GA-1B+S [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottajat: Jaakko Vesanto, Janne Mäenpää. Lähetetty 16.11.2016 klo 15.09 (GMT+0200).

Otegui, J. L. 2014. Failure Analysis: Fundamentals and Applications in Mechanical Components. London: Springer. 313 s.

Qualitas Forum. 2017. Pareto-analyysi. [Viitattu 12.01.2017]. Saatavissa: <http://www.qualitas-forum.fi/Apualaatuunjainnovaatioon/Pareto-diagrammi.aspx>

Sondalini, M. 2016. Julkaisussa: Pumping Types Explained [verkkotietokanta]. [Viitattu 26.6.2002]. Pumppuohje. 21 s. Saatavissa: http://bin95.com/ebooks/pump_types_review.htm. Palvelu on maksullinen ja vaatii käyttäjälisenssin.

Sumio Water Systems. 2017. Metering Pumps The Basic You Must Know. [Viitattu 17.01.2017]. Saatavissa: <http://www.en.sumiowater.com/metering-pump/>

Suptek. 2016. [Suptek:n www-sivulla]. [Viitattu 05.12.2016]. Saatavissa: <http://www.suptek.fi/images/pumppuja/ruuvipumppu.png>

Syzrantseva, K. & Syzrantsev, V. 2016. Load on Multipair Contact Zones of Operating Parts of Screw Pumps and Motors: A Computer Analysis. Procedia Engineering, 120. S. 768–774.

Tinga, T. 2013. Principles of Loads and Failure Mechanisms: Applications in Maintenance, Reliability and Design. Dordrecht: Springer London. 302 s.

Wagner jr, J. R. Mount III, E. M. & Giles jr, H. F. 2014. [Luku 36] Gear Pumps. Teoksessa: Extrusion. 2. painos. USA: Elsevier. s. 417–424.

Moyno. 2000. Wide variety of stator materials offer flexibility. World Pumps, 2000:400. S. 7.