

Tuukka Sjöblom

DIESELVARMENTAMATTOMAN PAINEILMAJÄRJESTELMÄN
KOMPRESSORIEN TEKNISEN ELINIÄN JA MODERNISOINNIN
SELVITYS

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Energiatekniikan suuntautumisvaihtoehto

2012

DIESELVARMENTAMATTOMAN PAINELMAJÄRJESTELMÄN KOMPRESSORIEN TEKNISEN ELINIÄN JA MODERNISOINNIN SELVITYS

Sjöblom, Tuukka
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Joulukuu 2012
Ohjaaja: Nurmi, Lassi
Sivumäärä: 89
Liitteitä: 1

Asiasanat: kompressorit, kunnossapito, pneumatiikka, elinkaari

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Teollisuuden Voima Oyj:n Olkiluoto 1- ja Olkiluoto 2 -ydinvoimalaitoksien 753-järjestelmän eli dieselvarmentamattoman paineilmajärjestelmän kompressorisyksiköiden vika- ja huoltohistoriaa, ennakkohuolto-ohjelmaa, varaosatilannetta ja teknistä elinikää, sekä tarkastella laitteiston uusintaa. Selvitystyön tulosten perusteella laadittiin ehdotukset huoltokonseptin kehittämistä, sekä mahdollisesta uusimisajankohdasta. Työ aloitettiin syyskuussa 2012 ja saatiin päätökseen joulukuussa 2012.

Opinnäytetyön lähtökohtana voidaan pitää paineilmajärjestelmän kompressorisyksiköiden huomattavaa vikamäärien kasvua. Laitoksien pääasiallinen paineilmajärjestelmä on 753-järjestelmä, jonka kompressorien käyttövarmuus ei ole ollut toivotulla tasolla. Paineilman tuotantoon aiheutuneet katkokset ovat aiheuttaneet ongelmia etenkin laitosyksiköiden vuosihuoltojen aikana, jolloin paineilman tarve laiteella on suuri. Kompressorien uusimistarve on tiedostettu jo ennen tämän selvitystyön aloittamista, mutta asiasta ei ole tehty aikaisemmin selvityksiä, eikä sitä ole kirjattu tehtävien modernisointiprojektien listalle. Tämän opinnäytetyön tuloksien tarkoituksena on toimia pohjana 753-kompressorien toiminnan kehittämiseksi ja uusimiselle.

Selvitystyö aloitettiin perehtymällä kompressorisyksikköjen vikahistoriaan. Vikareportteja tarkasteltiin ja ne kategorisoitiin vioittumistavan perusteella. Kompressorisyksiköiden ennakkohuoltohistoria ja -ohjelma selvitettiin ja niitä verrattiin vikahistoriaan. Tulosten perusteella laadittiin ehdotukset huoltokonseptin kehittämiseksi kompressorisyksikön vikaantumisherkeimmille osajärjestelmille. Nykyisen laitteiston vikakorjaus- ja huoltokustannukset laskettiin, sekä selvitettiin TVO:n varastolla olevien 753-kompressorien varaosien arvo. Laitteiston elinkaarta ja teknistä elinikää arvioitiin. Elinkaaren selvityksen perusteella saatiin arvioitua ajankohta kompressorien uusimiselle. Uusimista varten valituilta kompressoritoimittajilta pyydettiin alustavat budjettitarjoukset uusista kompressorisyksiköistä. Nykyisen ja uuden laitteiston kustannusten perusteella laskettiin takaisinmaksuajat ja saavutettavat säästöt.

Selvityksen tuloksien perusteella voidaan edetä kahteen suuntaan: joko kehitetään nykyisen järjestelmän huoltokonseptia ja toimintavarmuutta esitettyjen ehdotusten mukaisesti tai uusitaan laitteisto esitetyllä aikataululla. Laitteisto on tulossa elinkaarensa loppuun, mutta sen käyttöä voidaan jatkaa esitettyjen kehitysehdotusten mukaisesti. Kompressorisyksiköt tulee uusida joka tapauksessa ydinvoimalaitoksen käyttöiän aikana, joten ne olisi järkevä uusida mahdollisimman pian, jotta ehdittäisiin saavuttamaan modernin laitteiston energiatehokkuuden tuomat säästöt.

ANALYSIS OF SERVICE LIFE AND MODERNIZATION OF COMPRESSORS OF NON-DIESEL-BACKED PRESSURIZED AIR SYSTEM

Sjöblom, Tuukka

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

December 2012

Supervisor: Nurmi, Lassi

Number of pages: 89

Appendices: 1

Keywords: compressors, maintenance, pneumatics, life cycle

The purpose of this thesis was to analyze the fault and maintenance history, preventive maintenance plan, spare parts situation and life cycle of 753-systems (non-diesel-backed pressurized air system) compressor units in Olkiluoto 1 and Olkiluoto 2 nuclear power plants owned by Teollisuuden Voima Oyj. In addition, the modernization possibilities were examined. The outcome of this analysis is suggestions for development of maintenance plan and a potential point of time for modernization. The thesis was assigned in September 2012 and it was completed in December 2012.

The reliability of compressor units of 753-system has not been at a sufficient level, due to an increase in fault rates. 753-system is a principal system for the production of pressurized air. Dropouts in production of pressurized air have caused problems especially during the annual overhauls when the need for pressurized air is increased. The need for the modernization has been acknowledged but no previous analyses have been made. The purpose of the outcome of this thesis is to act as guidelines for the development of current system and to assist in the modernization project.

The investigation assignment was started by analyzing the fault history of compressor units. Fault reports were investigated and categorized according to their failure mechanism. The maintenance history and preventive maintenance plan were investigated and then compared to fault history. Based on the results, suggestions for the development of maintenance concept of most fault sensitive subsystems were made. Expenses for fault repairs and maintenance were calculated. The value of spare parts at TVO warehouse was also calculated. The life cycle of equipment was evaluated by using results from the fault history analysis. Based on the life-cycle analysis, a potential point of time for modernization was presented. For the modernization phase, preliminary budget offers for new compressor units were requested from chosen compressor suppliers. Comparing current operating and maintenance costs to preliminary budget offers, repayment periods and achievable savings were calculated.

The results of this thesis present two possible ways to proceed: maintenance concept and reliability of current system is developed according to presented methods, or equipment is renewed completely. Compressor units are coming to the end of their life cycles and have to be eventually renewed during the life cycle of the nuclear power plant. To achieve savings brought by energy efficiency of modern compressor units, planning of modernization should be initiated as soon as possible.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	10
1.1	Kehityskohde.....	10
1.2	Teollisuuden Voima Oyj.....	11
1.2.1	Yritysesittely.....	11
1.2.2	Sähkön tuotanto.....	11
1.2.3	Omistus ja talous.....	12
2	PAINEILMA.....	13
2.1	Teoria.....	13
2.1.1	Termodynamiikka.....	13
2.1.2	Ilman kokoonpuristuminen.....	14
2.1.3	Ilman kosteus.....	14
2.2	Paineilman sovellukset.....	15
2.3	Paineilmajärjestelmän laitteisto.....	15
2.3.1	Kompressori.....	16
2.3.2	Paineilman käsittely.....	18
2.3.3	Säätölaitteisto.....	19
2.3.4	Paineilmaverkosto.....	20
3	KUNNOSSAPITO YDINVOIMALAITOKSELLA.....	21
3.1	Kunnossapidon osa-alueet.....	21
3.1.1	Ennakkohuolto.....	21
3.1.2	Korjaava kunnossapito.....	22
3.1.3	Parantava kunnossapito.....	23
3.2	Kunnossapitosuunnittelu.....	23
3.3	Määräaikaishuollot ja -tarkastukset.....	24
3.4	Kunnonvalvonta.....	24
3.5	Kunnossapitoluokitukset.....	25
3.6	Kunnossapidon tietojärjestelmät TVO:lla.....	25
3.6.1	KUPI.....	25
3.6.2	ENKKU.....	26
3.6.3	TTJ.....	26
3.6.4	ETSIN.....	26
3.6.5	KHJ.....	27
3.6.6	OlkiDoc.....	27
4	DIESELVARMENTAMATON PAINEILMAJÄRJESTELMÄ.....	28
4.1	Järjestelmän tehtävä.....	28
4.2	Kompressoriyksiköiden toiminta.....	28
4.2.1	Kompressoriyksikkö ja käyttörakenteet.....	29

4.2.2	Puristuselementit	29
4.2.3	Voitelujärjestelmä.....	30
4.2.4	Jäähdytysjärjestelmä	30
4.2.5	Kevennysjärjestelmä.....	31
4.2.6	Sähköjärjestelmä ja valvontalaitteet	34
4.3	Järjestelmän käyttö.....	35
4.4	Järjestelmän laitteiden tekniset tiedot	36
4.4.1	Kompressorit Q1 ja Q2	36
4.4.2	Jälkijäähdyttimet E1 ja E2	37
4.4.3	Kylmäkuivaimet E3 ja E4	37
4.4.4	Jälkijäähdyttimet E5 ja E6	38
4.4.5	Varastosäiliö T1.....	39
4.4.6	Siirrettävä kompressori	39
5	VIKAHISTORIASELVITYS	41
5.1	Vikaraportit.....	41
5.2	Laitevastuuraportit	41
5.3	Tietojen erittely ja tilastointi	41
5.4	Vikamäärien analysointi ja vertailu	42
5.5	Mekaaniset viat.....	46
5.5.1	Kevennysjärjestelmän viat	46
5.5.2	Lämmönvaihtimien viat	49
5.5.3	Puristuselementtien viat	50
5.5.4	Vuodot, tukokset, tiiviiden ja kiinnitysten viat	51
5.5.5	Muut komponenttiviaat.....	53
5.6	Sähkö- ja automaatioviat.....	54
5.7	Vikahistorian yhteenveto.....	55
6	ENNAKKOHUOLTO-OHJELMA	56
6.1	Valmistajan huolto-ohjelma	56
6.1.1	Päivittäinen ennakko huolto	56
6.1.2	Kuuden kuukauden tai 4000 käyttötunnin huolto	56
6.1.3	Vuosittainen tai 8000 käyttötunnin huolto	57
6.1.4	Huolto neljän vuoden välein	58
6.2	TVO:n huolto-ohjelma	58
6.2.1	Kompressoriyksiköiden vuosihuollot	59
6.2.2	Mittaava kunnonvalvonta.....	60
6.2.3	Muu kunnonvalvonta	61
6.2.4	Huolto-ohje	61
6.2.5	Kunnossapitoanalyysi	62

6.3	Ennakkohuoltohistoria	62
6.4	Ennakkohuolto-ohjelman arviointi sekä vertailu vikahistoriaan	63
6.4.1	Kevennysjärjestelmä	63
6.4.2	Puristuselementit	64
6.4.3	Lämmönvaihtimet	66
6.4.4	Vuodot, tukokset, kiinnitys- ja tiivisteviat	67
6.4.5	Voitelujärjestelmä	68
6.5	Yhteenveto ennakkohuolto-ohjelman kehittämisestä	69
7	VARAOSASELVITYS	70
7.1	Varastotilanne ja varaston arvo	70
7.2	Varaosien saatavuus	71
8	JÄRJESTELMÄN TEKNINEN ELINIKÄ	72
8.1	Vikaantumisen ja aika	72
8.2	Kompressorien elinkaari	75
8.3	Jäljellä oleva käyttöikä	76
8.3.1	Olkiluoto 1 (1.753)	76
8.3.2	Olkiluoto 2 (2.753)	77
8.3.3	Molempien järjestelmien tiedot yhdistettynä	77
8.4	Kompressorien nykykunto	78
9	LAITTEISTON UUSIMINEN	79
9.1	Uusimisen ajankohta	79
9.2	Kustannukset ja saavutettavat säästöt	79
9.2.1	Nykyisen laitteiston kustannukset	79
9.2.2	Uuden laitteiston kustannukset	79
9.3	Tekniset vaihtoehdot	80
9.4	Suunnittelu	81
9.5	Huomioitavat yksityiskohdat	81
10	YHTEENVETO	82
10.1	Vikakategoriat, ennakkohuolto ja kehitysehdotukset	82
10.1.1	Kevennysjärjestelmä	82
10.1.2	Jäähdytysjärjestelmä	83
10.1.3	Puristuselementit	83
10.1.4	Tiiviys	83
10.1.5	Voitelujärjestelmä	84
10.1.6	Sähkö- ja automaatiojärjestelmät	84
10.1.7	Huolto-ohje	84
10.2	Varaosaselvitys	85
10.3	Tekninen elinikä	85

10.4 Laitteiston uusiminen.....	86
10.5 Kustannukset	86
10.6 Lopuksi.....	87
LÄHTEET	88
LIITTEET	

TERMI- JA JÄRJESTELMÄLUETTELO

ASME	Ydinenergian tuotannon laadunvarmistusstandardi
FSAR	Final safety analysis report, lopullinen turvallisuusseloste
TTKE	Turvallisuustekninen käyttöehto
Vuosihuolto	Laitosyksikön seisokki, jonka aikana suoritetaan polttoaineenvaihto ja huoltotöitä
Polttoaineenvaihtoseisokki	Laitosyksikön seisokki, jonka aikana suoritetaan pääasiassa vain polttoaineenvaihto ja pieniä huoltotöitä
Tehoajo	Ydinvoimalaitosta ajetaan 100 % teholla
324	Polttoaine- ja reaktorialtaiden jäähdytys- ja puhdistusjärjestelmä
332	Lauhteen puhdistusjärjestelmä
342	Nestemäisten jätteiden puhdistusjärjestelmä
631	Generaattorikiskot
632	Generaattorikatkaisija

751	Dieselvarmennettu paineilmajärjestelmä, 753-järjestelmän varajärjestelmä. Sähkön saanti varmistettu dieselgeneraattorein.
753	Dieselvarmentamaton paineilmajärjestelmä. Paineilman tuotanto katkeaa, mikäli sähkösaanti menetetään.
1.753	Olkiluoto 1 -laitoksen dieselvarmentamaton paineilmajärjestelmä
2.753	Olkiluoto 2 -laitoksen dieselvarmentamaton paineilmajärjestelmä
Q [numero]	TVO:n laitepaikkapositiontia, kompressori
E [numero]	TVO:n laitepaikkapositiontia, lämmönvaihdin
T [numero]	TVO:n laitepaikkapositiontia, säiliö

1 JOHDANTO

1.1 Kehityskohde

Tämä insinöörityö käsittelee Teollisuuden Voima Oyj:n Olkiluoto 1- ja Olkiluoto 2 -ydinvoimalaitosten dieselvarmentamattoman paineilmajärjestelmän, eli 753-järjestelmän, paineilmakompressorien teknisen eliniän kartoitusta ja modernisointia.

Dieselvarmentamattoman paineilmajärjestelmän kompressorien ja niiden apulaitteiden käyttövarmuus ei ole ollut toivotulla tasolla. Tämä on ilmennyt mm. tukkeumina, vuotoina ja jälkijäähdyttimien ja kevennysventtiilien vikoina. Nämä ovat aiheuttaneet häiriöitä paineilman tuotantoon. Käyvien laitosten pääasiallinen paineilmajärjestelmä on 753-järjestelmä, jonka tuottamaa paineilmaa käytetään mm. työkaluilmana, sekoitusilmana ja turbiiniprosessin tiettyjen venttiilien ohjauksessa. Molemmilla käyvillä laitoksilla on oma paineilmajärjestelmänsä, jossa paineilman tuottavat kaksi Atlas Copco ZR 4 A Pack -merkkistä ruuvikompressoria. Tarvittaessa paineilmaverkot voidaan myös yhdistää. Kompressorit ovat alkuperäiset, yli 30 vuotta vanhat, joten niiden teknisen eliniän ja modernisoinnin selvitys on nähty ajankohtaiseksi. Vuosihuoltojen aikana kohonnutta paineilman tarvetta paikkaa laitosalueelle tuotava siirreltävä Atlas Copco XAMS 286 Md vaunukompressori.

Tämän insinöörityön tarkoituksena on selvittää 753-kompressorien ja niiden apulaitteiden vika- ja huoltohistoriaa, vikojen perussyitä, ennakkohuolto-ohjelmaa, varaosien saatavuus, arvo ja varmuusvarastomäärät, sekä tarkastella järjestelmän teknistä elinikää ja nykykuntoa. Työ keskittyy mekaanisiin vikoihin, eikä analysoi sähkö- ja automaatiovikoja tarkemmin. Tämän perusteella esitetään muutosehdotukset nykyiseen kunnossapitokonseptiin, määritellään nykyisen laitteiston jäljellä oleva tekninen elinikä ja laaditaan ehdotus laitteiston uusimiseksi.

1.2 Teollisuuden Voima Oyj

1.2.1 Yritysesittely

Teollisuuden Voima Oyj on vuonna 1969 perustettu ydinvoimayhtiö, joka tuottaa sähköä omistajilleen omakustannushintaan, ns. mankala-periaatteella. Perustajina oli 16 suomalaista teollisuus- ja voimayhtiötä. Vuonna 1970 yhtiön hallitus teki päätöksen sähköteholtaan noin 600 MW:n ydinvoimalaitosyksikön rakentamisesta. Toimittajaksi valittiin vuonna 1972 ruotsalainen Asea-Atom (nykyinen Westinghouse Electric Sweden AB). Olkiluoto 1 -laitosyksikön rakennustyöt alkoivat 1974 ja se valmistui sähkötuotantoon 1978. Olkiluoto 2:n rakennustyöt alkoivat 1975 ja se kytkettiin valtakunnanverkkoon 1980. Teollisuuden Voima rekisteröitiin julkiseksi osakeyhtiöksi 31.12.2007, jonka jälkeen yhtiön viralliseksi nimeksi tuli Teollisuuden Voima Oyj. (Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut 2012)

1.2.2 Sähkön tuotanto

Teollisuuden Voima Oyj:n toiminta-ajatuksena on *"Sähkön tuottaminen omistajille turvallisesti, taloudellisesti ja ympäristöystävällisesti"*. TVO:lla on kaksi kiehutusvesireaktorityyppistä ydinvoimalaitosyksikköä Eurajoen Olkiluodossa, Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2. Sekä OL1:n että OL2:n nettotuotantoteho on noin 880 MW ja ne tuottavat noin 16 % Suomessa käytetystä sähköstä. Rakenteilla on kolmas ydinvoimalaitosyksikkö OL3, jonka nettosähköteho tulee olemaan noin 1600 MW. Suunnitteilla on myös neljäs yksikkö, OL4, joka on tällä hetkellä tarjouskilpailuvaiheessa. Olkiluodossa sijaitsee myös WinWindin rakentama 2 MW:n tuulivoimalaitos, joka on ollut kaupallisessa käytössä vuodesta 2005 asti, sekä 50 MW:n MAN turbo AG:n kaasuturbiinilaitos (TVO:lla 50 %:n osuus), joka toimii Suomen sähköverkon häiriöreservinä. Lisäksi TVO:lla on 45 %:n osuus Meri-Porissa toimivasta 565 MW:n tehoisesta hiilivoimalaitoksesta. (Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut 2012)

1.2.3 Omistus ja talous

Yhtiön omistus jaetaan kolmeen osakesarjaan. A-sarja oikeuttaa Olkiluoto 1- ja Olkiluoto 2 -laitosten tuottamaan, B-sarja rakenteilla olevaan OL3-laitoksen tuottamaan ja C-sarja Meri-Porin hiilivoimalaitoksen TVO:n osuuden tuottamaan sähköön. Omistussuhteet on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 1. Teollisuuden Voima Oyj:n omistussuhteet

	A-sarja (OL1+OL2)	B-sarja (OL3)	C-sarja (Meri-Pori)	Yhteensä
EPV Energia Oy	6,5	6,6	6,5	6,5
Fortum Power and Heat Oy	26,6	25,0	26,6	25,8
Karhu Voima Oy	0,1	0,1	0,1	0,1
Kemira Oyj	1,9		1,9	1,0
Oy Mankala Ab	8,1	8,1	8,1	8,1
Pohjolan Voima Oy	56,8	60,2	56,8	58,5

Teollisuuden Voima kuuluu Pohjolan Voima -konserniin, jonka emoyhtiö on Pohjolan Voima Oyj. Teollisuuden Voima Oyj ja käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusyhtiö Posiva Oy kuuluvat Teollisuuden Voima Oyj -al konserniin. TVO:n omistusosuus Posiva Oy:stä on 60 %. TVO omistaa tytäryhtiöt TVO Nuclear Services Oy sekä Olkiluodon Vesi ja Perusvoima Oy:n. (Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut 2012)

2 PAINEILMA

Pneumatiikka tarkoittaa paineilman käyttöön perustuvaa tekniikkaa. Paineilmaa käytetään esimerkiksi aineiden siirtämiseen ja sekoittamiseen, puhdistukseen, maalaamiseen, työilmana ja käyttövoimana erilaisille laitteille. Paineilman käyttö on hyvin laajaa. Erään arvion mukaan paineilman tuottamiseen kuluu jopa 5 % teollisuusmaiden käyttämästä sähköstä. (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 7)

2.1 Teoria

2.1.1 Termodynamiikka

Termodynamiikan tärkein käsite on systeemi. Systeemi on määrätyn rajapinnan sisältämä tarkasteltava alue. Systeemin reunana on kontrollipinta, jonka läpi voi siirtyä energiaa. Tarkasteltava systeemi voi olla määrätty määrä ainetta tai määrätty tilavuus. Systeemi voi olla joko avoin tai suljettu. Termodynamiikassa tarkastellaan tämän systeemin sisäisiä tapahtumia ja sen vuorovaikutusta ympäristön kanssa. Tarkasteltavia suureita ovat mm. paine p [N/m²], tiheys ρ [kg/m³], lämpötila T [K], massa m [kg], tilavuus V [m³], energia U [J] ja entalpia H [J]. (Ellman ym. 2002, 11)

Edellä mainittuja muuttujia sitoo toisiinsa ideaalikaasun tilanyhtälö:

$$pV = mRT$$

Missä p = absoluuttinen paine, V = tilavuus, m = kaasun massa, R = ilman ominaiskaasuvakio ja T = absoluuttinen lämpötila.

Kun yhtälön kaikkien muuttujien arvo on vakio, eikä ainetta tai energiaa siirry ympäristöön, on järjestelmä termodynaamisessa tasapainotilassa. Ideaalikaasun tilanyhtälö pätee melko tarkasti ilmalle 20 - 30 barin paineeseen saakka. (Ellman ym. 2002, 11–12)

Tilanyhtälö voidaan kirjoittaa muodossa:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Missä 1 on systeemin alkutila ja 2 systeemin lopputila.

Tilanyhtälöstä voidaan johtaa eri erilaisia muutosprosesseja. Näitä ovat isoterminen (lämpötila on vakio), isobaarinen (paine on vakio), isokoorinen (tilavuus on vakio) ja adiabaattinen (systeemistä ei poistu eikä siihen tuoda lämpöä) prosessi. Sellaista tilanmuutosta, missä systeemin rajapinnan läpi siirtyy lämpöä, kutsutaan polytrooppiseksi muutokseksi. (Ellman ym. 2002, 12–13)

2.1.2 Ilman kokoonpuristuminen

Kun paineilmaa puristetaan, tehdään työtä. Kun puristus on polytrooppista, osa puristustyöstä poistuu ympäristöön lämpönä ja loppuosa jää lisäämään paineilman sisäistä energiaa. Ilman lämpeneminen puristuksessa aiheuttaa paljon lämpöhäviöitä. Lämmön nousu riippuu imu- ja painepuolen suhteesta. Siksi kompressorin suunnittelussa on usein mielekkäämpää tuottaa paineilmaa useassa puristusvaiheessa ja jäähdyttää ilma niiden välillä. (Ellman ym. 2002, 25–26)

Pelkkää työn tekemistä ajatellen paineilma ei ole ideaalinen käyttövoima, sen todellisen hyötysuhteen jäädessä jopa alle 5 %:n. Häviöitä paineilman energiaan aiheuttavat mm. kitka-, vuoto- ja paisuntahäviöt. Paineilmaa ei ole järkevä käyttää tästä johtuen suurien tehojen siirtoon. (Ellman ym. 2002, 29)

Paineilman avulla tehtävää työtä voidaan tarkastella yhtälöllä $H = U + pV$, missä H = järjestelmän entalpia, U = järjestelmän sisäenergia ja pV = paineen ja tilavuuden tulo. Levossa olevan kaasun sisäenergia ei riipu paineesta. Kun ilmaa puristetaan kokoon, syntyy lämpöä, ja kun paineilma purkautuu, sen lämpötila laskee. (Ellman ym. 2002, 21–22)

2.1.3 Ilman kosteus

Ulkoilmassa on aina kosteutta. Kun paine lisääntyy, kastepiste nousee, ja osa ilmassa olevasta vesihöyrystä tiivistyy vedeksi, kertyen paineilmaverkkoon. Tämä aiheuttaa vaatimuksia paineilman jälkikäsittelylle, sekä paineilmaverkon suunnittelulle. (Ellman ym. 2002, 39–40)

2.2 Paineilman sovellukset

Paineilmaa käytetään usein sovelluksissa, jossa käsitellään keveitä kappaleita, vaaditaan pehmeitä, mutta nopeita liikkeitä rajalta rajalle mahdollisessa palo- tai räjähdysalttiissa ympäristössä, tai järjestelmältä vaaditaan erityistä hygieniaa. (Ellman ym. 2002, 8)

Sähkö- ja hydraulikäyttöön verrattuna pneumatiikka on edullinen ja turvallinen käyttövoima. Paineilmalaitteen ylikuormittuminen ei yleensä aiheuta vaurioita. Paineilmalaitteet ovat edullisia ja yksinkertaisia huoltaa ja ylläpitää. Paineilmalaitteet eivät kuitenkaan sovellu kohteisiin, jossa tulee käsitellä hyvin raskaita kuormia. (Ellman ym. 2002, 9)

2.3 Paineilmajärjestelmän laitteisto

Paineilmajärjestelmän rakenne voidaan kuvata kuudessa vaiheessa (Ellman ym. 2002, 10):

1. Paineilman tuottaminen (Kompressori)
2. Ilman varastointi (Säiliö)
3. Ilman puhdistus (Suodatus, kuivaus, vedenerotus)
4. Ilman käsittely (Suodatus, paineensäädin, voitelu)
5. Ohjaus (Suuntaventtiili, nopeudensäätö)
6. Toiminta (Toimilaite)

Paineilman tuottoon isoissa teollisuuslaitoksissa käytetään yleensä kahta tai useampaa kompressoria. Sähköinen ohjausjärjestelmä pyrkii kuormittamaan kompressoreita tasaisesti sekä minimoimaan paineen vaihtelut ja painehäviöt. Paineilma varastoidaan usein säiliöön, joka toimii puskurivarastona paineilman kulutukselle. Paineilman käyttötarkoituksesta riippuen paineilma myös kuivataan ja puhdistetaan liiasta öljystä sekä likapartikkeleista. Käsitelty paineilma johdetaan paineilmaverkkoon, ja sieltä käyttökohteelle. Teollisuuskäytössä paineilmaverkon käyttöpaine on yleensä 6–8 bar. Paineenalennusventtiilit tasaavat verkkopaineen vaihteluita ja paine käyttökohteessa on yleensä noin 5 bar. (Ellman ym. 2002, 9)

Paineilmakeskuksen laitteiden valinnan perustana ovat käyttökohteen asettamat vaatimukset. Tärkeimmät arvot oikeiden laitteiden valintaan ovat (Ellman ym. 2002, 41):

- Paineilman tuotto
- Paineilman kulutus
- Käytettävä työpaine
- Paineilman laatu (puhtausluokka, öljypitoisuus, kosteus)
- Järjestelmän laajennettavuus
- Käyttövarmuus

Paineilmajärjestelmän vaatimusten määrittelyn jälkeen voidaan alkaa selvittää, millaisilla laitteilla tulokseen päästään, ja mitkä muut asiat vaikuttavat siihen. Kompessorit, jälkikäsitelylaitteet ja käyttöautomaatiikan sisältävät valmiit kompressoriryhmittäiset ovat yleisesti käytössä. (Ellman ym. 2002, 41)

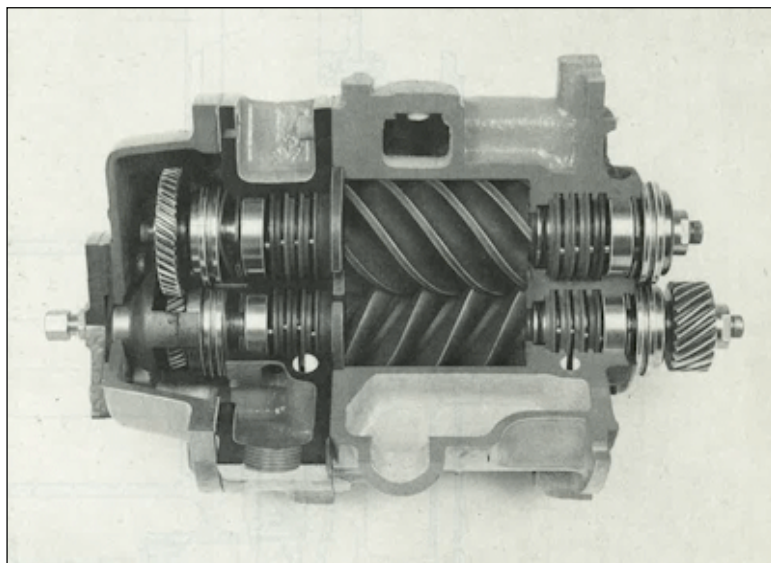
2.3.1 Kompessorit

Paineilmajärjestelmän merkittävin yksittäinen osa on kompressorit. Kompessorit on laite, joka nostaa kaasun paineen vähintään kaksinkertaiseksi imupaineeseen verrattuna. Kompessorit voidaan jaotella sen perusteella, onko niissä tapahtuva puristus staattista (*displacement*) vai kineettistä (*dynamic*). (Ellman ym. 2002, 43)

Kineettisessä puristuksessa nopeasti pyörivä juoksupyörä kiihdyttää kaasun suureen nopeuteen, josta se ohjataan johtolaitteeseen. Kun virtausta vastustetaan painetilassa, kaasun kineettinen energia muuttuu potentiaalienergiaksi, eli staattiseksi paineeksi. Kineettisesti puristavia kompressoreita käytetään, kun tarvitaan suuria tilavuusvirtoja. Kineettisiä kompressoreita ovat radiaali- ja aksiaalikompressorit. (Ellman ym. 2002, 43)

Ruuvi- ja mäntäkompressorit ovat yleisimpiä staattisesti puristavia kompressoreita. Staattisessa puristuksessa kaasun staattista painetta kasvatetaan pienentämällä tilavuutta kompressorin kammiossa. Puristettu kaasu johdetaan paineliitännään. (Ellman ym. 2002, 43)

2.3.1.1 Ruuvikompressorit



Kuva 1. Ruuvikompressorin luisti- ja ruuvirootorillinen matalapaine-elementti, Atlas Copco ZR4 (Stationary Screw Compressors ZR, ZA, Sectional Drawing 1973)

Ruuvikompressorit on kehitetty olosuhteisiin, joissa vaaditaan suuria tilavuusvirtoja ja vakaata tuottoa muuttuvissa kuormitusolosuhteissa. Ruuvikompressorin pääosat, ruuvielementit, ovat ruuvi- ja luistirootori, jotka pyörivät toisiinsa nähden vastakkaisiin suuntiin. Ruuviyksikössä ei yleensä ole venttiileitä, joten mekaaniset voimat eivät aiheuta siihen epätasapainoa. Tällä saavutetaan suuri pyörimisnopeus ja suuri paineilman tuotto, ulkomittojen pysyessä pieninä. Paine-ero paineliitäntöjen välillä kompensoidaan oikeilla laakerivalinnoilla. (Compressed Air Manual 2010, 34)

Ilma imetään roottorien välissä olevaan tilaan, josta se roottorien pyöriessä puristuu jatkuvasti pienempään tilaan ilman paineen kasvaessa. Jokaisella elementillä on sille ominainen painesuhde, joka riippuu ruuvien pituudesta ja noususta sekä paineliitäntän muodosta. (Ellman ym. 2002, 45)

Ruuvikompressoreiden kaksi päätyyppiä ovat öljyttömät ruuvikompressorit ja nestevoidellut ruuvikompressorit. Prosessin kannalta joskus saattaa olla tarpeen saada täysin öljytöntä paineilmaa. Öljyttömissä ruuvikompressoreissa roottorien voitelun tarve on eliminoitu jättämällä roottorien väliin vain muutaman sadasosamillimetrin välys ja synkronoimalla roottorit hammaspyörävaihteistoon, sekä valmistamalla osat tarkkoihin mittoihin painehäviöiden minimoimiseksi. Ensimmäisten 1930-luvulla kehi-

tettyjen ruuvikompressorien roottorit olivat symmetrisiä, mutta modernien öljyttömien ruuvikompressorien ruuvi Profiilit ovat useimmiten asymmetrisiä. Voitelun puuttuminen vähentää kompressorin sisäistä jäähdytystä, ja lämpötilan nousu puristuksessa rajoittaa yhden ruuviyksikön painesuhdetta. Tästä johtuen kompressorisyksiköissä käytetään korkeampien paineiden saavuttamiseksi useaa puristusvaihetta ja niiden välillä paineilman välijäähdytystä. Lisäksi puristuselementtien runkoa joudutaan jäähdyttämään. Tyypillisessä öljyttömässä ruuvikompressorissa ilma kulkee matalapainepuristusvaiheesta välijäähdytyksen ja kuivauksen kautta korkeapainepuristusvaiheeseen, sieltä jälkijäähdyttimeen sekä veden erottimeen, josta se johdetaan varastosäiliöön. (Compressed Air Manual 2010, 34–37)

Voidelluissa ruuvikompressoreissa voidaan käyttää korkeiden paineiden saavuttamiseksi vain yhtä puristusvaihetta. Yhdellä puristusvaiheella saavutetaan korkeat painesuhteet, käyttöpaineen ollessa jopa 14–17 bar, vaikkakin energiatehokkuuden kustannuksella. Puristuskammioon ja laakereihin suihkutettu voiteluaine jäähdyttää ja voitelee kompressorin liikkuvia osia, jäähdyttää paineilmaa puristusvaiheessa, sekä vähentää vuotoja. Voiteluaineena toimii useimmiten öljy, mutta myös vettä ja polymeeriseoksia käytetään. Puristusvaiheen jälkeen paineilma erotetaan öljy erillisellä öljynerottimella, sekä paineilma jäähdytetään ja kuivataan. (Compressed Air Manual 2010, 37)

2.3.2 Paineilman käsittely

Ulkoilma sisältää aina kosteutta. Kun ilmaa puristetaan kokoon, suhteellinen kosteus kasvaa. Siksi paineilmaa pitää kuivata, joko jäähdyttimillä tai kuivauslaitteistolla. Jäähdyttimien ja kuivainten mitoituksessa tärkein suure on paineenalainen kastepiste, joka tarkoittaa lämpötilaa määrättyssä paineessa, jossa paineilman vesihöyry alkaa kondensoitua vedeksi. (Ellman ym. 2002, 52)

Normaalisti teollisuuskompressoreihin kuuluu ainakin yksi jälkijäähdytin. Se sijaitsee välittömästi viimeisen puristusvaiheen jälkeen. Jälkijäähdytin poistaa noin 80–90 % tulevan ilman absoluuttisesta kosteudesta. Jälkijäähdytin mitoitetaan yleensä niin, että paineilman lämpötila jäähdytyksen jälkeen on noin 10 °C jäähdyttävän väliai-

neen lämpötilaa korkeampi. Jos kompressorisyksikössä on useampia puristusvaiheita, niiden välissä käytetään tavallisesti välijäähdytintä. (Ellman ym. 2002, 53)

Öljyvoidelluista kompressoreista siirtyy aina öljyä paineilmaan. Määrät ovat pieniä, eivätkä ne yleensä vaikuta muun järjestelmän toimintaan. Moderneissa järjestelmissä suodattimilla päästään 0,01–5 mg/m³ öljypitoisuuksiin (ISO 8573-1). Paineilman käyttökohteen vaatimuksista riippuen, joskus saattaa kuitenkin olla tarpeen saada täysin öljytöntä paineilmaa, jonka tuottamiseen käytetään öljyttömiä kompressoreita. Toisena ääripäänä paineilmassa olevaa öljyä voidaan käyttää verkoston toimilaitteiden voiteluun. (Ellman ym. 2002, 53)

Paineilma voidaan kuivata jälkikäteen mm. jäähdytys- eli kylmäkuivaimella. Kylmäkuivaimessa paineilma jäähdytetään, ja siitä saadaan poistettua suuri osa kosteudesta. (Ellman ym. 2002, 53–54)

Öljyn suodatuksen lisäksi paineilma on käyttökohteen mukaan tarkoituksenmukaista suodattaa partikkeleita tiettyyn hiukkaskokoon asti. Erilaisia suodattimia ovat mm. esisuodatin, hienosuodatin, mikrosuodatin, steriilisuodatin ja pölysuodatin. (Ellman ym. 2002, 57)

2.3.3 Säätolaitteisto

Toimilaitteet paineilma-verkossa vaativat usein tasaisen paineen toimiakseen oikein. Tämä aiheuttaa paineilman tuotolle vaatimuksia. Kompressorin eliniän kannalta ei ole kannattavaa käynnistää kompressoria tarpeettoman usein. Säätolaitteiston tehtävänä on optimoida kompressorin energiankulutus ja valvoa paineilman tuottoa. Säätolaitteisto kuuluu kompressorisyksikköön. (Compressed Air Manual 2010, 52–53)

Käytettävän säättömenetelmän valinta riippuu kompressorin tyypistä, sallitusta paineen ja ilman kulutuksen vaihtelusta, sekä energiatehokkuuden vaatimuksista. Energian kulutus on noin 80 % koko kompressorisyksikön elinkaaren kustannuksista, joten säättömenetelmän valinta on tehtävä tarkkaan. (Compressed Air Manual 2010, 52)

Säätömenetelmiä ovat mm. kuormituksen poisto tai kevennys, sekä pyörintänopeuden säätö. Kuormituksen poistossa ohjataan joko imu- tai poistovirtausta. Kevennysmenetelmässä käytetään erillistä kevennysventtiiliä, jonka kautta ylimääräinen ilma vapautetaan ympäristöön. (Ellman ym. 2002, 48–49)

Uusin ja energiatehokkain menetelmä on taajuusmuuttajaohjattu, tai muuten elektronisesti ohjattu pyörintänopeuden säätö. Kompressorin tuotto voidaan säätää muuttuvaan paineilman tarpeeseen tarkasti ja nopeasti. Verkoston paine voidaan pitää hyvin vakaana ($\pm 0,1$ bar). (Compressed Air Manual 2010, 58)

Myös paineilman varastosäiliöiden tehtävänä on toimia paineilman kulutuksen tasajana.

2.3.4 Paineilmaverkosto

Paineilmaverkoston tehtävänä on paineilman jakelu käyttökohteille. Verkosto koostuu mm. paineilmasäiliöstä, putkistoista ja liitännöistä. Paineilmaverkoston suunnittelun lähtökohtana on ympäristötekijöiden huomioon ottaminen. Jokainen paineilmaverkko suunnitellaan käyttökohteeseen yksilöllisesti. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon mm. siirtoetäisyydet, kulutuskohteiden sijainti ja jakautuminen, sekä ilmämäärän jakaantuminen verkoston eri osiin. (Ellman ym. 2002, 59)

3 KUNNOSSAPITO YDINVOIMALAITOKSELLE

3.1 Kunnossapidon osa-alueet

Kunnossapito voidaan eri lähteiden mukaan jakaa useampaan, tarkempaan osa-alueeseen, mutta karkeasti jako voidaan tehdä kolmeen osa-alueeseen: ennakoiva, korjaava ja parantava kunnossapito.

3.1.1 Ennakkohuolto

Sellaiset tarkastukset, testaukset ja huoltotoimet, jotka tehdään ennen laitteen vikaantumista, kuuluvat ennakoivaan kunnossapitoon. Ennakoiva kunnossapito voi olla etukäteen suunniteltua tai tarvittaessa toteutettavaa. Jokaiselle laitteelle tulisi laatia käyttökokemusten ja muun saatavilla olevan tiedon perusteella jaksotettu huolto-ohjelma. (Ansaharju 2009, 307)

Koneen suorituskykyä tai toiminta-arvoja seurataan ehkäisevän kunnossapidon keinoin. Tarkoituksena on parantaa koneen tai sen osan toimintavarmuutta. Saatujen käyttö- ja huoltokokemusten perusteella voidaan suunnitella, kehittää ja aikatauluttaa kunnossapidon tehtäviä. Ehkäisevään kunnossapitoon kuuluvat: tarkastukset, kunnonvalvonta, määräystenmukaisuuden toteaminen, testaaminen, käynninvalvonta ja vikatilastojen analysointi. (Järviö, Piispa, Parantainen & Åström 2007, 50)

Ennakoivaan kunnossapitoon kuuluu ehkäisevänä toimenpiteenä määräaikaishuolto. Määräaikaishuollossa kohteen toimintakyky palautetaan säännöllisin, ennalta määritellyin väliajoin. Määräaikaishuolto suoritetaan riippumatta laitteen senhetkisestä kunnosta. Määräaikaishuolto voidaan toteuttaa joko määräaikaisena korjauksena, jolloin toimintakyky palautetaan korjaustoimenpiteillä, tai määräaikaisena osien vaihtona, jolloin toimintakyky palautetaan vaihtamalla vanhojen, kulumiselle alttiiden osien tilalle uudet, vastaavanlaiset osat. (Järviö 2000, 57)

Ennakkohuolto voi perustua laitteen kuntoon, tai se voi olla jaksotettua. Kuntoon perustuvassa ennakkohuollossa laitteen kuntoa, suorituskykyä ja suorituskyvyn arvoja

seurataan. Laitteen toimintaa seurataan, ja toimitaan havaintojen mukaisesti. Seuranta voi olla jaksotettua, jatkuvaa tai tarvittaessa tehtävää. Ennakkohuolto voi olla myös jaksotettua, jolloin se suoritetaan riippumatta laitteen kunnosta. Jaksot voivat perustua käytön määrään tai kalenteriaikaan. (Ansaharju 2009, 300)

Ennakkohuolto jaetaan TVO:lla määräaikaishuoltoihin, kunnonvalvontaan, TTKE:ssä määriteltyihin töihin ja määräaikaistarkastuksiin. (Puisto 2008, 4)

Kunnonvalvonta sisältää mm. pyörivien laitteiden määräaikaiset värähtelymittaukset, toiminta-arvojen jatkuvan tai määräaikaisen seurannan, sekä silmämääräisen kunnonvalvonnan.

3.1.2 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito tarkoittaa jo vioittuneelle koneelle tai laitteelle tehtäviä korjaustoimenpiteitä. Vikaantuminen voi vaikuttaa koko laitteen tai vain osaan sen toiminnasta. Vikaantumista pyritään vähentämään suorittamalla asianmukaista ennakkohuoltoa, mutta aina se ei ole mahdollista. Korjaavaan kunnossapitotoimintaan kuuluu vian havaitseminen, korjaaminen ja lopuksi analysointi sekä raportointi. Saatujen kokemusten perusteella kunnossapitotoimintaa voidaan kehittää edelleen. (Ansaharju 2009, 307–308)

Jos kustannustehokasta ennakoivaa ja ehkäisevää huoltoa ei voida saavuttaa, laitteen vikaannuttua on tehtävä korjaavaa kunnossapittoa. Tämän edellytyksenä on, että tunnetaan laitteeseen liittyvät turvallisuus- ja ympäristöriskit, ja huolto-ohjelma voidaan suunnitella niin, ettei laitteen vikaantuminen aiheuta tarpeetonta vaaraa. (Järviö 2000, 96)

Korjaavan kunnossapidon vaiheiden suoritusajankohden perusteella voidaan arvioida laitteen tai sen osan teknistä elinikää. Korjaavaan kunnossapitotoimintaan sisältyy: vian määrittäminen, tunnistaminen ja paikallistaminen, korjaus tai väliaikainen korjaus sekä toimintakunnon palauttaminen. (Järviö ym. 2007, 49)

3.1.3 Parantava kunnossapito

Parantavasta kunnossapidosta voidaan puhua silloin, kun on tarkoituksena parantaa koneiden luotettavuutta, käyttövarmuutta ja kunnossapidettävyyttä. Parantava kunnossapito on suunnitelmallista toimintaa, jonka lähtökohtana voi olla tarve tehostaa, muuttaa tai uudistaa jo olemassa olevia tuotantoprosesseja. Tarve tähän voi tulla kustannuspaineista, tekniikan kehittymisestä tai asiakkaiden tarpeiden muuttumisesta. (Ansaharju 2009, 308–309)

Parantavaan kunnossapitoon kuuluvat kohteen luotettavuuden ja suorituskyvyn parantamiseen liittyvät toimet. Modernisaation tarkoituksena on muuttaa kohteen suorituskykyä, kun vanhalla koneella on kuitenkin vielä elinikää jäljellä, muttei riittävän kilpailukykyisesti tai luotettavasti. (Järviö ym. 2007, 51)

Parantavaa kunnossapitoa ovat myös peruskorjaukset, jossa laite puretaan komponenttitasolle, ja osat tarkastetaan sekä tarvittaessa uusitaan. Modernisoinnit ja peruskorjaukset ovat aina selkeä investointipäätös. Ne toteutetaankin usein projektiluontoisina ja hyvin suunniteltuina. Modernisoinnit ja peruskorjaukset voivat edellyttää prosessin alasajoa. Projektien toteuttamisvastuu voi olla joko omalla kunnossapitoorganisaatiolla tai ulkopuolisella yrityksellä, jolta työ ostetaan. (Opetushallitus 2010)

3.2 Kunnossapitosuunnittelu

TVO:n kunnossapitotoiminnan tehtävänä on osaltaan taata laitoksen turvallinen ja häiriötön käyttö sekä varma sähköntuotanto. Kunnossapitosuunnittelu käsittää mm. laitteiden ennakkohuolto- ja kunnonvalvontaohjelmien suunnittelun, varaosasuunnittelun, laitteiden muutos- ja parannustarpeiden esittämisen sekä vikakorjausvalmiuksien ylläpidon ja kehittämisen. (OlkiNet)

Kunnossapitosuunnittelu sisältää laitepaikkojen kunnossapitoluokitusten ja kunnossapitoanalyysien laadintaa ja päivitystä, sekä kunnonvalvonnan, määräaikaisten, tarkastus- ja ennakkohuoltotoimenpiteiden määrittämistä. (Kaukonen 2006, 1)

Suunnitteluvaiheessa tulee olla käytettävissä mahdollisimman paljon perustietoa laitteen toiminnasta. Tällaista ovat esim. valmistajan suositukset ja kunnossapitoanalyysit. (Puisto 2008, 5)

3.3 Määräaikaishuollot ja -tarkastukset

Määräaikaishuollot käsittävät laitteille tehdyt toimenpiteet, joiden takia laite joudutaan pysäyttämään ja erottamaan.

Määräaikaistarkastukset ovat pääasiassa viranomaistarkastuksia tai määräyksistä johtuvia määräajoin tehtäviä kokeita ja tarkastuksia, kuten ASME:n määrittelemiä tarkastuksia, painelaitetarkastuksia ja varoventtiilien koestuksia. (Puisto 2008, 8)

3.4 Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonta jaetaan laitteen käytön aikaiseen ja seisokissa tapahtuvaan. Hyvä kunnonvalvonta auttaa laitteen kunnon määrittämisessä. Valvonta voi olla joko jatkuvaa valvontaa tai määräajoin tapahtuvaa jaksoseurantaa. (Puisto 2008, 6)

Turvallisuudelle ja tuotannolle tärkeille laitteille suoritetaan värinävalvontaa. Määräaikainen mittaava kunnonvalvonta pyöriville laitteille suoritetaan Olkiluodon ydinvoimalaitoksilla pääasiassa CSI-värähtelymittausanalyysointilaitteilla ja tuloksia analysoidaan RPMware:n Machinery Health Manager -ohjelmalla. Mittaukset tehdään laitteen normaalin käytön tai koekäytön aikana. Mitattava suure on värähtelyn nopeuden tehollisarvo RMS (mm/s) taajuusalueella 10–1000 Hz. (Korhonen 2009, 3)

Huomio-, hälytys- ja korjausrajat värinäkäyttäytymiselle voivat perustua joko ISO-standardien mukaiseen laiteryhmäjakoon tai ne voidaan laatia valmistajan suositusten perusteella. (Korhonen 2009, 4)

Laitteiden kunnonvalvontaan kuuluu myös jatkuva prosessivalvonta, sekä ns. silmämääräinen kunnonvalvonta, jota suorittavat pääasiassa käyttö- ja kunnossapitohenkilöstö määräaikaistehtävien ohessa. (Puisto 2008, 4)

3.5 Kunnossapitoluokitukset

Kaikki ydinvoimalaitoksen laitepaikat jaetaan kunnossapitoluokkiin, niiden käyttövarmuus- tai turvallisuusmerkityksen, korjauskustannuksien, sekä käyttö- ja kunnossapitokustannusten perusteella. Kunnossapitoluokkia on neljä:

- Kunnossapitoluokka 1: "Pyrittävä pitämään aina toimintakunnossa"
- Kunnossapitoluokka 2: "Rajoitettu epäkäytettävyys sallitaan"
- Kunnossapitoluokka 3: "Taloudellisesti perusteltu ennakkohoolto sallitaan"
- Kunnossapitoluokka 4: "Ei suunnitella laitepaikkakohtaista enakoivaa kunnossapitoa"

Suurin osa (75 %) laitepaikoista kuuluu kunnossapitoluokkaan 4. (Puisto 2007)

3.6 Kunnossapidon tietojärjestelmät TVO:lla

Modernin teollisuuslaitoksen hallintaan ja kunnossapitoon liittyy useita tietojärjestelmiä. Tietojärjestelmiä on yleensä useita, ja ne voivat toimia itsenäisesti tai muodostaa yhden ison kokonaisuuden. (Järviö ym. 2007, 219)

Kunnossapitojärjestelmillä hallitaan tietotekniikan avulla kunnossapidon toiminnanohjausta ja materiaalinhallintaa. Kunnossapidon järjestelmistä on yhteys muihin tarvittaviin osajärjestelmiin. (Opetushallitus 2010)

Kunnossapitotoimintaa hallitaan ja ohjataan TVO:lla usean erillisjärjestelmän avulla. Pääjärjestelmä on KUPI, jonka kautta erillisjärjestelmät toimivat.

3.6.1 KUPI

KUPI on TVO:n tarpeisiin räätälöity Oracle-pohjainen tietojärjestelmäkokonaisuus, joka sisältää useita osajärjestelmiä eri alueiden hallinnointiin, mm. työtilausjärjes-

telmän ja ennakkohuoltojärjestelmän. Osajärjestelmät kuuluvat ns. "KUUPI-perheeseen".

3.6.2 ENKKU

Ennakkohuoltoa ja kunnonvalvontaa hallinnoidaan TVO:lla ENKKU-tietojärjestelmän kautta. Suurin osa (80 %) kunnossapitotöistä TVO:lla hallitaan ENKKU:n kautta. ENKKU-järjestelmällä suunnitellaan huolto-ohjelmat, koordinoidaan ja yhdistetään tehtävät, suunnitellaan ja valmistellaan ohjelmat, sekä suoritetaan toteutus, raportointi ja analysointi. Kunnossapitoanalyysia ylläpidetään KUTEVA-osajärjestelmässä. (Wahala 2012)

3.6.3 TTJ

TTJ, eli työtilausjärjestelmä on laitoksilla tehtävien kunnossapitotöiden ohjauksen, suunnittelun, valvonnan ja raportoinnin hallintaan tarkoitettu tietojärjestelmä. Sen kautta toteutetaan ne työt, jotka eivät kuulu johonkin ennakkohuolto-ohjelmaan, tai vaativat suorittamisen kannalta suojelutoimenpiteitä tai erotuksia. Tällaiset työt tilataan ja kirjataan TTJ:hin, josta suunnittelu, seuranta ja hallinta toteutetaan. (Wahala 2012)

3.6.4 ETSIN

ETSIN-osajärjestelmä kerää yhteenvetoja laitteiden ja laitepaikkojen tapahtumista eri tietojärjestelmistä, ja yhdistää ne kokonaisuuksiksi. Järjestelmä sisältää myös edeltävän, jo käytöstä poistuneen KHJ-tietojärjestelmän työt vuodesta 1981 vuoteen 1996. ETSIN-järjestelmää käytetään tapahtumien analysointiin ja tilastointiin. (Wahala 2012)

3.6.5 KHJ

Vanha kunnossapidon hallinnan järjestelmä, joka on poistettu käytöstä vuonna 1996. KHJ-työt on siirretty KUPI:in, ja ne ovat löydettävissä ETSIN-järjestelmän kautta, mutta niistä ei ole niin kattavia tietoja, kuin TTJ-järjestelmän töistä (vrt. työvaiheet, kustannukset).

3.6.6 OlkiDoc

KronoDoc-pohjainen tietojärjestelmä, jolla hallitaan TVO:n sisäisiä asiakirjoja.

4 DIESELVARMENTAMATON PAINEILMAJÄRJESTELMÄ

4.1 Järjestelmän tehtävä

Dieselvarmentamaton paineilmajärjestelmä eli 753-järjestelmä tuottaa, varastoi ja jakelee paineilmaa koko laitokselle. (Ahola 2010, 6)

Järjestelmän tuottamaa paineilmaa käytetään seuraavissa kohteissa:

- Työilma koko laitokselle
- Sekoitusilma reaktori- ja jäterakennuksessa
- Suodattimien vastavirtahuuhtelu järjestelmissä 324, 332 ja 342
- Laboratoriotarkoitusten paineilma
- Säätilma tietyille säätöventtiileille turbiiniprosessissa
- Turbiini- ja jäterakennuksen savutuuletusluukkujen käyttöpaineena
- Paineilman syöttö järjestelmään 632/631
- Normaalissa käyttötilanteessa paineilman syöttö 751-järjestelmään

Järjestelmään kuuluu kompressoriyksiköiden lisäksi putkistoja, paineilman kulutusta tasaavia varastosäiliöitä, sulkuventtiileitä, suodattimia, vastaventtiilejä, lauhdeloukuja ja pikaliittimillä varustettuja venttiileitä työilmaa varten. (Ahola 2010, 6)

4.2 Kompressoriyksiköiden toiminta

Molemmilla käyvillä laitoksilla on kaksi Atlas Copco ZR 4 A Pack -tyyppistä öljytöntä paineilmaa tuottavaa ruuvikompressoria. Niiden laitepaikkatunnukset Olkiluoto 1 -laitoksella ovat 1.753Q1 ja 1.753Q2, ja Olkiluoto 2 -laitoksella 2.753Q1 ja 2.753Q2. Kompressorit on kytketty rinnan, ja kummankin ruuvikompressorin kapasiteetti normaalipaineessa ja lämpötilassa (STP) on 35 m³/min (582 l/s), paineilmaverkon käyttöpaineen ollessa 8 bar. (Ahola 2010, 6)

Kompressoriyksiköt on lisäksi varustettu erillisillä jälkijäähdyttimillä (E5, E6) ja kylmäkuivaimilla (E3, E4), joiden kautta tuotettu paineilma johdetaan varastosäiliöön T1. Jälkijäähdyttimet E1 ja E2 kuuluvat kompressoriyksikköihin. Kylmäkuivaimet ovat normaalissa käyttötilanteessa jatkuvasti toiminnassa. (Malinen 2012, 4)

4.2.1 Kompressoriyksikkö ja käyttörakenteet

Kompressorin on sähkömoottorikäyttöinen. Käyttövoima moottorista kompressorin hammaspyörävaihteiston akseliin siirretään joustavan kytkimen kautta. Kompressoriyksikkö ja moottori on kiinnitetty palkkialustaan. Kompressorin on tuettu palkkialustaan kolmen tärinävaimentimen avulla. Sähkömoottorin akseliteho on 250 kW. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 5)

Kompressoriyksikköihin on asennettu kiinteästi omat paineilman jälkijäähdyttimet, automaattiset lauhteenpoistimet, kevennysjärjestelmä ja tyhjennysventtiilit. (Asea-atom 1975)

4.2.2 Puristuselementit

Atlas Copco ZR 4 on öljytöntä paineilmaa tuottava kaksivaiheinen ruuvikompressorin. Se sisältää korkea- ja matalapaineiset puristusvaiheet. Molemmat puristuselementit sisältävät kaksi kuula- ja rullalaakerituetta ruuvimallista roottoria. Roottorien välinen kosketus on estetty synkronoimalla hammaspyörävaihteen käyttämä ruuviroottori ja luistiroottori jakopyörrien välityksellä. Roottorien välillä ei ole kosketusta, eikä näin ollen kitkaa. Kitka ei tällöin kuluta osia, eikä aiheuta tehohäviötä. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 5–8)

Kompressorit saavat puristettavan imuilmansa ilmastointikuilusta, joten kompressorihuoneen lämpötila ei vaikuta järjestelmän toimintaan. Lämpötilan muutokset ilmastointikuilussa johtavat vastaavaan lämpötilan muutokseen kompressorien jälkeen. (Ahola 2010, 20)

Voiteluöljyn kulkeutuminen puristustilaan on estetty roottorilaakerin tiivisteillä. Lisäksi paineilman öljyttömyys on vielä varmistettu tyhjennysaukoilla, jotka poistavat öljy- ja ilmatiivisteiden väliin mahdollisesti kertyneen öljyn. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 8)

4.2.3 Voitelujärjestelmä

Kompressoriyksikön voitelujärjestelmä koostuu hammaspyöräpumpusta, vesijäähdytteisestä öljynjäähdyttimestä ja läpivirtausmallisesta öljynsuodattimesta. Voitelujärjestelmän tehtävänä on voidella roottorilaakerit, jakopyörät, sekä käyttö- ja hammasvaihteisto. Käytetty voiteluöljy on Shell Tellus Oil S68.

Öljyä käytetään voitelun lisäksi kevennysjärjestelmän kaksoisventtiilin asennon ohjaamiseen. Normaalisissa kuormituksessa säädin kytkee virran puristuksen käynnistysmagneettiventtiiliin ja paineenalainen öljy avaa imuilman kuristusventtiilin ja sulkee korkeapainekevennysventtiilin. Kompressorin keventäessä, magneettiventtiili sulkeutuu, eikä öljynpaine mene enää kevennysmännälle asti. Jos öljynpaine on liian alhainen, kompressorin moottori pysähtyy automaattisesti. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 8–10)

4.2.4 Jäähdytysjärjestelmä

Kompressoriyksikön jäähdytysjärjestelmä saa jäähdytysvetensä dieselvarmennetusta välijäähdytysjärjestelmästä, eli 723-järjestelmästä. Dieselvarmennetun välijäähdytysjärjestelmän käyttöpaine 753-järjestelmän kohteissa on 3,5 bar, ja käyttölämpötila välillä 25–40 °C. Väliaine on täyssuolanpoistettua vettä, johon on lisätty hydratsiinia. (Tausa 2010)

Jäähdytysjärjestelmän tehtävänä on huolehtia öljyn, välijäähdyttimen, puhallusjäähdyttimen, jälkijäähdyttimen ja elementtien jäähdytyksestä. Puristuselementit on varustettu vesivaipoilla, joissa jäähdytysvesi kiertää. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 8)

Välijäähdytin on matala- ja korkeapainepuristusvaiheiden välissä oleva putkilämmönvaihdin. Välijäähdytin pitää matalapainepuristusvaiheesta korkeapainepuristusvaiheeseen menevän paineilman lämpötilan säädetyissä rajoissa. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 14–15)

Jälkijäähdytin pitää lähtevän paineilman lämpötilan säädetyissä rajoissa. Samalla jälkijäähdyttimen vedenerotin huolehtii paineilman veden poistamisesta. Jälkijäähdyttimen ilmapuolen paine ohjaa kompressorin säädintä, joka ohjaa kompressorin puristuksen magneettiventtiiliä. Jälkijäähdytin on putkimallinen lämmönvaihdin. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 8)

Puhallusjäähdytintä käytetään kompressorin kevennyksen aikana, jolloin se jäähdyttää korkeapainevaiheesta takaisin imukanavaan johdetun ilman. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 14–15)

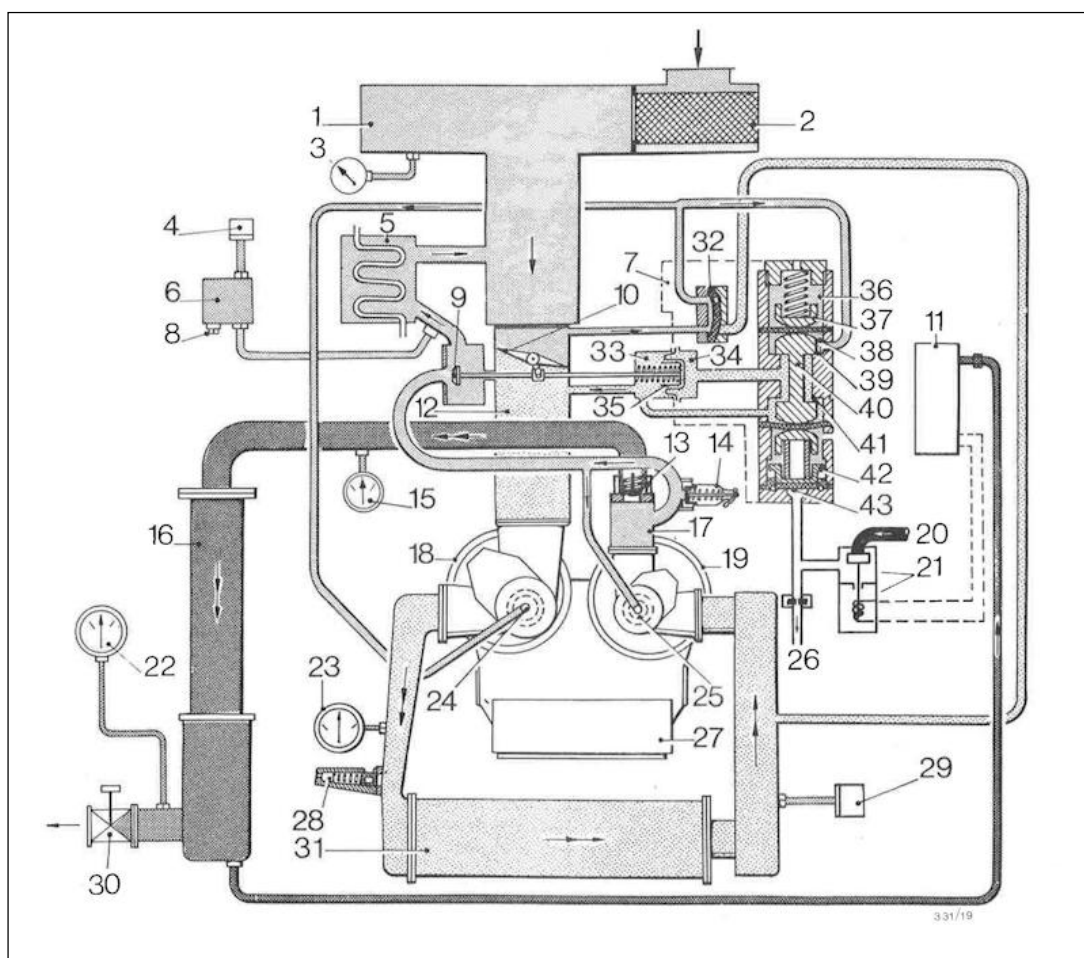
4.2.5 Kevennysjärjestelmä

Kevennysjärjestelmän tehtävänä on rajoittaa kompressorin tuottamaa ilmamäärää, kun haluttu maksimipaine verkostossa on saavutettu. Kevennys tapahtuu kuristamalla imuilman määrää sulkemalla imuaukon läppäventtiili. Samanaikaisesti järjestelmä avaa korkeapainekevennysventtiilin, joka keventää korkeapainepuolen puristuselementin yhdistämällä sen imukanavaan. Poistoilma jäähdytetään puhallusjäähdyttimellä ennen sen johtamista takaisin imukanavaan. Lisäksi kalvoventtiili ohjataan asentoon, jossa se johtaa ilmaa imukanavasta matalapainetasapainotusmäntään. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 12–16)

Kevennysjärjestelmän ohjaus tapahtuu kevennyssylinterissä. Kevennystä ohjaava suure on painekeytkimestä saatava verkoston paine. Ennalta määritetyssä kevennyspaineessa painekeytkin avautuu, virta järjestelmän kuormitusvaiheessa pitävältä jousitoimiselta magneettiventtiililtä katkeaa, ja öljynpaine männän päätykammioista purkautuu. Jousivoima liikuttaa mäntää ja kaksoisventtiiliä, joka avaa korkeapainekevennysventtiilin ja sulkee imuilman kuristusventtiilin. Samalla kalvoventtiili johtaa matalapainetasapainotusmäntään välijäähdyttimen paineisen ilman sijasta imuilman

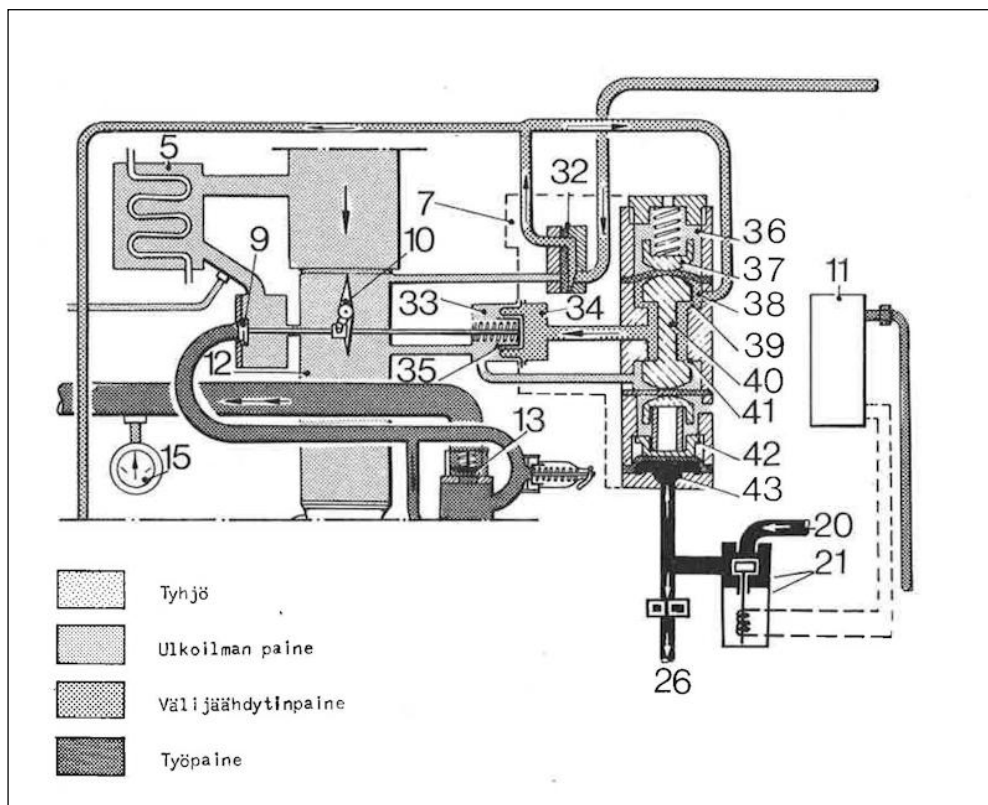
paineista ilmaa. Männän kautta virtaava imuilman paineinen ilma saa jousikuormit-
teisen männän sulkemaan imuilman kuristusventtiilin ja avaamaan korkeapaineke-
vennysventtiilin, jolloin korkeapainevaiheesta tuleva ilma ohjautuu puhallusjäähdyt-
timeen, ja takaisin imukanavaan, ja sieltä uudelleen matalapainevaiheeseen. Keven-
nysvaiheessa sama ilma kiertää prosessissa jäähdytyksen kautta. (Kiinteät ruuvikom-
pressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 12–16)

Kuvien 2 ja 3 osien numeroointi on selitetty taulukossa 2.



Kuva 2. Kompressorin kevennetyssä (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 14)

Kun paine verkostossa on laskenut kuormituspaineeseen, kevennysvaihe loppuu, ja
ilman tuotto alkaa taas normaalisti. Kompressorin normaalissa käyttövaiheessa kor-
keapainekevennysventtiili on kiinni, imuilman kuristusventtiili täysin auki, kalvo-
venttiili on asennossa, jossa se johtaa välijäähdyttimen paineista ilmaa matala-
paineitasoitusmännään ja kevennysjärjestelmää ohjaava magneettiventtiili jännittei-
nen. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 12–16)



Kuva 3. Kompressorin kuormitettuna (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 15)

Taulukko 2. Kevennysjärjestelmän osien numerointi (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 15)

1.	Imuilman äänenvaimennin	23.	Välijäähdyttimen painemittari
2.	Imuilman suodatinelementti	24.	MP-tasapainotusmäntä
3.	Imuilman suodattimen huoltoilmaisin	25.	KP-tasapainotusmäntä
4.	Puhalluspaineen valvontalaite (S3)		Paluuöljyputki magneettiventtiililtä öljytilaan
5.	Puhallusjäähdytin	26.	Öljytilaan
	Puhalluspaineen valvontalaitteen paineentasaussäiliö	27.	Vaihdelaatikko
6.		28.	Välijäähdyttimen varoventtiili (t)
7.	Kevennyssylinterin kansi	29.	Ilman lämpötilan valvontalaite (S5)
	Paineentasaussäiliön lauhteenpoistotulppa	30.	Ilman ulostulon sulkuventtiili
8.		31.	Välijäähdytin
9.	KP-kevennysventtiili	32.	Kalvoventtiili
10.	Imuilman kuristusventtiili	33.	Männän jousen puoleinen kammio
11.	Säädin	34.	Männän paineenpuoleinen kammio
12.	Ilman sisääntulokammio		Jousikuormitteinen kalvotiivistetty mäntä
13.	Vastaventtiili	35.	
14.	KP-varoventtiili	36.	Ulkoilman paineen kammio
15.	Työpainemittari	37.	Kevennysmäntä
16.	Jälkijäähdytin		Vaihtoventtiilin jousikuormitetun puolen kammio
17.	Ilman ulosmenon äänenvaimennin	38.	
18.	MP-puristuselementti	39.	Sulku
19.	KP-puristuselementti	40.	Vaihtoventtiili
	Kompressorin voiteluöljyn sisääntulo magneettiventtiilille	41.	Sulku
20.		42.	Käynnistysmäntä
21.	Puristuksen käynnistysmagneettiventtiili (Y1)		Kammio kompressorin voiteluöljypieristä tulevaa öljyä varten
22.	KP-ilman ulostulon lämpömittari	43.	

4.2.6 Sähköjärjestelmä ja valvontalaitteet

Sähköinen säädin hallitsee kompressorin toimintaa. Säätimessä on rele estämässä automaattisen uudelleenkäynnistyksen, jos jokin kompressorin valvontalaitteista on pysäyttänyt sen. Säätimen komponentit sijaitsevat käynnistysyksikön kotelossa. Säättö- ja mittaritaulu sijaitsee käynnistysyksikön ovenssa. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 8)

Kompressorin oma sähköjärjestelmä sisältää valvontalaitteet ja anturit öljynpaineelle, ilman lämpötiloille ja puhallinpaineille. Valvontalaitteet huolehtivat kompressorin pysäyttämisestä toimintahäiriön sattuessa. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 16)

Valvontalaitteisto ohjaa kompressorin käynnistymistä. Kompressorin ollessa pysäytettyä ja öljynpaineen nollassa, valvontalaite on auki. Aikarele avautuu 20 sekunnin kuluttua käynnistyksestä. Jos öljynpaine ei nouse tässä ajassa riittävästi, kompressorin sammuu. (Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 16)

Kompressorin saa käyttövoimansa akseliteholtaan 250 kW HXUR712G2 oikosulkumoottorista. (KUPI 2010)



Kuva 4. Kompressoriyksikön säätö- ja mittaritaulu

4.3 Järjestelmän käyttö

Normaalissa käyttötilanteessa paineilma tuotetaan 753-järjestelmän kompressoreilla, joista toista käytetään jaksoittain, toisen ollessa varalla. Kompressorien käytön vaihtoväli on yksi kuukausi. (Tupala 2008, 3–4)

Varastosäiliön T1 paine ohjaa kompressorien käyntiä. Ajettavan kompressorin käyntiä kuormitetaan ja kevennetään painevahdeilla, jotka on asetettu 7,4 ja 8,0 bar:iin. Mikäli paine laskee varastosäiliössä T1 7 bar:iin, käynnistyy varalla oleva kompressori automaattisesti. (Ahola 2010, 7)

Kompressoreiden kevennysjärjestelmä yhdessä säätölaitteiston kanssa rajoittaa kompressorien käynnistymiskertoja. Kompressorit käyvät 20 minuutin ajan kuormittamattomina verkoston maksimipaineen saavuttamisen jälkeen. (Malinen 2012, 4)

Dieselvarmentamattoman paineilmajärjestelmän varalla on dieselvarmennettu paineilmajärjestelmä, 751-järjestelmä. Mikäli paineilma menetetään jostain syystä 753-järjestelmässä, sulkeutuu 751- ja 753-järjestelmien rajaventtiili ja 751-kompressorit alkavat huolehtimaan 751-järjestelmän paineilman tuottamisesta. 753-järjestelmän paineilman tuotto loppuu menetettäessä normaali sähkönsyöttö. Tällöin paineilman tuotto siirtyy 751-järjestelmälle. (Ahola 2010, 8)

Laitosten paineilmaverkot voidaan yhdistää tarvittaessa manuaalisesti avaamalla molempien järjestelmien yhdyslinjan venttiilit. Dieselvarmentamaton paineilmajärjestelmä on laitoksen käytön kannalta tärkeä järjestelmä. Jos molemmat 753-järjestelmän kompressorit ovat pysähdyksissä, eikä paineilmaa saada toiselta laitoksesta, johtaa se laitoksen pikasulkuun lyhyen ajan kuluttua. (Tupala 2008, 3–6)

4.4 Järjestelmän laitteiden tekniset tiedot

4.4.1 Kompressorit Q1 ja Q2

Taulukko 3. Q1 ja Q2 kompressorien tekniset tiedot

Valmistaja	Atlas Copco
Malli	ZR 4 A Pack
Tyyppi	Ruuvikompressori
Väliaine	Ilma
Ominaisuudet	Kuiva, öljytön
Käyttöpaine	8 bar
Kapasiteetti, 8 bar	35 m ³ /min
Jäähdytys	Vesijäähdytys
Jäähdytysveden tarve sisään tulevan veden lämpötilan ollessa 25 °C	4,0 m ³ /h
Käyttölämpötila	20 °C
Suunnittelupaine	11 bar
Suunnittelulämpötila	50 °C
Testauspaine	14,3 bar
Nimellisteho	250 kW
Nimellisjännite	660 V



Kuva 5. Olkiluoto 1 -laitoksen Atlas Copco ZR 4 -kompressoriyksiköt

4.4.2 Jälkijäähdyttimet E1 ja E2

Taulukko 4. Jälkijäähdyttimien E1 ja E2 tekniset tiedot

Valmistaja	Hiross Denco
Malli	HD 32
Tyyppi	Vesijäähdytteinen
Käyttöpaine	8 bar
Kapasiteetti, 8 bar	35 m ³ /min
Jäähdytysveden tarve sisään tulevan veden lämpötilan ollessa 25 °C	3,2 m ³ /h



Kuva 6. Jälkijäähdytin kompressoriyksikössä 1.753E1

4.4.3 Kylmäkuivaimet E3 ja E4

Taulukko 5. Kylmäkuivaimien E3 ja E4 tekniset tiedot

Valmistaja	Hiross, tyyppi Polestar PGE370W
Tyyppi	Vesijäähdytteinen
Käyttöpaine	8 bar
Kapasiteetti	35 m ³ /min (STP)
Kastepiste 8 bar	3 °C
Jäähdytysveden tarve sisään tulevan veden lämpötilan ollessa 25 °C	1,52 m ³ /h
Nimellisteho	4,68 kW
Nimellisjännite	380 V



Kuva 7. Kylmäkuivaimet 1.753E3 ja 1.753E4

4.4.4 Jälkijäähdyttimet E5 ja E6

Jälkijäähdyttimien E5 ja E6 tarkoituksena on jäähdyttää kompressoriyksiköltä tuleva 36 °C paineilma 26 °C:n lämpötilaan. E5 ja E6 eivät kuulu kompressoriyksikköön, vaan sijaitsevat erillään. E5 sijaitsee E1:n jälkeen ja E6 E2:n jälkeen.

Taulukko 6. Jälkijäähdyttimien E5 ja E6 tekniset tiedot

Käyttöpaine	8 bar
Valmistaja	Hiross Denco, tyyppi NH-35N
Tyyppi	Vesijäähdytteinen
Kapasiteetti	35 m ³ /min (STP)
Jäähdytysveden tarve sisään tulevan veden lämpötilan ollessa 25 °C	3,3 m ³ /h



Kuva 8. Paineilman jälkijäähdytin 1.753E5



Kuva 9. Paineilman varastosäiliö 1.753T1

4.4.5 Varastosäiliö T1

Taulukko 7. Varastosäiliön T1 tekniset tiedot

Suunnittelupaine	11 bar
Suunnittelulämpötila	50 °C
Tilavuus	6 m ³
Materiaali	Hiiliteräs, maalattu sisä- ja ulkopuolelta

4.4.6 Siirrettävä kompressori

Atlas Copco XAMS 286 Md -merkkistä siirrettävää dieselkäyttöistä paineilmakompressoria ei ole luokiteltu 753-järjestelmän komponentiksi, vaan sitä säilytetään työkaluvarastolla, josta se otetaan tarvittaessa käyttöön. Kompressori liitetään 753-järjestelmään vuosihuoltojen aikana paikkaamaan kasvanutta paineilman tarvetta. Kompressoria käytetään tarvittaessa myös muualla ydinvoimalaitosalueella, esimerkiksi rakennustöissä. XAMS286 Md on äänenvaimentimella varustettu yksivaiheinen öljysuihkutteinen ruuvikompressori.

Taulukko 8. Atlas Copco XAMS 286 Md tärkeimmät tekniset arvot (Instruction Manual and Parts List for Portable Compressors XAMS286 Md, 385–386)

Tehollinen työpaine	8,6 bar
Paineilman tuotto	283 l/s (16,98 m ³ /min)
Polttoaineen kulutus täydellä kuormalla	25,8 kg/h
Polttoaineen kulutus ilman kuormitusta	10,6 kg/h
Moottori	Mercedes OM904LA
Teho	124 kW
Paino	2900 kg
Paineilman öljypitoisuus	<5 mg/m ³
Lähtevän paineilman lämpötila	80 °C

Lähtevän paineilman lämpötila on huomattavan korkea (80 °C), sekä paineilma sisältää jonkin verran öljyä. Tuotettu paineilma käsitellään Hiross Polestar PGN 220 siirrettävällä jäähdytinkuivainkoneikolla ennen syöttämistä laitoksen paineilmaverkkoon.

5 VIKAHISTORIASELVITYS

5.1 Vikaraportit

Selvityksessä käytettiin TTJ-tietojärjestelmästä saatuja vikaraporttilistoja. Kartoituksessa otettiin huomioon kompressoriyksikön laitteille kohdistetut vikaraportit. Vikaraportit koottiin helposti tarkasteltavissa olevaksi kokonaisuudeksi. Vikaraporttilistat laadittiin jokaiselle kompressorille erikseen, ja lopuksi ne yhdistettiin yhdeksi kaikki kompressorit kattavaksi listaksi sekä laitoskohtaisiksi listoiksi. Lopuksi viat kategorisoitiin vikalistoja tarkastelemalla eri ryhmiin, joiden perusteella laadittiin tarkasteltavat grafiikat (Liite 1). Otanta vikaraportteille käsittää vuodet 1981–2011.

5.2 Laitevastuuraportit

Laitevastuuraportit ovat tilastointeja järjestelmien ja laitepaikkojen vikaraporteista. Ne eivät erittele vikaraportteja tarkemmin, vaan sisältävät pelkästään niiden vuotuiset järjestelmä- ja laitepaikkakohtaiset määrät. Alkuperäisessä suunnitelmassa laitevastuuraportteja oli tarkoitus käyttää tukena vika historian selvitykselle, mutta ensin tehdystä vikaraportti historian tarkastelusta tuli huomattavasti laajempi, kuin laitevastuuraporteista. Laitevastuuraportteja ei lopulta käytetty työn tekemisessä.

5.3 Tietojen erittely ja tilastointi

Vikaraportit taulukoitiin ja jaoteltiin kolmeen ryhmään:

- Sähkö- ja automaatioviat
- Mekaaniset viat
- Epäselvät viat tai ei vikaa

Mekaaniset viat eriteltiin viiteen eri kategoriaan:

- Kevennysjärjestelmän viat
- Lämmönvaihtimen viat
- Vuodot, tukokset, kiinnitys- ja tiivisteviat

- Elementtiviait
- Muut komponenttiviait

Tarkasteltavaksi laadittiin seuraavat kompressori- ja laitoskohtaiset, sekä yhtenäiset, kaikki kompressorit kattavat grafiikat:

- Kompressoriyksiköille kohdistetut vikaraportit
- Vikatyypin erittelyt
- Kompressoriyksikön vuosittainen vikaraporttien määrä, kaikki viat
- Kompressoriyksikön vuosittainen vikaraporttien määrä, mekaaniset viat

Lisäksi laadittiin tarkentavia grafiikoita kompressoriyksikön osajärjestelmien vioista:

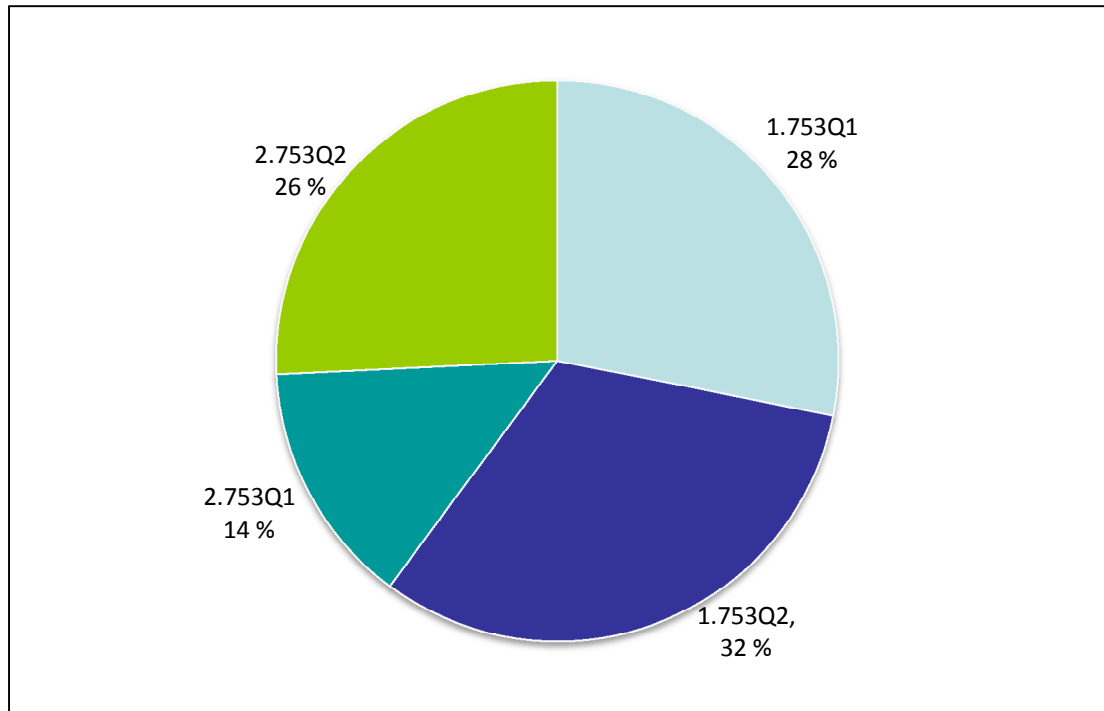
- Kevennysjärjestelmän vikojen jakaantuminen ja kehittyminen
- Kevennysjärjestelmän kalvojen vuosittaiset viat
- Lämmönvaihtimien vuosittaiset viat
- Vuotojen, tukosten, kiinnitysten ja tiivisteiden vikojen tarkentaminen
- Vuosittaiset sähkö- ja automaatiotekniset viat

Tämän työn tarkoituksena on keskittyä mekaanisiin vikoihin. Sähkö- ja automaatiiovikoja ei analysoida tai eritellä tarkemmin.

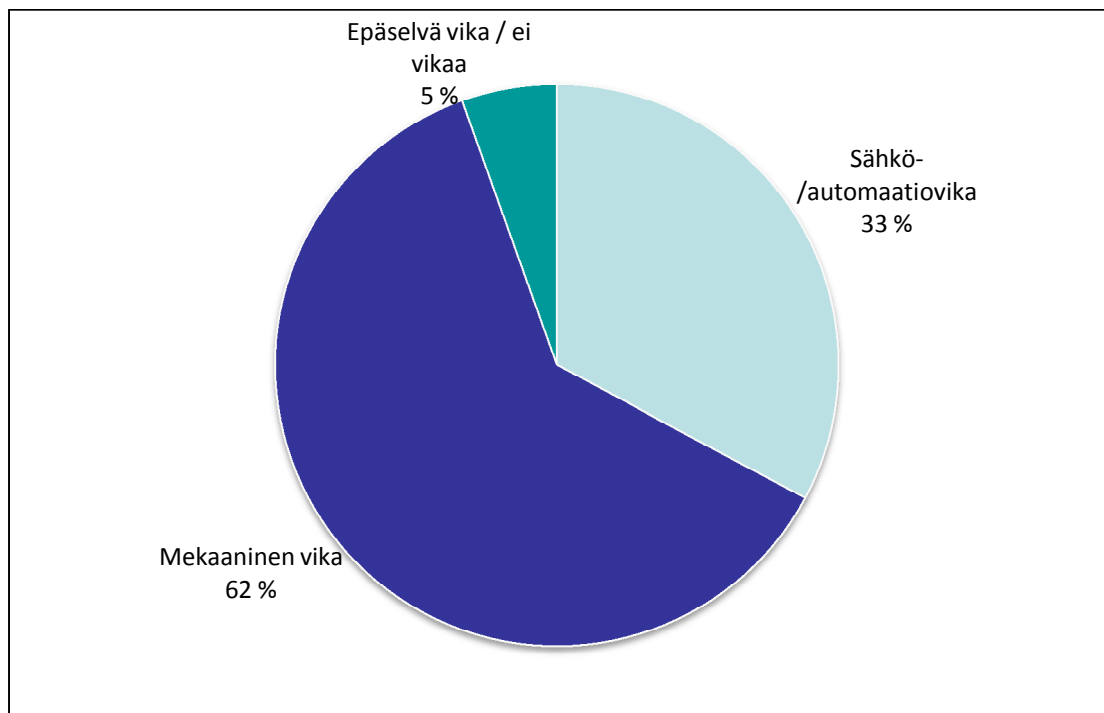
Vikakorjausten työ- ja materiaalikustannukset on käsitelty luvussa 9.2.1.

5.4 Vikamäärien analysointi ja vertailu

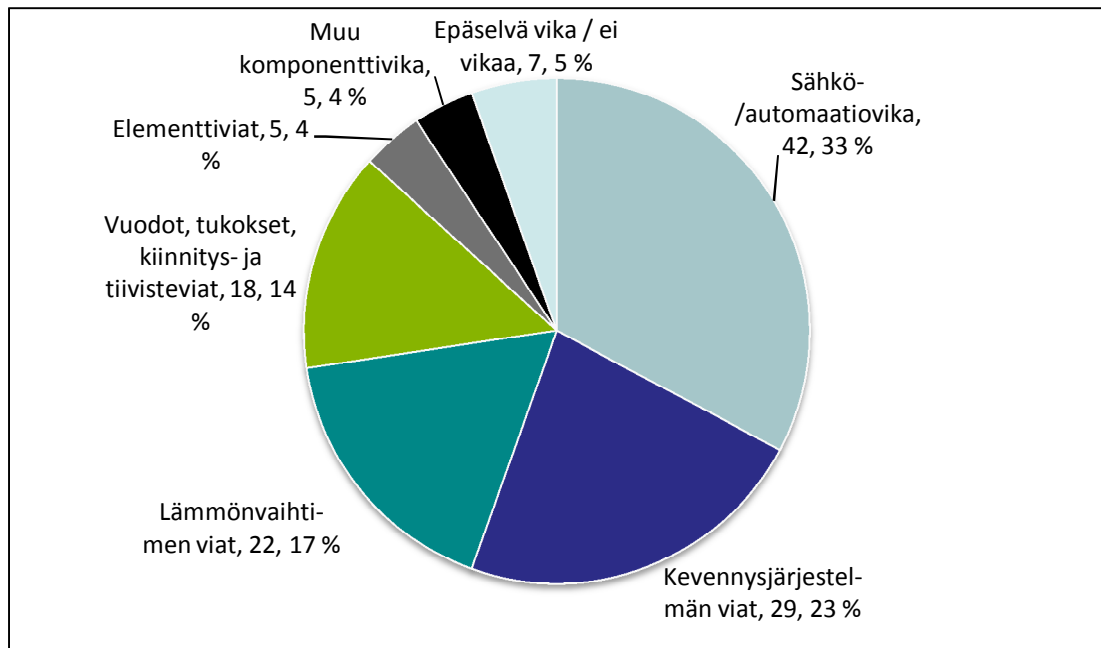
Kaikille neljälle kompressoriyksikölle vikaraportteja on laadittu vuosilta 1981–2011 yhteensä 128 kappaletta. Tarkemmat, kompressorikohtaiset vikaraporttien erittelyt ovat liitteessä 1.



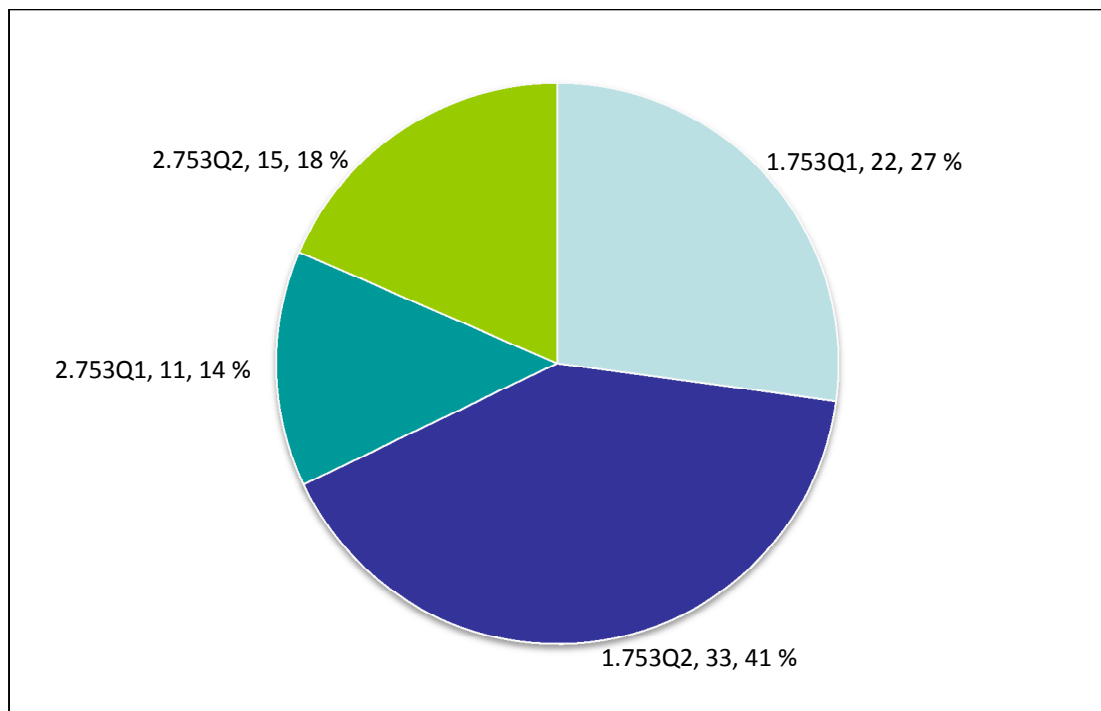
Kuvio 1. Vikaraporttien jakaantuminen kompressoriyksiköittäin.



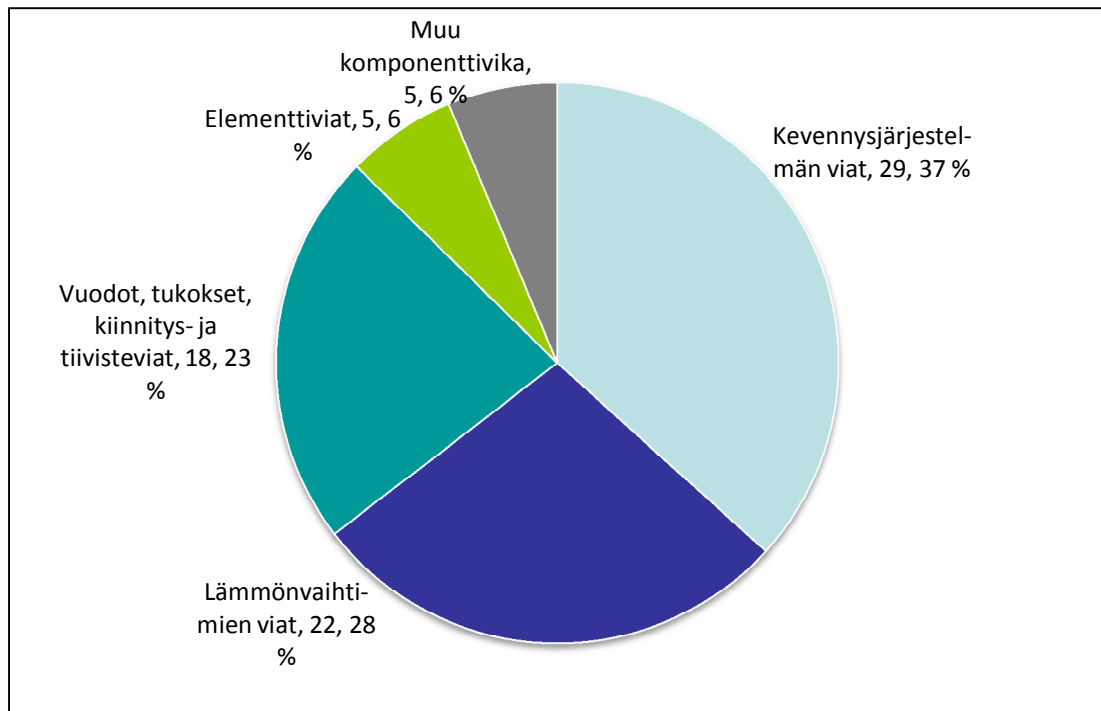
Kuvio 2. Vikaraporttien kategorisointi vikatyypin mukaan.



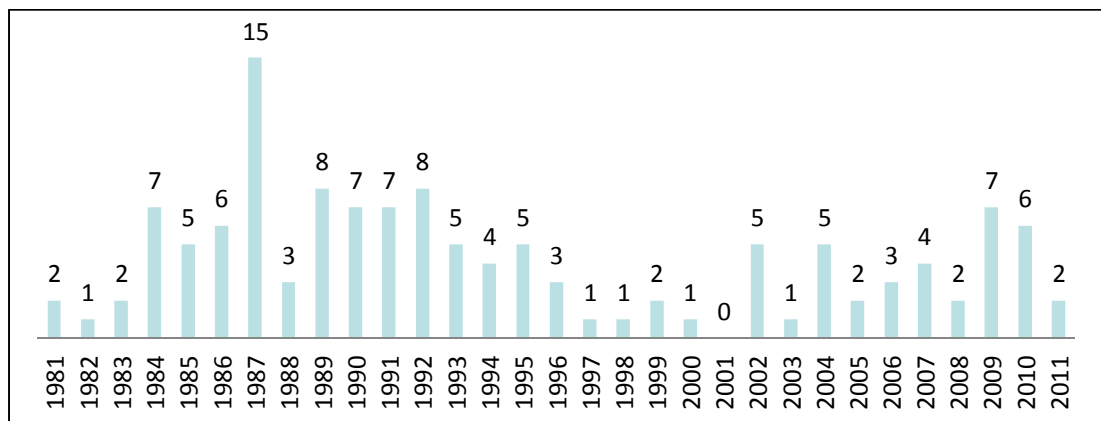
Kuvio 3. Kaikki vikakategoriat.



Kuvio 4. Mekaanisten vikaraporttien määrä kompressoriyksiköittäin.

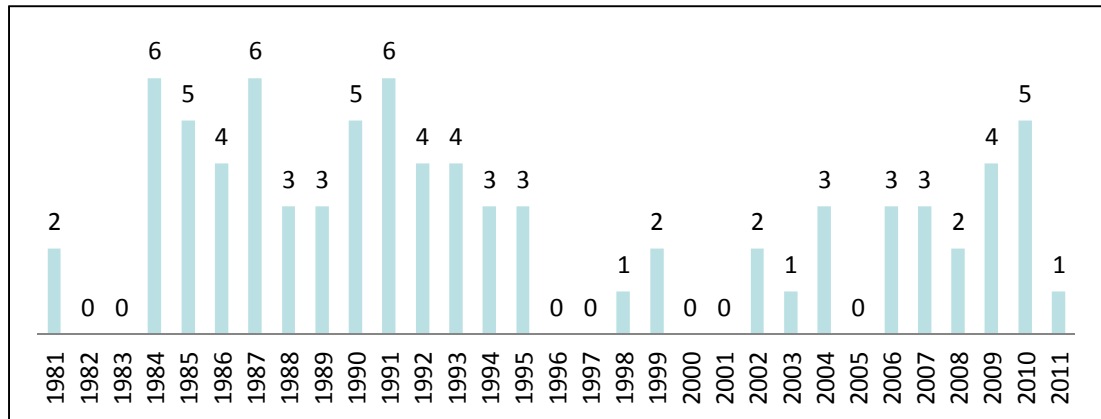


Kuvio 5. Kaikkien kompressoriyksiköiden mekaanisten vikojen erittely.



Kuvio 6. Vuosittaiset 753-kompressoriyksiköiden vikaraporttimäärät.

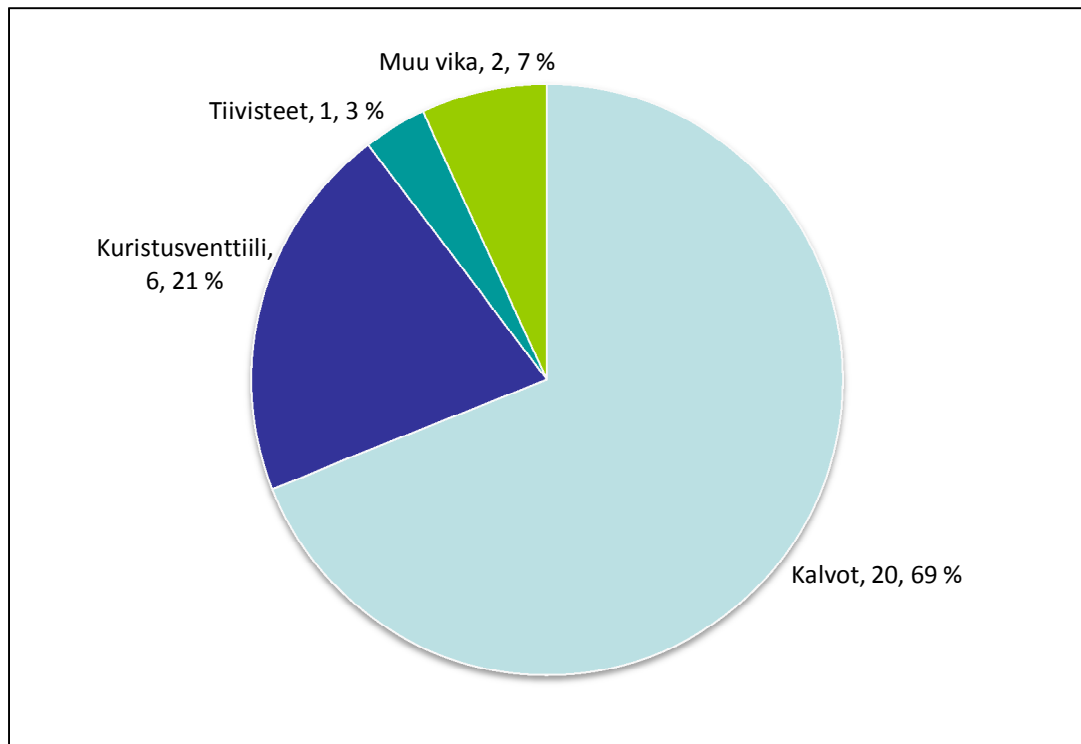
5.5 Mekaaniset viat



Kuvio 7. Vuosittaiset 753-kompressoriyksiköiden mekaanisten vikojen vikaraporttimäärät.

5.5.1 Kevennysjärjestelmän viat

Kevennysjärjestelmän viat ovat yleisin mekaanisten vikojen ryhmä (37 %). Kevennysjärjestelmään kuuluu kalvoventtiili, kevennysmäntä, sekä jousikuormitteinen kalvotiivistetty mäntä, jotka sisältävät kulumiselle alttiita kumikalvoja. Kalvoventtiilit vaihtavat asentoaan kompressorin toimintavaiheen mukaan (kevennys, kuormitus). Kevennysjärjestelmä sisältää lisäksi kaksoisventtiilin, joka ohjaa imuilman kuristusventtiilin ja korkeapainekevennysventtiilin toimintaa.



Kuvio 8. Kevennysjärjestelmän vikojen jakaantuminen komponenttien kesken.

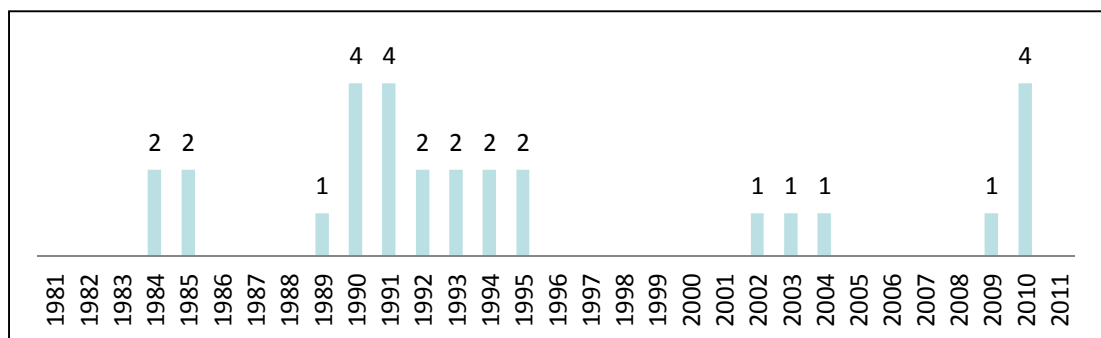
Kalvoventtiilin tehtävänä on ohjata kevennysvaiheessa ulkoilman, ja kuormitusvaiheessa välijäähdyttimen paineista ilmaa matalapainetasoitumännälle. Kevennysmännässä on kaksi kumikalvoa, jotka ohjaavat korkeapainekevennysventtiilin ja imuilman kuristusventtiilin asentoa, sekä muuta kevennysjärjestelmää. Nämä kumikalvot ovat kompressorisyksikön vikaantumisherkeimpiä osia (20 kpl, 69 % kevennysjärjestelmän vikaraporteista, 16 % kaikista vikaraporteista). Vikaantuessaan kumikalvot voivat olla venyneitä, siirtyneitä paikoiltaan, puhki kuluneita tai kokonaan irronneita.

Kuristusventtiiliä ja korkeapainekevennysventtiiliä ohjaavassa jousikuormitteisessa männässä on kalvo, joka tiivistää männän. Tästä kalvosta ei ole tehty vikailmoituksia, mutta se vaihdetaan silti kompressorisyksikön vuosihuollon yhteydessä. Huollon yhteydessä kevennysjärjestelmän venttiilit puretaan, kalvot vaihdetaan ja kalvopesät puhdistetaan. Kalvot ovat herkkiä osia, ja joskus männän kalvotiiviste, tai jokin muu kalvo, saattaa asennusvaiheessa rikkoutua, johtuen asennuksessa käytetyn rakotulkin terävistä reunoista. Tämän takia huolloissa ei asenneta vanhaa, kulunutta kalvoa takaisin. (Huuhka henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2012)

Toinen, muttei niin yleinen kevennysjärjestelmän vikaantuva osa on imuilman kuristusventtiili (6 kpl, 21 % kevennysjärjestelmän vikaraporteista). Kevennysvaiheessa jousikuormitteinen kalvotiivistetty mäntä sulkee imuilman kuristusventtiilin ja korkeapainekevennysventtiilin. Mäntä ohjaa laakeroitua kuristusventtiiliä, jonka kumipalkeen sulkeutuminen estää matalapaineuristusvaiheen imuilman saannin. Kevennysvaiheessa kuristusventtiilin painepuolelle muodostuu tyhjiö.

Kuristusventtiilin viat ovat palkeen reikiintymisiä, repeämisiä tai toiminnan juuttumisia. Kuristusventtiilin avautumismekanismiin toiminnan heikkeneminen johtuu sitä ohjaavan laakerin kulumisesta. Laakeri saattaa juuttua, ja alkaa pyöriä laakeripesässä. Vuotava kuristusventtiili aiheuttaa sen, ettei kompressorin painepuolelle kevennysvaiheessa muodostukaan tyhjiötä, eikä kompressori kevennä oikein. Juuttunut laakeri voi aiheuttaa myös sen, ettei kevennysvaiheen päättyessä korkeapainekevennysventtiili sulkeudukaan oikein, eikä kompressori saa imuilmaa, ja kompressori puhaltaa jäljellä olevan paineilman imupuolelle. (Huuhka henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2012)

Kalvojen vikakorjauksissa on tavallista, että uusitaan myös muiden, kuin vikaantuneen venttiilin kalvoja. Tällöin ei välttämättä tiedetä, mikä kalvo on vikaantunut, ja muita kevennysjärjestelmän osia on mahdollisesti jo avattu. Kalvot ovat herkkiä osia, ja huoltovaiheessa tapahtunut mahdollinen kuluneen, vanhan kalvon vikaantuminen eliminoidaan asentamalla avattuihin venttiileihin aina uudet kalvot. Kalvot ovat saman ikäisiä, ja niille on kohdistunut sama määrä liikkeitä, joten yhden rikkoontuessa, myös muut on järkevä vaihtaa (Varjonen henkilökohtainen tiedonanto 7.12.2012). Kalvot eivät ole kustannuksiltaan merkittävä varaosaryhmä.



Kuvio 9. Vuosittaiset kevennysjärjestelmän vikaraporttimäärät, kaikki kompressoriyksiköt.

Vaikka kevennysjärjestelmän venttiilien huolto ja kaikkien kalvojen vaihto kuuluu-kin kompressorin vuosihuoltoon, joudutaan niitä silti joskus uusimaan kompressorin määräaikaishuoltojen välillä. Kalvot ovat vikaantumisherkkiä osia, johtuen kevennysjärjestelmän ajoittain tiheästä käytöstä.

5.5.2 Lämmönvaihtimien viat

Toiseksi yleisin vikaryhmä on lämmönvaihtimien viat (22 kpl, 28 % mekaanisista vioista, 17 % kaikista vioista). Väli- ja jälkijäähdytin ovat putkilämmönvaihtimia, ja niiden viat liittyvät usein putkien rikkoutumiseen.

Suurin osa (17 kpl) kirjatuista lämmönvaihtimien vioista koskee jälkijäähdytintä, johtuen sen suuremmasta toimintapaineesta. Jälkijäähdyttimen putkien rikkoutuessa paineilma vuotaa vesipuolelle, eli 723-järjestelmään, nostaen sen painetta.

Toinen mahdollinen vuotava lämmönvaihdin on välijäähdytin (3 vikaraporttia). Välijäähdyttimen putkien rikkoutuessa jäähdytysjärjestelmän vesi, 723-vesi, vuotaa kompressoriyksikön ilmapuolelle.

Lämmönvaihtimien putkien vuotaessa tilalle vaihdetaan ehjä lämmönvaihdin, ja rikinäinen lämmönvaihdin korjataan, mikäli mahdollista, Teollisuuden Voima Oyj:n konekorjaamolla.

Lisäksi on kirjattu yksi vikaraportti koskien väli- ja jälkijäähdyttimen vaippapinnan sisäpuolelta löytyneitä pistemäisiä syöpymiä (vuonna 1984).

Lämmönvaihtimien putket ovat vuotaessaan pääasiassa eroosion kuluttamia. Väliaineena toimiva hydratsiinia sisältävä täyssuolanpoistettu vesi ei reagoi pääosin metallin kanssa, eikä sitä voida pitää merkittävänä syynä lämmönvaihtimien vuotoihin. Lämmönvaihtimien viat aiheutuvat pääasiassa virtaavan veden kuluttavasta vaikutuksesta.

Öljyn- tai puhallusjäähdyttimestä ei ole raportoitu vikoja.

5.5.3 Puristuselementtien viat

Öljytöntä paineilmaa tuottavissa ruuvikompressoreissa on roottoreiden välillä hyvin pieni (sadasosamillimetrejä) välys. Roottorin laakerien tai puristuselementtien pienikin vikaantuminen saattaa aiheuttaa roottorien kontaktin.

Määrältään vähäinen (5 kpl vuosina 1981–2011), mutta kompressoriyksikön toiminnan kannalta ja kustannuksiltaan merkittävin vikaryhmä on korkea- ja matalapaine-puristuselementteihin kohdistuvat viat. Korkea- ja matalapaine-elementit ovat vaihtovaraosia. Puristuselementin vaihdon yhteydessä vaihdettu osa lähetetään Atlas Copcon tehtaalle, ja vanhasta elementistä saadaan hintahyvitys. Atlas Copco tutkii kaikki vikaantuneet puristuselementit. Elementtien vaihto tilataan Atlas Copcolta. Elementtien vaihdon suorittaa aina Atlas Copcolta tilattu asentaja, jonka mukana elementit kulkevat. Elementin vian havaitsemisesta huollon valmistumiseen kestää noin viikko.

Puristuselementtien ennakkohuoltona tehdyt vaihdot on käsitelty myöhemmin luvussa 6.4.2.

5.5.3.1 Kompressoriyksiköt 1.753Q1-Q2

Olkiluoto 1 -laitoksen 753-järjestelmän kompressoriyksiköihin ei ole vaihdettu vikailmoituksella puristuselementtejä.

5.5.3.2 Kompressoriyksikkö 2.753Q1

Ennakkohuollon yhteydessä 2.4.2007 havaittiin 2.753Q1-kompressorin värähtelytasojen nousseen ja asiasta laadittiin vikailmoitus (vikaraportti n:o 167914). Järjestelmän käyttöä voitiin kuitenkin jatkaa toisen kompressorin avulla laitosisyksikön vuosihuollon yli, ja elementtien uusinta suoritettiin kompressorin vuosihuollon yhteydessä 25.6.2007.

5.5.3.3 Kompressoriyksikkö 2.753Q2

Seurantahistorian aikana kompressorin toiminnan välittömästi pysäyttäneitä puristuselementtien kiinnileikkautumisia ilmeni vain yhdessä kompressorissa (2.753Q2).

Öljynsuodattimessa ilmeni vuonna 1986 runsaasti matalapaine-elementin laakereista peräisin olevaa metallia, jonka seurauksena matalapaine-elementti vaihdettiin.

Vaihteiston laakerien värinätasot olivat nousseet 3.6.1998 (vikaraportti n:o 103591) yli hälytysrajan, minkä seurauksena laakerit, korkea- ja matalapaine-elementit, öljyt, suodattimet ja kevennysventtiilien kalvot vaihdettiin.

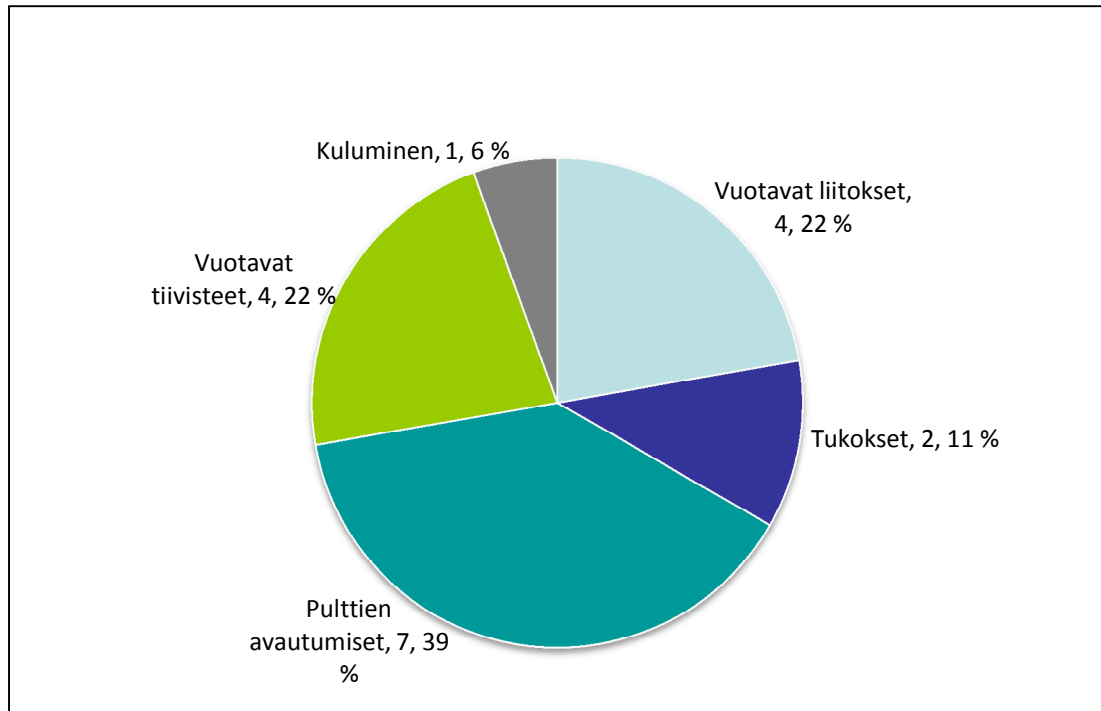
Myöhemmin, 17.8.2002 (vikaraportti n:o 118654) samassa vaihdetussa matalapaine-elementissä havaittiin merkkejä roottorien kontaktista ja se vaihdettiin. (Varjonen henkilökohtainen tiedonanto 9.10.2012)

Lisäksi kompressorin korkeapaine-elementti leikkasi myöhemmin kiinni, 15.2.2006 (vikaraportti n:o 145242).

Kompressoriyksikön 2.753Q2 elementtien verrattain suuri vikatiheys saattaa johtua vuonna 1986 tapahtuneesta matalapaine-elementin laakerivauriosta, jonka seurauksena voiteluöljyyn pääsi runsaasti laakerimetallia. KHJ-järjestelmän aikaisista tapah- tumista ei kuitenkaan ole saatavilla tarkentavaa tietoa, mutta laakerivaurio on todennäköisesti vaurioittanut kompressoriyksikköä piilevästi, joka on myöhemmin johtanut elementtien korkeaan vikatiheyteen.

5.5.4 Vuodot, tukokset, tiiviiden ja kiinnitysten viat

Tämä kategoria käsittää kaikki vuodot, tukokset, tiiviiden ja kiinnitysten viat, mutta ei kuitenkaan vikoja, jotka liittyvät lämmönvaihtimiin tai kevennysjärjestelmään.



Kuvio 10. Vuotojen, tukoksien, kiinnitys- ja tiivistevikojen jakaantuminen.

Vuodot voidaan jaotella karkeasti kolmeen eri luokkaan: kiinnitysvioista johtuviin vuotoihin, tiivisteiden rikkoutumisista aiheutuneisiin vuotoihin ja hankautumisesta tai kulumisesta johtuviin vuotoihin.

Kiinnitysvikoihin jaotellut viat ovat sellaisia vuotoja, jotka korjaantuvat kiristämällä kiinnitys tai pakkaamalla vuotava liitos uudelleen, sekä pulttien ja muttereiden löystymisiä, jotka on huomattu ennakkohuollon yhteydessä, ennen kuin ne ovat aiheuttaneet muutoksia kompressorin normaaliin toimintaan. Käynnin aikana kompressoriyksikkö tärisee jatkuvasti, ja ajan myötä se saattaa aiheuttaa yhteiden ja kiinnityksien löystymistä.

Pulttien avautumiseen ja niistä johtuviin vuotoihin liittyviä vikaraportteja ei ole tehty vuoden 1990 jälkeen. Tämän vikakategorian viat ovat sellaisia, joiden korjaaminen ei ole vaatinut muuta kuin vuotavien liitosten kiristämisiä. Kaikki tällaiset pulttien avautumiset eivät ole vielä välttämättä ehtineet havaitsemisajankohtanaan aiheuttaa vuotoa, vaan ne on havaittu normaalin kunnonvalvonnan yhteydessä. (Varjonen henkilökohtainen tiedonanto 9.10.2012)

Joskus vuotavat liitokset eivät korjaannu pelkästään kiristämällä. Tällöin liitos pakataan uudelleen. Tällainen liitos on esimerkiksi kompressorin ja öljysuodattimen välissä oleva ermeto-yhde, joka saattaa joskus avautua itsestään tärinän seurauksena. Tämä ei ole kuitenkaan vikaantumiselle kovin altis osa (3 kertaa, vuodet 1989, 2006 ja 2007).

Vuotoja aiheuttavat kiinnitysvikojen lisäksi myös vikaantuneet tiivisteet. Merkittävin tiivisteeksi laskettava vika on kevennysjärjestelmän kalvojen viat. Niitä ei sisällytetä tähän vikakategoriaan. Ne on eritelty kevennysjärjestelmän vikoja koskevassa luvussa 5.5.1. Muita tiivisteiden vikoja ei kompressoriyksikössä merkittävästi esiinny. Tiivisteiden vikaantumisista aiheutuneita vuotoja on ollut vain 4 kappaletta (vuosina 1987, 1987, 1993 ja 2009). Rikkoutuneet tiivisteet ovat hyvin satunnainen vikaryhmä, ja niiden vaihto on suhteellisen helppoa. Rikkoutuneet tiivisteet eivät aiheuta merkittäviä kustannuksia, eivätkä pääsääntöisesti pysäytä kompressorin toimintaa ennen havaitsemistaan.

Tukokset eivät ole merkittävä vikaryhmä, koska irto-osien pääsyä prosessiin, sekä jäähdytysjärjestelmän veden laatua valvotaan tehokkaasti (näyte kerran viikossa).

5.5.5 Muut komponenttivialat

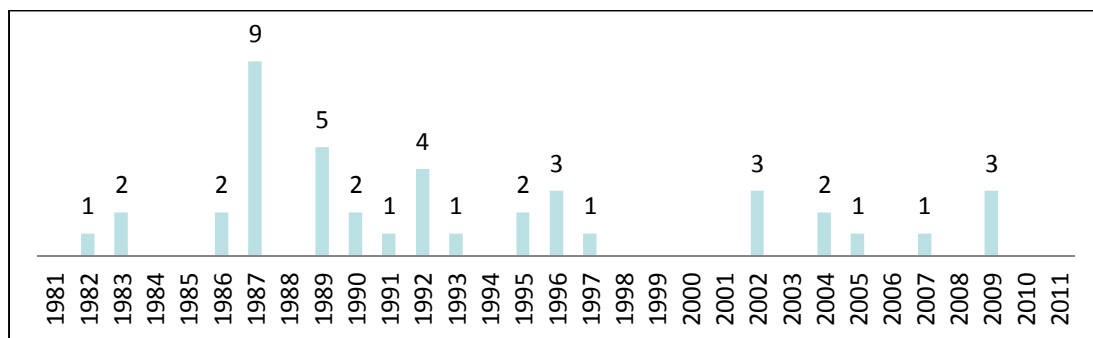
Muut komponenttivialat sisältävät öljypumppujen ja servoventtiilin viat. Seurantahistorian aikana öljypumpun vioittumisia raportoitiin 4 kappaletta ja servoventtiilin vikoja vain yksi kappale. Öljypumpun häiriöt liittyvät yleensä laakereiden vaurioitumiseen.

Kompressorin pysähtyminen automaattisesti, mikäli öljynpaine järjestelmässä laskee liian alhaiseksi. Alhainen öljynpaine ei kykene pitämään imuilman kuristusventtiiliä auki, eikä korkeapainekevennysventtiiliä kiinni. Öljypumput ovat vikaantuneet vain kahdella kompressorilla (1.753Q1 ja 2.753Q2). Öljypumpun vikaantuminen aiheuttaa kuitenkin aina katkon kompressoriyksikön paineilman tuotantoon. Siksi öljypumpun laakereiden värähtelyarvojen seuraaminen kuuluu kompressoriyksikön määräaikaisten kunnonvalvonnan piiriin.

5.6 Sähkö- ja automaatioviat

Merkittävä osuus kaikista vikaraporteista (33 %) koskee sähkö- ja automaatiovikoja. Instrumenttiviit saattavat joskus aiheuttaa vikoja, jotka tulkitaan mekaanisiksi vioiksi. Antureiden raja-arvoissa on voinut tapahtua siirtymiä (ns. ryömintä), jolloin kompressori ei esimerkiksi kevennäkään, tai toimi muuten oikein, ja korjaustoimenpiteenä saatetaan ensin suorittaa jokin mekaaninen korjaustoimenpide, esimerkiksi kevennysventtiilin kalvojen vaihto. Anturiviit huomataan tällöin vasta mekaanisen vikakorjauksen jälkeen, kun kompressori toimii huollon jälkeenkin virheellisesti. Instrumenttiviit saattavat myös aiheuttaa yhteisvikoja kompressoriyksikköön, koska ne muuttavat kompressorin toimintaa. Kompressorin vääränlainen toiminta saattaa tällöin aiheuttaa esimerkiksi kompressorin ylikuormittumista tai muuta epätoivottavaa toimintaa, joka saattaa johtaa mekaanisiin vikoihin. (Huuha henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2012)

Kompressori toimii releohjauksella. Suuri osa automaatiovioista on relevikoja, erityisesti kompressorin tyhjäkäyntiä ohjaavan aikareleen vikoja. Tässä työssä ei käsitellä tarkemmin sähkö- ja automaatiovikoja.



Kuvio 11. Kaikkien 753-kompressoriyksiköiden vuosittaiset sähkö- ja automaatiotekniset vikaraporttimäärät.

Varsinaisia sähkötekniisiä vikoja ei ole ollut. Kompressoriyksikön muut, kuin mekaaniset viat ovat suurimmaksi osaksi instrumenttivilojoja. Kompressorin käyttövoiman lähteenä toimiva oikosulkumoottori on hyvin toimintavarma. (Honkaniemi henkilökohtainen tiedonanto 16.10.2012)

5.7 Vikahistorian yhteenveto

Taulukko 9. Yhteenveto vikahistorian selvityksen tuloksista.

Osajärjestelmä	Merkittävin vikaryhmä
Kevennysjärjestelmä	Kumikalvot
Lämmönvaihtimet	Lämmönvaihtimien putkien kuluminen
Puristuselementit	2.753Q2-kompressorin elementit
Vuodot, tukokset, kiinnitys ja tiiviys	Liitosten löystyminen
Muut komponenttiviaat	Öljypumpun viat
Sähkö- ja automaatioviat	Releviat

6 ENNAKKOHUOLTO-OHJELMA

6.1 Valmistajan huolto-ohjelma

Atlas Copco ZR4A huolto-ohjelman tiivistelmä, lähde: Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack, 22–24.

6.1.1 Päivittäinen ennakkohuolto

Valmistajan antamien ohjeiden mukaan kompressorille tulisi suorittaa päivittäin (korkeintaan 4 päivän välein) seuraavat ennakkohuoltotehtävät:

1. Välijäähdyttimen, jälkijäähdyttimen ja ilmasäiliön vesitys
2. Kompressorin jäähdytysveden virtauksen tarkistus ja jäähdytysvesijärjestelmästä lähtevän jäähdytysveden lämpötilan tarkistus
3. Jälkijäähdyttimestä lähtevän jäähdytysveden lämpötilan tarkistus
4. Öljynpaineen tarkistus
5. Välijäähdyttimen paineen tarkistus
6. Painekeytkimen toiminnan tarkistus
7. Imuilmasuodattimen huoltoilmaisimen tarkistus
8. Kompressorin öljymäärän tarkistus
9. Paineentasaussäiliön vesitys

Käyttöolosuhteet määräävät miten usein lauhdevedet tulee tyhjentää.

6.1.2 Kuuden kuukauden tai 4000 käyttötunnin huolto

Valmistajan antamat ohjeet sisältävät kuuden kuukauden, tai 4000 h käyttötunnin huollolle seuraavat kohdat:

1. Imuilman suodattimien tarkastus ja tarvittaessa vaihto
2. Vaihteiston huohottimen puhdistus

3. Moottorin laakerien voitelu
4. Yleistarkastus kaikille putkille ja liitoksille

Laakerien voitelussa noudatetaan sähkömoottorin valmistajan ohjeita.

6.1.3 Vuosittainen tai 8000 käyttötunnin huolto

Valmistajan ohjeet 8000 käyttötunnin jälkeen, tai kerran vuodessa suoritettavaan huoltoon ovat:

1. Kompressoriöljynäytteen analysointi hapettumisen tai laadun olennaisen huonontumisen varalta tai öljyn vaihto
2. Imuilman suodattimien tarkastus ja tarvittaessa vaihto
3. Korkeapainevaroventtiilien ja välijäähdyttimen varoventtiilien koestus
4. Sähköliitännöiden ja moottorin katkaisimien toiminnan tarkastus
5. Väli- ja jälkijäähdyttimen uimuriventtiilien tarkastus ja puhdistus
6. Moottorin ja kompressorin ulkopintojen sekä moottorin jäähdytysaukkojen puhdistus
7. Puristuselementin tasapainotusmäntien kumikalvojen tarkastus
8. Kevennysventtiilin kalvon vaihto
9. Vastaventtiilin tarkastus
10. Öljynpaineen, puhalluspaineen ja ilman lämpötilan valvontalaitteiden koestus
11. Jäähdyttimien jäähdytystehon tarkastus
12. Elementtien puristussuhteen mittaaminen
13. Moottorin linjauksen tarkistus, kytkimen kumiholkkien tarkastus ja tarvittaessa vaihto
14. Käyttöhammaspyörien välysten tarkastus
15. Jäähdyttimien koeponnistus

6.1.4 Huolto neljän vuoden välein

Joka neljännen käyttövuoden jälkeen tulisi suorittaa seuraavat huoltotoimenpiteet:

1. Kevennyssylinterin kannen osien tarkastus, kumikalvojen ja O-renkaiden vaihto
2. Jos yksikköä on käytetty lähes keskeytyksettä: Puristuselementtien vaihto, öljypumpun huolto ja käyttöakselien laakerien vaihto
3. Jos yksikköä on käytetty vain yhdessä vuorossa: Öljypumpun kunnan tarkistus, puristussuhdemittaukset ja tarvittaessa elementtien vaihto, sekä tasapainotusmäntien kumikalvojen vaihto

6.2 TVO:n huolto-ohjelma

Atlas Copcon ennakkohuolto-ohjeet ja TVO:n suorittama ennakkohuolto poikkeavat jonkin verran toisistaan. Atlas Copcon ohjeet on suunnattu tilanteeseen, jossa yhtä kompressoria ajetaan lähes jatkuvasti. TVO:lla yhdellä laitousyksiköllä on kaksi kompressoriyksikköä, joita ajetaan vuorottain, toisen ollessa varalla. Ajovuoron vaihtoväli on yksi kuukausi.

Huoltovälien määrittämisen lähtökohdaksi on laitteen kunnossapitoluokka, sekä laitteen valmistajan suositukset. Myös laitteen käyttötapa ja -olosuhteet vaikuttavat huoltojen suunnitteluun. Huoltovälejä pyritään käyttö- ja huoltokokemusten perusteella jatkuvasti optimoimaan, varmistamalla samalla laitteen turvallinen käyttö. (Puisto 2008, 5)

TVO:lla suoritettava ennakkohuolto-ohjelma on yhdistelmä kalenteriperustaista huoltoa ja kunnonvalvontaan perustuvaa huoltoa. Atlas Copcon huolto-ohjeissa mainitut käyttösuureiden seuraamiset on hoidettu antureilla, jolloin laitteiston epäkäytettävyydestä saadaan tieto valvomoon.

Pienemmät vikakorjaukset ja vuosihuollot hoidetaan pääasiassa TVO:n omalla henkilöstöllä. Isommat korjaukset, perushuollot sekä puristuselementtien vaihdot tilataan Atlas Copcolta.

KUPI-laitostietojärjestelmässä 753Q1- ja 753Q2 -kompressoreille on merkitty aktiiviseksi seuraavat ennakkohuolto- ja määräaikaistehtävät: (KUPI 2010)

Taulukko 10. 753Q1- ja 753Q2-kompressorien ennakkohuolto- ja määräaikaistehtävät

Tehtävän nimi	Aikaväli
Öljypinnan tarkastus	7 vrk
Vesitys	7 vrk
Voiteluaineen lisäys (moottorin laakerit)	26 vko
Määräaikaismittaus (värähtelymittaus)	2 kk
Kompressorin 4000 h huolto	2 v
Kompressorin 8000 h huolto	2 v
Elementtien vaihto ja huolto	Tarvittaessa / Vikailmoituksella
Sähkömoottorin vaihto / huolto	Tarvittaessa
ALG-katkaisijan huolto	2 v
ALG-katkaisijan vaihto	8 v

6.2.1 Kompressoriyksiköiden vuosihuollot

Kompressoriyksiköiden vuosihuollot on nimetty KUPI-järjestelmässä Atlas Copcon huolto-ohjeiden mukaan 4000 ja 8000 käyttötunnin huolloiksi, vaikka ne suoritetaan kalenteriperustaisesti, huolimatta kompressorin todellisista käyttötunneista. Huollot suoritetaan vuorovuosittain. Lukuun ottamatta ALG-katkaisija tarkastusta, 4000 käyttötunnin huolto käsittää vain mekaanisia kohtia, ja 8000 käyttötunnin huolto sisältää mekaanisten tehtävien lisäksi myös automaatio- ja sähkötöitä. (KUPI 2010)

Vuosihuollot 4000 ja 8000 käyttötunnille ovat seuraavilta osin samat:

- öljynvaihto
- öljynsuodattimen vaihto

- imuilmansuodattimen tarkastus ja puhdistus sekä tarvittaessa vaihto
- moottorin jäähdytysaukkojen puhdistus
- yleistarkastus, kattaa mm. huoltoilmaisimen putkiliitokset
- kevennysventtiilien kalvojen vaihto ja kalvopesän puhdistus
- ALG-katkaisijan tarkastus

Laajempi, 8000 käyttötunnin huolto, sisältää ALG-katkaisijan huollon ja antureiden kalibrointeja. ALG-katkaisija vaihdetaan 8 vuoden välein. (KUPI 2010)

6.2.2 Mittaava kunnonvalvonta

Kompressorien puristuselementtien, öljypumpun ja sähkömoottorin kuntoa valvotaan määräaikaikaisilla värähtelymittauksilla. Mittaukset tilastoidaan, ja tuloksia seurataan, jotta voidaan havaita mahdolliset piilevät viat ajoissa. Värähtelymittaukset suoritetaan 2 kuukauden välein.

Väriinäkäyttäytymisen huomio-, hälytys- ja korjausrajat on määritelty 753-kompressoreille valmistajan suositusten ja ISO 10816-3 standardin mukaan. Värähtelymittaukset tuottavat jonkin verran vertailuongelmia TVO:n ja Atlas Copcon välillä, koska Atlas Copco käyttää omissa mittauksissaan iskusysäysmittausta (SPM). Raja-arvot ovat standardin, Atlas Copcon suositusten ja TVO:n mittaustapojen kompromissi. TVO:lla mitattava suure on värähtelynopeuden tehollisarvo RMS (mm/s) 10–1000 Hz taajuusalueella.

- Huomioraja 8 mm/s
- Hälytysraja 10 mm/s
- Korjausraja 12,5 mm/s

Mitattavia pisteitä on yhteensä 24 (12 kohdetta, pysty- ja vaakasuunta).

- Sähkömoottori, tuulettimen puoli
- Sähkömoottori, kytkimen puoli
- Matalapaine-elementti, vapaapää yläosa
- Matalapaine-elementti, vapaapää alaosa

- Matalapaine-elementti, kytkinpää yläosa
- Matalapaine-elementti, kytkinpää alaosa
- Korkeapaine-elementti, vapaapää yläosa
- Korkeapaine-elementti, vapaapää alaosa
- Korkeapaine-elementti, kytkinpää yläosa
- Korkeapaine-elementti, kytkinpää alaosa
- Öljypumppu vapaapää
- Öljypumppu kytkimen puoli

6.2.3 Muu kunnonvalvonta

Voimalaitoksen käyttö tarkastaa kompressorin öljypinnan ja suorittaa vesityksen viikoittain, sekä tekee kompressorille samalla silmämääräistä kunnonvalvontaa (havainnot, ääni). Sähkömoottorin laakereihin lisätään voiteluainetta 26 viikon välein, ja samalla kunnossapitohenkilöstö suorittaa laitteelle silmämääräistä kunnonvalvontaa.

Valvomotoimenpiteenä tehty kunnonvalvonta on 753-painelinjan paineen jatkuva seuraaminen.

Öljypinnan tarkastus, vesitys, laakereiden voitelu ja määräaikaismittaukset hallinnoidaan ENKKU-tietojärjestelmästä käsin. Työn suorittaja raportoi tehdyn ennakko-huoltotehtävän, ns. "kiertolistan", ENKKU-tietojärjestelmään.

Paineastioille tehdään laitosyksikön vuosihuollon yhteydessä sisäpuoliset tarkastukset tai painekokeet 4 vuoden välein.

6.2.4 Huolto-ohje

Dieselvarmentamattoman paineilmajärjestelmän kompressorien huollosta ei ole erillistä ohjetta TVO:n OlkiDoc-järjestelmässä. Vuosihuollot suoritetaan useimmiten pelkästään työluvan suoritusohjeen perusteella ja TVO:n tekemiin vikakorjauksiin käytetään usein Atlas Copcon ohjekirjoja. Vaativimmat huollot, kuten puristusele-

menttien vaihdot ja perushuollot, hoitaa Atlas Copcon asentaja. Huolto-ohjeen yhtenäistäminen ja päivittäminen on suositeltavaa.

6.2.5 Kunnossapitoanalyysi

Järjestelmän kunnossapitoanalyysia ylläpidetään KUPI-järjestelmässä. Kunnossapitoanalyysi sisältää mm. tyypilliset toiminnallisuuden viat, niiden havaitsemisen ja estämisen, vioittumistavat, vaikutukset, arvioidut vikaantumisvälit ja karkeat korjauskustannukset. Kunnossapitoanalyysin avulla kehitetään ja ylläpidetään kunnonvalvontaa, määräaikaistoestuksia, tarkastus- ja ennakkohuoltotoimenpiteitä. Sen avulla voidaan myös varautua suunnitellun ohjelman toteuttamiseen. Kunnossapitoanalyysi perustuu enimmäkseen käyttö- ja huoltokokemuksiin.

Kunnossapitoanalyysiin on sisällytetty seuraavat merkittävät toiminnalliset viat

- Kevennysventtiilin kalvo puhki
- Katkaisijan vika
- Vuotava liitin
- Vuotava jäähdytin
- Vika ohjausjärjestelmässä
- Elementin vaurio

6.3 Ennakkohuoltohistoria

Vertailua varten tietojärjestelmistä haettiin suoritettut ennakkohuoltotehtävät. TTJ-järjestelmän ennakkohuoltohistoria sisältää ennakkohuoltotyöt vuodesta 1997 lähtien. Ennakkohuoltotyöt ovat pääasiassa kompressorin vuosihuoltoja ja niihin liittyviä koestuksia sekä tarkastuksia. Joukossa on kuitenkin joitain kunnonvalvonnan keinoin havaittuja ennakkohuoltotöinä tehtyjä alkavien vikojen korjauksia, jotka eivät ole ehtineet vaikuttamaan vielä järjestelmän toimintaan. Tällaisia töitä ovat mm. puristuselementtien, sähkömoottorin tai vaihteiston laakeriston ja varoventtiilien vaihdot. Ennakkohuoltotöistä koottiin lista, jota voitiin verrata vikahistoriaan ja ennakkohuol-

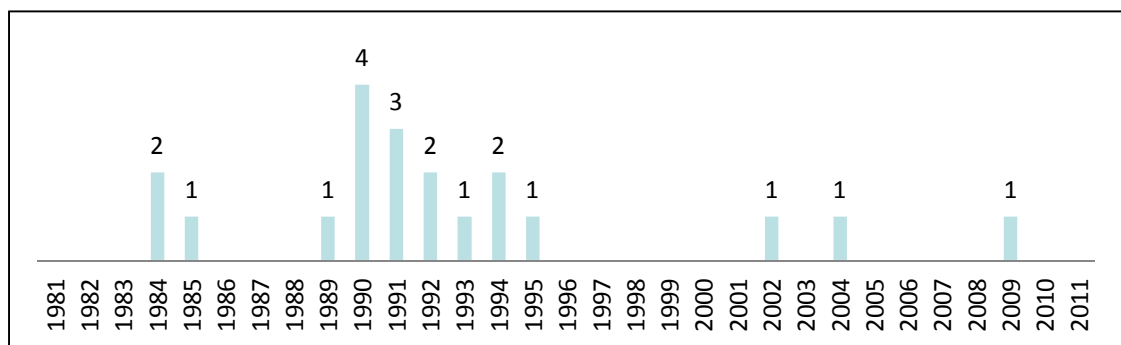
to-ohjelmaan. Myös ennakkohuoltotöiden työ- ja materiaalikustannukset selvitettiin (luku 9.2.1).

6.4 Ennakkohuolto-ohjelman arviointi sekä vertailu vikahistoriaan

Vika- ja huoltohistoriaselvityksistä saatuja tietoja verrattiin nykyiseen ennakkohuolto-ohjelmaan. Vertailujen perusteella esitettiin ehdotukset ennakkohuoltokonseptin kehittämistä osajärjestelmäkohtaisesti.

6.4.1 Kevennysjärjestelmä

Kompressoriyksikön vikaantumisherkimpiä osia ovat kevennysjärjestelmän venttiilien kalvot (20 vikaraporttia kaikilta kompressoriyksiköiltä vuosina 1981–2011).



Kuvio 12. Kevennysjärjestelmän kalvojen vikaraportit, vuodet 1981–2011.

Kalvojen vikaantuminen on ollut erityisen runsasta 1990-luvun alussa, mutta vuoden 1995 jälkeen on ollut vain 3 kevennysventtiilin kalvon vikaantumisesta johtuvaa vikaraporttia. Nykyisessä ennakkohuolto-ohjelmassa kevennysjärjestelmän venttiilien kalvot vaihdetaan ja kalvopesät puhdistetaan jokaisen vuosihuollon yhteydessä. Kalvot vaihdetaan aina myös, mikäli jokin kalvon sisältävä järjestelmän osa avataan muuta huoltoa varten.

Toinen kevennysjärjestelmän vikatyyppejä on imuilman kuristusventtiilin viat. Viat voidaan jakaa toimilaitteen laakerin juuttumisen ja imuilman kumipalkeen vikoihin. Kumipalkeen vaihto kuuluu kompressorin vuosihuoltoon. Kumipalje ei ole vikaantunut merkittävästi kompressorien käyttöjakson aikana (4 kertaa 30 vuodessa). Laake-

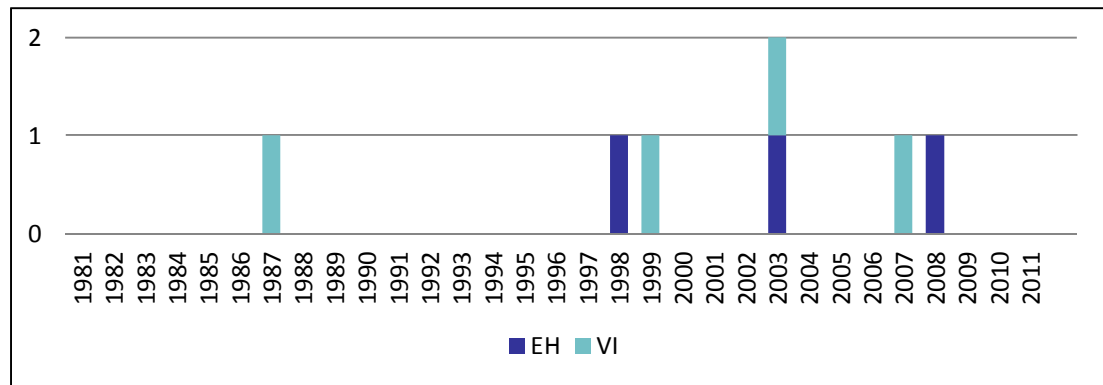
rin huolto ei kuulu ennakkohuollon piiriin, ja vikaantuminen on harvinaista (2 vika-raporttia 30 vuoden ajalta).

Nykyinen ennakkohuolto-ohjelma kattaa hyvin kevennysjärjestelmän vikaantuvat kohteet, eikä se vaadi välittömiä muutoksia. KUPI:n kunnossapitoanalyysin arvioitu vikaväli on 2,5 vuotta. Kevennysjärjestelmän kumiosia tulisi kuitenkin tutkia tarkemmin, ja selvittää, voidaanko satunnaiset kalvojen ja imuilman kuristusventtiilin kumipalkeen rikkoutumiset estää kohtuullisin kustannuksin esimerkiksi käytettävän materiaalin vaihdolla tai muulla toimenpiteellä.

6.4.2 Puristuselementit

Puristuselementit ovat kustannuksiltaan kompressoriyksikön merkittävin varaosa, ja ne vaihdetaan vasta niiden vikaannuttua. Elementtien vaihdot suorittaa aina Atlas Copcon kompressoriasentaja. Kompressorin vaihteiston ja sähkömoottorin laakereille tehdään mittaavaa kunnonvalvontaa seuraamalla niiden värähtelytasoja. Värähtelymittaukset suoritetaan 2 kuukauden välein. Jos värähtelymittausten trendistä on selvästi havaittavissa tasojen nousua, muttei kuitenkaan vielä hälytys- tai korjausrajalle asti, voidaan puristuselementtien vaihto suorittaa ennakkohuoltona ennen laitteiston rikkoutumista. Kompressorin käyttöä voidaan tällöin vielä tarvittaessa jatkaa, jolloin voidaan keskittyä ajamaan pelkästään toista kompressoria ja siirretään vioittunut kompressori varalle. Tällöin työn suunnittelulle saadaan enemmän aikaa, ja saadaan ajoitettua elementtihuolto esimerkiksi vuosihuollon yhteyteen. Jos värähtelytasot ovat kuitenkin nousseet jo hälytys- tai korjausrajalle, katsotaan laitteiston jo vikaantuneen, ja vaihtotyö tehdään tällöin vikailmoituksella. KUPI:n kunnossapitoanalyysin mukainen arvioitu kiinnileikkautumisen vikaväli on 19,9 vuotta.

Seurantahistorian aikana (TTJ 1997–2011) 3 kompressoriin on vaihdettu ennakkohuoltotyönä puristuselementit (yhdestä tehty ensin vikailmoitus). Puristuselementit on vaihdettu vikailmoituksella vuosien 1981 ja 2011 välillä 4 kertaa.



Kuvio 13. Puristuselementtien vaihdot, ennakkohuoltotöinä (EH) ja vikailmoituksella (VI). Tarkastelussa tulee ottaa huomioon, että ennakkohuoltotöiden tiedot ovat saatavilla vasta vuodesta 1997 alkaen.

Taulukko 11. Puristuselementtien vaihdot, ennakkohuoltotöinä (EH) ja vikailmoituksella (VI). Tarkastelussa tulee ottaa huomioon, että ennakkohuoltotöiden tiedot ovat saatavilla vasta vuodesta 1997 alkaen.

Laitepaikka	pvm	Alkuperä	Vaihdetut elementit
1.753Q1	26.8.2002	EH	KP, MP
1.753Q2	17.3.1997	EH	KP
2.753Q1	25.6.2007	EH	KP, MP
2.753Q1	2.4.2007	VI	KP, MP
2.753Q2	15.2.2006	VI	KP
2.753Q2	17.8.2002	VI	MP
2.753Q2	3.6.1998	VI	KP, MP
2.753Q2	1.7.1986	VI	MP

Atlas Copcon huolto-ohjelmassa suositeltua elementtien puristussuhteen mittausta ei tehdä TVO:lla. Mittaavan kunnonvalvonnan on toistaiseksi todettu riittävän puristuselementtien kunnon ja suorituskyvyn seuraamiseksi.

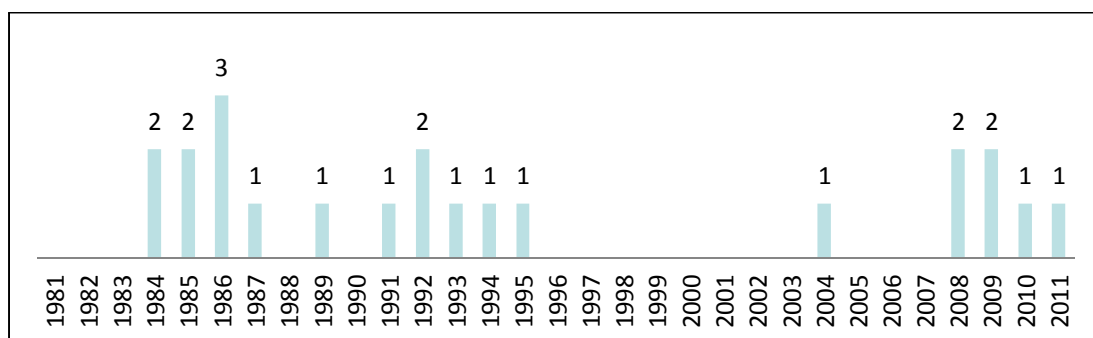
Puristuselementtejä pyritään vaihtamaan mahdollisimman vähän, niiden korkeiden vaihtokustannusten takia. Nykyistä ennakkohuolto-ohjelmaa ei ole syytä muuttaa elementtien huollon osalta. Puolet tarkastelluista puristuselementtien vaihdosta keskittyy kuitenkin viimeisen 10 vuoden ajalle. Jatkotoimenpiteenä, kehitystä on seurattava ja tarvittaessa arvioitava mittaavan kunnonvalvonnan ajoitukset uudelleen. Nykyisen ennakkohuolto-ohjelman 2 kuukauden väli määräaikaismittauksissa ei välttämättä ole riittävä vanhentuville kompressoreille. Myös jatkuvan värähtelymittauksen mahdollisuus on otettava tarkastelussa huomioon, sekä nykyisissä, että tulevaisuudessa uusittavissa kompressorisyksiköissä. Äkilliset kiinnileikkautumiset, joiden kehittymistä ei ole havaittu kunnonvalvonnan yhteydessä, aiheuttavat huomattavat kustannukset.

Kompressoriyksikköön 2.753Q2 on tehty elementtihuolto yhteensä 4 kertaa seurantahistorian aikana. Tämä on huomattavan paljon verrattuna 1.753-järjestelmän kompressoreihin, joihin elementtien vaihto on tehty vain yhden kerran kumpaankin yksikköön, nekin ennakkohuoltona. Vaikka 2.753-kompressorien vikamäärät ovat yleisesti alhaisempia, muodostavat toistuvat elementtihuollot helposti suuremmat kustannukset, kuin 1.753-kompressorien huolto. Kompressoriyksikön 2.753Q2 mahdolliset piilevät viat vaativat jatkoselvityksiä.

6.4.3 Lämmönvaihtimet

Lämmönvaihtimien viat ovat 91 %:ssa (20 vikaraporttia 22:sta) tapauksista vuotoja, jotka johtuvat lämmönvaihtimen putkien eroosiosta. Lämmönvaihtimet ovat suora-putkimallisia, ja niitä kuluttaa virtaavan veden vaikutus.

Lisäksi seurantahistorian ajalta on kirjattu yksi alkavaan korroosioon liittyvä vikaraportti, ja yksi lämmönvaihtimen tukkeutuminen. Jäähdytysjärjestelmän, eli 723-järjestelmän väliaine on täyssuolanpoistettua vettä, joka sisältää hydratsiinia. Korroosio ei ole merkittävä vikaryhmä hydratsiinin hapenpoistovaikutuksen vuoksi. Vedden laatua seurataan tarkasti. Normaalitylanteessa vedestä otetaan näyte viikoittain.



Kuvio 14. Vuosittaiset lämmönvaihtimien vikaraporttimäärät, kaikki kompressoriyksiköt.

Atlas Copcon huolto-ohjelmassa lämmönvaihtimien koeponnistukset on merkitty tehtäväksi 8000 käyttötunnin huollossa. TVO:lla koeponnistukset on päädytty tekemään 753-järjestelmän kaikille paineastioille 4 vuoden väliajoin laitosyksikön vuosi-huollon yhteydessä.

Lämmönvaihtimien vikaantuminen ei ole niin yleistä, että sen perusteella olisi syytä lisätä ennakkohuoltoa. KUPI:n kunnossapitoanalyysin mukaan putkien laskettu vikaantumisväli on 9,9 vuotta.

Uuden lämmönvaihtimen hankinta muodostaa aina merkittävät kustannukset, ja rikkoutuneet osat pyritään korjaamaan, esimerkiksi hitsaamalla tai tulppaamalla vaurioituneet putket, mikäli niitä ei ole paljoa. Lämmönvaihtimen viat ovat toiseksi suurin yksittäinen kustannusryhmä.

6.4.4 Vuodot, tukokset, kiinnitys- ja tiivisteviat

Voimalaitoksen käyttöhenkilöstö suorittaa silmämääräisen tarkistuksen liittimille ja pinnoille ennakkohuollon kiertolistan tehtävien (lämmönvaihtimien vesitys, öljypinnan tarkistus) yhteydessä.

Pulttien löystymisistä johtuneet viat on pääasiassa saatu pois kiinnittämällä huomiota työmenetelmiin. Muutamia tärinästä johtuvia liittimien ja yhteiden avautumisia on kuitenkin tapahtunut. Pienputkistot irrotetaan usein huoltotoimenpiteiden ajaksi, jolloin joudutaan avaamaan yhteitä ja liitoksia. Liittimet kuluvat tämän seurauksena, eikä niitä välttämättä pystytä enää kiristämään riittävästi.

Nykyinen kompressorin vuosihuollon suoritusohje sisältää kohdan "yleistarkastus (mm. huoltoilmaisimien putkiliitokset)". Ohjeen tulisi selvästi ohjeistaa tarkastamaan myös muiden liitosten ja yhteiden kiinnitys ja pitävyys. Huolto-ohjeen mahdollisen päivittämisen yhteydessä tulee huomioida liitoksien, yhteiden ja pienputkistojen tarkastettavat kohdat.

Tiivistevikoihin ei pystytä juuri vaikuttamaan. Käytetyt materiaalit on todettu riittäviksi käyttökohteisiin. Avaavaa ennakkohuoltoa ei ole syytä tehdä pelkästään tiivisteiden vaihdon takia. Yleensä, jos huolletaan jokin sellainen osa, jossa joudutaan poistamaan huollon ajaksi kulumiselle alttiita tiivisteitä, myös tiivisteet vaihdetaan vaikka ne tiivistäisivät vielä moitteettomasti.

6.4.5 Voitelujärjestelmä

Öljypumppua ei huolleta erikseen, vaan sen kuntoa valvotaan määräaikaismittauksilla. Vikamekanismit liittyvät yleensä laakereiden vikaantumiseen, joten tieto alkavasta vikaantumisesta saadaan yleensä ajoissa värähtelymittausten trendiä seuraamalla. Öljypumpun värähtelymittaukset suoritetaan elementtien ja sähkömoottorin mittausten yhteydessä. Mikäli puristuselementtien mittaavan kunnonvalvonnan ajoituksia päädytään tihentämään, tulee myös arvioida, tihennetäänkö öljypumpun ja sähkömoottorin mittauksia samalla.

Kunnossapitoanalyysiin yhdeksi merkittäväksi vioittumistavaksi on merkitty öljyvuoto, arvioidulla vikavälillä 14,9 vuotta. Öljypumpun vioittumista ei kuitenkaan ole sisällytetty kunnossapitoanalyysiin.

Atlas Copcon huolto-ohjelmassa öljyn vaihto tai analysointi laadun huononemisen varalta on sisällytetty 8000 käyttötunnin huoltoon. TVO:lla öljyt vaihdetaan 4000 ja 8000 käyttötunnin huoltojen yhteydessä.

Öljynvaihto suoritetaan aina myös elementtihuollon, tai muun merkittävän huollon yhteydessä, joka ei itsessään sisällä öljynvaihtoa.

6.5 Yhteenveto ennakkohuolto-ohjelman kehittämisestä

Ennakkohuolto-ohjelman ja vikahistorian vertailun perusteella esitetään seuraavat kehitys- ja seuraamisedotukset:

Taulukko 12. Yhteenveto vika- ja huoltohistorian sekä ennakkohuolto-ohjelman vertailun tuloksista osajärjestelmäkohtaisesti.

Osajärjestelmä / vikakohde	Kehittämis- / seuraamistarve
Kevennysjärjestelmä	Kumiosia tulee tutkia ja selvittää, ovatko satunnaiset vikaantumiset estettävissä kohtuullisin kustannuksin, esim. materiaalin vaihdolla.
Puristuselementit	Mittaavan kunnonvalvonnan ajoitusten arviointi. Erityisesti 2.753Q2:een on kiinnitettävä huomiota ja selvitettävä.
Lämmönvaihtimet	Ei kehittämistarvetta.
Vuodot, tukokset, kiinnitys- ja tiivisteviat	Pienputkistojen, liittimien ja yhteiden tarkastus yksityiskohtaisemmin huolto-ohjelmaan ja -ohjeeseen. Vaihtoehtoisesti pienputkistojen uusinta.
Voitelujärjestelmä	Mittaavan kunnonvalvonnan ajoitusten arviointi, mikäli puristuselementtien mitaavaa kunnonvalvontaa lisätään.

Lisäksi huolto-ohjelma suositellaan päivitettäväksi ja yhtenäistettäväksi.

7 VARAOSASELVITYS

7.1 Varastotilanne ja varaston arvo

Teollisuuden Voima Oyj:n varastolla on aina valmiina tietty määrä varaosia. Selvityksessä varaosien varmuusvarastomäärät, hyllyssä olevien varaosien määrä ja niiden arvo selvitettiin. Varmuusvarastomäärä on varaosamäärä, joka tulee olla hyllyssä mahdollisia vikakorjauksia varten. Varmuusvarastomäärän määrittäminen on kulusennusteen optimointia ja se on määritetty arvioimalla varaosien saatavuus ja vikakorjausten kiireellisyys. Mahdolliset vikakorjausten vaatimat varaosat tulee olla varastossa, tai ainakin saatavilla lyhyellä varoitusajalla.

Jos kompressoriyksiköt päädytään uusimaan, menetetään varaston arvo. Tätä varten varaosien hankintahinnat selvitettiin ja koko varaston arvo laskettiin. Tarkat kustannustiedot kirjattiin Teollisuuden Voima Oyj:n käyttöön jäävään raporttiin.

Useimmille, erityisesti kalleimmille varaosille (lämmönvaihtimien osat, öljypumppu) ei välttämättä löydetä korvaavaa käyttöä. Puristuselementtejä ei säilytetä eikä hankita TVO:n varastolle.

Kompressoriyksiköiden modernisointiprojektissa tulee huomioida varmuusvarastomäärien optimoiminen ottaen uusimisen ajankohta huomioon. Näin menetettävä varaston arvo saadaan minimoitua.

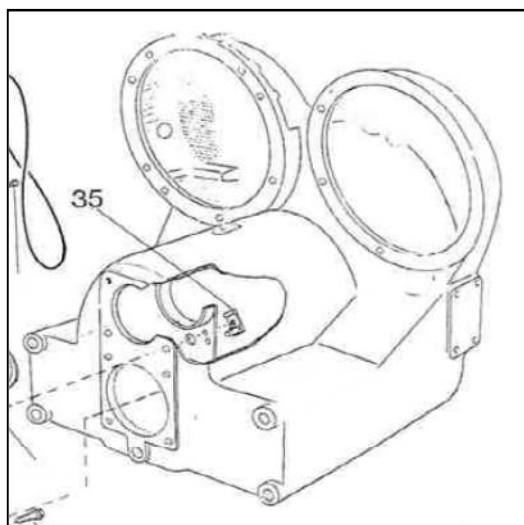
Toinen tapa, jolla varaston arvon menettämistä saadaan minimoitua, on myydä varaosat Ruotsiin. Ruotsin Forsmarkissa sijaitsee kaksi Olkiluoto 1- ja Olkiluoto 2 -laitoksien identtistä tytärlaitosta. Myös paineilmajärjestelmät ovat identtisiä. Mikäli kompressorit päädytään uusimaan, on syytä selvittää Forsmarkin kanta omien paineilmakompressoreidensa uusimiseen, ja voitaisiinko Olkiluodossa olevat varaosat myydä sinne.

7.2 Varaosien saatavuus

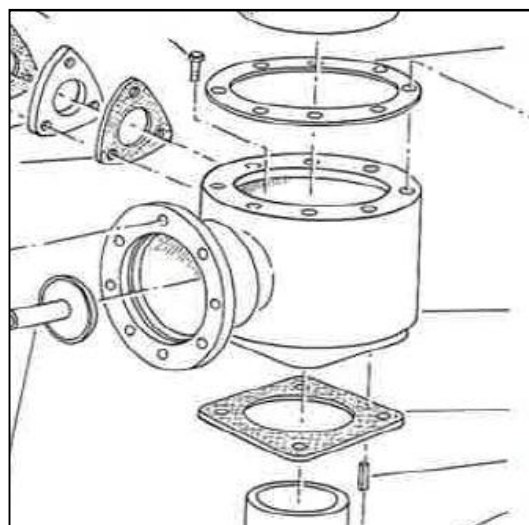
Atlas Copcolta tiedusteltiin varaosien saatavuutta nykyisiin ZR 4 A -tyypin kompressoreihin. Toimitettavat puristuselementit on jo vaihdettu korvaaviksi, ja niiden saatavuudesta ei tule muodostumaan ongelmaa. Puristuselementit ovat samankaltaisia Atlas Copcon nykyisin toimittamien uusien kompressorien elementtien kanssa, joten niiden saatavuus on turvattu. Vanhaan ZR 4 A -tyypin kompressoriin ei kuitenkaan ole saatavilla:

- Sähkömoottoria
- Vastaventtiilin pesää (korkeapaine-elementin jälkeinen vaimennin)
- Runkoa
- Levypakkakytä

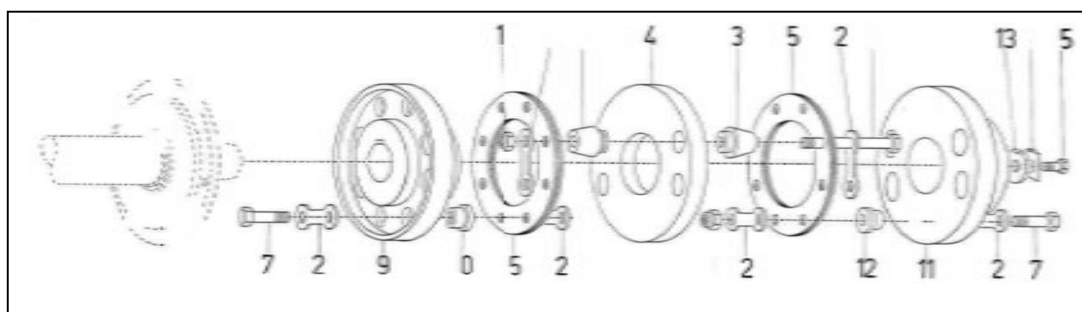
Toimittajan mukaan vastaventtiilin pesä on kuitenkin pystytty korvaamaan räätälöidyllä ratkaisulla.



Kuva 10. Runko (Spare parts list, 8)



Kuva 11. Vastaventtiilin pesä (Spare parts list, 44)



Kuva 12. Levypakkakytä (Spare parts list, 49)

8 JÄRJESTELMÄN TEKNINEN ELINIKÄ

8.1 Vikaantuminen ja aika

Laitteen elinikää ja vikaantumista voidaan yksinkertaisimmillaan kuvata ns. kylpyammeikäyrällä. Tässä vikaantumismallissa laitteessa esiintyy aluksi "uutuuden karheutta", jonka vaikutus vakiintuu sisäänajokauden jälkeen. Tietyn elinajan jälkeen laitteen vikaantumisen todennäköisyys kasvaa, loppua kohden yhä jyrkemmin, ja alkaa loppuun kuluminen tai hajoaminen. Aikaa, jona vikaantumisen todennäköisyys on tasainen, kutsutaan laitteen eliniäksi tai käyttökaudeksi (engl. service life).



Kuvio 15. Vikaantumismalli A (kylpyammeikäyrä).

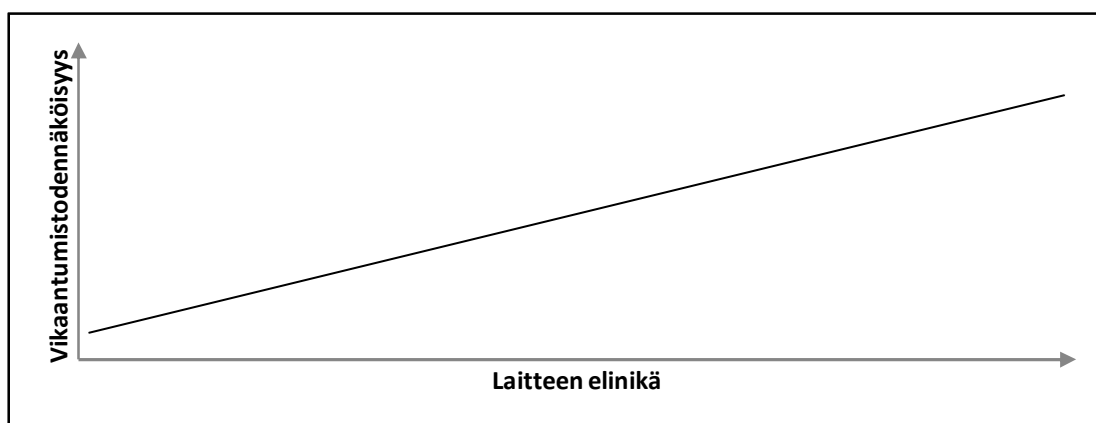
Amerikkalaiset Nolan ja Heap kyseenalaistivat kylpyammeikäyrän 1960-luvulla, koska kaikkea vikaantumista ei saatu sillä riittävän luotettavasti hallintaan. Vuonna 1978 julkaistussa tutkimuksessa Nolan ja Heap esittelivät kuusi toisistaan poikkeavaa vikaantumismallia, joista kolme perustui aikaan ja kolme satunnaiseen vikaantumiseen. Aikaan perustuvaa vikaantumista tarkastellessa voidaan käyttää joko perinteistä kylpyammeikäyrää (malli A), sen muunnosta, jossa sisäänajovaihetta ei esiinny (malli B), tai mallia, jossa vikaantuminen kasvaa tasaisesti laitteen koko eliniän ajan (malli C). Mallit on kehitetty alun perin lentokone-teollisuuden tarpeisiin, mutta sitä voidaan soveltaa luotettavasti myös muun teollisuuden tarpeisiin. (Järviö ym. 2007, 57)

Kylpyammeikäyrän mukaista vikataajuutta ajan funktiona käytetään teollisuudessa perusmallina usein, vaikka se toteutuu harvoin perusteorian mukaisena. Perusjaksot ovat kuitenkin sisäänajokausi, käyttökausi ja kulumiskausi. (Opetushallitus 2010)

Säännöllisesti huollettuna laitteiden elinkaaren voidaan olettaa noudattavan vikaantumismalleja riittävällä tarkkuudella.



Kuvio 16. Vikaantumismalli B. Vikaantuminen kasvaa eksponentiaalisesti laitteen eliniän lopussa.



Kuvio 17. Vikaantumismalli C. Vikaantuminen kasvaa lineaarisesti laitteen koko eliniän ajan.

Vikaantuminen voi olla myös satunnaista. Tätä kuvaavia malleja on kolme. Mallissa D vikaantuminen on alussa vähäistä, mutta se nousee nopeasti pysyvälle tasolle. Mallissa E vikaantumisen todennäköisyys on vakio koko laitteen eliniän ajan. Mallissa F laitteessa on sisäänajokautena paljon vikoja, mutta vikaantumisen todennäköisyys vakiintuu niiden jälkeen tasolle, jossa se pysyy laitteen lopun eliniän. (Järviö ym. 2007, 58)



Kuvio 18. Vikaantumismalli D.



Kuvio 19. Vikaantumismalli E.



Kuvio 20. Vikaantumismalli F.

Aikaan pohjautuvia vikaantumismalleja voidaan soveltaa yksinkertaisilla, sekä vanhemmilla laitteilla. Modernit laitteet ovat usein monimutkaisia, ja eri komponenttien vikaantumismallit yhdistyvät laitekokonaisuudessa usein vikaantumismalliksi F, jossa vikaantumisen todennäköisyys on vakio. (Järviö ym. 2007, 58)

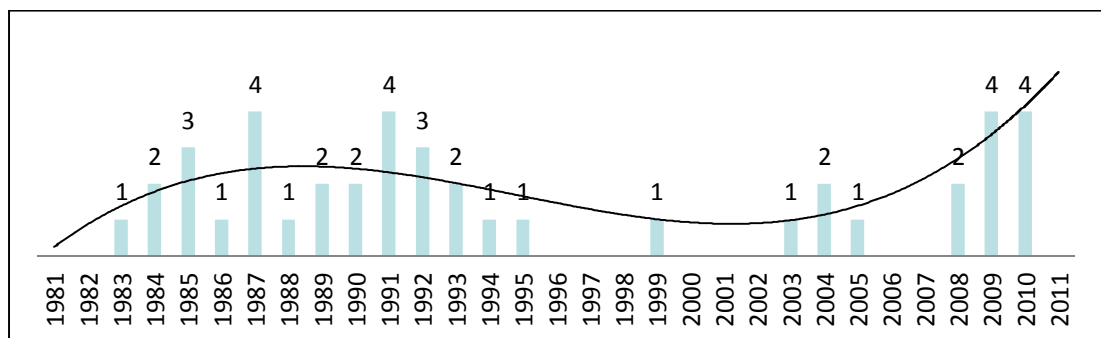
8.2 Kompressorien elinkaari

Kompressoriyksiköiden elinkaaren analysoimiseen käytettiin Nolanin ja Heapin vikaantumisen todennäköisyyden ja laitteen eliniän vikaantumismalleja.

Kaikkien kompressoriyksiköiden elinkaaren alussa on havaittavissa selviä yhtäläisyyksiä vikaantumismalli A:han, jossa laitteen käytön alkuvaiheessa esiintyy sisäänajovaihe, jolloin vikaantumisen todennäköisyys on keskimääräistä korkeampi. Sisäänajokauden vuosittaisten vikamäärien huippu (15 vikaraporttia) on kuitenkin vasta 7–9 vuotta käyttöönotosta. Sisäänajovaiheen jälkeen vikaantumisen todennäköisyys vakiintuu tietylle tasolle.

Koska laitokset ovat eri-ikäisiä (OL1 1978, OL2 1980), on järjestelmien vikamääriä tarkastellessa havaittavissa eroja. Vikaantumismalli A:n mukainen kulumiskausi on selvästi jo alkanut 1.753-järjestelmän kompressoriyksiköissä (Kuvio 22), kun taas 2.753-järjestelmässä siitä ei ole havaittavissa vielä niin selviä merkkejä (Kuvio 23).

Myös saman järjestelmän kompressoriyksiköiden vikamäärissä on havaittavissa eroja. Selvimmin kulumiskauden alkaminen on havaittavissa 1.753Q2-kompressoriyksikössä (Kuvio 21).



Kuvio 21. Kompressoriyksikön 1.753Q2 vuosittaiset vikamäärät. Trendiviivana 3. asteen polynomi.

Kun tarkastellaan 1.753-kompressoriyksiköiden vikamääriä, voidaan todeta vikamäärien vakiintuneen noin vuosina 1994–1995. Tämä tarkoittaa noin 15 vuoden sisäänajokautta. Kompressoriyksiköiden vikamäärät 1.753-järjestelmässä ovat pysyneet vuodet 1994–2008 suhteellisen vakiona (0–3 vikaa / vuosi). Käyttökauden pituus 1.753-kompressoreilla on noin 15 vuotta.

8.3 Jäljellä oleva käyttöikä

Tarkastellaan jäljellä olevaa käyttöikää soveltaen vikaantumismallia A, jossa laitteen elinkaaresta on tunnistettavissa sisäänajokausi, käyttökausi ja kulumiskausi. Laitteen voidaan katsoa olevan elinkaarensa lopussa silloin, kun vikaantumisen todennäköisyys on noussut uudelleen samalle huipputasolle, kuin se laitteen sisäänajokautena on ollut. Oletetaan, että vikaantumisen todennäköisyys käyttäytyy symmetrisesti sisäänajokautena ja loppuun kulumisen kautena. Tällöin tekninen elinikä saadaan arvioitua, kun tiedetään vikaantumisen huipun, vikamäärien vakiintumisen ja kulumiskauden alkamisen ajankohdat. Kulumiskauden pituus lasketaan vikaantumisen vakiintumisen ja huipun ajankohtien erotuksena. Järjestelmän vikatietojen perusteella kulumiskauden pituudeksi saadaan noin 7–9 vuotta. Vikaantumishuipun arviointi 2.753-järjestelmälle on sovellettu 1.753-järjestelmän laskujen perusteella huomioiden laitteistojen käyttöönottojen ajankohdat, koska 2.753-järjestelmässä selvää kulumiskauden alkamista ei ole vielä havaittavissa. Näiden laskujen perusteella järjestelmän järkeväksi tekniseksi käyttöikäksi saadaan noin 38 vuotta. Laitteisto on käyttökelpoinen vielä kulumisjakson vikaantumishuipun jälkeenkin, mutta sen käyttövarmuus kärsii, sekä korjauskustannukset kasvavat huomattavasti.

8.3.1 Olkiluoto 1 (1.753)

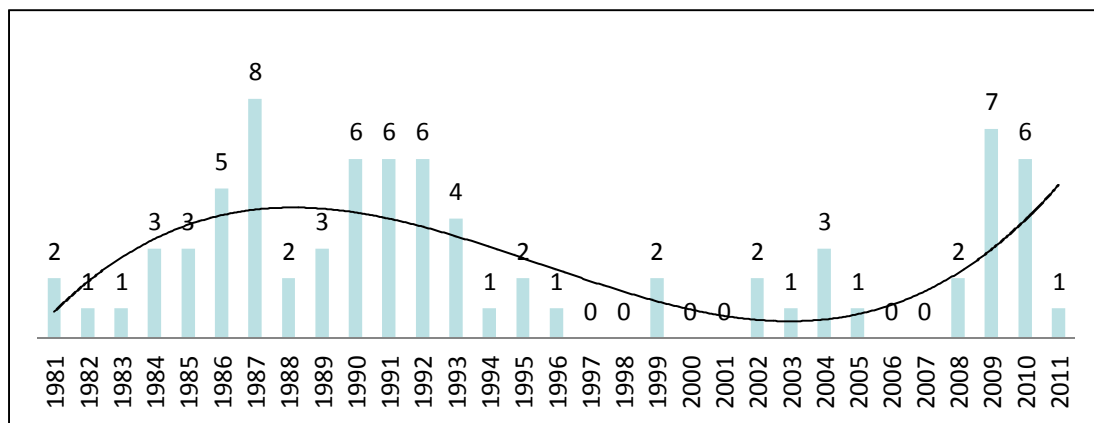
Käyttöönotto: 1978

Sisäänajokauden vikaantumishuippu: 1987

Vikaantumisen todennäköisyyden vakiintuminen: 1994

Kulumiskauden alkaminen: 2009

Arvioitu kulumiskauden vikaantumishuippu: 2016



Kuvio 22. Olkiluoto 1 -laitoksen 1.753-kompressoriyksiköiden vuosittaiset vikamäärät. Trendiviivana 3. asteen polynomi.

8.3.2 Olkiluoto 2 (2.753)

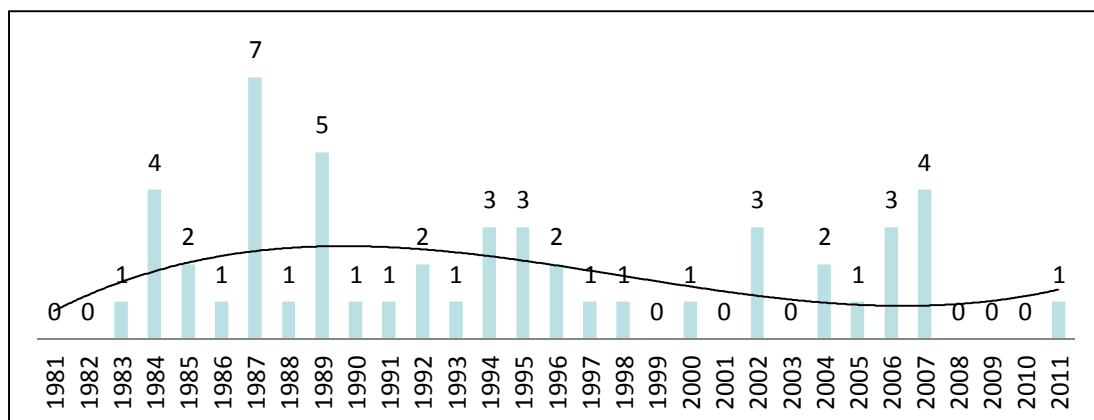
Käyttöönotto: 1980

Sisäänajokauden vikaantumishuippu: 1987

Vikaantumisen todennäköisyyden vakiintuminen: 1996

Kulumiskauden alkaminen: 2007 piikki, mutta muuten ei selvää vikaantumisen kasvua

Arvioitu kulumiskauden vikaantumishuippu: 2018



Kuvio 23. Olkiluoto 2 -laitoksen 2.753-kompressoriyksiköiden vuosittaiset vikamäärät. Trendiviivana 3. asteen polynomi.

8.3.3 Molempien järjestelmien tiedot yhdistettynä

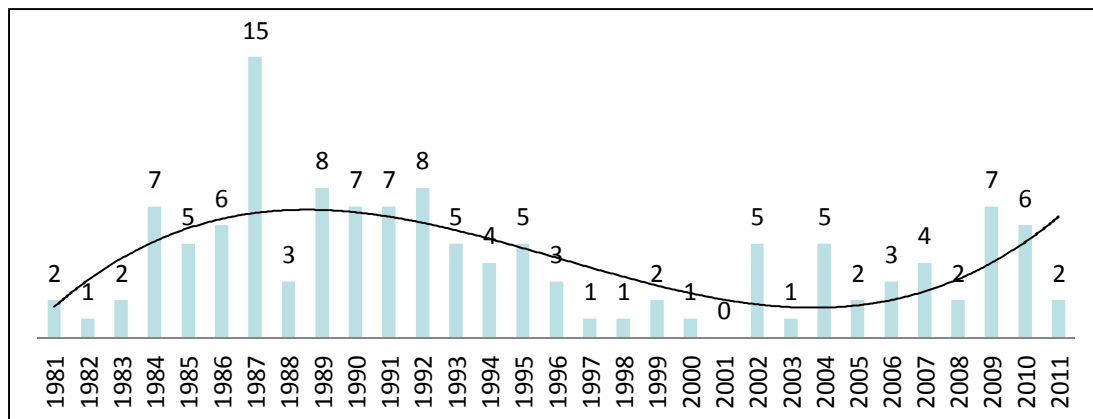
Käyttöönotto: 1978 ja 1980

Sisäänajokauden vikaantumishuippu: 1987

Vikaantumisen todennäköisyyden vakiintuminen: 1996

Kulumiskauden alkaminen: 2007

Arvioitu kulumiskauden vikaantumishuippu: 2016–2018



Kuvio 24. Kaikkien kompressoriyksiköiden vuosittaiset vikamäärät. Trendiviivana 3. asteen polynomi.

8.4 Kompressorien nykykunto

Tehdyt laskelmat ovat suuntaa antavia, ja on tärkeää huomioida, ettei tulevaisuuden vikataajuus ajan funktiona välttämättä käyttäydy edellä esitetyllä tavalla juuri tässä laitteistossa. Jaksojen intensiteetti ja kesto erityyppisillä laitteilla vaihtelee hyvin paljon (Opetushallitus 2010). Tärkeää on kuitenkin tiedostaa, että kulumiskausi, erityisesti 1.753-järjestelmän kompressoreilla, on jo alkanut.

Yhteenvetona voidaan sanoa:

- Olkiluoto 1 -laitoksen 753-kompressoreilla ollaan kulumiskauden alussa.
- Olkiluoto 2 -laitoksen 753-kompressorit ovat kaikkiaan paremmassa kunnossa, mutta lähivuosina on odotettavissa vikamäärien kasvua.

9 LAITTEISTON UUSIMINEN

9.1 Uusimisen ajankohta

Kompressoriyksiköiden uusinta tulisi ajoittaa vuosien 2016–2018 vuosihuoltoihin niin, että 1.753-järjestelmän yksiköt uusittaisiin ensin, ja 2.753-järjestelmän yksiköt viimeistään 2 vuoden kuluttua tästä.

9.2 Kustannukset ja saavutettavat säästöt

Nykyisen laitteiston kustannuksista, sekä uuden laitteiston kustannuksista laadittiin vertailukelpoiset laskelmat. Tarkat kustannustiedot ovat luottamuksellisia, ja niistä koottiin erillinen, pelkästään Teollisuuden Voima Oyj:n käyttöön jäävä raportti.

9.2.1 Nykyisen laitteiston kustannukset

Kustannuksista laadittiin kattavat laskelmat, josta kävi ilmi ennakkohuoltotöiden, vikakorjausten, sekä varaosien osuudet ja määrät 10 vuoden ajalta. Kustannukset eivät seuraa niinkään laitteiston koko vikamääriä, vaan merkittävimmät kustannukset muodostuvat puristuselementtien ja lämmönvaihtimien vikaantumisista.

9.2.2 Uuden laitteiston kustannukset

Työhön kuului alustavien budjettitarjousten pyytäminen valituilta kompressoritoimitajilta. Alustavien budjettitarjousten ja nykyisten kustannusten perusteella laskettiin saavutettavat säästöt ja takaisinmaksuajat.

Pelkästään huoltokustannuksien ja uusien, kehittyneempien sähkömoottoreiden (perinteinen oikosulkumoottori) tuoman säästön perusteella laskettu takaisinmaksuaika on yli 10 vuotta, eikä tällainen investointi kannata teollisuudessa, jossa pelkkien säästöjen perusteella pyritään yleensä 3–5 vuoden takaisinmaksuajoihin.

Tässä tapauksessa investointi on kuitenkin tehtävä turvallisuus- ja käyttövarmuusnäkökulmista. Vanheneva laitteisto tuo omat rajoitteensa, kuten vikaantumisen todennäköisyyden kasvun ja yleisen käyttövarmuuden heikkenemisen. Uusimalla laitteisto nopealla aikataululla saavutetaan myös modernin laitteiston energiatehokkuuden tuomat säästöt hyvällä aikavälillä suhteessa ydinvoimalaitoksen jäljellä olevaan käyttöikään.

9.3 Tekniset vaihtoehdot

Opinnäytetyötä aloitettaessa esillä oli paineilmajärjestelmän kompressoriyksiköiden tekninen toteutus, jossa yksi pienehkö kompressori kävisi peruskuormana normaalissa käyttötilanteessa, kahden isomman ollessa reservissä. Näistä kahdesta isommasta yksi olisi ensisijaisena varakompressorina, ja toinen toissijaisena, vuoron vaihtuessa määrääjain. Kompressorihuoneen tila on kuitenkin rajallinen, eikä sinne mahdu välttämättä kolmatta kompressoria, ja sopivan paikan löytäminen sille saattaa osoittautua hankalaksi.

Atlas Copco suoritti viikon mittaiset mittaukset paineilman kulutuksesta nykyisillä kompressoreilla opinnäytetyön tekemisen aikana. Mittausten tulokset ehdittiin kuitenkin käymään läpi vasta muutama päivä ennen suunniteltua opinnäytetyön raportin palauttamista, joten tuloksia ei ehditty analysoida eikä soveltamaan tässä raportissa tarkemmin. Lisäksi kulutuksen analysointi ei kuulunut tämän opinnäytetyön alkuperäiseen tehtävänantoon. Suosittelen kuitenkin, että paineilman kulutuksesta laaditaan kattavat mittaukset. Mahdollinen pysyvän mittauksen mahdollisuus on myös otettava huomioon.

Pienen kompressorin mielekkyyden arviointia varten paineilman kulutus tulisi mitata vuosihuollon aikana, sekä pitemmältä ajanjaksolta, missä nähdään äkillisten paineilman kulutuksien piikit (mm. suodattimien vastavirtahuuhtelut), niin että kulutuspiikit voidaan yhdistää tiettyyn tapahtumaan. Suosittelen, että kompressoriyksikköjen paineilman tuotto mitataan vuosihuollossa 2013, sekä pitemmältä tehoajon jaksolta.

Lisäksi kompressoritoimittajien tarjousten ja nykyisen tilanteen haluttiin olevan mahdollisimman vertailukelpoisia, joten tarjoukset pyydettiin korvaavista kompressoriyksiköistä. Lisäksi periaatteena on, että ydinvoimalaitoksen komponentteja uusittaessa pyritään korvaamaan vanhat komponentit mahdollisimman samankaltaisilla ratkaisuilla.

9.4 Suunnittelu

Teollisuuden Voima Oyj:llä muutostyöprojektit ovat raskaita ja pitkiä prosesseja verrattuna muuhun teollisuuteen, johtuen ydinenergian tuotannon luonteesta. Prosessi sisältää useita suunnitteluvaiheita, tarkastuskierroksia ja hyväksymisiä. Jotta päästäisiin uusimaan kompressoriyksiköt esitetyllä aikataululla, muutostyön suunnittelu tulisi aloittaa jo nyt.

9.5 Huomioitavat yksityiskohdat

Kompressoriyksiköiden uusimisen suunnittelussa on huomioitava muutamia asioita, joihin tämä työ ei ota tarkemmin kantaa. Näitä ovat mm.

- Jälkijäähdyttimien E5 ja E6 tarpeellisuus, riippuen uusien kompressoriyksikköjen lähtevän paineilman lämpötilasta
- Konepetien mitat
- Pitkäaikaiset paineilman kulutusmittaukset kolmannen, peruskuormana käyvän pienen kompressorin mahdollisuutta varten
- Mittausten tulee sisältää myös vuosihuoltojen aikainen paineilman kulutus

10 YHTEENVETO

Työn selvitysoisuuden valmistuttua esittelin tulokset kunnossapitotoimiston kokouksessa. Tätä varten laadin PowerPoint -esityksen, jossa esitin yhteenvedot ja tulokset työn jokaisesta osa-alueesta.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että dieselvarmentamatonta paineilmajärjestelmää, eli 753-järjestelmää, täytyy joka tapauksessa kehittää. Kehittäminen voi tapahtua kahdella tavalla:

- Osajärjestelmien kehitysehdotusten toteuttamisella, tai
- Kompessoriyksiköiden uusinnalla

10.1 Vikakategoriat, ennakkohuolto ja kehitysehdotukset

Selvitystyön valmistuttua arvioin ja vertailin vika- ja huoltohistoriaselvityksestä, sekä ennakkohuolto-ohjelman ja -töiden selvityksistä saatuja tietoja. Myöhemmin lisäsin tähän vielä töistä ja varaosista aiheutuneet kustannustiedot, sekä järjestelmän eliniän arvioinnista saadut tulokset. Koostin tästä yhteenvedon nykyisen laitteiston kehittämiseksi osajärjestelmäkohtaisesti.

10.1.1 Kevennysjärjestelmä

Kevennysjärjestelmän merkittävimpana vikaryhmänä ovat olleet kalvojen rikkoutumiset. Niitä ei kuitenkaan ole enää viime vuosina ollut paljoa (3 vikaa viimeisen 15 vuoden aikana). Kevennysjärjestelmän vikojen kehitys noudattaa kuitenkin kylpyammekäyrää, jossa kulumiskauden alku on havaittavissa. Mikäli kalvoille on olemassa korvaava, kestävämpi materiaali, tulee sen käyttöönottoa harkita. Kalvot eivät kuitenkaan muodosta merkittäviä kustannuksia, joten yksittäisenä tutkimustyönä kalvojen materiaalin vaihtamisen selvitystä ei ole järkevä tehdä.

10.1.2 Jäähdytysjärjestelmä

Jäähdytysjärjestelmän merkittävin vikaantuva komponentti on jälkijäähdytin. Jälki- ja välijäähdytin ovat putkilämmönvaihtimia, joiden putket kuluvat virtaavan veden vaikutuksesta. Korroosiota tai tukkeutumia ei ole käytännössä esiintynyt muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Vikamäärien kehitys noudattaa kylpyammekäyrää. Lämmönvaihtimet ovat kustannuksiltaan toiseksi merkittävin vikaryhmä, ja niitä on syytä korjata niin kauan kuin mahdollista. Lämmönvaihtimen kuluessa loppuun se uusitaan. Tämän hetkiseen tilanteeseen ei pystytä vaikuttamaan muuttamalla kunnossapidon toimintatapoja.

10.1.3 Puristuselementit

Puristuselementtien vikaantuminen on ollut verrattain yleistä 2.753Q2 kompressorilla. On mahdollista, että 2.753Q2 on vaurioitunut piilevästi vuoden 1986 matalapaine-elementin laakerivaurion seurauksena, jolloin voiteluöljyyn joutui huomattavasti laakerimetallia. Tarkkaa tietoa 1986 vuoden laakerivauriosta ei kuitenkaan ole saatavilla.

Puristuselementtien viat muodostavat kustannuksiltaan suurimman vikaryhmän. Kompressoriyksikön 2.753Q2 puristuselementit ovat ainoat, jotka ovat ehtineet leikkaamaan kiinni käytön aikana. Muiden kompressoriyksikköjen puristuselementtien vikaantuminen on huomattu ajoissa mittaavan kunnonvalvonnan keinoin. Vanheneville kompressoreille ei nykyinen 2 kuukauden väliaika värähtelymittauksissa kuitenkaan ole välttämättä tarpeeksi. Kehitystä on seurattava, ja tarvittaessa arvioitava mittaavan kunnonvalvonnan ajoitukset uudelleen. Kompressoriyksikön 2.753Q2 vikaantumisiin tulee kiinnittää erityistä huomiota, ja selvitettävä mahdollisuuksien mukaan siinä olevia piileviä vikoja, mitkä aiheuttavat elementtien vaurioita.

10.1.4 Tiiviys

Merkittävä nykyinen tiiviiden vika on liittimien ja yhteiden avautuminen. Pienputkistot ovat vanhoja ja niiden liittimet on avattu useasti huollon yhteydessä. Tämä ku-

luttaa liittimiä, eivätkä ne enää pidä. Pienputkistojen ja liittimien uusintaa tulee har-
kita.

Kompressorin vuosihuollon suoritusohjeessa on kohta "yleistarkastus (mm. huol-
toilmaisimen putkiliitokset)". Suoritusohjeessa tulisi selkeämmin mainita tarkistetta-
vat liitokset ja pienputkistojen kohdat, jotta voidaan varmistua niiden pitävyydestä.

Muut tiiviyteen liittyvät viat (tiivisteviat, tukokset, vuodot ja pulttien avautumiset)
eivät muodosta viimeisen 10 vuoden aikana merkittävää ryhmää, tai ennakkohoolto
pitää niiden luotettavuuden riittävällä tasolla.

10.1.5 Voitelujärjestelmä

Öljypumpun viat eivät muodosta merkittävää vikaryhmää. Öljypumppu on vikaantu-
nut seurantahistorian aikana yhteensä 4 kertaa. Vaikka öljypumpun viat eivät ole
merkittävä vikaryhmä, tulee mittaavan kunnonvalvonnan ajoitukset arvioida, mikäli
puristuselementtien mittaussväliä päätetään tihentää.

10.1.6 Sähkö- ja automaatiojärjestelmät

Sähkö- ja automaatioviat ovat pääasiassa relevikoja, sekä antureiden raja-arvojen
ryökimisiä. Sähkömoottori on toimintavarma, mutta mikäli puristuselementtien vä-
rinämittauksien väliaikaa päätetään tihentää, tulee myös sähkömoottorin mittauksen
ajoitukset arvioida.

10.1.7 Huolto-ohje

Kompressorien huolloille ei ole olemassa yhtä yhtenäistä huolto-ohjetta OlkiDoc-
järjestelmässä. Osa huolloista tehdään pelkästään työluvan suoritusohjeen perusteella
(esim. vuosihuollot) ja osa huolto-ohjeista saadaan Atlas Copcon käsikirjoista. Suo-
sittelen, että 753-kompressoreille laaditaan TVO:n huolto-ohjeen laadinnan mukai-
nen yhtenäinen ohje OlkiDoc-järjestelmään.

10.2 Varaosaselvitys

Varaosaselvityksessä selvitin varmuusvarastomäärät, hyllyssä olevat varaosat, sekä varaston kokonaisarvo. Mikäli kompressorit päätetään uusiksi, tulee varmuusvarastomääriä optimoida niin, että varaosat tulevat käytetyksi uusimisajankohtaan mennessä. Toinen tapa minimoida varaston arvon menettämisestä muodostuvaa tappiota, on selvittää varaosien myymistä Ruotsiin Forsmarkin ydinvoimalaitoksille.

Selvitin varaosien saatavuudet Atlas Copcolta. Ruuvielementtejä on vielä saatavilla, mutta levypakkakytkintä, vastaventtiilin pesää, runkoa ja sähkömoottoria ei saada enää tilattua. Räätelöityjä ratkaisuja on kuitenkin mahdollista toteuttaa (esim. vastaventtiilin pesään), mutta ne ovat kalliita ja hitaita prosesseja. Tällöin vikaantuneelle kompressoriyksikölle saattaa tulla hyvinkin pitkä epäkäytettävyyden kausi.

10.3 Tekninen elinikä

Laitteiston teknistä elinikää arvioin Nolanin ja Heapin vikaantumismallilla (kylpyammekäyrä). Vikamäärien kehitystä vuositasolla tarkasteltaessa on selvää, että vikamäärät noudattavat kyseistä vikaantumismallia. Sisäänajokausi, käyttökausi ja kulumiskauden alkaminen ovat helposti tunnistettavissa laatimiani kuvia tarkastelemalla. Määritin laitteiston elinkaaren loppumaan ajankohtaan, jolloin vikaantumisen todennäköisyys on noussut samalle tasolle kuin sisäänajokauden vikaantumishuippuna. Tarkat laskut ja kausien ajankohdat ovat kappaleessa 8.3, mutta yhteenvetona voidaan todeta:

- Olkiluoto 1 -laitoksen kompressorit ovat selvemmin kulumiskauden alussa kuin Olkiluoto 2 -laitoksen kompressorit, mutta kaikkien kompressorien tietoja tarkasteltaessa kulumiskauden alku on havaittavissa selvästi
- Dieselvarmentamattoman paineilmajärjestelmän kompressorien tekninen elinikä on noin 38 vuotta
- Kulumiskauden vikaantumishuippu tulee olemaan arviolta vuosina 2016–2018

- Laitteisto pysyy käytettävänä vikaantumishuipun jälkeenkin, mutta huoltokustannukset kasvavat ja käyttövarmuus alenee

10.4 Laitteiston uusiminen

Laitteiston uusimista varten pyysin alustavat budjettitarjoukset valituilta kompresso-ritoimittajilta, sekä selvitin nykyisen laitteiston käyttö- ja huoltokustannukset. Saavutettavien säästöjen perusteella laskin saavutettavat säästöt ja takaisinmaksuajat. Takaisinmaksuajat ovat kuitenkin huomattavan korkeita (noin 10 vuotta), eikä investointi pelkästään tämän perusteella kannata teollisuudessa, jossa pyritään yleensä 3–5 vuoden takaisinmaksuaikoihin. Laitteiston uusiminen on helpompi perustella teknisen eliniän kulumiskauden tuomalla vikaantumisen todennäköisyyden kasvulla, sen tuomalla käyttövarmuuden heikkenemisellä ja huoltokustannusten kasvulla.

Laitteiston uusimisen ajankohta tulisi olla teknisen eliniän arvioinnin perusteella viimeistään kulumiskauden vikaantumishuippu, eli vuodet 2016–2018. Kyseiseen ajankohtaan pääsemiseksi suunnittelu tulisi jo aloittaa.

10.5 Kustannukset

Työ- ja materiaalikustannustiedot sekä alustavien budjettitarjousten tiedot ovat luotettaviksi, ja koostin niistä pelkästään Teollisuuden Voima Oyj:n käyttöön jäävän raportin. Raportti sisältää budjettitarjousten lisäksi laskelmat nykyisen laitteiston huollon ja korjausten kustannuksista alkuperän mukaan jaoteltuna (ennakkohuolto, vikailmoitukset, varaosat), sekä uuden laitteiston investoinnit ja sillä saavutettavat säästöt.

10.6 Lopuksi

Työn tekeminen oli mielenkiintoista ja erittäin opettavaa. Tuntemukseni kunnossapidosta, toiminnasta ydinvoimalaitosympäristössä, paineilmajärjestelmistä, sekä erityisesti kompressoreista kasvoi enemmän kuin olin osannut edes odottaa. Työ oli miellyttävän haastava, ja useiden asioiden selvittämiseen sai aivan tosissaan tehdä töitä. Työn valvojana TVO:n puolelta toimineen Harri Varjosen kommentit ja tiedonannot toimivatkin erinomaisena tukena tälle insinööriyölle.

Työssä jäin kaipaamaan paineilman kulutuksen tarkempaa analysointia, vaikei se alkuperäiseen tehtävänantoon kuulunutkaan. Tarkempi paneutuminen paineilman kulutukseen olisi varmasti tuottanut lisäarvoa tähän työhön. Toisaalta, tämä työ rajattiin keskittymään vain kompressoriyksikköihin, ja kulutuksen arvioimiseksi olisi tullut perehtyä tarkemmin 753-järjestelmään liittyviin muihin järjestelmiin. Yhtenä tärkeänä kehitysehdotuksena näenkin paineilman kulutuksen pitempiaikaisen seurannan.

LÄHTEET

723 - OL1/OL2 - Dieselvarmennettu välijäähdytysjärjestelmä - Lopullinen turvallisuusseloste. Asiakirjakokonaisuus. Tausa, M. 125057. Versio 2. 11.11.2010.

7.753 Dieselvarmentamaton paineilmajärjestelmä. PSA. Asiakirjakokonaisuus. Tupala, M. 104400. Versio 2. 10.10.2008.

753 - OL1/OL2 - Dieselvarmentamaton paineilmajärjestelmä - Lopullinen turvallisuusseloste. Asiakirjakokonaisuus. Ahola, E. 106350. Versio 8. 2.9.2010.

753 Dieselvarmentamaton paineilmajärjestelmä. Käyttökäsikirja. Malinen, A. 101018. Versio 10. 16.1.2012.

Ansaharju, T. 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. Helsinki: WSOY.

Compressed Air Manual. 2010. 7th edition. Belgium: Atlas Copco Airpower NV. Viitattu 8.10.2012. http://www.atlascopco.fi/Images/Compressed_Air_Manual_tcm93-1249312.pdf

Ellman, A., Hautanen, J., Järvinen, K. & Simpura, A. 2002. Pneumatiikka. Helsinki: Edita.

Ennakkohuollon yleisohje. Ohje. Puisto, T. 103507. Versio 2. 27.8.2008.

Honkaniemi, J. Kunnossapitoinsinööri, Voimalaitoksen sähköverkot OL1/OL2, Teollisuuden Voima oyj. Eurajoki. Henkilökohtainen tiedonanto 16.10.2012.

Huuhka, M. Työnjohtaja, Kone- ja laitehuolto, Teollisuuden Voima Oyj. Eurajoki. Henkilökohtainen tiedonanto 11.10.2012.

Instruction Manual and Parts List for Portable Compressors XAMS286 Md. 2002. Belgium: Atlas Copco.

Järviö, J., Piispa, T., Parantainen, T. & Åström, T. 2007. Kunnossapito. 4. uud. p. Helsinki: KP-Media Oy.

Järviö, J. 2000. Luotettavuuskeskeinen kunnossapito. Rajamäki: KP-tieto Oy.

Kiinteät ruuvikompressorit ZR3-ZR4-ZR5-ZR6 Pack. 1975. Belgium: Atlas Copco.

Kompressorer, Efterkylare. Compressor specification Q1-Q2. 1.C57A. Plant documentation. Asea-Atom. 16.6.1975.

Kunnossapidon tietojärjestelmien koulutus, KUPI tietojärjestelmien yleisesittely. TVO:n koulutusmateriaali. Wahala Jukka. 2.10.2012.

KUPI (Versio 10.0). 1.2.2010. Teollisuuden Voima Oyj.

Luokittelukurssi, Laitapaikkojen kunnossapitoluokitus. TVO:n koulutusmateriaali. Puisto Timo. 16.3.2007.

*Opetushallitus. 2010. Kunnossapito. Viitattu 1.10.2012.
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/>*

*Pyörivien laitteiden määräaikaiset värähtelymittaukset. Ohje. Korhonen, T. 103537.
Versio 3. 11.12.2009.*

Spare parts list for Air Compressors, ZR4, ZA4. 1972. Belgium: Atlas Copco.

*Systemaattisen kunnossapitosuunnittelun työskentelyohje. Ohje. Kaukonen, K.
114210. Versio 2. 23.2.2006.*

*Stationary Screw Compressors ZR, ZA, Sectional Drawing. 1973. Belgium: Atlas
Copco.*

Teollisuuden Voima Oyj:n OlkiNet intranet-sivut. Viitattu 24.9.2012.

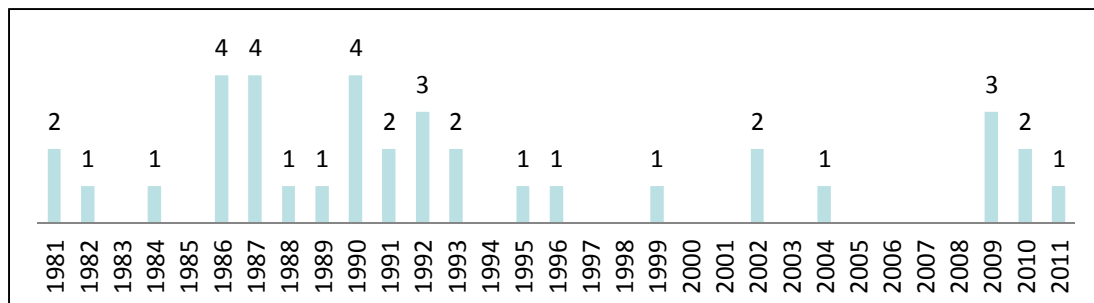
Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut. Viitattu 10.9.2012. <http://www.tvo.fi/>

*Varjonen, H. 2012. Tarkastus- ja huoltotoiminta. Luento Satakunnan ammattikor-
keakoulun Ydinvoima -opintojaksolla 13.3.2012.*

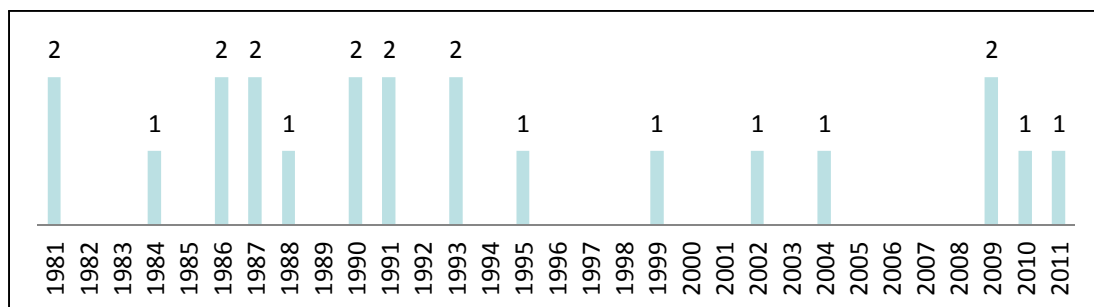
*Varjonen, H. Ryhmäpäällikkö, Kone- ja laitehuolto, Teollisuuden Voima Oyj. Eura-
joki. Henkilökohtaiset tiedonannot 27.9.2012, 9.10.2012 ja 7.12.2012.*

KOMPRESSORIKOHTAISET VIKARAPORTTIEN ERITTELYT

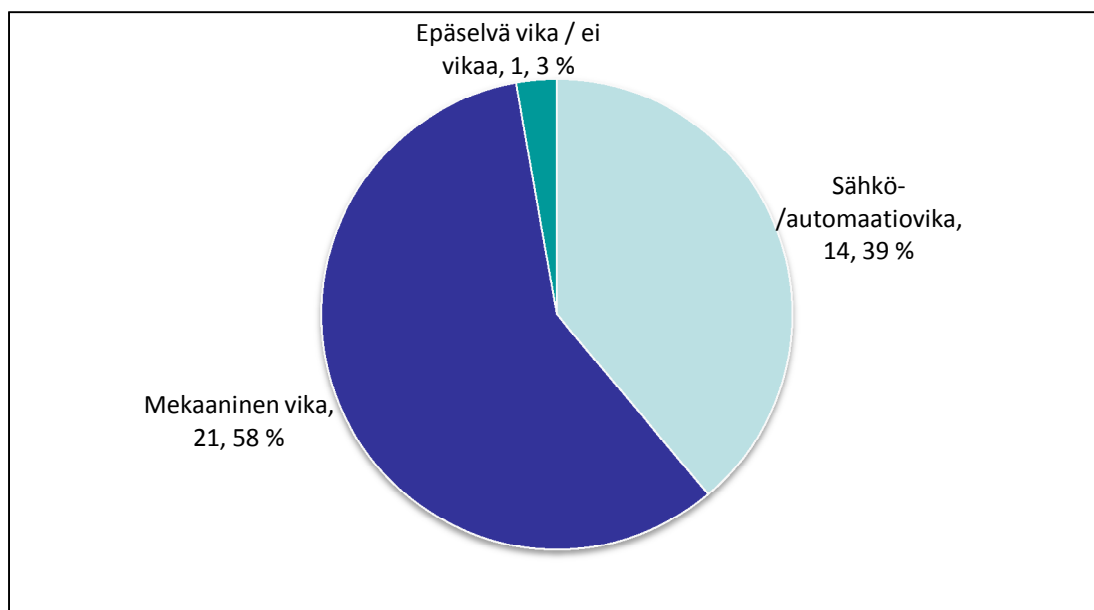
1.753Q1



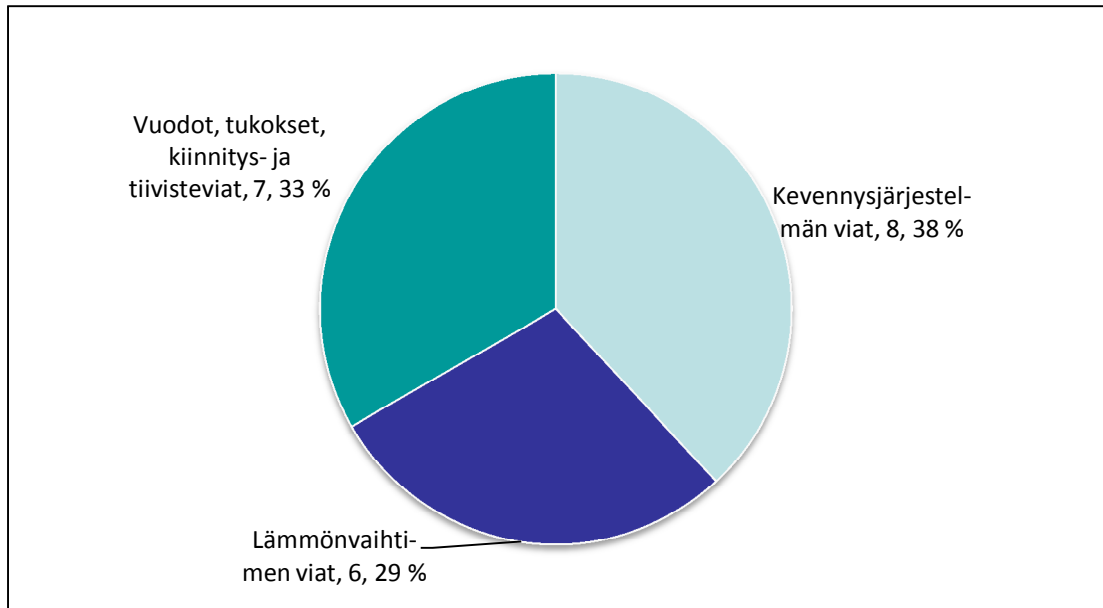
Kaikki viat



Mekaaniset viat

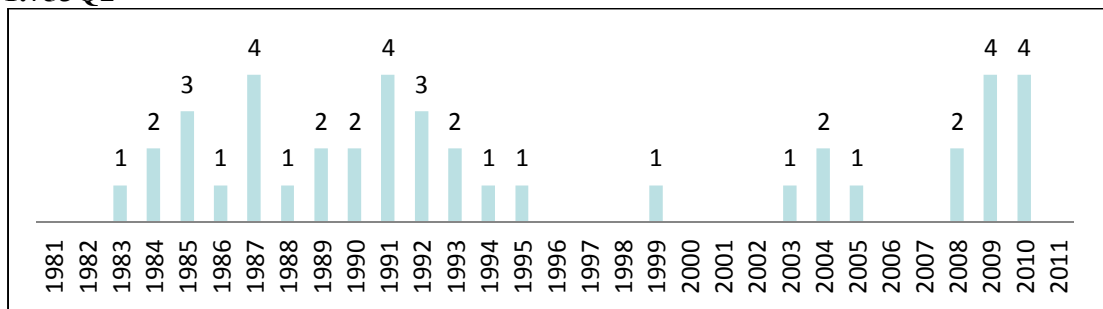


Vikojen jakaantuminen

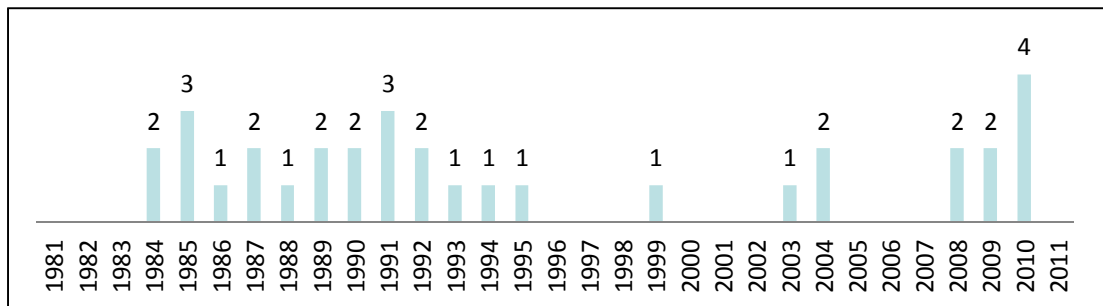


Mekaanisten vikojen erittely

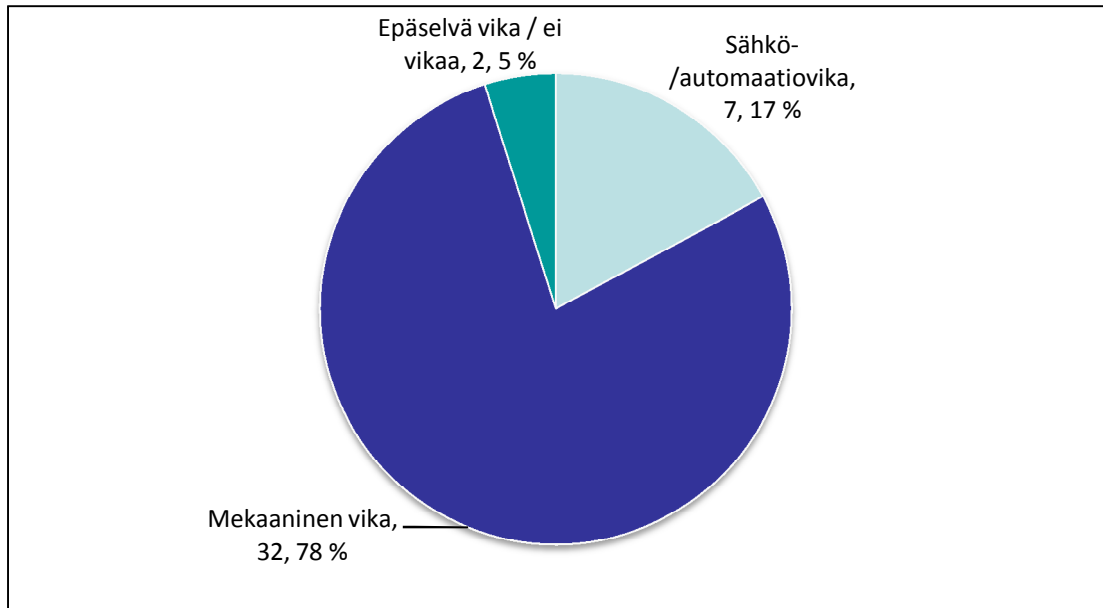
1.753Q2



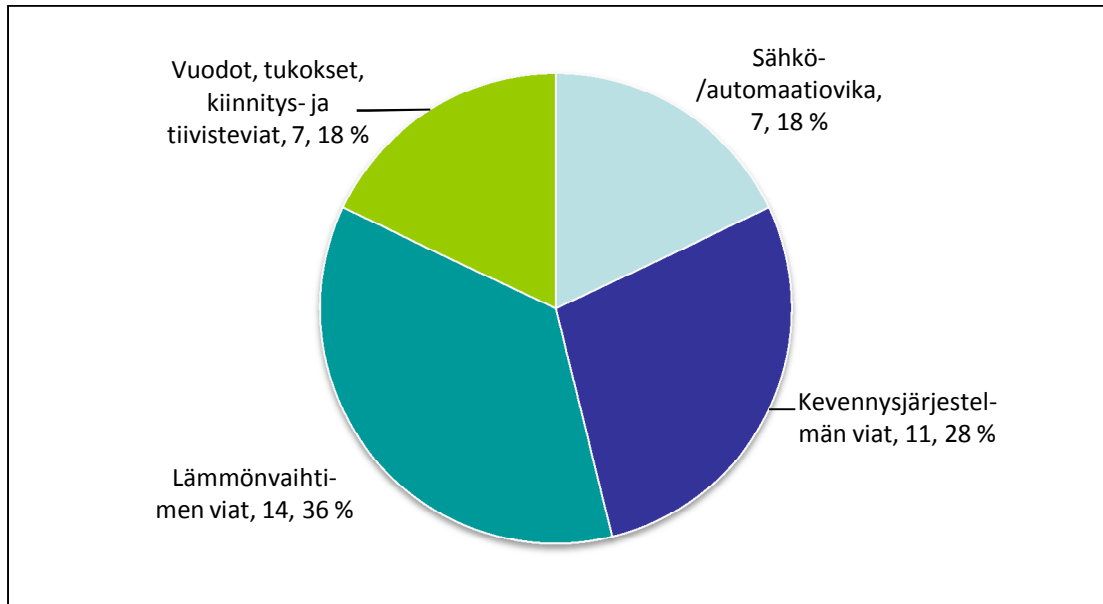
Kaikki viat



Mekaaniset viat

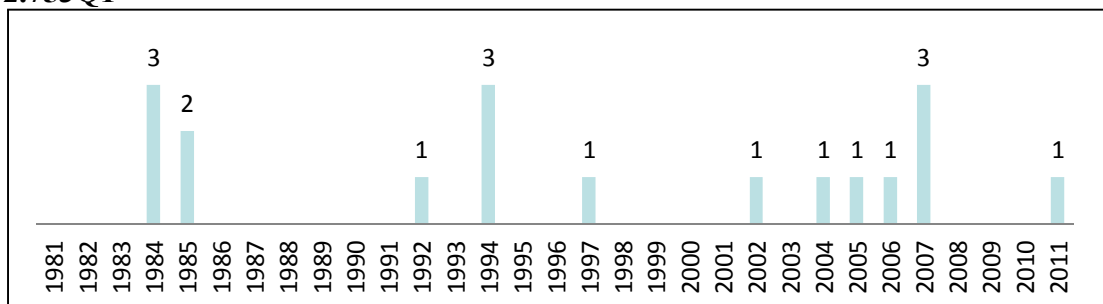


Vikojen jakaantuminen

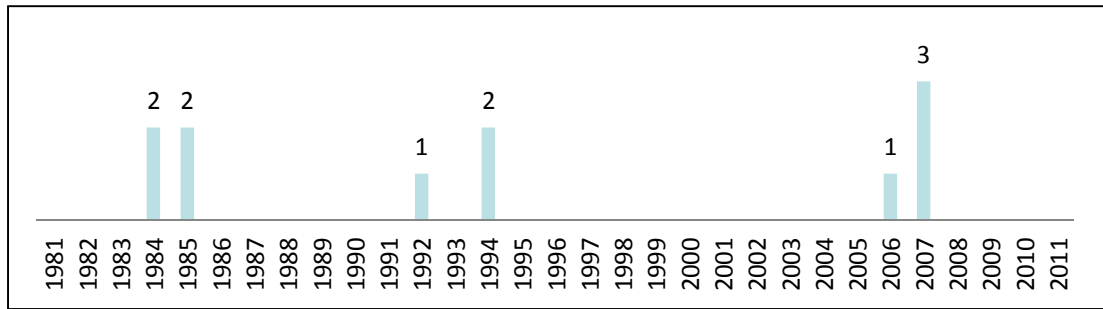


Mekaanisten vikojen erittely

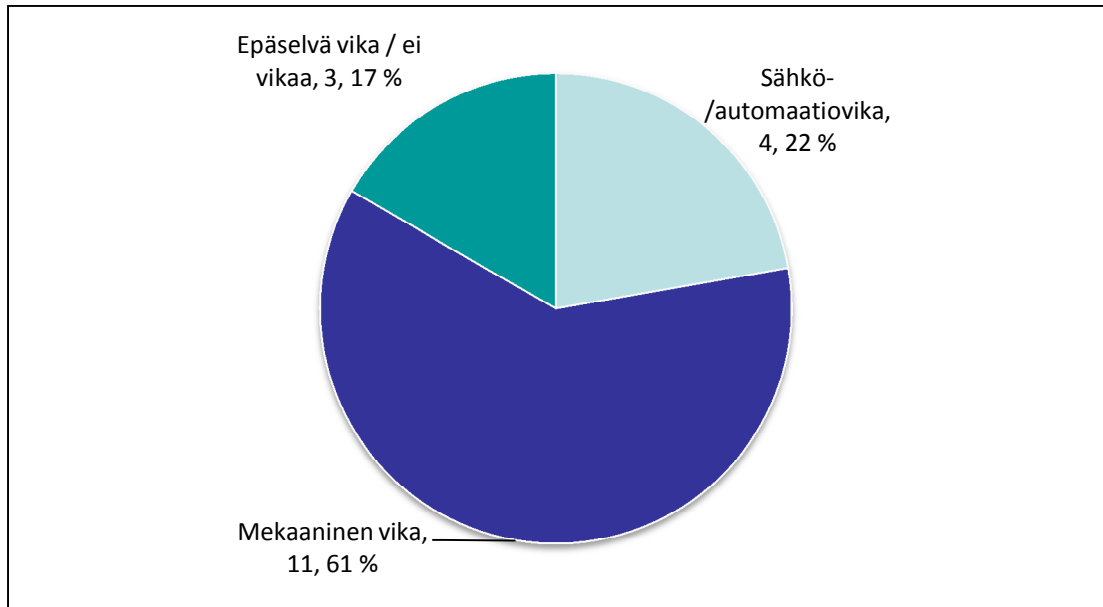
2.753Q1



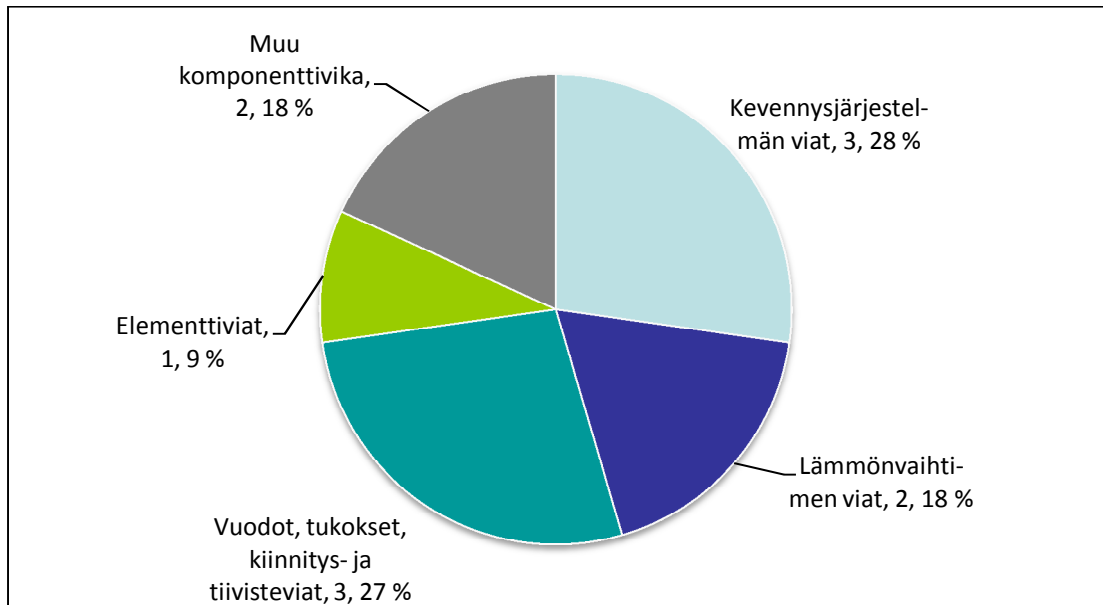
Kaikki viat



Mekaaniset viat

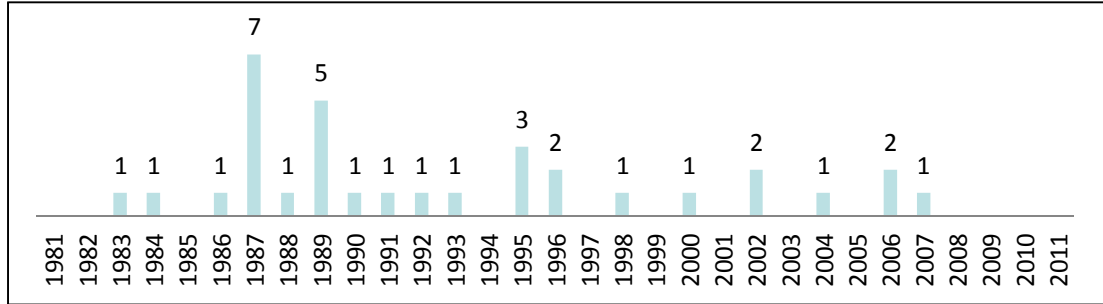


Vikojen jakaantuminen

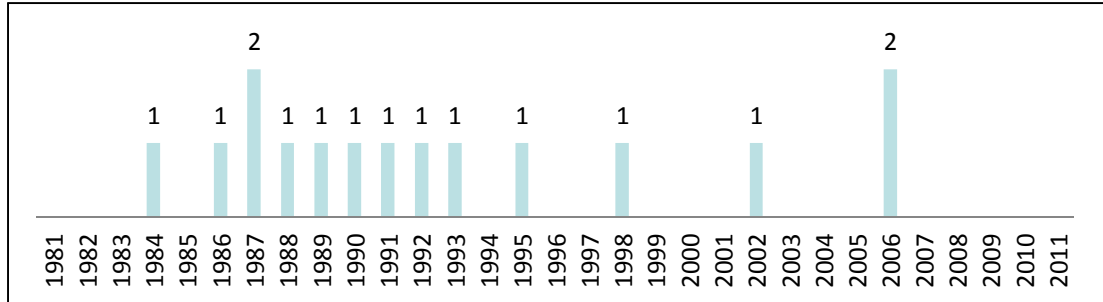


Mekaanisten vikojen erittely

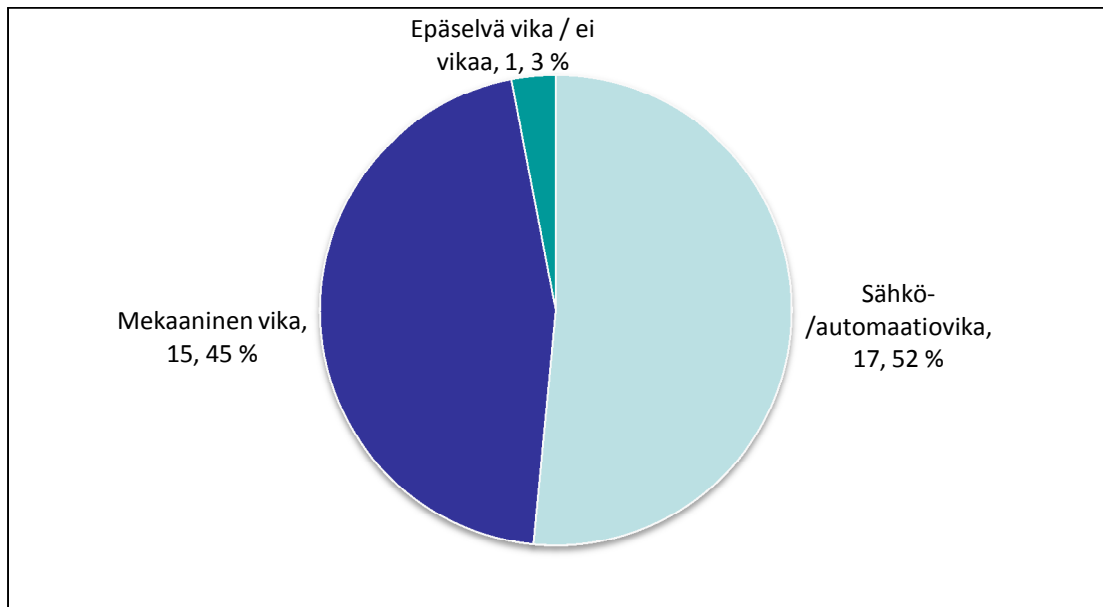
2.753Q2



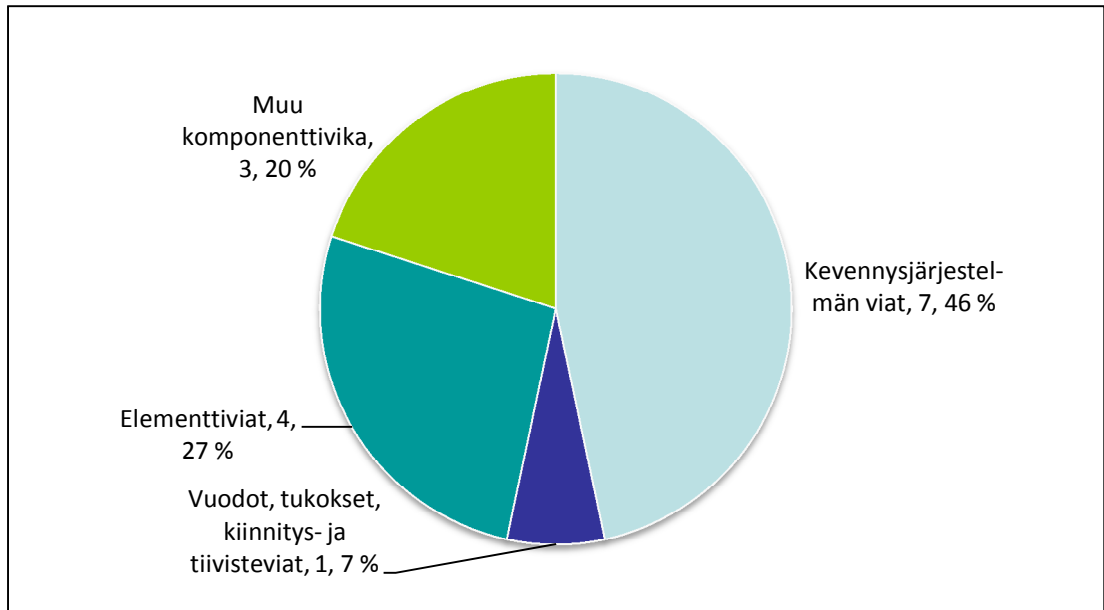
Kaikki viat



Mekaaniset viat



Vikojen jakaantuminen



Mekaanisten vikojen erittely